

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA - CATANIA - PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO - CATANIA**

**S.O. OPERE CIVILI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)**

**IDROLOGIA E IDRAULICA SPECIALISTICA**

Idraulica specialistica

Relazione idraulica studi bidimensionali

SCALA:

-

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

RS3U    40    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 L. 2021 Dott. Ing. <del>Mauro Vittozzi</del> Ordine degli Ingegneri della Provincia N° A.20783
B	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Gen-2020	A.Cappelli	Gen-2020	A.Barreca	Gen-2020	
C	Emissione Esecutiva	ATI Sintagma Rocksoil - Edin	Apr-2020	A.Cappelli	Apr-2020	A.Barreca	Apr-2020	
D	Emissione Esecutiva	A. Cappelli	Luglio 2021	A. Cappelli <i>sc</i>	Luglio 2021	A. Barreca <i>sc</i>	Luglio 2021	

File: RS3U.4.0.D.09.RH.ID.00.0.0.001.D

n. Elab.: 09\_194



 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3U	40 D 09	RH	ID0000 001	D	2 di 71

## INDICE

1.	PREMESSA .....	7
2.	INTRODUZIONE .....	8
3.	INPUT IDROLOGICI .....	9
3.1	PORTATE DI CANTIERE .....	17
4.	MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE .....	19
4.1	GENERALITÀ .....	19
4.2	MODELLO NUMERICO .....	20
4.3	LE GEOMETRIE DEI MODELLI .....	21
4.3.1	<i>Vallone Anghilla</i> .....	22
4.3.2	<i>Fiume Imera Meridionale</i> .....	24
4.3.3	<i>Torrente Morello</i> .....	28
4.4	DEFINIZIONE DELLE SCABREZZE DEL MODELLO .....	30
5.	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE .....	31
5.1	CRITERI DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI .....	31
5.2	SIMULAZIONI ANTE OPERAM .....	31
5.2.1	<i>Vallone Anghilla</i> .....	32
5.2.2	<i>Fiume Imera Meridionale</i> .....	33
5.2.3	<i>Torrente Morello</i> .....	34
5.3	SIMULAZIONI POST OPERAM .....	35
5.3.1	<i>Viadotto VI05 – Vallone Anghilla</i> .....	35
5.3.2	<i>Viadotto VI06 – Fiume Imera Meridionale</i> .....	36
5.3.3	<i>Viadotto VI07 – Torrente Morello</i> .....	38
5.3.4	<i>Viadotto NV97 – Torrente Morello</i> .....	39
6.	VERIFICHE OPERE DI PROGETTO .....	40
6.1	CRITERI DI VERIFICA .....	40

6.1.1	Verifiche previste da manuale Italferr.....	40
6.1.2	Verifiche previste dalle NTC 2018.....	41
6.2	VIADOTTI – VERIFICHE DEI FRANCHI.....	42
6.3	DETERMINAZIONE DELLO SCAVO LOCALIZZATO PER LE PILE .....	42
6.3.1	HEC 18 - CSU .....	42
6.3.2	FDOT (Florida Department Of Transportation).....	45
6.3.3	Ulteriori considerazioni sul calcolo della profondità di scavo .....	47
6.3.4	Escavazioni localizzate viadotto VI05.....	50
6.3.5	Escavazioni localizzate viadotto VI06.....	50
6.3.6	Escavazioni localizzate viadotto VI07.....	51
6.3.7	Escavazioni localizzate viadotto NV97.....	51
6.4	PROTEZIONE DELLE PILE DALLO SCALZAMENTO .....	52
6.4.1	Verifiche di stabilità massi a protezione delle pile.....	53
6.4.2	Protezione pile viadotto VI05.....	55
6.4.3	Protezione pile viadotto VI06.....	56
6.4.4	Protezione pile viadotto VI07.....	57
6.4.5	Protezione pile viadotto NV97.....	58
6.5	PROTEZIONE DEI RILEVATI .....	59
6.6	PORTATE DI CANTIERE E LIVELLI IDRICI .....	61
6.6.1	Livelli viadotto VI05.....	62
6.6.2	Livelli viadotto VI06.....	62
6.6.3	Livelli viadotto VI07.....	63
6.6.4	Livelli viadotto NV97.....	63
7.	COMPATIBILITÀ IDRAULICA .....	64
7.1	INQUADRAMENTO NORMATIVO.....	64
7.2	OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI NORMATIVE .....	65

7.2.1	<i>Distanza tra fondo alveo quota di sotto-trave .....</i>	66
7.2.2	<i>Luce netta minima tra le pile contigue in alveo.....</i>	68
7.2.3	<i>Verifiche idrauliche considerando la presenza di detriti flottanti in alveo .....</i>	68
7.3	INDICAZIONI DEL PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROLOGICO DELLA REGIONE SICILIA.....	70
7.4	PIANO DI EMERGENZA DIGA – INVASO DI VILLAROSA .....	71

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3U	40 D 09	RH	ID0000 001	D	5 di 71

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Sezioni di input delle portate, Vallone Anghilla .....	10
Figura 2: Onde di piena Vallone Anghilla – TR 50 anni.....	10
Figura 3: Onde di piena Vallone Anghilla – TR 100 anni.....	11
Figura 4: Onde di piena Vallone Anghilla – TR 200 anni.....	11
Figura 5: Sezioni di input delle portate, Fiume Imera .....	12
Figura 6: Onda di piena Fiume Imera – TR 50 anni .....	13
Figura 7: Onda di piena Fiume Imera – TR 100 anni .....	13
Figura 8: Onda di piena Fiume Imera – TR 300 anni .....	14
Figura 9: Sezioni di input delle portate, Torrente Morello .....	15
Figura 10: Onda di piena Torrente Morello – TR 30 anni .....	15
Figura 11: Onda di piena Torrente Morello – TR 100 anni .....	16
Figura 12: Onda di piena Torrente Morello – TR 300 anni .....	16
Figura 13: Estensione del dominio di calcolo, Vallone Anghilla.....	22
Figura 14: DTM di riferimento, Vallone Anghilla.....	23
Figura 15: Mesh di calcolo, Vallone Anghilla .....	24
Figura 16: Estensione del dominio di calcolo, Fiume Imera Meridionale .....	25
Figura 17: DTM di riferimento, Fiume Imera .....	26
Figura 18: Mesh di calcolo, Fiume Imera .....	27
Figura 19: Estensione del dominio di calcolo, Torrente Morello .....	28
Figura 20: DTM di riferimento, Torrente Morello .....	29
Figura 21: Mesh di calcolo, Torrente Morello .....	30
Figura 22: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Vallone Anghilla, 2+900 – 3+500.....	32
Figura 23: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Fiume Imera Meridionale, 6+550-7+550....	33
Figura 24: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Torrente Morello , 11+700 – 13+400 .....	34
Figura 25: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 200 anni – VI05 ..	35
Figura 26: Profilo altimetrico viadotto VI05, livelli idrici TR 200 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa) .....	36
Figura 27: Profilo altimetrico viadotto VI06, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa) .....	36
Figura 28: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 200 anni – VI06 ..	37
Figura 29: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – VI07 ..	38
Figura 30: Profilo altimetrico viadotto VI07, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa) .....	38
Figura 31: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – NV97.39	
Figura 32: Profilo altimetrico viadotto NV97, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa) .....	40
Figura 33: Calcolo della larghezza equivalente, Melville e Raudkivi (1996) .....	48
Figura 34: Disposizione raccomandata dei massi di protezione attorno alle pile, fonte HEC23.....	54
Figura 35: Protezione del rilevato in materassi tipo “Reno” .....	59
Figura 36: Protezione del rilevato in massi cementati .....	60
Figura 37: Sovrapposizione tra area di pericolosità e viadotto VI06.....	70

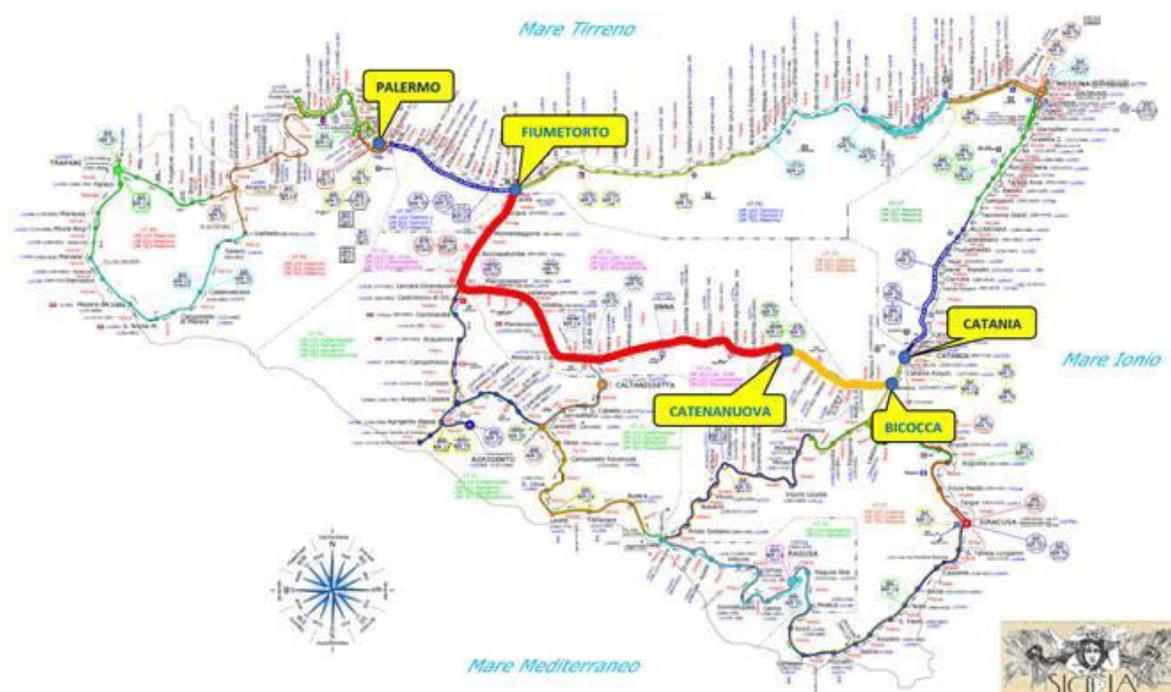
 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1:Portate massime di riferimento per le verifiche dei viadotti di progetto .....	17
Tabella 2:Valori della pericolosità idraulica per N=112.5 anni .....	18
Tabella 3:Tempi di ritorno richiesti per le verifiche idrauliche .....	31
Tabella 4:Viadotti lotto 4a, verifica del franco sul livello idrico .....	42
Tabella 5:Viadotti lotto 4a, verifica del franco sul livello energetico.....	42
Tabella 6:Coefficiente correttivo $K_1$ .....	43
Tabella 7:Coefficiente correttivo $K_3$ .....	44
Tabella 8:Coefficiente correttivo $K_s$ .....	46
Tabella 9:Viadotto VI05, massima profondità di escavazione .....	50
Tabella 10:Viadotto VI06, massima profondità di escavazione .....	50
Tabella 11:Viadotto VI07, massima profondità di escavazione .....	51
Tabella 12:Viadotto NV97, massima profondità di escavazione.....	51
Tabella 13:Viadotto VI05, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	55
Tabella 14:Viadotto VI05,verifica delle protezioni – TR 5 anni .....	55
Tabella 15:Viadotto VI06, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	56
Tabella 16:Viadotto VI06,verifica delle protezioni – TR 5 anni .....	56
Tabella 17:Viadotto VI07, calcolo delle protezioni – TR 300 anni .....	57
Tabella 18:Viadotto VI07, verifica delle protezioni – TR 5 anni .....	57
Tabella 19:Viadotto NV97, calcolo delle protezioni – TR 300 anni.....	58
Tabella 20:Viadotto NV97, verifica delle protezioni – TR 5 anni.....	58
Tabella 21: Portate massime in corrispondenza dei viadotti, dimensionamento opere provvisionali .....	61
Tabella 22: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI05 .....	62
Tabella 23: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI06 .....	62
Tabella 24: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI07 .....	63
Tabella 25: Livelli idrici massimi TR 05 anni – NV97.....	63
Tabella 26:Descrizione dei viadotti .....	67
Tabella 27: Distanza tra fondo alveo quota di sotto-trave .....	67
Tabella 28: Luci ortogonali nette dei viadotti.....	68
Tabella 29: Franchi dei viadotti nella configurazione di progetto con detriti galleggianti in alveo.....	69

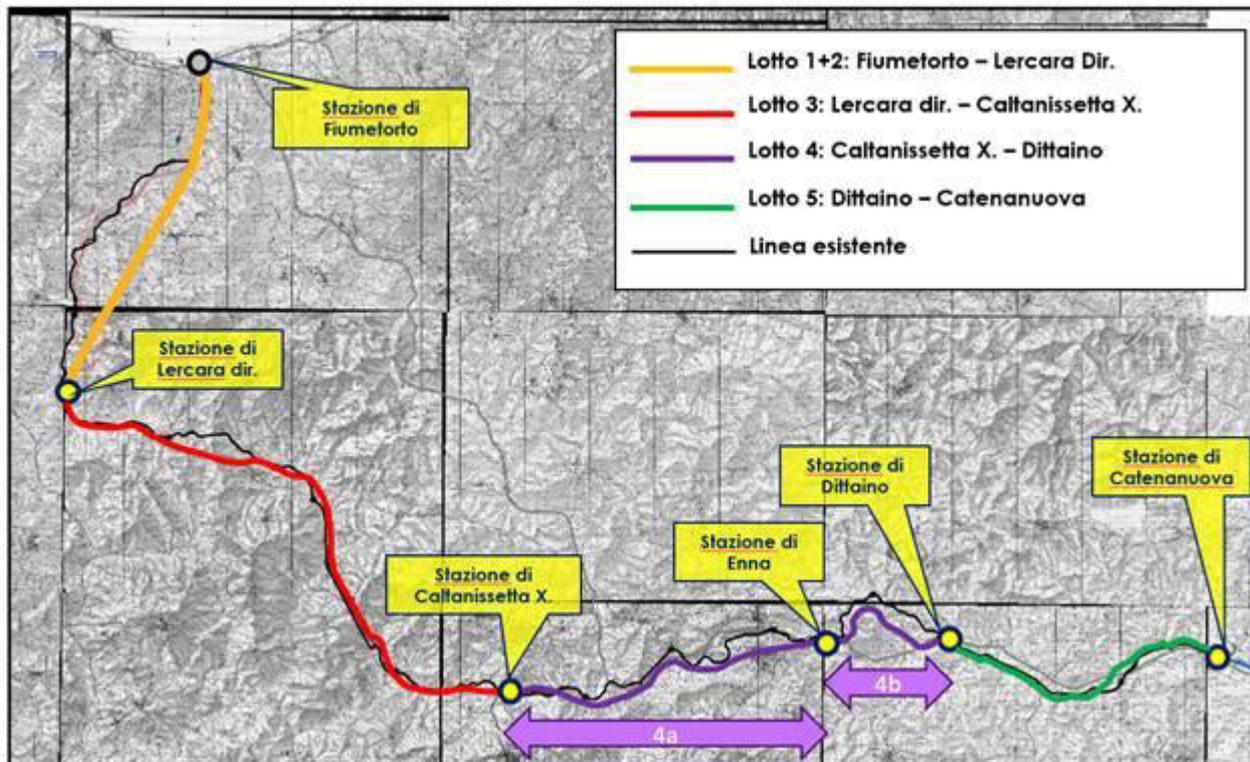
## 1. PREMESSA

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 al lotto 4a.

## 2. INTRODUZIONE

La presente relazione riassume i risultati delle indagini sviluppate, le metodologie applicate ed i risultati degli studi idraulici del Vallone Anghilla, del Fiume Imera Meridionale e del Torrente Morello, nell'ambito del Progetto Definitivo del lotto funzionali 4a 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>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D	FOGLIO 9 di 71

### 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 (o 200 anni).

In Figura 1 è riportato il tratto di Vallone Anghilla 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).

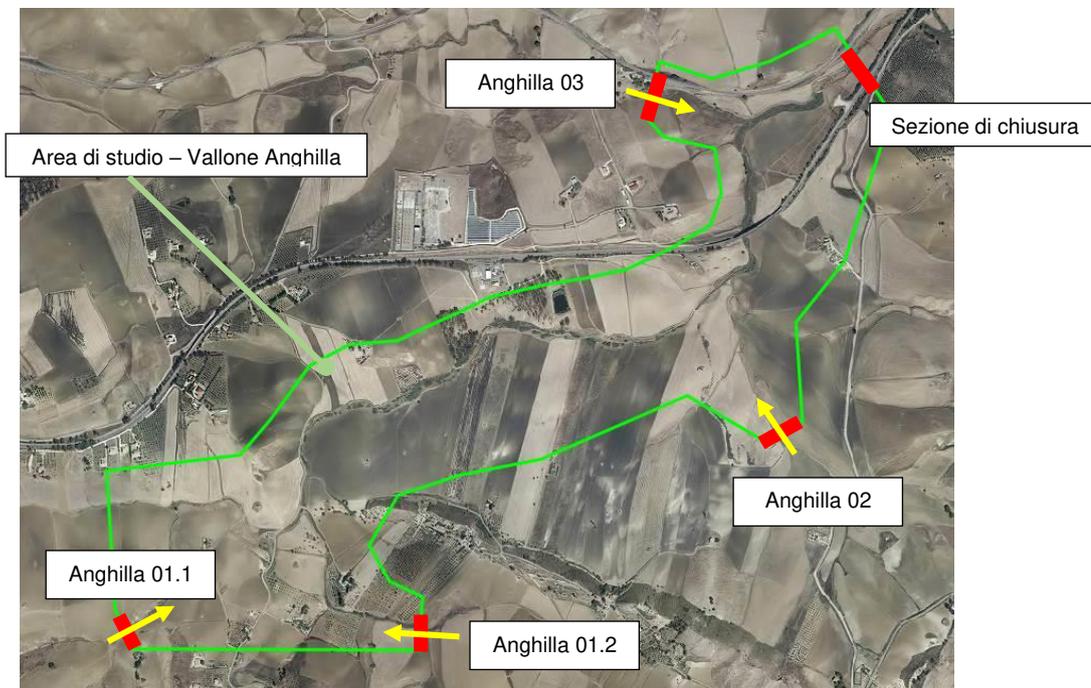


Figura 1: Sezioni di input delle portate, Vallone Anghilla

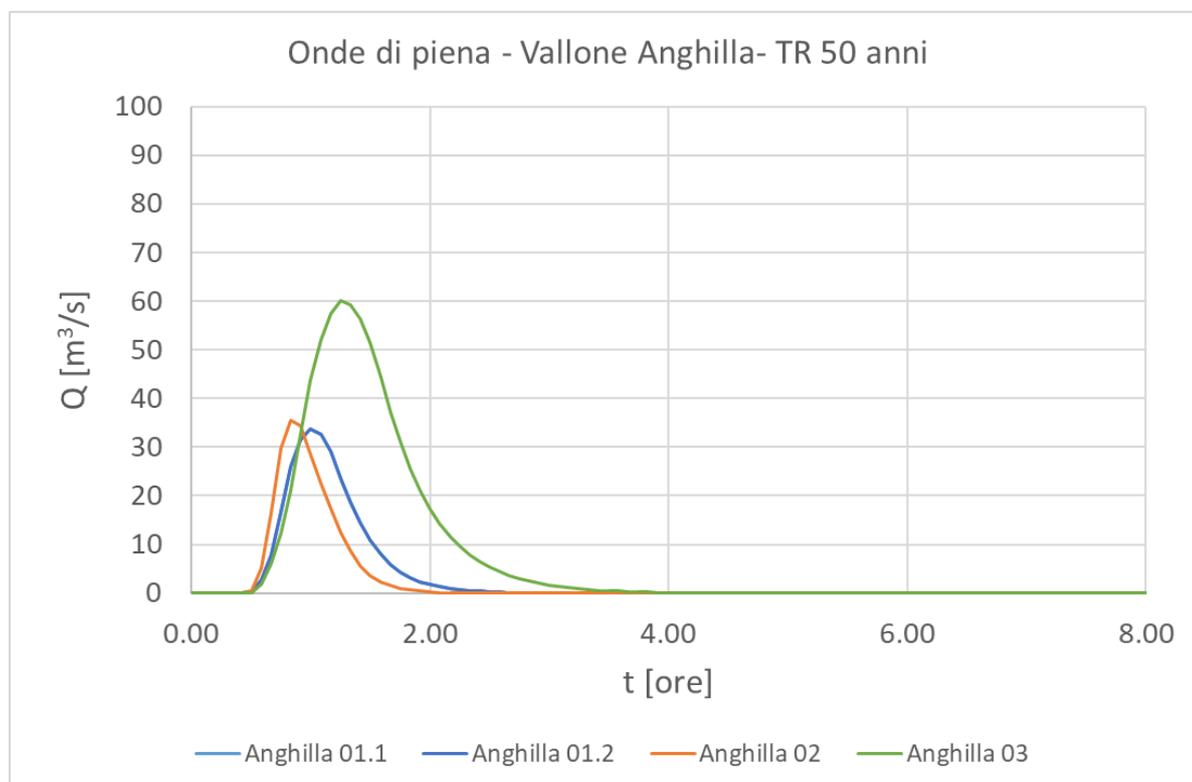


Figura 2: Onde di piena Vallone Anghilla – TR 50 anni

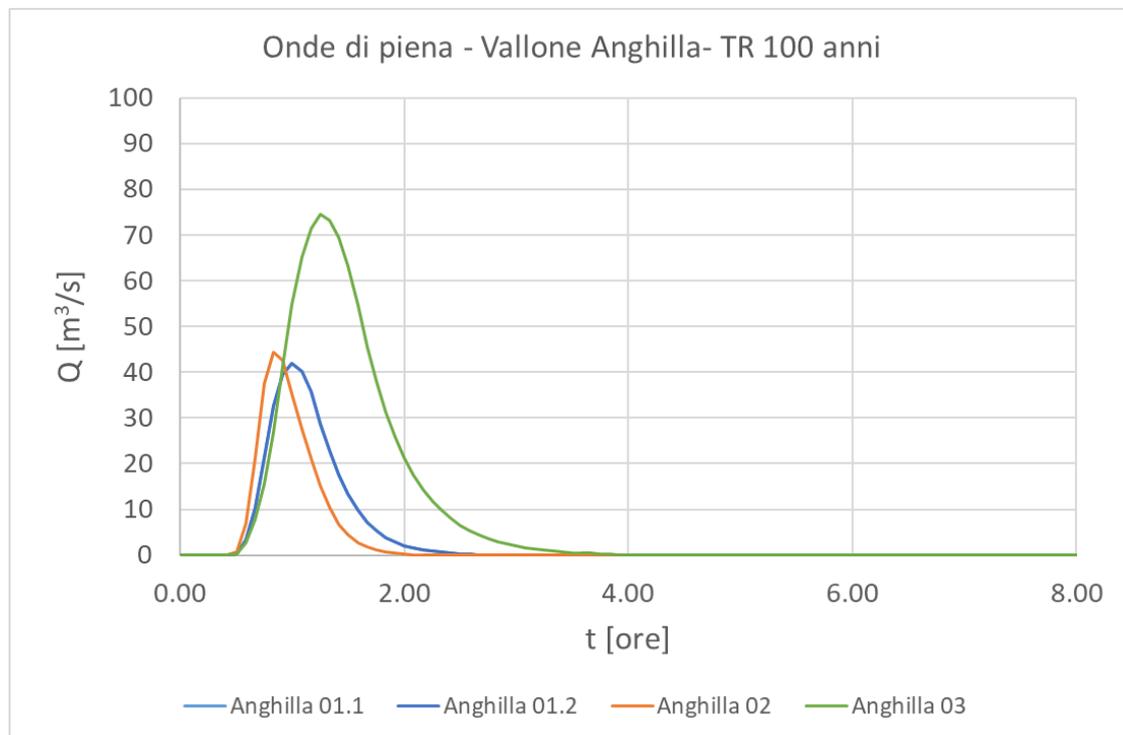


Figura 3: Onde di piena Vallone Anghilla – TR 100 anni

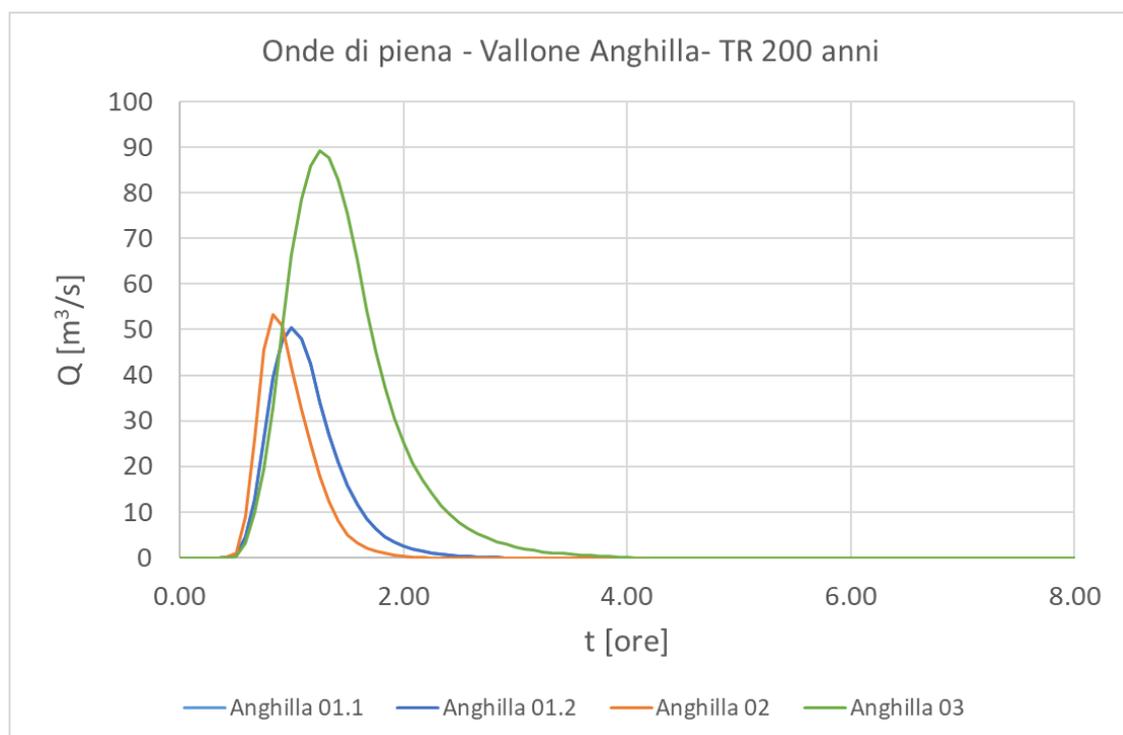


Figura 4: Onde di piena Vallone Anghilla – TR 200 anni

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

In Figura 5 è riportato il tratto di Fiume Imera Meridionale oggetto di studio, assieme alla sezione di immissione delle portate. A seguire l' idrogrammi di piena calcolato per i tempi di ritorno di riferimento (Figura 6, Figura 7 e Figura 8).

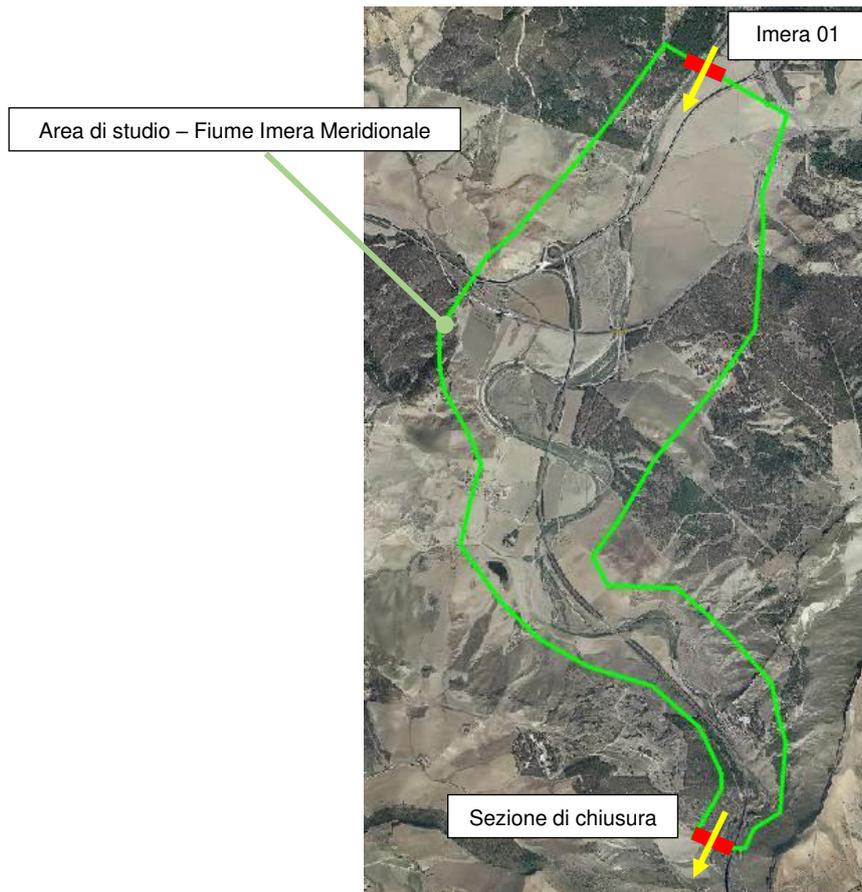


Figura 5: Sezioni di input delle portate, Fiume Imera

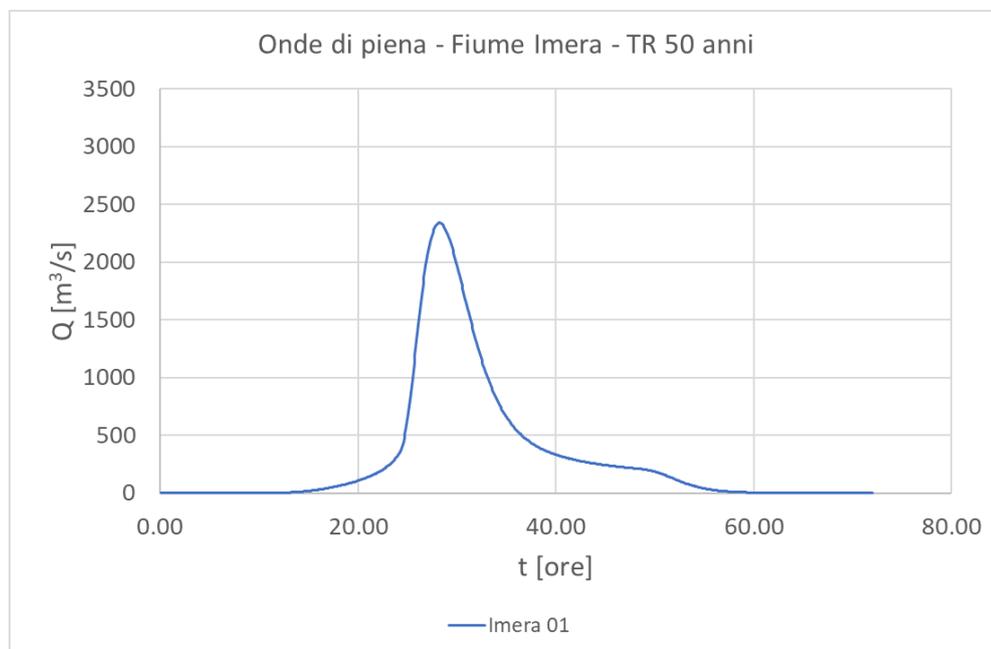


Figura 6: Onda di piena Fiume Imera – TR 50 anni

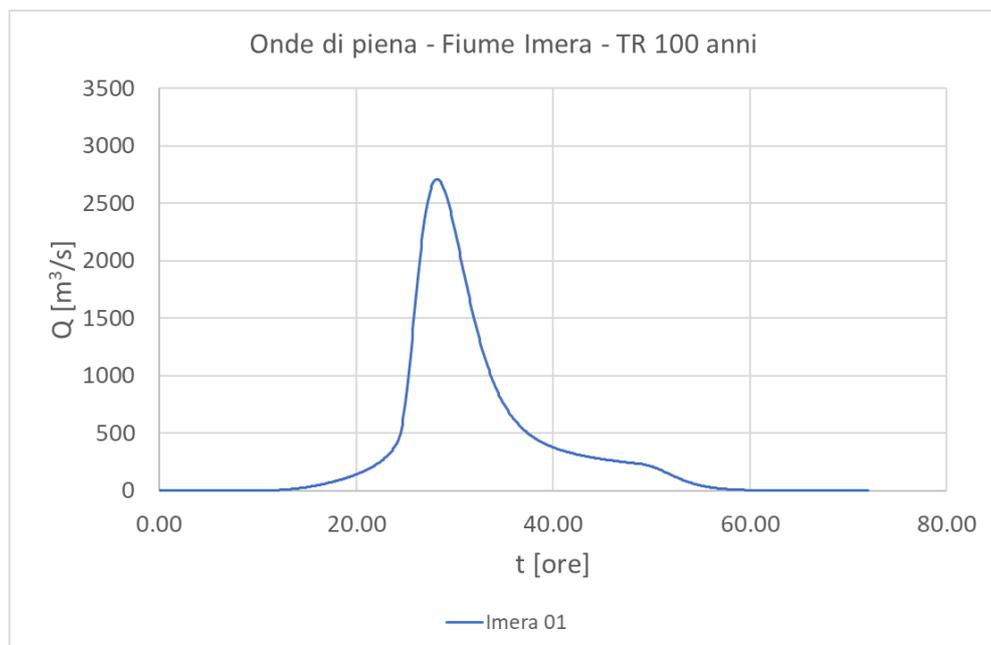


Figura 7: Onda di piena Fiume Imera – TR 100 anni

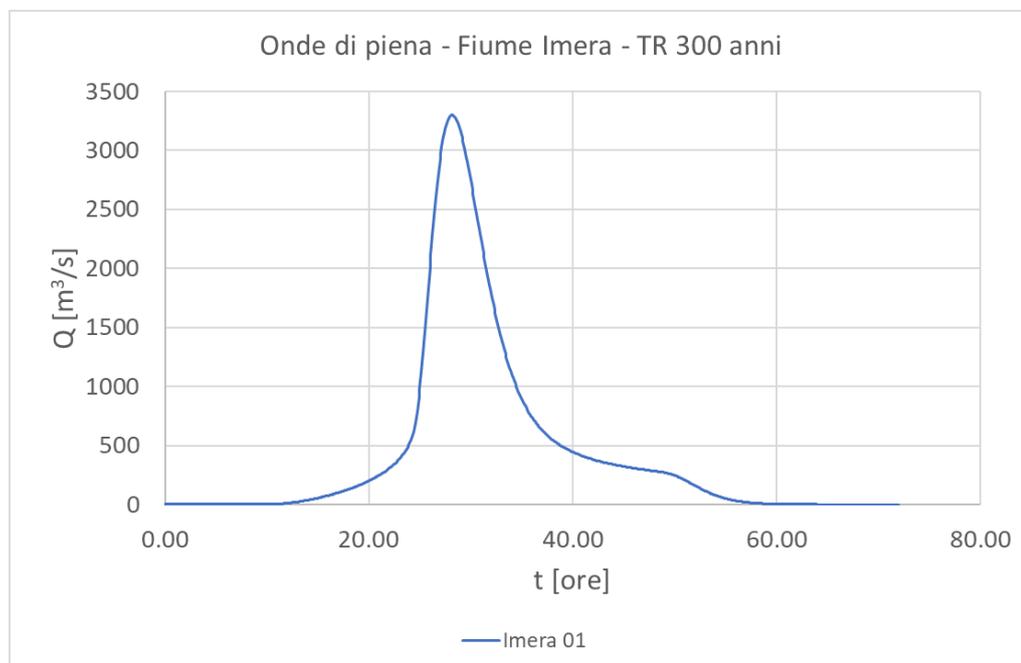


Figura 8: Onda di piena Fiume Imera – TR 300 anni

In Figura 9 è riportato il tratto di Torrente Morello oggetto di approfondimento, assieme alla sezione di immissione delle portate. A seguire l' idrogramma di piena calcolati per i tempi di ritorno di riferimento (Figura 10, Figura 11 e Figura 12).

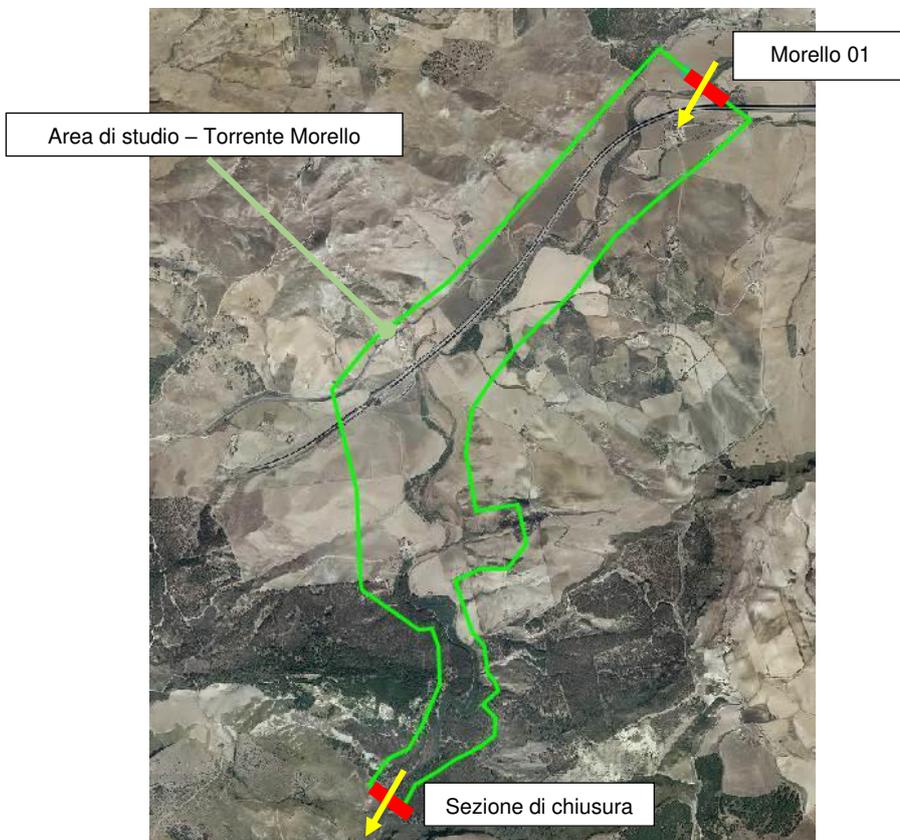


Figura 9: Sezioni di input delle portate, Torrente Morello

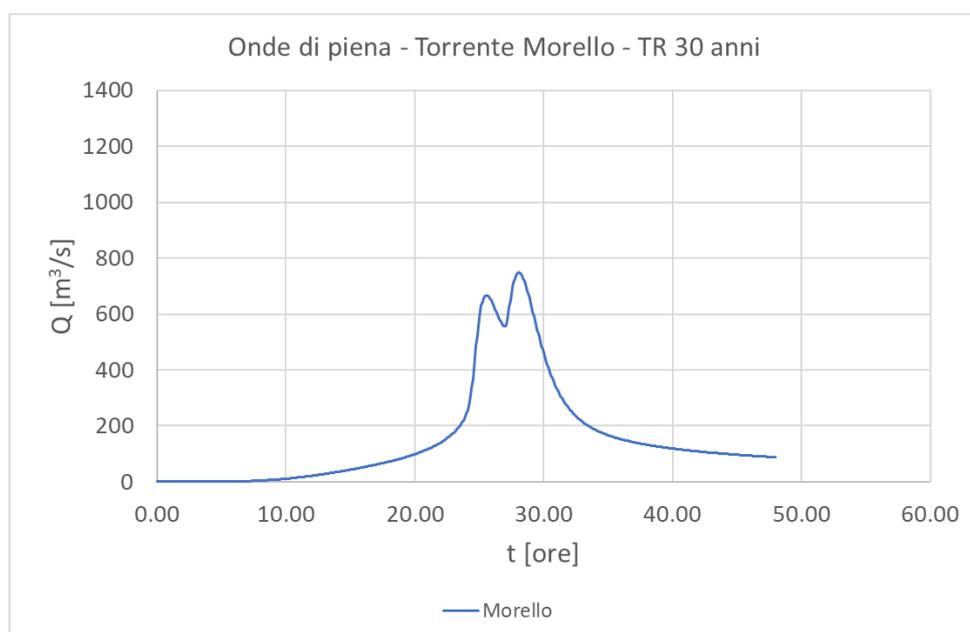


Figura 10: Onda di piena Torrente Morello – TR 30 anni

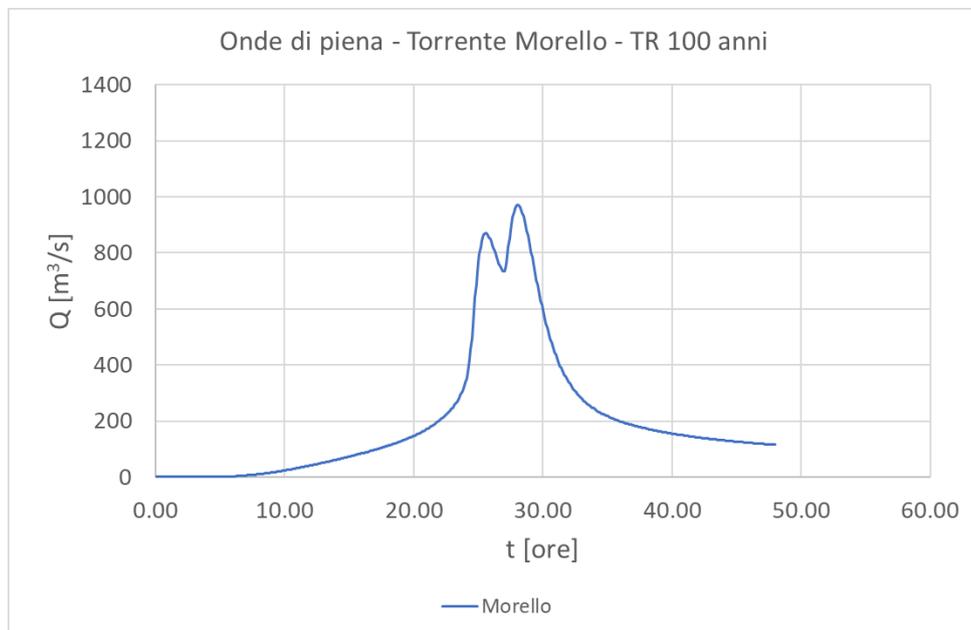


Figura 11: Onda di piena Torrente Morello – TR 100 anni

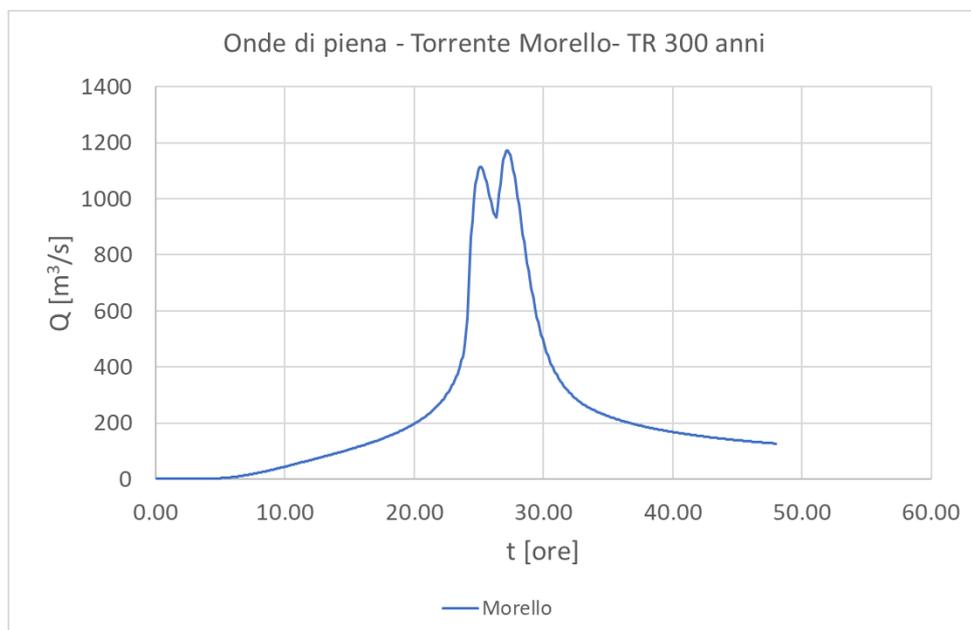


Figura 12: Onda di piena Torrente Morello – TR 300 anni

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3U	40 D 09	RH	ID0000 001	D	17 di 71

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 duecentennale o trecentennale.

<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>
VI05	Vallone Anghilla	200	107
VI06	Fiume Imera Meridionale	300	3300
VI07	Torrente Morello	300	1173
NV97	Torrente Morello	300	1173

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

### 3.1 Portate di cantiere

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 200 o 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.

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.

Secondo una stima di massima, il tempo necessario alla realizzazione di un singolo viadotto, 12 mesi. Poiché lo scenario provvisorio di cantiere 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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

calcolo delle portate massime. La probabilità di non superamento di queste portate dovrà tenere in considerazione l'orizzonte temporale ridotto rispetto a quello 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.

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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

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 provvisoria,  $T_{R,eq}$  è il tempo di ritorno equivalente, associato a  $M < N$ .

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 Vallone Anghilla, al Fiume Imera Meridionale e al Torrente Morello. 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.

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

## 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

$q_i$  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

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

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

#### 4.3.1 Vallone Anghilla

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 1.6 km<sup>2</sup>. All'interno del dominio di calcolo il Vallone Anghilla si sviluppa per una lunghezza di circa 4 km.

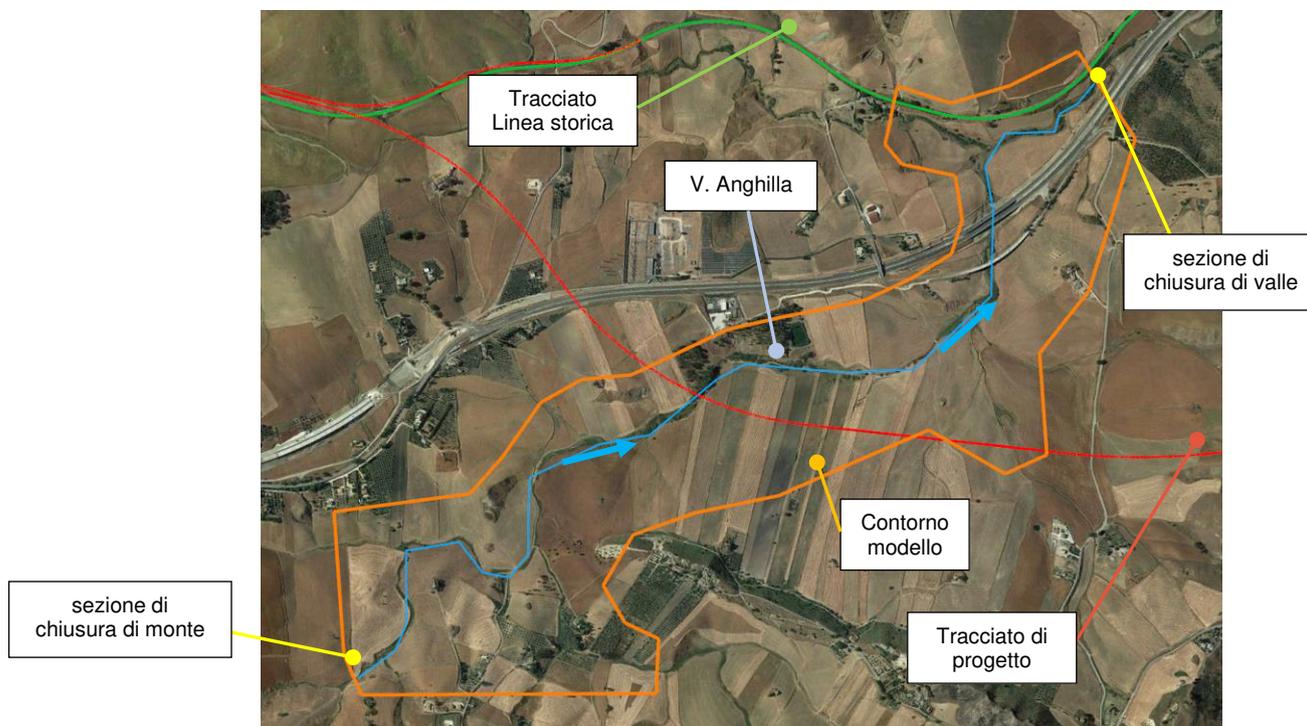


Figura 13: Estensione del dominio di calcolo, Vallone Anghilla

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

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

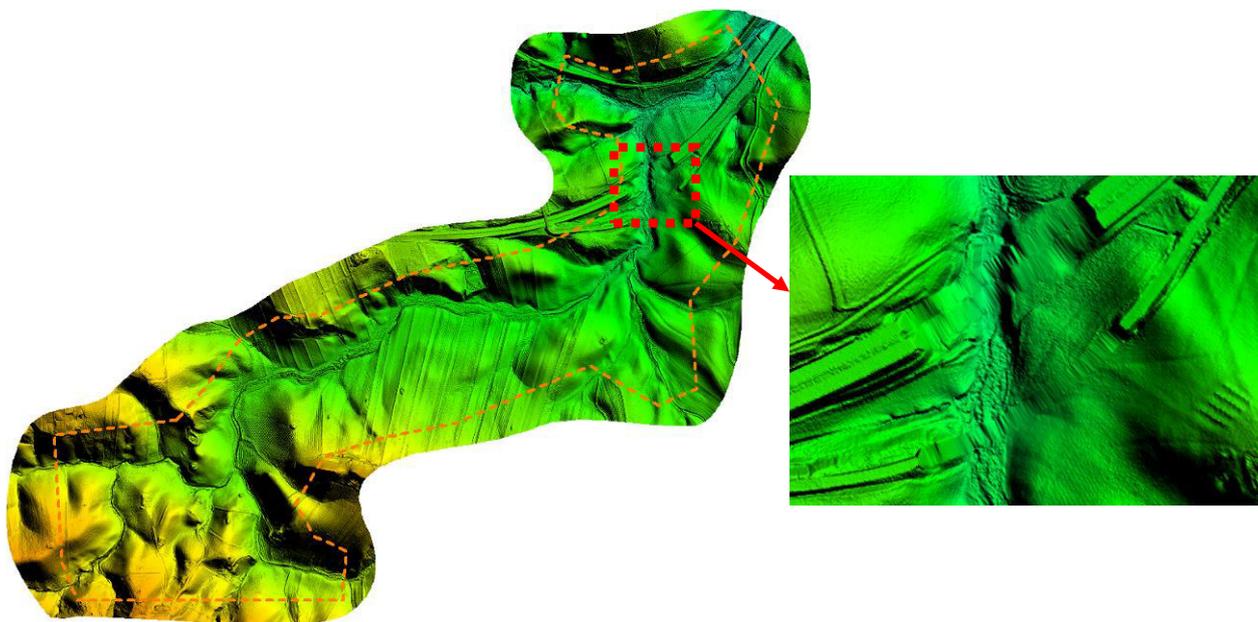


Figura 14: DTM di riferimento, Vallone Anghilla

La mesh di calcolo, rappresentata in Figura 15, è costituita da circa 251'500 elementi. La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 60 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 CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

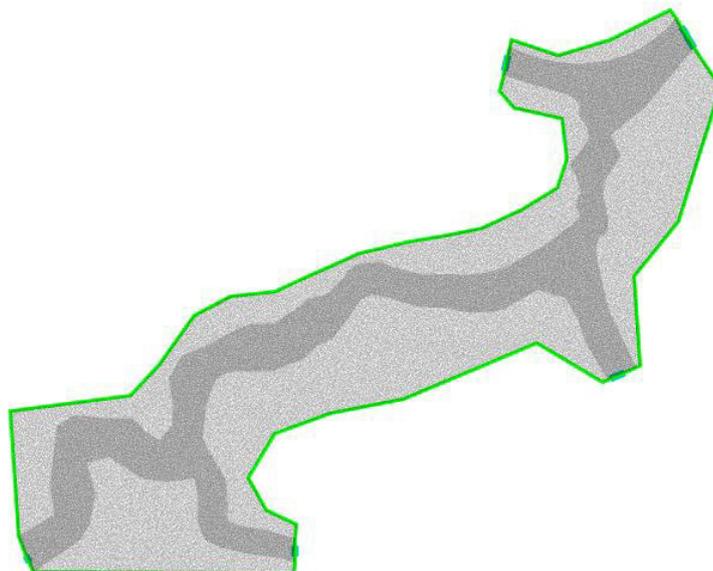


Figura 15: Mesh di calcolo, Vallone Anghilla

Per il Vallone 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.

#### 4.3.2 Fiume Imera Meridionale

In Figura 16 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 5.5 km<sup>2</sup>. All'interno del dominio di calcolo il Fiume Imera si sviluppa, in modo sinuoso, per una lunghezza di circa 8 km.

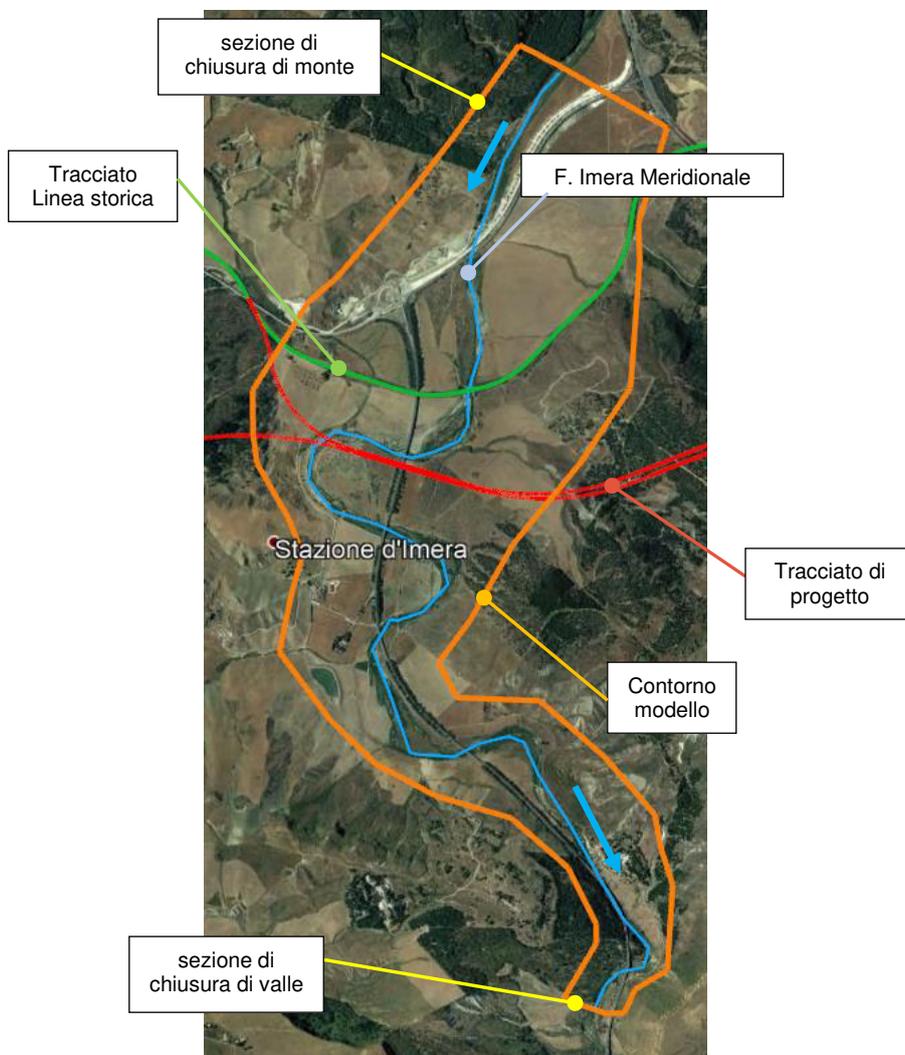


Figura 16: Estensione del dominio di calcolo, Fiume Imera Meridionale

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 17). 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 17 è evidenziato un ingrandimento di una porzione del DTM in cui è possibile apprezzare il livello di dettaglio molto elevato.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDRAULICA MAGGIORE					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

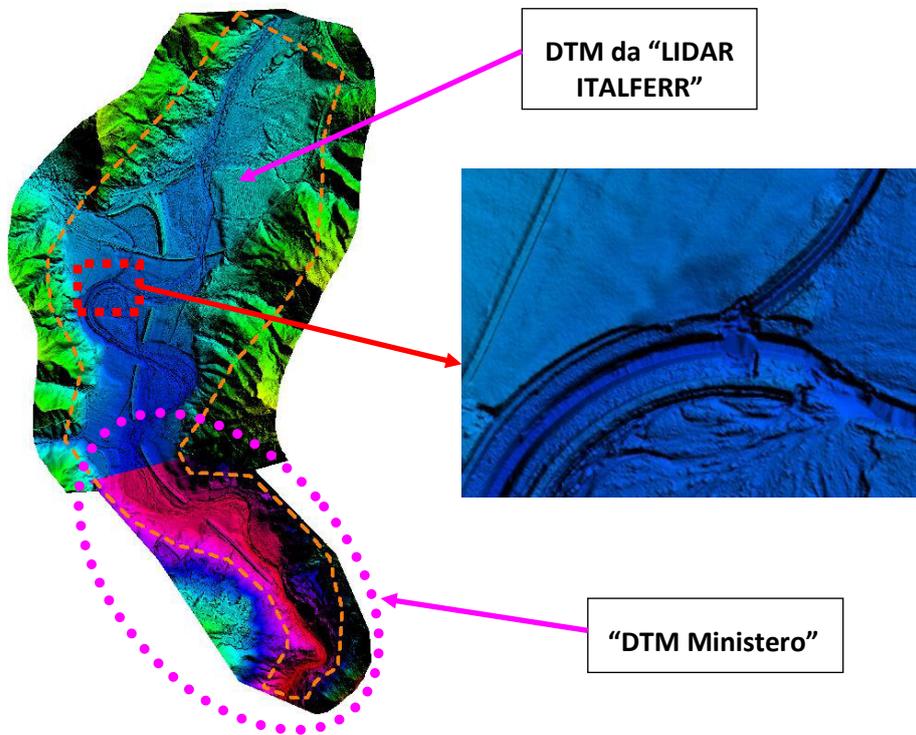


Figura 17: DTM di riferimento, Fiume Imera

La mesh di calcolo, rappresentata in Figura 18, è costituita da circa 565'000 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>.

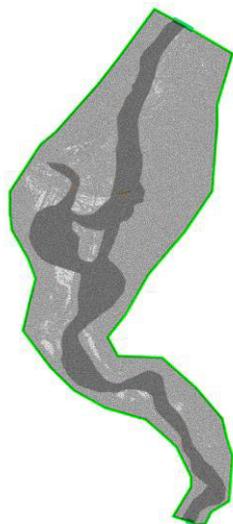


Figura 18: Mesh di calcolo, Fiume Imera

Per il Fiume Imera Meridionale 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.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDRAULICA MAGGIORE					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

### 4.3.3 Torrente Morello

In Figura 19 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 3.8 km<sup>2</sup>. All'interno del dominio di calcolo il Torrente Morello si sviluppa per una lunghezza di circa 8 km.

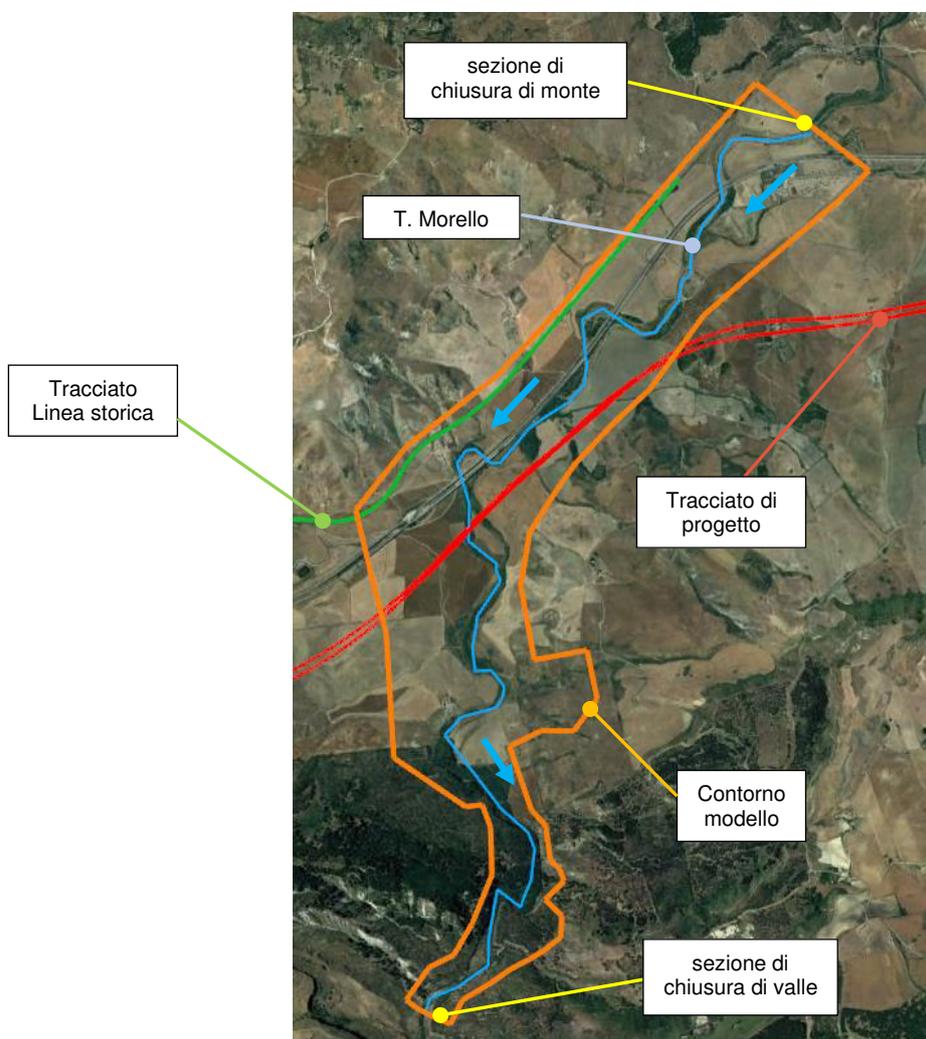


Figura 19: Estensione del dominio di calcolo, Torrente Morello

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 20). Alcune porzioni del

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

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

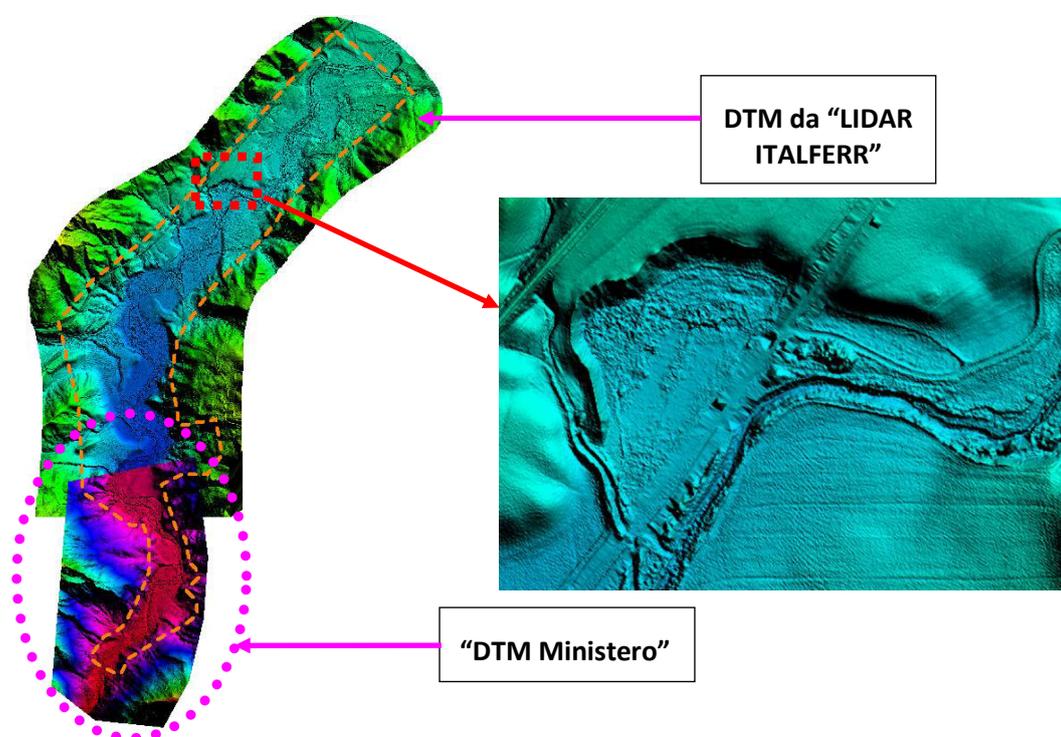


Figura 20: DTM di riferimento, Torrente Morello

La mesh di calcolo, rappresentata in Figura 21, è costituita da circa 498'200 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 3-4 m<sup>2</sup>.

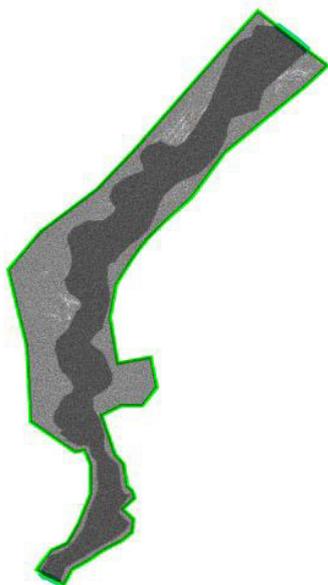


Figura 21: Mesh di calcolo, Torrente Morello

Per il Torrente Morello 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.

#### 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>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

## 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. In linea con le prescrizioni manuale di progettazione ITALFERR, per il Vallone Anghilla è stato adottato come tempo di ritorno massimo quello di 200 anni, visto che, alla sezione di chiusura presa in esame, il bacino imbrifero sotteso ha una superficie inferiore a 10 km<sup>2</sup>.

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 3: 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 200 o 300 anni. Per una descrizione più completa e di maggior dettaglio si rimanda agli elaborati grafici annessi.

### 5.2.1 Vallone Anghilla

Come mostrato dalle simulazioni numeriche sviluppate per il Vallone Anghilla, non appaiono interferenze tra la linea ferroviaria esistente e il corso d'acqua (Figura 22).

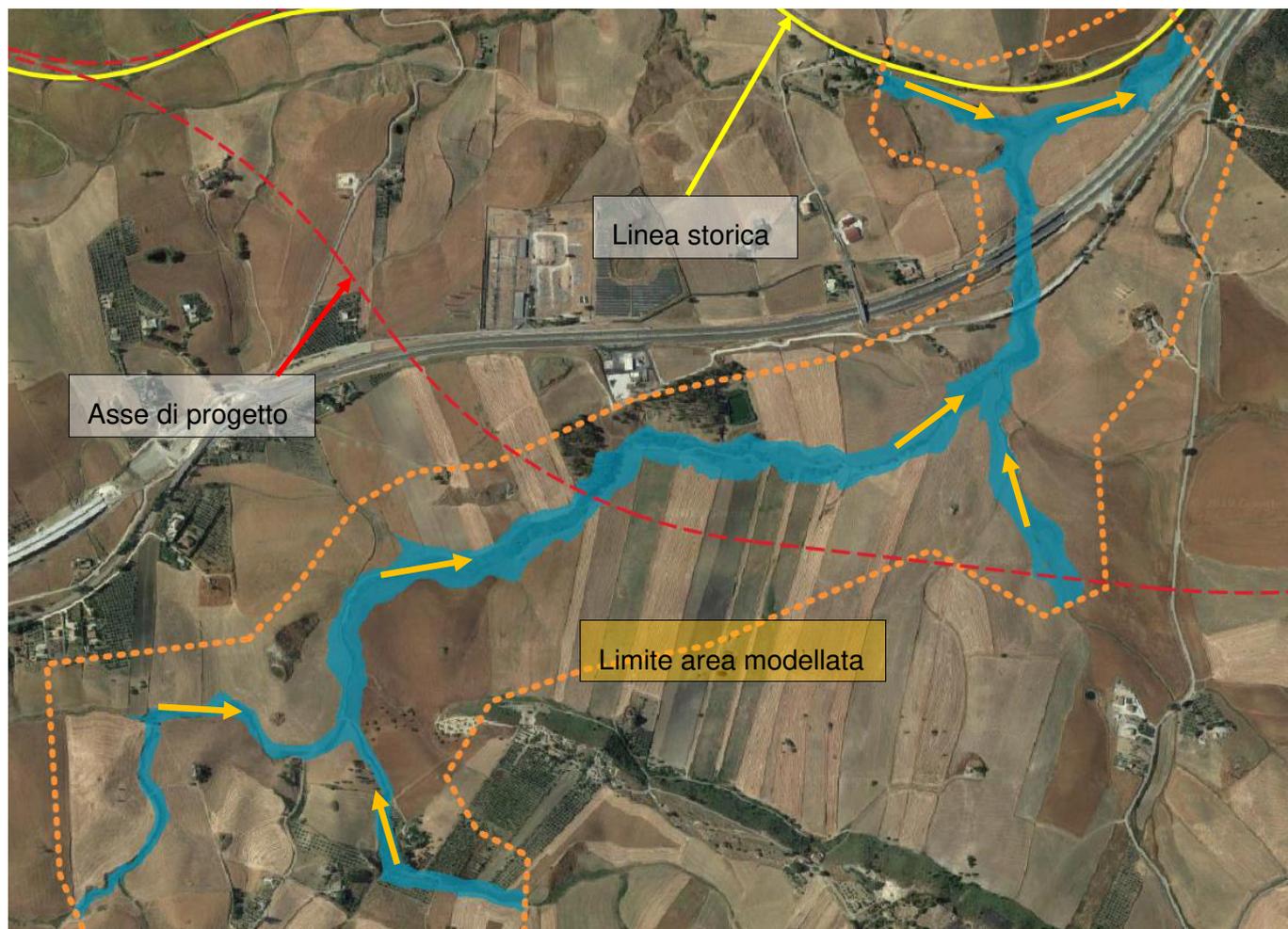


Figura 22: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Vallone Anghilla, 2+900 – 3+500

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

### 5.2.2 Fiume Imera Meridionale

All'interno dell'area di interesse, delimitata dal dominio di calcolo, la linea ferroviaria storica percorre trasversalmente la valle fluviale del Fiume Imera Meridionale (Figura 23). Lungo l'asse ferroviario è collocato un ponte, che costituisce l'unico manufatto idraulicamente trasparente del tratto di linea storica qui analizzato. Le caratteristiche geometriche dell'opera di attraversamento non consentono alle portate di piena di transitare senza indurre, a monte del ponte ferroviario, importati innalzamenti della superficie idrica. Flussi che si definiscono in condizioni di piena sono tali da provocare il sormonto del rilevato ferroviario esistente.

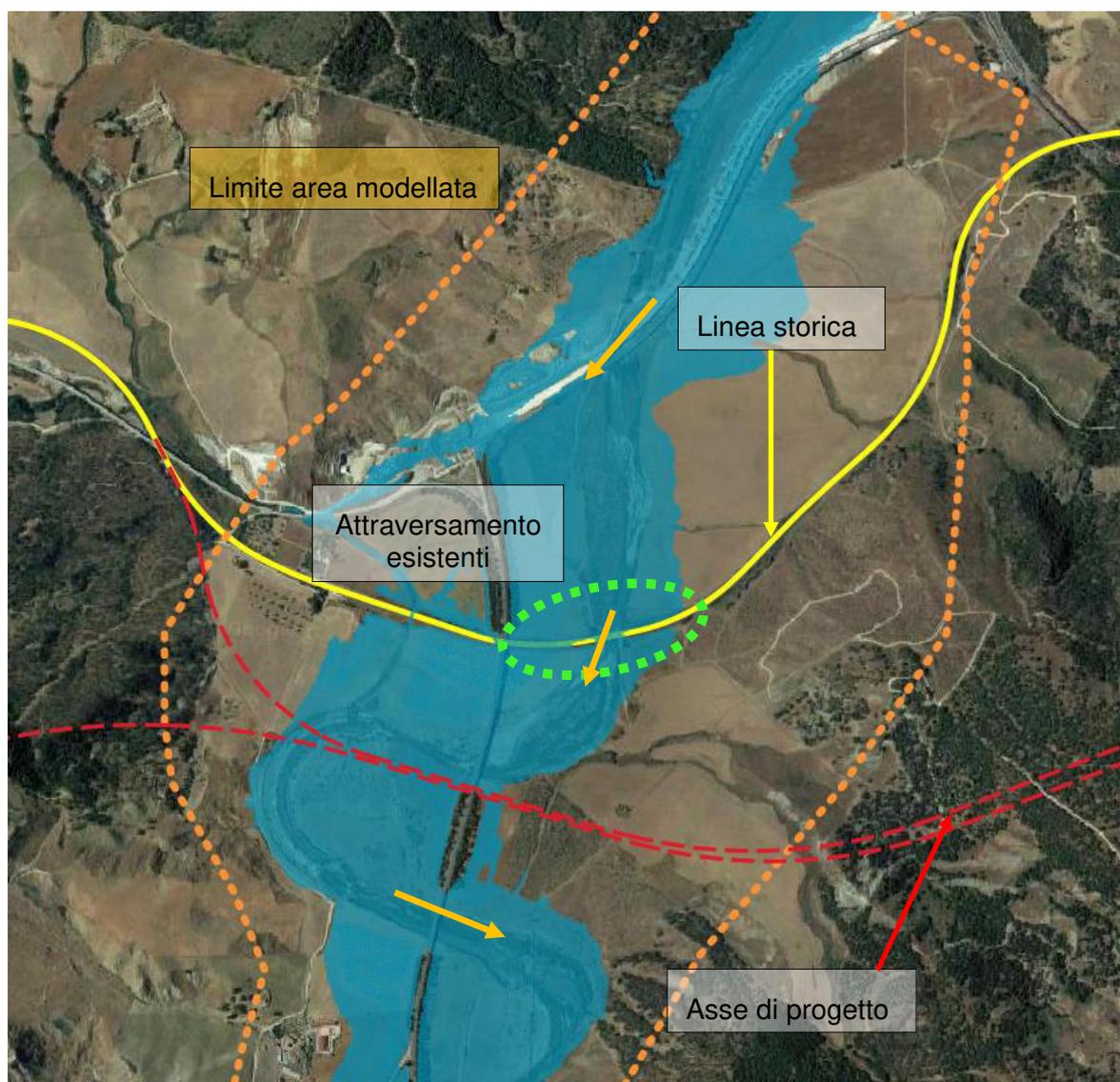


Figura 23: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Fiume Imera Meridionale, 6+550-7+550

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A) IDRAULICA MAGGIORE					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

### 5.2.3 Torrente Morello

Le simulazioni numeriche non evidenziano interferenze di rilievo tra la linea ferroviaria esistente ed il Torrente Morello (Figura 24).

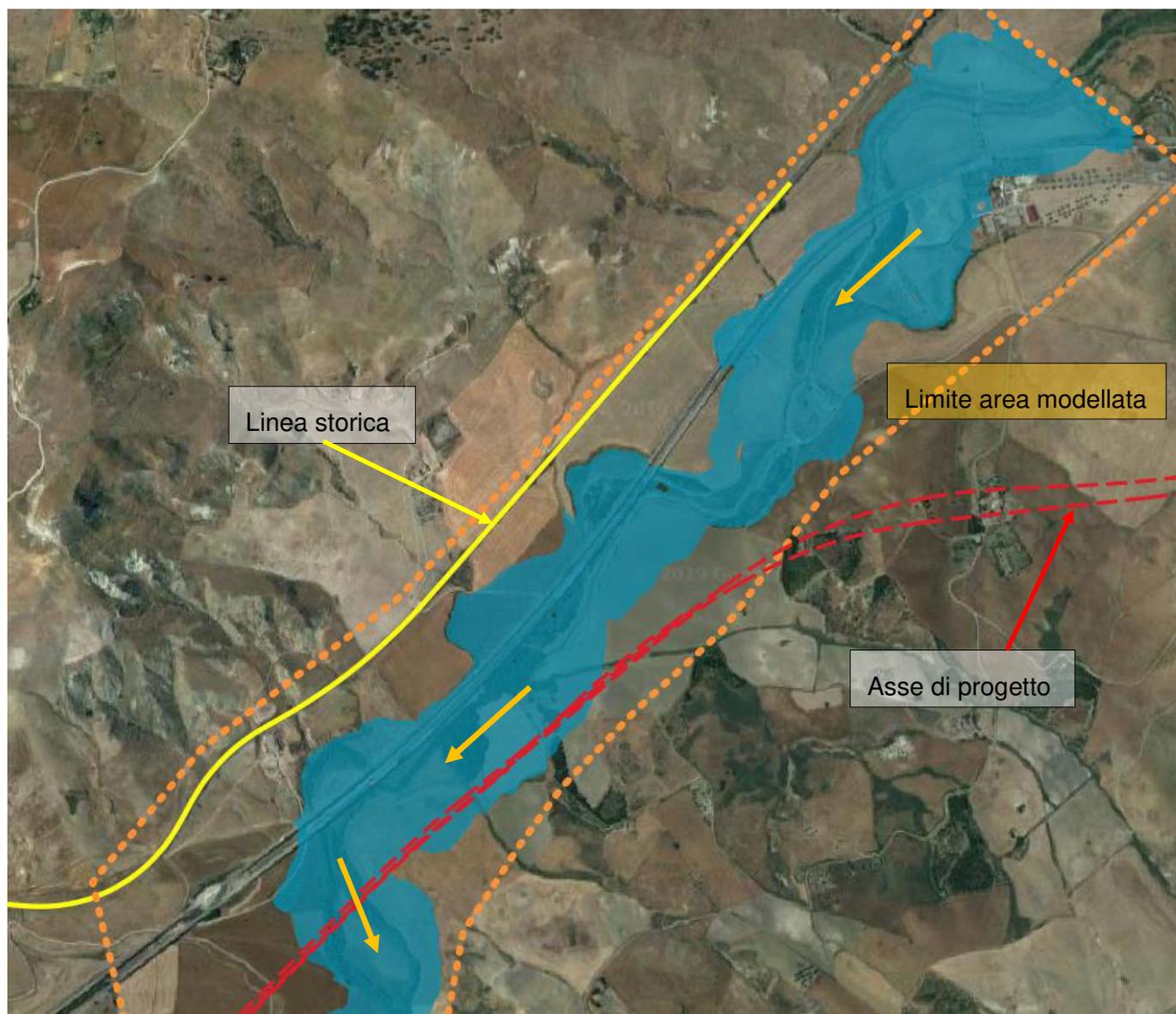


Figura 24: Planimetria aree allagate, scenario stato di fatto, Torrente Morello , 11+700 – 13+400

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

### 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 (o 200 anni).

#### 5.3.1 Viadotto VI05 – Vallone Anghilla

È stata analizzata l'interferenza tra l'asse ferroviario di progetto ed il Vallone Anghilla, valutando le alterazioni del campo di velocità e del pelo libero della corrente. Dalla sovrapposizione delle aree allagabili con le impronte planimetriche delle pile del viadotto si osserva come solo una pila sia completamente immersa nell'alveo ed una seconda pila sia solo lambita lateralmente dalla corrente (Figura 25).

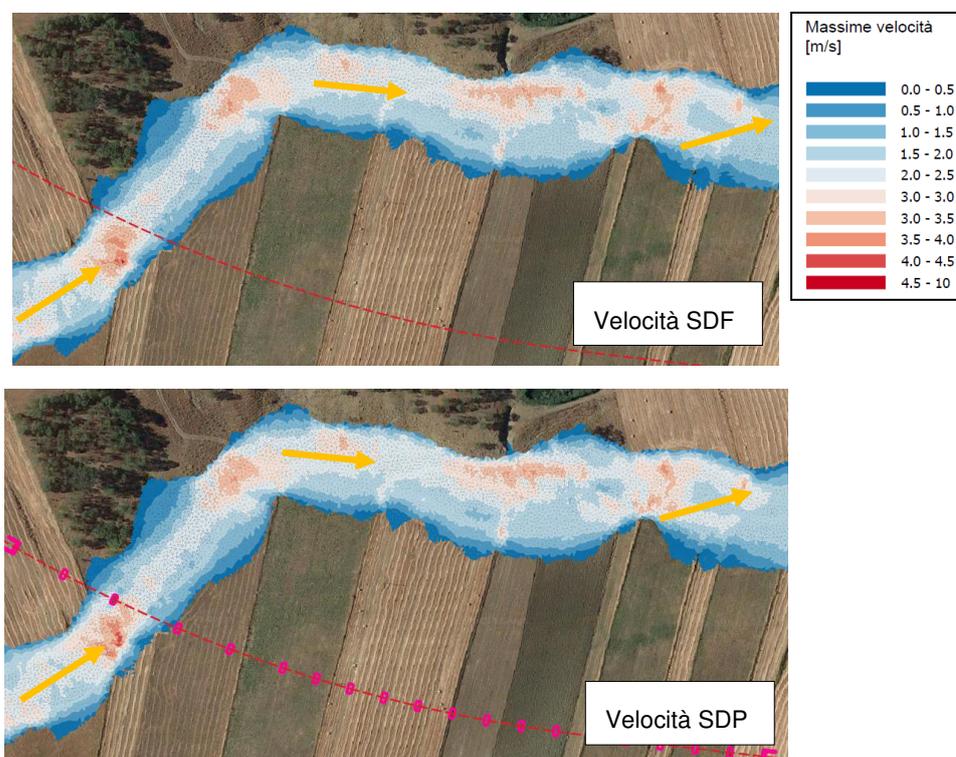


Figura 25: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 200 anni – VI05

La presenza delle pile in alveo altera localmente il campo di velocità senza provocare variazioni globali di interesse, i livelli idrici della sezione a monte del viadotto appaiono leggermente superiori nella configurazione di progetto rispetto a quella attuale (Figura 25 e Figura 26).

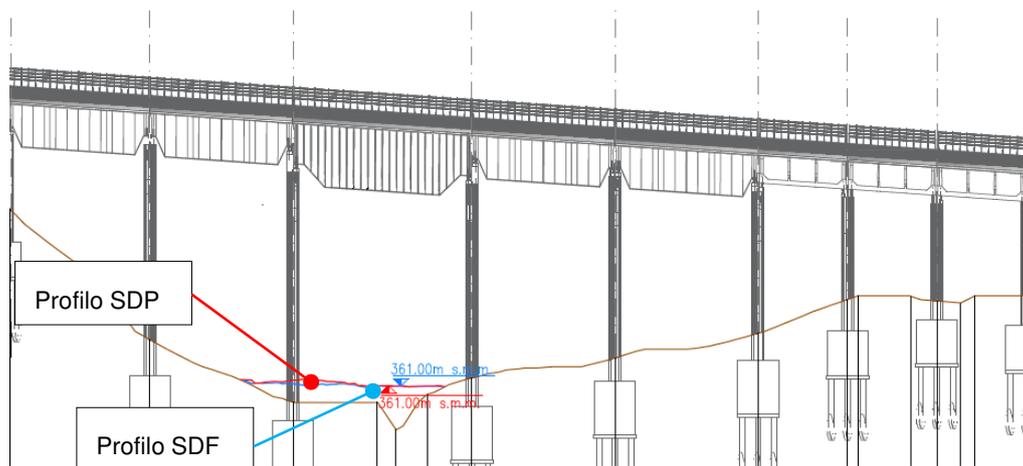


Figura 26: Profilo altimetrico viadotto VI05, livelli idrici TR 200 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa)

### 5.3.2 Viadotto VI06 – Fiume Imera Meridionale

È stato analizzato attraverso la modellazione numerica l'effetto indotto dalla presenza delle pile in alveo realizzate a sostegno l'attraversamento fluviale del Fiume Imera Meridionale. Le pile del viadotto VI06 interferiscono con la corrente, infatti il campo di velocità risulta localmente perturbato, ma sostanzialmente inalterato in termini medi (Figura 28).

I livelli idrici nella sezione a monte dell'attraversamento non subiscono sensibili variazioni tra la configurazione attuale e quella di progetto.

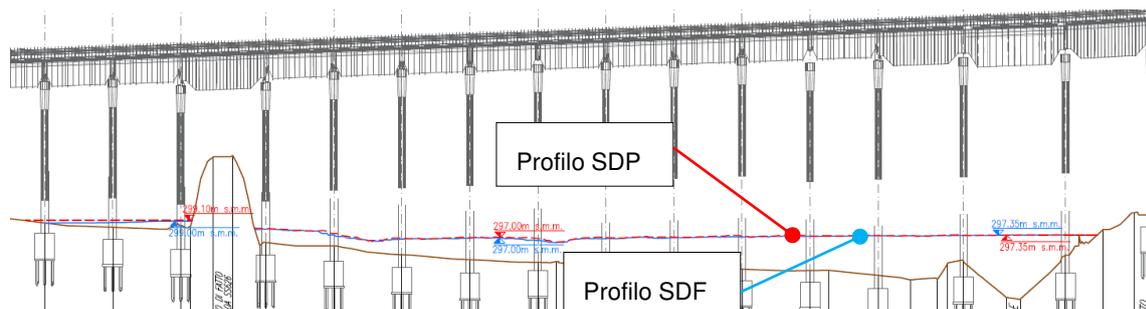


Figura 27: Profilo altimetrico viadotto VI06, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa)

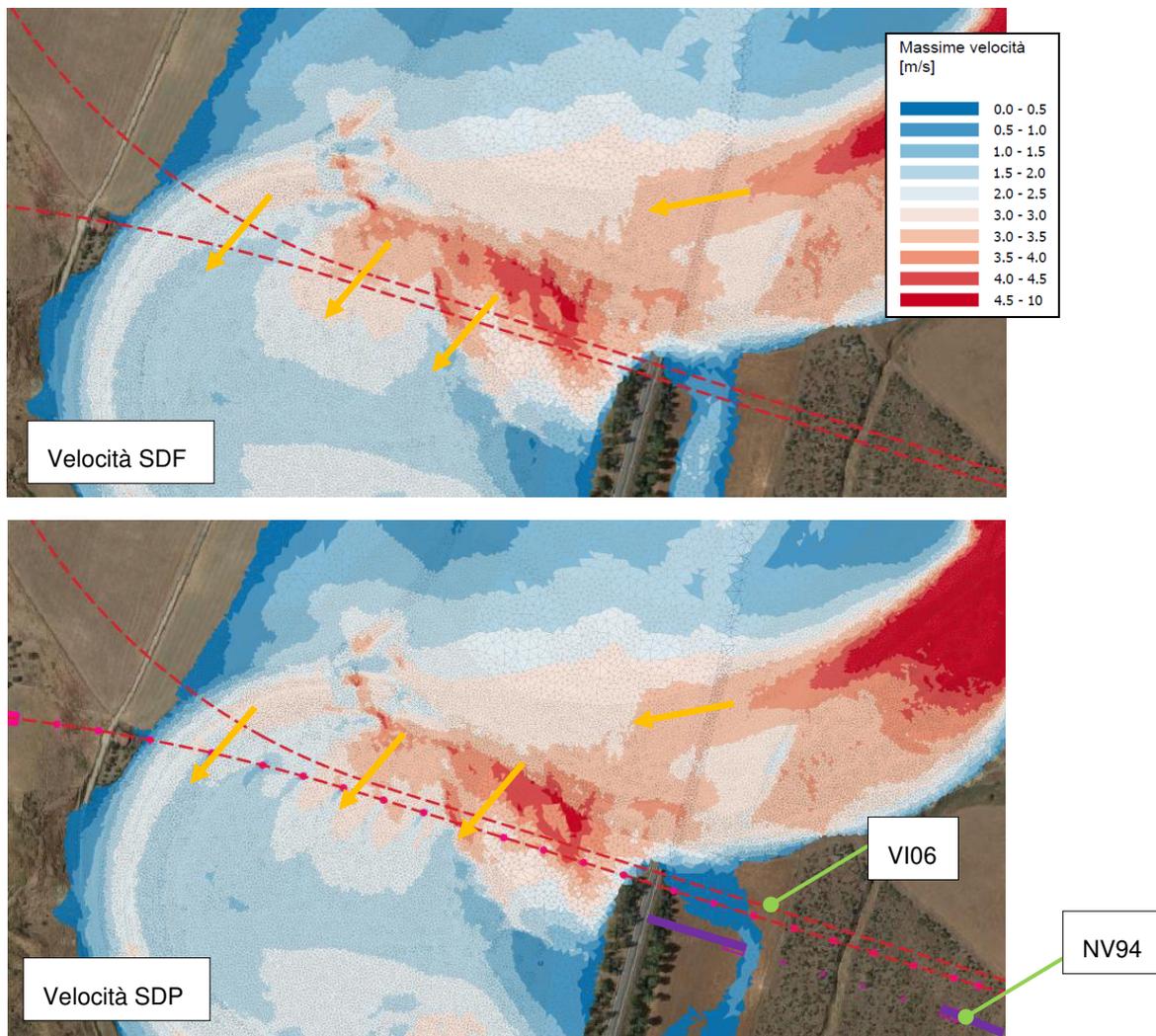


Figura 28: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 200 anni – VI06

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

### 5.3.3 Viadotto VI07 – Torrente Morello

Quasi ortogonalmente all'alvo di magra del Torrente Morello è prevista la realizzazione del viadotto ferroviario VI07. Sono state condotte simulazioni sia per lo stato di fatto che di progetto, mostrando come l'opera di attraversamento non alteri globalmente il campo di velocità del corso d'acqua in condizioni di piena (Figura 29). Non si osservano variazioni di rilievo dei livelli idrici a monte dell'opera di attraversamento (Figura 30).

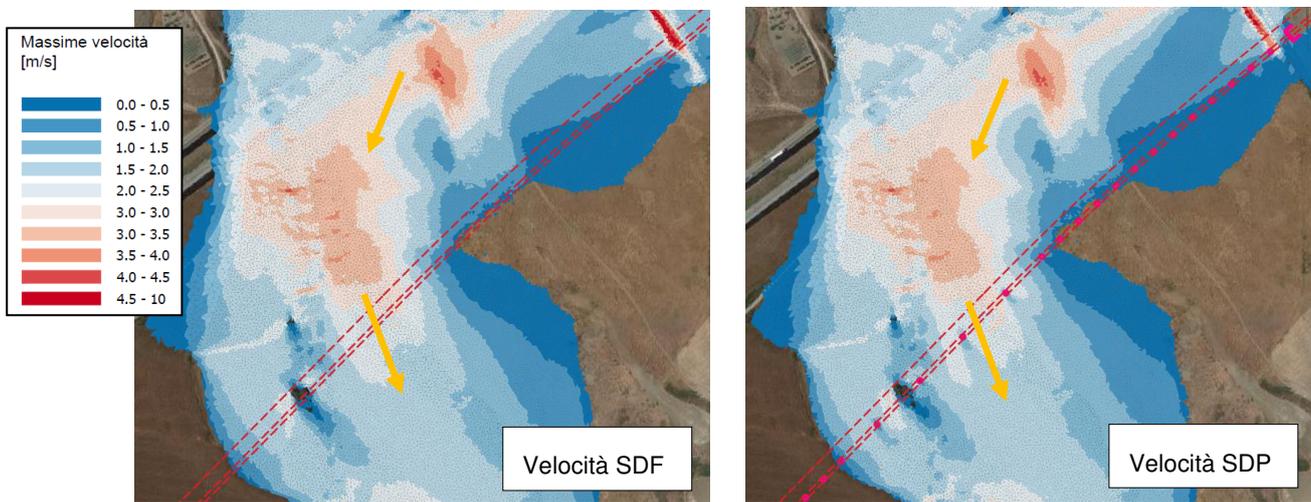


Figura 29: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – VI07

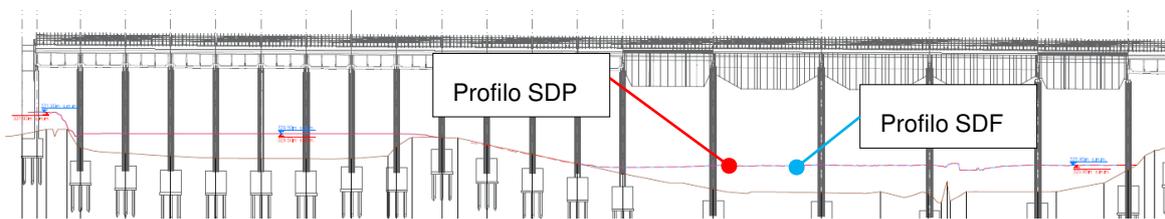


Figura 30: Profilo altimetrico viadotto VI07, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa)

### 5.3.4 Viadotto NV97 – Torrente Morello

Il viadotto della nuova viabilità, denominata NV97, è stato progettato lungo il corso del Torrente Morello. Dal confronto dei risultati delle simulazioni allo stato di fatto e allo stato di progetto non si evidenziano variazioni significative del campo di velocità (Figura 31). Allo stesso modo, l'inserimento dell'opera non provoca sostanziali innalzamenti del livello idrico, a meno di locali perturbazioni nell'intorno delle pile (Figura 32).

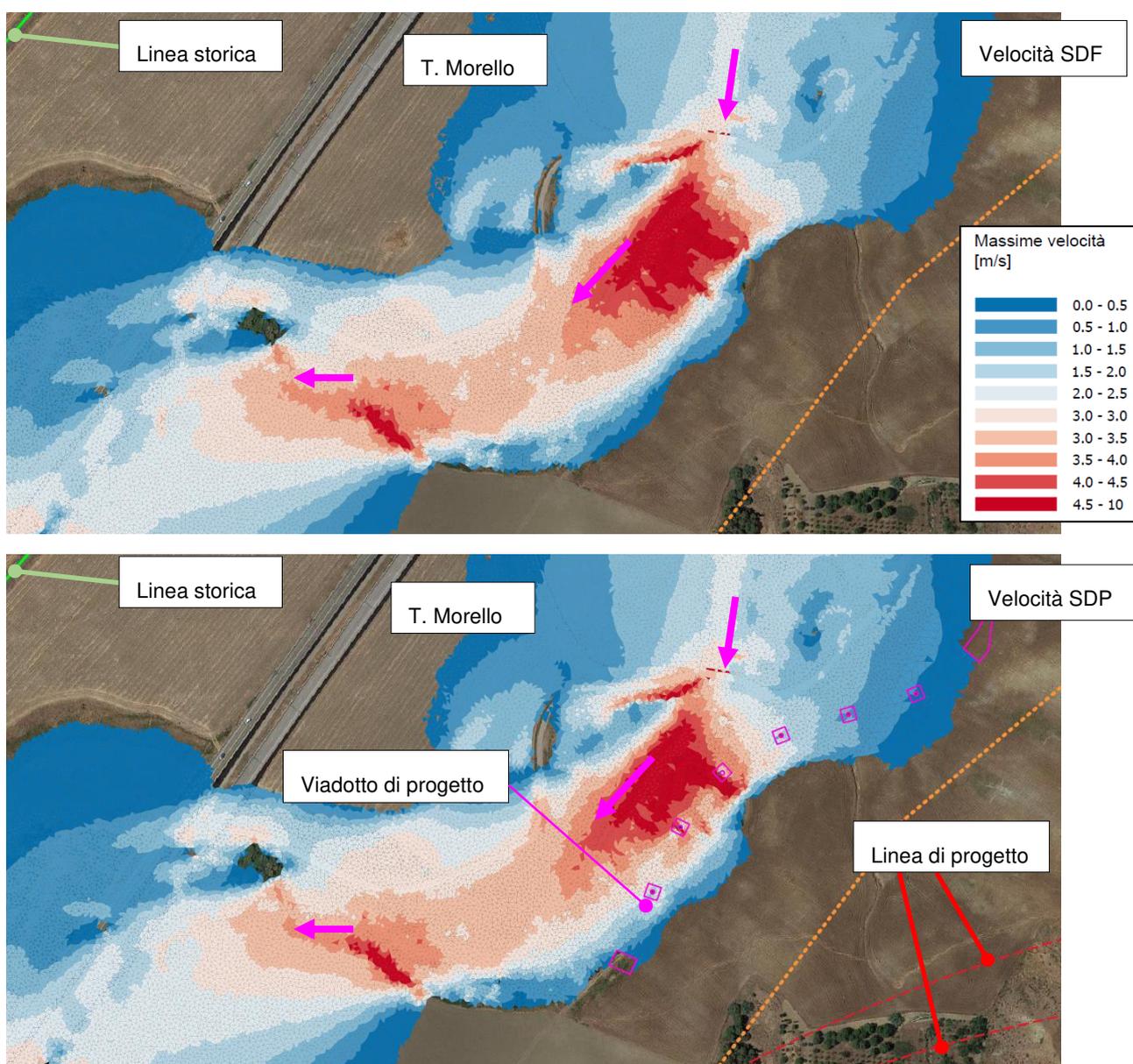


Figura 31: Confronto fra i campi di velocità, scenario stato di fatto e di progetto – TR 300 anni – NV97

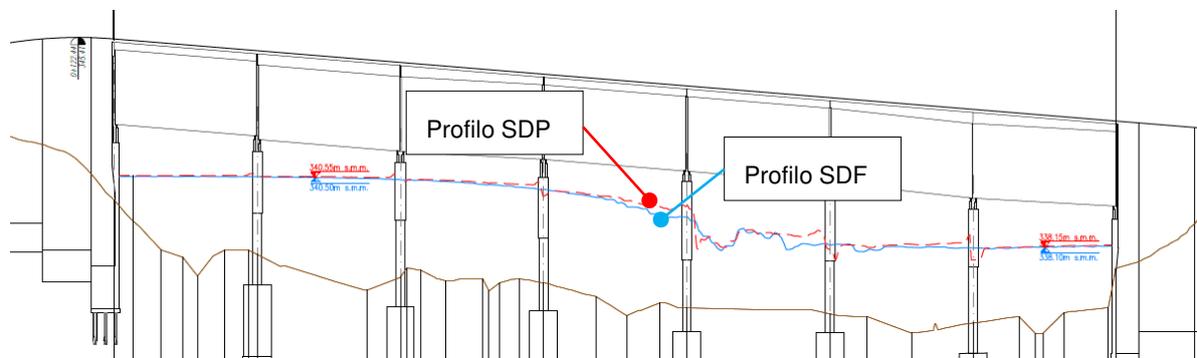


Figura 32: Profilo altimetrico viadotto NV97, livelli idrici TR 300 anni, stato di fatto (linea azzurra) e stato di progetto (linea rossa)

## 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  $Tr$ :

...omississ...

c) Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

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

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

deviazioni stradali  $Tr=200$  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;

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3U	40 D 09	RH	ID0000 001	D	41 di 71

– *posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in gola 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.”*

### **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.*

[...]

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

## 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 Italferr e dell'“Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” “.

Opera - wbs	TR [anni]	Qmax [m <sup>3</sup> /s]	Posizione	Livello idrico max [m smm]	Intradosso [m smm]	Franco minimo [m]
VI05	200	107	3+049	361.00	371.70	10.70
VI06	300	3300	7+210	299.10	314.66	15.56
VI07	300	1173	12+530	331.90	336.92	5.02

Tabella 4: Viadotti lotto 4a, 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]
VI05	200	107	3+049	361.33	371.70	10.37
VI06	300	3300	7+210	299.10	314.66	15.56
VI07	300	1173	12+530	332.03	336.92	4.89

Tabella 5: Viadotti lotto 4a, verifica del franco sul livello energetico

## 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.

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

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:

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

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

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 6: Coefficiente correttivo  $K_1$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

Configurazione fondo alveo	Altezza dune (m)	K <sub>3</sub>
Clear – water	-	1.10
Piatto	-	1.10
Piccole dune	0.60 ≤ H < 3.00	1.10
Dune medie	3.00 ≤ H < 9.00	1.10 ÷ 1.20
Dune grandi	H ≥ 9.00	1.30

Tabella 7: Coefficiente correttivo K<sub>3</sub>

Il coefficiente K<sub>2</sub> 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 θ angolo di attacco della corrente.

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

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

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

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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

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,  $V_c$  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,  $d_{50}$  è il diametro medio dei sedimenti.

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

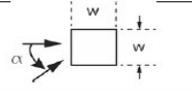
Structure Shape (Plan View)	Shape Coefficient, $K_s$
General Constraints $10.0 \geq \left( \frac{w}{L} \right) \geq 0.1$ ; $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$	If $\left( \frac{w}{L} \right) < 0.1$ set $\left( \frac{w}{L} \right) = 0.1$ ; If $\left( \frac{w}{L} \right) > 10.0$ set $\left( \frac{w}{L} \right)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

Tabella 8: Coefficiente correttivo  $K_s$

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

### 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.

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

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

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

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,  $\nu$  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 33.

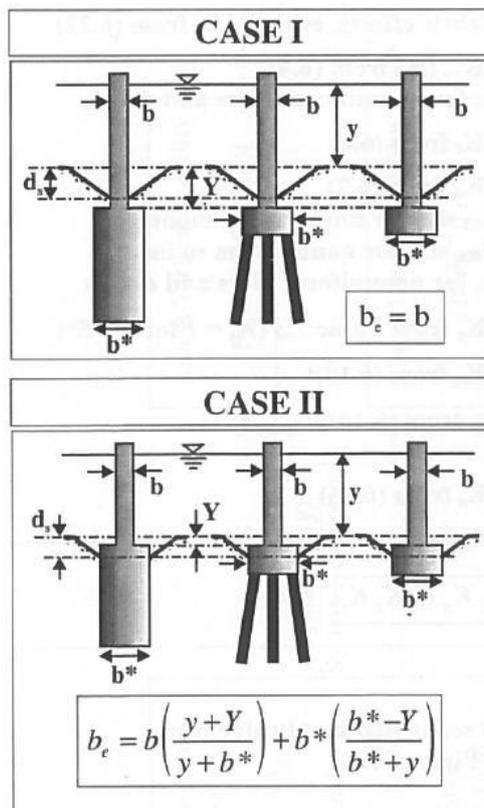


Figura 33: Calcolo della larghezza equivalente, Melville e Raudkivi (1996)

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:

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

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3U	40 D 09	RH	ID0000 001	D	49 di 71

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

$$FR = 0.03 \div 1.95$$

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, piccoli diametri dei sedimenti, per cui "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.

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, 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 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	0.00	0.00	62	rett	3.40	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P02	1.01	3.15	7	rett	3.40	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	8.43	plinto scoperto
P03	0.20	0.51	10	rett	3.40	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	1.16	plinto non scoperto
P04	0.00	0.00	69	rett	3.40	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P05	0.00	0.00	71	rett	3.40	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P06	0.00	0.00	73	rett	3.30	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P07	0.00	0.00	74	rett	3.30	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P08	0.00	0.00	76	rett	3.30	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P09	0.00	0.00	77	rett	3.30	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P10	0.00	0.00	77	rett	3.30	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P11	0.00	0.00	80	rett	3.30	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P12	0.00	0.00	81	rett	3.30	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P13	0.00	0.00	82	rett	3.30	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P14	0.00	0.00	83	rett	3.30	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P15	0.00	0.00	83	rett	3.30	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P16	0.00	0.00	83	rett	3.30	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P17	0.00	0.00	83	rett	3.30	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo
P18	0.00	0.00	83	rett	3.30	7.00	quad	11.50	11.50	0.0085	0.00	no scavo

Tabella 9: Viadotto VI05, massima profondità di escavazione

### 6.3.5 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	0.00	0.00	8	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P02	0.00	0.00	9	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P03	2.56	1.01	31	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	5.29	plinto scoperto
P04	3.96	2.31	35	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	9.92	plinto scoperto
P05	4.28	1.84	33	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	8.53	plinto scoperto
P06	4.30	2.30	37	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	10.12	plinto scoperto
P07	3.49	3.01	31	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	11.58	plinto scoperto
P08	3.32	3.00	24	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	11.12	plinto scoperto
P09	3.63	2.75	24	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	10.58	plinto scoperto
P10	2.38	3.53	41	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	12.78	plinto scoperto
P11	2.02	3.11	41	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	11.43	plinto scoperto
P12	1.85	3.57	47	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	12.51	plinto scoperto
P13	1.43	3.64	41	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	12.17	plinto scoperto
P14	1.77	2.22	24	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	8.40	plinto scoperto
P15	1.42	0.17	23	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.48	plinto non scoperto
P16	0.60	0.92	39	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	4.23	plinto scoperto
P17	0.00	0.00	17	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P18	0.00	0.00	17	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P19	0.00	0.00	17	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P20	0.00	0.00	17	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P21	0.00	0.00	17	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P22	0.00	0.00	17	circ	4.50	4.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P23	0.00	0.00	17	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P24	0.00	0.00	17	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo
P25	0.00	0.00	17	circ	3.50	3.50	quad	11.50	11.50	0.0265	0.00	no scavo

Tabella 10: Viadotto VI06, massima profondità di escavazione

### 6.3.6 Escavazioni localizzate viadotto VI07

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	46	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P02	0.00	0.00	46	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P03	0.00	0.00	46	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P04	0.00	0.00	46	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P05	0.00	0.00	46	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P06	0.00	0.00	46	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P07	0.00	0.00	46	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	0.00	no scavo
P08	1.00	0.59	19	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	1.80	plinto non scoperto
P09	2.91	1.77	19	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	7.82	plinto scoperto
P10	3.06	2.04	2	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	6.80	plinto scoperto
P11	3.00	2.33	19	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	9.67	plinto scoperto
P12	2.46	2.53	13	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	9.29	plinto scoperto
P13	0.53	0.85	35	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	4.33	plinto scoperto
P14	0.06	0.25	33	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	0.71	plinto non scoperto
P15	0.06	0.32	7	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	0.75	plinto non scoperto
P16	0.09	0.44	12	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	1.01	plinto non scoperto
P17	0.10	0.52	0	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	1.04	plinto non scoperto
P18	2.07	0.15	62	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	0.47	plinto non scoperto
P19	2.79	0.26	28	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	0.88	plinto non scoperto
P20	2.81	0.37	10	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	2.47	plinto scoperto
P21	2.70	0.47	1	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	2.54	plinto scoperto
P22	2.58	0.54	2	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	2.81	plinto scoperto
P23	2.39	0.57	4	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	2.97	plinto scoperto
P24	2.09	0.58	21	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	3.64	plinto scoperto
P25	0.67	3.70	9	circ	4.50	4.50	rett	11.50	16.00	0.0265	9.92	plinto scoperto

Tabella 11: Viadotto VI07, massima profondità di escavazione

### 6.3.7 Escavazioni localizzate viadotto NV97

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	2.91	1.98	29	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0085	7.61	plinto scoperto
P02	2.87	3.41	15	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0085	10.12	plinto scoperto
P03	3.14	3.68	6	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0085	9.82	plinto scoperto
P04	3.63	1.84	4	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0085	6.03	plinto scoperto
P05	3.11	0.86	23	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0085	4.19	plinto scoperto
P06	2.91	0.44	42	circ	3.00	3.00	quad	9.60	9.60	0.0085	2.84	plinto scoperto

Tabella 12: Viadotto NV97, massima profondità di escavazione

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 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 CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 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 la densità dei sedimenti è quella dell'acqua,  $g$  è l'accelerazione di gravità. Alla critica  $V_c = V_{des}$ , 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,  $\theta$  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 tali 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 34 uno schema estratto dalla monografia HEC23.

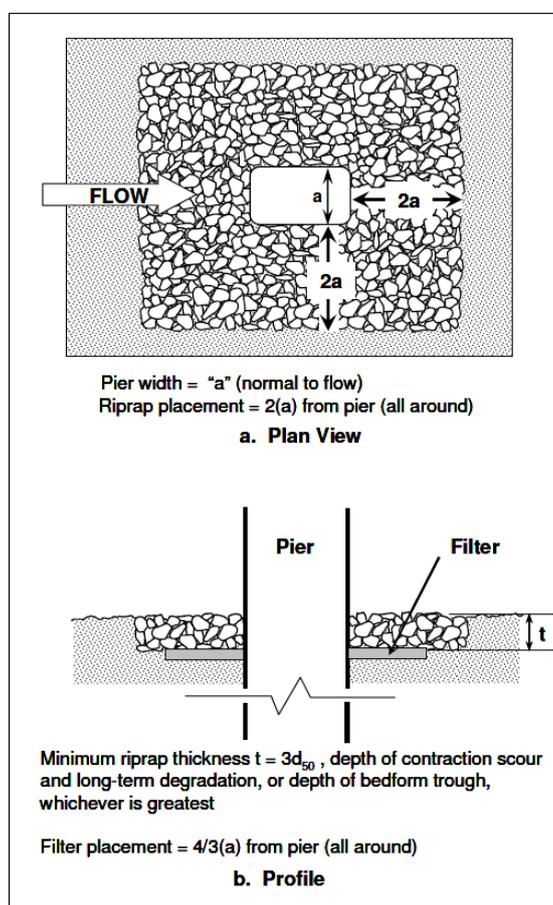


Figura 34: Disposizione raccomandata dei massi di protezione attorno alle pile, fonte HEC23.

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

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA <b>RS3U</b>	LOTTO <b>40 D 09</b>	CODIFICA <b>RH</b>	DOCUMENTO <b>ID0000 001</b>	REV. <b>D</b>

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 VI05

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	0.00	0.00	rett	3.4	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P02	1.01	3.15	rett	3.4	8.43	plinto scoperto	0.75	5.92	4.64	1.5	massi legati
P03	0.20	0.51	rett	3.4	1.16	plinto non scoperto	0.75	5.92	3.54	7.0	massi legati
P04	0.00	0.00	rett	3.4	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P05	0.00	0.00	rett	3.4	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P06	0.00	0.00	rett	3.3	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P07	0.00	0.00	rett	3.3	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P08	0.00	0.00	rett	3.3	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P09	0.00	0.00	rett	3.3	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P10	0.00	0.00	rett	3.3	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P11	0.00	0.00	rett	3.3	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P12	0.00	0.00	rett	3.3	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P13	0.00	0.00	rett	3.3	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P14	0.00	0.00	rett	3.3	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P15	0.00	0.00	rett	3.3	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P16	0.00	0.00	rett	3.3	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P17	0.00	0.00	rett	3.3	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P18	0.00	0.00	rett	3.3	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione

Tabella 13: 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
P02	0.28	1.24	1.25	7.65	5.13	4.1	massi legati

Tabella 14: Viadotto VI05, verifica delle protezioni – TR 5 anni

### 6.4.3 Protezione pile viadotto VI06

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	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P03	2.564	1.014	circ	4.5	5.29	plinto scoperto	0.30	3.75	3.43	3.4	massi sciolti
P04	3.962	2.313	circ	4.5	9.92	plinto scoperto	0.50	4.84	4.76	2.1	massi sciolti
P05	4.283	1.843	circ	4.5	8.53	plinto scoperto	0.50	4.84	4.82	2.6	massi sciolti
P06	4.302	2.304	circ	4.5	10.12	plinto scoperto	0.50	4.84	4.82	2.1	massi sciolti
P07	3.494	3.009	circ	4.5	11.58	plinto scoperto	0.75	5.92	5.71	1.9	massi legati
P08	3.318	3.004	circ	4.5	11.12	plinto scoperto	0.75	5.92	5.66	1.9	massi legati
P09	3.63	2.753	circ	4.5	10.58	plinto scoperto	0.75	5.92	5.74	2.1	massi legati
P10	2.377	3.53	circ	4.5	12.78	plinto scoperto	0.75	5.92	5.67	1.6	massi legati
P11	2.017	3.113	circ	4.5	11.43	plinto scoperto	0.75	5.92	5.21	1.7	massi legati
P12	1.847	3.574	circ	4.5	12.51	plinto scoperto	0.75	5.92	5.43	1.5	massi legati
P13	1.429	3.644	circ	4.5	12.17	plinto scoperto	0.75	5.92	5.21	1.4	massi legati
P14	1.767	2.221	circ	4.5	8.40	plinto scoperto	0.75	5.92	5.09	2.3	massi legati
P15	1.417	0.167	circ	4.5	0.48	plinto non scoperto	0.30	3.75	3.10	18.6	massi sciolti
P16	0.6	0.915	circ	4.5	4.23	plinto scoperto	0.30	3.75	2.69	2.9	massi sciolti
P17	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P18	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P19	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P20	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P21	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P22	0	0	circ	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P23	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P24	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P25	0	0	circ	3.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione

Tabella 15: 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
P03	0.42	0.60	0.30	3.75	2.53	4.2	massi sciolti
P04	1.82	1.85	0.50	4.84	4.18	2.3	massi sciolti
P05	2.13	1.19	0.50	4.84	4.29	3.6	massi sciolti
P06	2.19	1.93	0.50	4.84	4.31	2.2	massi sciolti
P07	1.51	2.26	0.75	5.92	5.25	2.3	massi legati
P08	1.36	2.21	0.75	5.92	5.16	2.3	massi legati
P09	1.64	2.09	0.75	5.92	5.03	2.4	massi legati
P10	1.16	1.95	1.25	7.65	6.49	3.3	massi legati
P11	0.78	1.50	1.25	7.65	5.74	3.8	massi legati
P12	0.77	1.58	1.25	7.65	6.06	3.8	massi legati
P13	0.46	1.50	1.25	7.65	6.18	4.1	massi legati
P14	0.73	0.80	0.75	5.92	4.39	5.5	massi legati

Tabella 16: Viadotto VI06, verifica delle protezioni – TR 5 anni

#### 6.4.4 Protezione pile viadotto VI07

Pila	Tirante idraulico [m]	V - Velocità corrente [m/s]	Forma pila	Larghezza pila [m]	Lunghezza 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	0.00	circ	4.5	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P02	0.00	0.00	circ	4.5	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P03	0.00	0.00	circ	4.5	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P04	0.00	0.00	circ	4.5	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P05	0.00	0.00	circ	4.5	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P06	0.00	0.00	circ	4.5	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P07	0.00	0.00	circ	4.5	4.5	0.00	no scavo	0.00	0.00	0.00	-	no protezione
P08	1.00	0.59	circ	4.5	4.5	1.80	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.93	5.0	massi sciolti
P09	2.91	1.77	circ	4.5	4.5	7.82	plinto scoperto	0.50	4.84	4.78	2.7	massi sciolti
P10	3.06	2.04	circ	4.5	4.5	6.80	plinto scoperto	0.50	4.84	4.56	2.2	massi sciolti
P11	3.00	2.33	circ	4.5	4.5	9.67	plinto scoperto	0.50	4.84	4.81	2.1	massi sciolti
P12	2.46	2.53	circ	4.5	4.5	9.29	plinto scoperto	0.75	5.92	5.38	2.1	massi sciolti
P13	0.53	0.85	circ	4.5	4.5	4.33	plinto scoperto	0.30	3.75	2.63	3.1	massi sciolti
P14	0.06	0.25	circ	4.5	4.5	0.71	plinto non scoperto	0.30	3.75	1.81	7.1	massi sciolti
P15	0.06	0.32	circ	4.5	4.5	0.75	plinto non scoperto	0.30	3.75	1.85	5.7	massi sciolti
P16	0.09	0.44	circ	4.5	4.5	1.01	plinto non scoperto	0.30	3.75	1.96	4.5	massi sciolti
P17	0.10	0.52	circ	4.5	4.5	1.04	plinto non scoperto	0.30	3.75	2.01	3.9	massi sciolti
P18	2.07	0.15	circ	4.5	4.5	0.47	plinto non scoperto	0.30	3.75	3.31	21.5	massi sciolti
P19	2.79	0.26	circ	4.5	4.5	0.88	plinto non scoperto	0.30	3.75	3.48	13.3	massi sciolti
P20	2.81	0.37	circ	4.5	4.5	2.47	plinto scoperto	0.30	3.75	3.48	9.5	massi sciolti
P21	2.70	0.47	circ	4.5	4.5	2.54	plinto scoperto	0.30	3.75	3.46	7.4	massi sciolti
P22	2.58	0.54	circ	4.5	4.5	2.81	plinto scoperto	0.30	3.75	3.43	6.3	massi sciolti
P23	2.39	0.57	circ	4.5	4.5	2.97	plinto scoperto	0.30	3.75	3.39	5.9	massi sciolti
P24	2.09	0.58	circ	4.5	4.5	3.64	plinto scoperto	0.30	3.75	3.31	5.8	massi sciolti
P25	0.67	3.70	circ	4.5	4.5	9.92	plinto scoperto	0.75	5.92	4.84	1.3	massi legati

Tabella 17: Viadotto VI07, 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
P09	1.65	1.18	0.50	4.84	4.35	3.7	massi sciolti
P10	1.83	1.56	0.50	4.84	4.18	2.7	massi sciolti
P11	1.75	1.49	0.50	4.84	4.39	3.0	massi sciolti
P12	1.36	2.03	0.75	5.92	4.88	2.4	massi legati
P13			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P14			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P15			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P16			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P17			0.30	3.75	0.00	-	massi sciolti
P18	0.93	0.07	0.30	3.75	2.90	40.2	massi sciolti
P19	1.65	0.16	0.30	3.75	3.19	19.9	massi sciolti
P20	1.67	0.20	0.30	3.75	3.19	16.3	massi sciolti
P21	1.56	0.23	0.30	3.75	3.15	13.7	massi sciolti
P22	1.44	0.25	0.30	3.75	3.11	12.4	massi sciolti
P23	1.25	0.24	0.30	3.75	3.04	12.6	massi sciolti
P24	0.96	0.15	0.30	3.75	2.91	19.1	massi sciolti
P25	0.16	0.89	1.25	7.65	5.17	5.8	massi legati

Tabella 18: Viadotto VI07, verifica delle protezioni – TR 5 anni

### 6.4.5 Protezione pile viadotto NV97

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	2.91	1.98	circ	3.0	7.61	plinto scoperto	0.50	4.84	4.52	2.28	massi sciolti
P02	2.87	3.41	circ	3.0	10.12	plinto scoperto	1.00	6.84	7.50	2.0	massi legati
P03	3.14	3.68	circ	3.0	9.82	plinto scoperto	1.25	7.65	8.51	2.1	massi legati
P04	3.63	1.84	circ	3.0	6.03	plinto scoperto	0.50	4.84	4.69	2.55	massi sciolti
P05	3.11	0.86	circ	3.0	4.19	plinto scoperto	0.50	4.84	4.57	5.35	massi sciolti
P06	2.91	0.44	circ	3.0	2.84	plinto scoperto	0.50	4.84	4.52	10.39	massi sciolti

Tabella 19: Viadotto NV97, 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	1.31	1.58	0.50	4.84	3.96	2.51	massi sciolti
P02	1.29	2.66	1.00	6.84	6.57	2.5	massi legati
P03	1.23	3.33	1.25	7.65	7.29	2.2	massi legati
P04	1.87	1.73	0.50	4.84	4.20	2.42	massi sciolti
P05	1.36	0.75	0.50	4.84	3.98	5.29	massi sciolti
P06	1.11	0.35	0.50	4.84	3.85	10.94	massi sciolti

Tabella 20: Viadotto NV97, verifica delle 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 più di 2 m/s. Il dettaglio tipologico è riportato nella figura sottostante (Figura 35). 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;

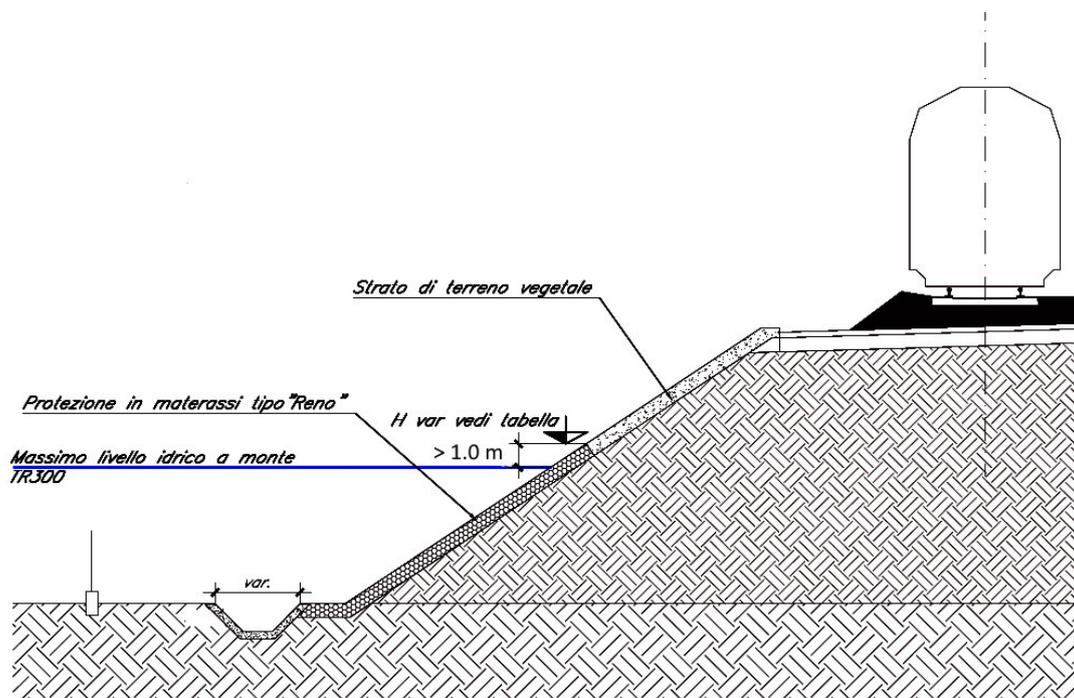


Figura 35: Protezione del rilevato in materassi tipo "Reno"

- Protezione in massi cementati: questo tipo di protezione verrà impiegata 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.

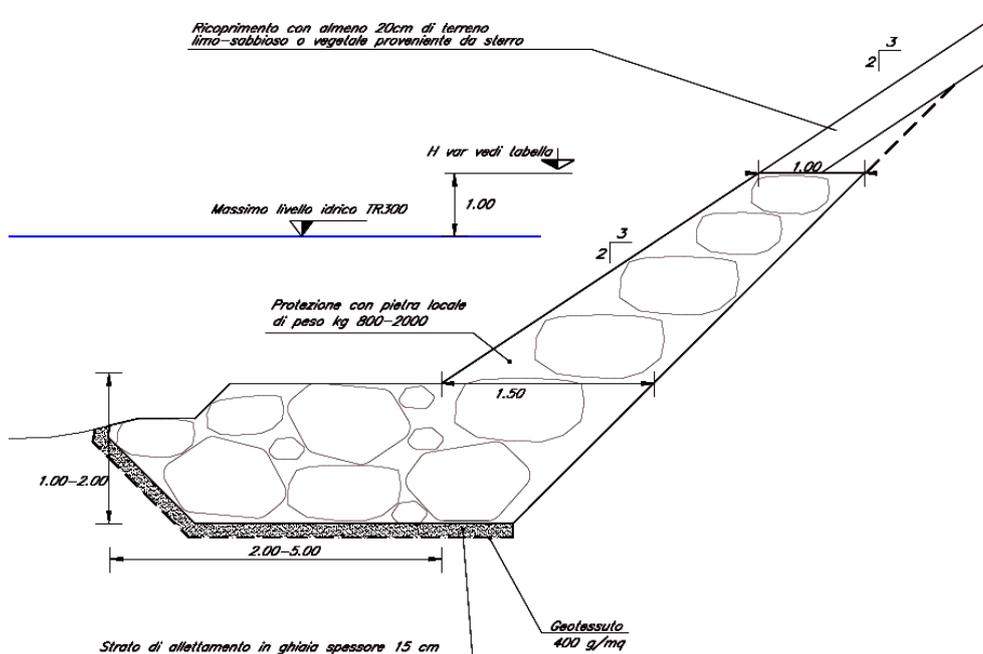


Figura 36: Protezione del rilevato in massi cementati

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3U	40 D 09	RH	ID0000 001	D	61 di 71

## 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 provvisorie 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 provvisorie dei viadotti di progetto. In Tabella 21 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>
V105	Vallone Anghilla	5	13
V106	Fiume Imera Meridionale	5	1106
V107	Torrente Morello	5	419
NV97	Torrente Morello	5	419

Tabella 21: Portate massime in corrispondenza dei viadotti, dimensionamento opere provvisorie

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.

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 VI05

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]		
S01	-	P10	-
P01	-	P11	-
P02	360.45	P12	-
P03	-	P13	-
P04	-	P14	-
P05	-	P15	-
P06	-	P16	-
P07	-	P17	-
P08	-	P18	-
P09	-	S02	-

Tabella 22: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI05

### 6.6.2 Livelli viadotto VI06

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]		
S01	-		
P01	-	P14	297
P02	-	P15	-
P03	295.16	P16	-
P04	295.15	P17	-
P05	295.07	P18	-
P06	295.09	P19	-
P07	295.09	P20	-
P08	295.01	P21	-
P09	294.91	P22	-
P10	295.47	P23	-
P11	295.65	P24	-
P12	295.65	P25	-
P13	296.45	S02	-

Tabella 23: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI06

### 6.6.3 Livelli viadotto VI07

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]		
		P13	-
S01	-	P14	-
P01	-	P15	-
P02	-	P16	-
P03	-	P17	-
P04	-	P18	328.39
P05	-	P19	328.38
P06	-	P20	328.38
P07	-	P21	328.38
P08	324.63	P22	328.38
P09	324.65	P23	329.50
P10	324.66	P24	328.38
P11	324.59	P25	328.38
P12	324.65	S02	331.28

Tabella 24: Livelli idrici massimi TR 05 anni – VI07

### 6.6.4 Livelli viadotto NV97

Pila/opera	Livello TR05 [m smm]
S01	336.63
P01	336.68
P02	336.95
P03	337.62
P04	338.45
P05	338.75
P06	338.83
S02	338.85

Tabella 25: Livelli idrici massimi TR 05 anni – NV97

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)          IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

## 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 CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

*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 CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

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 CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

wbs	Tipologia	Tratti in affiancamento	Tratti in affiancamento	Tratti di attraversamento	Tratti di attraversamento
VI05	Attraversamento	-	-	S01 - S02	2+912 - 3+488
VI06	Affiancamento ed attraversamento	S01 - P03 + P15 - S02	6+552 - 6+689 + 7+209 - 7+596	P03 - P14	6+689 - 7+209
VI07	Affiancamento ed attraversamento	S01 - P08 + P14 - S02	11+733 - 11+940 + 12+245 - 12+553	P08 - P14	11+940 - 12+245
NV97	Affiancamento	S01 - S02	0+134 - 0+482	-	-

Tabella 26: Descrizione dei viadotti

In Tabella 27 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
VI05	2- 13.5 m	-
VI06	19.5 - 28 m	3 - 21.5 m
VI07	10 - 13 m	7 - 11 m
NV97	-	3 - 5.5 m

Tabella 27: Distanza tra fondo alveo quota di sotto-trave

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.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

### 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 28 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
VI05	Attraversamento	-	> 40 m e < 40 m
VI06	Affiancamento ed attraversamento	< 40 m	> 40 m e < 40 m
VI07	Affiancamento ed attraversamento	< 40 m	> 40 m
NV97	Affiancamento	< 40 m	-

Tabella 28: 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>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D

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 29.

Opera - wbs	TR [anni]	Qmax [m3/s]	Posizione	Livello idrico max [m smm]	Intradosso [m smm]	Franco minimo [m]
VI05	200	107	3+010	361.76	372.10	10.34
VI06	300	3300	7+210	299.56	315.39	15.83
VI07	300	1173	12+530	332.03	336.92	4.89

Tabella 29: Franchi dei viadotti nella configurazione di progetto con detriti galleggianti in alveo

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO</b> <b>NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA</b> <b>TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)</b> <b>IDRAULICA MAGGIORE</b>					
	Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS3U	40 D 09	RH	ID0000 001	D	70 di 71

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 perimetrare le aree di "Pericolosità idraulica" e "Rischio idraulico". Le opere in progetto non rientrano all'interno di tali perimetrazioni, fatta eccezione per un'area limitata collocata nell'intorno del viadotto VI06 del lotto 4a, in corrispondenza della progressiva 6+630.

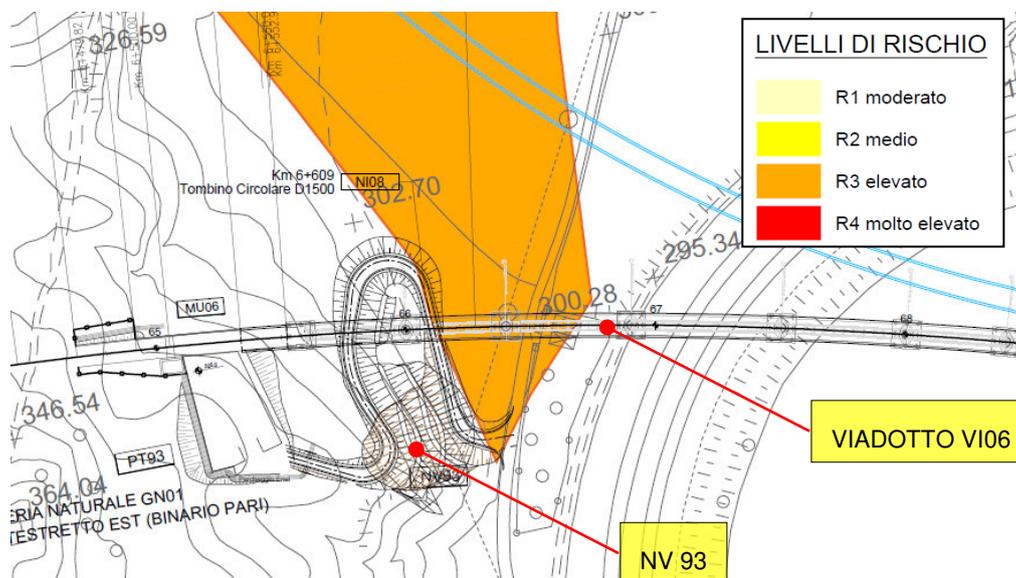


Figura 37: Sovrapposizione tra area di pericolosità e viadotto VI06

Come si può vedere dalla figura precedente, la presenza della nuova viabilità NV93 è talmente marginale alla perimetrazione dell'area a rischio da non poterne determinare un aggravio. Inoltre, essa è posta a quota superiore al limite della suddetta perimetrazione, di conseguenza è in condizioni di sicurezza idraulica e d'altra parte, giova ribadirlo, non vi sono aree di pericolosità idraulica associate a quella di rischio.

	<b>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO          NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA          TRATTA CALTANISSETTA XIRBI - NUOVA ENNA (LOTTO 4A)          IDRAULICA MAGGIORE</b>					
Relazione idraulica studi bidimensionali	COMMESSA RS3U	LOTTO 40 D 09	CODIFICA RH	DOCUMENTO ID0000 001	REV. D	FOGLIO 71 di 71

#### 7.4 Piano di Emergenza Diga – invaso di Villarosa

Il serbatoio artificiale denominato Villarosa sul Fiume Morello fu commissionato alla fine degli anni sessanta dall'Ente Minerario Siciliano (E.M.S.) con lo scopo di utilizzarne le acque invasate per l'alimentazione degli impianti industriali di lavorazione dei sali potassici provenienti dalla miniera di Pasquasia (Italkali). Tale uso delle acque lo si è avuto fino al 1992 quando, terminate le attività estrattive della suddetta miniera, il serbatoio è rimasto inutilizzato<sup>1</sup>.

Nella Relazione idrologica generale RS3U.4.0.D.09.RI.ID.00.0.1.001.B è riportata la sintesi dello Studio delle onde di piena conseguenti a manovre delle opere di scarico e dell'ipotetico collasso dello sbarramento Villarosa sul Torrente Morello.

Il Piano di Emergenza Diga (PED), approvato a luglio 2020 dalla Prefettura di Enna, riporta le valutazioni circa le portate di attenzione di scarico della diga ed individua le azioni di preallerta e di allerta da attuare in caso di superamento del valore limite individuato. La gestione dell'esercizio ferroviario, sia della linea storica esistente, sia di quella in progetto, dovrà essere coordinata con le comunicazioni della Protezione Civile.

---

<sup>1</sup> Cfr. Relazione del PAI “071-072 RELAZIONE F.IMERA\_MERIDIONALE\_2007”