

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO**

**NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA**

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

**TRATTA DITTAINO– CATENANUOVA (LOTTO 5)**

**IDROLOGIA E IDRAULICA**

**RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA**

Modello bidimensionale del Fiume Dittaino e dei corsi d'acqua minori alle pk 3+100, 6+200, 7+100

SCALA:

-

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

RS3E 50 D 09 RI ID0002 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut. Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C. Cesali	Dic. 2019	F. Cabas	Dic. 2019	F. Sparacino	Dic. 2019	Aut. V. Vozzi Dicembre 2019

ITALFERR S.p.A.  
U.O. Opere Civili e Gestione delle Varianti  
Dott. Ing. Ambrogio Vozzi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma:  
N° A2078

## INDICE

1. PREMESSA .....	6
1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI.....	7
2. INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO.....	8
2.1 PERICOLOSITA' IDRAULICA NELL'AREA DI INTERVENTO.....	8
2.2 OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO.....	11
3. STUDIO IDRAULICO .....	14
3.1 GENERALITA' .....	14
3.2 DATI DI BASE .....	14
3.2.1 Opere di attraversamento in progetto .....	15
3.3 IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI NUMERICI IDRAULICI.....	21
3.3.1 Modello bidimensionale .....	21
3.3.2 Modello monodimensionale.....	47
4. VERIFICA ALLO SCALZAMENTO .....	57
5. SISTEMAZIONI IDRAULICHE.....	68
5.1 FIUME DITTAINO: VIADOTTO VI12 .....	70
5.2 CORSI D'ACQUA MINORI: VIADOTTI VI01, VI03, VI06, VI07.....	72
6. ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELLE CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL FIUME DITTAINO.....	75
7. COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO .....	85
8. BIBLIOGRAFIA.....	88

## INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 – Fiume Dittaino: aree a pericolosità idraulica (P.A.I.) da pk 0+000 a pk8+000.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 2 – Fiume Dittaino: aree a pericolosità idraulica (P.A.I.) da pk8+000 a pk15+000.....</i>	<i>10</i>
<i>Figura 3 – Fiume Dittaino: aree a pericolosità idraulica (P.A.I.) da pk15+000 a pk23+000 (fine intervento). .</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4 – Sezioni batimetriche rilevate sul Fiume Dittaino e sui tre corsi d’acqua minori considerati.....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 5 – Corso d’acqua minore alla pk 3+100 (bacino ID = 8): attraversamento in progetto (viadotto VI03). .....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 6 –Viadotto VI03: sezione trasversale.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7 – Corso d’acqua minore alla pk 6+200 (bacino ID = 12): attraversamento in progetto (viadotto VI06). .....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 8 – Viadotto VI06: sezione trasversale.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 9 – Viadotto VI07: sezione trasversale.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 10 – Corso d’acqua minore alla pk 7+100 (bacino ID = 16): attraversamento in progetto (viadotto VI07). .....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 11 – Fiume Dittaino: attraversamento in progetto (viadotto VII2). .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 12 – Viadotto VII2: sezione trasversale.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 13 – Sottobacino 1 del FiumeDittaino: dominio di calcolo del modello idraulico 2D. ....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 14 – Sottobacino 2 del FiumeDittaino: dominio di calcolo del modello idraulico 2D. ....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 15 – Modello 2D del Fiume Basento: implementazione delle opere di attraversamento in InfoWorks ICM.....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 16 – Sottobacino 1 del Fiume Dittaino, modello numerico 2D: condizioni al contorno. ....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 17 – Sottobacino 2 del Fiume Dittaino, modello numerico 2D: condizioni al contorno. ....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 18 – Sottobacino 1 del F. Dittaino: idrogrammi di piena di progetto. ....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 19 – Sottobacino 2 del Fiume Dittaino: idrogrammi di piena di progetto.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 20 – Bacino ID 8 (corso d’acqua minore alla pk3+100): idrogrammi di piena di progetto. ....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 21 – Bacino ID 12 (corso d’acqua minore alla pk 6+200): idrogrammi di piena di progetto. ....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 22 – Bacino ID 16 (corso d’acqua minore alla pk 7+100): idrogrammi di piena di progetto. ....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 23 – Fiume Dittaino: confronto tra le aree di pericolosità idraulica P1 (P.A.I.) e le aree di esondazione Tr 300 da modello 2D (tratto da pk 0+000 a pk 8+000). ....</i>	<i>31</i>

<i>Figura 24 – Fiume Dittaino: confronto tra le aree di pericolosità idraulica P1 (P.A.I.) e le aree di esondazione Tr 300 da modello 2D (tratto da pk 8+000 a pk 15+000).</i>	32
<i>Figura 25 – Fiume Dittaino: confronto tra le aree di pericolosità idraulica P1 (P.A.I.) e le aree di esondazione Tr 300 da modello 2D (tratto da pk 15+000 a pk 23+000).</i>	33
<i>Figura 26 – Modello 2D del Fiume Dittaino: aree di esondazione Tr 300, ante operam (da pk 0+000 a pk 7+000).</i>	35
<i>Figura 27 – Modello 2D del Fiume Dittaino: aree di esondazione Tr 300, ante operam (da pk7+000 a pk 14+000).</i>	36
<i>Figura 28 – Modello 2D del Fiume Dittaino: aree di esondazione Tr 300, ante operam (da pk14+000 a pk 23+000).</i>	37
<i>Figura 29 – Modello 2D del Fiume Dittaino: aree di esondazione Tr 300, post operam (da pk 0+000 a pk 7+000).</i>	38
<i>Figura 30 – Modello 2D del Fiume Dittaino: aree di esondazione Tr 300, post operam (da pk7+000 a pk 14+000).</i>	39
<i>Figura 31 – Modello 2D del Fiume Dittaino: aree di esondazione Tr 300, post operam (da pk14+000 a pk 23+000).</i>	40
<i>Figura 32 – Modello 2D (corso d’acqua alla pk 3+100): aree di esondazione Tr 300, ante operam.</i>	41
<i>Figura 33 – Modello 2D (corso d’acqua alla pk 3+100): aree di esondazione Tr 300, post operam (viadotto VI03).</i>	41
<i>Figura 34 – Modello 2D (corso d’acqua alla pk 6+200): aree di esondazione Tr 300, ante operam.</i>	42
<i>Figura 35 – Modello 2D (corso d’acqua alla pk 6+200): aree di esondazione Tr 300, post operam (viadotto VI06).</i>	42
<i>Figura 36 – Modello 2D (corso d’acqua alla pk 7+100): aree di esondazione Tr 300, ante operam.</i>	43
<i>Figura 37 – Modello 2D (corso d’acqua alla pk 7+100): aree di esondazione Tr 300, post operam (viadotto VI07).</i>	43
<i>Figura 38 – Modello 2D del Fiume Dittaino: mappa dei vettori velocità in corrispondenza del viadotto VI12.</i>	46
<i>Figura 39– Schema di calcolo per la determinazione del profilo del pelo libero nei corsi d’acqua.</i>	47
<i>Figura 40 - Sezione schematica di un corso d'acqua.</i>	48
<i>Figura 41–Viadotto VI04 sul F. Dittaino: fasi di realizzazione.</i>	52
<i>Figura 42–Modello 1Ddel F. Dittaino: risultati in termini di livelli idrici per la fase di cantiere 1.</i>	53
<i>Figura 43–Modello 1D del F. Dittaino: risultati in termini di livelli idrici per la fase di cantiere 2.</i>	53
<i>Figura 44–Corsi d’acqua minori, modello 1D: livelli idrici per la fase di cantiere, viadotto VI03 (pk 3+100).</i>	55

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
<b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	<b>COMMESSA</b> <b>RS3E</b>	<b>LOTTO</b> 50	<b>CODIFICA</b> D 09 RI	<b>DOCUMENTO</b> ID 00 02 001	<b>REV.</b> A	<b>FOGLIO</b> 5 di 88

<i>Figura 45–Corsi d’acqua minori, modello 1D: livelli idrici per la fase di cantiere, viadotto VI06 (pk 6+200).</i>	55
<i>Figura 46–Corsi d’acqua minori, modello 1D: livelli idrici per la fase di cantiere, viadotto VI07 (pk 7+100).</i>	56
<i>Figura 47–Differenti tipologie di pile non uniformi dotate di fondazioni.....</i>	60
<i>Figura 48 – Calcolo dello scalzamento in corrispondenza delle spalle. ....</i>	66
<i>Figura 49 – Modello 2D del Fiume Dittaino: campo di velocità in corrispondenza del viadotto VII2. ....</i>	70
<i>Figura 50 – Viadotto VII2: stralcio della planimetria delle opere di sistemazione idraulica.....</i>	71
<i>Figura 51 – Viadotto VII2: opere di protezione idraulica in corrispondenza dell’alveo inciso. ....</i>	71
<i>Figura 52 – Viadotto VI01: stralcio della planimetria delle opere di sistemazione idraulica.....</i>	72
<i>Figura 53 – Viadotto VI03: stralcio della planimetria delle opere di sistemazione idraulica.....</i>	73
<i>Figura 54 – Viadotto VI06: stralcio della planimetria delle opere di sistemazione idraulica.....</i>	74
<i>Figura 55 – Viadotto VI07: stralcio della planimetria delle opere di sistemazione idraulica.....</i>	74
<i>Figura 56 – Fiume Dittaino: definizione di alveo attivo.....</i>	86
<i>Figura 57 – Fiume Dittaino: area di pericolosità idraulica P1 del P.A.I. (a sinistra) vs aree di esondazione Tr 300 da modello 2D (a destra), in corrispondenza della viadotto VII5.....</i>	87

## **INDICE DELLE TABELLE**

<i>Tabella 1 – Classi di pericolosità idraulica (PAI). ....</i>	8
<i>Tabella 2 – Viadotto VI03: verifica del franco idraulico. ....</i>	44
<i>Tabella 3 – Viadotto VI06: verifica del franco idraulico. ....</i>	44
<i>Tabella 4 – Viadotto VI07: verifica del franco idraulico. ....</i>	44
<i>Tabella 5 – Viadotto VII2: verifica del franco idraulico. ....</i>	45
<i>Tabella 6 – Corsi d’acqua minori: portate di cantiere. ....</i>	54
<i>Tabella 7- Formulazione CSU: valori dei fattori correttivi K1, K2, K3. ....</i>	58
<i>Tabella 8 – Viadotti VI03, VI06, VI07: dimensionamento delle opere di sistemazione idraulica. ....</i>	73

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 6 di 88

## 1. PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del Progetto Definitivo della Tratta “*Dittaino – Catenanuova*” (Lotto 5) della “nuova” linea ferroviaria Palermo – Catania.

La tratta ferroviaria in progetto, realizzata in variante di tracciato rispetto alla linea esistente, si sviluppa interamente in affiancamento al Fiume Dittaino. Quest’ultimo inoltre viene attraversato tra le pk 11+550 e 11+750 tramite il nuovo viadotto VI12.

E’ stato condotto quindi lo studio idraulico del Fiume Dittaino finalizzato alla valutazione della propogazione delle onde di piena, per vari tempi di ritorno, e alla determinazione delle aree potenzialmente inondabili, tramite simulazioni numeriche bidimensionali (2D). All’interno del modello 2D sono stati inseriti anche i contributi idrologici di tre corsi d’acqua minori attraversati dalla linea ferroviaria in progetto tramite i viadotti VI03, VI06, VI07.

Le analisi svolte sono state condotte in conformità a quanto previsto ed effettuato nell’ambito del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A., 2015) e del Piano Stralcio di Assetto Idrologico (P.A.I., 2004) della Regione Siciliana (rif. *Monografia del bacino del Fiume Simeto*, 2015), nonché nel Manuale di Progettazione RFI e nelle NTC2008.

Con riferimento ai viadotti in progetto sul Fiume Dittaino (viadotto VI12) e sui tre corsi d’acqua minori considerati (viadotti VI03, VI06, VI07), è stata inoltre valutata la profondità massima di erosione attesa attorno alle pile, per la portata di progetto ( $Tr = 300$  anni).

E’ stata studiata anche la fase di realizzazione (o cantiere) dei viadotti VI03, VI06, VI07 e VI12, tramite simulazioni numeriche secondo modello monodimensionale per la cosiddetta “*portata di cantiere*”.

Infine, in relazione alle velocità della corrente in alveo e nelle zone golenali, al fine di ripristinare lo stato dei luoghi “*ante operam*”, sono state definite anche le opportune opere di protezione e sistemazione in corrispondenza dei nuovi viadotti VI03, VI06, VI07 (interessati dalle esondazioni delle piene dei tre corsi d’acqua minori considerati) e VI01, VI12 (interessati dalle esondazioni delle piene del Fiume Dittaino).

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 7 di 88

## 1.1 RIFERIMENTI NORMATIVI

Di seguito, la normativa nazionale e regionale di riferimento:

- Regio Decreto (R.D.) n. 3918/1877
- ***R.D. 27 luglio 1904, n. 523***
- R.D. 27 luglio 1904, n. 368
- R.D. n. 3267/1923
- R.D. 17 maggio 1926, n. 1126
- R.D. n. 215/1933
- ***Legge n. 183/1989, “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”***
- ***D.M. del 14 febbraio 1997 “Direttive tecniche per l’individuazione e perimetrazione da parte delle Regioni a rischio idraulico”***
- D.L. n. 180/1998 (Decreto Sarno)
- ***Legge n. 365/2000 “Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 12 ottobre 2000, n. 279, recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile”***
- ***Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Siciliana (2004) e relative Norme Tecniche di Attuazione (NTA)***
- ***D.Lgs. n. 152/2006 “Norma in materia ambientale”***
- Direttiva n. 2007/60/CE
- ***Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008)***
- ***Circolare esplicativa delle NTC 2008 n. 617 del 2 febbraio 2009***
- ***D.Lgs. n. 49/2010 “Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvioni”***
- ***Piano di Gestione del Rischio Alluvioni della Regione Siciliana (2015) e relative Norme di Attuazione***

## 2. INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

### 2.1. PERICOLOSITA' IDRAULICA NELL'AREA DI INTERVENTO

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idrologica del bacino del Fiume Dittaino e la definizione delle aree a pericolosità idraulica è attualmente riportato nel Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I., 2004) e nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A., 2015).

In particolare, sono individuate 3 classi di pericolosità idraulica (P3 - alta, P2 - moderata, P1 - bassa).

La classe di pericolosità **alta (P3)** fa riferimento ad un evento caratterizzato da un'aprobabilità di accadimento  $Tr \leq 50$  anni e/o all'instaurarsi di condizioni di lama d'acqua massimamente raggiunta sul piano campagna superiore ad 1 metro.

La classe di pericolosità **moderata (P2)** fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento  $Tr = 100 - 200$  anni e all'instaurarsi di condizioni di lama d'acqua massima raggiunta sul piano campagna compresa tra 30 cm ed 1m.

La classe di pericolosità **bassa (P1)** fa riferimento ad un evento di piena raro, caratterizzato da un tempo di ritorno  $Tr = 300 - 500$  anni e/o all'instaurarsi di condizioni di lama d'acqua inferiori a 0.30 m.

Di seguito, una tabella riepilogativa delle classi di pericolosità adottate.

<i>TR (anni)</i>	<i>Pericolosità</i>
50	P3
100	P2
300	P1

**Tabella 1 – Classi di pericolosità idraulica (PAI).**

Come illustrato nelle figure seguenti, il tracciato ferroviario in progetto si sviluppa in gran parte all'esterno delle aree classificate a pericolosità idraulica definite nell'ambito del P.A.I., eccetto in corrispondenza dei viadotti **VI06 (pericolosità P3)**, **VI07 (sito di attenzione)**, **VI12 (pericolosità P3)**, **VI13 (pericolosità P3)**, **VI15 (pericolosità P1)**, **VI18 (sito di attenzione)**, **VI19 (sito di attenzione)**, **VI20 (sito di attenzione)**.



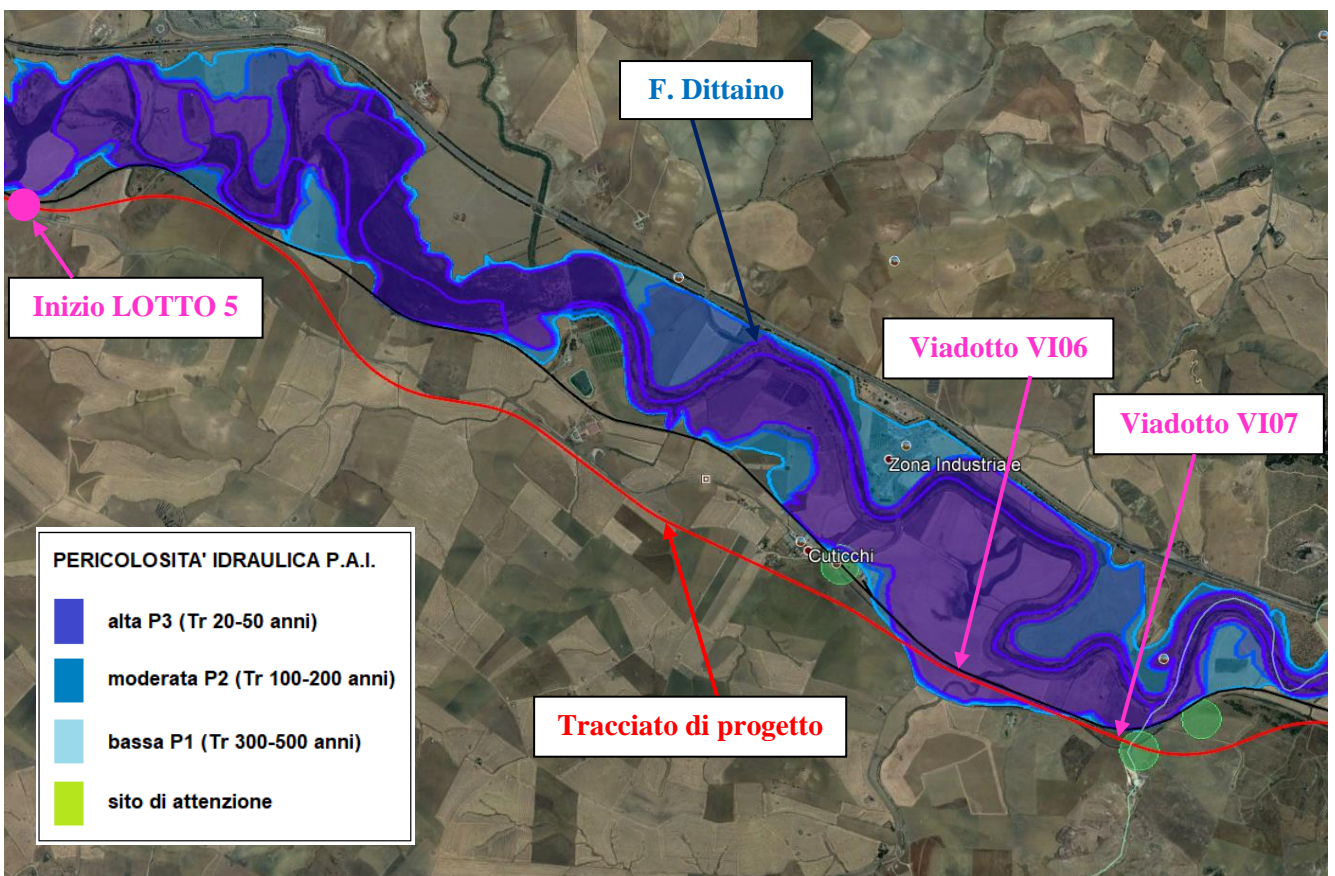


Figura 1 – Fiume Dittaino: aree a pericolosità idraulica (P.A.I.) da pk 0+000 a pk 8+000.

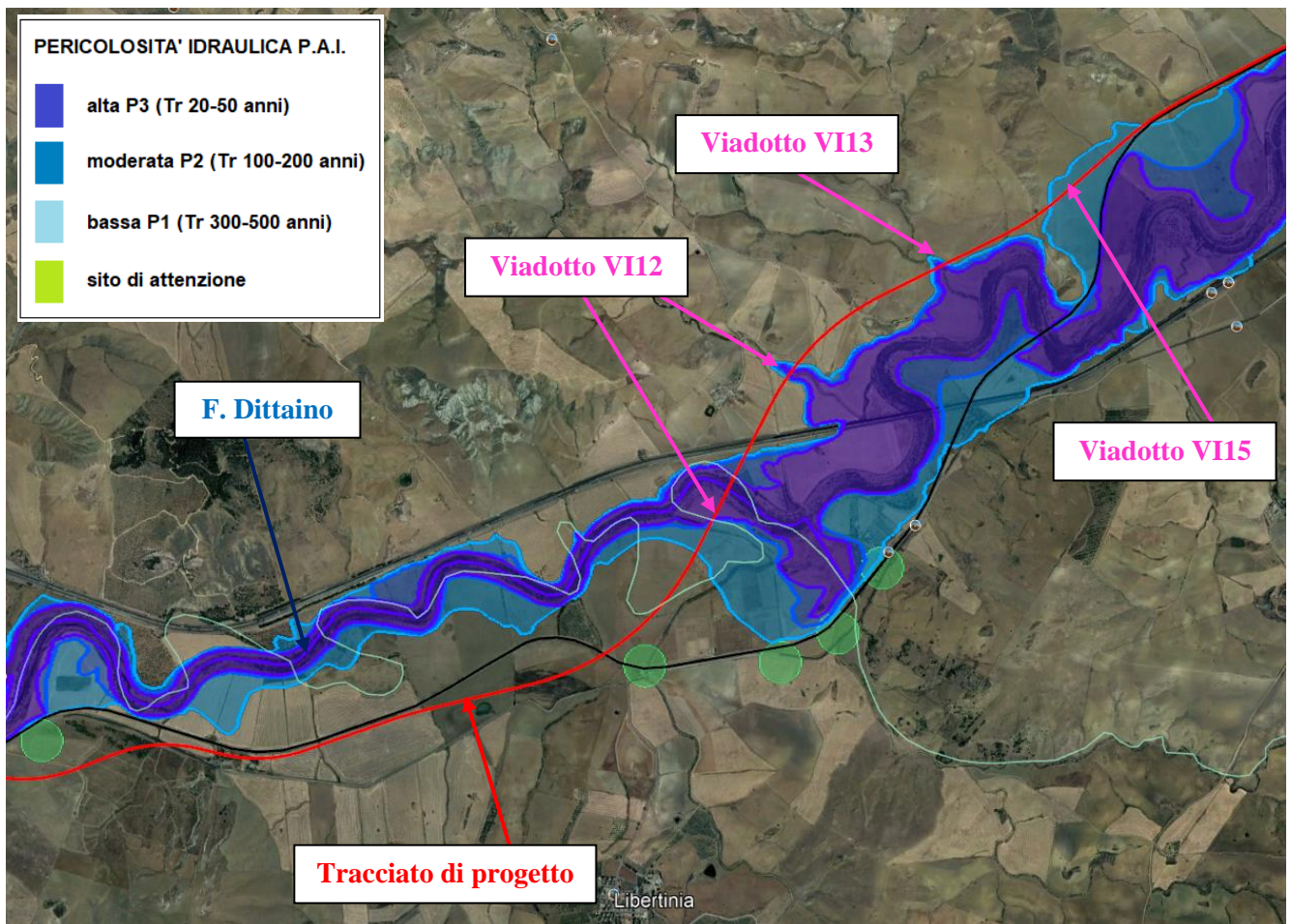
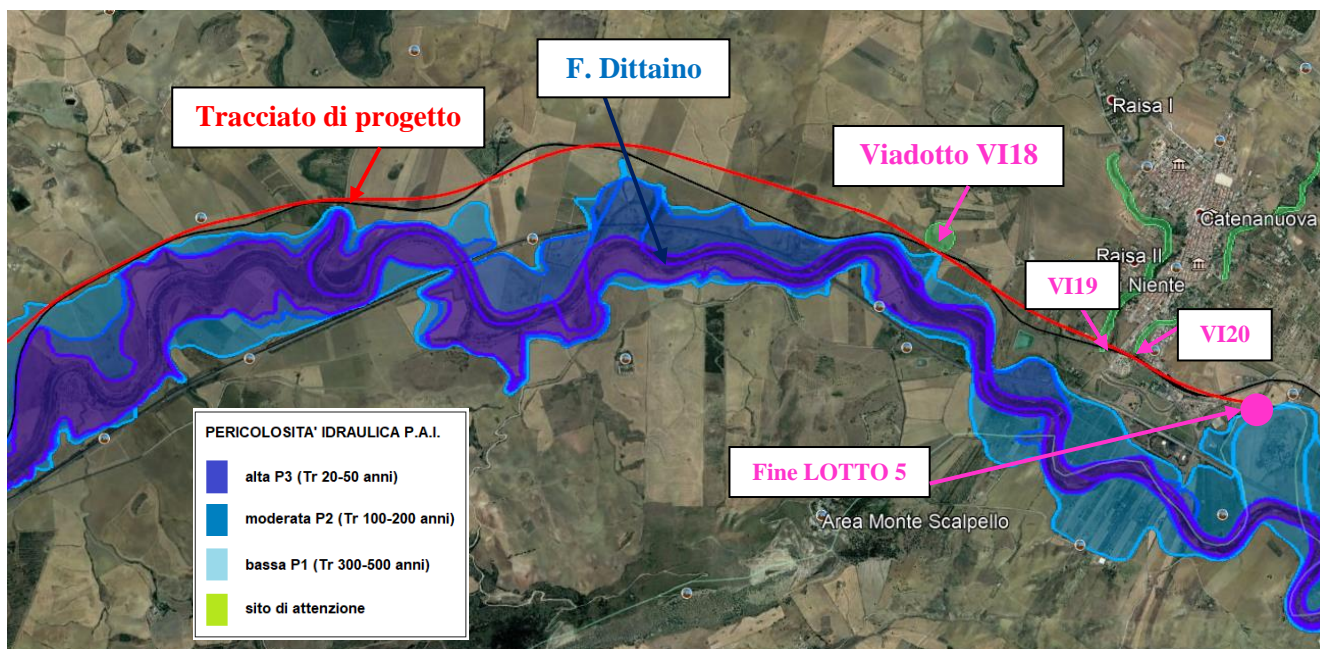


Figura 2 – Fiume Dittaino: aree a pericolosità idraulica (P.A.I.) da pk 8+000 a pk 15+000.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 11 di 88



**Figura 3 – Fiume Dittaino: aree a pericolosità idraulica (P.A.I.) da pk 15+000 a pk 23+000 (fine intervento).**

## 2.2. OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO

Obiettivo del presente studio idraulico è quello di valutare la compatibilità idraulica dei nuovi attraversamenti/viadotto VI03, VI06, VI07, VI12 della linea ferroviaria Palermo-Catania, tratta *Dittaino – Catenanuova* (Lotto 5), nonché dell'intertracciato in progetto (comprese le opere accessorie), nel suo sviluppo in affiancamento al Fiume Dittaino. Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento devono osservare le prescrizioni del Manuale di Progettazione RFI (MdP), nonché le indicazioni riportate nelle NTC2008 (normativa di riferimento del presente progetto) e nella relativa circolare esplicativa n. 617 del 2 febbraio 2009. In sintesi, con riferimento al MdP, le opere idrauliche di attraversamento devono essere verificate per eventi di massima piena caratterizzati dai seguenti tempi di ritorno ( $Tr$ ):

- $Tr = 300$  anni per  $S \geq 10$  km<sup>2</sup> (come nel caso in esame)
- $Tr = 200$  anni per  $S < 10$  km<sup>2</sup>

avendo indicato con  $S$  la superficie del bacino (o del sottobacino) idrografico sotteso alla sezione dell'attraversamento.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 12 di 88

Per gli attraversamenti principali (ponti e viadotti), relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena, si specifica quanto segue:

- il franco idraulico tra la quota di intradosso del manufatto ed il livello idrico corrispondente alla piena di progetto ( $Tr = 300$ ) non deve essere inferiore a 1.5 m nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento;
- il franco minimo tra la quota di intradosso del manufatto e la quota di carico idraulico totale deve essere almeno pari a 50 cm.

Inoltre, nel caso di rilevati vulnerabili per esondazione di corsi d'acqua, *“dovrà essere garantito un franco non inferiore a 1 m tra la quota della piattaforma ferroviaria (piano di regolamento) e la massima altezza raggiungibile dalla quota di massima piena di progetto; le scarpate dovranno essere protette da apposite opere di difesa progettate sulla base dei parametri indicati nei piani di bacino o negli studi idraulici di progetto.”*

Con riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008), l'opera deve rispondere ai seguenti requisiti:

*“Di norma il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d'acqua attivo e, se arginato, i corpi arginali. Qualora eccezionalmente fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce minima tra pile contigue, misurata ortogonalmente al filone principale della corrente, non dovrà essere inferiore a 40 metri. Soluzioni con luci inferiori potranno essere autorizzate dall'Autorità competente, previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Nel caso di pile e/o spalle in alveo cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni dell'alveo e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle. La quota idrometrica ed il franco dovranno essere posti in correlazione con la piena di progetto riferita ad un periodo di ritorno non inferiore a 200 anni. Il franco di sottotrave e la distanza tra il fondo alveo e la quota di sottotrave dovranno essere assunte tenendo conto del trasporto solido di fondo e del trasporto di materiale galleggiante. Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.”*

Nella relativa circolare applicativa n.617 del 2 febbraio 2009, si asserisce inoltre:

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 13 di 88

Con riferimento alle NTA del P.A.I. della Regione Sicilia (art.11, comma 1 e 4.h):

*“Nelle aree a pericolosità idraulica P4 e P3 sono vietate tutte le opere e le attività di trasformazione dello stato dei luoghi e quelle di carattere urbanistico ed edilizio, relativamente agli elementi individuati in E4 ed E3..... In queste aree sono esclusivamente consentiti.....la **realizzazione di nuove infrastrutture pubbliche** e di interesse pubblico, nonché l’ampliamento o la ristrutturazione delle esistenti, purché compatibili con il livello di pericolosità esistente. A tal fine i progetti dovranno essere corredati da uno studio di compatibilità idraulica redatto secondo gli indirizzi contenuti nell’Appendice “B”.....”*

Con riferimento invece alle NTA del P.G.R.A. della Regione Sicilia (art.10):

*“Le **nuove opere di attraversamento stradale o ferroviario**, o comunque le infrastrutture **interessanti** il reticolo idrografico, le fasce fluviali, o le **aree pericolosità** devono essere progettate nel rispetto dei criteri e delle prescrizioni tecniche per la verifica idraulica di cui ad apposita direttiva come indicata all’art. 3, comma 1, lett.g.”*

In definitiva, in accordo al MdP e alle NTC 2008, nonché alle indicazioni riportate nelle NTA del P.A.I. e del P.G.R.A. della Sicilia, è stato sviluppato uno studio di compatibilità idraulica in cui sono state effettuate le simulazioni numeriche idrauliche dei corsi d’acqua interferenti, per i tempi di ritorno di **50, 100, 200, 300 anni**, secondo la definizione delle classi di pericolosità idraulica riportate in Tabella 1.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 14 di 88

### 3. STUDIO IDRAULICO

#### 3.1. GENERALITA'

Con riferimento ai due sottobacini individuati nello studio idrologico (RS3E50D09RIID0001001A):

- 1) *Sottobacino 1* (superficie 480 km<sup>2</sup> circa, con sezione di chiusura in prossimità del viadotto VI12 sul F. Dittaino)
- 2) *Sottobacino 2* (superficie 660 km<sup>2</sup> circa, con sezione di chiusura collocata a fine intervento, in prossimità di Catenanuova)


sono stati sviluppati due modelli (numerici) idraulici bidimensionali (2D) del F. Dittaino, in regime di moto vario, tramite il software Infoworks ICM 9.0, finalizzati alla determinazione delle aree potenzialmente inondabili (per le portate di piena di riferimento) lungo l'intero sviluppo delle linea in progetto, nonché della loro possibile interferenza con il nuovo tracciato ferroviario. Nel primo modello sono stati inseriti anche i contributi idrologici dei tre corsi d'acqua minori afferenti rispettivamente ai bacini con ID = 8 (viadotto VI03), 12 (viadotto VI06), 16 (viadotto VI07), come precisato nel relativo studio idrologico (per maggiori dettagli, si rimanda all'elaborato RS3E50D09RIID0001002A).

Sono stati inoltre implementati i modelli idraulici (numerici) monodimensionali (1D) del Fiume Dittaino e dei tre corsi d'acqua minori sopra citati, in regime di moto permanente, tramite il software HecRas 5.0.7., finalizzati allo studio delle fasi di cantiere relative alla realizzazione dei viadotti VI03, VI06, VI07, VI12.

#### 3.2. DATI DI BASE

I dati cartografici e topografici a disposizione per l'implementazione dei modelli numerici sopra introdotti sono:

- rilievo laseraltimetrico (LiDAR) ad alta risoluzione eseguito dalla Società Italferr SPA;
- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 2x2 m, fornito dalla Regione Sicilia;
- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 1x1 m, fornito dal Ministero dell'Ambiente;
- rilievo di sezioni (batimetriche) trasversali del F. Dittaino e delle opere di attraversamento esistenti;

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA RS3E	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 15 di 88

- sezioni trasversali del F. Dittaino riportate nel P.A.I./P.G.R.A.;
- rilievo di sezioni (batimetriche) trasversali dei corsi d’acqua minori e delle opere di attraversamento esistenti.

Il confronto tra le diverse informazioni, ed in particolare tra le sezioni trasversali dell’alveo rilevate durante apposite campagnetopografiche ed i rilievi LiDAR, ha permesso, nell’implementazione dei modelli numerici sviluppati, di utilizzare i dati più aggiornati, che riproducessero maggiormente le attuali condizioni in alveo e nelle aree golenali, potenzialmente inondabili.

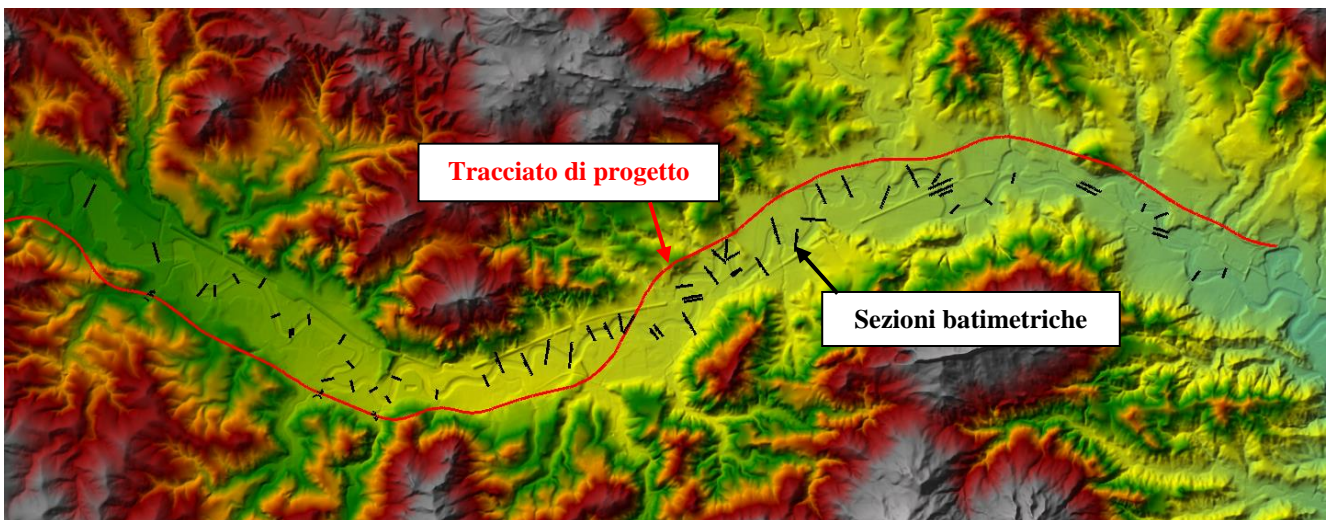


Figura 4 – Sezioni batimetriche rilevate sul Fiume Dittaino e sui tre corsi d’acqua minori considerati.

### 3.2.1. Opere di attraversamento in progetto

#### 3.2.1.1. Viadotto VI03

Il viadotto VI03 in progetto è costituito di 26 campate; nello specifico:

- da Spalla A a pila P18, campate di luce pari a 25 metri
- da pila P18 a pila P22, campate di luce pari a 40 metri
- da pila P22 a pila P23, campata di luce pari a 50 metri
- da pila P23 a Spalla B, campate di luce 40 metri

Tutte le pile sono circolari con diametro pari a 4.5 metri; le pile di scavalco del corso d'acqua minore alla pk 3+100 (bacino ID = 8) sono P22-P23 (campata da 50 m); la quota di intradosso dell'impalcato in corrispondenza del corso d'acqua si attesta a +247.60 m slm.



Figura 5 – Corso d'acqua minore alla pk 3+100 (bacino ID = 8): attraversamento in progetto (viadotto VI03).

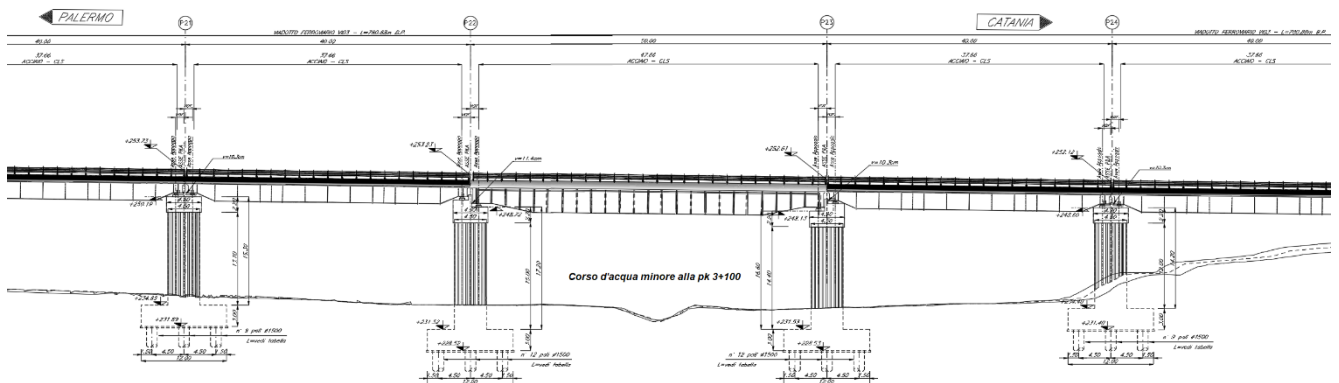


Figura 6 – Viadotto VI03: sezione trasversale.

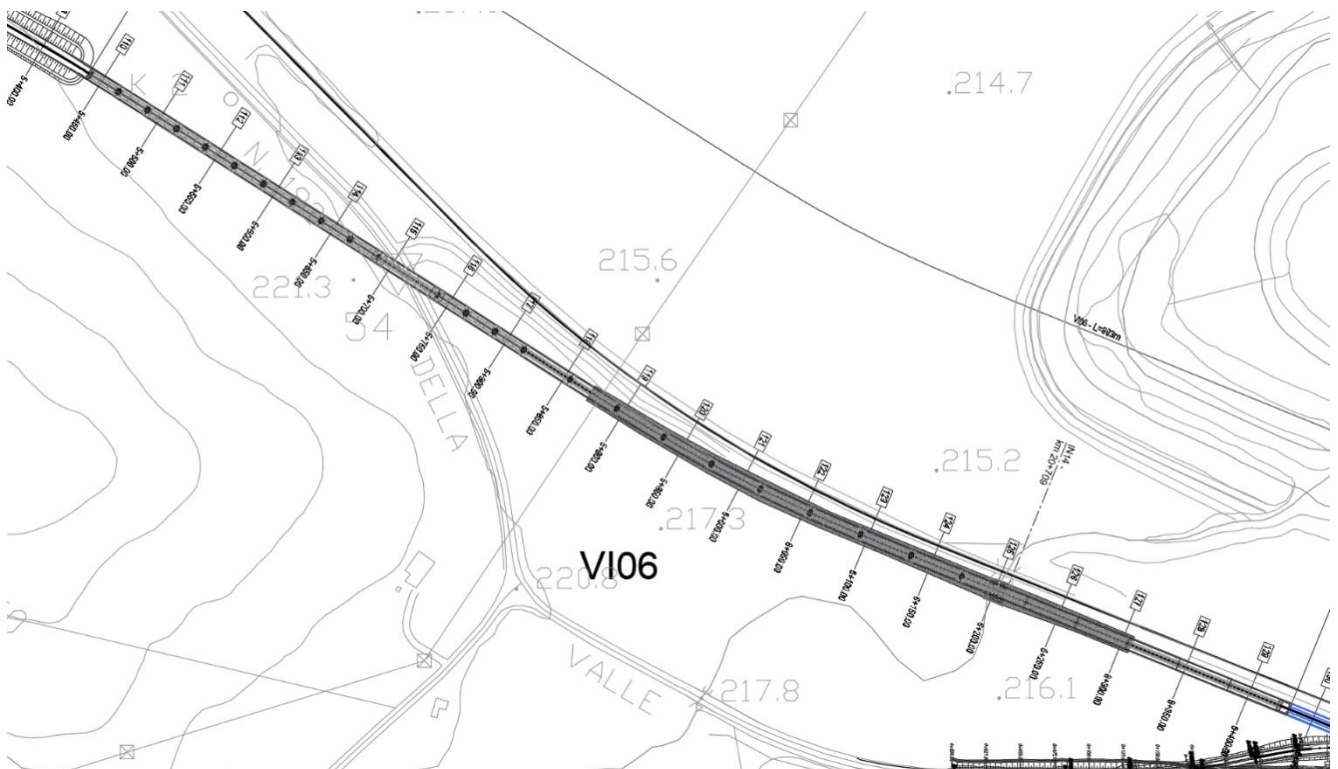


### 3.2.1.2. Viadotto VI06

Il viadotto VI06 in progetto è costituito di 29 campate; nello specifico:

- da Spalla A a pila P10, campate di luce pari a 25 metri
- da pila P10 a pila P11, campata di luce pari a 50 metri (scavalco della SS192)
- da pila P11 a pila P14, campate di luce pari a 25 metri
- da pila P14 a pila P23, campate di luce pari a 40 metri
- da pila P23 a pila P24, campata di luce pari a 50 metri
- da pila P24 a Spalla B, campate di luce pari a 40 metri

Tutte le pile sono circolari con diametro pari a 4.5 metri; le pile di scavalco del corso d'acqua minore alla pk 6+200 (bacino con ID = 12) sono P23-P24 (campata da 50 m); la quota di intradosso dell'impalcato in corrispondenza del corso d'acqua si attesta a +220.60 m slm.



**Figura 7 – Corso d'acqua minore alla pk 6+200 (bacino ID = 12): attraversamento in progetto (viadotto VI06).**

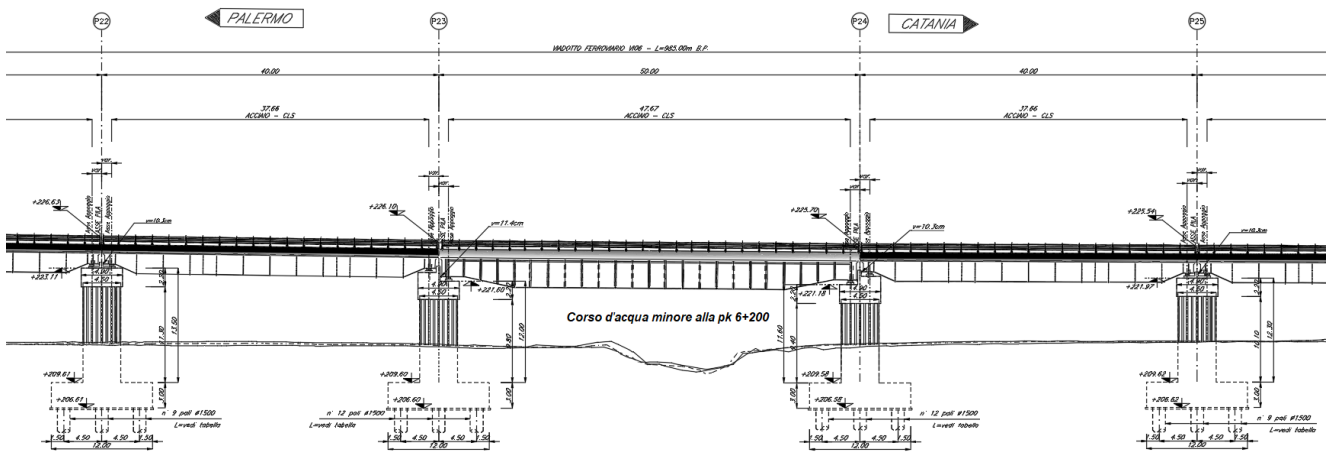


Figura 8 – Viadotto VI06: sezione trasversale.

### 3.2.1.3. Viadotto VI07

Il viadotto VI07 in progetto è costituito di 4 campate; nello specifico:

- da Spalla A a pila P2, campate di luce pari a 40 metri
- da pila P2 a pila P3, campata di luce pari a 50 metri
- da pila P3 a Spalla B, campata di luce pari a 40 metri

Tutte le pile sono circolari con diametro pari a 4.5 metri; le pile di scavalco del corso d'acqua minore alla pk 7+100 (bacino con ID = 16) sono P2-P3 (campata da 50 m); la quota di intradosso dell'impalcato in corrispondenza del corso d'acqua si attesta a +216.90 m slm.

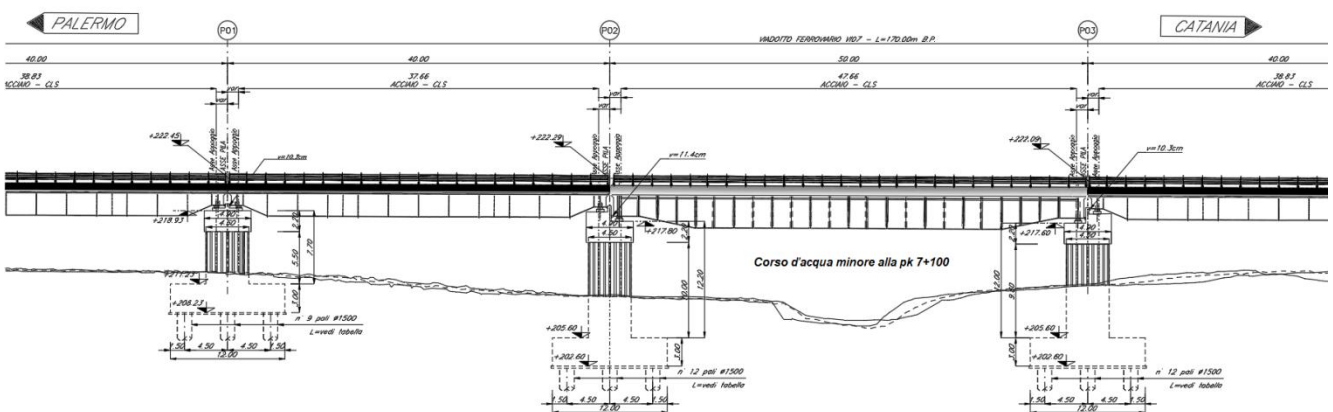
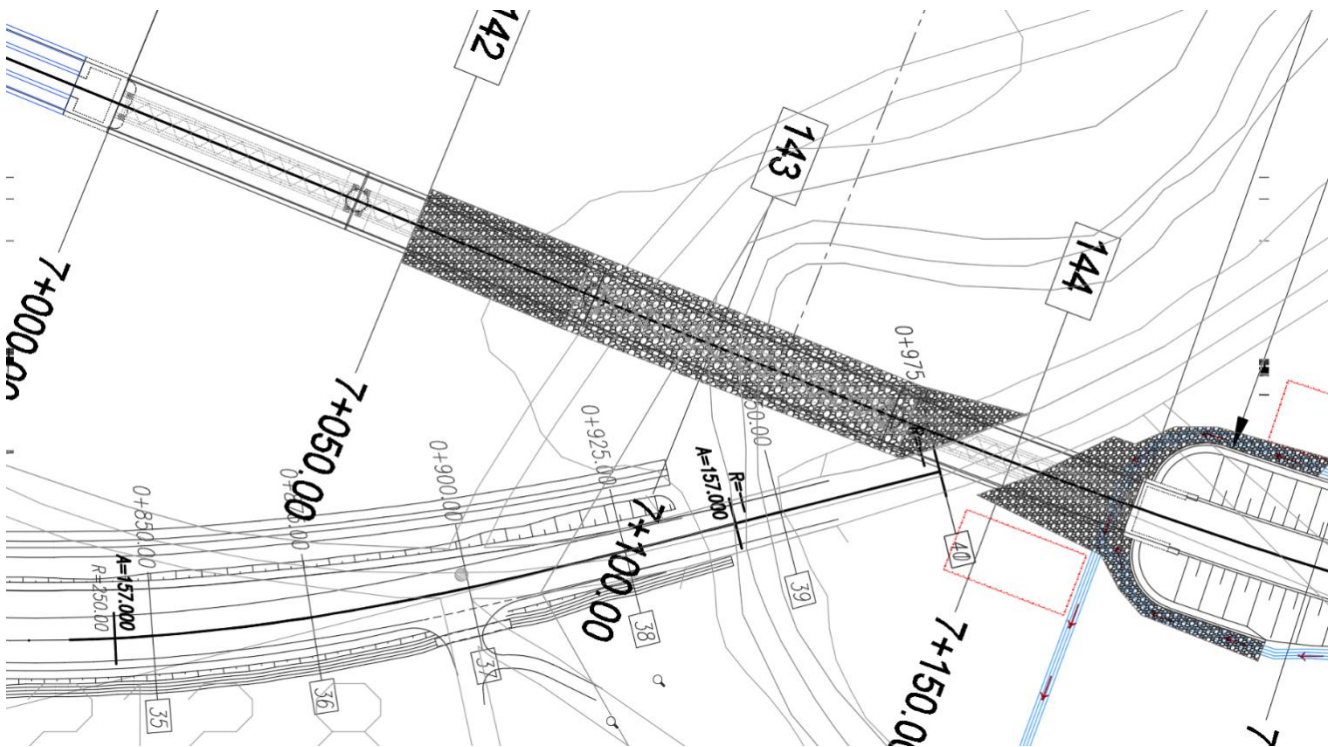


Figura 9 – Viadotto VI07: sezione trasversale.



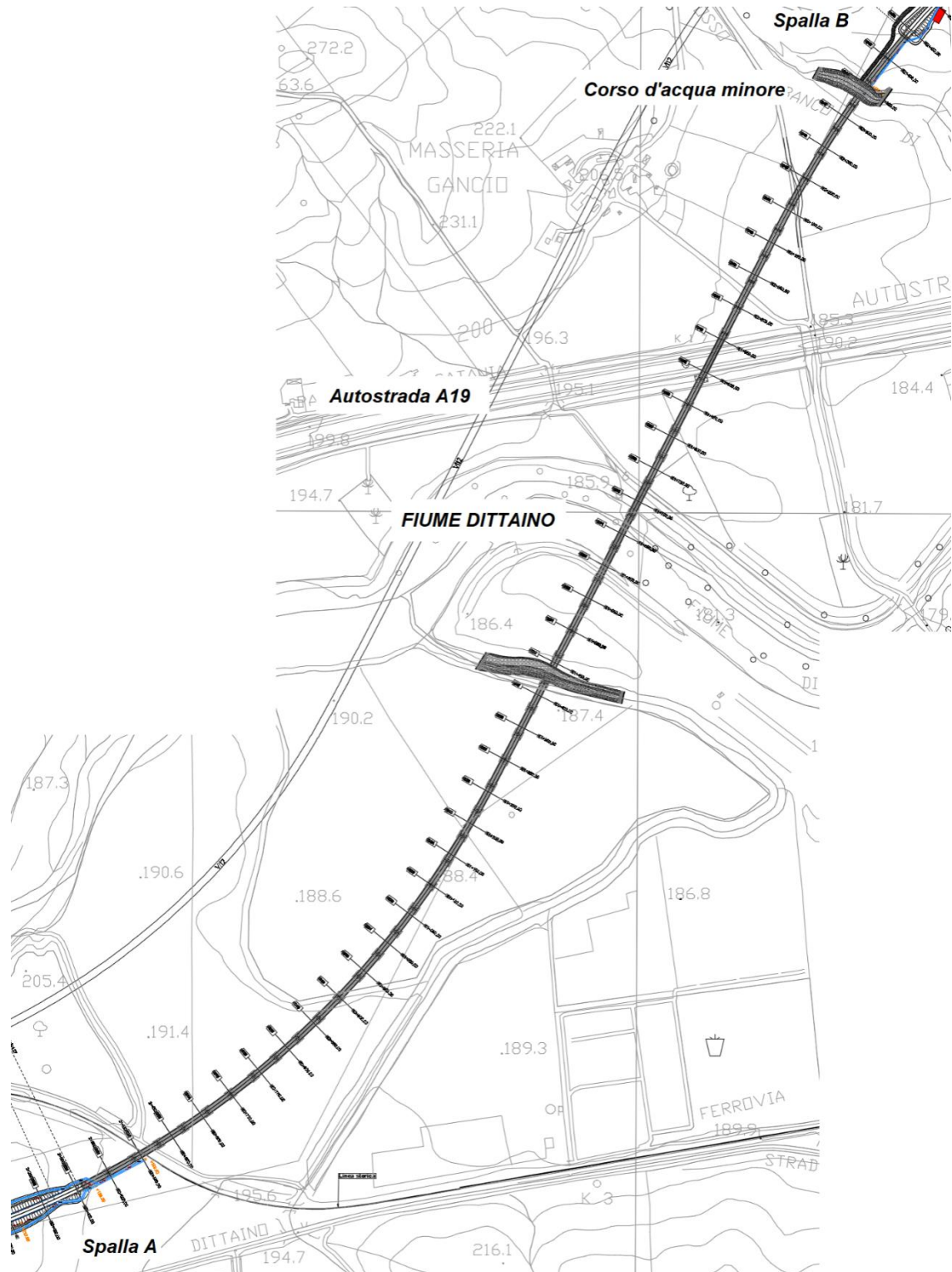
**Figura 10 – Corso d’acqua minore alla pk 7+100 (bacino ID = 16): attraversamento in progetto (viadotto VI07).**

#### 3.2.1.4. Viadotto VII2

Il viadotto VII2 in progetto è costituito di 48 campate; nello specifico:

- da Spalla A a pila P28, campate di luce pari a 40 metri
- da pila P28 a pila P31, campate di luce pari a 50 metri (scavalco Fiume Dittaino)
- da pila P31 a pila P35, campate di luce pari a 40 metri
- da pila P35 a pila P36, campata di luce pari a 70 metri (scavalco Autostrada A19 Palermo - Catania)
- da pila P36 a Spalla B, campate di luce pari a 40 metri

Tutte le pile sono circolari con diametro pari a 4.5 metri; le pile di scavalco del Fiume Dittaino sono P28-P29-P30-P31 (campate da 50 m); la quota di intradosso dell’impalcato in corrispondenza del corso d’acqua si attesta a +197.60 m slm. Tra le pile P45-P46 è attraversato anche un corso d’acqua minore (campata 40 m), tributario in sinistra idraulica del Fiume Dittaino. Le relative analisi idrologico-idrauliche e opere di sistemazione previste sono riportate negli elaborati specialistici RS3E50D78RIID0002001A, RS3E50D78P6ID0002003A.



**Figura 11 – Fiume Dittaino: attraversamento in progetto (viadotto VI12).**

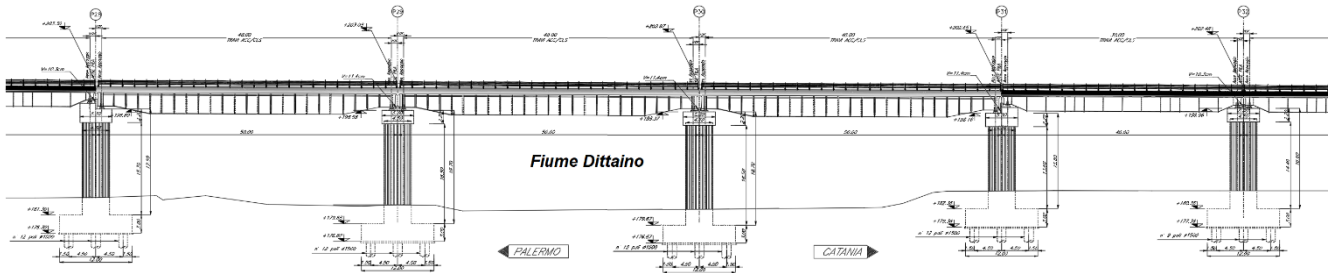


Figura 12 – Viadotto VI12: sezione trasversale.

### 3.3. IMPLEMENTAZIONE DEI MODELLI NUMERICI IDRAULICI

#### 3.3.1. Modello bidimensionale

Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione dei modelli bidimensionali del Fiume Dittaino e dei tre corsi d'acqua minori considerati è il software InfoWorks ICM 9.0, sviluppato dalla software house Innowyze con sede a Wallingford nel Regno Unito (UK). La modellazione bidimensionale di un corso d'acqua permette di rappresentare con accuratezza la propagazione delle onde di piena nell'asta fluviale e nelle aree ripariali attigue con la riuscendo a modellare il comportamento della corrente in prossimità di bruschi restringimenti/allargamenti e forti curvature; è possibile inoltre rappresentare con un elevato grado di dettaglio la propagazione del moto in prossimità di attraversamenti o di eventuali interferenze presenti lungo lo sviluppo del tratto fluviale verso valle. Allo stesso tempo la rappresentazione in termini bidimensionali del campo di velocità consente di analizzare l'evoluzione degli allagamenti indotti dal propagarsi delle onde di piena all'interno dell'area esaminata.

Il software impiegato è in grado di contenere all'interno dello stesso modello numerico elementi di tipo bidimensionale e monodimensionale. Il modello numerico utilizzato risolve le equazioni in condizioni di moto vario.

Per valutare il campo di moto, il modello numerico implementato in InfoWorks ICM è basato sulla procedura proposta da *Alcrudo and Mullet-Marti (2005), Urban inundation models based upon the Shallow Water Equations.*

La rappresentazione bidimensionale del moto si basa sulla risoluzione delle shallow water equations (o SWE). Le ipotesi alla base per la soluzione delle SWE sono che il flusso sia orizzontale e che la variazione della velocità nella verticale rispetto alla direzione del moto sia trascurabile. Inoltre, le equazioni sono sviluppate accettando a priori l'ipotesi di idrostaticità del gradiente delle pressioni lungo la direzione verticale. La formulazione delle SWE utilizzate nel software InfoWorks ICM è riassunta di seguito:

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

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


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

I termini citati rappresentano rispettivamente:  $h$ , il tirante idrico della corrente;  $u$  e  $v$ , rispettivamente le componenti della velocità lungo le direzioni  $x$  e  $y$ ;  $t$ , il tempo;  $g$ , l'accelerazione di gravità;  $S_{0,x}$ ,  $S_{0,y}$  le componenti dovute alle tensioni tangenziali al fondo, rispettivamente in direzione  $x$  e  $y$ ;  $S_{f,x}$ ,  $S_{f,y}$ , le componenti dovute alla pendenza del fondo, rispettivamente in direzione  $x$  e  $y$ ;  $q_{1D}$ , la portata immessa per unità di superficie;  $u_{1d}$  e  $v_{1d}$ , le componenti di velocità relative alla portata immessa rispettivamente in direzione  $x$  e  $y$ .

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

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

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 23 di 88

Lo schema che risolve le SWE è basato sullo schema numerico di Gudonov con i flussi numerici attraverso i contorni dei volumi di controllo calcolati. La metodologia secondo i volumi finiti è considerata essere vantaggiosa in termini di flessibilità della geometria e semplicità concettuale.

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

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

dove:  $c$  è il numero di Courant (il valore di default è 0.95). Inoltre, InfoWorks ICM utilizza mesh non strutturate per rappresentare il dominio di calcolo bidimensionale.

### 3.3.1.1. Geometria del modello

Le caratteristiche geometriche della zona di interesse (in seguito definita dominio di calcolo) sono riportate all'interno del modello idraulico numerico tramite una discretizzazione del territorio attraverso 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.

Come anticipato, con riferimento ai sottobacini considerati, sono stati sviluppati due modelli idraulici numerici 2D, in regime di moto vario, la cui estensione è mostrata nelle figure seguenti.

Nello specifico, il modello idraulico relativo al Sottobacino 1 si estende dalla zona industriale “*Dittaino*”, a monte della confluenza del Torrente Calderari, fino alla sezione di chiusura DI138, così come individuata nello studio idrologico annesso alla presente relazione (in analogia alle analisi condotte nell'ambito del P.A.I./P.G.R.A.), situata ad una distanza di 4 km a valle della sezione di attraversamento in esame (Viadotto VI12), a monte della confluenza del Vallone Sciaguana. L'estensione complessiva di tale modello ammonta a circa 20 km, il dominio di calcolo ha una superficie di circa 22 km<sup>2</sup>.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 24 di 88

Il modello idraulico relativo al Sottobacino 2 si estende dalla sezione immediatamente a valle dell'autostrada A19 Palermo-Catania (circa 1,5 km a valle del nuovo viadotto VI12) fino alla sezione di chiusura DI120, così come individuata nello studio idrologico annesso alla presente relazione, per una estensione complessiva di circa 11 km. Il relativo dominio di calcolo ha una superficie di circa 17 km<sup>2</sup>.

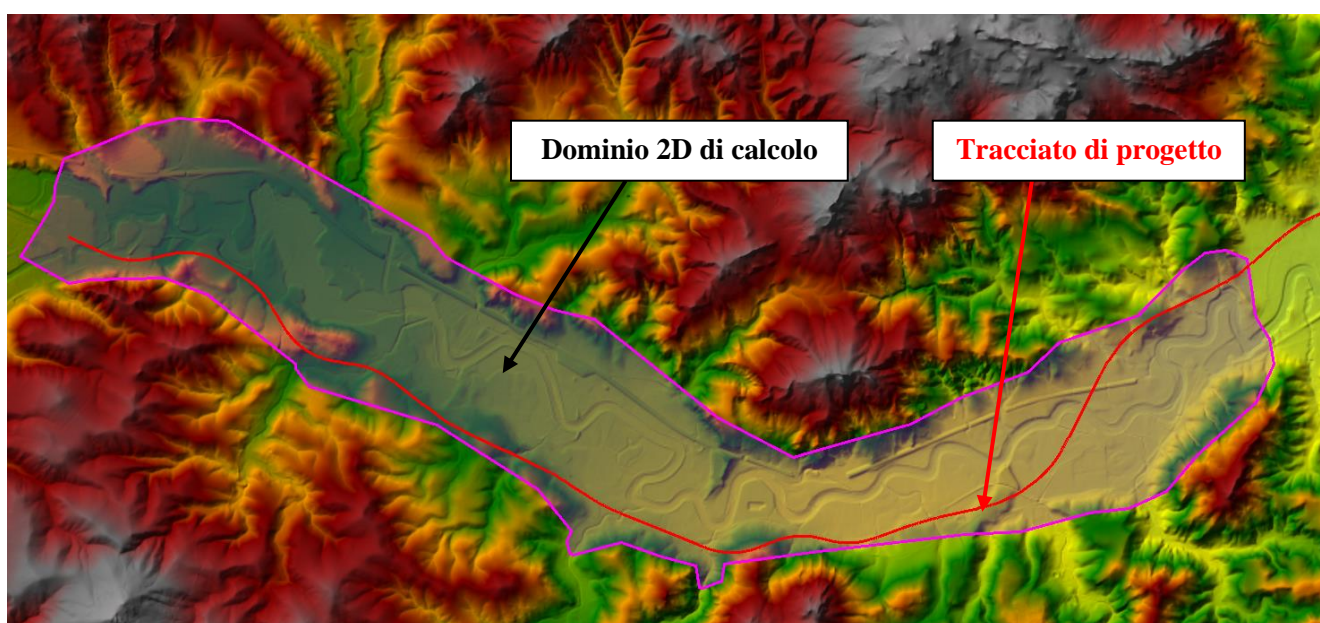


Figura 13 – Sottobacino 1 del FiumeDittaino: dominio di calcolo del modello idraulico 2D.

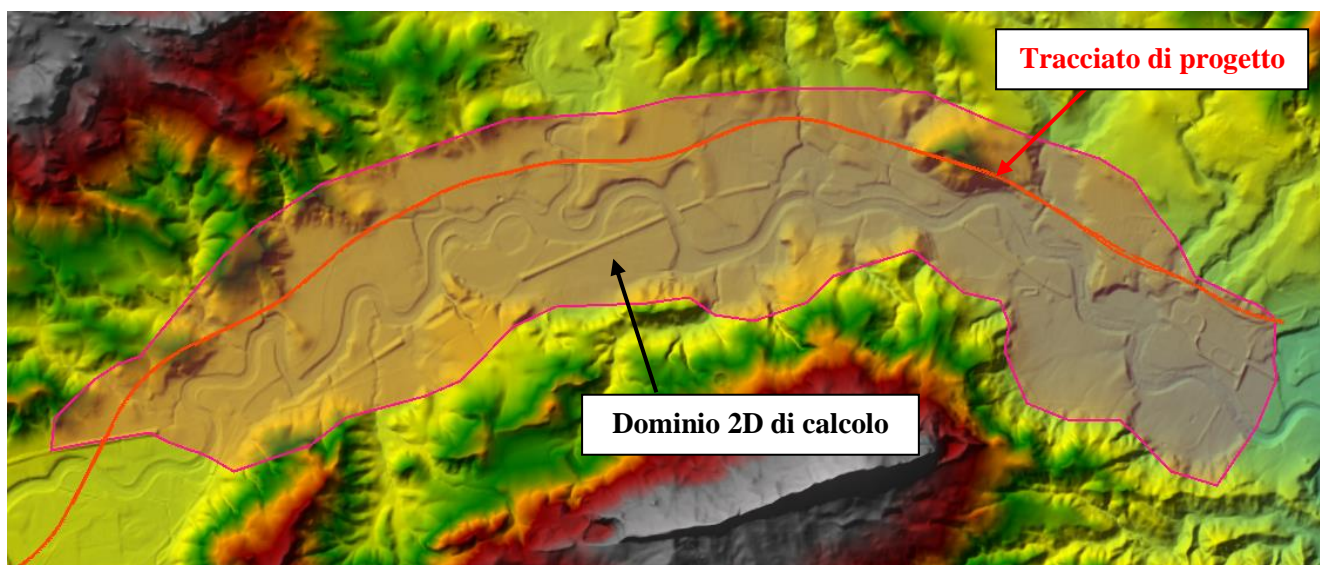
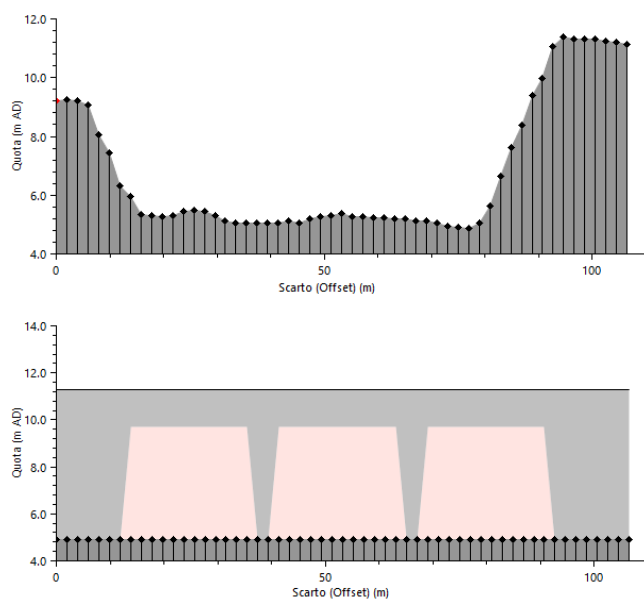


Figura 14 – Sottobacino 2 del FiumeDittaino: dominio di calcolo del modello idraulico 2D.




La geometria dei modelli sopra introdotti è stata implementata utilizzando i dati topografici disponibili per l'area di studio, precedentemente descritti. La rete di calcolo bidimensionale interessa sia l'alveo inciso sia le aree golenali di espansione esterne; questa è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in InfoWorks ICM, definendo opportune aree di infittimento della maglia in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc. La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di  $100 \text{ m}^2$  e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un'area di  $25 \text{ m}^2$ . Gli infittimenti della mesh (alveo e opere esistenti in alveo) sono stati sviluppati imponendo una dimensione massima degli elementi pari a  $25 \text{ m}^2$  e una dimensione minima di  $10 \text{ m}^2$ .

I viadotti in progetto, vista l'elevata distanza tra la quota di intradosso e il fondo alveo, è stato simulato introducendo nella mesh di calcolo poligoni "vuoti", rappresentanti l'ingombro delle pile in pianta. Le opere di attraversamento esistenti, presenti sui corsi d'acqua minori considerati e sul Fiume Dittaino, sono state invece implementate tramite appositi elementi disponibili nel software di calcolo (InfoWorks ICM 9.0). Nello specifico, la riproduzione di un ponte è ottenuta mediante due tipologie di "linea": 1) *Struttura lineare 2D Base* (per rappresentare la sezione di attraversamento); 2) *Struttura lineare – Ponte 2D* (per rappresentare l'impalcato e le luci). Mediante la prima linea, viene estratta dal DTM di base la sezione d'alveo in corrispondenza del ponte/viadotto; tramite la seconda linea, viene definita la struttura (impalcato) dell'opera di attraversamento.



**Figura 15 – Modello 2D del Fiume Basento: implementazione delle opere di attraversamento in InfoWorks ICM.**

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 26 di 88

### 3.3.1.2. Scabrezze

Per quanto concerne il coefficiente di scabrezza (Manning,  $n$ ), in analogia alle simulazioni condotte nell'ambito del P.A.I./P.G.R.A., sono stati adottati i seguenti valori:

- per l'alveo inciso,  $n = 0.045 \text{ s/m}^{1/3}$ ;
- per le aree golenali e/o esterne, potenzialmente inondabili,  $n = 0.060 \text{ s/m}^{1/3}$ .

### 3.3.1.3. Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno assegnate nei modelli idraulici sviluppati sono schematicamente rappresentate nelle figure seguenti. Nello specifico, gli idrogrammi di riferimento (Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21, Figura 22) imposti come condizione al contorno di montesono quelli ricavati nello studio idrologico annesso (elaborati RS3E50D09RIID0001001A – *Relazione Idrologica: studio idrologico del Bacino del Fiume Dittaino*; RS3E50D09RIID0001002A – *Relazione Idrologica: studio idrologico dei corsi d'acqua minori da "Dittaino a S. Palomba"*) al quale si rimanda per maggiori dettagli.

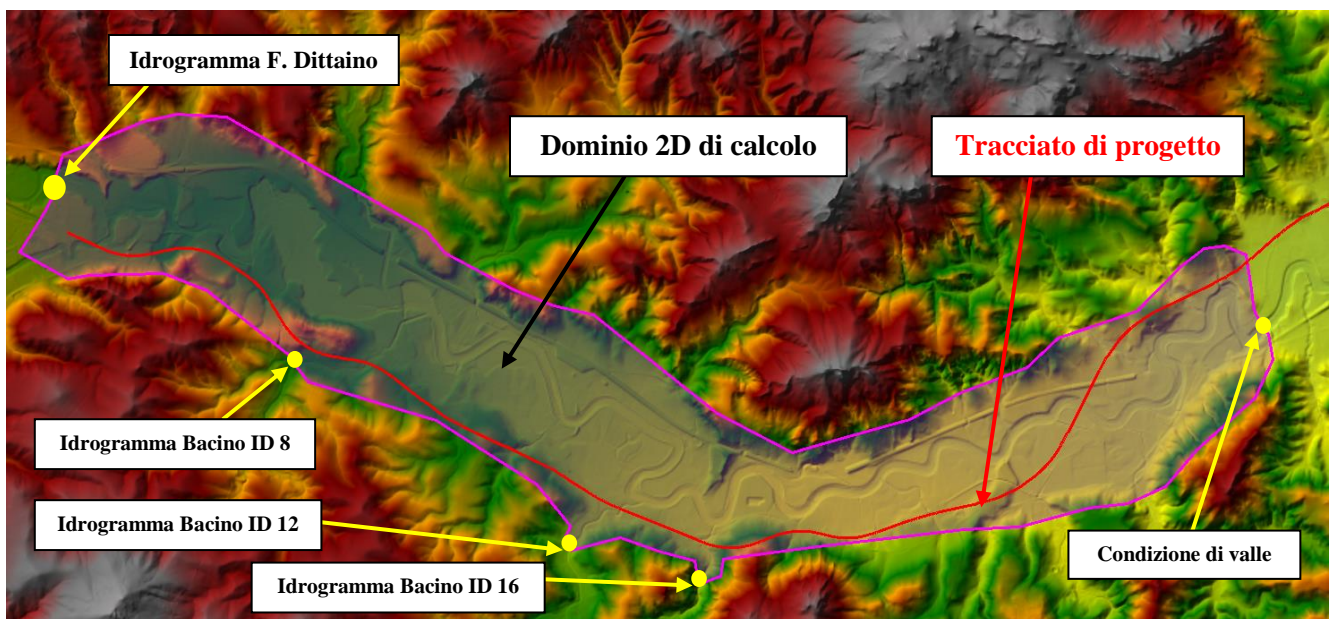


Figura 16 – Sottobacino 1 del Fiume Dittaino, modello numerico 2D: condizioni al contorno.

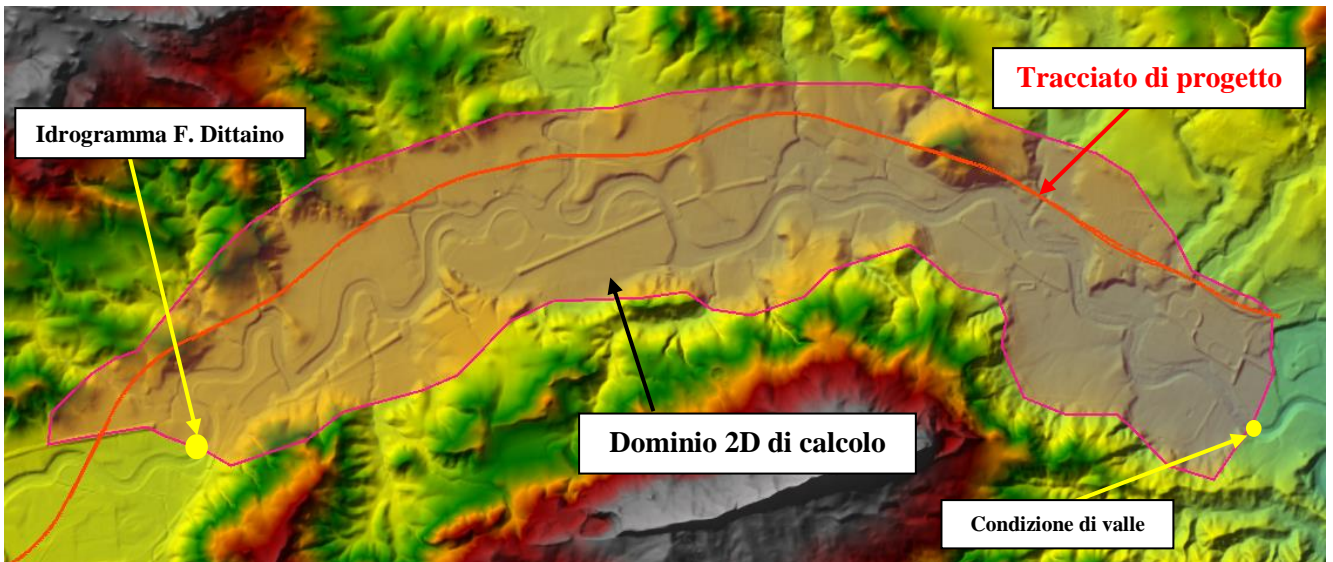


Figura 17 – Sottobacino 2 del Fiume Dittaino, modello numerico 2D: condizioni al contorno.

Come condizione di valle, è stata imposta la condizione di *livello idrico noto*. In particolare, con riferimento al modello 2D relativo al Sottobacino 1, nella sezione DI138 sono stati considerati i seguenti livelli idrici: +172.5 m slm, +173.6 m slm, +174.3 m slm, +174.7 m slm, per  $Tr = 50, 100, 200, 300$  anni, rispettivamente.

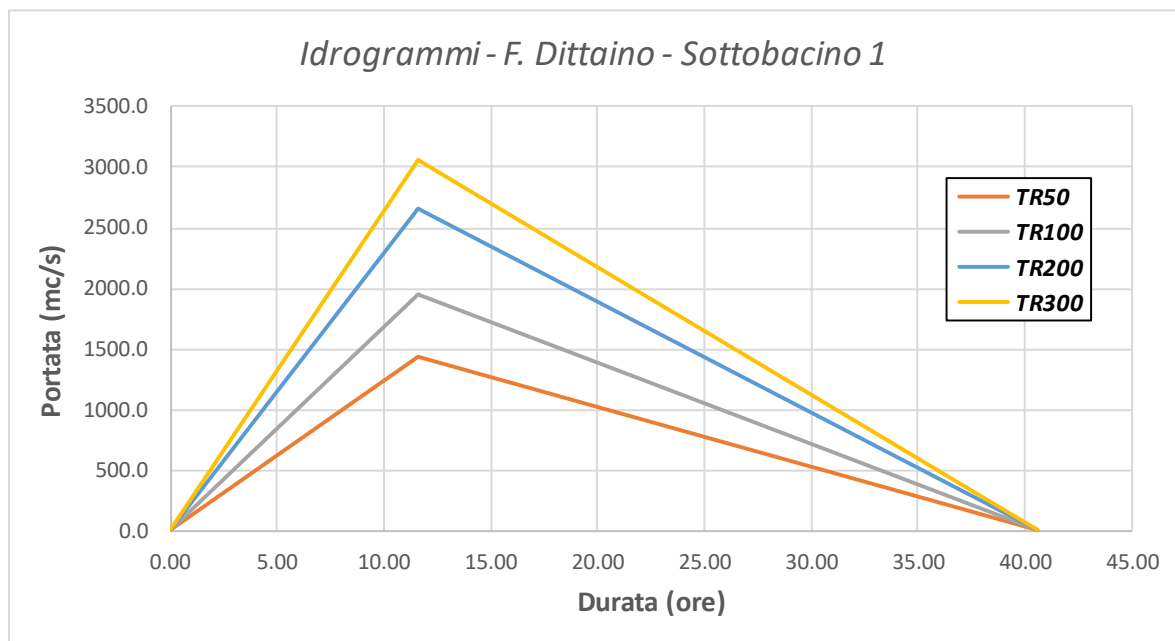
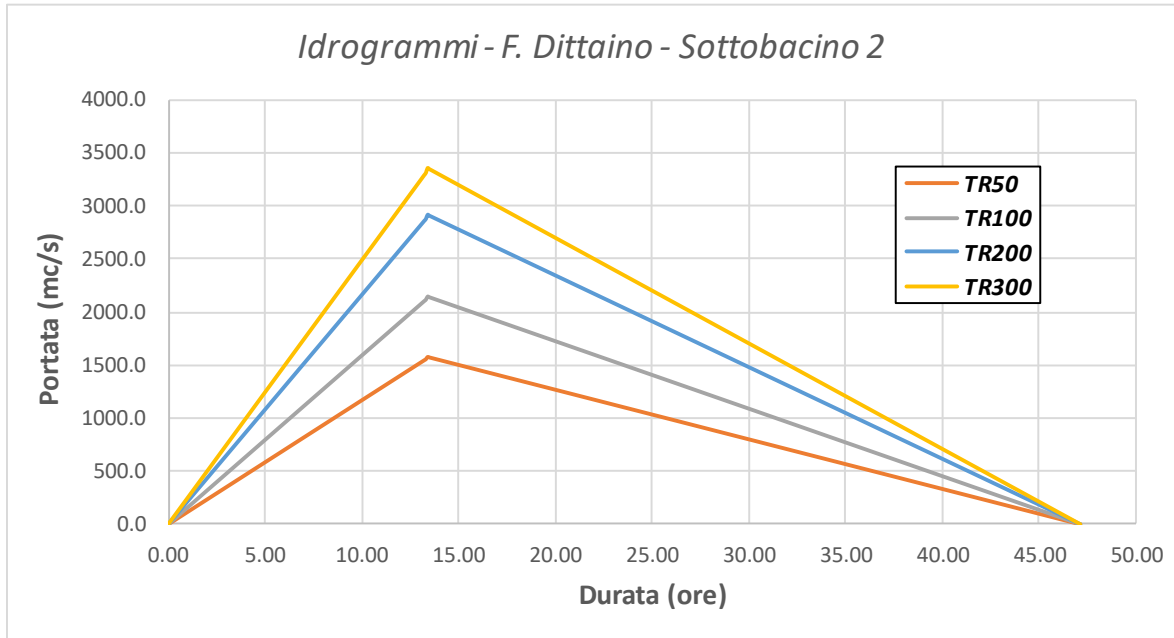
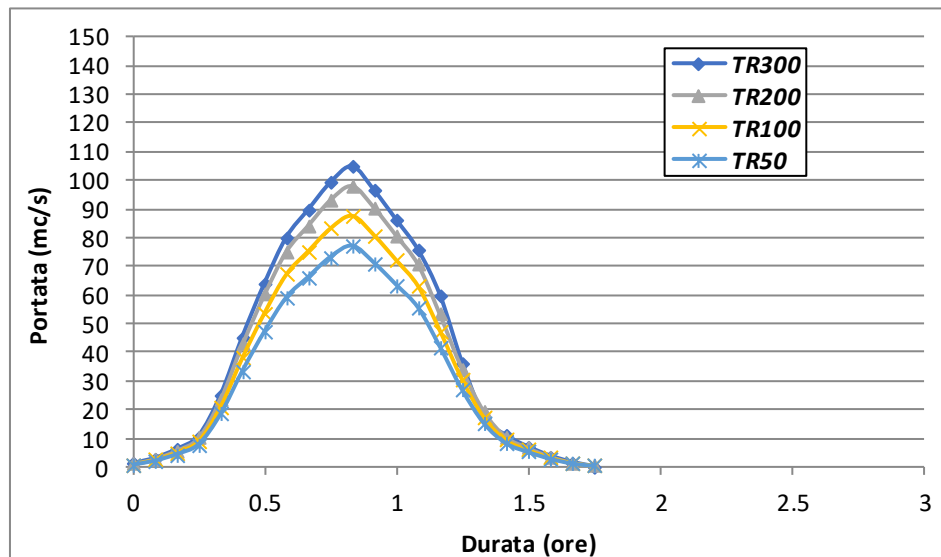


Figura 18 – Sottobacino 1 del F. Dittaino: idrogrammi di piena di progetto.



**Figura 19 – Sottobacino 2 del Fiume Dittaino: idrogrammi di piena di progetto.**



**Figura 20 – Bacino ID 8 (corso d'acqua minore alla pk 3+100): idrogrammi di piena di progetto.**

Per quanto concerne il modello 2D relativo al Sottobacino 2, nella sezione DI120 sono stati considerati i seguenti livelli idrici: +121.2 m slm, +121.9 m slm, +122.8 m slm, +123.3 m slm, per  $Tr = 50, 100, 200, 300$  anni, rispettivamente. I valori dei livelli idrici adottati sono stati dedotti dai risultati delle simulazioni monodimensionali (1D) sviluppate nell'ambito del P.A.I./P.G.R.A. della Regione Siciliana.

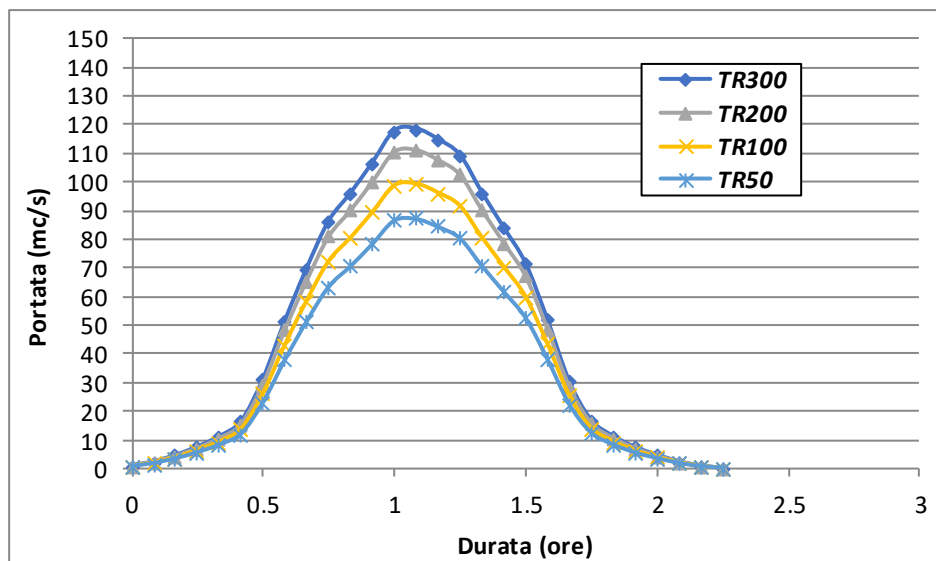


Figura 21 – Bacino ID 12 (corso d'acqua minore alla pk 6+200): idrogrammi di piena di progetto.

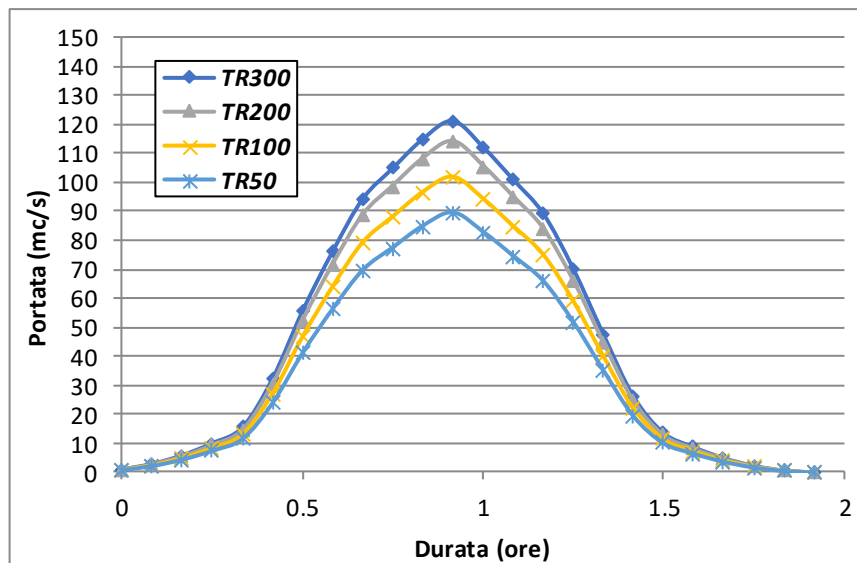


Figura 22 – Bacino ID 16 (corso d'acqua minore alla pk 7+100): idrogrammi di piena di progetto.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 30 di 88

#### 3.3.1.4. Scenari simulati

Come precedentemente introdotto, si è proceduto alla simulazione delle onde di pianariferite ai tempi di ritorno di 50, 100, 200, 300 anni, con riferimento alle seguenti configurazioni geometriche:

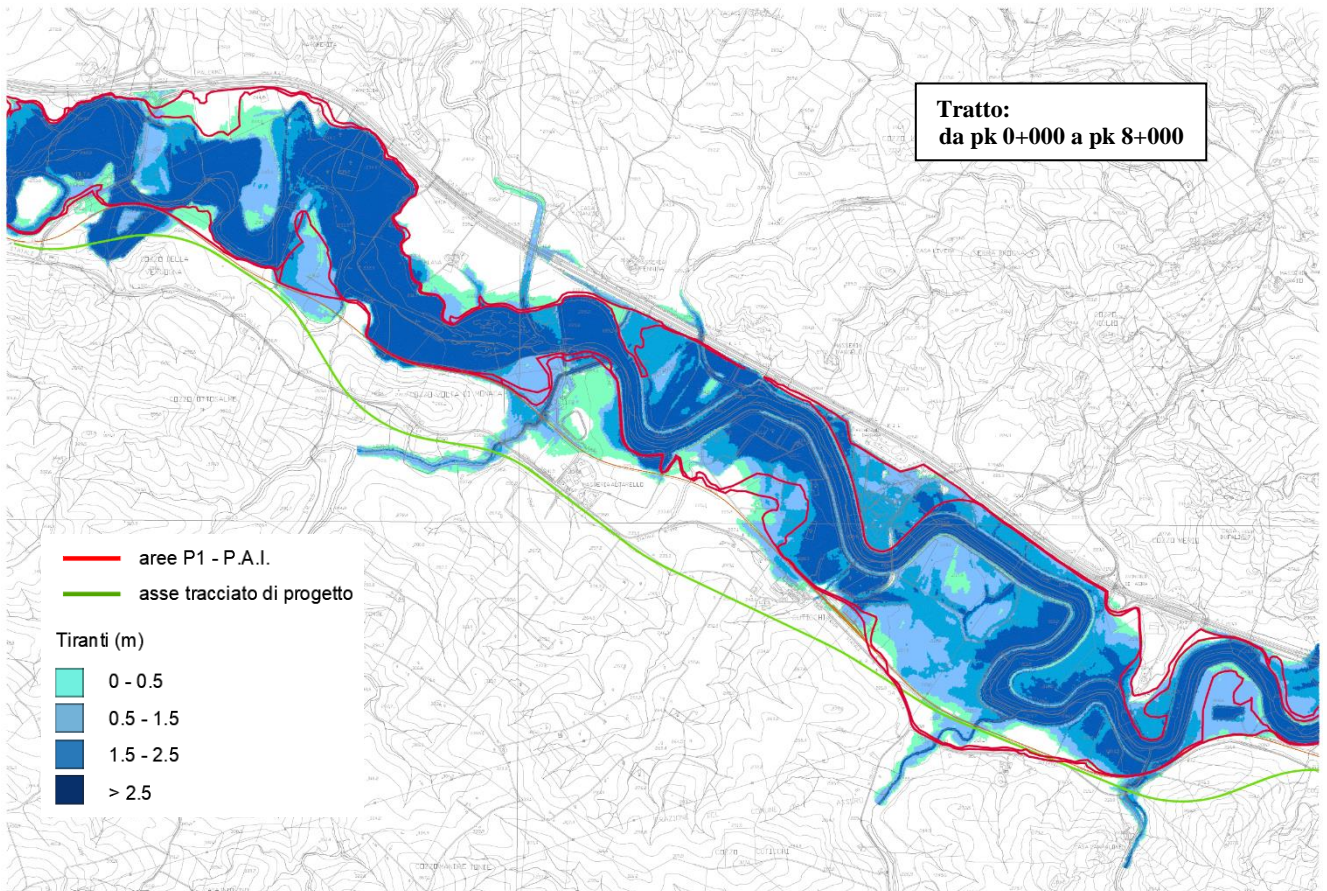
- *ante operam*: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto;
- *post operam*: si intende la geometria ottenuta dall’inserimento delle opere in progetto che possono modificare l’attuale espansione delle piene, nonché di interventi di risoluzione di eventuali criticità di natura idraulica.

#### 3.3.1.5. Risultati delle simulazioni numeriche 2D

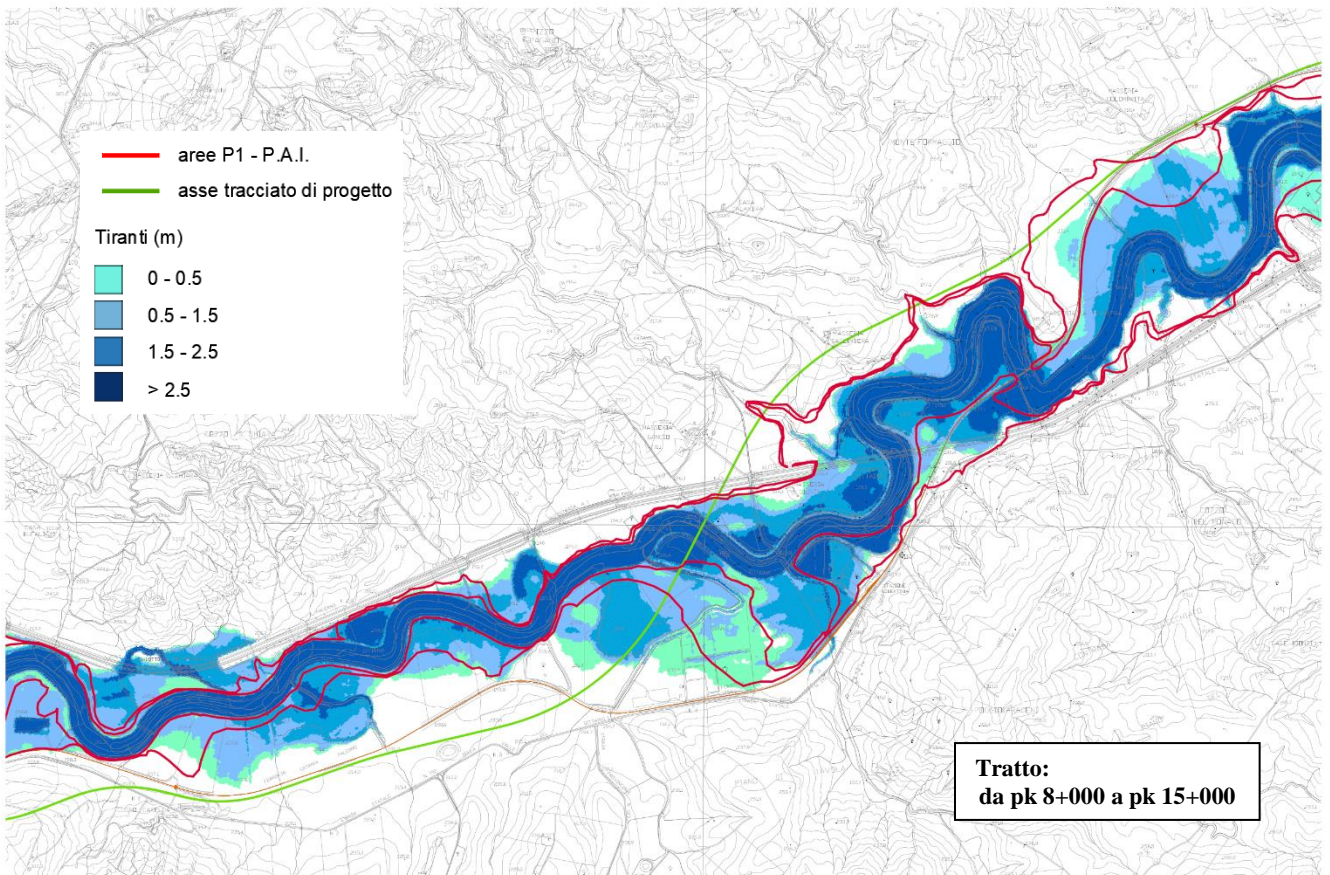
##### **SCENARIO ANTE OPERAM E CONFRONTO CON PERIMETRAZIONE PAI**

Nelle figure seguenti è riportato il confronto tra le aree di esondazione, corrispondenti ad un tempo di ritorno di 300 anni ottenute nel presente studio, e le aree di pericolosità P1 (bassa) derivanti dallo studio condotto nell’ambito del P.A.I./P.G.R.A. della Regione Siciliana.

Sebbene le portate al colmo, i coefficienti di scabrezza e le condizioni idrauliche al contorno siano le stesse, si osservano modeste/sensibili differenze, imputabili principalmente alla diversa base cartografica (più dettagliata) utilizzata per l’implementazione del modello numerico idraulico 2D.

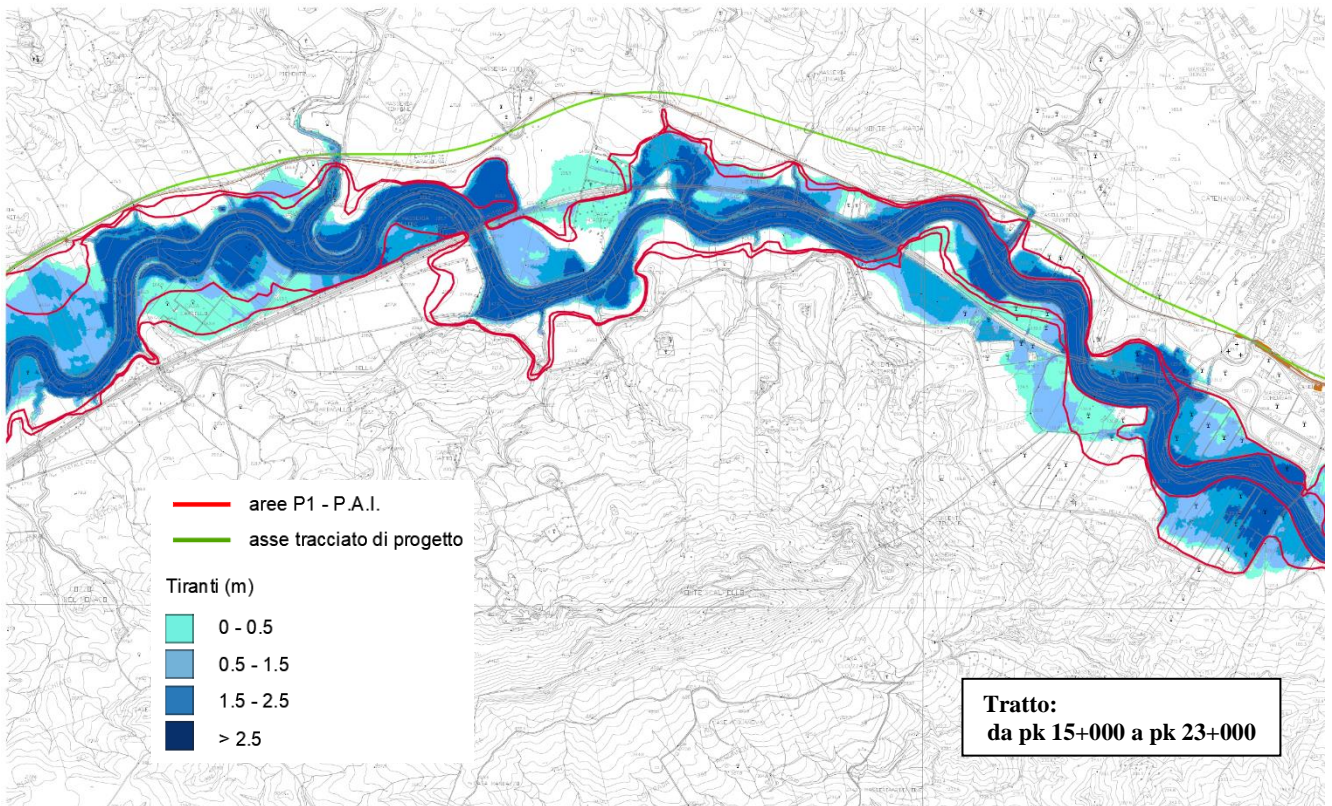


**Figura 23 – Fiume Dittaino: confronto tra le aree di pericolosità idraulica P1 (P.A.I.) e le aree di esondazione Tr 300 da modello 2D (tratto da pk 0+000 a pk 8+000).**




**Figura 24 – Fiume Dittaino: confronto tra le aree di pericolosità idraulica P1 (P.A.I.) e le aree di esondazione Tr 300 da modello 2D (tratto da pk 8+000 a pk 15+000).**





**Figura 25 – Fiume Dittaino: confronto tra le aree di pericolosità idraulica P1 (P.A.I.) e le aree di esondazione Tr 300 da modello 2D (tratto da pk 15+000 a pk 23+000).**

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 34 di 88

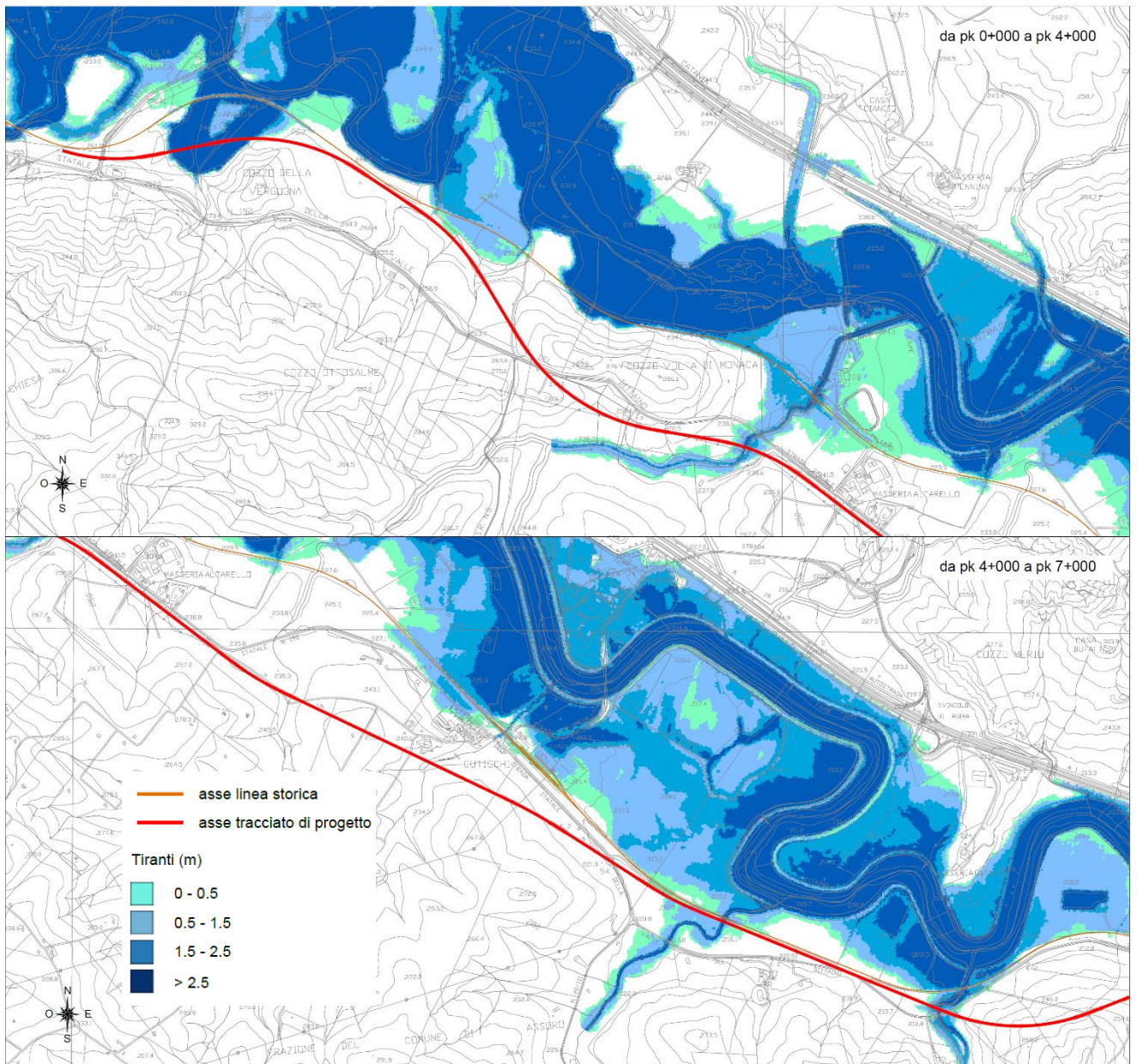
### **SCENARIO POST OPERAM E CONFRONTO CON SCENARIO ANTE OPERAM**

Nelle figure seguenti si riportano le aree di allagamento nelle condizionante *operame post operam* lungo l'intero tracciato di progetto, per il tempo di ritorno di 300 anni. Per gli altri tempi di ritorno simulati si rimanda agli elaborati grafici annessi alla presente relazione.

Si riporta anche il particolare (in scala adeguata) delle corrispondenti aree di esondazione (ante e post operam) dei tre corsi d'acqua minori considerati, in corrispondenza dei viadotti VI03, VI06, VI07.

Non si riscontrano differenze tra le due configurazioni geometriche considerate nè in corrispondenza dei viadotti VI03, VI06 e VI07 (interessati dalle esondazioni delle piene dei tre corsi d'acqua minori considerati), VI01 e VI12 (interessati dalle esondazioni delle piene del Fiume Dittaino), né lungo l'intera linea ferroviaria in progetto.

Nello specifico, il nuovo tracciato ferroviario, unitamente alle opere annesse, non interferisce con le aree di esondazione del Fiume Dittaino, a meno dei tratti in cui sono stati previsti nuovi viadotti. Le opere di attraversamento in progettorisultano quindi totalmente “*trasparenti*” dal punto di vista idraulico.



**Figura 26 – Modello 2D del Fiume Dittaino: aree di esondazione Tr 300, ante operam (da pk 0+000 a pk 7+000).**

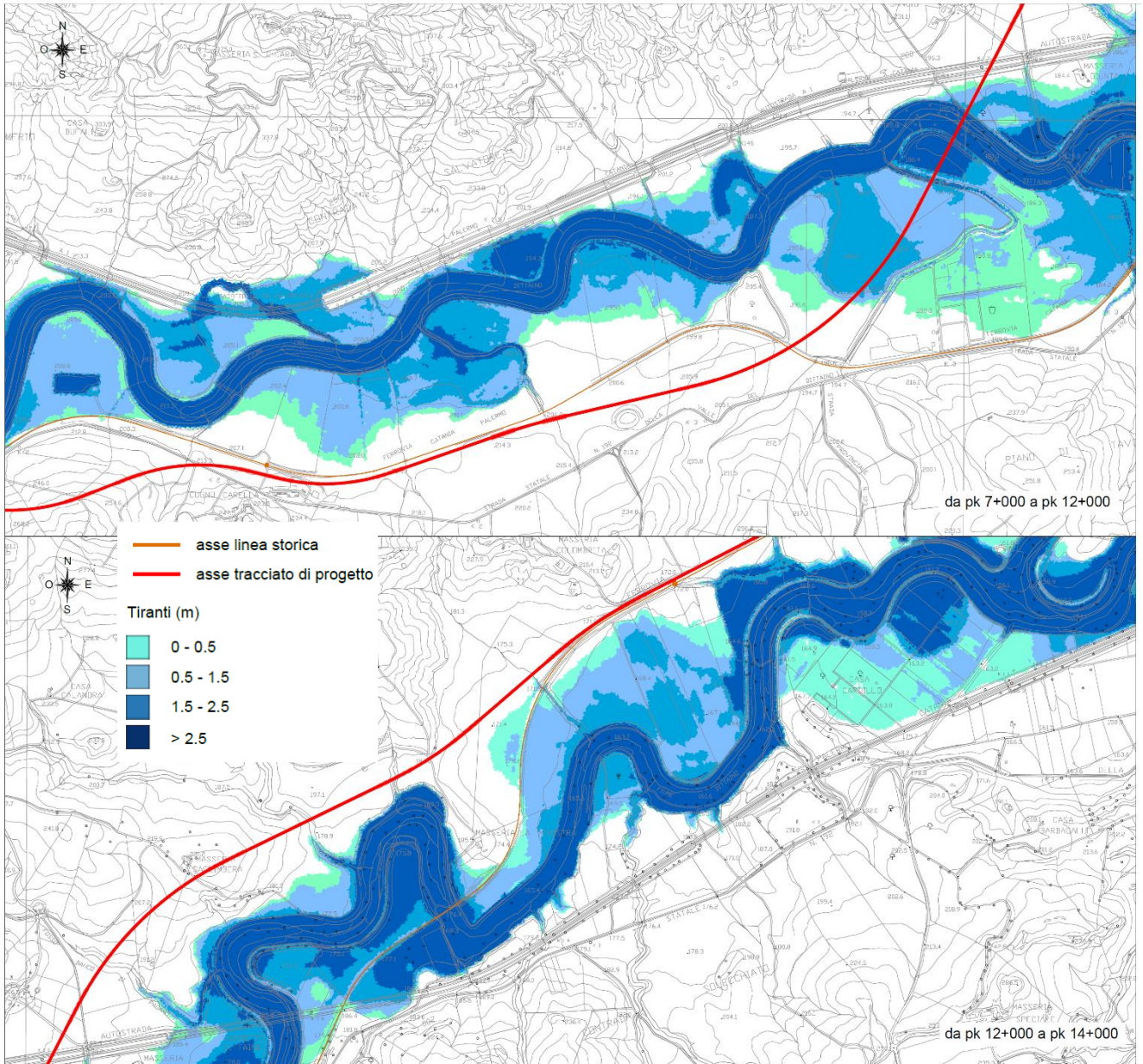
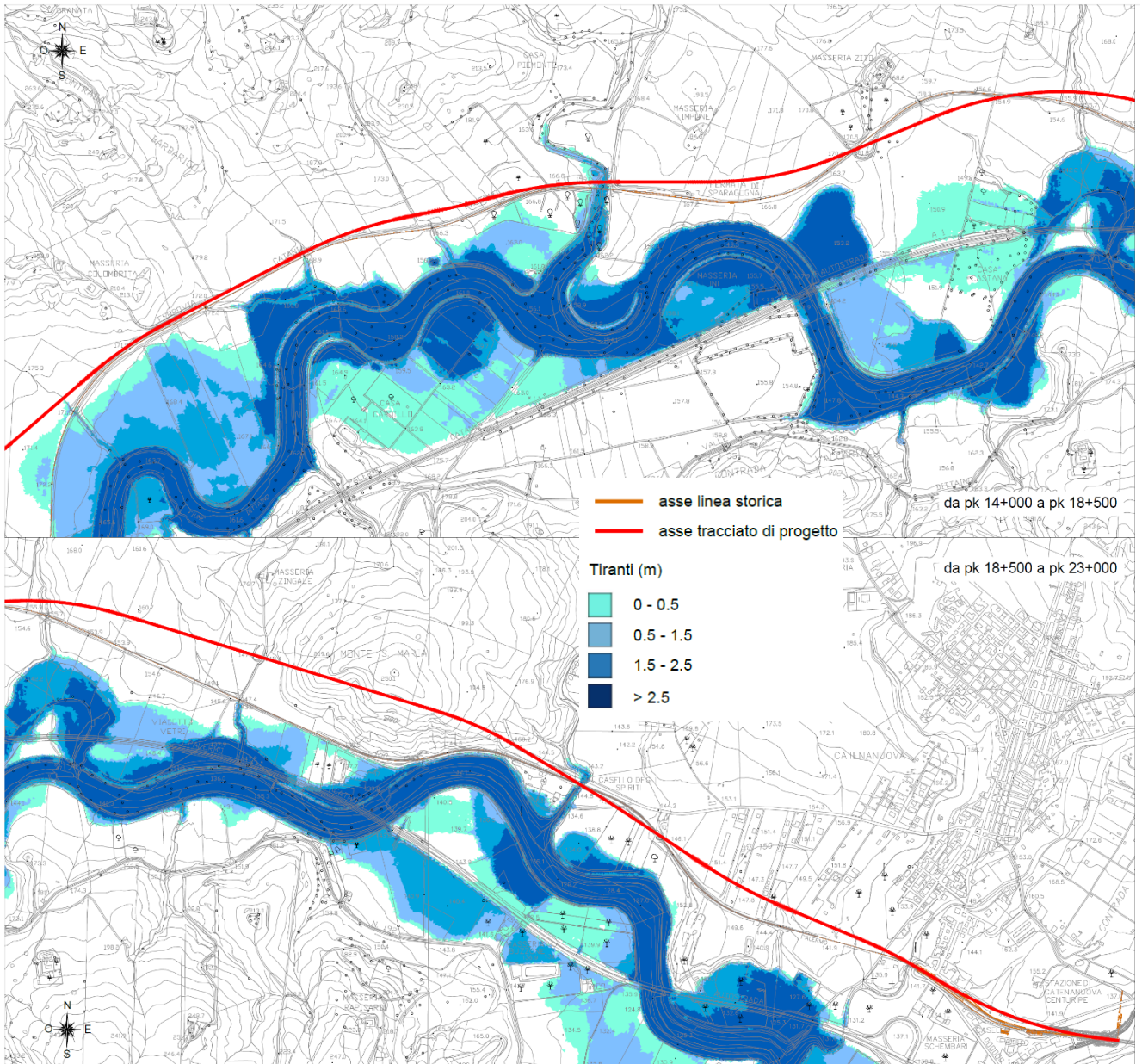


Figura 27 – Modello 2D del Fiume Dittaino: aree di esondazione Tr 300, ante operam (da pk7+000 a pk 14+000).



**Figura 28 – Modello 2D del Fiume Dittaino: aree di esondazione Tr 300, ante operam (da pk14+000 a pk 23+000).**

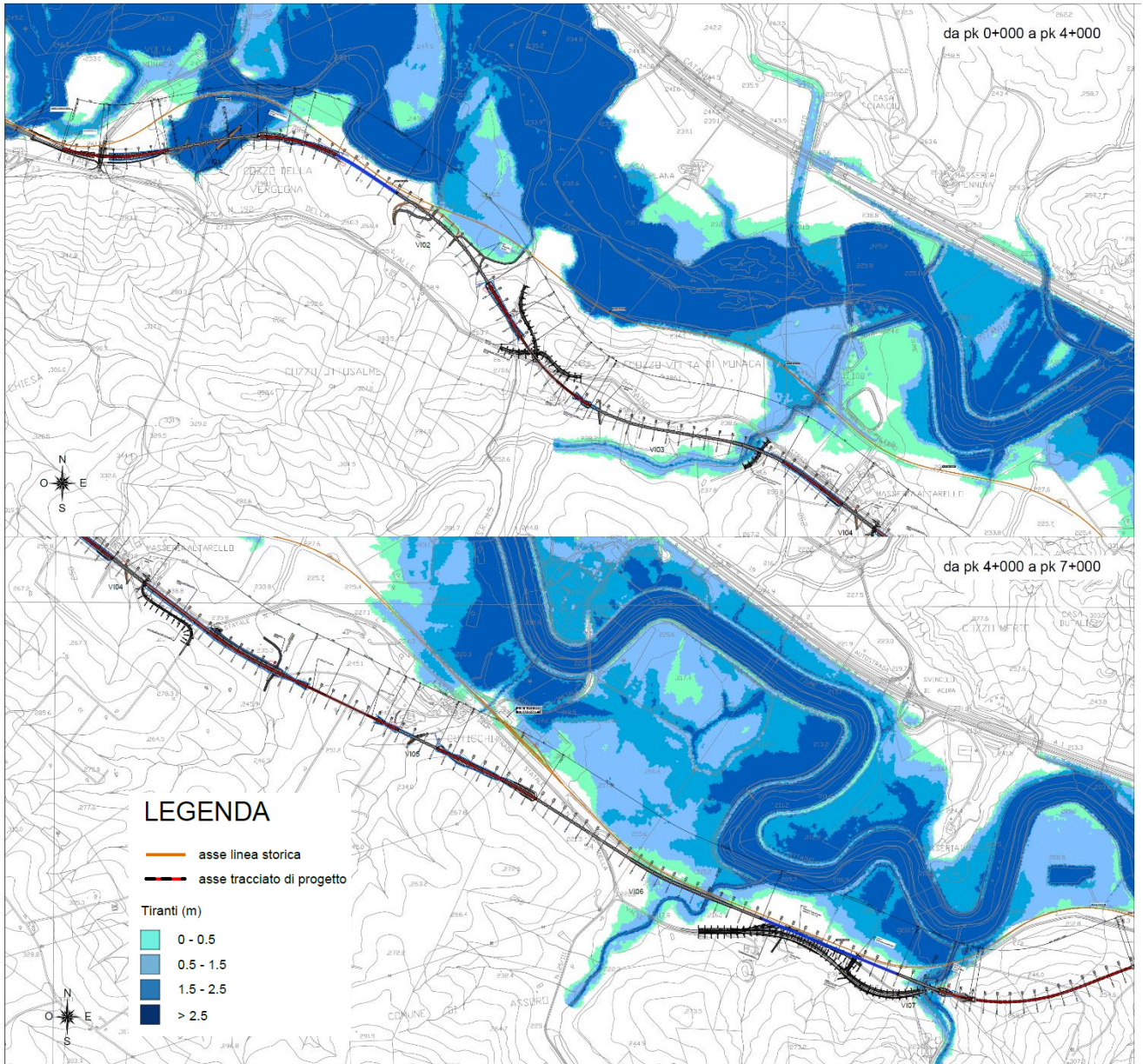


Figura 29 – Modello 2D del Fiume Dittaino: aree di esondazione Tr 300, post operam (da pk 0+000 a pk 7+000).

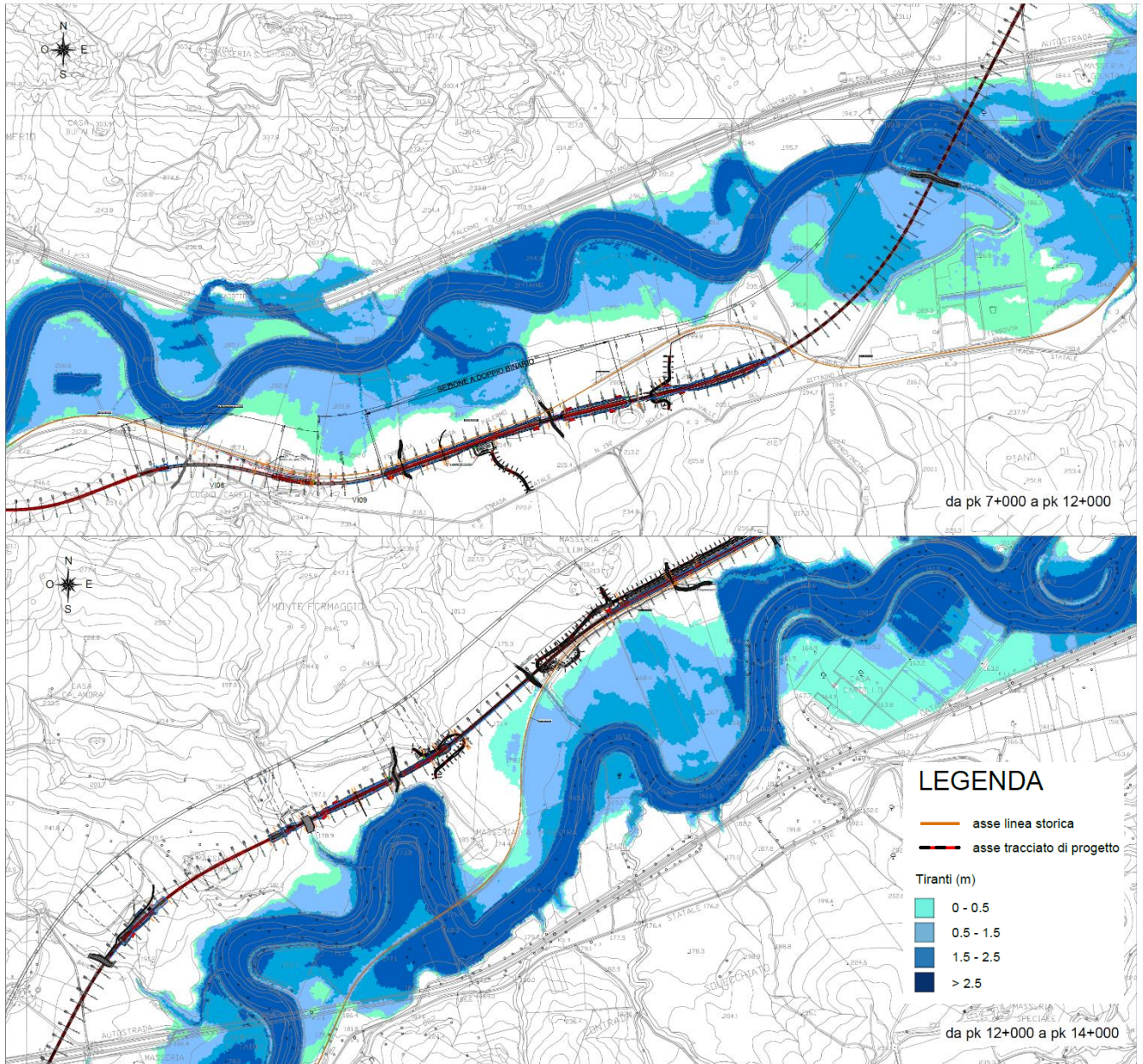
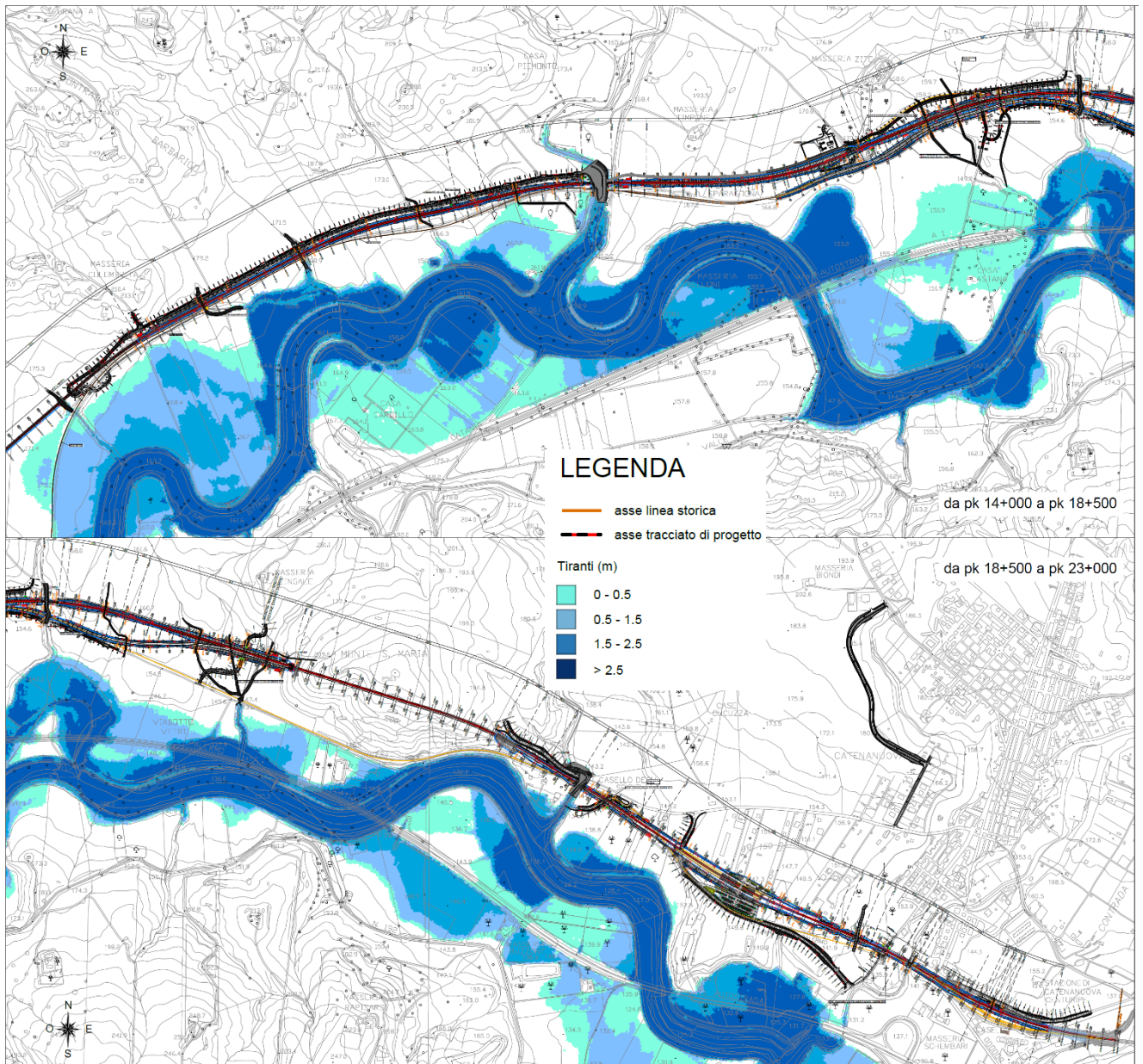


Figura 30 – Modello 2D del Fiume Dittaino: aree di esondazione Tr 300, post operam (da pk7+000 a pk 14+000).



**Figura 31 – Modello 2D del Fiume Dittaino: aree di esondazione Tr 300, post operam (da pk14+000 a pk 23+000).**



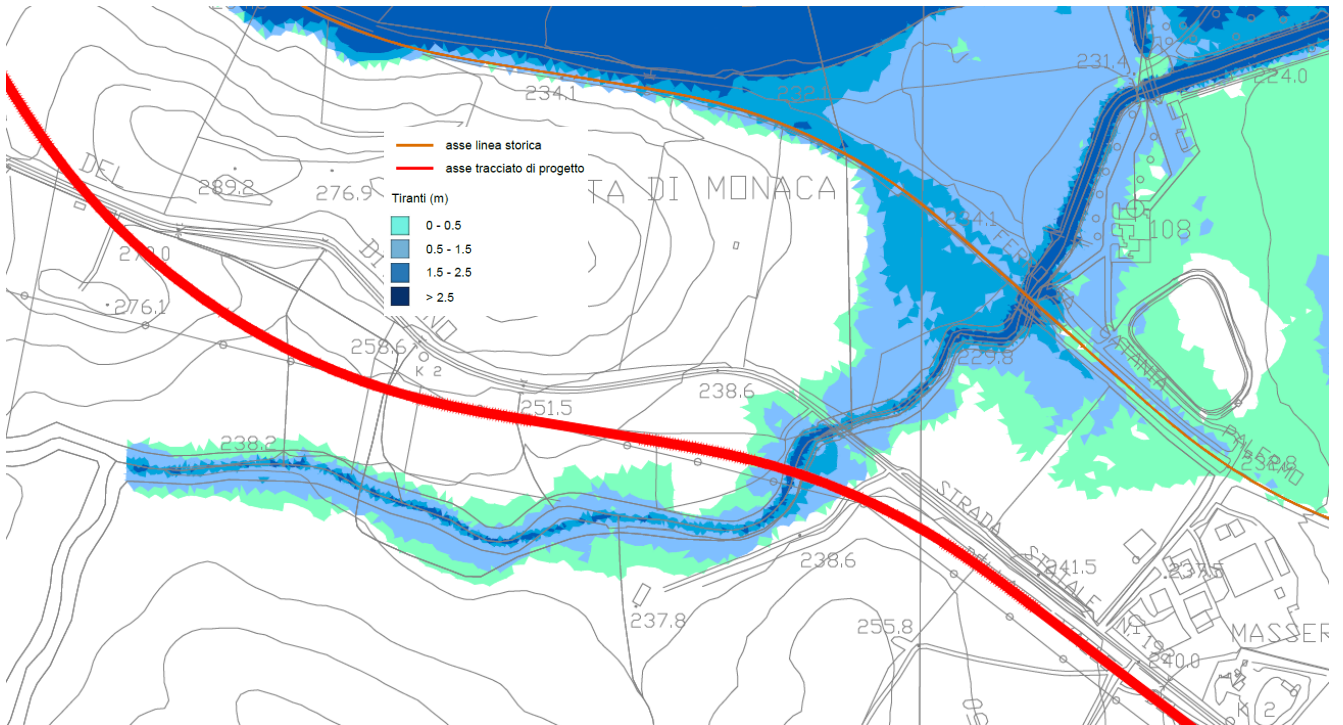


Figura 32 – Modello 2D (corso d’acqua alla pk 3+100): aree di esondazione Tr 300, ante operam.

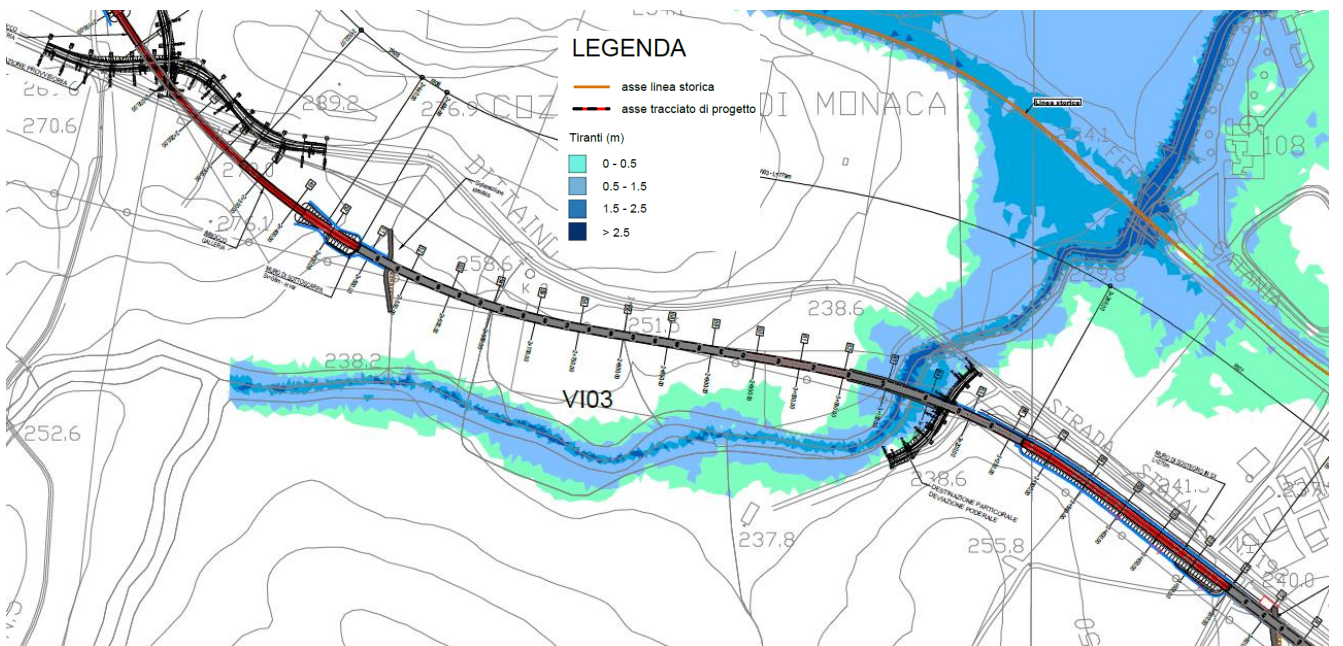


Figura 33 – Modello 2D (corso d’acqua alla pk 3+100): aree di esondazione Tr 300, post operam (viadotto VI03).

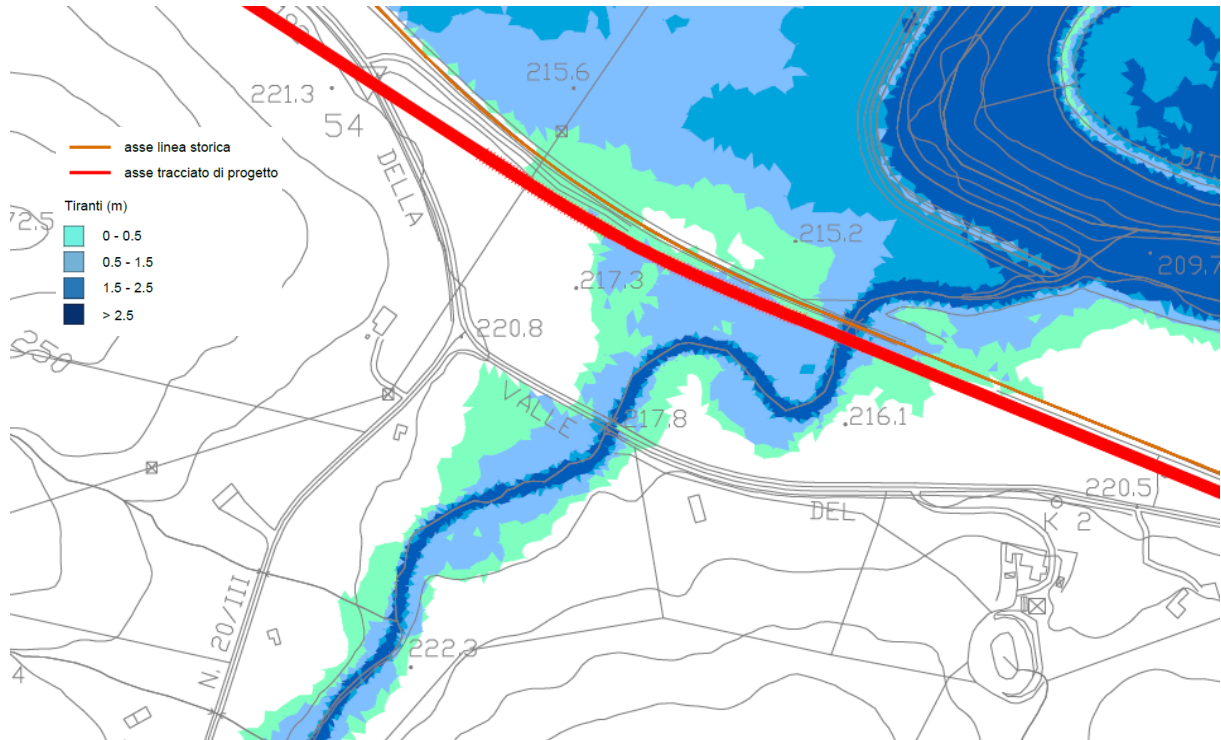


Figura 34 – Modello 2D (corso d’acqua alla pk 6+200): aree di esondazione Tr 300, ante operam.

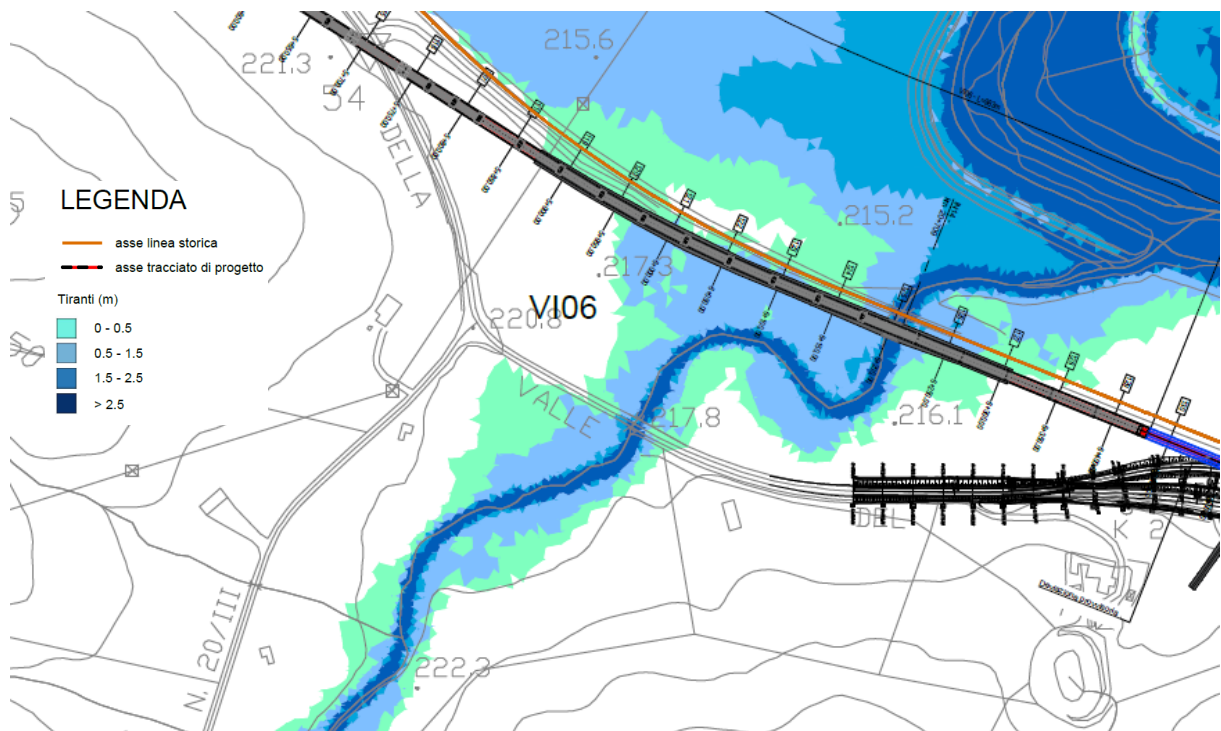


Figura 35 – Modello 2D (corso d’acqua alla pk 6+200): aree di esondazione Tr 300, post operam (viadotto VI06).

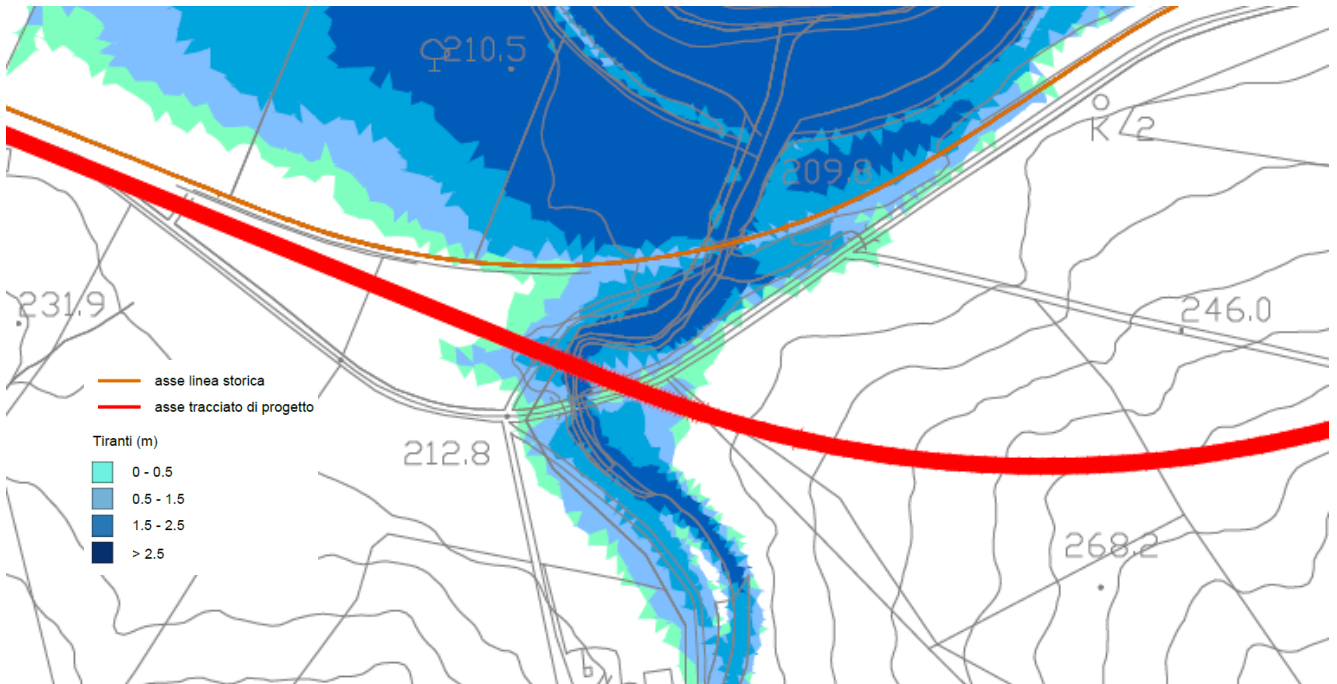


Figura 36 – Modello 2D (corso d’acqua alla pk 7+100): aree di esondazione Tr 300, ante operam.

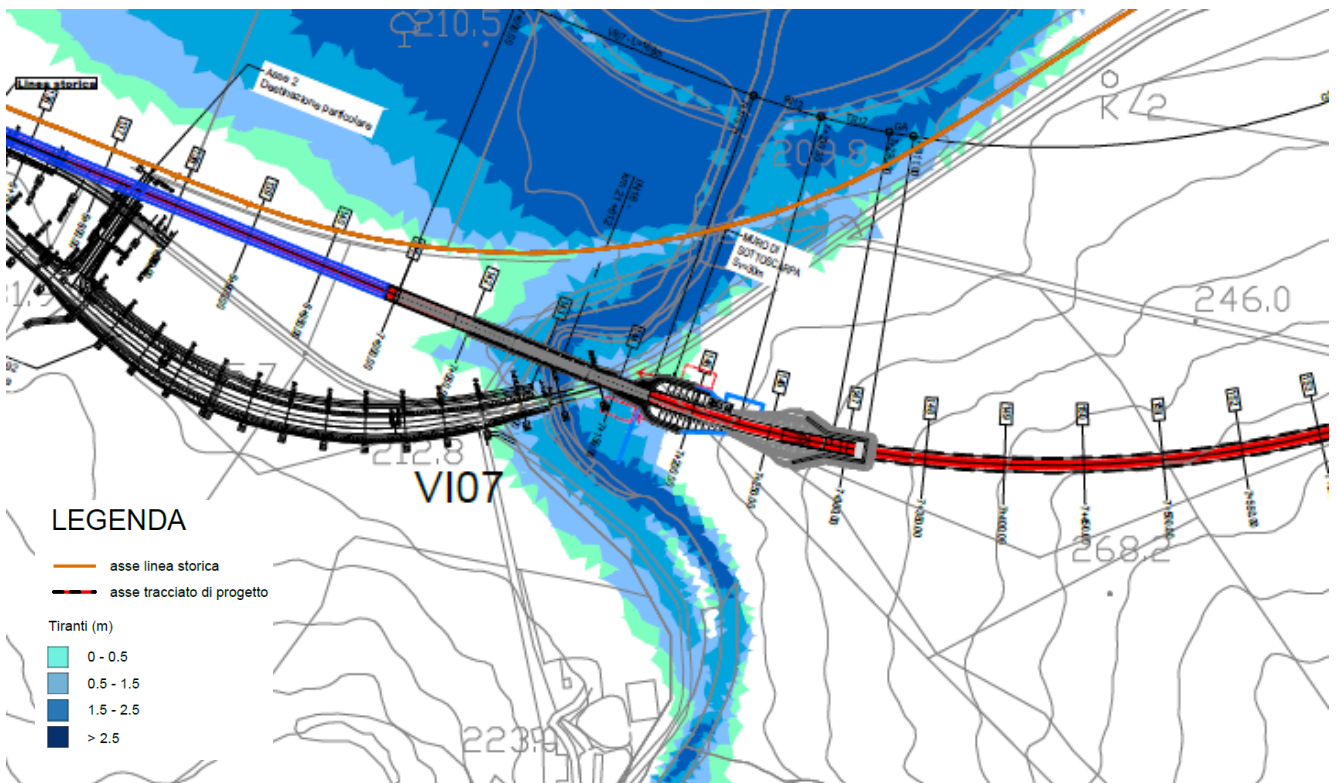


Figura 37 – Modello 2D (corso d’acqua alla pk 7+100): aree di esondazione Tr 300, post operam (viadotto VI07).

### 3.3.1.6. Verifica del franco di progetto

#### 3.3.1.6.1. Corsi d'acqua minori: viadotti VI03, VI06, VI07

La verifica del franco di progetto eseguita secondo le normative vigenti, con riferimento alle piene *Tr300* e *Tr200* dei corsi d'acqua minori alle pk 3+100, 6+200, 7+100, dimostra la compatibilità idraulica dei viadotti VI03, VI06, VI07, come riportato nelle tabelle seguenti.

	Quota minima impalcato [m slm]	Livello di piena [m slm]	Carico totale [m slm]	Franco sul livello idrico [m]	Franco sul carico totale [m]	Verifica
<b>Manuale di Progettazione RFI – TR300</b>	247.60	236.50	236.80	+11.10 (> 1.50 m)	+10.80 (> 0.50 m)	<b>OK</b>
<b>NTC2008 TR200</b>	247.60	236.45	-	+11.15 (> 1.50 – 2.0 m)	-	<b>OK</b>

**Tabella 2 – Viadotto VI03: verifica del franco idraulico.**

	Quota minima impalcato [m slm]	Livello di piena [m slm]	Carico totale [m slm]	Franco sul livello idrico [m]	Franco sul carico totale [m]	Verifica
<b>Manuale di Progettazione RFI – TR300</b>	220.60	215.5	215.80	+5.10 (> 1.50 m)	+4.80 (> 0.50 m)	<b>OK</b>
<b>NTC2008 TR200</b>	220.60	215.45	-	+5.15 (> 1.50 – 2.0 m)	-	<b>OK</b>

**Tabella 3 – Viadotto VI06: verifica del franco idraulico.**

	Quota minima impalcato [m slm]	Livello di piena [m slm]	Carico totale [m slm]	Franco sul livello idrico [m]	Franco sul carico totale [m]	Verifica
<b>Manuale di Progettazione RFI – TR300</b>	216.90	212.5	213.0	+4.40 (> 1.50 m)	+3.90 (> 0.50 m)	<b>OK</b>
<b>NTC2008 TR200</b>	216.90	211.9	-	+5.00 (> 1.50 – 2.0 m)	-	<b>OK</b>

**Tabella 4 – Viadotto VI07: verifica del franco idraulico.**

Inoltre, è garantita una distanza minima di 6 - 7 m tra il fondo alveo e la quota di sottotrave, in ragione di eventuali fenomeni di trasporto solido di fondo e/o di materiale galleggiante.

In particolare, la distanza tra la quota di intradosso e quella di fondo alveo in corrispondenza dei viadotti VI03, VI06, VI07, si attesta rispettivamente a 15 m (*q. intradosso* = 247.60 m slm; *q. fondo alveo* = 232.60 m slm),

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 45 di 88

9.60 m ( $q. \text{ intradosso} = 220.6 \text{ m slm}$ ;  $q. \text{ fondo alveo} = 211.0 \text{ m slm}$ ), 10.9 m ( $q. \text{ intradosso} = 216.9 \text{ m slm}$ ;  $q. \text{ fondo alveo} = 206.0 \text{ m slm}$ ), ampiamente sufficiente a garantire l'eventuale passaggio di materiale galleggiante.

Come descritto in precedenza, i tre corsi d'acqua minori, in corrispondenza dei viadotti VI03, VI06, VI07, sono attraversati mediante campate con luce pari a 50 metri. La scansione assegnata consente di scavalcare completamente l'alveo attivo e quindi di rispettare le prescrizioni riportate nelle NTC 2008.

### 3.3.1.6.2. Fiume Dittaino: viadotto VI12

La verifica del franco di progetto eseguita secondo le normative vigenti, con riferimento alle piene *Tr300* e *Tr200* del Fiume Dittaino, dimostra la compatibilità idraulica del viadotto VI12, come riportato nella tabella seguente.

	Quota minima impalcato [m slm]	Livello di piena [m slm]	Carico totale [m slm]	Franco sul livello idrico [m]	Franco sul carico totale [m]	Verifica
<b>Manuale di Progettazione RFI – TR300</b>	197.60	187.9	188.8	+9.70 (> 1.50 m)	+8.80 (> 0.50 m)	<b>OK</b>
<b>NTC2008 TR200</b>	197.60	187.6	-	+10.0 (> 1.50 – 2.0 m)	-	<b>OK</b>

**Tabella 5 – Viadotto VI12: verifica del franco idraulico.**

Inoltre, è garantita una distanza minima di 6 - 7 m tra il fondo alveo e la quota di sottotrave, in ragione di eventuali fenomeni di trasporto solido di fondo e/o di materiale galleggiante.

In particolare, la distanza tra la quota di intradosso (+197.60 m slm) e la quota di fondo alveo (+181.00 m slm) si attesta a +16.60 m, ampiamente sufficiente a garantire l'eventuale passaggio di alberi d'alto fusto senza possibilità che gli stessi si incastrino a causa della presenza dell'infrastruttura e occludano parzialmente o totalmente la sezione di deflusso.

Come sopra descritto, il viadotto VI12 è costituito di 48 campate: da Spalla A a pila P28, campate di luce pari a 40 metri; da pila P28 a pila P31, campate di luce pari a 50 metri (approccio e scavalco del Fiume Dittaino); da pila P31 a pila P35, campate di luce pari a 40 metri; da pila P35 a pila P36, campata di luce pari a 70 metri (scavalco Autostrada A19 Palermo - Catania); da pila P36 a Spalla B, campate di luce pari a 40 metri.

La scansione assegnata (in particolare, le 3 campate di scavalco da 50 metri da asse “*pila*”, ovvero con luce netta di 48 metri) consente di rispettare la prescrizione di una luce netta minima di 40 metri in direzione ortogonale alla corrente, per pile all’interno dell’alveo attivo (o inciso), come riportato nelle NTC2008.

Con riferimento alla figura seguente, riportante la mappa dei vettori velocità in corrispondenza dell’alveo attivo, la luce netta minima in direzione ortogonale alla corrente si attesta a circa 44 metri.

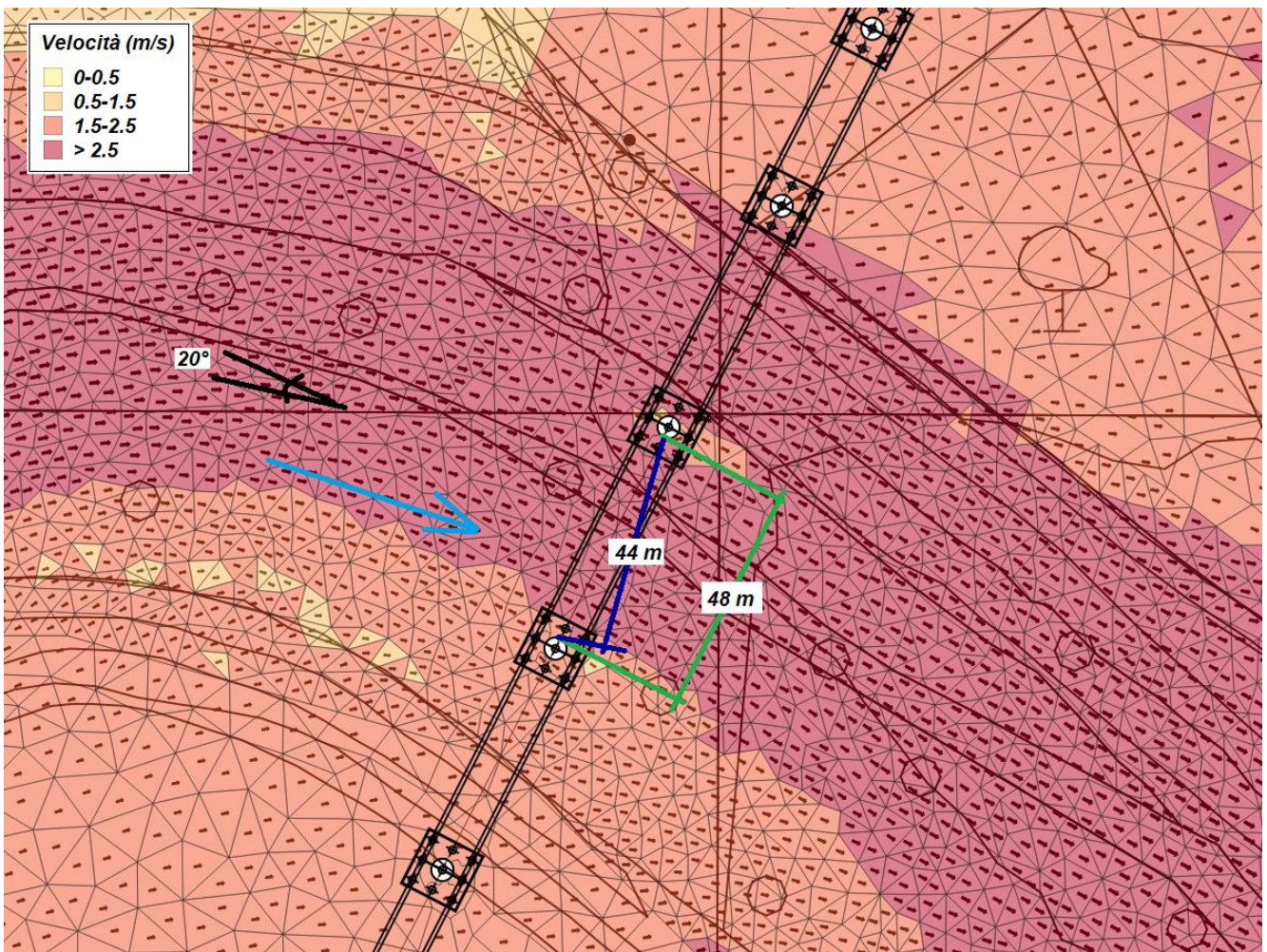


Figura 38 – Modello 2D del Fiume Dittaino: mappa dei vettori velocità in corrispondenza del viadotto VI12.

### 3.3.2. Modello monodimensionale

Come anticipato, per la simulazione e la verifica delle fasi di cantiere dei viadotti in progetto VI03, VI06, VI07, VI12 è stato implementato un modello idraulico numerico monodimensionale dei tre corsi d'acqua minori considerati nel presente studio e del Fiume Dittaino, in regime di moto permanente, tramite il software Hec Ras 5.0.7., sviluppato dall'Hydrologic Center del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America.

Il calcolo del profilo di corrente in condizioni di moto permanente fra due sezioni successive è effettuato dal software mediante la soluzione dell'equazione dell'energia, attraverso un processo iterativo denominato 'standard step method'. Indicate con 1 e 2 rispettivamente le sezioni di valle e di monte, l'equazione dell'energia è espressa dalla seguente relazione:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + h_e$$

dove  $Y_1$ ,  $Y_2$  sono i tiranti idrici di monte e di valle;  $Z_1$ ,  $Z_2$  le quote topografiche;  $v_1$ ,  $v_2$  le velocità medie (portata totale/area di flusso totale);  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  i coefficienti di ragguglio delle altezze cinetiche o di Coriolis;  $g$  l'accelerazione di gravità;  $h_e$  la perdita di carico totale nel tratto.

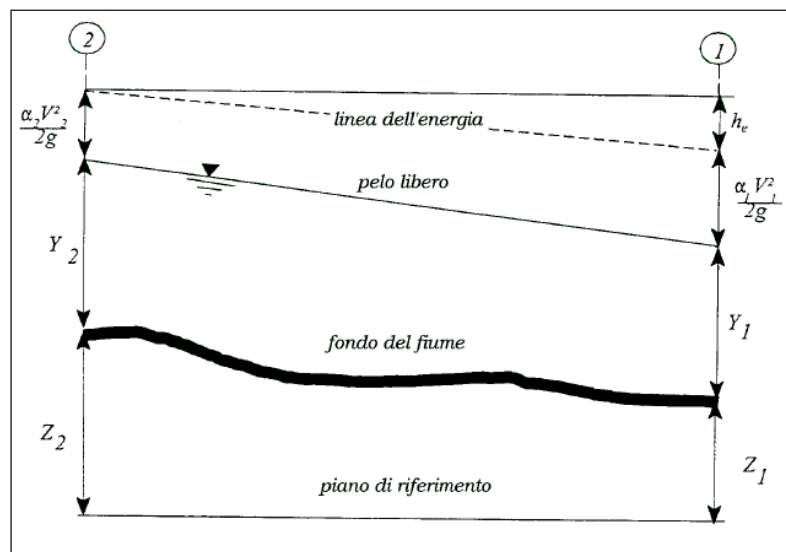


Figura 39– Schema di calcolo per la determinazione del profilo del pelo libero nei corsi d'acqua.

Le perdite di energia complessive  $h_e$  tra le due sezioni sono dovute alle perdite distribuite per attrito ed a quelle localizzate dovute a fenomeni di espansione e contrazione della vena fluida; in particolare si ha:

$$h_e = L\bar{j} + C \left| \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} \right|$$

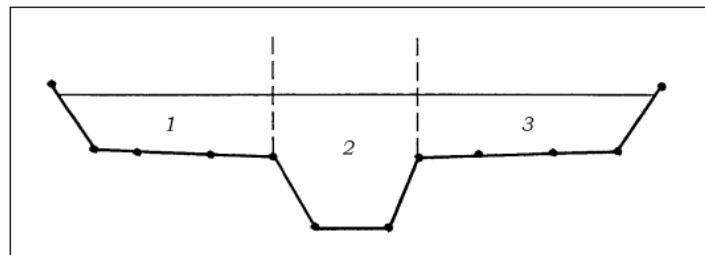
dove  $L$  è la distanza tra le due sezioni;  $\bar{j}$  è la perdita di carico media distribuita tra le due sezioni e  $C$  è il coefficiente che correla le perdite, dovute all'espansione ed alla contrazione della vena, in funzione dell'andamento piano – altimetrico del corso d'acqua, alla differenza dei carichi cinetici delle due sezioni. La distanza  $L$  tra le due sezioni è calcolata mediante la relazione:

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

in cui  $L_{lob}$ ,  $L_{ch}$ ,  $L_{rob}$  sono le lunghezze del tratto relative all'area golenale sinistra, al canale principale e all'area golenale destra rispettivamente;  $\bar{Q}_{lob}$ ,  $\bar{Q}_{ch}$ ,  $\bar{Q}_{rob}$  sono le portate medie attraverso la sezione rispettivamente in golena sinistra, canale principale e golena destra. Per la valutazione delle perdite di carico è utilizzata la formula di Manning:


$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} \sqrt{j}$$

dove  $Q$  rappresenta la portata,  $A$  la sezione bagnata,  $R$  il raggio idraulico,  $n$  il coefficiente di scabrezza secondo Manning. Nel caso di sezioni composte, tipiche dei corsi d'acqua naturali, è necessario suddividere la sezione in parti in modo da trattare separatamente sezioni in cui la velocità media può essere ritenuta, ai fini pratici, costante.



**Figura 40 - Sezione schematica di un corso d'acqua.**



	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 49 di 88

Con riferimento alla figura precedente, definito  $K_i = Q_i / \sqrt{j}$  la capacità di portata di ogni singola parte *i-esima* in cui è stata suddivisa la sezione, in accordo alla formula di Manning, è:

$$\bar{j} = \left( \frac{Q}{\sum_i K_i} \right)^2$$

Questo risultato può essere facilmente ricavato osservando che la portata di ogni singola area  $Q_i = K_i \sqrt{j}$  è proporzionale al rispettivo coefficiente di portata e che la portata totale vale:

$$Q = \sum_i Q_i$$


Il programma HEC-RAS implementa quattro modalità distinte per valutare  $\bar{j}$ ; in particolare:

- $\bar{j} = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$  (*average conveyance equation*)
- $\bar{j} = \frac{j_1 + j_2}{2}$  (*average friction slope equation*)
- $\bar{j} = \sqrt{j_1 \cdot j_2}$  (*geometric mean friction slope equation*)
- $\bar{j} = \frac{2j_1 \cdot j_2}{j_1 + j_2}$  (*harmonic mean friction slope equation*)

Il programma utilizza per default la prima delle quattro opzioni proposte, per quanto sia possibile adottare automaticamente la formula che meglio si adatta a ciascun tipo di profilo (corrente lenta o veloce). Calcolata la capacità di portata di ogni singola sezione, è possibile, da queste, valutare il coefficiente di Coriolis. Questo coefficiente è pari al rapporto tra l'energia cinetica reale della corrente, proporzionale a

$$\sum_i Q_i^3 / A_i^2$$

e l'energia cinetica calcolata facendo uso del valore medio della velocità, proporzionale a  $Q^3/A^2$ .

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 50 di 88

Esprese le portate delle singole parti  $i$ -esime in funzione del rispettivo coefficiente di portata si perviene con qualche semplice passaggio alla seguente espressione:

$$\alpha_k = \left( \sum_{i=1}^3 \frac{K_i^3}{A_i^2} \right) \frac{\left( \sum_{i=1}^3 A_i \right)^2}{\left( \sum_{i=1}^3 K_i \right)^3} \quad (k = 1, 2)$$

Calcolate tramite le rispettive equazioni le perdite di energia  $h_e$  ed i coefficienti di Coriolis  $\alpha_k$ , l'equazione

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + h_e$$

associata all'equazione di continuità, permette di calcolare, mediante un procedimento iterativo, l'altezza idrica alla sezione di calcolo. La procedura è la seguente:

- 1) Si assume un valore di tentativo per il livello idrico sulla sezione di monte (o di valle nel caso in cui si ipotizzi una corrente di tipo veloce).
- 2) Si calcola il valore della capacità di portata totale  $K (= \sum_{i=1}^3 K_i)$  e l'altezza cinetica per il livello di tentativo.
- 3) In base ai valori calcolati al passo 2, si calcola  $\bar{j}$  e si risolve l'equazione seguente per il valore di  $h_e$ .

$$h_e = L\bar{j} + C \left| \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} \right|$$

- 4) Con i valori calcolati ai passi 2 e 3, si calcola  $Y_2 + Z_2$  mediante la relazione

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + h_e$$

- 5) Si confronta il valore calcolato  $Y_2 + Z_2$  con quello di tentativo del passo 1.

Si ripetono i passi dall'1 al 5 fino a che i due valori non differiscono per meno di 0.003 m o di una soglia specificata dall'utente.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 51 di 88

### 3.3.2.1. Viadotto VI12 (Fiume Dittaino)

Il modello idraulico numerico 1D (in regime di moto permanente) del Fiume Dittaino è stato sviluppato sulla base dei rilievi batimetrici disponibili (descritti nei precedenti capitoli) e ha una estensione di circa 20 km, ciò pari a quella del modello 2D relativo al Sottobacino 1. In analogia alle analisi sviluppate nell’ambito del P.A.I./P.G.R.A., per quanto concerne il coefficiente di scabrezza (Manning), per l’alveo inciso è stato adottato il valore  $0.045 \text{ s/m}^{1/3}$ , mentre alle aree golenali è stato attribuito il valore di  $0.060 \text{ s/m}^{1/3}$ . Come condizione al contorno di valle, è stata imposta la “*Normal Depth*” (condizione di moto uniforme).

Per la realizzazione del viadotto VI12 sul fiume Dittaino sono state considerate ed analizzate le seguenti 3 fasi:

#### Fase 1

- realizzazione di un argine provvisorio in sinistra idraulica
- realizzazione di piste e rilevati di cantiere
- realizzazione delle opere provvisionali (i.e. pali con impermeabilizzazione a tergo) delle pile P30-P31, scavo e costruzione delle fondazioni e del fusto pila
- ripristino terreno e smontaggio/dismissione opere provvisionali

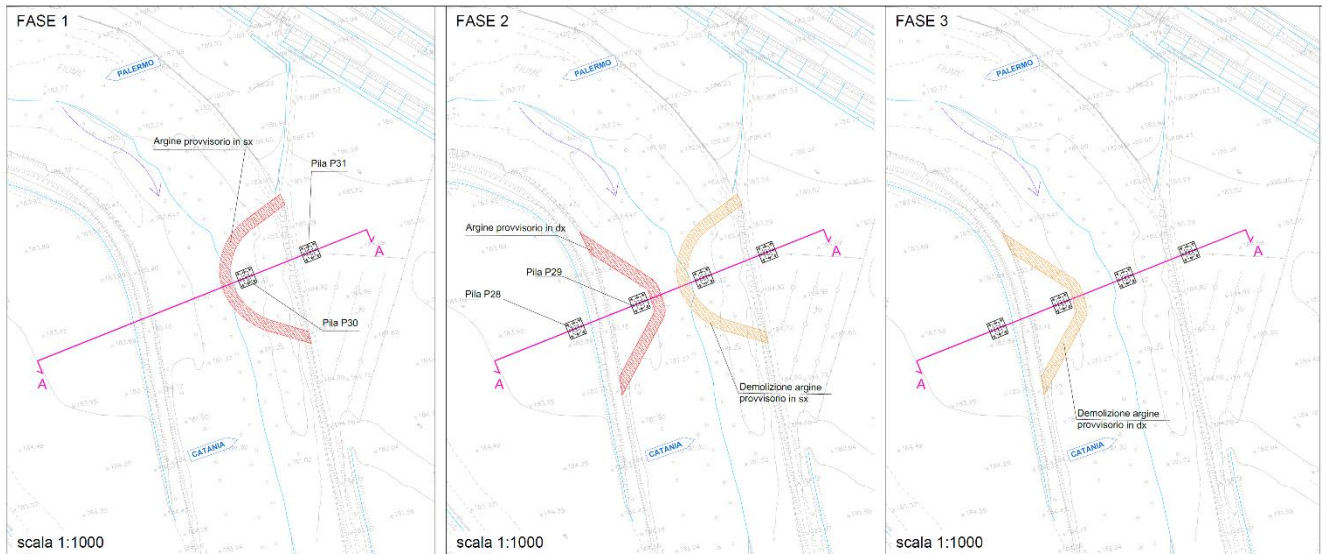
#### Fase 2

- demolizione dell’argine provvisorio in sinistra idraulica
- realizzazione di un argine provvisorio in destra idraulica
- realizzazione delle opere provvisionali (i.e. pali con impermeabilizzazione a tergo) delle pile P28-P29, scavo e costruzione delle fondazioni e del fusto pila
- ripristino terreno e smontaggio/dismissione opere provvisionali

#### Fase 3

- demolizione dell’argine argine provvisorio in destra idraulica

Nella figura seguente, si riportano in forma schematica le fasi sopra descritte (per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato grafico RS3E50D09PZ0002003A).



**Figura 41–Viadotto VI04 sul F. Dittaino: fasi di realizzazione.**

Con riferimento allo studio idrologico annesso (RS3E50D09RIID0001001A), per una durata dei lavori compresa tra 1 e 2 anni e una vita utile dell'opera di attraversamento in progetto pari a 200 anni, è stata considerata come “portata di cantiere” di progetto quella corrispondente ad un tempo di ritorno di 3 anni (durata del cantiere = 1.5 anni), pari a 428 m<sup>3</sup>/s.

Gli argini provvisori sono stati simulati nel modello 1D Hec Ras tramite l'opzione “Obstructions”.

Di seguito, i risultati ottenuti (in termini di tiranti idrici) relativi alle fasi 1 e 2, nella sezione a monte dell'attraversamento in progetto, in corrispondenza della quale si ha il maggior livello idrico (nel tratto di interesse), considerato per la definizione della quota di sommità degli argini provvisori.

Nello specifico, per quanto concerne la fase 1, il livello idrico massimo si attesta a +185.2 m slm, da cui una quota di sommità dell'argine provvisorio pari a +186.2 m slm (franco idraulico = 1 metro). Con riferimento alla fase 2, il livello idrico massimo si attesta invece a +184.60 m slm, da cui una quota di sommità dell'argine provvisorio pari a +185.60 m slm.

Nelle figure seguenti i risultati in termini di livelli idrici estratti dal modello numerico implementato.

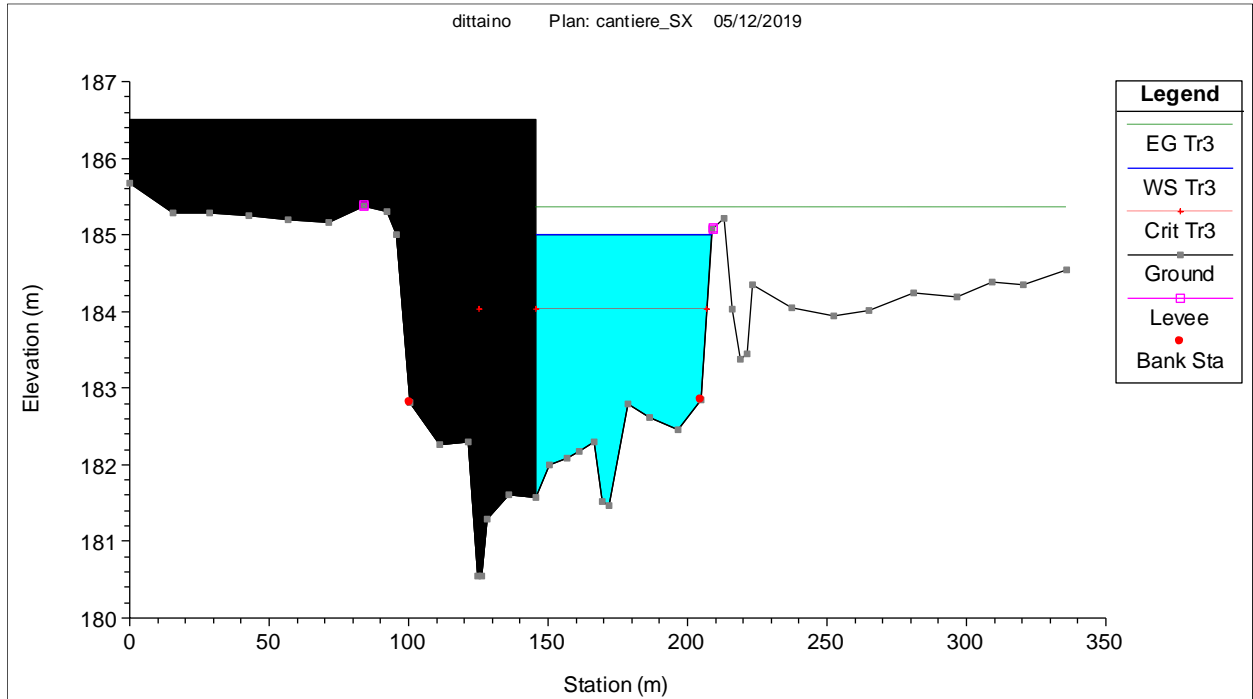


Figura 42–Modello 1D del F. Dittaino: risultati in termini di livelli idrici per la fase di cantiere 1.

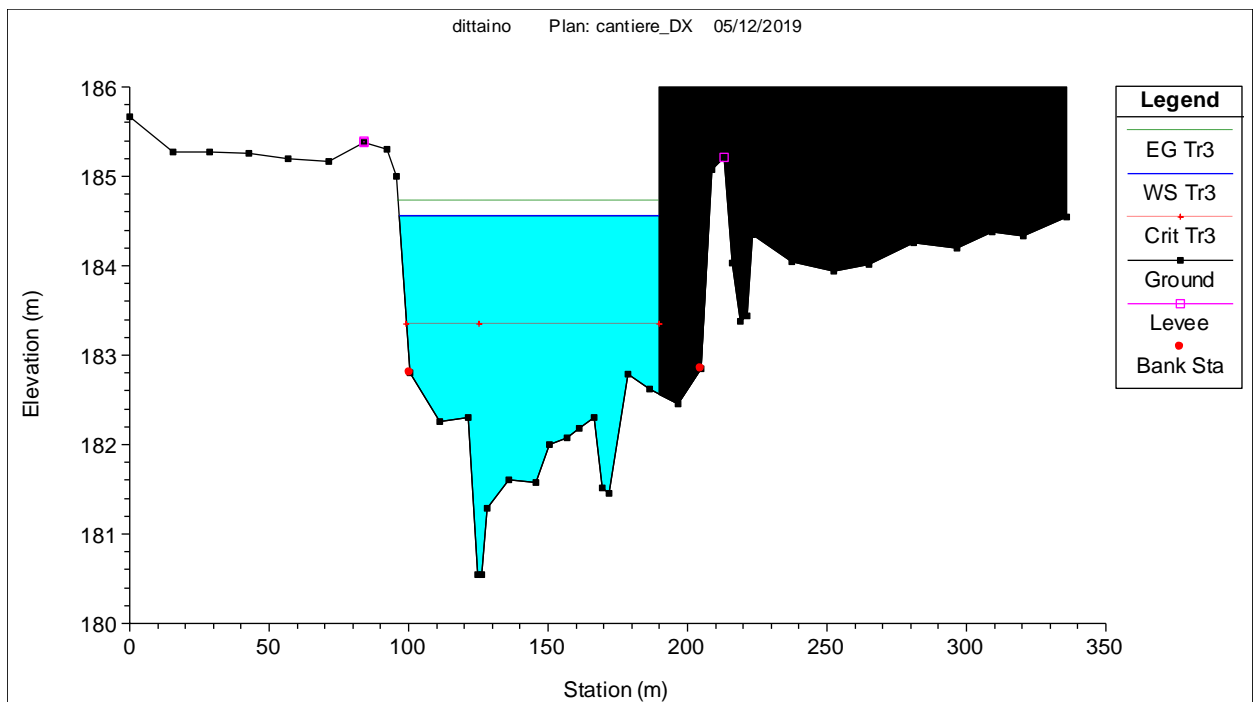


Figura 43–Modello 1D del F. Dittaino: risultati in termini di livelli idrici per la fase di cantiere 2.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 54 di 88

E' comunque sempre da prevedersi nella documentazione di gestione della sicurezza in cantiere un piano di allerta/allarme piene da concordarsi con gli enti locali preposti.

L'argine dovrà essere realizzato con un materiale dalle seguenti caratteristiche: misto naturale (tout-venant) di cava o di fiume a bassa permeabilità rispondente alla classifica A6-A7 della tabella UNI EN ISO 14688-1: 2003 ex CNR UNI 10006. Inoltre, su lato fiume, si dovrà prevedere un adeguato rivestimento in massi sciolti o scogliera (con geotessuto), con diametro medio pari a 60 cm. Il relativo dimensionamento è descritto in dettaglio nei paragrafi successivi.

Si precisa infine che è stata analizzata una possibile configurazione di “cantiere”, relativa alla realizzazione delle sole pile P28-P29-P30-P31 di scavalco dell'alveo attivo del Fiume Dittaino.

### 3.3.2.2. Viadotti VI03, VI06, VI07 (corsi d'acqua minori)

I modelli idraulici numerici 1D (in regime di moto permanente) dei tre corsi d'acqua minori alle pk 3+100 (bacino ID = 8), 6+200 (bacino ID = 12), 7+100 (bacino ID = 16) sono stati sviluppati sulla base dei rilievi batimetrici disponibili (descritti nei precedenti capitoli). In analogia alle analisi sviluppate nell'ambito del P.A.I./P.G.R.A., per quanto concerne il coefficiente di scabrezza (Manning), per l'alveo inciso è stato adottato il valore  $0.045 \text{ s/m}^{1/3}$ , mentre alle aree golenali è stato attribuito il valore di  $0.060 \text{ s/m}^{1/3}$ . Come condizione al contorno di valle, è stata imposta la “Normal Depth” (condizione di moto uniforme). Con riferimento allo studio idrologico annesso (RS3E50D09RIID0001002A), per una durata dei lavori compresa tra 1 e 2 anni e una vita utile delle opere di attraversamento in progetto pari a 112.5 anni, è stata considerata come “portata di cantiere” di progetto quella corrispondente ad un tempo di ritorno di 5 anni (durata del cantiere = 1.5 anni); nello specifico:

<b>ID bacino</b>	<b><math>Q(Tr= 5 \text{ anni}) [mc/s]</math></b>
<b>8</b>	41.4
<b>12</b>	47.5
<b>16</b>	48.7

**Tabella 6 – Corsi d'acqua minori: portate di cantiere.**

Di seguito, i livelli idrici attesi per la portata di cantiere, in corrispondenza delle opere provvisionali previste in progetto, per i viadotti VI03, VI06, VI07.

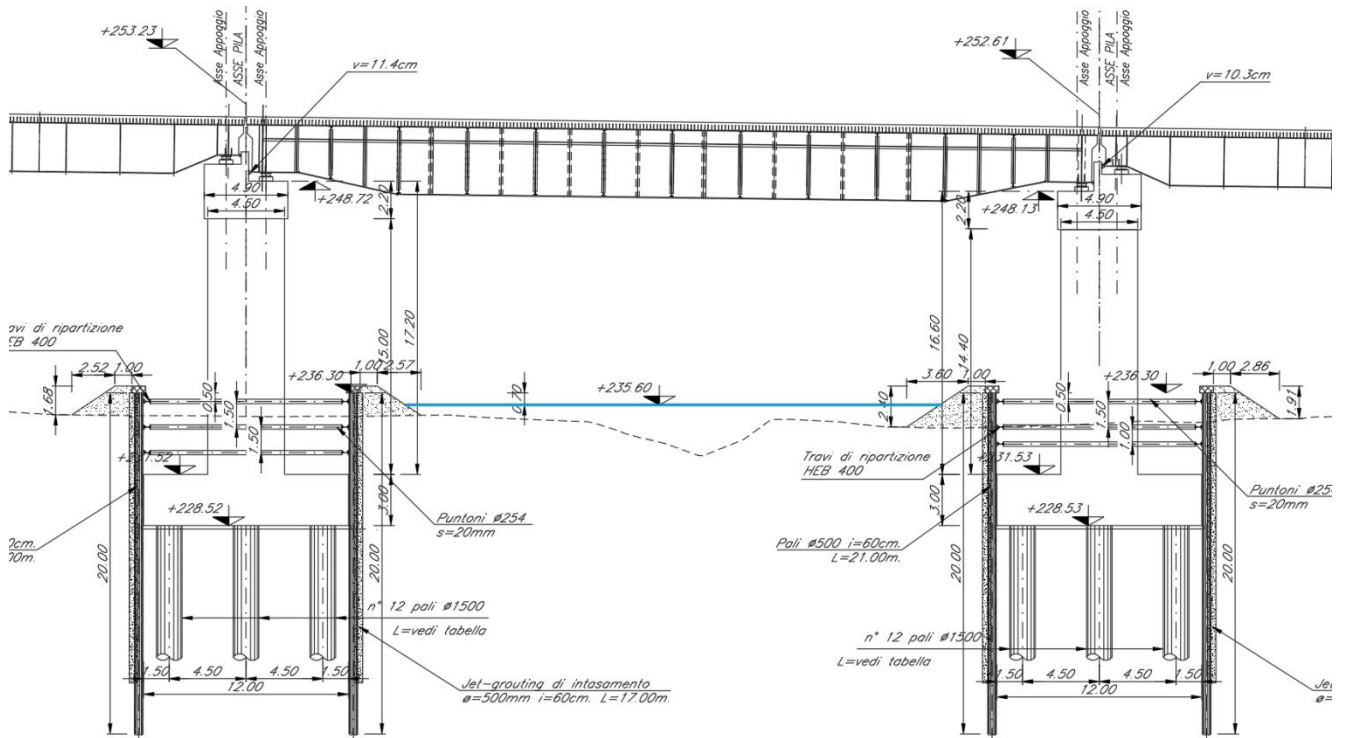


Figura 44–Corsi d’acqua minori, modello 1D: livelli idrici per la fase di cantiere, viadotto VI03 (pk 3+100).

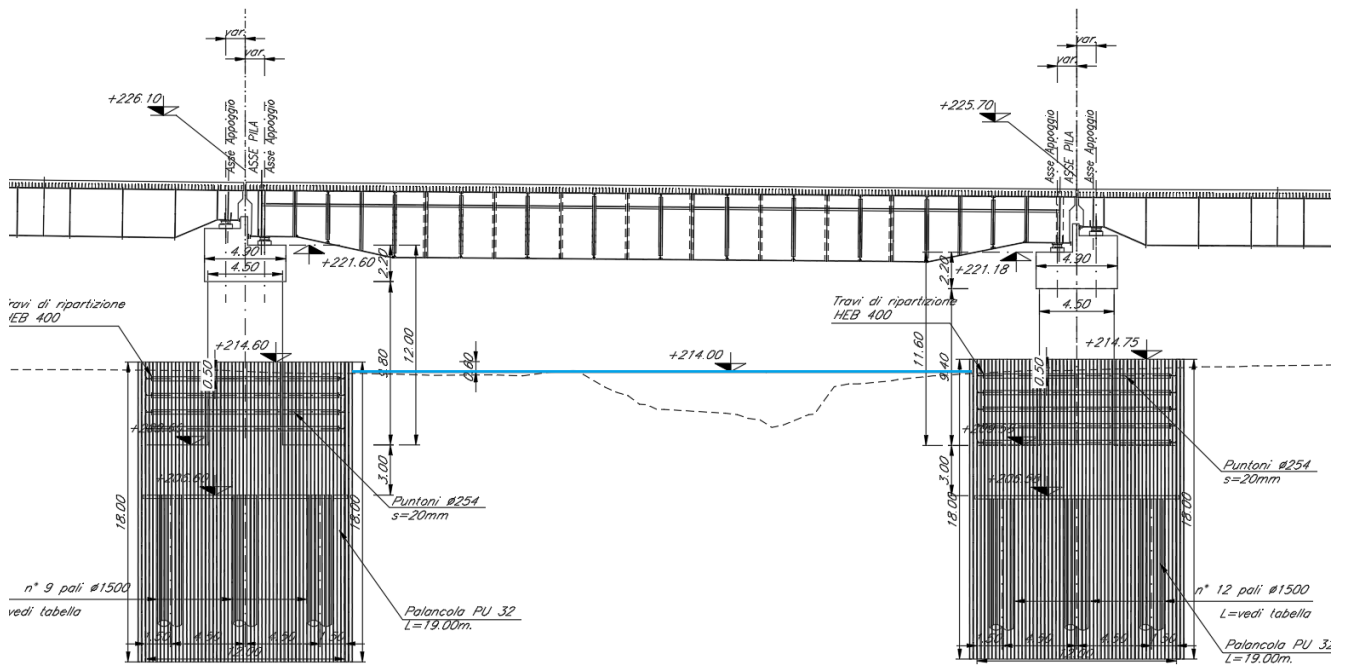


Figura 45–Corsi d’acqua minori, modello 1D: livelli idrici per la fase di cantiere, viadotto VI06 (pk 6+200).

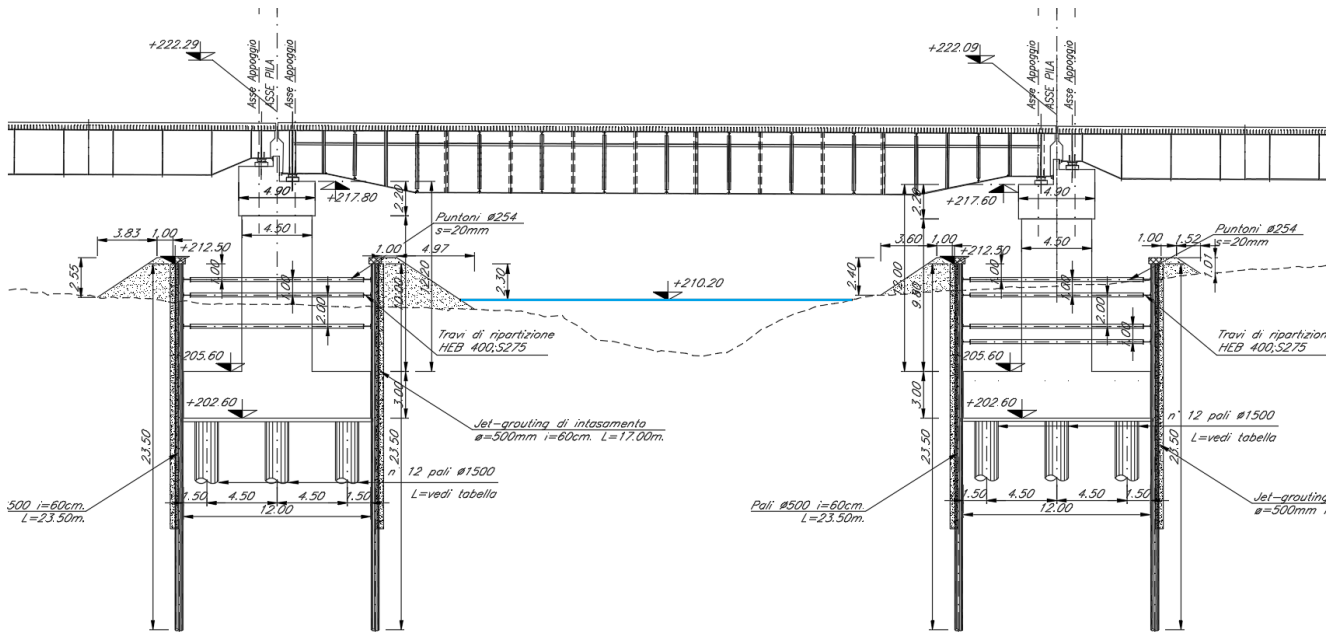


Figura 46–Corsi d’acqua minori, modello 1D: livelli idrici per la fase di cantiere, viadotto VI07 (pk 7+100).

Nello specifico, in corrispondenza della campata di scavalco del corso d’acqua minore alla pk 3+100 del viadotto VI03 il livello idrico “di cantiere” si attesta a quota +235.60 m slm; le opere provvisorie (i.e. pali con impermeabilizzazione a tergo) delle pile in prossimità dell’alveo raggiungono quota +236.30 m slm (franco idraulico = 0.70 m). In corrispondenza della campata di scavalco del corso d’acqua minore alla pk 6+200 del viadotto VI06 il livello idrico “di cantiere” si attesta a quota +214.00 m slm; le opere provvisorie (i.e. palancole) delle pile in prossimità dell’alveo raggiungono quota +214.60 m slm (franco idraulico = 0.60 m). In corrispondenza della campata di scavalco del corso d’acqua minore alla pk 7+100 del viadotto VI07 il livello idrico “di cantiere” si attesta a quota +210.20 m slm; le opere provvisorie (i.e. pali con impermeabilizzazione a tergo) delle pile in prossimità dell’alveo raggiungono quota +212.50 m slm (franco idraulico = 2.30 m).

Dalle verifiche effettuate si evince che le opere provvisorie delle pile di scavalco dei viadotti VI03 e VI07 possono essere interessate da livelli idrici e velocità di entità significativa. Si è proceduto quindi alla valutazione della massima profondità di erosione attorno alle suddette opere provvisorie. Per maggiori dettagli, si rimanda al successivo capitolo.

Infine, anche nel caso di questi corsi d’acqua minori, è sempre da prevedersi nella documentazione di gestione della sicurezza in cantiere un piano di allerta/allarme piene da concordarsi con gli enti locali preposti.



## 4. VERIFICA ALLO SCALZAMENTO

Alla luce dei risultati delle simulazioni numeriche idrauliche 2D, si è proceduto alla valutazione della profondità massima di erosione attesa attorno alle pile dei viadotti VI01, VI03, VI06, VI07 e VI12 in progetto, interessate dalle esondazioni delle piene del FiumeDittaino e dei tre corsi d'acqua minori alle pk 3+100, 6+200, 7+100, nonché attorno alle relative opere provvisionali.

Sono state applicate le seguenti due formulazioni disponibili in letteratura. Come valore di progetto dello scalzamento è stato considerato il valore massimo ottenuto dalle due relazioni.

### Formulazione CSU

La profondità di scalzamento attesa può essere stimata come:

$$\frac{Y_s}{Y_1} = 2 \cdot K_1 K_2 K_3 K_4 \left( \frac{a}{Y_1} \right)^{0.65} FR^{0.43}$$

in cui

- $K_1, K_2, K_3$  sono fattori correttivi legati alla forma delle pile, all'angolo di attacco e alle condizioni del fondo alveo (vedi tabella seguente)
- $K_4$  è un fattore correttiva legato al materiale di fondo alveo, valutabile come:

$$K_4 = [1 - 0.89(1 - V_r)^{0.053}]^{0.5}$$

dove  $V_r = \frac{V_0 - V_i}{V_{c90} - V_i}$ ,  $V_i = 0.645(d_{50}/a)^{0.053} V_{c50}$ ,  $V_{c90} = 10.95(Y_1)^{1/6} d_{90}^{1/3}$ ,  $V_{c50} = 10.95(Y_1)^{1/6} d_{50}^{1/3}$ ,  $d_{50}, d_{90}$  = diametro corrispondente al 50% e al 90 % di passante in peso

- $Y_s$ , la profondità di scalzamento;
- $Y_1$ , l'altezza della corrente;
- $a$ , la larghezza della pila;
- $FR$ , il numero di Froude ( $FR = V_0/(gh_m)^{1/2}$ )

Correction Factor, $K_1$		Correction Factor, $K_2$			
Shape of Pier Nose	$K_1$	Angle	L/a=4	L/a=8	L/a=12
(a) Square nose	1.1	0	1.0	1.0	1.0
(b) Round nose	1.0	15	1.5	2.0	2.5
(c) Circular cylinder	1.0	30	2.0	2.75	3.5
(d) Group of cylinders	1.0	45	2.3	3.3	4.3
(e) Sharp nose	0.9	90	2.5	3.9	5.0

Angle = skew angle of flow  
L = length of pier

Bed Condition	Dune Height ft	$K_3$
Clear-Water Scour	N/A	1.1
Plane bed and Antidune flow	N/A	1.1
Small Dunes	$10 > H \geq 2$	1.1
Medium Dunes	$30 > H \geq 10$	1.2 to 1.1
Large Dunes	$H \geq 30$	1.3

Tabella 7- Formulazione CSU: valori dei fattori correttivi  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ .

### Formulazione 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

- $V_{1p} = \max(V_{1p1}; V_{1p2})$
- $V_{1p1} = 5V_c$ ;  $V_{1p2} = 0.6\sqrt{gy_1}$
- $V_c = \begin{cases} 2.5 \cdot u^* \ln \left( \frac{73.5y_1}{d_{50} [Re(2.85 - 0.58 \ln(Re) + 0.002Re) + \frac{111}{Re} - 6]} \right) & \text{for } 5 \leq Re \leq 70 \\ 2.5 \cdot u^* \ln \left( \frac{2.21y_1}{d_{50}} \right) & \text{for } Re > 70 \end{cases}$

- $Re = \frac{u^* d_{50}}{2.32 \cdot 10^{-7}}; u^* = \left[ 16.2 \cdot d_{50} \left( \frac{9.09 \cdot 10^{-6}}{d_{50}} - d_{50} (38.76 + 9.6 \ln(d_{50})) - 0.005 \right) \right]^{0.5}$
- $y_1 =$  tirante idrico (m)
- $f_1 = \tanh \left[ \left( \frac{y_1}{a^*} \right)^{0.4} \right]; f_2 = \left\{ 1 - 1.2 \left[ \ln \left( \frac{V_1}{V_c} \right) \right]^2 \right\}; f_3 = \left[ \frac{\left( \frac{a^*}{d_{50}} \right)}{0.4 \left( \frac{a^*}{d_{50}} \right)^{1.2} + 10.6 \left( \frac{a^*}{d_{50}} \right)^{-0.13}} \right]$
- $a^* = K_s a_p; a_p = a \cdot \cos \theta + L \cdot \sin \theta; K_s = \begin{cases} 1 & (\text{pilacircolare}) \\ 0.86 + 0.97 \left( \left| \frac{\pi \theta}{180} - \frac{\pi}{4} \right| \right)^4 & (\text{pilarettangolare}) \end{cases}$

( $a$  = larghezza della pila;  $L$  = lunghezza della pila;  $\theta$  = angolo di attacco [°])

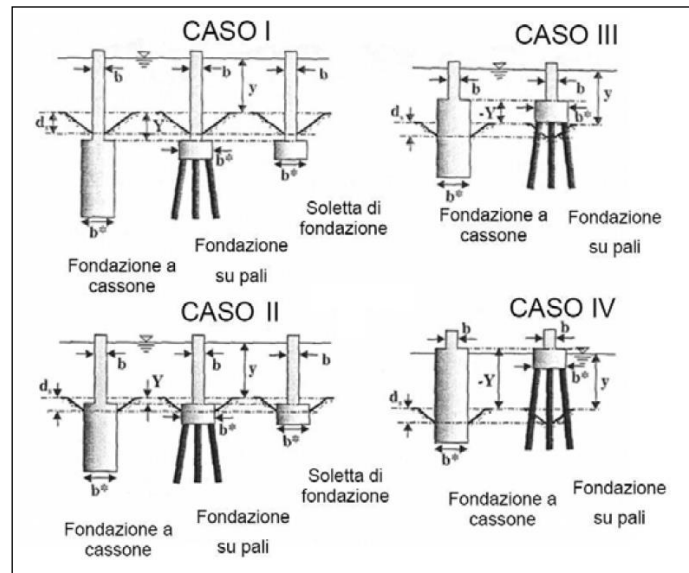
Secondo gli studi condotti da Sheppard et al. (2013), riguardanti il confronto tra i valori di scalzamento osservati in laboratorio e in sito e quelli valutati secondo le più comuni ed utilizzate formule per il calcolo dello scalzamento (tra cui anche quelle di Melville, Froehlich, Breusers e CSU), **la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

$$\frac{V_1}{V_c} = 0.4 \div 7.6 \quad \frac{y_1}{a} = 0.05 \div 10 \quad \frac{a}{d_{50}} = 3.65 \div 65047 \quad FR = 0.03 \div 1.95$$

all'interno dei quali ricadono i valori dei parametri (tirante, velocità,  $d_{50}, \dots$ ), relativi al Fiume Dittaino e ai tre corsi d'acqua minori studiati.

In generale, è possibile riscontrare quattro differenti scenari di erosione localizzata:

- CASO I: la fondazione della pila rimane al di sotto della buca erosiva;
- CASO II: la sommità della fondazione è esposta al flusso della corrente all'interno della buca erosiva;
- CASO III: la sommità della fondazione giace al di sopra del fondo alveo;
- CASO IV: la sommità della fondazione si trova al di sotto o in prossimità del pelo libero.



**Figura 47–Diverse tipologie di pile non uniformi dotate di fondazioni.**

Nel CASO I l'erosione localizzata viene calcolata facendo riferimento alla larghezza della pila  $b$  in quanto la presenza della fondazione risulta essere ininfluente nel processo erosivo.

Nei CASI II e III invece occorre fare riferimento alla procedura di calcolo proposta da *Melville e Raudkivi (1996)* che utilizza una larghezza della pila equivalente ben definita come:

$$b_e = b \cdot \left( \frac{h_0 + Y}{h_0 + b^*} \right) + b^* \cdot \left( \frac{b^* - Y}{h_0 + b^*} \right)$$

dove  $h_0$ : profondità media della corrente rispetto al fondo alveo;  $Y$ : altezza massima della buca erosiva;  $b^*$ : larghezza della fondazione.

Per quanto riguarda il CASO IV, infine, l'erosione localizzata può venire calcolata utilizzando come larghezza equivalente della pila la larghezza della fondazione  $b^*$  dal momento che il fenomeno interessa maggiormente la fondazione stessa.

E' stato effettuato dunque il calcolo dello scalzamento, relativo alla piena di progetto,  $Tr = 300$  anni, considerando dapprima le dimensioni delle pile. Per quanto concerne il materiale potenzialmente erodibile, si è fatto riferimento alle analisi granulometriche effettuate su campioni estratti, durante i sondaggi geognostici e apposite campagne topografiche, nello strato più superficiale (fino a 10 m dal p.c.), nonché su campioni

prelevati direttamente in alveo; in particolare, per i viadotti presi in esame, il materiale considerato è caratterizzato dalla seguente granulometria:

- VI01, VI03, VI06, VI07,  $d_{50} = 0.003$  mm,  $d_{90} = 0.055$  mm;
- VI12,  $d_{50} = 0.07$  mm,  $d_{90} = 0.6$  mm.

Nelle tabelle seguenti si riportano i valori di scalzamento attesi (per la portata di progetto,  $Tr = 300$  anni; i valori delle variabili idrauliche sono estratti dalle simulazioni numeriche secondo modello 2D), ottenuti mediante le formulazioni sopra descritte, considerando le dimensioni delle sole pile.

### VI01

ID PILA	D (m) [pila]	Forma pila	h (m)	v (m/s)	Fr ()	Ys (m) Sheppard & Melville	Ys (m) CSU	Ys (m) Pila	Yp (m) profondità estradosso plinto
1	3.5	circolare	2.95	0.1	0.019	0	0.68	<b>0.68</b>	1.5
2	3.5	circolare	4.1	0.15	0.024	0.1	1	<b>1</b>	1.6
3	3.5	circolare	4.6	0.21	0.031	0.68	1.45	<b>1.45</b>	1.1
4	3.5	circolare	5	0.3	0.043	1	1.9	<b>1.9</b>	1.4
5	3.5	circolare	5.2	0.35	0.049	1.1	2.2	<b>2.2</b>	1.1
6	3.5	circolare	5	0.4	0.057	1.15	2.4	<b>2.4</b>	1.5
7	3.5	circolare	5	0.4	0.057	1.15	2.4	<b>2.4</b>	1.0
8	3.5	circolare	4.7	0.35	0.052	1.1	2.2	<b>2.2</b>	1.4
9	3.5	circolare	4.6	0.35	0.052	1.1	2.2	<b>2.2</b>	1.3
10	3.5	circolare	4.8	0.4	0.058	1.1	2.4	<b>2.4</b>	1.5
11	3.5	circolare	4.9	0.6	0.087	1.4	3	<b>3</b>	1.0
12	3.5	circolare	5	0.5	0.071	1.3	2.8	<b>2.8</b>	1.0
13	3.5	circolare	3.5	0.4	0.068	1.1	2.4	<b>2.4</b>	2.0

### VI03

ID PILA	D (m) [pila]	Forma pila	h (m)	v (m/s)	Fr ()	Ys (m) Sheppard & Melville	Ys (m) CSU	Ys (m) Pila	Yp (m) profondità estradosso plinto
22	4.5	circolare	0.55	0.25	0.108	0.65	1.7	<b>1.7</b>	3.4
23	4.5	circolare	1.5	0.8	0.209	2.1	1.8	<b>2.1</b>	3.1

### VI06

ID PILA	D (m) [pila]	Forma pila	h (m)	v (m/s)	Fr ()	Ys (m) Sheppard & Melville	Ys (m) CSU	Ys (m) Pila	Yp (m) profondità estradosso plinto
16	4.5	circolare	0.1	0.25	0.252	0.36	1.4	<b>1.4</b>	2.1
17	4.5	circolare	0.3	0.4	0.233	0.82	2	<b>2</b>	2.6
18	4.5	circolare	0.3	0.7	0.408	1.5	1.8	<b>1.8</b>	1.9
19	4.5	circolare	0.3	0.4	0.233	0.8	2	<b>2</b>	1.5
20	4.5	circolare	0.5	0.3	0.135	0.65	1.9	<b>1.9</b>	1.5
21	4.5	circolare	0.3	0.5	0.291	1.1	2	<b>2</b>	1.3
22	4.5	circolare	0.5	0.3	0.135	0.65	1.9	<b>1.9</b>	5.0
23	4.5	circolare	0.5	0.3	0.135	0.65	1.9	<b>1.9</b>	4.3
24	4.5	circolare	0.8	0.3	0.107	0.8	2	<b>2</b>	4.9
25	4.5	circolare	0.5	0.2	0.090	0.5	1.4	<b>1.4</b>	5.0

### VI07

ID PILA	D (m) [pila]	Forma pila	h (m)	v (m/s)	Fr ()	Ys (m) Sheppard & Melville	Ys (m) CSU	Ys (m) Pila	Yp (m) profondità estradosso plinto
2	4.5	circolare	2.2	0.2	0.043	0.7	1.6	<b>1.6</b>	4.6
3	4.5	circolare	0.5	1.8	0.813	3.9	2.9	<b>3.9</b>	5.3

### VI12

ID PILA	D (m) [pila]	Forma pila	h (m)	v (m/s)	Fr ()	Ys (m) Sheppard & Melville	Ys (m) CSU	Ys (m) Pila	Yp (m) profondità estradosso plinto
10	4.5	circolare	1.3	0.3	0.084	1.6	1.4	<b>1.6</b>	2.7
11	4.5	circolare	1.5	0.4	0.104	1.9	1.9	<b>1.9</b>	2.9
12	4.5	circolare	1.7	0.5	0.122	2.1	2.3	<b>2.3</b>	2.9
13	4.5	circolare	1.7	0.5	0.122	2.1	2.3	<b>2.3</b>	3.1
14	4.5	circolare	1.8	0.6	0.143	2.3	2.7	<b>2.7</b>	3.1
15	4.5	circolare	1.7	0.6	0.147	2.3	2.7	<b>2.7</b>	3.1
16	4.5	circolare	1.8	0.8	0.190	2.7	3.4	<b>3.4</b>	3.2
17	4.5	circolare	2	0.9	0.203	2.9	3.7	<b>3.7</b>	3.0
18	4.5	circolare	1.1	1	0.304	3	3.6	<b>3.6</b>	3.0

ID PILA	D (m) [pila]	Forma pila	h (m)	v (m/s)	Fr ()	Ys (m) Sheppard & Melville	Ys (m) CSU	Ys (m) Pila	Yp (m) profondità estradosso plinto
19	4.5	circolare	1	1.2	0.383	3.5	3.6	<b>3.6</b>	3.2
20	4.5	circolare	1.3	1.2	0.336	3.5	3.8	<b>3.8</b>	3.3
21	4.5	circolare	0.8	1.4	0.500	3.9	3	<b>3.9</b>	3.1
22	4.5	circolare	0.8	1.6	0.571	4.3	1.7	<b>4.3</b>	3.1
23	4.5	circolare	0.6	1.6	0.659	4.1	2.9	<b>4.1</b>	3.4
24	4.5	circolare	3.4	1.3	0.225	3.7	4.7	<b>4.7</b>	2.9
25	4.5	circolare	2.8	1.5	0.286	4	4.4	<b>4.4</b>	3.4
26	4.5	circolare	3.2	1.7	0.303	4.3	4.3	<b>4.3</b>	3.1
27	4.5	circolare	3.3	2.1	0.369	4.9	1	<b>4.9</b>	3.2
28	4.5	circolare	3.6	1.8	0.303	4.4	4.1	<b>4.4</b>	2.9
29	4.5	circolare	5.4	2.4	0.330	5.1	4.6	<b>5.1</b>	3.1
30	4.5	circolare	6.3	3.7	0.471	6.8	5.6	<b>6.8</b>	2.7
31	4.5	circolare	1.7	2.2	0.539	5.4	3.8	<b>5.4</b>	3.0
32	4.5	circolare	1.3	2	0.560	5.1	3.5	<b>5.1</b>	3.0
33	4.5	circolare	0.8	1.5	0.535	4.1	2.6	<b>4.1</b>	3.0
34	4.5	circolare	0.2	0.6	0.428	1.5	2.2	<b>2.2</b>	1.1

Confrontando i valori di scalzamento atteso con quelli di ricoprimento dei plinti di fondazione si evince che in corrispondenza di alcune pile i fenomeni di erosione potrebbero interessare anche i plinti di fondazione stessi (scalzamento atteso maggiore del ricoprimento); nello specifico, tale situazione/condizione si verifica in corrispondenza della seguenti pile:

- VI01, da pila P3 a pila P13
- VI06, da pila P19 a pila P21
- VI12, da pila P16 a pila P34

Per tali pile, il calcolo quindi è stato ripetuto considerando le dimensioni equivalenti del sistema “*pila – plinto*”, valutate con la formulazione proposta da *Melville e Raudkivi (1996)*, precedentemente introdotta.

### VI01

ID PILA	L - Plinto (m)	B- Plinto (m)	L equivalente (m)	B equivalente (m)	Ys (m) Sheppard & Melville Pila-Plinto	Ys (m) CSU Pila - Plinto	Ys (m) Pila - Plinto
1	9.6	9.6	-	-	-	-	<b>0.68</b>
2	9.6	9.6	-	-	-	-	<b>1.00</b>
3	9.6	9.6	3.9	3.9	0.74	1.6	<b>1.60</b>
4	9.6	9.6	3.9	3.9	1.1	2.1	<b>2.10</b>
5	9.6	9.6	4.4	4.4	1.3	2.6	<b>2.60</b>
6	9.6	9.6	4.2	4.2	1.3	2.75	<b>2.75</b>
7	9.6	9.6	4.7	4.7	1.4	3	<b>3.00</b>
8	9.6	9.6	4.2	4.2	1.2	2.5	<b>2.50</b>
9	9.6	9.6	4.4	4.4	1.25	2.6	<b>2.60</b>
10	9.6	9.6	4.3	4.3	1.3	2.8	<b>2.80</b>
11	9.6	9.6	5.1	5.1	1.8	3.8	<b>3.80</b>
12	9.6	9.6	4.9	4.9	1.6	3.5	<b>3.50</b>
13	9.6	9.6	3.9	3.9	1.2	2.5	<b>2.50</b>

### VI06

ID PILA	L - Plinto (m)	B- Plinto (m)	L equivalente (m)	B equivalente (m)	Ys (m) Sheppard & Melville Pila-Plinto	Ys (m) CSU Pila - Plinto	Ys (m) Pila - Plinto
16	12	12	-	-	-	-	<b>1.40</b>
17	12	12	-	-	-	-	<b>2.00</b>
18	12	12	-	-	-	-	<b>1.80</b>
19	12	12	6.1	6.1	1	2.5	<b>2.50</b>
20	12	12	5.8	5.8	0.7	2.2	<b>2.20</b>
21	12	12	6.9	6.9	1.3	2.6	<b>2.60</b>
22	12	12	-	-	-	-	<b>1.90</b>
23	12	16.5	-	-	-	-	<b>1.90</b>
24	12	16.5	-	-	-	-	<b>2.00</b>
25	12	12	-	-	-	-	<b>1.40</b>



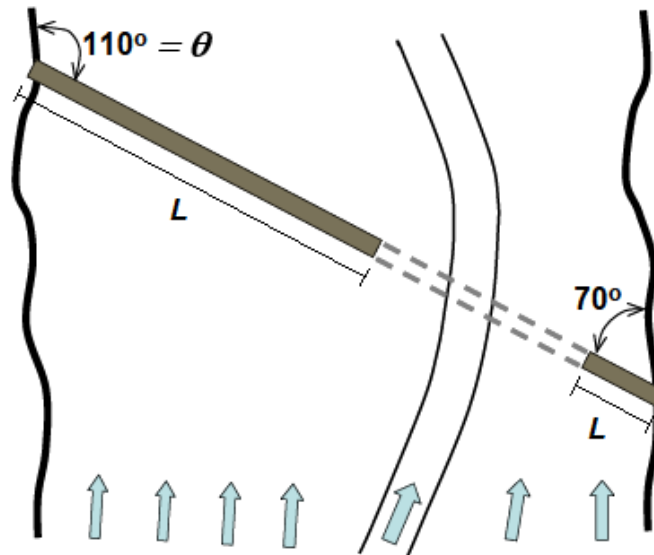
## VI12

ID PILA	L - Plinto (m)	B- Plinto (m)	L equivalente (m)	B equivalente (m)	Ys (m) Sheppard & Melville Pila-Plinto	Ys (m) CSU Pila - Plinto	Ys (m) Pila - Plinto
10	12	12	-	-	-	-	<b>1.60</b>
11	12	12	-	-	-	-	<b>1.90</b>
12	12	12	-	-	-	-	<b>2.30</b>
13	12	12	-	-	-	-	<b>2.30</b>
14	12	12	-	-	-	-	<b>2.70</b>
15	12	12	-	-	-	-	<b>2.70</b>
16	12	12	4.9	4.9	3.2	3.6	<b>3.60</b>
17	12	12	5.5	5.5	3.75	4.2	<b>4.20</b>
18	12	12	5.5	5.5	3.9	4.1	<b>4.10</b>
19	12	12	5.2	5.2	4.3	4	<b>4.30</b>
20	12	12	5.3	5.3	4.4	4.3	<b>4.40</b>
21	12	12	5.8	5.8	5.2	3.6	<b>5.20</b>
22	12	12	6.3	6.3	6.2	2.2	<b>6.20</b>
23	12	12	5.7	5.7	5.5	3.3	<b>5.50</b>
24	12	12	6.2	6.2	5.2	5.7	<b>5.70</b>
25	12	12	5.6	5.6	5.3	5.1	<b>5.30</b>
26	12	12	5.7	5.7	5.8	5	<b>5.80</b>
27	12	12	6.1	6.1	7	1.2	<b>7.00</b>
28	12	16.5	6.0	6.8	6.2	5	<b>6.20</b>
29	12	16.5	5.9	6.8	7.3	5.5	<b>7.30</b>
30	12	16.5	6.9	8.3	11	7.4	<b>11.00</b>
31	12	16.5	7.0	8.6	8.3	5	<b>8.30</b>
32	12	12	7.0	7.0	7.8	4.7	<b>7.80</b>
33	12	12	6.2	6.2	5.8	3.2	<b>5.80</b>
34	12	12	7.9	7.9	2.2	3.2	<b>3.20</b>

Con riferimento ai viadotti VI01 e VI07 anche le spalle risultano interessate dalle esondazioni delle piene di progetto ( $Tr = 300$  anni).

Per il calcolo dello scalzamento atteso attorno a tali spalle si è fatto riferimento alla metodologia della FHWA. In particolare, considerato lo schema riportato nella figura seguente, si definiscono le seguenti variabili:

- $\theta$  = angolo compreso tra la direzione principale della corrente e l'asse dell'opera di attraversamento
- $L$  = lunghezza di influenza della spalla/rilevato di appoggio



**Figura 48 – Calcolo dello scalzamento in corrispondenza delle spalle.**


Determinate tali variabili, in relazione al valore della quantità  $L'/Y_1$  ( $L' = L \cdot \cos(90 - \theta)$ ;  $Y_1$  = altezza della corrente in corrispondenza della spalla), si procede al calcolo dello scalzamento mediante le formulazioni di Froehlich e di Hire, in accordo alle seguenti indicazioni:

$$\begin{cases} \frac{L'}{Y_1} \leq 25 \rightarrow \text{Froehlich} \\ \frac{L'}{Y_1} > 25 \rightarrow \text{Hire} \end{cases}$$

Formulazione di Froehlich

$$\frac{Y_s}{Y_1} = 2.27 K_1 K_2 \left( \frac{L'}{Y_1} \right)^{0.43} FR^{0.61} + 1$$

con  $K_1 = 0.82$ ,  $K_2 = (\theta/90)^{0.13}$ ,  $FR$  = numero di Froude.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 67 di 88

Formulazione di Hire

$$\frac{Y_s}{Y_1} = 4FR^{0.33} \frac{K_1}{0.55} K_2$$

$K_1$  e  $K_2$ , come prima definiti.

Di seguito, i valori di scalzamento attesi attorno alle spalle dei viadotti VI01 e VI07.

**VI01**

ID Spalla	h (m)	v (m/s)	Ys (m)
A (lato Palermo)	2	0.1	1.00
B (lato Catania)	2.2	0.2	0.21


**VI07**

ID Spalla	h (m)	v (m/s)	Ys (m)
B (lato Catania)	1	0.8	2.9

Come anticipato nel paragrafo precedente, anche le opere provvisionali per la realizzazione delle pile di scavalco dei viadotti VI03 e VI07 potrebbero essere interessate da fenomeni di erosione. Applicando le medesime formulazioni (CSU e Sheppard&Melville) si è proceduto quindi alla valutazione dello scalzamento atteso attorno a tali opere provvisionali, per la cosiddetta “portata di cantiere”. Di seguito, i risultati ottenuti (i valori delle variabili idrauliche sono estratti dalle simulazioni numeriche secondo modello 1D).

**VI03**

ID PILA	L (opera provvisoria) [m]	B (opera provvisoria) [m]	h (m)	v (m/s)	Ys (m) Sheppard&Melville	Ys (m) CSU	Ys (m)
22	12	16.5	0.7	0.6	3.1	4.2	<b>4.2</b>
23	12	16.5	0.7	0.6	3.1	4.2	<b>4.2</b>

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 68 di 88

## VI07

ID PILA	L (opera provvisoria) [m]	B (opera provvisoria) [m]	h (m)	v (m/s)	Ys (m) Sheppard & Melville	Ys (m) CSU	Ys (m)
2	12	16.5	0.4	0.9	4.4	4	<b>4.4</b>

I valori di scalzamento attorno alle opere provvisorie delle pile di scavalco dei viadotti VI03 e VI07 si attestano rispettivamente a 4.2 e 4.4 metri, a fronte di una rispettiva lunghezza di infissione di 20 e 23.5 metri.

## 5. SISTEMAZIONI IDRAULICHE

Si è proceduto al dimensionamento delle opere di sistemazione idraulica atte a ripristinare e mantenere la sezione d'alveo naturale, “*ante – operam*”, in una configurazione inalterata e quindi proteggerla da possibili fenomeni di erosione e scalzamento, dopo i rimaneggiamenti dovuti alle fasi di realizzazione dei viadotti VI01, VI03, VI06, VI07, VI12, nonché contribuire alla stabilità dell'alveo inciso nell'eventualità di multicursività dei corsi d'acqua indagati nel presente studio in corrispondenza delle opere di attraversamento in progetto.

Nello specifico, per il dimensionamento delle opere di sistemazione spondale e sul fondo dei corsi d'acqua in esame, nonché attorno alle pile nelle aree esterne, è stata applicata la relazione (FHWA, 1989):

$$d_{50} = 0.001 C_{sg} C_{sf} \frac{V_a^3}{d_{avg}^{0.5} K_1^{1.5}} \quad (*)$$

in cui  $d_{50}$  = diametro medio dei massi;  $V_a$  = velocità media (ft/s);  $d_{avg}$  = tirante medio (ft);  $C_{sg} = 2.12/(S_g - 1)^{1.5}$ ;  $S_g$  = peso specifico dei massi (t/mc);  $C_{sf} = (SF/1.2)^{1.5}$  ( $SF$  = coefficiente di sicurezza,  $\in [1,2]$ );  $K_1 = [1 - \sin^2(\theta)/\sin^2(\phi)]^{0.5}$ ;  $\theta$  = inclinazione delle sponde;  $\phi$  = angolo di attrito interno del materiale, applicabile per i seguenti valori dei parametri (simili a quelli caratteristici dei corsi d'acqua studiati):

- *pendenza alveo: 0.00006 ÷ 0.0162*
- *tiranti idrici: 1.5 ÷ 14.8 m*
- *velocità medie: 0.7 ÷ 4 m/s*



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA

PROGETTO DEFINITIVO  
TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)

RELAZIONE IDRAULICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS3E	50	D 09 RI	ID 00 02 001	A	69 di 88

- portate:  $35 \div 2200$  mc/s
- $d_{50}$ :  $0.15 \div 0.70$  m

Per il dimensionamento delle opere di protezione idraulica attorno alle pile nell'alveo inciso dei nuovi viadotti in progetto, è stata adottata invece la seguente formulazione (FHWA, 2009), che consente di tenere conto (tramite opportuni coefficienti correttivi) anche di eventuali vortici che possono generarsi, localmente, attorno agli "ostacoli" (rappresentati dalle pile stesse) presenti in alveo:

$$d_{50} = \frac{0.692 \cdot (V_{des})^2}{(S_g - 1)2g} \quad (**)$$

in cui  $d_{50}$  = diametro medio dei massi (m);  $V_{des}$  = velocità di progetto locale intorno alla pila (m/s);  $S_g$  = peso specifico dei massi ( $t/m^3$ ). La velocità di progetto deve rappresentare le condizioni nelle immediate vicinanze delle pile. Qualora si dovesse adottare un valore medio di velocità, questo deve essere opportunamente moltiplicato per i fattori che sono funzione della forma della pila e della sua posizione rispetto all'alveo:

$$V_{des} = K_1 K_2 V_{avg}$$

Se si dispone di una distribuzione di velocità risultante da modello fisico o da calcolo idraulico 1D o 2D, allora si può utilizzare solamente il coefficiente della forma della pila. Sarebbe opportuno considerare il valore massimo della velocità nell'alveo attivo  $V_{max}$ , dal momento che l'alveo stesso può spostarsi nel tempo e la massima velocità impatterebbe le pile:

$$V_{des} = K_1 V_{max}$$

in cui  $V_{des}$  = velocità di progetto locale intorno alla pila (m/s);  $K_1$  = fattore di forma pari a 1,5 per pile circolari "round-nose" o 1,7 per pile a spigoli vivi;  $K_2$  = fattore di correzione della velocità per l'ubicazione nell'alveo (varia da 0,9 per pile vicino alle sponde in alveo rettilineo, fino a 1,7 per pile immerse nel filone principale della corrente);  $V_{avg}$  = velocità media nell'alveo in corrispondenza del ponte (m/s);  $V_{max}$  = velocità massima nell'alveo attivo (m/s).

## 5.1. FIUME DITTAINO: VIADOTTO VI12

Con riferimento alla formulazione (\*\*), adottando il valore di velocità massima ( $V_{max} = 3.7$  m/s, per  $Tr = 300$  anni), nella sezione di attraversamento, unitamente ai seguenti parametri:  $S_g = 2$  t/m<sup>3</sup>;  $K_1 = 1,5$ , si ottiene un diametro medio dei massi pari a  $d_{50} = 1$  m.

L'estensione delle opere di sistemazione dell'alveo in massi (con  $d_{50} = 1$  m), per i quali se ne prevede anche la legatura con funi di acciaio per una maggiore stabilità (il calcolo effettuato prescinde dalla legatura dei massi, non considerata nelle formulazioni adottate), è stata dedotta dalle mappe del campo di velocità in corrispondenza del viadotto VI12, estratte dal modello numerico 2D implementato.

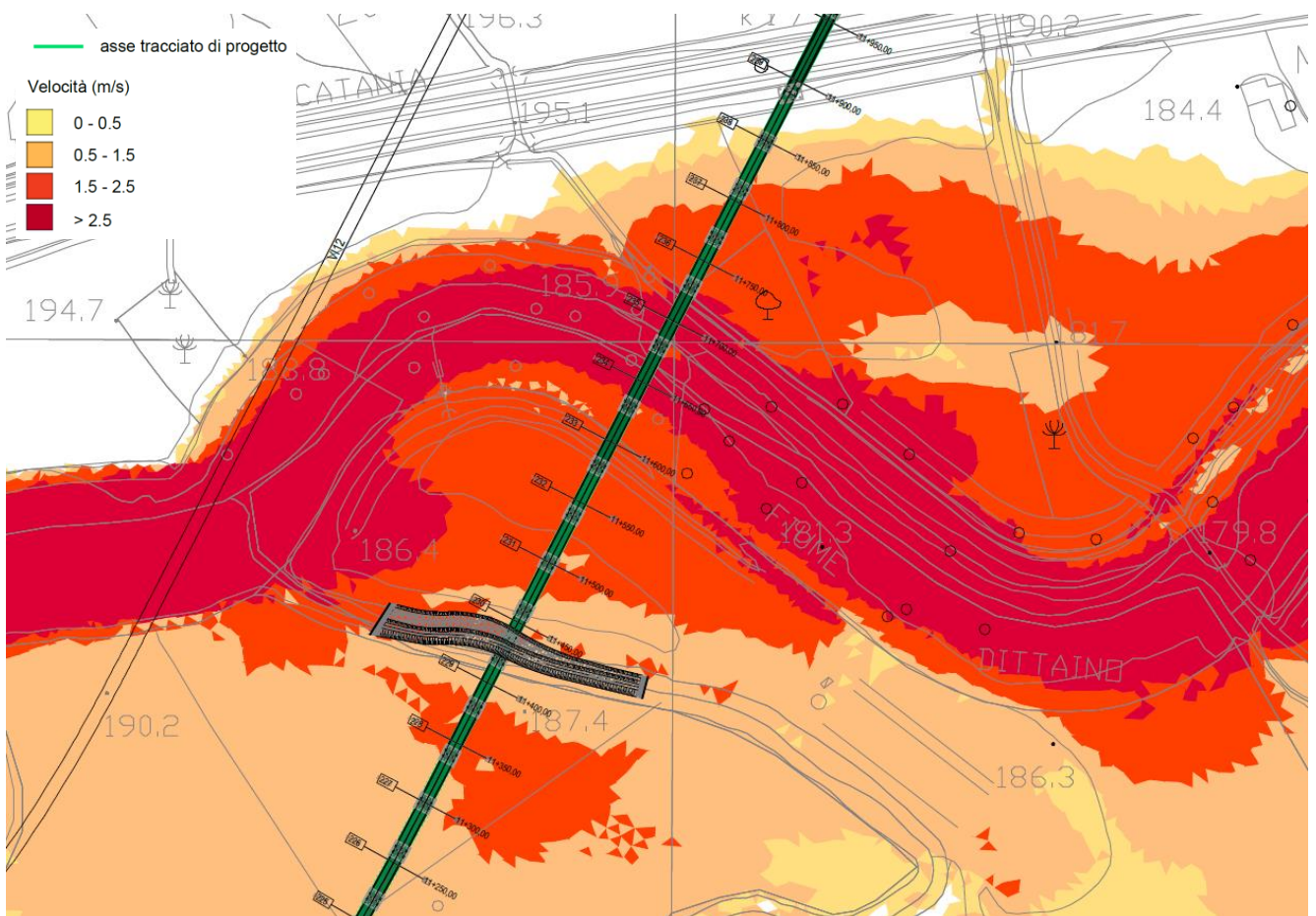


Figura 49 – Modello 2D del Fiume Dittaino: campo di velocità in corrispondenza del viadotto VI12.

Nello specifico, il rivestimento del fondo e delle sponde in massi legati ( $d_{50} = 1$  m), verrà realizzato in corrispondenza dell'alveo inciso/attivo, in particolare delle tre campate di scavalco (con luce pari a 50 metri).

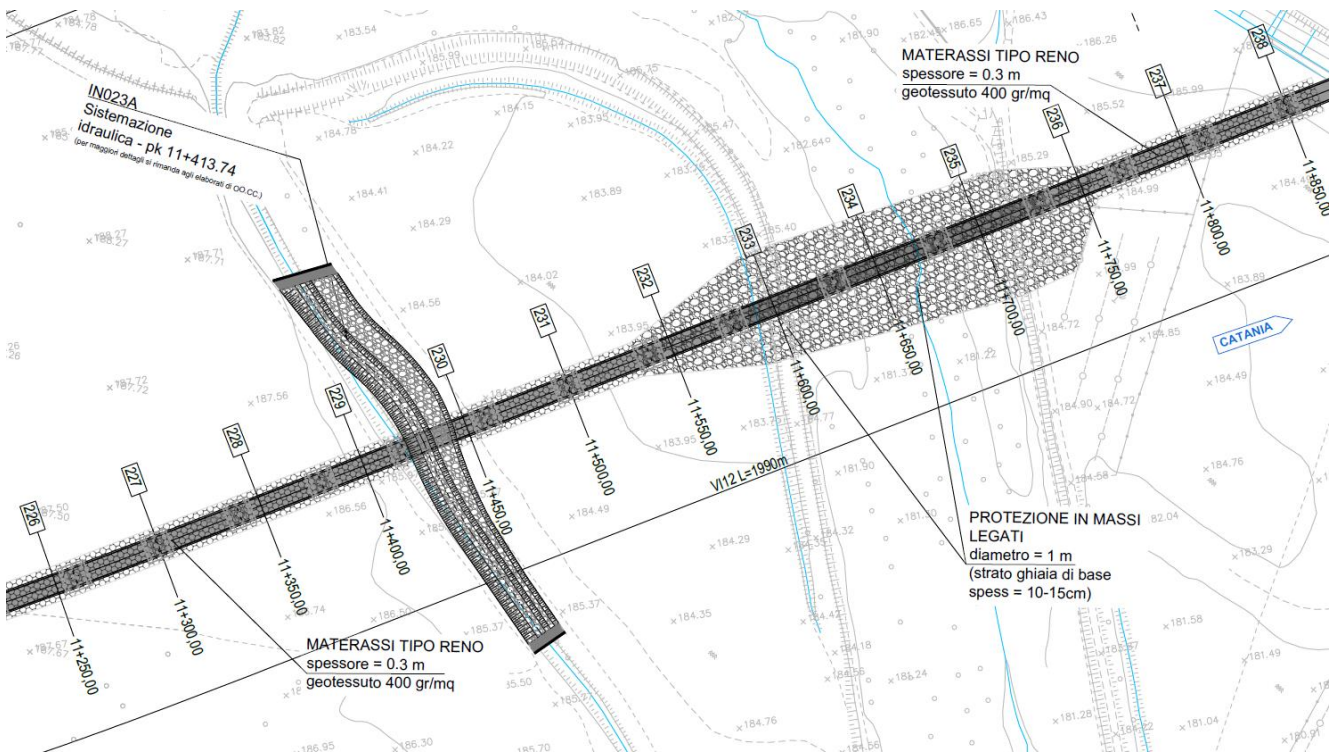


Figura 50 – Viadotto VI12: stralcio della planimetria delle opere di sistemazione idraulica.

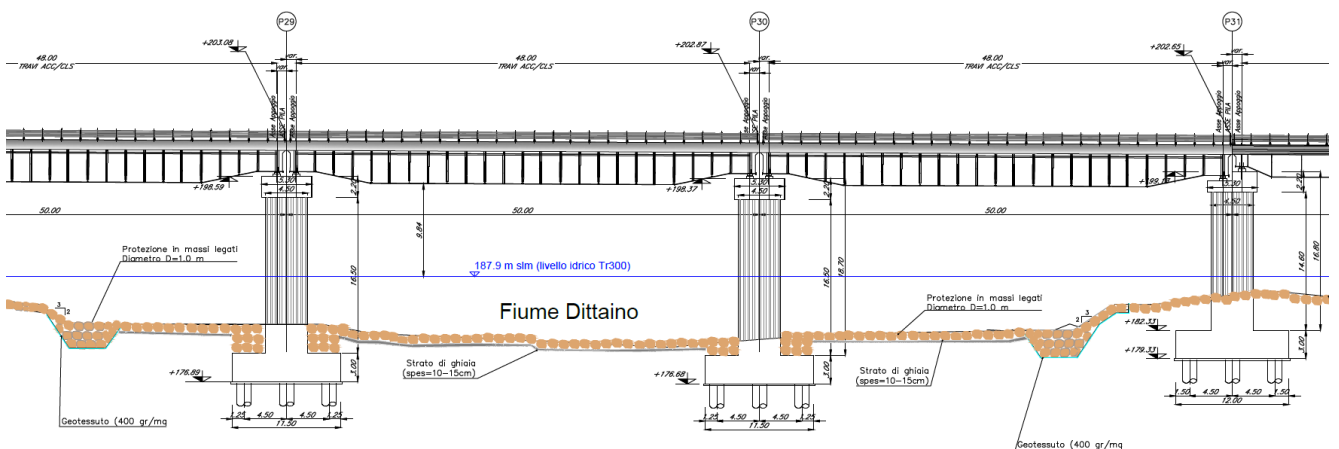


Figura 51 – Viadotto VI12: opere di protezione idraulica in corrispondenza dell'alveo inciso.

In ragione della modesta entità delle velocità e dei tiranti idrici, nelle aree esterne all'alveo inciso, il piano campagna al di sotto del viadotto sarà rivestito con materassi tipo Reno, con spessore = 30 cm e diametro medio del pietrame = 0.10 m (elaborati RS3E50D09PZID0002001A, RS3E50D09PZID0002002A). La verifica dei rivestimenti con materassi tipo Reno può essere condotta in via speditiva facendo riferimento alla seguente tabella riportante (rif. Escarameia, 1995), in relazione allo spessore e ai valori di velocità critica (o di primo movimento del pietrame) e limite (di massima deformazione del pietrame all'interno della rete metallica):

Type	Thickness (m)	Filling stones		Critical velocity (*)	Limit velocity (*)
		stone size	d <sub>50</sub>		
Reno mattress	0,15-0,17	70-100	0.085	3.5	4.2
		70-150	0.110	4.2	4.5
	0,23-0,25	70-100	0.085	3.6	5.5
		70-150	0.120	4.5	6.1
	0,30	70-120	0.100	4.2	5.5
		100-150	0.125	5.0	6.4

Con riferimento alla fase di cantiere, si è proceduto inoltre, come anticipato, al dimensionamento del rivestimento in massi sciolti, lato fiume, degli argini provvisori. I valori di velocità e tirante sono stati dedotti dalle simulazioni numeriche secondo un modello 1D. Applicando quindi la formulazione (\*), considerando i seguenti parametri:  $S_g = 2.0$  t/mc;  $SF = 2$  (in via cautelativa),  $\theta = 34^\circ$  (2/3);  $\phi = 40^\circ$ ,  $h = 3.5$  m e  $v = 2.4$  m/s (per la portata di cantiere), si ottiene  $d_{50} = 0.60$  m, come precedentemente indicato. Per maggiori dettagli si rimanda comunque all'elaborato grafico annesso RS3E50D09PZID0002003A.

## 5.2. CORSI D'ACQUA MINORI: VIADOTTI VI01, VI03, VI06, VI07

Con riferimento al viadotto VI01, in ragione della modesta entità delle velocità ( $\leq 0.5$  m/s), in corrispondenza delle rispettive pile e spalle, si prevede un rivestimento con materassi tipo Reno (spessore = 30 cm).

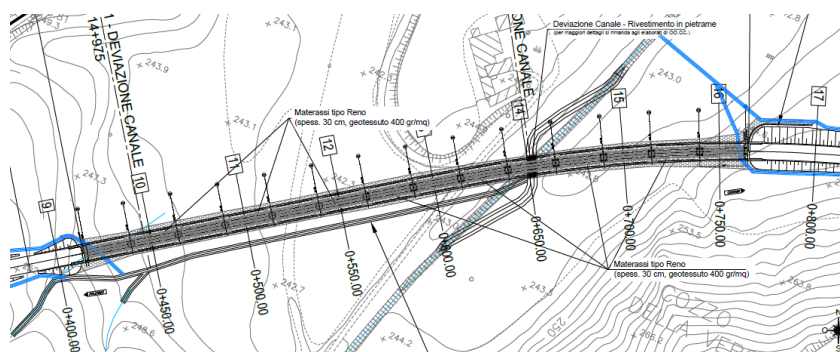


Figura 52 – Viadotto VI01: stralcio della planimetria delle opere di sistemazione idraulica.



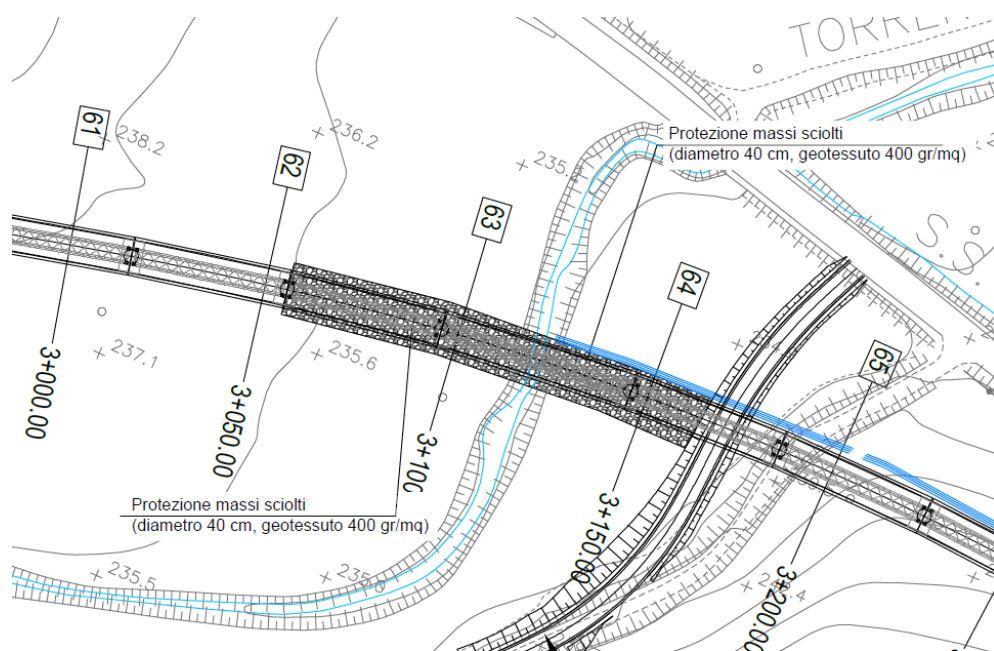
Per quanto concerne i viadotti VI03, VI06, VI07, si è fatto riferimento alla formulazione (\*). Assumendo quindi  $S_g = 2.0$  t/mc;  $SF = 2$  (in via cautelativa),  $\theta = 34^\circ$  (2/3);  $\phi = 40^\circ$ , si ottengono i risultati riportati in tabella.

Viadotto	Tirante (max) [m/s]	Velocità (max) [m/s]	D <sub>50</sub> [m]
VI03	2.0	2.0	0.40
VI06	1.8	1.7	0.30
VI07	1.5	2.2	0.70

**Tabella 8 – Viadotti VI03, VI06, VI07: dimensionamento delle opere di sistemazione idraulica.**

I valori di velocità sono dedotti dalle mappe dei valori di velocità, per la portata di progetto ( $TR300$ ), nella configurazione *post-operam*, annesse al presente studio (elaborato RS3E50D09P50002025A).

In definitiva, in corrispondenza dei viadotti VI03, VI06, VI07, si prevedono opere di protezione/sistemazione in massi sciolti e, laddove i tiranti idrici e le velocità assumono valori modesti, in materassi tipo Reno (spessore = 0.30 m, diametro medio pietrame = 0.10 m, come da tabella di dimensionamento precedente). Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici RS3E50D09PZID0002004A, RS3E50D09PZID0002005A.



**Figura 53 – Viadotto VI03: stralcio della planimetria delle opere di sistemazione idraulica.**

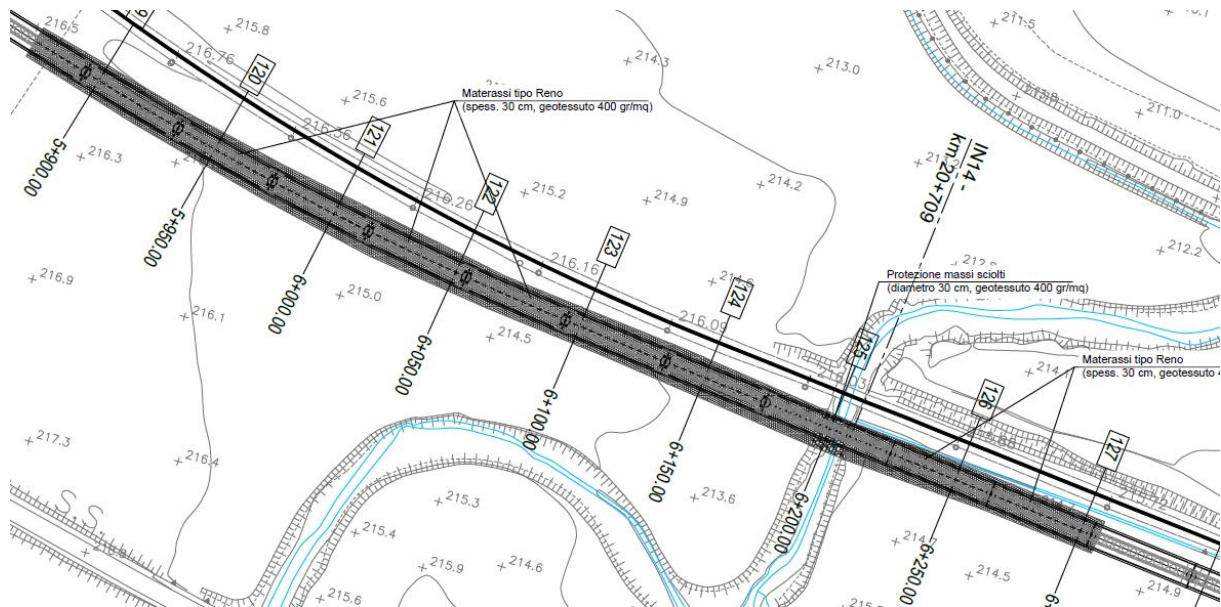


Figura 54 – Viadotto VI06: stralcio della planimetria delle opere di sistemazione idraulica.

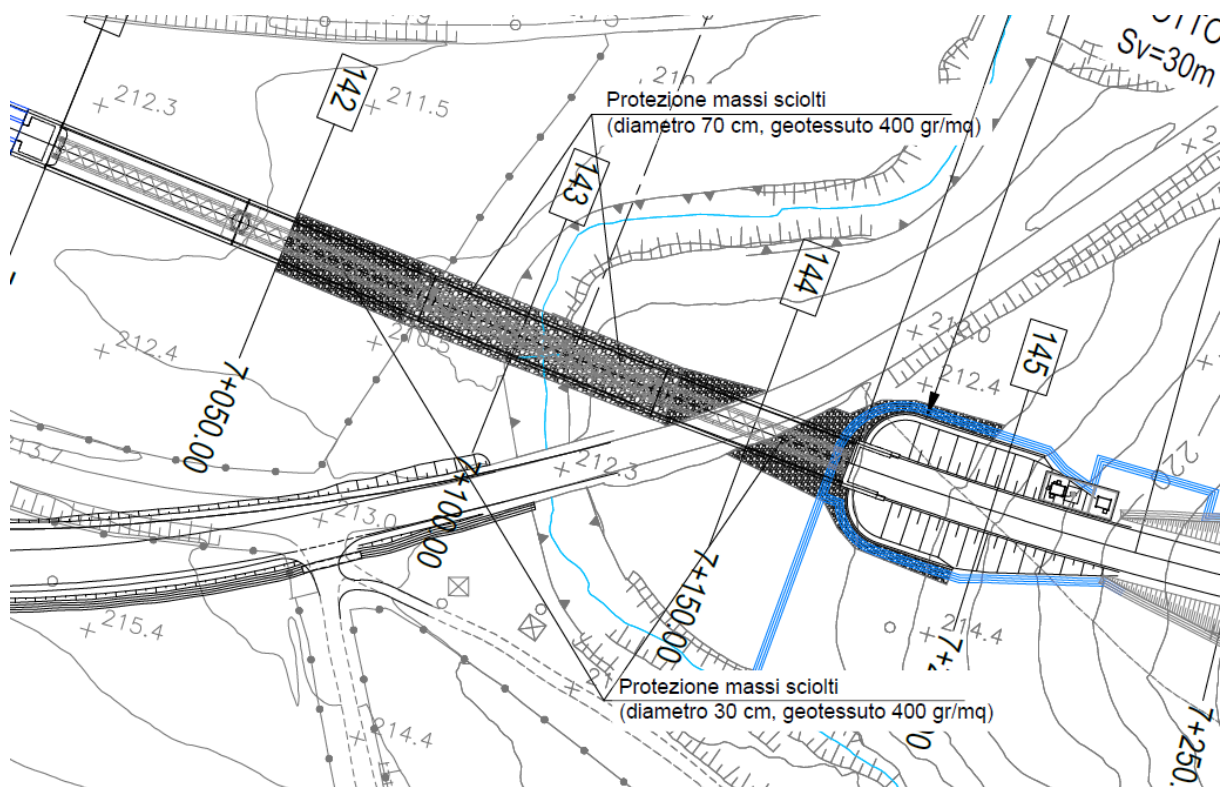



Figura 55 – Viadotto VI07: stralcio della planimetria delle opere di sistemazione idraulica.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 75 di 88

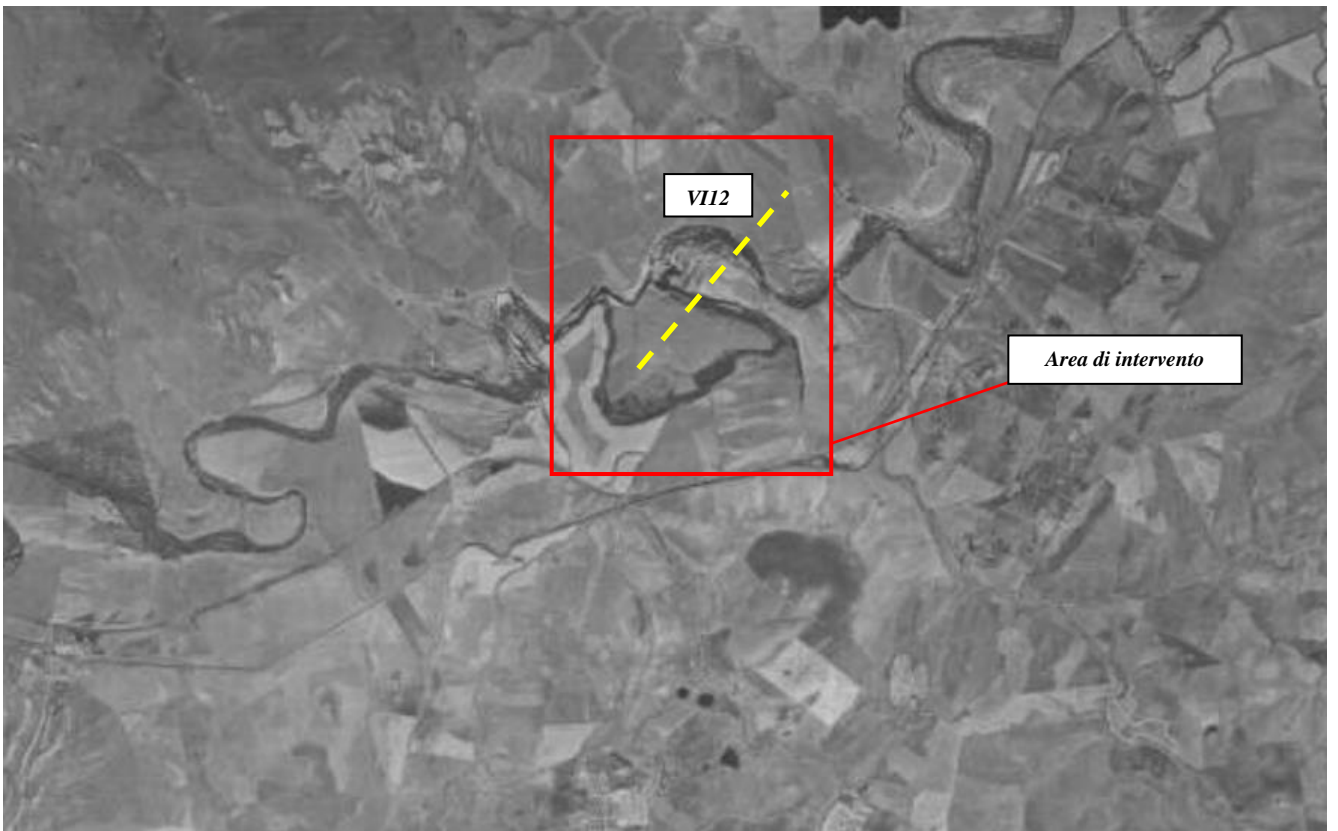
## 6. ANALISI DELL'EVOLUZIONE DELLE CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL FIUME DITTAINO

Si è proceduto all'analisi delle variazioni morfologiche e planimetriche dell'alveo del Fiume Dittaino, che si sono susseguite nel tempo nel tratto di interesse, sulla base di foto aeree e ortofoto recuperate dall'archivio dell'Esercito Italiano (fonte: [https://www.igmi.org/it/geoprodotti#b\\_start=0](https://www.igmi.org/it/geoprodotti#b_start=0)) ed estratte da Google Earth.

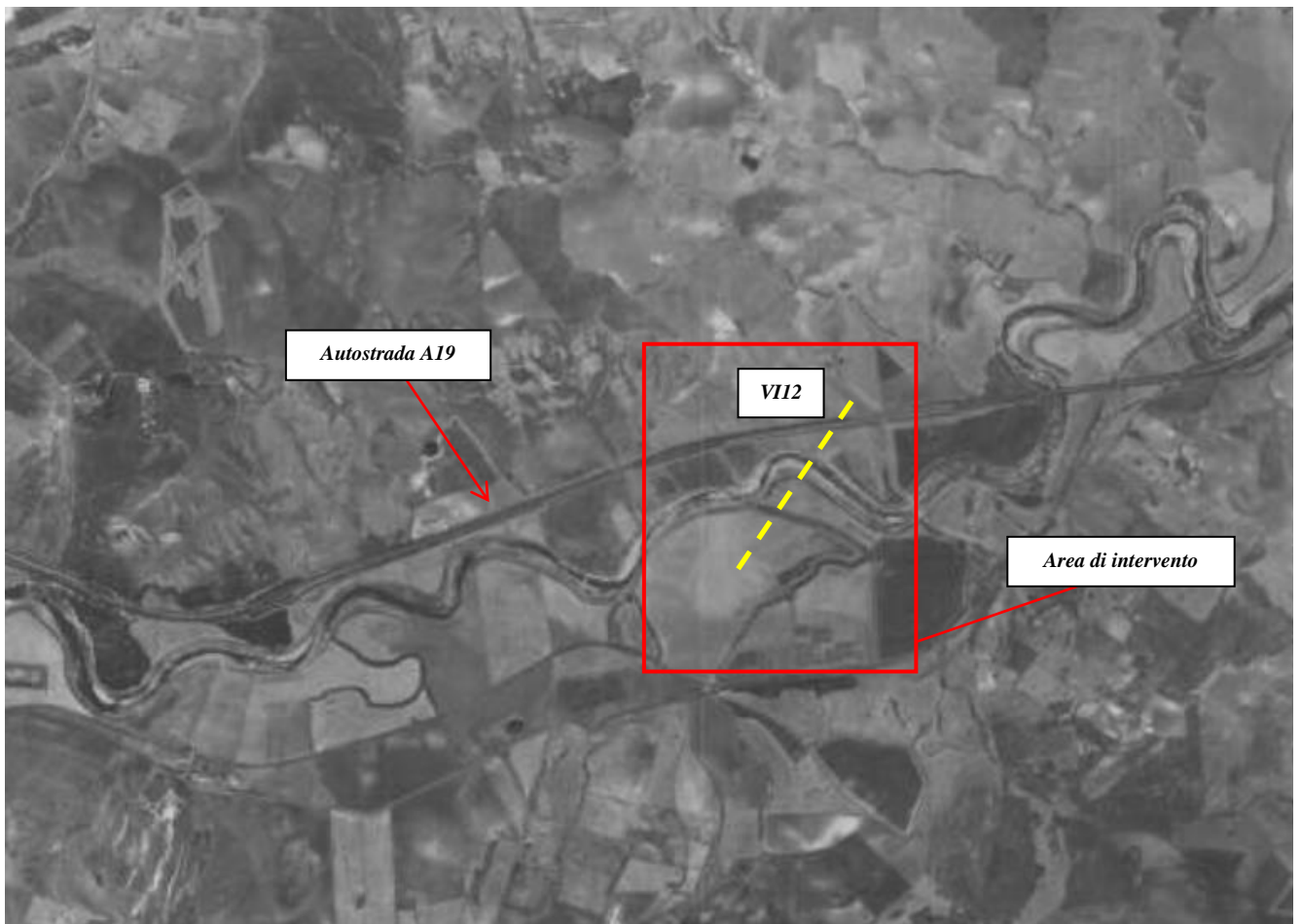
Le foto (o ortofoto) spaziano dal 1955 al 2018 (orizzonte temporale di 63 anni) e sono di seguito riportate.



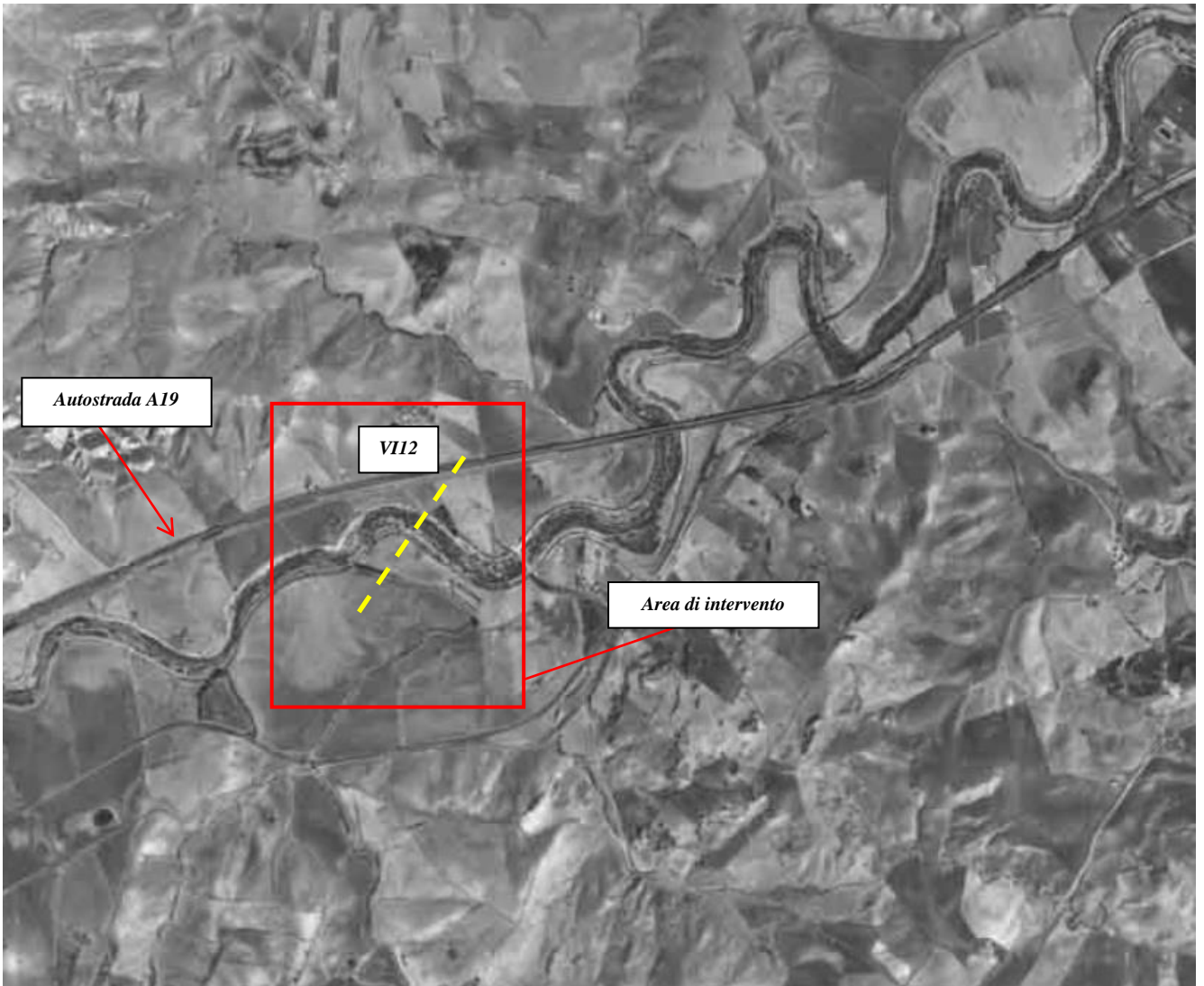
**Fiume Dittaino nel 1955 (fotogramma n. 6000-269-32B-10623).**



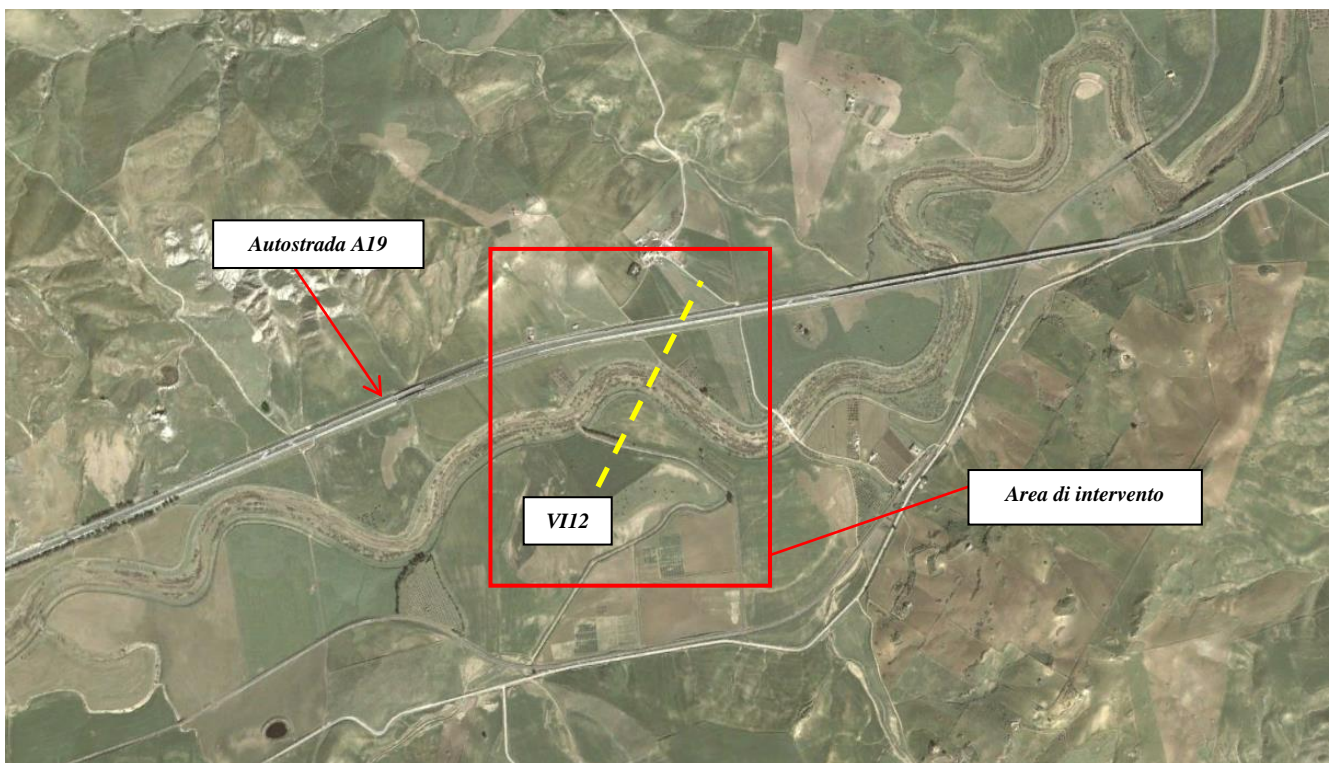
**Fiume Dittaino nel 1967 (fotogramma n. 4900-269-V-419).**



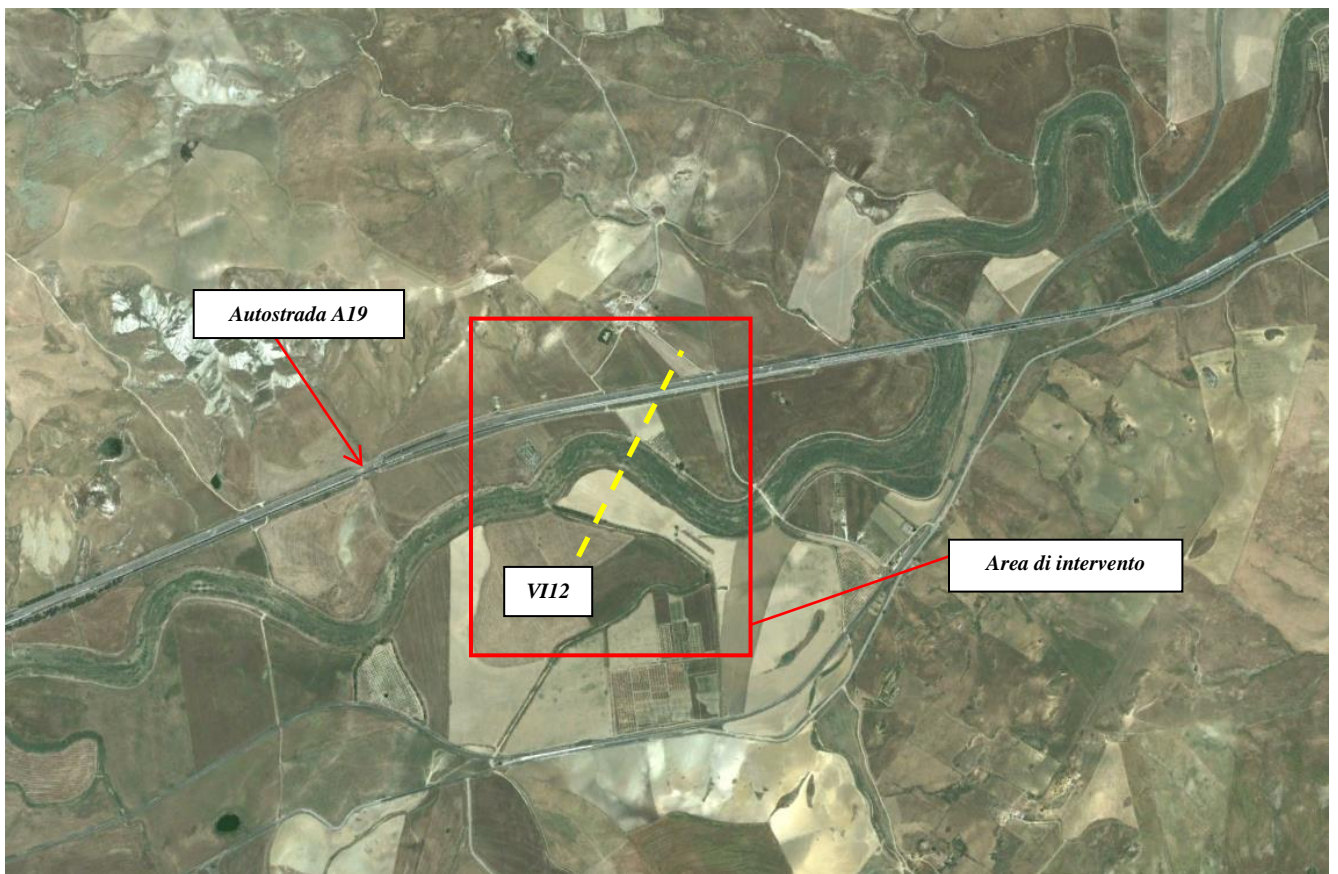
**Fiume Dittaino nel 1992 (fotogramma n. 6040-269-28-1171).**



**Fiume Dittaino nel 2000 (fotogramma n. 4800-269-44-1535).**

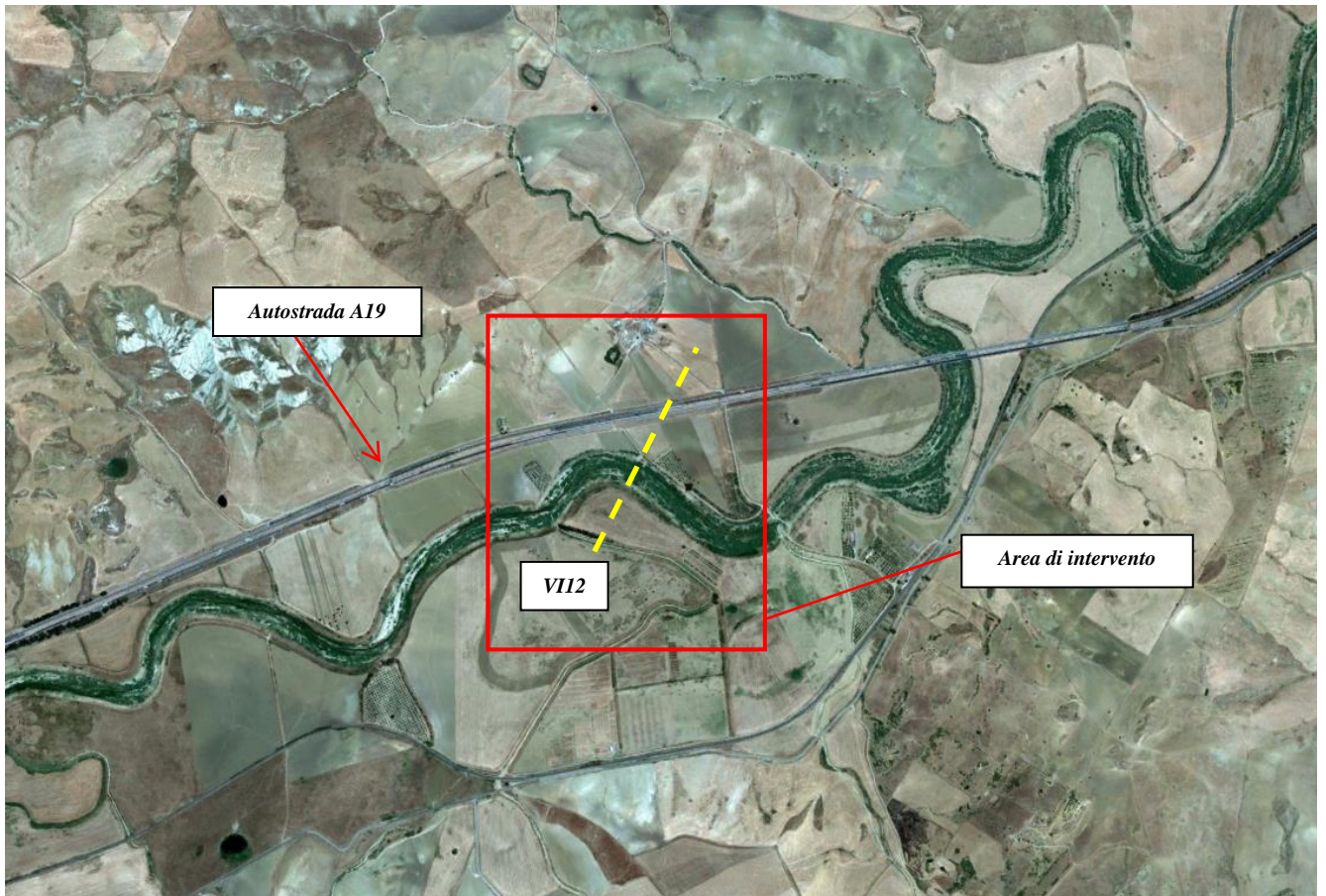


**Fiume Dittaino nel 2004 (Google Earth).**

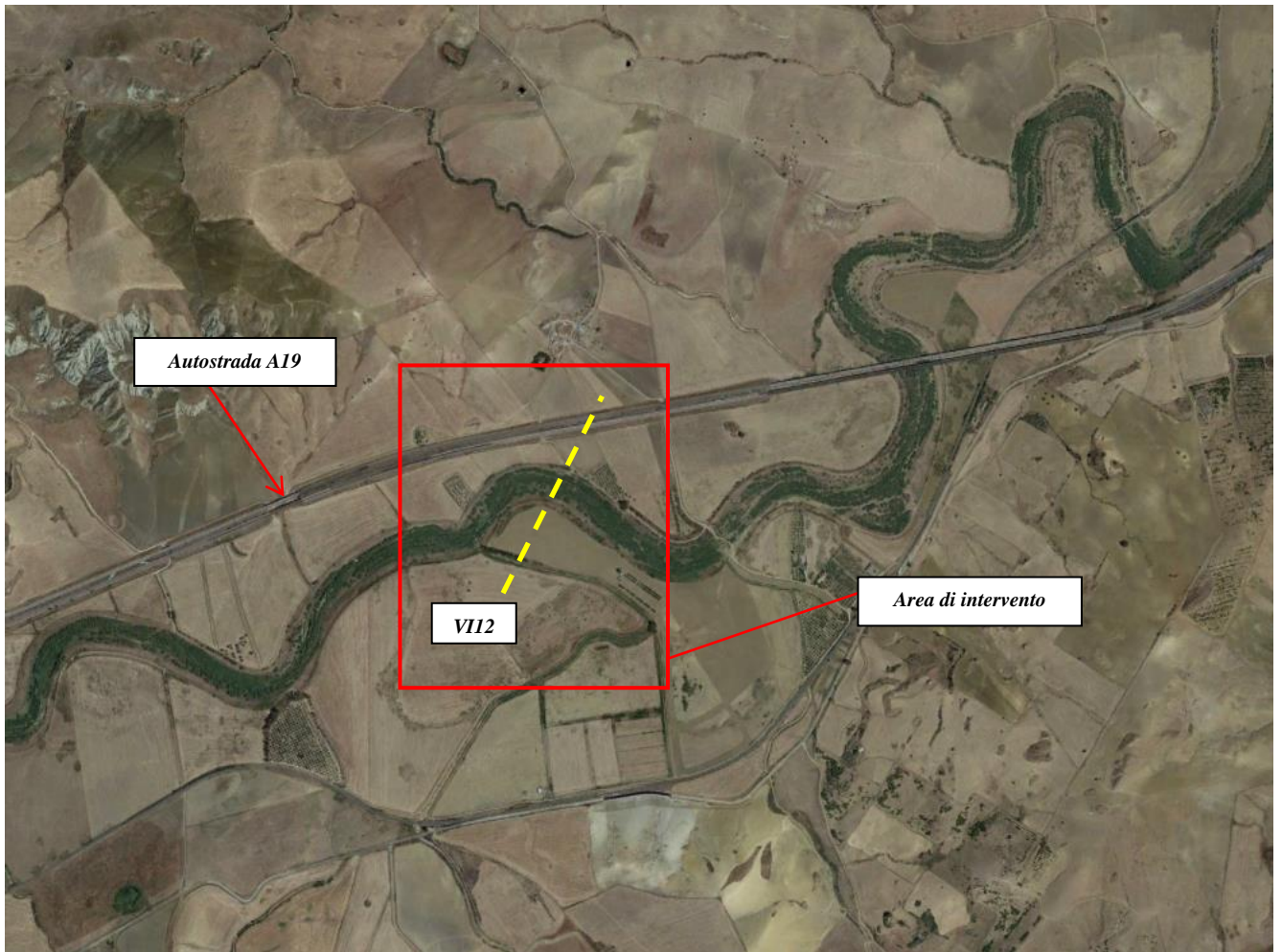


**Fiume Dittaino nel 2005 (Google Earth).**

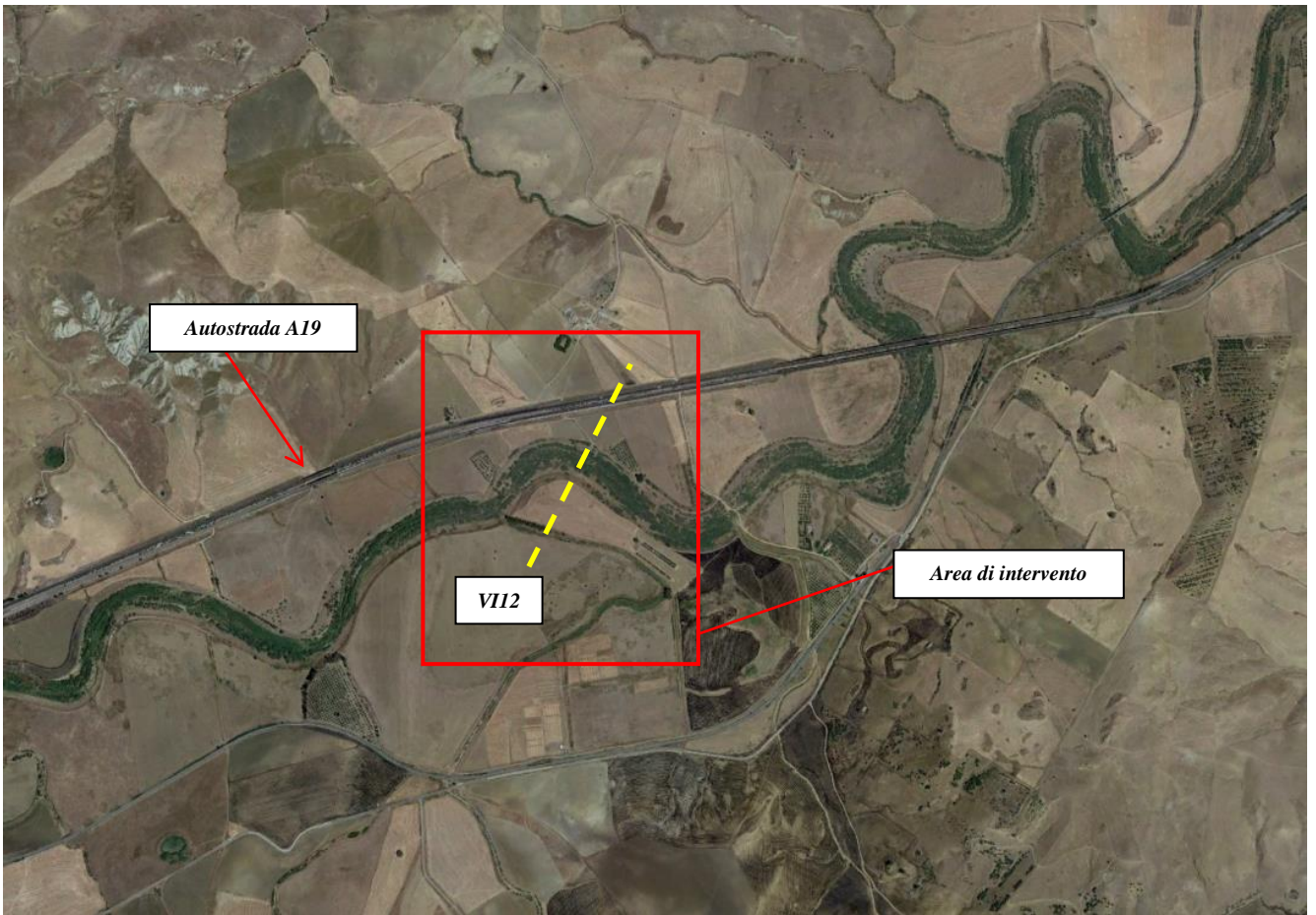




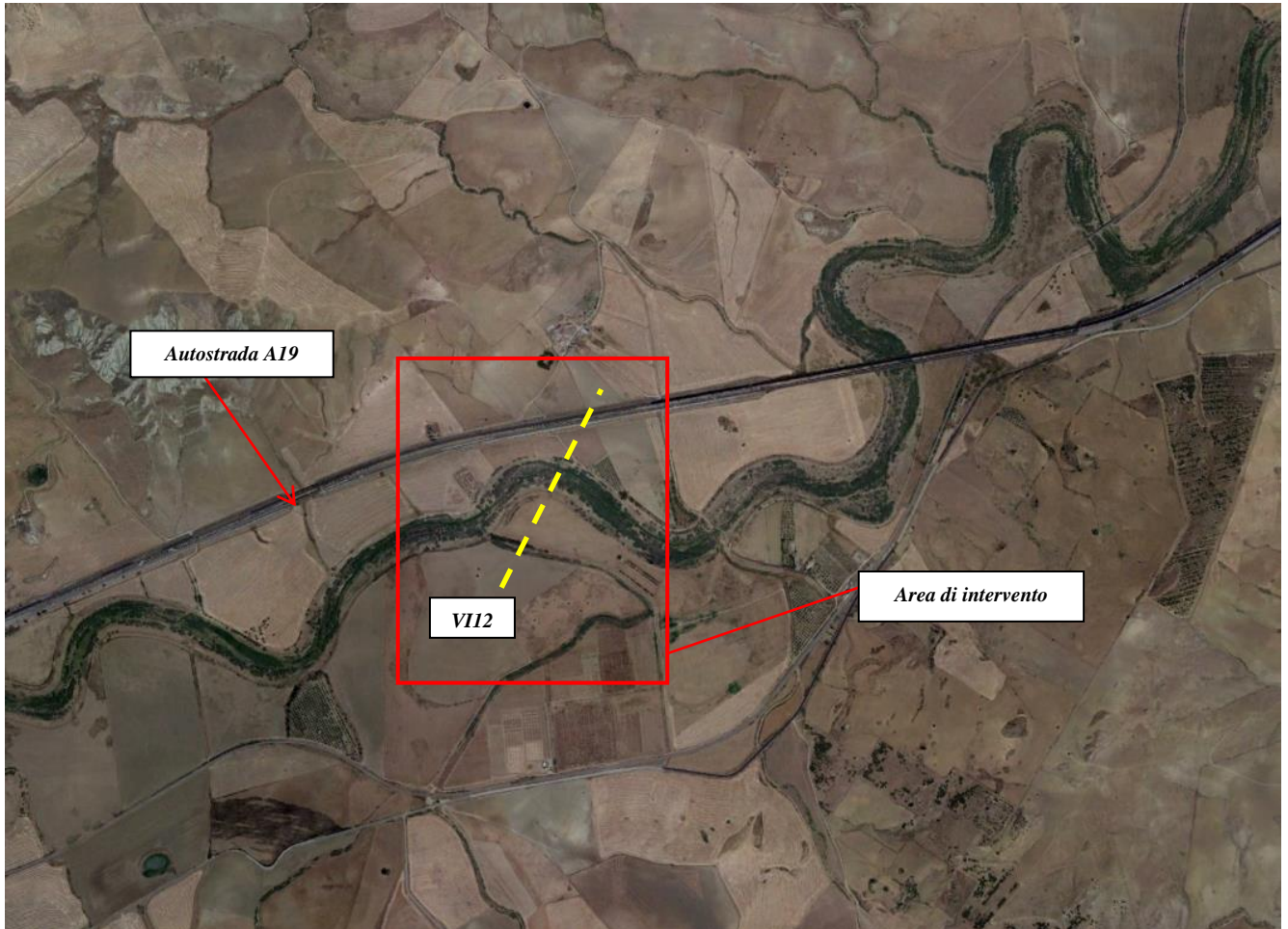
**Fiume Dittaino nel 2010 (Google Earth).**



**Fiume Dittaino nel 2013 (Google Earth).**



**Fiume Dittaino nel 2016 (Google Earth).**



**Fiume Dittaino nel 2018 (Google Earth).**

Fino agli anni 70' circa (ovvero fino alla realizzazione dell'Autostrada A19 Palermo-Catania) il Fiume Dittaino, nel tratto fluviale in corrispondenza dell'attraversamento in progetto, è stato caratterizzato da una marcata dinamica morfo-evolutiva.

Successivamente, a seguito delle attività antropiche sviluppatasi sul territorio (i.e. realizzazione ed implementazione di infrastrutture stradali, di zone industriali, ecc....), nonché della costruzione (ed entrata in esercizio) di alcune opere di regimazione idraulica (i.e. Dighe Nicoletti e di Sciaguana), che hanno fortemente influenzato il deflusso delle piene, già a partire dagli anni '90, il Fiume Dittaino ha assunto l'andamento plano-altimetrico attuale.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 85 di 88

Negli ultimi 30 anni, nella zona di interesse, non si riscontrano infatti variazioni morfologiche-planimetriche significative dell'alveo del Fiume Dittaino.

Inoltre, le analisi svolte secondo modello monodimensionale a fondo mobile (elaborato RS3E50D09RGID0002001A) indicano chiaramente, in corrispondenza del tratto fluviale di interesse, la tendenza evolutiva dell'asta principale al deposito (aggradazione dell'alveo) e non all'erosione, che inibisce l'eventuale migrazione dell'incisione rispetto alla configurazione attuale.

Le opere di sistemazione in corrispondenza del nuovo attraversamento (VI12) contribuiranno inoltre a mantenere inalterata tale configurazione attuale della sezione di deflusso, nonché ad ostacolare possibili fenomeni di divagazione dell'alveo inciso.

## 7. COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

Con riferimento alle NTC 2008, al Cap. 5 (Par. 5.1.2.4), si asserisce: “Di norma il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d'acqua attivo e, se arginato, i corpi arginali. Qualora eccezionalmente fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce minima tra pile contigue, misurata ortogonalmente al filone principale della corrente, non dovrà essere inferiore a 40 metri”.

Analizzando in dettaglio quanto prescritto dal legislatore, “Di norma il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati il corso d'acqua attivo”, è chiaro il riferimento al concetto di “alveo attivo”. In geomorfologia, per “alveo attivo” si intende l'alveo interessato dalle acque di magra e di piena normali/ordinarie; inoltre, poiché per “sponda” si intende il confine naturale della portata ordinaria del corso d'acqua, si può asserire che l'alveo attivo è la porzione dell'area fluviale incisa e compresa tra le sponde all'interno della quale hanno luogo quindi i deflussi in condizioni di piena ordinaria.

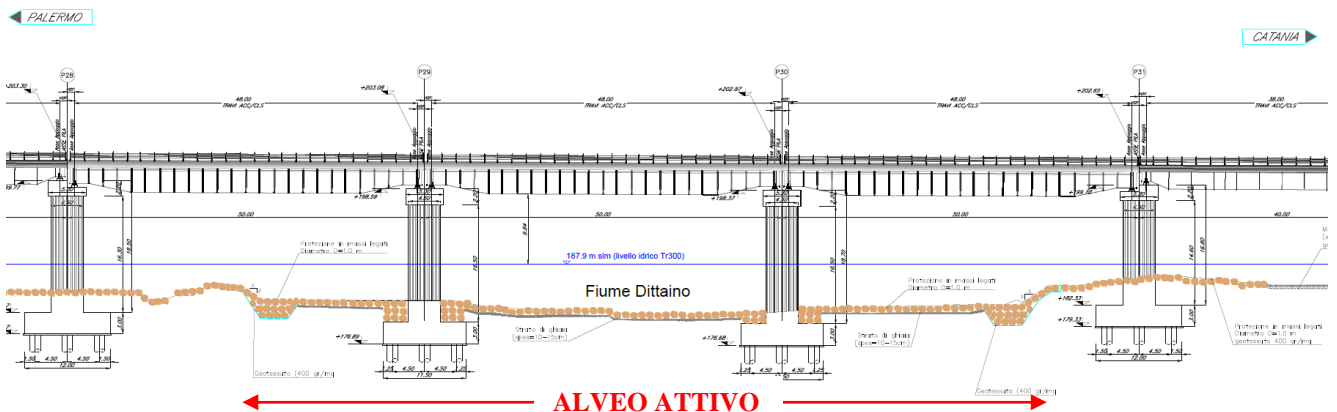
Nell'individuazione dell'alveo attivo di un corso d'acqua si deve tenere conto anche dall'andamento planimetrico dell'alveo e delle sue variazioni planimetriche recenti.

Con riferimento al F. Dittaino, negli ultimi decenni, non si riscontrano, come mostrato dalle ortofoto precedentemente descritte, variazioni planimetriche del corso d'acqua.

Pertanto, il Fiume Dittaino, in corrispondenza dell'area di intervento, ha mantenuto negli anni l'attuale assetto morfologico, senza “*spostamenti*” dell'alveo inciso ovvero attivo.

Individuato quindi l'alveo attivo del F. Dittaino in relazione alla piena ordinaria e alle sue possibili modificazioni planimetriche, è evidente come l'opera in progetto, con le sue tre campate di scavalco con luce netta (in direzione ortogonale al filone principale della corrente) pari a 44 m, **sia conforme alle prescrizioni in materia di luce minima (40 metri) tra pile contigue nell'alveo attivo**, riportate nelle NTC2008.

Le campate adiacenti, esterne all'alveo attivo, anche se non ortogonalmente al filone principale della corrente, sono caratterizzate comunque da luce pari a 40 metri.



**Figura 56 – Fiume Dittaino: definizione di alveo attivo.**

E' da sottolineare che il confronto tra i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili, livelli idrici e velocità, ottenuti nelle simulazioni numeriche bidimensionali effettuate, non ha evidenziato differenze tra le configurazioni ante e post operam, a dimostrazione della totale trasparenza dell'opera di attraversamento in progetto sul Fiume Dittaino (VI12), per la quale risultano inoltre ampiamente soddisfatti i requisiti in materia di franco idraulico (+9.70 m) e distanza tra il fondo alveo e la quota di intradosso di impalcato (+16.60 m).

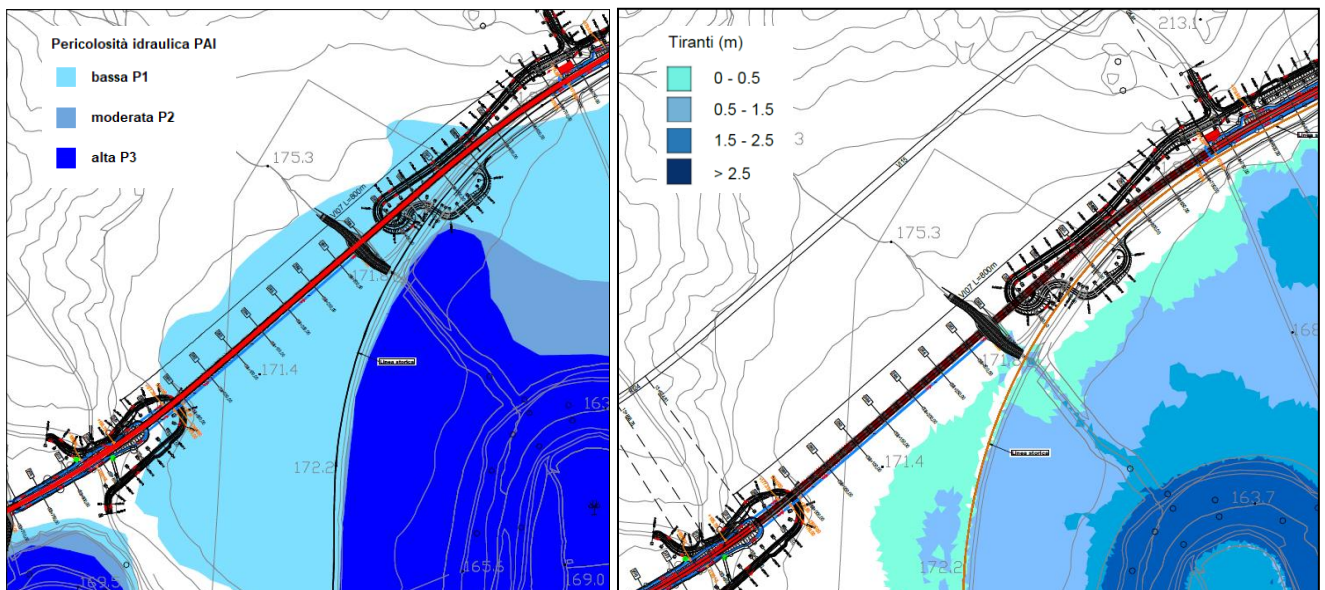
Medesime considerazioni possono essere avanzate per i viadotti VI03, VI06, VI07 sui corsi d'acqua minori alle pk 3+100, 6+200, 7+100.

Al fine di mantenere la configurazione dell'alveo il più possibile inalterata tra lo stato attuale e di progetto sono state previste adeguate protezioni idrauliche in tutte le aree interessate dai lavori di costruzione dei viadotti e per un'estensione pari agli allagamenti che si verificano con tempo di ritorno trecentennale.

Infine, come evidenziato dal confronto con le aree di pericolosità del P.A.I. e nelle modellazioni idrauliche sviluppate, la linea ferroviaria in progetto non risulta essere interessata dalle aree di esondazione del F. Dittaino.


Le viabilità in corrispondenza del Viadotto VI15 ricadono nelle aree di pericolosità P1 (bassa) del P.A.I.; secondo le Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del P.A.I. (come richiamato nel precedente Capitolo 2), in tali aree non vi sono vincoli/prescrizioni alla realizzazione di nuove infrastrutture pubbliche, purchè sia sviluppato il relativo studio di compatibilità idraulica. A tal proposito, i risultati delle modellazioni idrauliche 2D, relativamente al tempo di ritorno di 300 anni, mostrano che tali viabilità non sono interessate dalle esondazioni del Fiume Dittaino.

Anche i piazzali e i fabbricati tecnologici annessi all'intervento in progetto non ricadono in aree di pericolosità idraulica (P.A.I.) e non risultano essere interessate dalle esondazioni delle piene del F. Dittaino.



**Figura 57 – Fiume Dittaino: area di pericolosità idraulica P1 del P.A.I. (a sinistra) vs aree di esondazione Tr 300 da modello 2D (a destra), in corrispondenza della viadotto VI15.**

In definitiva, le analisi e le verifiche idrauliche sopra descritte dimostrano la compatibilità idraulica della linea ferroviaria in progetto, nonché delle opere annesse (i.e. viabilità, fabbricati,...), in termini sia di franco di sicurezza sia di possibile interferenza con le aree di pericolosità idraulica.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA					
	PROGETTO DEFINITIVO TRATTA DITTAINO - CATENANUOVA (LOTTO 5)					
RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA <b>RS3E</b>	LOTTO 50	CODIFICA D 09 RI	DOCUMENTO ID 00 02 001	REV. A	FOGLIO 88 di 88

## 8. BIBLIOGRAFIA

AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

Cannarozzo M., D'Asaro F., Ferro V., *Valutazione delle piene in Sicilia*, Istituto di Idraulica dell'Università di Palermo e GNDCI (Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), Palermo, 1993.

Caroni E., D'Alpaos L., Fattorelli S., Rossi F., Ubertini L., Versace P., Marchi E., *Valutazione delle piene*, C.N.R. °165, 1982.

Da Deppo L., Datei C., Salandin P., *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2004.

Escarameia M. (1995). Channel protection: gabion mattresses and concrete blocks. HR Wallingford, Report SR427, July, 1995.

Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.

FHWA, “*Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance-Third Edition - Volume 2*”, Publication No. FHWA-NHI-09-112 (Hydraulic Engineering Circular No. 23, September 2009.

Ghetti A., *Idraulica*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.

Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977

Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.

Manuale di progettazione RFI.

Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, 2008 (circolare applicativa n.617, 2 febbraio 2009),

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana – Relazione Generale*, 2004.

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Bacino idrografico del Fiume Simeto – Relazione*, 2005.

Regione Siciliana, Osservatorio delle Acque dell'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque (ARRA), *Annali Idrologici*, disponibili presso [www.osservatorioacque.it](http://www.osservatorioacque.it).

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Surendra, K. M., Vijay., P. S. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*.Springer, pp. 84-146, 2003.

VenTe Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.