

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILE E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI-BARI.

RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.

II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.

Studio idraulico Fiume Calore

Relazione idraulica

SCALA:

-

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

I F 0 H 0 2 D 0 9 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C. Marson	giugno 2017	F. Ceras 	giugno 2017	F. Cerrone 	giugno 2017	ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti Dott. Ing. Angelo Vittozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° 4207

File: IF0H02D09RIID0002001A.doc

n. Elab.: DL 011

4. 150583  
Duplex (with photos) - for Jeff's projects at you +  
2001 (for your 2001 audit)  
970 271 1111 - The Commercial Bank  
11/11/2011-2012

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI–BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV A

## INDICE

1. PREMESSA.....	7
2. ELENCO DEGLI ELABORATI ANNESSI .....	9
3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO .....	11
4. CONSIDERAZIONI IDROLOGICHE .....	16
4.1 PORTATE DI CALCOLO.....	16
4.2 PORTATA DI CANTIERE E LIVELLI IDRICI.....	17
5. MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE .....	19
5.1 GENERALITÀ .....	19
5.2 IL MODELLO NUMERICO .....	19
5.3 LA GEOMETRIA DEL MODELLO.....	21
5.4 DEFINIZIONE DELLE SCABREZZE DEL MODELLO .....	25
6. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE .....	25
6.1 CRITERI DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....	25
6.2 SIMULAZIONI ANTE OPERAM .....	26
6.3 SIMULAZIONI POST OPERAM .....	35
7. VERIFICA DELLE OPERE DI PROGETTO .....	39
7.1 CRITERI DI VERIFICA .....	39
7.1.1 <i>Verifiche previste dal manuale Italferr</i> .....	39
7.1.2 <i>Verifiche previste dalle N.T.C. 2008 e relativa Circolare Esplicativa</i> .....	40
7.1.3 <i>Verifiche previste dalle Norme Tecniche di attuazione del P.S.D.A. (Allegato C)</i> .....	41
7.2 VIADOTTI – VERIFICA DEI FRANCHI E DELLE LUCI .....	42
7.3 RILEVATI – VERIFICA DEI FRANCHI.....	45
7.4 DETERMINAZIONE DELLO SCAVO LOCALIZZATO PER LE PILE .....	49
7.5 PROTEZIONE PILE DALLO SCALZAMENTO .....	74

7.5.1	Verifica stabilità massi a protezione delle pile .....	74
7.5.2	Protezione pile viadotto VI05.....	76
7.5.3	Protezione pile viadotto VI20.....	79
7.5.4	Protezione pile viadotto VI21 .....	80
8.	COMPATIBILITÀ IDRAULICA.....	82
8.1	METODOLOGIA .....	82
8.2	ANALISI DEL TRACCIATO FERROVIARIO .....	82
8.3	INTEGRAZIONE DELLE MAPPE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA AL 2015 .....	86
8.4	STUDIO IDROLOGICO .....	88
8.5	VERIFICHE IDRAULICHE .....	88
8.6	SISTEMAZIONI IDRAULICHE .....	88
8.7	ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA.....	89

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1-1:	Inquadramento territoriale della tratta Frasso Telesino - Vitulano.....	7
Figura 3-1:	Confronto tra linea di progetto e linea esistente .....	12
Figura 3-2:	Confronto tra linea di progetto e linea esistente .....	13
Figura 3-3:	Confronto tra linea di progetto e linea esistente .....	13
Figura 3-4:	Planimetria di progetto viadotto VI05 .....	14
Figura 3-5:	Planimetria di progetto viadotto VI20 .....	15
Figura 3-6:	Planimetria di progetto viadotto VI21 .....	15
Figura 4-1:	Area modellata e corsi d'acqua principali .....	16
Figura 5-1:	Inquadramento territoriale dell'area modellata, linea ferroviaria esistente e di progetto. ....	22
Figura 5-2:	DTM di riferimento. ....	23
Figura 5-3:	Mesh di calcolo.....	24
Figura 5-4:	Dettaglio della mesh in corrispondenza di uno degli attraversamenti di progetto.....	25

Figura 6-1: confronto tra aree allagate TR 100 anni e fasce PAI tra Torrecuso e Paupisi .....	28
Figura 6-2: confronto tra aree allagate TR 100 anni e fasce PAI tra Solopaca e Amorisi .....	29
Figura 6-3: confronto tra aree allagate TR 100 anni e fasce PAI tra Paupisi e Solopaca.....	30
Figura 6-4: confronto tra aree allagate TR 100 anni e fasce PAI tra Amorisi e Dugenta.....	31
Figura 6-5: confronto tra le aree allagate piena del 15.10.2015 e risultati TR 300 anni – tratto Comune di Ponte – Confluenza Alenta.....	32
Figura 6-6: confronto tra le aree allagate piena del 15.10.2015 e risultati TR 300 anni – tratto Ponte Maria Cristina (Solopaca) - Paupisi.....	33
Figura 6-7: confronto tra le aree allagate piena del 15.10.2015 e risultati TR 300 anni – tratto confluenza Calore – Volturmo – Ponte Maria Cristina (Solopaca Scalo).....	34
Figura 6-8: confronto tra i campi di velocità SDF e SDP – viadotto VI 21 – TR 300 anni .....	36
Figura 6-9: confronto tra i campi di velocità SDF e SDP – viadotto VI 20 – TR 300 anni .....	37
Figura 6-10: confronto tra i campi di velocità SDF e SDP – viadotto VI 05 – TR 300 anni .....	38
Figura 7-1: Viadotto VI 05 sezione.....	43
Figura 7-2: Viadotto VI 20 sezione .....	44
Figura 7-3: Viadotto VI 21 sezione.....	44
Figura 7-4: Rilevato da 42+450 e 43+000.....	46
Figura 7-5: Rilevato a 31+400.....	46
Figura 7-6: Rilevato a 30+500.....	46
Figura 7-7: Rilevato da 22+200 a 25+950.....	47
Figura 7-8: Rilevato da 21+300 a 21+700.....	47
Figura 7-9: Rilevato da 18+500 a 19+150.....	48
Figura 7-10: Rilevato da 17+750 a 18+000.....	48
Figura 7-11: Valori coefficiente f3.....	53
Figura 7-12: Protezione pile e alveo viadotto VI05.....	76
Figura 7-13: Protezione pile con massi legati viadotto VI05 .....	77
Figura 7-14: Protezione pile con massi sciolti viadotto VI05 .....	77
Figura 7-15: Protezione pile e alveo viadotto VI20.....	79
Figura 7-16: Protezione pile e alveo viadotto VI21.....	81
Figura 8-1: sovrapposizione del tracciato con le aree di pericolosità del PSDA – pk 46+500 – 34+000 .....	84

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Figura 8-2: sovrapposizione del tracciato con le aree di pericolosità del PSDA – pk 34+000 – 23+500 .....	85
Figura 8-3: sovrapposizione del tracciato con le aree di pericolosità del PSDA – pk 23+500 – 16+500 .....	85
Figura 8-4: Integrazione delle mappe di pericolosità idraulica .....	87
Figura 8-5: Estensione delle aree allagate a monte del viadotto VI05 e stazione di Amorosi – ante operam e post operam – TR 100 anni .....	90
Figura 8-6: Estensione delle aree allagate a monte del viadotto VI20 – ante operam e post operam – TR 100 anni .....	91
Figura 8-7: Estensione delle aree allagate a monte del viadotto VI21 – ante operam e post operam – TR 100 anni .....	92

## INDICE DELLE TABELLE

Tab. 1– Elenco elaborati annessi .....	10
Tab. 2 – portate di riferimento dedotte dal PSDA del bacino del Volturno .....	16
Tab. 3: livelli idrici di cantiere .....	18
Tab. 4 – Tempi di ritorno richiesti per le verifiche idrauliche.....	26
Tab. 5 – Livelli idrici in corrispondenza delle sezioni a monte dei viadotti.....	35
Tab. 6 – Verifica dei franchi – piena TR 200 anni .....	42
Tab. 7 – Verifica dei franchi – piena TR 300 anni .....	43
Tab. 8 – Verifica dei franchi – piena TR 300 anni .....	45
Tab. 9 – Coefficiente correttivo K1 .....	50
Tab. 10 – Coefficiente correttivo K3.....	50
Tab. 11 – Coefficiente correttivo K1.....	54
Tab. 12: Viadotto VI05_ massima profondità di escavazione per pile tozze .....	56
Tab. 13: Viadotto VI05_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.6.....	57
Tab. 14: Viadotto VI05_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.7.....	59
Tab. 15: Viadotto VI20_ massima profondità di escavazione per pile tozze .....	59
Tab. 16: Viadotto VI20_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.3.....	61
Tab. 17: Viadotto VI20_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.4.....	62
Tab. 18: Viadotto VI21_ massima profondità di escavazione per pile tozze .....	63

**RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	6 di 92

Tab. 19: Viadotto VI21_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.6.....	64
Tab. 20: Viadotto VI21_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.7.....	65
Tab. 21: Viadotto VI21_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.8.....	67
Tab. 22: Viadotto VI21_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.9.....	68
Tab. 23: Viadotto VI21_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.10.....	69
Tab. 24: Viadotto VI21_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.11.....	70
Tab. 25: Viadotto VI21_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.12.....	72
Tab. 26: Viadotto VI21_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.13.....	73
Tab. 27: Viadotto VI21_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.14.....	74
Tab. 28: Viadotto VI05_ verifica protezione alla base pile.....	78
Tab. 29: Viadotto VI20_ verifica protezione alla base pile.....	80
Tab. 30: Viadotto VI21_ verifica protezione alla base pile.....	81



## 1. PREMESSA

La presente relazione riassume i risultati delle indagini sviluppate, le metodologie applicate ed i risultati dello studio idraulico del fiume Calore nell'ambito del Progetto Definitivo del 2° Lotto funzionale della linea Canello - Benevento, nella tratta tra Frasso Telesino e Vitulano.

L'area oggetto dello studio idraulico, ovvero quella sottesa dal raddoppio della linea ferroviaria, è ubicata nella Regione Campania, nella provincia di Benevento e coinvolge il Fiume Calore, diversi suoi tributari in destra idraulica e il fiume Volturno (Figura 1-1).

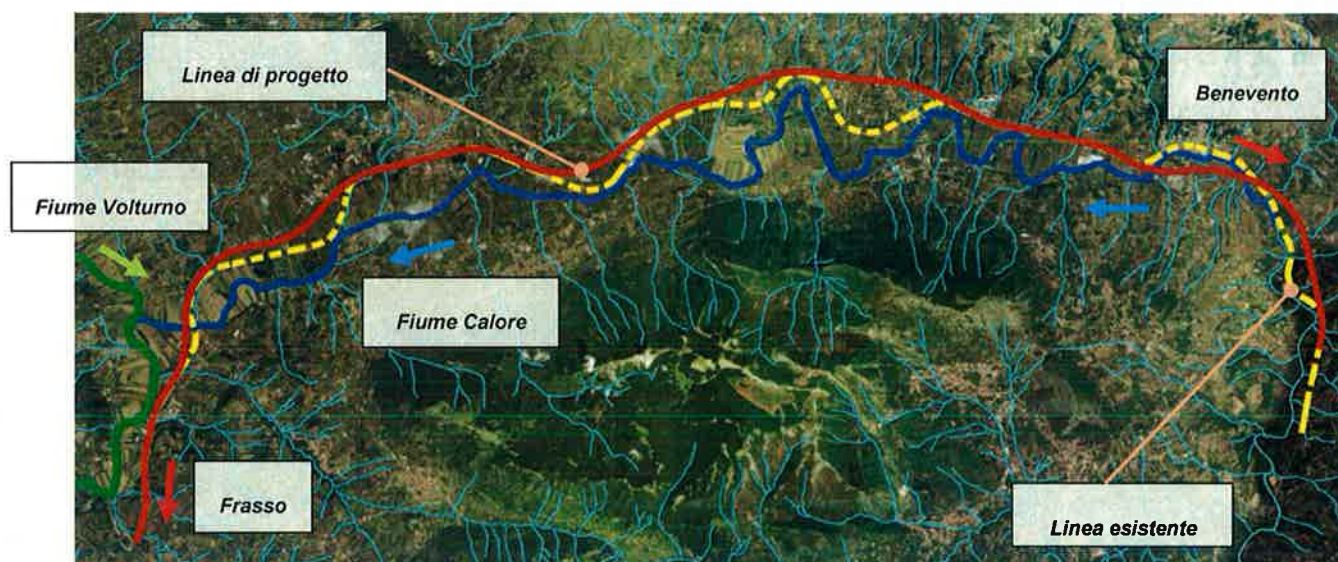


Figura 1-1: Inquadramento territoriale della tratta Frasso Telesino - Vitulano.

La linea ferroviaria in progetto interseca il fiume Calore in 3 punti nei quali è prevista la costruzione di 3 nuovi viadotti:

- Viadotto VI05 tra la progressiva chilometrica 20+450 e la 21+520
- Viadotto VI20 tra la progressiva chilometrica 40+983 e la 41+213
- Viadotto VI21 tra la progressiva 42+520 e la 43+000

La verifica delle nuove opere di attraversamento in progetto è stata effettuata mediante modello idraulico bidimensionale del fiume Calore e della sua confluenza con il fiume Volturno.



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b></p>												
<p><b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF0H</td> <td>02 D 09</td> <td>RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>A</td> <td>8 di 92</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	8 di 92
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	8 di 92								

L'analisi eseguita ha permesso inoltre di verificare la compatibilità idraulica dell'infrastruttura ferroviaria di progetto con l'assetto idraulico e con le condizioni di rischio idraulico del territorio attuali e successive alla realizzazione dell'intervento.

Nel presente studio si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

- Relazione Idrologica del Progetto Definitivo del raddoppio del 2° lotto funzionale Frasso Telesino – Vitulano (elaborato IF0H02D09RIID0001001A) ;
- Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno;
- Norme Tecniche delle costruzioni.

## 2. ELENCO DEGLI ELABORATI ANNESSI

ELABORATO	CODIFICA
Relazione idrologica	IFOH02D09RIID0001001A
Relazione idraulica	IFOH02D09RIID0002001A
Corografia generale dei Bacini idrografici	IFOH02D09C1ID0001001A
Corografia dei Bacini idrografici – Tavola 1 di 3	IFOH02D09CZID0001002A
Corografia dei Bacini idrografici – Tavola 2 di 3	IFOH02D09CZID0002003A
Corografia dei Bacini idrografici – Tavola 3 di 3	IFOH02D09CZID0002004A
Planimetria livelli idrici ante operam per il viadotto VI05 – Tr 30	IFOH12D09P6ID0002001A
Planimetria livelli idrici ante operam per il viadotto VI05 – Tr 100	IFOH12D09P6ID0002002A
Planimetria livelli idrici ante operam per il viadotto VI05– Tr 300	IFOH12D09P6ID0002003A
Planimetria livelli idrici post operam per il viadotto VI05 – Tr 30	IFOH12D09P6ID0002004A
Planimetria livelli idrici post operam per il viadotto VI05 – Tr 100	IFOH12D09P6ID0002005A
Planimetria livelli idrici post operam per il viadotto VI05– Tr 300	IFOH12D09P6ID0002006A
Planimetria valori di velocità post operam per il viadotto VI05 – Tr 30	IFOH12D09P6ID0002007A
Planimetria valori di velocità post operam per il viadotto VI05 – Tr 100	IFOH12D09P6ID0002008A
Planimetria valori di velocità post operam per il viadotto VI05– Tr 300	IFOH12D09P6ID0002009A
VI05 - Profili di rigurgito ante e post operam per Tr30, Tr100, Tr200 e Tr300	IFOH12D09FZID0002001A
VI05 - Sezioni significative con livelli ante e post operam per Tr200 e Tr300	IFOH12D09WZID0002001A
Planimetria sistemazione idraulica Fiume Calore – viadotto VI05	IFOH12D09PZID0002001A
Sezioni sistemazione idraulica Fiume Calore – viadotto VI05	IFOH12D09WZID0002002A
Planimetria livelli idrici ante operam per il viadotto VI20 – Tr 30	IFOH32D09P6ID0002001A
Planimetria livelli idrici ante operam per il viadotto VI20 – Tr 100	IFOH32D09P6ID0002002A
Planimetria livelli idrici ante operam per il viadotto VI20 – Tr 300	IFOH32D09P6ID0002003A
Planimetria livelli idrici post operam per il viadotto VI20 – Tr 30	IFOH32D09P6ID0002004A
Planimetria livelli idrici post operam per il viadotto VI20 – Tr 100	IFOH32D09P6ID0002005A
Planimetria livelli idrici post operam per il viadotto VI20 – Tr 300	IFOH32D09P6ID0002006A

ELABORATO	CODIFICA
Planimetria valori di velocità post operam per il viadotto VI20 – Tr 30	IF0H32D09P6ID0002007A
Planimetria valori di velocità post operam per il viadotto VI20 – Tr 100	IF0H32D09P6ID0002008A
Planimetria valori di velocità post operam per il viadotto VI20 – Tr 300	IF0H32D09P6ID0002009A
VI20 - Profili di rigurgito ante e post operam per Tr30, Tr100, Tr200 e Tr300	IF0H32D09FZID0002001A
VI20 - Sezioni significative con livelli ante e post operam per Tr200 e Tr300	IF0H32D09WZID0002001A
Planimetria livelli idrici ante operam per il viadotto VI21 – Tr 30	IF0H32D09P6ID0002010A
Planimetria livelli idrici ante operam per il viadotto VI21 – Tr 100	IF0H32D09P6ID0002011A
Planimetria livelli idrici ante operam per il viadotto VI21 – Tr 300	IF0H32D09P6ID0002012A
Planimetria livelli idrici post operam per il viadotto VI21 – Tr 30	IF0H32D09P6ID0002013A
Planimetria livelli idrici post operam per il viadotto VI21 – Tr 100	IF0H32D09P6ID0002014A
Planimetria livelli idrici post operam per il viadotto VI21 – Tr 300	IF0H32D09P6ID0002015A
Planimetria valori di velocità post operam per il viadotto VI21 – Tr 30	IF0H32D09P6ID0002016A
Planimetria valori di velocità post operam per il viadotto VI21 – Tr 100	IF0H32D09P6ID0002017A
Planimetria valori di velocità post operam per il viadotto VI21 – Tr 300	IF0H32D09P6ID0002018A
VI21 - Profili di rigurgito ante e post operam per Tr30, Tr100, Tr200 e Tr300	IF0H32D09FZID0002002A
VI21 - Sezioni significative con livelli ante e post operam per Tr200 e Tr300	IF0H32D09WZID0002002A
Planimetria sistemazione idraulica Fiume Calore – viadotto VI20	IF0H32D09PZID0002001A
Sezioni sistemazione idraulica Fiume Calore – viadotto VI20	IF0H32D09WZID0002003A
Planimetria sistemazione idraulica Fiume Calore – viadotto VI21	IF0H32D09PZID0002002A
Sezioni sistemazione idraulica Fiume Calore – viadotto VI21	IF0H32D09WZID0002004A

Tab. 1– Elenco elaborati annessi

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF0H</td> <td>02 D 09</td> <td>RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>A</td> <td>11 di 92</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO	IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	11 di 92
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO								
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	11 di 92								

### 3. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO

La linea ferroviaria in progetto rientra all'interno dei lavori di raddoppio della tratta Canello Benevento, lotto funzionale Frasso Telesino-Vitulano, sviluppandosi tra la progressiva chilometrica 16+500 e 46+578 per una lunghezza complessiva di circa 30 km.

Il tracciato in progetto si sviluppa in sostanziale affiancamento della linea esistente costituendone il raddoppio. Sono previsti comunque diversi tratti in variante che prevedono lo spostamento verso nord della linea eccetto nel tratto terminale nel quale la nuova linea viene spostata a sud dell'abitato di Ponte.

La figura seguente rappresenta il tracciato di progetto su foto satellitare colorato a seconda della tipologia costruttiva e la linea ferroviaria esistente evidenziata in colore giallo.

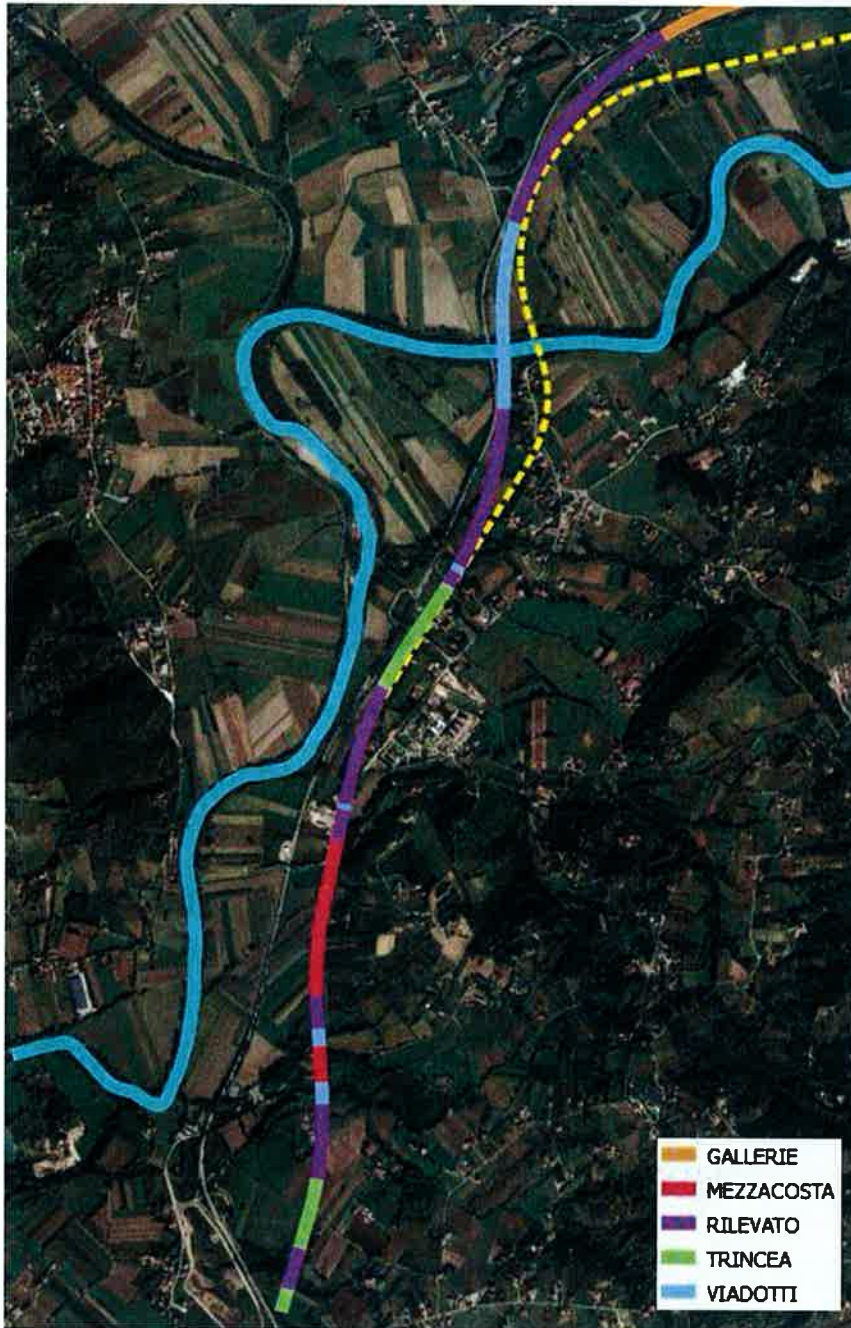


Figura 3-1: Confronto tra linea di progetto e linea esistente



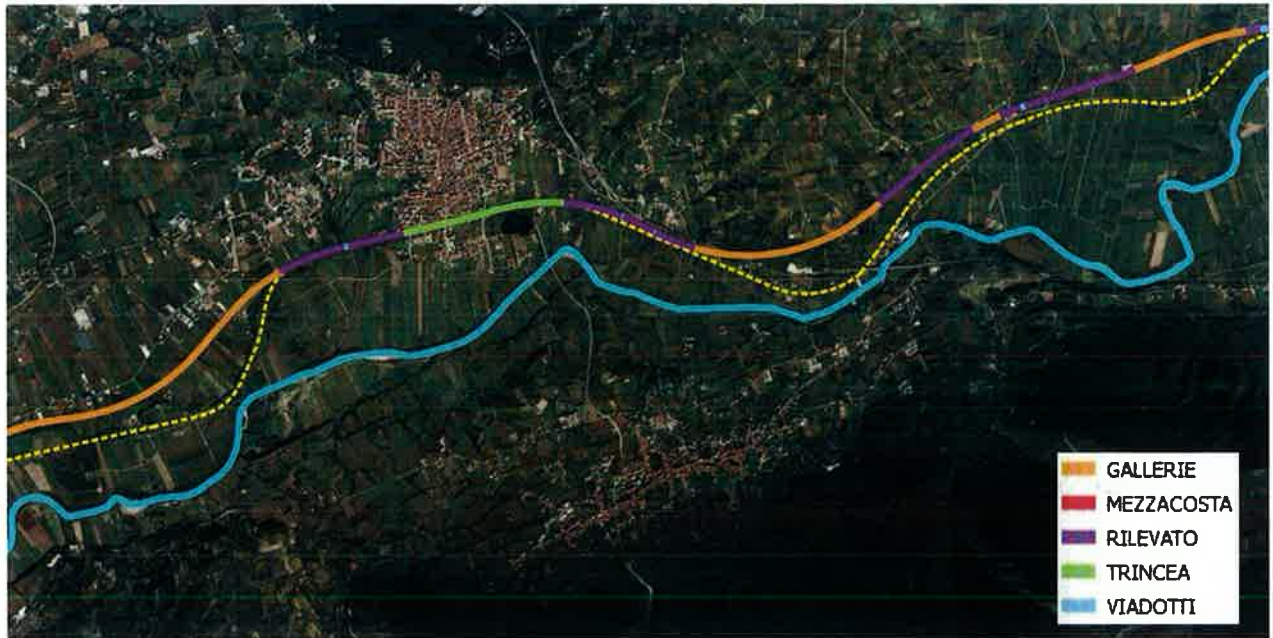


Figura 3-2: Confronto tra linea di progetto e linea esistente

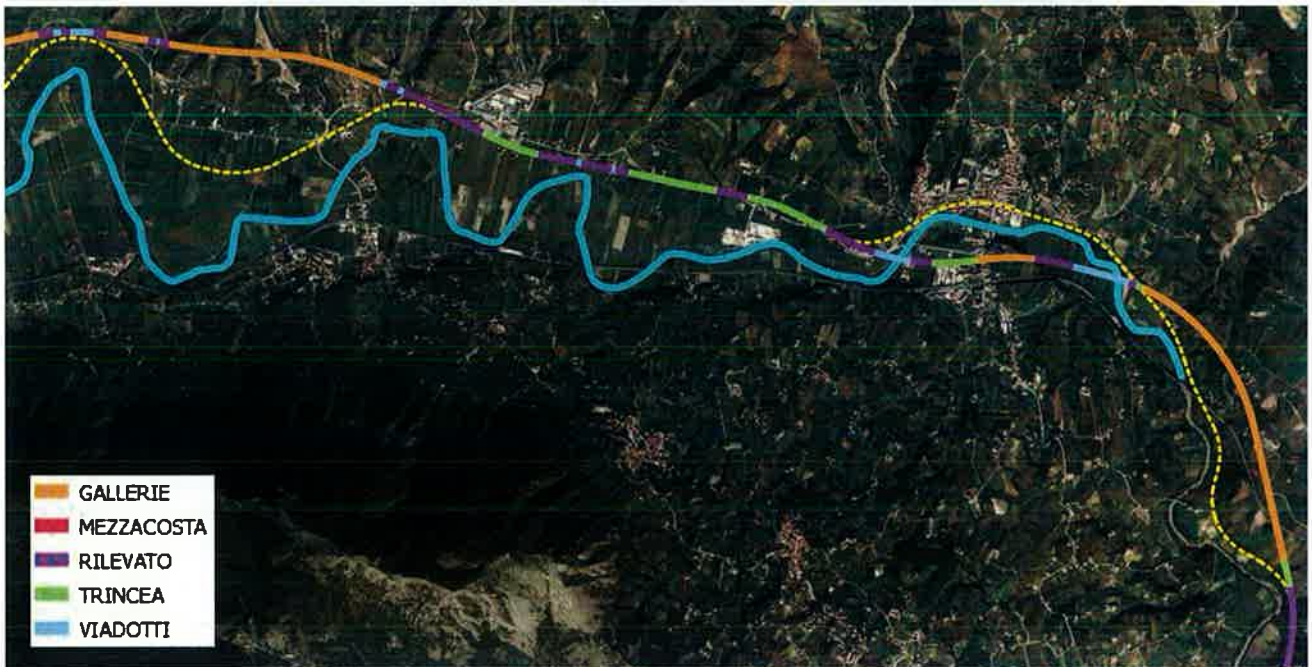


Figura 3-3: Confronto tra linea di progetto e linea esistente

Lungo il percorso la nuova linea interseca il fiume Calore in 3 punti nei quali è prevista la costruzione di 3 nuovi viadotti per il superamento del corso d'acqua:

- Viadotto VI05 tra la progressiva chilometrica 20+450 e la 21+520;
- Viadotto VI20 tra la progressiva chilometrica 40+983 e la 41+213;
- Viadotto VI21 tra la progressiva 42+520 e la 43+000.

La figura seguente rappresenta la planimetria di progetto del viadotto VI05 dalla quale si evince il posizionamento immediatamente a valle del viadotto ferroviario esistente e a monte dell'attraversamento della strada statale Fondo valle Isclero.

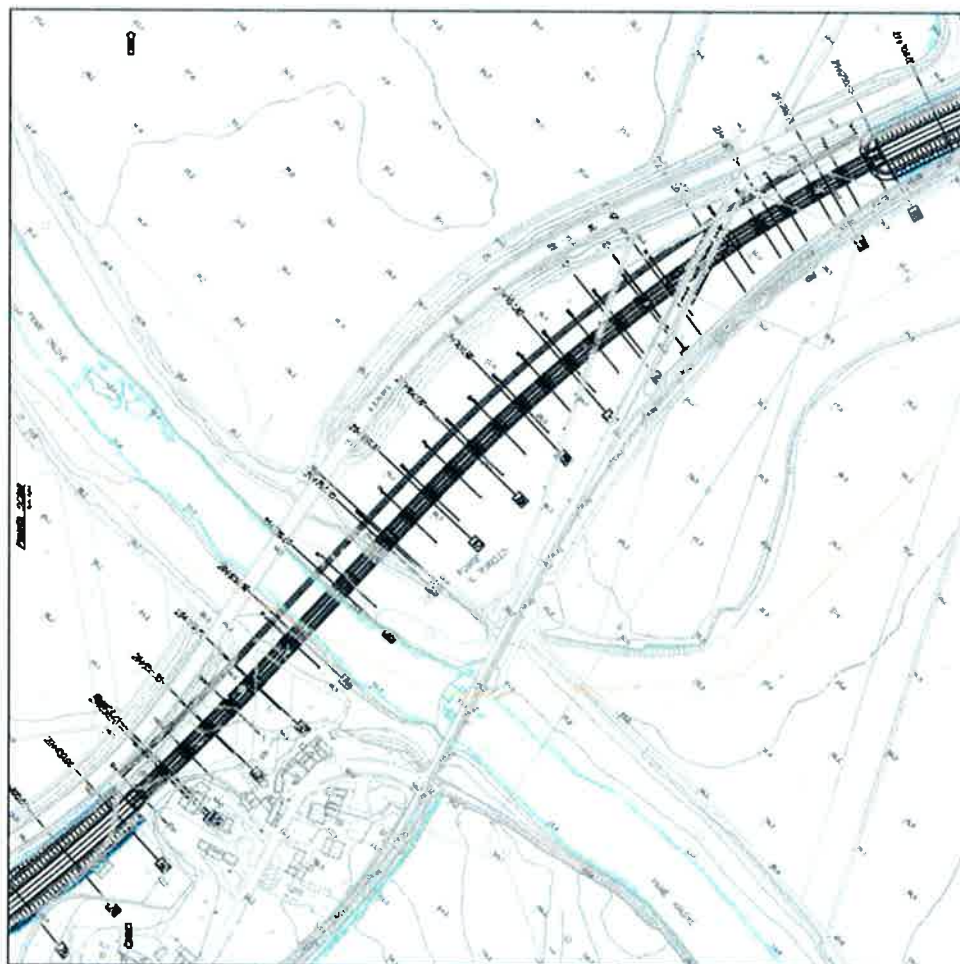


Figura 3-4: Planimetria di progetto viadotto VI05



Nella figura seguente è evidenziata invece la planimetria di progetto del viadotto VI20 dalla quale si evince il posizionamento a valle dell'attraversamento stradale della SP106.

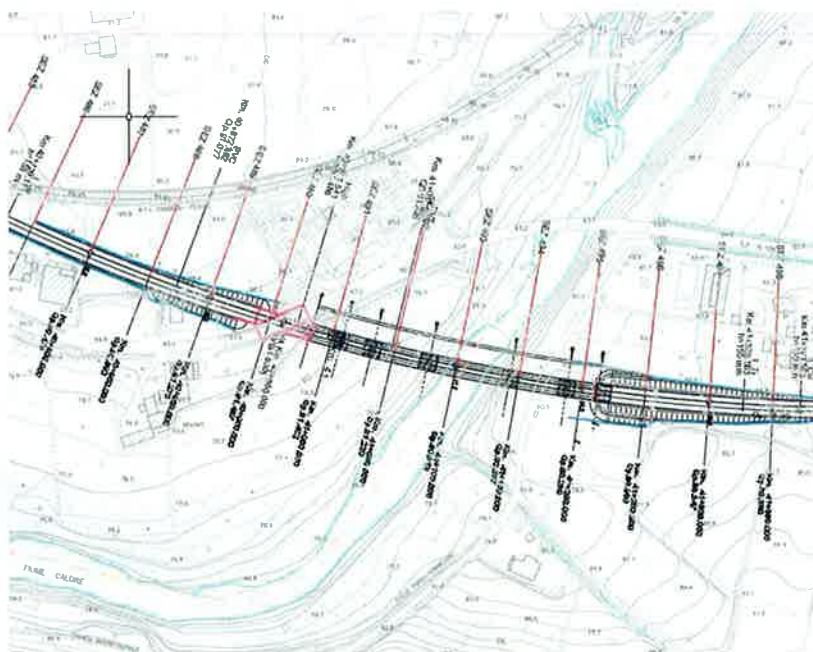


Figura 3-5: Planimetria di progetto viadotto VI20

Nella figura seguente è evidenziata la planimetria del viadotto di progetto VI21.

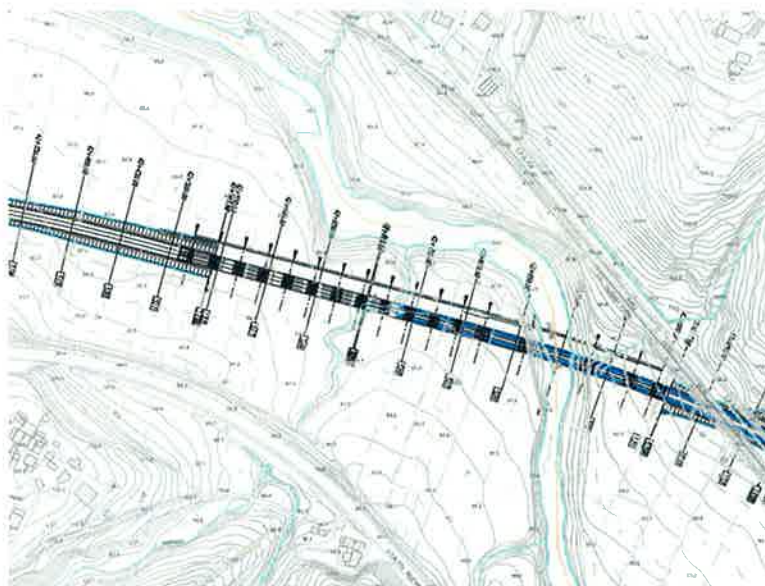


Figura 3-6: Planimetria di progetto viadotto VI21

#### 4. CONSIDERAZIONI IDROLOGICHE

##### 4.1 Portate di calcolo

Il modello idraulico sviluppato rappresenta una porzione del fiume Calore e del fiume Volturno (Figura 4-1). Per quel che riguarda il Calore, l'asta oggetto di analisi è contenuta nel tratto fluviale compreso tra il torrente lenga e il Volturno.

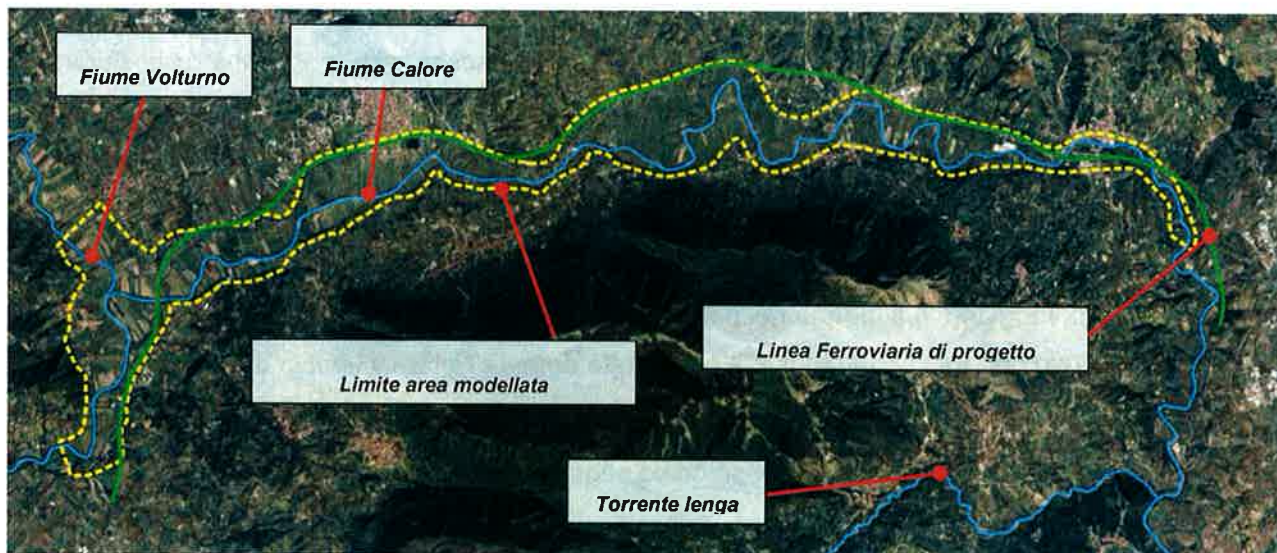


Figura 4-1: Area modellata e corsi d'acqua principali

Come riportato nella relazione idrologica, per la definizione delle portate di calcolo si è fatto riferimento a quanto indicato all'interno del P.S.D.A. (Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno) del bacino del Volturno. I valori di portata sono riassunti all'interno della tabella seguente.

tratto fluviale	Q 30 [m <sup>3</sup> /s]	Q 100 [m <sup>3</sup> /s]	Q 200 [m <sup>3</sup> /s]	Q 300 [m <sup>3</sup> /s]
Fiume Calore dalla confluenza con lo lenga alla confluenza con il Fiume Volturno	1765	2400	2758	2990
Fiume Volturno a monte della confluenza con il Calore	760	1045	1190	1290
Fiume Volturno dalla confluenza con il Calore alla foce	2525	3445	3948	4280

Tab. 2 – portate di riferimento dedotte dal PSDA del bacino del Volturno

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV A

Le portate si distinguono per i differenti tempi di ritorno, si precisa che i valori relativi al tempo di ritorno pari a 200 anni sono stati ottenuti attraverso l'interpolazione dei dati pubblicati.

Inoltre, le portate assegnate al fiume Volturno nel tratto a monte della confluenza sono state ottenute come differenza aritmetica tra le portate suggerite per il fiume Calore e quelle indicate per il Volturno a valle della confluenza.

#### 4.2 Portata di cantiere e livelli idrici

La presenza di un cantiere in alveo è strettamente connessa alla possibilità che durante l'esecuzione dei lavori si verifichi una piena con un colmo di portata superiore alla capacità di deflusso della sezione adottata; ciò comporterebbe un allagamento del cantiere nella migliore delle ipotesi.

In relazione al tempo di ritorno della piena di progetto il criterio da utilizzare è che la probabilità che tale piena venga raggiunta o superata nel periodo di realizzazione dell'opera non sia superiore alla probabilità che tale portata venga raggiunta o superata durante l'intera vita utile dell'opera.

Tale definizione richiama il concetto di "rischio idraulico". Il rischio idraulico, all'interno dell'orizzonte temporale stabilito, è espresso come segue:

$$R_i = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^N$$

in cui

- $R_i$  = rischio idraulico, inteso come probabilità di non superamento;
- $T_R$  = tempo di ritorno dell'evento di riferimento (anni);
- $N$  = orizzonte temporale di riferimento (anni).

Con riferimento alla classificazione contenuta nelle "Norme tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14.01.2008), per l'opera in progetto è stata imposta una vita utile pari a 100 anni (per *vita utile nominale di un'opera strutturale si intende il numero di anni nel quale la struttura deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata*).

Le prescrizioni ferroviarie, come anzidetto, prevedono che la verifica idraulica sia condotta per un tempo di ritorno pari a 300 anni; in definitiva, il rischio idraulico risulta essere pari a  $R_i = 0.284$ . Imponendo per le opere provvisionali lo stesso rischio idraulico definito per l'opera finita, è



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

possibile determinare il tempo di ritorno dell'evento di piena di riferimento per la fase transitoria di cantiere tramite la seguente formula:

$$T_{pr} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^{\frac{N}{C}}}$$

nella quale:

- C = durata di costruzione (anni);
- N = durata dell'opera (anni);
- T<sub>R</sub> = tempo di ritorno di progetto (anni).

Il periodo in cui si avrà un'interferenza delle aree di cantiere con l'alveo attivo del corso d'acqua in esame è stato stimato pari a 6 mesi; si ricava, dunque, un tempo di ritorno dell'evento di piena di cantiere pari a T<sub>R</sub> = 2.05 anni.

Con riferimento alla relazione idrologica (elaborato IF0H02D09RIID0001001A), il valore di  $\mu(Q)$  è pari a 757 m<sup>3</sup>/s; il coefficiente di crescita associato ad un tempo di ritorno di 2,05 anni è pari a K<sub>T</sub> = 0,88, da cui: Q<sub>T=2.05anni</sub> = 670 m<sup>3</sup> / s .

La portata adottata per lo scenario di cantiere è stata implementata in un modello di calcolo monodimensionale a moto permanente, il noto HEC-RAS<sup>1</sup> ver. 5.0.3 del settembre 2016, per determinare i corrispondenti livelli idrici di riferimento, utilizzati per dimensionare le opere provvisorie necessarie alla realizzazione delle fondazioni delle pile di scavalco dei viadotti in progetto. La seguente tabella riporta i livelli idrici calcolati.

Opera	Livello idrico [m s.l.m.]
VI05	36,91
VI20	75,34
VI21	78,79

Tab. 3: livelli idrici di cantiere

<sup>1</sup> Hydrologic Engineering Center – River Analysis System, U.S. Army Corps of Engineers

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV A

## 5. **MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE**

### 5.1 **Generalità**

La modellazione del comportamento idrodinamico delle acque del fiume Calore e del fiume Volturno è stata sviluppata, per il tratto limitato all'area in esame, mediante un modello di calcolo bidimensionale ai volumi finiti.

Il software utilizzato per l'implementazione del modello è InfoWorks ICM sviluppato dalla software house Innovyze con sede a Wallingford nel Regno Unito. La modellazione bidimensionale del corso d'acqua permette di rappresentare con accuratezza il flusso generato dalle portate di piena all'interno dell'asta fluviale e nelle aree ripariali attigue con la peculiarità di mettere in evidenza il comportamento della corrente in prossimità di bruschi restringimenti/allargamenti e forti curvature. E' inoltre possibile valutare con un elevato grado di dettaglio gli effetti sulla propagazione del moto in prossimità di attraversamenti o di eventuali interferenze presenti lungo lo sviluppo del tratto fluviale verso valle.

Le simulazioni sono state eseguite fino al raggiungimento della condizione stazionaria della soluzione, coerentemente a quanto fatto nello studio idraulico dell' Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno.

L'analisi idraulica stazionaria, detta anche a moto permanente, è comunque a favore di sicurezza rispetto a quella a moto vario. Infatti, nelle simulazioni a moto permanente si immettono portate costanti, fino al raggiungimento di valori di velocità e livello invarianti nel tempo, condizione che comporta l'occupazione di tutte le possibili aree potenzialmente allagabili, dati i livelli idrometrici calcolati. Nelle simulazioni a moto vario, invece, si immettono nel dominio di calcolo volumi di piena finiti, sottesi dagli idrogrammi di piena, ne segue che i livelli idrici e l'estensione delle aree allagate sono sicuramente minori od uguali a quelli individuati in moto permanente, dove i volumi idrici a disposizione sono potenzialmente infiniti.

### 5.2 **Il modello numerico**

Il modello numerico utilizzato per valutare il campo di moto è basato nella procedura descritta da Alcrudo and Mullet-Marti (2005), Urban inundation models based upon the Shallow Water Equations. La rappresentazione bidimensionale del moto si basa sulla risoluzione delle shallow water equations (o SWE). Le ipotesi alla base per la soluzione delle SWE sono che il

flusso sia orizzontale e che la variazione della velocità nella verticale rispetto alla direzione del moto sia trascurabile. Inoltre le equazioni sono sviluppate accettando a priori l'ipotesi di idrostaticità del gradiente delle pressioni lungo la direzione verticale. La formulazione delle SWE utilizzate nel software InfoWorks ICM è riassunta di seguito:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = q_{1D}$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( hu^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D}u_{1d}$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( hv^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial x} = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D}v_{1d}$$

I termini citati rappresentano rispettivamente:

h il tirante idrico della corrente

u e v rispettivamente le componenti della velocità lungo le direzioni x ed y

t il tempo

g l'accelerazione di gravità

$S_{0,x}$   $S_{0,y}$  le componenti dovute alle tensioni tangenziali al fondo, rispettivamente in direzione x e y

$S_{f,x}$   $S_{f,y}$  le componenti dovute alla pendenza del fondo, rispettivamente in direzione x e y

$q_{1D}$  è la portata immessa per unità di superficie

$u_{1d}$  e  $v_{1d}$  sono le componenti di velocità relative alla portata immessa rispettivamente in direzione x e y.

In InfoWorks ICM il contributo degli effetti turbolenti viene considerato limitatamente alla turbolenza localizzata alla parete (wall friction), mentre gli effetti turbolenti legati alle fluttuazioni di velocità nelle regioni più interne del fluido vengono trascurate. In genere si ingloba quest'ultimo effetto dissipativo nel termine che rappresenta la dissipazione localizzazione alla parete.

La formulazione conservativa delle SWE è essenziale al fine di preservare la massa e la quantità di moto. Questo tipo di formulazione permette di rappresentare le discontinuità nel flusso e i

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

cambiamenti tra moto gradualmente e rapidamente vario (gradually varied flow e rapidly varied flow).

Le SWE, applicate in forma conservativa, sono discretizzate usando lo schema esplicito di primo ordine ai volumi finiti. Gli schemi ai volumi finiti utilizzano volumi di controllo per rappresentare le aree di interesse. Il dominio di calcolo è suddiviso in forme geometriche in grado di interpretare le caratteristiche peculiari del campo di moto stesso sulle quali vengono integrate le SWE. Lo schema che risolve le SWE è basato sullo schema numerico di Gudonov con i flussi numerici attraverso i contorni dei volumi di controllo calcolati. La metodologia secondo i volumi finiti è considerata essere vantaggiosa in termini di flessibilità della geometria e semplicità concettuale.

Per ciascun elemento di calcolo il timestep richiesto è calcolato utilizzando le condizioni di Courant-Friedrichs-Lewy al fine di raggiungere la stabilità numerica. La formulazione della condizione di Courant-Friedrichs-Lewy è la seguente:

$$c \frac{\Delta x}{\Delta t} \leq 1$$

dove: c è il numero di Courant (il valore di default è 0.95)

InfoWorks ICM utilizza mesh non strutturate per rappresentare il dominio di calcolo bidimensionale.

### 5.3 La geometria del modello

Le caratteristiche geometriche dell'area di interesse (in seguito definita *dominio di calcolo*) sono riportate all'interno del modello idraulico tramite una rappresentazione semplificata del territorio ad elementi generalmente poligonali, nota come mesh. La mesh di calcolo possiede una risoluzione variabile spazialmente tale per cui l'andamento piano altimetrico del territorio è riprodotto con un livello di accuratezza adeguato a rappresentare il corso d'acqua, alvei e golene, sia i canali secondari e le aree ripariali potenzialmente allagabili.

In Figura 5-1: Inquadramento territoriale dell'area modellata, linea ferroviaria esistente e di progetto. Figura 5-1 è riportata l'estensione del dominio di calcolo delimitato da un poligono di colore giallo.



Figura 5-1: Inquadramento territoriale dell'area modellata, linea ferroviaria esistente e di progetto.

Esso si estende su una superficie di circa 30 km<sup>2</sup> e contiene al suo interno un tratto dell'asta del fiume Calore e un tratto del Volturno.

All'interno del dominio di calcolo il fiume Calore si sviluppa, in modo sinuoso, per una lunghezza di circa 30 km. La sezione di chiusura di monte è sita all'interno del comune di Torrecuso, poco a monte dell'attraversamento della SS 372 (Qin Calore, Figura 5-1).

Il tratto modellato del fiume Volturno ha un'estensione di circa 6 km. Il tratto di Volturno che va dalla sezione di chiusura di monte (Qin Voltorno, Figura 5-1) all'intersezione con il Calore ha una lunghezza di circa 2 km.

Il modello è chiuso in corrispondenza della sezione Qout Voltorno, posizionata lungo il fiume Calore, all'interno del comune di Castel Campagnano.

Parallelamente all'asse del fiume Calore si sviluppa la linea ferroviaria esistente (linea rossa tratteggiata, Figura 5-1) e il tracciato della linea ferroviaria di progetto (linea verde in Figura 5-1).

Nello stato attuale, in una sezione fluviale posta a circa 1.2 km a monte del nodo Calore-Volturno è posizionato uno degli attraversamenti ferroviari principali. All'interno dell'area oggetto di indagine la viabilità stradale esistente interseca l'asse del fiume Calore in altri 8 punti, in corrispondenza dei quali sono collocate 8 opere di attraversamento. Il modello numerico contiene al suo interno la rappresentazione di tutti i 9 ponti esistenti, la cui geometria è stata dedotta da dei rilievi topografici di dettaglio.



L'andamento piano altimetrico del dominio di calcolo è basato sull'utilizzo di un DTM ottenuto attraverso un rilievo LIDAR effettuato dal Ministero dell'Ambiente, la cui risoluzione è dell'ordine del metro. Le risoluzioni del DTM sono adeguate a rappresentarne le caratteristiche piano altimetriche delle aree fuori alveo. In Figura 5-2 è rappresentata l'estrapolazione tridimensionale della mappa altimetrica dell'area sopra descritta. In questa figura il dominio di calcolo è rappresentato da un poligono arancione. Sempre in Figura 5-2 è evidenziato un ingrandimento di una porzione del DTM in cui è possibile apprezzare il livello di dettaglio molto elevato.

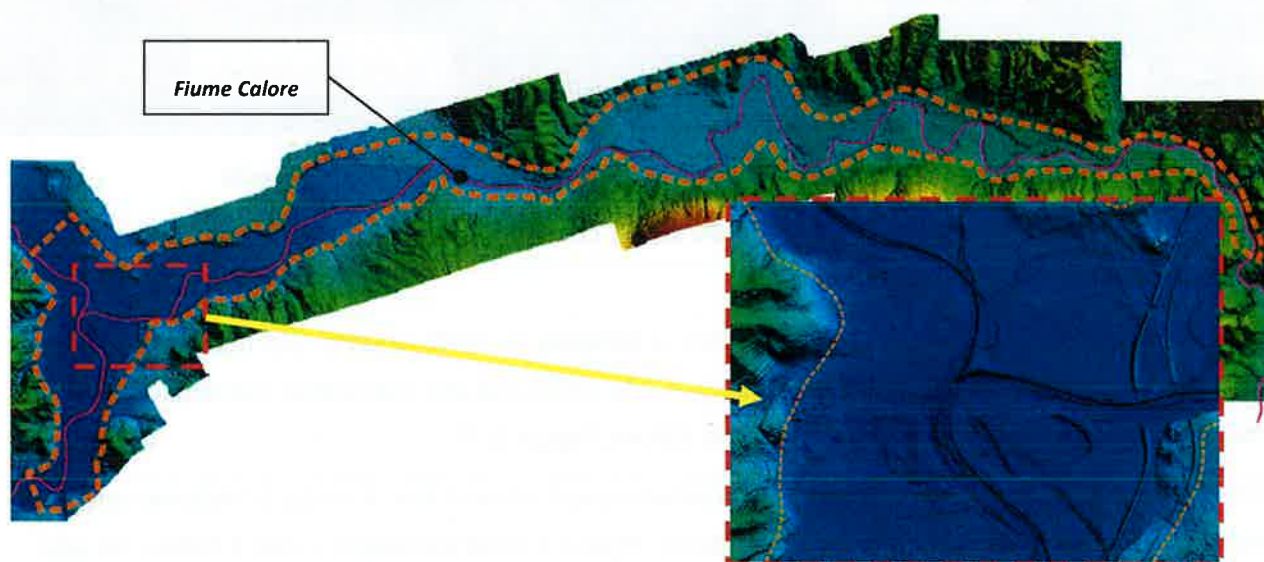


Figura 5-2: DTM di riferimento.

Per una rappresentazione geometrica accurata dell'alveo di magra dei fiumi Calore e Volturno è stato necessario inserire all'interno del modello numerico una superficie interpolata che rappresenta in modo semplificato il fondo alveo dei due fiumi. Tale superficie è stata ottenuta a partire dal rilievo di 101 sezioni fluviali (94 per il Calore 7 per il Volturno), distribuite uniformemente lungo i due corsi d'acqua.

La mesh di calcolo, rappresentata in Figura 5-3, è costituita da circa 660'000 elementi. La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 100 m<sup>2</sup> e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un area

di  $10 \text{ m}^2$ . L'alveo di magra dei due corsi d'acqua è stato rappresentato con un elevato grado di dettaglio, con elementi di dimensioni medie di circa  $15\text{-}20 \text{ m}^2$ .

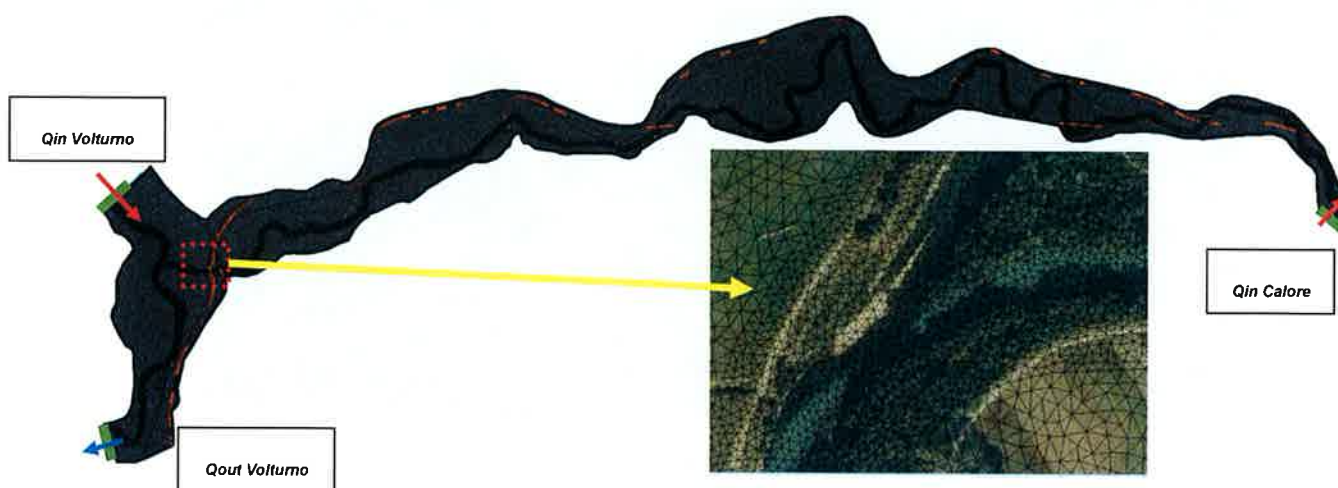


Figura 5-3: Mesh di calcolo

In Figura 5-3 sono evidenziate le posizioni delle due sezioni di chiusura di monte, ( $Q_{in}$  Calore e  $Q_{out}$  Calore) attraverso le quali vengo immesse le rispettive portate di piena. La sezione  $Q_{out}$  Volturmo identifica la sezione di chiusura di valle, sulla quale è stata impostata una condizione di moto uniforme.

Nel presente studio sono state sviluppate due mesh di calcolo, una per la configurazione geometrica dello stato di fatto e una per quella di progetto. Quest'ultima contiene con elevato grado di dettaglio le varie opere progettuali, quali viadotti e rilevati ferroviari; in Figura 5-4 è riportato un particolare della mesh in corrispondenza di uno degli attraversamenti.

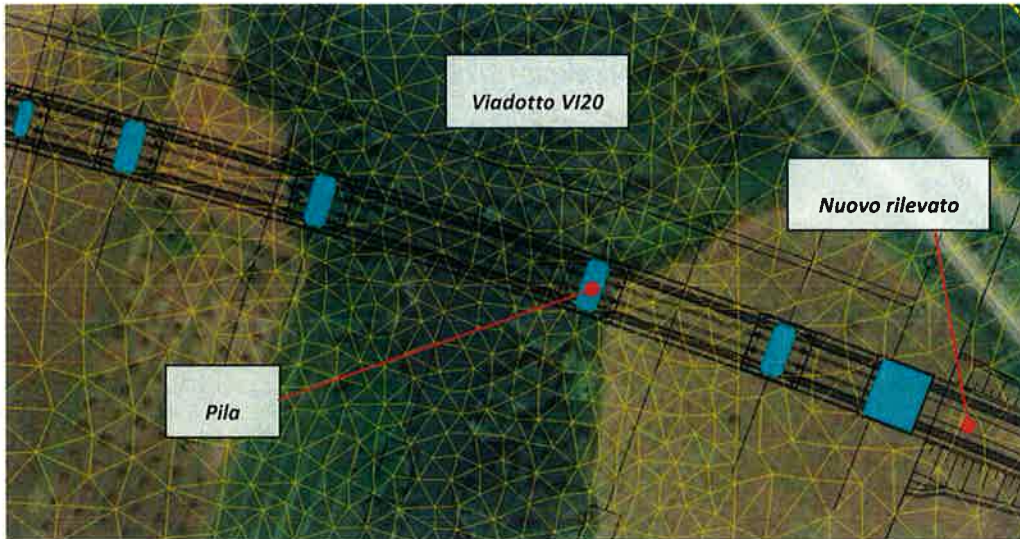


Figura 5-4: Dettaglio della mesh in corrispondenza di uno degli attraversamenti di progetto

#### 5.4 Definizione delle scabrezze del modello

La scabrezza delle superfici costituisce uno dei parametri fondamentali per una corretta impostazione del modello numerico. Nella presente analisi è stato adottato un coefficiente di scabrezza secondo Manning pari a  $0.0285 \text{ s/m}^{1/3}$  per l'alveo di magra e  $0.033 \text{ s/m}^{1/3}$  per le aree golenali. Tali valori sono stati assegnati dopo un'accurata analisi delle ortofoto disponibili e basandosi sui dati della letteratura specialistica, si veda ad esempio quanto indicato in "Open-Channel Hydraulics" da Ven Te Chow.

I parametri adottati sono prossimi a quelli impiegati per le analisi idrauliche propedeutiche alla stesura del P.S.D.A. del bacino del Volturno, nel quale sono state sviluppate delle modellazioni numeriche di tipo monodimensionale in condizioni di moto permanente, attribuendo un unico coefficiente di scabrezza pari a  $0.033 \text{ s/m}^{1/3}$  per alveo e aree golenali.

## 6. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

### 6.1 Criteri di presentazione dei risultati

I risultati delle simulazioni numeriche sono riportati negli elaborati grafici allegati come planimetrie delle aree di esondazione e delle velocità. In tali elaborati sono rappresentati i livelli e le velocità

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

ricavati dalla simulazioni numeriche per portate di piena caratterizzate da tempi di ritorno di 30, 100, 200 e 300 anni. In tali elaborati sono esposti i risultati ottenuti adottando le due configurazioni geometriche preventivate, stato di fatto e stato di progetto.

Le diverse normative – regolamenti, richiedono di eseguire le verifiche delle opere per i tempi di ritorno 100 200 o 300 anni, in particolare:

Normativa	TR richiesto per le verifiche
NTC 2008	≥ 200 anni
NA - PSDA Volturno	≥ 100 anni
Manuale Italferr	300 anni (*)

Tab. 4 – Tempi di ritorno richiesti per le verifiche idrauliche

(\*) Il tempo di ritorno TR 300 anni, per corsi d'acqua i cui bacini idrografici superano i 10 km<sup>2</sup> di estensione, come nel caso del fiume Calore.

## 6.2 Simulazioni Ante Operam

Le immagini seguenti rappresentano il confronto tra i risultati ottenuti dal modello in termini di estensione delle aree allagate per un tempo di ritorno pari a 100 anni e le fasce di pericolosità dedotte dal P.S.D.A.

Si riporta di seguito un estratto della Relazione del PSDA esplicitativa del criterio di delimitazione delle fasce fluviali:

“Il PSDA considera la regolamentazione d’uso delle aree inondabili come un mezzo essenziale di prevenzione delle conseguenze negative delle calamità. Di norma tale programmazione è rivolta al mantenimento del livello di sicurezza esistente, evitando un ulteriore sviluppo del territorio a rischio.

Le prescrizioni e i vincoli territoriali sono differenziati per le diverse fasce fluviali: la fascia di pertinenza idraulica, cioè la fascia prettamente idraulica, è stata allargata rispetto all’alveo di piena ordinaria previsto dalla vecchia normativa, salvaguardando le fasce di rispetto delle piane golenali.

La Fascia A, quindi, viene definita come l’alveo di piena e assicura il libero deflusso della piena standard, di norma assunta a base del dimensionamento delle opere di difesa. In questo Piano si è assunta come piena standard quella corrispondente ad un periodo di ritorno pari a 100 anni.



L'allargamento dell'alveo a garanzia del libero deflusso della piena è un punto fondamentale che qualifica il PSDA come un piano coraggioso, di grande valore ambientalista.

Si è comunque voluto escludere dall'alveo di piena (fascia A) le aree in cui i tiranti idrici siano modesti, in particolare inferiore ad 1 m, garantendo nel contempo che l'alveo di piena sia capace di trasportare almeno l'80% della piena standard. In altri termini, se ai limiti dell'alveo di piena si costruisse un sistema di arginature, con franco adeguato, sarebbe assicurato il libero deflusso della piena standard con un sovrizzo del pelo libero moderato rispetto al livello di pelo libero nella situazione attuale, e tale da non aumentare significativamente i danni nell'ipotesi di collasso dell'argine.

La seconda fascia, Fascia B, comprende le aree inondabili dalla piena standard, eventualmente contenenti al loro interno sottofasce inondabili con periodo di ritorno  $T < 100$  anni. In particolare sono state considerate tre sottofasce:

- la sottofascia B1 è quella compresa tra l'alveo di piena e la linea più esterna tra la congiungente l'altezza idrica  $h=30$  cm delle piene con periodo di ritorno  $T=30$  anni e altezza idrica  $h=90$  cm delle piene con periodo di ritorno  $T=100$  anni;
- la sottofascia B2 è quella compresa fra il limite della Fascia B1 e quello dell'altezza idrica  $h=30$  cm delle piene con periodo di ritorno  $T=100$  anni;
- la sottofascia B3 è quella compresa fra il limite della Fascia B2 e quello delle piene con periodo di ritorno  $T=100$  anni.

In tale fascia dovranno essere prese adeguate misure di salvaguardia per le aree che producono un significativo effetto di laminazione (volume di invaso non trascurabile, al di sopra della sezione di uscita dei deflussi di piena)

La fascia B limita quindi nuovi insediamenti e assume un carattere di fascia fluviale di carattere naturalistico.

La Fascia inondabile della piena eccezionale, Fascia C, è quella interessata dalla piena relativa a  $T = 300$  anni o dalla piena storica nettamente superiore alla piena di progetto".

Pertanto nelle immagini seguenti i risultati del modello corrispondenti al tempo di ritorno pari a 100 anni vanno confrontati con le fasce di pericolosità B. Le figure riportano inoltre il dominio di calcolo rappresentato con una linea tratteggiata gialla e la linea esistente rappresentata da una linea arancione.



I risultati ottenuti sono sovrapponibili alle fasce pluviali delimitate dal P.S.D.A., con alcuni incrementi in alcune zone.

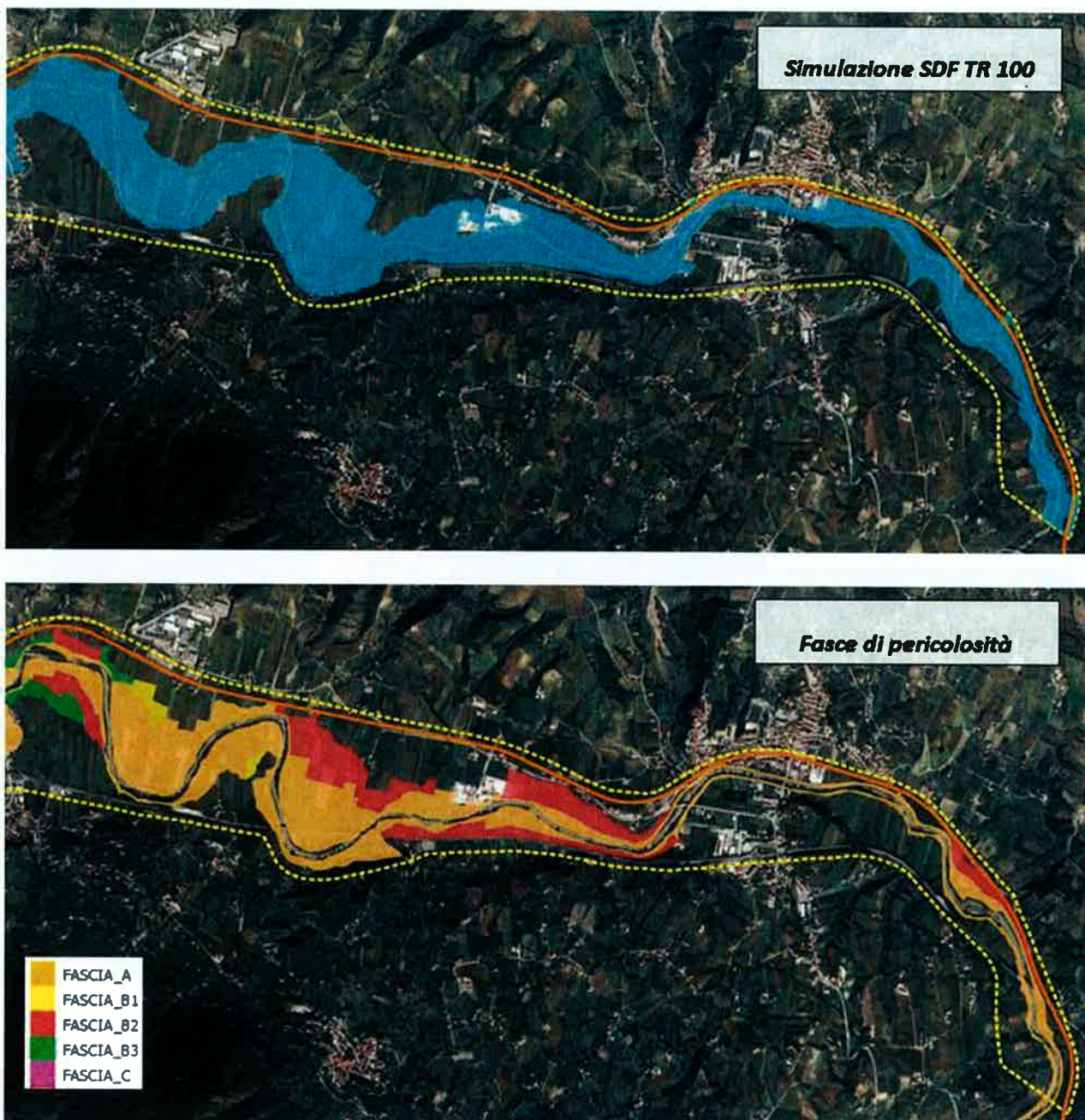


Figura 6-1: confronto tra aree allagate TR 100 anni e fasce PAI tra Torrecuso e Paupisi



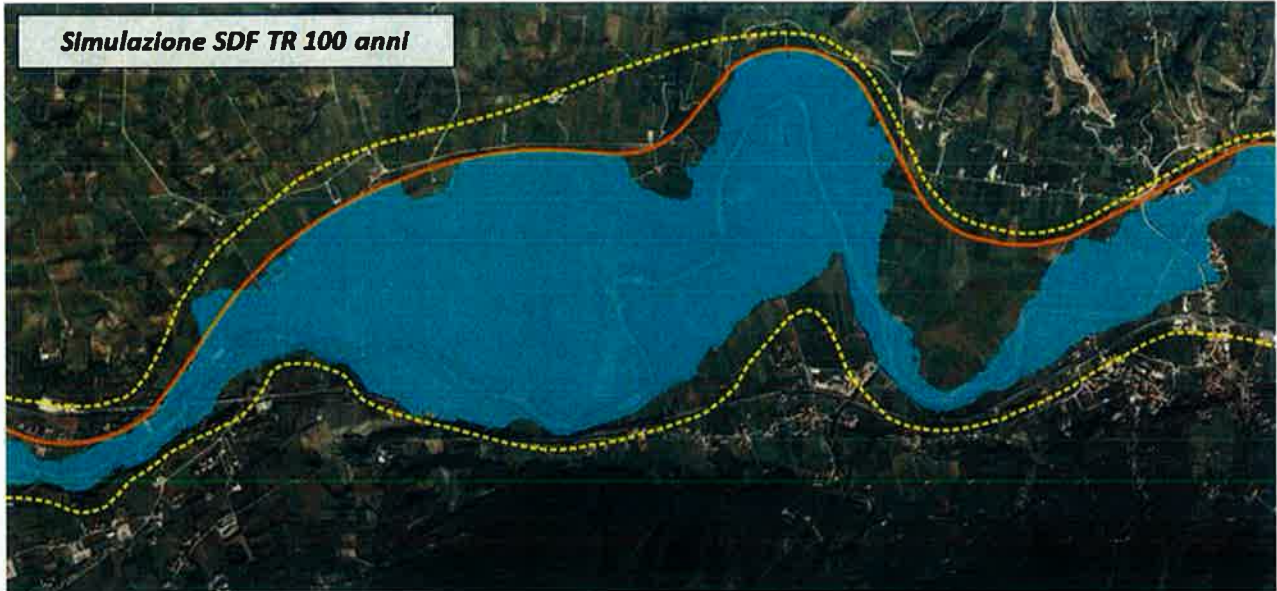


Figura 6-2: confronto tra aree allagate TR 100 anni e fasce PAI tra Solopaca e Amorisi





Figura 6-3: confronto tra aree allagate TR 100 anni e fasce PAI tra Paupisi e Solopaca

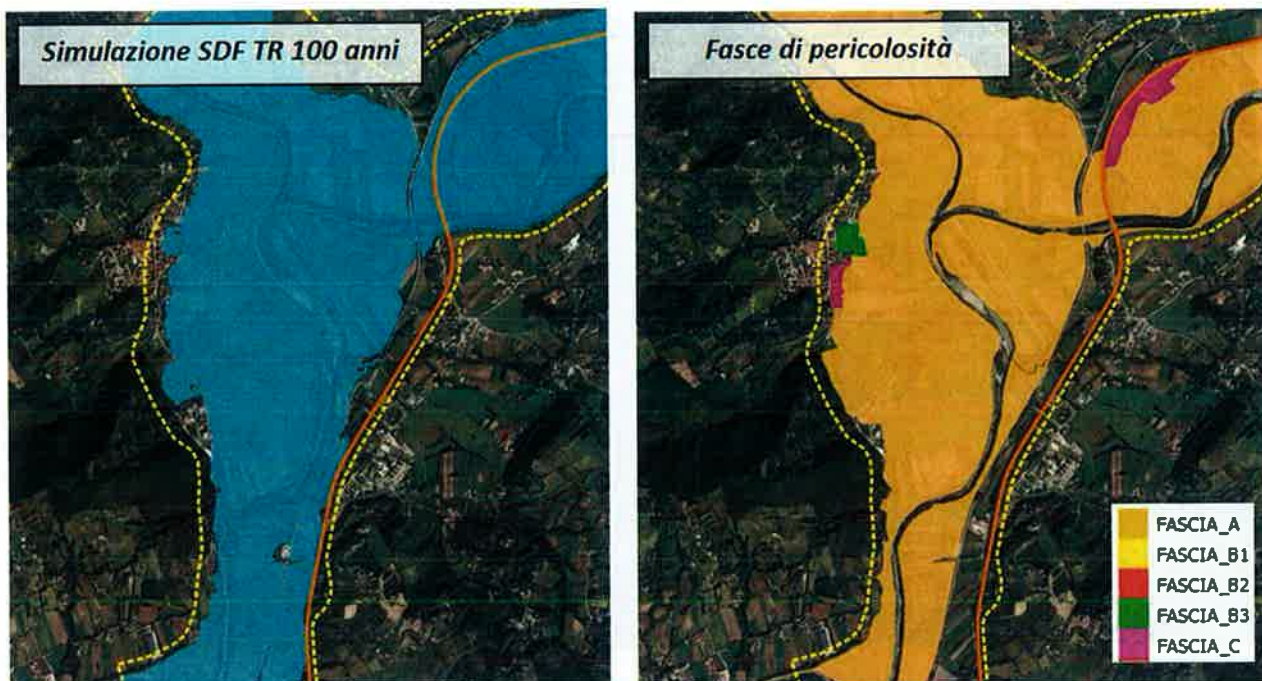


Figura 6-4: confronto tra aree allagate TR 100 anni e fasce PAI tra Amorisi e Dugenta

Le figure seguenti evidenziano il confronto tra i risultati della simulazione corrispondente al tempo di ritorno pari a 300 anni in termini di aree allagate ed alcune tavole del PSDA in cui sono rappresentate le aree allagate dall'evento di piena del 15/10/2015.

Da evidenziare come i lievi incrementi delle aree allagate rispetto alle aree di pericolosità definita dal PSDA siano comunque contenute all'interno delle superfici interessate dalla piena del 15/10/2015.



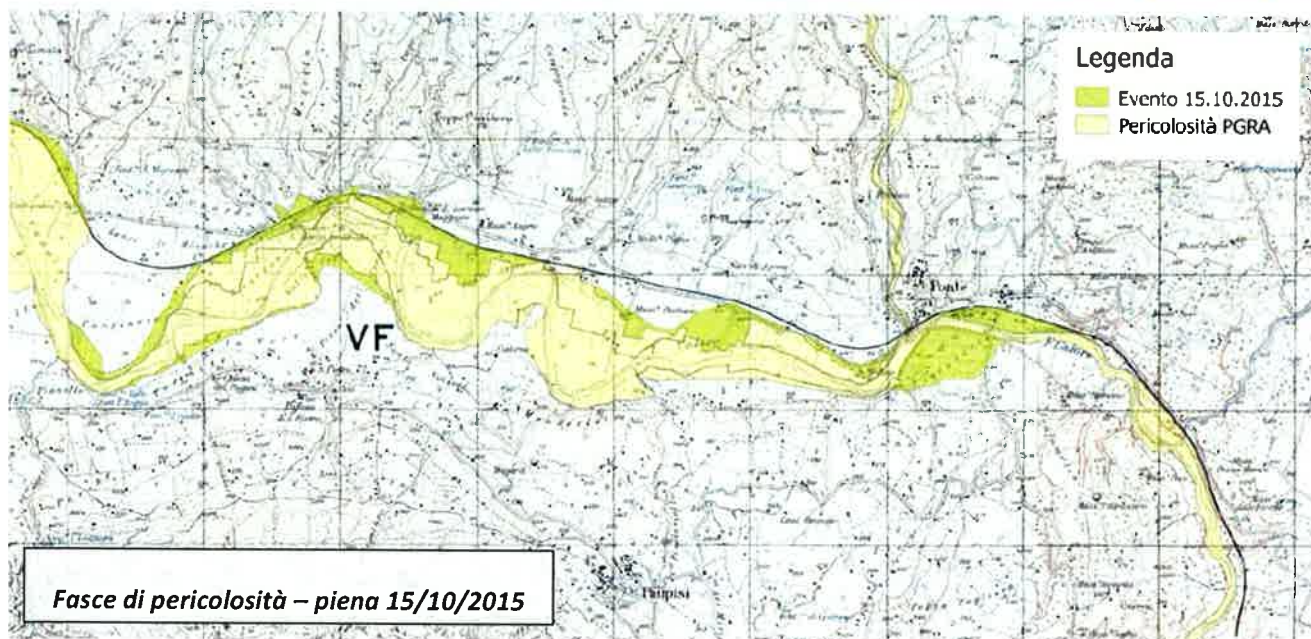


Figura 6-5: confronto tra le aree allagate piena del 15.10.2015 e risultati TR 300 anni – tratto Comune di Ponte – Confluenza Alenta



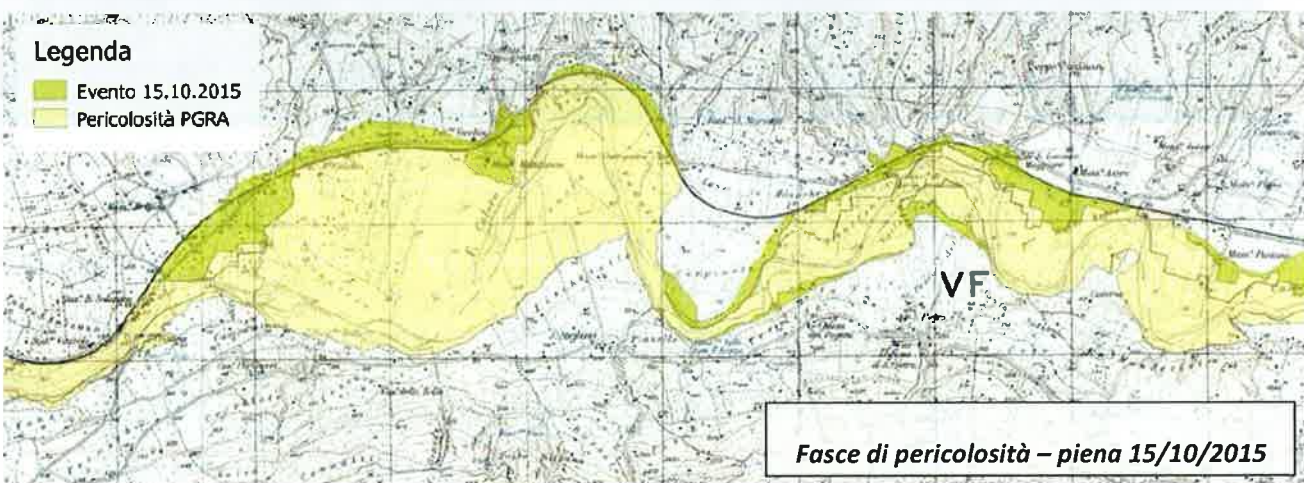


Figura 6-6: confronto tra le aree allagate piena del 15.10.2015 e risultati TR 300 anni - tratto Ponte Maria Cristina (Solopace) - Paupisi



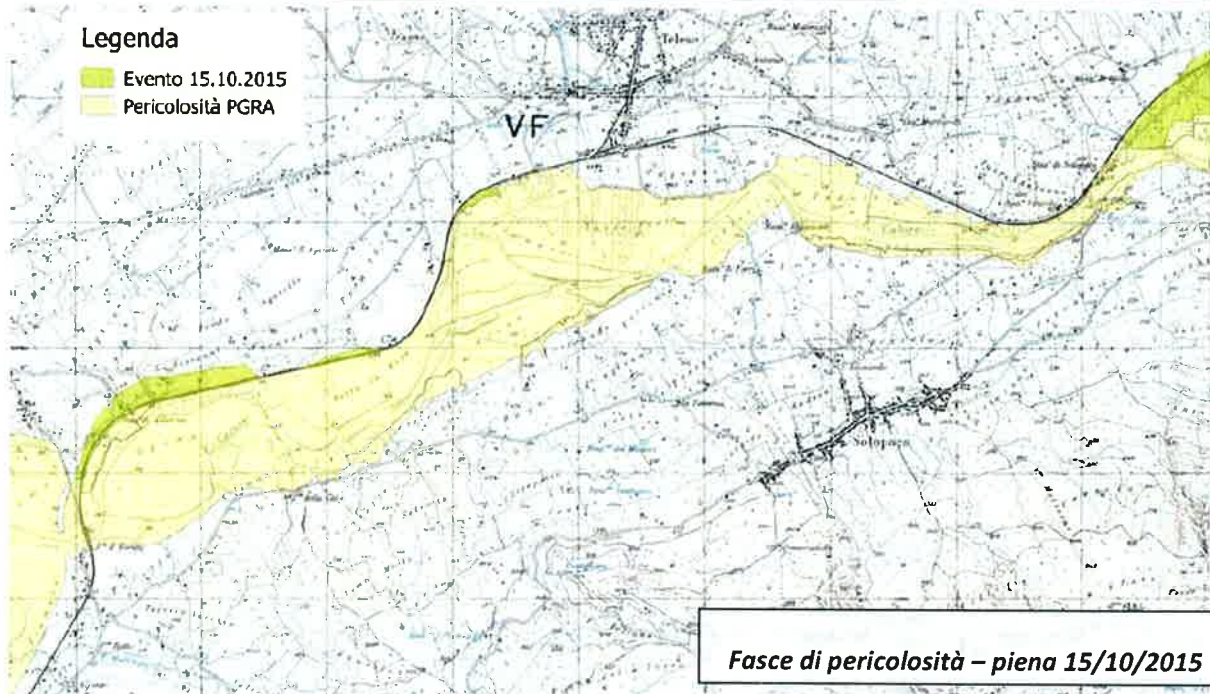


Figura 6-7: confronto tra le aree allagate piena del 15.10.2015 e risultati TR 300 anni - tratto confluenza Calore - Voltumo - Ponte Maria Cristina (Solopaca Scalo)

### 6.3 Simulazioni Post Operam

Le simulazioni post operam non hanno evidenziato sostanziali differenze rispetto allo stato di fatto e limitate solo all'intorno dei viadotti di progetto.

Si rimanda agli elaborati grafici di progetto per maggiori dettagli.

La tabella seguente riporta per i 3 viadotti di progetto un'analisi del massimo livello idrico in una sezione immediatamente a monte dell'opera.

TR	Livello	Livello	Livello	Livello	Livello	Livello
	SDF VI05 [m smm]	SDP VI05 [m smm]	SDF VI20 [m smm]	SDP VI20 [m smm]	SDF VI21 [m smm]	SDP VI21 [m smm]
30	39.70	39.77	79.91	80.07	84.92	85.13
100	40.33	40.39	80.72	80.94	86.69	86.98
200	40.76	40.70	81.11	81.36	87.59	87.68
300	40.99	40.88	81.38	81.61	88.07	88.19

Tab. 5 – Livelli idrici in corrispondenza delle sezioni a monte dei viadotti

I dati riportati non evidenziano fenomeni di rigurgito di particolare evidenza. Con riferimento alla portata con tempo di ritorno pari a 300 anni si osserva per il viadotto VI05 un lieve miglioramento del livello idrico. Per quanto concerne il viadotto VI20 si osserva un aumento dei livelli di 23 cm per il medesimo tempo di ritorno, mentre per il viadotto VI21 un aumento di 12cm.

Le figure seguenti rappresentano una visualizzazione del campo di velocità nell'intorno dei nuovi viadotti per la situazione ante e post operam con tempo di ritorno pari a 300 anni.

La presenza dei viadotti determinano delle modifiche locali del campo di velocità limitati all'intorno delle pile. Le aree soggette ad allagamento presentano estensioni analoghe nelle due configurazioni.



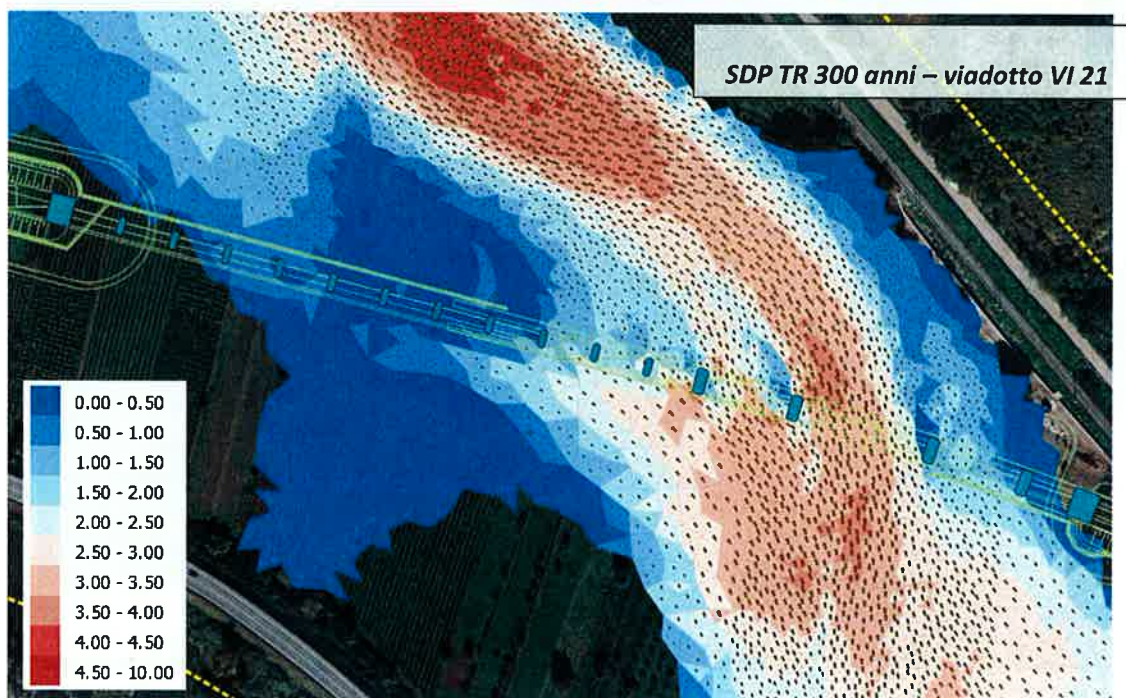
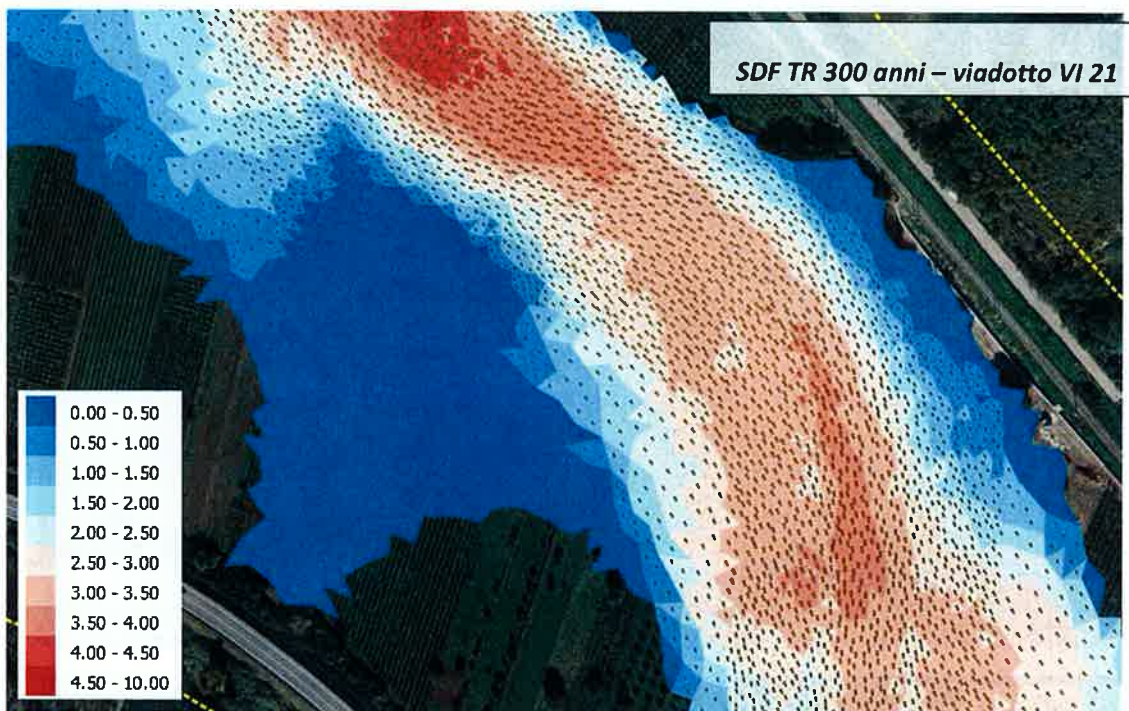


Figura 6-8: confronto tra i campi di velocità SDF e SDP – viadotto VI 21 – TR 300 anni



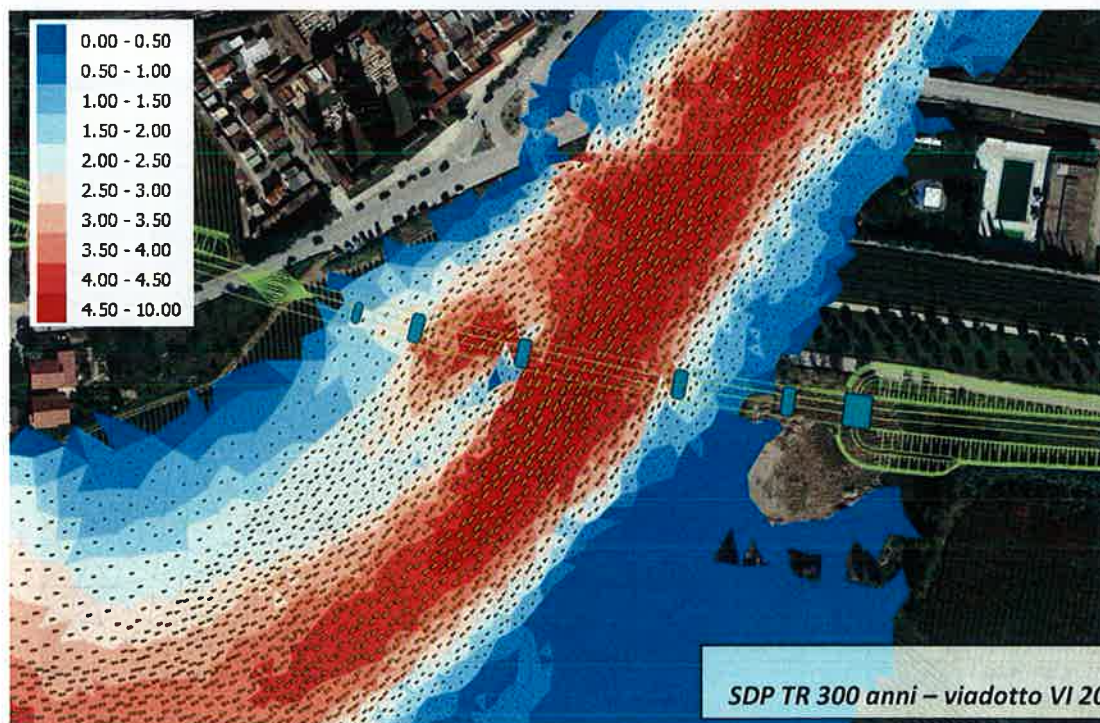
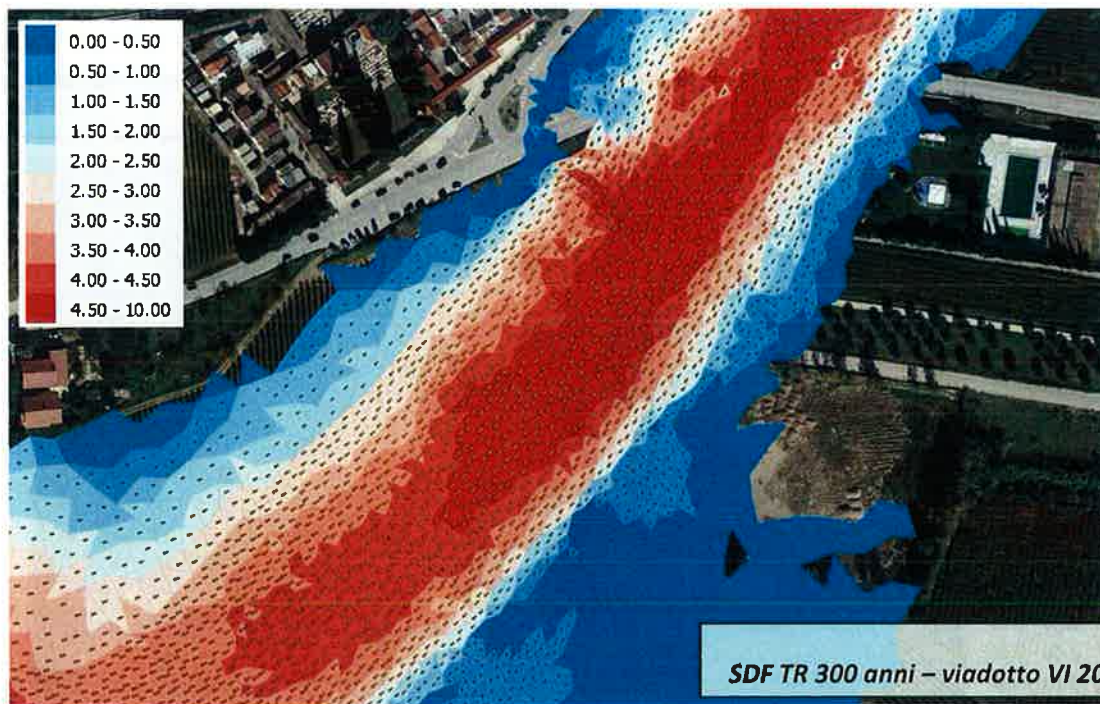


Figura 6-9: confronto tra i campi di velocità SDF e SDP – viadotto VI 20 – TR 300 anni



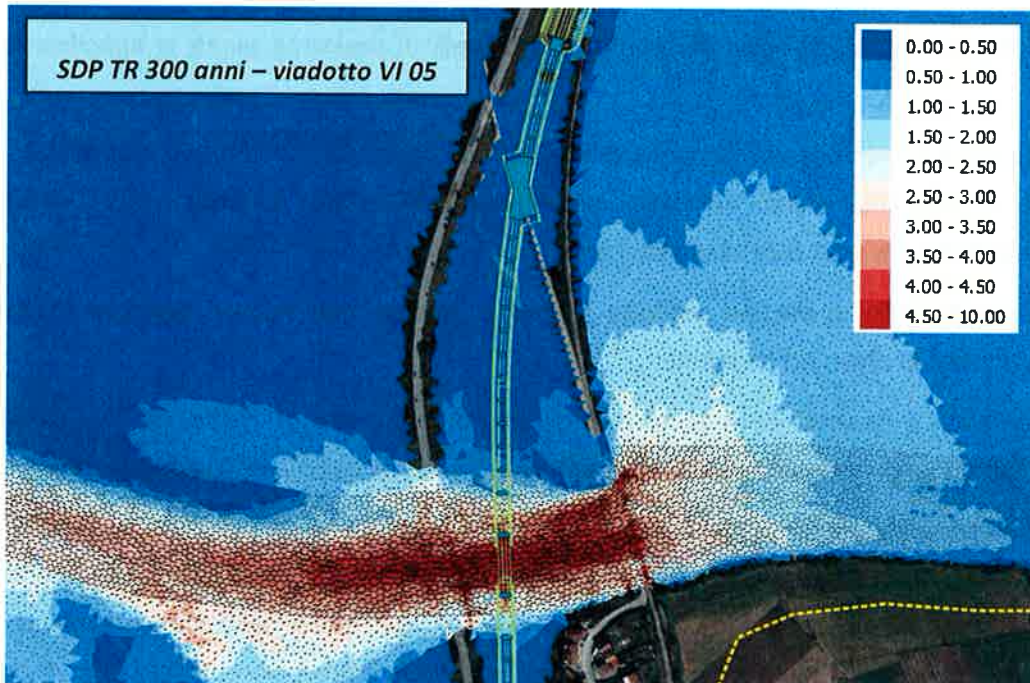
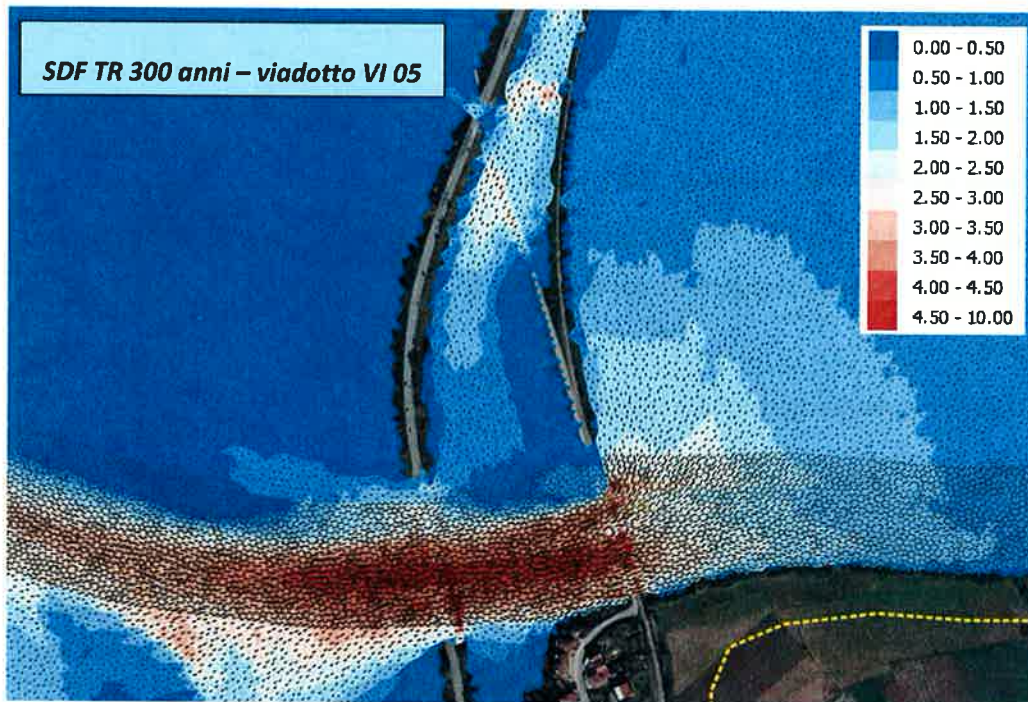


Figura 6-10: confronto tra i campi di velocità SDF e SDP – viadotto VI 05 – TR 300 anni

	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV A

## 7. VERIFICA DELLE OPERE DI PROGETTO

### 7.1 Criteri di verifica

#### 7.1.1 Verifiche previste dal manuale Italferr

Come previsto dal Manuale di Progettazione ferroviario ogni tipo di manufatto idraulico deve essere verificato utilizzando i seguenti tempi di ritorno  $T_r$ :

...omississ...

c) Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

linea ferroviaria  $T_r = 300$  anni per  $S > 10 \text{ km}^2$

linea ferroviaria  $T_r = 200$  anni per  $S < 10 \text{ km}^2$

deviazioni stradali  $T_r = 200$  anni

...omississ...

Per la verifica idraulica delle opere di attraversamento principali il manuale prevede quanto segue:

“Relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena si specifica quanto segue:

- franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena, calcolato come precedentemente descritto, pari a 0.50 m e comunque non inferiore ad 1.5 m sul livello idrico
- posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena;
- posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in golena in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo.
- Il calcolo dello scalzamento localizzato indotto dalle opere di sostegno deve essere valutato considerando le dimensioni delle pile; nel caso in cui il plinto di fondazione venga messo allo scoperto dall'erosione, le dimensioni maggiori e le forme più tozze dello stesso provocano un ulteriore scalzamento e pertanto, in tale condizione, il calcolo dell'erosione localizzata va ripetuto considerando le dimensioni del plinto invece che quelle della pila.”

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

### 7.1.2 Verifiche previste dalle N.T.C. 2008 e relativa Circolare Esplicativa

Come previsto dalla Norme Tecniche per le Costruzioni e la relativa circolare Applicativa, tutti gli attraversamenti maggiori dovranno rispettare le seguenti prescrizioni:

NTC 2008: 5.2.1.2 Compatibilità idraulica

“Quando il ponte interessa un corso d’acqua naturale o artificiale, il progetto dovrà essere corredato da una relazione idrologica e da una relazione idraulica riguardante le scelte progettuali, la costruzione e l’esercizio del ponte.

L’ampiezza e l’approfondimento della relazione e delle indagini che ne costituiscono la base saranno commisurati all’importanza del problema.

Di norma il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d’acqua attivo e, se arginato, i corpi arginali. Qualora eccezionalmente fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce minima tra pile contigue, misurata ortogonalmente al filone principale della corrente, non dovrà essere inferiore a 40 metri. Soluzioni con luci inferiori potranno essere autorizzate dall’Autorità competente, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nel caso di pile e/o spalle in alveo cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni dell’alveo e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle.

La quota idrometrica ed il franco dovranno essere posti in correlazione con la piena di progetto riferita ad un periodo di ritorno non inferiore a 200 anni.

Il franco di sottotrave e la distanza tra il fondo alveo e la quota di sottotrave dovranno essere assunte tenendo conto del trasporto solido di fondo e del trasporto di materiale galleggiante.

Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.

Circolare applicativa: C5.1.2.4 Compatibilità idraulica

Le questioni idrauliche, da trattare con ampiezza e grado di approfondimento commisurati alla natura dei problemi ed al grado di elaborazione del progetto, devono essere oggetto di apposita relazione idraulica, che farà parte integrante del progetto stesso...omissis...

La quota idrometrica ed il franco devono essere posti in correlazione con la piena di progetto anche in considerazione della tipologia dell’opera e delle situazioni ambientali.

In tal senso può ritenersi normalmente che il valore della portata massima e del relativo franco siano riferiti ad un tempo di ritorno non inferiore a **200 anni**; è di interesse stimare i valori della



	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV A

frequenza probabile di ipotetici eventi che diano luogo a riduzioni del franco stesso. Nel caso di corsi di acqua arginati, la quota di sottotrave deve essere comunque non inferiore alla quota della sommità arginale.

A titolo di indicazione, in aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1,50+2,00 m, è da raccomandare che il dislivello tra fondo e sottotrave sia non inferiore a 6+7 m quando si possa temere il transito d'alberi d'alto fusto, con l'avvertenza di prevedere valori maggiori per ponti con luci inferiori a 40 m o per ponti posti su torrenti esposti a sovralti d'alveo per deposito di materiali lapidei provenienti da monte o dai versanti.

Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco previsto deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m....omissis"

### **7.1.3 Verifiche previste dalle Norme Tecniche di attuazione del P.S.D.A. (Allegato C)**

Come previsto dalle Norme Tecniche di Attuazione gli attraversamenti idraulici devono essere verificati utilizzando i seguenti tempi di ritorno  $T_r$ :

" ....omissis ...Il valore della portata di piena da assumere per le verifiche idrauliche delle opere interferenti con la rete idrografica è fissata pari a quella con tempo di ritorno di 100 anni, salvo i casi particolari in cui sia necessario assumere un tempo superiore ovvero in cui le opere di protezione e sistemazione presenti siano dimensionate per un tempo superiore"

Relativamente alle verifiche idrauliche:

"I progetti degli attraversamenti dovranno prevedere, al fini della sicurezza delle stesse strutture, le seguenti verifiche:

- franco minimo tra quota di massima piena di progetto e quota di intradosso del ponte pari a 0.5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a 1.00 m;
- interasse minimo tra le pile adeguato a non provocare fenomeni di ostruzione;
- scalzamento massimo, in corrispondenza delle fondazioni delle pile e delle spalle, che tenga conto dello scalzamento diretto e della tendenza evolutiva dell'alveo tale da non compromettere la stabilità della struttura."

"Il progetto dei rilevati in area golenale dovrà prevedere le seguenti verifiche:

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV A

- franco minimo tra quota di massima piena di progetto e quota del piano viabile pari a 0.5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a 1.00 m;
- scalzamento massimo ammissibile al piede compatibile con la stabilità del rilevato ed eventuali opere di protezione.

Dovrà essere inoltre verificato che la presenza dell'attraversamento e/o del rilevato non provochi ostruzioni e condizionamenti delle modalità di deflusso dell'alveo di piena incompatibili con le condizioni di sicurezza dell'area circostante e con le caratteristiche delle opere di difesa esistenti.

Dovrà pertanto essere condotta la valutazione della compatibilità dei manufatti con l'assetto dell'alveo in termini di:

- effetti di restringimento dell'alveo e/o di indirizzamento della corrente;
- effetti di rigurgito a monte;
- compatibilità locale con le opere idrauliche esistenti.
- effetto di riduzione della capacità di invaso dovuto alla realizzazione dei rilevati.

## 7.2 Viadotti – verifica dei franchi e delle luci

Le tabelle seguenti riportano i franchi sul livello idrico e sul carico totale per i tempi di ritorno pari a 200 e 300 anni. Dai dati riportati si evince che i livelli idrici e sul carico totale post operam verificano le prescrizioni del manuale Italferr, delle N.T.C. 2008 e delle Norme Tecniche del P.S.D.A. precedentemente riportate.

opera	Intradosso minimo [m smm]	Livello idrico max TR200 [m smm]	Carico totale TR200 [m smm]	Carico cinetico TR 200 [m]	0.5 Carico cinetico TR 200 [m]	Franco sul livello idrico [m]	Franco sul carico totale [m]
VI 05	43.45	40.7	41.63	0.93	0.465	2.75	1.82
VI 20	85.30	81.36	82.46	1.1	0.55	3.94	2.84
VI 21	89.2	87.68	88.17	0.49	0.245	1.52	1.03

Tab. 6 – Verifica dei franchi – piena TR 200 anni

opera	Intradosso minimo [m smm]	Livello idrico max TR300 [m smm]	Carico totale TR300 [m smm]	Carico cinetico TR 300 [m]	0.5 Carico cinetico TR 300 [m]	Franco sul livello idrico [m]	Franco sul carico totale [m]
VI 05	43.45	40.89	41.92	1.03	0.515	2.56	1.53
VI 20	85.30	81.61	82.81	1.2	0.6	3.69	2.49
VI 21	89.2	88.19	88.69	0.5	0.25	1.01	0.51

Tab. 7 – Verifica dei franchi – piena TR 300 anni

Il viadotto VI05 presenta una luce centrale, in corrispondenza dell'alveo, pari a 60m, e due luci laterali di 40 m. Per quanto concerne le aree golenali la luce tra le pile è pari a 22.8 m. L'altezza dell'intradosso della campata centrale rispetto al fondo alveo è pari a 13.7m, mentre per le due luci a fianco dell'alveo in destra e sinistra idraulica è pari a 6-7m. Le dimensioni adottate sono sufficienti ad evitare l'eventuale deposito di materiali eventualmente trasportati dalla corrente.

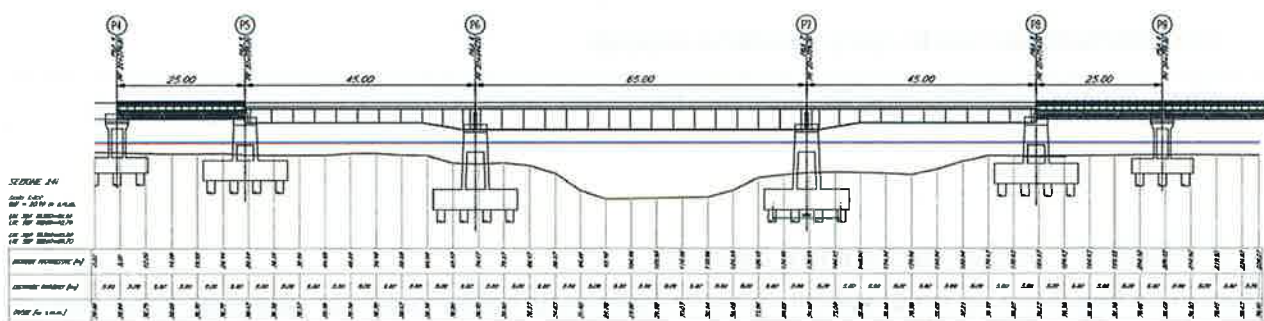


Figura 7-1: Viadotto VI 05 sezione

Il viadotto VI20 presenta una luce centrale, in corrispondenza dell'alveo, pari a 60m, e due luci laterali di 40 m. Per quanto concerne le aree golenali la luce tra le pile è pari a 22.8 m. L'altezza dell'intradosso della campata centrale rispetto al fondo alveo è pari a 16.8m, per le due luci a fianco dell'alveo in destra e sinistra idraulica è variabile tra 5 e 8m. Le dimensioni adottate sono sufficienti ad evitare l'eventuale deposito di materiali eventualmente trasportati dalla corrente.

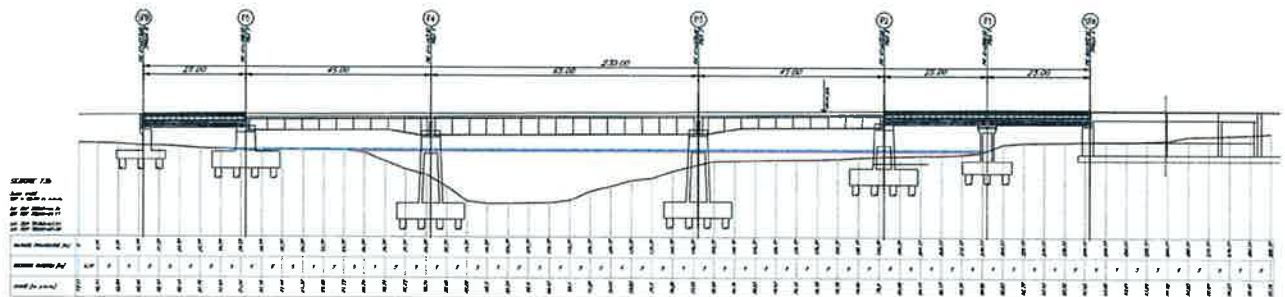


Figura 7-2: Viadotto VI 20 sezione

Analogamente ai precedenti, Il viadotto VI21 presenta una luce centrale, in corrispondenza dell'alveo, pari a 60m, e due luci laterali di 40 m. Per quanto concerne le aree golenali la luce tra le pile è pari a 22.8 m. L'altezza dell'intradosso della campata centrale rispetto al fondo alveo è pari a 15.7m, per le due luci a fianco dell'alveo in destra e sinistra idraulica è variabile tra 5 e 7.5m. Le dimensioni adottate sono sufficienti ad evitare l'eventuale deposito di materiali eventualmente trasportati dalla corrente.

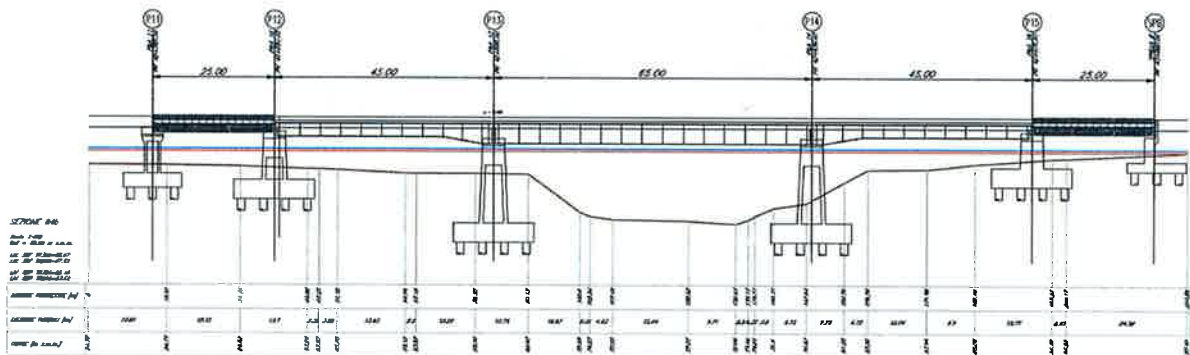


Figura 7-3: Viadotto VI 21 sezione



### 7.3 Rilevati – verifica dei franchi

In alcune zone le aree allagate lambiscono il rilevato ferroviario. Pertanto è stata effettuata una verifica sui livelli idrici forniti dal modello per un tempo di ritorno pari a 300 anni. La tabella seguente evidenzia la progressiva di verifica, la quota di progetto intesa come quota del piano del ferro, il livello idrico e il relativo franco. E' evidente come i franchi rispetto alla linea ferroviaria siano comunque sufficienti a garantire il transito ferroviario in sicurezza.

Si prevede comunque la protezione di tali rilevati fino ad un livello superiore di 0.5m rispetto al livello idrico trecentennale mediante materassi di tipo Reno.

pk	Quota di progetto [m smm]	Livello idrico TR 300 anni [m smm]	Franco sul livello idrico [m]
43+000	94.60	88.29	6.31
42+450	93.56	87.30	6.26
31+400	67.06	59.36	7.70
30+500	62.04	58.79	3.25
25+950	51.80	45.58	6.22
25+600	51.80	44.93	6.88
25+250	53.90	44.90	9.00
22+200	47.27	42.89	4.38
21+700	48.50	42.86	5.64
21+300	48.65	42.79	5.86
19+150	42.18	39.64	2.54
18+500	42.16	39.54	2.62
18+000	43.45	38.80	4.65
17+750	44.92	38.80	6.12

Tab. 8 – Verifica dei franchi – piena TR 300 anni

Le figure seguenti rappresentano le zone interessate dalla verifica precedentemente esposta.

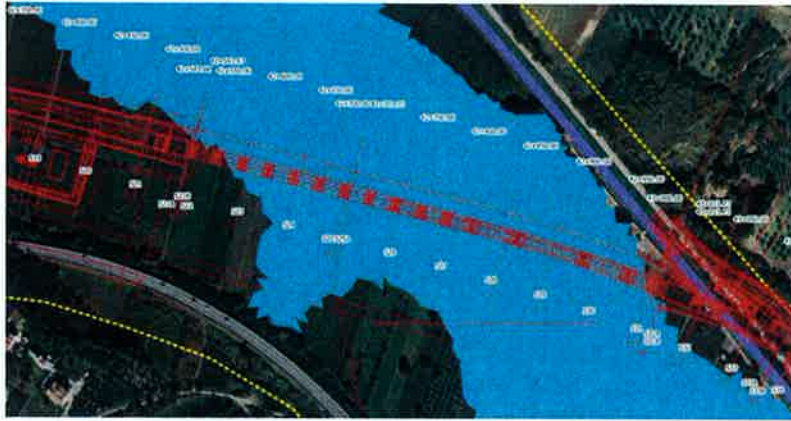


Figura 7-4: Rilevato da 42+450 e 43+000



Figura 7-5: Rilevato a 31+400

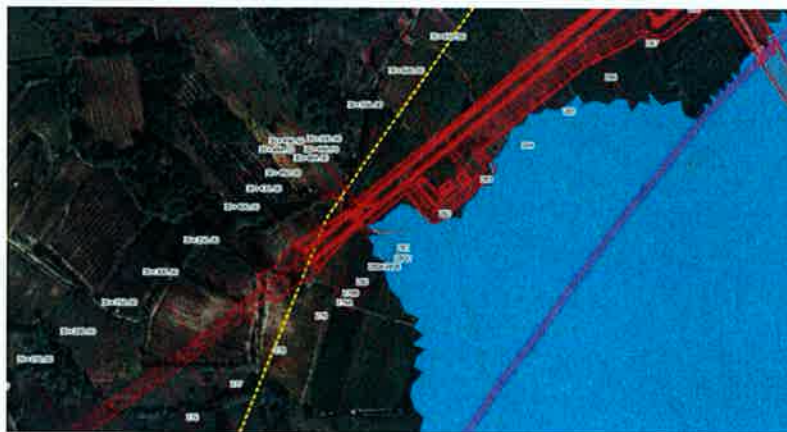


Figura 7-6: Rilevato a 30+500





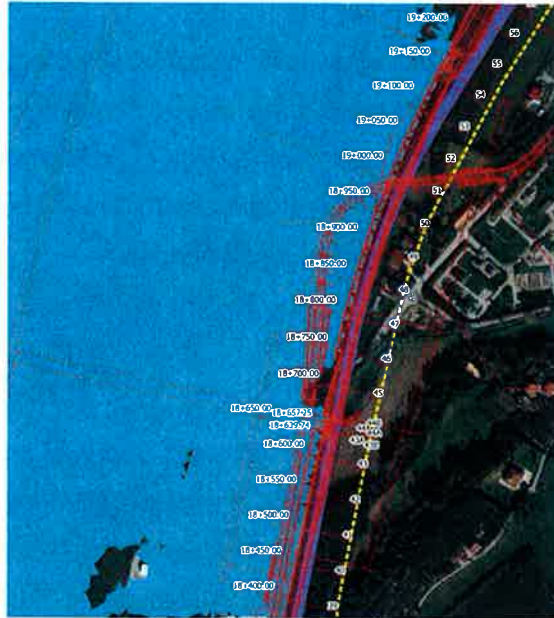


Figura 7-9: Rilevato da 18+500 a 19+150

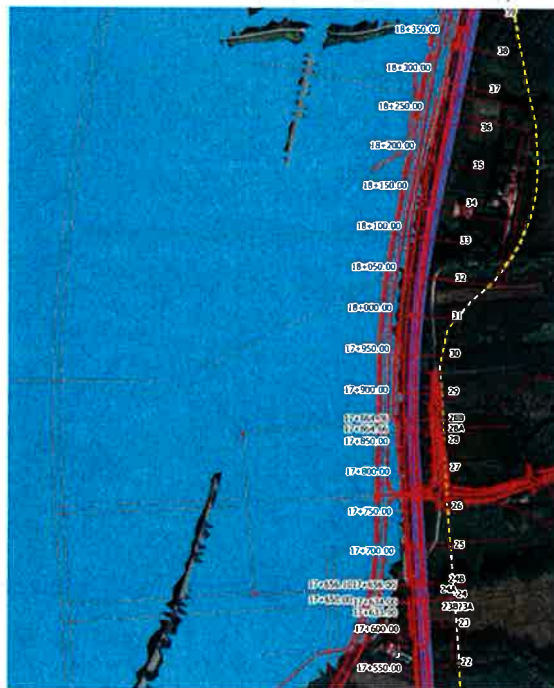


Figura 7-10: Rilevato da 17+750 a 18+000

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO – VITULANO.					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV A

#### 7.4 Determinazione dello scavo localizzato per le pile

Per la valutazione dello scalzamento prodotto dalla corrente in prossimità delle pile dei ponti, necessario a definire la quota di imposta delle fondazioni, non esiste una teoria univoca che consenta di interpretare il fenomeno nella sua complessità. Di conseguenza, per poter ottenere delle stime il più verosimili possibili, nel presente studio sono state utilizzate diverse metodologie di calcolo, di seguito riportate, mediando i singoli risultati ottenuti.

##### 7.4.1 Hec 18-CSU

L'equazione HEC-18 riportata nella monografia "Evaluating Scour at bridge - Fifth Edition" edita dalla Federal Highway Administration è basata sull'equazione CSU ed è raccomandata sia in presenza che in assenza di trasporto solido. L'equazione, di seguito riportata, calcola la massima profondità di scavo per pile semplici in canali con fondo sabbioso.

$$y_s = 2.0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \left( \frac{a}{y_1} \right)^{0.65} \cdot y_1 \cdot Fr_1^{0.43}$$

Dove:

$K_1$  fattore correttivo legato alla forma della pila;

$K_2$  fattore correttivo dipendente dall'angolo di attacco della corrente;

$K_3$  fattore correttivo legato alle condizioni del fondo;

$a$  larghezza della pila della pila [m];

$y_1$  profondità della corrente subito a monte della pila [m];

$Fr_1$  numero di Froude in corrispondenza della pila.

Per pile allineate con la corrente esistono delle limitazioni nella profondità di erosione ricavate sperimentalmente:

$$y_s \leq 2.4 \cdot a \quad \text{se } Fr_1 \leq 0.80;$$

$$y_s \leq 3 \cdot a \quad \text{se } Fr_1 \geq 0.80;$$

Le tabelle seguenti riportano invece i fattori correttivi  $K_1$  e  $K_3$  :

Forma del pila	$K_1$
Squadrata	1.10
Arrotondata	1.00
Circolare	1.00
Gruppo di pali	1.00
Triangolare	0.90

Tab. 9 – Coefficiente correttivo  $K_1$

Configurazione fondo alveo	Altezza dune (m)	$K_3$
Clear – water	-	1.10
Piatto	-	1.10
Piccole dune	$0.60 \leq H < 3.00$	1.10
Dune medie	$3.00 \leq H < 9.00$	$1.10 \div 1.20$
Dune grandi	$H \geq 9.00$	1.30

Tab. 10 – Coefficiente correttivo  $K_3$

Il coefficiente  $K_2$  è stimato attraverso l'espressione seguente:

$$K_2 = \left( \cos \theta + \frac{L}{a} \sin \theta \right)^{0.55}$$

dove L è la lunghezza della pila in direzione della corrente e  $\theta$  angolo di attacco della corrente.



RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
	IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	51 di 92

Se  $\frac{L}{a} > 12$  il rapporto assume il valore massimo pari a 12.

Nel caso di pile tozze con basse profondità della corrente tale relazione può essere utilizzata introducendo un fattore correttivo inferiore all'unità.

Infatti l'applicazione delle formule usuali a casi con tiranti comparabili con la larghezza della pila fornirebbero risultati eccessivi, rispetto a quanto riscontrato nella realtà.

L'applicazione di tali fattori è vincolata al soddisfacimento delle seguenti condizioni:

- Il rapporto tra la profondità della corrente e la larghezza della pila deve essere inferiore a 0.8 ( $y/a < 0.8$ );
- Il rapporto tra la larghezza della pila e il diametro medio dei sedimenti è maggiore di 50 ( $a/d_{50} > 50$ );
- Il numero di Froude è inferiore a 1.

Il fattore correttivo da applicare all'equazione precedente può essere calcolato nel modo seguente:

$$K_w = 2.58 \cdot \left(\frac{y}{a}\right)^{0.34} \cdot F_{r1}^{0.65} \quad \text{per } V/Vc < 1$$

$$K_w = 1.0 \cdot \left(\frac{y}{a}\right)^{0.13} \cdot F_{r1}^{0.25} \quad \text{per } V/Vc > 1$$

#### 7.4.2 Fröelich equation (Fröelich, 1991)

Tale relazione esprime la profondità massima di scavo nel modo seguente:

$$y_s = 0.32 \cdot \phi \cdot B'^{0.62} \cdot y_1^{0.47} \cdot Fr_1^{0.22} \cdot d_{50}^{-0.09} + B$$

Dove:

$\phi$ , è pari a 1.30 per rostri rettangolari; 1.00 per rostri circolari; 0.70 per rostri triangolari;

$B'$ , proiezione della larghezza della pila nella direzione della corrente [m];

$y_1$ , profondità di flusso a monte della pila [m];

$B$ , larghezza della pila;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV A

### 7.4.3 Breusers equation (1977)

L'equazione di Breusers valuta la massima profondità di scavo nel modo seguente:

$$\frac{y_s}{B} = f_1\left(\frac{V_0}{V_c}\right) \cdot \left(2 \tanh\left(\frac{y_0}{B}\right)\right) \cdot f_2(forma) \cdot f_3\left(\alpha, \frac{L}{B}\right)$$

dove:

$B - L$ , larghezza e lunghezza della pila [m];

$V_0$ , velocità media della corrente indisturbata [m/s];

$V_c$ , velocità critica di trascinamento [m/s];

$\alpha$ , angolo tra la direzione della corrente indisturbata e la pila;

Il fattore  $f_1$  assume i seguenti valori:

$$f_1\left(\frac{V_0}{V_c}\right) = 0 \quad \text{per } \frac{V_0}{V_c} \leq 0.50 ;$$

$$f_1\left(\frac{V_0}{V_c}\right) = 2 \cdot \frac{V_0}{V_c} - 1 \quad \text{per } 0.50 < \frac{V_0}{V_c} \leq 1.0 ;$$

$$f_1\left(\frac{V_0}{V_c}\right) = 1 \quad \text{per } \frac{V_0}{V_c} > 1.0 ;$$

Il fattore  $f_2$  assume invece i seguenti valori:

$f_2 = 1$  per pile circolari o con fronti arrotondati;

$f_2 = 0.75$  per pile sagomate in modo da accompagnare la corrente;

$f_2 = 1.30$  per pile rettangolari;

$f_2 = 1$  per pile circolari o con fronti arrotondati;

Per la determinazione del fattore  $f_3$  si ricorre invece al grafico riportato nella figura seguente:

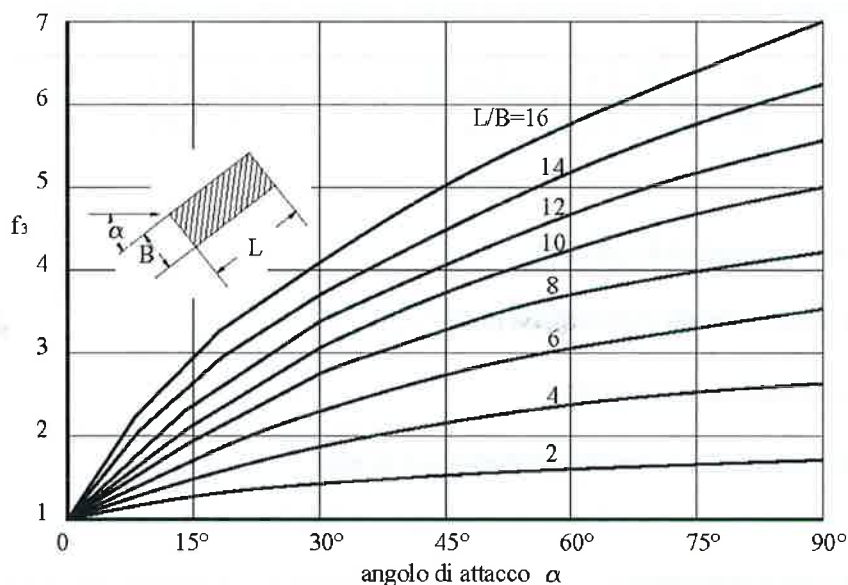


Figura 7-11: Valori coefficiente  $f_3$ .

#### 7.4.4 Equazione di Melville

L'equazione di Melville sintetizza anni di studi sperimentali riassunti nella seguente relazione:

$$y_s = K_{yB} \cdot K_l \cdot K_d \cdot K_s \cdot K_\theta$$

Dove:

$K_{yB}$  è un parametro legato alla profondità della corrente e alla dimensione della pila;

$K_l$  è un parametro legato alla velocità della corrente;

$K_d$  è un parametro legato alla dimensione dei sedimenti;

$K_s$  è un parametro legato alla forma della pila;

$K_\theta$  è un parametro legato all'angolo di incidenza della corrente.

Il parametro  $K_{yB}$  assume i seguenti valori:

$$K_{yB} = 2.4 \cdot b \quad \text{se } b/y < 0.7$$



$$K_{yB} = 2 \cdot \sqrt{b \cdot y} \quad \text{se } 0.7 < b/y < 5$$

$$K_{yB} = 4.5 \cdot y \quad \text{se } b/y > 5$$

Il parametro  $K_l$  assume i seguenti valori per sedimenti ritenibili uniformi:

$$K_l = \frac{V}{V_c} \quad \text{se } \frac{V}{V_c} < 1$$

$$K_l = 1 \quad \text{se } \frac{V}{V_c} \geq 1$$

Il parametro  $K_d$  assume i seguenti valori per sedimenti ritenibili uniformi:

$$K_d = 0.57 \cdot \log\left(2.24 \cdot \frac{B}{d_{50}}\right) \quad \text{se } \frac{B}{d_{50}} \leq 25$$

$$K_d = 1 \quad \text{se } \frac{B}{d_{50}} > 25$$

Dove:

B è la larghezza della pila

Il parametro  $K_s$  assume i valori rappresentati in tabella:

Forma del pila	$K_1$
Circolare	1.00
Arrotondata	1.00
Squadrata	1.10
Triangolare	0.90

Tab. 11 – Coefficiente correttivo  $K_1$

Il parametro  $K_\theta$  è pari a :

$$K_\theta = \left(\frac{l}{b} \cdot \sin \vartheta + \cos \vartheta\right)^{0.65}$$

Dove:

$l \cdot \sin \vartheta + b \cdot \cos \vartheta$  è la larghezza della pila perpendicolarmente alla direzione del flusso  $\vartheta$  è l'angolo di incidenza della corrente

#### 7.4.5 Escavazioni localizzate Viadotto VI05

L'analisi dell'escavazione localizzata per le pile del viadotto è stata eseguita sia per quelle in alveo che per quelle in golena che risultavano bagnate dalla piena con tempo di ritorno pari a 300 anni.

Le pile del viadotto sono di forma rettangolare con spigoli lievemente arrotondati. Le pile in golena hanno una lunghezza di 8.6 m , una larghezza di 3.3 m , mentre lo zoccolo di fondazione ha una lunghezza di 13.6 m ed una larghezza di 10 m. Le pile in prossimità dell'alveo (n.5,6,7,8) presentano invece una lunghezza di 12 m e una larghezza di 5 m , mentre lo zoccolo di fondazione ha una lunghezza di 13.6 m ed una larghezza di 13.6 m. Le pile più esterne all'alveo risultano investite da tiranti confrontabili con la loro larghezza, pertanto, come precedentemente descritto, la determinazione della profondità di escavazione è stata effettuata mediante il metodo CSU applicando il fattore correttivo inferiore all'unità per le pile tozze.

La tabella seguente riporta i dati utilizzati e i risultati ottenuti per la determinazione della massima profondità di scavo per le pile dalla n.2 alla n.5 e dalla n.8 alla n.24. La tabella riporta i valori del tirante idraulico (y), la velocità di approccio alla pila ,l'angolo di incidenza della corrente, il numero di Froude, le dimensioni della pila e del plinto di fondazione, il rapporto tra tirante e larghezza della pila y/a (necessariamente <0.8 per l'applicazione del fattore correttivo) e le massime escavazioni per la pila e per il plinto.

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Fr	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	y/a pila	y/a plinto	Scavo pila CSU ridotto [m]	Scavo plinto CSU ridotto [m]
P02	0.81	0.03	88.92	0.01	3.30	8.60	10.00	13.60	0.25	0.08	0.10	0.09
P03	1.03	0.17	39.90	0.05	3.30	8.60	10.00	13.60	0.31	0.10	1.09	1.50
P04	1.94	0.22	39.26	0.05	3.30	8.60	10.00	13.60	0.59	0.19	1.46	2.01
P05	2.53	0.68	35.45	0.14	5.10	12.00	13.60	13.60	0.50	0.19	3.78	4.71
P08	2.42	1.60	32.72	0.33	5.10	12.00	13.60	13.60	0.48	0.18	6.58	8.31
P09	2.18	0.79	61.09	0.17	3.30	8.60	10.00	13.60	0.66	0.22	3.80	4.89
P10	2.17	0.04	75.94	0.01	3.30	8.60	10.00	13.60	0.66	0.22	0.18	0.17

**RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	56 di 92

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Fr	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	y/a pila	y/a plinto	Scavo pila CSU ridotto [m]	Scavo plinto CSU ridotto [m]
P11	2.22	0.15	17.56	0.03	3.30	8.60	10.00	13.60	0.67	0.22	0.90	1.36
P12	2.22	0.25	22.45	0.05	3.30	8.60	10.00	13.60	0.67	0.22	1.39	2.06
P13	2.26	0.26	21.28	0.06	3.30	8.60	10.00	13.60	0.68	0.23	1.40	2.08
P14	2.23	0.23	8.92	0.05	3.30	8.60	10.00	13.60	0.68	0.22	1.06	1.72
P15	2.16	0.13	13.31	0.03	3.30	8.60	10.00	13.60	0.65	0.22	0.79	1.23
P16	2.08	0.08	6.68	0.02	3.30	8.60	10.00	13.60	0.63	0.21	0.47	0.78
P17	1.72	0.01	28.25	0.00	3.30	8.60	10.00	13.60	0.52	0.17	0.02	0.02
P18	1.61	0.04	27.35	0.01	3.30	8.60	10.00	13.60	0.49	0.16	0.16	0.18
P19	1.37	0.01	60.83	0.00	3.30	8.60	10.00	13.60	0.41	0.14	0.05	0.05
P20	1.37	0.01	60.83	0.00	3.30	8.60	10.00	13.60	0.41	0.14	0.05	0.05
P21	1.11	0.13	43.89	0.04	3.30	8.60	10.00	13.60	0.34	0.11	0.98	1.33
P22	1.13	0.05	88.93	0.01	3.30	8.60	10.00	13.60	0.34	0.11	0.19	0.18
P23	0.70	0.48	40.40	0.18	3.30	8.60	10.00	13.60	0.21	0.07	2.15	2.95
P24	0.08	0.23	86.69	0.26	3.30	8.60	10.00	13.60	0.02	0.01	1.02	1.20

Tab. 12: Viadotto VI05\_mmassima profondità di escavazione per pile tozze

Per le pile n.6 e n.7 la massima profondità di scavo è stata stimata come media dei risultati ottenuti applicando i metodi precedentemente descritti, ossia: CSU, Froelich, Breusers, Melville. Le tabelle seguenti riportano per ogni pila i dati idrodinamici necessari al calcolo e i risultati ottenuti sia per la pila che per il plinto di fondazione.

PILA 6		
Larghezza pila	[m]	5.1
Lunghezza pila	[m]	12
Incidenza pila-corrente	[°]	6.4
Tirante idraulico	[m]	4.62
Velocità media alveo	[m/s]	2.8
D50	[m]	0.00015
<b>RISULTATI</b>		
CSU	[m]	9.42
FROEHLICH	[m]	10.00

PLINTO 6		
Larghezza pila	[m]	13.6
Lunghezza pila	[m]	13.6
Incidenza pila-corrente	[°]	6.4
Tirante idraulico	[m]	4.62
Velocità media alveo	[m/s]	2.8
D50	[m]	0.00015
<b>RISULTATI</b>		
CSU	[m]	16.39
FROEHLICH	[m]	21.92



RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	57 di 92

BREUSERS	[m]	11.44
MELVILLE	[m]	12.38
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>10.81</b>

BREUSERS	[m]	12.72
MELVILLE	[m]	18.61
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>17.41</b>

<b>CSU</b>		
K1		1.1
L/a		2.35
K2		1.16
K3		1.1
FR		0.410

<b>CSU</b>		
K1		1.1
L/a		1.00
K2		1.07
K3		1.1
FR		0.410

<b>BREUSERS</b>		
Uc	[m/s]	0.06
U/Uc		45.01
f1		1
f2		1.3
f3		1.2
Lunghezza/larghezza		2.35

<b>BREUSERS</b>		
Uc	[m/s]	0.06
U/Uc		45.01
f1		1
f2		1.3
f3		1.1
Lunghezza/larghezza		1.00

<b>FROEHLICH</b>		
$\phi$		1.03
a'		6.4

<b>FROEHLICH</b>		
$\phi$		1.3
a'		15.0

<b>MELVILLE</b>		
KyB		9.71
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.16

<b>MELVILLE</b>		
KyB		15.85
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.07

Tab. 13: Viadotto VI05\_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.6

RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	58 di 92

PILA 7		
Larghezza pila	[m]	5.1
Lunghezza pila	[m]	12
Incidenza pila-corrente	[°]	6.3
Tirante idraulico	[m]	5.89
Velocità media alveo	[m/s]	3.57
D50	[m]	0.00015
RISULTATI		
CSU	[m]	10.86
FROEHLICH	[m]	10.76
BREUSERS	[m]	13.04
MELVILLE	[m]	13.97
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>12.16</b>

PLINTO 7		
Larghezza pila	[m]	13.6
Lunghezza pila	[m]	13.6
Incidenza pila-corrente	[°]	6.3
Tirante idraulico	[m]	5.89
Velocità media alveo	[m/s]	3.57
D50	[m]	0.00015
RISULTATI		
CSU	[m]	18.92
FROEHLICH	[m]	23.21
BREUSERS	[m]	15.88
MELVILLE	[m]	21.01
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>19.34</b>

CSU		
K1		1.1
L/a		2.35
K2		1.16
K3		1.1
FR		0.47

CSU		
K1		1.1
L/a		1.00
K2		1.07
K3		1.1
FR		0.47

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.06
U/Uc		58.28
f1		1
f2		1.3
f3		1.2
Lunghezza/larghezza		2.35

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.06
U/Uc		58.28
f1		1
f2		1.3
f3		1.1
Lunghezza/larghezza		1.00

FROEHLICH		
$\phi$		1.03
a'		6.4

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		15.0

MELVILLE		
KyB		10.97
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.16

MELVILLE		
KyB		17.91
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.07

Tab. 14: Viadotto VI05\_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.7

#### 7.4.6 Escavazioni localizzate Viadotto VI20

L'analisi dell'escavazione localizzata per le pile del viadotto è stata eseguita sia per quelle in alveo che per quelle in golena che risultavano bagnate dalla piena con tempo di ritorno pari a 300 anni.

Le pile del viadotto sono di forma rettangolare con spigoli lievemente arrotondati. Le pile in golena hanno una lunghezza di 8.6 m e una larghezza di 3.3 m , mentre lo zoccolo di fondazione ha una lunghezza di 13.6 m ed una larghezza di 10 m. Le pile in prossimità dell'alveo (n.2,3,4) presentano invece una lunghezza di 12 m ed una larghezza di 5.4 m , mentre lo zoccolo di fondazione ha una lunghezza di 13.6 m ed una larghezza di 13.6 m. Le pile più esterne all'alveo risultano investite da tiranti confrontabili con la loro larghezza, pertanto, come precedentemente descritto, la determinazione della profondità di escavazione è stata effettuata mediante il metodo CSU applicando il fattore correttivo inferiore all'unità per le pile tozze.

La tabella seguente riporta i dati utilizzati e i risultati ottenuti per la determinazione della massima profondità di scavo per le pile n.1 e n.2.. La tabella riporta i valori del tirante idraulico (y), la velocità di approccio alla pila ,l'angolo di incidenza della corrente, il numero di Froude, le dimensioni della pila e del plinto di fondazione, il rapporto tra tirante e larghezza della pila y/a (necessariamente <0.8 per l'applicazione del fattore correttivo) e le massime escavazioni per la pila e per il plinto.

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Fr	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	y/a pila	y/a plinto	Scavo pila CSU ridotto [m]	Scavo plinto CSU ridotto [m]
P01	0.90	1.51	20.61	0.51	3.30	8.60	10.00	13.60	0.27	0.09	4.03	6.01
P02	2.03	2.32	33.14	0.52	5.40	12.00	13.60	13.60	0.38	0.15	8.35	10.44

Tab. 15: Viadotto VI20\_ massima profondità di escavazione per pile tozze



Per le pile n.3 e n.4 la massima profondità di scavo è stata stimata come media dei risultati ottenuti applicando i metodi precedentemente descritti, ossia: CSU, Froelich, Breusers, Melville. Le tabelle seguenti riportano per ogni pila i dati idrodinamici necessari al calcolo e i risultati ottenuti sia per la pila che per il plinto di fondazione.

PILA 3		
Larghezza pila	[m]	5.4
Lunghezza pila	[m]	12
Incidenza pila-corrente	[°]	17
Tirante idraulico	[m]	7.2
Velocità media alveo	[m/s]	3.7
D50	[m]	0.000100
<b>RISULTATI</b>		
CSU	[m]	13.87
FROEHLICH	[m]	13.12
BREUSERS	[m]	14.68
MELVILLE	[m]	18.80
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>15.12</b>

PLINTO 3		
Larghezza pila	[m]	13.6
Lunghezza pila	[m]	13.6
Incidenza pila-corrente	[°]	17
Tirante idraulico	[m]	7.2
Velocità media alveo	[m/s]	3.7
D50	[m]	0.000100
<b>RISULTATI</b>		
CSU	[m]	21.39
FROEHLICH	[m]	25.28
BREUSERS	[m]	18.92
MELVILLE	[m]	25.26
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>22.71</b>

CSU		
K1		1.1
L/a		1.00
K2		1.16
K3		1.1
FR		0.437

CSU		
K1		1.1
L/a		1.00
K2		1.16
K3		1.1
FR		0.437

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.05
U/Uc		73.52
f1		1
f2		1.3
f3		1.2
Lunghezza/larghezza		2.22

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.05
U/Uc		73.52
f1		1
f2		1.3
f3		1.1
Lunghezza/larghezza		1.00

**RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	61 di 92

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		8.8

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		17.1

MELVILLE		
KyB		12.49
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.37

MELVILLE		
KyB		19.83
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.16

Tab. 16: Viadotto VI20\_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.3

PILA 4		
Larghezza pila	[m]	5.4
Lunghezza pila	[m]	12
Incidenza pila-corrente	[°]	26
Tirante idraulico	[m]	5.7
Velocità media alveo	[m/s]	3.0
D50	[m]	0.000100
<b>RISULTATI</b>		
CSU	[m]	13.54
FROEHLICH	[m]	12.82
BREUSERS	[m]	16.56
MELVILLE	[m]	18.35
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>15.32</b>

PLINTO 4		
Larghezza pila	[m]	13.6
Lunghezza pila	[m]	13.6
Incidenza pila-corrente	[°]	26
Tirante idraulico	[m]	5.7
Velocità media alveo	[m/s]	3.0
D50	[m]	0.000100
<b>RISULTATI</b>		
CSU	[m]	19.87
FROEHLICH	[m]	24.30
BREUSERS	[m]	17.61
MELVILLE	[m]	23.43
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>21.30</b>

CSU		
K1		1.1
L/a		2.22
K2		1.50
K3		1.1
FR		0.40

CSU		
K1		1.1
L/a		1.00
K2		1.21
K3		1.1
FR		0.40

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV A

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.05
U/Uc		60.56
f1		1
f2		1.3
f3		1.5
Lunghezza/larghezza		2.22

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.05
U/Uc		60.56
f1		1
f2		1.3
f3		1.25
Lunghezza/larghezza		1.00

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		10.1

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		18.2

MELVILLE		
KyB		11.13
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.50

MELVILLE		
KyB		17.66
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.21

Tab. 17: Viadotto VI20\_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.4

#### 7.4.7 Escavazioni localizzate Viadotto VI21

L'analisi dell'escavazione localizzata per le pile del viadotto è stata eseguita sia per quelle in alveo che per quelle in golena che risultavano bagnate dalla piena con tempo di ritorno pari a 300 anni.

Le pile del viadotto sono di forma rettangolare con spigoli lievemente arrotondati. Le pile in golena hanno una lunghezza di 8.6 m e una larghezza di 3.3 m, mentre lo zoccolo di fondazione ha una lunghezza di 13.6 m ed una larghezza di 10 m. Le pile in prossimità dell'alveo (n.12,13,14,15) presentano invece una lunghezza di 12 m ed una larghezza di 5.3 m, mentre lo zoccolo di fondazione ha una lunghezza di 13.6 m ed una larghezza di 13.6 m. Le pile più esterne all'alveo risultano investite da tiranti confrontabili con la loro larghezza, pertanto, come precedentemente descritto, la determinazione della profondità di escavazione è stata effettuata mediante il metodo CSU applicando il fattore correttivo inferiore all'unità per le pile tozze.

La tabella seguente riporta i dati utilizzati e i risultati ottenuti per la determinazione della massima profondità di scavo per le pile dalla n.1 alla n.5 e per la pila n.15. La tabella riporta i valori del tirante idraulico ( $y$ ), la velocità di approccio alla pila, l'angolo di incidenza della corrente, il numero



di Froude, le dimensioni della pila e del plinto di fondazione, il rapporto tra tirante e larghezza della pila  $y/a$  (necessariamente  $<0.8$  per l'applicazione del fattore correttivo) e le massime escavazioni per la pila e per il plinto.

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Fr	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	y/a pila	y/a plinto	Scavo pila CSU ridotto [m]	Scavo plinto CSU ridotto [m]
P01	0.07	0.14	22.45	0.17	3.30	8.60	10.00	13.60	0.02	0.01	0.58	0.85
P02	0.01	0.03	72.57	0.13	3.30	8.60	10.00	13.60	0.00	0.00	0.17	0.21
P03	0.24	0.50	51.10	0.33	3.30	8.60	10.00	13.60	0.07	0.02	2.01	2.66
P04	0.67	0.60	51.10	0.23	3.30	8.60	10.00	13.60	0.20	0.07	2.60	3.45
P05	1.73	0.44	51.10	0.11	3.30	8.60	10.00	13.60	0.53	0.17	2.40	3.19
P15	2.56	1.51	56.40	0.30	5.30	12.00	13.60	13.60	0.48	0.19	7.13	8.06

Tab. 18: Viadotto VI21\_mmassima profondità di escavazione per pile tozze

Per le pile dalla n.6 alla n.14 la stima della massima profondità di scavo è stata calcolata come media dei risultati ottenuti applicando i metodi precedentemente descritti, ossia: CSU, Froelich, Breusers, Melville. Le tabelle seguenti riportano per ogni pila i dati idrodinamici necessari al calcolo e i risultati ottenuti sia per la pila che per il plinto di fondazione.

PILA 6		
Larghezza pila	[m]	3.3
Lunghezza pila	[m]	8.6
Incidenza pila-corrente	[°]	5
Tirante idraulico	[m]	2.9
Velocità media alveo	[m/s]	0.2
D50	[m]	0.000030
<b>RISULTATI</b>		
CSU	[m]	2.20
FROEHLICH	[m]	5.36
BREUSERS	[m]	6.05
MELVILLE	[m]	7.79
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>5.35</b>

PLINTO 6		
Larghezza pila	[m]	10
Lunghezza pila	[m]	13.6
Incidenza pila-corrente	[°]	5
Tirante idraulico	[m]	2.9
Velocità media alveo	[m/s]	0.2
D50	[m]	0.000030
<b>RISULTATI</b>		
CSU	[m]	4.25
FROEHLICH	[m]	13.86
BREUSERS	[m]	7.32
MELVILLE	[m]	12.74
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>9.54</b>

**RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	64 di 92

CSU		
K1		1.1
L/a		2.61
K2		1.15
K3		1.1
FR		0.040

CSU		
K1		1.1
L/a		1.36
K2		1.08
K3		1.1
FR		0.040

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		7.85
f1		1
f2		1.3
f3		1
Lunghezza/larghezza		2.61

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		7.85
f1		1
f2		1.3
f3		1
Lunghezza/larghezza		1.36

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		4.1

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		11.2

MELVILLE		
KyB		6.18
Kl		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.15

MELVILLE		
KyB		10.76
Kl		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.08

Tab. 19: Viadotto VI21\_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.6

PILA 7		
Larghezza pila	[m]	3.3
Lunghezza pila	[m]	8.6
Incidenza pila-corrente	[°]	63
Tirante idraulico	[m]	7.1
Velocità media alveo	[m/s]	0.3
D50	[m]	0.000030

PLINTO 7		
Larghezza pila	[m]	10
Lunghezza pila	[m]	13.6
Incidenza pila-corrente	[°]	63
Tirante idraulico	[m]	7.1
Velocità media alveo	[m/s]	0.3
D50	[m]	0.000030

**RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	65 di 92

RISULTATI		
CSU	[m]	4.49
FROEHLICH	[m]	8.16
BREUSERS	[m]	16.69
MELVILLE	[m]	16.91
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>11.56</b>

RISULTATI		
CSU	[m]	6.63
FROEHLICH	[m]	17.05
BREUSERS	[m]	23.71
MELVILLE	[m]	25.77
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>18.29</b>

CSU		
K1		1.1
L/a		2.61
K2		1.94
K3		1.1
FR		0.030

CSU		
K1		1.1
L/a		1.36
K2		1.39
K3		1.1
FR		0.030

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		9.17
f1		1
f2		1.3
f3		2
Lunghezza/larghezza		2.61

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		9.17
f1		1
f2		1.3
f3		1.5
Lunghezza/larghezza		1.36

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		9.2

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		16.7

MELVILLE		
KyB		7.92
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.94

MELVILLE		
KyB		16.80
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.39

Tab. 20: Viadotto VI21\_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.7



RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	66 di 92

PILA 8		
Larghezza pila	[m]	3.3
Lunghezza pila	[m]	8.6
Incidenza pila-corrente	[°]	51
Tirante idraulico	[m]	6.1
Velocità media alveo	[m/s]	0.4
D50	[m]	0.000030
<b>RISULTATI</b>		
CSU	[m]	5.21
FROEHLICH	[m]	8.27
BREUSERS	[m]	16.33
MELVILLE	[m]	16.44
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>11.56</b>

PLINTO 8		
Larghezza pila	[m]	10
Lunghezza pila	[m]	13.6
Incidenza pila-corrente	[°]	51
Tirante idraulico	[m]	6.1
Velocità media alveo	[m/s]	0.4
D50	[m]	0.000030
<b>RISULTATI</b>		
CSU	[m]	7.97
FROEHLICH	[m]	17.45
BREUSERS	[m]	21.23
MELVILLE	[m]	24.14
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>17.70</b>

CSU		
K1		1.1
L/a		2.61
K2		1.89
K3		1.1
FR		0.051

CSU		
K1		1.1
L/a		1.36
K2		1.40
K3		1.1
FR		0.051

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		14.50
f1		1
f2		1.3
f3		2
Lunghezza/larghezza		2.61

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		14.50
f1		1
f2		1.3
f3		1.5
Lunghezza/larghezza		1.36

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		8.8

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		16.9

RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	67 di 92

MELVILLE		
KyB		7.92
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.89

MELVILLE		
KyB		15.63
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.40

Tab. 21: Viadotto VI21\_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.8

PILA 9		
Larghezza pila	[m]	3.3
Lunghezza pila	[m]	8.6
Incidenza pila-corrente	[°]	68
Tirante idraulico	[m]	3.1
Velocità media alveo	[m/s]	1.3
D50	[m]	0.000030
RISULTATI		
CSU	[m]	8.05
FROEHLICH	[m]	8.47
BREUSERS	[m]	13.89
MELVILLE	[m]	13.73
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>11.04</b>

PLINTO 9		
Larghezza pila	[m]	10
Lunghezza pila	[m]	13.6
Incidenza pila-corrente	[°]	68
Tirante idraulico	[m]	3.1
Velocità media alveo	[m/s]	1.3
D50	[m]	0.000030
RISULTATI		
CSU	[m]	11.68
FROEHLICH	[m]	17.38
BREUSERS	[m]	11.75
MELVILLE	[m]	16.87
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>14.42</b>

CSU		
K1		1.1
L/a		2.61
K2		1.95
K3		1.1
FR		0.226

CSU		
K1		1.1
L/a		1.36
K2		1.38
K3		1.1
FR		0.226

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03

RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	68 di 92

U/Uc		45.64
f1		1
f2		1.3
f3		2.2
Lunghezza/larghezza		2.61

U/Uc		45.64
f1		1
f2		1.3
f3		1.5
Lunghezza/larghezza		1.36

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		9.2

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		16.3

MELVILLE		
KyB		6.41
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.95

MELVILLE		
KyB		11.15
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.38

Tab. 22: Viadotto VI21\_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.9

PILA 10		
Larghezza pila	[m]	3.3
Lunghezza pila	[m]	8.6
Incidenza pila-corrente	[°]	63
Tirante idraulico	[m]	3.2
Velocità media alveo	[m/s]	2.2
D50	[m]	0.000030
RISULTATI		
CSU	[m]	10.27
FROEHLICH	[m]	9.21
BREUSERS	[m]	12.89
MELVILLE	[m]	13.92
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>11.57</b>

PLINTO 10		
Larghezza pila	[m]	10
Lunghezza pila	[m]	13.6
Incidenza pila-corrente	[°]	63
Tirante idraulico	[m]	3.2
Velocità media alveo	[m/s]	2.2
D50	[m]	0.000030
RISULTATI		
CSU	[m]	15.17
FROEHLICH	[m]	18.57
BREUSERS	[m]	12.14
MELVILLE	[m]	17.41
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>15.82</b>



CSU		
K1		1.1
L/a		2.61
K2		1.94
K3		1.1
FR		0.39

CSU		
K1		1.1
L/a		1.36
K2		1.39
K3		1.1
FR		0.392

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		80.4
f1		1
f2		1.3
f3		2
Lunghezza/larghezza		2.61

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		80.37
f1		1
f2		1.3
f3		1.5
Lunghezza/larghezza		1.36

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		9.2

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		16.7

MELVILLE		
KyB		6.52
Kl		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.94

MELVILLE		
KyB		11.35
Kl		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.39

Tab. 23: Viadotto VI21\_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n. 10

PILA 11		
Larghezza pila	[m]	3.3
Lunghezza pila	[m]	8.6
Incidenza pila-corrente	[°]	57
Tirante idraulico	[m]	3.4
Velocità media alveo	[m/s]	2.9
D50	[m]	0.000030

PLINTO 11		
Larghezza pila	[m]	10
Lunghezza pila	[m]	13.6
Incidenza pila-corrente	[°]	57
Tirante idraulico	[m]	3.4
Velocità media alveo	[m/s]	2.9
D50	[m]	0.000030

RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	70 di 92

RISULTATI		
CSU	[m]	11.47
FROEHLICH	[m]	9.61
BREUSERS	[m]	13.24
MELVILLE	[m]	14.11
<b>VALORE MEDIO</b>		
	[m]	<b>12.11</b>

RISULTATI		
CSU	[m]	17.24
FROEHLICH	[m]	19.31
BREUSERS	[m]	12.69
MELVILLE	[m]	17.95
<b>VALORE MEDIO</b>		
	[m]	<b>16.80</b>

CSU		
K1		1.1
L/a		2.61
K2		1.92
K3		1.1
FR		0.50

CSU		
K1		1.1
L/a		1.36
K2		1.40
K3		1.1
FR		0.499

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		104.9
f1		1
f2		1.3
f3		2
Lunghezza/larghezza		2.61

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		104.94
f1		1
f2		1.3
f3		1.5
Lunghezza/larghezza		1.36

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		9.0

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		16.9

MELVILLE		
KyB		6.68
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.92

MELVILLE		
KyB		11.62
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.40

Tab. 24: Viadotto V121\_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.11

**RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	71 di 92

<b>PILA 12</b>		
Larghezza pila	[m]	5.3
Lunghezza pila	[m]	12
Incidenza pila-corrente	[°]	63
Tirante idraulico	[m]	4.1
Velocità media alveo	[m/s]	3.1
D50	[m]	0.000030
<b>RISULTATI</b>		
CSU	[m]	15.55
FROEHLICH	[m]	13.97
BREUSERS	[m]	17.78
MELVILLE	[m]	18.39
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>16.42</b>

<b>PLINTO 12</b>		
Larghezza pila	[m]	13.6
Lunghezza pila	[m]	13.6
Incidenza pila-corrente	[°]	63
Tirante idraulico	[m]	4.1
Velocità media alveo	[m/s]	3.1
D50	[m]	0.000030
<b>RISULTATI</b>		
CSU	[m]	19.31
FROEHLICH	[m]	24.26
BREUSERS	[m]	12.32
MELVILLE	[m]	19.83
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>18.93</b>

<b>CSU</b>		
K1		1.1
L/a		2.26
K2		1.80
K3		1.1
FR		0.49

<b>CSU</b>		
K1		1.1
L/a		1.00
K2		1.21
K3		1.1
FR		0.494

<b>BREUSERS</b>		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		114.0
f1		1
f2		1.3
f3		2
Lunghezza/larghezza		2.26

<b>BREUSERS</b>		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		114.00
f1		1
f2		1.3
f3		1.2
Lunghezza/larghezza		1.00

<b>FROEHLICH</b>		
$\phi$		1.3
a'		13.1

<b>FROEHLICH</b>		
$\phi$		1.3
a'		18.3

RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	72 di 92

MELVILLE		
KyB		9.28
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
Kθ		1.80

MELVILLE		
KyB		14.87
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
Kθ		1.21

Tab. 25: Viadotto VI21\_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.12

PILA 13		
Larghezza pila	[m]	5.3
Lunghezza pila	[m]	12
Incidenza pila-corrente	[°]	47
Tirante idraulico	[m]	6.7
Velocità media alveo	[m/s]	2.7
D50	[m]	0.000030
RISULTATI		
CSU	[m]	15.01
FROEHLICH	[m]	14.96
BREUSERS	[m]	17.57
MELVILLE	[m]	22.68
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>17.55</b>

PLINTO 13		
Larghezza pila	[m]	13.6
Lunghezza pila	[m]	13.6
Incidenza pila-corrente	[°]	47
Tirante idraulico	[m]	6.7
Velocità media alveo	[m/s]	2.7
D50	[m]	0.000030
RISULTATI		
CSU	[m]	19.98
FROEHLICH	[m]	26.30
BREUSERS	[m]	19.25
MELVILLE	[m]	26.21
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>22.94</b>

CSU		
K1		1.1
L/a		2.26
K2		1.74
K3		1.1
FR		0.33

CSU		
K1		1.1
L/a		1.00
K2		1.25
K3		1.1
FR		0.332

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		98.0
f1		1
f2		1.3

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		98.01
f1		1
f2		1.3



RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	73 di 92

f3		1.5
Lunghezza/larghezza		2.26

f3		1.2
Lunghezza/larghezza		1.00

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		12.4

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		19.2

MELVILLE		
KyB		11.88
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.74

MELVILLE		
KyB		19.03
KI		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.25

Tab. 26: Viadotto VI21\_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.13

PILA 14		
Larghezza pila	[m]	5.3
Lunghezza pila	[m]	12
Incidenza pila-corrente	[°]	43
Tirante idraulico	[m]	6.4
Velocità media alveo	[m/s]	1.6
D50	[m]	0.000030
RISULTATI		
CSU	[m]	11.93
FROEHLICH	[m]	13.76
BREUSERS	[m]	17.33
MELVILLE	[m]	21.98
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>16.25</b>

PLINTO 14		
Larghezza pila	[m]	13.6
Lunghezza pila	[m]	13.6
Incidenza pila-corrente	[°]	43
Tirante idraulico	[m]	6.4
Velocità media alveo	[m/s]	1.6
D50	[m]	0.000030
RISULTATI		
CSU	[m]	16.12
FROEHLICH	[m]	24.87
BREUSERS	[m]	18.73
MELVILLE	[m]	25.80
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>[m]</b>	<b>21.38</b>

CSU		
K1		1.1

CSU		
K1		1.1

L/a		2.26
K2		1.71
K3		1.1
FR		0.21

L/a		1.00
K2		1.25
K3		1.1
FR		0.207

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		60.1
f1		1
f2		1.3
f3		1.5
Lunghezza/larghezza		2.26

BREUSERS		
Uc	[m/s]	0.03
U/Uc		60.10
f1		1
f2		1.3
f3		1.2
Lunghezza/larghezza		1.00

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		12.1

FROEHLICH		
$\phi$		1.3
a'		19.2

MELVILLE		
KyB		11.69
Kl		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.71

MELVILLE		
KyB		18.73
Kl		1
Kd		1
Ks		1.1
K $\theta$		1.25

Tab. 27: Viadotto VI21\_ massima profondità di escavazione per pila e plinto n.14

## 7.5 Protezione pile dallo scalzamento

### 7.5.1 Verifica stabilità massi a protezione delle pile

Il dimensionamento delle protezioni attorno alle pile è stato effettuato in accordo all'equazione di Breusers. Tale relazione evidenzia come i processi di escavazione localizzata non si instaurino quando la velocità media è inferiore a metà della velocità critica di incipiente movimento del diametro mediano dei sedimenti al fondo.

La valutazione della velocità critica di incipiente movimento può essere effettuata in due modi: mediante un equilibrio delle forze agenti sul materiale di fondo, oppure mediante il criterio di stabilità di Shields.

Si consideri per esempio un cubetto di materiale di lato  $d$  posto su un piano inclinato  $\alpha$  e investito da una corrente con velocità  $v$ . Le forze attive  $F$  e resistenti sono:

$$F_1 = G \cdot \sin \alpha = (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d^3 \cdot \sin \alpha \quad \text{componente del peso immerso}$$

$$F_2 = \frac{C_D \cdot d^2 \cdot \rho_w \cdot v_f^2}{2} \quad \text{spinta idrodinamica}$$

$$R = f \cdot G \cdot \cos \alpha = f \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d^3 \cdot \cos \alpha \quad \text{resistenza d'attrito}$$

essendo, rispettivamente  $C_D \cong 0.5 \div 1$  e  $f \cong 0.6 \div 0.8$  i coefficienti di resistenza idrodinamica e d'attrito e  $v_f$  la velocità media che agisce sulla faccia del cubetto: quindi in prossimità al fondo, solitamente indicata come velocità al fondo.

Le condizioni di equilibrio allo scorrimento e alla rotazione rispetto allo spigolo di valle:

$$F_1 + F_2 = R \quad \text{e} \quad (F_1 + F_2) \cdot \frac{d}{2} = \frac{G \cdot d}{2} \cdot \cos \alpha \quad \text{danno modo di dedurre il valore della velocità critica}$$

$v_{cr}$  che dà luogo al moto. I due valori della velocità, ritenuto che possa, per le pendenze esigue, porsi  $\sin \alpha \cong 0$  e  $\cos \alpha \cong 1$ , sono rispettivamente:

$$v_{cr} = v_0 \cdot \sqrt{f} \quad v_{cr} = v_0$$

Dove:

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot d \cdot (\gamma_s - \gamma_w)}{C_D \cdot \gamma_w}}$$

Essendo  $f < 1$  si può dedurre come sia più facile il trascinarsi del materiale rispetto al ribaltamento.

Assegnati i valori di  $C_D \cong 0.8$  e  $f \cong 0.6$  si ottiene:

$$v_{cr} = 0.85 \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot d \cdot (\gamma_s - \gamma_w)}{\gamma_w}}$$

Dalla quale assunto  $\gamma_s = 26000 \text{ N/m}^3$ , si ha rispettivamente

$$v_{cr} \cong 5 \cdot \sqrt{d} \quad \text{e} \quad v_{cr} \cong 6 \cdot \sqrt{d}$$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

E' ritenuto che il coefficiente associato a  $\sqrt{d}$  debba essere comunque maggiore di 8 per determinare il movimento.

Una deduzione può farsi anche a partire dalla relazione di Shields ottenendo:

$$v_{cr} = K_s \cdot R_H^{1/6} \sqrt{0.06 \cdot \left( \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \right) \cdot \sqrt{d}}$$

Nel presente studio il valore della velocità critica è stato assunto pari al minore tra i due calcolati con le due metodologie precedentemente descritte.

### 7.5.2 Protezione pile viadotto VI05

Per le pile più vicine all'alveo, ossia dalla 4 alla 9 sono state previste delle protezioni in massi legati di diametro pari a 80 cm.

Invece, per le pile dalla n.1 alla n.3 e dalla n. 10 alla 24 (compresa la spalla B) è stata adottata una protezione con doppia fila di massi sciolti di diametro minimo pari a 30 cm.

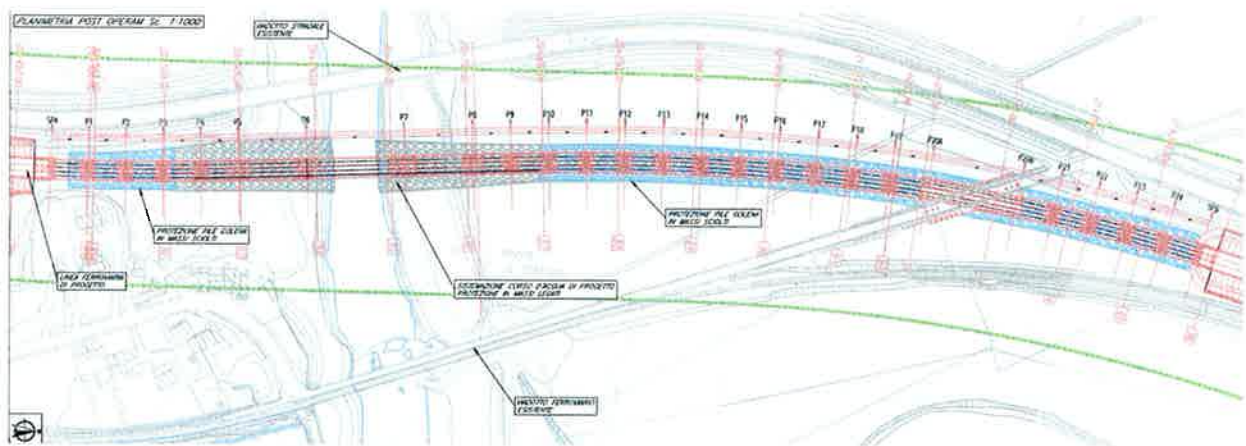


Figura 7-12: Protezione pile e alveo viadotto VI05



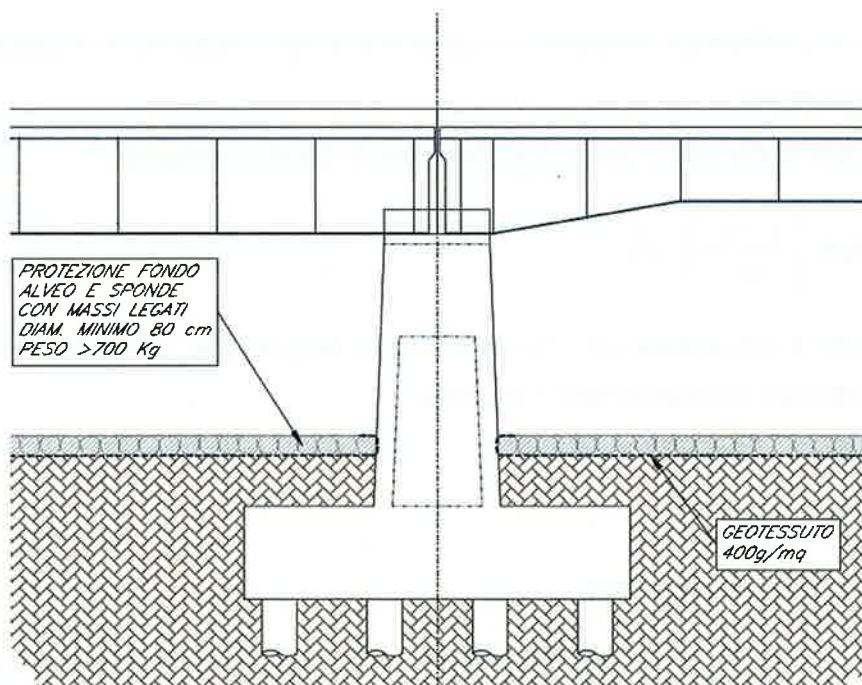


Figura 7-13: Protezione pile con massi legati viadotto VI05

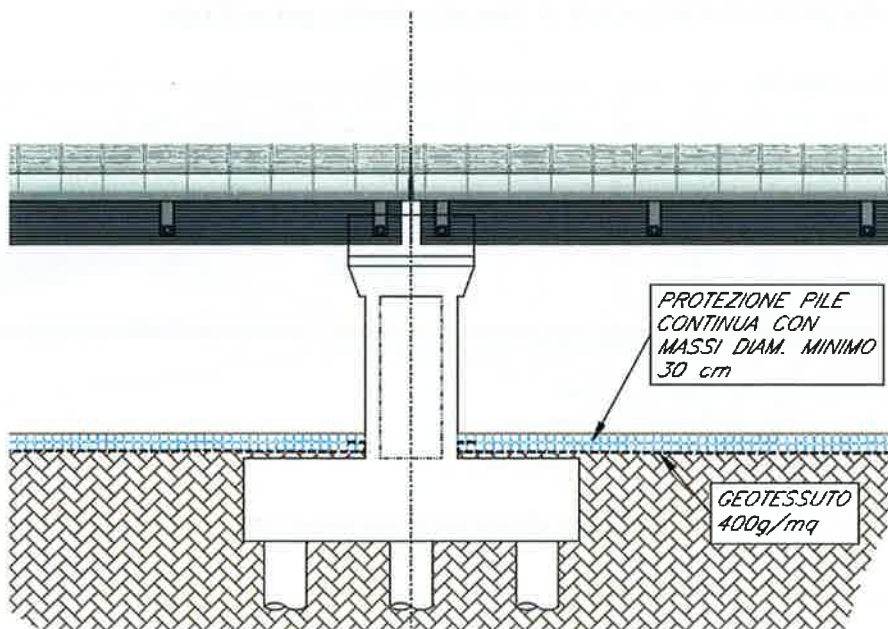


Figura 7-14: Protezione pile con massi sciolti viadotto VI05

La tabella seguente riporta la verifica di stabilità eseguita sulle protezioni intorno alle pile. Come già precisato si è verificato che la velocità di incipiente movimento calcolata con le due metodologie precedentemente descritte fosse almeno doppia rispetto alla velocità media in alveo. La tabella riporta: il diametro dei massi della protezione  $d$ , la velocità critica calcolata come  $v_{cr1} = 8 \cdot \sqrt{d}$ , la velocità critica calcolata con il criterio di Shields  $v_{cr2}$ , la velocità media della corrente  $v_{media}$  e i rapporti tra le velocità critiche calcolate e la velocità media.

Dalla tabella si evince che le protezioni sono sufficienti ad evitare fenomeni di escavazione localizzata nell'intorno delle pile.

PILA	d [m]	vcr1 [m/s]	RH	vcr2	vmedia	vcr1/vmedia	vcr2/vmedia
P02	0.30	4.38	0.81	3.61	0.03	156.49	128.86
P03	0.30	4.38	1.03	3.75	0.17	26.56	22.74
P04	0.80	7.16	1.94	6.81	0.22	32.09	30.55
P05	0.80	7.16	2.53	7.12	0.68	10.51	10.46
P06	0.80	7.16	4.62	7.87	2.76	2.60	2.86
P07	0.80	7.16	5.89	8.20	3.57	2.00	2.30
P08	0.80	7.16	2.42	7.07	1.60	4.48	4.42
P09	0.80	7.16	2.18	6.95	0.79	9.08	8.81
P10	0.30	4.38	2.17	4.25	0.04	109.54	106.29
P11	0.30	4.38	2.22	4.27	0.15	30.01	29.22
P12	0.30	4.38	2.22	4.27	0.25	17.32	16.87
P13	0.30	4.38	2.26	4.28	0.26	16.92	16.52
P14	0.30	4.38	2.23	4.27	0.23	18.89	18.41
P15	0.30	4.38	2.16	4.25	0.13	32.70	31.69
P16	0.30	4.38	2.08	4.22	0.08	57.66	55.53
P17	0.30	4.38	1.72	4.09	0.01	625.97	583.89
P18	0.30	4.38	1.61	4.05	0.04	99.59	91.94
P19	0.30	4.38	1.37	3.94	0.01	337.06	302.79
P20	0.30	4.38	1.37	3.94	0.01	337.06	302.79
P21	0.30	4.38	1.11	3.80	0.13	32.70	28.38
P22	0.30	4.38	1.13	3.81	0.05	91.29	79.37
P23	0.30	4.38	0.70	3.52	0.48	9.09	7.31
P24	0.30	4.38	0.08	2.45	0.23	18.81	10.52

Tab. 28: Viadotto VI05\_ verifica protezione alla base pile

### 7.5.3 Protezione pile viadotto VI20

Per le pile del viadotto VI20 è stata prevista una protezione alla base di tutte le pile in massi legati di diametro pari a 80 cm. Non sono state previste protezioni per le spalle in quanto non lambite dalla corrente, come per la pila n.5.

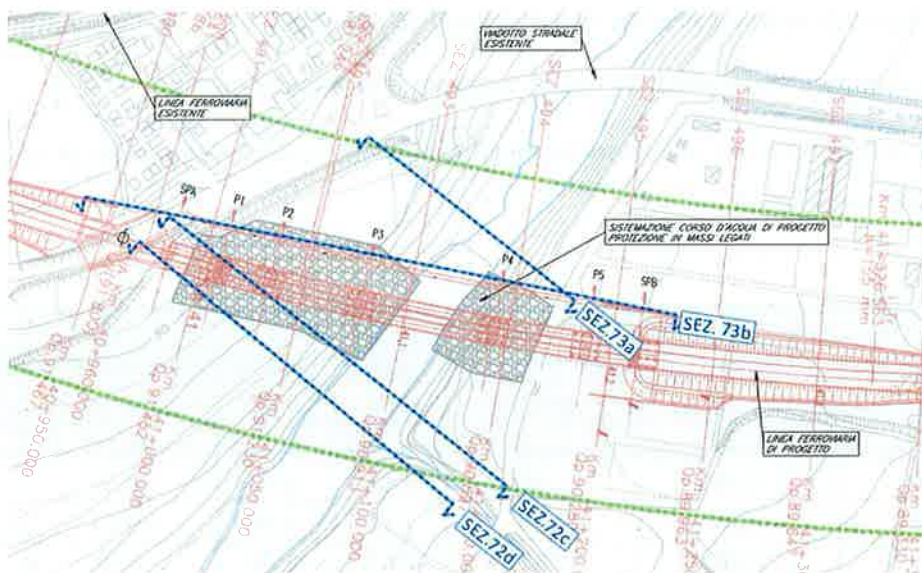


Figura 7-15: Protezione pile e alveo viadotto VI20

La tabella seguente riporta la verifica di stabilità eseguita sulle protezioni intorno alle pile. Come già precisato si è verificato che la velocità di incipiente movimento calcolata con le due metodologie precedentemente descritte fosse almeno doppia rispetto alla velocità media in alveo. La tabella riporta: il diametro dei massi della protezione  $d$ , la velocità critica calcolata come  $v_{cr1} = 8 \cdot \sqrt{d}$ , la velocità critica calcolata con il criterio di Shields  $v_{cr2}$ , la velocità media della corrente  $v_{media}$  e i rapporti tra le velocità critiche calcolate e la velocità media.

Dalla tabella si evince che le protezioni sono sufficienti ad evitare fenomeni di escavazione localizzata nell'intorno delle pile.



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV A

PILA	d [m]	vcr1 [m/s]	RH	vcr2	vmedia	vcr1/vmedia	vcr2/vmedia
1	0.8	7.2	0.9	5.99	1.5	4.7	4.0
2	0.8	7.2	2.0	6.86	2.3	3.1	3.0
3	0.8	7.2	7.2	8.48	3.6	2.0	2.4
4	0.8	7.2	5.7	8.16	3.0	2.4	2.7

Tab. 29: Viadotto VI20\_ verifica protezione alla base pile

#### 7.5.4 Protezione pile viadotto VI21

Per le pile del viadotto VI21 è stata prevista una protezione alla base delle pile più vicine all'alveo, ossia dalla n.11 alla n.15, e per la spalla SPB in massi legati di diametro pari a 80 cm.

Per le pile in golena è stata prevista una protezione con doppia fila di massi sciolti di diametro pari a 30 cm, eccetto che per le pile n.1 e 2 in quanto non lambite dalla corrente, come la spalla SPA.

Usualmente le protezioni al piede vengono disposte circondando la pila per una larghezza pari a circa due volte la sua proiezione in senso normale al moto. Pertanto per ogni pila sono state tracciate le aree di protezione con il criterio precedentemente descritto.

L'estensione rappresentata nella figura seguente è il risultato dell'inviluppo di tale aree esteso a monte e a valle a fini anche di protezione dell'alveo.

La tabella seguente riporta la verifica di stabilità eseguita sulle protezioni intorno alle pile. Come già precisato si è verificato che la velocità di incipiente movimento calcolata con le due metodologie precedentemente descritte fosse almeno doppia rispetto alla velocità media in alveo. La tabella riporta: il diametro dei massi della protezione  $d$ , la velocità critica calcolata come  $v_{cr1} = 8 \cdot \sqrt{d}$ , la velocità critica calcolata con il criterio di Shields  $v_{cr2}$ , la velocità media della corrente  $v_{media}$  e i rapporti tra le velocità critiche calcolate e la velocità media.

Dalla tabella si evince che le protezioni sono sufficienti ad evitare fenomeni di escavazione localizzata nell'intorno delle pile.



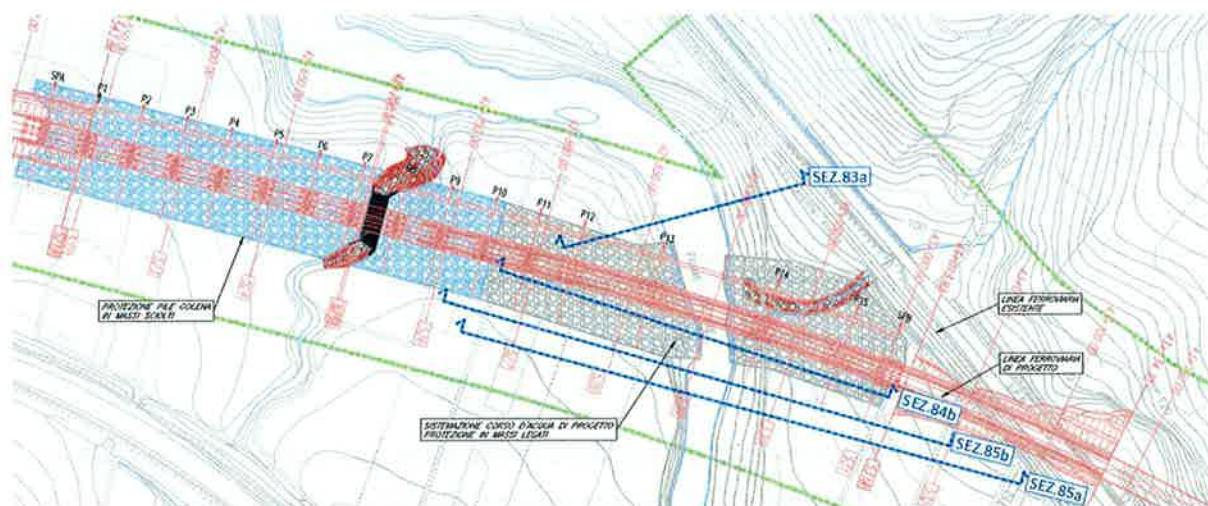


Figura 7-16: Protezione pile e alveo viadotto VI21

Tab. 30: Viadotto VI21\_ verifica protezione alla base pile

PILA	d [m]	vcr1 [m/s]	RH	vcr2	vmedia	vcr1/vmedia	vcr2/vmedia
P01	0.3	4.4	0.1	2.41	0.14	31.3	17.2
P02	0.3	4.4	0.0	1.54	0.03	151.1	53.3
P03	0.3	4.4	0.2	2.95	0.50	8.7	5.9
P04	0.3	4.4	0.7	3.49	0.60	7.3	5.8
P05	0.3	4.4	1.7	4.09	0.44	10.0	9.4
P06	0.3	4.4	2.9	4.46	0.22	20.4	20.7
P07	0.3	4.4	7.1	5.17	0.25	17.5	20.6
P08	0.3	4.4	6.1	5.05	0.40	11.0	12.7
P09	0.3	4.4	3.1	4.51	1.25	3.5	3.6
P10	0.3	4.4	3.2	4.54	2.20	2.0	2.1
P11	0.8	7.2	3.4	7.47	2.87	2.5	2.6
P12	0.8	7.2	4.1	7.71	3.12	2.3	2.5
P13	0.8	7.2	6.7	8.37	2.68	2.7	3.1
P14	0.8	7.2	6.4	8.32	1.65	4.3	5.1
P15	0.8	7.2	2.6	7.13	1.51	4.8	4.7

	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

## 8. COMPATIBILITÀ IDRAULICA

### 8.1 Metodologia

Le opere in progetto sono tese al raddoppio della linea ferroviaria Canello-Benevento nel tratto compreso tra Frasso Telesino e Vitulano per una lunghezza complessiva di circa 30 km.

Nello studio effettuato è stata valutata la compatibilità idraulica dell'infrastruttura di progetto con il territorio ed è stata analizzata la sicurezza del corpo ferroviario, identificando in termini di funzionalità e sicurezza i manufatti di presidio idraulico più opportuni, garantendo la minima interferenza delle opere ferroviarie con il normale deflusso delle acque.

Gli strumenti normativi presi a riferimento nella valutazione della compatibilità idraulica delle opere di progetto sono:

- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Rischio Idraulico (P.S.A.I.-Ri), 2006
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA), 2014

La Delibera n.1 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino (seduta del 3 luglio 2014) ha adottato le Misure di salvaguardia per aree soggette a pericolosità idraulica, in cui, per gli studi di compatibilità idraulica, si rimanda a quanto richiesto nel Piano Stralcio vigente (P.S.A.I.-Ri).

Nella Relazione di Piano sono individuate le aree soggette a pericolosità idraulica attraverso l'individuazione, la localizzazione e la caratterizzazione degli eventi alluvionali che abbiano prodotto effetti sul territorio, in particolare danni a persone o cose, o, semplicemente, abbiano creato condizioni di disagio o allarme. Tale individuazione è un importante strumento che ha condotto alla delimitazione delle aree a potenziale rischio inondazione.

Congiuntamente all'analisi della cartografia del P.S.A.I.-Ri, è stato realizzato un modello bidimensionale del fiume Calore e del fiume Volturno, al fine di verificare con maggior precisione l'effettiva estensione delle aree a potenziale allagamento.

### 8.2 Analisi del tracciato ferroviario

Il tracciato della linea si sviluppa inizialmente in sinistra idraulica del fiume Volturno fino alla confluenza con il Calore il quale viene attraversato mediante viadotto.

Successivamente la linea ferrovia si mantiene in destra idraulica del corso d'acqua risalendolo prima di riattraversarlo alla progressiva chilometrica 41+000 e successivamente alla progressiva

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV A

chilometrica 42+900. Dopo l'ultimo attraversamento la linea ferroviaria continua parallela al corso d'acqua fino a fine intervento.

Rispetto alla situazione attuale la linea ferroviaria nei tratti in variante al tracciato esistente è stata spostata verso nord allontanandola dal fiume Calore, eccetto nel tratto terminale nel quale è stata spostata per un tratto a sud del corso d'acqua.

Le figure seguenti rappresentano la sovrapposizione del tracciato con le aree a pericolosità definite all'interno del P.S.A.I.-Ri. Nel PGRA è indicata la corrispondenza tra fasce fluviali e classi di pericolosità<sup>2</sup>, secondo il seguente schema:

- Fascia A = P3
- Fasce B = P2
- Fascia C = P1

Le figure evidenziano come la linea ferroviaria in progetto sia esterna alle aree di pericolosità summenzionate, eccetto che per i tre viadotti di attraversamento indicati in figura con dei cerchi tratteggiati e per due zone in rilevato che le costeggiano. La prima è situata immediatamente a monte della confluenza con il Volturno (Figura 8-3), la seconda immediatamente prima dell'abitato di Teleso (Figura 8-2). Tutti e tre i viadotti attraversano aree in fascia A e B. Come citato dall'art. 25 comma 1 delle Norme di Attuazione del P.S.A.I.-Ri: *"All'interno delle Fasce A e B, come previsto negli artt. 8 e 9 delle presenti norme, è consentita la realizzazione di nuove infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico di trasporto o di servizi a sviluppo lineare (strade, ferrovie, acquedotti, elettrodotti, metanodotti, oleodotti, cavi di telefonia, ecc) di competenza degli organi statali, regionali o degli altri enti territoriali a condizione che non modifichino i fenomeni idraulici naturali che possono aver luogo nelle fasce, costituendo significativo ostacolo al deflusso, e non limitino la capacità di invaso secondo le indicazioni dell'Allegato B. A tal fine i progetti devono essere corredati da uno studio di compatibilità idraulica che documenti l'assenza delle suddette interferenze. I progetti saranno sottoposti all'approvazione dell'autorità idraulica competente."*

Mentre il comma 2 del succitato articolo prevede che: *"Le nuove opere di attraversamento e/o rilevati stradali o ferroviari devono essere progettate nel rispetto della normativa di cui all'Allegato B"*.

<sup>2</sup> A seguito della equiparazione con le tre classi di pericolosità da alluvione definite dal D.Lgs. 49/2010, è stata utilizzata la semplice equiparazione sancita nel Documento di Indirizzo a livello di Distretto



L'Allegato B delle Norme di Attuazione riporta i criteri per la redazione dei progetti degli attraversamenti interferenti con la rete idrografica.

Gli attraversamenti in progetto sono pertanto consentiti seppur nel rispetto delle prescrizioni previste.

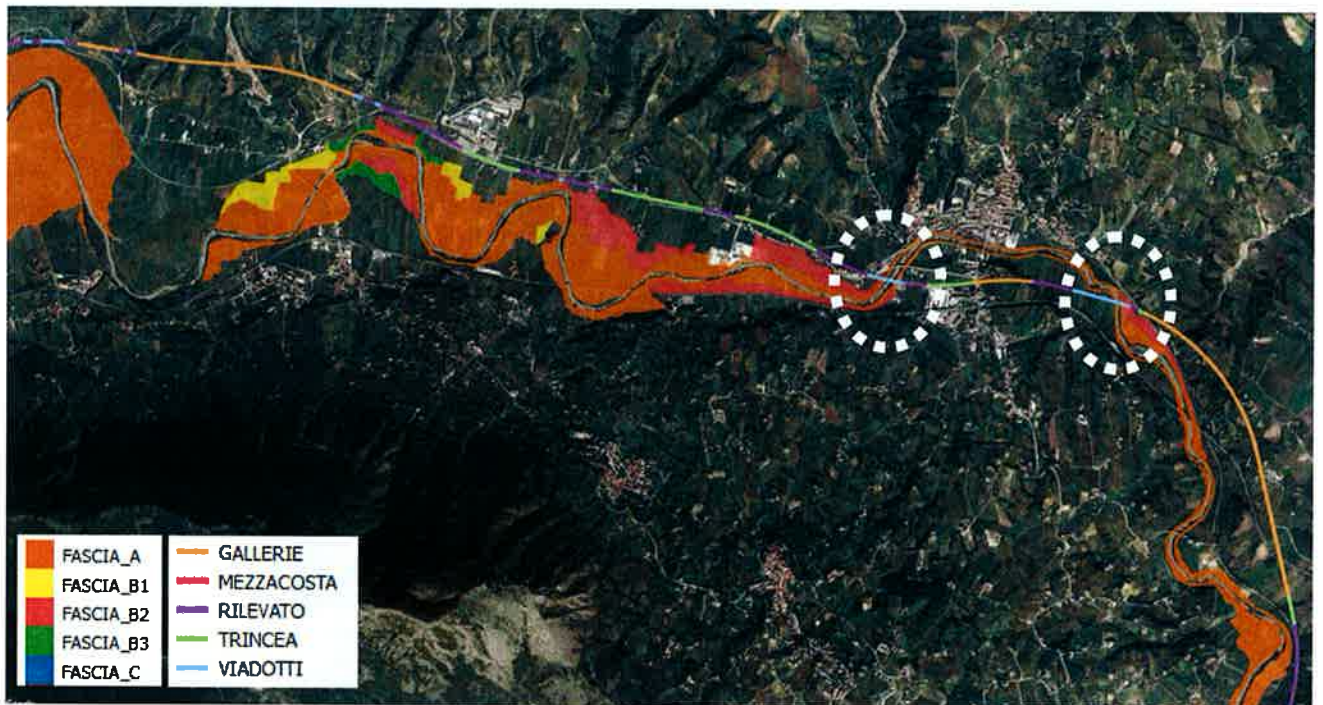


Figura 8-1: sovrapposizione del tracciato con le aree di pericolosità del PSDA – pk 46+500 – 34+000



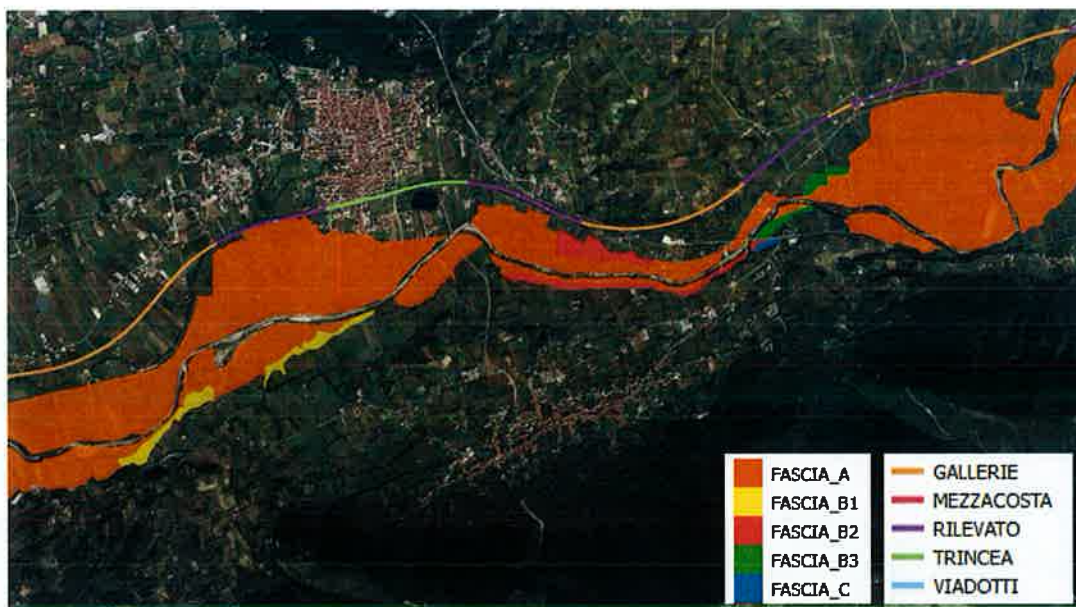


Figura 8-2: sovrapposizione del tracciato con le aree di pericolosità del PSDA – pk 34+000 – 23+500

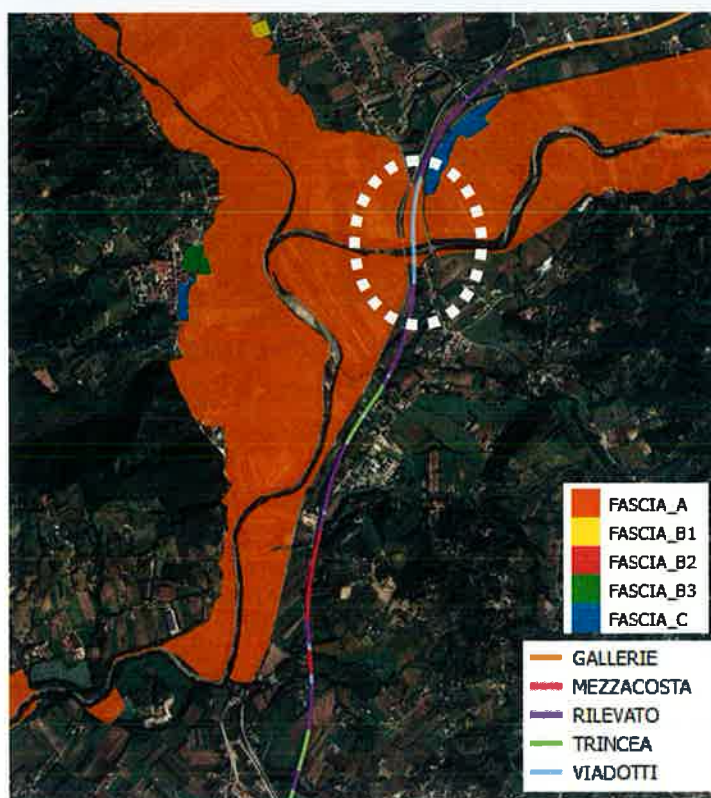
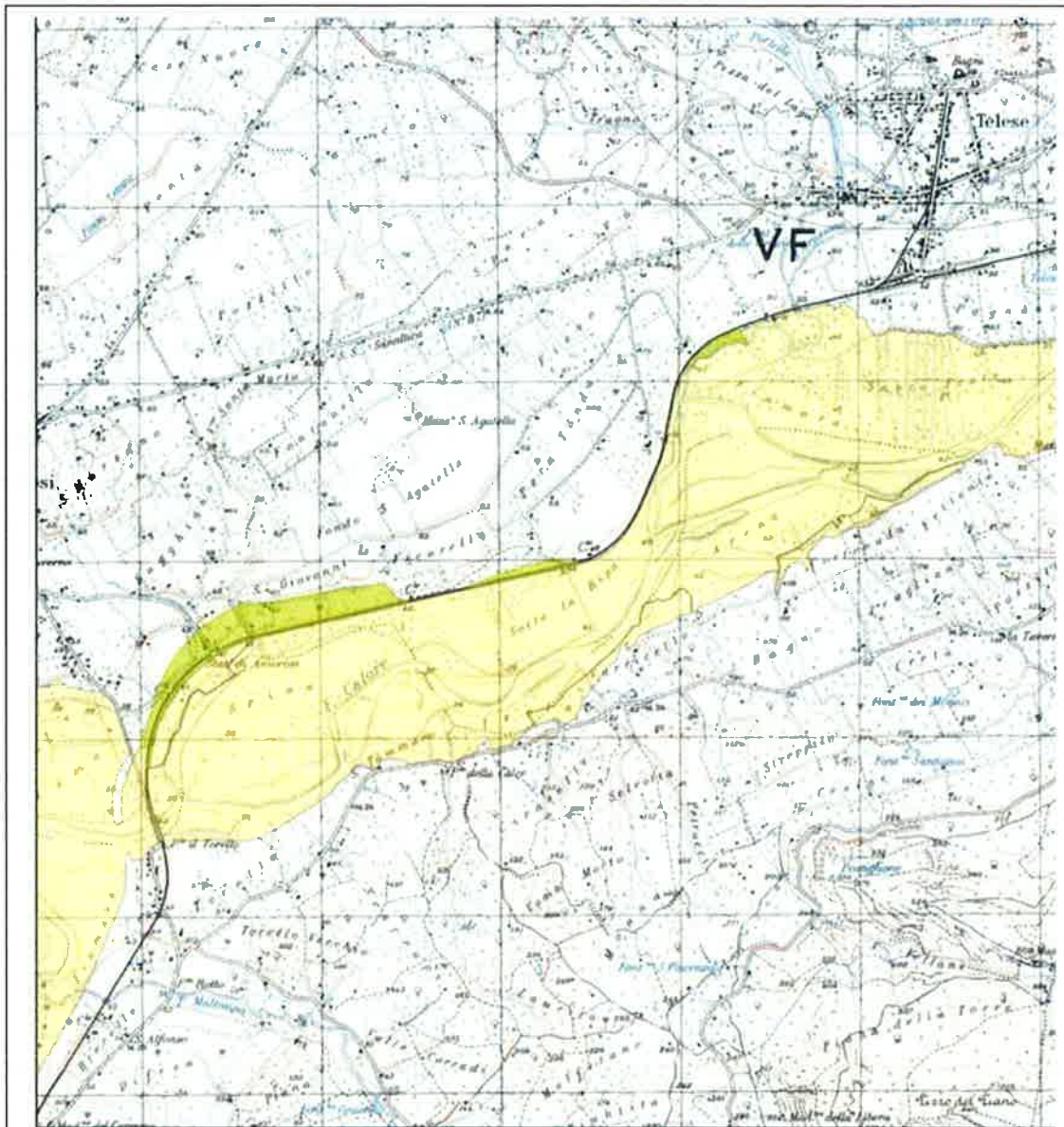


Figura 8-3: sovrapposizione del tracciato con le aree di pericolosità del PSDA – pk 23+500 – 16+500

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</p>					
<p><b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b></p>	<p>COMMESSA IF0H</p>	<p>LOTTO 02 D 09</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>DOCUMENTO ID0002 001</p>	<p>REV A</p>	<p>FOGLIO 86 di 92</p>

### 8.3 Integrazione delle mappe di pericolosità idraulica al 2015

La Relazione Generale del PGRA del dicembre 2016 riporta anche l'individuazione delle aree relative all'evento alluvionale che ha colpito la Regione Campania nell'ottobre 2015. Tali aree sono state direttamente verificate dai tecnici dell'Autorità di Bacino del Liri-Garigliano, Volturno attraverso numerosi sopralluoghi effettuati a seguito dell'evento. La seguente Figura 8-4 riporta una rappresentazione di quanto rilevato per il Fiume Calore nell'ambito di interesse in questa sede. Tale rappresentazione verrà utilizzata dall'AdB in sede di piano stralcio per gli aggiornamenti del caso della mappatura della pericolosità e del rischio idraulico. Lo studio idraulico bidimensionale svolto in questa sede ha riprodotto quanto rilevato in seguito all'evento di ottobre 2015, come mostrato nelle immagini riportate nel precedente capitolo 6: Figura 6-5, Figura 6-6 e Figura 6-7. In particolare, per l'area della stazione ferroviaria di Amorusi, è stato possibile verificare la compatibilità degli interventi previsti in quell'area, come meglio precisato nel successivo paragrafo 8.7.



Tratto: Confluenza Calore -Voltumo - Ponte Maria Cristina (Solopaca Scalo)

**Legenda**


-  Evento 15.10.2015
-  Pericolosità PGRA

Figura 8-4: Integrazione delle mappe di pericolosità idraulica



 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ITINERARIO NAPOLI-BARI.</b> <b>RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO.</b> <b>II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</b>					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

#### 8.4 Studio idrologico

Come riportato nella relazione idrologica, per la definizione delle portate di calcolo si è fatto riferimento a quanto indicato all'interno del P.S.D.A. (Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni dell'Autorità di Bacino dei Fiumi Liri-Garigliano e Volturno) del bacino del Volturno.

#### 8.5 Verifiche idrauliche

I tre viadotti di attraversamento del fiume Calore sono stati verificati seguendo le prescrizioni previste dal Manuale di Progettazione Italferr, dalle norme Tecniche delle Costruzioni e dall'allegato B delle Norme di Attuazione del PSAI-Ri<sup>3</sup>.

#### 8.6 Sistemazioni idrauliche

Gli interventi previsti in alveo sono stati definiti applicando criteri di ingegneria naturalistica ed utilizzando opere di protezione di tipo "elastico" quali massi sciolti e legati, che costituiscono un'affidabile protezione degli stessi dall'azione erosiva della corrente di piena.

Sono state previste inoltre protezioni in materassi tipo Reno dei rilevati interessati dagli allagamenti evidenziati dalla modellazione bidimensionale.

Nella progettazione dei viadotti si è cercato di minimizzare la realizzazione di pile nell'alveo di magra dei corsi d'acqua in modo da variare il meno possibile le caratteristiche del moto della corrente di piena.

Gli interventi di sistemazione ripropongono la sagoma delle sezioni attuali d'alveo, e non incidono sulle pendenze longitudinali del corso d'acqua.

Le sistemazioni idrauliche sono state progettate in generale con lo scopo di:

- assicurare con il periodo di ritorno previsto la sicurezza dell'infrastruttura ferroviaria;
- diminuire le eventuali condizioni di rischio, eliminando o riducendo eventuali esondazioni nella zona di intervento;
- non alterare le condizioni di deflusso idrico e solido nel tratto oggetto di studio;
- impedire divagazioni che possano andare ad interessare le opere di fondazione delle pile o delle spalle;
- evitare le conseguenze derivanti dai fenomeni di erosione localizzata.

<sup>3</sup> I contenuti dell'Allegato B alle Norme del PSAI-Ri sono gli stessi dell'Allegato C alle Norme del PSDA



 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.</p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IF0H</td> <td>02 D 09</td> <td>RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>A</td> <td>89 di 92</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO	IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	89 di 92
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV	FOGLIO								
IF0H	02 D 09	RI	ID0002 001	A	89 di 92								

Particolari accorgimenti sono stati adottati per una corretta manutenzione delle opere, onde poter ridurre al minimo gli interventi atti a garantirne l'efficienza ed, in ogni caso, a ridurre a livelli minimi i costi delle opere.

### 8.7 Analisi di compatibilità idraulica

Si rimanda ai paragrafi precedenti per la descrizione degli interventi di presidio previsti e la verifica dei franchi idraulici di progetto.

Le soluzioni prescelte seguono gli indirizzi indicati nelle norme nazionali ed in quelle riportate nelle norme di attuazione del P.S.A.I.-Ri, in quanto:

- il potenziamento della linea ferroviaria in progetto risponde a specifiche esigenze di sviluppo ed è legata a fattori di pubblico interesse;
- la protezione delle pile con scogliere garantisce la sicurezza dell'opera rendendo stabile il fondo dell'alveo e prevenendo eventuali dissesti da erosione;
- gli attraversamenti ferroviari in progetto sono stati realizzati in viadotto, risultando pertanto trasparenti al corso d'acqua e non aumentando l'estensione delle aree soggette ad allagamento;
- I viadotti in progetto non provocano effetti sensibili di restringimento dell'alveo e di indirizzamento della corrente se non nell'intorno delle pile più prossime all'alveo;
- Gli effetti di rigurgito a monte sono molto limitati e circoscritti;
- I rilevati di approccio non riducono la capacità di invaso in quanto le simulazioni con modello bidimensionale non hanno evidenziato l'incremento dell'estensione delle aree allagate nella configurazione post operam.
- Per l'area della stazione di Amorosi non si ha riduzione apprezzabile della capacità di invaso in quanto l'estensione delle aree allagate non aumenta.

Per chiarezza si riporta il confronto tra l'estensione delle aree allagate estratte attorno alle aree limitrofe agli attraversamenti ferroviari principali e alla stazione di Amorosi, ottenute per la configurazione ante operam e post operam, a seguito del passaggio della piena TR100 anni (dalla Figura 8-5 alla Figura 8-7).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI-BARI. RADDOPPIO TRATTA CANCELLO - BENEVENTO. II LOTTO FUNZIONALE FRASSO TELESINO - VITULANO.					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA FIUME CALORE</b>	COMMESSA IF0H	LOTTO 02 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Alla luce delle precedenti considerazioni, la configurazione finale di progetto risulta idraulicamente compatibile con le norme della legislazione vigente di protezione dai rischi idraulici e con la conformazione odierna dei luoghi.

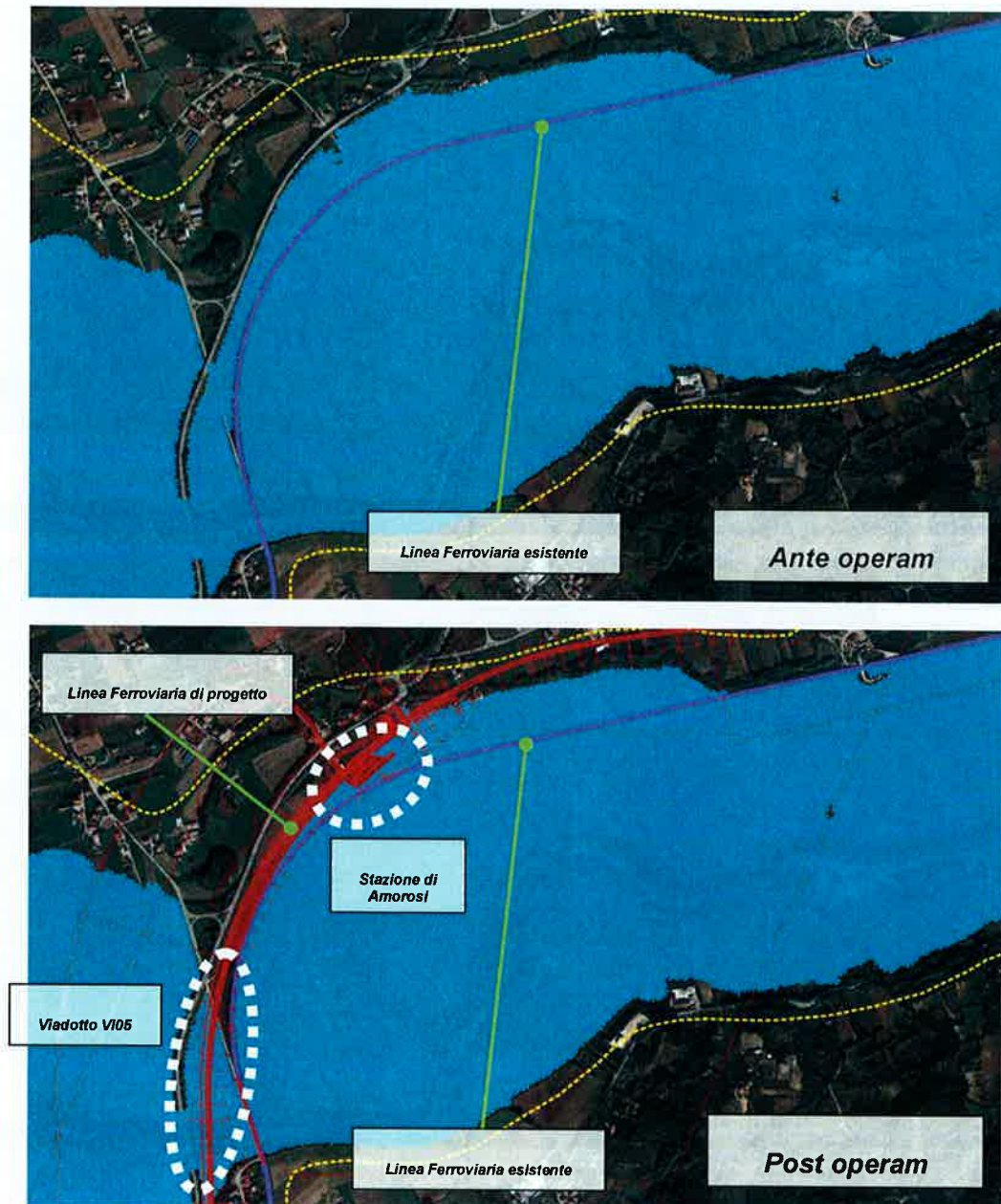


Figura 8-5: Estensione delle aree allagate a monte del viadotto VI05 e stazione di Amorosi – ante operam e post operam – TR 100 anni



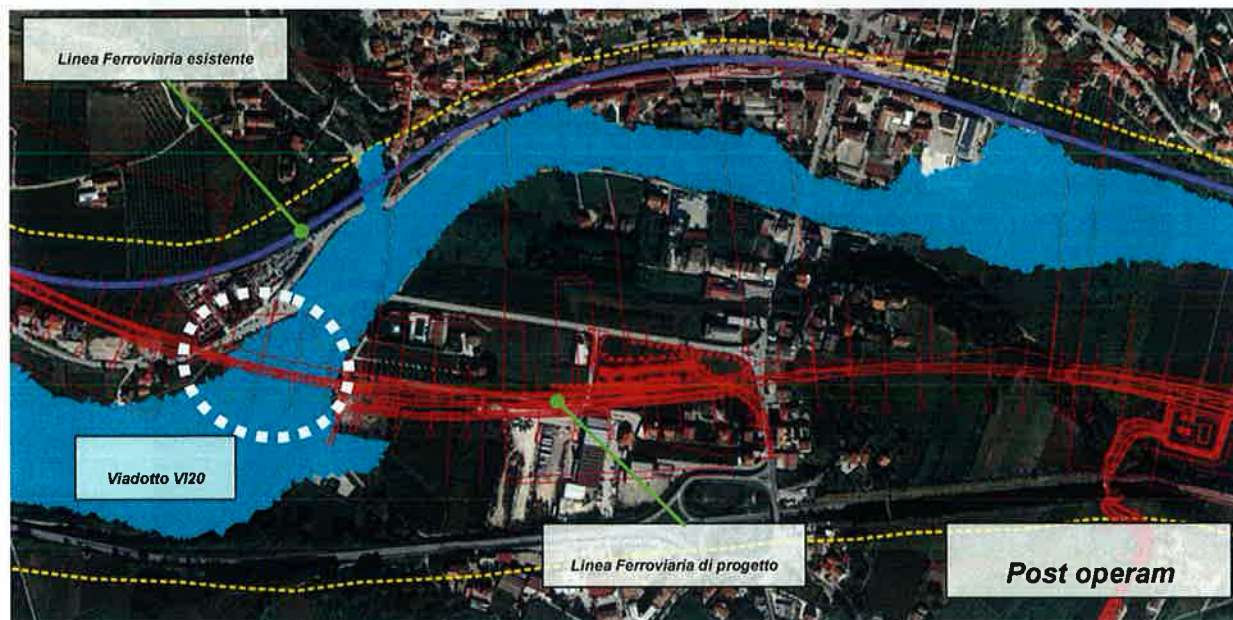


Figura 8-6: Estensione delle aree allagate a monte del viadotto V120 – ante operam e post operam – TR 100 anni

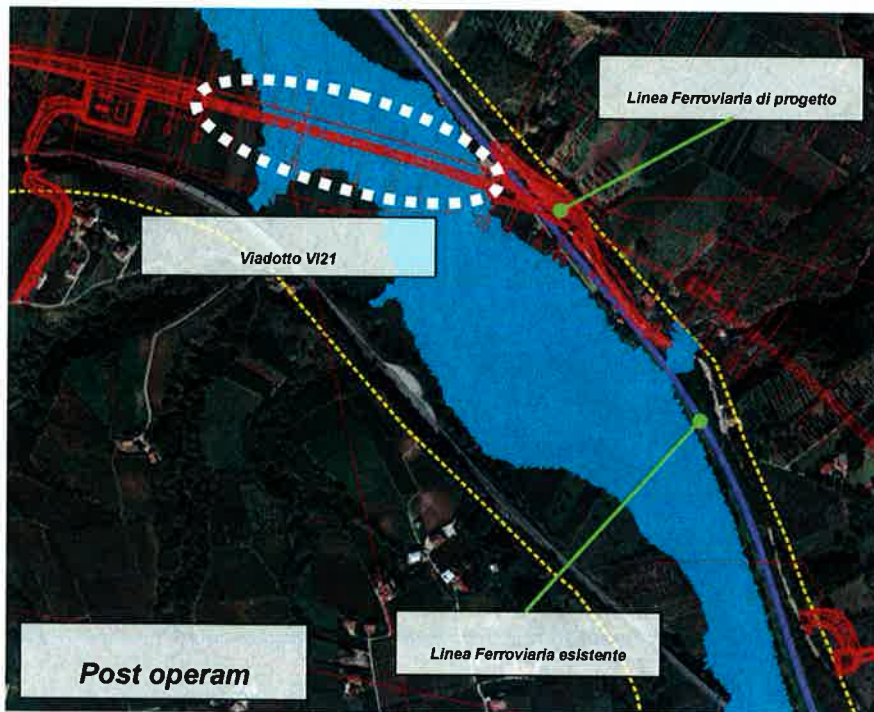


Figura 8-7: Estensione delle aree allagate a monte del viadotto VI21 – ante operam e post operam – TR 100 anni



