

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA**

**U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA LERCARA – CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)**

**IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA**

Idraulica specialistica

Relazione idraulica studi bidimensionali

SCALA:

-

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

RS3T 30 D 09 RH ID0000 001 D

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	dic-2019	A.Cappelli	dic-2019	A.Barreca	dic-2019	A. Vittozzi Giu-2021
B	EMISSIONE ESECUTIVA	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	gen-2020	A. Cappelli	gen-2020	A.Barreca	gen-2020	ITALFERR S.p.A. U.O. Opere Civili e gestione delle varianti Doc. Ing. Angelo Vittozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° 42078
C	EMISSIONE ESECUTIVA	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	apr-2020	A. Cappelli	apr-2020	A.Barreca	apr-2020	
D	EMISSIONE ESECUTIVA	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Giu-2021	A. Cappelli	Giu-2021	A. Barreca	Giu-2021	

File: RS3T.3.0.D.09.RH.ID.00.0.0.001.D.doc

n. Elab.: 09\_484



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>


## INDICE

1.	PREMESSA .....	12
2.	INTRODUZIONE .....	13
3.	INPUT IDROLOGICI .....	14
3.1	PORTATE DI PIENA RELATIVE ALLE FASI REALIZZATIVE .....	22
4.	MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE .....	25
4.1	GENERALITÀ .....	25
4.2	MODELLO NUMERICO .....	26
4.3	LE GEOMETRIE DEI MODELLI .....	27
4.3.1	<i>Fiume Torto</i> .....	28
4.3.2	<i>Affluente del Fiume Torto in sinistra idrografica</i> .....	31
4.3.3	<i>Torrente Belici</i> .....	34
4.3.4	<i>Fiume Salito</i> .....	38
4.4	DEFINIZIONE DELLE SCABREZZE DEL MODELLO .....	40
5.	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE .....	41
5.1	CRITERI DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....	41
5.2	SIMULAZIONI ANTE OPERAM .....	41
5.2.1	<i>Fiume Torto</i> .....	42
5.2.2	<i>Affluente del Fiume Torto in sinistra idrografica</i> .....	43
5.2.3	<i>Torrente Belici</i> .....	45
5.2.4	<i>Fiume Salito</i> .....	49
5.3	SIMULAZIONI POST OPERAM .....	51
5.3.1	<i>Viadotto VI01 – Fiume Torto – Fase 2</i> .....	51
5.3.2	<i>Viadotto VI01 – Fiume Torto – Fase 1</i> .....	55
5.3.3	<i>Affluente del Fiume Torto in sinistra idrografica</i> .....	57
5.3.4	<i>Interventi di demolizione attorno a Vallelunga</i> .....	63

5.3.5	<i>Opera TR04 “fase 1”</i> .....	65
5.3.6	<i>Viadotto NV07 – Torrente Belici</i> .....	68
5.3.7	<i>Viadotti VI05 e VI06 – Torrente Belici</i> .....	70
5.3.8	<i>Viadotto VI08 – Torrente Belici</i> .....	71
5.3.9	<i>Viadotto NV53a – Torrente Belici</i> .....	73
5.3.10	<i>Viadotto VII0 – Torrente Belici</i> .....	74
5.3.11	<i>Viadotto VIII – Torrente Belici</i> .....	75
5.3.12	<i>Viadotto VII2 – Torrente Belici</i> .....	77
5.3.13	<i>Viadotto VII5 – Fiume Salito</i> .....	78
5.3.14	<i>Viadotto VII7 – Fiume Salito</i> .....	80
5.3.15	<i>Viadotto NV62a – Fiume Salito</i> .....	82
5.3.16	<i>Viadotto NV62c – Fiume Salito</i> .....	83
6.	<b>VERIFICHE OPERE DI PROGETTO</b> .....	85
6.1	<b>CRITERI DI VERIFICA</b> .....	85
6.1.1	<i>Verifiche previste da manuale Italferr</i> .....	85
6.1.2	<i>Verifiche previste dalle NTC 2018</i> .....	86
6.2	<b>VIADOTTI – VERIFICHE DEI FRANCHI</b> .....	86
6.3	<b>DETERMINAZIONE DELLO SCAVO LOCALIZZATO PER LE PILE</b> .....	88
6.3.1	<i>HEC 18 - CSU</i> .....	88
6.3.2	<i>FDOT (Florida Department Of Transportation)</i> .....	90
6.3.3	<i>Ulteriori considerazioni sul calcolo della profondità di scavo</i> .....	92
6.3.4	<i>Escavazioni localizzate viadotto VI01</i> .....	95
6.3.5	<i>Escavazioni localizzate viadotto VI04</i> .....	96
6.3.6	<i>Escavazioni localizzate viadotto NV07</i> .....	96
6.3.7	<i>Escavazioni localizzate viadotto VI05</i> .....	97
6.3.8	<i>Escavazioni localizzate viadotto VI06</i> .....	97



6.3.9	<i>Escavazioni localizzate viadotto VI08</i> .....	98
6.3.10	<i>Escavazioni localizzate viadotto NV53a</i> .....	98
6.3.11	<i>Escavazioni localizzate viadotto VII0</i> .....	99
6.3.12	<i>Escavazioni localizzate viadotto VII1</i> .....	100
6.3.13	<i>Escavazioni localizzate viadotto VII2</i> .....	101
6.3.14	<i>Escavazioni localizzate viadotto VII5</i> .....	102
6.3.15	<i>Escavazioni localizzate viadotto NV62a</i> .....	102
6.3.16	<i>Escavazioni localizzate viadotto NV62c</i> .....	102
6.3.17	<i>Escavazioni localizzate viadotto VII7</i> .....	103
6.4	<b>PROTEZIONE DELLE PILE DALLO SCALZAMENTO</b> .....	104
6.4.1	<i>Verifiche di stabilità massi a protezione delle pile</i> .....	105
6.4.2	<i>Protezione pile viadotto VI01</i> .....	107
6.4.3	<i>Protezione pile viadotto VI04</i> .....	108
6.4.4	<i>Protezione pile viadotto NV07</i> .....	108
6.4.5	<i>Protezione pile viadotto VI05</i> .....	109
6.4.6	<i>Protezione pile viadotto VI06</i> .....	109
6.4.7	<i>Protezione pile viadotto VI08</i> .....	110
6.4.8	<i>Protezione pile viadotto NV53a</i> .....	111
6.4.9	<i>Protezione pile viadotto VII0</i> .....	112
6.4.10	<i>Protezione pile viadotto VII1</i> .....	113
6.4.11	<i>Protezione pile viadotto VII2</i> .....	115
6.4.12	<i>Protezione pile viadotto VII5</i> .....	116
6.4.13	<i>Protezione pile viadotto NV62a</i> .....	116
6.4.14	<i>Protezione pile viadotto NV62c</i> .....	117
6.4.15	<i>Protezione pile viadotto VII7</i> .....	118
6.5	<b>PROTEZIONE DEI RILEVATI</b> .....	120

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

6.6	PORTATE DI CANTIERE E LIVELLI IDRICI .....	122
6.6.1	<i>Livelli viadotto VI01</i> .....	123
6.6.2	<i>Livelli viadotto VI04</i> .....	123
6.6.3	<i>Livelli viadotti VI05 e VI06</i> .....	123
6.6.4	<i>Livelli viadotto VI08</i> .....	124
6.6.5	<i>Livelli viadotto VI10</i> .....	125
6.6.6	<i>Livelli viadotto NV53a</i> .....	125
6.6.7	<i>Livelli viadotto VI11</i> .....	126
6.6.8	<i>Livelli viadotto VI12</i> .....	126
6.6.9	<i>Livelli viadotto VI15</i> .....	127
6.6.10	<i>Livelli viadotto VI16</i> .....	127
6.6.11	<i>Livelli viadotto NV62a</i> .....	127
6.6.12	<i>Livelli viadotto VI17</i> .....	128
7.	COMPATIBILITÀ IDRAULICA .....	129
7.1	INQUADRAMENTO NORMATIVO .....	129
7.2	OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI NORMATIVE .....	130
7.2.1	<i>Distanza tra fondo alveo quota di sotto-trave</i> .....	131
7.2.2	<i>Luce netta minima tra le pile contigue in alveo</i> .....	133
7.2.3	<i>Verifiche idrauliche considerando la presenza di detriti flottanti in alveo</i> .....	134
7.3	INDICAZIONI DEL PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROLOGICO DELLA REGIONE SICILIA .....	136

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

## INDICE DELLE FIGURE


Figura 1: Sezioni di input delle portate, Fiume Torto.....	14
Figura 2: Onde di piena Fiume Torto – TR 50 anni.....	15
Figura 3: Onde di piena Fiume Torto – TR 100 anni.....	15
Figura 4: Onde di piena Fiume Torto – TR 300 anni.....	16
Figura 5: Sezioni di input delle portate, Torrente Belici.....	17
Figura 6: Onde di piena Torrente Belici – TR 50 anni.....	18
Figura 7: Onde di piena Torrente Belici – TR 100 anni.....	18
Figura 8: Onde di piena Torrente Belici – TR 300 anni.....	19
Figura 9: Sezioni di input delle portate, Fiume Salito.....	20
Figura 10: Onde di piena Fiume Salito – TR 50 anni.....	20
Figura 11: Onde di piena Fiume Salito – TR 100 anni.....	21
Figura 12: Onde di piena Fiume Salito – TR 300 anni.....	21
Figura 13: Estensione del dominio di calcolo, Fiume Torto.....	28
Figura 14: DTM di riferimento, Fiume Torto.....	29
Figura 15: Mesh di calcolo Fiume Torto.....	30
Figura 6-1 – Estensione del modello idraulico dell’affluente sinistro del rio Torto: in rosso sono evidenziati i limiti del dominio di calcolo 2D e in azzurro la zona di magliatura dell’affluente.....	31
Figura 6-2 – Planimetria con indicazione dei tombini esistenti a servizio della viabilità e della linea ferroviaria esistente, posizionati in prossimità del confine del dominio di calcolo.....	32
Figura 6-3 – Schematizzazione dell’attraversamento alla pk 77+950.....	33
Figura 6-4 – Idrogrammi di progetto dell’affluente sinistro del rio Torto.....	33
Figura 16: Estensione del dominio di calcolo, Torrente Belici.....	35
Figura 17: DTM di riferimento, Torrente Belici.....	36
Figura 18: Mesh di calcolo Torrente Belici.....	37
Figura 19: Estensione del dominio di calcolo, Fiume Salito.....	38
Figura 20: DTM di riferimento, Fiume Salito.....	39
Figura 21: Mesh di calcolo Fiume Salito.....	40
Figura 22: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto ,Fiume Torto, TR 300 anni, km 4+500.....	42
Figura 23: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto ,Fiume Torto, TR 300 anni, km 0+665.....	43
Figura 5-3 – Allagamenti dovuti all’esondazione dell’affluente sinistro del rio Torto in prossimità dell’attraversamento alla pk 77+628 per eventi con tempo di ritorno 30, 100, 200 e 300 anni.....	44
Figura 24: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Torrente Belici, TR 300 anni, km 16+000-17+500.....	45
Figura 25: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Torrente Belici, TR 300 anni, km 18+000-19+400.....	46
Figura 26: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Torrente Belici, TR 300 anni, km 20+750-22+350.....	47
Figura 27: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Torrente Belici, TR 300 anni, km 22+500-24+650.....	48
Figura 28: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Torrente Belici, TR 300 anni, km 26+400-28+000.....	49
Figura 29: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Fiume Salito, TR 300 anni, km 40+500-42+500.....	50
Figura 30: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Fiume Salito, TR 300 anni, km 37+400-39+250.....	50
Figura 31: Sistemazione del Fiume Torto attorno al viadotto VI01.....	53

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

Figura 32: Planimetria aree allagate, scenario stato di progetto-fase 2, Fiume Torto, viadotto VI01 .....	54
Figura 33: Profilo altimetrico viadotto VI01, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto-fase 2 (linea rossa) .....	55
Figura 34: Planimetria aree allagate, scenario stato di progetto – fase 1, Fiume Torto, viadotto VI01 ....	56
Figura 35: Profilo altimetrico viadotto VI01, livelli idrici TR 14 anni, stato di progetto-fase 1 (linea rossa) .....	57
Figura 6-6 – Soluzione ST2 per la messa in sicurezza idraulica del sottovia e della strada a servizio dello stesso. ....	58
Figura 5-17 – Implementazione dell'ipotesi ST2 nel modello idraulico. Particolare in corrispondenza del sottovia con indicazione dei punti di misura dei risultati. ....	60
Figura 6-9 – Confronto delle aree allagabili dovute alle esondazioni dell'affluente per un evento duecentennale: in alto a sinistra lo stato di fatto, in alto a destra l'ipotesi di progetto ST2a, mentre in basso l'ipotesi di progetto ST2b. ....	62
Figura 6-10 – Sovrapposizione degli allagamenti nello stato di fatto (in rosso) e nell'ipotesi ST2b (in azzurro). ....	62
Figura 6-11 – Direzione di deflusso degli allagamenti in corrispondenza del tombino alla pk 77+640 a sud del sottovia oggetto di analisi – ipotesi ST2b.....	63
Figura 36: Interventi attorno alla stazione di Vallelunga.....	65
Figura 37: Aree allagate TR 300 anni, stato di fatto, stato di progetto-fase 2, stazione di Vallelunga.....	65
Figura 48: Aree allagate, piena tempo di ritorno 300 anni, stato di progetto-fase 1, opera TR04 a monte della stazione di Vallelunga .....	66
Figura 49: Aree allagate, piena tempo di ritorno 50 anni, stato di progetto-fase 1, opera TR04 a monte della stazione di Vallelunga .....	67
Figura 38: Aree allagate con l'indicazione dei livelli idrici, piena tempo di ritorno 14 anni, stato di progetto-fase 1, opera TR04 a monte della stazione di Vallelunga .....	68
Figura 39: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – NV07.	69
Figura 40: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – VI05 e VI06.....	71
Figura 41: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – VI08 ..	72
Figura 42: Profilo altimetrico viadotto VI08, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa).....	72
Figura 43: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – NV53a .....	73
Figura 44: Profilo altimetrico viadotto NV53a, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa) .....	74
Figura 45: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – VI10 ..	75
Figura 46: Profilo altimetrico viadotto VI10, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa).....	75
Figura 47: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – VI11 ..	76
Figura 48: Profilo altimetrico viadotto VI11, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa).....	76
Figura 49: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – VI12 ..	77
Figura 50: Profilo altimetrico viadotto VI12, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa).....	78
Figura 51: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – VI15 ..	79
Figura 52: Profilo altimetrico viadotto VI15, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa).....	79

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 09	RH	ID0000 001	D	9 di 136

Figura 53: Planimetria viadotto VI17: interferenze idrauliche tra il corso d'acqua e l'opera di progetto (VI17_1, VI17_2 e VI17_3) .....	80
Figura 54: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – VI17 ..	81
Figura 55: Profilo altimetrico viadotto VI17, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa) .....	81
Figura 56: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – NV62a .....	82
Figura 57: Profilo altimetrico viadotto NV62a, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa) .....	83
Figura 58: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – NV62c .....	84
Figura 59: Profilo altimetrico viadotto NV62c, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa) .....	84
Figura 60: Calcolo della larghezza equivalente, Melville e Raudkivi (1996) .....	93
Figura 61: Disposizione raccomandata dei massi di protezione attorno alle pile, fonte HEC23.....	106
Figura 62: Protezione del rilevato in materassi “tipo Reno” .....	120
Figura 63: Protezione del rilevato in massi cementati .....	121

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 09	RH	ID0000 001	D	10 di 136

## INDICE DELLE TABELLE

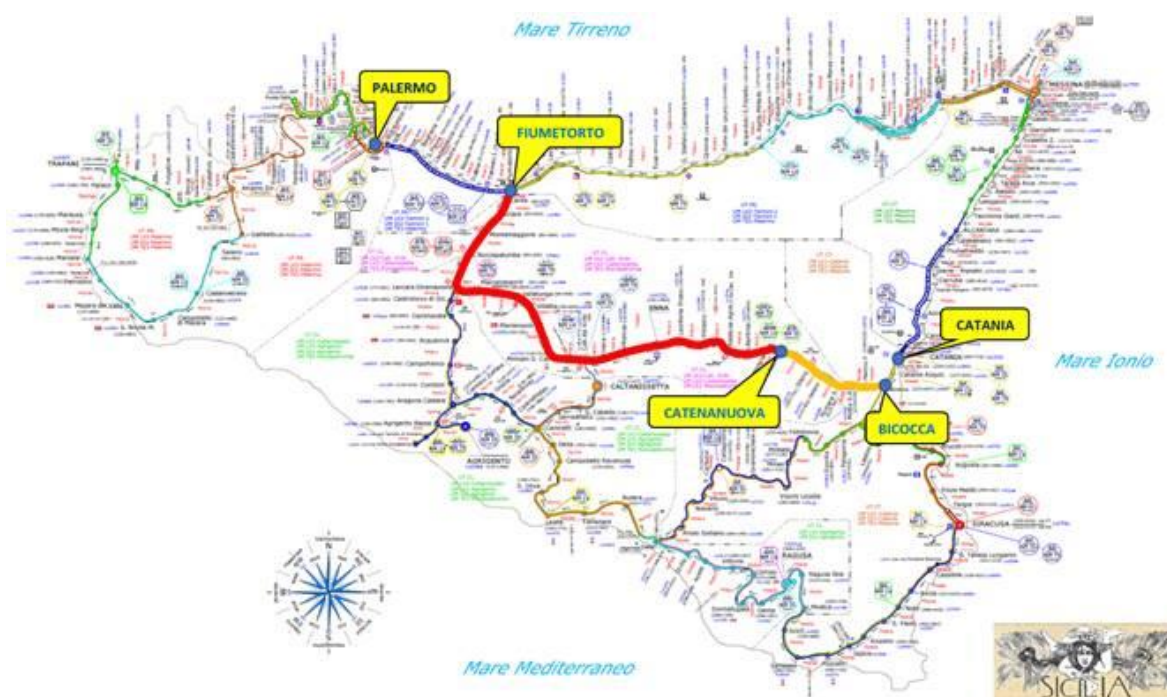
Tabella 1: Portate massime di riferimento per le verifiche dei viadotti di progetto .....	22
Tabella 2: Valori della pericolosità idraulica per N=112.5 anni .....	24
Tabella 3: Tempi di ritorno equivalenti, N=112.5 anni e M=5 anni .....	24
Tabella 4: Tempi di ritorno richiesti per le verifiche idrauliche .....	41
Tabella 5: Verifica dei franchi di progetto-fase 1 , VI01 .....	57
Tabella 6: Verifica dei franchi di progetto-fase 1, tratto denominato TR04 .....	68
Tabella 7: Portate massime di riferimento per le verifiche del viadotto VI17 .....	80
Tabella 8: Viadotti lotti 3a e 3b, verifica del franco sul livello idrico .....	87
Tabella 9: Viadotti lotti 3a e 3b, verifica del franco sul livello energetico .....	87
Tabella 10: Coefficiente correttivo $K_1$ .....	89
Tabella 11: Coefficiente correttivo $K_3$ .....	89
Tabella 12: Coefficiente correttivo $K_s$ .....	92
Tabella 13: Viadotto VI01, massima profondità di escavazione .....	95
Tabella 14: Viadotto VI04, massima profondità di escavazione .....	96
Tabella 15: Viadotto NV07, massima profondità di escavazione .....	96
Tabella 16: Viadotto VI05, massima profondità di escavazione .....	97
Tabella 17: Viadotto VI06, massima profondità di escavazione .....	97
Tabella 18: Viadotto VI08, massima profondità di escavazione .....	98
Tabella 19: Viadotto NV53a, massima profondità di escavazione .....	98
Tabella 20: Viadotto VI10, massima profondità di escavazione .....	99
Tabella 21: Viadotto VI11, massima profondità di escavazione .....	100
Tabella 22: Viadotto VI12, massima profondità di escavazione .....	101
Tabella 23: Viadotto VI15, massima profondità di escavazione .....	102
Tabella 24: Viadotto NV62a, massima profondità di escavazione .....	102
Tabella 25: Viadotto NV62c, massima profondità di escavazione .....	102
Tabella 26: Viadotto VI17, massima profondità di escavazione .....	103
Tabella 27: Viadotto VI01, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	107
Tabella 28: Viadotto VI01, verifica protezioni – TR 5 anni .....	108
Tabella 29: Viadotto NV07, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	108
Tabella 30: Viadotto VI05, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	109
Tabella 31: Viadotto VI05, verifica protezioni – TR 5 anni .....	109
Tabella 32: Viadotto VI06, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	109
Tabella 33: Viadotto VI06, verifica protezioni – TR 5 anni .....	110
Tabella 34: Viadotto VI08, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	110
Tabella 35: Viadotto VI08, verifica protezioni – TR 5 anni .....	111
Tabella 36: Viadotto NV53a, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	111
Tabella 37: Viadotto NV53a, verifica protezioni – TR 5 anni .....	111
Tabella 38: Viadotto VI10, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	112
Tabella 39: Viadotto VI10, verifica protezioni – TR 5 anni .....	112
Tabella 40: Viadotto VI11, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	113
Tabella 41: Viadotto VI11, verifica protezioni – TR 5 anni .....	114
Tabella 42: Viadotto VI12, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	115
Tabella 43: Viadotto VI12, verifica protezioni – TR 5 anni .....	115
Tabella 44: Viadotto VI15, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	116
Tabella 45: Viadotto VI15, verifica protezioni – TR 5 anni .....	116
Tabella 46: Viadotto NV62a, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	116

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 09	RH	ID0000 001	D	11 di 136

Tabella 47: Viadotto NV62a, verifica protezioni – TR 5 anni .....	116
Tabella 48: Viadotto NV62c, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	117
Tabella 49: Viadotto NV62c, verifica protezioni – TR 5 anni .....	117
Tabella 50: Viadotto VI17, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	118
Tabella 51: Viadotto VI17, verifica protezioni – TR 5 anni.....	119
Tabella 52: Portate massime in corrispondenza dei viadotti, dimensionamento opere provvisorie .....	122
Tabella 53: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI01 .....	123
Tabella 54: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI05 .....	123
Tabella 55: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI06 .....	124
Tabella 56: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI08 .....	124
Tabella 57: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI10 .....	125
Tabella 58: Livelli idrici massimi TR 05 anni – NV53a.....	125
Tabella 59: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI11 .....	126
Tabella 60: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI12 .....	126
Tabella 61: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI15 .....	127
Tabella 62: Livelli idrici massimi TR 05 anni – NV62a.....	127
Tabella 63: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI17 .....	128
Tabella 64: Descrizione dei viadotti .....	132
Tabella 65: Distanza tra fondo alveo quota di sotto-trave .....	132
Tabella 66: Luci ortogonali nette dei viadotti.....	134
Tabella 67: Franchi dei viadotti nella configurazione di progetto con detriti galleggianti in alveo.....	136

## 1. PREMESSA

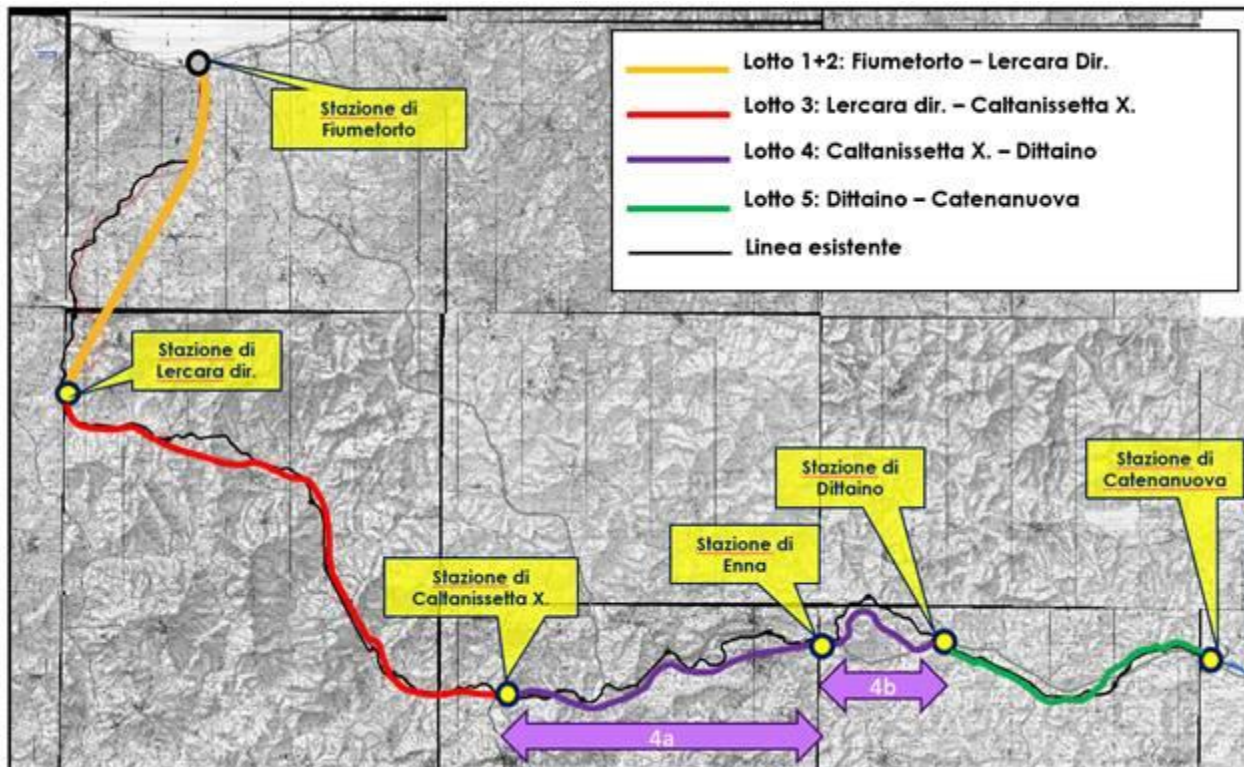
La linea ferroviaria Palermo – Catania, facente parte del Corridoio n.5 “Helsinki – La Valletta” della Rete Trans-Europea di trasporto, è interessata da un ampio progetto di investimento denominato “Nuovo Collegamento Palermo – Catania” che prevede una serie di interventi sulla tratta Fiume Torto – Bicocca. Allo stato attuale sono già in corso i lavori finalizzati al raddoppio della tratta Catenanuova – Bicocca mentre la restante tratta, Fiume Torto – Catenanuova (tratto rosso nella figura), è oggetto di appositi incarichi di progettazione definitiva, affidati ad Italferr dalla Committente RFI.



La tratta suddetta Fiume Torto – Catenanuova risulta suddivisa nei seguenti lotti funzionali come meglio si evince dalla corografia più avanti:

- Lotto “1+2”: tratta Fiume Torto – Lercara Diramazione di circa 30 km;
- Lotto 3: tratta Lercara Diramazione – Caltanissetta Xirbi di circa 47 km;
- Lotto 4a: tratta Caltanissetta Xirbi – Enna Nuova di circa 27 km;
- Lotto 4b: tratta Enna Nuova - Dittaino di circa 15 km;
- Lotto 5: tratta Dittaino – Catenanuova di circa 22 km.





La presente relazione si riferisce nello specifico ai lotti 3a e 3b.

## 2. INTRODUZIONE

La presente relazione riassume i risultati delle indagini sviluppate, le metodologie applicate ed i risultati degli studi idraulici del Fiume Torto, del Torrente Belici e del Fiume Salito, nell'ambito del Progetto Definitivo dei lotti funzionali 3a e 3b della linea Palermo – Catania.

Gli studi idraulici hanno permesso di valutare l'effetto indotto dalle opere di progetto sui tre corsi d'acqua suddetti. La verifica delle nuove opere in progetto è stata effettuata mediante modellazione idraulica bidimensionale in condizioni di moto vario.

I risultati ottenuti hanno consentito di valutare la compatibilità idraulica degli interventi proposti.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

### 3. INPUT IDROLOGICI

Lo studio idraulico dei corsi d'acqua in condizioni di moto vario richiede di assegnare, in corrispondenza delle sezioni di riferimento, le portate variabili nel tempo dette onde di piena o idrogrammi di piena.

Per ciascun corso d'acqua analizzato, sono state individuate in modo opportuno, una o più sezioni di immissione dei flussi liquidi. Per i tratti fluviali considerati, la sovrapposizione delle diverse onde "elementari" consente di ottenere le onde di piena risultanti. All'interno dello studio idrologico, annesso agli elaborati del presente progetto, sono stati definiti i vari contributi di portata calcolati alle assegnate sezioni di immissione. Ciascun contributo puntuale è il risultato finale del processo idrologico che permette di ottenere, definito un bacino imbrifero chiuso alla sezione di immissione, ed assegnata una pioggia di progetto, l'idrogramma di piena corrispondente.

Per ogni corso d'acqua considerato, sono stati calcolati più idrogrammi di piena elementari, associati a differenti tempi di ritorno, 50, 100 e 300 anni.

In Figura 1 è riportato il tratto di Fiume Torto oggetto di approfondimento, assieme alle sezioni di immissione delle portate. A seguire i vari idrogrammi di piena calcolati per i differenti tempi di ritorno (Figura 2, Figura 3 e Figura 4).

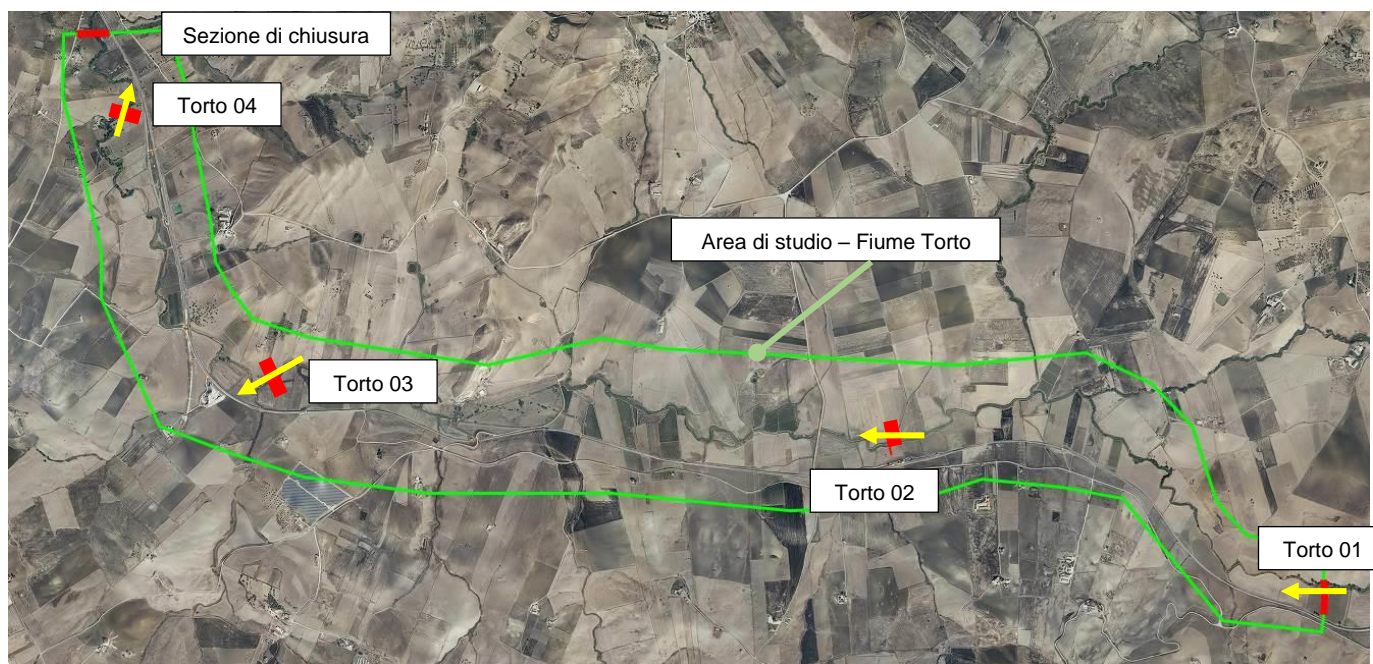


Figura 1: Sezioni di input delle portate, Fiume Torto

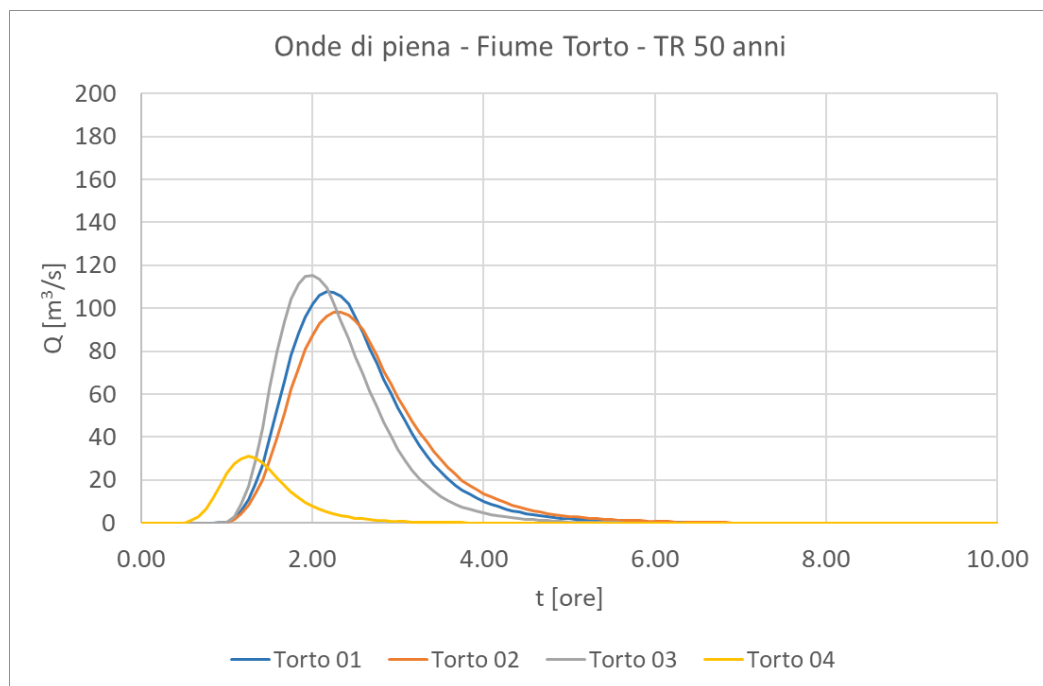


Figura 2: Onde di piena Fiume Torto – TR 50 anni

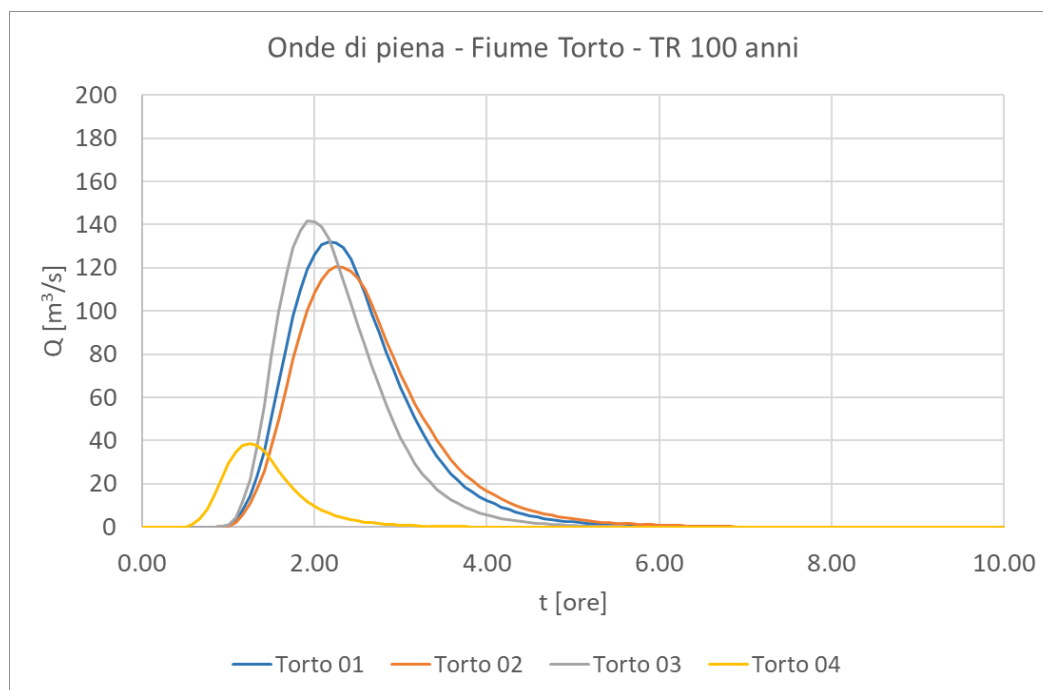


Figura 3: Onde di piena Fiume Torto – TR 100 anni

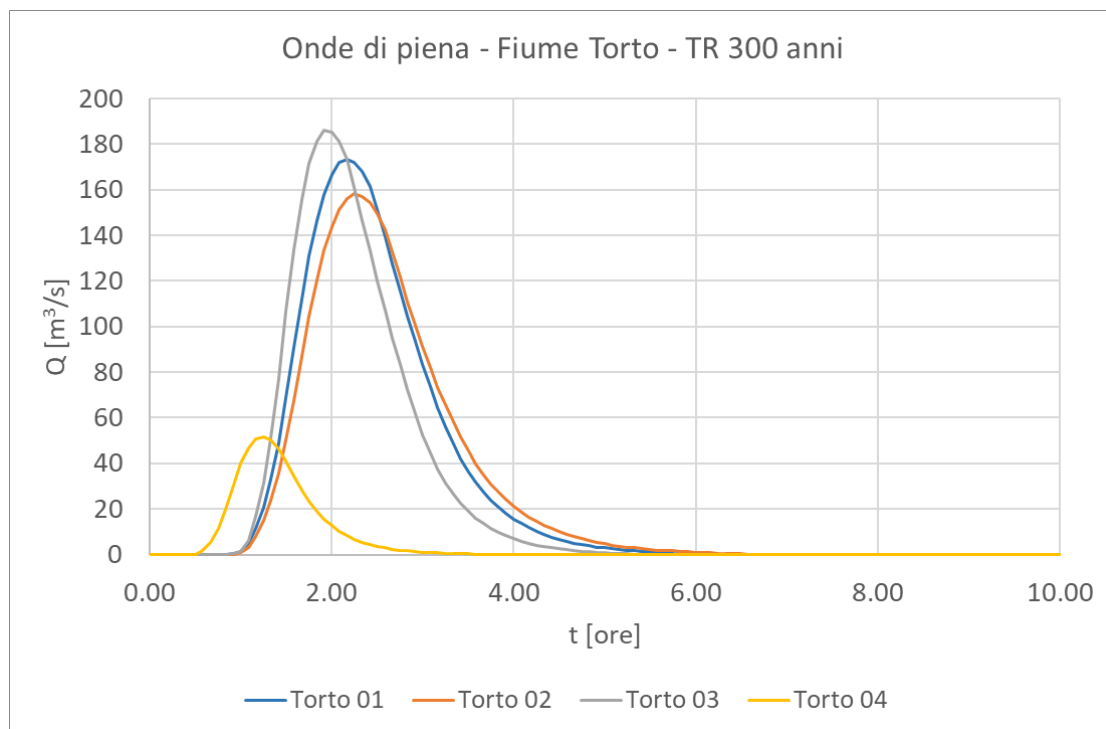


Figura 4: Onde di piena Fiume Torto – TR 300 anni

In Figura 5 è riportato il tratto di Torrente Belici analizzato, assieme alle sezioni di immissione delle portate. A seguire i vari idrogrammi di piena calcolati per i tempi di ritorno di riferimento (Figura 6, Figura 7 e Figura 8).



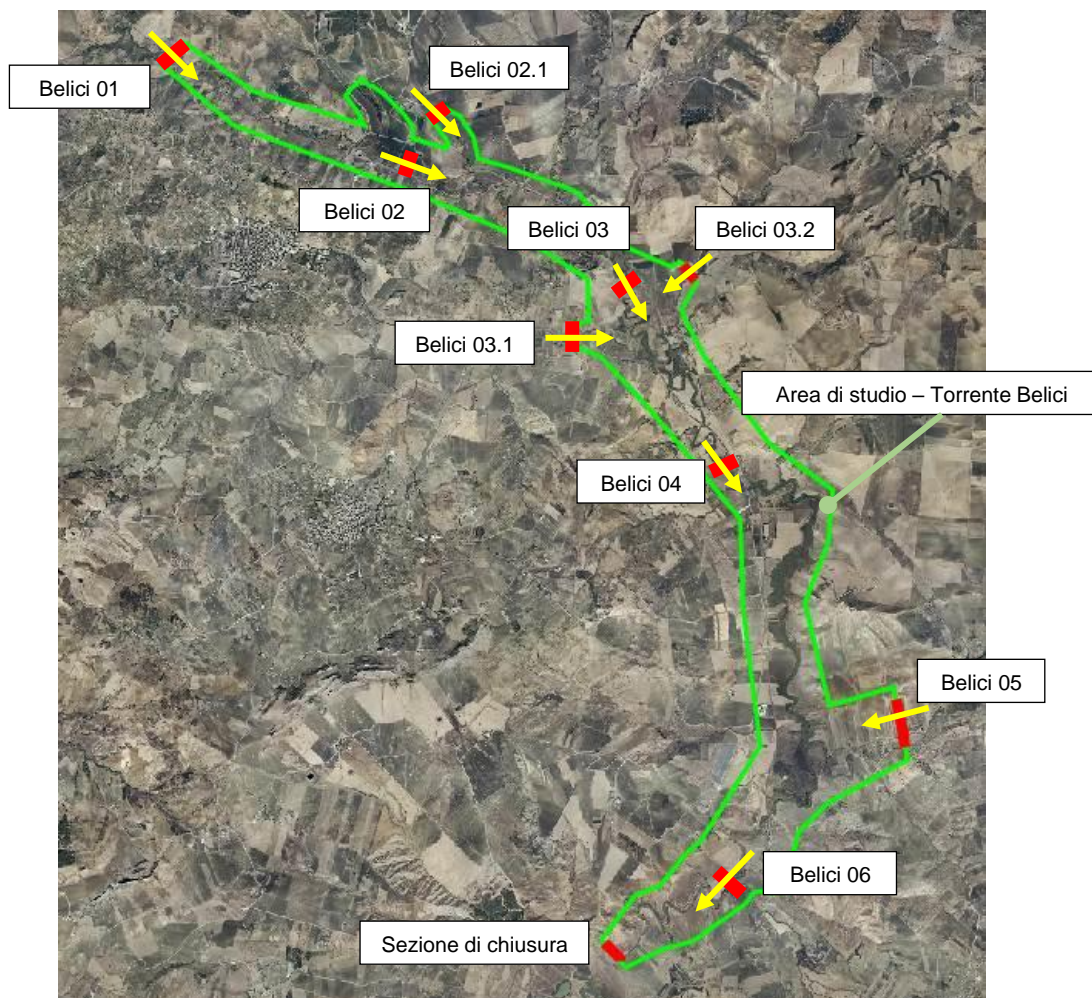


Figura 5: Sezioni di input delle portate, Torrente Belici

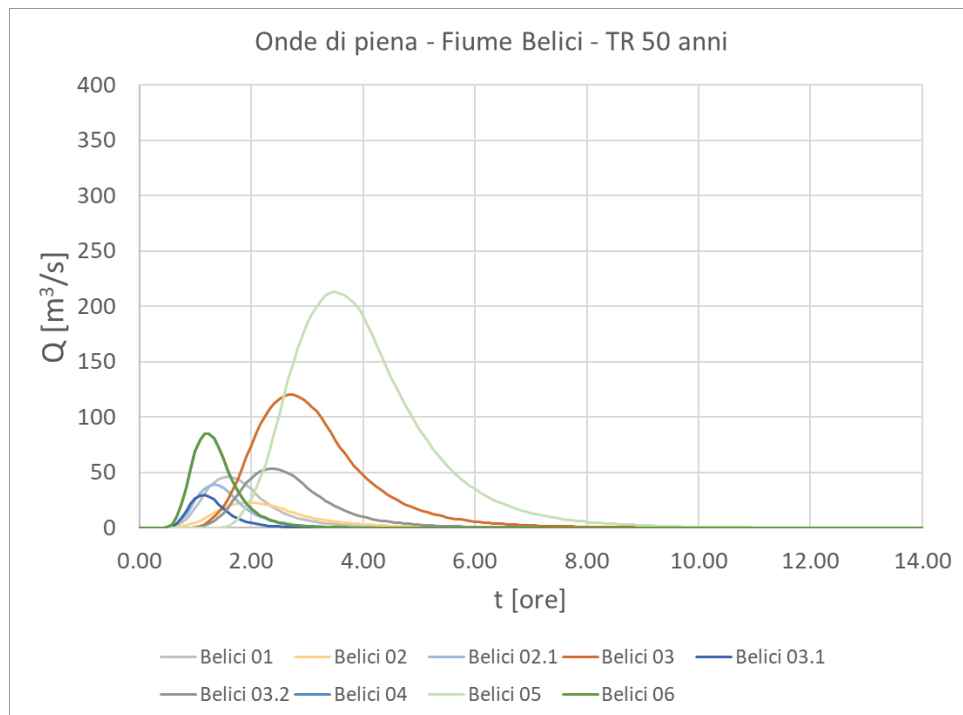


Figura 6: Onde di piena Torrente Belici – TR 50 anni

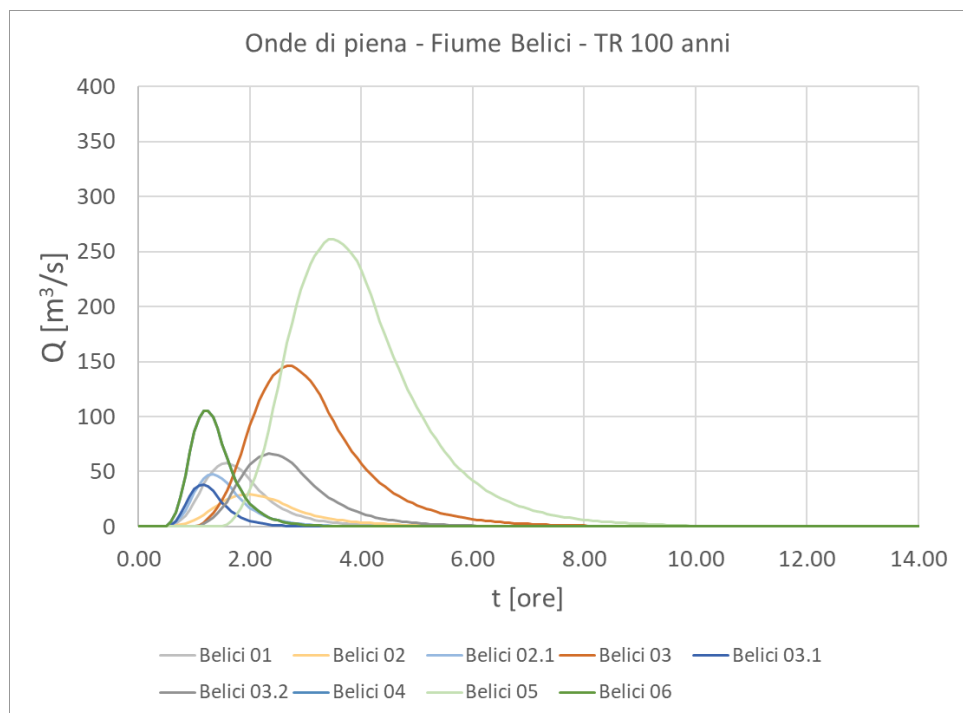


Figura 7: Onde di piena Torrente Belici – TR 100 anni

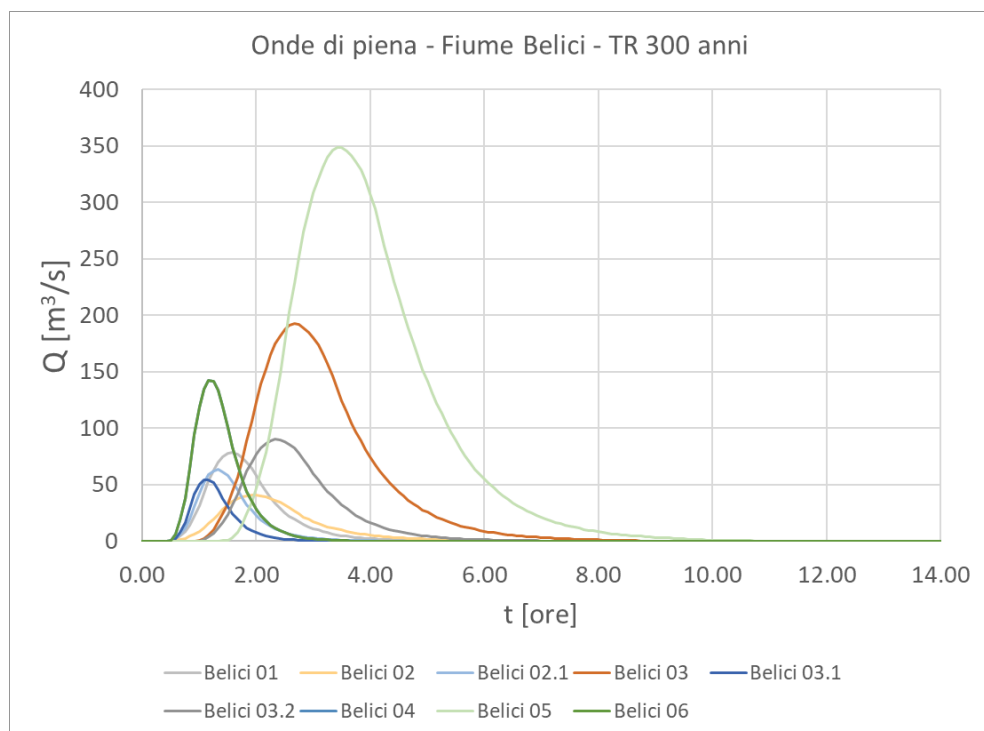


Figura 8: Onde di piena Torrente Belici – TR 300 anni

In Figura 9 è riportato il tratto di Fiume Salito oggetto di studio, assieme alle sezioni di immissione delle portate. A seguire i vari idrogrammi di piena calcolati per gli assegnati tempi di ritorno (Figura 10, Figura 11 e Figura 12).

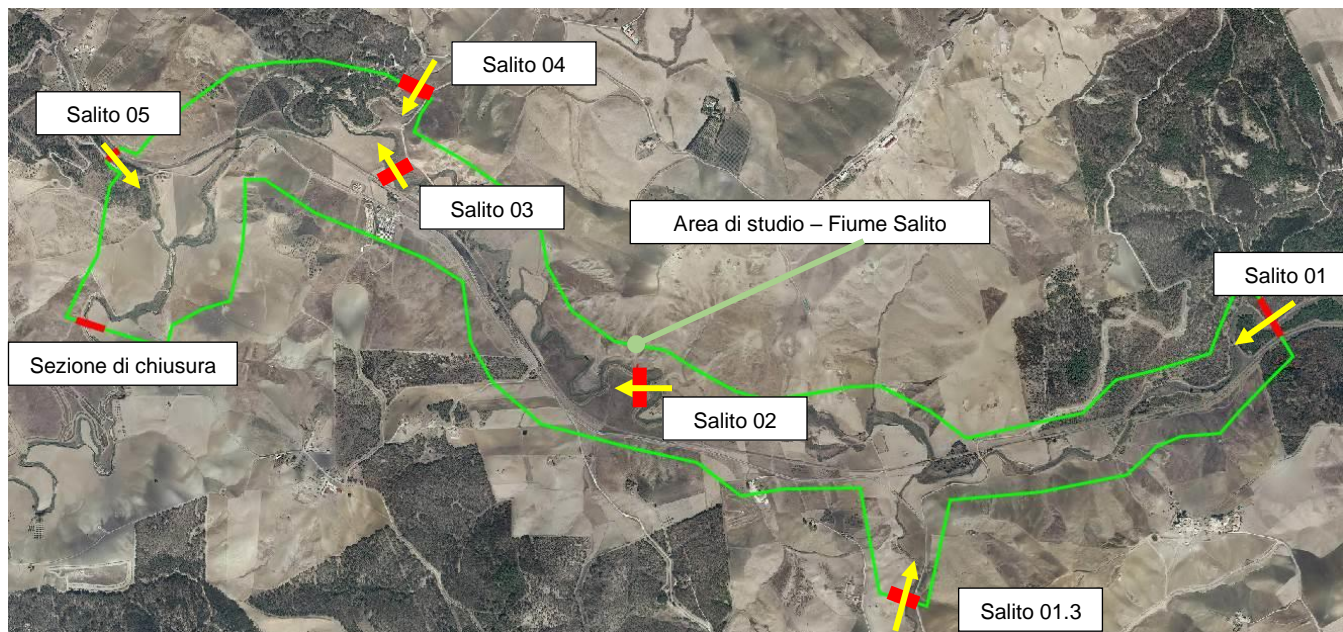


Figura 9: Sezioni di input delle portate, Fiume Salito

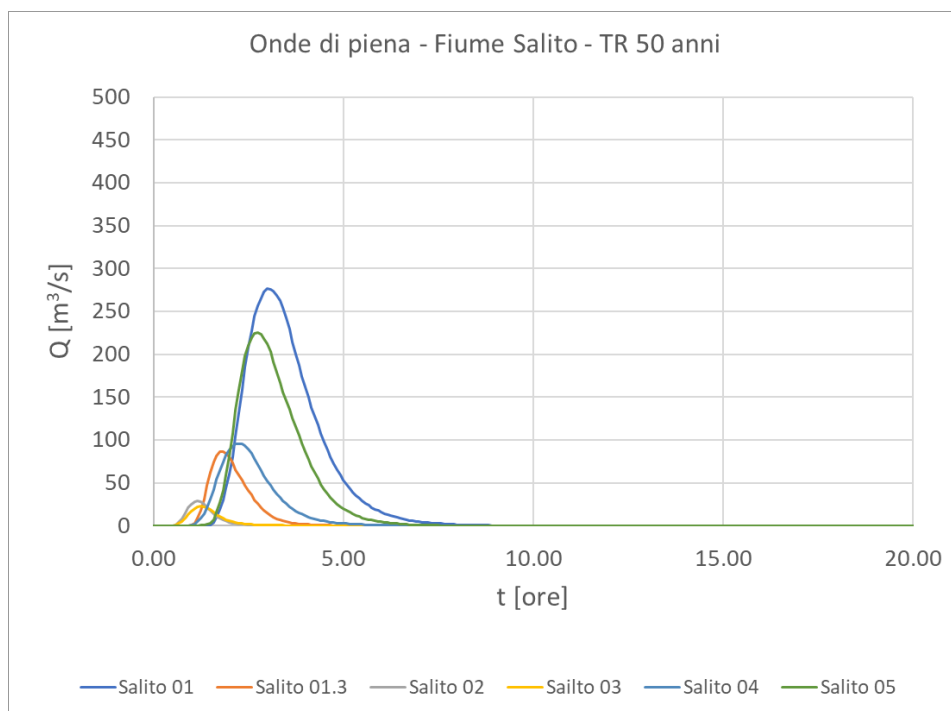


Figura 10: Onde di piena Fiume Salito – TR 50 anni



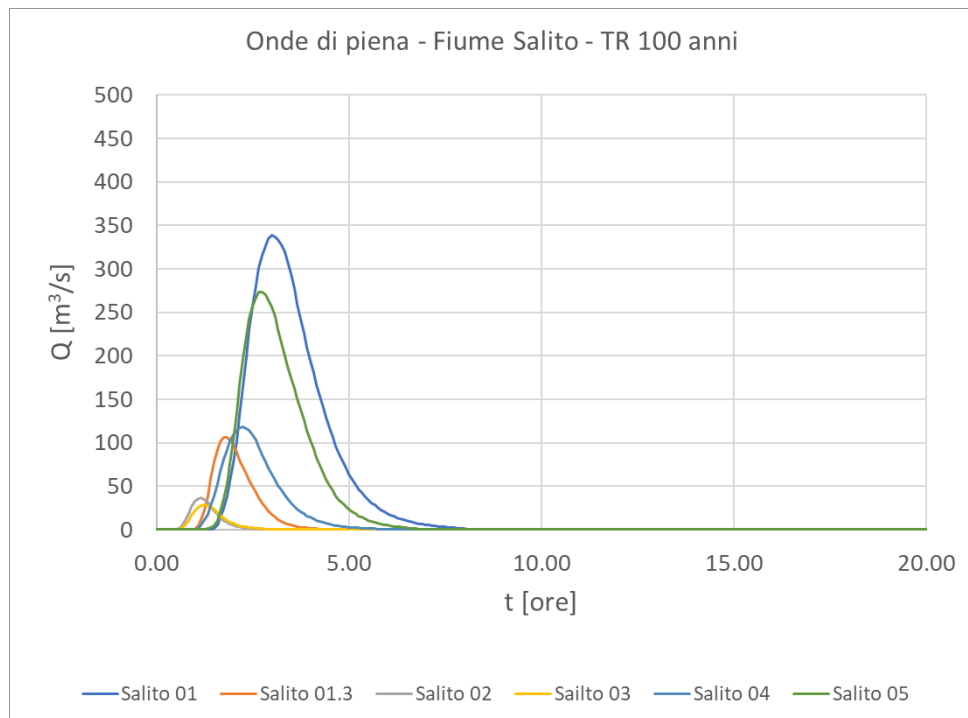


Figura 11: Onde di piena Fiume Salito – TR 100 anni

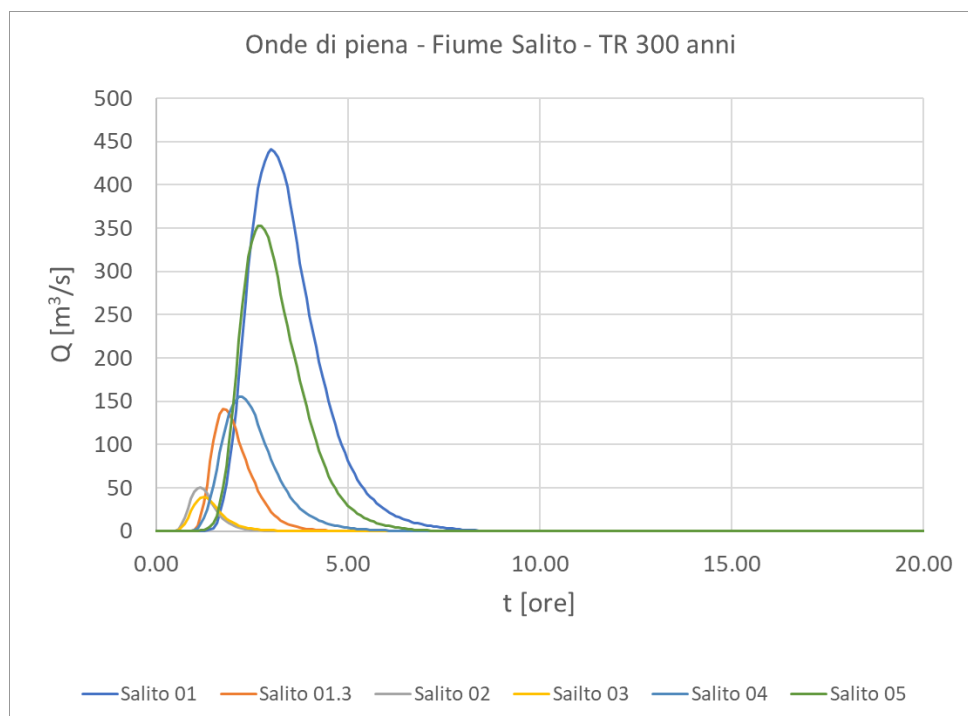


Figura 12: Onde di piena Fiume Salito – TR 300 anni

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 09	RH	ID0000 001	D	22 di 136

In Tabella 1 sono indicate le massime portate ottenute attraverso la sovrapposizione delle onde di piene elementari, calcolate in corrispondenza dei viadotti di progetto interferenti con i corsi d'acqua. Le portate elencate fanno riferimento ad eventi meteorici caratterizzati da tempo di ritorno trecentennale.

<i>wbs</i>	<i>Corso d'acqua</i>	<i>Tempo di ritorno [anni]</i>	<i>Qmax [m<sup>3</sup>/s]</i>
VI01	Fiume Torto	300	329
VI04	Fiume Torto	300	307
NV07	Torrente Belici	300	81
VI05	Torrente Belici	300	120
VI06	Torrente Belici	300	66
VI08	Torrente Belici	300	479
VI10	Torrente Belici	300	562
NV53a	Torrente Belici	300	562
VI11	Torrente Belici	300	562
VI12	Torrente Belici	300	916
VI15	Fiume Salito	300	485
VI17_1	Fiume Salito	300	146
NV62A	Fiume Salito	300	146
VI17_2	Fiume Salito	300	449
VI17_3	Fiume Salito	300	449
NV62c	Fiume Salito	300	449

Tabella 1: Portate massime di riferimento per le verifiche dei viadotti di progetto

### 3.1 Portate di piena relative alle fasi realizzative

Le portate appena descritte ed ottenute attraverso la modellazione idrologica fanno riferimento a differenti tempi di ritorno. All'interno del presente studio, le verifiche idrauliche delle opere di progetto verranno effettuate in relazione ad eventi caratterizzati da un tempo di ritorno di 300 anni. Trattandosi di eventi di piena intensi e a bassa probabilità di superamento, sono normalmente impiegati per le verifiche relative ad orizzonti temporali ampi, almeno pari alla "vita utile" dell'opera. Per "vita utile" dell'opera o "vita nominale di progetto" si intende *il numero di anni per il quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli di prestazione* (definizione tratta dall' "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" del 17 gennaio 2018"). Per l'infrastruttura in oggetto, è stata calcolata una vita utile di 112.5 anni.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

All'interno del lotto 3a e solo per un breve tratto del lotto 3b, nel tratto compreso tra la progressiva 0+000 e 19+300 circa, è previsto il raddoppio della linea ferroviaria Palermo Catania, mentre per la restante parte del lotto 3b verrà realizzato un singolo binario. Laddove si prevede di raddoppiare la linea ferroviaria, al fine di mantenere la continuità del servizio di trasporto, si rende necessario definire uno scenario di progetto intermedio, all'interno del quale coesisterà, per un intervallo temporale limitato, il binario della linea storica PA-CT e un solo binario di progetto. Questo scenario costituisce la cosiddetta "fase 1". Oltre la progressiva 19+300, per la restante parte del lotto 3b, lo scenario di fase 1 coincide con quello finale di fase 2. Secondo le indicazioni del crono programma ad oggi ipotizzato, l'estensione temporale della prima fase non dovrebbe superare i 5 anni.

Dal punto di vista delle interferenze tra opere di progetto e i corsi d'acqua principali, lo scenario di fase 1 differisce da quello di fase 2. Mantenere in attività la linea storica non consente né di realizzare tutte le opere di attraversamento preventivate né di demolire ponti esistenti a cavallo dei corsi d'acqua principali, che di fatto, costituiscono un'ostruzione al passaggio delle portate in condizioni di piena.

Vista la diversità tra due configurazioni, per quelle opere che ricadono tra le progressive 0+000 e 19+300, si rende necessario non solo eseguire le verifiche nello scenario finale di fase 2 ma anche in quello intermedio, di fase 1.

Se si effettuano analisi idrauliche rispetto ad una condizione di lungo periodo, è inevitabile esaminare l'infrastruttura nella sua configurazione finale di progetto, quella denominata "fase 2". Poiché lo scenario di fase 1 ha una durata temporale molto inferiore alla vita utile dell'opera, ci si pone come obiettivo l'assegnazione di un adeguato tempo di ritorno da utilizzare per il calcolo delle portate massime. La probabilità di non superamento di queste portate dovrà tenere in considerazione l'orizzonte temporale ridotto rispetto a quello di fase 2, che coincide con la vita utile delle opere in progetto.

In relazione al tempo di ritorno di progetto, la probabilità che tale evento di piena venga raggiunto o superato nell'intervallo temporale di riferimento, può essere calcolata con la seguente equazione:

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

Dove:  $T_R$  è il tempo di ritorno espresso in anni, e  $N$  è l'intervallo temporale di riferimento anch'esso espresso in anni. La probabilità che un dato fenomeno di una determinata intensità, nella fattispecie, il superamento di un valore prestabilito di portata, si verifichi in un certo periodo di tempo è definita pericolosità, nel caso specifico si parla di pericolosità idraulica.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

Se si assume come periodo di riferimento quello pari alla vita utile dell'opera (112.5 anni), agli eventi di piena associati ai tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni corrispondono i seguenti valori di pericolosità.

TR [anni]	Pericolosità
50	0.89
100	0.68
200	0.43
300	0.31

Tabella 2: Valori della pericolosità idraulica per N=112.5 anni

Dall'analisi della tabella appare chiaro che agli eventi più frequenti, quelli con TR inferiore, corrisponda la maggior pericolosità, mentre, agli eventi più rari è associata la minor pericolosità.

Imponendo per la fase transitoria gli stessi livelli di pericolosità idraulica definita per l'opera completa in fase 2, è possibile determinare il tempo di ritorno dell'evento meteorico di riferimento per la prima fase tramite la seguente formula:

$$T_{R,eq} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{1}{T_R}\right)^{N/M}}$$

Dove: N è l'arco temporale di riferimento per la fase finale e  $T_R$  è il tempo di ritorno corrispondente, M è la durata della fase 1, quella transitoria,  $T_{R,eq}$  è il tempo di ritorno equivalente, associato a  $M < N$ .

Posto N=112.5 anni, vita utile dell'opera e M=5 anni, durata della fase 1, i tempi di ritorno equivalenti sono calcolati con la precedente equazione e riportati nella prossima tabella.

TR [anni]	Pericolosità	TReq [anni]
50	0.89	3
100	0.68	5
200	0.43	10
300	0.31	14

Tabella 3: Tempi di ritorno equivalenti, N=112.5 anni e M=5 anni

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

A chiusura del presente elaborato specialistico, verranno fornite informazioni utili alla progettazione delle opere provvisorie di cantiere, necessarie per la costruzione delle opere in alveo come le pile e le spalle dei viadotti. In particolare saranno esposti i massimi livelli idrici attendibili in una ipotetica configurazione di cantiere in corrispondenza delle opere di attraversamento stradali e ferroviarie. In modo analogo a quanto fatto per l'assegnazione delle portate di verifica della configurazione transitoria "fase 1", si determina il tempo di ritorno di riferimento delle portate per uno scenario provvisorio. L'orizzonte temporale considerato è pari al tempo necessario alla realizzazione di un singolo viadotto, 12 mesi secondo una stima di massima. Mantenendo fissa la pericolosità idraulica relativa all'evento trecentennale, è possibile calcolare il tempo di ritorno equivalente attraverso la precedente equazione, imponendo  $M=1$  anno e  $N=112.5$  anni. Il tempo di ritorno da adottare per le verifiche delle opere provvisorie risulta pari a 3.2 anni, che approssimiamo a 5 anni in favore di sicurezza.

#### **4. MODELLO IDRAULICO BIDIMENSIONALE**

##### **4.1 Generalità**

Questo studio idraulico ha lo scopo di analizzare le interferenze tra le opere di progetto e alcuni corsi d'acqua ritenuti di maggiore interesse. In particolare, nel presente elaborato saranno approfondite alcune tematiche relative al Fiume Torto, al Torrente Belici e al Fiume Salito. A ciascuno dei tre corsi d'acqua compete uno studio idraulico indipendente, ma simile come approccio metodologico.

La modellazione idrodinamica delle acque dei tre corsi d'acqua è stata sviluppata, per i tratti limitati alle aree in esame, mediante modelli di calcolo bidimensionali ai volumi finiti.

Il software utilizzato per l'implementazione dei modelli è InfoWorks ICM 9.0 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. È 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.

Coerentemente con quanto fatto dal Dipartimento Territorio e Ambiente della Regione Sicilia, nella redazione del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico, ed in accordo con le analisi del progetto preliminare, le simulazioni sono state eseguite in condizioni di moto vario.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

Nelle simulazioni a moto vario, si immettono nel dominio di calcolo volumi di piena finiti, sottesi dagli idrogrammi calcolati attraverso le analisi idrologiche a scala di bacino.

## 4.2 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:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = \sum_{i=1}^n q_i$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( hu^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon h \frac{\partial u}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon h \frac{\partial u}{\partial y} \right) = gh(S_{0,x} - S_{f,x}) + \sum_{i=1}^n q_i u_i$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( hv^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon h \frac{\partial v}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon h \frac{\partial v}{\partial y} \right) = gh(S_{0,y} - S_{f,y}) + \sum_{i=1}^n q_i v_i$$

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

$\epsilon$  è la viscosità turbolenta

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA MAGGIORE					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

$q_i$  è la portata immessa per unità di superficie,  $u_i$  e  $v_i$  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 separatamente in due termini: la turbolenza localizzata alla parete (wall friction), e la turbolenza “interna” dovuta agli effetti dissipativi correlati alle fluttuazioni di velocità nelle regioni più interne del fluido. Quest’ultimo termine è rappresentato all’interno del modello dalla viscosità turbolenta.

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 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 ( $\Delta t$ ) 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:

$$\Delta t \leq \frac{CFL \Delta x}{(\sqrt{u^2 + v^2} + c)}$$

dove: CFL è il numero di Courant (il valore di default è 0.95),  $\Delta x$  è la dimensione caratteristica dell’elemento appartenente alla griglia di calcolo, u e v sono le componenti piane del vettore velocità, c è la celerità dell’onda,  $\Delta t$  è il time step.

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

### 4.3 Le geometrie dei modelli

Le caratteristiche geometriche delle aree di interesse (in seguito definite *dominio di calcolo*) sono riportate all’interno dei modelli idraulici tramite una rappresentazione semplificata del territorio ad elementi generalmente poligonali, nota come mesh. La mesh di calcolo possiede una risoluzione



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

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.

Nel seguito si darà una descrizione delle tre geometrie di calcolo sviluppate all'interno del presente studio idraulico.

#### 4.3.1 Fiume Torto

In Figura 13 è riportata l'estensione del dominio di calcolo delimitato da un poligono di colore arancione. Nella stessa immagine è visibile l'asse del corso d'acqua (linea azzurra), l'asse della linea storica (verde) e l'asse di progetto (in rosso). Il dominio si estende su una superficie di circa 7.5 km<sup>2</sup>. All'interno del dominio di calcolo, il fiume Torto si sviluppa per una lunghezza di circa 12 km.

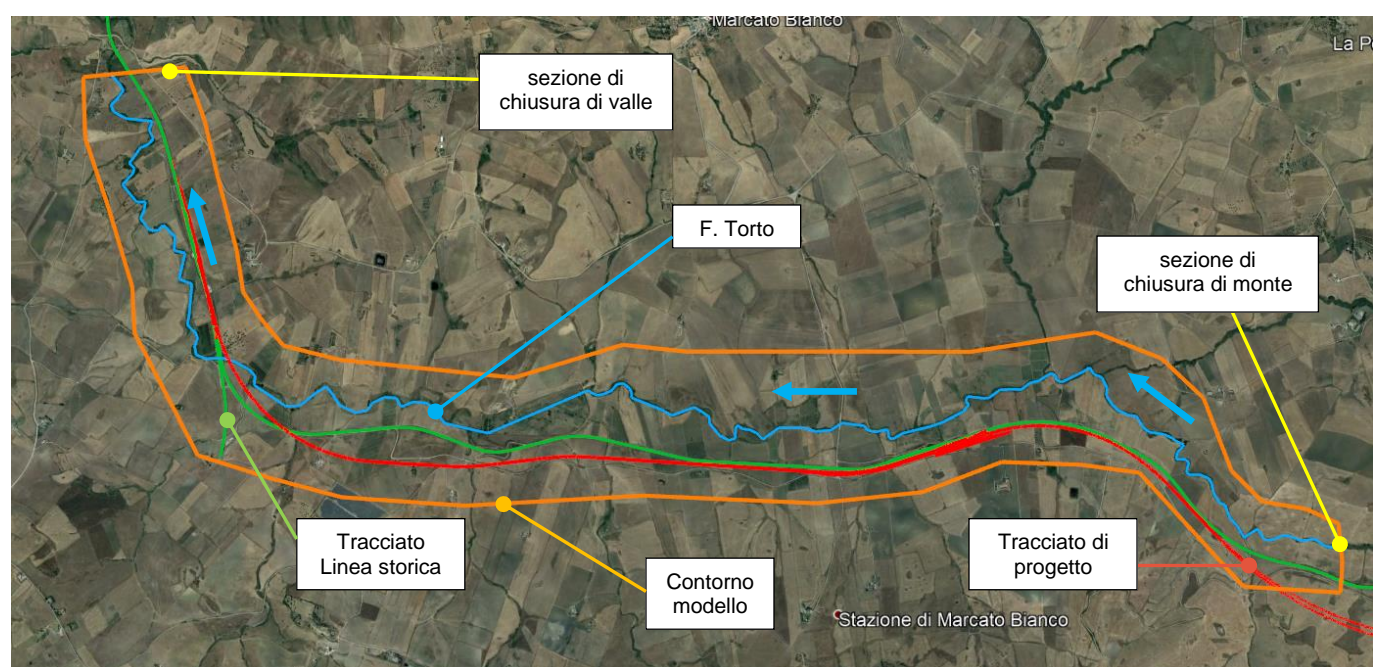


Figura 13: Estensione del dominio di calcolo, Fiume Torto

L'andamento piano altimetrico del dominio di calcolo è basato sull'utilizzo di un DTM ottenuto attraverso un rilievo LIDAR commissionato da ITALFERR, la cui risoluzione è dell'ordine del metro. Le risoluzioni del DTM sono adeguate a rappresentarne le caratteristiche piano altimetriche delle aree indagate. In Figura 14 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



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

Figura 14 è evidenziato un ingrandimento di una porzione del DTM in cui è possibile apprezzare il livello di dettaglio molto elevato.

La mesh di calcolo, rappresentata in Figura 15, è costituita da circa 535'000 elementi. La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 80 m<sup>2</sup> e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un'area di 4-5 m<sup>2</sup>.

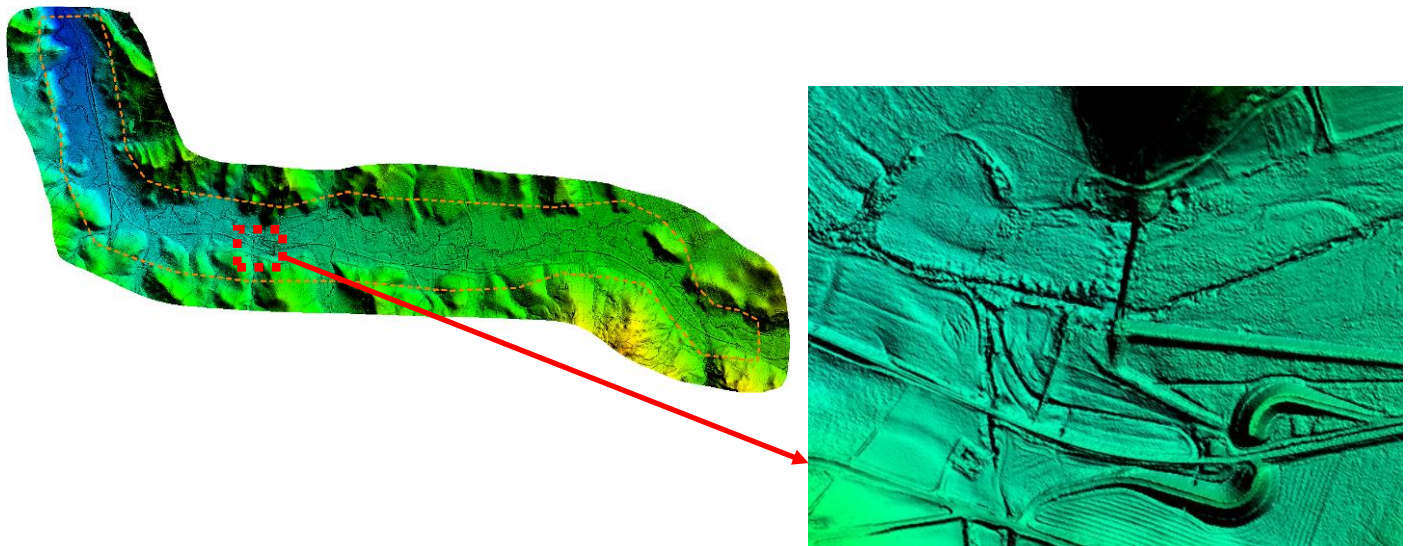


Figura 14: DTM di riferimento, Fiume Torto

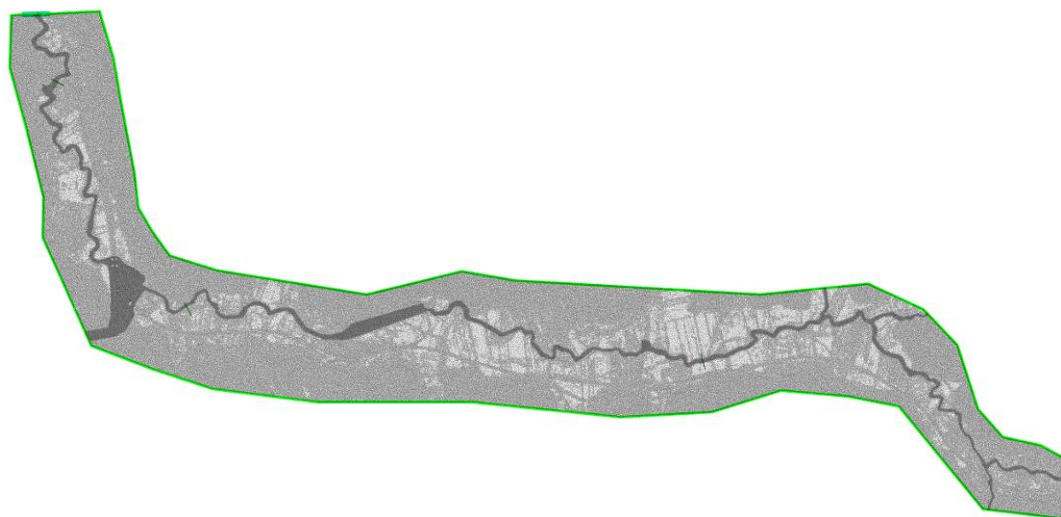


Figura 15: Mesh di calcolo Fiume Torto

Son state create due mesh di calcolo per il Fiume Torto: una configurazione geometrica dello stato di fatto e una dello stato di progetto. In quest'ultima sono state inserite le opere progettuali (viadotti e rilevati ferroviari e stradali), ricostruite con elevato grado di dettaglio le varie opere progettuali.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA MAGGIORE					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

### 4.3.2 Affluente del Fiume Torto in sinistra idrografica

#### 4.3.2.1 Impostazione generale

È stato implementato un modello bidimensionale dell'affluente sinistro del rio Torto per l'analisi delle esondazioni attese per gli eventi di progetto (tempo di ritorno di 50, 100, 200 e 300 anni), al fine di verificare se il sottopasso alla pk 77+628 della linea Palermo-Agrigento sia interessato anche dalle esondazioni dell'affluente.

Il tratto oggetto di analisi ha una lunghezza totale di 500 m. Il modello si estende circa 200 m a monte dell'attraversamento ferroviario in esame e circa 300 m a valle, terminando immediatamente a valle della linea ferroviaria esistente.

Il dominio di calcolo, di dimensione totale pari a 22.0 ha, è rappresentato in Figura 4-16.



Figura 4-16 – Estensione del modello idraulico dell'affluente sinistro del rio Torto: in rosso sono evidenziati i limiti del dominio di calcolo 2D e in azzurro la zona di magliatura dell'affluente.



	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>				
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>

In prossimità della chiusura del modello, sono simulati i tombini di attraversamento della viabilità e della linea ferroviaria esistente (Figura 4-17).

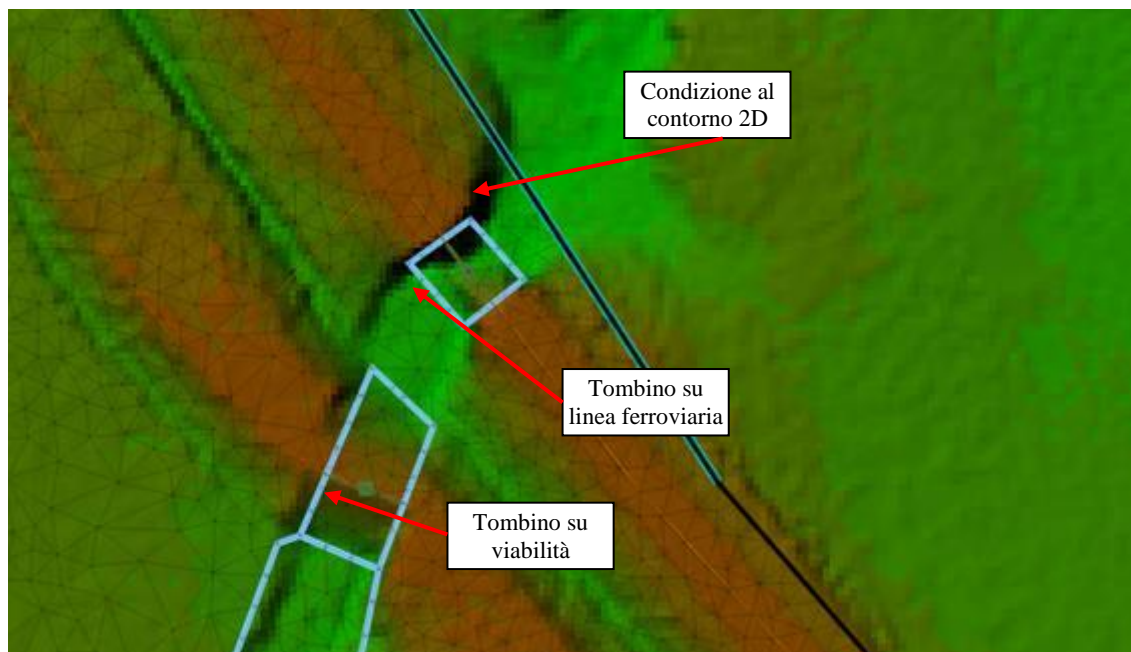


Figura 4-17 – Planimetria con indicazione dei tombini esistenti a servizio della viabilità e della linea ferroviaria esistente, posizionati in prossimità del confine del dominio di calcolo.

La magliatura in corrispondenza dell'alveo è stata effettuata con una dimensione minima delle celle inferiore ( $0.5 \text{ m}^2$ ) al fine di simulare in maniera più dettagliata il corso d'acqua.

L'implementazione dei manufatti è stata effettuata mediante l'utilizzo degli elementi 2D che il modello fornisce. In particolare, ad una struttura lineare che modella l'impalcato si associa una struttura lineare che simula l'apertura dell'attraversamento (Figura 4-18).

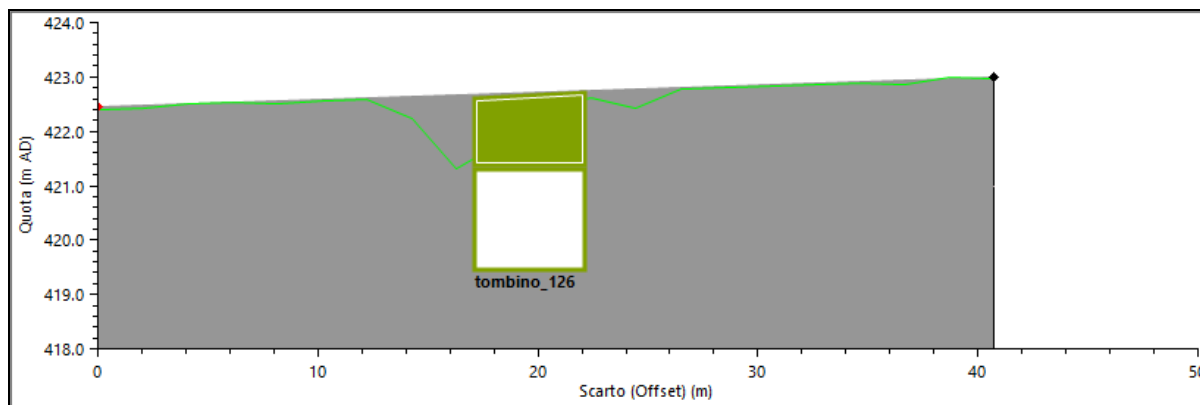


Figura 4-18 – Schematizzazione dell'attraversamento alla pk 77+950.

#### 4.3.2.2 Scabrezza e condizioni al contorno

Per l'alveo è stato considerato un coefficiente di scabrezza di Manning,  $n$ , pari a  $0.03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ , mentre per le aree golenali si è assunto un coefficiente pari a  $0.04 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ .

La condizione al contorno di monte del modello è costituita dagli idrogrammi calcolati per i tempi di ritorno di progetto (30, 100, 200 e 300 anni) (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**). Gli idrogrammi sono stati ottenuti mediante l'utilizzo di un modello afflussi-deflussi (software HEC-HMS) a partire dalle piogge calcolate secondo la metodologia VAPI.

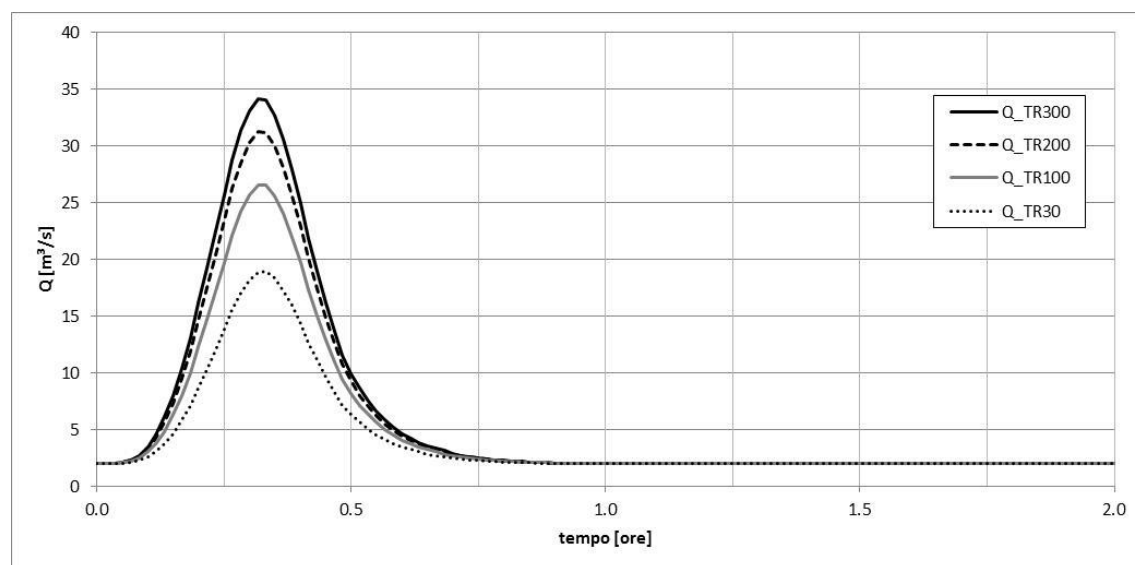


Figura 4-19 – Idrogrammi di progetto dell'affluente sinistro del rio Torto

La condizione al contorno di valle è stata imposta in due punti:

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA MAGGIORE					
Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D	FOGLIO 34 di 136

- Immediatamente a valle del ponte ferroviario della linea esistente
- Immediatamente a valle del ponte ferroviario sul rio Torto alla pk 77+434

Sono state simulate due situazioni:

- Deflusso libero: la condizione di valle è stata imposta a deflusso libero, ovvero si considera una situazione idraulica a piene rive del Rio Torto;
- Rigurgito: come condizione di valle sono stati imposti i livelli idrometrici massimi calcolati nella simulazione del Rio Torto durante gli eventi con corrispondente tempo di ritorno.

#### 4.3.3 *Torrente Belici*

In Figura 20 è visibile il contorno del dominio di calcolo adottato per il modello del Torrente Belici, delimitato da un poligono di colore arancione. Nella stessa immagine è visibile l'asse del corso d'acqua (linea azzurra), l'asse della linea storica (verde) e l'asse di progetto (in rosso). Il dominio si estende su una superficie di circa 12.5 km<sup>2</sup>. All'interno del dominio di calcolo il Torrente Belici copre una lunghezza di circa 23 km.

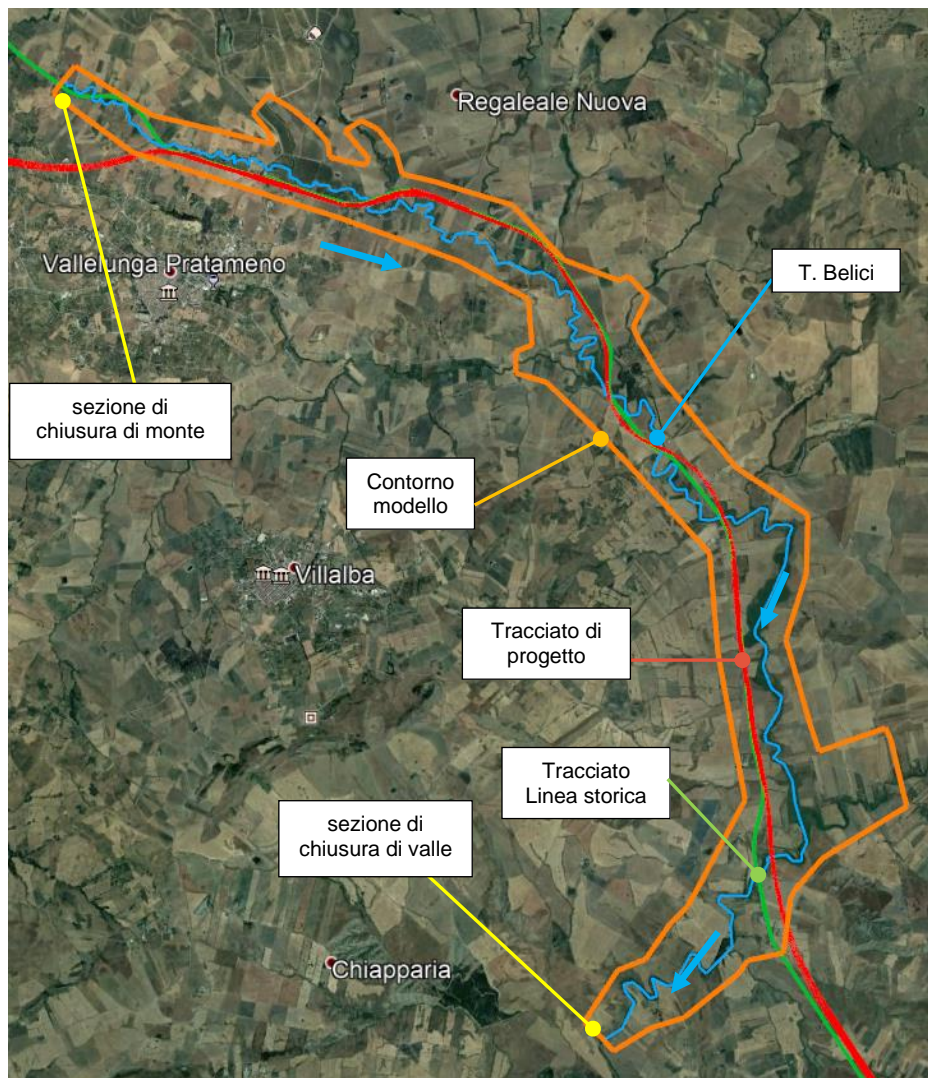


Figura 20: Estensione del dominio di calcolo, Torrente Belici

L'andamento piano altimetrico del dominio di calcolo è basato principalmente su un rilievo LIDAR commissionato da ITALFERR, la cui risoluzione è dell'ordine del metro (Figura 21). Alcune porzioni del dominio di calcolo sono descritte da un secondo modello digitale del terreno (DTM) di pari risoluzione spaziale. Quest'ultimo dato è stato fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. La congruità delle informazioni altimetriche è stata verificata in via preliminare, dimostrando un'ottima corrispondenza fra i dati. Sempre in Figura 21 è evidenziato un ingrandimento di una porzione del DTM in cui è possibile apprezzare il livello di dettaglio molto elevato.



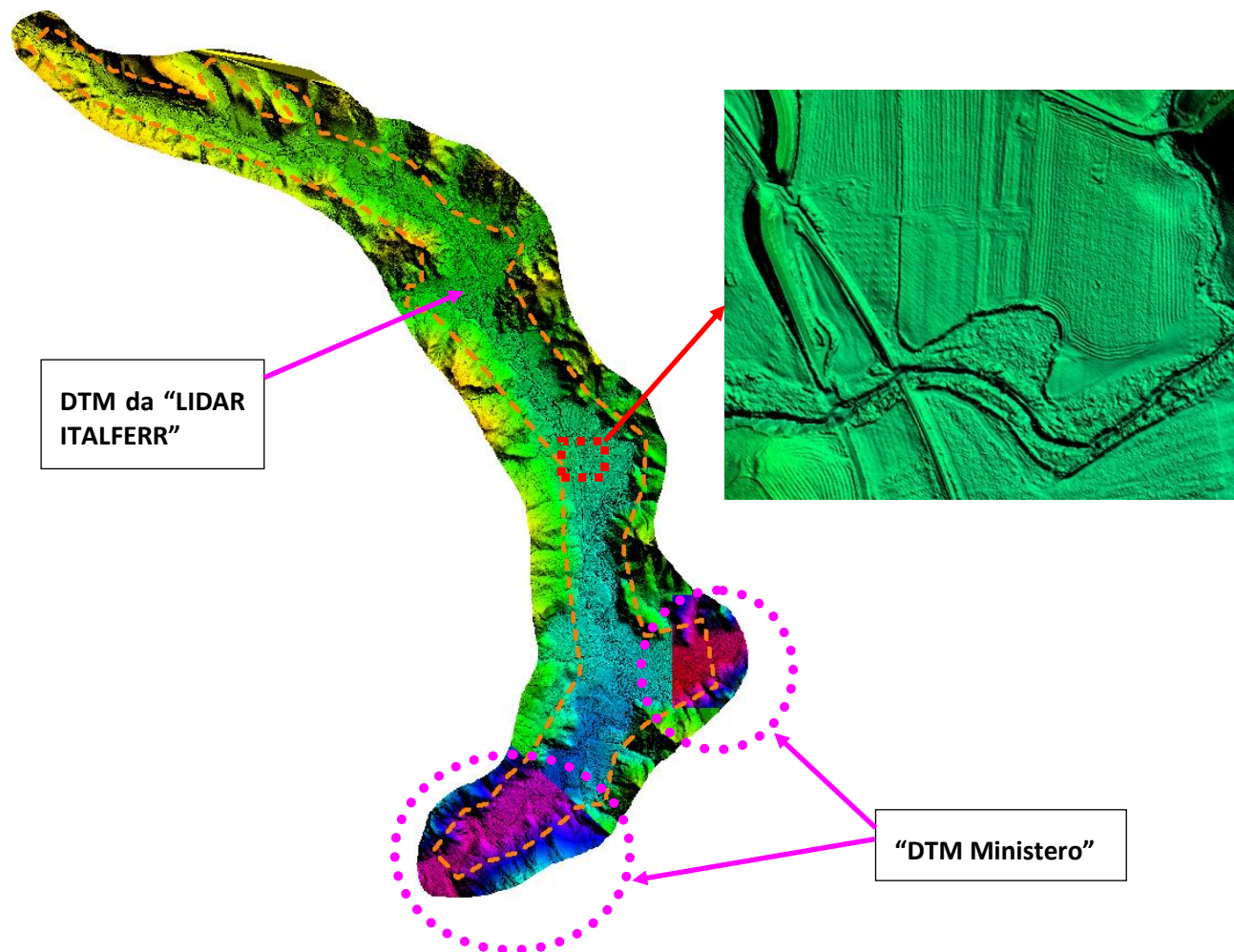


Figura 21: DTM di riferimento, Torrente Belici

La mesh di calcolo, rappresentata in Figura 22, è costituita da circa 1'334'000 elementi. Le dimensioni minime degli elementi che compongono la mesh di calcolo sono pari a circa 3-4 m<sup>2</sup>, i poligoni di area massima coprono una superficie pari a circa 80 m<sup>2</sup>.




	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>



*Figura 22: Mesh di calcolo Torrente Belici*

Nello studio del Torrente Belici sono state sviluppate due diverse mesh di calcolo: una per la configurazione geometrica dello stato di fatto e una per quella di progetto. Nella mesh dello stato di progetto sono presenti le varie opere progettuali, quali viadotti e rilevati ferroviari e stradali, ricostruiti con elevato grado di dettaglio.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

#### 4.3.4 Fiume Salito

In Figura 23 è rappresentato il contorno del dominio di calcolo adattato per il Fiume Salito. Nella stessa immagine è visibile l'asse del corso d'acqua (linea azzurra), l'asse della linea storica (verde) e l'asse di progetto (in rosso). Il dominio si estende su una superficie di circa 3.7 km<sup>2</sup>. All'interno del dominio di calcolo il Fiume Salito si sviluppa, per una lunghezza di circa 11 km.

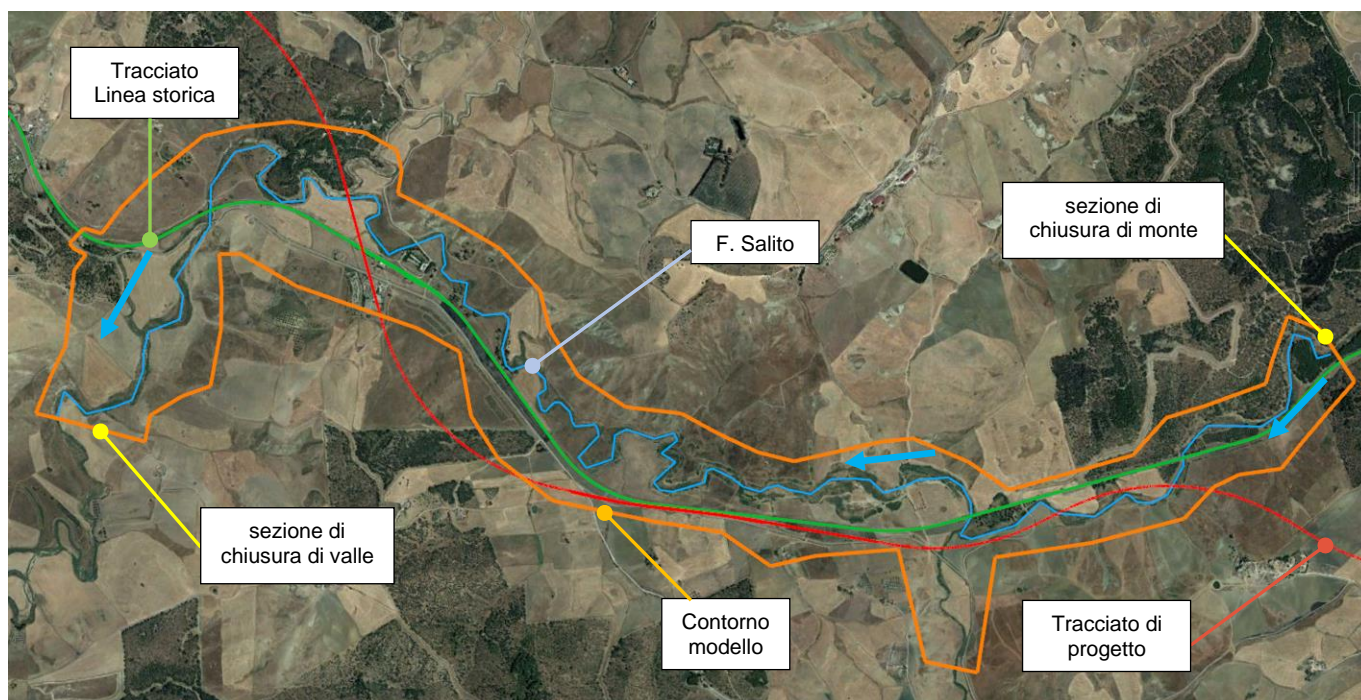


Figura 23: Estensione del dominio di calcolo, Fiume Salito

L'andamento piano altimetrico del dominio di calcolo è basato sull'utilizzo di un DTM ottenuto attraverso un rilievo LIDAR commissionato da ITALFERR, la cui risoluzione è dell'ordine del metro. Le risoluzioni del DTM sono adeguate a rappresentarne le caratteristiche piano altimetriche delle aree indagate. In Figura 24 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 24 è evidenziato un ingrandimento di una porzione del DTM in cui è possibile apprezzare il livello di dettaglio molto elevato.



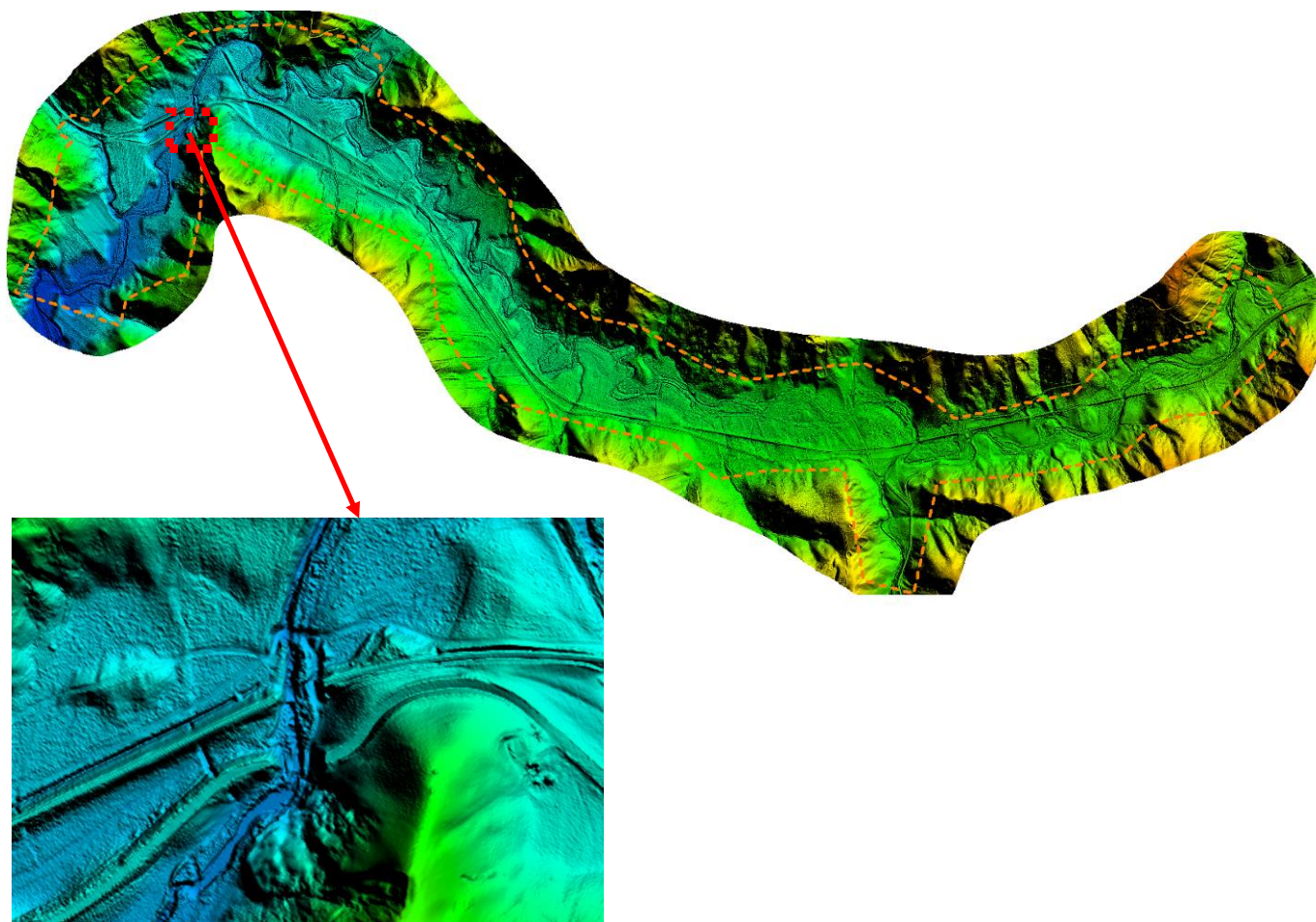


Figura 24: DTM di riferimento, Fiume Salito

La mesh di calcolo, rappresentata in Figura 25, è costituita da circa 422'500 elementi. La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 80 m<sup>2</sup> e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un'area di 3-4 m<sup>2</sup>.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>



Figura 25: Mesh di calcolo Fiume Salito

Per il Fiume Salito 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 e stradali.

#### 4.4 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  $0.045 \text{ s/m}^{1/3}$  per l'alveo di magra e  $0.06 \text{ s/m}^{1/3}$  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 del tutto simili a quelli impiegati per le analisi idrauliche propedeutiche alla stesura dei rispettivi P.A.I. , nel quale sono state sviluppate delle modellazioni numeriche di tipo monodimensionale in condizioni di moto vario.

I valori di scabrezza adottati sono i medesimi utilizzati all'interno dello studio idraulico del progetto preliminare.

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 09	RH	ID0000 001	D	41 di 136

## 5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

### 5.1 Criteri di presentazione dei risultati

I risultati delle simulazioni numeriche sono riportati negli elaborati grafici allegati come planimetrie delle aree di esondazione. In tali elaborati sono rappresentati i livelli e le velocità ricavati dalle simulazioni numeriche per onde di piena caratterizzate da tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni.

Per ciascun corso d'acqua analizzato, sono esposti negli elaborati prodotti i risultati ottenuti adottando due configurazioni geometriche, quella dello stato di fatto e quella dello stato di progetto.

Normativa	TR richiesto per le verifiche
NTC 2018	≥ 200 anni
Manuale Italferr	200 / 300 anni (*)

Tabella 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.

### 5.2 Simulazioni ante operam

Nei prossimi paragrafi verranno illustrate le principali criticità apparse attraverso le simulazioni dello stato di fatto, in particolare verranno messe in evidenza le interferenze tra le aree allagate e la linea ferroviaria esistente, "linea storica". I risultati saranno esposti come stralci delle planimetrie di allagamento relativi alle massime piene di progetto, Tr 300 anni. Per una descrizione più completa e di maggior dettaglio si rimanda agli elaborati grafici annessi.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

### 5.2.1 Fiume Torto

In sinistra idraulica del Fiume Torto, all'altezza della progressiva di progetto 4+500 - 3+675, si osserva un'interferenza tra le aree allagate e la linea storica, Figura 26.

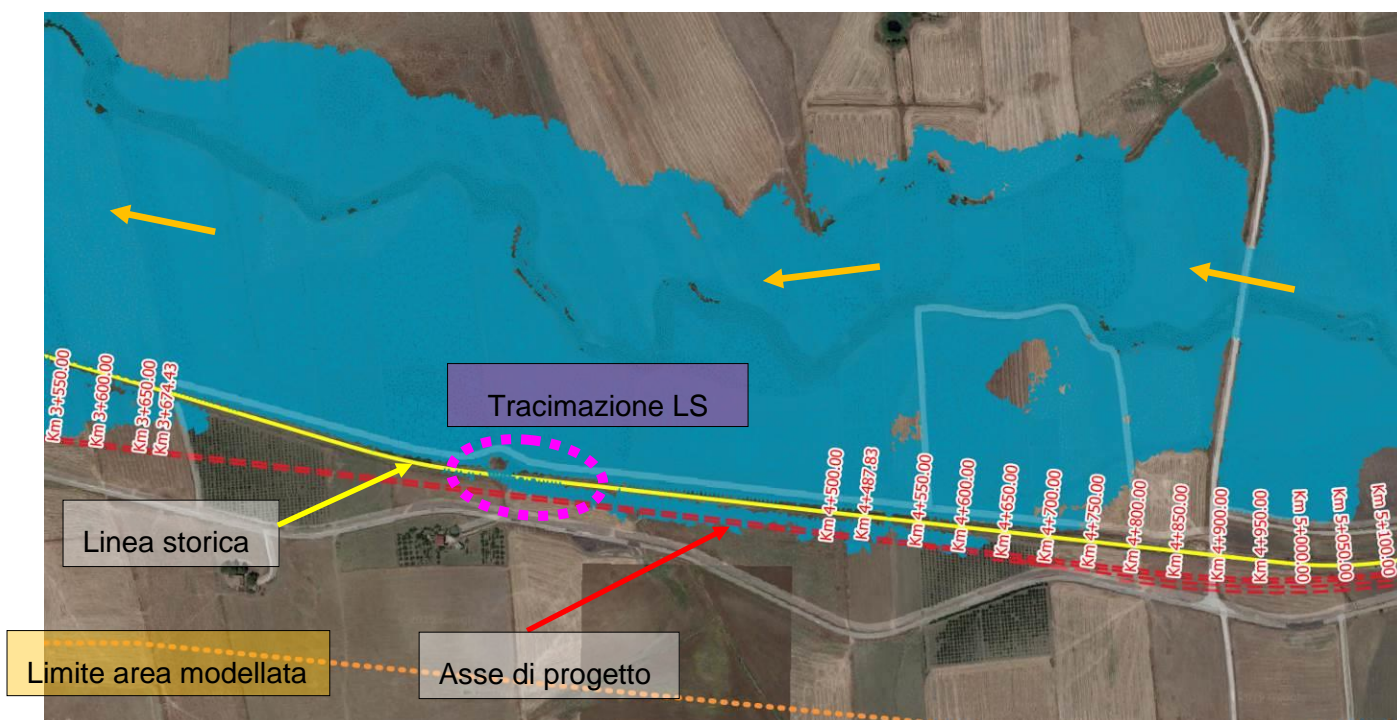


Figura 26: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto ,Fiume Torto, TR 300 anni, km 4+500

In prossimità della chilometrica di progetto 0+740, il Fiume Torto attraversa la linea storica per mezzo di un ponte ferroviario (Figura 27). Le luci libere dell'opera di attraversamento sono contenute, tali da imporre un forte restringimento al flusso e il conseguente innalzamento dei livelli idrici a monte del ponte esistente. L'effetto di rigurgito è tale da provocare in destra idraulica, a ridosso del rilevato ferroviario, un ampio allagamento. I livelli idrici sono superiori alla quota di sommità del rilevato ferroviario che viene di conseguenza tracimato.



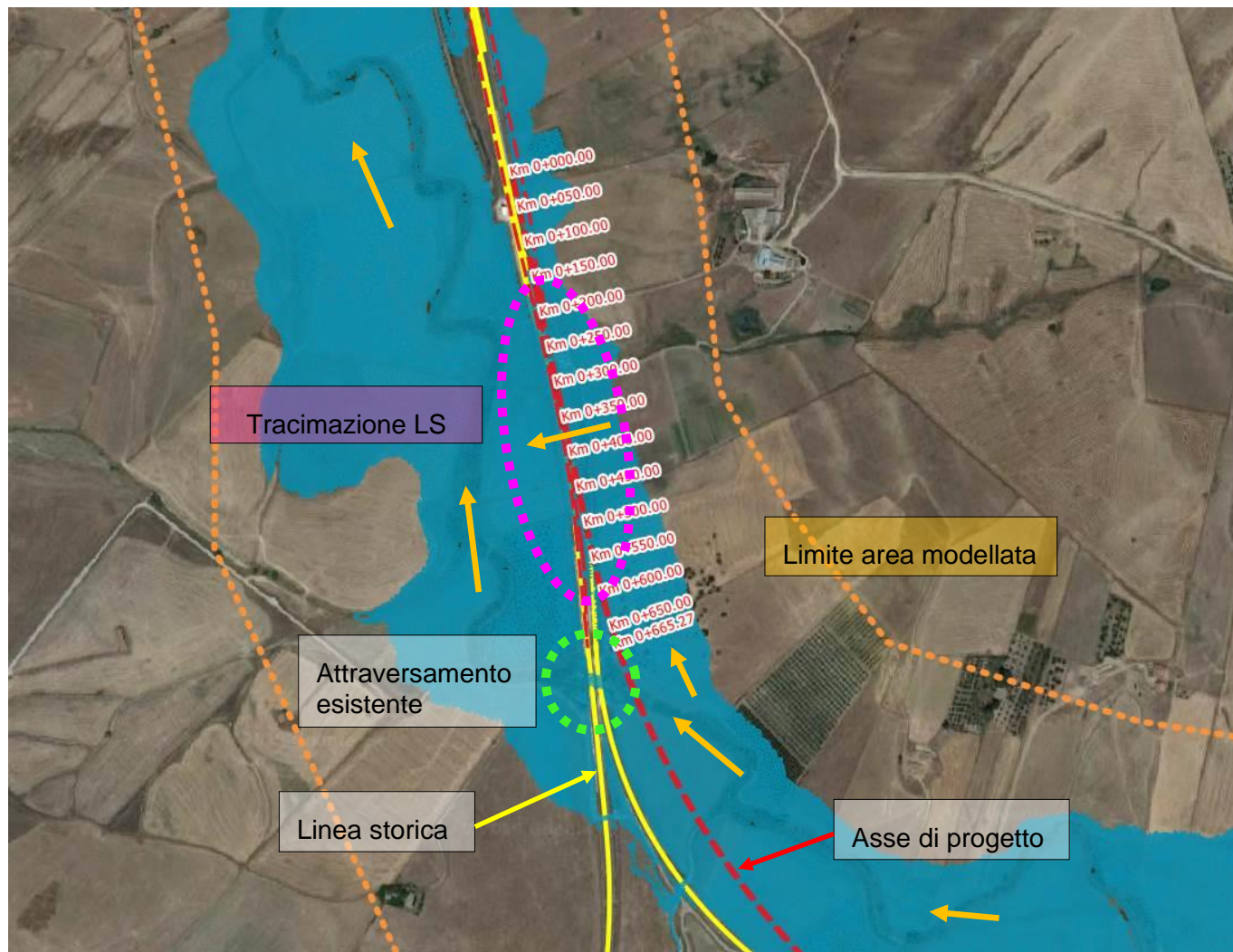


Figura 27: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto ,Fiume Torto, TR 300 anni, km 0+665

### 5.2.2 Affluente del Fiume Torto in sinistra idrografica

Le aree allagabili ottenute dalla modellazione idraulica sono rappresentate in Figura 5-28: esse si estendono per il tratto della linea ferroviaria di nuova realizzazione compreso tra l'attraversamento del rio Torto alla pk 77+434 e il tombino di attraversamento dell'affluente sinistro alla pk 77+950, interessando quindi anche i tombini alla pk 77+554 e alla pk 77+640.



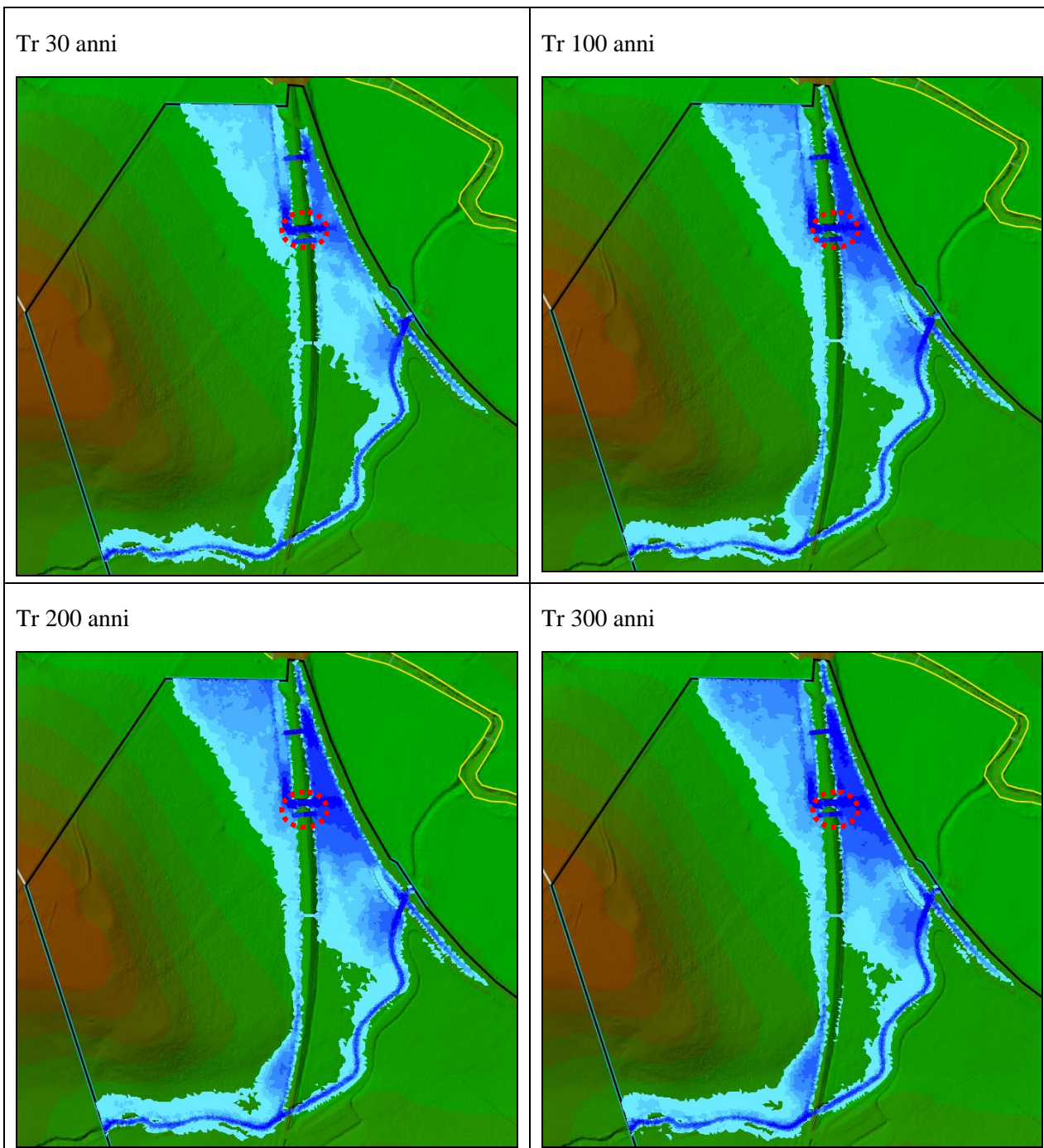


Figura 5-28 – Allagamenti dovuti all'esondazione dell'affluente sinistro del rio Torto in prossimità dell'attraversamento alla pk 77+628 per eventi con tempo di ritorno 30, 100, 200 e 300 anni.

### 5.2.3 Torrente Belici

All'interno dell'area di interesse, la linea ferroviaria esistente percorre la valle del Torrente Belici, intersecando il corso d'acqua in più punti. Nel tratto compreso tra le progressive di progetto 16+000 e 17+500, sono attualmente presenti tre opere di attraversamento di ampiezza piuttosto limitata, Figura 29. La capacità di portata degli attraversamenti appare insufficiente; infatti i profili idrici sono rigurgitati e i livelli idrici massimi risultano superiori alla quota di sommità dei rilevati ferroviari. Come mostrato in figura, a monte della stazione di Vallelunga, la linea storica viene tracimata in più punti.

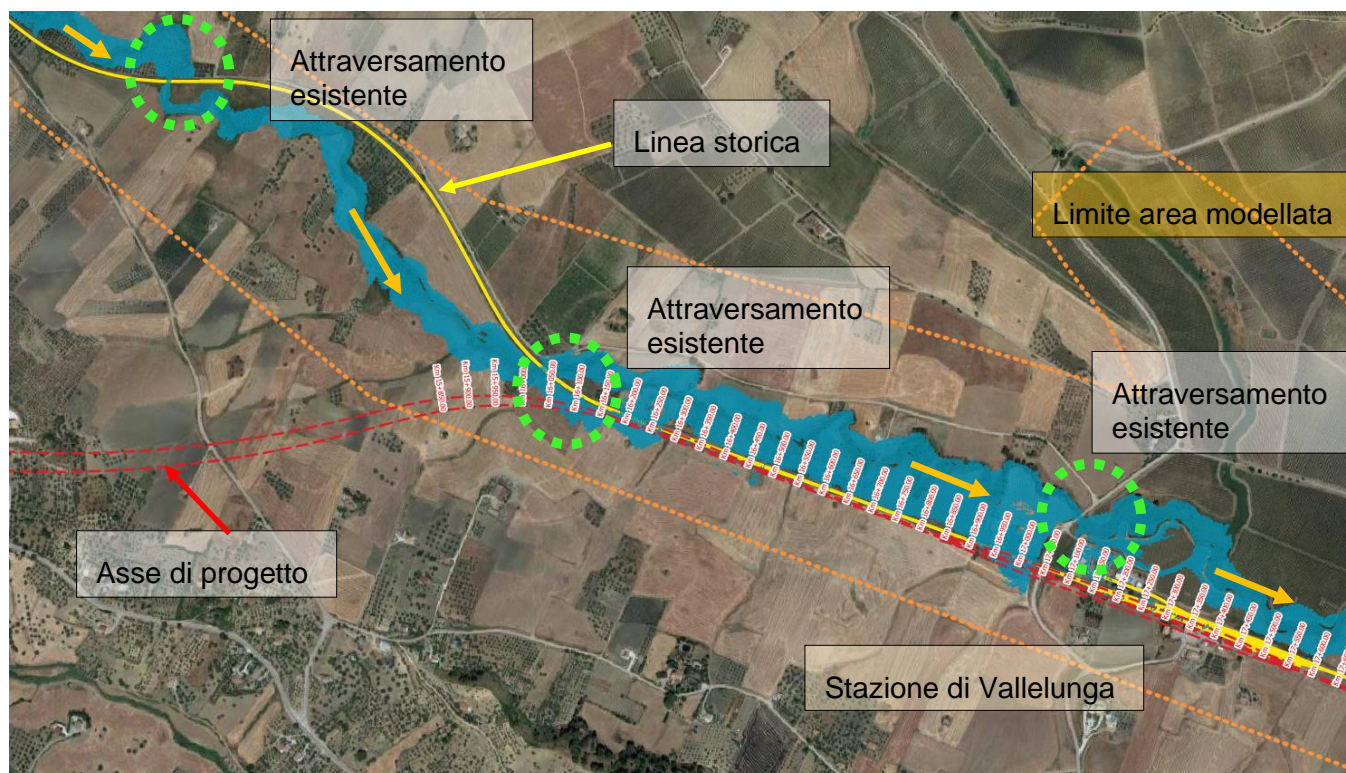


Figura 29: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Torrente Belici, TR 300 anni, km 16+000-17+500



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

Quanto si osserva a monte della stazione ferroviaria di Vallelunga è del tutto analogo alle criticità che appaiono nei tratti più a valle, dove le portate del Torrente Belici crescono grazie anche al contributo degli affluenti laterali. Nelle prossime planimetrie, quelle che vanno dalla Figura 30 alla Figura 33, sono riportati i tratti fluviali in cui le simulazioni numeriche indicano il potenziale sormonto della linea ferroviaria esistente.

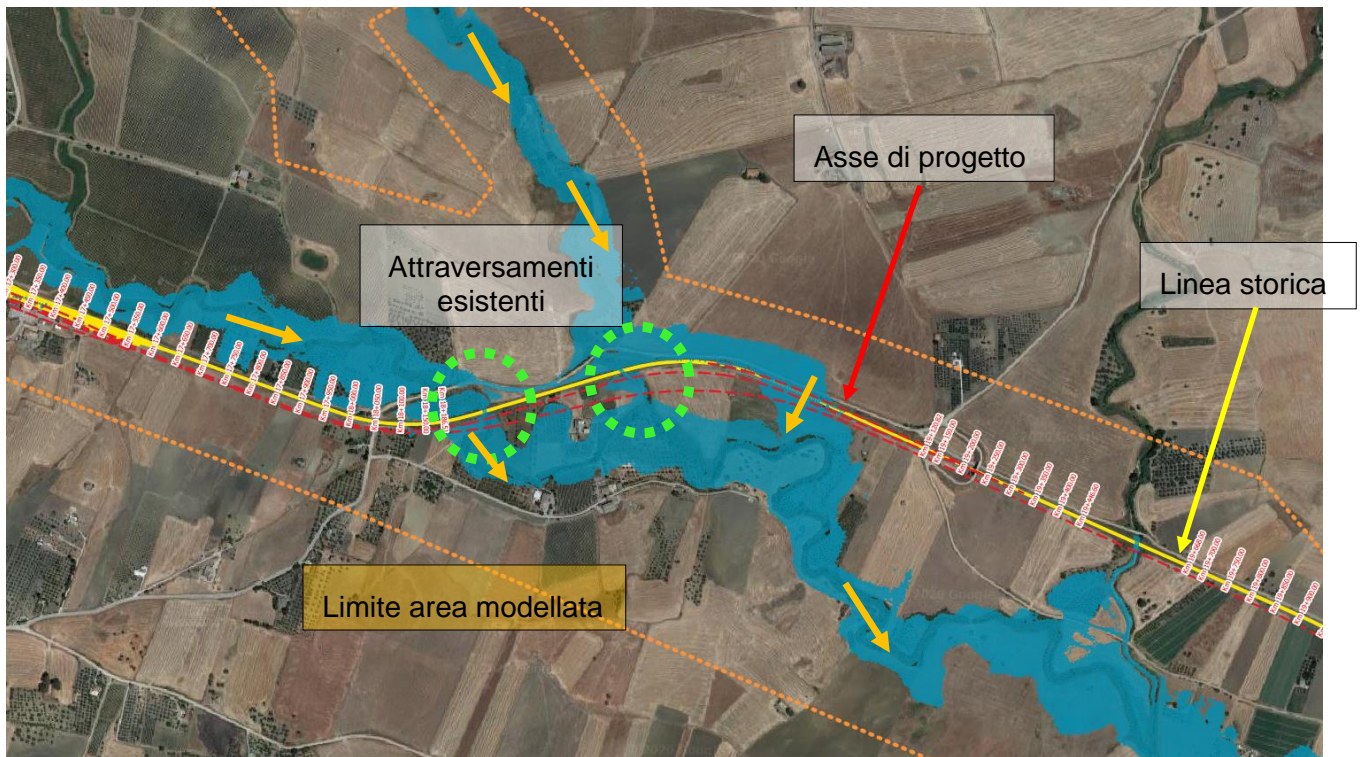


Figura 30: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Torrente Belici, TR 300 anni, km 18+000-19+400

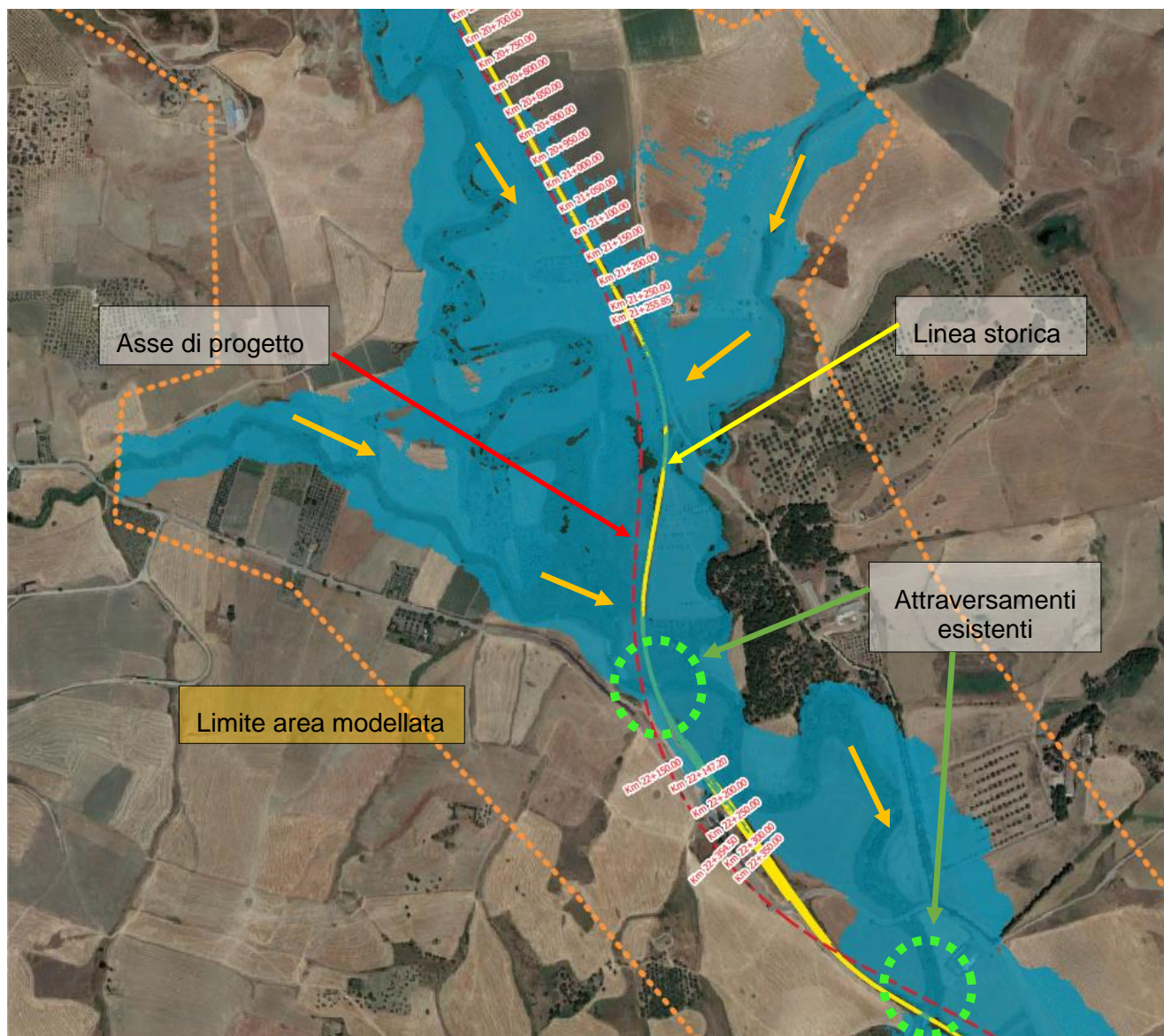


Figura 31: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Torrente Belici, TR 300 anni, km 20+750-22+350



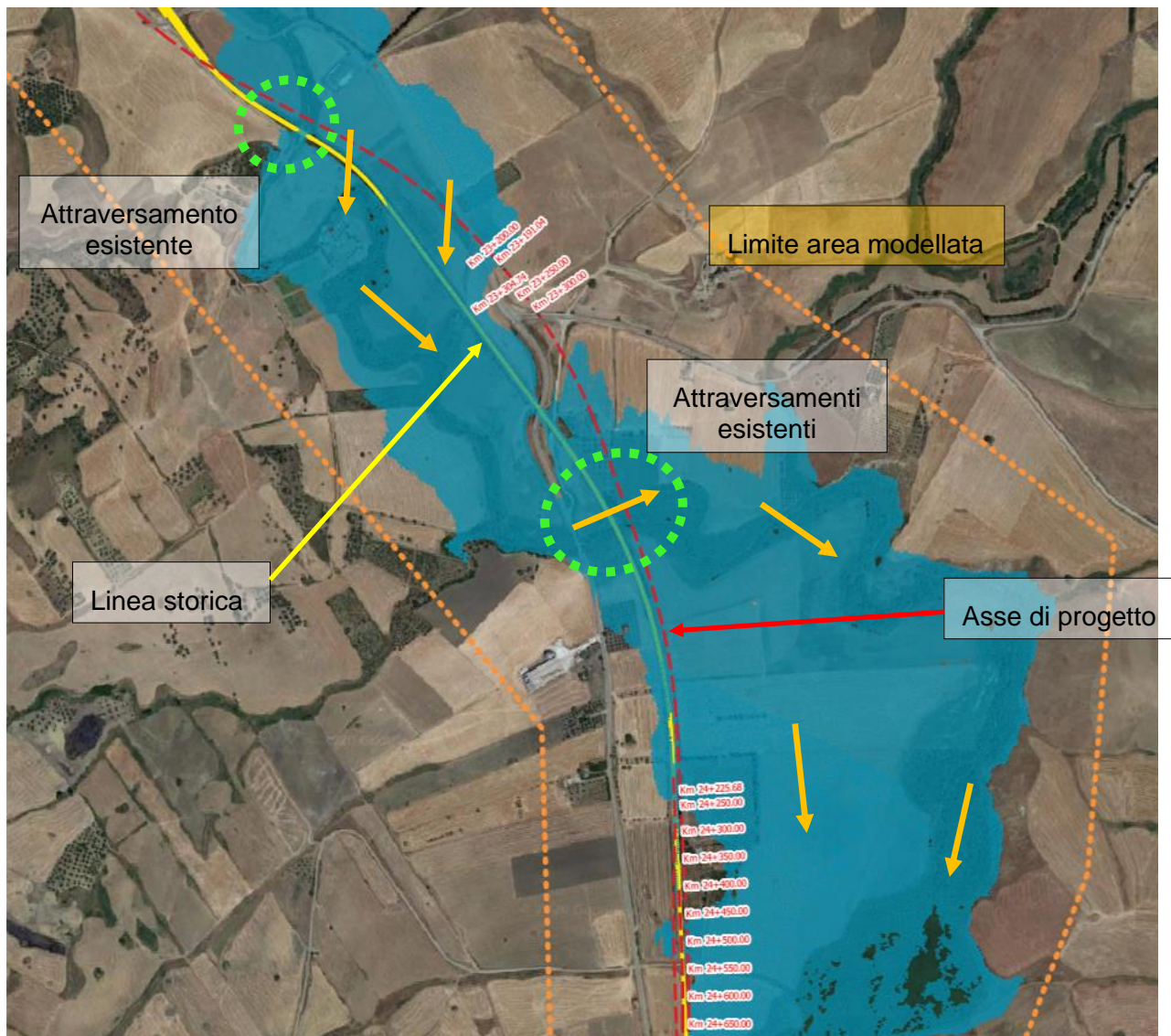


Figura 32: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Torrente Belici, TR 300 anni, km 22+500-24+650

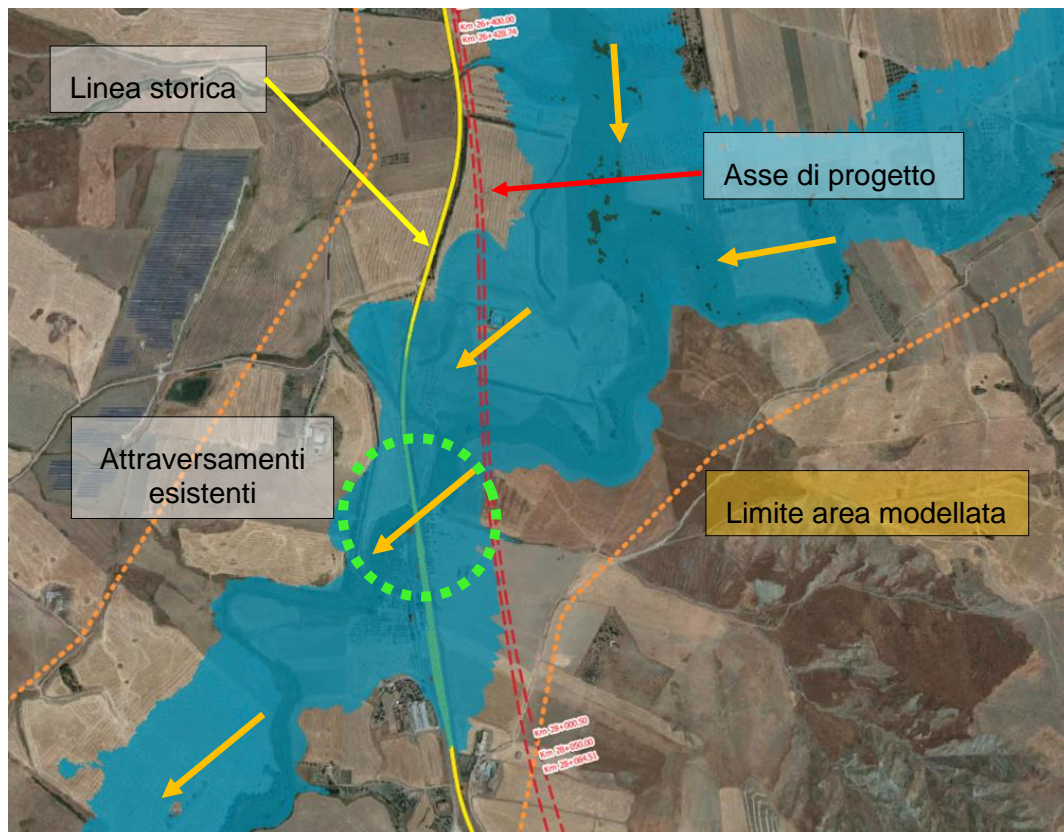


Figura 33: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Torrente Belici, TR 300 anni, km 26+400-28+000

#### 5.2.4 Fiume Salito

Il Fiume Salito è stato oggetto di analisi per un tratto di circa 11 km, lungo i quali la linea ferroviaria esistente percorre la valle fluviale, intersecando il corso d'acqua in più punti, dove trovano luogo le opere di attraversamento esistenti, come indicato in Figura 34 e Figura 35.

Le ridotte dimensioni dei ponti esistenti inducono fenomeni di rigurgito che provocano incrementi estesi dei livelli idrici massimi. La linea ferroviaria è collocata nell'area allagabile del fiume; in diversi tratti i livelli idrici sono superiori alle quote dei rilevati, per cui parte della linea viene sommersa dai flussi in piena (Figura 34 e Figura 35).



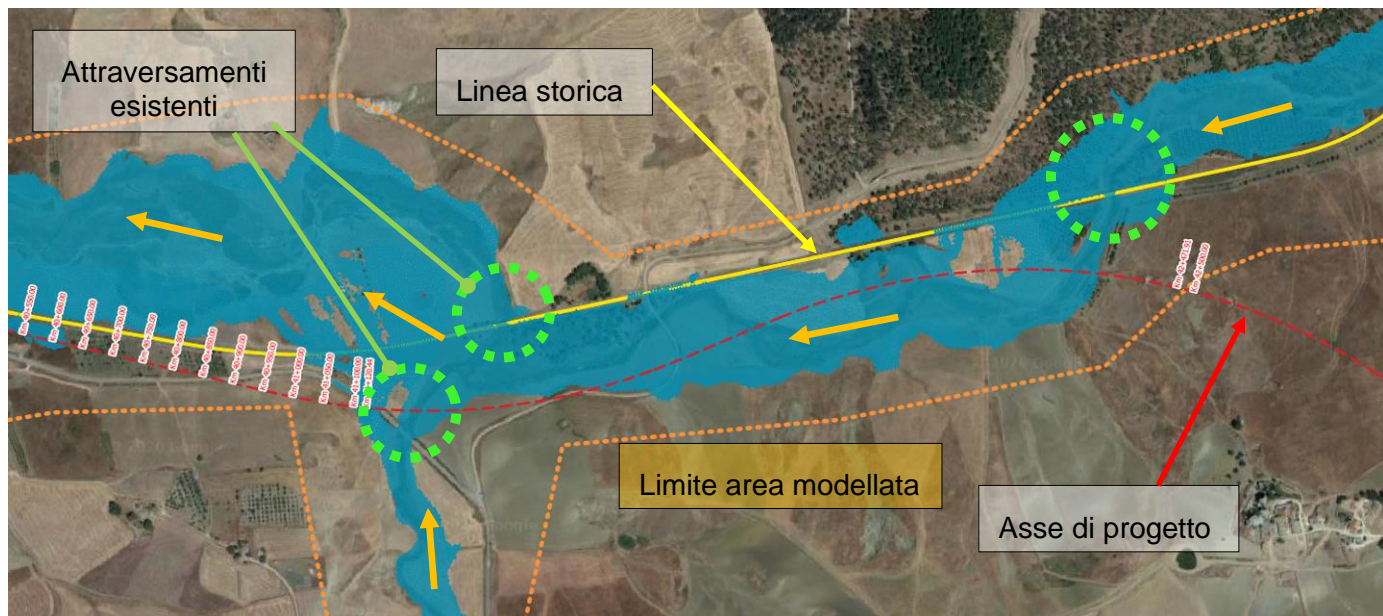


Figura 34: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Fiume Salito, TR 300 anni, km 40+500-42+500

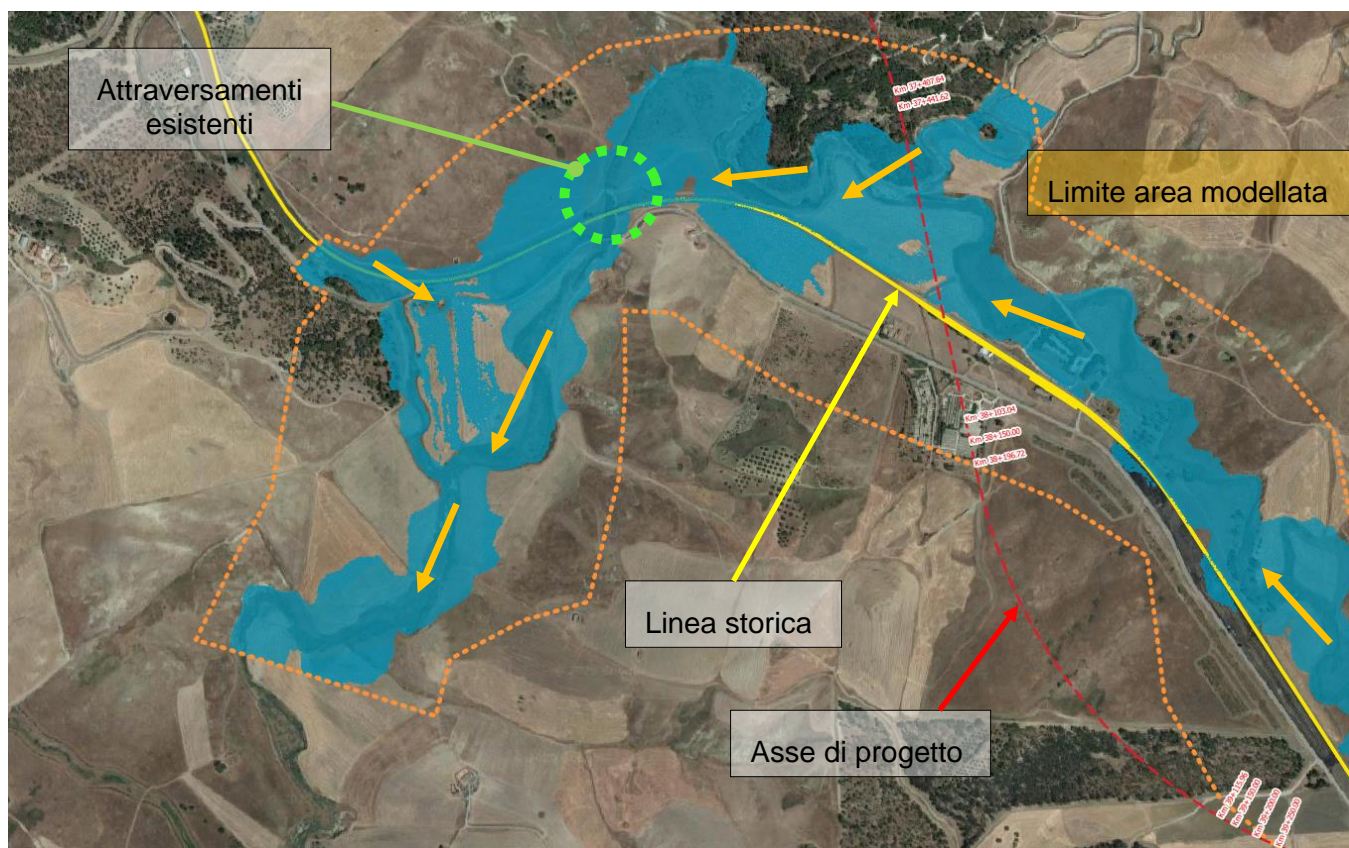


Figura 35: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Fiume Salito, TR 300 anni, km 37+400-39+250

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 09	RH	ID0000 001	D	51 di 136

### 5.3 Simulazioni post operam

Analizzato lo scenario attuale, viene poi implementato lo scenario di progetto, all'interno del quale sono state inserite le varie opere preventivate, quali viadotti ferroviari e stradali, rilevati e trincee.

Nei prossimi paragrafi verranno analizzate le principali interferenze tra le opere di progetto e i corsi d'acqua maggiori. Un'esposizione completa e di dettaglio dei risultati ottenuti è riportata negli elaborati grafici allegati.

Sia per lo stato di fatto che di progetto sono state predisposte le planimetrie di allagamento che rappresentano la massima estensione delle aree inondate per i tempi di ritorno di 50, 100 e 300 anni.

Lo scenario di progetto di riferimento è generalmente quello finale di fase 2. Come già detto in precedenza, per un tratto che va dall'inizio del lotto 3a fino alla progressiva 19+300 nel lotto 3b, la configurazione finale verrà realizzata in fasi, di conseguenza si è ritenuto importante studiare anche l'assetto intermedio che vede realizzate le nuove opere ma non ancora completati gli interventi di dismissione della linea storica. Questo assetto intermedio viene denominato "fase 1".

#### 5.3.1 Viadotto VI01 – Fiume Torto – Fase 2

I risultati delle simulazioni condotte per il Fiume Torto hanno evidenziato un'importante criticità in corrispondenza dell'attraversamento fluviale posto poco a monte della futura stazione di Lercara. Con il fine di migliorare le condizioni attuali di deflusso delle portate piena, si rendono necessari degli interventi in grado di incrementare la trasparenza idraulica del rilevato della linea storica (Figura 36). Allo stato attuale il passaggio delle portate è garantito da due ponti ferroviari posti in serie uno all'altro, e quattro fornici rettangolari, due in destra e due in sinistra idraulica. La configurazione di progetto prevede:

- La realizzazione di dieci nuovi fornici a sezione rettangolare posti cinque in destra idraulica e cinque sinistra idraulica (Figura 36). Le dimensioni delle sezioni saranno pari a 8 m di base e 3.6 m di altezza per quelli in destra, 8 m di base e 4.5 di altezza per quelli in sinistra. La quota di scorrimento dei fornici è 410.5 m smm, inferiore a quella del piano campagna medio. I dieci fornici attraverseranno la linea storica;

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D	FOGLIO 52 di 136

- Al fine favorire l'immissione e la fuoriuscita delle portate attraverso i fornici di trasparenza vengono previsti degli spianamenti del terreno fino alla quota di 410.5 m smm. Gli spianamenti saranno realizzati a destra e sinistra dell'alveo di magra del Fiume Torto;
- Si prevede un allargamento dell'alveo di magra del fiume, per un tratto compreso tra il sedime del rilevato ferroviari esistente e una sezione posta più a valle (Figura 36). La nuova sezione avrà quota minima pari a 410.5 m smm e sponde realizzate in gabbioni di rete metallica;
- Verrà demolita parte del rilevato della linea storica, compreso uno dei due ponti esistenti. Nella demolizione sarà previsto il "taglio" dei fornici esistenti;
- La nuova linea ferroviaria sarà realizzata in viadotto;
- La spalla destra del viadotto poggerà su un "gallerodotto", manufatto costituito da una serie di aperture rettangolari separate da setti in calcestruzzo. L'asse di ciascuna apertura sarà ortogonale all'asse della linea ferroviaria (Figura 36). Il gallerodotto ha lo scopo di massimizzare la trasparenza idraulica delle opere in alveo e allo stesso tempo favorire l'ingresso delle portate ai fornici in destra idraulica.



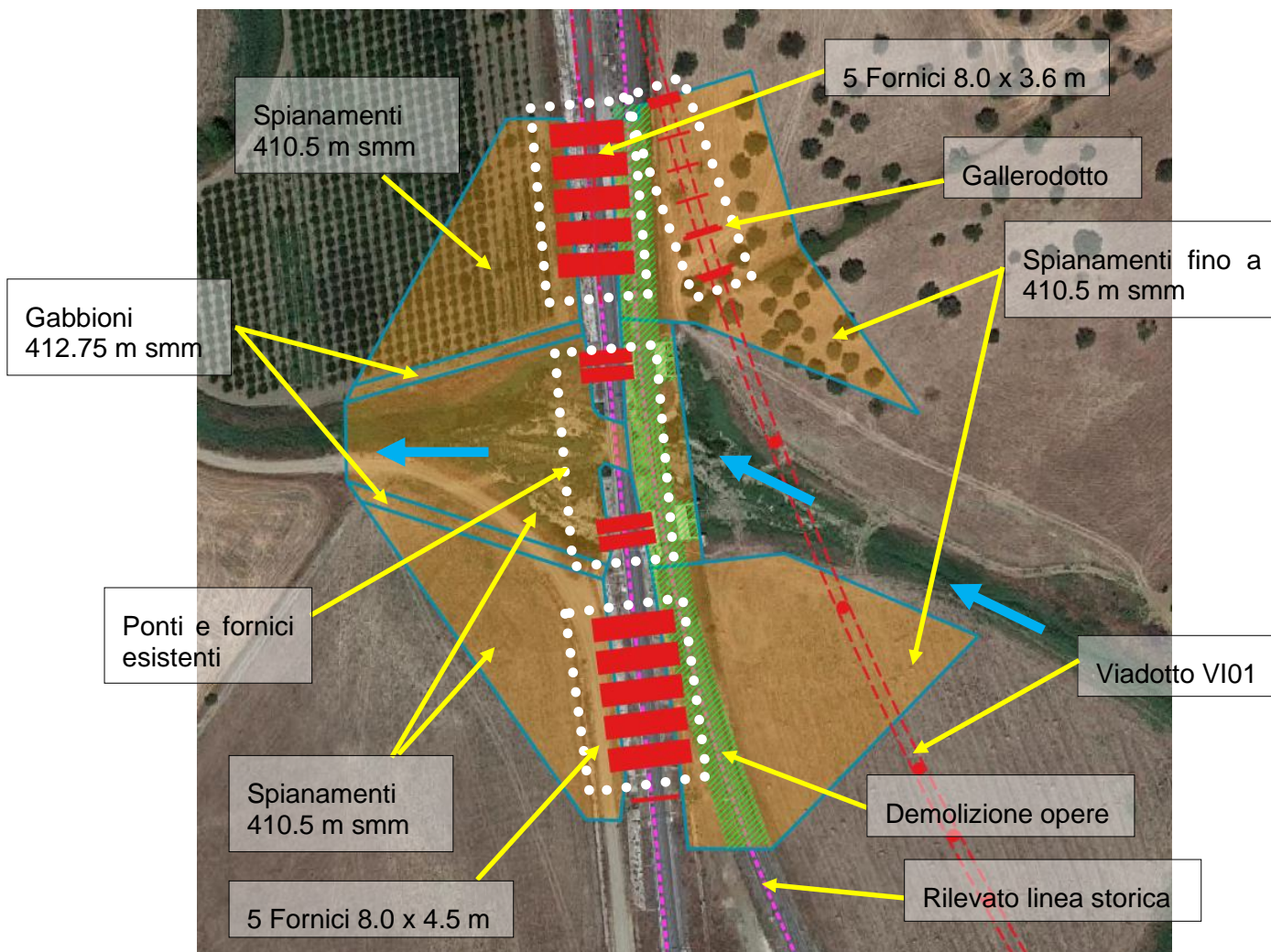


Figura 36: Sistemazione del Fiume Torto attorno al viadotto VI01

La sistemazione fluviale ipotizzata garantirà una maggior trasparenza idraulica del rilevato ferroviario in condizioni di piena. Le portate ordinarie del Torto rimarranno contenute nella parte centrale dell'alvo, senza lambire i fornici di progetto. Durante le piene invece i flussi occuperanno le aree golenali più esterne, attivando i manufatti di trasparenza.

In Figura 37 è riportata la planimetria delle aree allagate, calcolate per la piena con tempo di ritorno pari a 300 anni. I risultati delle simulazioni mostrano come le portate in piena possano attraversare il rilevato della linea storica, senza provocare sormonti della linea.

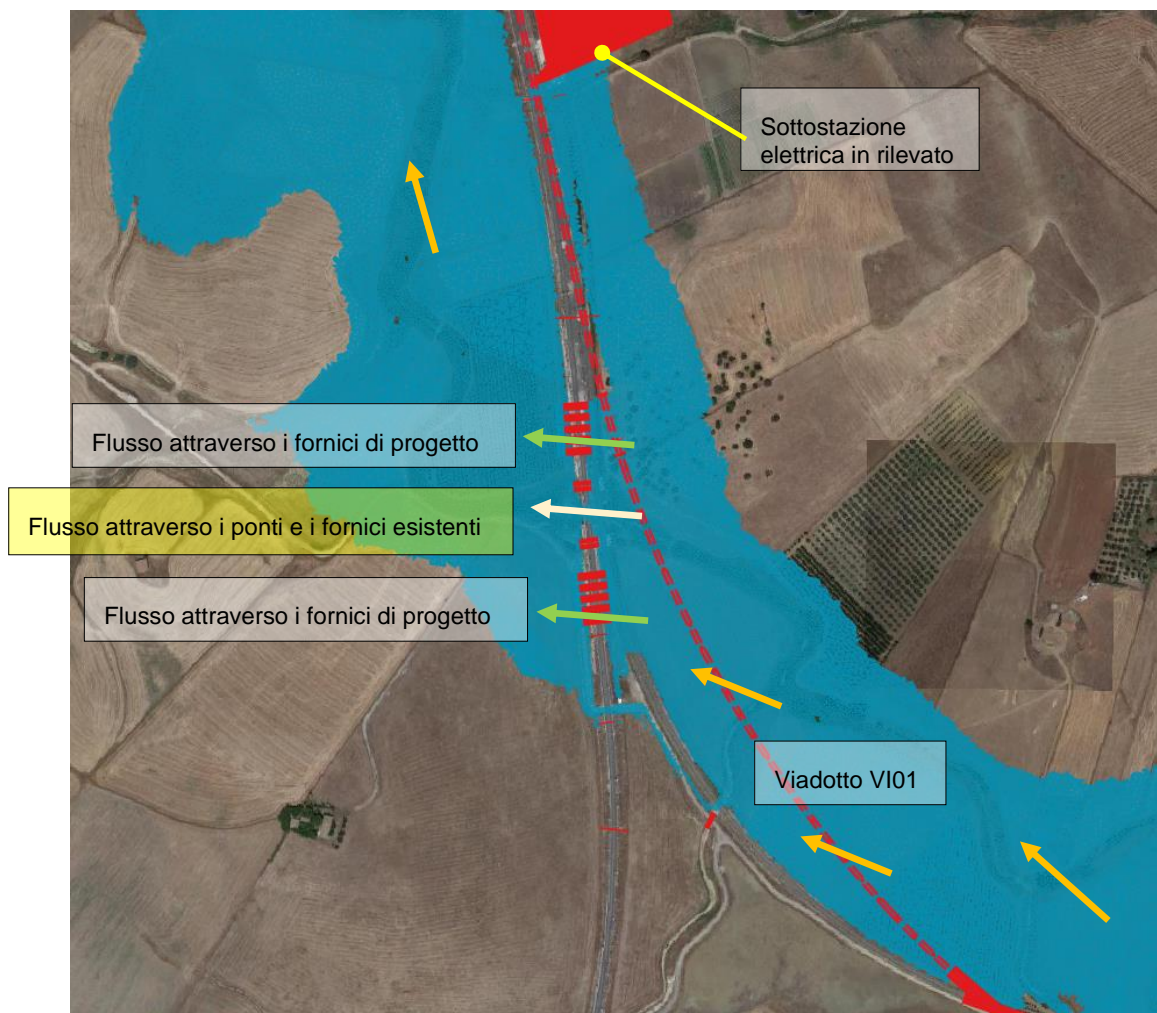



Figura 37: Planimetria aree allagate, scenario stato di progetto-fase 2, Fiume Torto, viadotto VI01

L'effetto delle aperture è quello di garantire il passaggio delle portate massime riducendo i livelli idrici a ridosso a monte dell'opera di attraversamento esistente, come indicato nella sezione di figura Figura 38. In corrispondenza della sezione posta poco a monte del viadotto VI01 si osserva un abbassamento del livello idrico massimo fino a 1.2 m per la portata trecentennale.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>				
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>

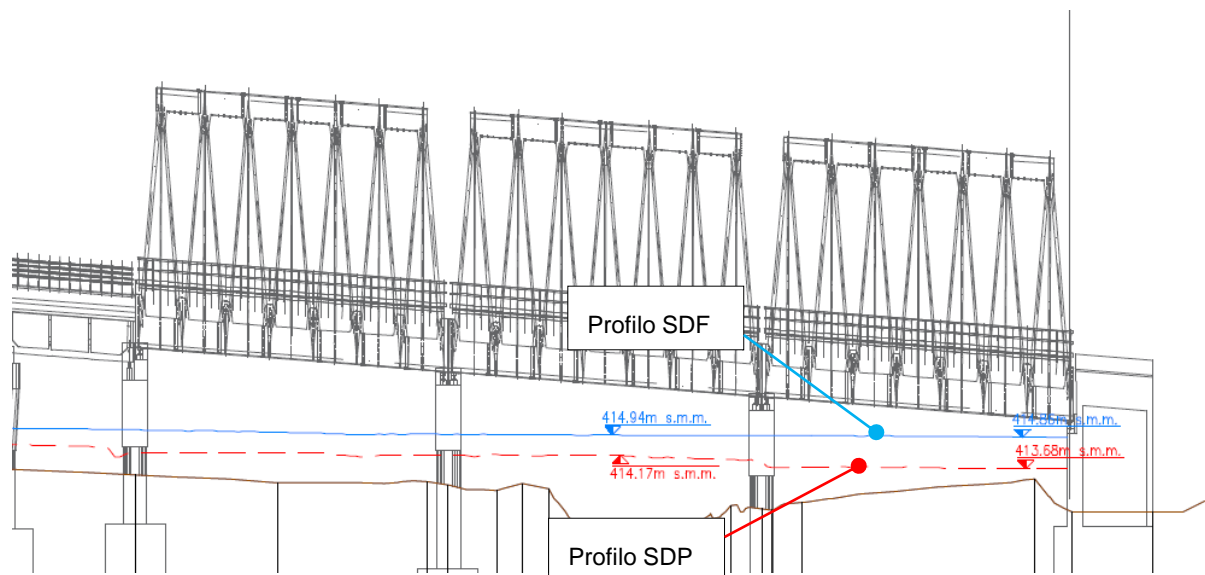


Figura 38: Profilo altimetrico viadotto VI01, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto-fase 2 (linea rossa)

### 5.3.2 Viadotto VI01 – Fiume Torto – Fase 1

La configurazione geometrica di fase 1 per il viadotto VI01 sul Fiume Torto appare differente rispetto alla configurazione di fase 2. Il mantenimento in funzione della linea storica Palermo – Catania impedisce di realizzare, in questa prima fase, i fornici previsti al di sotto del rilevato. In questo scenario, le aperture al di sotto della linea storica sono il ponte e i quattro fornici rettangolari, due in destra e due in sinistra idraulica (Figura 39). Per questo scenario è stata effettuata una simulazione numerica bidimensionale, applicando al modello le portate di piena di riferimento. Trattandosi della configurazione intermedia di fase 1, il tempo di ritorno equivalente adottato per la valutazione del franco idraulico è pari a 14 anni (Tabella 3). L'evento di piena la cui portata mantiene, nell'intervallo temporale di riferimento, la stessa pericolosità dell'evento di riferimento per il calcolo dei franchi nella configurazione finale, fase 2, è quello legato alla piena TR 14 anni

In Figura 39 è visibile l'area allagata ottenuta attraverso la simulazione numerica dello stato di progetto, si vede come l'intera portata scorra prima attraverso il viadotto VI01 per poi defluire al di sotto del rilevato della linea storica generando un allagamento a monte dell'asse ferroviario. I livelli idrici massimi rimangono contenuti al di sotto della sommità del rilevato di progetto.



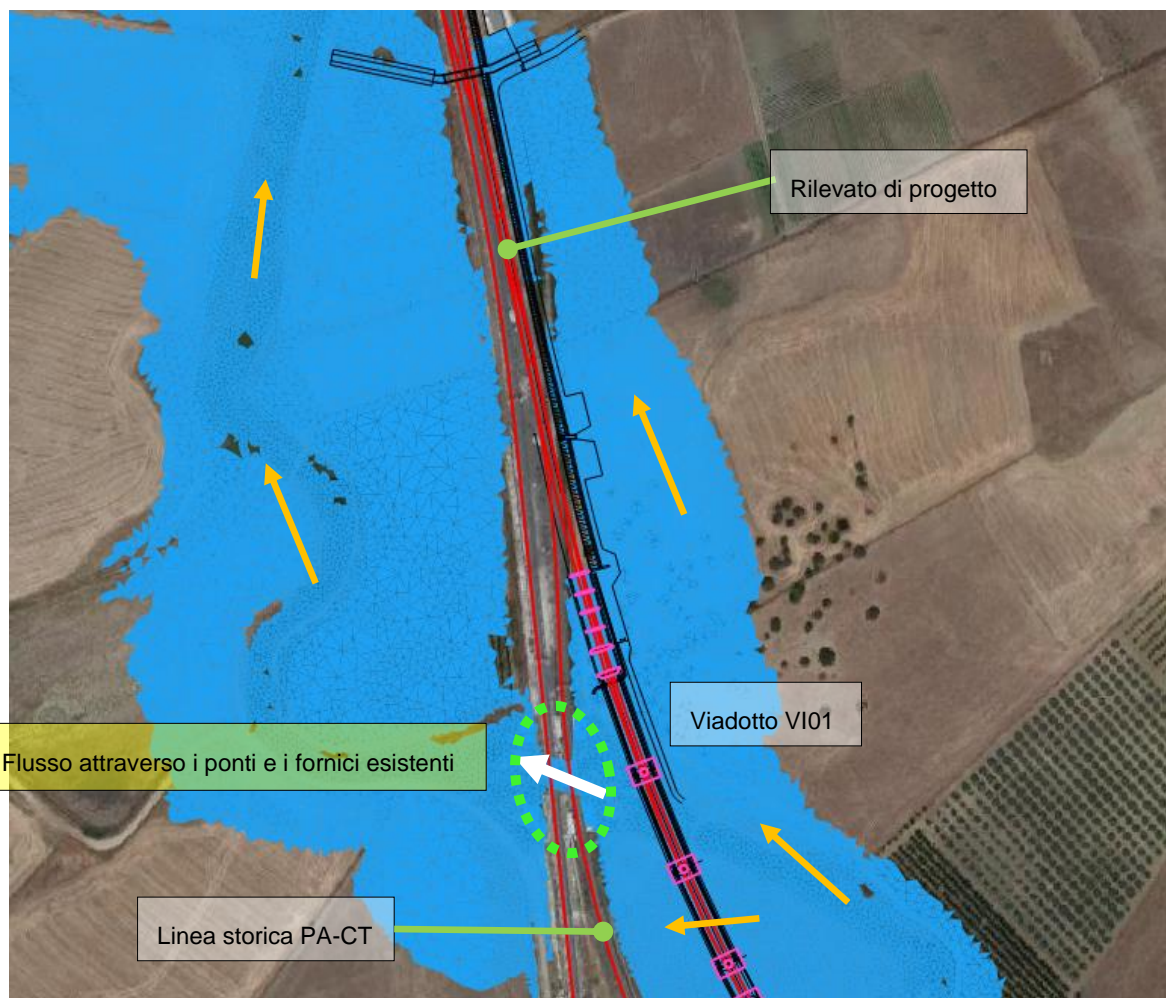


Figura 39: Planimetria aree allagate, scenario stato di progetto – fase 1, Fiume Torto, viadotto VI01

Lo stralcio planimetrico dell'area allagata calcolata per  $TR=14$  anni a cavallo del viadotto VI01 è riportato negli elaborati grafici annessi.

In Figura 40 si riporta la sezione longitudinale del viadotto VI01, assieme alla linea del massimo livello idrico ottenuto per la piena  $TR_{eq}=14$  anni. Nella stessa tabella sono riportate le portate di calcolo. Il franco minimo rispetto all'intradosso del ponte, cioè la minima distanza tra sottotrave ed il pelo libero, è pari a 1.59 m; il valore si ottiene in corrispondenza della spalla destra del viadotto. I franchi minimi calcolati per le portate associate ai tempi di ritorno equivalenti 3 e 5 anni, sono indicati in Tabella 5.. Il franco minimo è superiore al minimo richiesto dalla normativa vigente pari a 1.50 m, di veda il capitolo "Compatibilità Idraulica".

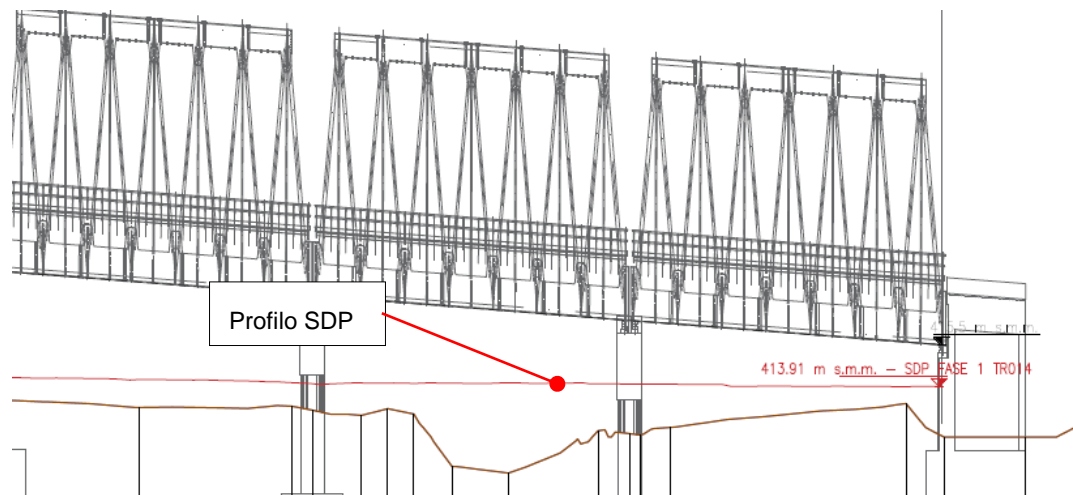


Figura 40: Profilo altimetrico viadotto VI01, livelli idrici TR 14 anni, stato di progetto-fase 1 (linea rossa)

TR [anni]	Qmax [m <sup>3</sup> /s]	Pk	Livello idrico max [m s.m.m.]	Intradosso [m s.m.m.]	Franco minimo [m]
3	44	0+642	413.29	415.50	2.21
5	70	0+642	413.52	415.50	1.98
14	125	0+642	413.91	415.50	1.59

Tabella 5: Verifica dei franchi di progetto-fase 1 , VI01

### 5.3.3 Affluente del Fiume Torto in sinistra idrografica

#### 5.3.3.1 Descrizione della soluzione di progetto

Per la risoluzione delle criticità legate agli allagamenti dell'affluente sinistro del rio Torto, è stata sviluppata la seguente soluzione di progetto, al fine di mettere in sicurezza la strada di accesso al sottovia ed il sottovia stesso.

1. Soluzione ST2: realizzazione di difesa passiva lungo la strada a est (punto 1 di Figura 5-41) con un'estensione che va dal sottovia al rilevato di approccio all'attraversamento dell'affluente e realizzazione di una nuova viabilità (punto 2 di Figura 5-41), non interferente con le esondazioni attese per il rio Torto, al di sotto della quale è da prevedersi la realizzazione di un tombino di trasparenza con canale di raccolta e smaltimento delle acque, sia di piattaforma che provenienti dagli allagamenti (punto 3 di Figura 5-41). Inoltre si prevede la realizzazione di un piccolo argine

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA MAGGIORE					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

di contenimento in sinistra idraulica nell'area interclusa tra la viabilità e la ferrovia esistente (punto 4 di Figura 5-41). Questa ipotesi, evidentemente più impegnativa per l'occupazione di nuovo territorio, riguarda la mitigazione degli effetti dovuti all'esondazione del rio Torto che si presentano per tempi di ritorno di 100 anni.



Figura 5-41 – Soluzione ST2 per la messa in sicurezza idraulica del sottovia e della strada a servizio dello stesso.

### 5.3.3.2 Risultati soluzione ST2

La soluzione ST2 è stata simulata in prima battuta considerando solamente la realizzazione della deviazione della strada a servizio del sottovia (soluzione 2a), al fine di determinare l'allagamento

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D	FOGLIO 59 di 136

massimo che si genera a monte della stessa. In seconda analisi, è stato inserito un canale con un tombino di attraversamento (soluzione 2b) che permetta di garantire la continuità idraulica tra monte e valle della strada e permetta di scaricare le portate generate sia dallo smaltimento delle acque meteoriche, sia dalle esondazioni in sinistra idraulica dell'affluente del Torto. Si è ipotizzata la realizzazione di un tombino di dimensioni 5.0 m x 2.0 m e di un canale delle medesime dimensioni, di lunghezza pari a circa 175 m. Il canale ha inizio in prossimità del sottovia esistente e si estende verso ovest, rimanendo a sud della nuova viabilità, successivamente sottopassa la stessa e prosegue in direzione est, costeggiando a nord la piattaforma stradale, fino a ricongiungersi con il canale di drenaggio delle acque di piattaforma, posto a ovest dell'attuale rampa di accesso al sottovia. E' probabile che si dovrà anche prevedere il risezionamento del canale di drenaggio fino allo scarico nel rio Torto.

Il nuovo canale ha lo scopo di raccogliere e convogliare al rio Torto sia le acque provenienti dalla canaletta di raccolta delle acque di piattaforma posta a tergo del rilevato ferroviario sia le acque delle esondazioni dell'affluente. Si ipotizza che la rampa esistente di accesso al sottovia (posta a ovest della ferrovia) venga riportata alla quota del piano campagna.

In Figura 5-42 si riporta la schematizzazione utilizzata per la simulazione idraulica.



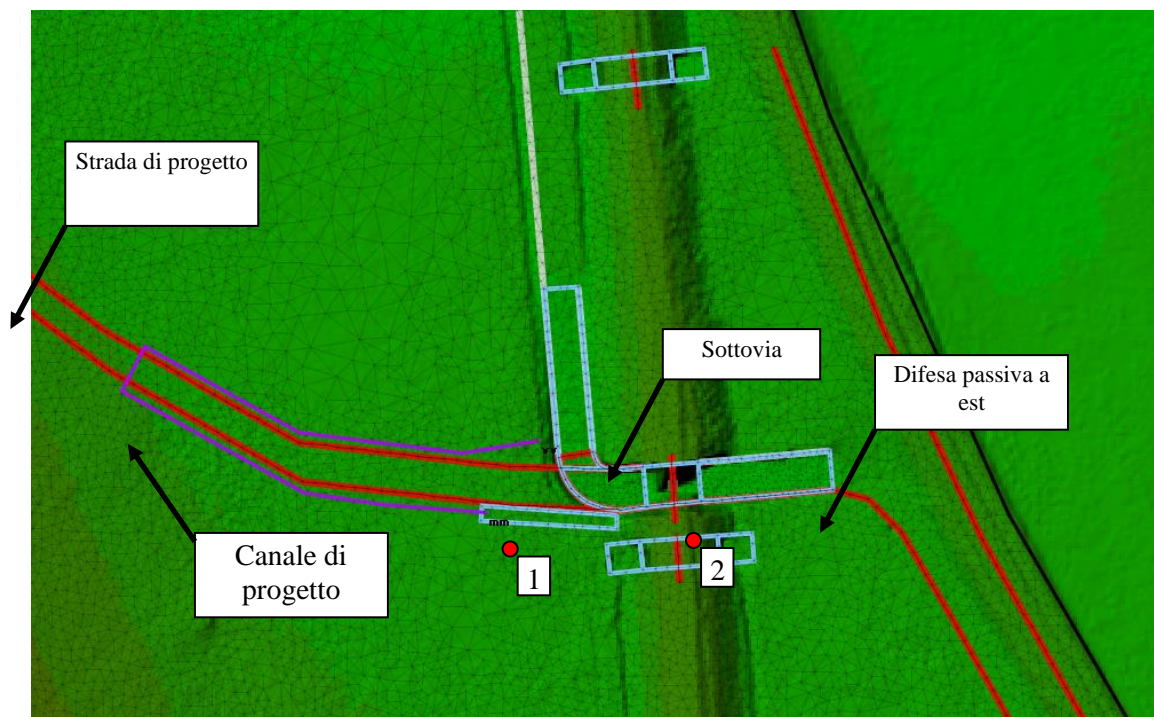


Figura 5-42 – Implementazione dell'ipotesi ST2 nel modello idraulico. Particolare in corrispondenza del sottovia con indicazione dei punti di misura dei risultati.

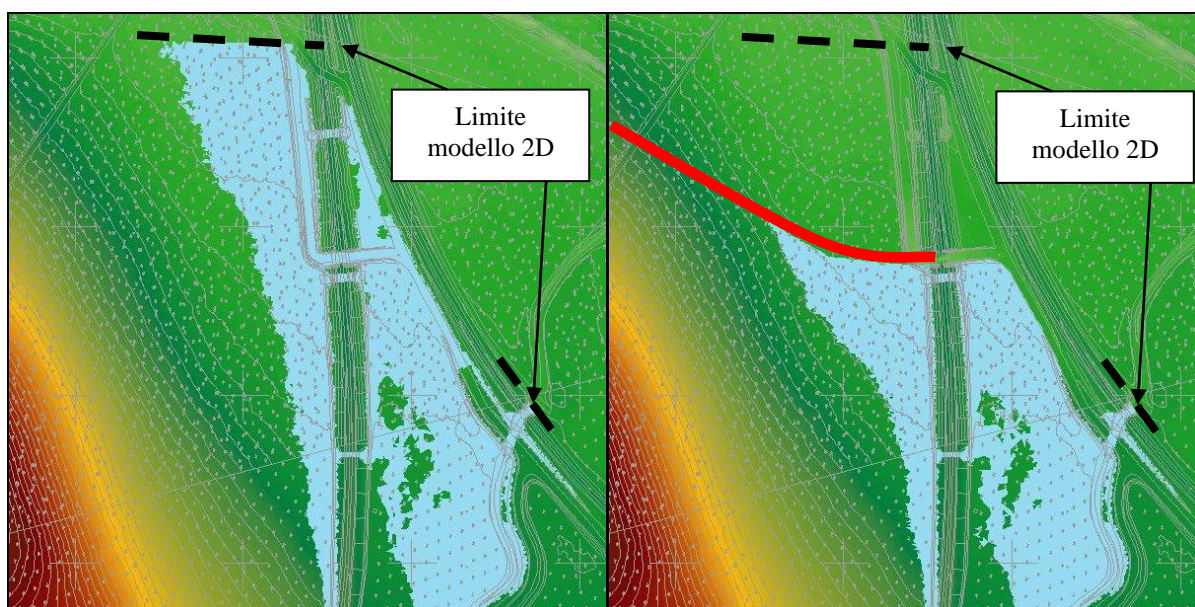
In Figura 5-43 si riporta il confronto tra le aree di esondazione nella situazione attuale (in alto a sinistra), nell'ipotesi ST2a (in alto a destra), senza opere di continuità idraulica, e nell'ipotesi ST2b (in basso), con opere per la continuità idraulica, per un evento duecentennale.

Di seguito si riassumono i valori di livello idrometrico misurati nei punti indicati in Figura 5-42, al fine di quantificare le variazioni di livello indotte nelle configurazioni di progetto (ipotesi ST2 senza o con opere di trasparenza idraulica).

Punti di misura	Livello idrometrico (m s.m.m.) Evento Tr 200 anni			Differenza tra i livelli idrometrici [m]	
	Scenario			SdP 2a - SdF	SdP 2b - SdF
	Stato di fatto	Soluzione 2a	Soluzione 2b		
1	414.69	415.91	415.15	1.22	0.46
2	414.58	415.91	415.61	1.33	1.03



Si ritiene che lo scenario senza opere di continuità idraulica (2a) non sia praticabile in quanto non permette di drenare l'allagamento che si crea a sud della nuova viabilità. Inoltre genera un incremento di livello notevole (+1.3 m circa) rispetto alla situazione attuale, aumentando la pericolosità idraulica dell'area. Lo scenario che prevede le opere di continuità idraulica al di sotto della strada di nuova realizzazione (2b) permette invece di risolvere il problema dell'allagamento del sottovia (Figura 5-43) con un aumento inferiore dei livelli idrici (+0.75 m in media, meno di 50 cm a ovest della ferrovia) e consente di garantire il deflusso delle acque di piattaforma e dell'esondazione dell'affluente verso il rio Torto.



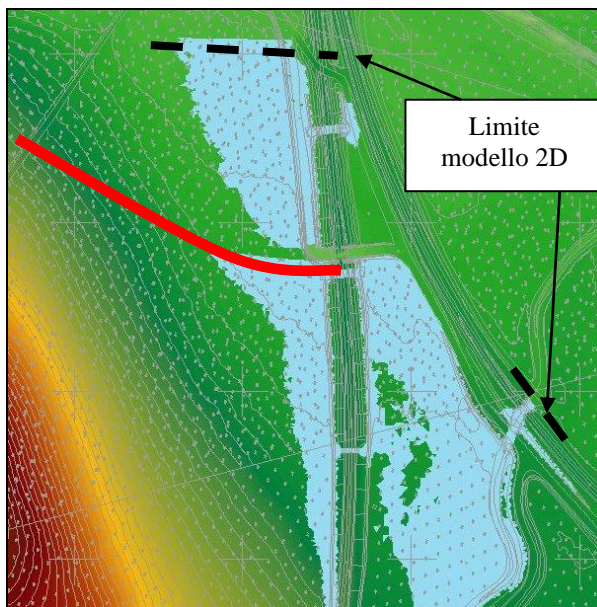


Figura 5-43 – Confronto delle aree allagabili dovute alle esondazioni dell'affluente per un evento duecentennale: in alto a sinistra lo stato di fatto, in alto a destra l'ipotesi di progetto ST2a, mentre in basso l'ipotesi di progetto ST2b.

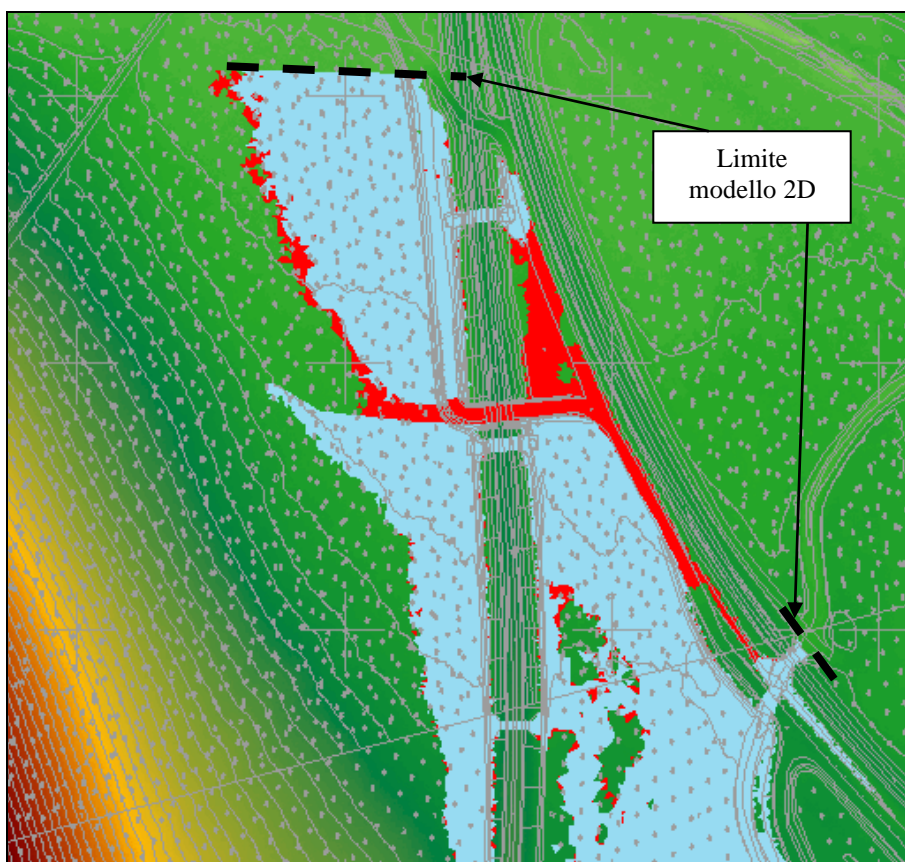



Figura 5-44 – Sovrapposizione degli allagamenti nello stato di fatto (in rosso) e nell'ipotesi ST2b (in azzurro).



	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

La dinamica delle esondazioni rimane la stessa in tutti gli scenari considerati: si assiste in primo luogo ad un allagamento dell'area interclusa tra la vecchia e la nuova ferrovia, dovuta alle esondazioni dell'affluente in sinistra idraulica a valle della nuova ferrovia. Successivamente le esondazioni in sinistra idraulica a monte della nuova ferrovia procedono verso nord affiancandosi alla ferrovia e interessano l'area in prossimità del sottovia oggetto dell'analisi. In corrispondenza del tombino alla pk 77+640 (posto a sud del sottovia) si verifica un trasferimento di portata in direzione est-ovest, ovvero l'area interclusa tra la ferrovia vecchia e quella nuova viene drenata verso ovest mediante il tombino stesso (Figura 5-45).

Nell'area interclusa tra il rio Torto e la nuova viabilità le aree allagabili dovute all'esondazione dell'affluente diminuiscono. Per quanto riguarda le esondazioni del rio Torto, la soluzione di progetto permette di mettere in sicurezza il sottovia, senza creare una situazione peggiorativa delle aree allagate rispetto alla situazione attuale.

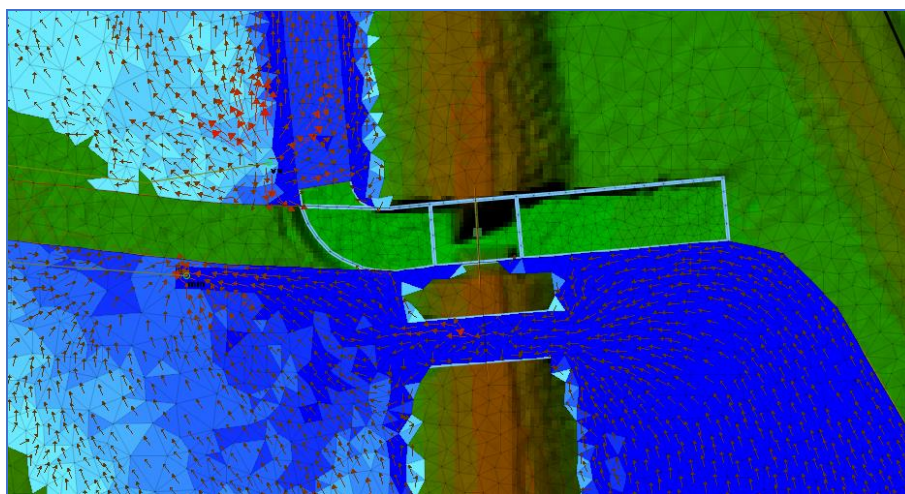


Figura 5-45 – Direzione di deflusso degli allagamenti in corrispondenza del tombino alla pk 77+640 a sud del sottovia oggetto di analisi – ipotesi ST2b.

### 5.3.4 Interventi di demolizione attorno a Vallelunga

Nell'intorno della stazione di Vallelunga, le simulazioni numeriche dello stato di fatto hanno evidenziato diversi punti di sormonto della linea storica da parte delle acque del Torrente Belici (Figura 29). Poiché tale tratto ferroviario sarà oggetto di vari interventi come la realizzazione della nuova linea ferroviaria,

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)          IDRAULICA MAGGIORE</b>					
Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D	FOGLIO 64 di 136

parallela all'esistente, nonché la costruzione della nuova stazione ferroviaria di Vallelunga, si rendono necessari degli interventi atti a ridurre le interferenze tra le opere ferroviarie ed il corso d'acqua in condizioni di piena. Nel tratto analizzato, gli allagamenti attuali sono dovuti alla ridotta officiosità delle opere di attraversamento fluviali esistente, che provoca effetti di rigurgito notevoli e conseguenti innalzamenti dei livelli idrici massimi. Sono stati ipotizzati degli interventi atti a superare tali criticità, tenendo anche conto che a conclusione della macro fase 2 la linea storica verrà dismessa nel tratto ferroviario suddetto. Gli interventi di demolizione delle opere di attraversamento esistenti nonché di parte dei rilevati attigui sono evidenziati in Figura 46. Nel dettaglio:

- “Demolizione A”: rimozione di parte del rilevato esistente della linea ferroviaria storica e del ponte esistente sul Torrente Belici. Questo intervento può essere attuato solo in “fase 2”;
- “Demolizione B”: rimozione del rilevato della SP64 e del ponte stradale. L'intervento è possibile già in “fase 1”, il tratto stradale interferente con il corso d'acqua verrà sostituito da un unico viadotto di scavalco (opera NV 07);
- “Demolizione C”: realizzazione dei viadotti ferroviari VI05 e VI06 successivi alla demolizione di un tratto della linea storica e dei ponti esistenti. Questo intervento è previsto già in “fase 1”.

L'effetto della rimozione dei manufatti è quello di ridurre notevolmente i livelli idrici e di conseguenza limitare sensibilmente l'estensione delle aree allagate, riducendo notevolmente le interferenze tra il corso d'acqua e le opere ferroviarie. In Figura 47 è riportato un confronto fra le aree allagabili che si ottengono per lo scenario attuale (campitura azzurra) e per lo stato di progetto (campitura magenta) applicando la piena trecentennale.



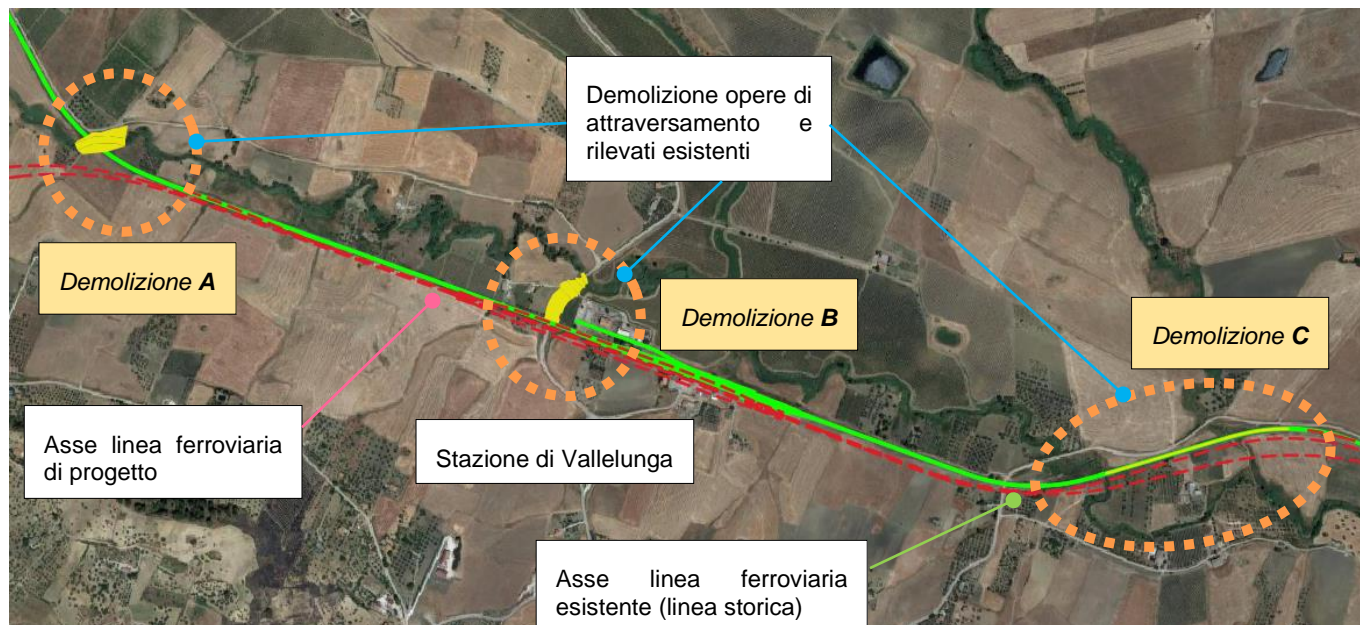


Figura 46: Interventi attorno alla stazione di Vallerlunga

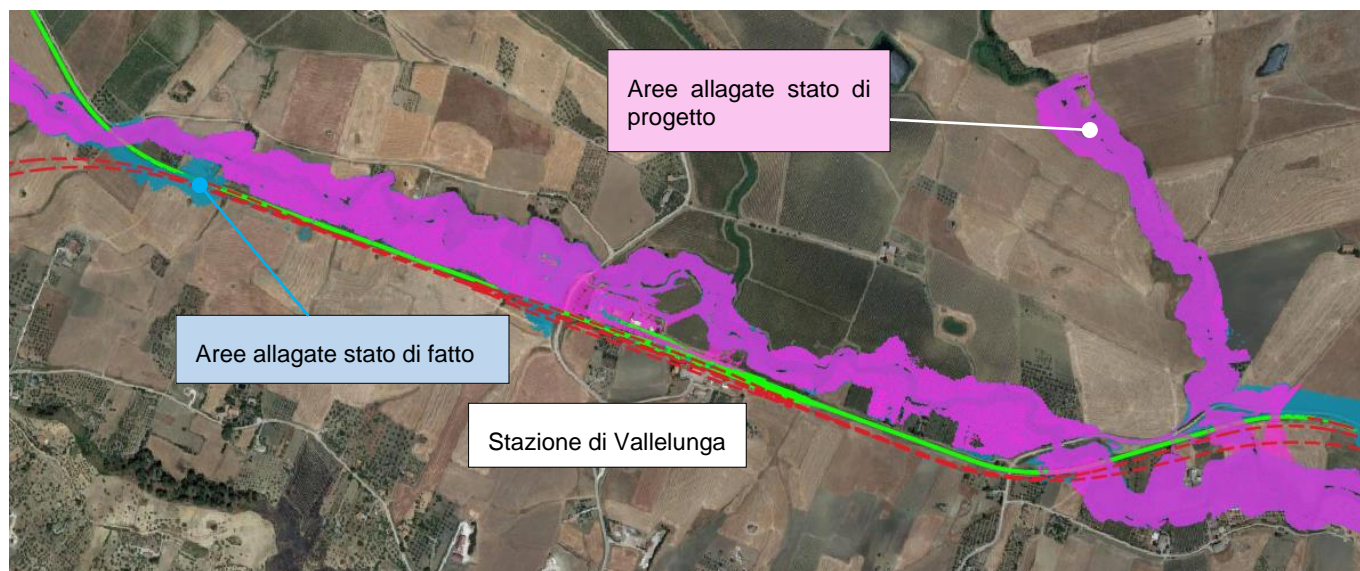


Figura 47: Aree allagate TR 300 anni, stato di fatto, stato di progetto-fase 2, stazione di Vallerlunga

### 5.3.5 Opera TR04 "fase 1"

In prossimità dell'opera denominata con wbs TR 04 è attualmente presente sulla linea storica un attraversamento del Torrente Belici. Come evidenziato dalle simulazioni effettuate per la piena

trecentennale, a causa del rigurgito provocato dal ponte esistente, le aree allagate possono estendersi planimetricamente fino al sedime delle nuove opere di progetto (Figura 47), in particolar modo in prossimità della sede ferroviaria, che risulta posta a quota superiore al piano campagna e idraulicamente difesa dallo stradello di servizio che verrà opportunamente protetto dalle acque di esondazione. La seguente figura riporta uno stralcio delle aree allagabili per un evento di piena con Tempo di ritorno  $T = 300$  anni, nella situazione di progetto denominata “fase 1”, che non vede ancora realizzate le demolizioni descritte nel precedente paragrafo 5.3.4.

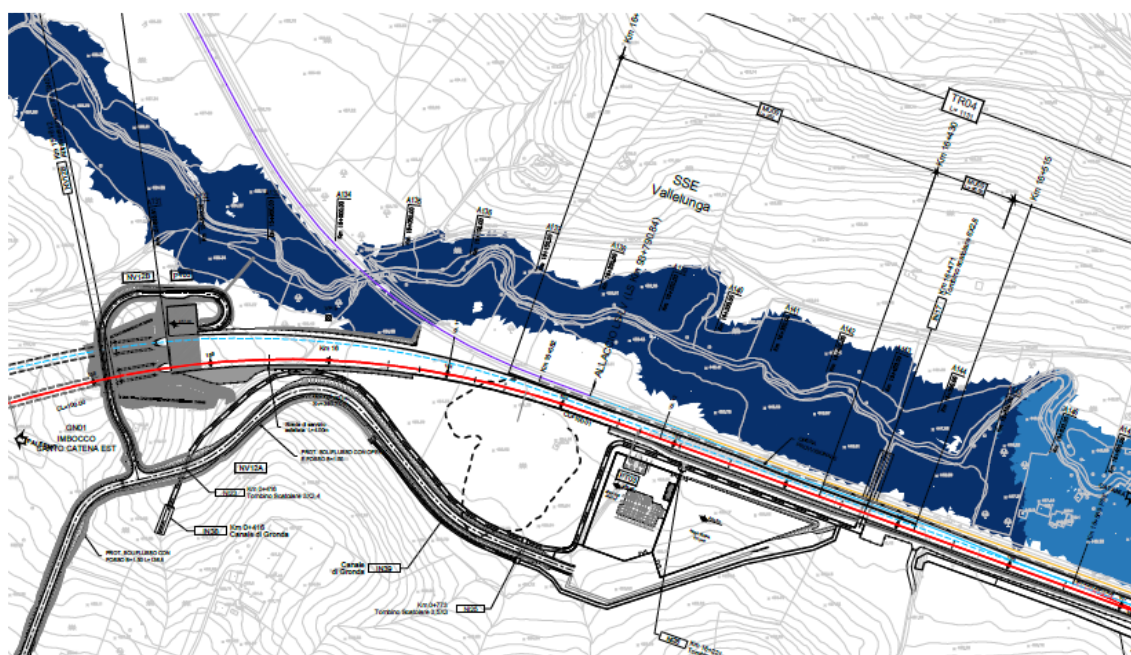


Figura 48: Aree allagate, piena tempo di ritorno 300 anni, stato di progetto-fase 1, opera TR04 a monte della stazione di Valletunga

La portata di verifica di questa configurazione transitoria è quella associata al tempo di ritorno di 14 anni, in corrispondenza di tale tratto fluviale assume un valore massimo di  $27.4 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tuttavia, per la verifica di compatibilità idraulica della fase transitoria si può fare riferimento anche alla portata con Tempo di ritorno  $T = 50$  anni, poiché infatti le corrispondenti aree allagabili nello scenario di fase 1 non interferiscono con le opere in progetto, come riportato nello stralcio della seguente figura, mentre i franchi minimi rispetto al piano della piattaforma ferroviaria sono indicati in Tabella 6. Sulla base dei





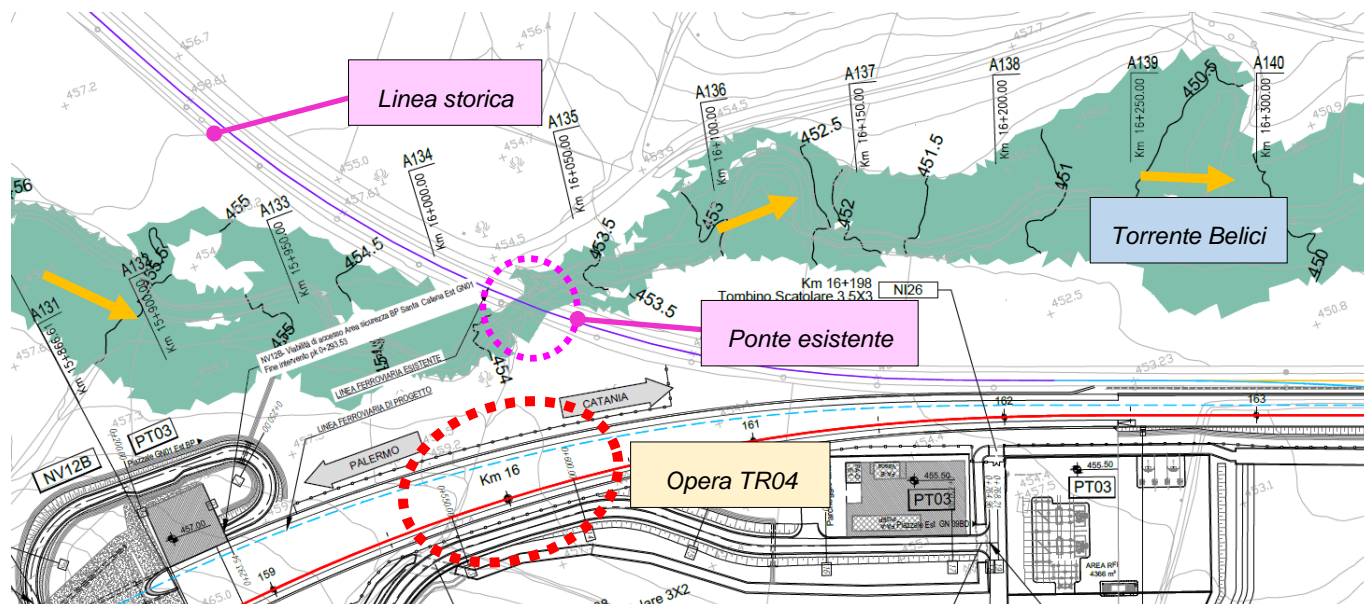


Figura 50: Aree allagate con l'indicazione dei livelli idrici, piena tempo di ritorno 14 anni, stato di progetto-fase 1, opera TR04 a monte della stazione di Vallelunga

sez	pk	Quota minima piattaforma ferroviaria [m slm]	Livello idrico max Tr14 [m slm]	Franco Tr14 [m]	Livello idrico max Tr50 [m slm]	Franco Tr50 [m]
A133	15+950	456,46	454,88	1,58	455,04	1,42
A134	16+000	456,35	454,4	1,95	454,81	1,54

Tabella 6: Verifica dei franchi di progetto-fase 1, tratto denominato TR04

### 5.3.6 Viadotto NV07 – Torrente Belici

Nelle vicinanze della stazione di Vallelunga è prevista la demolizione del rilevato stradale e dell'opera di attraversamento connessa. Le simulazioni numeriche mostrano come la viabilità esistente costituisca un ostacolo al normale deflusso delle portate in piena del Torrente Belici; i livelli idrici che si instaurano a monte dell'opera di attraversamento attuale sono tali da provocare il sormonto della linea ferroviaria storica (Figura 51). La viabilità esistente demolita sarà sostituita da un nuovo tratto viario realizzato in viadotto denominato NV07. La rimozione dell'ostacolo posto nell'alveo del corso d'acqua favorisce una distribuzione più uniforme dei flussi in area golenale, come mostrato in Figura 51. In corrispondenza dell'asse della nuova viabilità la sezione utile del corso d'acqua appare incrementata rispetto alla



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

condizione attuale, per cui, a parità di portata, i livelli idrici massimi decrescono (Figura 51). Nello scenario di progetto la piena di riferimento non interferisce con la linea ferroviaria.

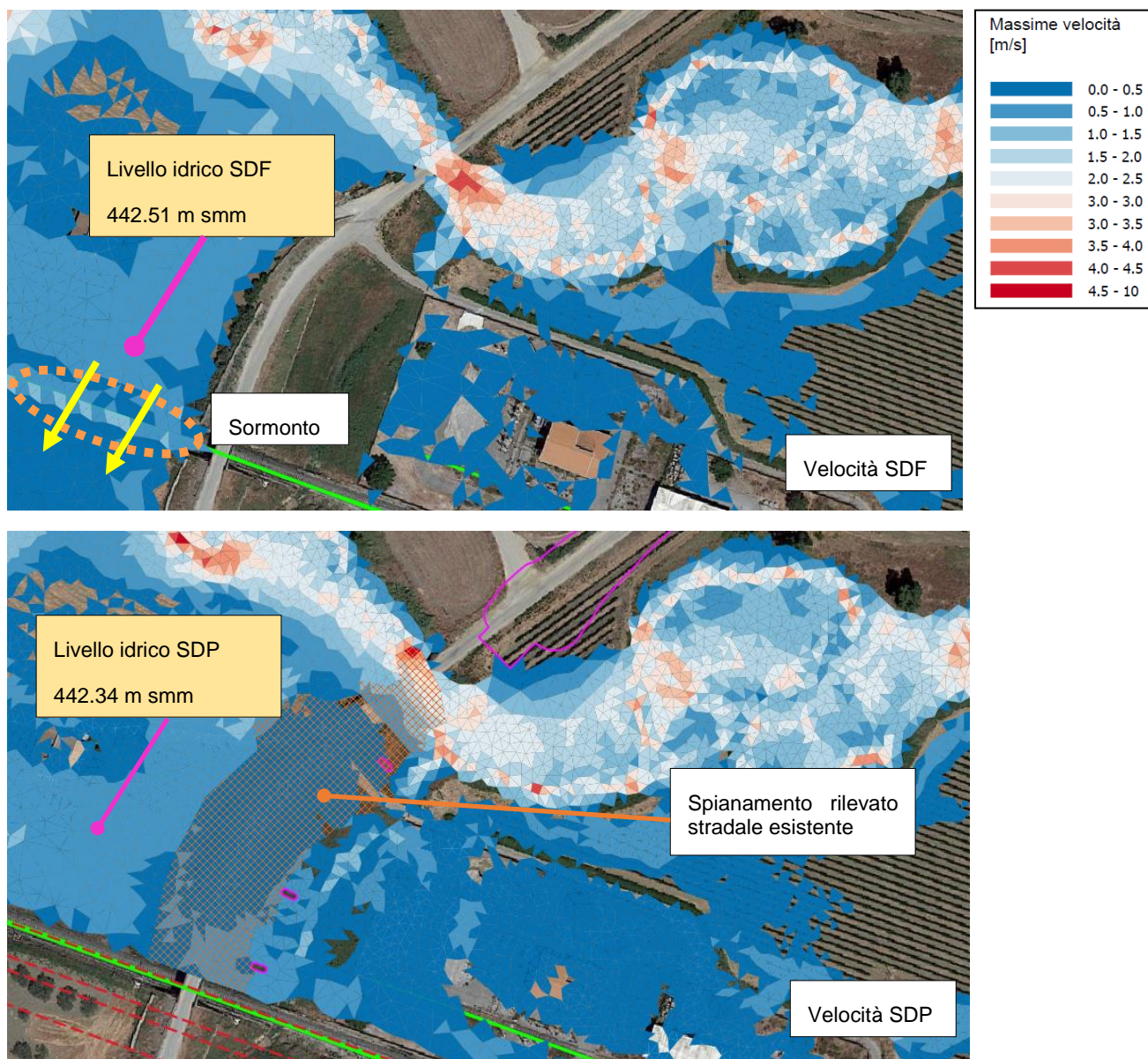


Figura 51: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – NV07

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA MAGGIORE					
Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D	FOGLIO 70 di 136

### 5.3.7 Viadotti VI05 e VI06– Torrente Belici

A valle della stazione di Vallelunga la linea storica interseca due corsi d'acqua, il Torrente Belici e un suo affluente laterale (Figura 52); in tali posizioni trovano luogo due opere di attraversamento. I ponti ferroviari esistenti posseggono luci piuttosto limitate, non sufficienti a garantire il passaggio delle piene di riferimento senza provocare evidenti effetti di rigurgito a monte della linea storica. Secondo i risultati delle simulazioni numeriche gli innalzamenti del profilo idrico sono tali da provocare ampi allagamenti ed il sormonto del rilevato ferroviario (Figura 52).

Al fine di superare tali criticità si ipotizzano i seguenti interventi (Figura 52):

- Demolizione dei rilevati ferroviari e delle opere di attraversamento;
- Realizzazione di due binari paralleli che poggiano sui viadotti di progetto VI05 e VI06;
- Costruzione di un arginello in sinistra idraulica intestato sul viadotto VI06.

Le opere preventivate garantiscono il passaggio delle piene in condizioni di sicurezza, scongiurando il sormonto della linea ferroviaria di progetto.

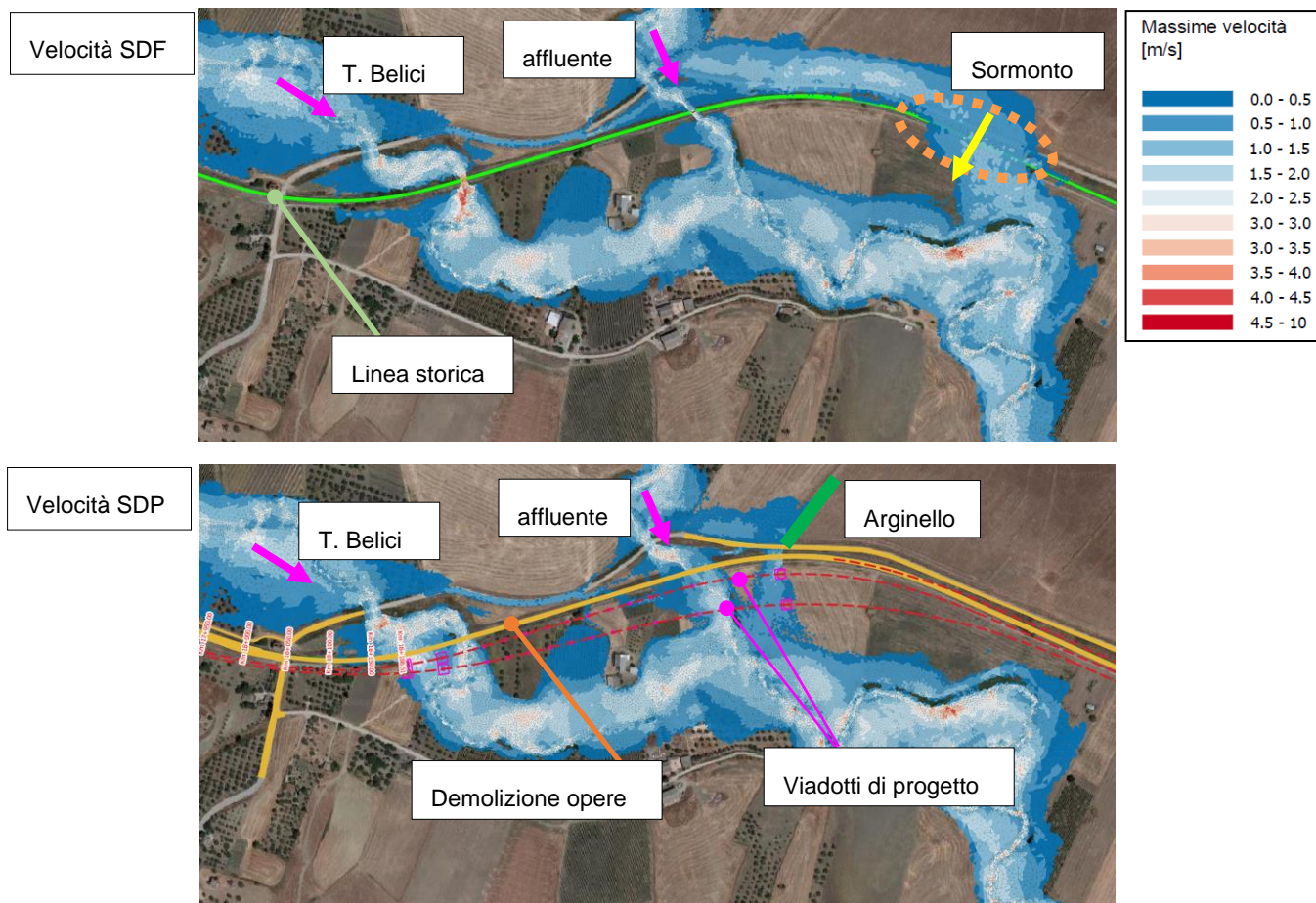


Figura 52: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – VI05 e VI06

### 5.3.8 Viadotto VI08 – Torrente Belici

Il viadotto VI08 è stato progettato in maniera tale da intersecare quasi ortogonalmente all'alveo di magra del Torrente Belici. Le simulazioni numeriche sviluppate evidenziano come dallo stato di fatto a quello di progetto non ci siano significative variazioni nel campo delle velocità del corso d'acqua, a meno di qualche locale perturbazione (Figura 53). Inoltre non sono presenti evidenti alterazioni del livello idrico in prossimità dell'opera (Figura 54).



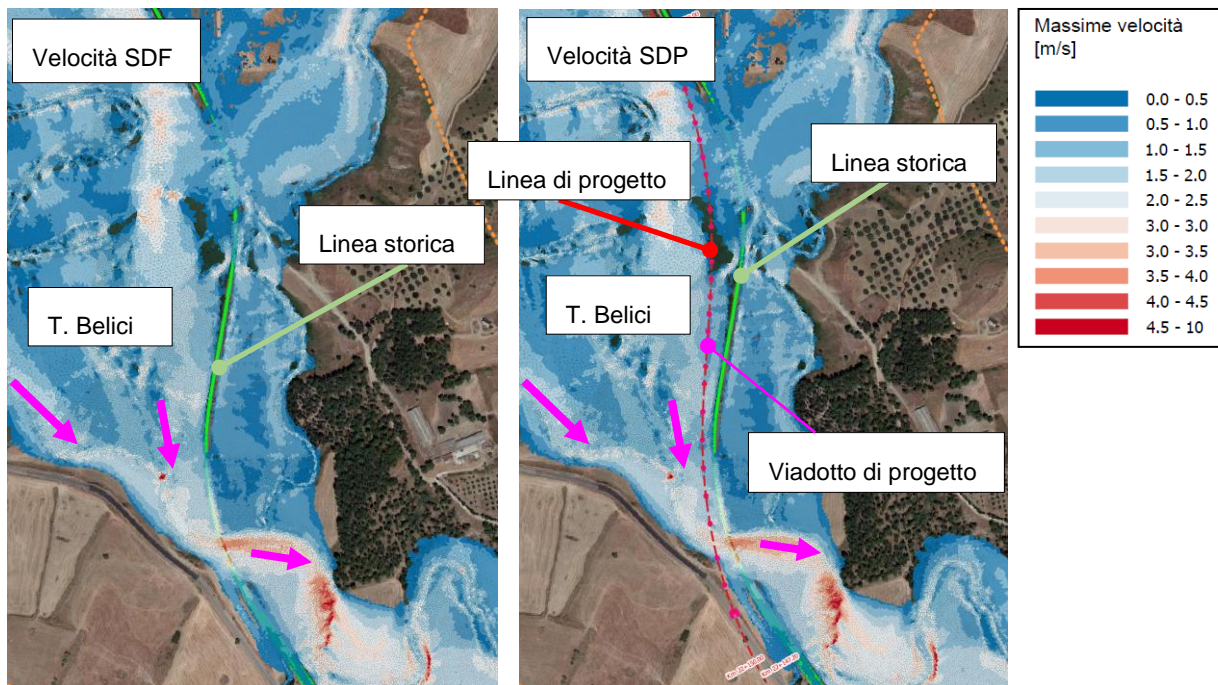


Figura 53: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – VI08

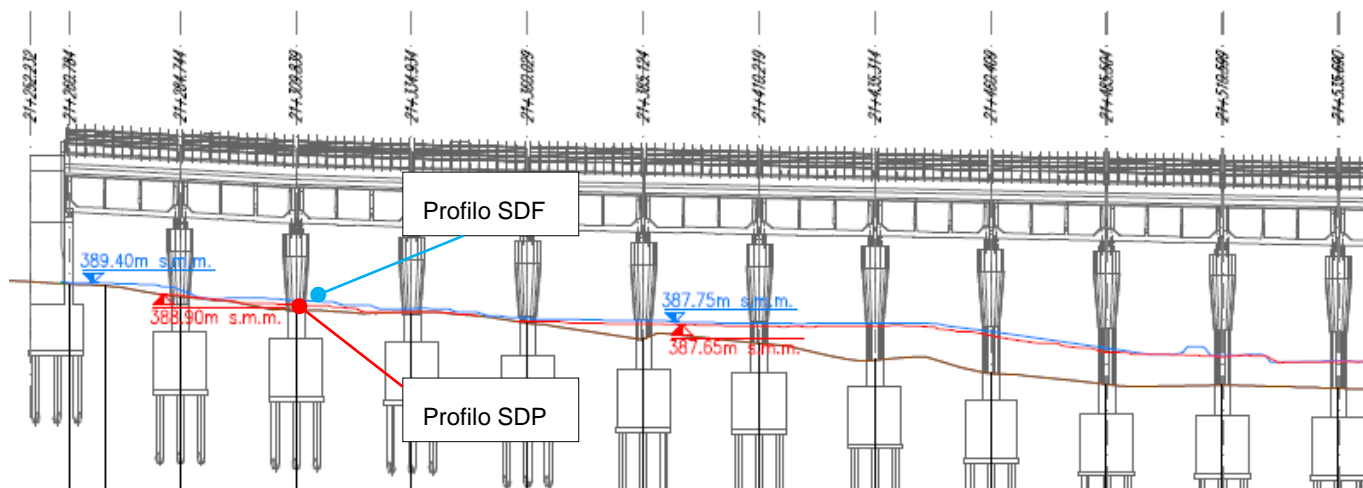


Figura 54: Profilo altimetrico viadotto VI08, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa)



### 5.3.9 Viadotto NV53a – Torrente Belici

Il progetto della nuova viabilità NV53a prevede la costruzione di un viadotto che interseca l'alveo di magra del Torrente Belici. Dalle simulazioni effettuate, il campo di velocità del corso d'acqua in prossimità del viadotto (stato di progetto) può considerarsi inalterato rispetto allo stato di fatto (Figura 55). Allo stesso modo, i livelli idrici lungo l'opera non presentano significative variazioni (Figura 56).

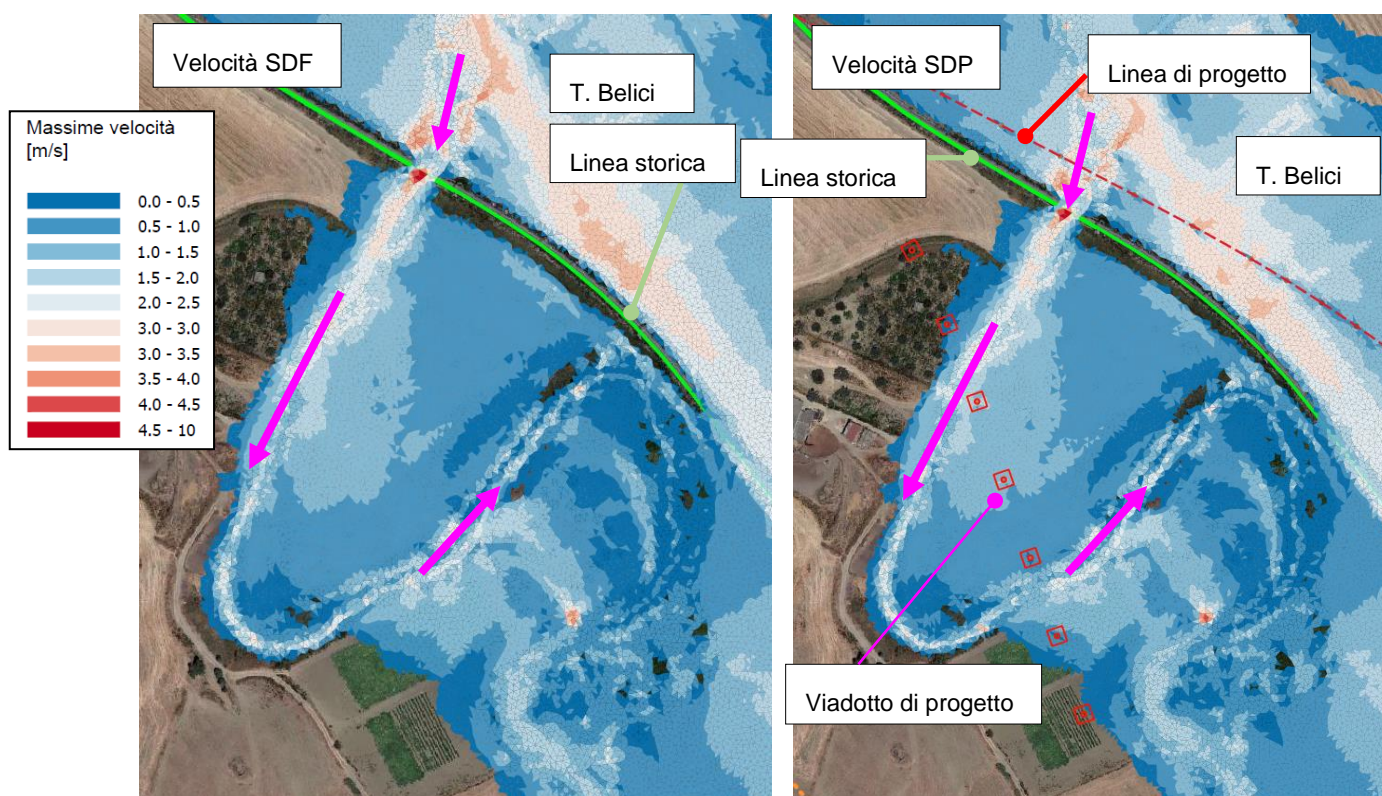


Figura 55: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – NV53a

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

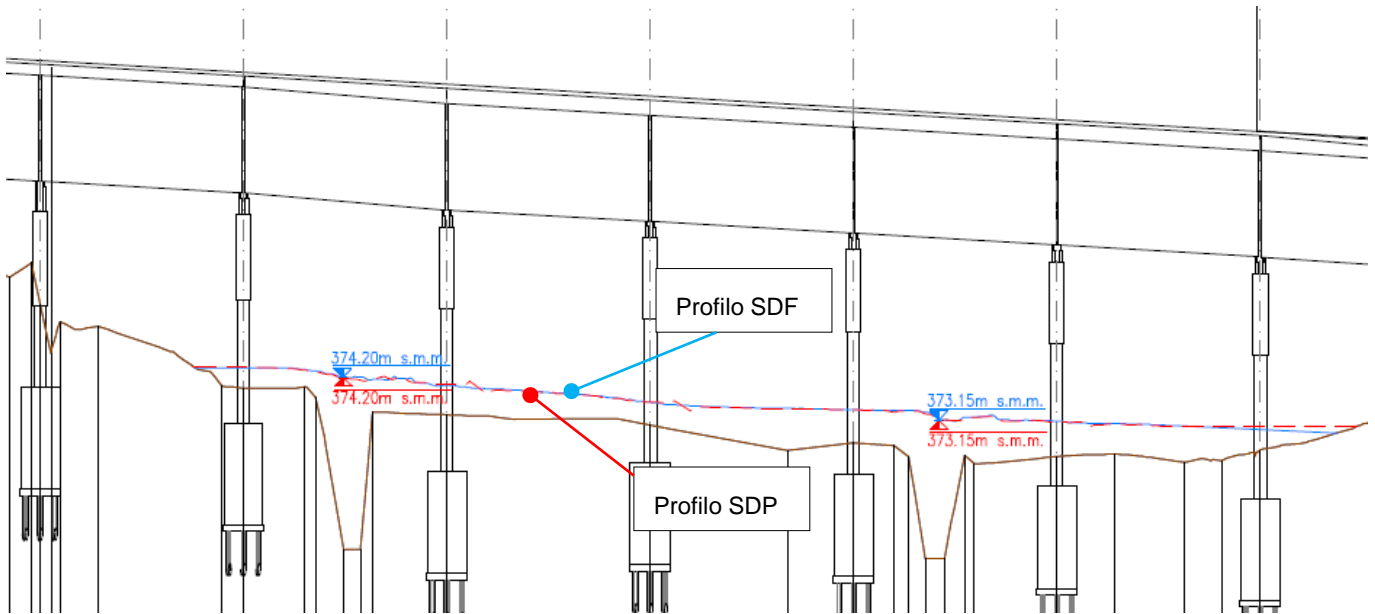


Figura 56: Profilo altimetrico viadotto NV53a, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa)

### 5.3.10 Viadotto VI10 – Torrente Belici

Il viadotto VI10 è stato progettato in maniera tale da intersecare l'alveo di magra del Torrente Belici quasi ortogonalmente. Le simulazioni effettuate allo stato di fatto e allo stato di progetto non presentano significative variazioni nel campo delle velocità globali, come si può notare in Figura 57. Non si osservano inoltre evidenti variazioni dei livelli idrici in prossimità del viadotto (Figura 58).

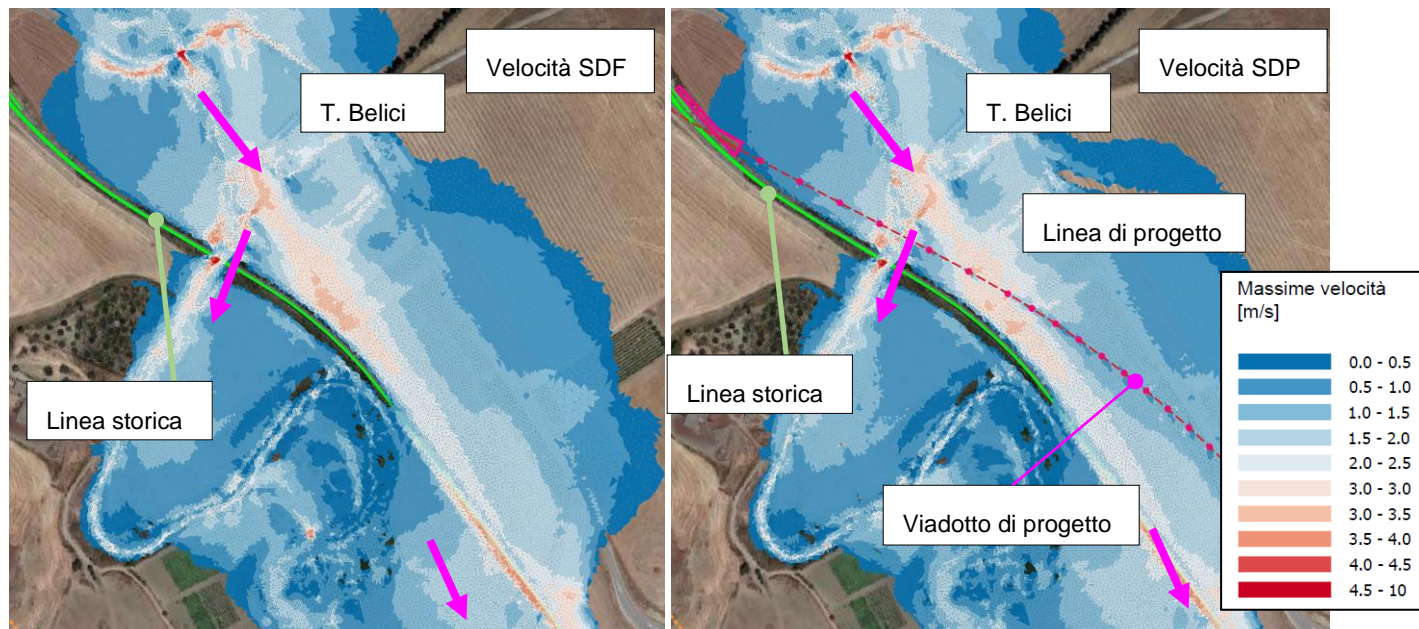


Figura 57: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – VI10

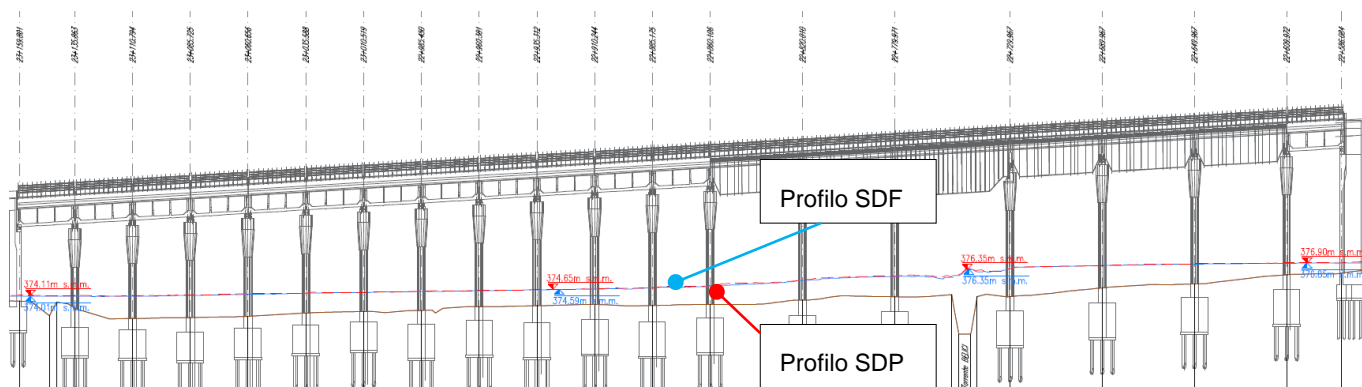


Figura 58: Profilo altimetrico viadotto VI10, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa)

### 5.3.11 Viadotto VI11 – Torrente Belici

Il progetto del viadotto VI11 prevede la realizzazione di un'opera che interseca l'alveo di magra del Torrente Belici quasi perpendicolarmente. Dalle simulazioni numeriche effettuate si è visto come il progetto del nuovo viadotto non alteri significativamente il campo di moto delle velocità del corso d'acqua (Figura 59); allo stesso modo, i livelli idrici non presentano variazioni evidenti (Figura 60).



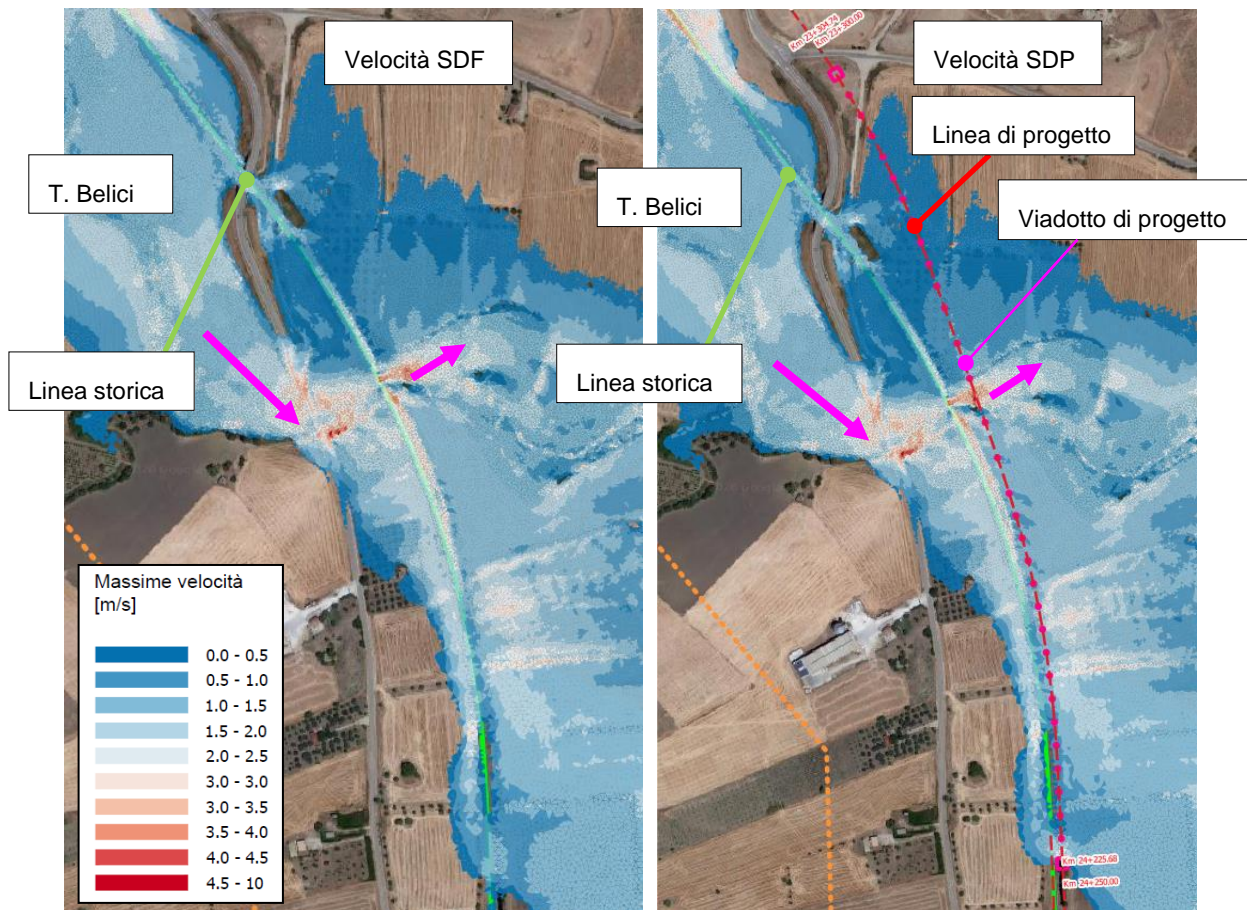


Figura 59: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – V111

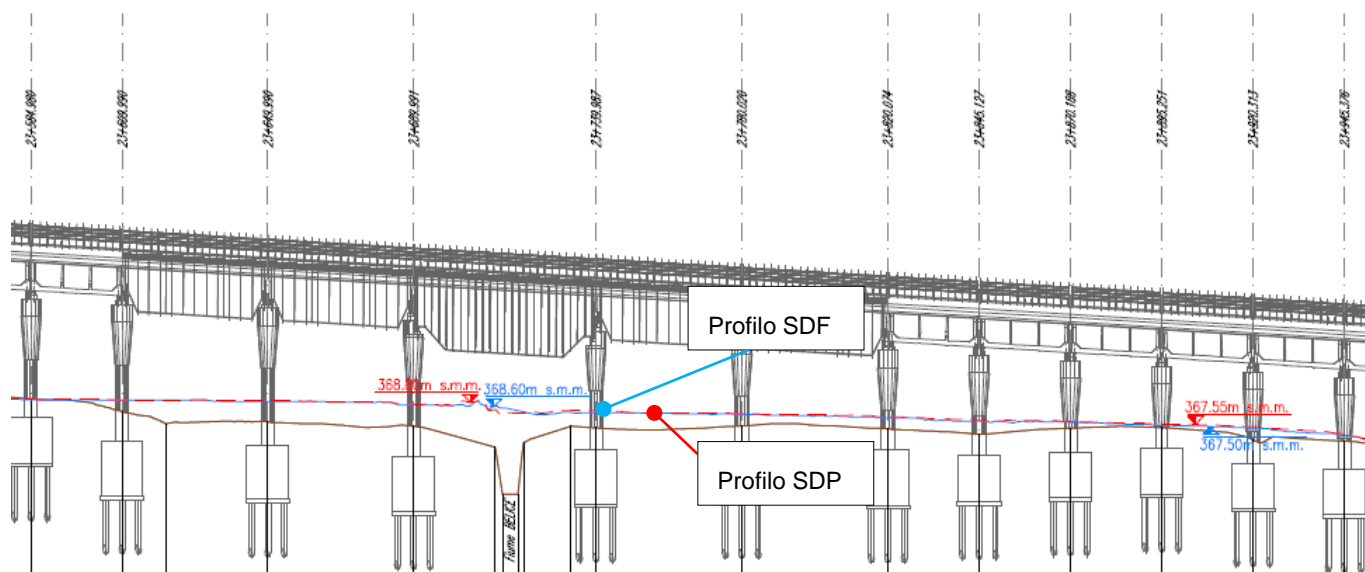


Figura 60: Profilo altimetrico viadotto V111, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa)



### 5.3.12 Viadotto VI12 – Torrente Belici

Il viadotto VI12 si sviluppa in una prima parte, non interessata dalla piena, parallelamente al corso del Torrente Belici, per poi intersecarlo quasi ortogonalmente poco prima dell'attraversamento esistente. Dal confronto dei risultati delle simulazioni sviluppate allo stato di fatto e allo stato di progetto non si notano evidenti variazioni nel campo di moto delle velocità (Figura 61). Allo stesso modo, il pelo libero dell'acqua in prossimità dell'opera rimane pressoché inalterato (Figura 62).

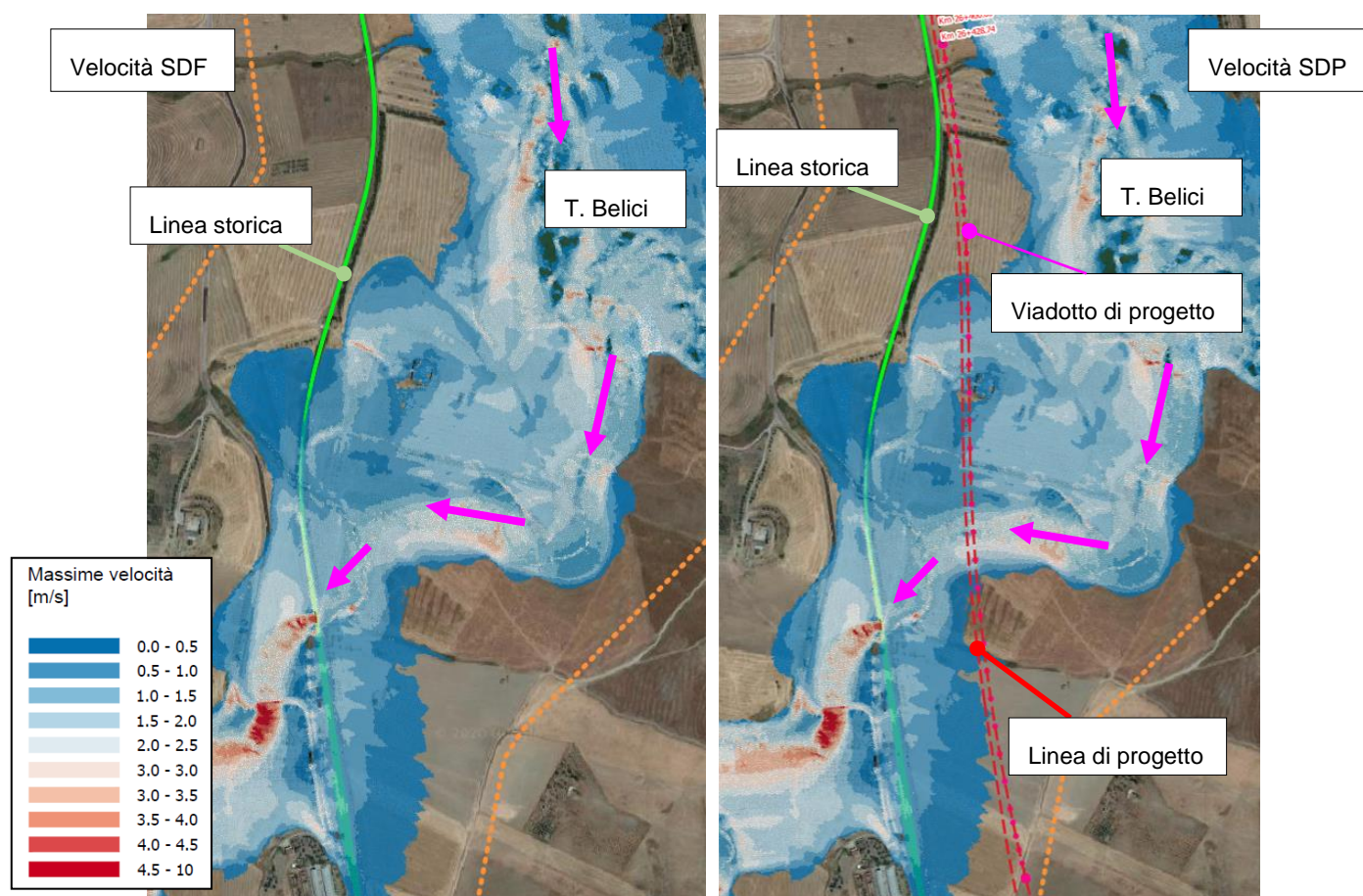


Figura 61: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – VI12

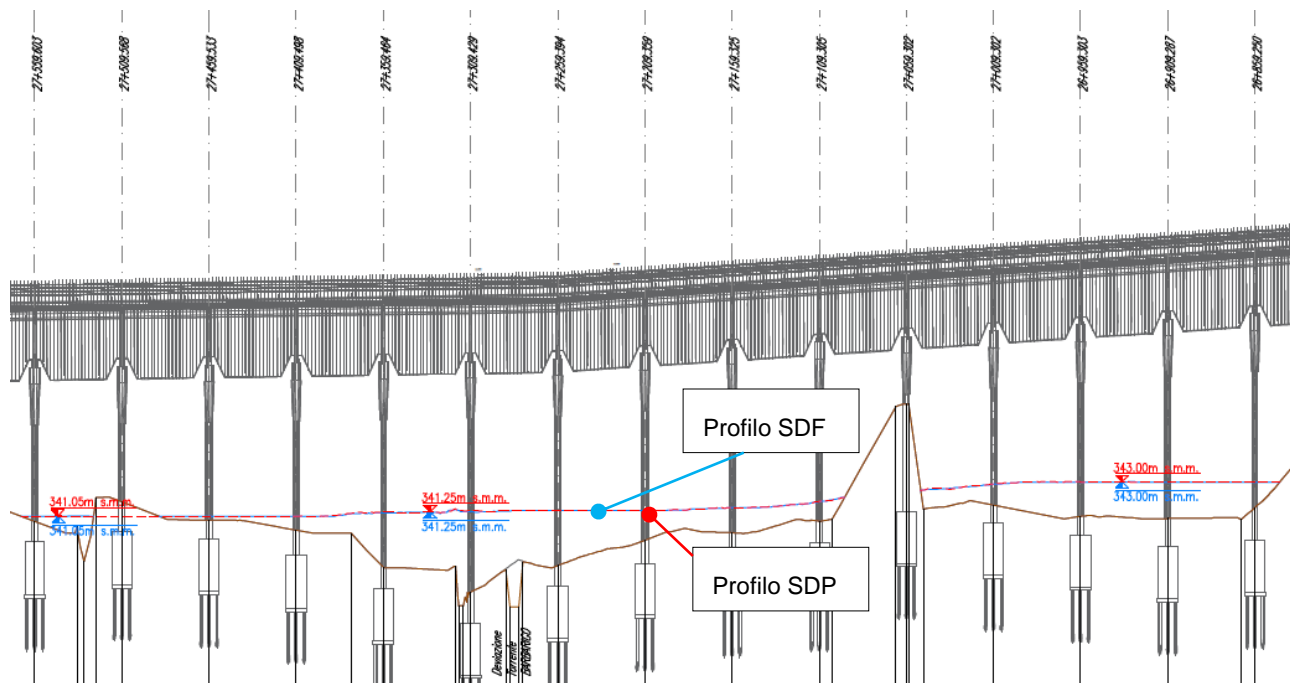


Figura 62: Profilo altimetrico viadotto VI12, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa)

### 5.3.13 Viadotto VI15 – Fiume Salito

La realizzazione del viadotto VI15 è prevista quasi ortogonalmente all'alvo di magra del Fiume Salito. Le simulazioni dello stato di fatto e dello stato di progetto, mostrano come l'opera di attraversamento non alteri sensibilmente il campo di velocità del corso d'acqua (Figura 63), come non si osservano variazioni di rilievo dei livelli idrici a monte dell'opera di attraversamento (Figura 64).

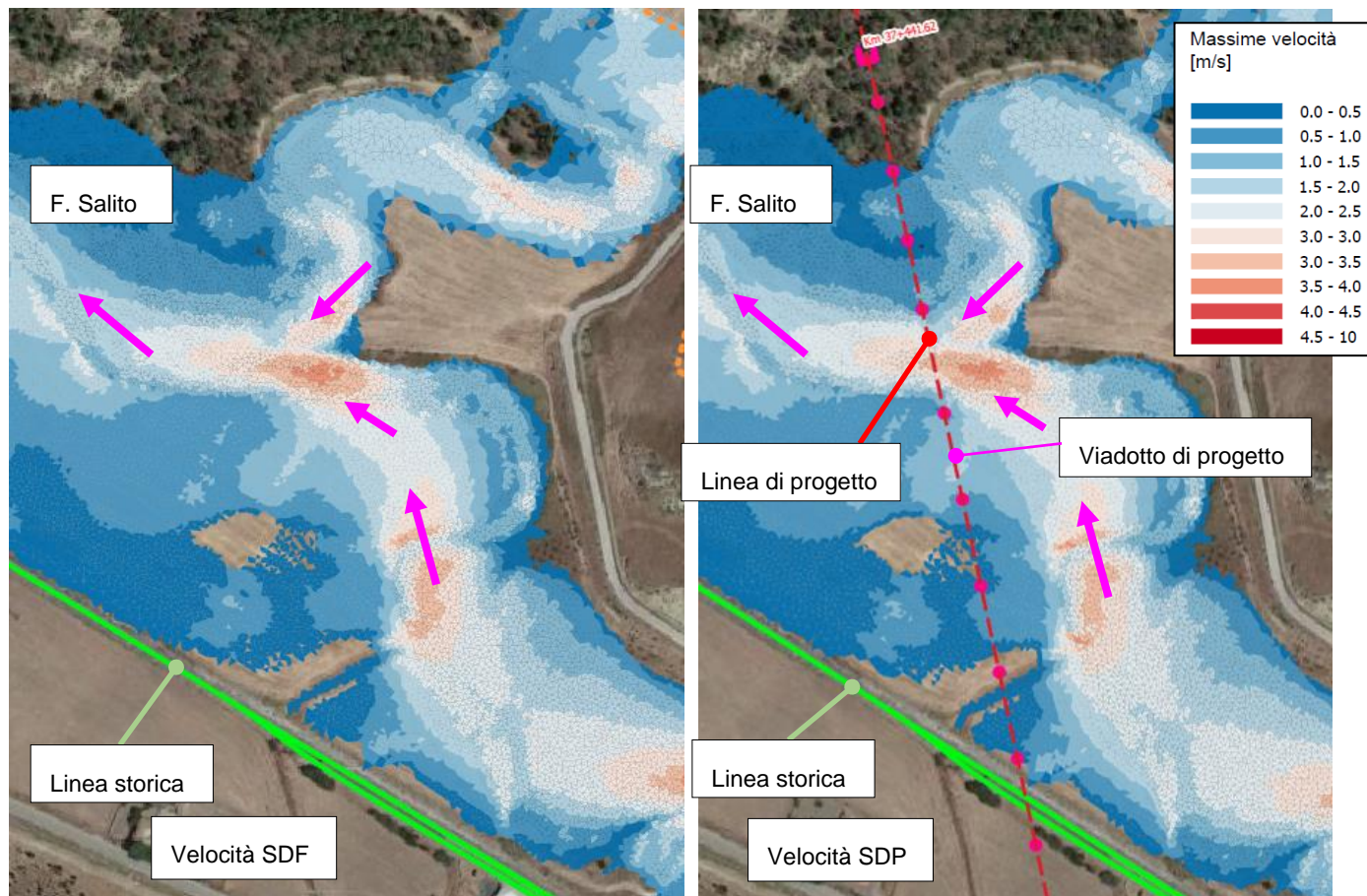


Figura 63: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – VI15

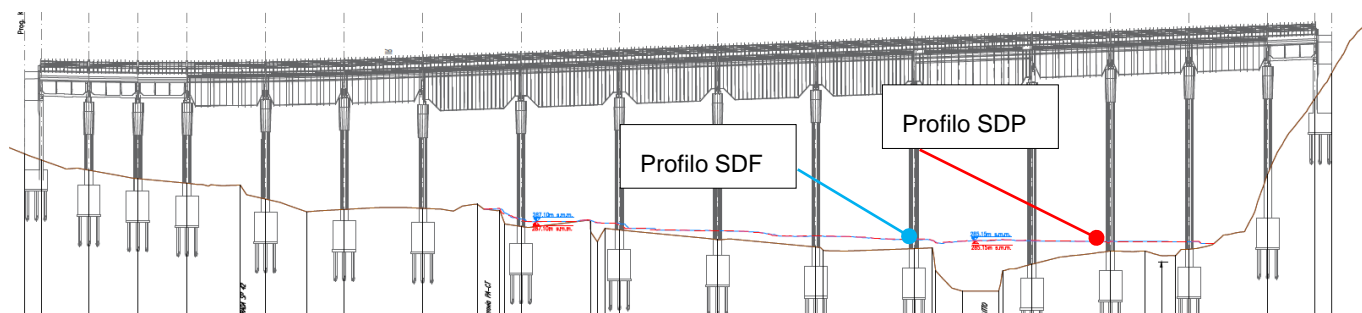


Figura 64: Profilo altimetrico viadotto VI15, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa)



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

### 5.3.14 Viadotto VI17 – Fiume Salito

Il viadotto VI17 si sviluppa parallelamente al Fiume Salito intersecando l'asse fluviale in due sezioni denominate VI17\_2 e VI17\_3 (Figura 65). Più a Ovest il viadotto interseca un affluente del Salito, alla sezione VI17\_1. In Tabella 7 sono riportate le portate massime calcolate per la piena con tempo di ritorno TR 300 anni in corrispondenza delle tre sezioni prese a riferimento.

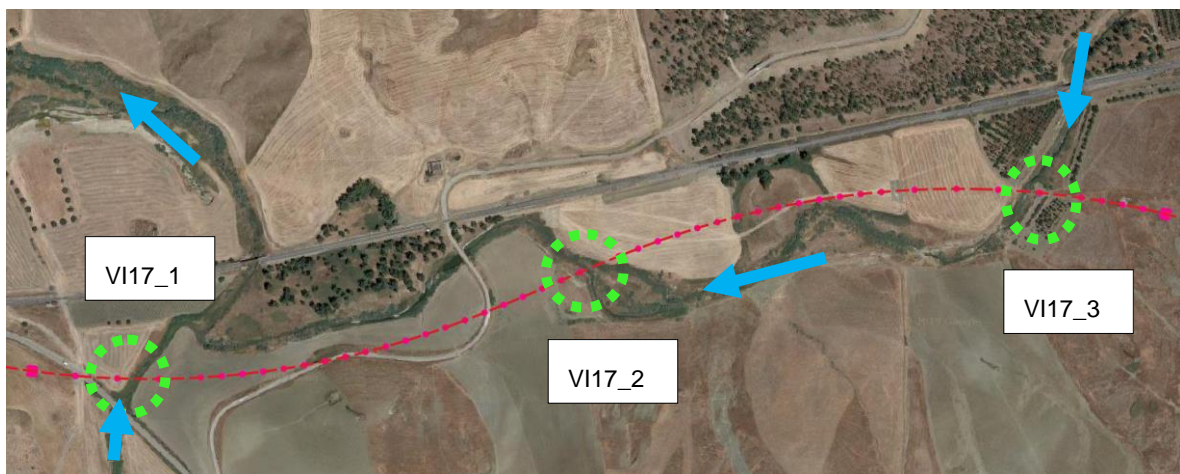


Figura 65: Planimetria viadotto VI17: interferenze idrauliche tra il corso d'acqua e l'opera di progetto (VI17\_1, VI17\_2 e VI17\_3)

<i>wbs</i>	Corso d'acqua	Tempo di ritorno [anni]	$Q_{max}$ [ $m^3/s$ ]
VI17_1	Fiume Salito	300	146
VI17_2	Fiume Salito	300	449
VI17_3	Fiume Salito	300	449

Tabella 7: Portate massime di riferimento per le verifiche del viadotto VI17

È stato eseguito il confronto fra i campi di velocità, nella configurazione attuale e nella configurazione di progetto (Figura 66). Dal raffronto non sono emerse variazioni di rilievo sul campo di moto, a meno di minime perturbazioni locali legate alla presenza delle pile in alveo. Lo stesso vale per il pelo libero della corrente, complessivamente inalterato nella sezione fluviale di monte (Figura 67).



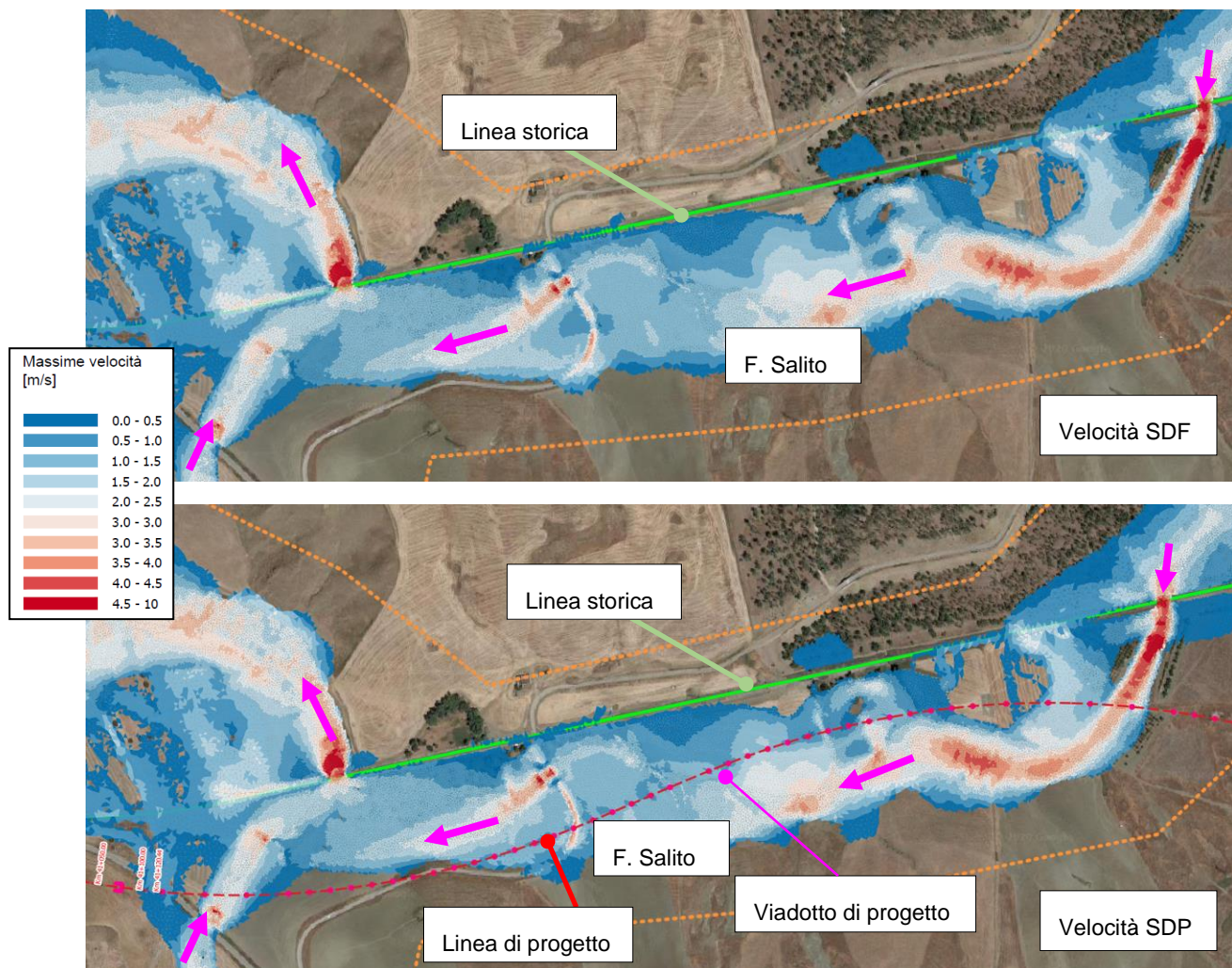


Figura 66: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – V117

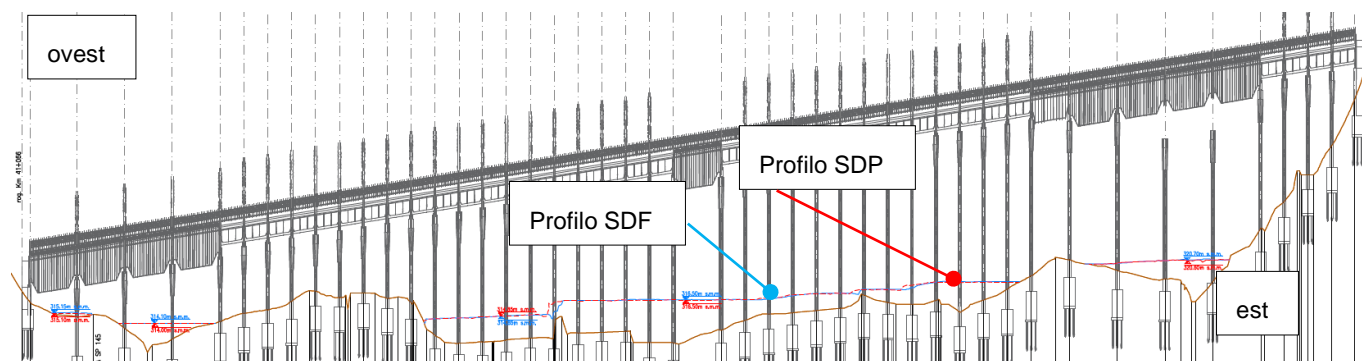


Figura 67: Profilo altimetrico viadotto V117, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

### 5.3.15 Viadotto NV62a – Fiume Salito

Il viadotto della nuova viabilità NV62a si sviluppa ortogonalmente a un affluente del Fiume Salito. La costruzione del viadotto non altera in maniera evidente i campi delle velocità del corso d'acqua (Figura 68). La variazione del livello idrico inoltre non risulta significativa, a meno di qualche locale perturbazione in prossimità di una delle pile (Figura 69).

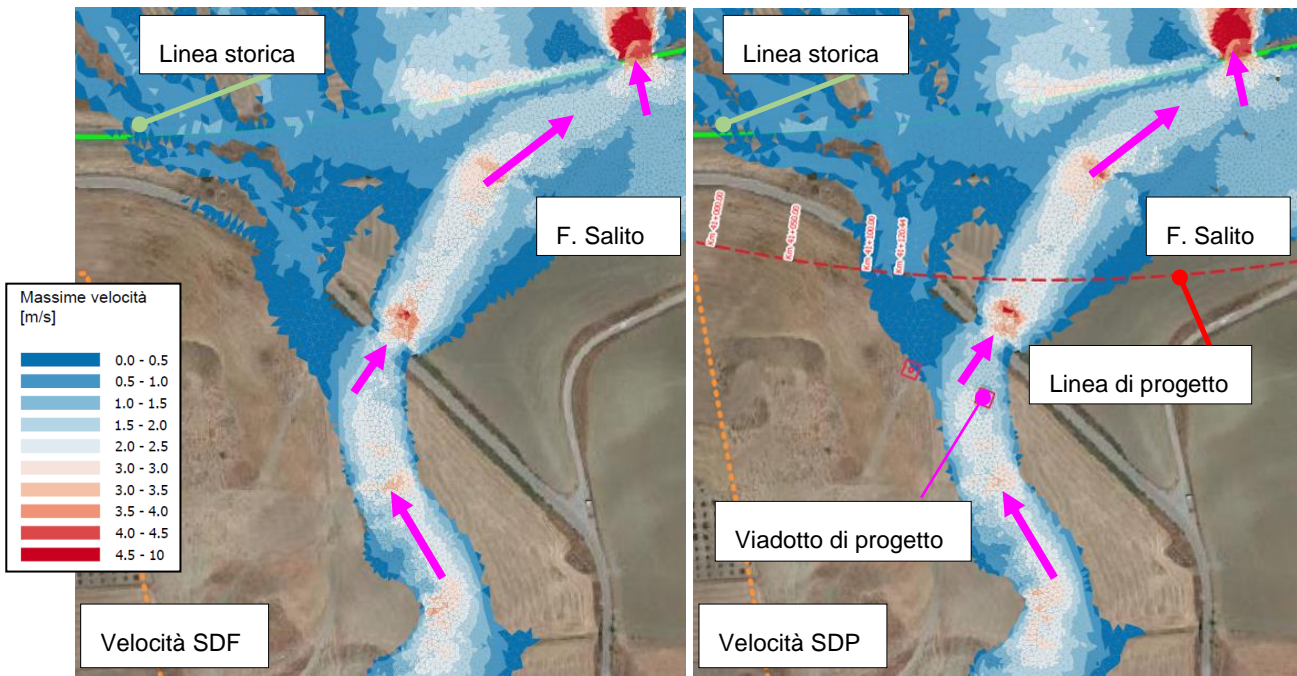


Figura 68: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – NV62a

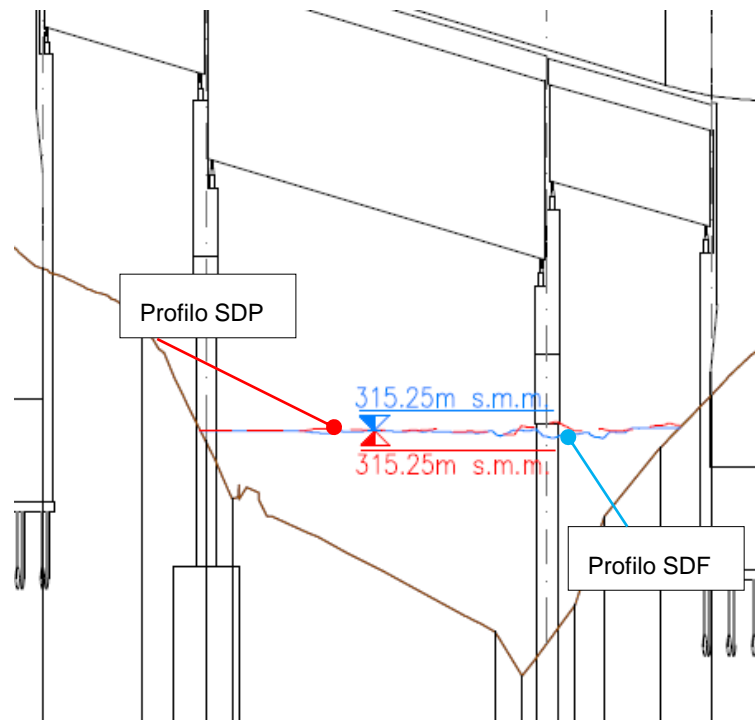


Figura 69: Profilo altimetrico viadotto NV62a, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa)

### 5.3.16 Viadotto NV62c – Fiume Salito

Il progetto della nuova viabilità NV62c prevede la realizzazione di un viadotto composto da 6 pile che interseca quasi ortogonalmente l'alveo di magra del Fiume Salito. Le simulazioni numeriche effettuate allo stato di progetto evidenziano come, rispetto allo stato di fatto, non siano presenti globali variazioni del campo di velocità del corso d'acqua (Figura 70). Analogamente, i livelli idrici risultano invariati (Figura 71).



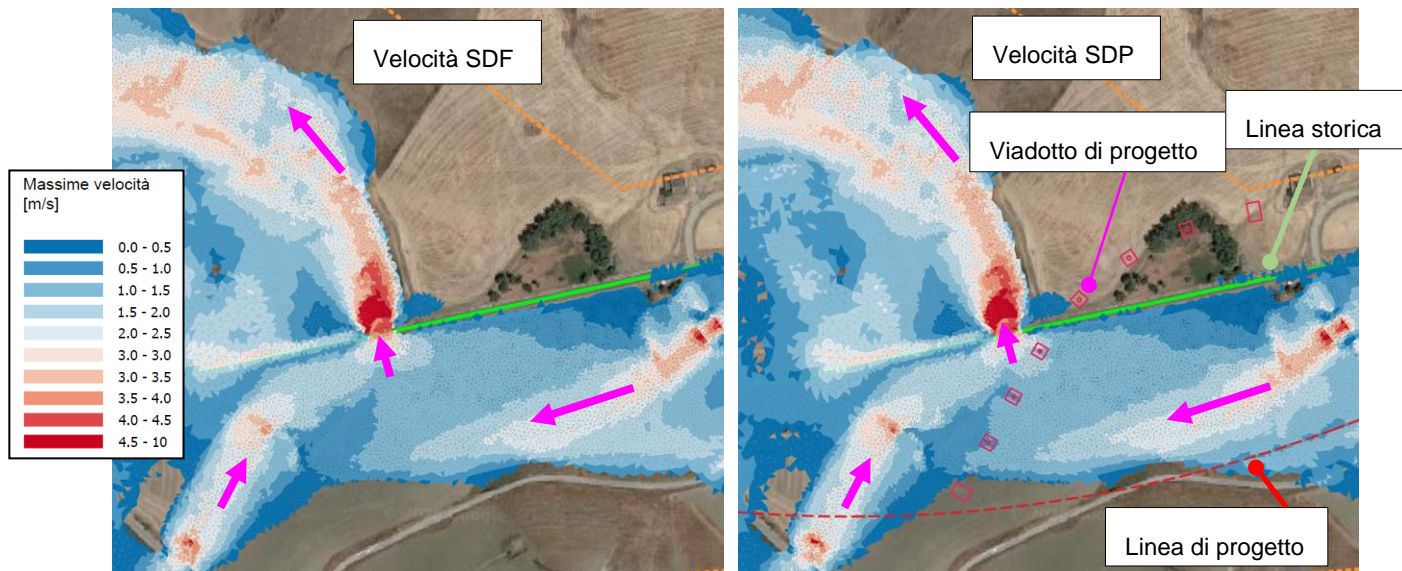


Figura 70: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – NV62c

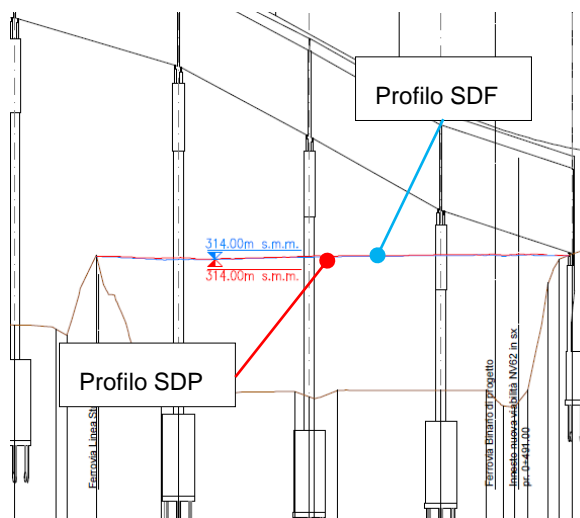


Figura 71: Profilo altimetrico viadotto NV62c, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa)



	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA MAGGIORE					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

## 6. VERIFICHE OPERE DI PROGETTO

### 6.1 Criteri di verifica

#### 6.1.1 Verifiche previste da 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>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

### 6.1.2 Verifiche previste dalle NTC 2018

All'interno del' "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" " (Decreto 17 gennaio 2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti), al punto 5.1.2.3 – Compatibilità Idraulica, viene imposto il franco idraulico minimo da garantire per gli attraversamenti stradali di progetto. Contestualmente le norme tecniche fissano il tempo di ritorno a cui fare riferimento per il calcolo delle portate di verifica. Le stesse prescrizioni si estendono anche ai ponti ferroviari, secondo il paragrafo 5.2.1.2.

Si riporta un estratto della normativa:

#### 5.1.2.3 Compatibilità Idraulica

[...]

*Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno  $T_r$  pari a 200 anni ( $T_r = 200$ ).*

[...]

*Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m.*

[...]

### 6.2 Viadotti – verifiche dei franchi

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 (livello energetico) post operam verificano le prescrizioni del manuale Italfer e dell' "Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" ".


Opera - wbs	TR [anni]	Qmax [m <sup>3</sup> /s]	Pk	Livello idrico max [m smm]	Intradosso [m smm]	Franco minimo [m]
VI01	300	329	0+642	413.68	415.50	1.82
VI04	300	307	4+148	440.80	450.13	9.33
NV07	300	81	0+337	440.78	446.03	5.25
VI05	300	120	18+570	421.4	425.25	3.85
VI06	300	66	18+578	421.8	424.99	3.19
VI08	300	479	22+211	383.9	387.42	3.52
NV53a	300	562	1+384	374.23	378.44	4.21
VI10	300	562	23+159	374.11	379.95	5.84
VI11	300	562	23+989	368.8	371.56	2.76
V12	300	916	27+309	341.25	349.2	7.95
VI15	300	485	37+852	287.1	298.63	11.53
NV62a	300	146	1+620	315.34	317.72	2.38
NV62c	300	449	0+349	314	315.5	1.50
VI17	300	146	41+642	315.1	317.36	2.26

Tabella 8: Viadotti lotti 3a e 3b, verifica del franco sul livello idrico

Opera - wbs	TR [anni]	Qmax [m <sup>3</sup> /s]	Posizione	Livello energetico max [m smm]	Intradosso [m smm]	Franco minimo [m]
VI01	300	329	0+642	413.71	415.50	1.79
VI04	300	307	4+148	440.80	450.13	9.33
NV07	300	81	0+337	440.87	446.03	5.16
VI05	300	120	18+570	421.54	425.25	3.71
VI06	300	66	18+578	421.87	424.99	3.12
VI08	300	479	22+211	384.28	387.42	3.14
NV53a	300	562	1+384	374.53	378.44	3.91
VI10	300	562	23+159	374.12	382.64	8.52
VI11	300	562	23+989	369.26	371.56	2.30
V12	300	916	27+309	341.52	353.80	12.28
VI15	300	485	37+852	287.16	298.63	11.47
NV62a	300	146	1+620	315.49	317.72	2.23
NV62c	300	449	0+349	314.07	315.5	1.43
VI17	300	146	41+642	315.12	317.36	2.24

Tabella 9: Viadotti lotti 3a e 3b, verifica del franco sul livello energetico

I franchi minimi per il viadotto VI01 riportati in Tabella 8 e Tabella 9 si riferiscono allo scenario di progetto di "fase 2", mentre al paragrafo 5.3.2 "Viadotto VI01 – Fiume Torto – Fase 1" è stato valutato il franco minimo per lo scenario corrispondente all'assetto di progetto transitorio.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3) IDRAULICA MAGGIORE					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

### 6.3 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 più metodologie di calcolo, di seguito riportate.

#### 6.3.1 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 [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:

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

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



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

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

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

Tabella 10: 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

Tabella 11: Coefficiente correttivo  $K_3$

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

$$K_2 = \left( \cos \theta + \frac{L}{a} \sin \theta \right)^{0.65}$$

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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

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 mediano 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:

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

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

dove  $V_c$  è la velocità critica di incipiente di movimento dei sedimenti.

### 6.3.2 FDOT (Florida Department Of Transportation)

L’equazione FDOT è anch’essa citata nella monografia “*Evaluating Scour at bridge - Fifth Edition*”. Come suggerito dalla monografia HEC18, la formulazione FDOT può essere considerata un’alternativa al metodo CSU, in particolar modo per le “pile tozze” con bassi tiranti e materiale fine al fondo. Tale approccio è del tutto confrontabile, anzi, sovrapponibile con l’equazione di Sheppard-Melville.

La profondità di scalzamento attesa può essere valutata come:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{y_s}{a^*} = 2.5f_1f_2f_3 \quad \text{for } 0.4 < \frac{V_1}{V_c} < 1.0 \\ \frac{y_s}{a^*} = f_1 \left[ 2.2 \left( \frac{\frac{V_1}{V_c} - 1}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) + 2.5f_3 \left( \frac{\frac{V_{1p}}{V_c} - \frac{V_1}{V_c}}{\frac{V_{1p}}{V_c} - 1} \right) \right] \quad \text{for } 1 < \frac{V_1}{V_c} < \frac{V_{1p}}{V_c} \\ \frac{y_s}{a^*} = 2.2f_1 \quad \text{for } \frac{V_1}{V_c} > \frac{V_{1p}}{V_c} \end{array} \right.$$

con

$$V_{1p} = \max(V_{1p1}; V_{1p2})$$

$$V_{1p1} = 5V_c; \quad V_{1p2} = 0.6\sqrt{gy_1}$$

dove:  $y_s$  è la profondità di scavo,  $a^*$  è il diametro effettivo della pila,  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $V_1$  è la velocità della corrente in approccio alla pila,  $y_1$  è il tirante e  $V_c$  è la velocità critica di incipiente di movimento dei sedimenti.

Inoltre

$$f_1 = \tanh \left[ \left( \frac{y_1}{a^*} \right)^{0.4} \right]$$

$$f_2 = \left\{ 1 - 1.2 \left[ \ln \left( \frac{V_1}{V_c} \right) \right]^2 \right\}$$

$$f_3 = \left[ \frac{\left( \frac{a^*}{d_{50}} \right)}{0.4 \left( \frac{a^*}{d_{50}} \right)^{1.2} + 10.6 \left( \frac{a^*}{d_{50}} \right)^{-0.13}} \right]$$

$$a^* = K_s a_p$$

dove  $K_s$  è il fattore di forma e  $a_p$  è la larghezza proiettata della pila, calcolata come:

$$a_p = a \cdot \cos\theta + L \cdot \sin\theta$$

$a$  e  $L$ , rispettivamente, larghezza e profondità della pila,  $\theta$  angolo di attacco della corrente e  $d_{50}$  è il diametro medio dei sedimenti.

Per il calcolo di  $K_s$  si è fatto riferimento alle seguenti specifiche:

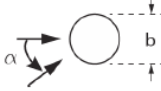
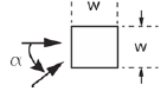
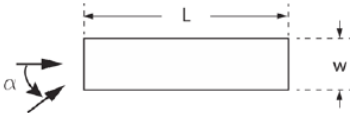
Structure Shape (Plan View)	Shape Coefficient, $K_s$
General Constraints $10.0 \geq \left(\frac{w}{L}\right) \geq 0.1$ ; $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$	If $\left(\frac{w}{L}\right) < 0.1$ set $\left(\frac{w}{L}\right) = 0.1$ ; If $\left(\frac{w}{L}\right) > 10.0$ set $\left(\frac{w}{L}\right) = 10.0$
	$K_s = 1.0$
	$K_s = 0.9 + 1.21 \left(\alpha - \frac{\pi}{4}\right)^4$
	$0 \leq \alpha \leq (\pi/4)$ $K_s = 0.9 + (2.63K_1 - 2.37) \left[ \left(\alpha - \frac{\pi}{4}\right)^4 - 0.38 \right]$ $K_1 = 1.23 + 0.13 \left(\frac{w}{L}\right)^{0.3}$ $(\pi/4) < \alpha \leq (\pi/2)$ $K_s = 0.9 + (2.63K_2 - 2.37) \left(\alpha - \frac{\pi}{4}\right)^4$ $K_1 = 1.23 + 0.13 \left[ \frac{1}{\left(\frac{w}{L}\right)} \right]^{0.3}$

Tabella 12: Coefficiente correttivo  $K_s$

### 6.3.3 Ulteriori considerazioni sul calcolo della profondità di scavo

La velocità critica di incipiente di movimento dei sedimenti può essere calcolata con differenti equazioni che ben approssimano quanto riscontrato nelle prove sperimentali in canaletta. Si è scelto di adottare una formula di carattere generale, proposta da Soulsby nel 1997.

$$V_c = 5.75 \left[ \text{LOG} \left( \frac{12h}{6D_{50}} \right) \right] [\theta_c (s-1)gD_{50}]^{0.5}$$

$$\theta_c = \frac{0.3}{1 + 1.2 D_*} + 0.055 [1 - \exp(-0.02 D_*)]$$

$$D_* = D_{50} [(s-1)g/v^2]^{1/3}$$



dove  $h$  è il tirante idrico,  $D_{50}$  è il diametro mediano dei sedimenti,  $\theta_c$  è il coefficiente di Shields calcolato alla condizione di inizio di movimento,  $s$  è il rapporto la densità dei sedimenti è quella dell'acqua,  $g$  è l'accelerazione di gravità e  $\nu$  è la viscosità cinematica dell'acqua.

Le equazioni sopra proposte, CSU e FDOT, legano la profondità di scavo con la larghezza della pila. Nel presente elaborato si è fatto riferimento alla larghezza della pila equivalente, nel caso in cui lo scavo non scoprisse il plinto di fondazione, la larghezza equivalente deriva da quella della pila di progetto. Con profondità di scavo tali da scoprire il plinto, la larghezza equivalente considera anche le dimensioni del plinto. La larghezza equivalente viene calcolata secondo l'approccio proposto da Melville e Raudkivi (1996), schematizzato in Figura 72.

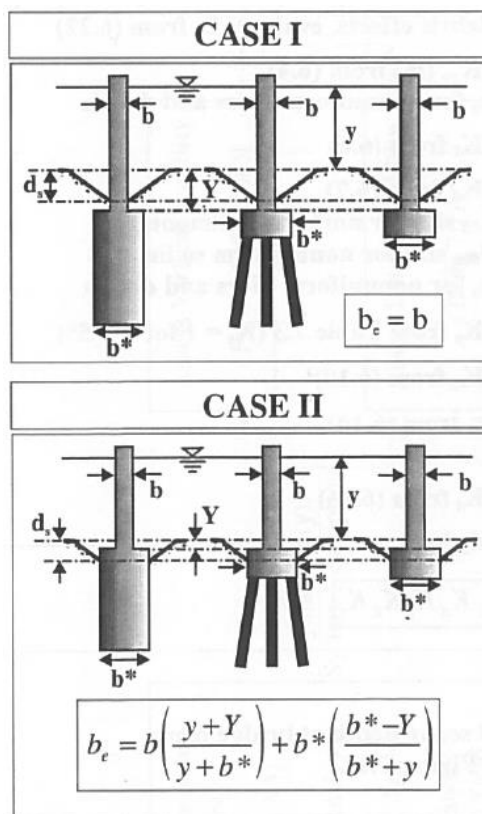


Figura 72: Calcolo della larghezza equivalente, Melville e Raudkivi (1996)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 09	RH	ID0000 001	D	94 di 136

Il calcolo della profondità di scavo non tiene conto della presenza di materiale flottante accumulato attorno alle pile dei viadotti.

Per ogni pila lambita dalla corrente è stata calcolata la profondità di scavo, confrontando volta per volta quale delle due equazioni (HEC18 e FDOT) forniva il valore massimo.

Secondo gli studi condotti da Sheppard et al. (2013), riguardanti il confronto tra i valori di scalzamento osservati in laboratorio e in sito e quelli valutati secondo le più comuni ed utilizzate formule per il calcolo dello scalzamento (tra cui anche quelle proposte da Melville, Froehlich, Breusers e CSU), la formulazione FDOT fornisce valori più attendibili (e prossimi a quelli misurati) rispetto alle altre, per i seguenti campi di valori:

$$\frac{V_1}{V_c} = 0.4 \div 7.6$$

$$\frac{y_1}{a} = 0.05 \div 10$$

$$\frac{a}{d_{50}} = 3.65 \div 65047$$

$$FR = 0.03 \div 1.95$$

Per ogni pila è stato valutato se le grandezze coinvolte rientrassero all'interno dei range di valori raccomandati. Spesso la condizione  $a/d_{50}$  è fortemente limitante; generalmente, il rapporto tra la larghezza della pila e il diametro mediano dei sedimenti supera il valore di 65047, quindi "a rigore" il metodo FDOT - Sheppard Melville andrebbe escluso. Nonostante questo, i risultati mostrano come le due formulazioni diano risultati del tutto allineati.

Si è deciso di fare riferimento principalmente alla formulazione CSU, utilizzando FDOT come stima utile ad un confronto quantitativo.

Le caratteristiche della corrente incidente su ogni singola pila sono state ottenute attraverso la modellazione bidimensionale dei corsi d'acqua, facendo riferimento alle massime piene di progetto.

Le caratteristiche granulometriche dei sedimenti che costituiscono l'alveo dei corsi d'acqua sono state ricavate a partire dalle informazioni geologiche fornite.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 09	RH	ID0000 001	D	95 di 136

Per ciascun viadotto, pila per pila, vengono esposti in modo sintetico le principali grandezze che intervengono nel calcolo della profondità di scavo. Nel seguito sono disponibili alcune tabelle che forniscono forma e dimensioni delle pile e dei plinti di progetto, velocità e tirante della corrente in arrivo, angolo di attacco corrente-pila, diametro mediano di riferimento dei sedimenti in alveo e quantificazione della profondità di scavo. Si indica inoltre se lo scalzamento massimo è tale da scoprire o meno il plinto di fondazione. La numerazione delle pile segue la distanza progressiva, concorde con la direzione Palermo-Catania.

### 6.3.4 Escavazioni localizzate viadotto VI01

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	1.72	1.51	58	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>7.90</b>	<b>plinto scoperto</b>
P02	4.00	0.67	49	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>5.00</b>	<b>plinto scoperto</b>
P03	1.24	1.60	68	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>7.83</b>	<b>plinto scoperto</b>
P04	0.87	1.50	76	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>6.98</b>	<b>plinto scoperto</b>
P05	0.82	1.53	83	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>6.80</b>	<b>plinto scoperto</b>
P06	0.91	1.56	84	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>6.94</b>	<b>plinto scoperto</b>
P07	0.84	2.60	68	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>10.30</b>	<b>plinto scoperto</b>
P08	1.20	1.36	75	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>6.81</b>	<b>plinto scoperto</b>
P09	1.64	1.02	82	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>5.70</b>	<b>plinto scoperto</b>
P10	1.81	0.78	66	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>5.08</b>	<b>plinto scoperto</b>
P11	1.75	0.75	67	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>4.89</b>	<b>plinto scoperto</b>
P12	1.86	0.65	63	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>4.52</b>	<b>plinto scoperto</b>
P13	1.80	0.62	76	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>4.25</b>	<b>plinto scoperto</b>
P14	1.49	0.41	71	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>1.50</b>	<b>plinto non scoperto</b>
P15	0.52	1.02	78	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>4.94</b>	<b>plinto scoperto</b>
P16	0.76	0.67	68	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>1.92</b>	<b>plinto non scoperto</b>
P17	0.65	0.61	69	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>3.69</b>	<b>plinto scoperto</b>
P18	0.50	0.76	70	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>1.94</b>	<b>plinto non scoperto</b>
P19	0.48	0.87	55	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	<b>4.59</b>	<b>plinto scoperto</b>

Tabella 13: Viadotto VI01, massima profondità di escavazione

### 6.3.5 Escavazioni localizzate viadotto VI04

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P02	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P03	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P04	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P05	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P06	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P07	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P08	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P09	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P10	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P11	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P12	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P13	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P14	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P15	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P16	0.13	0.26	83	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	1.20	plinto non scoperto
P17	0.11	0.14	81	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.44	plinto non scoperto
P18	0.18	0.36	83	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	2.04	plinto scoperto
P19	0.17	0.28	89	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	1.28	plinto non scoperto
P20	0.22	0.49	77	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	2.67	plinto scoperto
P21	0.14	0.11	72	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.36	plinto non scoperto
P22	0.18	0.10	77	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.33	plinto non scoperto
P23	0.28	0.08	85	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.26	plinto non scoperto
P24	0.13	0.10	85	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.30	plinto non scoperto
P25	0.11	0.21	83	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	1.02	plinto non scoperto
P26	0.15	0.17	85	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.55	plinto non scoperto
P27	0.06	0.19	64	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	1.21	plinto scoperto
P28	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P29	0.08	0.08	72	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.23	plinto non scoperto
P30	0.00	0.00	90	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P31	0.20	0.09	43	rett	3.30	10.20	rett	11.50	16.00	0.0265	0.28	plinto non scoperto

Tabella 14: Viadotto VI04, massima profondità di escavazione

### 6.3.6 Escavazioni localizzate viadotto NV07

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	0.08	0.17	45	rett	2.00	5.00	quad	9.60	9.60	0.0265	0.37	plinto non scoperto
P02	0.11	0.56	9	rett	2.00	5.00	quad	9.60	9.60	0.0265	0.88	plinto non scoperto
P03	0.17	0.63	9	rett	2.00	5.00	quad	9.60	9.60	0.0265	1.01	plinto non scoperto
P04	0.00	0.00	20	rett	2.00	5.00	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo

Tabella 15: Viadotto NV07, massima profondità di escavazione



### 6.3.7 Escavazioni localizzate viadotto VI05

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	1.14	0.71	8	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	1.70	plinto non scoperto
P02	0.50	0.56	7	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	1.27	plinto non scoperto
P03	0.00	0.00	78	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P04	0.00	0.00	77	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P05	0.00	0.00	77	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P06	0.86	0.09	50	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.21	plinto non scoperto
P07	0.66	0.10	32	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.24	plinto non scoperto
P08	0.00	0.00	77	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P09	0.00	0.00	77	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P10	0.00	0.00	77	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P11	0.13	0.56	46	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	1.24	plinto non scoperto
P12	0.14	0.43	61	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	1.01	plinto non scoperto

Tabella 16: Viadotto VI05, massima profondità di escavazione

### 6.3.8 Escavazioni localizzate viadotto VI06

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	0.49	0.90	25	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	1.96	plinto non scoperto
P02	0.00	0.00	74	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P03	0.00	0.00	74	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P04	0.00	0.00	74	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P05	0.00	0.00	74	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P06	0.00	0.00	74	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P07	0.09	0.33	24	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.78	plinto non scoperto
P08	0.00	0.00	74	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P09	0.10	0.40	16	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.85	plinto non scoperto
P10	0.08	0.56	1	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.94	plinto non scoperto
P11	1.29	0.71	8	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	1.73	plinto non scoperto
P12	0.00	0.00	82	circ	3.50	3.50	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo

Tabella 17: Viadotto VI06, massima profondità di escavazione

### 6.3.9 Escavazioni localizzate viadotto VI08

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	1.65	1.82	3	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	6.00	plinto scoperto
P02	1.42	1.76	5	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.97	plinto scoperto
P03	1.09	2.17	5	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	6.70	plinto scoperto
P04	0.95	2.14	9	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	6.76	plinto scoperto
P05	1.30	1.52	18	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	6.02	plinto scoperto
P06	1.29	1.37	22	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.75	plinto scoperto
P07	1.90	0.81	26	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	4.30	plinto scoperto
P08	0.15	0.59	12	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	1.16	plinto non scoperto
P09	0.93	0.32	33	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	1.10	plinto non scoperto
P10	0.45	1.93	37	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	6.73	plinto scoperto
P11	1.60	0.27	20	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	1.00	plinto non scoperto
P12	1.42	1.20	39	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.68	plinto scoperto
P13	1.11	1.65	7	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.75	plinto scoperto
P14	1.35	1.52	8	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.56	plinto scoperto
P15	1.42	1.48	8	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.48	plinto scoperto
P16	1.97	1.44	8	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.57	plinto scoperto
P17	2.21	1.56	2	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.60	plinto scoperto
P18	2.51	1.83	2	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	6.23	plinto scoperto
P19	2.58	1.93	11	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	7.18	plinto scoperto
P20	2.32	1.69	4	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.99	plinto scoperto
P21	1.98	2.12	23	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	8.13	plinto scoperto
P22	2.27	2.48	26	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	9.37	plinto scoperto
P23	2.95	2.63	34	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	9.90	plinto scoperto
P24	2.71	1.93	42	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	4.37	plinto non scoperto
P25	0.00	0.00	73	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo

Tabella 18: Viadotto VI08, massima profondità di escavazione

### 6.3.10 Escavazioni localizzate viadotto NV53a

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	0.00	0.00	62	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P02	0.66	0.53	44	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	2.71	plinto scoperto
P03	1.00	2.11	21	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	6.68	plinto scoperto
P04	0.93	1.54	2	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	4.60	plinto scoperto
P05	1.23	0.89	25	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	3.96	plinto scoperto
P06	0.86	1.17	42	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	4.80	plinto scoperto
P07	0.85	0.02	14	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	0.04	plinto non scoperto

Tabella 19: Viadotto NV53a, massima profondità di escavazione

### 6.3.11 Escavazioni localizzate viadotto VI10

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	2.30	0.62	24	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	3.63	plinto scoperto
P02	2.79	1.24	12	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.43	plinto scoperto
P03	2.75	1.67	12	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	6.63	plinto scoperto
P04	3.14	2.24	18	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	8.07	plinto scoperto
P05	3.28	2.07	24	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	8.12	plinto scoperto
P06	3.49	3.16	17	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	10.88	plinto scoperto
P07	2.63	3.32	4	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	9.68	plinto scoperto
P08	2.47	3.05	2	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	8.88	plinto scoperto
P09	2.43	2.65	7	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	8.51	plinto scoperto
P10	2.36	2.30	11	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	8.01	plinto scoperto
P11	2.39	2.04	15	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	7.72	plinto scoperto
P12	2.36	1.92	14	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	7.32	plinto scoperto
P13	2.59	1.81	18	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	7.38	plinto scoperto
P14	2.58	1.83	22	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	7.63	plinto scoperto
P15	2.26	1.74	32	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	7.64	plinto scoperto
P16	2.34	1.75	31	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	7.63	plinto scoperto
P17	2.01	1.49	41	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	6.91	plinto scoperto
P18	1.44	1.24	51	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.86	plinto scoperto

Tabella 20: Viadotto VI10, massima profondità di escavazione

### 6.3.12 Escavazioni localizzate viadotto VI11

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	0.00	0.00	31	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P02	0.00	0.00	29	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P03	0.39	0.06	52	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.12	plinto non scoperto
P04	0.54	0.18	36	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.44	plinto non scoperto
P05	0.57	0.37	15	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	1.03	plinto non scoperto
P06	0.51	0.57	18	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	2.77	plinto scoperto
P07	0.70	0.41	39	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	1.25	plinto non scoperto
P08	0.88	0.42	27	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	2.52	plinto scoperto
P09	1.08	0.65	15	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	3.24	plinto scoperto
P10	1.17	0.90	20	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	4.23	plinto scoperto
P11	1.17	1.07	14	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	4.49	plinto scoperto
P12	1.38	1.19	14	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	4.97	plinto scoperto
P13	2.07	2.03	8	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	3.77	plinto non scoperto
P14	2.24	2.92	31	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	10.16	plinto scoperto
P15	1.36	1.75	30	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	7.10	plinto scoperto
P16	1.45	1.77	35	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	7.34	plinto scoperto
P17	1.63	1.66	45	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	7.30	plinto scoperto
P18	1.88	1.60	41	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	7.19	plinto scoperto
P19	1.77	1.54	30	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	6.76	plinto scoperto
P20	1.77	1.52	32	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	6.67	plinto scoperto
P21	1.41	1.70	22	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	6.71	plinto scoperto
P22	0.69	2.28	17	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	7.30	plinto scoperto
P23	0.93	1.55	18	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.89	plinto scoperto
P24	1.17	1.51	14	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.74	plinto scoperto
P25	0.57	1.12	38	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	4.83	plinto scoperto
P26	0.45	0.96	28	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	4.07	plinto scoperto
P27	0.79	1.01	0	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	3.59	plinto scoperto
P28	1.04	0.89	6	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	3.64	plinto scoperto
P29	0.70	1.01	5	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	3.73	plinto scoperto
P30	1.05	0.72	4	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	3.14	plinto scoperto
P31	0.30	1.02	20	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	3.85	plinto scoperto

Tabella 21: Viadotto VI11, massima profondità di escavazione



### 6.3.13 Escavazioni localizzate viadotto VI12

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	0.00	0.00	81	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P02	0.00	0.00	81	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P03	0.00	0.00	82	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P04	0.00	0.00	82	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P05	0.00	0.00	83	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P06	0.00	0.00	83	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P07	0.00	0.00	84	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P08	0.00	0.00	84	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P09	0.00	0.00	85	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P10	0.00	0.00	85	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P11	0.00	0.00	86	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P12	0.00	0.00	86	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P13	0.00	0.00	87	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P14	0.00	0.00	87	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P15	1.74	0.21	46	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.62	plinto non scoperto
P16	1.79	0.90	21	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	4.43	plinto scoperto
P17	1.83	1.64	9	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.99	plinto scoperto
P18	0.87	1.59	25	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.95	plinto scoperto
P19	0.17	1.09	13	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	1.82	plinto non scoperto
P20	0.49	0.95	48	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	4.24	plinto scoperto
P21	1.33	1.06	30	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.04	plinto scoperto
P22	1.99	0.96	35	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.04	plinto scoperto
P23	3.97	1.05	5	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	4.37	plinto scoperto
P24	3.49	2.55	5	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	8.15	plinto scoperto
P25	3.37	2.33	10	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	8.14	plinto scoperto
P26	0.69	0.45	32	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	1.32	plinto non scoperto
P27	0.19	0.08	36	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.16	plinto non scoperto
P28	0.00	0.00	83	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P29	0.20	0.29	8	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.72	plinto non scoperto
P30	0.08	0.03	27	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.04	plinto non scoperto
P31	0.00	0.00	81	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P32	0.00	0.00	80	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P33	0.14	0.01	49	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.02	plinto non scoperto
P34	0.00	0.00	79	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P35	0.00	0.00	78	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P36	0.00	0.00	78	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P37	0.00	0.00	77	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P38	0.00	0.00	77	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo

Tabella 22: Viadotto VI12, massima profondità di escavazione

### 6.3.14 Escavazioni localizzate viadotto VI15

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	0.00	0.00	13	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P02	1.04	1.01	13	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	2.53	plinto non scoperto
P03	1.44	1.29	19	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	3.23	plinto non scoperto
P04	3.02	1.61	10	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	6.24	plinto scoperto
P05	2.00	1.94	53	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	8.18	plinto scoperto
P06	1.73	1.51	53	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	6.89	plinto scoperto
P07	0.98	1.52	53	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	6.40	plinto scoperto
P08	0.00	0.00	24	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P09	0.44	0.49	18	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	2.46	plinto scoperto
P10	0.00	0.00	12	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P11	0.00	0.00	12	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P12	0.00	0.00	12	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P13	0.00	0.00	12	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P14	0.00	0.00	12	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P15	0.00	0.00	12	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo

Tabella 23: Viadotto VI15, massima profondità di escavazione

### 6.3.15 Escavazioni localizzate viadotto NV62a

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	0.25	0.18	44	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	0.36	plinto non scoperto
P02	1.97	2.54	23	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	8.37	plinto scoperto

Tabella 24: Viadotto NV62a, massima profondità di escavazione

### 6.3.16 Escavazioni localizzate viadotto NV62c

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corrente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	2.93	1.27	20	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	5.35	plinto scoperto
P02	3.65	1.32	3	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	4.66	plinto scoperto
P03	3.72	1.71	29	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	7.10	plinto scoperto
P04	0.00	0.00	12	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P05	0.00	0.00	31	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo
P06	0.00	0.00	51	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0265	0.00	no scavo

Tabella 25: Viadotto NV62c, massima profondità di escavazione

### 6.3.17 Escavazioni localizzate viadotto VI17

Pila	Tirante idraulico [m]	Velocità [m/s]	Incidenza pila-corente [°]	Forma pila	Base pila [m]	Lunghezza pila [m]	Forma plinto	Base plinto [m]	Lunghezza plinto [m]	d50 [mm]	Scavo [m]	Tipo di scavo
P01	0.61	0.92	12	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	1.92	plinto non scoperto
P02	0.65	0.65	31	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	1.67	plinto non scoperto
P03	1.78	1.54	33	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	6.68	plinto scoperto
P04	0.24	0.07	48	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	0.13	plinto non scoperto
P05	0.00	0.00	5	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P06	0.00	0.00	6	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P07	0.00	0.00	7	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P08	0.00	0.00	9	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P09	0.62	0.27	18	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	0.87	plinto non scoperto
P10	0.00	0.00	12	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P11	0.00	0.00	13	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P12	0.08	0.37	6	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	0.73	plinto non scoperto
P13	1.69	1.15	24	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	5.33	plinto scoperto
P14	2.70	1.68	15	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	6.80	plinto scoperto
P15	2.41	1.94	16	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	7.49	plinto scoperto
P16	2.28	1.63	22	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	6.91	plinto scoperto
P17	2.16	1.60	13	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	6.36	plinto scoperto
P18	0.96	3.61	14	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	10.21	plinto scoperto
P19	3.18	1.29	14	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	5.76	plinto scoperto
P20	3.16	1.61	25	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	7.27	plinto scoperto
P21	3.59	1.39	26	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	6.69	plinto scoperto
P22	4.11	1.25	31	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	6.42	plinto scoperto
P23	3.66	1.35	25	CIRC	4.50	4.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	6.57	plinto scoperto
P24	3.03	1.24	24	CIRC	4.50	4.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	5.91	plinto scoperto
P25	1.67	1.38	7	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	5.24	plinto scoperto
P26	1.15	2.05	12	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	6.87	plinto scoperto
P27	1.40	1.94	10	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	6.76	plinto scoperto
P28	2.11	1.38	3	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	5.21	plinto scoperto
P29	2.12	0.88	9	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	4.11	plinto scoperto
P30	2.46	0.90	39	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	4.98	plinto scoperto
P31	1.78	1.09	12	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	4.74	plinto scoperto
P32	0.79	2.17	4	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	6.38	plinto scoperto
P33	1.09	1.91	54	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	7.61	plinto scoperto
P34	2.49	1.51	50	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	7.22	plinto scoperto
P35	1.06	0.73	34	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	3.85	plinto scoperto
P36	0.23	0.55	53	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	1.31	plinto non scoperto
P37	0.00	0.00	85	CIRC	3.50	3.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P38	0.08	0.40	7	CIRC	4.50	4.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	0.90	plinto non scoperto
P39	0.95	1.60	25	CIRC	4.50	4.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	6.20	plinto scoperto
P40	1.34	1.61	5	CIRC	4.50	4.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	3.34	plinto non scoperto
P41	2.70	3.74	25	CIRC	4.50	4.50	QUAD	11.50	11.50	0.0265	12.33	plinto scoperto

Tabella 26: Viadotto VI17, massima profondità di escavazione

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

#### 6.4 Protezione delle pile dallo scalzamento

Il calcolo delle escavazioni localizzate attorno alle pile ha evidenziato la vulnerabilità delle opere di attraversamento ai fenomeni di scalzamento. Si provvede perciò al dimensionamento degli elementi di protezione delle pile, calcolate per le piene di progetto (TR 300 anni). Per le verifiche si terrà conto delle caratteristiche della corrente incidente.

La tipologia di protezioni adottate è quella in massi.

Secondo l' "Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»" del 17 gennaio 2018, al fine di valutare la stabilità dei ponti in progetto, devono essere effettuate le verifiche strutturali applicando quella combinazione di carichi che tiene in considerazione le azioni variabili assieme a quelle idrodinamiche. Per tale la normativa, la configurazione geometrica di riferimento da adottare per queste verifiche, deve comprendere le escavazioni localizzate causate da eventi di piena che si osservano "mediamente ogni anno". A tale scopo viene fatta una precisazione numerica, il tempo di ritorno da assumere per la stima delle portate di calcolo è pari a 1.001 anni.

In questa sede, le opere di protezione dello scalzamento vengono dimensionate per eventi di piena non ordinari, ma di carattere eccezionale, con tempo di ritorno pari a 300 anni. Il calcolo dei massi di protezione tiene conto delle azioni idrodinamiche destabilizzanti che agiscono sul singolo elemento litoide. Generalmente tali spinte sono crescenti con l'intensità della corrente incidente, mentre le forze stabilizzanti, come il peso, non variano al mutare della portata di riferimento.

Per tali motivi si ipotizza che le opere di protezione così dimensionate, non subiscano danneggiamenti in occasione delle piene frequenti, che si distinguono per tempi di ritorno bassi, dell'ordine dei 1-2-5 anni.

**Generalmente, la presenza dei rivestimenti del fondo alveo esclude l'innescarsi di erosioni localizzate attorno alle pile dei ponti, almeno per eventi di piena inferiori a quelli di progetto.**

Saranno sicuramente da raccomandare ispezioni periodiche dei manufatti di protezione e in particolar modo, a seguito di eventi di piena, con il fine di verificare l'integrità dei rivestimenti in massi, manufatti indispensabili per impedire l'innescarsi di scavi localizzati al passaggio di una piena successiva.

Al fine di validare le assunzioni fatte, le opere di protezione dei viadotti sono state comunque verificate per piene con basso tempo di ritorno, pari a 5 anni. Come si vedrà nei prossimi paragrafi, i coefficienti di sicurezza calcolati per le piene TR 5 anni risultano mediamente ben superiori a quelli calcolati per la piena di progetto (TR 300 anni).



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

#### 6.4.1 Verifiche di stabilità massi a protezione delle pile

Il dimensionamento delle protezioni attorno alle pile è stato effettuato valutando la condizione di incipiente di moto dei massi posti a protezione delle pile. Nello specifico è stata confrontata la velocità critica degli elementi di protezione con la velocità della corrente in approccio alla singola pila.

La valutazione della velocità critica di incipiente movimento è stata effettuata seguendo due modi.

Il primo proposto all'interno della monografia "Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance-Third Edition", VOL.2, Hydraulic Engineering Circular No.23 (HEC23), pubblicato dal US Department of Transportation, Federal Highway Administration.

Il secondo è basato sul criterio di stabilità di Shields.

Secondo le linee guida HEC23 il diametro mediano dei massi di protezione  $D_{50}$  viene definito secondo l'equazione:

$$D_{50} = \frac{0.692V_{des}^2}{(s-1)2g}$$

dove  $V_{des}$  è la velocità della corrente in approccio alla pila,  $s$  è il rapporto tra la densità dei sedimenti e quella dell'acqua e  $g$  è l'accelerazione di gravità. Alla velocità critica, quando  $V_c = V_{des}$ , e assunto  $s = 2.65$ , la precedente relazione può essere così riscritta:

$$V_{c,1} = 6.84\sqrt{D_{50}}$$

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

$$V_{c,2} = K_s y^{1/6} \sqrt{\theta(s-1)} \sqrt{D_{50}}$$

Dove  $K_s$  è il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler del fondo alveo,  $y$  è il tirante della corrente in approccio alla pila e  $\theta$  è il coefficiente adimensionale di Shields, posto pari a 0.06.

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

$$V_c = \min\{V_{c,1}; V_{c,2}\}$$

Stimata la velocità critica dei massi di protezione, funzione del diametro  $D_{50}$  e delle caratteristiche del flusso, si ritiene la protezione verificata se  $F_v = V/V_c \geq 2$  ( $F_v$  fattore di sicurezza,  $V$  velocità della corrente in arrivo alla pila).

Il fattore di sicurezza tiene conto delle varie incertezze sia sulla stima della  $V_c$  che sulla definizione dell'effettiva corrente in arrivo.

Secondo le linee guida HEC23, il terreno attorno ad ogni pila soggetta ad escavazione deve essere "armato" con massi che occupano un rettangolo di lato almeno pari a 5-6 volte il diametro della pila. Lo spessore minimo raccomandato per le protezioni è pari a tre volte  $D_{50}$ . È bene prevedere uno strato filtrante al di sotto dei massi di protezione. Per completezza si riporta in Figura 73 uno schema estratto dalla monografia HEC23.

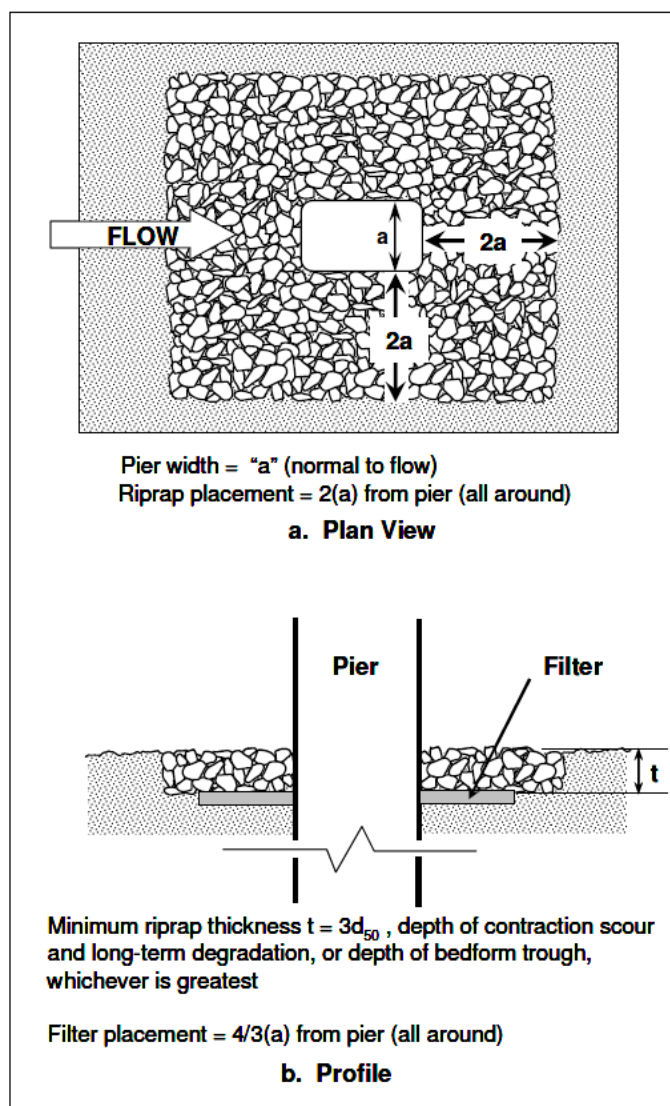


Figura 73: Disposizione raccomandata dei massi di protezione attorno alle pile, fonte HEC23.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

In genere, sono stati adottati massi sciolti fino ad un diametro medio pari a 0.70 – 0.80 m; per diametri superiori, è stata prevista anche la legatura.

Nei prossimi paragrafi vengono esposti in forma tabellare i risultati del calcolo di dimensionamento dei massi, così come la tipologia di protezione adottata. Il dimensionamento dei massi fa riferimento alle portate TR 300 anni. Per ogni viadotto, sono anche riportate le verifiche di stabilità delle protezioni, applicando tiranti e velocità calcolati per le piene TR 5 anni. Le verifiche dei massi sono state effettuate per quelle pile lambite dalle portate di riferimento.

#### 6.4.2 Protezione pile viadotto VI01

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	Forma pila	Larghezza a pila [m]	Scavo localizzato (senza protezioni) [m]	Tipo di scavo (senza protezioni)	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	1.72	<b>1.51</b>	circ	4.5	7.90	plinto scoperto	0.30	3.75	3.21	2.13	massi sciolti
P02	4.00	<b>0.67</b>	circ	4.5	5.00	plinto scoperto	0.30	3.75	3.69	5.55	massi sciolti
P03	1.24	<b>1.60</b>	circ	4.5	7.83	plinto scoperto	0.50	4.84	3.92	2.44	massi sciolti
P04	0.87	<b>1.50</b>	circ	4.5	6.98	plinto scoperto	0.50	4.84	3.70	2.46	massi sciolti
P05	0.82	<b>1.53</b>	circ	4.5	6.80	plinto scoperto	0.30	3.75	3.17	2.07	massi sciolti
P06	0.91	<b>1.56</b>	circ	4.5	6.94	plinto scoperto	0.30	3.75	3.22	2.07	massi sciolti
P07	0.84	<b>2.60</b>	circ	4.5	10.30	plinto scoperto	0.75	5.92	5.19	2.00	massi legati
P08	1.20	<b>1.36</b>	circ	4.5	6.81	plinto scoperto	0.30	3.75	3.02	2.23	massi sciolti
P09	1.64	<b>1.02</b>	circ	4.5	5.70	plinto scoperto	0.30	3.75	3.18	3.13	massi sciolti
P10	1.81	<b>0.78</b>	circ	4.5	5.08	plinto scoperto	0.30	3.75	3.24	4.15	massi sciolti
P11	1.75	<b>0.75</b>	circ	4.5	4.89	plinto scoperto	0.30	3.75	3.22	4.31	massi sciolti
P12	1.86	<b>0.65</b>	circ	4.5	4.52	plinto scoperto	0.30	3.75	3.25	5.00	massi sciolti
P13	1.80	<b>0.62</b>	circ	4.5	4.25	plinto scoperto	0.30	3.75	3.23	5.19	massi sciolti
P14	1.49	<b>0.41</b>	circ	4.5	1.50	plinto non scoperto	0.30	3.75	3.13	7.60	massi sciolti
P15	0.52	<b>1.02</b>	circ	4.5	4.94	plinto scoperto	0.30	3.75	2.63	2.57	massi sciolti
P16	0.76	<b>0.67</b>	circ	4.5	1.92	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.80	4.19	massi sciolti
P17	0.65	<b>0.61</b>	circ	4.5	3.69	plinto scoperto	0.30	3.75	2.73	4.50	massi sciolti
P18	0.50	<b>0.76</b>	circ	4.5	1.94	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.61	3.45	massi sciolti
P19	0.48	<b>0.87</b>	circ	4.5	4.59	plinto scoperto	0.30	3.75	2.59	2.97	massi sciolti

Tabella 27: Viadotto VI01, calcolo delle protezioni – TR 300 anni

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	1.11	0.72	0.30	3.75	2.98	4.17	massi sciolti
P02	0.62	0.75	0.30	3.75	2.71	3.60	massi sciolti
P03	0.52	0.57	0.50	4.84	3.39	5.98	massi sciolti
P04	0.13	0.55	0.50	4.84	2.68	4.89	massi sciolti
P05	0.22	0.54	0.30	3.75	2.55	4.73	massi sciolti
P06	0.20	0.73	0.30	3.75	2.50	3.44	massi sciolti
P07	0.24	1.12	0.75	5.92	4.22	3.76	massi legati
P08	0.43	0.53	0.30	3.75	2.55	4.85	massi sciolti
P09	0.90	0.49	0.30	3.75	2.88	5.82	massi sciolti
P10	0.93	0.40	0.30	3.75	2.89	7.23	massi sciolti
P11	0.86	0.41	0.30	3.75	2.85	6.98	massi sciolti
P12	0.98	0.31	0.30	3.75	2.92	9.32	massi sciolti
P13	0.89	0.30	0.30	3.75	2.87	9.65	massi sciolti
P14	0.50	0.12	0.30	3.75	2.61	21.40	massi sciolti

Tabella 28: Viadotto VI01, verifica protezioni – TR 5 anni

#### 6.4.3 Protezione pile viadotto VI04

Poiché le pile del viadotto VI04 sono lambite da una corrente a bassa velocità e con tiranti piuttosto limitati, si è preferito adottare delle protezioni a materassi “tipo Reno”, dello spessore di 30 cm.

#### 6.4.4 Protezione pile viadotto NV07

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	Forma pila	Larghezza pila [m]	Scavo localizzato (senza protezioni) [m]	Tipo di scavo (senza protezioni)	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	0.077	0.171	rett	2	0.37	plinto non scoperto	0.30	3.75	1.91	11.17	massi sciolti
P02	0.113	0.558	rett	2	0.88	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.04	3.65	massi sciolti
P03	0.17	0.628	rett	2	1.01	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.31	3.68	massi sciolti
P04	0	0	rett	2	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	massi sciolti

Tabella 29: Viadotto NV07, calcolo delle protezioni – TR 300 anni

Le pile del viadotto NV07 non vengono lambite per l'evento di piena TR 5 anni.



#### 6.4.5 Protezione pile viadotto VI05

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	Forma pila	Larghezza a pila [m]	Scavo localizzato (senza protezioni) [m]	Tipo di scavo (senza protezioni)	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	1.14	<b>0.71</b>	circ	3.5	1.70	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.99	4.21	massi sciolti
P02	0.50	<b>0.56</b>	circ	3.5	1.27	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.61	4.70	massi sciolti
P03	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P04	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P05	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P06	0.86	<b>0.09</b>	circ	3.5	0.21	plinto non scoperto	0.30	3.75	3.20	37.60	massi sciolti
P07	0.66	<b>0.10</b>	circ	3.5	0.24	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.74	27.35	massi sciolti
P08	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P09	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P10	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P11	0.13	<b>0.56</b>	circ	3.5	1.24	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.09	3.71	massi sciolti
P12	0.14	<b>0.43</b>	circ	3.5	1.01	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.11	4.90	massi sciolti

Tabella 30: Viadotto VI05, calcolo delle protezioni – TR 300 anni

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	0.17	<b>0.27</b>	0.30	3.75	2.18	8.08	massi sciolti

Tabella 31: Viadotto VI05, verifica protezioni – TR 5 anni

#### 6.4.6 Protezione pile viadotto VI06

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	Forma pila	Larghezza a pila [m]	Scavo localizzato (senza protezioni) [m]	Tipo di scavo (senza protezioni)	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	0.49	<b>0.90</b>	circ	3.5	1.96	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.60	2.89	massi sciolti
P02	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P03	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezioni
P04	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezioni
P05	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezioni
P06	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezioni
P07	0.09	<b>0.33</b>	circ	3.5	0.78	plinto non scoperto	0.30	3.75	1.96	6.00	massi sciolti
P08	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezioni
P09	0.10	<b>0.40</b>	circ	3.5	0.85	plinto non scoperto	0.30	3.75	1.98	5.01	massi sciolti
P10	0.08	<b>0.56</b>	circ	3.5	0.94	plinto non scoperto	0.30	3.75	1.93	3.46	massi sciolti
P11	1.29	<b>0.71</b>	circ	3.5	1.73	plinto non scoperto	0.30	3.75	3.06	4.29	massi sciolti
P12	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti

Tabella 32: Viadotto VI06, calcolo delle protezioni – TR 300 anni

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P11	0.10	<b>0.37</b>	0.30	3.75	2.00	5.39	massi sciolti

Tabella 33: Viadotto VI06, verifica protezioni – TR 5 anni

#### 6.4.7 Protezione pile viadotto VI08

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	Forma pila	Larghezza a pila [m]	Scavo localizzato (senza protezioni) [m]	Tipo di scavo (senza protezioni)	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	1.65	<b>1.82</b>	circ	3.5	6.00	plinto scoperto	0.50	4.84	4.11	2.3	massi sciolti
P02	1.42	<b>1.76</b>	circ	3.5	5.97	plinto scoperto	0.50	4.84	4.01	2.3	massi sciolti
P03	1.09	<b>2.17</b>	circ	3.5	6.70	plinto scoperto	0.75	5.92	4.70	2.2	massi legati
P04	0.95	<b>2.14</b>	circ	3.5	6.76	plinto scoperto	0.75	5.92	4.60	2.1	massi legati
P05	1.30	<b>1.52</b>	circ	3.5	6.02	plinto scoperto	0.50	4.84	3.95	2.6	massi sciolti
P06	1.29	<b>1.37</b>	circ	3.5	5.75	plinto scoperto	0.50	4.84	3.94	2.9	massi sciolti
P07	1.90	<b>0.81</b>	circ	3.5	4.30	plinto scoperto	0.50	4.84	4.21	5.2	massi sciolti
P08	0.15	<b>0.59</b>	circ	3.5	1.16	plinto non scoperto	0.50	4.84	2.75	4.7	massi sciolti
P09	0.93	<b>0.32</b>	circ	3.5	1.10	plinto non scoperto	0.50	4.84	3.74	11.6	massi sciolti
P10	0.45	<b>1.93</b>	circ	3.5	6.73	plinto scoperto	0.75	5.92	4.05	2.1	massi legati
P11	1.60	<b>0.27</b>	circ	3.5	1.00	plinto non scoperto	0.50	4.84	4.09	15.1	massi sciolti
P12	1.42	<b>1.20</b>	circ	3.5	5.68	plinto scoperto	0.50	4.84	4.01	3.3	massi sciolti
P13	1.11	<b>1.65</b>	circ	3.5	5.75	plinto scoperto	0.50	4.84	3.85	2.3	massi sciolti
P14	1.35	<b>1.52</b>	circ	3.5	5.56	plinto scoperto	0.50	4.84	3.98	2.6	massi sciolti
P15	1.42	<b>1.48</b>	circ	3.5	5.48	plinto scoperto	0.50	4.84	4.01	2.7	massi sciolti
P16	1.97	<b>1.44</b>	circ	3.5	5.57	plinto scoperto	0.50	4.84	4.23	3.0	massi sciolti
P17	2.21	<b>1.56</b>	circ	3.5	5.60	plinto scoperto	0.50	4.84	4.32	2.8	massi sciolti
P18	2.51	<b>1.83</b>	circ	3.5	6.23	plinto scoperto	0.50	4.84	4.41	2.4	massi sciolti
P19	2.58	<b>1.93</b>	circ	3.5	7.18	plinto scoperto	0.50	4.84	4.43	2.3	massi sciolti
P20	2.32	<b>1.69</b>	circ	3.5	5.99	plinto scoperto	0.50	4.84	4.35	2.6	massi sciolti
P21	1.98	<b>2.12</b>	circ	3.5	8.13	plinto scoperto	0.50	4.84	4.24	2.0	massi sciolti
P22	2.27	<b>2.48</b>	circ	3.5	9.37	plinto scoperto	0.75	5.92	5.31	2.1	massi legati
P23	2.95	<b>2.63</b>	circ	3.5	9.90	plinto scoperto	0.75	5.92	5.55	2.1	massi legati
P24	2.71	<b>1.93</b>	circ	3.5	4.37	plinto non scoperto	0.50	4.84	4.47	2.3	massi sciolti
P25	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.50	4.84	0.00	-	massi sciolti

Tabella 34: Viadotto VI08, calcolo delle protezioni – TR 300 anni

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	0.49	0.27	0.50	4.84	3.35	12.6	massi sciolti
P02	0.08	0.20	0.50	4.84	2.48	12.6	massi sciolti
P03			0.75	5.92	0.00	-	massi legati
P04			0.75	5.92	0.00	-	massi legati
P05			0.50	4.84	0.00	-	massi sciolti
P06			0.50	4.84	0.00	-	massi sciolti
P07	0.09	0.03	0.50	4.84	2.54	84.6	massi sciolti
P08			0.50	4.84	0.00	-	massi sciolti
P09			0.50	4.84	0.00	-	massi sciolti
P10			0.75	5.92	0.00	-	massi legati
P11	0.70	0.08	0.50	4.84	3.56	45.7	massi sciolti
P12	0.30	0.23	0.50	4.84	3.09	13.3	massi sciolti
P13			0.50	4.84	0.00	-	massi sciolti
P14	0.09	0.27	0.50	4.84	2.55	9.5	massi sciolti
P15	0.06	0.08	0.50	4.84	2.33	29.5	massi sciolti
P16	0.44	0.64	0.50	4.84	3.29	5.2	massi sciolti
P17	0.71	0.80	0.50	4.84	3.57	4.4	massi sciolti
P18	1.06	1.02	0.50	4.84	3.82	3.7	massi sciolti
P19	0.81	1.36	0.50	4.84	3.65	2.7	massi sciolti
P20	0.40	0.76	0.50	4.84	3.25	4.3	massi sciolti

Tabella 35: Viadotto VI08, verifica protezioni – TR 5 anni

#### 6.4.8 Protezione pile viadotto NV53a

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	Forma pila	Larghezza pila [m]	Scavo localizzato (senza protezioni) [m]	Tipo di scavo (senza protezioni)	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	0	0	circ	3.0	0.00	no scavo	0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P02	0.658	0.529	circ	3.0	2.71	plinto scoperto	0.30	3.75	2.73	5.17	massi sciolti
P03	1.001	2.107	circ	3.0	6.68	plinto scoperto	0.75	5.92	4.91	2.33	massi legati
P04	0.929	1.535	circ	3.0	4.60	plinto scoperto	0.30	3.75	3.06	2.00	massi sciolti
P05	1.226	0.889	circ	3.0	3.96	plinto scoperto	0.30	3.75	3.03	3.41	massi sciolti
P06	0.858	1.166	circ	3.0	4.80	plinto scoperto	0.30	3.75	2.86	2.45	massi sciolti
P07	0.853	0.023	circ	3.0	0.04	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.85	124.05	massi sciolti

Tabella 36: Viadotto NV53a, calcolo delle protezioni – TR 300 anni

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P03	0.44	1.16	0.75	5.92	4.27	3.67	massi legati
P04	0.36	1.01	0.30	3.75	2.61	2.58	massi sciolti
P05	0.53	0.45	0.30	3.75	2.63	5.89	massi sciolti

Tabella 37: Viadotto NV53a, verifica protezioni – TR 5 anni

## 6.4.9 Protezione pile viadotto VI10

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	Forma pila	Larghezza pila [m]	Scavo localizzato (senza protezioni) [m]	Tipo di scavo (senza protezioni)	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	2.30	<b>0.62</b>	circ	3.50	3.63	plinto scoperto	0.30	3.75	3.37	5.4	massi sciolti
P02	2.79	<b>1.24</b>	circ	3.50	5.43	plinto scoperto	0.30	3.75	3.48	2.8	massi sciolti
P03	2.75	<b>1.67</b>	circ	3.50	6.63	plinto scoperto	0.30	3.75	3.47	2.1	massi sciolti
P04	3.14	<b>2.24</b>	circ	3.50	8.07	plinto scoperto	0.50	4.84	4.58	2.0	massi sciolti
P05	3.28	<b>2.07</b>	circ	3.50	8.12	plinto scoperto	0.50	4.84	4.61	2.2	massi sciolti
P06	3.49	<b>3.16</b>	circ	3.50	10.88	plinto scoperto	1.00	6.84	6.59	2.1	massi legati
P07	2.63	<b>3.32</b>	circ	3.50	9.68	plinto scoperto	1.00	6.84	6.65	2.0	massi legati
P08	2.47	<b>3.05</b>	circ	3.50	8.88	plinto scoperto	1.00	6.84	6.22	2.0	massi legati
P09	2.43	<b>2.65</b>	circ	3.50	8.51	plinto scoperto	1.00	6.84	6.20	2.3	massi legati
P10	2.36	<b>2.30</b>	circ	3.50	8.01	plinto scoperto	0.50	4.84	4.62	2.0	massi sciolti
P11	2.39	<b>2.04</b>	circ	3.50	7.72	plinto scoperto	0.50	4.84	4.37	2.1	massi sciolti
P12	2.36	<b>1.92</b>	circ	3.50	7.32	plinto scoperto	0.50	4.84	4.36	2.3	massi sciolti
P13	2.59	<b>1.81</b>	circ	3.50	7.38	plinto scoperto	0.30	3.75	3.63	2.0	massi sciolti
P14	2.58	<b>1.83</b>	circ	3.50	7.63	plinto scoperto	0.30	3.75	3.63	2.0	massi sciolti
P15	2.26	<b>1.74</b>	circ	3.50	7.64	plinto scoperto	0.30	3.75	3.55	2.0	massi sciolti
P16	2.34	<b>1.75</b>	circ	3.50	7.63	plinto scoperto	0.30	3.75	3.57	2.0	massi sciolti
P17	2.01	<b>1.49</b>	circ	3.50	6.91	plinto scoperto	0.30	3.75	3.29	2.2	massi sciolti
P18	1.44	<b>1.24</b>	circ	3.50	5.86	plinto scoperto	0.30	3.75	3.11	2.5	massi sciolti

Tabella 38: Viadotto VI10, calcolo delle protezioni – TR 300 anni

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P02	0.16	<b>0.03</b>	0.30	3.75	2.17	72.2	massi sciolti
P03	0.26	<b>0.06</b>	0.30	3.75	2.34	40.3	massi sciolti
P04	0.91	<b>0.24</b>	0.50	4.84	3.72	15.7	massi sciolti
P05	0.70	<b>0.26</b>	0.50	4.84	3.56	13.7	massi sciolti
P06	1.33	<b>1.35</b>	1.00	6.84	5.61	4.2	massi legati
P07	0.59	<b>0.86</b>	1.00	6.84	5.19	6.1	massi legati
P08	0.52	<b>0.73</b>	1.00	6.84	4.79	6.5	massi legati
P09	0.45	<b>0.49</b>	1.00	6.84	4.69	9.6	massi legati
P10	0.39	<b>0.44</b>	0.50	4.84	3.42	7.7	massi sciolti
P11	0.49	<b>0.42</b>	0.50	4.84	3.36	8.0	massi sciolti
P12	0.47	<b>0.52</b>	0.50	4.84	3.33	6.5	massi sciolti
P13	0.64	<b>0.55</b>	0.30	3.75	2.88	5.3	massi sciolti
P14	0.70	<b>0.61</b>	0.30	3.75	2.92	4.8	massi sciolti
P15	0.39	<b>0.32</b>	0.30	3.75	2.65	8.3	massi sciolti
P16	0.52	<b>0.41</b>	0.30	3.75	2.78	6.7	massi sciolti
P17	0.12	<b>0.25</b>	0.30	3.75	2.06	8.3	massi sciolti
P18			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti

Tabella 39: Viadotto VI10, verifica protezioni – TR 5 anni



### 6.4.10 Protezione pile viadotto VI11

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	Forma pila	Larghezza a pila [m]	Scavo localizzato (senza protezioni) [m]	Tipo di scavo (senza protezioni)	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P02	0.00	<b>0.00</b>	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P03	0.39	<b>0.06</b>	circ	3.5	0.12	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.51	42.5	massi sciolti
P04	0.54	<b>0.18</b>	circ	3.5	0.44	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.64	14.4	massi sciolti
P05	0.57	<b>0.37</b>	circ	3.5	1.03	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.67	7.3	massi sciolti
P06	0.51	<b>0.57</b>	circ	3.5	2.77	plinto scoperto	0.30	3.75	2.62	4.6	massi sciolti
P07	0.70	<b>0.41</b>	circ	3.5	1.25	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.76	6.8	massi sciolti
P08	0.88	<b>0.42</b>	circ	3.5	2.52	plinto scoperto	0.30	3.75	2.87	6.8	massi sciolti
P09	1.08	<b>0.65</b>	circ	3.5	3.24	plinto scoperto	0.30	3.75	2.97	4.6	massi sciolti
P10	1.17	<b>0.90</b>	circ	3.5	4.23	plinto scoperto	0.30	3.75	3.01	3.3	massi sciolti
P11	1.17	<b>1.07</b>	circ	3.5	4.49	plinto scoperto	0.30	3.75	3.01	2.8	massi sciolti
P12	1.38	<b>1.19</b>	circ	3.5	4.97	plinto scoperto	0.30	3.75	3.09	2.6	massi sciolti
P13	2.07	<b>2.03</b>	circ	3.5	3.77	plinto non scoperto	0.75	5.92	5.23	2.6	massi sciolti
P14	2.24	<b>2.92</b>	circ	3.5	10.16	plinto scoperto	0.75	5.92	5.92	2.0	massi sciolti
P15	1.36	<b>1.75</b>	circ	3.5	7.10	plinto scoperto	0.75	5.92	4.87	2.8	massi legati
P16	1.45	<b>1.77</b>	circ	3.5	7.34	plinto scoperto	0.75	5.92	4.93	2.8	massi legati
P17	1.63	<b>1.66</b>	circ	3.5	7.30	plinto scoperto	0.30	3.75	3.37	2.0	massi sciolti
P18	1.88	<b>1.60</b>	circ	3.5	7.19	plinto scoperto	0.30	3.75	3.25	2.0	massi sciolti
P19	1.77	<b>1.54</b>	circ	3.5	6.76	plinto scoperto	0.30	3.75	3.22	2.1	massi sciolti
P20	1.77	<b>1.52</b>	circ	3.5	6.67	plinto scoperto	0.30	3.75	3.22	2.1	massi sciolti
P21	1.41	<b>1.70</b>	circ	3.5	6.71	plinto scoperto	0.75	5.92	4.91	2.9	massi legati
P22	0.69	<b>2.28</b>	circ	3.5	7.30	plinto scoperto	0.75	5.92	4.61	2.0	massi legati
P23	0.93	<b>1.55</b>	circ	3.5	5.89	plinto scoperto	0.75	5.92	4.57	2.9	massi legati
P24	1.17	<b>1.51</b>	circ	3.5	5.74	plinto scoperto	0.30	3.75	3.01	2.0	massi sciolti
P25	0.57	<b>1.12</b>	circ	3.5	4.83	plinto scoperto	0.30	3.75	2.67	2.4	massi sciolti
P26	0.45	<b>0.96</b>	circ	3.5	4.07	plinto scoperto	0.30	3.75	2.56	2.7	massi sciolti
P27	0.79	<b>1.01</b>	circ	3.5	3.59	plinto scoperto	0.30	3.75	2.82	2.8	massi sciolti
P28	1.04	<b>0.89</b>	circ	3.5	3.64	plinto scoperto	0.30	3.75	2.95	3.3	massi sciolti
P29	0.70	<b>1.01</b>	circ	3.5	3.73	plinto scoperto	0.30	3.75	2.76	2.7	massi sciolti
P30	1.05	<b>0.72</b>	circ	3.5	3.14	plinto scoperto	0.30	3.75	2.95	4.1	massi sciolti
P31	0.30	<b>1.02</b>	circ	3.5	3.85	plinto scoperto	0.30	3.75	2.39	2.3	massi sciolti

Tabella 40: Viadotto VI11, calcolo delle protezioni – TR 300 anni

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P13	0.68	1.35	0.75	5.92	4.35	3.2	massi sciolti
P14	0.66	0.75	0.75	5.92	4.83	6.4	massi sciolti
P15			0.75	5.92	0.00	-	massi legati
P16			0.75	5.92	0.00	-	massi legati
P17	0.06	0.03	0.30	3.75	1.92	61.9	massi sciolti
P18	0.29	0.15	0.30	3.75	2.38	16.4	massi sciolti
P19	0.41	0.21	0.30	3.75	2.52	11.9	massi sciolti
P20	0.46	0.14	0.30	3.75	2.58	18.4	massi sciolti
P21	0.22	0.14	0.75	5.92	3.59	25.8	massi legati
P22			0.75	5.92	0.00	-	massi legati
P23			0.75	5.92	0.00	-	massi legati
P24	0.14	0.02	0.30	3.75	2.11	131.9	massi sciolti
P25	0.11	0.01	0.30	3.75	2.02	202.2	massi sciolti
P26			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P27			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P28			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P29			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P30			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P31	0.13	0.59	0.30	3.75	2.09	3.5	massi sciolti

Tabella 41: Viadotto VI11, verifica protezioni – TR 5 anni

### 6.4.11 Protezione pile viadotto VI12

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	Forma pila	Larghezza pila [m]	Scavo localizzato (senza protezioni) [m]	Tipo di scavo (senza protezioni)	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P02	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P03	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P04	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P05	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P06	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P07	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P08	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P09	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P10	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P11	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P12	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P13	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P14	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P15	1.744	0.21	circ	3.5	0.62	plinto non scoperto	0.30	3.75	3.21	15.3	massi sciolti
P16	1.794	0.9	circ	3.5	4.43	plinto scoperto	0.30	3.75	3.23	3.6	massi sciolti
P17	1.83	1.642	circ	3.5	5.99	plinto scoperto	0.50	4.84	4.18	2.5	massi sciolti
P18	0.869	1.591	circ	3.5	5.95	plinto scoperto	0.50	4.84	3.69	2.3	massi sciolti
P19	0.174	1.089	circ	3.5	1.82	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.19	2.0	massi sciolti
P20	0.49	0.949	circ	3.5	4.24	plinto scoperto	0.30	3.75	2.60	2.7	massi sciolti
P21	1.331	1.062	circ	3.5	5.04	plinto scoperto	0.30	3.75	3.07	2.9	massi sciolti
P22	1.99	0.962	circ	3.5	5.04	plinto scoperto	0.30	3.75	3.29	3.4	massi sciolti
P23	3.974	1.05	circ	3.5	4.37	plinto scoperto	0.30	3.75	4.77	3.6	massi sciolti
P24	3.485	2.554	circ	3.5	8.15	plinto scoperto	0.75	5.92	7.38	2.3	massi legati
P25	3.367	2.331	circ	3.5	8.14	plinto scoperto	0.75	5.92	5.67	2.4	massi legati
P26	0.69	0.449	circ	3.5	1.32	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.75	6.1	massi sciolti
P27	0.188	0.082	circ	3.5	0.16	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.22	27.0	massi sciolti
P28	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	materassi "Reno"
P29	0.196	0.288	circ	3.5	0.72	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.23	7.8	massi sciolti
P30	0.083	0.025	circ	3.5	0.04	plinto non scoperto	0.30	3.75	1.93	77.4	massi sciolti
P31	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	materassi "Reno"
P32	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	materassi "Reno"
P33	0.136	0.013	circ	3.5	0.02	plinto non scoperto	0.00	0.00	0.00	-	materassi "Reno"
P34	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P35	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P36	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P37	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P38	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione

Tabella 42: Viadotto VI12, calcolo delle protezioni – TR 300 anni

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P15	0.69	0.28	0.30	3.75	2.75	9.7	massi sciolti
P16	0.73	0.36	0.30	3.75	2.78	7.7	massi sciolti
P17	0.74	0.70	0.50	4.84	3.60	5.1	massi sciolti
P18			0.50	4.84	0.00	-	massi sciolti
P19			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P20			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P21			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P22	0.06	0.32	0.30	3.75	1.82	5.7	massi sciolti
P23	1.20	0.61	0.30	3.75	3.91	6.1	massi sciolti
P24	0.85	1.68	0.75	5.92	5.83	3.5	massi legati
P25	0.65	0.48	0.75	5.92	4.31	8.9	massi legati

Tabella 43: Viadotto VI12, verifica protezioni – TR 5 anni

### 6.4.12 Protezione pile viadotto VI15

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	Forma pila	Larghezza pila [m]	Scavo localizzato (senza protezioni) [m]	Tipo di scavo (senza protezioni)	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P02	1.044	1.01	circ	4.5	2.53	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.95	2.9	massi sciolti
P03	1.444	1.287	circ	4.5	3.23	plinto non scoperto	0.30	3.75	3.11	2.4	massi sciolti
P04	3.02	1.612	circ	4.5	6.24	plinto scoperto	0.30	3.75	3.52	2.2	massi sciolti
P05	2.004	1.939	circ	4.5	8.18	plinto scoperto	0.50	4.84	4.25	2.2	massi sciolti
P06	1.73	1.514	circ	4.5	6.89	plinto scoperto	0.50	4.84	4.14	2.7	massi sciolti
P07	0.979	1.523	circ	4.5	6.40	plinto scoperto	0.50	4.84	3.77	2.5	massi sciolti
P08	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P09	0.444	0.49	circ	4.5	2.46	plinto scoperto	0.30	3.75	2.56	5.2	massi sciolti
P10	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P11	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P12	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P13	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P14	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P15	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione

Tabella 44: Viadotto VI15, calcolo delle protezioni – TR 300 anni

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P04	0.14	0.25	0.30	3.75	2.10	8.4	massi sciolti

Tabella 45: Viadotto VI15, verifica protezioni – TR 5 anni

### 6.4.13 Protezione pile viadotto NV62a

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	Forma pila	Larghezza pila [m]	Scavo localizzato (senza protezioni) [m]	Tipo di scavo (senza protezioni)	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	0.25	0.18	circ	3.00	0.36	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.32	13.25	massi sciolti
P02	1.97	2.54	circ	3.00	8.37	plinto scoperto	0.75	5.92	5.19	2.04	massi legati

Tabella 46: Viadotto NV62a, calcolo delle protezioni – TR 300 anni

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P02	0.28	0.72	0.75	5.92	3.74	5.18	massi legati

Tabella 47: Viadotto NV62a, verifica protezioni – TR 5 anni



#### 6.4.14 Protezione pile viadotto NV62c

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	Forma pila	Larghezza pila [m]	Scavo localizzato (senza protezioni) [m]	Tipo di scavo (senza protezioni)	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	2.93	1.27	circ	3.00	5.35	plinto scoperto	0.30	3.75	3.50	2.76	massi sciolti
P02	3.65	1.32	circ	3.00	4.66	plinto scoperto	0.30	3.75	3.85	2.85	massi sciolti
P03	3.72	1.71	circ	3.00	7.10	plinto scoperto	0.30	3.75	3.65	2.13	massi sciolti
P04	0.00	0.00	circ	3.00	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezioni
P05	0.00	0.00	circ	3.00	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezioni
P06	0.00	0.00	circ	3.00	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezioni

Tabella 48: Viadotto NV62c, calcolo delle protezioni – TR 300 anni

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	0.26	0.31	0.30	3.75	2.35	7.49	massi sciolti
P02	0.96	0.75	0.30	3.75	3.08	4.13	massi sciolti
P03	1.10	1.09	0.30	3.75	2.98	2.73	massi sciolti

Tabella 49: Viadotto NV62c, verifica protezioni – TR 5 anni

### 6.4.15 Protezione pile viadotto VI17

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	Forma pila	Larghezza a pila [m]	Lunghezza a pila [m]	Scavo localizzato (senza)	Tipo di scavo (senza protezioni)	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P01	0.61	<b>0.92</b>	CIRC	3.5	3.5	1.92	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.70	2.9	massi sciolti
P02	0.65	<b>0.65</b>	CIRC	3.5	3.5	1.67	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.73	4.2	massi sciolti
P03	1.78	<b>1.54</b>	CIRC	3.5	3.5	6.68	plinto scoperto	0.30	3.75	3.22	2.1	massi sciolti
P04	0.24	<b>0.07</b>	CIRC	3.5	3.5	0.13	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.30	34.4	massi sciolti
P05	0.00	<b>0.00</b>	CIRC	3.5	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P06	0.00	<b>0.00</b>	CIRC	3.5	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P07	0.00	<b>0.00</b>	CIRC	3.5	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P08	0.00	<b>0.00</b>	CIRC	3.5	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P09	0.62	<b>0.27</b>	CIRC	3.5	3.5	0.87	plinto non scoperto	0.00	0.00	0.00	-	materassi "Reno"
P10	0.00	<b>0.00</b>	CIRC	3.5	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	materassi "Reno"
P11	0.00	<b>0.00</b>	CIRC	3.5	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	materassi "Reno"
P12	0.08	<b>0.37</b>	CIRC	3.5	3.5	0.73	plinto non scoperto	0.30	3.75	1.91	5.2	massi sciolti
P13	1.69	<b>1.15</b>	CIRC	3.5	3.5	5.33	plinto scoperto	0.30	3.75	3.20	2.8	massi sciolti
P14	2.70	<b>1.68</b>	CIRC	3.5	3.5	6.80	plinto scoperto	0.30	3.75	3.46	2.1	massi sciolti
P15	2.41	<b>1.94</b>	CIRC	3.5	3.5	7.49	plinto scoperto	0.50	4.84	4.38	2.3	massi sciolti
P16	2.28	<b>1.63</b>	CIRC	3.5	3.5	6.91	plinto scoperto	0.30	3.75	3.36	2.1	massi sciolti
P17	2.16	<b>1.60</b>	CIRC	3.5	3.5	6.36	plinto scoperto	0.30	3.75	3.33	2.1	massi sciolti
P18	0.96	<b>3.61</b>	CIRC	3.5	3.5	10.21	plinto scoperto	1.25	7.65	7.33	2.0	massi legati
P19	3.18	<b>1.29</b>	CIRC	3.5	3.5	5.76	plinto scoperto	0.30	3.75	3.55	2.8	massi sciolti
P20	3.16	<b>1.61</b>	CIRC	3.5	3.5	7.27	plinto scoperto	0.30	3.75	3.55	2.2	massi sciolti
P21	3.59	<b>1.39</b>	CIRC	3.5	3.5	6.69	plinto scoperto	0.30	3.75	3.62	2.6	massi sciolti
P22	4.11	<b>1.25</b>	CIRC	3.5	3.5	6.42	plinto scoperto	0.30	3.75	3.71	3.0	massi sciolti
P23	3.66	<b>1.35</b>	CIRC	4.5	4.5	6.57	plinto scoperto	0.30	3.75	3.64	2.7	massi sciolti
P24	3.03	<b>1.24</b>	CIRC	4.5	4.5	5.91	plinto scoperto	0.30	3.75	3.52	2.8	massi sciolti
P25	1.67	<b>1.38</b>	CIRC	3.5	3.5	5.24	plinto scoperto	0.30	3.75	3.19	2.3	massi sciolti
P26	1.15	<b>2.05</b>	CIRC	3.5	3.5	6.87	plinto scoperto	0.50	4.84	4.10	2.0	massi sciolti
P27	1.40	<b>1.94</b>	CIRC	3.5	3.5	6.76	plinto scoperto	0.50	4.84	4.00	2.1	massi sciolti
P28	2.11	<b>1.38</b>	CIRC	3.5	3.5	5.21	plinto scoperto	0.30	3.75	3.32	2.4	massi sciolti
P29	2.12	<b>0.88</b>	CIRC	3.5	3.5	4.11	plinto scoperto	0.30	3.75	3.32	3.8	massi sciolti
P30	2.46	<b>0.90</b>	CIRC	3.5	3.5	4.98	plinto scoperto	0.30	3.75	3.40	3.8	massi sciolti
P31	1.78	<b>1.09</b>	CIRC	3.5	3.5	4.74	plinto scoperto	0.30	3.75	3.22	3.0	massi sciolti
P32	0.79	<b>2.17</b>	CIRC	3.5	3.5	6.38	plinto scoperto	0.75	5.92	4.45	2.1	massi legati
P33	1.09	<b>1.91</b>	CIRC	3.5	3.5	7.61	plinto scoperto	0.50	4.84	3.84	2.0	massi sciolti
P34	2.49	<b>1.51</b>	CIRC	3.5	3.5	7.22	plinto scoperto	0.30	3.75	3.41	2.3	massi sciolti
P35	1.06	<b>0.73</b>	CIRC	3.5	3.5	3.85	plinto scoperto	0.30	3.75	2.96	4.0	massi sciolti
P36	0.23	<b>0.55</b>	CIRC	3.5	3.5	1.31	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.29	4.1	massi sciolti
P37	0.00	<b>0.00</b>	CIRC	3.5	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P38	0.08	<b>0.40</b>	CIRC	4.5	4.5	0.90	plinto non scoperto	0.30	3.75	1.92	4.8	massi sciolti
P39	0.95	<b>1.60</b>	CIRC	4.5	4.5	6.20	plinto scoperto	0.50	4.84	3.75	2.3	massi sciolti
P40	1.34	<b>1.61</b>	CIRC	4.5	4.5	3.34	plinto non scoperto	0.50	4.84	3.97	2.5	massi sciolti
P41	2.70	<b>3.74</b>	CIRC	4.5	4.5	12.33	plinto scoperto	1.25	7.65	7.47	2.0	massi legati

Tabella 50: Viadotto VI17, calcolo delle protezioni – TR 300 anni

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	D50 protez [m]	Vcr1 protez [m/s]	Vcr2 protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
P14	0.26	0.29	0.30	3.75	2.34	8.0	massi sciolti
P15	0.27	0.67	0.50	4.84	3.04	4.6	massi sciolti
P16	0.16	0.25	0.30	3.75	2.16	8.6	massi sciolti
P17	0.06	0.02	0.30	3.75	1.81	78.6	massi sciolti
P18			1.25	7.65	0.00	-	massi legati
P19	0.64	0.36	0.30	3.75	2.72	7.6	massi sciolti
P20	0.65	0.71	0.30	3.75	2.73	3.8	massi sciolti
P21	1.11	0.33	0.30	3.75	2.98	9.0	massi sciolti
P22	1.61	1.01	0.30	3.75	3.17	3.1	massi sciolti
P23	1.17	1.03	0.30	3.75	3.01	2.9	massi sciolti
P24	0.72	1.06	0.30	3.75	2.77	2.6	massi sciolti
P25			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P26			0.50	4.84	0.00	-	massi sciolti
P27			0.50	4.84	0.00	-	massi sciolti
P28	0.56	0.34	0.30	3.75	2.66	7.8	massi sciolti
P29	0.51	0.14	0.30	3.75	2.62	18.4	massi sciolti
P30	0.75	0.43	0.30	3.75	2.79	6.5	massi sciolti
P31	0.10	0.04	0.30	3.75	1.98	45.0	massi sciolti
P32			0.75	5.92	0.00	-	massi legati
P33			0.50	4.84	0.00	-	massi sciolti
P34	0.69	0.45	0.30	3.75	2.75	6.1	massi sciolti
P35			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P36			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P37			0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P38			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P39			0.50	4.84	0.00	-	massi sciolti
P40			0.50	4.84	0.00	-	massi sciolti
P41	0.52	1.85	1.25	7.65	5.67	3.1	massi legati

Tabella 51: Viadotto VI17, verifica protezioni – TR 5 anni

## 6.5 Protezione dei rilevati

Parte dei rilevati di progetto, ferroviari e stradali, vengono lambiti dagli allagamenti dovuti alle piene dei corsi d'acqua, come riportato dettagliatamente nelle planimetrie delle aree di esondazione allegate. Con il fine di proteggere l'infrastruttura da possibili crolli o danneggiamenti dovuti da effetti erosi della corrente vengono previste due tipologie di protezioni:

- Protezione in materassi "tipo Reno": Questo tipo di rivestimento del rilevato viene adottato laddove le velocità della corrente non sono particolarmente elevate, non superiori a 2 m/s. Il dettaglio tipologico è riportato nella figura sottostante (Figura 74). I rivestimenti vengono estesi in altezza fino a una quota superiore di almeno un metro rispetto al massimo livello idrico raggiunto per la piena con TR 300 anni;

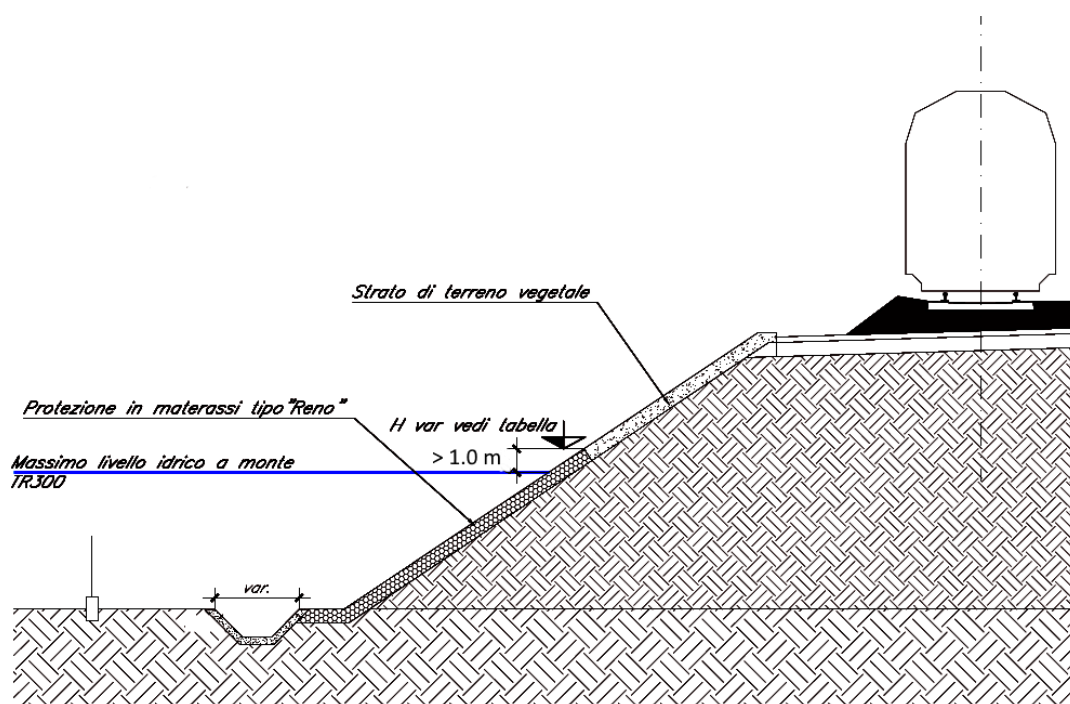


Figura 74: Protezione del rilevato in materassi "tipo Reno"



- Protezione in massi cementati: questo tipo di protezione viene impiegato per quelle porzioni di rilevati lambite da correnti liquide con velocità superiori a 2 m/s. Rispetto ai materassi, questo rivestimento garantisce una maggiore resistenza all'effetto erosivo della corrente. Le protezioni saranno estese in altezza fino a una quota superiore di almeno 100 cm rispetto al massimo livello idrico raggiunto per le massime piene di progetto. Nella prossima immagine è riportato un dettaglio tipologico (Figura 75).

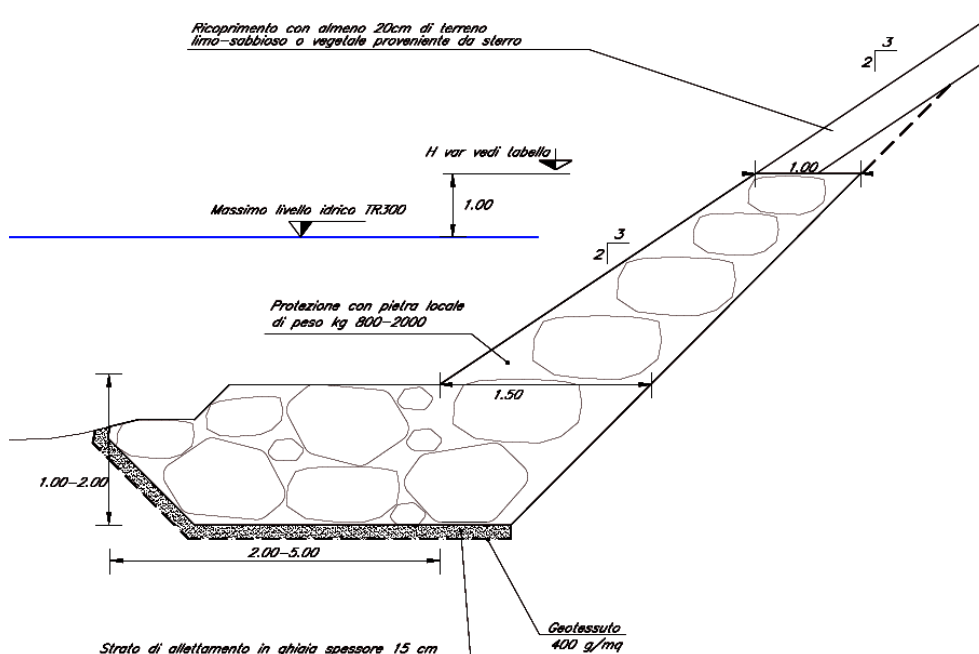


Figura 75: Protezione del rilevato in massi cementati

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

## 6.6 Portate 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 e conseguenti danni a persone o cose.

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. Al paragrafo "Portate di piena relative a scenari di progetto intermedi" è stato definito il tempo di ritorno da adottare per le verifiche idrauliche delle opere provvisionali di cantiere. Sulla base di considerazioni probabilistiche, è stato stimato un tempo di ritorno pari a 5 anni. Successivamente viene eseguita una valutazione delle portate idrologiche da adottare per la stima dei livelli idrici che lambiranno le opere provvisionali dei viadotti di progetto. In Tabella 52 sono riportate le portate massime ottenute in corrispondenza delle opere di attraversamento dei corsi d'acqua principali.

<i>wbs</i>	<i>Corso d'acqua</i>	<i>Tempo di ritorno [anni]</i>	<i>Q<sub>max</sub> [m<sup>3</sup>/s]</i>
VI01	Fiume Torto	5	70
VI04	Fiume Torto	5	48
NV07	Torrente Belici	5	10
VI05	Torrente Belici	5	12
VI06	Torrente Belici	5	11
VI08	Torrente Belici	5	75
VI10	Torrente Belici	5	86
NV53a	Torrente Belici	5	86
VI11	Torrente Belici	5	88
VI12	Torrente Belici	5	144
VI15	Fiume Salito	5	112
VI17_1	Fiume Salito	5	18
NV62A	Fiume Salito	5	18
VI17_2	Fiume Salito	5	68
VI17_3	Fiume Salito	5	68
NV62c	Fiume Salito	5	68

Tabella 52: Portate massime in corrispondenza dei viadotti, dimensionamento opere provvisionali

Fissato la pericolosità idraulica, valutati i flussi liquidi, il calcolo dei livelli idrici massimi attendibili è stato eseguito attraverso la modellazione numerica bidimensionale in condizioni stazionarie.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 09	RH	ID0000 001	D	123 di 136

Nei prossimi paragrafi, sono riportate le tabelle riassuntive dei livelli idrici assoluti ottenuti in corrispondenza di ciascuna pila o spalla. La presenza del campo numerico vuoto sta ad indicare che per quell'elemento verticale non è lambito dalla corrente.

### 6.6.1 Livelli viadotto VI01

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]		
		P10	415.7
Gallerodotto	413.55-413.65	P11	415.72
P01	413.81	P12	415.74
P02	413.95	P13	415.75
P03	414.10	P14	415.75
P04	414.22	P15	415.75
P05	414.50	P16	-
P06	414.75	P17	-
P07	415.15	P18	-
P08	415.59	P19	-
P09	415.66	S02	-

Tabella 53: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI01

### 6.6.2 Livelli viadotto VI04

Secondo i risultati delle simulazioni numeriche, le pile del viadotto VI04 non vengono lambite dalla corrente per la piena con tempo di ritorno TR 5 anni.

### 6.6.3 Livelli viadotti VI05 e VI06

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]		
S01	-	P07	-
P01	-	P08	-
P02	-	P09	-
P03	-	P10	-
P04	-	P11	421.10
P05	-	P12	-
P06	-	S02	-

Tabella 54: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI05

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]		
S01	-	P07	-
P01	424.22	P08	-
P02	-	P09	-
P03	-	P10	-
P04	-	P11	-
P05	-	P12	-
P06	-	S02	-

Tabella 55: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI06

#### 6.6.4 Livelli viadotto VI08

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]		
S01	388.59	P13	385.06
P01	387.88	P14	384.76
P02	387.73	P15	384.40
P03	-	P16	384.34
P04	-	P17	384.29
P05	-	P18	384.14
P06	-	P19	383.62
P07	386.38	P20	383.41
P08	-	P21	-
P09	-	P22	-
P10	-	P23	-
P11	385.28	P24	-
P12	385.16	P25	-
		S02	-

Tabella 56: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI08



### 6.6.5 Livelli viadotto VI10

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]		
S01	-	P10	373.21
P01	-	P11	373.17
P02	374.93	P12	373.11
P03	374.93	P13	373.04
P04	374.92	P14	372.98
P05	374.03	P15	372.93
P06	373.9	P16	372.86
P07	373.62	P17	372.81
P08	373.47	P18	372.75
P09	373.27	S02	-

Tabella 57: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI10

### 6.6.6 Livelli viadotto NV53a

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]
S01	-
P01	-
P02	-
P03	373.57
P04	373.13
P05	372.95
P06	-
S02	-

Tabella 58: Livelli idrici massimi TR 05 anni – NV53a

### 6.6.7 Livelli viadotto VI11

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]		
S01	-		
P01	-	P17	366.86
P02	-	P18	366.65
P03	-	P19	366.62
P04	-	P20	366.61
P05	-	P21	366.32
P06	-	P22	-
P07	-	P23	-
P08	-	P24	364.85
P09	-	P25	364.71
P10	-	P26	-
P11	-	P27	-
P12	367.94	P28	-
P13	367.73	P29	-
P14	367.19	P30	-
P15	-	P31	364.82
P16	-	S02	364.72

Tabella 59: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI11

### 6.6.8 Livelli viadotto VI12

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]		
S01	-	P20	-
P01	-	P21	340.80
P02	-	P22	340.07
P03	-	P23	339.38
P04	-	P24	339.35
P05	-	P25	339.34
P06	-	P26	-
P07	-	P27	-
P08	-	P28	-
P09	-	P29	-
P10	-	P30	-
P11	-	P31	-
P12	-	P32	-
P13	-	P33	-
P14	-	P34	-
P15	342.29	P35	-
P16	342.3	P36	-
P17	342.30	P37	-
P18	-	P38	-
P19	-	S02	-

Tabella 60: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI12

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3T</b>	LOTTO <b>30 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

### 6.6.9 Livelli viadotto VI15

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]		
S01	-		
P01	-	P09	-
P02	-	P10	-
P03	-	P11	-
P04	283.36	P12	-
P05	-	P13	-
P06	-	P14	-
P07	-	P15	-
P08	-	S02	-

Tabella 61: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI15

### 6.6.10 Livelli viadotto VI16

Secondo i risultati delle simulazioni numeriche, le pile del viadotto VI16 non vengono lambite dalla corrente per la piena con tempo di ritorno TR 5 anni.

### 6.6.11 Livelli viadotto NV62a

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]
S01	-
P01	-
P02	313.67
S02	-

Tabella 62: Livelli idrici massimi TR 05 anni – NV62a

### 6.6.12 Livelli viadotto VI17

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]		
S01	-	P23	314.38
P01	-	P24	314.53
P02	-	P25	-
P03	312.82	P26	-
P04	-	P27	-
P05	-	P28	315.91
P06	-	P29	315.93
P07	-	P30	316.26
P08	-	P31	316.25
P09	-	P32	-
P10	-	P33	-
P11	-	P34	316.93
P12	-	P35	-
P13	-	P36	-
P14	312.62	P37	-
P15	312.91	P38	-
P16	313.17	P39	-
P17	313.22	P40	-
P18	-	P41	318.79
P19	314.25	P42	-
P20	314.26	P43	-
P21	314.39	P44	-
P22	314.39	P45	-
		S02	-

Tabella 63: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI17

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 09	RH	ID0000 001	D	129 di 136

## 7. COMPATIBILITÀ IDRAULICA

### 7.1 Inquadramento normativo

All'interno dell'“Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” ” (Decreto 17 gennaio 2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti), al punto 5.1.2.3, si definiscono gli argomenti principali dello studio di “Compatibilità idraulica” relativo ai ponti stradali. Le stesse prescrizioni si estendono poi ai ponti ferroviari, secondo il paragrafo 5.2.1.2.

Si riporta un estratto della normativa:

#### 5.1.2.3 Compatibilità Idraulica

[...]

*Quando il ponte interessa un corso d'acqua naturale o artificiale, il progetto deve essere corredato da uno studio di compatibilità idraulica costituito da una relazione idrologica e da una relazione idraulica riguardante le scelte progettuali, la costruzione e l'esercizio del ponte.*

[...]

*Coerentemente al livello di progettazione, lo studio di compatibilità idraulica deve riportare:*

[...]

*- la definizione della scala delle portate nelle condizioni attuali, di progetto, e nelle diverse fasi costruttive previste, corredata dal calcolo del profilo di rigurgito indotto dalla presenza delle opere in alveo, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti;*

*- la valutazione dello scavo localizzato con riferimento alle forme ed alle dimensioni di pile, spalle e relative fondazioni, nonché di altre opere in alveo provvisoriale e definitive, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti oltre che dei fenomeni erosivi generalizzati conseguenti al restringimento d'alveo;*

[...]

*Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali.*

*Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente.*

[...]



	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 09	RH	ID0000 001	D	130 di 136

*Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione.*

[...]

Le “Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.” propongono al punto C5.1.2.3 “Compatibilità Idraulica” ulteriori prescrizioni:

[...]

*Ai fini dell’applicazione del punto 5.1.2.3 della Norma, s’intende per alveo la sezione occupata dal deflusso della portata di piena di progetto. Quest’ultima è a sua volta caratterizzata da un tempo di ritorno pari a  $T_r = 200$  anni, dovendosi intendere tale valore quale il più appropriato da scegliere, non escludendo tuttavia valori anche maggiori che devono però essere adeguatamente motivati e giustificati.*

[...]

*Quando, per caratteristiche del territorio e del corso d’acqua, si possa verificare nella sezione oggetto dell’attraversamento il transito di tronchi di rilevanti dimensioni, in aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1,50 m, e da raccomandare che il dislivello tra fondo e sottotrave sia indicativamente non inferiore a 6÷7 m. Nel caso di corsi di acqua arginati, la quota di sottotrave sarà comunque non inferiore alla quota della sommità arginale per l’intera luce. Per tutti gli attraversamenti è opportuno sia garantito il transito dei mezzi di manutenzione delle sponde e/o delle arginature.*

[...]

## **7.2 Ottemperanza alle prescrizioni normative**

Tra gli elaborati annessi al progetto definitivo è stata predisposta la “Relazione idrologica generale” all’interno della quale sono trattate in modo completo le varie tematiche di carattere idrologico.

Nel presente studio è stata condotta in modo approfondito l’analisi degli scavi localizzati nell’intorno delle pile, considerando anche le condizioni di scavo con i plinti di fondazione esposti alla corrente. Per le pile più esposte all’azione erosiva della corrente sono state dimensionate adeguate opere di protezione.

I risultati delle simulazioni numeriche hanno consentito di valutare per i viadotti di progetto i franchi minimi rispetto alle piene di riferimento. Al paragrafo “Viadotti – verifiche dei franchi” del presente testo sono riassunti i risultati delle valutazioni fatte. Va precisato che gli scenari progettuali adottati non

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 09	RH	ID0000 001	D	131 di 136

tengono in considerazione la presenza di sedimenti galleggianti in alveo. L'esame delle conseguenze della presenza di corpi flottanti trasportati dalle acque è stato affrontato in un secondo momento; le risultanze di tali analisi verranno esposte nei prossimi paragrafi.

Si procede alla valutazione della compatibilità idraulica delle opere in progetto, con riferimento alla normativa vigente, in termini di luce netta minima tra le pile contigue in alveo, distanza tra fondo alveo e quota di sotto-trave e verifiche idrauliche considerando la presenza di detriti flottanti in alveo.

### **7.2.1 Distanza tra fondo alveo quota di sotto-trave**

Sono state valutate le distanze tra quota di sotto-trave e fondo alveo al fine di valutare la compatibilità idraulica dei viadotti secondo la normativa vigente. Questa prescrizione viene messa in relazione al possibile trasporto di tronchi di importanti dimensioni lungo il corso d'acqua. Infatti, per gli attraversamenti idraulici, altezze libere ridotte e luci di ampiezza limitata possono comportare, in presenza di trasporto di sedimenti galleggianti, occlusioni o limitazioni delle aperture dei viadotti a causa degli ammassi detritici che si possono formare attorno alle pile dei ponti.

In prima istanza si è voluto distinguere, caso per caso, se il singolo viadotto ha funzione di solo attraversamento del corso d'acqua e solo affiancamento o se svolge entrambe le funzioni. Spesso i viadotti in affiancamento ai corsi d'acqua nascono più per esigenze altimetriche che idrauliche. Questi viadotti interferiscono con i corsi d'acqua in occasione delle piene, interessando con le pile le parti più esterne delle aree allagate. Il tracciato dei ponti in affiancamento è spesso parallelo alla direzione principale della corrente, mentre le opere di attraversamento mantengono lungo il loro sviluppo un'incidenza pronunciata con la direzione della corrente in piena, tendenzialmente prossime alla condizione di ortogonalità. Generalmente i tratti in affiancamento svolgono per lo più una funzione di trasparenza idraulica e non sono attraversati da portate liquide di particolare interesse rispetto ai tratti in attraversamento, ove i flussi sono di maggior rilievo vista la maggiore incidenza tra l'asse delle campate e i vettori velocità. I risultati delle simulazioni numeriche bidimensionali per gli scenari di progetto hanno consentito di valutare le incidenze tra gli assi delle campate e le direzioni principali della corrente.

Si ritiene che, in merito al trasporto di materiale galleggiante durante le piene dei corsi d'acqua, i tratti in affiancamento siano tendenzialmente soggetti a fenomeni di occlusione delle luci in misura minore rispetto ai tratti in attraversamento.

Nella tabella seguente sono riportate le descrizioni dei viadotti, se di attraversamento e/o di affiancamento, distinguendo anche quali tratti svolgono le differenti funzioni.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3T	30 D 09	RH	ID0000 001	D	132 di 136

wbs	Tipologia	Tratti in affiancamento (id pile spalle)	Tratti in affiancamento (chiolometriche)	Tratti di attraversamento (id pile spalle)	Tratti di attraversamento (chiolometriche)
SL01 + VI01	Affiancamento ed attraversamento	SL01 + S01-P01 + P03 - S02	0+597 - 0+717 + 0+837 - 1+264	P01 - P03	0+717 - 0+837
VI04	Affiancamento	S01 - S02	3+682 - 4+510	-	-
NV07	Attraversamento	-	-	S01 - S02	0+165 - 0+378
VI05 - VI06	Affiancamento ed attraversamento	P02 - P10	18+279 - 18+478	S01 - P02 + P10 - S02	18+181 - 18+279 + 18+478 - 18+636
VI08	Affiancamento ed attraversamento	S01 - P21 + P24 - S02	21+252 - 21+831 + 21+962 - 22+050	P21 - P24	21+831 - 21+962
NV53a	Affiancamento ed attraversamento	P03 - P05	1+400 - 1+500	S01 - P03 + P05 - S02	1+250 - 1+400 - 1+500 - 1+650
VI10	Affiancamento ed attraversamento	S01 - P03 + P06 - S02	22+586 - 22+690 + 22+820 - 23+178	P03 - P06	22+690 - 22+820
VI11	Affiancamento ed attraversamento	S01 - P10 + P18 - S02	23+327 - 23+585 + 23+845 - 24+228	P10 - P18	23+585 - 23+845
VI12	Affiancamento ed attraversamento	S01 - P14 + P26 - S02	26+426 - 26+809 + 27+409 - 27+942	P14 - P26	26+809 - 27+409
VI15	Attraversamento	-	-	P02 - P08	37+512 - 37+802
NV62a	Attraversamento	-	-	S01 - S02	1+550 - 1+650
NV62c	Affiancamento ed attraversamento	P04 - S02	0+338 - 0+450	S01 - P04	0+139 - 0+338
VI17	Affiancamento ed attraversamento	P04 - P22 + P25 - P37 + P42 - S02	41+274 - 41+725 + 41+825 - 42+125 + 42+366 - 42+465	S01 - P04 + P22 - P25 + P37 - P42	41+066 - 41+274 + 41+725 - 41+825 + 42+125 - 42+366

Tabella 64: Descrizione dei viadotti

In Tabella 65 sono riportate, per ogni viadotto, le altezze libere tra il piano campagna e la quota di fondo alveo, distinguendo quali tratti sono “di attraversamento” e quali “in affiancamento”. Nella tabella sono riportati i valori minimi e massimi.

Viadotto	ALTEZZA LIBERA campate di attraversamento	ALTEZZA LIBERA campate in affiancamento
VI01	3.5 - 6 m	3 - 8 m
VI04	-	5.5 - 11 m
NV07	4.5 - 9.5 m	-
VI05	3 - 8 m	3.5 - 7.5 m
VI06	3.5 - 8 m	3.5 - 8.5 m
VI08	4 - 9 m	1.5 - 7 m
NV53a	2.5 - 8.5 m	5 - 5.5 m
VI10	8.5 - 12 m	6.5 - 10 m
VI11	3.5 - 8 m	3 - 7 m
VI12	7 - 13.5 m	6 - 8 m
VI15	11.5 - 20 m	-
NV62a	3.5 - 6.5 m	-
NV62c	5 - 9 m	2 - 9 m
VI17	4 - 20 m	5.5 - 18.5 m

Tabella 65: Distanza tra fondo alveo quota di sotto-trave

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)          IDRAULICA MAGGIORE</b>					
Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D	FOGLIO 133 di 136

Per i tratti in attraversamento, cioè quelli potenzialmente più sottoposti agli accumuli di materiale flottante, viene in parte soddisfatta la richiesta (indicativa) di mantenere un'altezza libera di 6-7 m. La distanza verticale minima viene rispettata per la maggior parte dello sviluppo longitudinale dei tratti di attraversamento.

Viene sottolineato che i bacini idrografici oggetto di approfondimento non presentano ampie coperture a bosco; in particolare, sono poco frequenti le specie vegetali ad alto fusto che posseggono ampie fronde e importanti apparati radicali. Quanto detto trova conferma nello studio "CORINE Land Cover 2012", secondo il quale i bacini imbriferi qui individuati sono interessati a coperture vegetali "ad albero" per percentuali di superficie dell'ordine del 5-10%.

Secondo il suddetto studio, le specie vegetali presenti sono quelle tipiche delle zone mediterranee meridionali, come oliveti, macchia bassa, macchia alta, che in genere presentano dimensioni compatibili con le altezze libere dei viadotti di progetto.

### **7.2.2 Luce netta minima tra le pile contigue in alveo**

Come richiesto dalla normativa, sono state analizzate le luci nette dei viadotti, misurate nella direzione ortogonale al filone principale della corrente. In modo analogo a quanto fatto per la stima della distanza verticale, per le luci libere sono state distinte le campate "di attraversamento" da quelle "di affiancamento". Si ricorda che le indicazioni della normativa prescrivono una distanza netta ed ortogonale minima di 40 m, anche al fine di evitare l'accumulo attorno alle pile di specie vegetali ad alto fusto.

In Tabella 66 sono riportate le indicazioni relative alle luci libere valutate per ogni viadotto interferente con un corso d'acqua maggiore. Come riportato in tabella, per i tratti in affiancamento le luci dei viadotti presentano luci nette ortogonali inferiori a 40 m, mentre i tratti in attraversamento sono generalmente superiori a 40 m, anche se per alcune campate tale limite non viene rispettato.

wbs	Tipologia	Luci ortogonali nette campate in affiancamento	Luci ortogonali nette campate di attraversamento
SL01 + VI01	Affiancamento ed attraversamento	< 40 m	≥ 40 m
VI04	Affiancamento	< 40 m	-
NV07	Attraversamento	-	> 40 m e < 40 m
VI05 - VI06	Affiancamento ed attraversamento	< 40 m	> 40 m e < 40 m
VI08	Affiancamento ed attraversamento	< 40 m	> 40 m e < 40 m
NV53a	Affiancamento ed attraversamento	< 40 m	≥ 40 m
VI10	Affiancamento ed attraversamento	< 40 m	> 40 m e < 40 m
VI11	Affiancamento ed attraversamento	< 40 m	> 40 m e < 40 m
VI12	Affiancamento ed attraversamento	< 40 m	≥ 40 m
VI15	Attraversamento	-	> 40 m e < 40 m
NV62a	Attraversamento	-	> 40 m e < 40 m
NV62c	Affiancamento ed attraversamento	< 40 m	< 40 m
VI17	Affiancamento ed attraversamento	< 40 m	> 40 m e < 40 m

Tabella 66: Luci ortogonali nette dei viadotti

### 7.2.3 Verifiche idrauliche considerando la presenza di detriti flottanti in alveo

Dall'analisi delle configurazioni geometriche di progetto è emerso come i viadotti non soddisfino in modo completo, campata per campata, le caratteristiche minime imposte dalla normativa sia per le distanze verticali minime tra intradossi ed alveo che per le distanze planimetriche tra le pile in alveo. Si è visto come le campate di attraversamento soddisfano generalmente i requisiti normativi (franchi minimi, luce libera ortogonale ed altezze), mentre solo in parte accade per le campate in affiancamento, per le quali la luce minima non è normalmente soddisfatta.

Con l'obiettivo finale di verificare la compatibilità idraulica di tali opere rispetto ad uno scenario di progetto che comprenda i potenziali accumuli di detriti galleggianti attorno alle pile, si è deciso di eseguire ulteriori simulazioni numeriche.



	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA LERCARA DIR. - CALTANISSETTA XIRBI (LOTTO 3)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3T	LOTTO 30 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D	FOGLIO 135 di 136

Le configurazioni geometriche di riferimento sono state alterate rispetto alle precedenti configurazioni di progetto apportando le seguenti modifiche:

- è stata definita la forma di una pila fittizia che rappresenta, all'interno del modello numerico, un pilastro verticale completamente avvolto dall'ammasso di detriti, risultato di processo di trasporto ed accumulo del materiale flottante in alveo durante un evento di piena. Questa pila ideale ha forma cilindrica di altezza pari a quella del tirante liquido e diametro di 20 m. Questo tipo di approccio è del tutto analogo alle attuali pratiche progettuali australiane. Le dimensioni degli ammassi risultano proporzionali alla dimensione massima dei tronchi che fluttuano in alveo. La letteratura suggerisce che trasversalmente alla direzione della corrente l'ammasso arrivi ad estendersi per circa  $2xL$ , essendo  $L$  la massima lunghezza dei tronchi che possono impattare sulla pila. In altre parole, si è assunto che le correnti in piena siano in grado di trasportare tronchi di lunghezza pari a circa 10 m;
- per le campate le cui pile contigue presentano una distanza planimetrica inferiore a 20-25m è stato assunto, in via prudenziale, che l'ammasso di sedimenti galleggianti sia in grado di occludere completamente l'apertura, per tutta la larghezza della campata e per tutta la verticale, cioè da fondo alveo all'intradosso della trave. Tale accorgimento è stato applicato anche ai gallerodotti, considerando come dimensione di riferimento la larghezza delle aperture;
- le modifiche appena definite sono state apportate alle campate dei viadotti interferenti con le aree allagabili definite attraverso le simulazioni dello stato di progetto per le piene di riferimento. In favore di sicurezza, non si è fatta distinzione tra le campate di attraversamento e quelle di affiancamento dei corsi d'acqua.

Le simulazioni nella configurazione di progetto hanno consentito di valutare i franchi idraulici in configurazione di progetto, considerando l'effetto sul campo di moto prodotto dagli accumuli di materiale galleggiante trasportato dalla corrente in piena. I risultati delle valutazioni sono riportati in Tabella 67.

Opera - wbs	TR [anni]	Qmax [m3/s]	Pk	Livello idrico max [m smm]	Intradosso [m smm]	Franco minimo [m]
VI01	300	329	0+642	413.87	415.50	1.63
NV07	300	81	0+337	440.73	445.88	5.15
VI05	300	120	18+565	421.4	425.25	3.85
VI06	300	66	18+869	421.87	424.99	3.12
VI08	300	479	21+284	389.03	392.22	3.19
NV53a	300	562	1+384	374.67	378.42	3.75
VI10	300	562	23+159	377.16	379.95	2.79
VI11	300	562	23+989	369.93	371.43	1.50
V12	300	916	27+309	341.48	349.20	7.72
VI15	300	485	37+852	288.52	298.63	10.11
NV62a	300	146	1+620	315.34	317.72	2.38
NV62c	300	449	0+348	314.25	315.5	1.50
VI17	300	146	41+642	315.21	317.36	2.15

Tabella 67: Franchi dei viadotti nella configurazione di progetto con detriti galleggianti in alveo

Secondo i risultati delle simulazioni, i franchi minimi richiesti da normativa sono garantiti anche in questo scenario di progetto.

### 7.3 Indicazioni del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrologico della regione Sicilia

All'interno del "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia" (PAI Sicilia) sono perimetrate delle aree di "Pericolosità idraulica" e "Rischio idraulico".

Le Norme di Attuazione del PAI Sicilia, contenute nella Relazione Generale, disciplinano gli interventi che ricadono nelle aree di pericolosità e rischio.

Si è verificato che le opere in progetto non rientrano all'interno di tali perimetrazioni.