

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

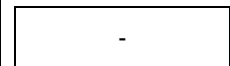
PROGETTO DEFINITIVO

Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale

NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA

RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D'ACQUA MAGGIORI (FIUME BASENTO, RIO CONCHE, FIUME BRADANO, TORRENTE GRAVINA)

SCALA:



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

I A 5 F 0 1 D 0 9 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C. CESALI	LUGLIO 2019	F. CABAS	LUGLIO 2019	F. GERNONE	LUGLIO 2019	VITTOZZI Gennaio 2021
B	EMISSIONE ESECUTIVA	C. CESALI	Gennaio 2021	F. CABAS	Gennaio 2021	F. GERNONE	Gennaio 2021	VITTOZZI Gennaio 2021

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle Varianti
Dott. Ing. Angelo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
N° A20783


File: IA5F01D09RIID0002001B.doc

n. Elab.:

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 2 DI 96

INDICE

1.	<i>PREMESSA</i>	7
2.	<i>INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO</i>	9
2.1.	<i>PERICOLOSITÀ IDRAULICA NELL’AREA DI INTERVENTO</i>	9
2.2.	<i>OBIETTIVI DELLE ANALISI IDRAULICHE</i>	11
3.	<i>STUDIO IDRAULICO</i>	14
3.1.	<i>GENERALITÀ</i>	14
3.2.	<i>DATI DI BASE</i>	14
3.3.	<i>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IN PROGETTO ED ESISTENTI</i>	16
3.3.1.	<i>VIADOTTI IN PROGETTO (VI13) ED ESISTENTE (VI01) SUL FIUME BASENTO</i>	16
3.3.2.	<i>VIADOTTO ESISTENTE (VI02) SUL RIO CONCHE</i>	18
3.3.3.	<i>VIADOTTO ESISTENTE (VI05) SUL FIUME BRADANO</i>	19
3.3.4.	<i>VIADOTTO ESISTENTE (VI08) SUL TORRENTE GRAVINA</i>	20
3.4.	<i>MODELLI IDRAULICI E SIMULAZIONI NUMERICHE</i>	21
3.4.1.	<i>MODELLAZIONE NUMERICA BIDIMENSIONALE (2D)</i>	21
3.4.1.1.	<i>FIUME BASENTO</i>	22
3.4.1.1.1.	<i>GEOMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO</i>	22
3.4.1.1.2.	<i>SCABREZZE</i>	25
3.4.1.1.3.	<i>CONDIZIONI AL CONTORNO</i>	25
3.4.1.1.4.	<i>SCENARI SIMULATI</i>	26
3.4.1.1.5.	<i>RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE</i>	26
3.4.1.2.	<i>RIO CONCHE</i>	37
3.4.1.2.1.	<i>GEOMETRIA DEL MODELLO IDRAULICO</i>	37
3.4.1.2.2.	<i>SCABREZZE</i>	38

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 3 DI 96

3.4.1.2.3. <i>CONDIZIONI AL CONTORNO</i>	38
3.4.1.2.4. <i>SCENARI SIMULATI</i>	39
3.4.1.2.5. <i>RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE</i>	39
3.4.1.2.6. <i>SIMULAZIONE DELL’ONDA DI PIENA NEL TRATTO FLUVIALE DI AFFIANCAMENTO DELLA NV02</i>	44
3.4.2. <i>MODELLAZIONE NUMERICA MONODIMENSIONALE (1D)</i>	48
3.4.2.1. <i>FIUME BRADANO E TORRENTE GRAVINA</i>	51
4. <i>VALUTAZIONE DEGLI SCALZAMENTI</i>	57
4.1. <i>VIADOTTO VII3 SUL FIUME BASENTO</i>	57
4.1.1. <i>METODOLOGIE DI CALCOLO</i>	57
4.1.2. <i>VALORI DI SCALZAMENTO DI PROGETTO</i>	62
5. <i>OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA</i>	64
5.1. <i>METODOLOGIE DI DIMENSIONAMENTO</i>	66
5.2. <i>DEFINIZIONE DELLE OPERE DI PROTEZIONE E SISTEMAZIONE – FIUME BASENTO</i>	67
5.3. <i>DEFINIZIONE DELLE OPERE DI SISTEMAZIONE – RIO CONCHE</i>	70
6. <i>ANALISI DELL’ EVOLUZIONE DELLE CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL FIUME BASENTO</i>	72
7. <i>COMPATIBILITA’ IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO</i>	83
7.1. <i>VIADOTTI IN PROGETTO ED ESISTENTE SUL FIUME BASENTO</i>	83
7.2. <i>VIADOTTI ESISTENTI SUL RIO CONCHE (VI02), FIUME BRADANO (VI05), TORRENTE GRAVINA (VI05)</i>	88
7.3. <i>NUOVO PONTE STRADALE IV04 DELLA NUOVA VIABILITÀ NV02, SUL RIO CONCHE</i>	89
8. <i>CONSIDERAZIONI SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI</i>	90
9. <i>CONCLUSIONI</i>	94
<i>RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI</i>	96

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 4 DI 96

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento territoriale della linea ferroviaria in progetto.....	7
Figura 2 – Fiume Basento: aree a pericolosità idraulica (P.A.I.) da pk 0+000 a pk1+780.	10
Figura 3 – Fiume Bradano: aree a pericolosità idraulica (P.A.I.) da pk12+950 a pk13+193.....	11
Figura 4 – Fiume Basento e Rio Conche: sezioni batimetriche rilevate.	15
Figura 5 – Fiume Bradano e Torrente Gravina: sezioni batimetriche rilevate.	15
Figura 6 – Nuovo Viadotto VI13 sul Fiume Basento.	16
Figura 7 – Viadotto esistente VI01 sul Fiume Basento.....	17
Figura 8 – Viadotto esistente VI01 sul F. Basento: attuale scalzamento delle pile in alveo.	18
Figura 9 – Viadotto esistente sul F. Basento: granulometria del fondo alveo.....	18
Figura 10 – Viadotto esistente sul Rio Conche.....	19
Figura 11 – Viadotto esistente sul Rio Conche: condizioni dell’alveo allo stato attuale.	19
Figura 12 – Viadotto esistente (VI05) sul Fiume Bradano.	20
Figura 13 – Viadotto esistente (VI08) sul Torrente Gravina.	20
Figura 14 – Modello 2D del Fiume Basento: dominio di calcolo e condizioni al contorno.	23
Figura 15 – Modello 2D del Fiume Basento: implementazione delle opere di attraversamento in InfoWorks ICM.....	24
Figura 16 – Modello 2D del Fiume Basento: condizione al contorno di monte (idrogrammi di piena).	25
Figura 17 – Modello 2D del Fiume Basento: confronto con le aree di pericolosità P3 elevata (evidenziate in rosso) del P.A.I./P.G.R.A., TR = 30 anni.	27
Figura 18 – Modello 2D del Fiume Basento: confronto con le aree di pericolosità P2 media (evidenziate in rosso) del P.A.I./P.G.R.A., TR = 200 anni.	28
Figura 19 – Modello 2D del Fiume Basento: confronto con le aree di pericolosità P1 bassa (evidenziate in rosso) del P.A.I./P.G.R.A., TR = 500 anni.	29
Figura 20 – Modello 2D del Fiume Basento: aree di esondazione per TR = 300 anni, ante operam.	30
Figura 21 – Modello 2D del Fiume Basento: aree di esondazione per TR = 300 anni, post operam.	31
Figura 22 – Modello 2D del Fiume Basento: aree di esondazione per TR = 300 anni, post operam, in corrispondenza della nuova SSE, all’imbocco della galleria.....	32
Figura 23 – Fase di cantiere: idrogramma di piena.....	33
Figura 24 – Fase di cantiere: aree di esondazione nella situazione attuale.	34
Figura 25 – Aree di esondazione nella fase di cantiere 1.....	35
Figura 26 – Aree di esondazione nella fase di cantiere 2.....	36
Figura 27 – Livelli idrici nella fase di cantiere 1, in corrispondenza della sezione di attraversamento.	36
Figura 28 – Livelli idrici nella fase di cantiere 2, in corrispondenza della sezione di attraversamento.	36
Figura 29 – Modello 2D del Rio Conche: dominio di calcolo.	37

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 5 DI 96

Figura 30 – Modello 2D del Rio Conche: condizione al contorno di monte (idrogrammi di piena).	39
Figura 31 – Modello 2D del Rio Conche: aree di esondazione, TR30 anni, scenario attuale.	40
Figura 32 – Modello 2D del Rio Conche: aree di esondazione, TR200 anni, scenario attuale.	41
Figura 33 – Modello 2D del Rio Conche: aree di esondazione, TR300 anni, scenario attuale.	42
Figura 34 – Modello 2D del Rio Conche: aree di esondazione, TR500 anni, scenario attuale.	43
Figura 35– Modello 2D del Rio Conche in affiancamento alla NV02: dominio di calcolo.	44
Figura 36. Rio Conche: idrogrammi di piena di riferimento, relativi ai sottobacini alla prog. 1+027 della NV02.	45
Figura 37– Rio Conche Modello 2D: aree di esondazione Tr200, in affiancamento alla NV02, scenario “attuale”.	46
Figura 38 – Rio Conche, in affiancamento alla NV02: opere di riprofilatura spondale previste in progetto.	46
Figura 39– Rio Conche Modello 2D: aree di esondazione Tr200, in affiancamento alla NV02, scenario “post operam”.	47
Figura 40– Schema di calcolo per la determinazione del profilo del pelo libero nei corsi d’acqua.	48
Figura 41–Sezione schematica di un corso d'acqua.	49
Figura 42– Torrente Gravina e Fiume Bradano: modello numerico monodimensionale.	52
Figura 43– Tratto fluviale del Fiume Bradano a monte della confluenza del T. Gravina: profili di rigurgito.	54
Figura 44– Tratto fluviale del Torrente Gravina a monte della confluenza nel F. Bradano: profili di rigurgito.	55
Figura 45– Fiume Bradano: livelli idrici nella sezione di attraversamento, per vari tempi di ritorno.	56
Figura 46– Torrente Gravina: livelli idrici nella sezione di attraversamento, per vari tempi di ritorno.	56
Figura 47 – Differenti tipologie di pile non uniformi dotate di fondazioni.	60
Figura 48 – Calcolo dello scalzamento in corrispondenza delle spalle.	61
Figura 49 – Ubicazione su ortofoto delle opere di sistemazione e protezione idraulica esistenti sul F. Basento.	64
Figura 50 – Particolare delle opere di sistemazione spondali in sinistra idraulica del F. Basento.	64
Figura 51 – Particolare delle opere di sistemazione spondali in destra idraulica del F. Basento.	65
Figura 52 – Modello 2D del Fiume Basento: estratto della mappa dei valori di velocità, post operam, TR300.	68
Figura 53 – Fiume Basento: estratto della planimetria delle opere di sistemazione e protezione previste.	69
Figura 54 – Rio Conche: estratto della planimetria delle opere di sistemazione e protezione previste.	70
Figura 55 – Rio Conche in affiancamento alla NV02: mappa dei valori di velocità Tr200.	71
Figura 56 – Val Basento nel 1943 (fotogramma n.112).	72
Figura 57 – Val Basento nel 1947 (fotogramma n.112).	73
Figura 58 – Val Basento nel 1955 (fotogramma n.8996).	74
Figura 59 – Val Basento nel 1972 (fotogramma n.5459).	75
Figura 60 – Val Basento nel 1990 (fotogramma n.737).	76
Figura 61 – Val Basento nel 2003 (fonte: Google Earth).	77

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 6 DI 96

Figura 62 – Val Basento nel 2006 (fonte: Google Earth).	78
Figura 63 – Val Basento nel 2010 (fonte: Google Earth).	79
Figura 64 – Val Basento nel 2015 (fonte: Google Earth).	80
Figura 65 – Val Basento nel 2016 (fonte: Google Earth).	81
Figura 66 – Fiume Basento: sezione del nuovo viadotto VI13 con opere di protezione.....	82
Figura 67 – Modello 2D del Fiume Basento: scenario post – operam “virtuale”, TR300 anni (in rosso, l’estensione delle aree potenzialmente inondabili nella configurazione ante operam).	85
Figura 68 – Modello 2D del Fiume Basento: scenario post – operam “virtuale”, TR3000 anni (in rosso, l’estensione delle aree potenzialmente inondabili nella configurazione ante operam).	86
Figura 69 – Modello 2D del Fiume Basento: mappa dei vettori velocità, scenario post – operam, TR3000 anni.....	87
Figura 8.1 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5.....	91
Figura 8.2 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5.....	92

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 1 – Classi di pericolosità idraulica (P.A.I., 2016).	9
Tabella 2 – Condizione al contorno di valle: livelli idrici a valle del ponte della strada SS7r ((*) valore ricavato da interpolazione lineare dei valori disponibili per gli altri tempi di ritorno).	26
Tabella 3 – Valori di portata al colmo e tirante idrico in corrispondenza della sezione “304”, a valle della confluenza del T. Gravina nel Fiume Bradano, per differenti tempi di ritorno (fonte: PGRA, (*))= sono ricavati per interpolazione dei valori noti per gli altri tempi di ritorno).	53
Tabella 4 – Valori di portata al colmo per il Fiume Bradano e il Torrente Gravina.	53
Tabella 5 - Formulazione CSU: valori dei fattori correttivi K1, K2, K3.	58
Tabella 6 – Viadotto VI13: verifica del franco idraulico di progetto.....	83
Tabella 7 – Viadotto VI01: verifica del franco idraulico di progetto.....	83
Tabella 8 – Viadotto VI02 (Rio Conche): verifica del franco idraulico di progetto.	88
Tabella 9 – Viadotto VI05 (Fiume Bradano): verifica del franco idraulico di progetto.	89
Tabella 10 – Viadotto VI08 (Torrente Gravina): verifica del franco idraulico di progetto.....	89
Tabella 11 – Ponte IV04 (Rio Conche): verifica del franco idraulico di progetto.	89
Tabella 12 – Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell’area di intervento (ISPRA, 2015).	92
Tabella 13 – Verifica del franco idraulico di progetto con riferimento alle piene TR500.	93

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 7 DI 96

1. PREMESSA

La presente relazione espone i risultati degli studi idraulici dei corsi d’acqua maggiori interferenti con il tracciato della “Nuova linea ferroviaria *Ferrandina – Matera “La Martella”*”, nell’ambito del Progetto Definitivo denominato “*Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale*”.

Il progetto prevede il completamento della nuova linea a semplice binario elettrificata, che, in corretto tracciato si dirama dalla linea *Potenza – Metaponto* (Ramo A) e in tracciato deviato dalla stazione di Ferrandina Scalo (Ramo B) come naturale prosecuzione del III binario, per uno sviluppo totale di circa 22 km, fino a raggiungere il sito della nuova stazione di Matera “*La Martella*” (attrezzata con quattro binari), il tutto in sovrapposizione alle opere già esistenti, realizzate tra la fine degli anni ’80 e l’inizio degli anni 2000.

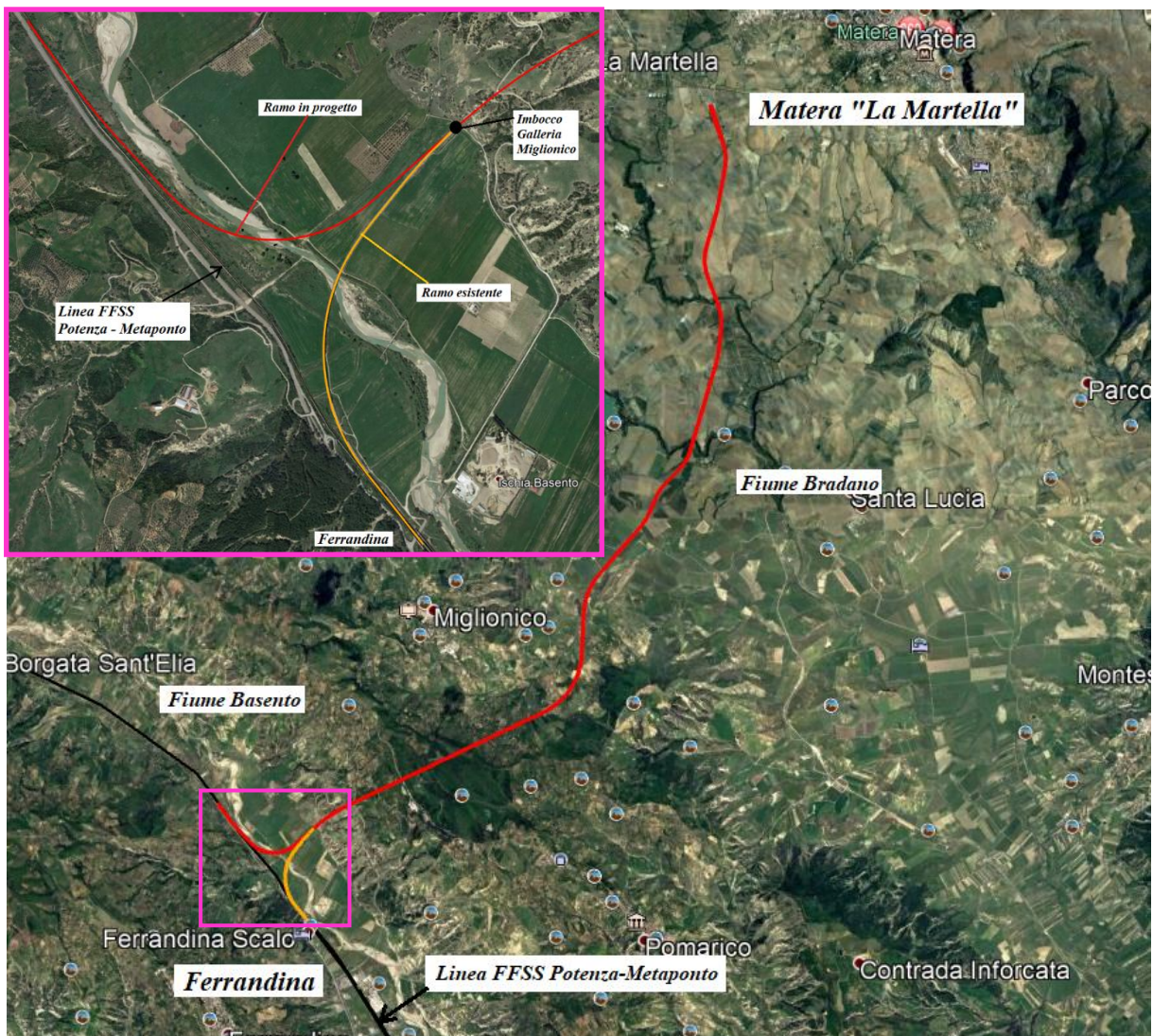


Figura 1 – Inquadramento territoriale della linea ferroviaria in progetto.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 8 DI 96

La tratta esistente Ferrandina - Matera “*La Martella*” è lunga 19,910 km e si slaccia dalla stazione di Ferrandina (progressiva 233+665 della linea FFSS *Battipaglia-Potenza Inferiore-Metaponto*), per poi superare in curva, proseguendo in viadotto, la vallata del Fiume Basento, e giungere all’imbocco (lato Ferrandina) della Galleria Miglionico. Dopo l’imbocco (lato Matera) della galleria, la linea dapprima scende con pendenza costante sino all’attraversamento del Fiume Bradano, per poi salire con pendenza variabile fino a giungere la stazione di Matera “*La Martella*”.

La realizzazione della *Nuova linea Ferrandina – Matera “La Martella”* permetterà l’attivazione del collegamento della città di Matera alla rete ferroviaria nazionale, in particolare con Salerno, per l’accesso al sistema AV/AC, e con Taranto, attraverso la linea *Battipaglia-Potenza-Metaponto-Taranto*.

Lungo il suo tracciato, la tratta ferroviaria in progetto attraversa i seguenti corsi d’acqua maggiori/principali:

- *Fiume Basento*, tra le progressive 1+057.35 e 2+189.42, per quanto concerne il nuovo ramo (A) in progetto che si slaccia dalla linea storica *Potenza-Metaponto*, e tra le progressive 0+708 e 1+905, con riferimento al ramo esistente (B) che si slaccia dalla stazione di Ferrandina
- *Rio Conche*, tra le progressive 9+626.26 e 9+658.21 (opera di attraversamento esistente)
- *Fiume Bradano*, tra le progressive 12+949.72 e 13+195.52 (opera di attraversamento esistente)
- *Torrente Gravina di Puglia*, tra le progressive 15+139.40 e 16+029.31 (opera di attraversamento esistente)

E’ stato condotto quindi lo studio idraulico di tali corsi d’acqua finalizzato alla valutazione della propagazione delle onde di piena, per vari tempi di ritorno, e alla determinazione quindi delle aree potenzialmente inondabili, tramite simulazioni numeriche bidimensionali (2D) e monodimensionali (1D). Le analisi svolte sono state condotte in conformità a quanto previsto nell’ambito del *Piano stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico* (P.A.I., aggiornamento 2016) della Regione Basilicata, redatto dall’Autorità di Bacino, e del *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni* (P.G.R.A., aggiornamento 2018), redatto dall’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale, nonché nel Manuale di Progettazione Ferroviaria (RFI, 2019) e nelle Nuove NTC2018 (e relativa circolare esplicativa, n.7/2019).

Con riferimento al nuovo viadotto in progetto sul Fiume Basento (viadotto VI13, ramo A), è stata inoltre valutata la profondità massima di erosione attesa attorno alle pile, sia per la portata ordinaria ($Tr = 1,001$) sia per la portata di progetto ($Tr = 300$), così come indicato nelle nuove NTC2018. Sono state analizzate anche le fasi di realizzazione del nuovo VI13, effettuando la simulazione numerica (bidimensionale) per la cosiddetta “*portata di cantiere*”.

Infine, allo scopo di *i*) ripristinare lo stato dei luoghi “*ante operam*” (a seguito dei rimaneggiamenti dovuti alla realizzazione delle opere in progetto), *ii*) mantenere la sezione di deflusso/d’alveo in una configurazione il più possibile inalterata, *iii*) proteggere le aree interessate dai lavori e i tratti di linea in rilevato da eventuali fenomeni di erosione, sono state definite opportune opere di sistemazione e protezione idraulica.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 9 DI 96

2. INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO

2.1. Pericolosità idraulica nell’area di intervento

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idraulica dei bacini dei corsi d’acqua maggiori (Fiume Basento, Rio Conche, Fiume Bradano, Torrente Gravina) attraversati dalla linea ferroviaria in progetto, nonché per la definizione delle aree a pericolosità idraulica, è attualmente riportato nel *Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico* (P.A.I., 2016) e nel *Piano di Gestione del Rischio Alluvioni* (P.G.R.A., 2018).

In particolare, sono individuate tre classi di pericolosità idraulica (P3elevata–“*alluvioni frequenti*”, P2 media – “*alluvioni poco frequenti*”, P1bassa–“*alluvioni rare di estrema intensità*”).

La classe di pericolosità **elevata (P3)** fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento o tempo di ritorno $Tr= 30$ anni.

La classe di pericolosità **media (P2)** fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento o tempo di ritorno $Tr= 200$ anni.

La classe di pericolosità **bassa (P1)** fa riferimento ad un evento di piena raro, caratterizzato da tempi di ritorno $Tr= 500$ anni. Di seguito, una tabella riepilogativa delle classi di pericolosità adottate.

TR (anni)	Pericolosità
30	P3
200	P2
500	P1

Tabella 1 – Classi di pericolosità idraulica (P.A.I., 2016).

Come illustrato nelle figure seguenti, il tracciato ferroviario in progetto è interessato dalle aree classificate a pericolosità idraulica definite nell’ambito del P.A.I., in corrispondenza del nuovo (VI13) e dell’esistente (VI01) attraversamento sul Fiume Basento e del Fiume Bradano (VI05). Per il Rio Conche e il Torrente Gravina, invece, non sono definite aree di pericolosità idraulica, nell’ambito del P.A.I. e/o P.G.R.A..

Nello specifico, in corrispondenza del nuovo viadotto sul Fiume Basento (VI13), la linea ferroviaria in progetto attraversa, *in rilevato*, aree classificate a pericolosità idraulica media (P2), tra le progressive 0+000 e 0+600, e a pericolosità elevata (P3) tra le progressive 0+600 a 1+057; il nuovo viadotto VI13 attraversa dapprima aree classificate a pericolosità elevata (P3), tra le progressive 1+057 e 1+540, e successivamente aree a pericolosità media/bassa (P2/P1) tra le progressive 1+540 e 1+580.

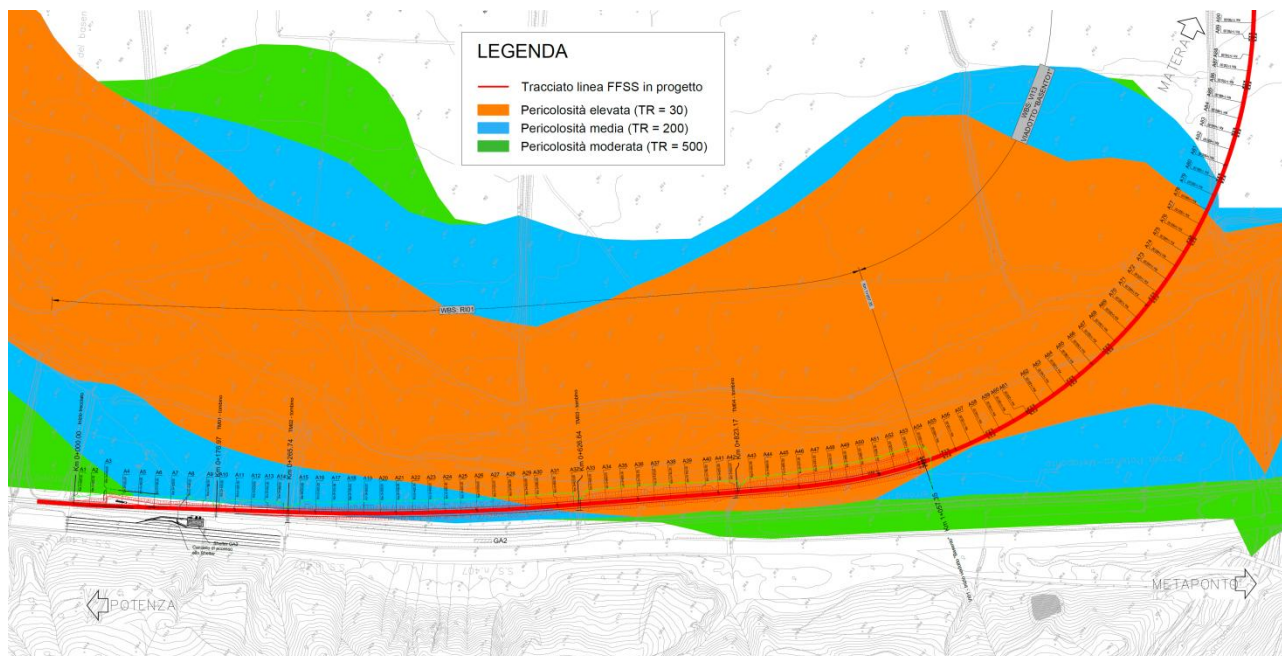


Figura 2 – Fiume Basento: aree a pericolosità idraulica (P.A.I.) da pk 0+000 a pk1+780.

Con riferimento alle Norme Tecniche Attuazione (NTA) del P.A.I., e nello specifico all’art. 10 (“Realizzazione di opere di interesse pubblico interessanti le fasce fluviali”),

“E’ consentita, previo parere dell’AdB, la realizzazione di opere di interesse pubblico interessanti gli alvei fluviali e le fasce di pertinenza fluviale di cui agli articoli 6 e 7 (ossia le fasce di pericolosità idraulica sopra definite) riferite a servizi essenziali non altrimenti localizzabili, a condizione che non concorrano ad incrementare il carico insediativo, non aggravino la funzionalità idraulica dell’area, non determinino impatti significativi sull’evoluzione morfologica del corso d’acqua né sulle caratteristiche di particolare rilevanza ambientale dell’ecosistema fluviale”.

Pertanto, nonostante siano interessate le fasce di pericolosità idraulica definite nell’ambito del P.A.I., è consentita, previo apposito studio di compatibilità idraulica, la realizzazione del nuovo ramo (A) in progetto, facente parte di un’opera infrastrutturale “non altrimenti localizzabile”.

Per quanto concerne il Fiume Bradano, la linea ferroviaria in progetto attraversa, in viadotto (*esistente*, a travata metallica), le aree a pericolosità idraulica elevata/media/bassa (P3/P2/P1), ma senza particolari criticità idrauliche vista la tipica conformazione dell’alveo “in gravina”, come meglio descritto nei capitoli successivi.

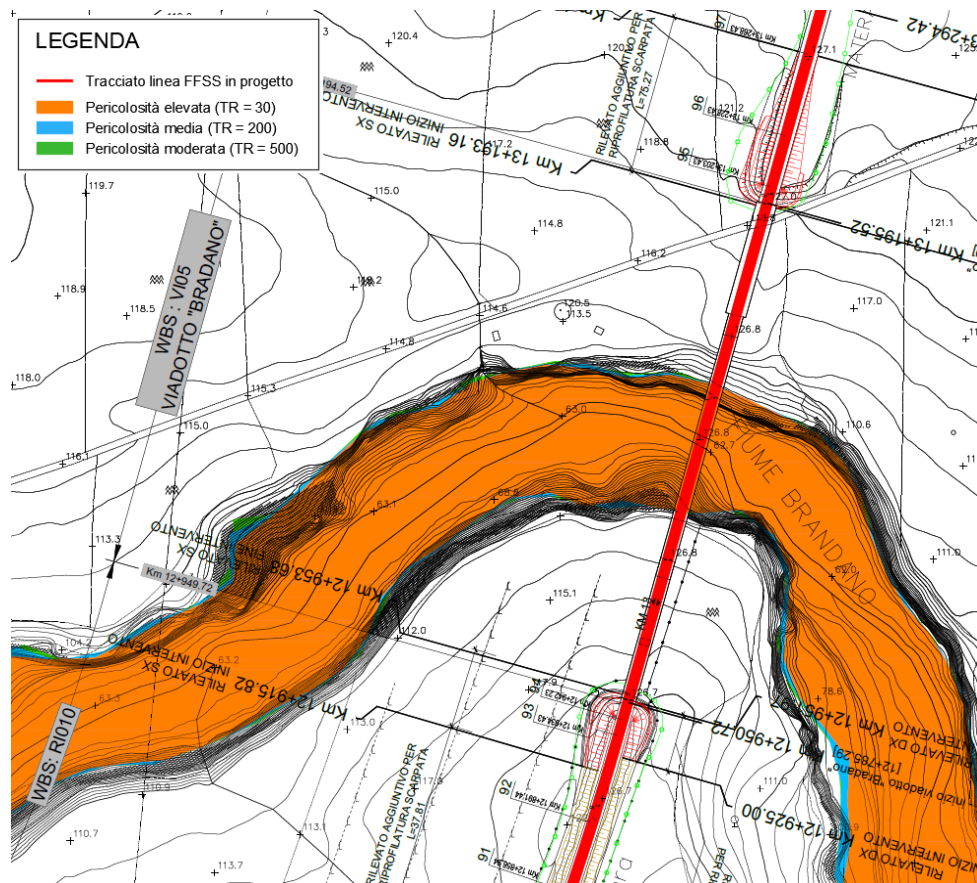


Figura 3 – Fiume Bradano: aree a pericolosità idraulica (P.A.I.) da pk12+950 a pk13+193.

2.2. Obiettivi delle analisi idrauliche

Obiettivo del presente studio idraulico è quello di valutare la compatibilità idraulica del nuovo tratto ferroviario (ramo A) in progetto, nonché degli attraversamenti (*in progetto ed esistenti*) sui corsi d’acqua maggiori (Fiume Basento, Rio Conche, Fiume Bradano, Torrente Gravina), in accordo a quanto indicato nelle NTA del P.A.I., ossia che l’opera in progetto “*non aggravi la funzionalità idraulica dell’area, non determini impatti significativi sull’evoluzione morfologica del corso d’acqua né sulle caratteristiche di particolare rilevanza ambientale dell’ecosistema fluviale*”.

Si ricorda che soltanto il viadotto VI13 (ramo A) sul Fiume Basento costituisce una “*nuova*” opera di attraversamento ferroviaria; i rimanenti viadotti analizzati (VI01 – Fiume Basento, VI02 -Rio Conche, VI05 – Fiume Bradano, VI08 – Torrente Gravina), appartenenti alla attuale linea ferroviaria *Ferrandina – Matera “La Martella”* (mai entrata in esercizio), sono già stati realizzati tra gli anni ’80 e 2000 e costituiscono pertanto delle opere esistenti, per le quali sono previsti interventi di adeguamento strutturale/sismico, oggetto di altro appalto.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 12 DI 96

E' stata effettuata comunque la verifica idraulica non soltanto del nuovo viadotto VI13 ma, per completezza, anche di queste opere di attraversamento esistenti, al fine di valutarne la compatibilità idraulica nei confronti delle normative e regolamenti vigenti.

Nello specifico, per la sicurezza idraulica di una linea ferroviaria, le opere d'arte di attraversamento devono osservare le prescrizioni del Manuale di Progettazione RFI (MdP, 2019), nonché le indicazioni riportate nelle Nuove NTC2018 (e nella relativa circolare applicativa n.7/2019).

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 $S \geq 10 \text{ km}^2$ (come nel caso dei corsi d'acqua in esame);
- $Tr = 200$ anni per $S < 10 \text{ km}^2$.

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

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 ($Tr = 300$ anni) 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 (NTC2018), l'opera deve rispondere ai seguenti requisiti:

“..... Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno Tr pari a 200 anni ($Tr=200$).....Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali. Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente. Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche


	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 13 DI 96

conto del materiale galleggiante che il corso d’acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione. Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l’intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l’intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l’intradosso delle strutture non sia costituito da un’unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m. Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.”

Nella relativa circolare applicativa n.7/ 2019, si asserisce inoltre:

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

In definitiva, in accordo al Manuale di Progettazione RFI (2019) e alle NTC2018, nonché alle classi di pericolosità idraulica indicate nel P.A.I. della Regione Basilicata (Tabella 1), sono state effettuate le simulazioni idrauliche per i tempi di ritorno di **30, 200, 300 e 500 anni**.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 14 DI 96

3. STUDIO IDRAULICO

3.1. Generalità

Sono stati sviluppati i modelli (numerici) idraulici bidimensionali(2D) del Fiume Basento e del Rio Conche, *in regime di moto vario*, tramite il software Infoworks ICM 9.0, ai fini della determinazione dei livelli idrici e delle aree potenzialmente inondabili (per le portate di piena di riferimento, di progetto e “*di cantiere*”, per il Fiume Basento) in corrispondenza delle nuove ed esistenti opere di attraversamento, nonché lungo i tratti *in rilevato* del nuovo ramo della linea ferroviaria in progetto.

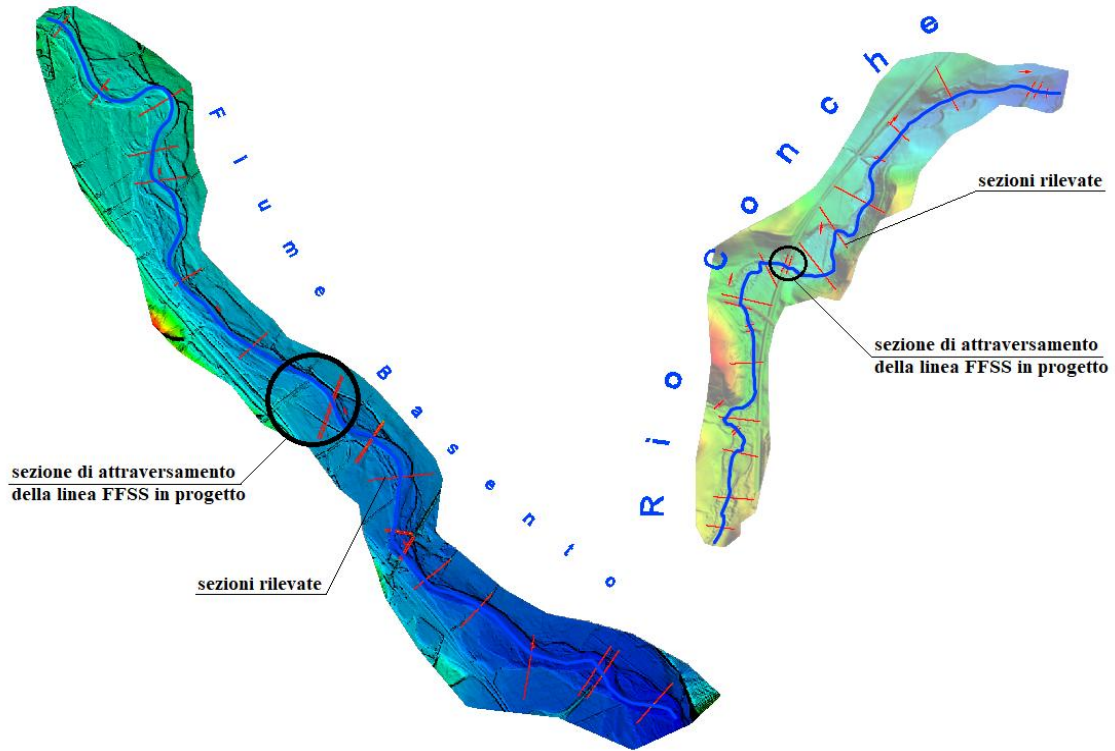
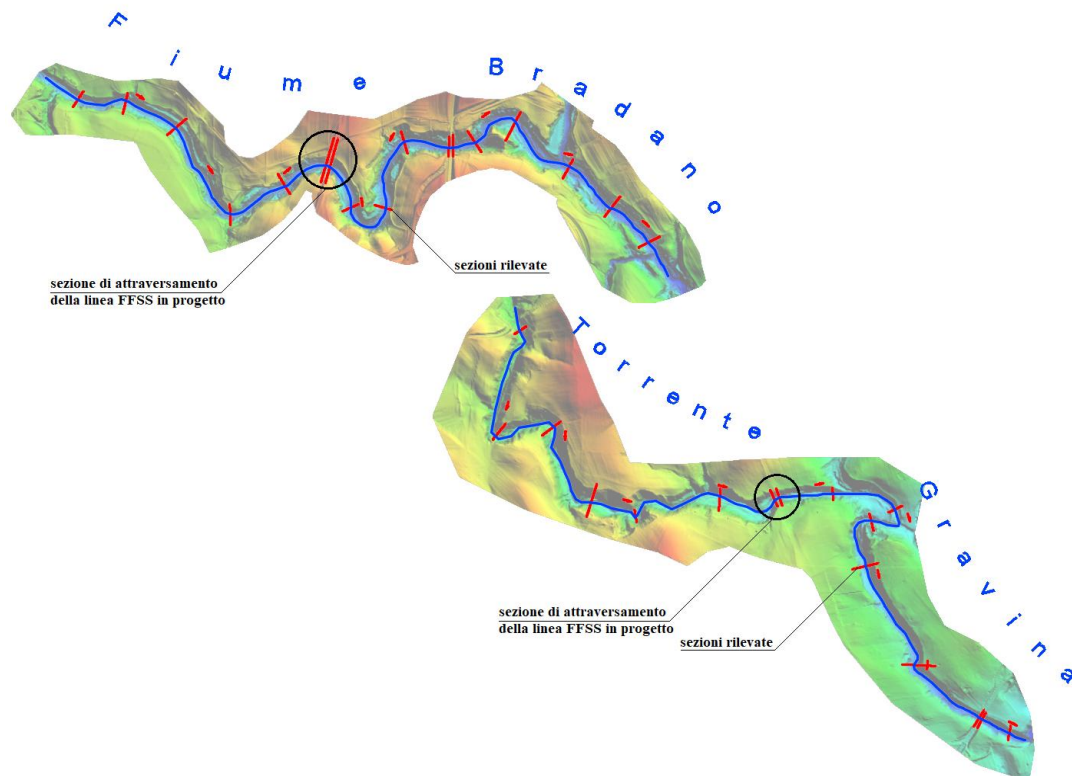
Per il Fiume Bradano e il Torrente Gravina è stato implementato un modello (numerico) idraulico monodimensionale (1D), *in regime di moto permanente*, tramite il software HecRas 5.0.7.

3.2. Dati di base

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

- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 5x5 m, fornito dalla Regione Basilicata;
- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 1x1 m, fornito dal Ministero dell’Ambiente;
- rilievo delle sezioni d’alveo (batimetriche) trasversali del Fiume Basento, del Rio Conche, del Fiume Bradano e del Torrente Gravina, nonché delle opere di attraversamento esistenti.

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


Figura 4 – Fiume Basento e Rio Conche: sezioni batimetriche rilevate.

Figura 5 – Fiume Bradano e Torrente Gravina: sezioni batimetriche rilevate.

3.3. Opere di attraversamento in progetto ed esistenti

3.3.1. Viadotti in progetto (VI13) ed esistente (VI01) sul Fiume Basento

Il viadotto in progetto (VI13) sul Fiume Basento è costituito di 24 campate (11 travate reticolari in acciaio e 13 campate acciaio-calcestruzzo); nello specifico:

- da Spalla A a pila P1, 1 campata (acciaio-calcestruzzo) di luce pari a 31 metri
- da pila P1 a pila P5, 4 campate (travate reticolari in acciaio) di luce pari a 60 metri
- da pila P5 a pila P8, 3 campate (travate reticolari in acciaio) di luce pari a 85 metri
- da pila P8 a pila P12, 4 campate (travate reticolari in acciaio) di luce pari a 60 metri
- da pila P12 a Pila P22, 10 campate (acciaio-calcestruzzo) di luce pari a 31 metri
- da pila P22 a Spalla B, 1 campata (acciaio-calcestruzzo) di luce pari a 38 metri

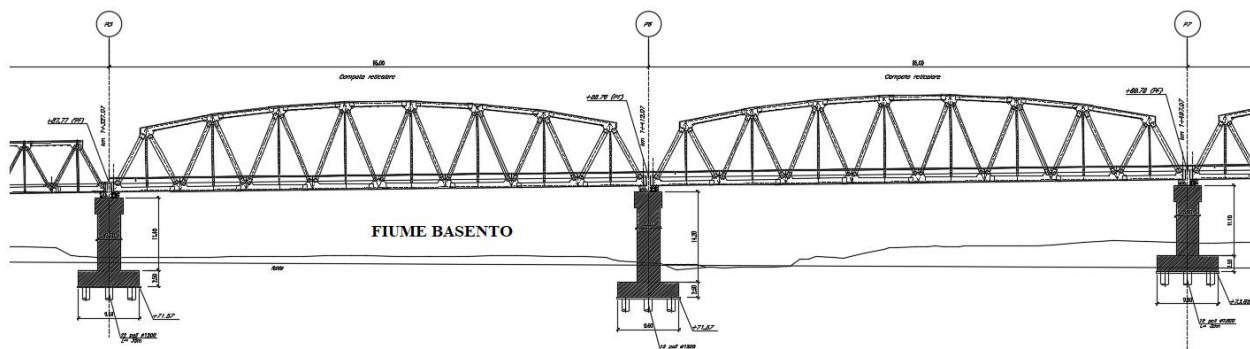
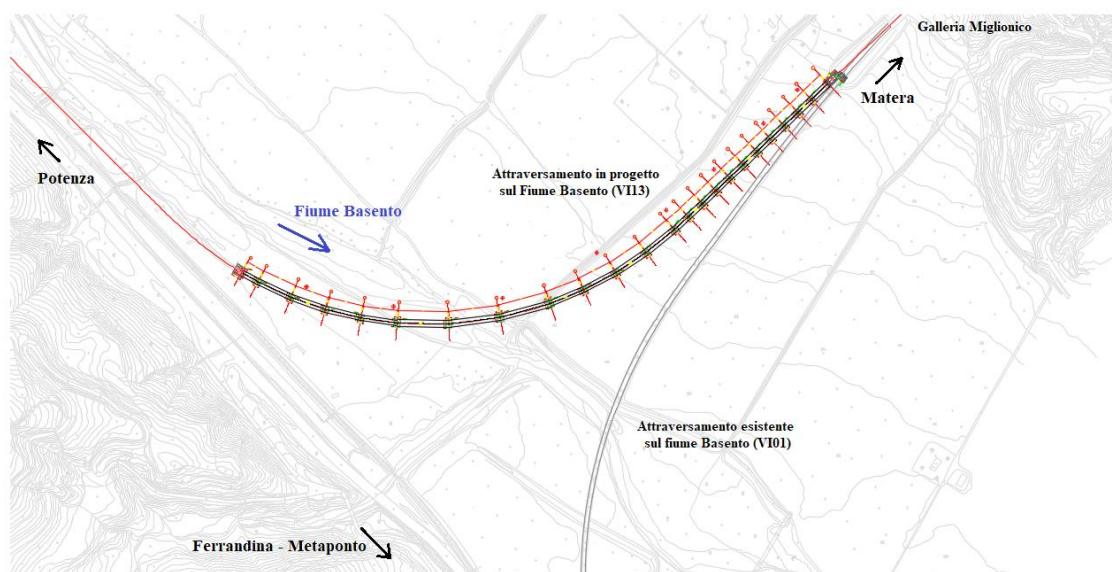


Figura 6 – Nuovo Viadotto VI13 sul Fiume Basento.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 17 DI 96

Le pile sono circolari con diametro pari a 3.6 metri. Le pile di scavalco del Fiume Basento sono P5 – P8 (campate da 85 m); la quota di intradosso minima dell’impalcato si attesta a + 84.70 m slm.

Come precedentemente descritto, il nuovo viadotto VI13 sul Fiume Basento permette di collegare direttamente la linea ferroviaria esistente *Battipaglia - Potenza Inferiore - Metaponto* alla Galleria Miglionico (lato Ferrandina), per poi giungere a Matera (e viceversa); attualmente, la tratta esistente *Ferrandina - Matera “La Martella”*, realizzata tra gli anni 1984 e 2000, si slaccia dalla stazione di Ferrandina Scalo per giungere, percorrendo il viadotto esistente (VI01) sul Fiume Basento, l’imbocco (lato Ferrandina) della galleria Miglionico.

L’attraversamento esistente sul Fiume Basento (VI01) è costituito da un viadotto (denominato ‘**Lunetta esistente**’) con 40 campate di luce pari a 30 metri e quota minima di intradosso pari a +83,10 m slm.




Figura 7 – Viadotto esistente VI01 sul Fiume Basento.

Allo stato attuale, è evidente lo scalzamento delle pile in alveo del VI01 causato dall’erosione generalizzata di materiale dal fondo, come conseguenza dell’azione erosiva della corrente, che ha provocato l’esposizione/emersione dei plinti di fondazione (Figura 8).

Il fondo alveo del Fiume Basento, nelle sezioni di attraversamento (in progetto ed esistente), è caratterizzato da una granulometria piuttosto grossolana (Figura 9), variabile da ghiaia fine a ciottoli (con diametro da 0.5 cm a 50/60 cm).

Sono previste quindi importanti opere di sistemazione idraulica in corrispondenza sia del nuovo attraversamento (come descritto nei capitoli successivi) sia di quello esistente (oggetto di altro appalto – *Progetto di adeguamento sismico*), al fine di mantenere l’attuale configurazione della sezione di deflusso il più possibile inalterata e limitare gli eventuali fenomeni di divagazione/migrazione del corso d’acqua (già limitati/contrastati dalle esistenti opere di sistemazione

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 18 DI 96

idraulica in corrispondenza dell’attuale attraversamento, di cui sono forniti maggiori dettagli nei capitoli successivi) all’interno dell’alveo inciso.




Figura 8 – Viadotto esistente VI01 sul F. Basento: attuale scalzamento delle pile in alveo.



Figura 9 – Viadotto esistente sul F. Basento: granulometria del fondo alveo.

3.3.2. Viadotto esistente (VI02) sul Rio Conche

L’attraversamento esistente sul Rio Conche è realizzato con un viadotto a campata unica di lunghezza pari a 30 metri. Le spalle, con plinti fondati su pali, non interessano l’alveo inciso, attualmente caratterizzato da una fitta vegetazione.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 19 DI 96

Visto il fiancheggiamento sia in destra che in sinistra idraulica della linea FFSS in progetto, le simulazioni numeriche idrauliche delle piene del Rio Conche, secondo un modello bidimensionale (in regime di moto vario), hanno permesso di valutare la necessità di opere di sistemazione e/o protezione delle sponde e del fondo alveo in corrispondenza dell’opera di attraversamento (VI02), nonché del rilevato ferroviario, come in seguito descritto.

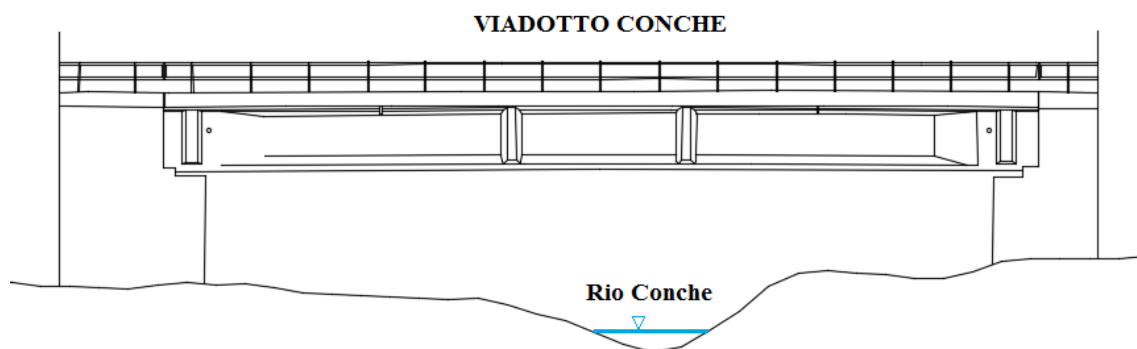


Figura 10 – Viadotto esistente sul Rio Conche.



Figura 11 – Viadotto esistente sul Rio Conche: condizioni dell’alveo allo stato attuale.

3.3.3. Viadotto esistente (VI05) sul Fiume Bradano

L’attraversamento esistente sul Fiume Bradano è realizzato con un viadotto del tipo a travata rettilinea, a campata unica di lunghezza pari a 110 metri, poggiante su due pile, in cemento armato, fondate su pozzi, che saranno oggetto di interventi di adeguamento/miglioramento sismico. Dal punto di vista idraulico, in ragione della caratteristica conformazione

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 20 DI 96

dell’alveo “*in gravina*”, i valori minimi di franco di sicurezza prescritti dalle normative vigenti sono già ampiamente rispettati (il dislivello tra fondo alveo e sottotrave è pari a circa 60 metri). Comunque, si è proceduto alla verifica idraulica, secondo modello monodimensionale, finalizzata alla determinazione dei livelli idrici in corrispondenza della sezione di attraversamento, per i differenti tempi di ritorno considerati.

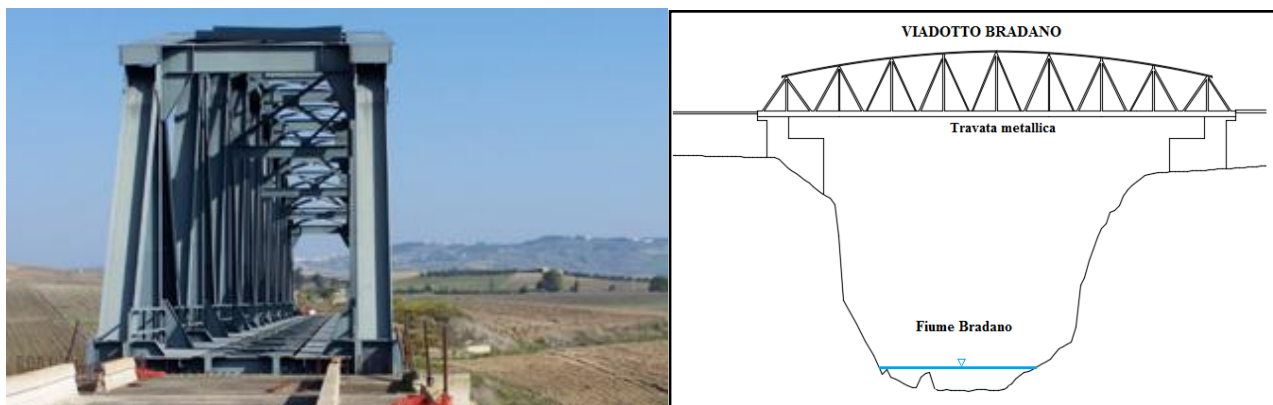


Figura 12 – Viadotto esistente (VI05) sul Fiume Bradano.

3.3.4. Viadotto esistente (VI08) sul Torrente Gravina

Anche l’attraversamento esistente sul Torrente Gravina è realizzato con un viadotto del tipo a travata rettilinea, a campata unica di lunghezza pari a 80 metri. Dal punto di vista idraulico, si è proceduto in analogia al viadotto sul Fiume Bradano, essendo anche l’alveo del Torrente Gravina caratterizzato dalla tipica conformazione “*in gravina*” (il dislivello tra fondo alveo e sottotrave è pari a circa 45 metri).

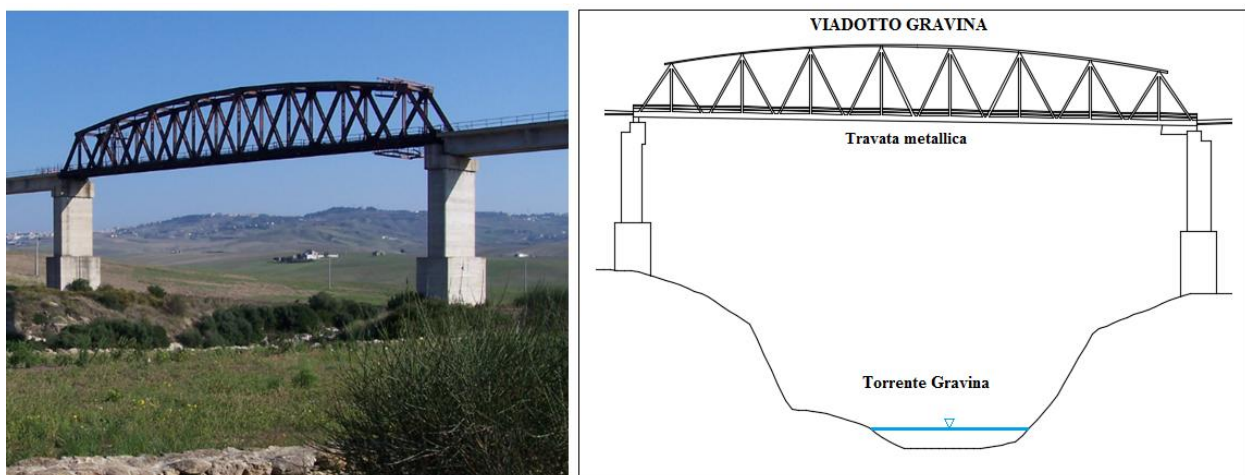


Figura 13 – Viadotto esistente (VI08) sul Torrente Gravina.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 21 DI 96

3.4. Modelli idraulici e simulazioni numeriche

3.4.1. Modellazione numerica bidimensionale (2D)

Il codice di calcolo utilizzato per l’implementazione dei modelli bidimensionali del Fiume Basento e del Rio Conche è il software InfoWorks ICM 9.0, sviluppato dalla software house Innovyze 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 ten-

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 22 DI 96

sioni 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 (*wallfriction*), 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.

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.

3.4.1.1. Fiume Basento

3.4.1.1.1. Geometria del modello idraulico

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 plano-

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 23 DI 96

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.

Nello specifico, il modello idraulico del Fiume Basento si estende dalla traversa situata poco più a monte della sezione di attraversamento fino al ponte della strada statale SS7r.

L’estensione complessiva del modello ammonta a circa 6 km; il dominio di calcolo ha una superficie di circa 600 ha.

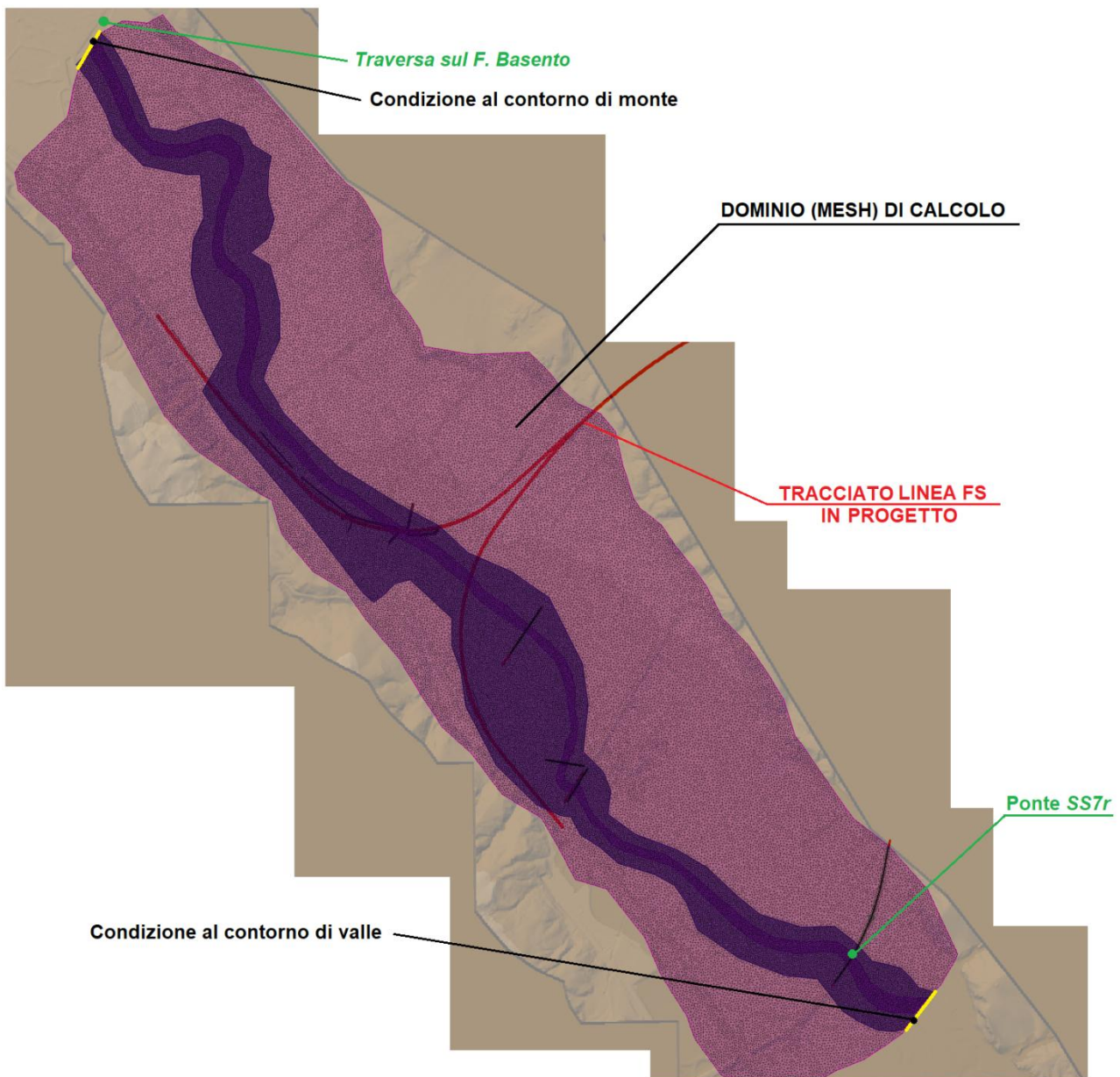


Figura 14 – Modello 2D del Fiume Basento: dominio di calcolo e condizioni al contorno.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 24 DI 96

La geometria del modello 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 m² e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un'area di 25 m². Gli infittimenti della mesh (alveo e opere esistenti in alveo) sono stati sviluppati imponendo una dimensione massima degli elementi pari a 25 m² e una dimensione minima di 10 m².

Il viadotto in progetto, vista l'elevata distanza tra la quota di intradosso e il fondo alveo (circa 11 metri), è stato simulato introducendo nella mesh di calcolo poligoni “vuoti”, rappresentanti l'ingombro delle pile in pianta. Le opere di attraversamento esistenti 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.

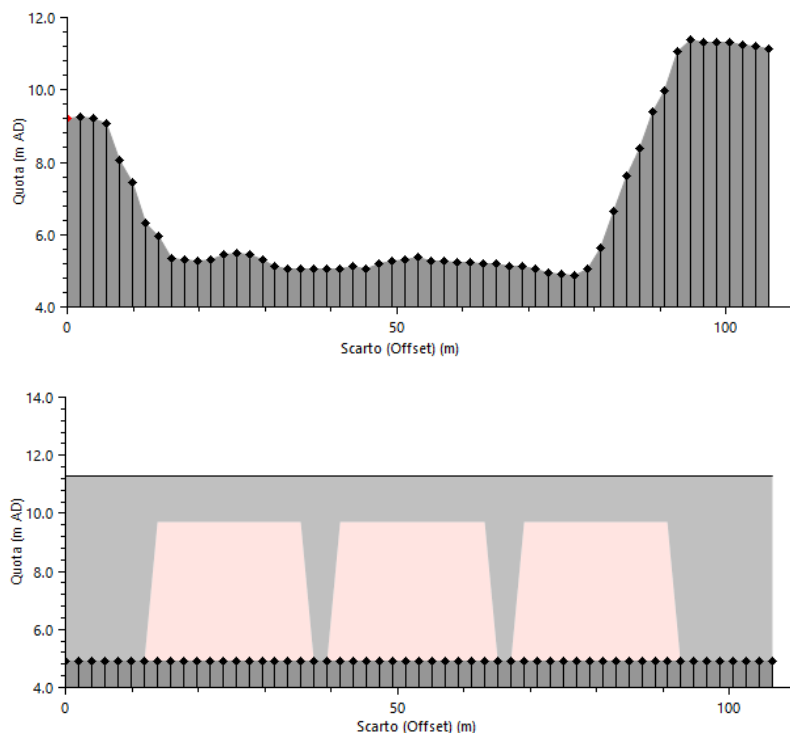



Figura 15 – Modello 2D del Fiume Basento: implementazione delle opere di attraversamento in InfoWorks ICM.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 25 DI 96

3.4.1.1.2. Scabrezze

Per quanto concerne il coefficiente di scabrezza (Manning, n), 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, $n = 0.060 \text{ s/m}^{1/3}$.

più cautelativi rispetto a quelli assunti nelle analisi idrauliche sviluppate nell'ambito del P.A.I. della Regione Basilicata (i.e. $n = 0.033 \text{ s/m}^{1/3}$ per l'alveo inciso; $n = 0.050 \text{ s/m}^{1/3}$ per le aree golenali), per la definizione delle aree di pericolosità idraulica sopra descritte.

3.4.1.1.3. Condizioni al contorno

Gli idrogrammi di riferimento (imposti come condizione al contorno di monte nel modello idraulico), di seguito riportati, sono quelli ricavati nello studio idrologico annesso (elaborato IA5F01D09RIID0001001 – *Relazione Idrologica: corsi d'acqua maggiori*), al quale si rimanda per maggiori dettagli.

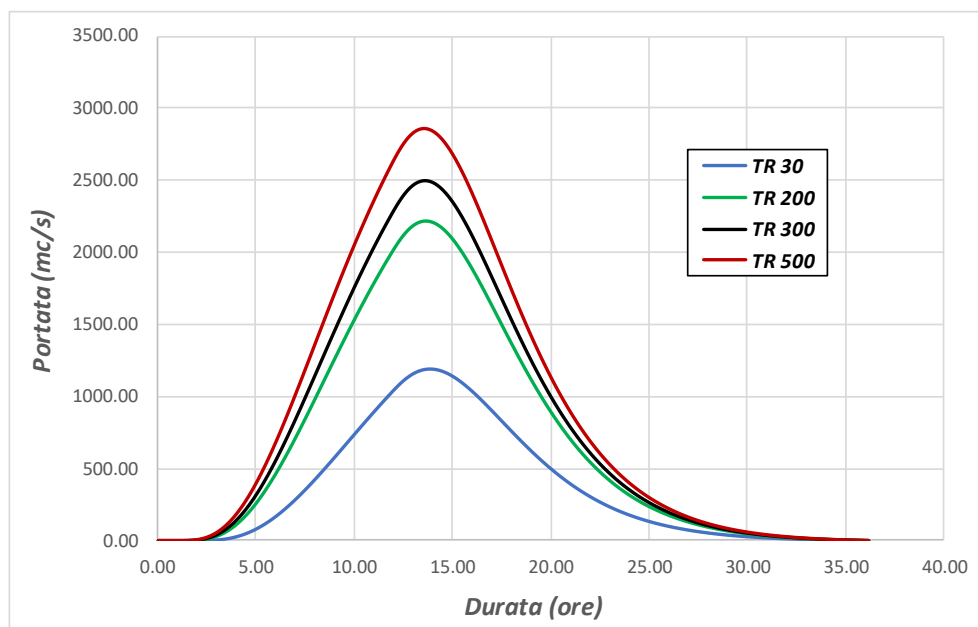


Figura 16 – Modello 2D del Fiume Basento: condizione al contorno di monte (idrogrammi di piena).

A valle, è stata imposta la condizione di “livello idrico noto”. Per i differenti tempi di ritorno indagati, sono stati considerati i valori di tirante idrico indicati nei documenti del P.A.I./P.G.R.A. (in corrispondenza della sezione denominata

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 26 DI 96

“402”, in prossimità del ponte della strada statale SS7r, rif. Elaborato “*Mapa della pericolosità idraulica*”, cod. 04_01_02_09P), riportati nella tabella seguente.

CONDIZIONE AL CONTORNO DI VALLE			
<i>Livello idrico alla sezione 402 – Ponte della SS7r (m slm)</i>			
30	200	500	300 ^(*)
70.1	70.7	70.9	70.8

Tabella 2 – Condizione al contorno di valle: livelli idrici a valle del ponte della strada SS7r ^(*) valore ricavato da interpolazione lineare dei valori disponibili per gli altri tempi di ritorno).

Tali valori sono stati dedotti dalle simulazioni monodimensionali (1D) sviluppate nell’ambito degli studi idraulici a corredo del P.A.I./P.G.R.A. della Regione Basilicata.

3.4.1.1.4. Scenari simulati

Si è proceduto alla simulazione delle onde di piena riferite ai tempi di ritorno di 30, 200, 300, 500 anni, con riferimento alle seguenti configurazioni geometriche:

- *ante operam*: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto, unitamente alle opere esistenti presenti in alveo;
- *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;
- *fase di cantiere*: si intende la fase (transitoria) di realizzazione degli interventi in progetto, durante la quale la sezione d’alveo può essere interessata da opportune opere provvisori/di difesa.

3.4.1.1.5. Risultati delle simulazioni numeriche

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 30, 200 e 500 anni ottenute nel presente studio, e le aree di pericolosità P3 (elevata), P2 (media) e P1 (bassa) derivanti dagli studi idraulici sviluppati nell’ambito del P.A.I./P.G.R.A. della Regione Basilicata.

Le differenze riscontrabili sono principalmente imputabili *i*) alla differente tipologia di modellazione adottata, i.e. monodimensionale nelle analisi idrauliche sviluppate nell’ambito del PAI/PGRA e bidimensionale nel presente studio,

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 27 DI 96

ii) alla base cartografica di riferimento per la simulazione della propagazione delle esondazioni nelle aree golenali e/o esterne, i.e. DTM 5x5 m della Regione Basilicata negli studi a corredo del PAI/PGRA e DTM 1x1 m del Ministero dell’Ambiente nelle presenti analisi idrauliche, iii) ai valori di portata al colmo considerati nelle simulazioni numeriche 2D, superiori (+ 15%) a quelli forniti e adottati nell’ambito del PAI/PGRA, come illustrato nello studio idrologico annesso, nonché ai valori di scabrezza (più cautelativi nel presente studio rispetto a quelli adottati nelle analisi del P.A.I., come illustrato nei paragrafi precedenti).

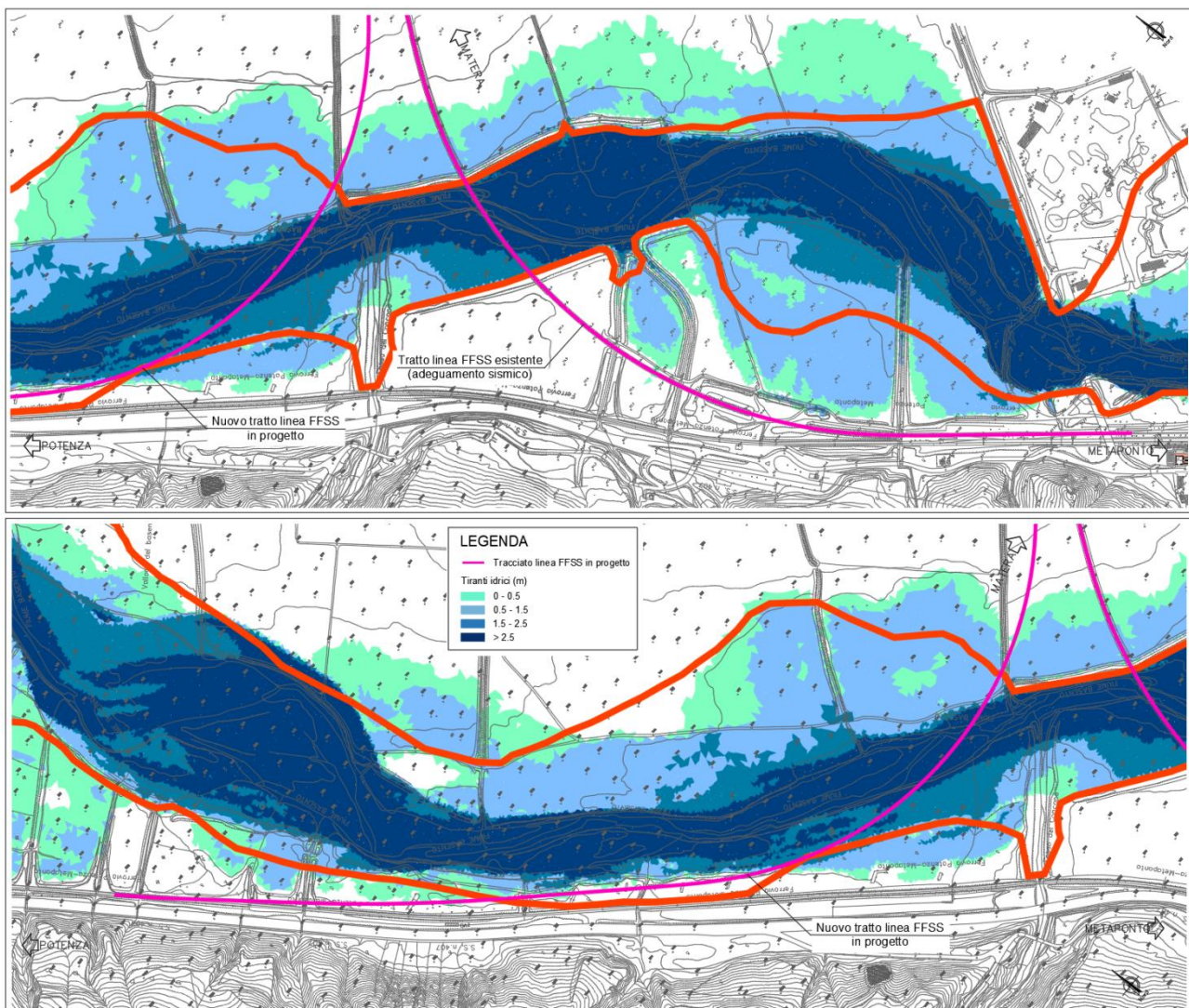


Figura 17 – Modello 2D del Fiume Basento: confronto con le aree di pericolosità P3 elevata (evidenziate in rosso) del P.A.I./P.G.R.A., TR = 30 anni.

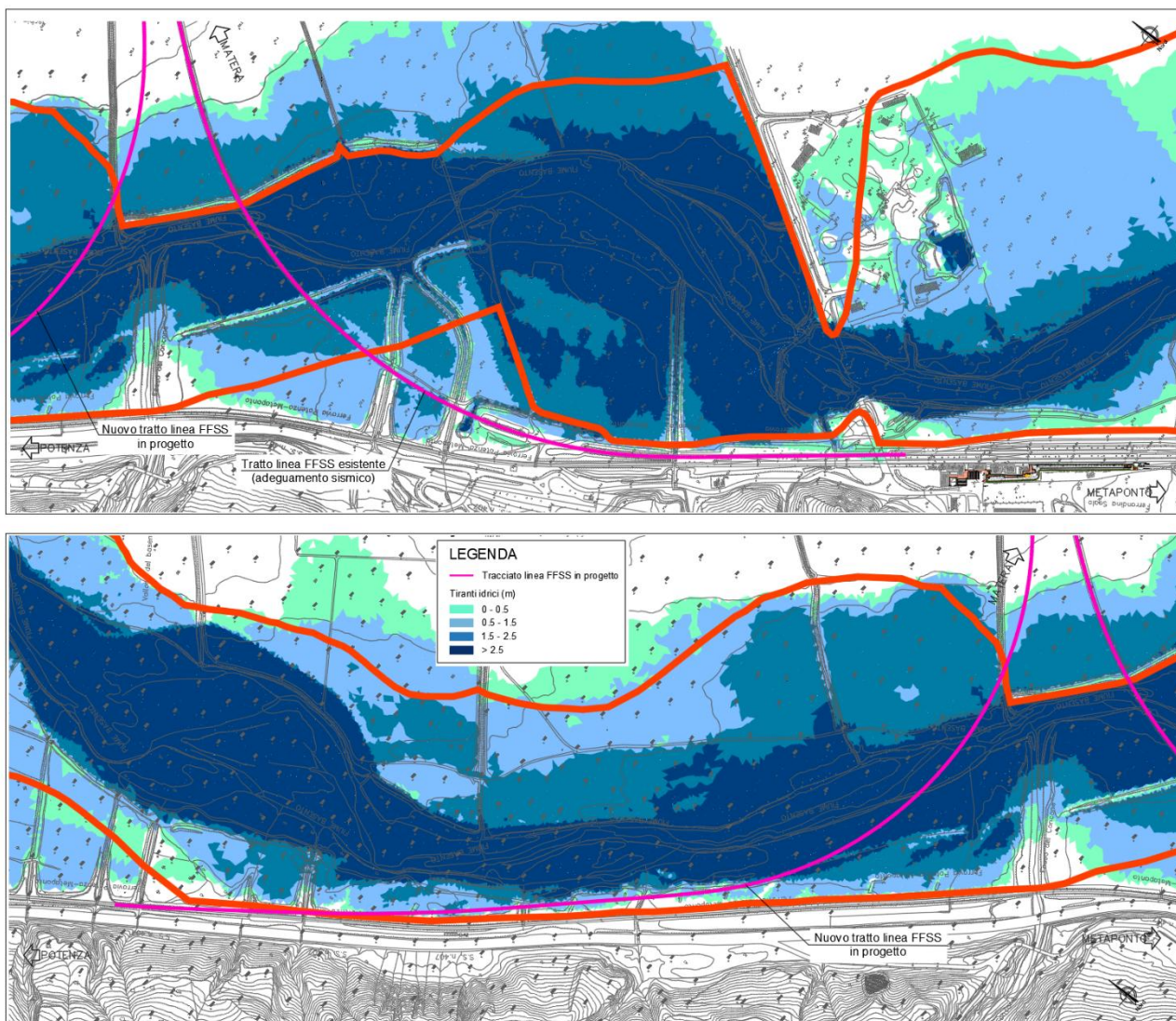


Figura 18 – Modello 2D del Fiume Basento: confronto con le aree di pericolosità P2 media (evidenziate in rosso) del P.A.I./P.G.R.A., TR = 200 anni.

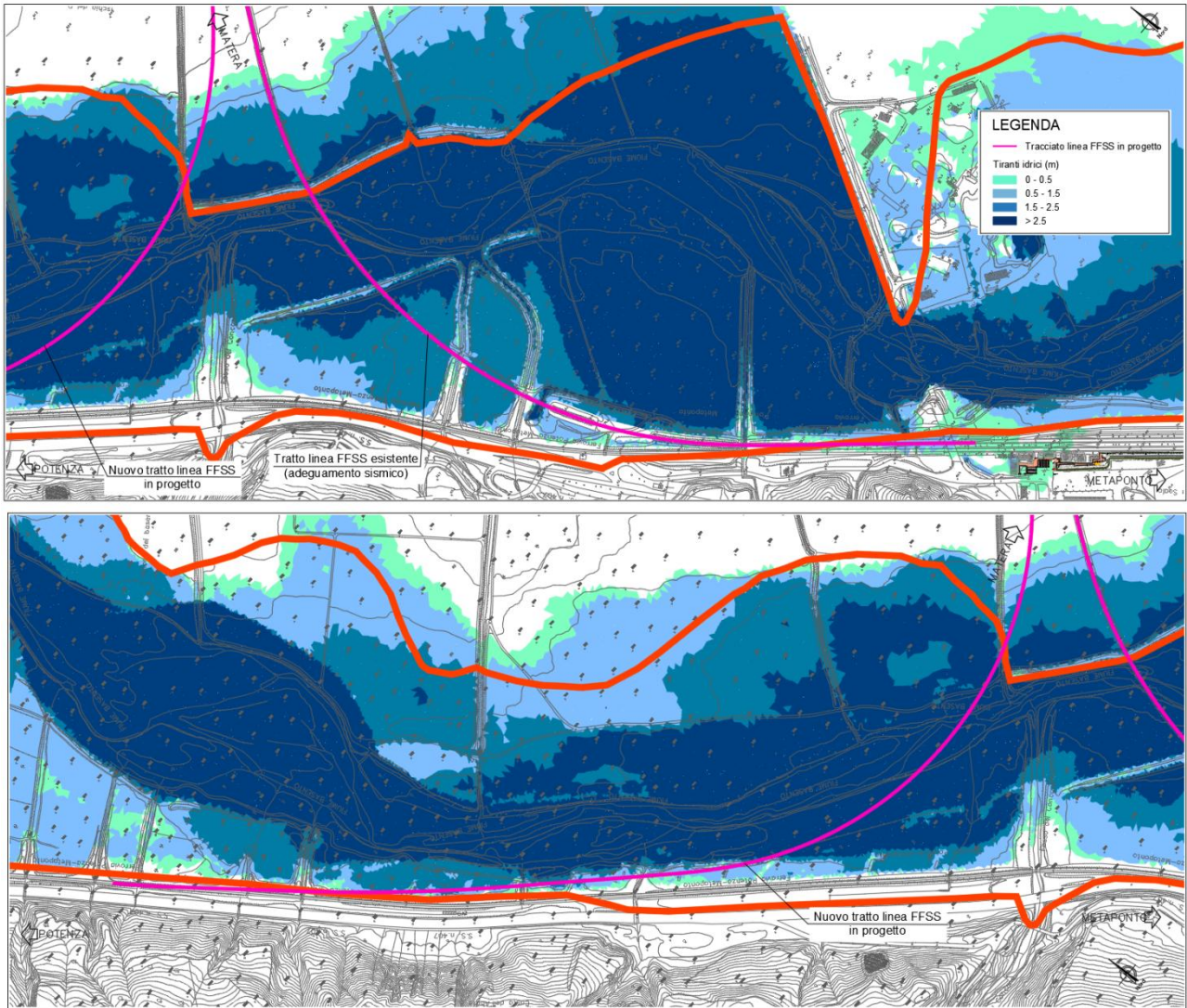



Figura 19 – Modello 2D del Fiume Basento: confronto con le aree di pericolosità P1 bassa (evidenziate in rosso) del P.A.I./P.G.R.A., TR = 500 anni.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 30 DI 96

SCENARIO POST OPERAM E CONFRONTO CON SCENARIO ANTE OPERAM

Di seguito, si riportano le aree di esondazione ottenute nelle simulazioni idrauliche numeriche 2D, nella configurazione “ante-operam”, per il tempo di ritorno di progetto, $TR = 300$ anni, unitamente al confronto con le corrispondenti aree potenzialmente inondabili nella configurazione “post-operam” ($TR300$).

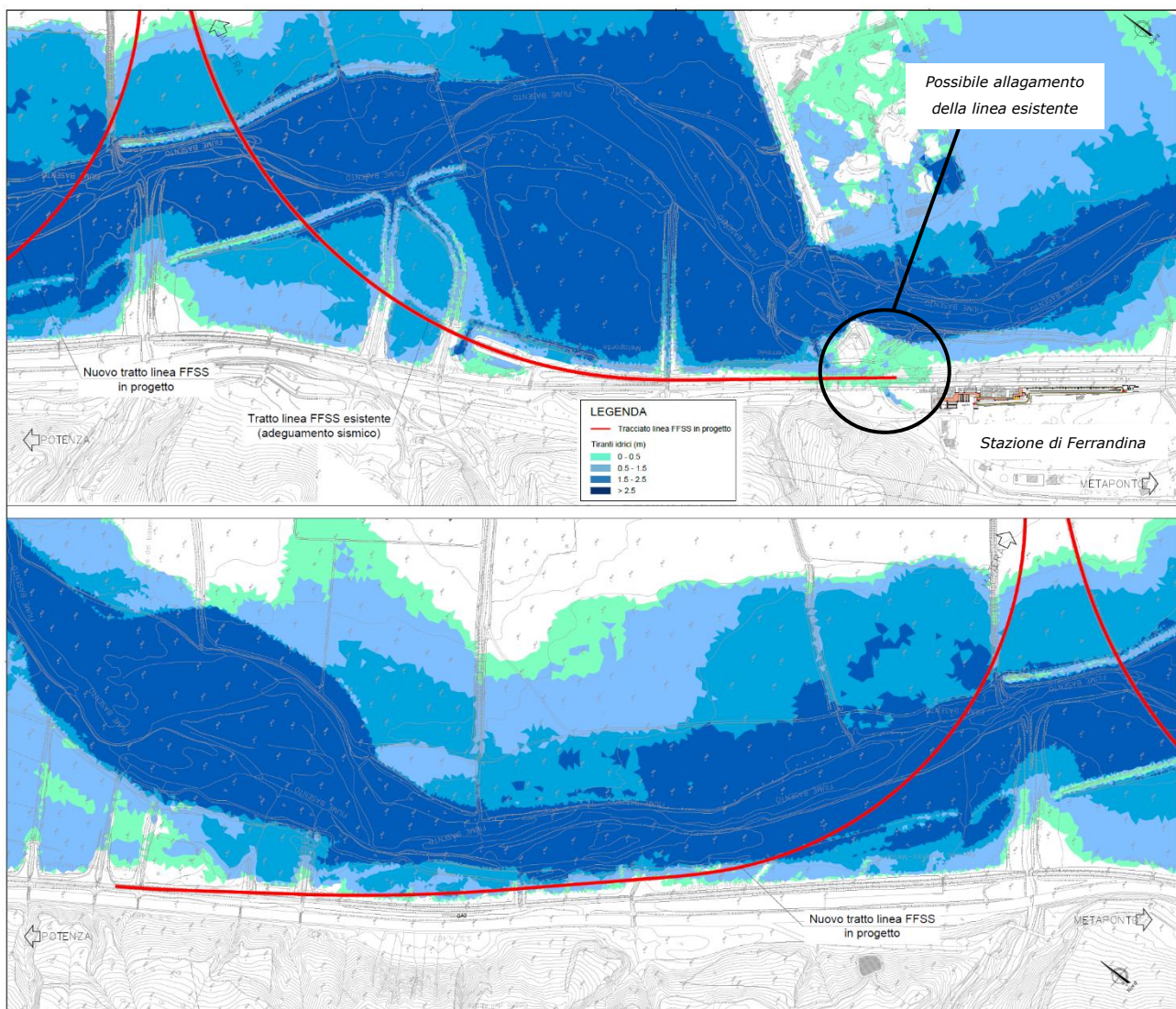


Figura 20 – Modello 2D del Fiume Basento: aree di esondazione per $TR = 300$ anni, ante operam.

Nella configurazione “ante-operam”(anche per il tempo di ritorno di 200 anni) si evidenzia il sormonto della linea ferroviaria esistente (ramo B) in corrispondenza della stazione di Ferrandina, nello specifico in prossimità del cavalvaferrovia di Via dello Scalo Ferroviario. In tale tratto (Ramo B, dalla stazione di Ferrandina Scalo fino all’imbocco della Galleria), nello specifico tra le progressive 0+000 e 0+330, sono previsti interventi di ri-allineamento/ricostruzione

altimetrica del binario esistente (senza possibilità quindi di modificare, essendo un tratto di linea FFSS esistente, la quota del piano ferro, dettata dalla presenza della stazione e dalla quota di approccio al viadotto esistente VI01). Per risolvere tale criticità, si prevede pertanto la realizzazione di un argine in terra, con altezza minima pari a 1,5 metri (ossia con franco idraulico minimo di 0.50 cm, visto che i tiranti idrici massimi si attestano a 1 metro dal piano campagna). Per maggiori dettagli circa la sezione tipo di tale opera di difesa, si rimanda agli elaborati specialistici di OO.CC.. Nella configurazione “*post operam*”, a partire dalla geometria “*ante operam*”, si è provveduto quindi all’inserimento delle opere in progetto, ossia il rilevato di approccio (lato Potenza, ramo A) al nuovo viadotto VI13 sul Fiume Basento, il viadotto VI13 stesso (i.e. le pile in alveo), la sottostazione elettrica presso l’imbocco della Galleria Miglionico (lato Ferrandina) ed in ultimo l’argine sopra descritto.

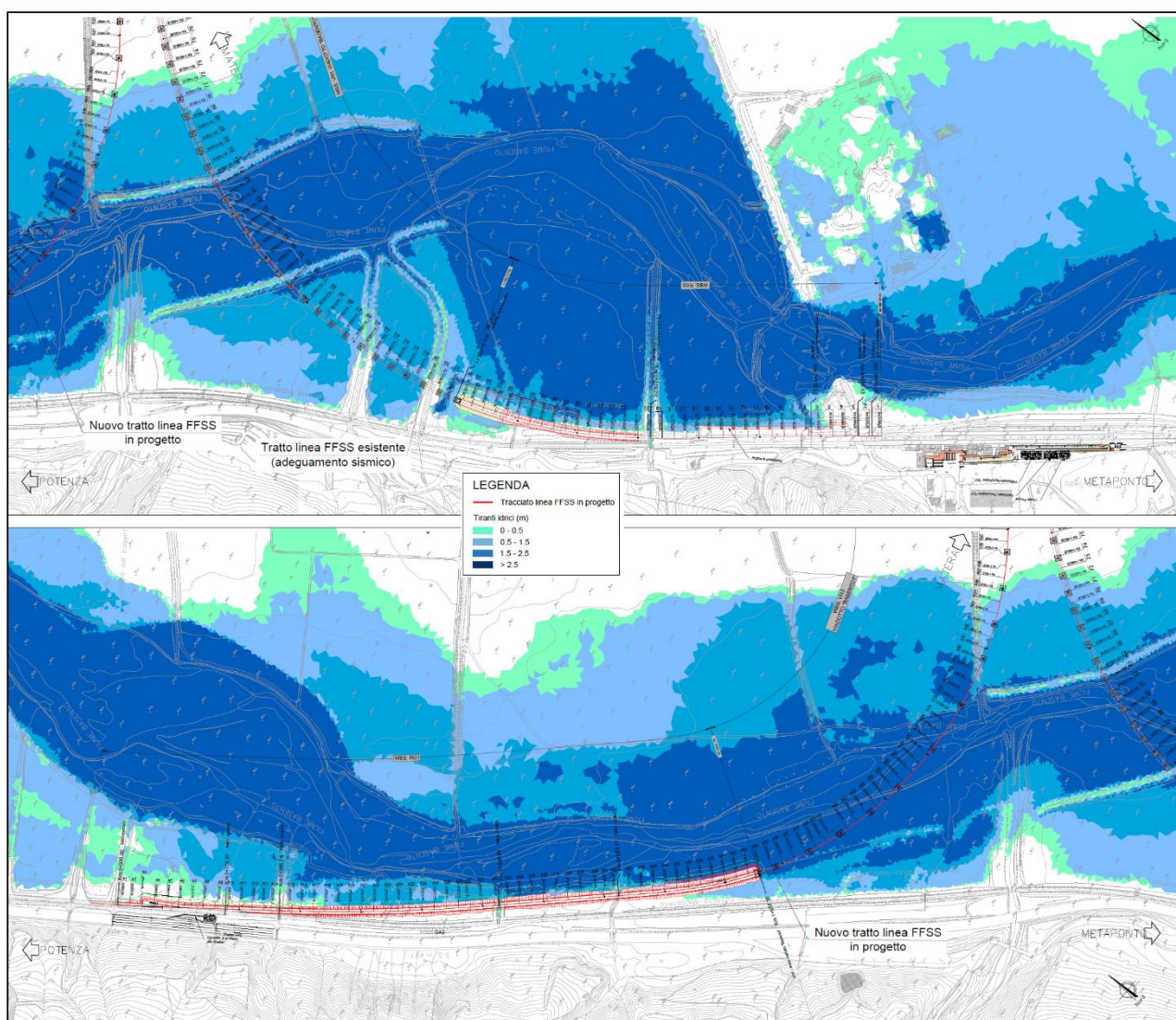


Figura 21 – Modello 2D del Fiume Basento: aree di esondazione per TR = 300 anni, post operam.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 32 DI 96

Il nuovo viadotto in progetto, come è possibile notare in figura, non produce effetti significativi sui livelli idrici e sulle corrispondenti aree di esondazione, rispetto alla situazione attuale (“ante-operam”), a dimostrazione della “totale trasparenza idraulica” dell’opera di attraversamento in progetto; l’inserimento dell’argine di difesa inoltre consente di proteggere la linea ferroviaria esistente, evitandone l’allagamento. La nuova sottostazione elettrica (SSE) in prossimità dell’imbocco (lato Ferrandina) della Galleria Miglionico), come mostrato nella figura seguente, non risulta interessata dalle aree di esondazione del Fiume Basento.

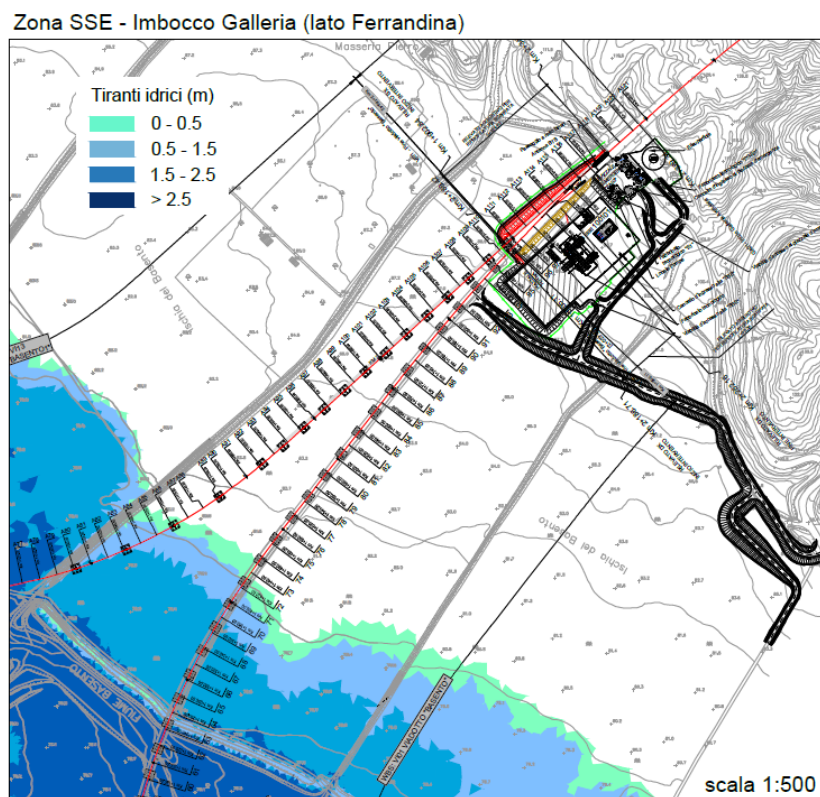


Figura 22 – Modello 2D del Fiume Basento: aree di esondazione per TR = 300 anni, post operam, in corrispondenza della nuova SSE, all’imbocco della galleria.

I tiranti idrici massimi (TR_{300}) in corrispondenza del nuovo viadotto VI13 sul Fiume Basento si attestano a +81.2 m slm, a fronte di una quota di intradosso pari a +84.70 m slm; in corrispondenza del viadotto esistente VI01, invece, i livelli idrici si attestano a quota +80.3 m slm, a fronte di una quota di intradosso pari a +83.10 m slm. Anche per l’opera esistente risultano quindi rispettati i requisiti minimi in termini di franco idraulico di sicurezza (> 1,5 m) prescritti nelle normative (NTC2018) e regolamenti (MdP, 2019) vigenti. Per la valutazione “completa” di compatibilità idraulica delle opere di attraversamento in esame si rimanda al capitolo finale della presente relazione.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 33 DI 96

SCENARIO “FASE DI CANTIERE”

E' stata effettuata la simulazione numerica idraulica 2D, in regime di moto vario, anche per la cosiddetta “portata di cantiere” (corrispondente ad un tempo di ritorno di 2,5 anni), così come valutata nello studio idrologico annesso, ai fini del dimensionamento di eventuali opere provvisorie necessarie per la realizzazione del nuovo viadotto VI13 sul Fiume Basento. Di seguito, l'idrogramma inserito come condizione al contorno di monte nel modello 2D; per quanto concerne la condizione al contorno di valle, in analogia alle analisi precedenti, è stata imposta la condizione di “livello idrico noto” (pari a +69.4 m slm), valutato per interpolazione dei valori disponibili per gli altri tempi di ritorno (Tabella 2).

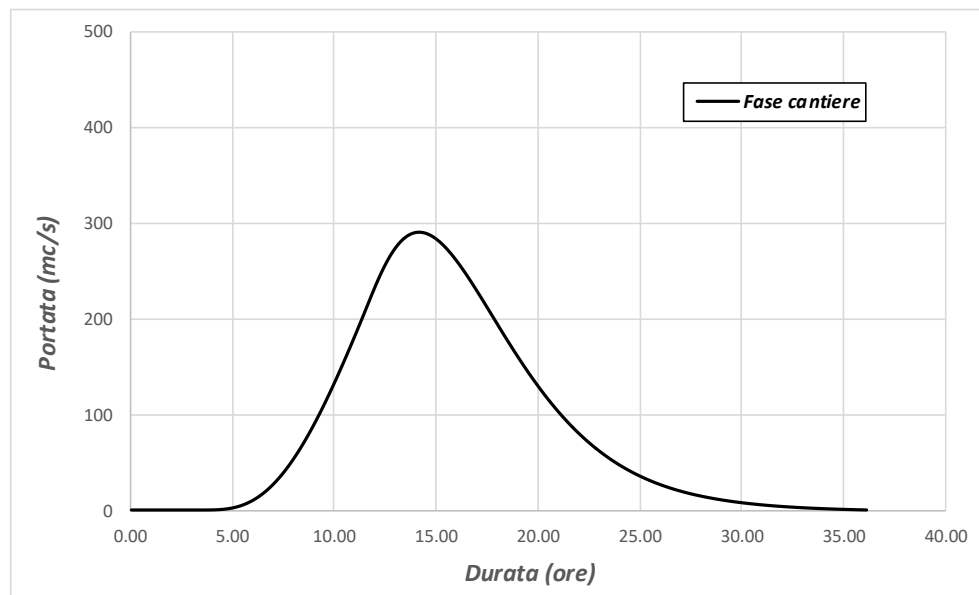


Figura 23 – Fase di cantiere: idrogramma di piena.

Inoltre, sono stati considerati gli stessi valori del coefficiente di scabrezza assunti in precedenza.

E' stata quindi dapprima effettuata la simulazione idraulica 2D per la “portata di cantiere” nella situazione attuale (*ante-operam*). Di seguito, i risultati in termini di aree di esondazione, in corrispondenza della zona interessata dai lavori di costruzione del nuovo viadotto VI13.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA5F	01	D 09	RIID0002 001	B	34 DI 96

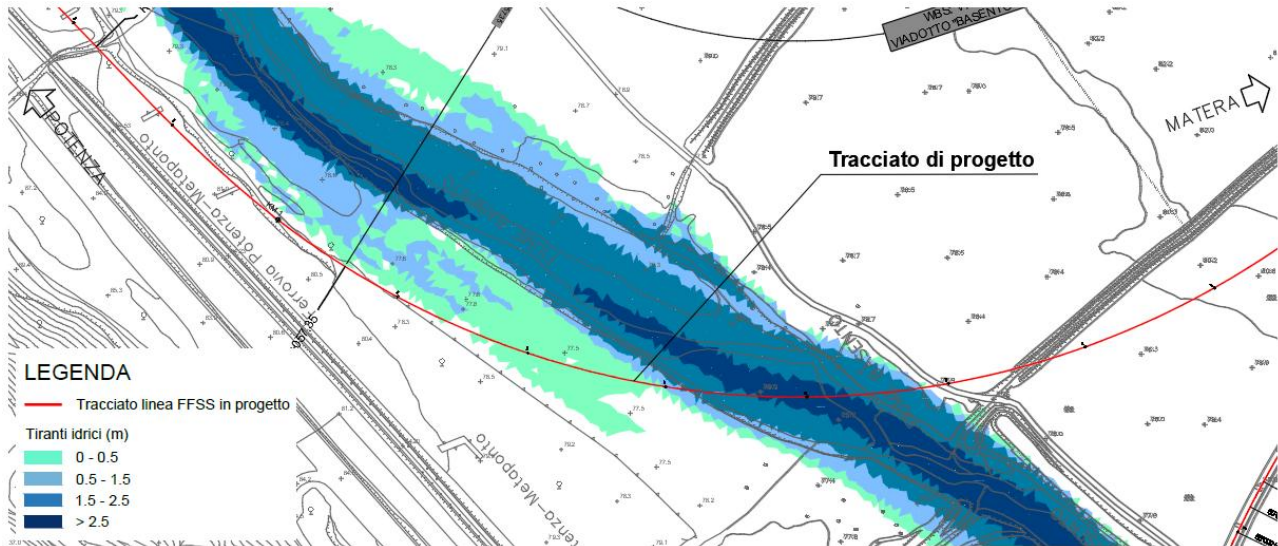


Figura 24 – Fase di cantiere: aree di esondazione nella situazione attuale.


Sulla base di tali risultati, si è proceduto alla definizione delle (due) seguenti fasi di realizzazione:

FASE 1

- a) Realizzazione di argini provvisori a difesa delle aree interessate dai lavori
- b) Costruzione del rilevato lato Potenza e ampliamento dello stesso per varo travate metalliche
- c) Costruzione delle spalle A e B, e delle pile 1-2, 6-22
- d) Installazione delle stilate provvisorie tra le pile 6÷12
- e) Varo 1: impalcati tra pile 12÷8
- f) Smontaggio/demolizione delle attrezzature di Varo 12÷8 (Varo 1)
- g) Realizzazione delle opere di protezione/sistemazione idraulica
- h) Rimozione degli argini provvisori di difesa

FASE 2

- a) Realizzazione di argini provvisori a difesa dell'area interessata dai lavori
- b) Costruzione delle pile 3-5
- c) Installazione delle stilate provvisorie per il Varo 2
- d) Varo 2: impalcati tra pile 8÷5

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA5F	01	D 09	RIID0002 001	B	35 DI 96

- e) Installazione delle stilate provvisorie per il Varo 3
- f) Varo 3: impalcati tra pile 1÷5
- g) Smontaggio/demolizione delle attrezzature di Varo (Varo 2 e 3) ad esclusione della stilata su pila 6.
- h) Smontaggio/demolizione della stilata su pila 6 (da effettuare previa valutazione delle tempistiche necessarie, in relazione alle piene del Fiume Basento).
- i) Realizzazione delle opere di protezione/sistemazione idraulica
- j) Rimozione degli argini provvisori

Per la realizzazione di pile e spalle si intende anche quella delle relative opere provvisionali, ove previste.

Di seguito, i risultati in termini di aree di esondazione e livelli idrici, relativamente alle due fasi di realizzazione previste.

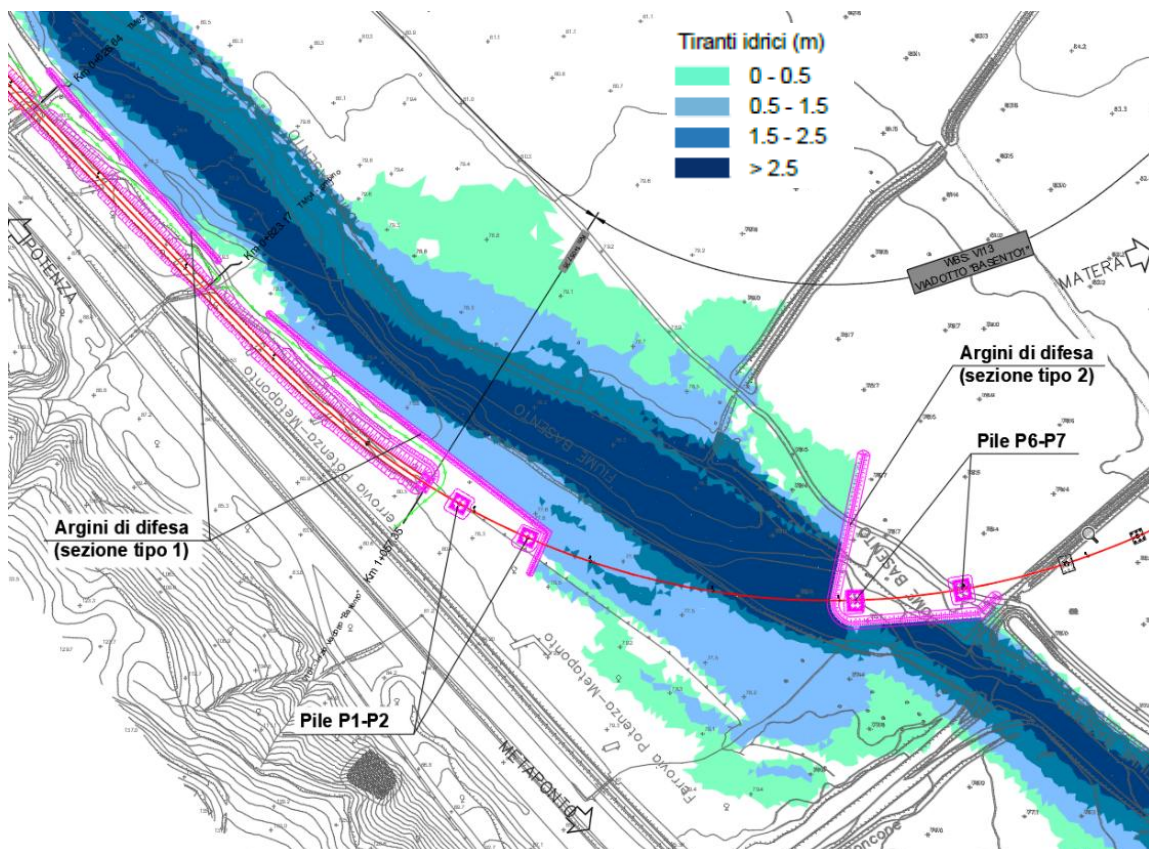


Figura 25 – Aree di esondazione nella fase di cantiere 1.

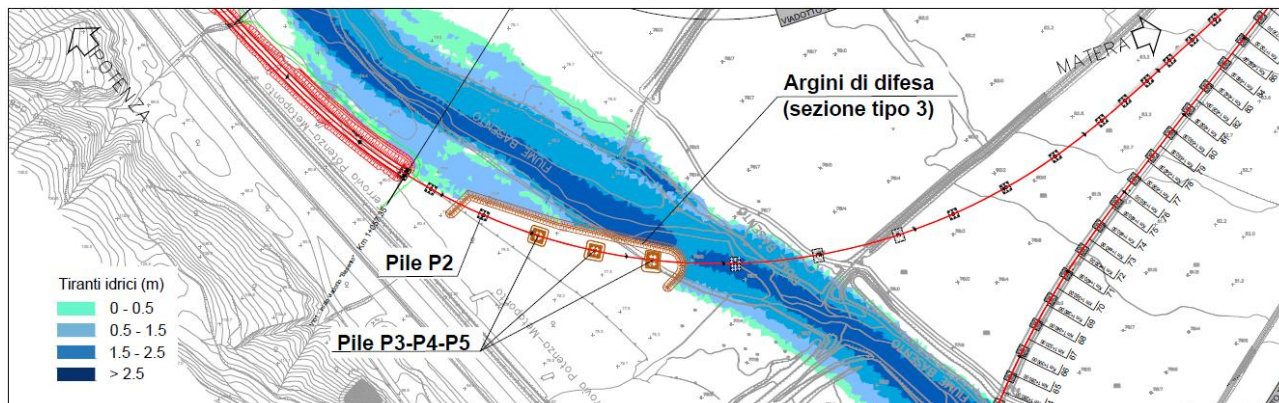


Figura 26 – Aree di esondazione nella fase di cantiere 2.

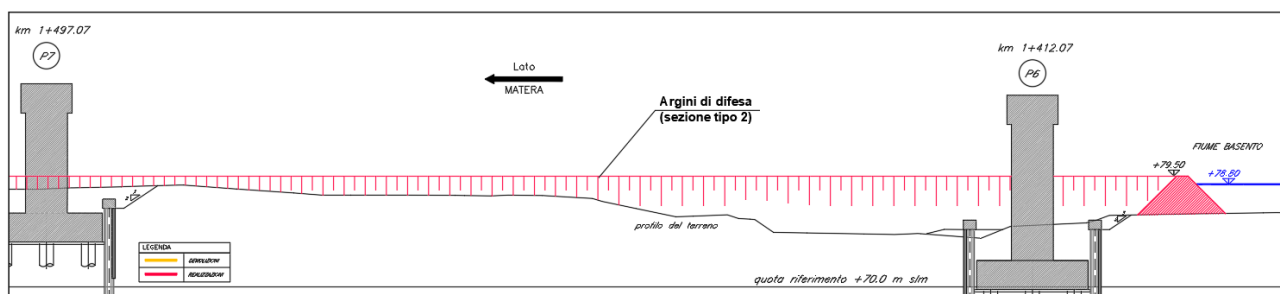


Figura 27 – Livelli idrici nella fase di cantiere 1, in corrispondenza della sezione di attraversamento.

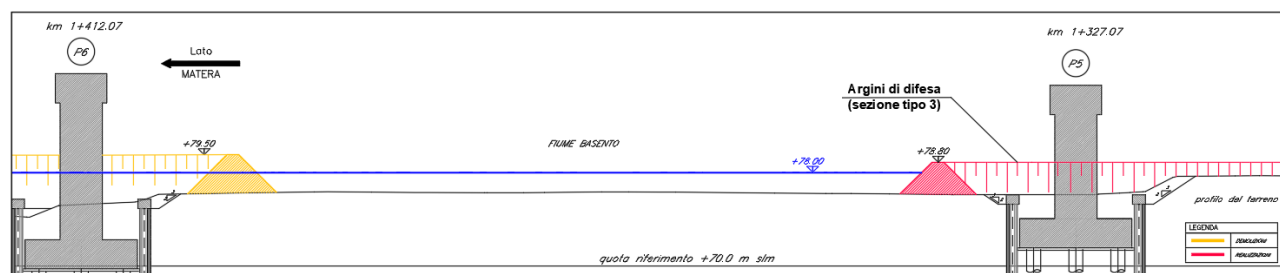



Figura 28 – Livelli idrici nella fase di cantiere 2, in corrispondenza della sezione di attraversamento.

Per quanto concerne la fase 1, il livello idrico massimo si attesta a +78.80 m slm, da cui una quota di sommità dell’argine provvisorio pari a +79.50 m slm.

Con riferimento alla fase 2, il livello idrico massimo si attesta invece a +78.00 m slm, da cui una quota di sommità dell’argine provvisorio pari a +78.80 m slm.

Per maggiori dettagli (anche in merito alla sezione tipo degli argini previsti) si rimanda all’elaborato grafico annesso (rif. IA5F01D09PZID0002002A).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 37 DI 96

3.4.1.2. Rio Conche

3.4.1.2.1. Geometria del modello idraulico

Con riferimento alla linea ferroviaria in progetto lato Matera (a partire dall’imbocco della galleria Miglionico), il modello idraulico numerico 2D del Rio Conche sviluppato si estende dalla progressiva 8+960 alla progressiva 10+620. L’attraversamento esistente sul Rio Conche (VI02) si colloca alla prog. 9+620.

Lo sviluppo complessivo del modello ammonta a circa 2 km; il dominio di calcolo ha una superficie di circa 150 ha.

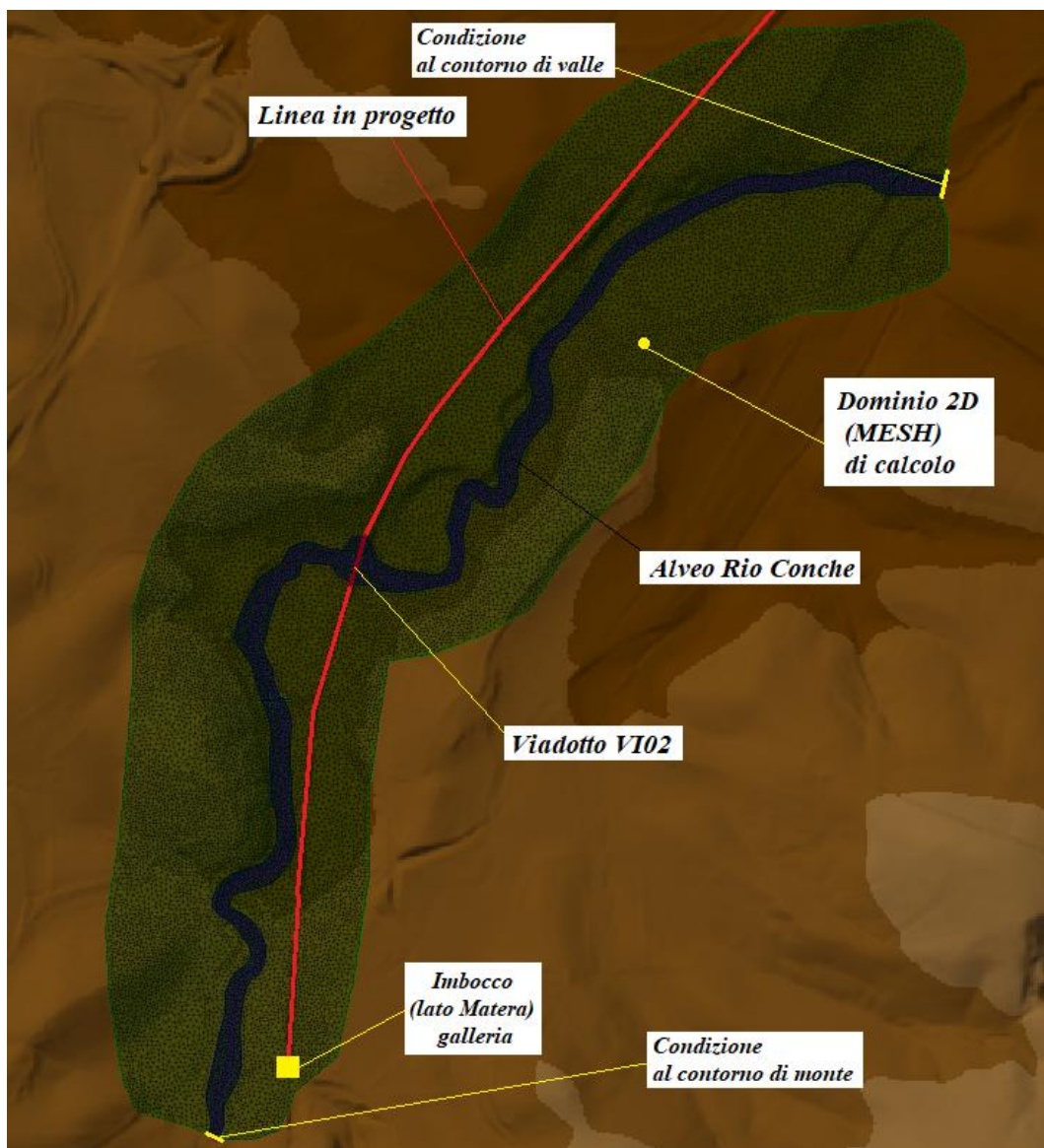


Figura 29 – Modello 2D del Rio Conche: dominio di calcolo.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 38 DI 96

La geometria del modello 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 m² e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un'area di 25 m². Gli infittimenti della mesh (alveo e opere esistenti in alveo) sono stati sviluppati imponendo una dimensione massima degli elementi è pari a 15 m² e una dimensione minima di 5 m².

Il viadotto in esame (VI02), unitamente alle altre opere di attraversamento presenti nel tratto fluviale analizzato, è stato implementato tramite gli elementi “linea”, disponibili nel software di calcolo (InfoWorks ICM 9.0), precedentemente descritti: “Struttura lineare 2D Base” (per rappresentare la sezione di attraversamento) e “Struttura lineare – Ponte 2D” (per rappresentare l'impalcato e le luci).

3.4.1.2.2. Scabrezze


Sono stati adottati gli stessi valori considerati nel modello del Fiume Basento, ossia:

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

3.4.1.2.3. Condizioni al contorno

Gli idrogrammi di riferimento (imposti come condizione al contorno di monte nel modello idraulico), di seguito riportati, sono quelli ricavati nello studio idrologico annesso (elaborato IA5F01D09RIID0001001 – Relazione Idrologica: corsi d'acqua maggiori), al quale si rimanda per maggiori dettagli.

A valle, è stata imposta la condizione di “altezza critica”, poiché il modello idraulico sviluppato termina a valle di un'opera stradale di attraversamento, che restringendo la sezione di deflusso del Rio Conche, provoca il passaggio della corrente per lo stato critico.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 39 DI 96

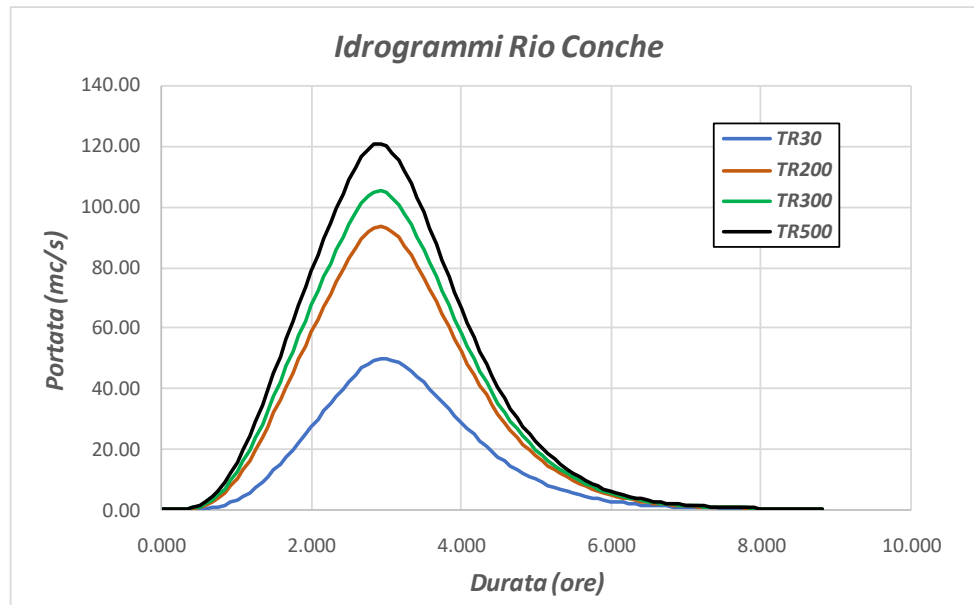


Figura 30 – Modello 2D del Rio Conche: condizione al contorno di monte (idrogrammi di piena).

3.4.1.2.4. Scenari simulati

Poiché il viadotto in esame (VI02) è un’opera esistente, per la quale si prevedono soltanto interventi di adeguamento sismico (oggetto di altro appalto), si è proceduto alla simulazione soltanto dello scenario “attuale”, con il quale si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto, unitamente alle opere esistenti presenti in alveo.

3.4.1.2.5. Risultati delle simulazioni numeriche

Di seguito, si riportano i risultati in termini di aree di esondazione, per i differenti tempi di ritorno indagati, nello stato “attuale”. Non si riscontrano particolari criticità idrauliche; il rilevato ferroviario risulta interessato dalle esondazioni (con $TR \geq 200$ anni) del Rio Conche nel tratto compreso tra le progressive 9+100 e 9+450. In tale tratto, il rilevato è realizzato fra muri, per cui, visti anche i modesti valori di velocità (< 0.3 m/s) e tirante (≤ 0.5 m), non si prevedono opere di protezione. Sono invece previste, come meglio descritto nei capitoli successivi, opere di sistemazione idraulica delle sponde e del fondo del Rio Conche in corrispondenza del viadotto VI02 al fine di mantenere l’attuale configurazione dell’alveo il più possibile inalterata e proteggere le spalle dell’opera di attraversamento esistente da possibili fenomeni di erosione. Per quanto concerne il franco idraulico, il livello idrico TR300 si attesta a +147.60 m slm, a fronte di una quota di intradosso minima di 150.00 m slm.

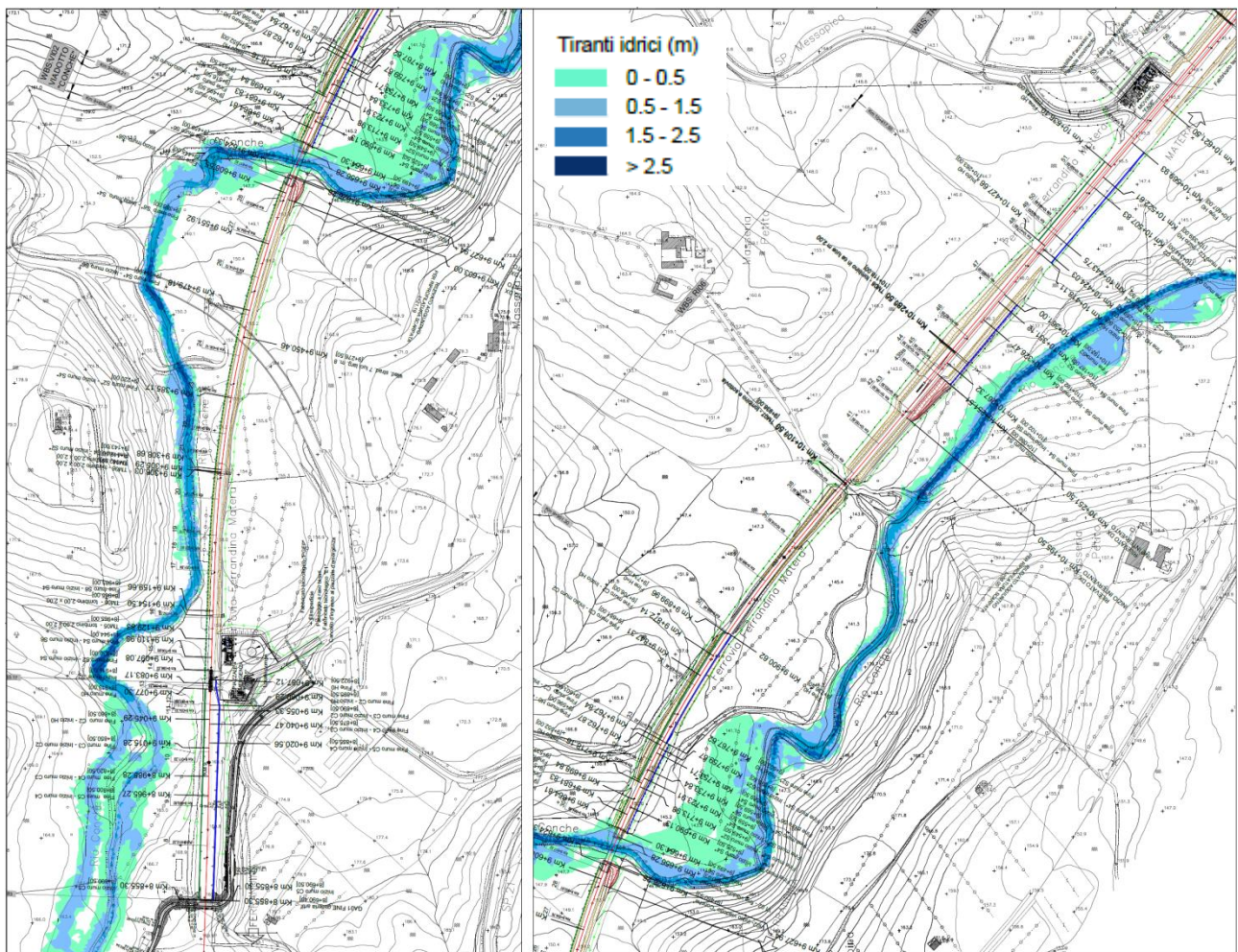


Figura 31 – Modello 2D del Rio Conche: aree di esondazione, TR30 anni, scenario attuale.

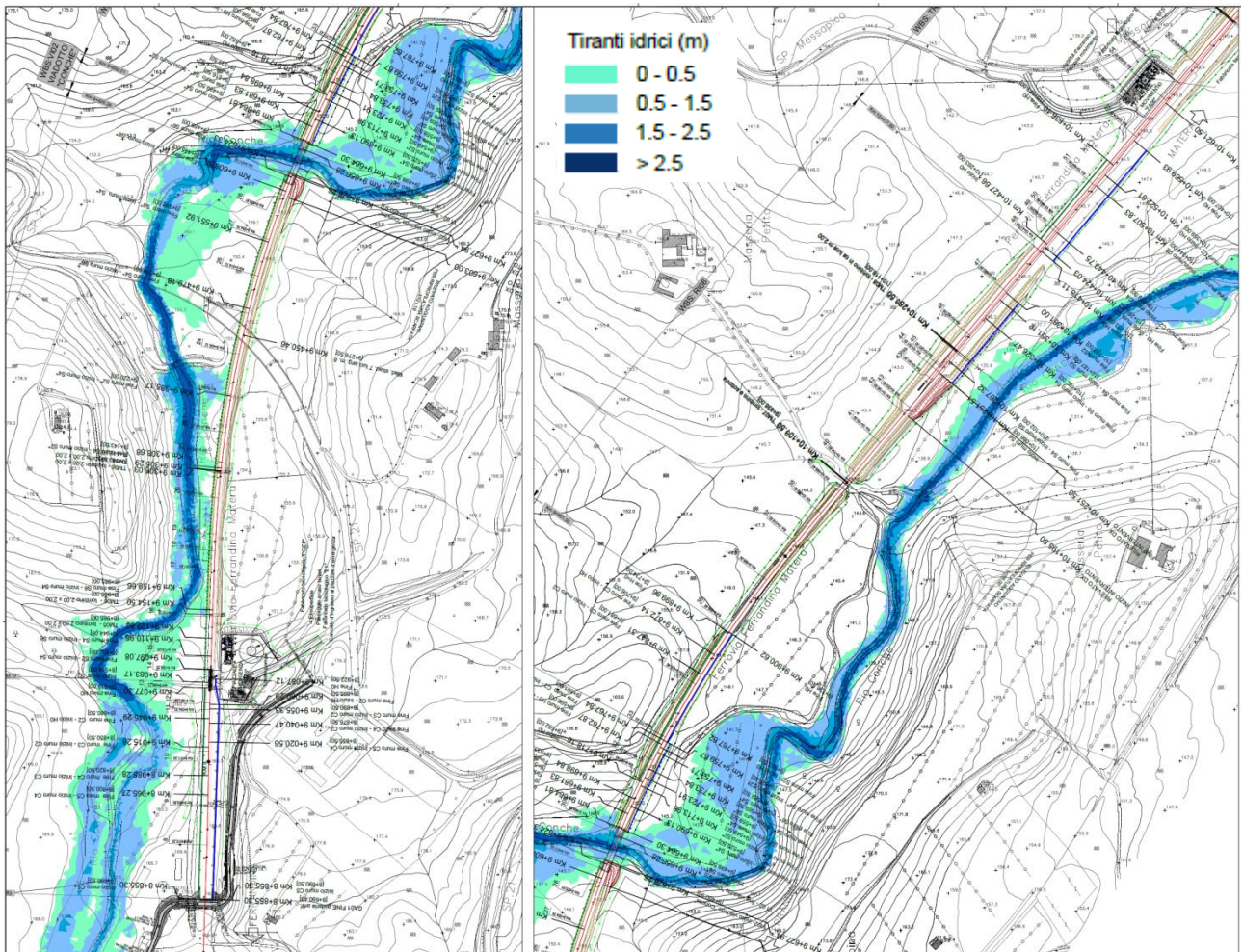


Figura 32 – Modello 2D del Rio Conche: aree di esondazione, TR200 anni, scenario attuale.

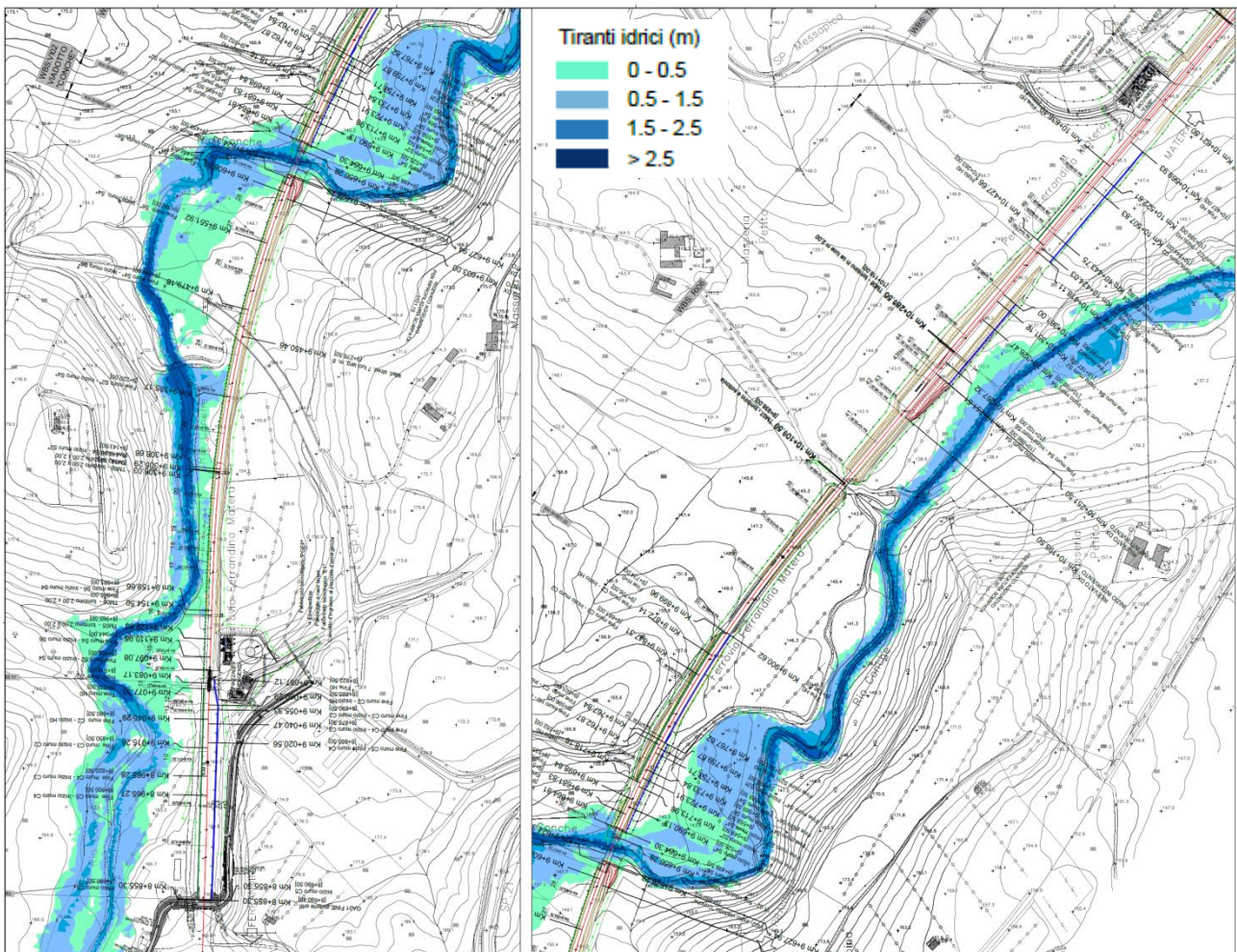


Figura 33 – Modello 2D del Rio Conche: aree di esondazione, TR300 anni, scenario attuale.

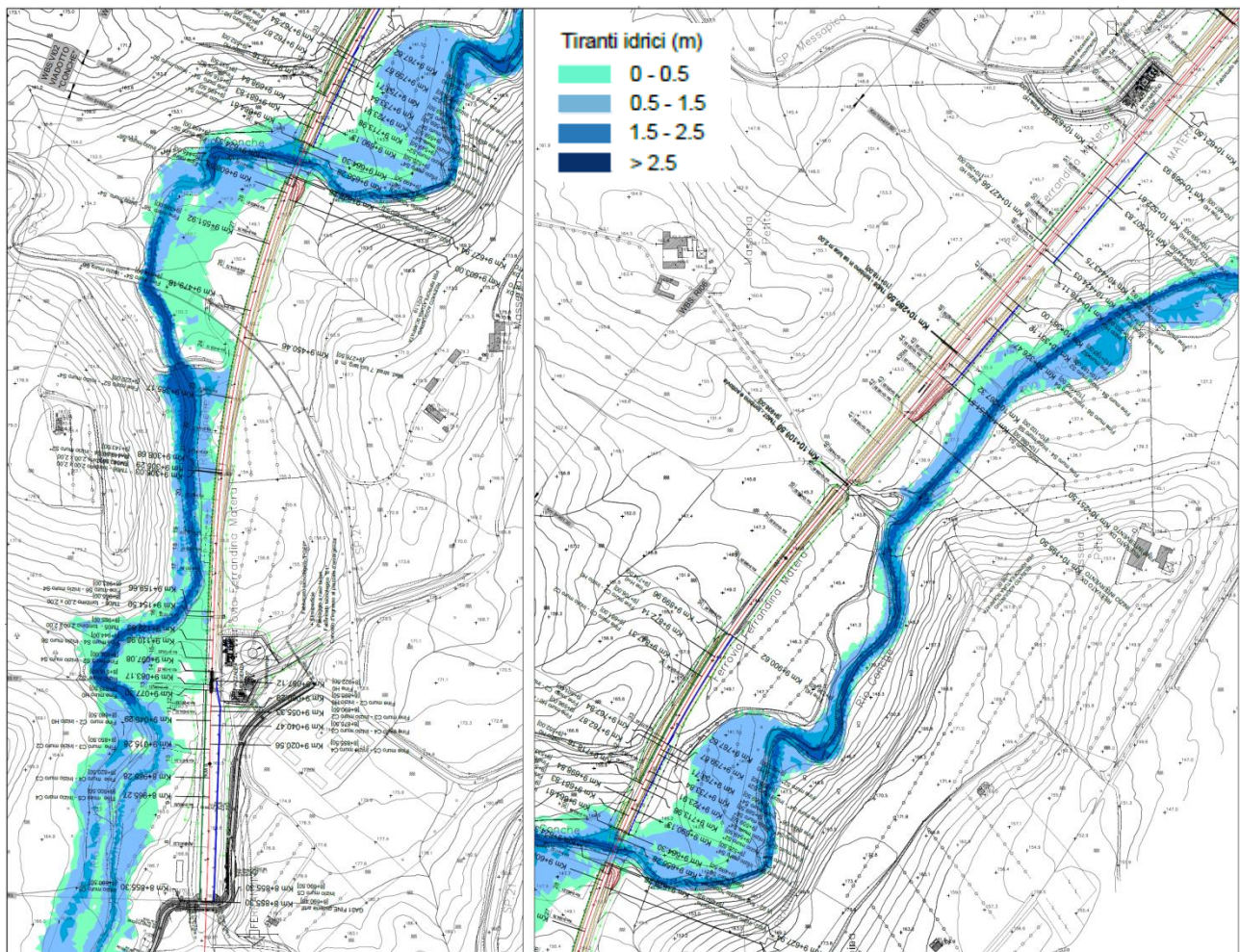


Figura 34 – Modello 2D del Rio Conche: aree di esondazione, TR500 anni, scenario attuale.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 44 DI 96

3.4.1.2.6. Simulazione dell’onda di piena nel tratto fluviale di affiancamento della NV02

Come anticipato e descritto nella relazione idrologica annessa (rif. IA5F01D09RIID0001001), sul Rio Conche sono previsti in progetto anche due “nuovi” attraversamenti stradali, nello specifico quelli della nuova viabilità NV02 (di collegamento del piazzale della finestra intermedia FA03 della Galleria Miglionico con la viabilità locale), alle progressive 1+027 e 2+401. Le relative verifiche idrauliche (secondo un modello monodimensionale in regime di moto permanente) sono riportate nell’elaborato IA5F01D78RIID0002001.

In ragione dello stretto affiancamento della NV02 al Rio Conche nel tratto tra le progressive 0+400 e 1+200, e dell’attraversamento del corso d’acqua subito a valle della confluenza di un ramo (un’asta) minore (i.e. ponte alla prog. 1+027), è stato condotto un approfondimento di natura idraulica ai fini della valutazione delle aree potenzialmente inondabili (ed eventualmente interferenti con la NV02), tramite lo sviluppo di un modello numerico bidimensionale (2D), in regime di moto vario, sempre in ambiente InfoWorks ICM. Nello specifico, il modello numerico 2D sviluppato si estende per un tratto fluviale di circa 2 km, in affiancamento alla nuova viabilità NV02. L’attraversamento stradale della NV02 in progetto sul Rio Conche (IV04) si colloca alla prog. 1+027, approssimativamente a metà del tratto fluviale studiato. Il dominio di calcolo, rappresentato nella figura seguente, ha una superficie di circa 40 ettari.

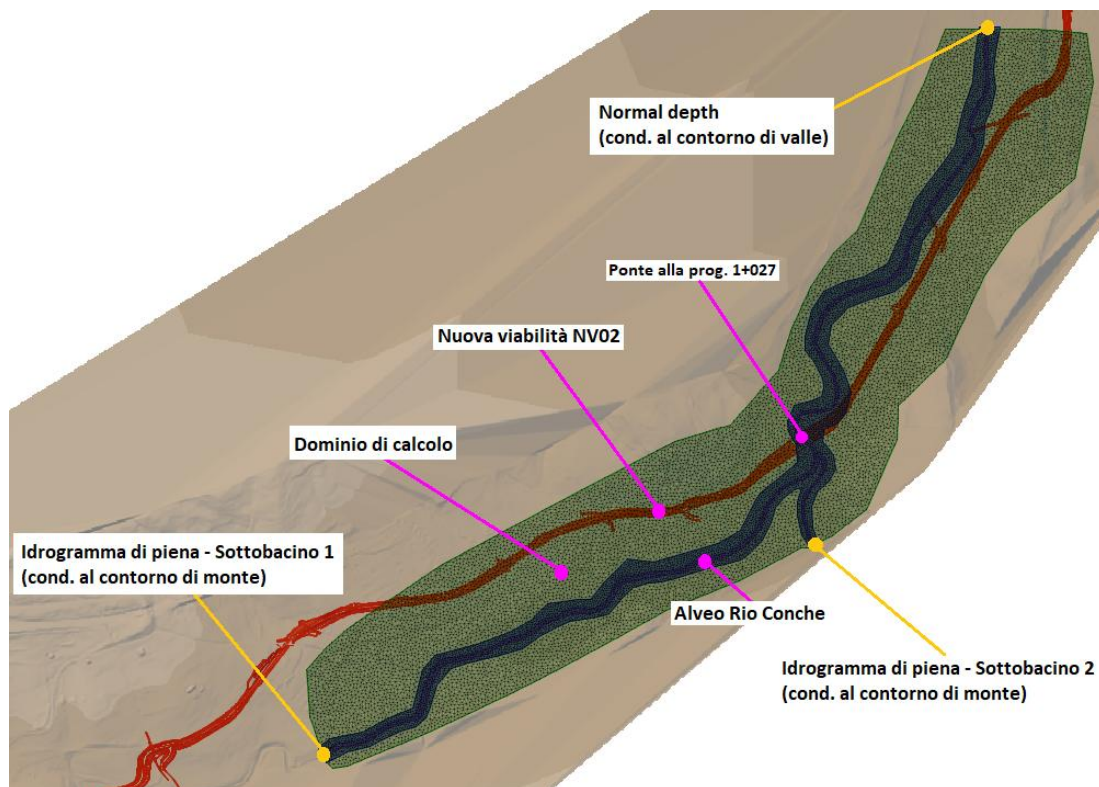


Figura 35– Modello 2D del Rio Conche in affiancamento alla NV02: dominio di calcolo.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 45 DI 96

Analogamente al modello 2D del Rio Conche sviluppato per la verifica idraulica dell’infrastruttura ferroviaria esistente, anche in questo caso la geometria del modello è stata implementata utilizzando i dati topografici disponibili per l’area di studio (sopra descritti), opportunamente integrati con i dati ricavati da una cartografia di base di dettaglio (scala 1:1000). La rete di calcolo bidimensionale interessa sia l’alveo inciso sia le aree golenali di espansione esterne; la creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 100 m² e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un’area di 25 m², definendo opportune aree di infittimento della maglia in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d’acqua, rilevati, etc... Relativamente ai coefficienti di scabrezza, sono stati adottati gli stessi valori considerati nel modello 2D del Rio Conche precedente, sopra definiti.

Gli idrogrammi di piena di riferimento, relativi al tempo di ritorno di progetto $Tr = 200$ anni (imposti come condizione al contorno di monte nel modello idraulico), di seguito riportati, sono quelli ricavati nello studio idrologico annesso (elaborato IA5F01D09RIID0001001 – *Relazione Idrologica: corsi d’acqua maggiori*), al quale si rimanda per maggiori dettagli. A valle, è stata imposta la condizione di “*altezza di moto uniforme*”, essendo il modello sufficiente esteso a valle dell’attraversamento stradale (IV04) in progetto.

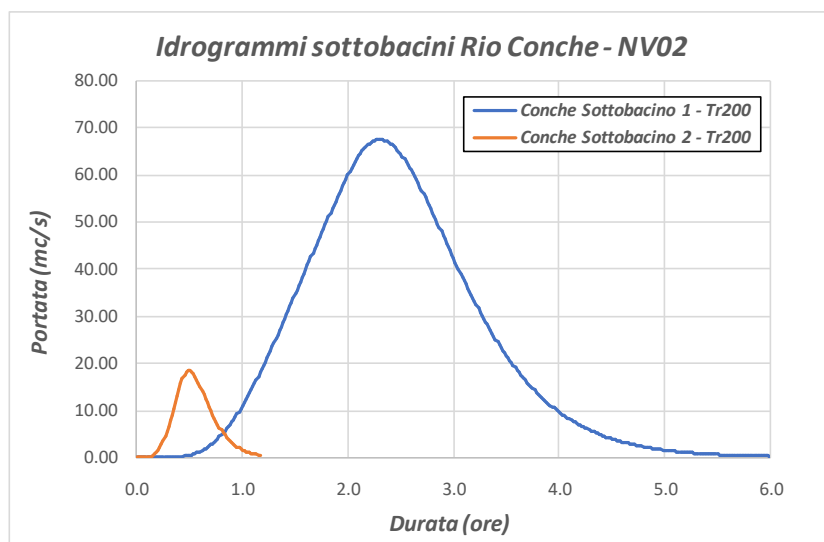


Figura 36. Rio Conche: idrogrammi di piena di riferimento, relativi ai sottobacini alla prog. 1+027 della NV02.

Si è proceduto quindi alla simulazione della propagazione dell’onda di piena Tr_{200} sia nello scenario “*attuale*”, con il quale si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto unitamente alle opere esistenti presenti in alveo, sia nello scenario “*post operam*”, implementando nel modello le opere previste in progetto (i.e. la nuova viabilità NV02 ed in particolare il nuovo ponte IV04 con luce di 25 m alla prog. 1+027), compresi eventuali interventi di sistemazione idraulica in alveo.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 46 DI 96

Di seguito, si riportano i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili (*Tr200*) lungo il tratto fluviale di affiancamento alla nuova viabilità NV02, nello scenario “attuale”.

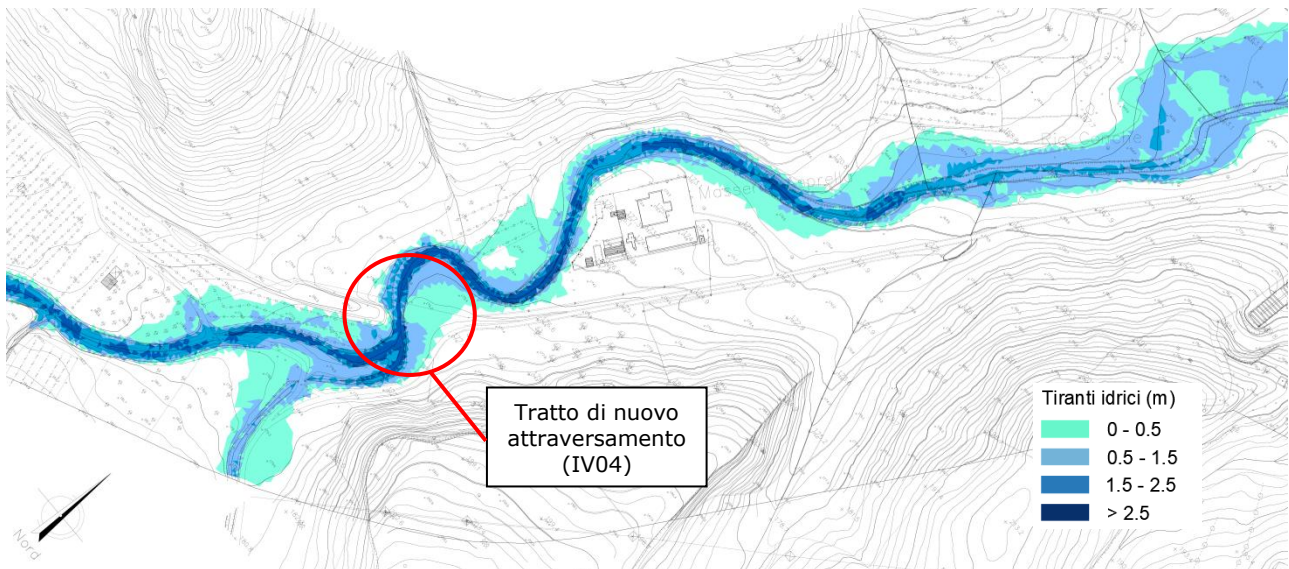


Figura 37– Rio Conche Modello 2D: aree di esondazione *Tr200*, in affiancamento alla NV02, scenario “attuale”.

Si evidenziano esondazioni “contenute” del Rio Conche per gran parte del tratto fluviale studiato, a meno della zona in corrispondenza del nuovo attraversamento stradale (IV04). Si propongono quindi opportune opere di sistemazione idraulica in alveo (nello specifico, di riprofilatura delle sponde), al fine di migliorare le condizioni di deflusso e contenere/limitare le esondazioni. La sezione tipo degli interventi proposti (in corrispondenza del nuovo ponte stradale IV04) è riportata nella figura seguente.

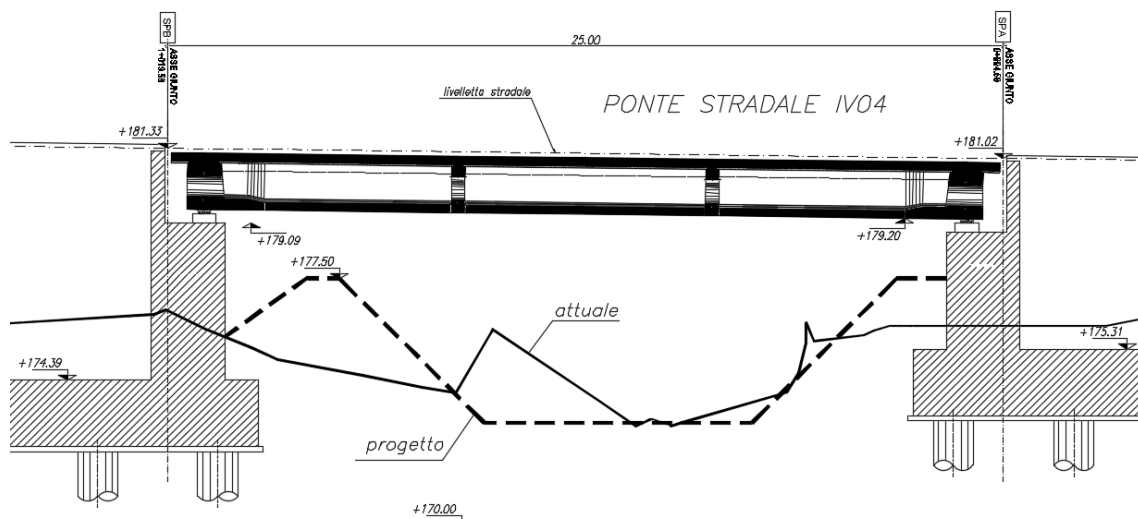



Figura 38 – Rio Conche, in affiancamento alla NV02: opere di riprofilatura spondale previste in progetto.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 47 DI 96

Per maggiori dettagli (relativi anche all’estensione delle opere previste in alveo), si rimanda agli elaborati grafici IA5F01D78P7ID0002005, IA5F01D78FZID0002005, IA5F01D78W9ID0002005.

Di seguito, si riportano dunque i risultati in termini di aree potenzialmente inondabili (*Tr200*) lungo il tratto fluviale di affiancamento alla nuova viabilità NV02, nello scenario “post operam” (in cui sono state quindi implementate anche le opere di riprofilatura delle sponde previste, sopra descritte).

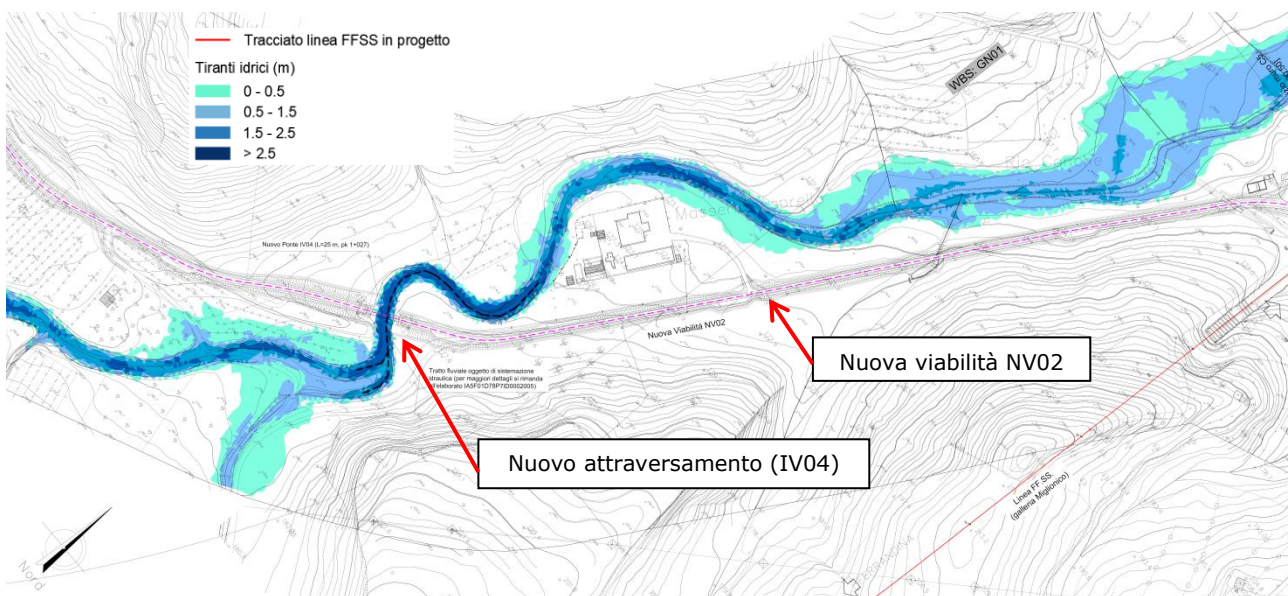


Figura 39– Rio Conche Modello 2D: aree di esondazione *Tr200*, in affiancamento alla NV02, scenario “*post operam*”.

E’ evidente il miglioramento delle condizioni di deflusso in corrispondenza del nuovo attraversamento stradale IV04. Il livello idrico *Tr200*, a monte del ponte IV04, nello scenario “*post operam*” (da modello 2D), si attesta a quota +176.15 m slm, a fronte di un livello idrico *Tr200* di +176.10 m nello scenario “*attuale*” (nella stessa sezione e sempre da modello 2D). In corrispondenza del nuovo attraversamento non si evidenziano esondazioni.

Per maggiori dettagli, si rimanda all’elaborato grafico IA5F01D09P7ID0002002.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 48 DI 96

3.4.2. Modellazione numerica monodimensionale (1D)

Il codice di calcolo utilizzato per l’implementazione dei modelli numerici monodimensionali sviluppati è Hec Ras 5.0.7.. 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 (**Figura 40**), 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); α_1, α_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.

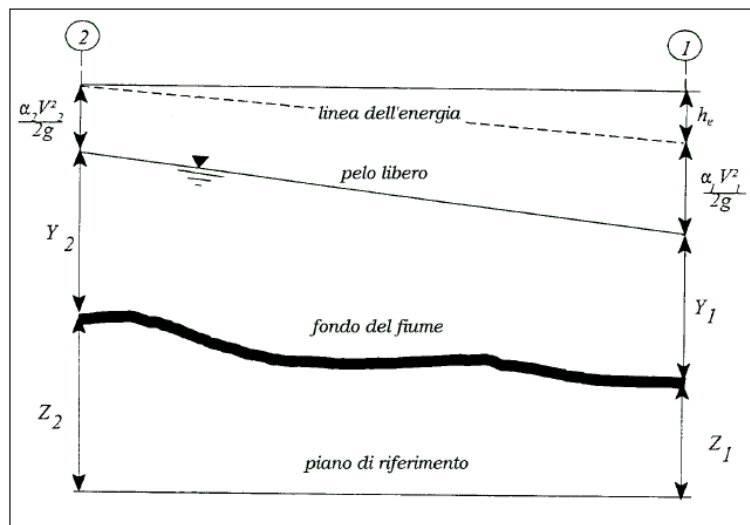


Figura 40– Schema di calcolo per la determinazione del profilo del pelo libero nei corsi d’acqua.

Le perdite di energia compressive 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:

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

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 49 DI 96

dove L è la distanza tra le due sezioni; 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; Q_{lob} , Q_{ch} , 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 41**).

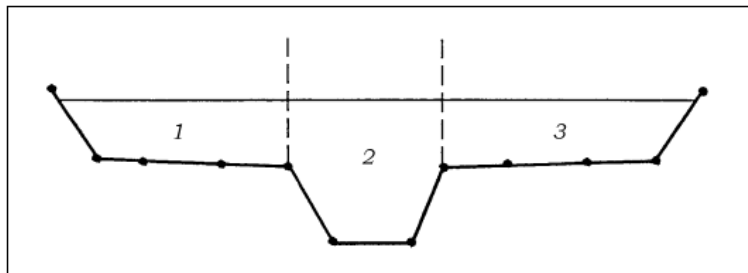


Figura 41–Sezione schematica di un corso d'acqua.

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:

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

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 50 DI 96

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 j ; in particolare:

- $\bar{j} = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$ (*average conveyance equation*)
- $\bar{j} = \frac{j_1 + j_2}{2}$ $\bar{j} = \frac{j_1 + j_2}{2}$ (*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 .

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

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

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

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 51 DI 96

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

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, per il valore di h_e , la seguente equazione

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

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

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

- 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.

3.4.2.1. Fiume Bradano e Torrente Gravina

E’ stato implementato un unico modello idraulico monodimensionale (in regime di moto permanente), costituito dai tratti fluviali del Fiume Bradano e del Torrente Gravina, attraversati dalla linea ferroviaria in progetto, che si sviluppa fino alla sezione denominata “304” nei documenti del PGRA, collocata ad una distanza di circa 600 m a valle della confluenza tra di due corsi d’acqua. Nello specifico, è stato considerato un tratto fluviale del Fiume Bradano di circa 4 km, a valle della diga di San Giuliano; mentre per il Torrente Gravina, è stato preso in esame un tratto fluviale di circa 8 km, come meglio descritto nella figura seguente. I due tratti sono stati congiunti tramite l’opzione “*junction*”, disponibile nel software Hec Ras, e sono state imposte le seguenti condizioni al contorno:

- condizioni di moto permanente;
- regime di corrente mista;

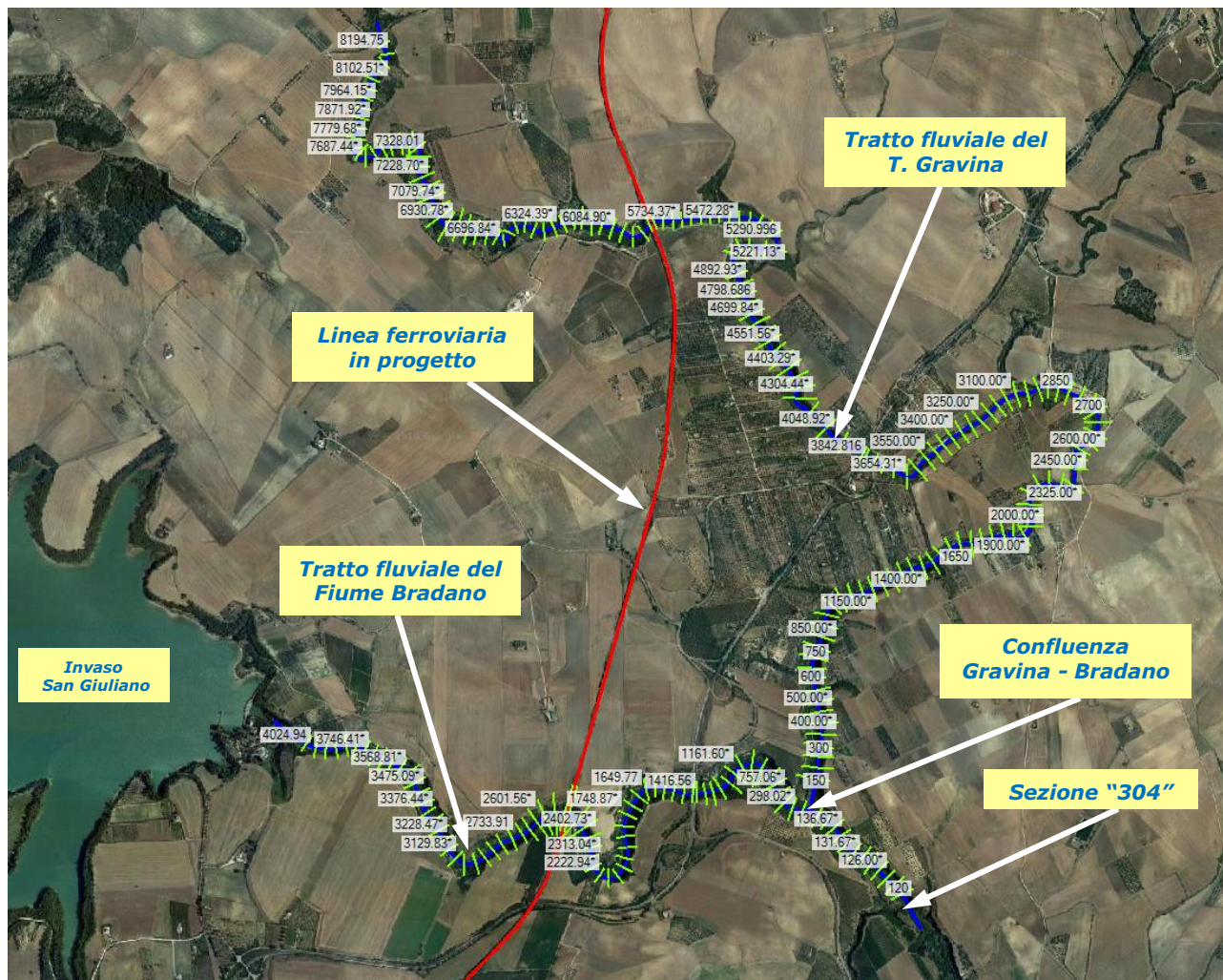


Figura 42– Torrente Gravina e Fiume Bradano: modello numerico monodimensionale.

- condizione di altezza idrica di moto uniforme nella sezione di monte (*'Normal Depth'*), per entrambi i tratti fluviali considerati;
- condizione di altezza idrica nota nella sezione di valle (*'Known Depth'*), corrispondente alla sopracitata sezione “304”(sul F. Bradano, a valle della confluenza del T. Gravina) per la quale sono forniti i valori (per vari tempi di ritorno) sia di portata (Q) che di livello idrico (H), dedotti dalle simulazioni numeriche monodimensionali condotte nell’ambito del PGRA (Tabella 3);
- i valori di portata riportati nel PGRA, a valle della confluenza del T. Gravina, sono stati imposti come condizione al contorno di monte del tratto fluviale che si sviluppa a valle della confluenza *Gravina –Bradano*.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 53 DI 96

<i>Tr (anni)</i>	<i>Q (mc/s)</i>	<i>H (m slm)</i>
30	2521	66.47
200	4212	70.61
300	4573 ^(*)	72.00 ^(*)
500	5028	73.17

Tabella 3 – Valori di portata al colmo e tirante idrico in corrispondenza della sezione “304”, a valle della confluenza del T. Gravina nel Fiume Bradano, per differenti tempi di ritorno (fonte: PGRA, ^(*) = sono ricavati per interpolazione dei valori noti per gli altri tempi di ritorno).

Per quanto concerne il coefficiente di Manning, in analogia alle analisi sviluppate nell’ambito del PGRA (per la definizione delle aree potenzialmente inondabili), è stato assunto il valore $0.05 \text{ s/m}^{1/3}$ sia per l’alveo inciso che per le sponde/golene. Vista la tipica conformazione “*in gravina*” e poiché i viadotti della linea ferroviaria in progetto sul fiume Bradano (VI5) e sul Torrente Gravina (VI08) costituiscono delle opere esistenti, sono state effettuate soltanto le simulazioni idrauliche per la configurazione “ante operam” (ossia la configurazione d’alveo e la geometria delle opere di attraversamento nello stato attuale).

Le portate al colmo simulate sono quelle riportate nello studio idrologico annesso; nello specifico,

	<i>Fiume Bradano</i>	<i>Torrente Gravina</i>
<i>Tr (anni)</i>	<i>Q_{Tr} (mc/s)</i>	<i>Q_{Tr} (mc/s)</i>
30	1816.5	646.7
200	3034.2	1080.3
300	3294.4	1172.9
500	3622.3	1289.6

Tabella 4 – Valori di portata al colmo per il Fiume Bradano e il Torrente Gravina.

Di seguito, si riportano i risultati in termini di profili di rigurgito e sezioni significative con indicati i livelli idrici corrispondenti ai differenti periodi di ritorno indagati.

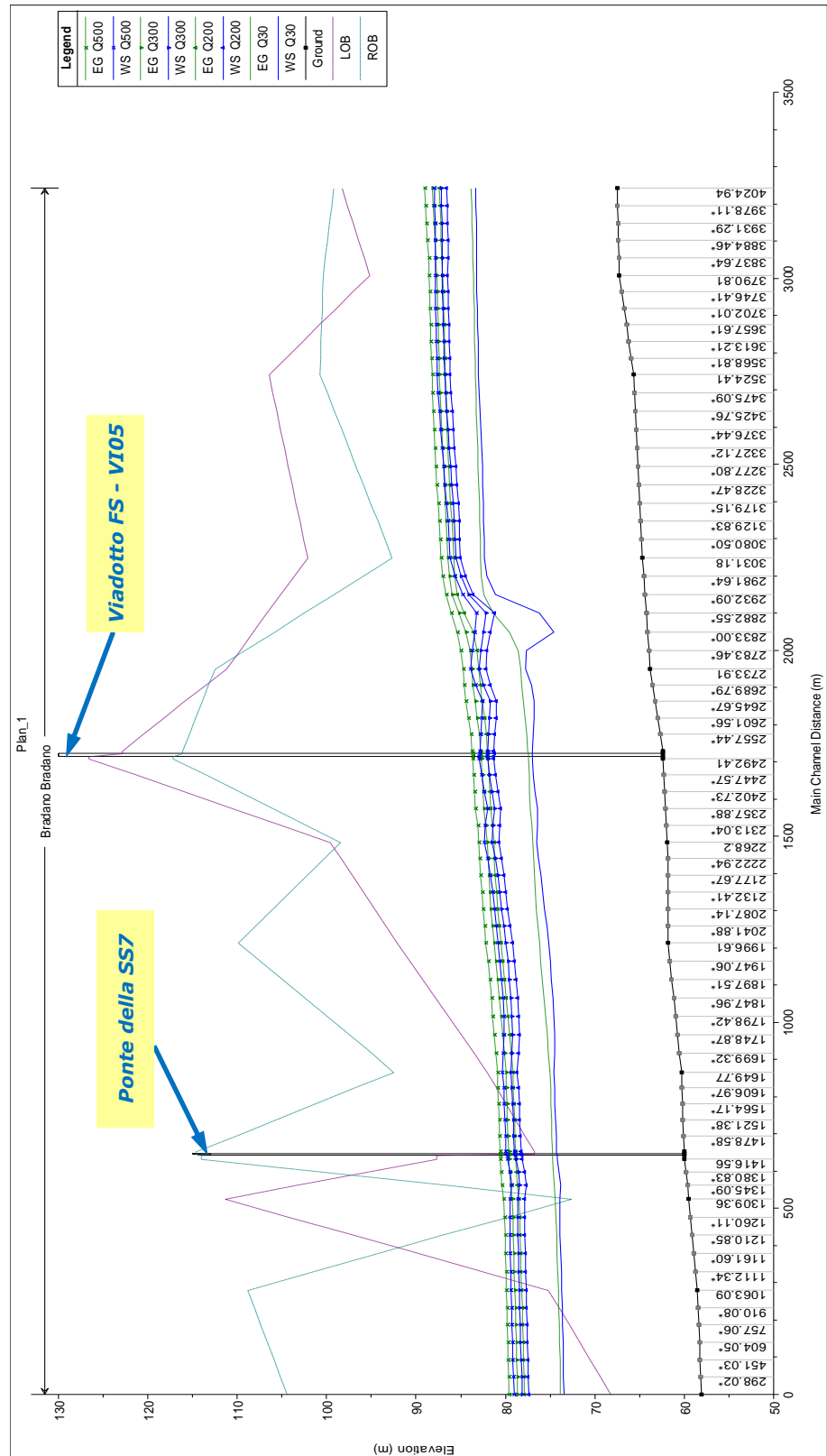


Figura 43– Tratto fluviale del Fiume Bradano a monte della confluenza del T. Gravina: profili di rigurgito.

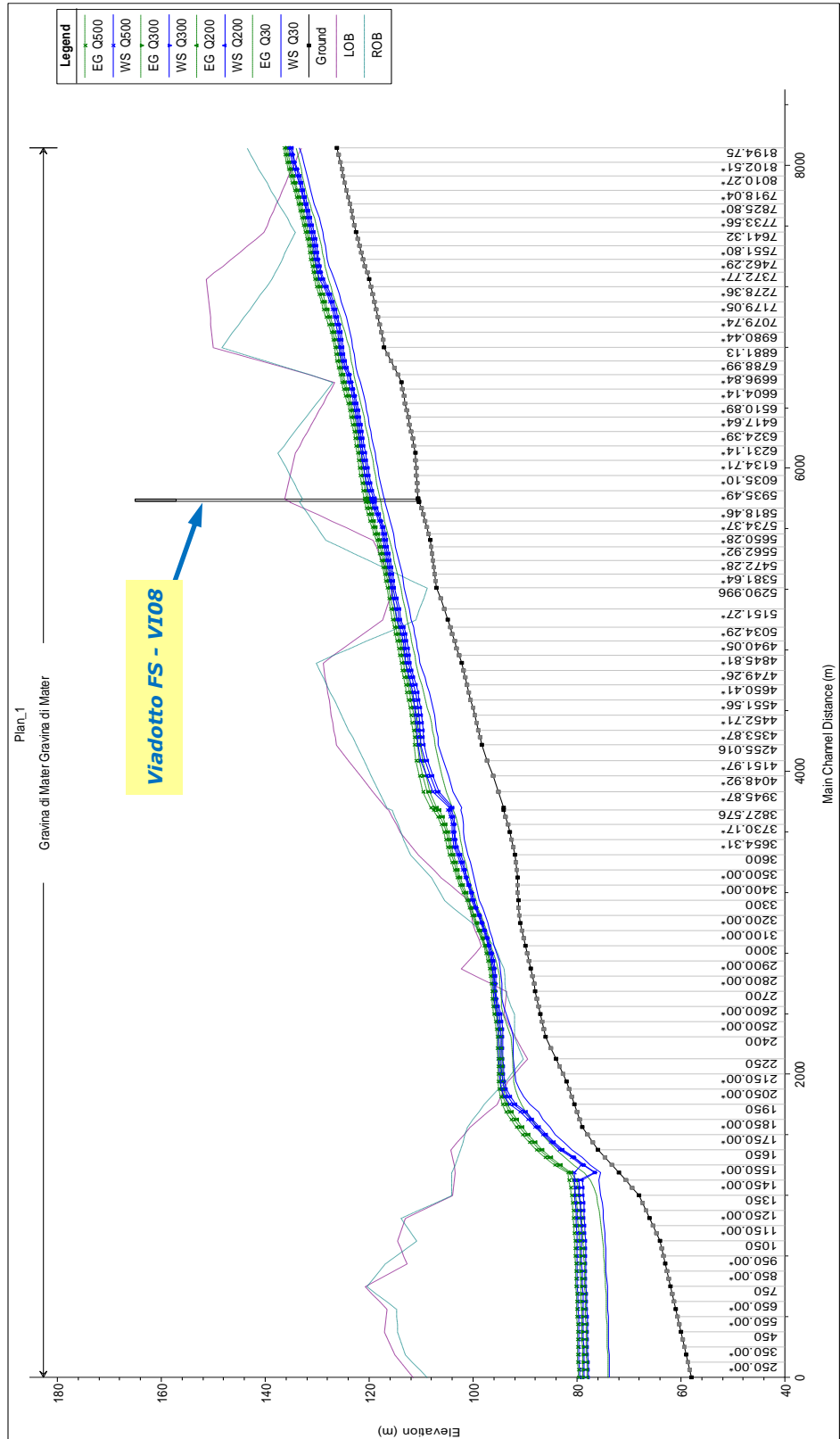


Figura 44– Tratto fluviale del Torrente Gravina a monte della confluenza nel F. Bradano: profili di rigurgito.

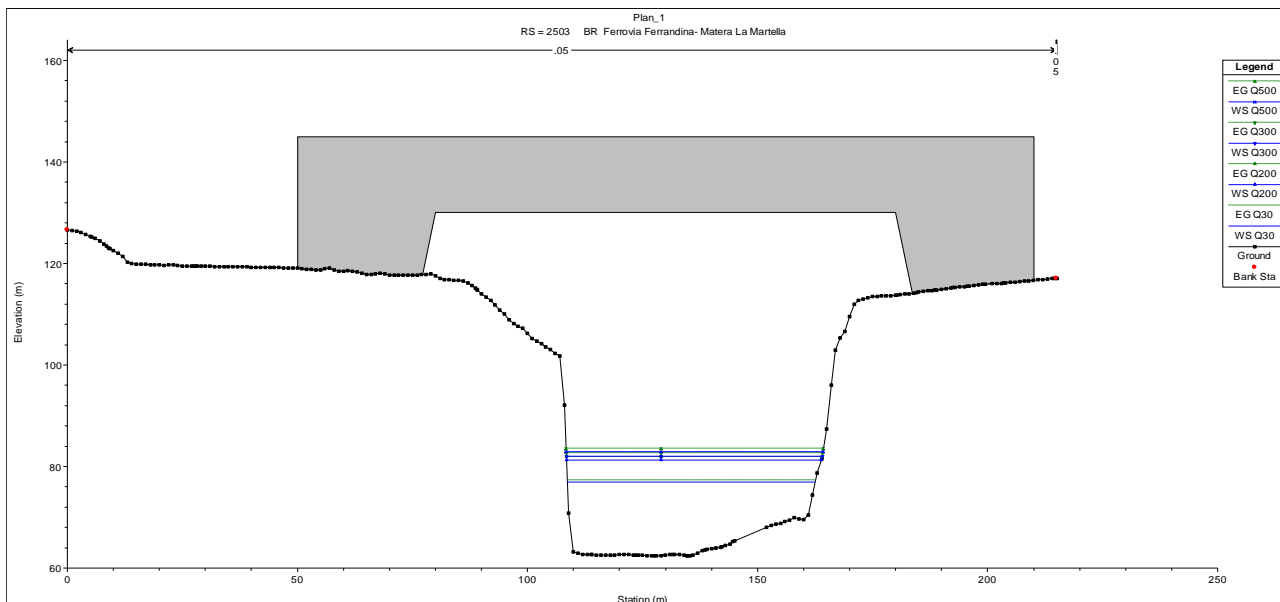


Figura 45– Fiume Bradano: livelli idrici nella sezione di attraversamento, per vari tempi di ritorno.

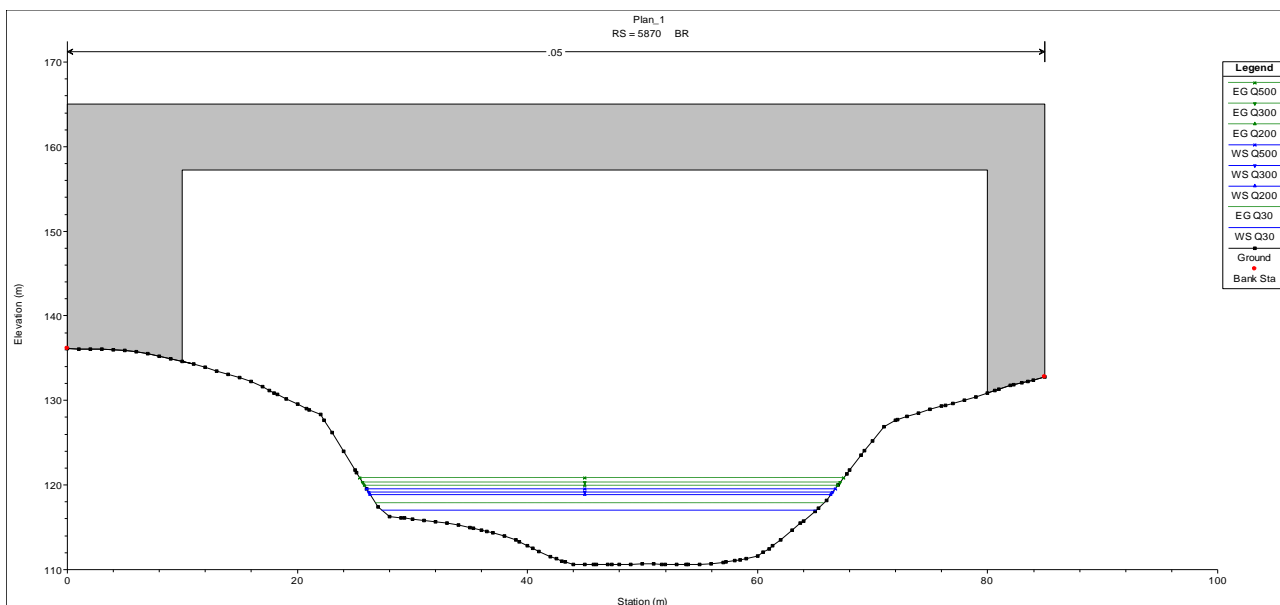



Figura 46– Torrente Gravina: livelli idrici nella sezione di attraversamento, per vari tempi di ritorno.

Per maggiori dettagli, si rimanda agli elaborati grafici annessi al presente studio.

Con riferimento alla piena con tempo di ritorno di 300 anni, in corrispondenza del VI05 (Bradano) il livello idrico si attesta a +81.98 m slm , mentre in corrispondenza del VI08 (Gravina) a +119.19 m slm, a fronte di una quota di intradosso rispettivamente pari a +125.8 m slm e +157.2 m slm.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 57 DI 96

4. VALUTAZIONE DEGLI SCALZAMENTI

4.1. Viadotto VI13 sul Fiume Basento

4.1.1. Metodologie di calcolo

Sulla base dei risultati delle simulazioni numeriche idrauliche 2D, si è proceduto alla valutazione della profondità massima di erosione attesa attorno alle pile del nuovo viadotto VI13 in progetto, interessate dalle esondazioni delle piene del Fiume Basento. Nello specifico, si è fatto riferimento a quanto indicato nelle NTC2018:

“Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associate al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno (si assuma $T_r = 1,001$) devono essere combinate con le altre azioni variabili adottando valori del coefficiente Ψ_0 unitario.

Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associati all’evento di piena di progetto devono essere combinate esclusivamente con le altre azioni variabili da traffico, adottando per queste ultime i coefficienti di combinazione Ψ_1 .”

Sono state applicate le seguenti due formulazioni disponibili nella letteratura tecnica. 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

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 58 DI 96

- Y_s , la profondità di scalzamento;
- Y_l , 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 5 - 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

- $V_{1p} = \max(V_{1p1}; V_{1p2})$
- $V_{1p1} = 5V_c$; $V_{1p2} = 0.6\sqrt{gy_1}$

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 59 DI 96

- $$V_c = \begin{cases} 2.5 \cdot u^* \ln \left(\frac{73.5y_1}{d_{50} [Re(2.85 - 0.58 \ln(Re) + 0.002Re) + \frac{111}{Re} - 6]} \right) & \text{for } 5 \leq Re \leq 70 \\ 2.5 \cdot u^* \ln \left(\frac{2.21y_1}{d_{50}} \right) & \text{for } Re > 70 \end{cases}$$
- $$Re = \frac{u^* d_{50}}{2.32 \cdot 10^{-7}}; u^* = \left[16.2 \cdot d_{50} \left(\frac{9.09 \cdot 10^{-6}}{d_{50}} - d_{50} (38.76 + 9.6 \ln(d_{50})) - 0.005 \right) \right]^{0.5}$$
- $y_1 = \text{tirante idrico (m)}$
- $$f_1 = \tanh \left[\left(\frac{y_1}{a^*} \right)^{0.4} \right]; f_2 = \left\{ 1 - 1.2 \left[\ln \left(\frac{V_1}{V_c} \right) \right]^2 \right\}; f_3 = \left[\frac{\left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)}{0.4 \left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)^{1.2} + 10.6 \left(\frac{a^*}{d_{50}} \right)^{-0.13}} \right]$$
- $$a^* = K_s a_p; a_p = a \cdot \cos \theta + L \cdot \sin \theta; K_s = \begin{cases} 1 & (\text{pila circolare}) \\ 0.86 + 0.97 \left(\left| \frac{\pi \theta}{180} - \frac{\pi}{4} \right| \right)^4 & (\text{pila rettangolare}) \end{cases}$$

(a = larghezza della pila; L = lunghezza della pila; θ = 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), **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} , ...), relativi al Fiume Basento.

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.

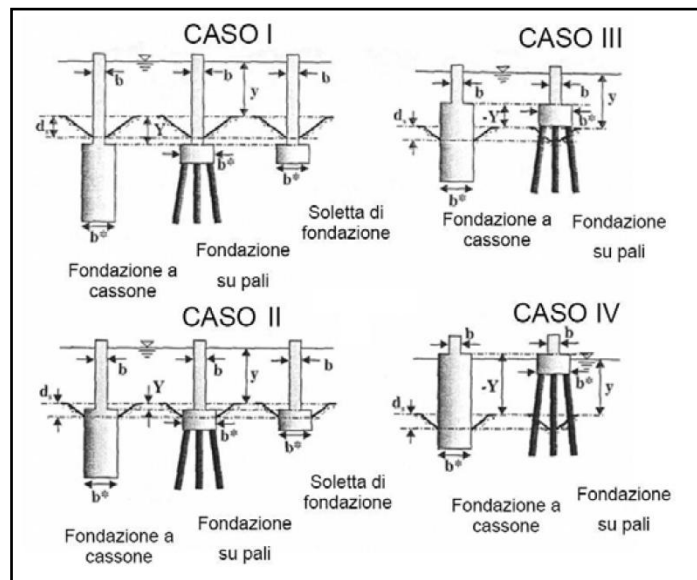


Figura 47 – Differenti tipologie di pile non uniformi dotate di fondazioni.

Nel CASO I l’erosione localizzata viene calcolata facendo riferimento alla larghezza della pila b in quanto la presenza della fondazione risulta essere ininfluenza 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.

Per quanto concerne le spalle del nuovo viadotto, per il calcolo dello scalzamento si è fatto riferimento alla metodologia della FHWA. In particolare, considerato lo schema riportato in figura, si definiscono le seguenti variabili:

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

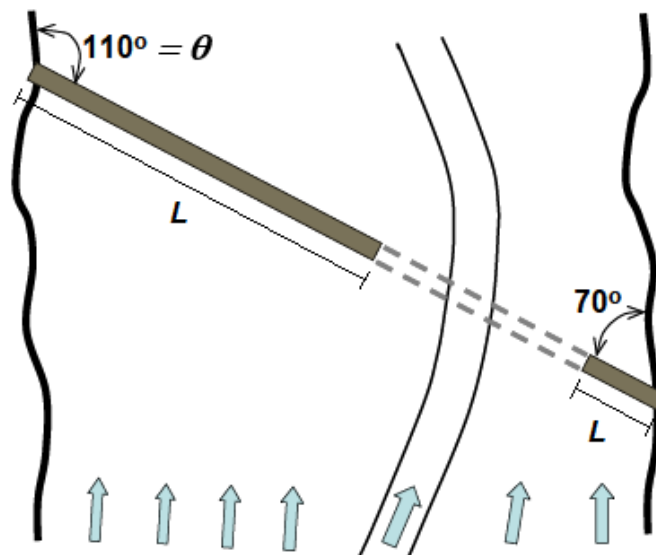


Figura 48 – Calcolo dello scaldamento in corrispondenza delle spalle.

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 scaldamento 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.

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.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 62 DI 96

4.1.2. Valori di scalzamento di progetto

E' stato effettuato dunque il calcolo dello scalzamento, relativo alle piene del Fiume Basento con $Tr = 1,001$ e 300 anni, considerando dapprima le dimensioni delle pile.

Per quanto concerne il materiale potenzialmente erodibile sul fondo, si è fatto riferimento alle analisi granulometriche effettuate sia su campioni estratti durante i sondaggi geognostici, nello strato più superficiale (fino a 10 m dal p.c.), sia su campioni prelevati in alveo (per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato IA5F01D09RGID0002001A); in particolare, il materiale considerato è caratterizzato da $d_{50} = 0.3$ mm, $d_{90} = 5$ mm.

Per quanto riguarda il $Tr = 1.001$, è stata effettuata una nuova simulazione numerica bidimensionale (2D), in regime di moto vario. Le condizioni al contorno sono le medesime dei casi precedentemente analizzati, ossia stessi coefficienti di scabrezza, idrogramma di piena come condizione al contorno di monte (con portata al colmo pari a 90 mc/s circa), livello idrico noto (ricavato per interpolazione dei valori noti per gli altri tempi di ritorno) come condizione di valle.

Nella tabella seguente si riportano i valori di scalzamento ottenuti mediante le formulazioni considerate, per i differenti scenari di rischio (o tempi di ritorno) considerati.

TR = 1,001

ID Pila	Tirante (m)	Velocità (m/s)	Angolo di incidenza (°)	Diametro - pila (m)	Ys (m) S&M- Pila	Ys (m) CSU- Pila	Ys (m) max - Pila
5	1.03	1.1	59.1	3.6	3.71	3.5	3.71
6	1.55	1.2	59.1	3.6	4	3.9	4

TR= 300

ID Pila	Tirante (m)	Velocità (m/s)	Angolo di incidenza (°)	Diametro pila (m)	Ys (m) S&M- Pila	Ys (m) CSU- Pila	Ys (m) max - Pila
1	3.21	1.33	27.0	3.6	4.4	4.4	4.4
2	3.6	1.6	49.9	3.6	5	5.3	5.3
3	4	1.5	61.4	3.6	4.7	4.95	4.95
4	4	1.7	55.6	3.6	5.1	5.5	5.5
5	6.4	2.22	55.6	3.6	5.8	6.9	6.9
6	7.02	2.1	55.6	3.6	5.6	6.7	6.7
7	2.71	1.4	38.4	3.6	4.6	4.7	4.7
8	1.3	2.7	32.7	3.6	5.7	5.5	5.7
9	1.4	0.2	55.6	3.6	1.7	1.4	1.7
10	0.4	0.1	90	3.6	0	0.7	0.7

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 63 DI 96

Essendo il ricoprimento al di sopra dell’estradosso dei plinti di fondazione pari a 2 metri, per le pile interessate dall’esonazione del Fiume Basento, lo scalzamento atteso (sopra determinato) andrebbe ad interessare, per entrambi gli scenari (ad esclusione delle pile P09 e P10, per le quali lo scalzamento nello scenario $TR = 300$ è inferiore a 2 metri) non soltanto le pile ma anche i plinti stessi.

Il calcolo quindi è stato ripetuto considerando le dimensioni equivalenti del sistema “*pila – plinto/fondazione*”, valutate con la formulazione proposta da *Melville e Raudkivi (1996)*, precedentemente introdotta. Le dimensioni dei plinti ($L =$ lunghezza, $B =$ larghezza, $H =$ altezza) sono riportate nelle tabelle seguenti.

TR= 1,001

ID Pila	L Plinto (m)	B Plinto (m)	H plinto (m)	L equivalente (m)	B equivalente (m)	Ys (m) S&M Pila/Plinto	Ys (m) CSU Pila/Plinto	Ys (m) max Pila/Plinto
5	13.2	9.6	2.5	10.00	6.92	5.5	6	6
6	13.2	9.6	2.5	9.59	6.61	5.80	6.4	6.4

TR= 300

ID Pila	L Plinto (m)	B Plinto (m)	H plinto (m)	L equivalente (m)	B equivalente (m)	Ys (m) S&M Pila/Plinto	Ys (m) CSU Pila/Plinto	Ys (m) max Pila/Plinto
1	9.6	9.6	2.3	6.04	6.04	5.6	6.2	6.2
2	9.6	9.6	2.3	5.55	5.55	6	7	7
3	9.6	9.6	2.3	5.65	5.65	5.8	6.6	6.6
4	9.6	9.6	2.3	5.41	5.41	6.1	7.2	7.2
5	13.2	9.6	2.5	6.69	4.61	7	9	9
6	13.2	9.6	2.5	6.69	4.65	6.9	8.8	8.8
7	13.2	9.6	2.5	8.73	5.99	6.6	7.5	7.5
8	13.2	9.6	2.5	8.57	5.75	8.5	8.8	8.8

Di seguito, si riportano le risultanze del calcolo dello scalzamento atteso anche in corrispondenza della Spalla A, interessata dall’esonazione TR300 del Fiume Basento, secondo la metodologia esposta in precedenza (*Froehlich-Hire*).

ID Spalla	Tirante (m)	Velocità (m/s)	Angolo di incidenza (°)	Ys (m)
SPA	3.5	2	32.7	4.8

Quest’ultimi valori sono stati quindi considerati nel dimensionamento delle opere di fondazione di pile e spalle del nuovo VI13. Per maggiori dettagli, si rimanda agli elaborati specialistici di geotecnica.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 64 DI 96

5. OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICA

Il viadotto VI13 in progetto sul Fiume Basento si inserisce in un tratto fluviale già fortemente urbanizzato per la presenza di molteplici opere infrastrutturali (Autostrada E847, Strada Statale SS7R, Ferrovia Potenza-Metaponto, Stazione di Ferrandina, Zona industriale della Val Basento,...), nonché di opere di sistemazione e protezione idraulica.

Nello specifico il nuovo VI13 verrà realizzato a monte dell’esistente viadotto VI01, in corrispondenza del quale sono già state realizzate opere di sistemazione idraulica spondali (in gabbioni) e di protezione, quali pennelli/repellenti idraulici, da parte del Consorzio di Bonifica di Bradano e Metaponto.

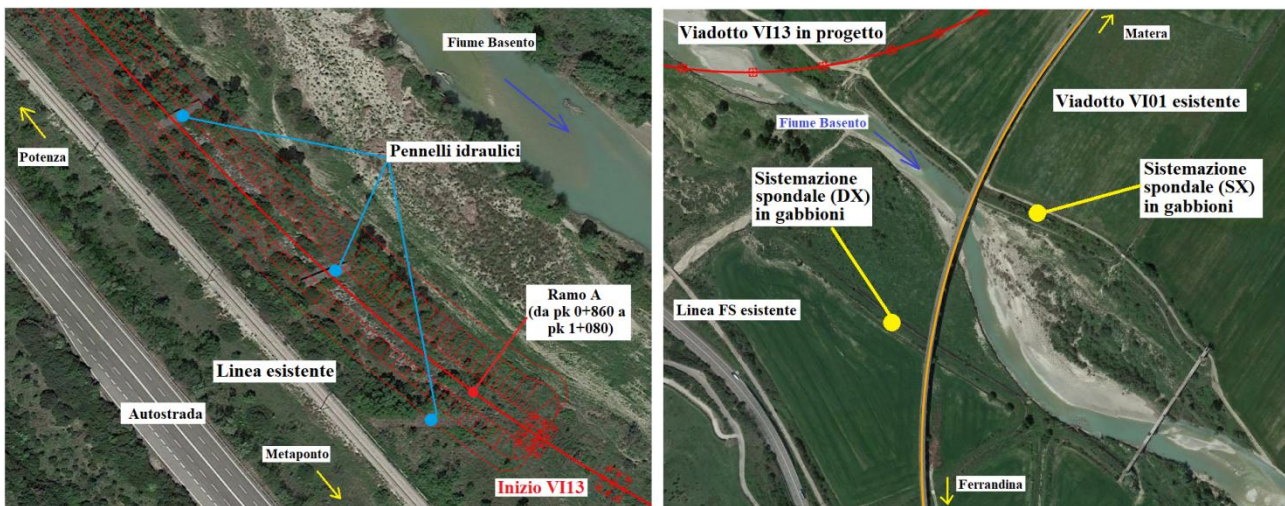


Figura 49 – Ubicazione su ortofoto delle opere di sistemazione e protezione idraulica esistenti sul F. Basento.

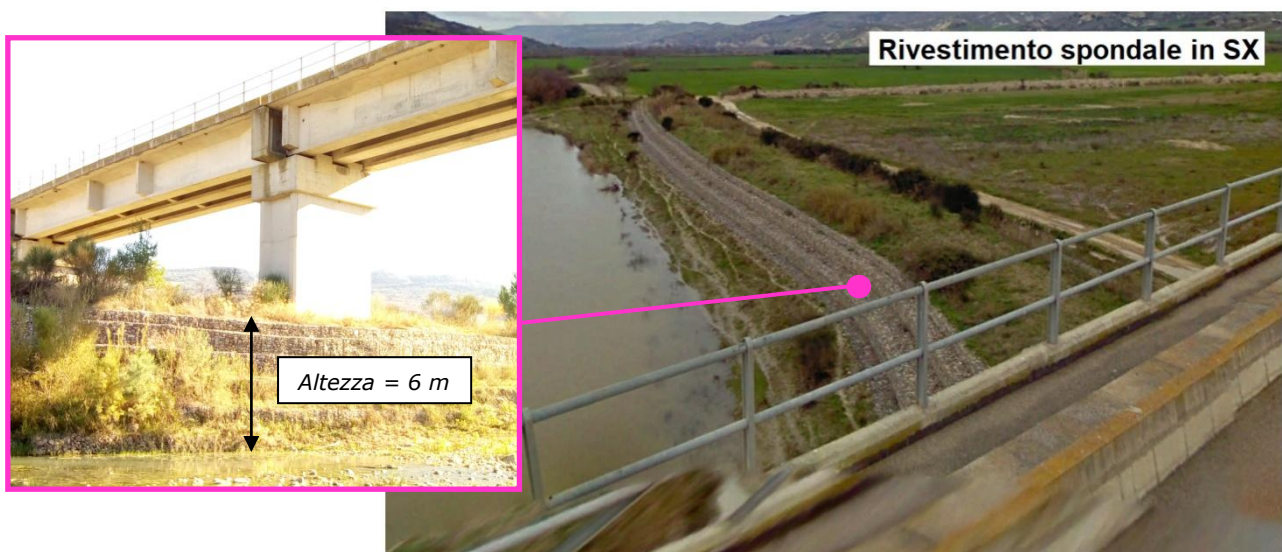


Figura 50 – Particolare delle opere di sistemazione spondali in sinistra idraulica del F. Basento.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 65 DI 96



Figura 51 – Particolare delle opere di sistemazione spondali in destra idraulica del F. Basento.

Come è possibile notare dalle figure precedenti, il tracciato della linea in progetto si sviluppa in corrispondenza dei repellenti idraulici esistenti, per i quali è prevista dunque la demolizione laddove interferenti con il nuovo rilevato ferroviario; in realtà, il nuovo rilevato come illustrato dalle simulazioni idrauliche descritte in precedenza costituisce praticamente un unico (grande) pennello idraulico, a difesa dall’attuale linea ferroviaria *Potenza – Metaponto*, riproducendo, con le protezioni previste sulle scarpate (di seguito descritte), la funzione di quelli demoliti. La sua influenza sulle aree di esondazione è del tutto trascurabile, come meglio descritto (e dimostrato) nel capitolo successivo.

Per le considerazioni sopra esposte, si prevedono dunque opere di protezione del rilevato (lato Potenza) di approccio del nuovo viadotto VI13, nonché, in ragione di possibili fenomeni di migrazione dell’alveo che hanno interessato negli anni alcuni tratti del Fiume Basento a monte e a valle del tratto di interesse (come meglio illustrato nei capitoli successivi), interventi di sistemazione idraulica atti a mantenere inalterata la configurazione attuale dell’alveo (geometria e “posizione”), confermando e rafforzando gli attuali limiti alla divagazione dell’alveo inciso (dovuti alle opere di sistemazione esistenti), e a ripristinare lo stato dei luoghi a seguito dei rimaneggiamenti dovuti alla realizzazione delle opere in progetto. Si è proceduto quindi al dimensionamento dei seguenti interventi (rif. elaborato IA5FD09P7ID0002006A):

- 1) sistemazione delle sponde del Fiume Basento, tra pk 0+180 a 1+400 circa, in massi legati;
- 2) protezione delle scarpate del nuovo rilevato ferroviario in massi sciolti;
- 3) sistemazione attorno alle pile e alle spalle del nuovo viadotto VI13, interessate dall’esondazione del F. Basento, in massi legati e/o sciolti.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 66 DI 96

5.1. Metodologie di dimensionamento

Per il dimensionamento delle opere di protezione e sistemazione in massi legati e/o sciolti sopra introdotte, si è fatto riferimento alle formulazioni riportate nel manuale della FHWA, che permettono di definire il diametro caratteristico (d_{50}) del materiale costituente.

Nello specifico, per il dimensionamento delle opere di sistemazione spondale e di protezione delle scarpate del rilevato è stata applicata la relazione:

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

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, $\in [1,2]$); $K_1 = [1-\sin^2(\theta)/\sin^2(\phi)]^{0.5}$; θ = inclinazione delle sponde; ϕ = angolo di attrito interno del materiale, applicabile per i seguenti valori dei parametri (simili a quelli caratteristici del corso d’acqua in esame):

- *pendenza alveo: 0.00006 ÷ 0.0162*
- *tiranti idrici: 1.5 ÷ 14.8 m*
- *velocità medie: 0.7 ÷ 4 m/s*
- *portate: 35 ÷ 2200 mc/s*
- *d50: 0.15 ÷ 0.70 m*

Per il dimensionamento delle opere di sistemazione idraulica attorno alle pile e alle spalle del nuovo viadotto VI13, è stata adottata invece la seguente formulazione, che consente di tenere conto (tramite opportuni coefficienti correttivi) anche di eventuali vortici che possono generarsi, localmente, attorno agli “ostacoli” presenti in alveo:

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

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/m³).

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:

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 67 DI 96

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

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 le 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).

5.2. Definizione delle opere di protezione e sistemazione – Fiume Basento

Con riferimento alle opere di sistemazione spondale (in massi legati) e di protezione delle scarpate del nuovo rilevato (in massi sciolti), assumendo $S_g = 2.0$ t/mc; $SF = 2$ (in via cautelativa), $\theta = 34^\circ$ (2/3); $\phi = 38^\circ$, si ottengono i risultati riportati in tabella. 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, di cui si riporta di seguito un estratto.

Opera	Tirante (max) [m/s]	Velocità (max) [m/s]	D_{50} [m]
<i>Sistemazione spondale del Fiume Basento</i>	6.0	3.0	1.00
<i>Protezione scarpate del nuovo rilevato FFSS</i>	1.7	2.1	0.70

Per quanto concerne le opere di sistemazione idraulica del nuovo viadotto VI13, adottando il valore di velocità media attorno alla singola pila/spalla, unitamente ai seguenti parametri: $S_g = 2$ t/m³; $K_1 = 0.9$ o 1.7 a seconda della collocazione della pila all'interno della sezione di deflusso (0.9 sulla sponda, 1.7 nell'alveo inciso), si ottengono i seguenti valori del diametro caratteristico (d_{50}).

Pila/spalla	Velocità [m/s]	D ₅₀ [m]
<i>Pile 5-6</i>	2.2	1.10
<i>Pile 1-2-3-4</i>	1.7	0.70
<i>Pile 7-8</i>	2.7	0.60
<i>Pile 9-10</i>	0.2	0.40
<i>Spalla A</i>	2.0	0.90

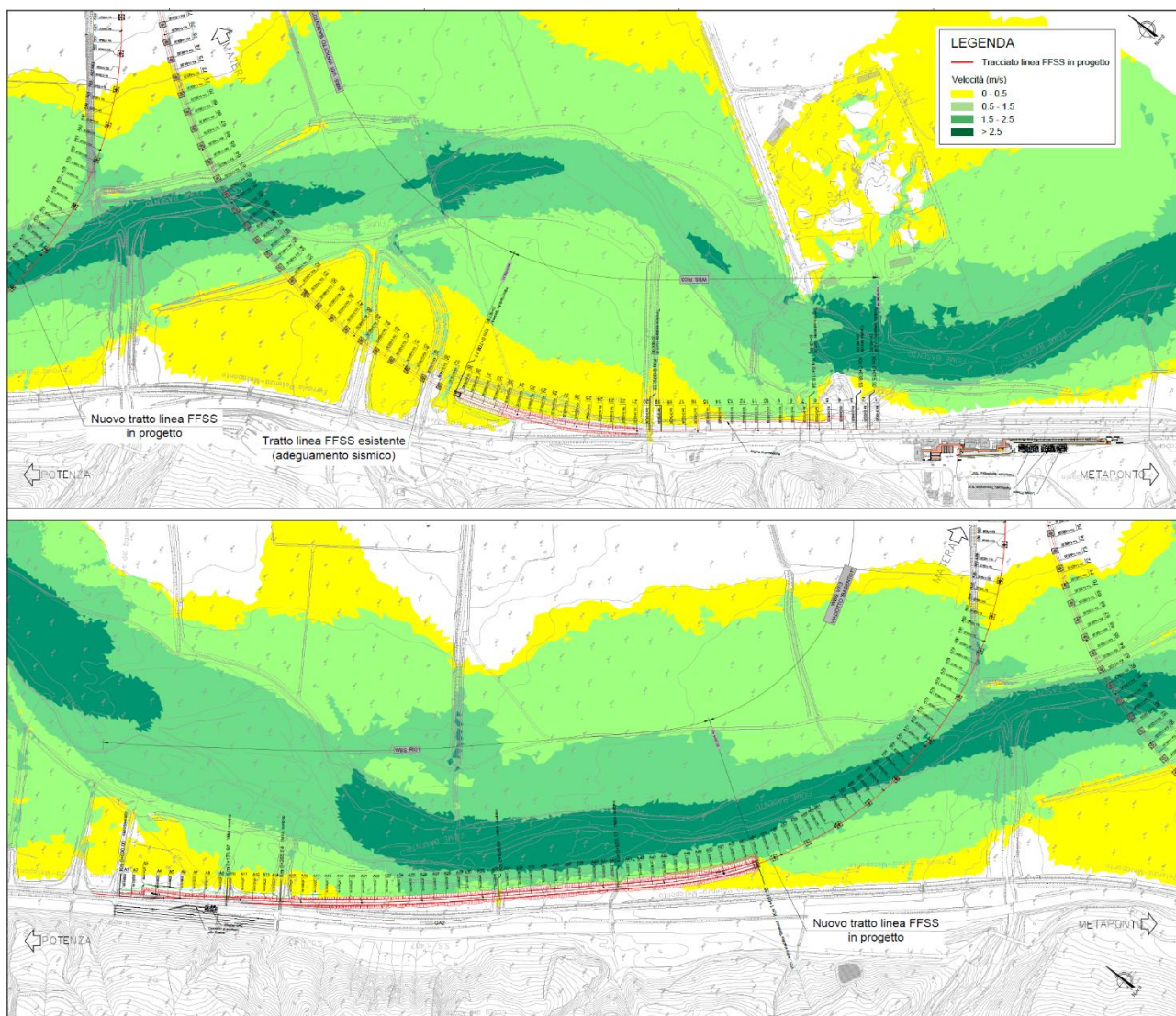


Figura 52 – Modello 2D del Fiume Basento: estratto della mappa dei valori di velocità, post operam, TR300.

Di seguito, la rappresentazione grafica in pianta delle opere di sistemazione/protezione previste.

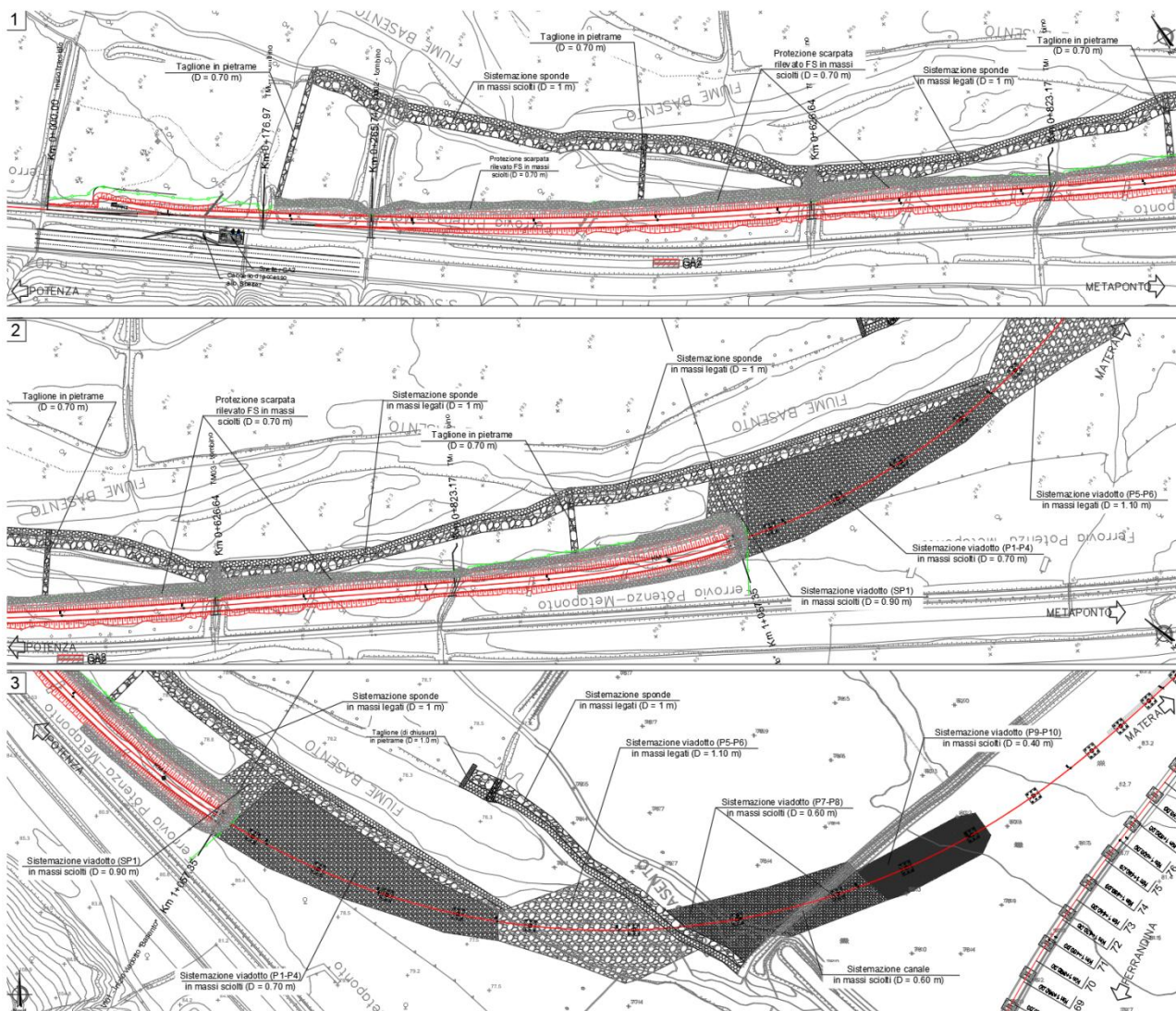


Figura 53 – Fiume Basento: estratto della planimetria delle opere di sistemazione e protezione previste.

Si precisa che i calcoli di dimensionamento dei massi costituenti le opere di sistemazione in progetto prescindono dalla loro legatura con funi di acciaio (aspetto non considerato nelle formulazioni adottate, che fanno riferimento esclusivamente a massi sciolti). La scelta di “legare” o meno i massi è stata operata in ragione degli aspetti manutentivi di tali opere.

Nello specifico, le opere di protezione delle scarpate del rilevato ferroviario sono più manutenibili e frequentemente controllate/ispezionate (per via dell’esercizio ferroviario), rispetto alle opere di sistemazione delle sponde del Fiume Basento.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 71 DI 96

Come precedentemente descritto, sul Rio Conche sono previsti in progetto anche due “nuovi” attraversamenti stradali, nello specifico quelli della nuova viabilità NV02 (di collegamento del piazzale della finestra intermedia FA03 della Galleria Miglionico con la viabilità locale), alle progressive 1+027 e 2+401.

Anche in corrispondenza di tali due nuovi attraversamenti stradali sono previste opportune opere di sistemazione idraulica in alveo, di riprofilatura e/o rivestimento del fondo e delle sponde, in massi sciolti opportunamente dimensionati.

I relativi calcoli sono riportati nell’elaborato IA5F01D78RIID0002001.

Relativamente al ponte IV04 alla prog. 1+027, verificato idraulicamente anche nella presente relazione sulla base dei risultati del modello numerico 2D, sopra descritto, sviluppato per le ragioni esposte in precedenza, le opere di sistemazione idraulica, ovvero di riprofilatura delle sponde, si estendono per un tratto di circa 200 metri. Tale estensione è stata definita in relazione anche alla mappa dei valori di velocità (Tr200, scenario “*post operam*”, riportata nella figura seguente, rif. IA5F01D09P7ID0002005) in corrispondenza dell’attraversamento in progetto, dove il Rio Conche assume inoltre un andamento piuttosto sinuoso.

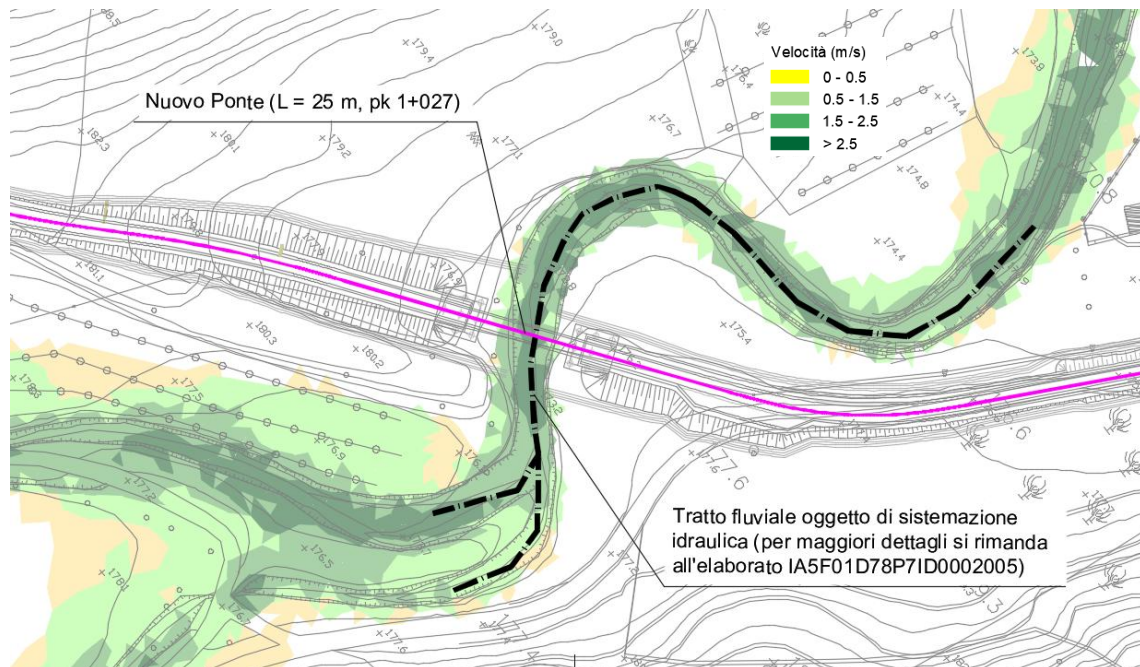


Figura 55 – Rio Conche in affiancamento alla NV02: mappa dei valori di velocità Tr200.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA5F	01	D 09	RIID0002 001	B	72 DI 96

6. ANALISI DELL’ EVOLUZIONE DELLE CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE DEL FIUME BASENTO

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

Le foto (o ortofoto) spaziano dal 1943 al 2016 (orizzonte temporale di 73 anni) e sono di seguito riportate.



Figura 56 – Val Basento nel 1943 (fotogramma n.112).



Figura 57 – Val Basento nel 1947 (fotogramma n.112).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 74 DI 96

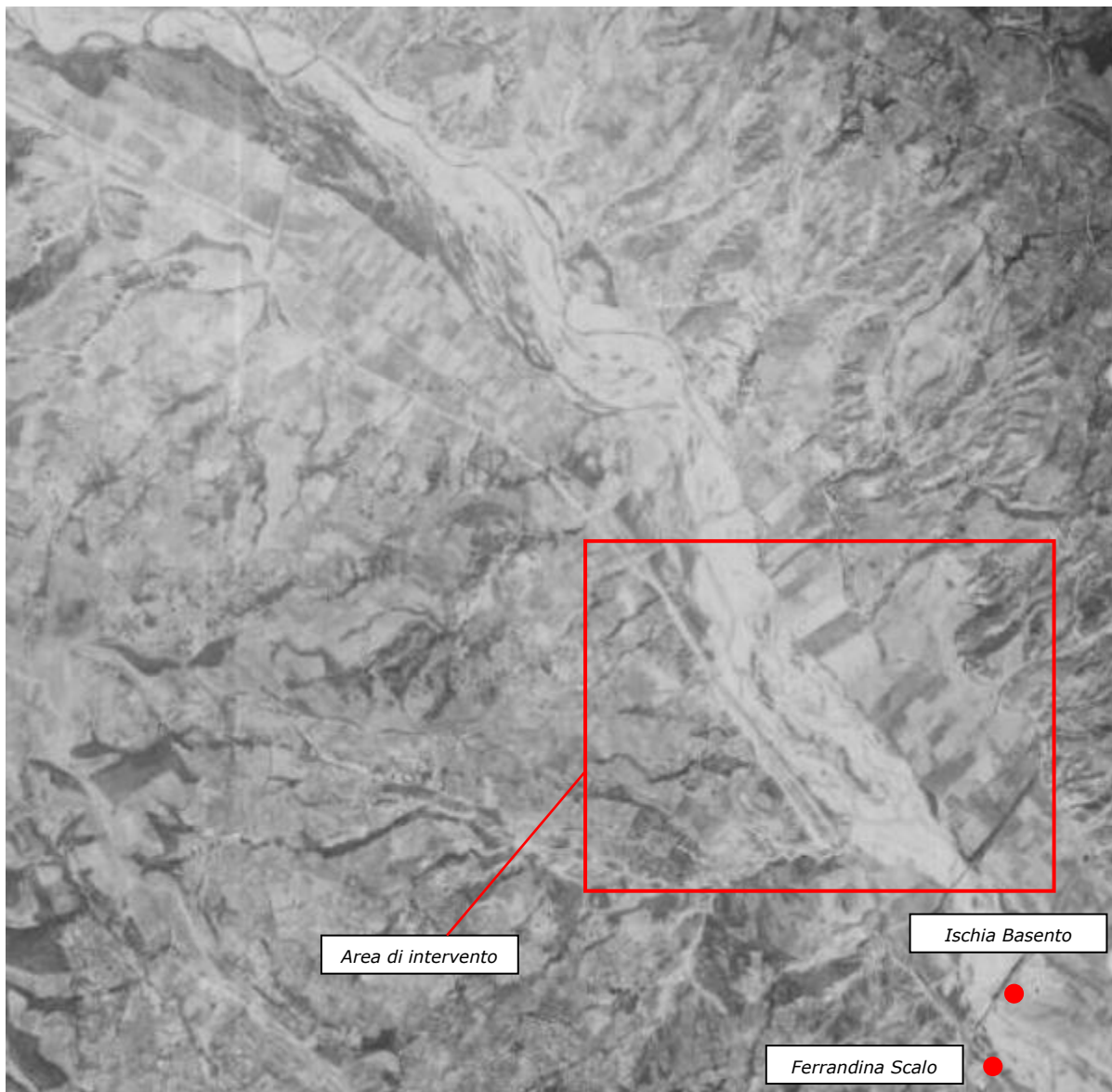


Figura 58 – Val Basento nel 1955 (fotogramma n.8996).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 75 DI 96



Figura 59 – Val Basento nel 1972 (fotogramma n.5459).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 76 DI 96



Figura 60 – Val Basento nel 1990 (fotogramma n.737).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 77 DI 96



Figura 61 – Val Basento nel 2003 (fonte: Google Earth).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 78 DI 96



Figura 62 – Val Basento nel 2006 (fonte: Google Earth).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 79 DI 96

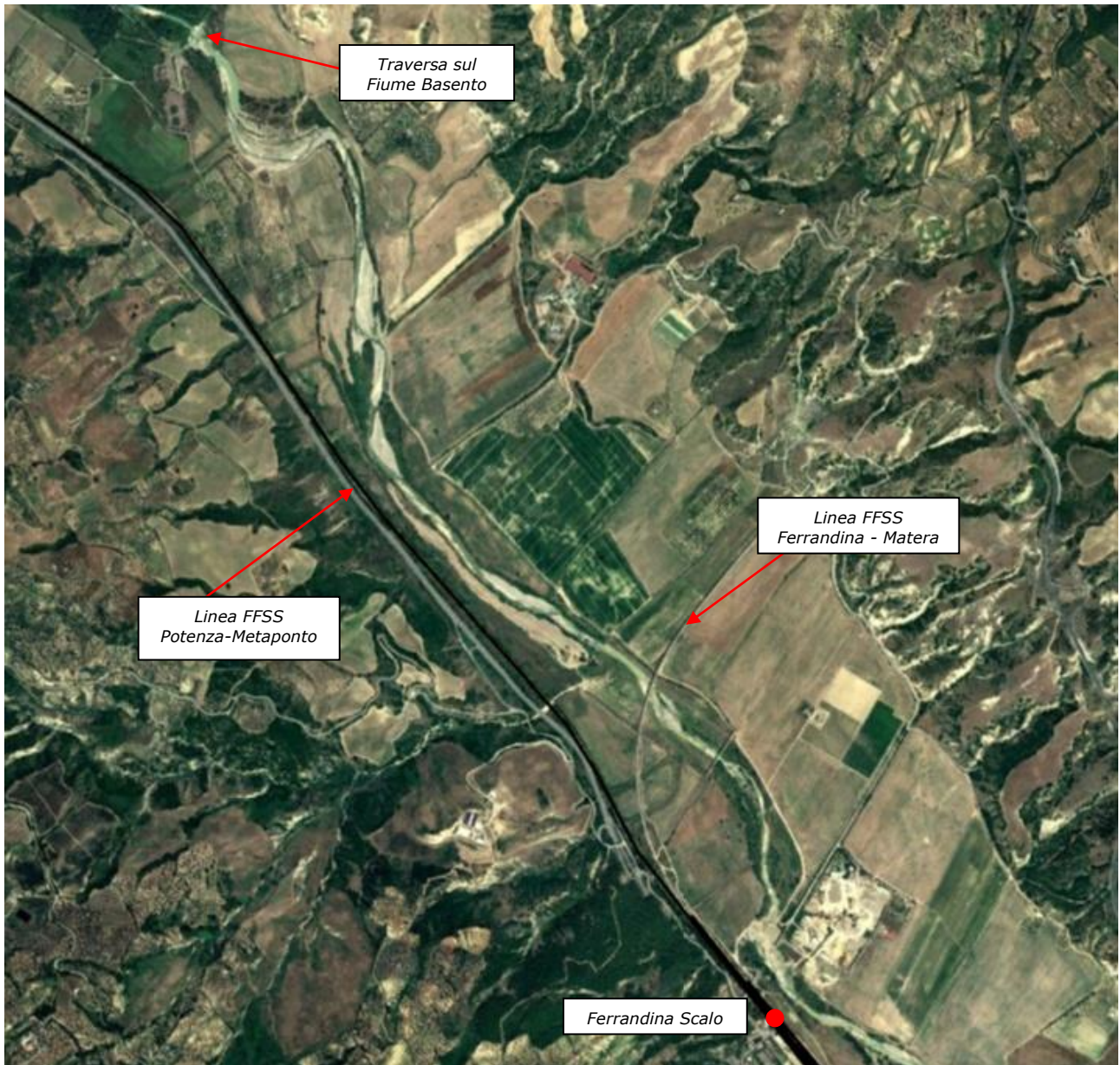


Figura 63 – Val Basento nel 2010 (fonte: Google Earth).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 80 DI 96



Figura 64 – Val Basento nel 2015 (fonte: Google Earth).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 81 DI 96

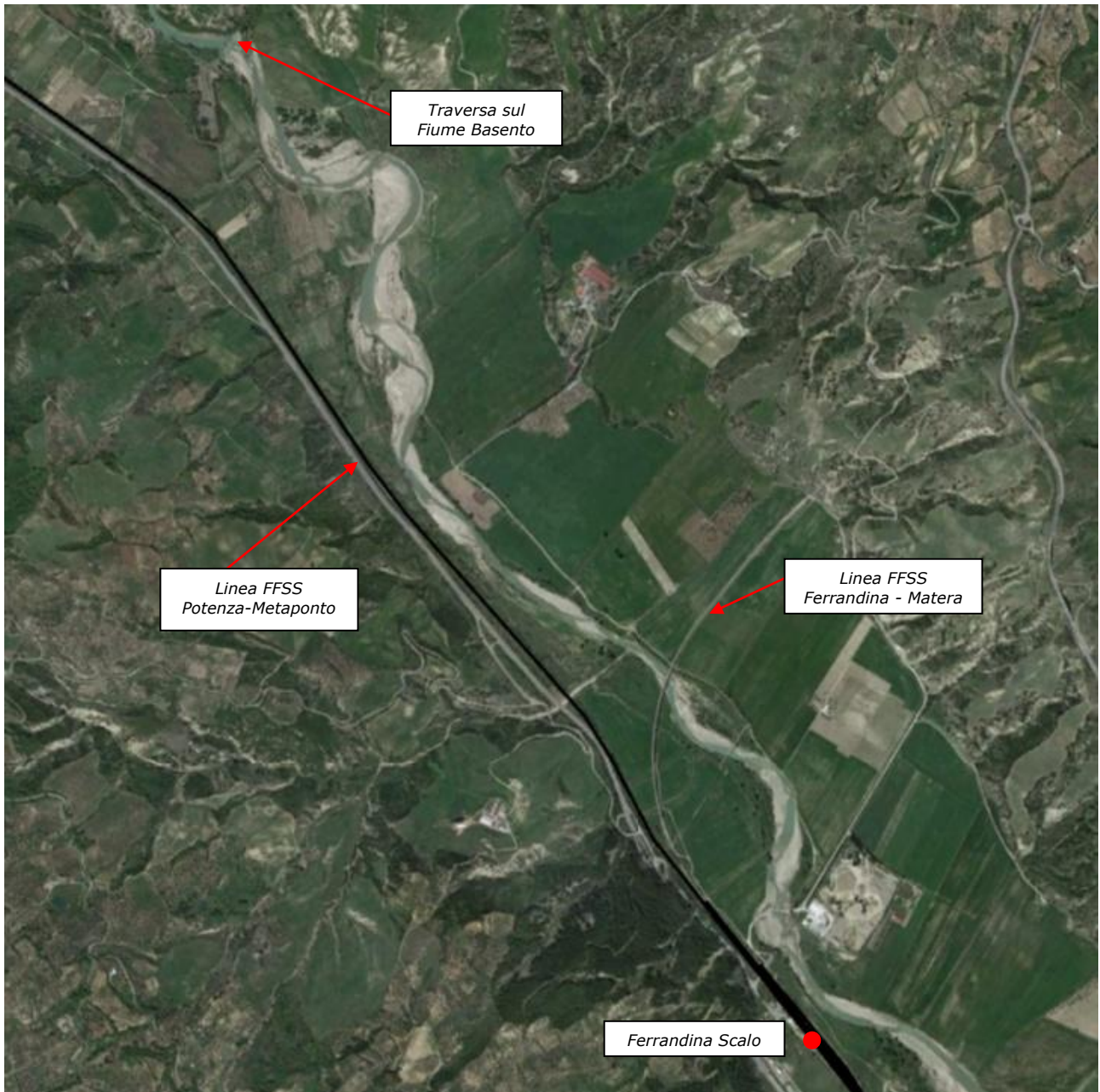


Figura 65 – Val Basento nel 2016 (fonte: Google Earth).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 82 DI 96

Fino agli anni 70'circa il Fiume Basento, nel tratto fluviale sede degli interventi in progetto, è stato caratterizzato da un marcato andamento multicursale. Successivamente, a seguito della forte attività antropica sviluppatasi sul territorio (realizzazione ed implementazione di infrastrutture stradali e ferroviarie, di zone industriali,.....), nonché della costruzione (ed entrata in esercizio) di numerose opere di regimazione idraulica (dighe e traverse) e di difesa/protezione spondale (realizzate dai consorzi di bonifica locali), che hanno fortemente influenzato il deflusso delle piene, già a partire dagli anni '90, il Fiume Basento ha assunto un andamento plano-altimetrico simile a quello attuale.

Negli ultimi 30 anni, nella zona di interesse, non si riscontrano variazioni morfologiche significative dell'alveo del Fiume Basento, eccetto nel tratto subito a valle della traversa, collocata ad una distanza di circa 2 km dall'inizio dell'intervento in progetto, in corrispondenza del quale, a partire dal 2010, si sono verificati fenomeni di erosione dapprima della sponda sinistra e successivamente della sponda destra.

Nella sezione di attraversamento del nuovo viadotto VI13, per la presenza di opere di protezione idraulica, quali pennelli e sistemazioni spondali in gabbioni (ancora in buone condizioni e del tutto “funzionanti”), descritte nel capitolo precedente, non si riscontrano variazioni plano-altimetriche dell'alveo inciso del Fiume Basento. Tuttavia, sono previste opere di sistemazione in corrispondenza sia del nuovo attraversamento (VI13) sia di quello esistente VI01 (oggetto di altro appalto) al fine di mantenere inalterata la configurazione attuale della sezione di deflusso nonché limitare possibili fenomeni di divagazione dell'alveo inciso all'interno delle (attuali) sponde, rafforzando la funzione già assolta dalle opere di sistemazione esistenti, realizzate dal Consorzio di Bonifica di Bradano e Metaponto.

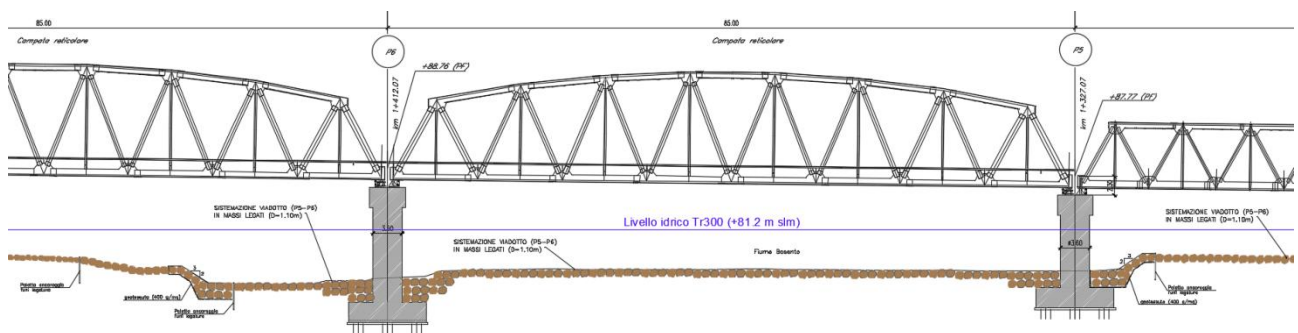


Figura 66 – Fiume Basento: sezione del nuovo viadotto VI13 con opere di protezione.

Con riferimento al calcolo degli scalzamenti effettuato nei capitoli precedenti, le fondazioni delle pile P5, P6 (Figura 66) all'interno dell'attuale sezione di deflusso delle piene (soggetta quindi a divagazione “controllata” dell'alveo inciso, limitata dalle opere di sistemazione spondale previste), sono state dimensionate per lo stesso valore di scalzamento (massimo) atteso (9 metri, circa). Quindi si può asserire che per “tutte” le pile interessate dalla possibile divagazione dell'alveo inciso (ossia P5, P6, all'interno dell'attuale sezione di deflusso), il dimensionamento delle relative fondazioni è stato effettuato considerando il massimo scalzamento atteso, a partire dalla stessa quota (all'incirca) di fondo alveo.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 83 DI 96

7. COMPATIBILITA’ IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

7.1. Viadotti in progetto ed esistente sul Fiume Basento

Si procede alla valutazione della compatibilità idraulica delle opere in progetto, con riferimento alle normative (NTC2018) e ai regolamenti (MdP RFI, 2019) vigenti, in termini di franco idraulico, luce netta minima tra pile contigue in alveo, distanza tra fondo alveo e quota di sotto-trave, così come descritto nel capitolo 2.

Franco idraulico di progetto

La verifica del franco di progetto, eseguita secondo le indicazioni delle normative vigenti, dimostra la compatibilità idraulica del nuovo viadotto VI13 sul Fiume Basento, 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
Manuale di Progettazione RFI – TR300	84.70	81.20	81.70	3.50 (> 1.50 m)	3.00 (> 0.50 m)	OK
NTC2018 TR200		81.00	-	3.70 (> 1.50 m)	-	OK

Tabella 6 – Viadotto VI13: verifica del franco idraulico di progetto.

Per completezza, si riporta anche la verifica del franco idraulico di progetto per il viadotto esistente VI01 sul Fiume Basento. Anche per il VI01 sono rispettati i requisiti minimi in termini di 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
Manuale di Progettazione RFI – TR300	83.10	80.30	80.90	2.80 (> 1.50 m)	2.20 (> 0.50 m)	OK
NTC2018 TR200		79.80	-	3.30 (> 1.50 m)	-	OK

Tabella 7 – Viadotto VI01: verifica del franco idraulico di progetto.

Con riferimento al MdP (RFI, 2019), ed in particolare ai tratti in rilevato in zona di esondazione (nel caso specifico il nuovo rilevato – lato Potenza – di approccio del viadotto VI13), risulta verificata anche la prescrizione in merito al valore minimo di franco idraulico valutato come la distanza tra la quota del piano di regolamento ed il livello idrico di progetto (TR300). Inoltre, le opere di protezione delle scarpate di tale tratto in rilevato (dimensionate nel capitolo precedente), così come indicato nel MdP, sono state estese fino a 1 metro al di sopra del livello idrico di progetto (TR300).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 84 DI 96

Luce netta minima tra pile contigue

Le prescrizioni in materia di luce netta minima (40 m) tra pile contigue ha notevolmente influenzato la scelta della scansione delle campate del nuovo viadotto VI13. Nello specifico, il nuovo tracciato si sviluppa inizialmente in affiancamento alla linea ferroviaria esistente, in destra idraulica del Fiume Basento, con andamento quasi parallelo, per poi proseguire in viadotto (VI13) attraversando il corso d’acqua.

Il viadotto di progetto (VI13) si compone di due tratti:

- 1) dalla progressiva 1+057 fino alla progressiva 1+320, tratto di approccio all’attraversamento del F. Basento;
- 2) dalla progressiva 1+320 fino alla progressiva 1+820, attraversamento del F. Basento

Nel primo tratto, le campate hanno le seguenti dimensioni:

- 1 campata con luce da 31 m (SPA – P1)
- 4 campate con luce da 60 metri (P1 – P5)

Tali campate discendono da motivi di tracciato (vincoli plano-altimetrici), morfologici (altezza del rilevato non eccessiva) e “*di trasparenza idraulica*” (essendo in affiancamento al Fiume Basento).

La definizione di cui sopra, ossia che le prime 5 campate sono classificate come di “*trasparenza idraulica*”, è supportata dai risultati di una simulazione idraulica (numerica) 2D “*virtuale*”, nella configurazione *post operam*, in cui il rilevato di approccio è stato “*idealmente*” esteso fino alla progressiva 1+320, ovvero fino alla quinta campata in progetto. Tale simulazione, effettuata per i tempi di ritorno di 30 e 300 anni, dimostra che anche in tale configurazione (i.e. con rilevato di approccio esteso fino alla pk 1+320, ossia come se le prime cinque campate fossero ostruite perché caratterizzate da una luce ridotta, a causa del parallelismo con il corso d’acqua), le opere in progetto non modificano significativamente le aree di esondazione ed i corrispondenti livelli idrici, rispetto alla configurazione “*ante – operam*”. Di seguito, le aree di esondazione per TR30 e TR300 anni, nella configurazione *post operam* “*virtuale*”, con sovrapposizione del “*boundary*” delle corrispondenti aree potenzialmente inondabili nella situazione *ante – operam*.

Per quanto concerne il secondo tratto, di attraversamento, si è proceduto alla definizione della scansione delle campate nel rispetto delle prescrizioni delle NTC2018. In particolare, con riferimento alla mappa dei vettori velocità, e quindi alla direzione ortogonale al filone principale della corrente, la luce delle campate di scavalco (pile P5-P6, P6-P7, P7-P8), e quella delle successive (pile P8-P9, P9-P10, P10-P11, P11-P12) interessate dalla piena di progetto (TR300), è stata fissata rispettivamente in 85 e 60 metri, da cui una luce minima netta (in direzione ortogonale al filone principale della corrente) pari a 40 metri, in ottemperanza delle NTC2018.

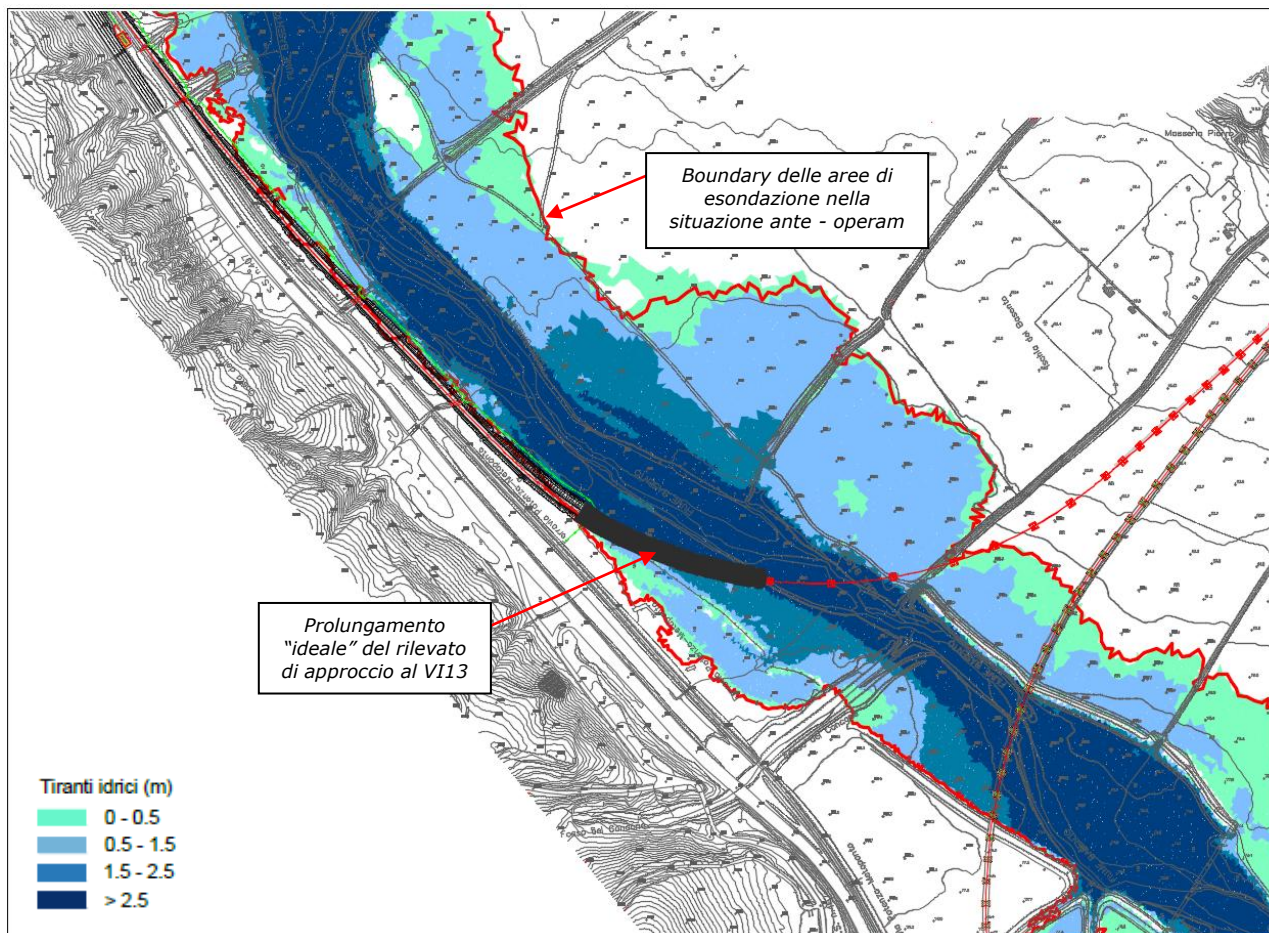


Figura 67 – Modello 2D del Fiume Basento: scenario post – operam “virtuale”, TR30 anni (in rosso, l’estensione delle aree potenzialmente inondabili nella configurazione ante operam).

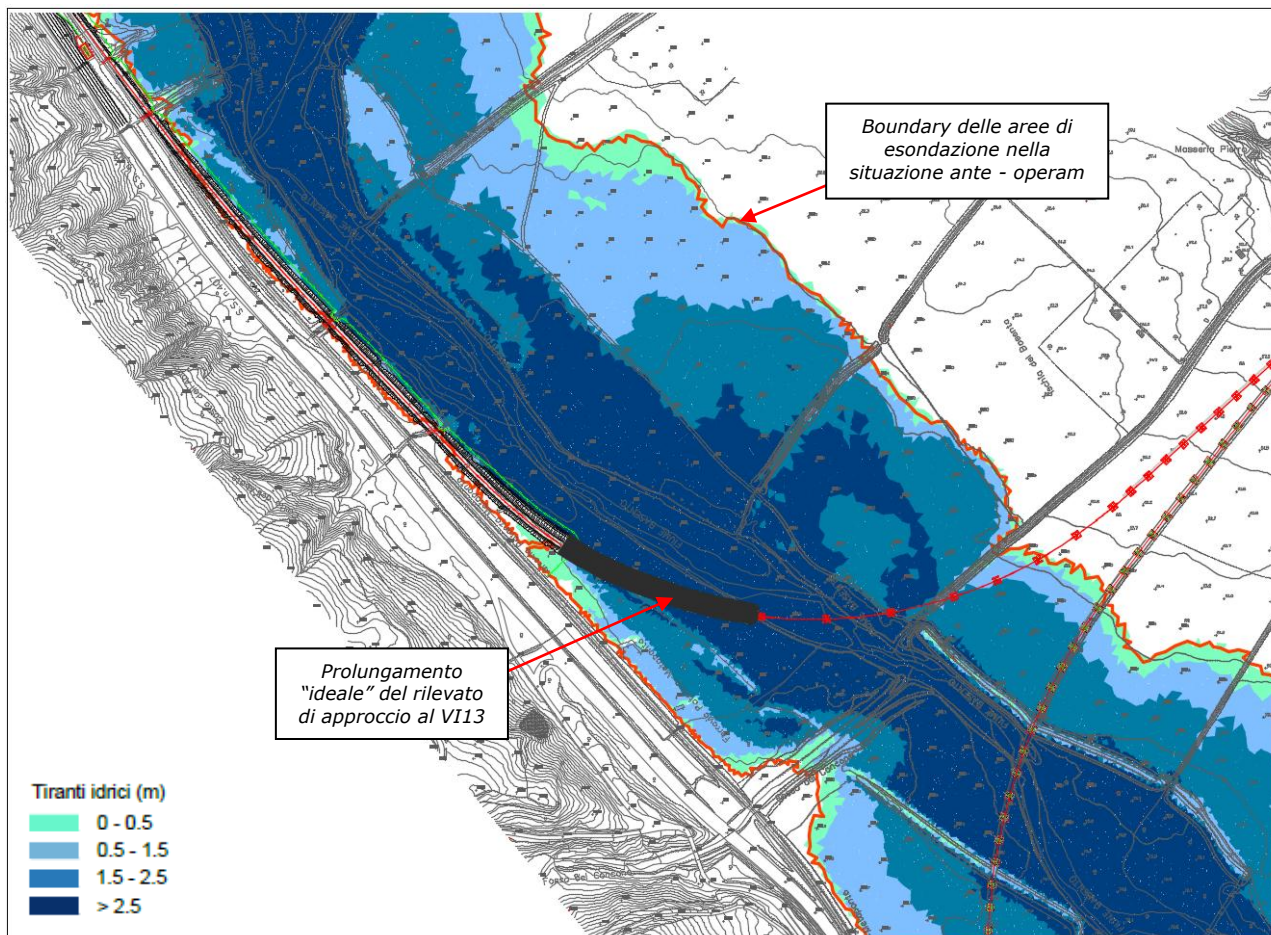


Figura 68 – Modello 2D del Fiume Basento: scenario post – operam “virtuale”, TR300 anni (in rosso, l’estensione delle aree potenzialmente inondabili nella configurazione ante operam).

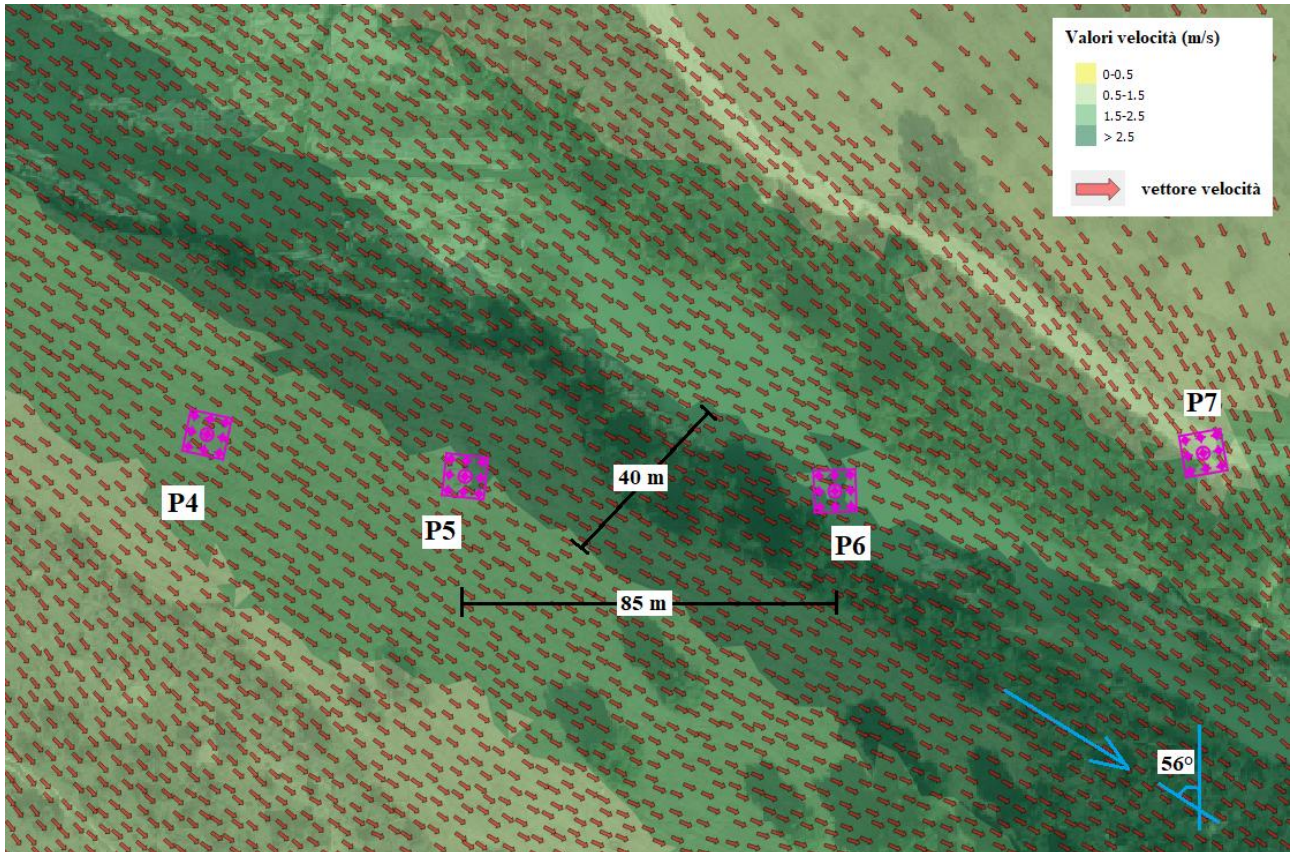


Figura 69 – Modello 2D del Fiume Basento: mappa dei vettori velocità, scenario post – operam, TR300 anni.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 88 DI 96

Per quanto concerne il viadotto (VI01) esistente sul Fiume Basento, per il quale sono previsti interventi di adeguamento sismico (oggetto di altro appalto), la luce tra le pile contigue in alveo è pari a 30 metri. Come dimostrato dalle simulazioni numeriche bidimensionali effettuate, tale aspetto non influenza in modo significativo la propagazione delle piene del Fiume Basento nel tratto di interesse, ormai “*stabilizzato*” dalla presenza di massicce opere di sistemazione spondale (in gabbioni, così come descritte in precedenza), che già attualmente limitano la divagazione dell’alveo inciso esclusivamente al loro interno (come evidenziato nell’analisi dell’evoluzione delle caratteristiche morfologiche dell’alveo del Fiume Basento). Anche per le pile in alveo del VI01 interessate dall’esonazione TR300 del Fiume Basento sono state previste importanti opere di sistemazione idraulica (oggetto di altro appalto) della stessa tipologia di quelle previste per il nuovo VI13.

Distanza minima tra fondo alveo e intradosso impalcato

Risulta verificata anche la prescrizione relativa al dislivello tra fondo alveo e sottotrave che, con riferimento alla Circolare Esplicativa alle NTC 2018 n. 7/2019, non deve essere 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.

Con riferimento al nuovo viadotto VI13, il dislivello tra fondo e sottotrave ammonta a circa 11 metri (quota media fondo alveo = +76.30 m slm, quota intradosso in corrispondenza dell’alveo inciso = +86.90 m slm); mentre per il viadotto esistente VI01 a circa 13 metri (quota media fondo alveo = +73.20 m slm, quota intradosso in corrispondenza dell’alveo inciso = +86.00 m slm).

7.2. Viadotti esistenti sul Rio Conche (VI02), Fiume Bradano (VI05), Torrente Gravina (VI05)

Si è proceduto alla valutazione della compatibilità idraulica delle opere esistenti sui corsi d’acqua Rio Conche, Fiume Bradano e Torrente Gravina, in termini di franco idraulico, in ottemperanza delle normative (NTC2018) e dei regolamenti (MdP RFI, 2019) vigenti.

	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
Manuale di Progettazione RFI – TR300	150.0	147.6	148.0	2.4 (> 1.50 m)	2.0 (> 0.50 m)	OK
NTC2018 TR200		147.4	-	2.6 (> 1.50 m)	-	OK

Tabella 8 – Viadotto VI02 (Rio Conche): verifica del franco idraulico di progetto.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 89 DI 96

	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
Manuale di Progettazione RFI – TR300	125.8	81.98	82.72	43.82 (> 1.50 m)	43.08 (> 0.50 m)	OK
NTC2018 TR200		81.30	-	44.5 (> 1.50 m)	-	OK

Tabella 9 – Viadotto VI05 (Fiume Bradano): verifica del franco idraulico di progetto.

	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
Manuale di Progettazione RFI – TR300	157.2	119.19	120.35	38.01 (> 1.50 m)	36.85 (> 0.50 m)	OK
NTC2018 TR200		118.85	-	38.35 (> 1.50 m)	-	OK

Tabella 10 – Viadotto VI08 (Torrente Gravina): verifica del franco idraulico di progetto.

7.3. Nuovo ponte stradale IV04 della nuova viabilità NV02, sul Rio Conche

Nella tabella seguente, è riportata la verifica di compatibilità idraulica in termini di franco di sicurezza del nuovo ponte stradale IV04 della nuova viabilità NV02, sul Rio Conche, in accordo alle normative (NTC2018) e ai regolamenti (MdP RFI, 2019) vigenti, con riferimento ai risultati delle simulazioni numeriche bidimensionali, sopra descritti.

	Quota minima impalcato [m slm]	Livello di piena [m slm]	Carico totale [m slm]	Franco sul livello idrico [m]	Verifica
Manuale di Progettazione RFI e NTC 2018 – TR200	+179.20	+176.15	+176.60	+3.05 (> 1.50m)	OK

Tabella 11 – Ponte IV04 (Rio Conche): verifica del franco idraulico di progetto.

Inoltre, risulta verificata anche la prescrizione relativa al dislivello tra fondo alveo e sottotrave che, con riferimento alla Circolare Esplicativa alle NTC 2018 n. 7/2019, non deve essere inferiore a 6÷7 m (nel caso specifico, quota fondo alveo = +173.10 m slm; quota sottotrave = +179.20 m slm).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 90 DI 96

8. CONSIDERAZIONI SUI CAMBIAMENTI CLIMATICI

La conoscenza delle variazioni climatiche sul territorio italiano, in corso e previste, è il presupposto fondamentale per la valutazione degli impatti e della strategia di adattamento ai cambiamenti climatici.

Mentre la conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sulla osservazione delle variabili climatiche e sull’applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

Secondo la definizione della *World Meteorological Organization* (WMO), le proiezioni climatiche forniscono la probabilità con cui determinate variazioni del clima possono verificarsi nei prossimi decenni, in relazione a diverse possibili evoluzioni dello sviluppo socio-economico globale. Tali condizioni (scenari) comportano, in particolare, diversi andamenti delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera. A tale proposito, l’*Intergovernmental Panel for ClimateChange* (IPCC) ha recentemente ridefinito gli scenari futuri a scala globale (*Representative Concentration Pathways – RCP*), allo scopo di fornire informazioni sulla probabile evoluzione delle diverse componenti della forzante radiativa (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo), da utilizzare come input per i modelli climatici. Gli scenari RCP sostituiscono i precedenti scenari pubblicati dall’IPCC nello *Special Report on Emission Scenarios* (SRES). I quattro nuovi RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 (2.6 W/m² - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m² - RCP4.5 e 6 W/m² - RCP6) e uno scenario caratterizzato da un’elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m² - RCP8.5).

Proprio l’IPCC ha introdotto una definizione più specifica del termine “*proiezione climatica*”, riferendola alla stima delle variazioni del clima futuro che viene fornita dai modelli climatici. Questi ultimi possono essere classificati in due categorie, *globali* e *regionali*, che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro. I modelli regionali (“*Regional Climate Models*”, RCM) rispondono alla necessità di fornire una migliore rappresentazione dei fenomeni a scala locale. Tali modelli, innestandosi su un modello globale da cui vengono acquisite le condizioni iniziali e al contorno, producono le proiezioni climatiche su una specifica area di interesse, ad una risoluzione più elevata (fino a una massima risoluzione orizzontale di 10-50 km).

Recentemente l’ISPRA (rif. “*Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali*”, 2015) ha condotto l’analisi e il confronto tra le proiezioni climatiche in Italia più aggiornate prodotte da diversi modelli.

Dall’insieme degli output dei modelli climatici disponibili, sono state estratte e analizzate le proiezioni di precipitazione cumulata annuale fino al 2100 di quattro modelli, negli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. Nello specifico, sono stati selezionati i dati che ricoprono l’intero territorio nazionale e per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di precipitazione.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 91 DI 96

Nelle figure seguenti, si riportano le mappe delle variazioni della precipitazione massima giornaliera (in 24 ore) previste da quattro modelli climatici (ALADIN, GUF, CMCC, LMD) con riferimento ai tre orizzonti temporali considerati: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

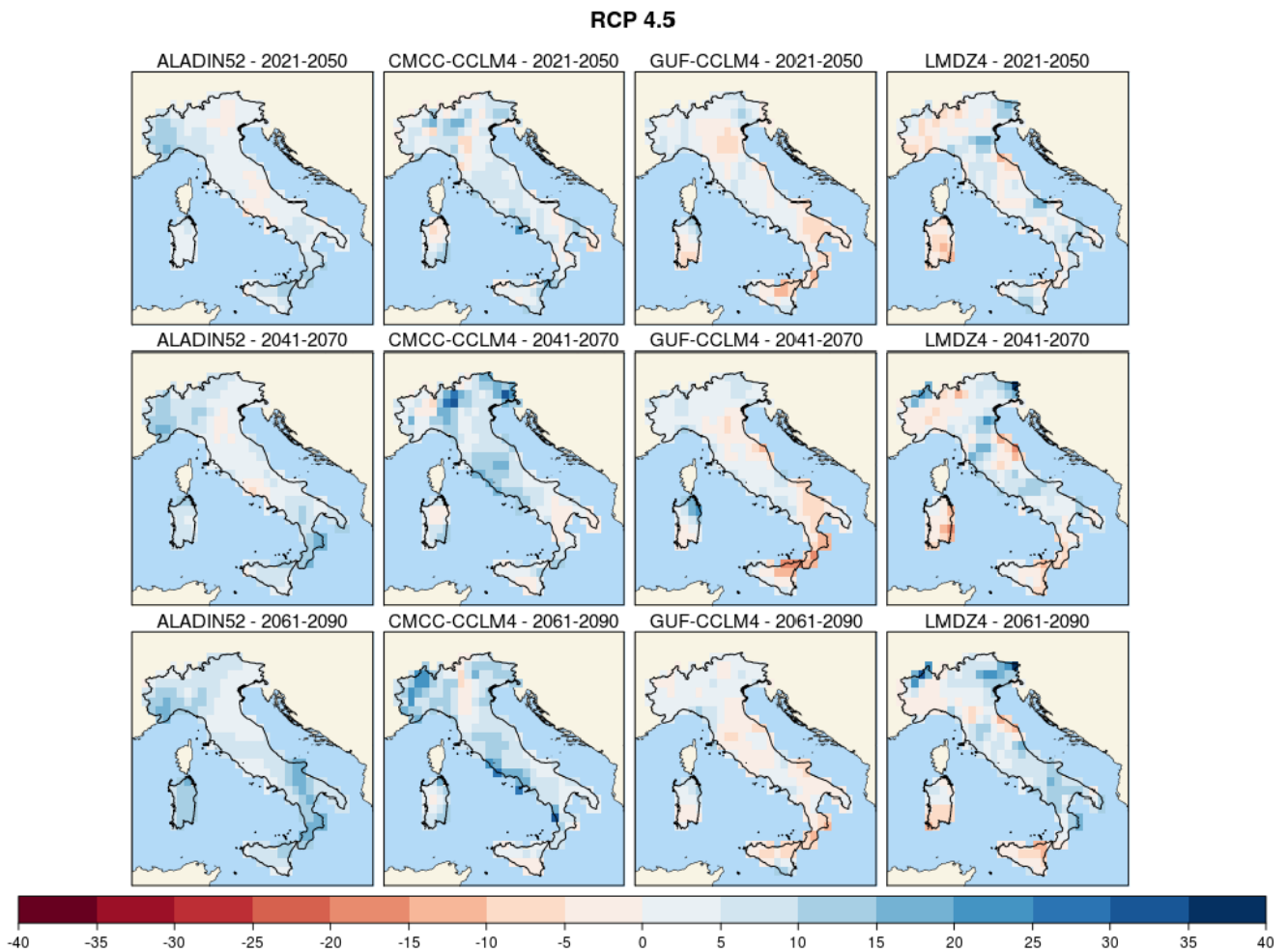


Figura 8.1 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5.

Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

In entrambi gli scenari, due modelli climatici indicano un aumento delle precipitazioni massime giornaliere su quasi tutto il territorio nazionale, di entità generalmente modesta (inferiore a 10 mm) e punte superiori a 20 mm in alcune zone.

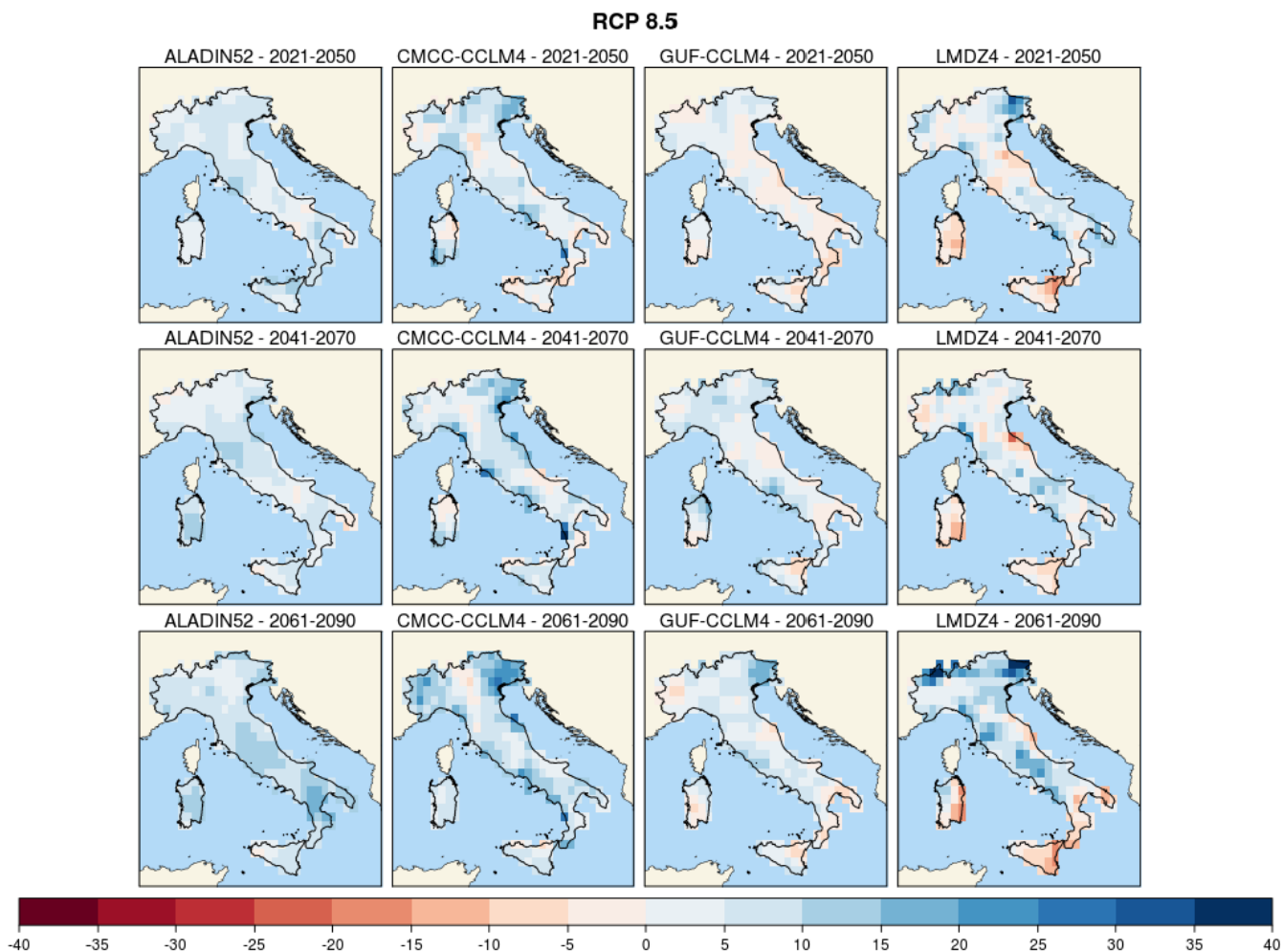


Figura 8.2 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5.

Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

Nella tabella seguente si riportano le variazioni di precipitazione massima giornaliera (h_{24}) (rispetto al valore nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000), previste nell’area di intervento, per i tre orizzonti temporali: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, con riferimento ai due scenari RCP4.5 e RCP8.5, dedotte dalle mappe sopra descritte.

Periodo	Variazione $maxh_{24}$ (RCP4.5)	Variazione $maxh_{24}$ (RCP8.5)
2021-2050	+5-10 mm (LMDZ4)	+10-15 mm (ALADIN52)
2041-2070	+0-5 mm (ALADIN52)	+5-10 mm (ALADIN52)
2061-2090	+15-20 mm (ALADIN52)	+20-25 mm (ALADIN52)

Tabella 12 – Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell’area di intervento (ISPRA, 2015).

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 93 DI 96

Con riferimento allo studio idrologico annesso (rif. IA5F01D09RIID0001001A), ed in particolare ai dati di pioggia registrati presso le stazioni pluviometriche analizzate, il valore massimo di precipitazione massima giornaliera (h_{24}), nel periodo climatologico 1971-2000, ammonta a **192.6 mm**, misurato presso la stazione pluviografica di Ferrandina nel 1972. Prendendo tale valore come riferimento, la variazione massima prevista, ossia +20-25 mm nel trentennio 2061-2090, corrisponderebbe ad un incremento della precipitazione massima giornaliera del **10-13%** circa.

Applicando (impropriamente) tale incremento all’altezza di pioggia di progetto, ne deriva un contestuale aumento delle portate al colmo, della stessa entità (+10-13%).

Si prendano quindi in esame il Fiume Basento ed il Rio Conche (in corrispondenza degli attraversamenti ferroviari), i cui bacini ricadono in parte o completamente all’interno del poligono di thiessen della stazione pluviometrica di Ferrandina (come dimostrato nello studio idrologico annesso). La portata al colmo di progetto (TR300) del Fiume Basento ammonta a 2497.1 mc/s; applicando l’incremento di cui sopra (+13%), si ottiene il valore 2821.7 mc/s, che corrisponde all’incirca alla portata di piena con tempo di ritorno di 500 anni (2861.2 mc/s). Per quanto concerne il Rio Conche, la portata al colmo di progetto (TR300) ammonta a 105.5 mc/s; applicando l’incremento previsto del 13%, si ottiene il valore 119.3 mc/s, anch’esso corrispondente all’incirca alla portata di piena con tempo di ritorno di 500 anni (120.9 mc/s). Si è proceduto quindi all’analisi delle simulazioni bidimensionali del F. Basento e del Rio Conche effettuate per le portate al colmo corrispondenti al tempo di ritorno di 500 anni. Con riferimento alle figure precedenti riportanti le aree potenzialmente inondabili, non si riscontrano particolari criticità rispetto alla configurazione di progetto (TR300) già esaminata; di seguito, si riportano i valori di livello idrico e franco idraulico relativo allo scenario TR500, in corrispondenza delle opere VI13 (in progetto), VI01 (esistente) e VI02 (esistente).

	Quota minima impalcato [m slm]	Livello di piena TR500 [m slm]	Franco sul livello idrico TR500 [m]	Verifica
VI13 (Fiume Basento)	84.70	81.9	2.8 (> 1.50 m)	OK
VI01 (Fiume Basento)	83.10	80.6	2.5 (> 1.50 m)	OK
VI02 (Rio Conche)	150.0	148.0	2.0 (> 1.50 m)	OK

Tabella 13 – Verifica del franco idraulico di progetto con riferimento alle piene TR500.

Nonostante si sia ridotto del 15-20% rispetto a quello valutato nei confronti dei livelli idrici TR300, il franco idraulico continua ad essere superiore al minimo (1.5 m) previsto dalle normative e regolamenti vigenti. In definitiva, risulta verificata la compatibilità idraulica delle opere in progetto (ed esistenti) anche con riferimento ai “*cambiamenti climatici*” e alle previsioni di variazione delle precipitazioni nei prossimi decenni.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 94 DI 96

9. CONCLUSIONI

In conclusione, in merito alla compatibilità idraulica delle opere in progetto, ed in particolare del nuovo ramo (A) che si slaccia dalla linea FS storica *Potenza-Metaponto* per giungere, attraversando in viadotto (VI13) il fiume Basento, l’imbocco (lato Ferrandina) della galleria Miglionico, si evidenzia quanto segue:

- il nuovo rilevato (in affiancamento alla linea FS esistente) e il viadotto VI13 si inseriscono in un tratto fluviale già fortemente modificato dalle attività antropiche sviluppatasi sul territorio a partire dagli anni '70, quali la realizzazione e l’implementazione di infrastrutture stradali e ferroviarie, e di zone industriali (Val Basento), nonché la costruzione (ed entrata in esercizio) di numerose opere di regimazione idraulica (dighe e traverse) e di difesa/protezione spondale (realizzate dai consorzi di bonifica locali), che hanno fortemente influenzato il deflusso delle piene;
- nella sezione di attraversamento (in corrispondenza sia del nuovo viadotto VI13 sia di quello esistente VI01), l’alveo del Fiume Basento è ormai “*stabilizzato*” dalla presenza di massicce opere di sistemazione spondale che già attualmente limitano la divagazione dell’alveo inciso esclusivamente al loro interno (come mostra anche l’analisi dell’evoluzione delle caratteristiche morfologiche dell’alveo effettuata nel presente studio);
- il tracciato del nuovo ramo (tratto in rilevato lato Potenza e viadotto VI13) è dettato da vincoli plano-altimetrici specifici ed inamovibili ai fini del collegamento della città di Matera alla rete ferroviaria nazionale, in particolare con Salerno, per l’accesso al sistema AV/AC;
- il viadotto VI13 è costituito di due tratti, 1) di approccio all’attraversamento del F. Basento (dalla progressiva 1+057 fino alla progressiva 1+320, 2) di attraversamento del F. Basento (dalla progressiva 1+320 fino alla progressiva 1+820). Il tratto di approccio all’attraversamento non influenza le aree di esondazione e i corrispondenti livelli idrici (come dimostrato tramite la simulazione numerica 2D di uno scenario post operam *virtuale*, che prevede il prolungamento del rilevato di approccio fino alla pila P5, ovvero l’ostruzione completa delle prime campate). Tuttavia, tale tratto è stato realizzato mediante 5 campate (1 con luce da 31 m e 4 con luce da 60 metri) per motivi morfologici (per limitare l’altezza del rilevato di approccio) e di trasparenza idraulica (sviluppandosi in stretto affiancamento al Fiume Basento);
- il nuovo viadotto VI13 (nel tratto di attraversamento) rispetta tutte le prescrizioni in materia di franco idraulico, luce minima netta tra pile contigue in alveo e distanza minima tra fondo alveo e sottotrave, riportate nelle NTC2018 e nel MdP RFI (2019);
- il nuovo ramo (A) lato Potenza in progetto è compatibile inoltre ai sensi delle NTA del P.A.I. della Regione Basilicata, in quanto, pur attraversando aree di pericolosità idraulica media ed elevata non “*aggrava la funzionalità idraulica dell’area e non determina impatti significativi sull’evoluzione morfologica del corso d’acqua*”

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 95 DI 96

né sulle caratteristiche di particolare rilevanza ambientale dell’ecosistema fluviale”, nonché alle prescrizioni riportate nel MdP RFI, relativamente alla compatibilità dei rilevati in zona di esondazione e delle relative opere di protezione;

- sono previsti interventi di sistemazione idraulica in corrispondenza del nuovo viadotto VI13 sul Fiume Basento atte a mantenere inalterata la configurazione attuale della sezione di deflusso, rafforzando i limiti di divagazione dell’alveo inciso già delimitati dalle opere di sistemazione/protezione esistenti. Anche in corrispondenza del viadotto esistente VI01 (sul F. Basento) sono previste opere di sistemazione idraulica(oggetto di altro appalto) che si inseriscono in un tratto fluviale già attualmente “*sistemato*” per la presenza di opere di protezione spondale in gabbioni (realizzate dal consorzio di bonifica locale), e che quindi costituiscono una ulteriore garanzia contro le eventuali, future, modifiche di pendenza del *thalweg*, “fissandone” la quota di fondo.

Sono stati analizzati anche i viadotti esistenti (realizzati tra gli anni ’80 e 2000e per i quali sono previsti interventi di adeguamento strutturale/sismico, oggetto di altro appalto) sui corsi d’acqua maggiori Rio Conche, Fiume Bradano e Torrente Gravina, verificandone la compatibilità idraulica, in termini di franco idraulico.

Infine, sono riportate anche alcune considerazioni sui “*cambiamenti climatici*” e sulle previsioni di variazione delle precipitazioni negli anni futuri, nella zona di intervento. E’ stata quindi verificata (e dimostrata) l’adeguatezza delle opere in progetto (ed esistenti) anche in relazione a possibili incrementi nei prossimi decenni delle portate dei corsi d’acqua attraversati.

	Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale					
	NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA “LA MARTELLA”					
RELAZIONE IDRAULICA – CORSI D’ACQUA MAGGIORI	PROGETTO IA5F	LOTTO 01	CODIFICA D 09	DOCUMENTO RIID0002 001	REV. B	FOGLIO 96 DI 96

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Sintesi del rapporto regionale Basilicata*, GNDCI Linea 1 (Gruppo Nazionale per la difesa delle catastrofi idrogeologiche), Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia;
- Piano Stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico (P.S.D.R.I.) – Relazione*, Autorità interregionale di Bacino della Basilicata, giugno 2006;
- Piano Stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico (P.S.D.R.I.) – Norme di Attuazione*, Autorità interregionale di Bacino della Basilicata, giugno 2006;
- Hall M. J., *Urban Hydrology*, Elsevier, London, 1984;
- Calomino e Veltri (a cura di), *Orientamenti attuali di idrologia urbana*, Bios, Cosenza, 1988;
- Caivano A. M., *Rischio idraulico e idrogeologico*, EPC Libri, 2003
- Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977;
- Ministero LL.PP., *Dati caratteristici dei corsi d’acqua italiani*, Pubblicazione n°17, Roma, 1980;
- Penta A., Rossi F., Silvani G., Veltri M., Versace P., *Un modello stocastico per l’analisi delle massime piogge giornaliere in presenza di grandi nubifragi*, Atti XVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo, 1980;
- Penta A., Silvani G., Versace P., *Analisi regionale dei massimi annuali delle portate al colmo di piena*, *Incontro di studio su: Estremi ideologici e modelli di previsione*, Perugia, 1978;
- Rossi F., Fiorentino M., Versavice P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, *Water Resources Research*, Vol. 20, n°7, 1984;
- Villani P., *La valutazione della piena annua media*, Atti dell’Istituto di Ingegneria Civile, Università di Salerno, n°108, 1990;
- Viparelli C., *Ricostruzione dell’idrogramma di piena*, *L’Energia Elettrica*, 6, 421-428, 1963;
- Watt W.E. and Chow C.A., *A general expression for the basin lag time*, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 12, 294-300, 1985;
- DM 2018 - Norme Tecniche sulle Costruzioni e relativa circolare esplicativa n.7/2019.
- Manuale di Progettazione RFI, Sezione Corpo Stradale, 2019.