

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA

Torrente Tittadegna - Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica

SCALA:

-

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

I A 6 C 0 0 F 1 0 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 C

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	D.Russo	Maggio 2020	M. Villani	Maggio 2020	T.Paoletti	Maggio 2020	L.Berardi Genn.2021
B	Emissione Esecutiva	M.Villani	Sett.2020	M. Villani	Sett.2020	T.Paoletti	Sett.2020	
C	Emissione Esecutiva	M.Villani	Genn. 2021	M.Villani	Genn.2021	T.Paoletti	Genn.2021	

SOMMARIO

1	PREMESSA	5
1.1	STUDI ESISTENTI	9
2	INQUADRAMENTO NORMATIVO	13
2.1	PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO.....	13
2.2	NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (DECRETO 17 GENNAIO 2018 DEL MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI)	15
2.3	CIRCOLARE 21 GENNAIO 2019, N. 7 C.S.LL.PP (ISTRUZIONI PER L'APPLICAZIONE DELL' AGGIORNAMENTO DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI DI CUI AL DECRETO MINISTERIALE 17 GENNAIO 2018).....	15
2.4	MANUALE DI PROGETTAZIONE FERROVIARIO	16
3	MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE	18
3.1	GENERALITÀ	18
3.2	INPUT IDROLOGICI	19
3.3	MODELLO NUMERICO.....	22
3.4	LA GEOMETRIA DEL MODELLO	23
3.4.1	<i>Geometria Ante Operam.....</i>	<i>26</i>
3.5	DEFINIZIONE DELLE SCABREZZE DEL MODELLO	29
4	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE	32
4.1	CRITERI DI PRESENTAZIONE DEI RISULTATI	32
4.2	SIMULAZIONI ANTE OPERAM.....	32
4.2.1	<i>Risultati simulazione Ante Operam Tr 30 anni.....</i>	<i>32</i>
4.2.2	<i>Risultati simulazione Ante Operam Tr 200 anni.....</i>	<i>34</i>
4.2.3	<i>Risultati simulazione Ante Operam Tr 500 anni.....</i>	<i>35</i>
4.2.4	<i>Confronto con studi pregressi.....</i>	<i>37</i>

5	IPTESI PROGETTUALI INDAGATE	38
5.1.1	<i>Valutazioni in merito alla laminazione dei volumi esondati a monte della SS16</i>	38
5.2	IPTESI DI MASSIMIZZAZIONE DELLA TRASPARENZA IDRAULICA DEL RILEVATO DELLA BARLETTA-CANOSA	39
5.2.1	<i>Definizione delle scabrezze – Ipotesi progettuale</i>	39
5.3	SIMULAZIONI IPTESI PROGETTUALE	41
5.3.1	<i>Risultati simulazione Ipotesi progettuale - Tr 30 anni</i>	44
5.3.2	<i>Risultati simulazione Ipotesi Progettuale Tr 200 anni</i>	46
5.3.3	<i>Risultati simulazione Ipotesi progettuale Tr 500 anni</i>	49
5.3.4	<i>Protezioni rilevato ferroviario</i>	52
5.3.5	<i>Protezioni pile del viadotto ad archi esistente</i>	53
5.3.6	<i>Protezioni imbocchi/sbocchi tombini</i>	54
5.3.7	<i>Confronto fra stato di fatto e ipotesi progettuale - TR200</i>	56
6	COMPATIBILITÀ IDRAULICA	65
6.1	IL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DELL'AUTORITÀ DI BACINO DELLA PUGLIA	65
6.1.1	<i>Rispetto dei criteri di compatibilità idraulica</i>	70
6.2	NTC 2018.....	73
6.2.1	<i>Rispetto dei criteri di compatibilità idraulica</i>	75

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	3 DI 76

indice delle figure e delle tabelle

Tabella 1: Portate utilizzate nel modello bidimensionale AdBP 2015	11
Tabella 2: Portate utilizzate nel modello monodimensionale AdBP 2015	12
Tabella 3: Portate massime di riferimento	22
Tabella 4: Portata massima in corrispondenza della pk 3+931 Barletta Canosa	22
Tabella 5: Tabella indice di Manning – Channel flow	31
Tabella 6: Tabella indice di Manning – Sheet flow	31
Tabella 7: Tempi di ritorno richiesti per le verifiche idrauliche	32
Tabella 8: Verifiche SDF TR30anni	33
Tabella 9: Verifiche SDF TR200anni	35
Tabella 10: Verifiche SDF TR500anni	36
Tabella 11: Riepilogo normativa - Ponti	42
Tabella 12: Riepilogo normativa - Tombini	43
Tabella 13: Riepilogo normativa - Rilevati	43
Tabella 14: Risultati TR30anni - tombini di progetto	45
Tabella 15: Risultati TR30anni - tombini esistenti	46
Tabella 16: Risultati TR30anni – viadotto	46
Tabella 17: Verifica – Tombini di progetto TR200	47
Tabella 18: Verifica Tombini esistenti TR200	48
Tabella 19: Verifica – Viadotto esistente TR200	49
Tabella 20: Risultati – Tombini di progetto TR500	50
Tabella 21: Risultati – Tombini esistenti TR500	51
Tabella 22: Risultati – Viadotto esistente TR500	52
Tabella 23: Protezioni pile viadotto BD08	54
Tabella 24: Verifica della stabilità delle protezioni	56
Figura 1 – Inquadramento territoriale generale	7
Figura 2 – Inquadramento territoriale interferenza con il Torrente Tittadegna	8
Figura 3 – Inquadramento territoriale-reticolo idrografico	9
Figura 4 – Inquadramento territoriale	10
Figura 5 – Risultati Studio AdBP 2015 – Dominio 2D_3	11
Figura 6 – Aree pericolosità idraulica - Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI)	14
Figura 7 – Area di studio e sezioni di immissione con rispettivi bacini idrografici	19
Figura 8 – Sezioni di input delle portate, Torrente Tittadegna	20
Figura 9: Idrogrammi di Piena – SEZ75	21
Figura 10: Idrogrammi di Piena – SEZDX	21
Figura 11: Estensione del dominio di calcolo, Torrente Tittadegna	24
Figura 12: DTM di riferimento	25
Figura 13: Mesh di calcolo	26
Figura 14: Inquadramento degli attraversamenti	27
Figura 15 Inquadramento opere esistenti	28
Figura 16: Inquadramento attraversamenti su CTR – linea Barletta-Canosa	28
Figura 17: Opere esistenti- BD10 alla pk 4+281 e BD09 alla pk 4+111	29
Figura 18: Opere esistenti- BD08 alla pk 3+911	29
Figura 19 Uso del suolo – suddivisione per categorie (in viola i vigneti e verde gli uliveti)	30
Figura 20 Immagine area interclusa tra SS e linea Barletta Canosa	30

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	4 DI 76

Figura 21 Immagine a monte della SS16	31
Figura 22 Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ante operam – TR30.....	33
Figura 23 Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ante operam – TR200.....	34
Figura 24 Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ante operam – TR500.....	36
Figura 25 Confronto aree allagate con studi pregressi	37
Figura 26 Valutazione cassa di espansione – Curva delle portate e idrogramma di piena	38
Figura 27: Geometria modello – ipotesi progettuale	40
Figura 28: ipotesi progettuale: Sezione trasversale ubicata a monte della linea Barletta-Canosa	40
Figura 29 Profilo – sagomatura del fondo.....	41
Figura 30 ipotesi progettuale - Inquadramento planimetrico tombini di trasparenza idraulica.....	42
Figura 31 Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ipotesi Progettuale – TR30	44
Figura 32 Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ipotesi progettuale – TR200.....	47
Figura 33 Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ipotesi progettuale – TR500.....	50
Figura 34: Protezione del rilevato in materassi “tipo Reno”	53
Figura 35 Materassi tipo “Reno”	53
Figura 36: Spessori materassi tipo “Reno”	54
Figura 37: Distribuzione delle tensioni tangenziali in una sezione trapezia	55
Figura 38: Fattori correttivi per la determinazione della tensione tangenziale massima	55
Figura 39 Confronto Aree allagate – Ante e Ipotesi progettuale - TR200 (verde sdf;viola sdp)	57
Figura 40 Confronto Profili idrici – Ante e Ipotesi progettuale - TR200.....	57
Figura 41 Confronto livelli idrici – sezione a monte della SS16 - TR200	58
Figura 42 Confronto idrogrammi di piena - TR200	58
Figura 43 Confronto Aree allagate – Ante e Ipotesi progettuale - TR200(verde sdf; viola sdp)	59
Figura 44 Confronto livelli idrici – Profilo - TR200.....	60
Figura 45 Confronto livelli idrici – sezione a monte della linea ferroviaria Barletta Canosa - TR200	60
Figura 46 Confronto idrogrammi di piena - TR200- sez5	61
Figura 47 Confronto Aree allagate – Ante e Ipotesi progettuale - TR200(verde sdf; viola sdp)	62
Figura 48 Confronto livelli idrici – Profili - TR200.....	62
Figura 49 Confronto livelli idrici – sezione a monte della linea ferroviaria Bari- Foggia - TR200- sez09.....	63
Figura 50 Confronto Aree allagate – Ante e Ipotesi progettuale - TR200(verde sdf; viola sdp)	63
Figura 51 Confronto Aree allagate – Ante e Ipotesi progettuale - TR200(verde sdf; viola sdp)	64
Figura 52: Inquadramento Linea Barletta Canosa su planimetria PAI.....	71

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante degli elaborati specialistici relativi allo studio idrologico ed idraulico del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica di Potenziamento e Elettrificazione della linea Barletta-Canosa (Figura 1).

In particolare, oggetto della presente relazione è lo studio idraulico dell'interferenza della linea ferroviaria esistente tra Barletta e Canosa di Puglia con il Torrente Tittadegna mediante modello numerico bidimensionale. Il tratto di linea ferroviaria interessato dal Torrente Tittadegna (affluente in destra del Fiume Ofanto) è compreso tra i due cavalcaferrovie esistenti alle pk 3+791 e 4+578 (circa 750m), indicato in Figura 3

Come illustrato nei capitoli a seguire, il bacino del Torrente Tittadegna è compreso in uno studio della Autorità di Bacino (AdB) del 2015 che analizza l'Ofanto e i suoi affluenti, aventi bacini idrografici di superficie maggiore di 25km² (Figura 3). Lo studio della AdB restituisce una fotografia delle situazioni di rischio idraulico che caratterizzano il territorio e le infrastrutture che lo attraversano. In particolare, tale studio evidenzia come la linea ferroviaria esistente Barletta-Canosa sia inserita in un territorio caratterizzato da elevata e diffusa pericolosità idraulica le cui cause sono da ricercare sia nella natura pianeggiante del bacino nel tratto di interesse, con reticoli scarsamente incisi, sia nella presenza di diverse infrastrutture realizzate nel corso del tempo.

Tale contesto costituisce una fragilità intrinseca per la infrastruttura ferroviaria in esame: le scarse pendenze (dell'ordine del 1 – 2 ‰) e l'insufficienza delle sezioni trasversali al compluvio a confinare i deflussi entro le sponde non favoriscono un allontanamento delle acque rapido e canalizzato, con conseguenti esondazioni diffuse sul territorio. Inoltre, le infrastrutture presenti (es. SS16, linee ferroviarie Barletta-Canosa e Bari-Foggia) realizzano un parziale sbarramento al libero deflusso delle acque, producendo un ingente accumulo incontrollato di acqua a monte delle stesse, che rappresenta un rischio intrinseco per la loro stabilità e per la sicurezza delle infrastrutture e del territorio circostanti.

Lo studio implementato nell'ambito del presente PFTE approfondisce a scala di maggior dettaglio quanto studiato dalla Autorità di bacino nel 2015, con l'obiettivo di rivalutare i livelli di criticità idraulica con specifico riferimento alla linea ferroviaria Barletta-Canosa. Gli approfondimenti hanno riguardato l'estensione del modello bidimensionale del Torrente Tittadegna fino alla confluenza con il fiume Ofanto, nonché l'integrazione dello studio con quei manufatti idraulici esistenti la cui presenza non era stata considerata nelle analisi svolte dalla AdB (situazione ante operam). Tali approfondimenti e integrazioni sono stati concordati con la AdB nel corso di un incontro (tenutosi il 05/03/2020) in considerazione del fatto che lo studio del 2015 costituiva una prima valutazione in merito alle criticità idrauliche del luogo e delle problematiche inerenti la difesa del suolo a scala di asta fluviale.

Il contesto di elevata pericolosità idraulica del territorio è confermato dai risultati dello studio implementato in questa fase progettuale, sebbene con tempi di ritorno diversi da quelli che erano stati valutati nello studio della AdB. In particolare, per la linea ferroviaria Barletta-Canosa si verificano livelli idrici che, per un tempo di ritorno pari a 200 anni, producono un funzionamento in pressione dei manufatti esistenti e una incipiente tracimazione della linea ferroviaria Barletta-Canosa. Conseguentemente, il presente studio ha indagato i possibili interventi di messa in sicurezza idraulica per la linea ferroviaria Barletta-Canosa compatibilmente con il contesto di elevata criticità idraulica in cui questi si inseriscono.

Pertanto, il presente studio ha preso in considerazione ipotesi progettuali alternative con l'obiettivo di valutarne l'efficacia, sia in termini di riduzione del rischio idraulico per la linea ferroviaria Barletta-Canosa, sia in termini di non alterazione del rischio idraulico per le aree valle degli interventi ipotizzati sulla linea in esame.

Come illustrato nel dettaglio nel seguito della relazione, gli interventi ipotizzati per la messa in sicurezza della linea ferroviaria Barletta-Canosa producono tuttavia un minimo incremento dei livelli idrici a valle, che, immediatamente a monte del rilevato della linea Bari-Foggia (già tracimato nella configurazione ante operam), sono stati valutati in circa 6cm. Vale, inoltre, la pena evidenziare che gli interventi ipotizzati sulla linea ferroviaria Barletta-Canosa non hanno effetto sul rischio residuo dovuto al permanere dell'accumulo dei volumi esondati a tergo del rilevato della SS16, il cui effetto diga costituisce un rischio elevato non solo per la linea ferroviaria in esame, ma per tutto il territorio a valle.

I risultati dello studio conducono pertanto a concludere che la messa in sicurezza della linea Barletta-Canosa, per il tratto interessato dal Torrente Tittadegna debba essere affrontata ad una scala più ampia, secondo gli indirizzi programmatici contenuti nello studio della AbB del 2015, che individuava, come intervento strutturale per la messa in sicurezza delle aree a rischio di interesse strategico e di pubblica rilevanza, la realizzazione di una cassa di espansione a monte del Torrente Tittadegna, con livello di priorità alta in funzione dell'importanza degli esposti. L'ipotesi di affidare la messa in sicurezza idraulica della linea ferroviaria Barletta-Canosa, per il solo tratto interessato dal Torrente Tittadegna, ad un progetto regionale di più ampia scala è stata discussa con l'Autorità di Bacino Distrettuale della Regione Puglia che, a tal proposito, si è espressa con parere del 23/12/2020 (prot. Num. 25391), si riporta lo stralcio terminale della nota:

“Considerato che [...] i risultati della Relazione Idraulica e di compatibilità idraulica Torrente Tittadegna ‘... conducono pertanto a concludere che la messa in sicurezza della linea Barletta-Canosa, per il tratto interessato dal Torrente Tittadegna debba essere affrontata ad una scala più ampia, secondo gli indirizzi programmatici contenuti nello studio della AdB del 2015, che individuava, come intervento strutturale per la messa in sicurezza delle aree a rischio di interesse strategico e di pubblica rilevanza, la realizzazione di una cassa di espansione a monte del Torrente Tittadegna, con livello di priorità alta in funzione dell'importanza degli esposti’;

questa Autorità di Bacino Distrettuale, per quanto sopra esposto e per quanto di propria competenza, esprime il proprio nulla osta al prosieguo dell'iter progettuale.”

Si ritiene infine opportuno evidenziare che, in assenza della realizzazione degli interventi di riduzione della pericolosità idraulica a scala di bacino e/o degli interventi collegati alle ipotesi progettuali indagate nel presente studio, rimane immodificata la pericolosità idraulica dell'infrastruttura in termini di livelli idrici. Tuttavia, l'incremento di traffico conseguente agli interventi di potenziamento e elettrificazione della linea si configura come un incremento di esposizione per l'infrastruttura in generale e si ritiene, pertanto, che siano da prevedersi da parte del Gestore dell'Infrastruttura la valutazione dell'incremento del rischio idraulico a fronte dell'incremento di traffico e la predisposizione delle necessarie misure mitigative. Tali eventuali approfondimenti potranno essere svolti nell'ambito delle successive fasi progettuali.

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	7 DI 76



Figura 1 – Inquadramento territoriale generale

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	8 DI 76



Figura 2 – Inquadramento territoriale interferenza con il Torrente Tittadegna

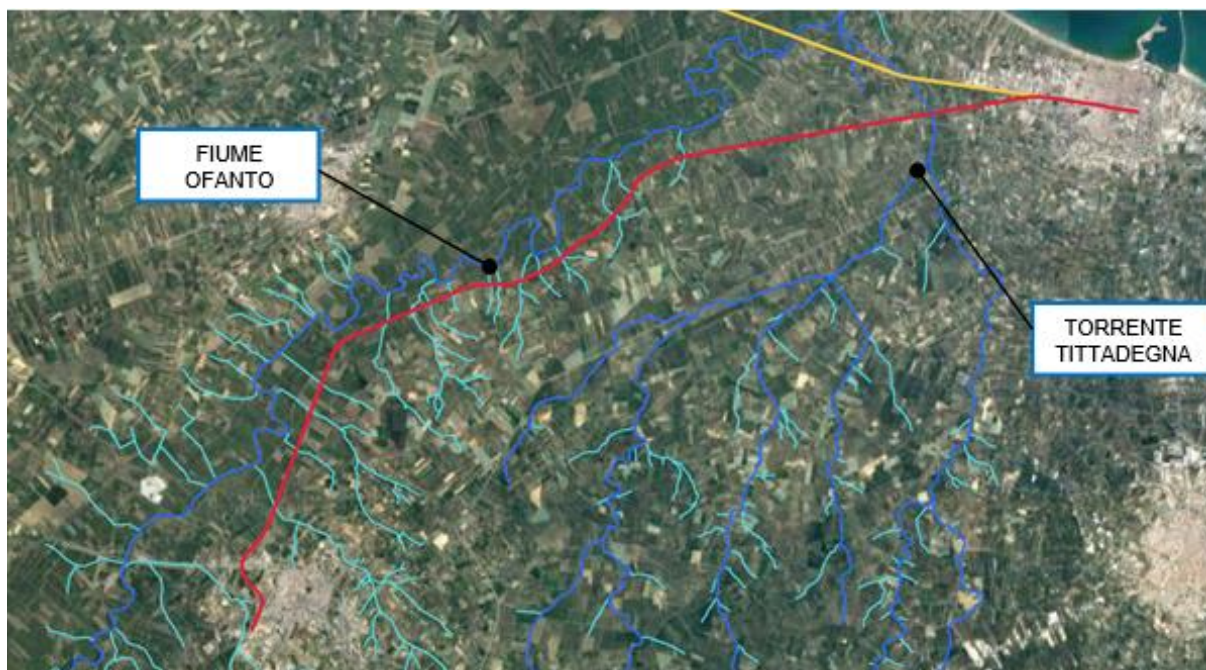


Figura 3 – Inquadramento territoriale-reticolo idrografico

1.1 Studi esistenti

Il Torrente Tittadegna è compreso in uno studio della Autorità di Bacino (AdB) del 2015¹ che analizza l'Ofanto e i suoi affluenti con bacini idrografici di superficie maggiore di 25km² e che ha l'obiettivo di “*definire gli interventi urgenti per la messa in sicurezza del territorio per l'unità fisiografica dell'Ofanto. Nello specifico, sono individuati gli elementi a rischio, quali infrastrutture viarie e insediamenti urbani e produttivi, [...] per la mappatura sistematica della pericolosità idraulica e per la verifica della funzionalità idraulica delle opere d'arte di attraversamento*”.

¹ Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia – Ofanto, Dicembre 2015.

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	10 DI 76

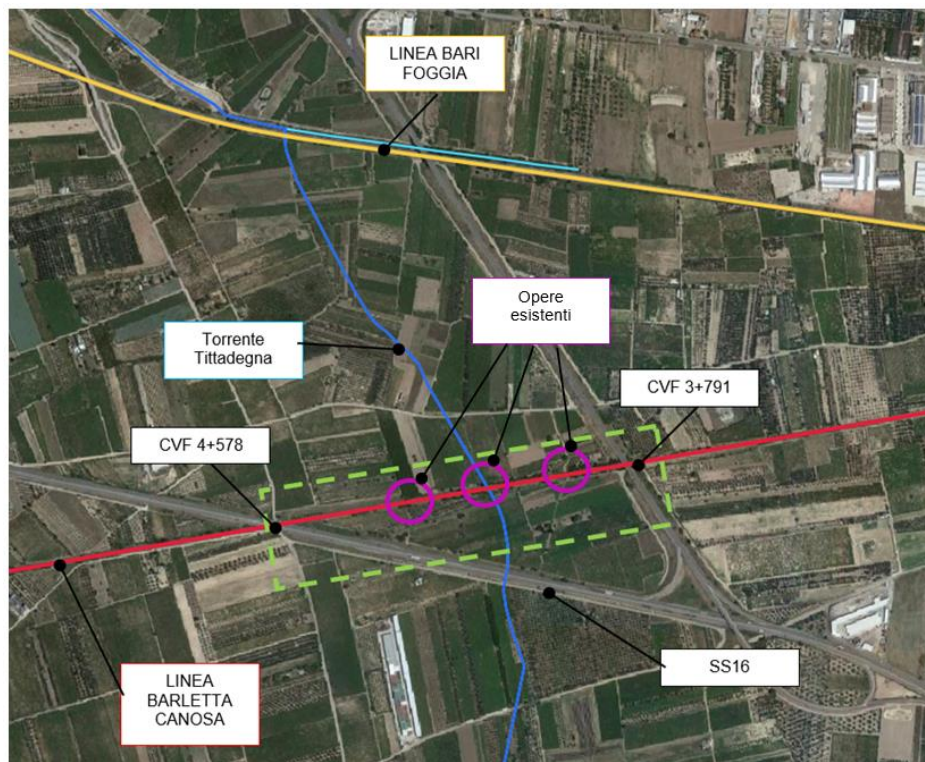


Figura 4 – Inquadramento territoriale

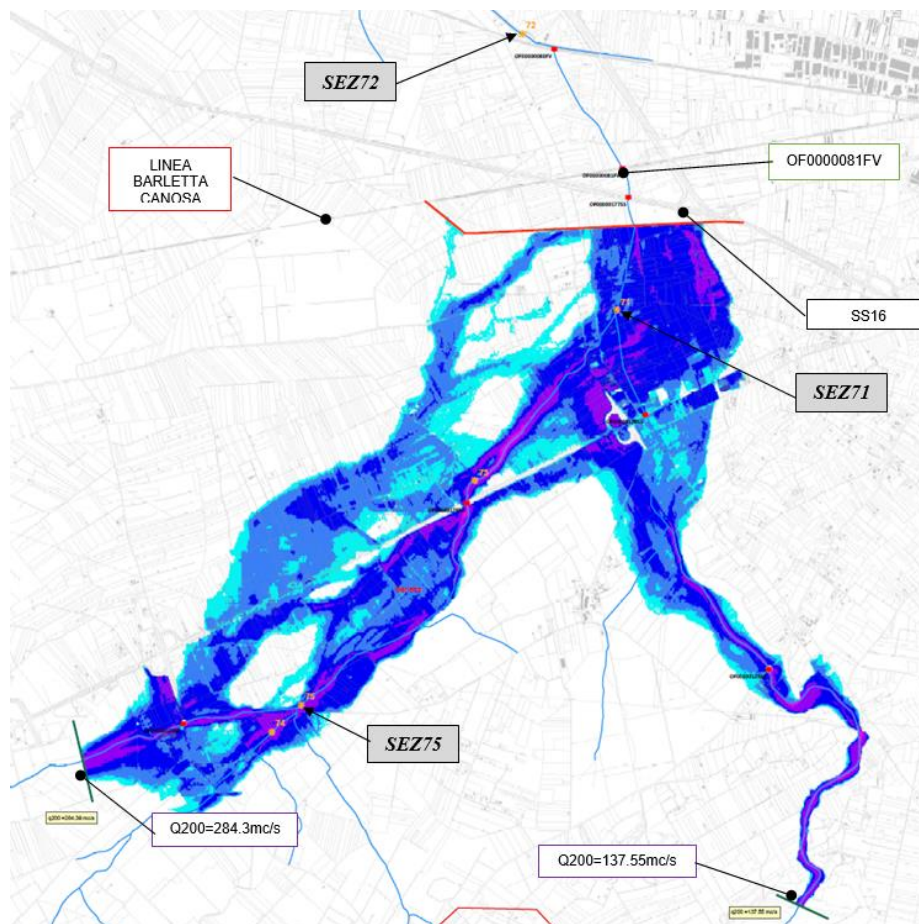


Figura 5 – Risultati Studio AdBP 2015 – Dominio 2D_3

Nell'ambito dello studio della AdB è stato sviluppato un modello di simulazione idraulica bidimensionale che termina poco a monte della SS16.

Nella seguente tabella sono riportate le portate massime utilizzate nello studio AdBP. In Figura 5, invece, si riporta uno stralcio dell'allegato allo studio 5.10.5 "Risultanze idrauliche 2D - T200".

Tabella 1: Portate utilizzate nel modello bidimensionale AdBP 2015

	TR30	TR200	TR500
AdBP 2015 -SEZ124	83.13	137.55	164.89
AdBP 2015 - SEZ 75	178.4	284.39	337.57

A valle della sezione di chiusura del modello 2D, è stato sviluppato dalla AdB un modello monodimensionale fino al recapito nel Fiume Ofanto. Il modello si sviluppa lungo l'asse del torrente individuato in cartografia, interferendo prima con la SS16 e poi con le linee ferroviarie Barletta-Canosa e Bari-Foggia. Dato il carattere 1D del modello, questo attribuisce l'intera portata di piena esclusivamente alla singola opera di attraversamento idraulico che ricade in corrispondenza della traccia cartografica del Torrente Tittadegna. Nel caso della linea Barletta-Canosa questo

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	12 DI 76

significa che è stato considerato presente il solo manufatto ad arco (3mx4m) alla pk 4+111 (OF0000081FV in Figura 5), ma non il ponte a cinque archi (6mx3,5m) alla pk 3+900 circa, né il manufatto ad arco (2mx2,5m) alla pk 4+280 (Figura 4).

Si riportano, nella seguente tabella, i valori delle portate massime indicate nello studio per le sezioni a monte e a valle della linea Barletta Canosa.

Tabella 2: Portate utilizzate nel modello monodimensionale AdBP 2015

	TR30	TR200	TR500
AdBP 2015 - SEZ 71 (Sez. a monte della SS16)	269.77	434.23	516.79
AdBP 2015 - SEZ 72 (Sez. sulla linea Bari – Foggia)	284.44	454.56	540.4

In considerazione del fatto che il Torrente Tittadegna non presenta un alveo inciso univocamente definito, è stato discusso e concordato con la AdB la messa a punto di una integrazione di detto studio, con l'obiettivo di rivalutare i livelli di criticità idraulica e di individuare gli interventi di messa in sicurezza, con specifico riferimento alla linea ferroviaria Barletta-Canosa. Pertanto, è stato implementato uno studio bidimensionale che si estende fino a valle della linea Bari-Foggia, nel quale sono stati considerati tutti i manufatti di attraversamento idraulico esistenti in corrispondenza di tutte le infrastrutture investite dalla piena del Torrente.

Lo studio della AdB restituisce una fotografia delle situazioni di rischio idraulico che caratterizzano il territorio e le infrastrutture che lo attraversano. In particolare, tale studio evidenzia un sormonto già con tempi di ritorno pari a 30 anni sia per la linea ferroviaria Barletta-Canosa, sia per le infrastrutture immediatamente a monte e a valle della stessa, rispettivamente Strada Statale 16 e linea ferroviaria Bari-Foggia. Per la messa in sicurezza del territorio lo studio ipotizza interventi, genericamente definiti "di tipo strutturale", che consisterebbero nella realizzazione di una cassa di espansione a monte della SS 16, cui sarebbe attribuita gran parte della portata di piena del Torrente Tittadegna.

Lo studio idraulico qui sviluppato e gli interventi analizzati conseguenti sono in linea con le indicazioni della AdB contenute nello studio citato: "Ogni attraversamento riconosciuto non adeguato nella presente relazione, deve essere oggetto di attenzione da parte degli Enti gestori, al fine di ridurre il rischio associato. Nello specifico devono essere progettati gli interventi strutturali di adeguamento necessari per conseguire condizioni di sicurezza o provvedimenti di tipo non strutturale con il fine di minimizzare il rischio per gli utenti."

2 INQUADRAMENTO NORMATIVO

2.1 Piano stralcio per l'assetto idrogeologico

All'interno degli strumenti legislativi (adozione dicembre 2004, approvazione novembre 2005), si è adottato il P.A.I., Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico adottato dall'Autorità di Bacino della Puglia che individua le aree a rischio idraulico ed idrogeologico.

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

Aree a bassa probabilità di inondazione (B.P.) - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) compreso tra 200 e 500 anni.

Aree a moderata probabilità di inondazione (M.P.) - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) compreso tra 30 e 200 anni.

Aree ad alta probabilità di inondazione (A.P.) - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) inferiore o pari a 30 anni.

Nell'analisi del rischio idrogeologico, l'individuazione delle aree a rischio idrogeologico si ricava per sovrapposizione delle zone soggette a pericolosità con gli elementi a rischio idrogeomorfologico, definiti in 5 classi:

E5 = agglomerati urbani, aree industriali e/o artigianali, centri abitati estesi, edifici isolati, dighe e invasi idrici, strutture ricreative e campeggi;

E4 = strade statali, strade provinciali, strade comunali (unica via di collegamento all'abitato) e **linee ferroviarie**;

E3 = linee elettriche, acquedotti, fognature, depuratori e strade secondarie;

E2 = impianti sportivi con soli manufatti di servizio, colture agricole intensive;

E1 = assenza di insediamenti, attività antropiche e patrimonio ambientale.

Le aree di rischio sono classificate come:

Aree a rischio moderato R1: per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;

Aree a rischio medio R2: per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	14 DI 76

Aree a rischio elevato R3: per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture, con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;

Aree a rischio molto elevato R4: per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale e la distruzione di attività socioeconomiche.

In Figura 6 è riportata la disposizione planimetrica delle aree di pericolosità idraulica definite all'interno del Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico. Si evidenzia come il tratto oggetto di studio ricada all'interno delle aree ad alta e media pericolosità idraulica.

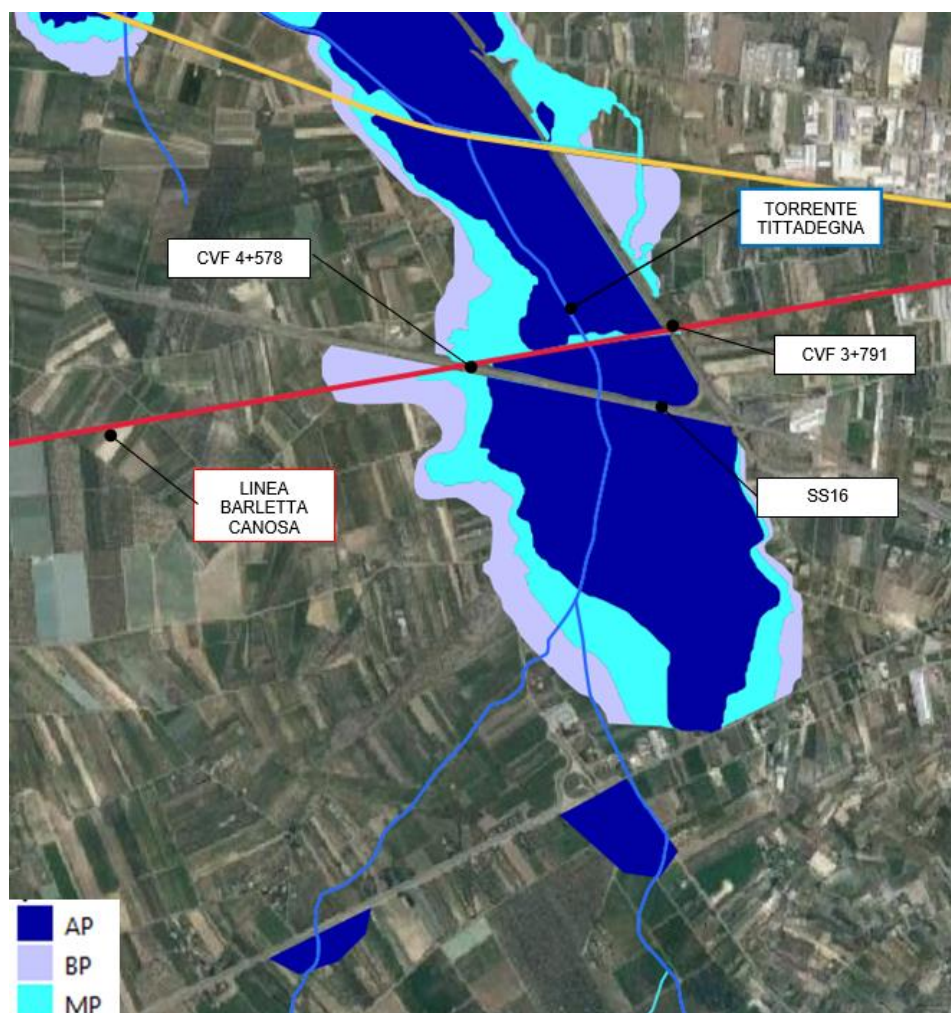


Figura 6 – Aree pericolosità idraulica - Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI).

2.2 Norme tecniche per le costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti)

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

Si riporta un estratto della normativa:

5.1.2.3 Compatibilità Idraulica

[...]

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

[...]

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.

2.3 Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP (Istruzioni per l'applicazione dell' Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018)

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

[...]

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

[...]

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

[...]

Per i ponti esistenti sono ammessi gli interventi per l'incremento della sicurezza strutturale in analogia a quanto prescritto al § 8.4 della Norma, solo nel caso in cui siano esclusi incrementi, rispetto all'attuale, del livello di traffico di progetto e gli stessi interventi non vadano in alcun modo a peggiorare le condizioni di sicurezza idraulica esistenti. Poiché in questi casi sono possibili fenomeni di instabilità locale, in applicazione del §8.3 della Norma, è

opportuno effettuare la verifica delle fondazioni, e quindi la valutazione dello scalzamento di eventuali spalle o pile in alveo. Anche gli interventi necessari per l'incremento della sicurezza strutturale devono essere accompagnati dallo studio di compatibilità idraulica dove sia messa in evidenza la frequenza probabile (1/Tr) degli eventi che garantiscono il franco previsto da Norma.

[...]

Restano esclusi dal punto 5.1.2.3 della Norma i tombini, intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a 50 m³/s. L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti. La scelta dei materiali deve garantire la resistenza anche ai fenomeni di abrasione e urto causati dai materiali trasportati dalla corrente.

[...]

Oltre a quanto previsto per gli attraversamenti dalla Norma, nella Relazione idraulica è opportuno siano considerati anche i seguenti aspetti:

- è da sconsigliare il frazionamento della portata fra più canne, tranne nei casi in cui questo sia fatto per facilitare le procedure di manutenzione, predisponendo allo scopo luci panconabili all'imbocco e allo sbocco e accessi per i mezzi d'opera;*
- sono da evitare andamenti planimetrici non rettilinei e disallineamenti altimetrici del fondo rispetto alla pendenza naturale del corso d'acqua.*
- per sezioni di area maggiore a 1,5 m² è da garantire la praticabilità del manufatto;*
- il tombino può funzionare sia in pressione che a superficie libera, evitando in ogni caso il funzionamento intermittente fra i due regimi: nel caso in una o più sezioni il funzionamento sia in pressione, la massima velocità che si realizza all'interno dello stesso tombino non dovrà superare 1,5 m/s;*
- nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 m;*
- il calcolo idraulico è da sviluppare prendendo in considerazione le condizioni che si realizzano nel tratto del corso d'acqua a valle del tombino;*
- la tenuta idraulica deve essere garantita per ciascuna sezione dell'intero manufatto per un carico pari al maggiore tra: 0,5 bar rispetto all'estradosso o 1,5 volte la massima pressione d'esercizio;*
- il massimo rigurgito previsto a monte del tombino deve garantire il rispetto del franco idraulico nel tratto del corso d'acqua a monte;*
- nel caso sia da temersi l'ostruzione anche parziale del manufatto da parte dei detriti galleggianti trasportati dalla corrente, è da disporre immediatamente a monte una varice presidiata da una griglia che consenta il passaggio di elementi caratterizzati da dimensioni non superiori alla metà della larghezza del tombino; in alternativa il tombino è da dimensionare assumendo che la sezione efficace ai fini del deflusso delle acque sia ridotta almeno alla metà di quella effettiva. È in ogni caso da garantire l'accesso in alveo ai mezzi necessari per le operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria da svolgere dopo gli eventi di piena;*
- i tratti del corso d'acqua immediatamente prospicienti l'imbocco e lo sbocco del manufatto devono essere protetti da fenomeni di scalzamento e/o erosione, e opportune soluzioni tecniche sono da adottare per evitare i fenomeni di sifonamento.*

2.4 Manuale di progettazione ferroviario

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

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	17 DI 76

- linea ferroviaria $Tr=200$ anni
- deviazioni stradali $Tr=200$ anni

[...]

3.7.2.1.2 Attraversamenti corsi d' acqua principali

definizione di una procedura di trasferimento dei dati caratteristici di portata alle sezioni di calcolo; per le verifiche di opere esistenti sarà utile calcolare le portate con tempo di ritorno di 30, 50, 100, 200 e 500 anni. Per gli attraversamenti più importanti si calcolerà una portata di piena estrema, per eventuali verifiche di uno scenario di superamento della portata di progetto;

calcolo dei profili di piena in condizioni di moto permanente nel tronco fluviale in esame per valori di portata corrispondenti ai valori assegnati dei tempi di ritorno e definizione dei corrispondenti livelli di piena alla sezione degli attraversamenti, ante e ipotesi progettuale; valutazione della compatibilità idraulica delle fasi costruttive;

[...]

3.7.2.1.4 Studio idraulico

[...]

Lo studio dovrà fornire tutte le indicazioni possibili circa l'ampiezza ed importanza del fenomeno, le quote idriche assolute, le indicazioni progettuali per mitigare l'interferenza del rilevato ferroviario con il normale deflusso delle acque di esondazione.

Qualora l'infrastruttura ferroviaria provochi una diminuzione del volume di invaso dell'area, dovranno essere valutate le modificazioni indotte sui livelli a monte ed a valle.

[...]

3.7.2.2.1 Attraversamenti principali

[...]

Per tali categorie di opere, relative a bacini con superficie $S > 10 \text{ km}^2$, si dovrà verificare la sezione di attraversamento in relazione alle caratteristiche dimensionali del manufatto in modo da minimizzare le modificazioni all'attuale deflusso nelle fasce fluviali, indotte dalla esecuzione delle opere.

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

Il franco rispetto all'intradosso dell'opera dovrà essere:

- non inferiore a 1,5 m sopra al livello idrico nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento, per la portata con tempo di ritorno prescritto dalla normativa nazionale o locale vigente;
- non inferiore a 0,50 m sopra la quota del carico idraulico totale per la portata con tempo di ritorno 200 anni.

[...]

3.7.2.2.2 Attraversamenti secondari

[...]

Le tipologie ammesse sono:

- tombini circolari in c.a. con diametro minimo 1.5 m;
- tombini scatolari in c.a. con dimensione minima 2 m.

Sono ammessi fino a due tombini affiancati.

In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.

La pendenza longitudinale del fondo dell'opera non dovrà essere inferiore al 0.2% e ciò al fine di impedire la sedimentazione di eventuale materiale solido trasportato

La sezione di deflusso complessiva del tombino dovrà consentire lo smaltimento della portata di massima piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.

Dovranno essere previsti gli opportuni accorgimenti per evitare, in corrispondenza delle fondazioni del manufatto, fenomeni di scalzamento o erosione.

[...]

3.8.1.2.1.2 Geometria del rilevato

[...]

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

[...]

I rilevati per i quali durante le piene possa instaurarsi una differenza di battente idrico tra un lato e l'altro, dovranno avere un adeguato coefficiente di sicurezza nei confronti di fenomeni di sifonamento o di sfiancamento per perdita di stabilità globale, anche nello scenario di assenza di battente idrico, ma rilevato saturo.

3 MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE

3.1 Generalità

Lo studio idrologico e idraulico eseguito ripercorre la metodologia generale esposta nello studio dell'AdBP del 2015 adeguandone il livello di dettaglio al fine di valutare la effettiva pericolosità idraulica della linea ferroviaria Barletta – Canosa nelle condizioni ante operam e indagando la tipologia di intervento possibile per la riduzione del rischio idraulico della stessa.

La modellazione idrodinamica è stata sviluppata mediante modello di calcolo bidimensionale ai volumi finiti.

Il software utilizzato per l'implementazione dei modelli è InfoWorks ICM 9.0 sviluppato dalla software house Innovyze con sede a Wallingford nel Regno Unito. La modellazione bidimensionale del corso d'acqua permette di rappresentare con accuratezza il flusso generato dalle portate di piena all'interno dell'asta fluviale e nelle aree ripariali attigue con la peculiarità di mettere in evidenza il comportamento della corrente in prossimità di bruschi restringimenti/allargamenti e forti curvature. È inoltre possibile valutare con un elevato grado di dettaglio gli effetti sulla propagazione del moto in prossimità di attraversamenti o di eventuali interferenze presenti lungo lo sviluppo del tratto fluviale verso valle.

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

Nella seguente immagine si riporta l'estensione dell'area di studio e i bacini sottesi alle sezioni di immissione degli idrogrammi di piena.

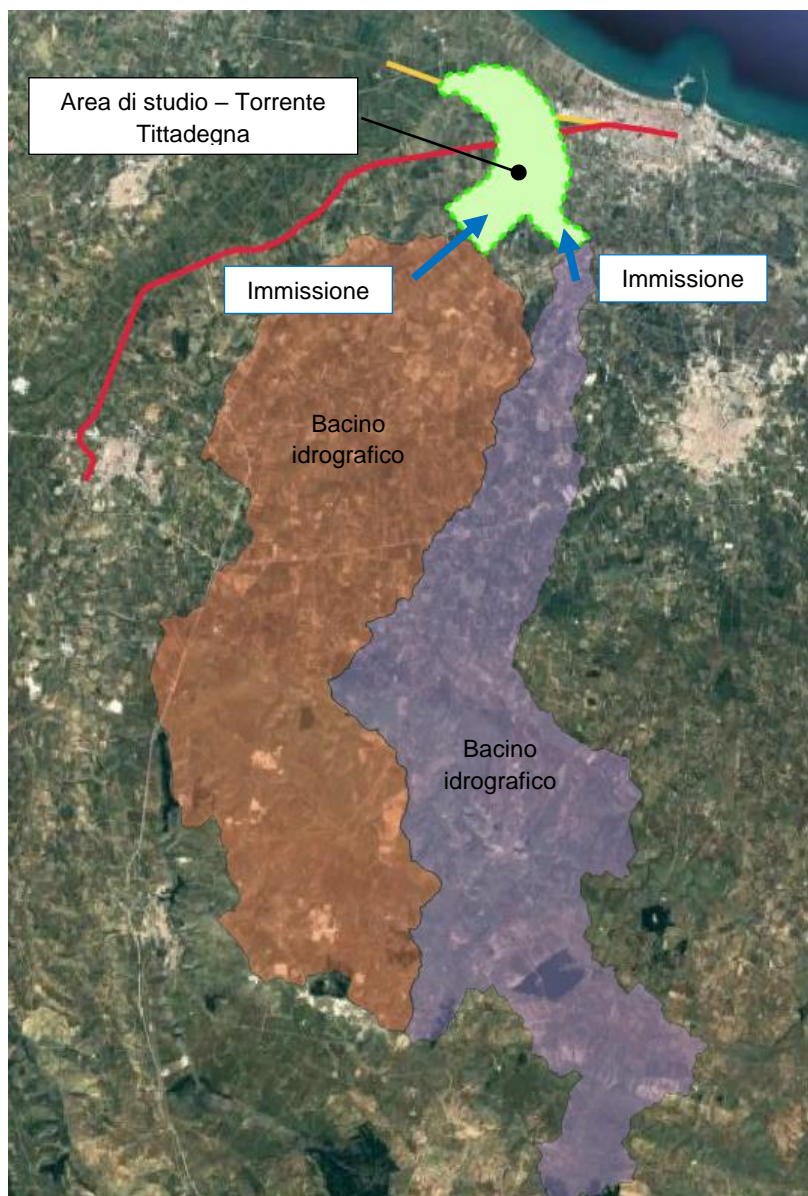


Figura 7 – Area di studio e sezioni di immissione con rispettivi bacini idrografici

3.2 Input idrologici

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

Per ciascun corso d'acqua analizzato, sono state individuate in modo opportuno, una o più sezioni di immissione dei flussi liquidi.

In Figura 8 è riportato il tratto di Fiume Tittadegna oggetto di approfondimento, assieme alle sezioni di immissione delle portate:

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	20 DI 76

- SEZ_75 – Idrogramma di piena
- SEZ_DX - Idrogramma di piena
- OF_01 – Condizione stazionaria Fiume Ofanto.

Nel modello sono state quindi considerate due sezioni di immissione della portata (SEZ 75 e SEZ DX) riportate in Figura 8.

Inoltre, al fine di simulare l'immissione del Torrente Tittadegna nel Fiume Ofanto, corso d'acqua principale, è stata applicata una condizione di moto stazionario ad un tratto di valle del Fiume Ofanto.

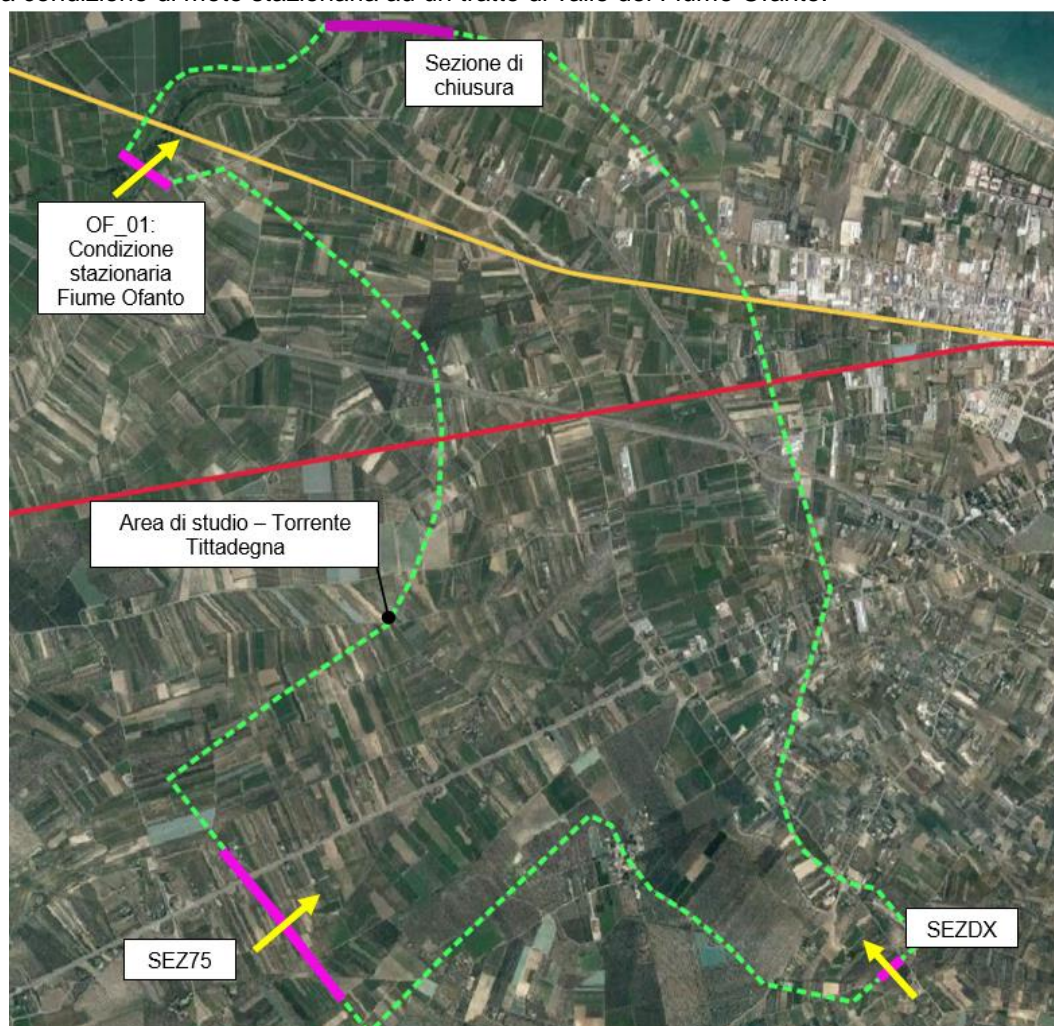


Figura 8 – Sezioni di input delle portate, Torrente Tittadegna

Per i due rami del Torrente Tittadegna, la sovrapposizione delle diverse onde “elementari” consente di ottenere le onde di piene risultanti.

All'interno dello studio idrologico, elaborato IA6C00F10RIID0001001A a cui si rimanda per i dettagli, sono stati definiti i vari contributi di portata calcolati alle assegnate sezioni di immissione. Ciascun contributo puntuale è il

risultato finale del processo idrologico che permette di ottenere, definito un bacino imbrifero chiuso alla sezione di immissione, ed assegnata una pioggia di progetto, l'idrogramma di piena corrispondente.

Sono stati quindi calcolati più idrogrammi di piena elementari, associati al medesimo tempo di ritorno. Nella presente relazione si riportano gli idrogrammi per i seguenti TR: 30, 200 e 500 anni.

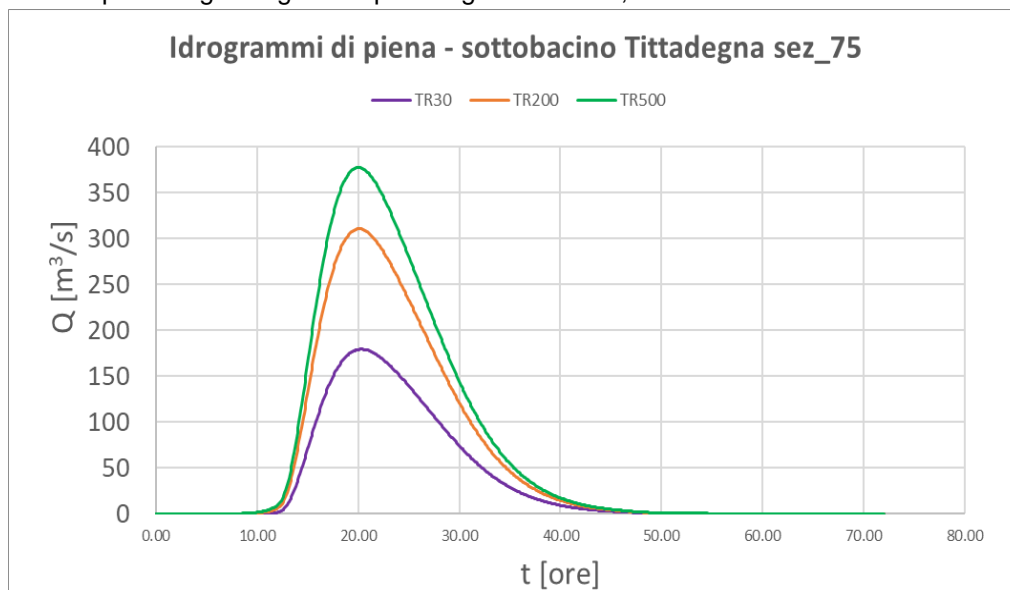


Figura 9: Idrogrammi di Piena – SEZ75

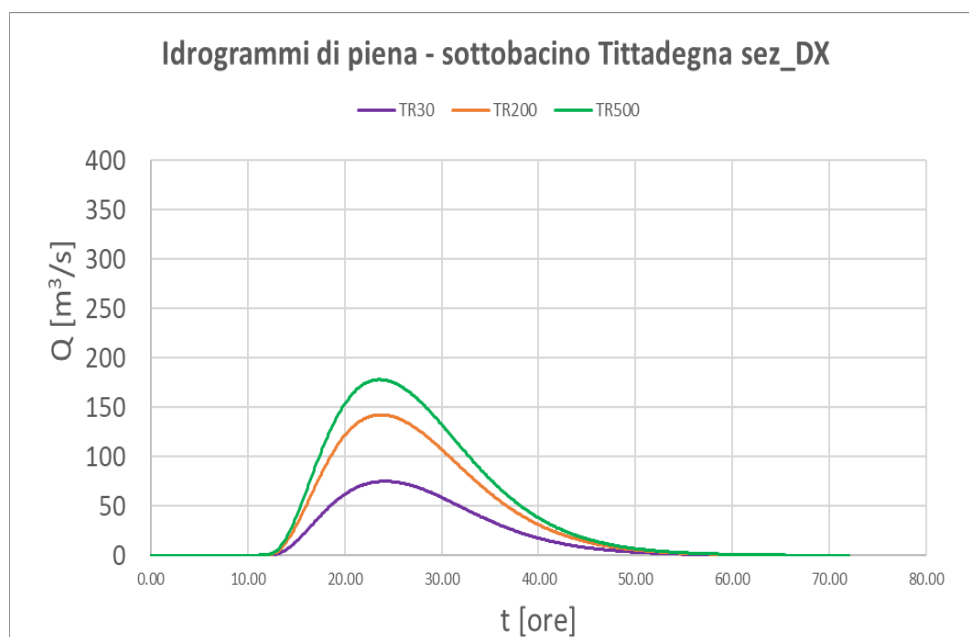


Figura 10: Idrogrammi di Piena – SEZDX

In Tabella 3 sono indicate le portate massime ottenute in corrispondenza delle sezioni di immissione.

Tabella 3: Portate massime di riferimento

	Q max [m ³ /s]		
	TR30	TR200	TR500
Sez75	179.1	310.2	377
SezDX	74.8	142.1	177.8

I valori risultano in accordo con quanto indicato nello studio dell'AdBP del 2015 e riportati in Tabella 1.

Si riportano infine, i valori di portata massima ottenuti dall' analisi idrologica alla pk3+931 della linea ferroviaria Barletta-Canosa.

Tabella 4: Portata massima in corrispondenza della pk 3+931 Barletta Canosa

	TR30	TR200	TR500
Studio ITF -SEZ 3+931	253.1	452.6	555.7

Anche in questo caso i valori ottenuti sono in accordo con quanto indicato nello studio dell'AdBP (Tabella 2).

3.3 Modello numerico

Il modello numerico utilizzato per valutare il campo di moto è basato sulla procedura descritta da Alcrudo and Mullet-Marti (2005), Urban inundation models based upon the Shallow Water Equations. La rappresentazione bidimensionale del moto si basa sulla risoluzione delle shallow water equations (o SWE). Le ipotesi alla base per la soluzione delle SWE sono che il flusso sia orizzontale e che la variazione della velocità nella verticale rispetto alla direzione del moto sia trascurabile. Inoltre le equazioni sono sviluppate accettando a priori l'ipotesi di idrostaticità del gradiente delle pressioni lungo la direzione verticale.

La formulazione delle SWE utilizzate nel software InfoWorks ICM è riassunta di seguito:

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

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

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

I termini citati rappresentano rispettivamente:

- h il tirante idrico della corrente
- u e v rispettivamente le componenti della velocità lungo le direzioni x ed y
- t il tempo
- g l'accelerazione di gravità
- S_{0,x} S_{0,y} le componenti dovute alle tensioni tangenziali al fondo, rispettivamente in direzione x e y
- ε è la viscosità turbolenta

- $S_{f,x}$ $S_{f,y}$ le componenti dovute alla pendenza del fondo, rispettivamente in direzione x e y
- q_i è la portata immessa per unità di superficie, u_i e v_i sono le componenti di velocità relative alla portata immessa rispettivamente in direzione x e y.

In InfoWorks ICM il contributo degli effetti turbolenti viene considerato separatamente in due termini: la turbolenza localizzata alla parete (wall friction), e la turbolenza “interna” dovuta agli effetti dissipativi correlati alle fluttuazioni di velocità nelle regioni più interne del fluido. Quest’ultimo termine è rappresentato all’interno del modello dalla viscosità turbolenta.

La formulazione conservativa delle SWE è essenziale al fine di preservare la massa e la quantità di moto. Questo tipo di formulazione permette di rappresentare le discontinuità nel flusso e i cambiamenti tra moto gradualmente e rapidamente vario (gradually varied flow e rapidly varied flow).

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

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

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

dove: CFL è il numero di Courant (il valore di default è 0.95), Δx è la dimensione caratteristica dell’elemento appartenente alla griglia di calcolo, u e v sono le componenti piane del vettore velocità, c è la celerità dell’onda, Δt è il time step.

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

3.4 La geometria del modello

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

In Figura 11 è riportata l’estensione del dominio di calcolo delimitato da un poligono di colore verde. Nella stessa immagine è visibile l’asse del corso d’acqua (linea azzurra), l’asse della linea ferroviaria Barletta-Canosa (in rosso) e l’asse della linea ferroviaria Foggia-Potenza (in giallo). Il dominio si estende su una superficie di circa 15 km². All’interno del dominio di calcolo, il Torrente Tittadegna si sviluppa per una lunghezza di circa 10 km.

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	24 DI 76



Figura 11: Estensione del dominio di calcolo, Torrente Tittadegna

L'andamento piano altimetrico del dominio di calcolo è basato sull'utilizzo del DTM con cella 1m fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Le risoluzioni del DTM sono adeguate a rappresentarne le caratteristiche piano altimetriche delle aree indagate. In Figura 12 è rappresentata l'estrapolazione tridimensionale della mappa altimetrica dell'area sopra descritta. In questa figura il dominio di calcolo è rappresentato da un poligono arancione. Sempre in Figura 12 è evidenziato un ingrandimento di una porzione del DTM in cui è possibile apprezzare il livello di dettaglio molto elevato.

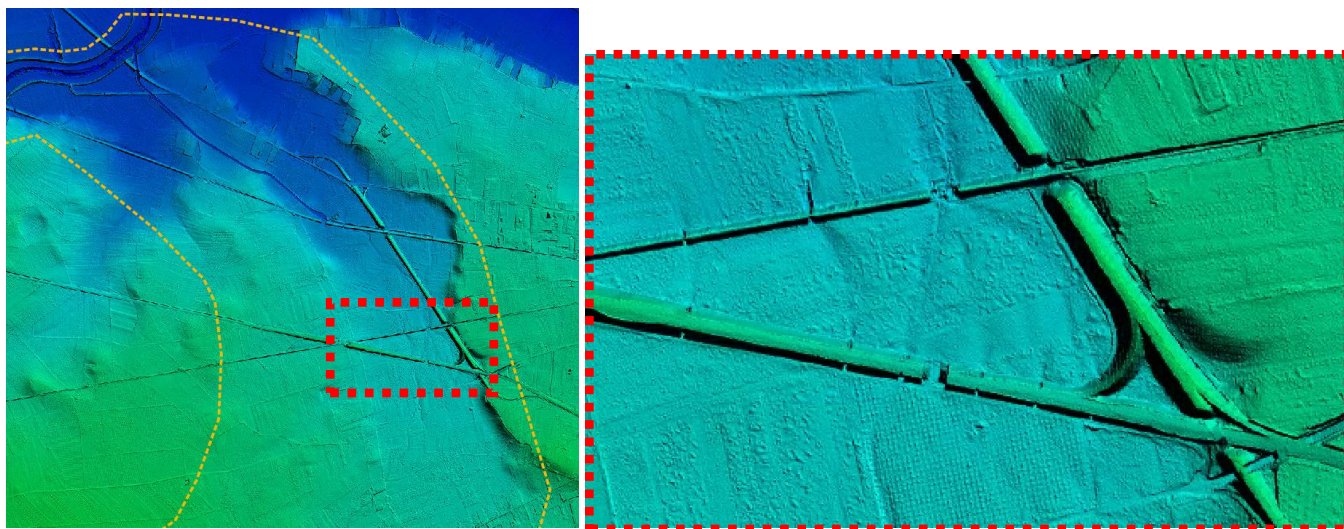


Figura 12: DTM di riferimento

La mesh base di calcolo, rappresentata in Figura 13, è costituita da circa 322500 elementi. La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 60 m² e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un'area di 40 m².

Sono state poi create delle aree di maggior dettaglio caratterizzate da una mesh più fitta:

- zona in corrispondenza degli attraversamenti lungo la SS16 e la linea ferroviaria Barletta-Canosa
- zona in corrispondenza degli attraversamenti lungo la linea ferroviaria Bari-Foggia
- Canale a valle della linea ferroviaria Bari-Foggia

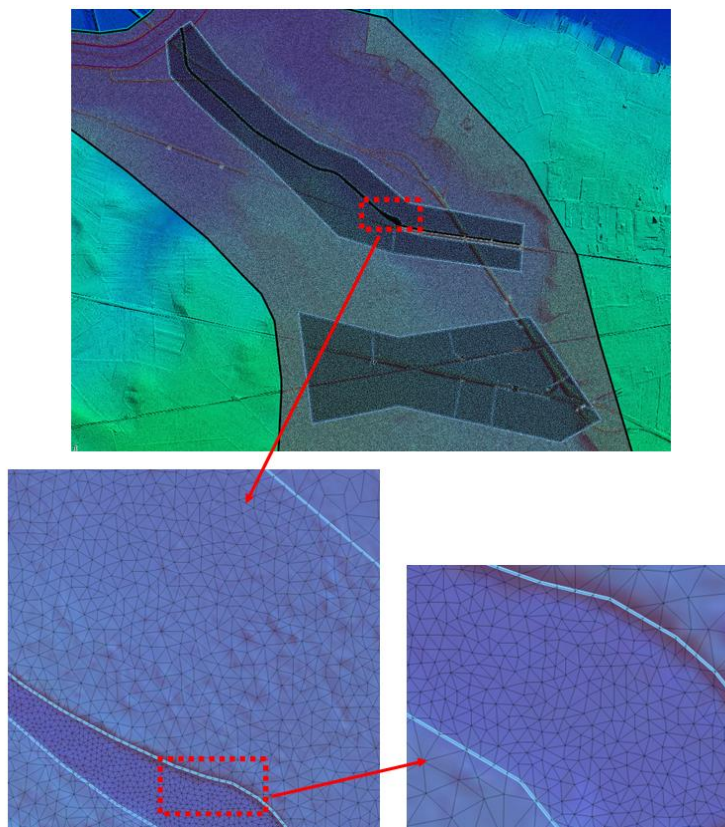


Figura 13: Mesh di calcolo

Nella presente analisi sono state simulate le configurazioni geometriche relative allo stato di fatto e alle ipotesi progettuali indagate. Le geometrie e i risultati sono descritte nei seguenti capitoli.

3.4.1 Geometria Ante Operam

La geometria ante operam rappresenta lo stato attuale dell'area in esame. All' interno del dominio di calcolo, oltre al rilevato ferroviario della linea Barletta-Canosa oggetto di studio, ne sono presenti altri che attraversano trasversalmente il dominio, tra cui, a monte, il rilevato stradale SS16 e, a valle, il rilevato ferroviario della linea Bari-Foggia. Longitudinalmente al dominio invece si colloca il rilevato stradale di raccordo della SS16 (Figura 14).

Le informazioni relative alla geometria degli attraversamenti idraulici sono state ricavate dalla campagna di rilievi topografici effettuati nel Gennaio 2020. Laddove le informazioni del rilievo topografico non sono risultate disponibili, le informazioni sono state ricavate dal DTM 1mx1m e/o dalle cartografie 3D disponibili.

La posizione dei tombini è mostrata nella seguente immagine. In verde gli attraversamenti idraulici per i quali era disponibile il rilievo, mentre in rosa gli attraversamenti le cui informazioni sono state ricavate dal DTM 1x1m.

Tutti i tombini, ad eccezione dei viadotti, sono stati rappresentati nel modello come oggetti monodimensionali del tipo "conduit".

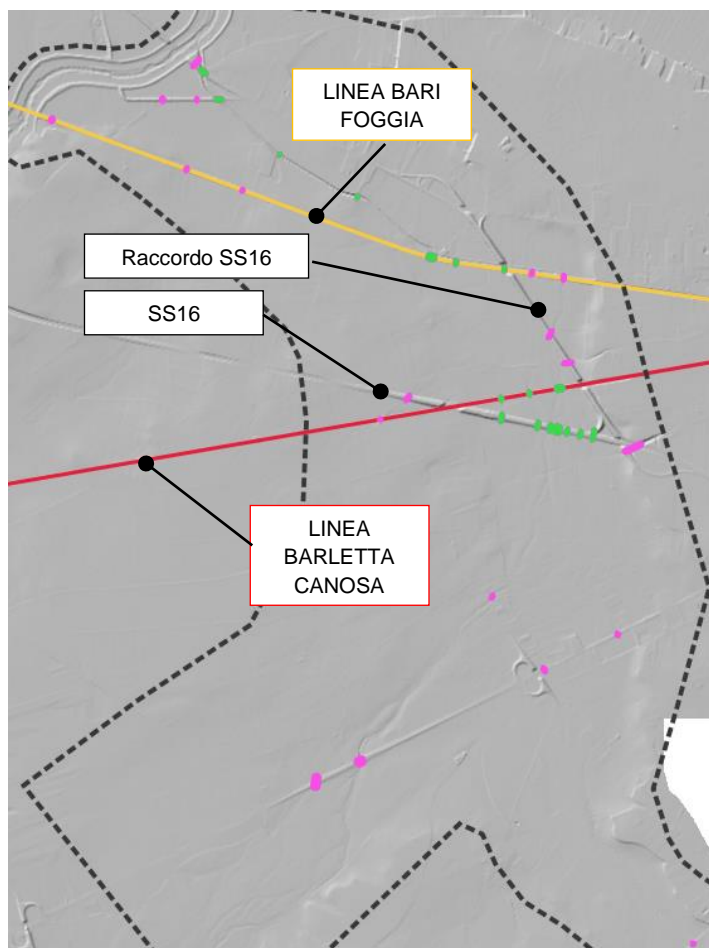


Figura 14: Inquadramento degli attraversamenti

All'interno dell'area di interesse, la linea ferroviaria esistente Barletta-Canosa percorre la valle del Torrente Tittadegna, intersecando il corso d'acqua tra le progressive 3+791 e 4+578. Nel tratto in esame sono attualmente presenti tre opere di attraversamento di ampiezza piuttosto limitata:

- Opera BD10 alla pk 4+281 circa – Ponticello ad arco 2mx4m (Figura 17);
- Opera BD09 alla pk 4+111 circa- Ponticello ad arco 3mx4m (Figura 17); L' opera BD09 si ritrova nello studio AdBP 2015 con il nome "OF00000081FV".
- Opera BD08 alla pk 3+911 circa– Viadotto a 5 archi 6mx3.5m (Figura 18)

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	28 DI 76

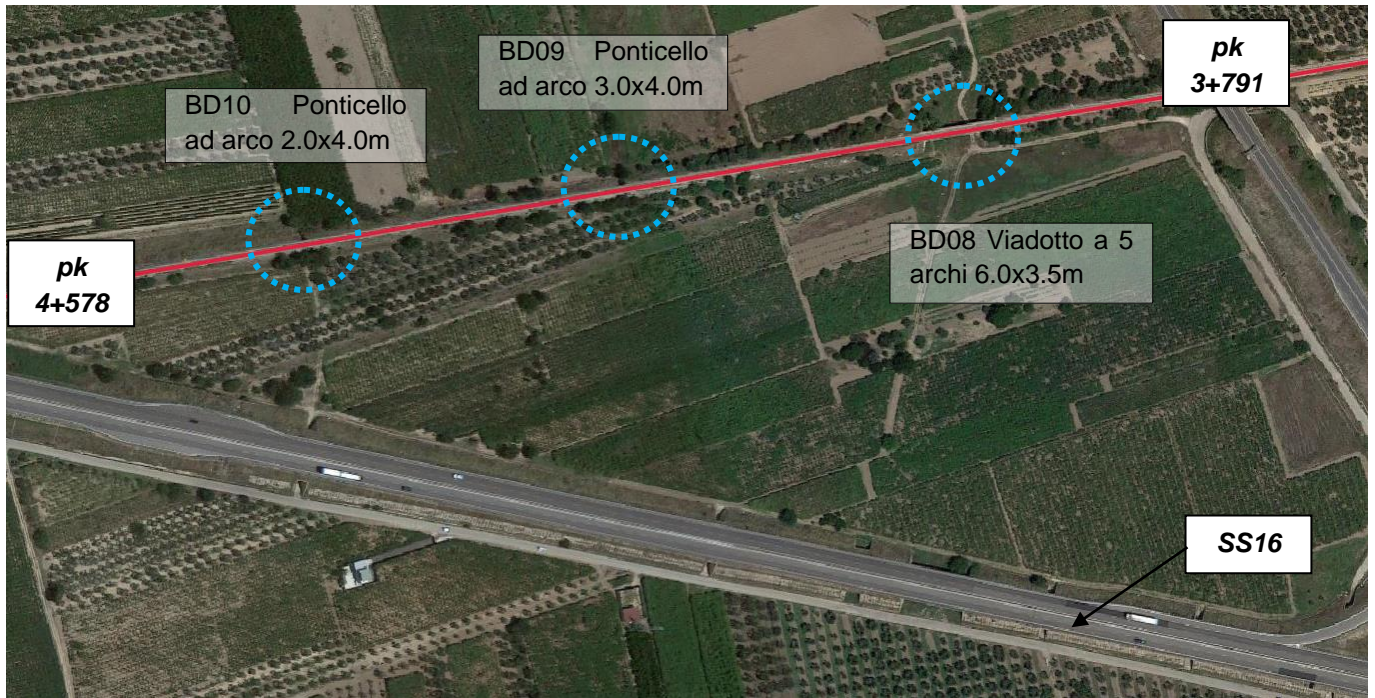


Figura 15 Inquadramento opere esistenti

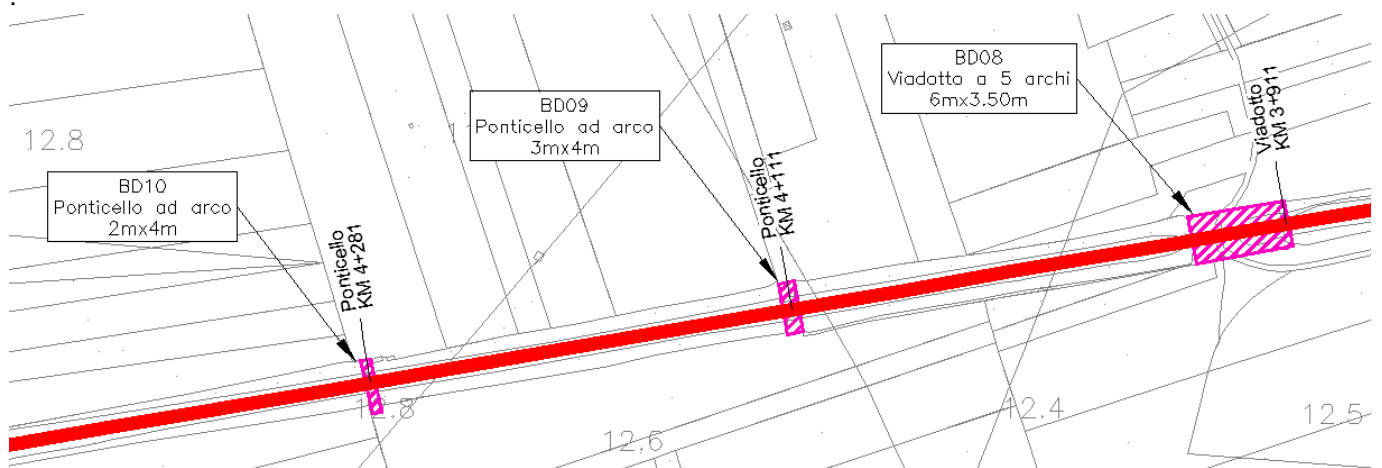


Figura 16: Inquadramento attraversamenti su CTR – linea Barletta-Canosa

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	29 DI 76



Figura 17: Opere esistenti- BD10 alla pk 4+281 e BD09 alla pk 4+111



Figura 18: Opere esistenti- BD08 alla pk 3+911

3.5 Definizione delle scabrezze del modello

La scelta del valore dell'indice di Manning deriva dall'elevata dipendenza che i tiranti e le velocità hanno in relazione a questo parametro.

L'area in esame è principalmente caratterizzata da frutteti e uliveti come rappresentato nelle seguenti immagini.

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	30 DI 76

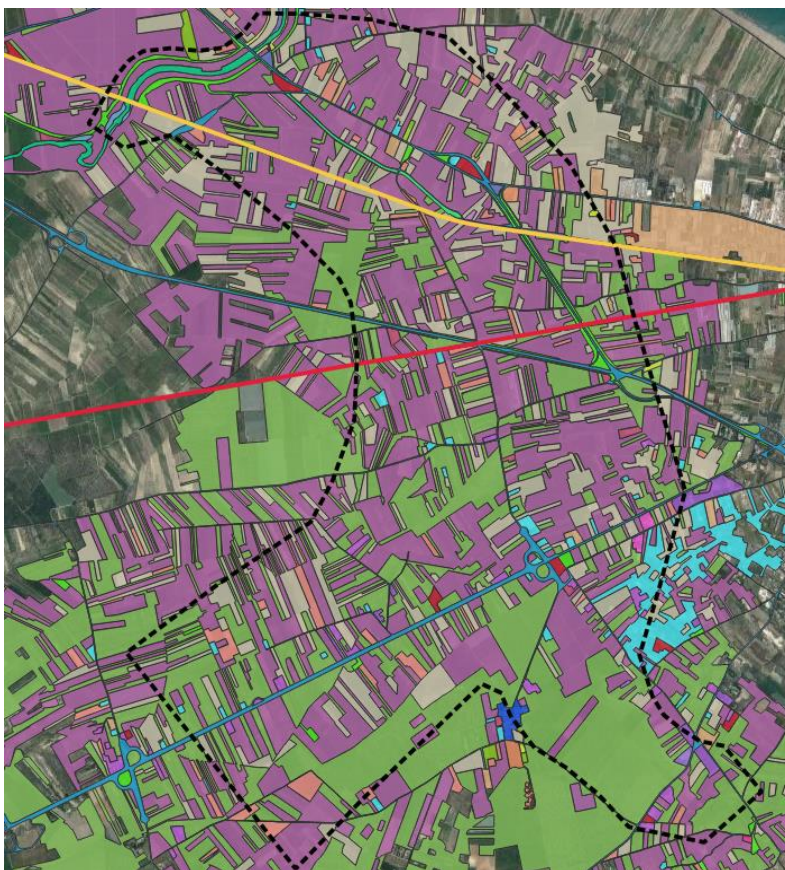


Figura 19 Uso del suolo – suddivisione per categorie (in viola i vigneti e verde gli uliveti)

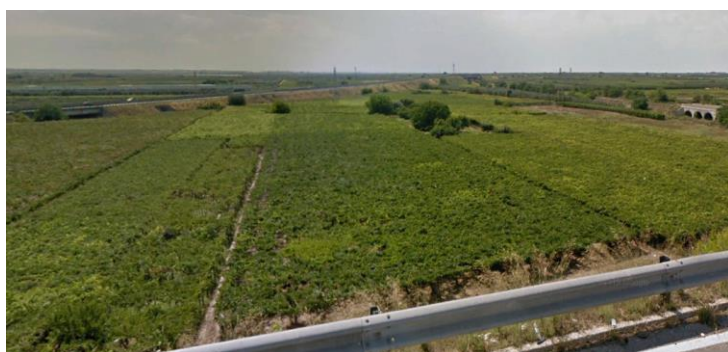


Figura 20 Immagine area interclusa tra SS e linea Barletta Canosa



Figura 21 Immagine a monte della SS16

I dati di letteratura forniscono dei valori massimi e minimi per i coefficienti di scabrezza che sono stati presi a riferimento.

Tabella 5: Tabella indice di Manning – Channel flow

Tabella indice di Manning					
Categoria di uso del suolo definita nel SIT	Categoria associata	Bibliografia	Min.	Norm.	Max
Uliveti	Alberi, terra pulita con radici, germogli fitti	Chow, 1959	0,050	0,060	0,080
Vigneti	Raggruppamento pesante di tronchi, pochi alberi, poco sotto bosco, flusso al di sotto dei rami	Chow, 1959	0,080	0,100	0,120

Tabella 6: Tabella indice di Manning – Sheet flow

Tabella indice di Manning			
Categoria di uso del suolo definita nel SIT	Categoria associata	Bibliografia	Norm.
Uliveti	Foresta con sottobosco leggero	Engman, 1986	0.06
Vigneti	Foresta con sottobosco leggero	Engman, 1986	0.1

Dopo un'attenta analisi si è scelto di adottare per l'area del domino 2D un coefficiente di manning pari a 0.067; per il canale in cls a valle della linea Bari-Foggia un valore pari a 0.025 e per l'area dell'Ofanto un valore pari a 0.03. I valori scelti per il dominio 2D sono coerenti con i valori indicati all'interno dello studio dell'AdBP del 2015.

4 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

4.1 Criteri di presentazione dei risultati

I risultati delle simulazioni numeriche sono riportati negli elaborati grafici allegati. In questi elaborati sono rappresentati i tiranti e le velocità ricavati dalle simulazioni numeriche per onde di piena caratterizzate da tempi di ritorno di 200 anni. La portata duecentennale è indicata come valore di riferimento sia nel Manuale di progettazione delle opere ferroviarie che nelle Norme tecniche NTC2018 (Tabella 7).

Negli elaborati prodotti, sono stati esposti i risultati ottenuti adottando le due configurazioni geometriche, quella dello stato di fatto e quella dello stato di progetto.

Tabella 7: Tempi di ritorno richiesti per le verifiche idrauliche

Normativa	TR richiesto per le verifiche
NTC2018	200
Manuale di progettazione	200

Nel Manuale di progettazione delle opere ferroviarie al paragrafo 3.7.2.1.2 viene richiesto che “..per le verifiche di opere esistenti sarà utile calcolare le portate con tempo di ritorno di 30, 50, 100, 200 e 500 anni. Per gli attraversamenti più importanti si calcolerà una portata di piena estrema, per eventuali verifiche di uno scenario di superamento della portata di progetto;”

Nei seguenti capitoli, saranno descritti i risultati ottenuti dalle simulazioni svolte per TR 30, TR200 e TR500 anni. Nel presente progetto, coerentemente con la fase di PFTE, lo studio idraulico è stato quindi svolto con riferimento ai tempi di ritorno considerati dalla AdB negli strumenti di pianificazione con la finalità di valutare le condizioni idrauliche che si instaurano in occasione delle piene ordinarie (Tr=30anni), di progetto (Tr=200anni) ed eccezionali (Tr=500anni).

4.2 Simulazioni Ante operam

Nei prossimi paragrafi verranno illustrate le principali criticità emerse attraverso le simulazioni dello stato di fatto, in particolare verranno messe in evidenza le interferenze tra le aree allagate e la linea ferroviaria Barletta-Canosa. Nel tratto in esame sono attualmente presenti tre opere di attraversamento di ampiezza piuttosto limitata le cui caratteristiche sono state descritte nel paragrafo 3.4.1.

I risultati delle simulazioni numeriche evidenziano l'influenza della viabilità SS16 sulla linea ferroviaria Barletta – Canosa, anche nel caso di eventi caratterizzati da un tempo di ritorno basso; il rilevato stradale infatti crea uno sbarramento al naturale deflusso del corso d'acqua, con conseguente aumento dei tiranti idrici.

Nelle figure Figura 22, Figura 23 e Figura 24 sono riportati i massimi livelli idrici e l'estensione delle aree allagate ottenute dalle simulazioni con tempi di ritorno 30, 200 e 500 anni.

4.2.1 Risultati simulazione Ante Operam Tr 30 anni

Nella seguente immagine solo riportati i massimi tiranti idrici e l'estensione delle aree allagate ottenuti nella simulazione dello stato di fatto, per la piena con tempo di ritorno 30anni.

Il viadotto esistente presenta un funzionamento a pelo libero con un franco minimo di 80cm mentre i tombini BD09 e BD10 presentano un grado di riempimento pari all' 85%.

I livelli idrici massimi a monte della linea si attestano intorno ai 14.2 m s.m.m. mentre la quota della piattaforma ferroviaria (piano di regolamento), nel tratto considerato tra i due cavalcaferrovia esistenti alle pk 3+791 e 4+578, varia da un minimo di 15m ad un massimo di 16.4 m s.m.m. Si hanno quindi dei franchi molto ridotti, valore minimo pari a circa 0,8m.

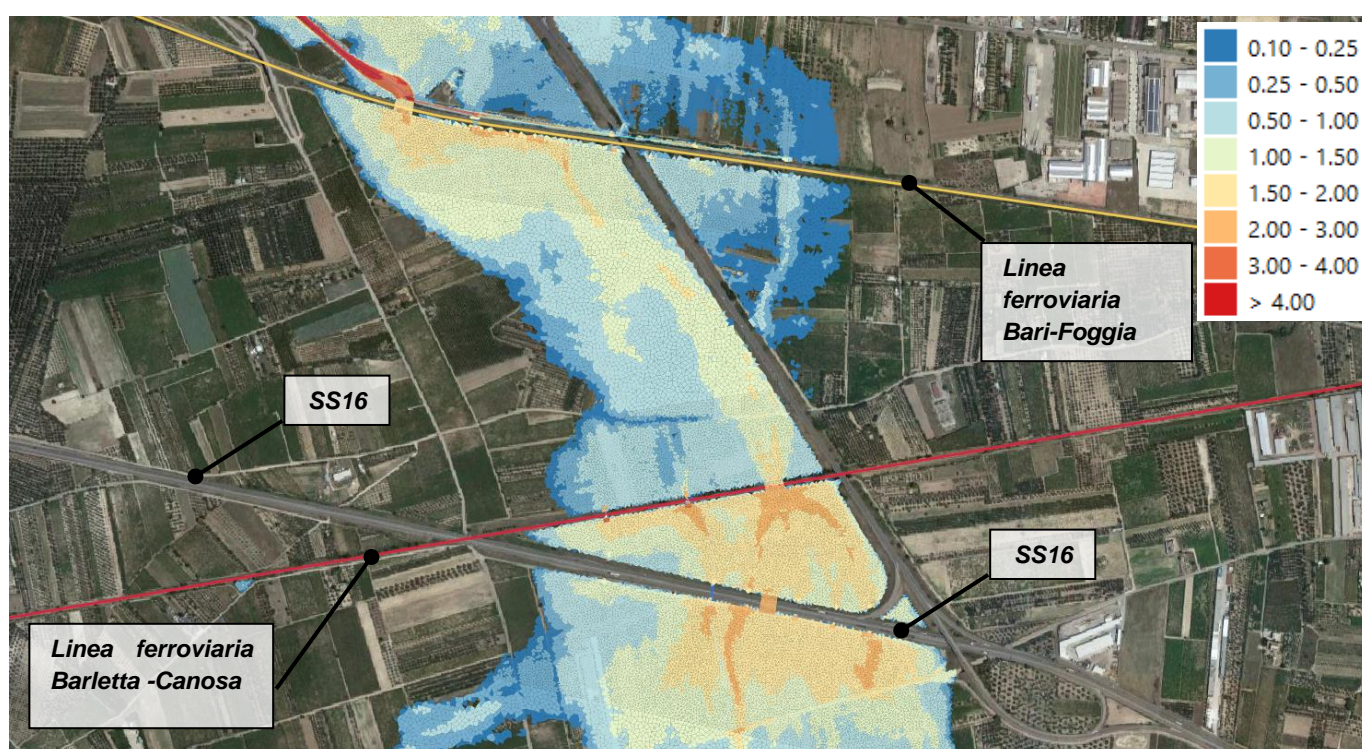


Figura 22 Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ante operam – TR30

Nella tabella seguente sono stati riportati l'identificativo dell'opera esistente, la quota scorrimento, l'altezza del viadotto principale, le dimensioni opere esistenti B (larghezza) e H (altezza), la quota dell'intradosso, e la quota massima del rilevato. Nelle colonne evidenziate in grigio è riportato il franco rispetto il livello idrico, il grado di riempimento e il franco tra sommità del rilevato e livello idrico.

Tabella 8: Verifiche SDF TR30anni

SDF 30 anni										
ID	Qs modello	livello monte	H viadotto	B	H	Quota intradosso	Quota max rilevato	FRANCO	GR	FRANCO
	m s.m.m.	m s.m.m.	intradosso-fondo	m	m	m s.m.m.		intradosso-livello		sommità rilevato-livello
								m		m
Opera BD08	11.4	14.2	3.3	-	-	15.07	16.33	0.87	-	2.13
viadotto a 5	11.4	14.2	3.32	-	-	15.1	16.37	0.90	-	2.17

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	34 DI 76

archi	11.4	14.2	3.44	-	-	15.13	16.41	0.93	-	2.21
	11.4	14.2	3.56	-	-	15.16	16.45	0.96	-	2.25
	11.4	14.2	3.61	-	-	15.2	16.48	1.00	-	2.28
Opera BD09	10.8	14.2	-	2	4	14.79	15.86	0.59	85%	1.66
Opera BD10	10.8	14.2	-	3	4	14.81	15.9	0.61	85%	1.70

Nota: i franchi e i riempimenti riportati in tabella sono riferiti alla quota intradosso misurata in chiave per i manufatti ad arco

4.2.2 Risultati simulazione Ante Operam Tr 200 anni

Nella seguente immagine solo riportati i massimi tiranti idrici e l'estensione delle aree allagate ottenuti nella simulazione dello stato di fatto per la piena con tempo di ritorno 200anni.

I risultati della simulazione mettono in evidenza alcune criticità dell'area; la capacità di portata degli attraversamenti risulta insufficiente, i profili idrici sono rigurgitati e i livelli idrici massimi risultano poco inferiori alla quota di sommità dei rilevati.

I livelli idrici massimi a monte della linea si attestano intorno ai 15.45 m s.m.m. mentre la quota della piattaforma ferroviaria (piano di regolamento), nel tratto considerato tra i due cavalcaferrovia esistenti alle pk 3+791 e 4+578, varia da un minimo di 15m ad un massimo di 16.4 m s.m.m e le quote del piano del ferro variano da un minimo di 15.80 a un massimo di 17.2m s.m.m. Risulta quindi, che per eventi con TR200, si realizza un fenomeno di incipiente tracimazione del piano del ferro, con livelli idrici al di sopra del piano di regolamento di circa 0.4m; i manufatti idraulici esistenti funzionano in pressione.

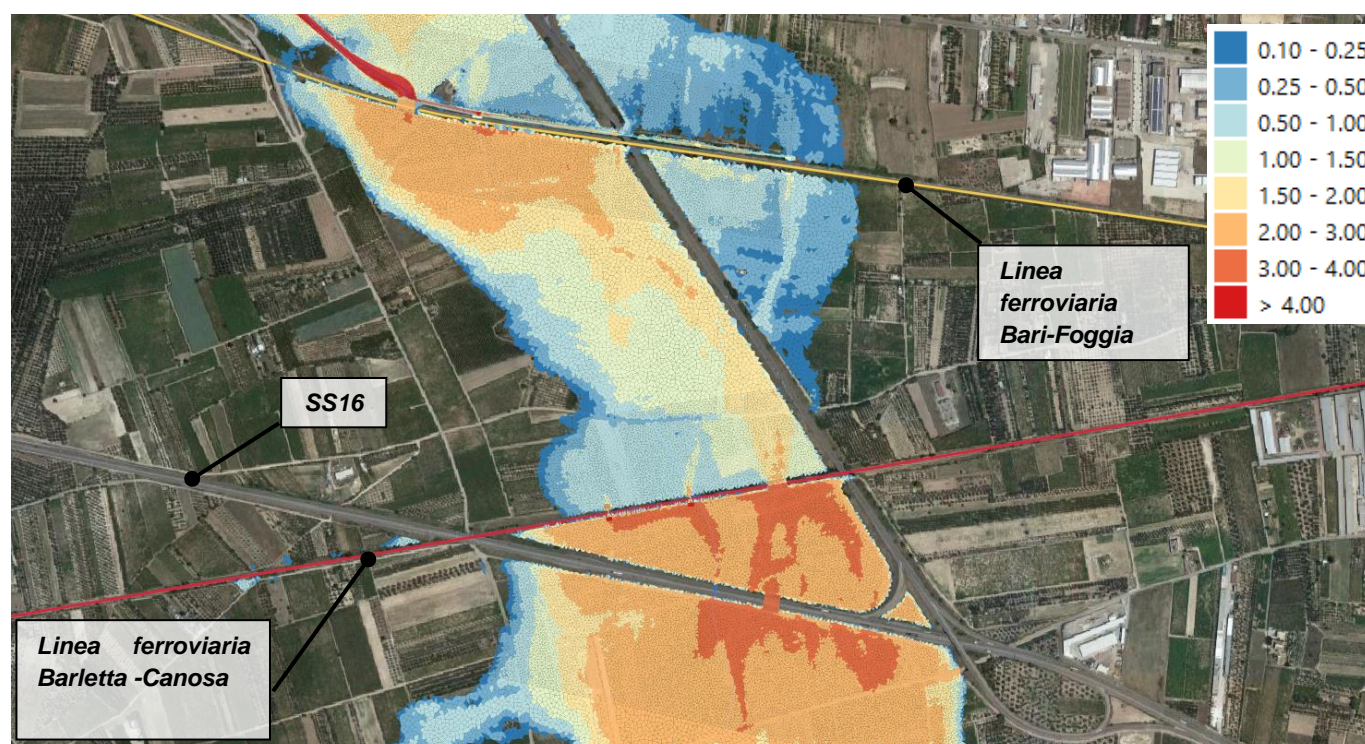


Figura 23 Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ante operam – TR200

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	35 DI 76

Nella tabella seguente sono stati riportati l'identificativo dell'opera esistente, la quota scorrimento, l'altezza del viadotto principale, le dimensioni opere esistenti B (larghezza) e H (altezza), la quota dell'intradosso, e la quota massima del rilevato. Nelle colonne evidenziate in grigio è riportato il franco rispetto il livello idrico, il grado di riempimento e il franco tra sommità del rilevato e livello idrico. I franchi e i riempimenti riportati in tabella sono riferiti alla quota intradosso misurata in chiave per i manufatti ad arco

Tabella 9: Verifiche SDF TR200anni

SDF 200 anni										
ID	QS modello	livello monte	H viadotto	B	H	Quota intradosso	Quota max sommità rilevato	Franco intradosso-livello	GR	Franco sommità rilevato-livello
	m s.m.m.	m s.m.m.	intradosso-fondo	m	m	m s.m.m.		m		m
Opera BD08 viadotto a 5 archi	11.4	15.45	3.3	-	-	15.07	16.33	-0.38	-	0.88
	11.4	15.45	3.32	-	-	15.1	16.37	-0.35	-	0.92
	11.4	15.45	3.44	-	-	15.13	16.41	-0.32	-	0.96
	11.4	15.45	3.56	-	-	15.16	16.45	-0.29	-	1.00
	11.4	15.45	3.61	-	-	15.2	16.48	-0.25	-	1.03
Opera BD09	10.8	15.45	-	2	4	14.79	15.86	-0.66	116%	0.41
Opera BD10	10.8	15.45	-	3	4	14.81	15.9	-0.64	116%	0.45

4.2.3 Risultati simulazione Ante Operam Tr 500 anni

Nella seguente immagine solo riportati i massimi tiranti idrici e l'estensione delle aree allagate ottenuti nella simulazione dello stato di fatto per la piena con tempo di ritorno 500anni.

La simulazione in oggetto mette in evidenza come la capacità di portata degli attraversamenti appaia insufficiente; i livelli idrici massimi risultano di poco inferiori alla quota di sommità del rilevato che in alcuni punti risulta tracimato.

Nella seguente immagine viene evidenziata con un tratteggio l'area in cui avviene la tracimazione del rilevato.

I livelli idrici massimi a monte della linea si attestano intorno ai 15.96 m s.m.m. mentre la quota della piattaforma ferroviaria (piano di regolamento), nel tratto considerato tra i due cavalcaferrovia esistenti alle pk 3+791 e 4+578, varia da un minimo di 15m ad un massimo di 16.4 m s.m.m e le quote del piano del ferro variano da un minimo di 15.80 a un massimo di 17.2m s.m.m. Risulta quindi che per eventi con TR500 si verifica la tracimazione del rilevato per circa 300m.

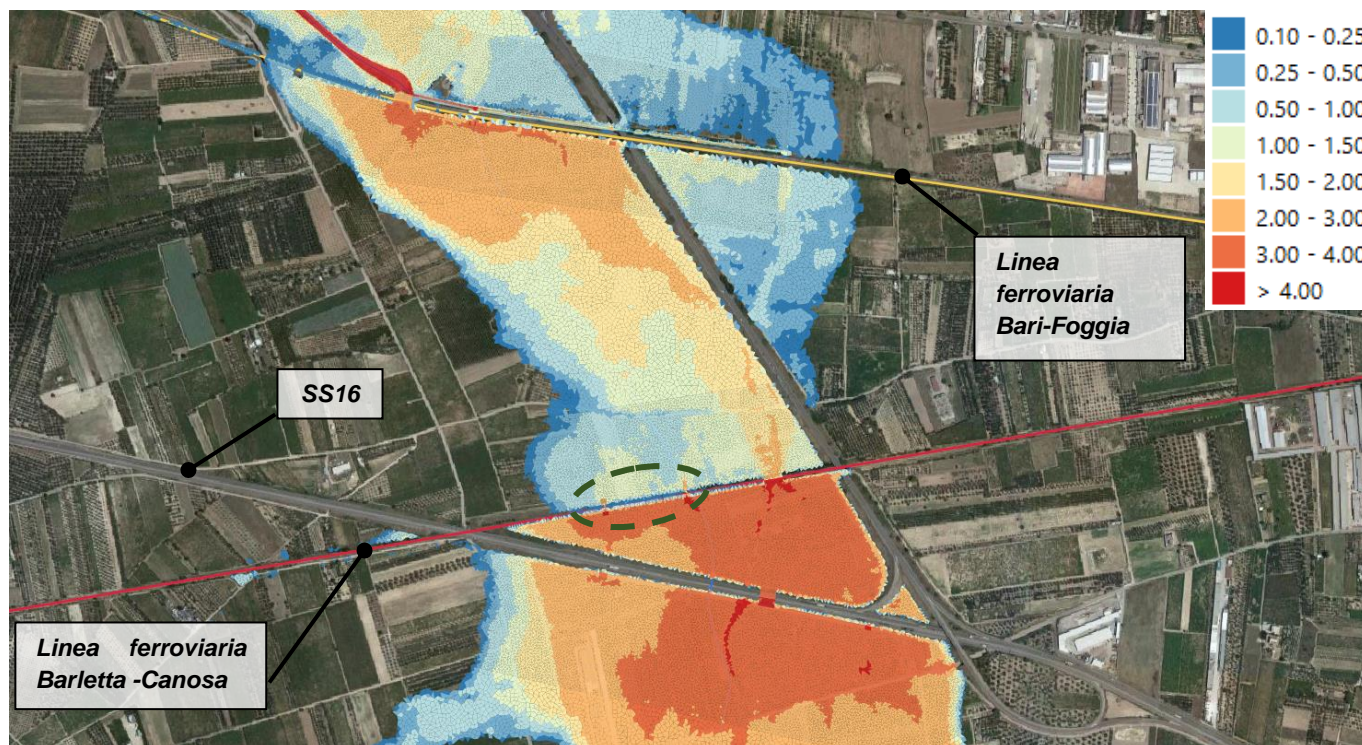


Figura 24 Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ante operam – TR500

Nella tabella seguente sono stati riportati l'identificativo dell'opera esistente, la quota scorrimento, l'altezza del viadotto principale, le dimensioni opere esistenti B (larghezza) e H (altezza), la quota dell'intradosso, e la quota massima del rilevato. Nelle colonne evidenziate in grigio è riportato il franco rispetto il livello idrico, il grado di riempimento e il franco tra sommità del rilevato e livello idrico.

Tabella 10: Verifiche SDF TR500anni

SDF 500 anni										
ID	Qs modello	livello monte	H viadotto	B	H	Quota intradosso	Quota max sommità rilevato	Franco intradosso-livello	GR	Altezza sommità rilevato-livello
	m s.m.m.	m s.m.m.	intradosso-fondo	m	m	m s.m.m.		m		m
Opera BD08 viadotto a 5 archi	11.4	15.96	3.3	-	-	15.07	16.33	-0.89	-	0.37
	11.4	15.96	3.32	-	-	15.1	16.37	-0.86	-	0.41
	11.4	15.96	3.44	-	-	15.13	16.41	-0.83	-	0.45
	11.4	15.96	3.56	-	-	15.16	16.45	-0.80	-	0.49
	11.4	15.96	3.61	-	-	15.2	16.48	-0.76	-	0.52
Opera BD09	10.8	15.96	-	2	4	14.79	15.86	-1.17	129%	-0.10
Opera BD10	10.8	15.96	-	3	4	14.81	15.9	-1.15	129%	-0.06

Nota: i franchi e i riempimenti riportati in tabella sono riferiti alla quota intradosso misurata in chiave per i manufatti ad arco

4.2.4 Confronto con studi pregressi

Si osserva che la modellazione implementata nel presente progetto riproduce con buona approssimazione le aree allagate presentate dal modello bidimensionale dell'AdBP del 2015². Il modello implementato dall' AdBP termina a monte della SS16. Si riporta di seguito le immagini con i risultati degli studi.

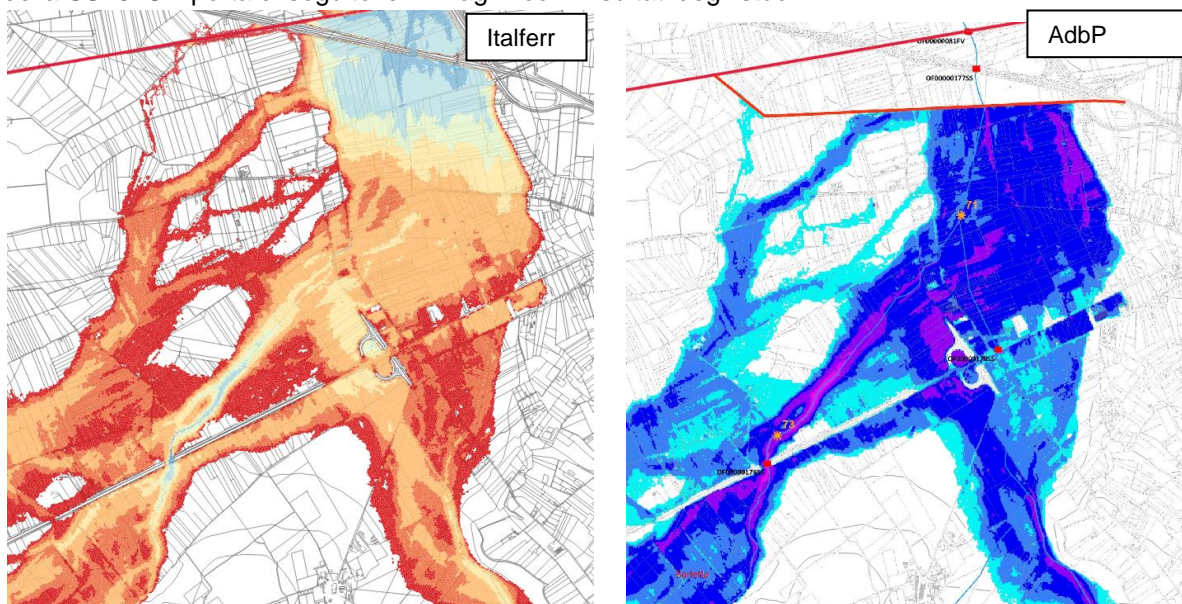


Figura 25 Confronto aree allagate con studi pregressi

5

5

² Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia – Ofanto, Dicembre 2015.

5 IPOTESI PROGETTUALI INDAGATE

Le simulazioni idrauliche sviluppate con riferimento alla configurazione ante operam hanno confermato il contesto di elevata pericolosità idraulica del territorio, sebbene con tempi di ritorno diversi da quelli che erano stati valutati nello studio della AdB. Il presente studio ha quindi riguardato le seguenti ipotesi di intervento per la messa in sicurezza idraulica della linea ferroviaria Barletta-Canosa:

- la laminazione dei volumi esondati a monte della SS16 per la riduzione dei livelli idrici in corrispondenza della linea ferroviaria Barletta-Canosa;
- la massimizzazione della trasparenza idraulica del rilevato della Barletta-Canosa nel tratto interessato dalle esondazioni del Torrente Tittadegna.

Gli esiti di tali analisi sono illustrati nei paragrafi a seguire.

5.1.1 Valutazioni in merito alla laminazione dei volumi esondati a monte della SS16

Partendo dalla condizione dello stato di fatto, sono state stimate le dimensioni di una cassa di espansione, da realizzare a monte della SS16, in modo tale da ridurre di 1 m il tirante a monte della linea Barletta Canosa, in assenza di altri interventi sulla linea ferroviaria.

La curva di portata e l'idrogramma di piena, riportati nella seguente immagine, sono stati estratti dalla modellazione numerica dello stato di fatto.

A parità di configurazione, abbassare il livello di 1m equivale a limitare la Q_{max} a 280mc/s (linea verde).

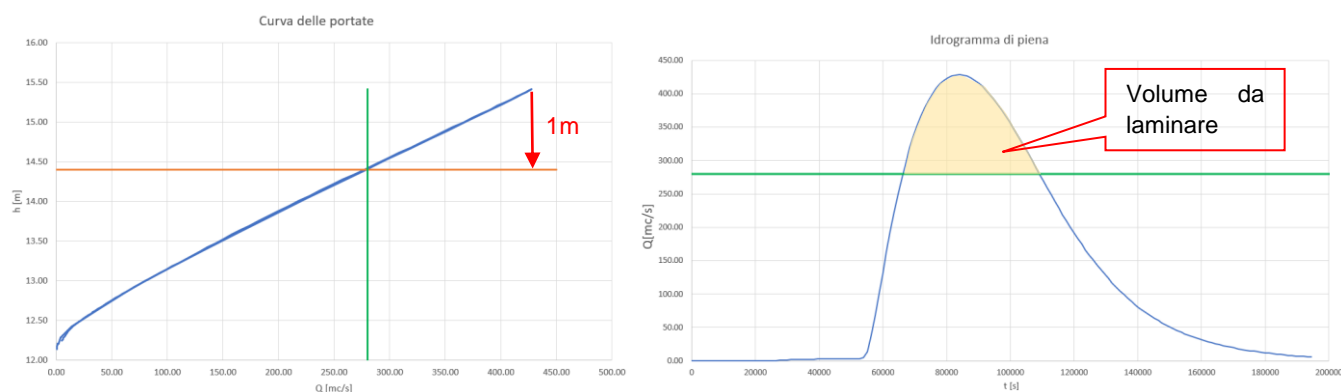


Figura 26 Valutazione cassa di espansione – Curva delle portate e idrogramma di piena

Per limitare la portata effluente a tale valore, sarebbe necessario realizzare un invaso in grado di trattenere un volume pari a quello evidenziato in giallo in Figura 26.

Il volume ottenuto risulta pari a circa 4 mln di mc; a titolo di esempio, considerando un'altezza media di invaso pari a 1.5 m risulta una superficie di 275 ha.

I risultati delle analisi confermano pertanto il fatto che per ottenere una significativa riduzione dei livelli idrici in corrispondenza della linea ferroviaria Barletta-Canosa attraverso opere di laminazione delle portate esondate a monte della SS16 sarebbero necessari interventi la cui estensione assume carattere di bacino. Stante il carattere

ad ampia scala, si ritiene opportuno che tale tipologia di intervento sia affrontata dalle Autorità competenti deputate alla gestione del territorio e tenendo conto degli indirizzi programmatici contenuti nello studio della AbB del 2015, che prevedeva come soluzione strutturale la realizzazione di una cassa di espansione a monte della SS16,

5.2 Ipotesi di massimizzazione della trasparenza idraulica del rilevato della Barletta-Canosa

Lo studio ha valutato la possibilità di aumentare la trasparenza idraulica del rilevato ferroviario nel tratto interessato dalle esondazioni del Torrente Tittadegna attraverso l'inserimento di una serie di tombini idraulici. Tale ipotesi progettuale, rappresenta in Figura 27, comprende la realizzazione di:

- 6 tombini doppia canna 3.0x3.0m
- 24 tombini doppia canna 3.0x2.5m
- 3 tombini doppia canna 3.0x2.0m
- Sagomatura del terreno a monte e a valle del viadotto esistente BD08, con la formazione di una savanella che corrisponde a una sezione trapezia larga 50m ed estesa per una lunghezza totale di circa 475m. In particolare, in corrispondenza del viadotto l'intervento consiste sostanzialmente nella eliminazione dei depositi che si sono accumulati nel tempo, dovuti al trasporto solido della corrente, con la asportazione di uno strato di terreno di circa 50 cm di spessore. A monte e a valle del viadotto, la formazione della savanella comporta uno scavo di spessori di terreno variabili rispettivamente tra 1 m e 0.4 m.

Nel seguito della relazione ci si riferirà a tale scenario indicandola come "ipotesi progettuale". I tombini, modellati come oggetti monodimensionali del tipo "conduit", hanno lo scopo di aumentare la trasparenza idraulica del rilevato.

5.2.1 Definizione delle scabrezze – Ipotesi progettuale

La ipotesi progettuale indagata prevede la sagomatura del fondo a monte e a valle del viadotto esistente BD08; nel modello numerico a questo tratto è stato attribuito un valore di scabrezza (coefficiente di Manning) pari a 0.025. La scelta del valore, inferiore a quelli riportati nelle precedenti tabelle, deriva dal fatto che si tratta di una superficie liscia e priva di arbusti.

Al fine di preservare l'efficienza della sistemazione sia in condizioni ordinarie che in seguito ad eventi di piena, si raccomanda una periodica e programmata attività di manutenzione (che deve consistere nella pulizia dell'area con la rimozione di arbusti e vegetazione). In questo modo, oltre a mantenere le quote di scorrimento definite nella fase progettuale, si preserva una bassa resistenza al moto.

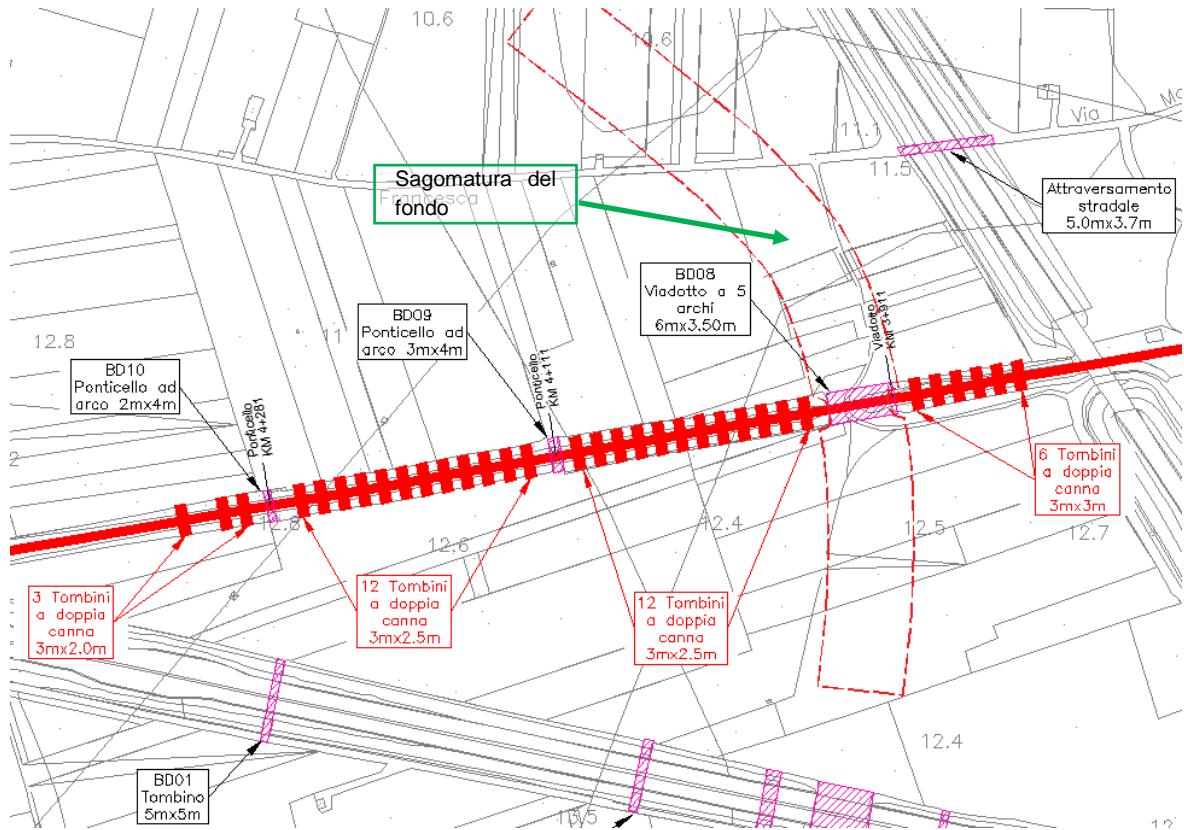


Figura 27: Geometria modello – ipotesi progettuale

Nelle seguenti immagini si riporta la sezione trasversale a monte della linea Barletta Canosa e il profilo della savanella.

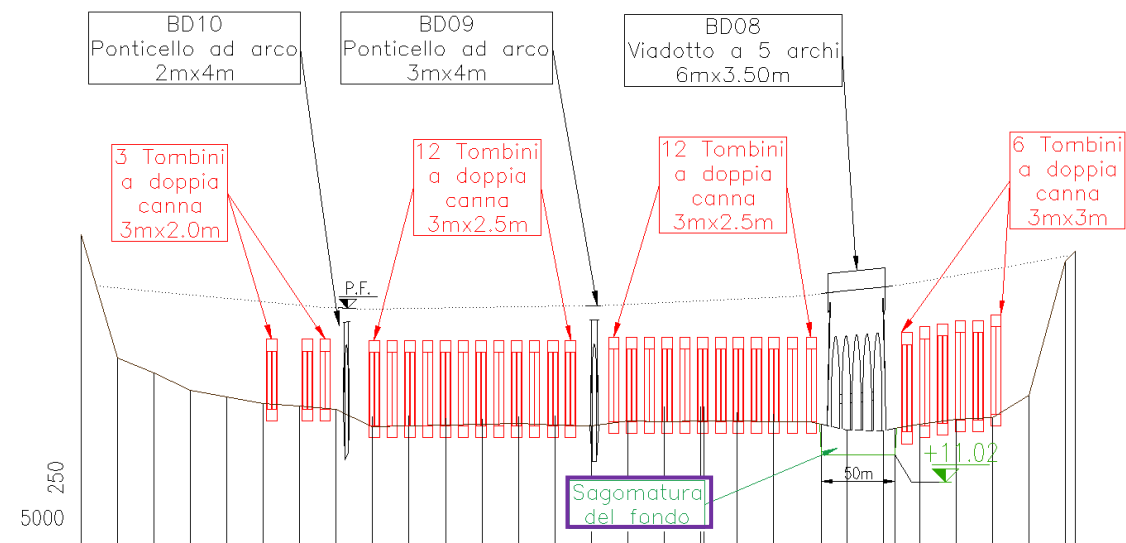


Figura 28: ipotesi progettuale: Sezione trasversale ubicata a monte della linea Barletta-Canosa

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	41 DI 76

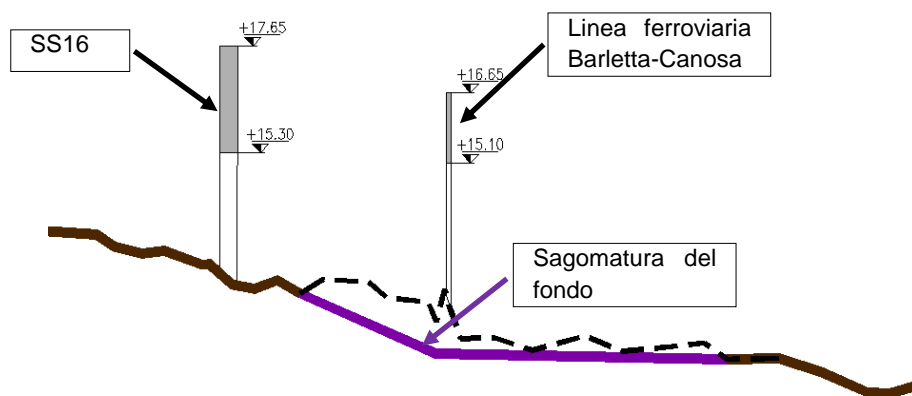


Figura 29 Profilo – sagomatura del fondo

Nelle figure 28 e 29 sono descritti schematicamente gli interventi di sagomatura dell'alveo che comporteranno l'effettuazione di scavi sono limitati, sostanzialmente tesi a ridefinire la presenza dell'alveo, attualmente non riconoscibile sia per effetto di interrimenti da trasporto solido, sia per l'azione antropica.

5.3 Simulazioni ipotesi progettuale

Per superare le criticità evidenziate dall'analisi allo stato di fatto viene indagata l'ipotesi progettuale che prevede la realizzazione di 33 tombini doppia canna distribuiti sull'intero tratto del rilevato interessato dall'allagamento. I tombini, descritti al paragrafo 1.1 presentano altezze variabili da 2.0 a 3.0 (figura 30).

La sagomatura del fondo, larga 50 m, si estende per una lunghezza di 475m, include, in corrispondenza del viadotto esistente BD08, la rimozione dei sedimenti dovuti a fenomeni di interrimento occorsi nel tempo.

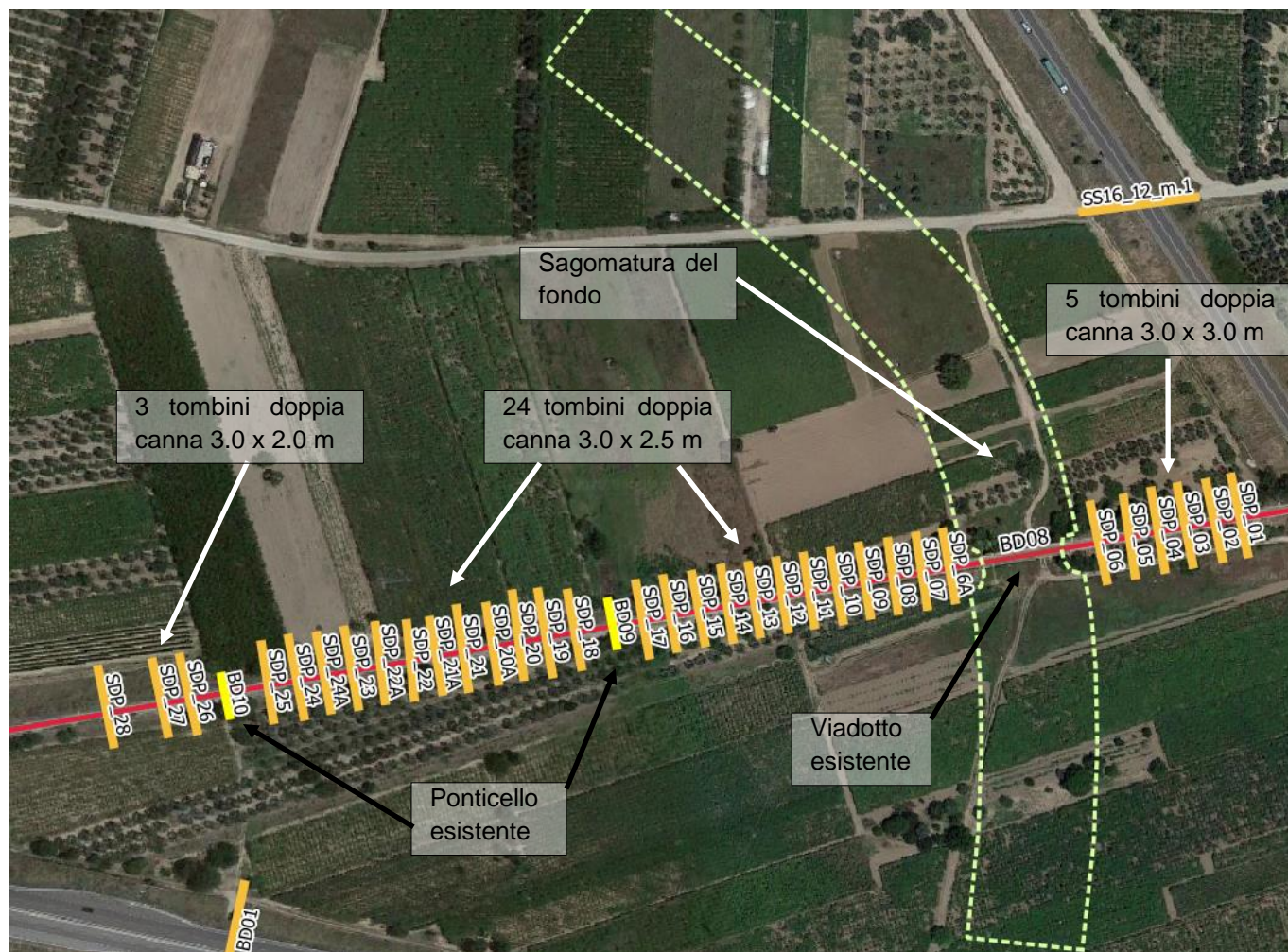


Figura 30 ipotesi progettuale - Inquadramento planimetrico tombini di trasparenza idraulica

Sulla base di quanto riportato nei paragrafi relativi alle normative, le nuove opere di attraversamento devono rispettare i criteri riportati nelle seguenti tabelle.

Tabella 11: Riepilogo normativa - Ponti

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2018 e relativa circolare applicativa
Manufatti di attraversamento principali (ponti e viadotti)	<i>Tr=200 anni</i>	<i>Tr = 200 anni</i>
Verifica Franco di Progetto ponti.	<i>Franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena, pari a 0.50 m e comunque non inferiore ad 1.5 m sul livello idrico.</i>	<i>1.5m assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce e comunque non inferiore a 40 m</i>

Tabella 12: Riepilogo normativa - Tombini

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2018 e relativa circolare applicativa
Manufatti di attraversamento minori (tombini)	<i>Tr=200 anni</i>	<i>Tr = 200 anni</i> <i>Per portate maggiori di 50 m³/s deve essere previsto un viadotto ponte</i>
Grado di riempimento	<i>G.R. max 67%</i>	<i>Min. 2/3 dell'altezza e comunque franco 50 cm dall'intradosso</i>

Tabella 13: Riepilogo normativa - Rilevati

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2018 e relativa circolare applicativa
Rilevati	<i>Franco non inferiore ad 1m rispetto al piano di regolamento;</i> <i>Prevedere protezione delle scarpate</i>	-

La massima sicurezza idraulica della linea ferroviaria Barletta-Canosa si avrebbe potendo conseguire per le opere esistenti valori dei franchi idraulici minimi pari a quelli richiesti per le opere nuove dalla normativa vigente. Nello specifico, per il viadotto esistente sarebbe quindi pari a 1,5m. Tale obiettivo non risulta raggiungibile senza prevedere il contestuale innalzamento della livelletta ferroviaria e la realizzazione di un viadotto di circa 1km di sviluppo (e probabilmente la demolizione di due cavalcaferrovia (alle pk 3+791 e 4+578)).

Al fine di verificare la possibilità di raggiungere il franco minimo di 1,5m, mediante l'aumento importante della trasparenza del rilevato, è stata condotta una simulazione con uno scenario fittizio, in cui è stato eliminato il rilevato ferroviario.

Il livello ottenuto dalla simulazione in corrispondenza del rilevato ferroviario è 13.30m s.m.m. circa 40 cm più alto rispetto al livello obiettivo (12.90 m s.m.m.).

Pertanto, l'obiettivo degli interventi previsti, è quello di ridurre significativamente il rischio idraulico preesistente compatibilmente con il principio di contenere l'impatto degli interventi e i corrispondenti costi, conseguendo:

- in occasione della piena di progetto con tempo di ritorno pari a 200anni, un franco idraulico minimo di 1m per i due terzi della luce del singolo arco;
- in occasione della piena eccezionale con tempo di ritorno pari a 500anni, un funzionamento non in pressione per le opere esistenti e di progetto.

Dai risultati delle simulazioni numeriche, si nota come l'estensione delle aree allagate si sia ridotta rispetto alla configurazione Ante Operam;

Per eventi con TR 200 anni il viadotto esistente BD08 rispetta il franco di 1m per i 2/3 della luce sul livello idrico; inoltre, per eventi con TR500 anni, gli interventi previsti consentono di evitare il sormonto della linea ferroviaria.e il funzionamento in pressione del viadotto esistente.

L' aumento della trasparenza del rilevato ferroviario porta ad una riduzione delle aree allagate e dei tiranti idrici a monte della viabilità SS16. Questo è dovuto alla condizione di corrente lenta del corso d' acqua.

A valle della linea ferroviaria Barletta - Canosa si verifica una lieve delle aree allagate, data dalla maggiore trasparenza al centro del rilevato, e un aumento dei tiranti a monte della linea ferroviaria Bari-Foggia dell'ordine di

6cm. Si sottolinea che l'incremento di 6cm risulta non significativo in quanto non modifica le preesistenti condizioni di rischio idraulico della linea Bari-Foggia, che risulta tracimata già nelle configurazioni ante operam. Nei seguenti paragrafi sono riportati i risultati delle simulazioni per i tempi di ritorno di 30 200 e 500 anni.

5.3.1 Risultati simulazione Ipotesi progettuale - Tr 30 anni

Nella seguente immagine solo riportati i massimi tiranti idrici e l'estensione delle aree allagate ottenuti nella simulazione dello stato di progetto per la piena con tempo di ritorno 30anni.

Rispetto alla simulazione Ante Operam si verifica una riduzione delle aree allagate e dei tiranti idrici in prossimità della linea Barletta Canosa.

I livelli idrici massimi a monte della linea si attestano intorno ai 12.9 m s.m.m. mentre la quota della piattaforma ferroviaria (piano di regolamento), nel tratto considerato varia da un minimo di 15m ad un massimo di 16.4 m s.m.m: si ha quindi un franco tra piano di regolamento e livelli idrici pari a 2.1m

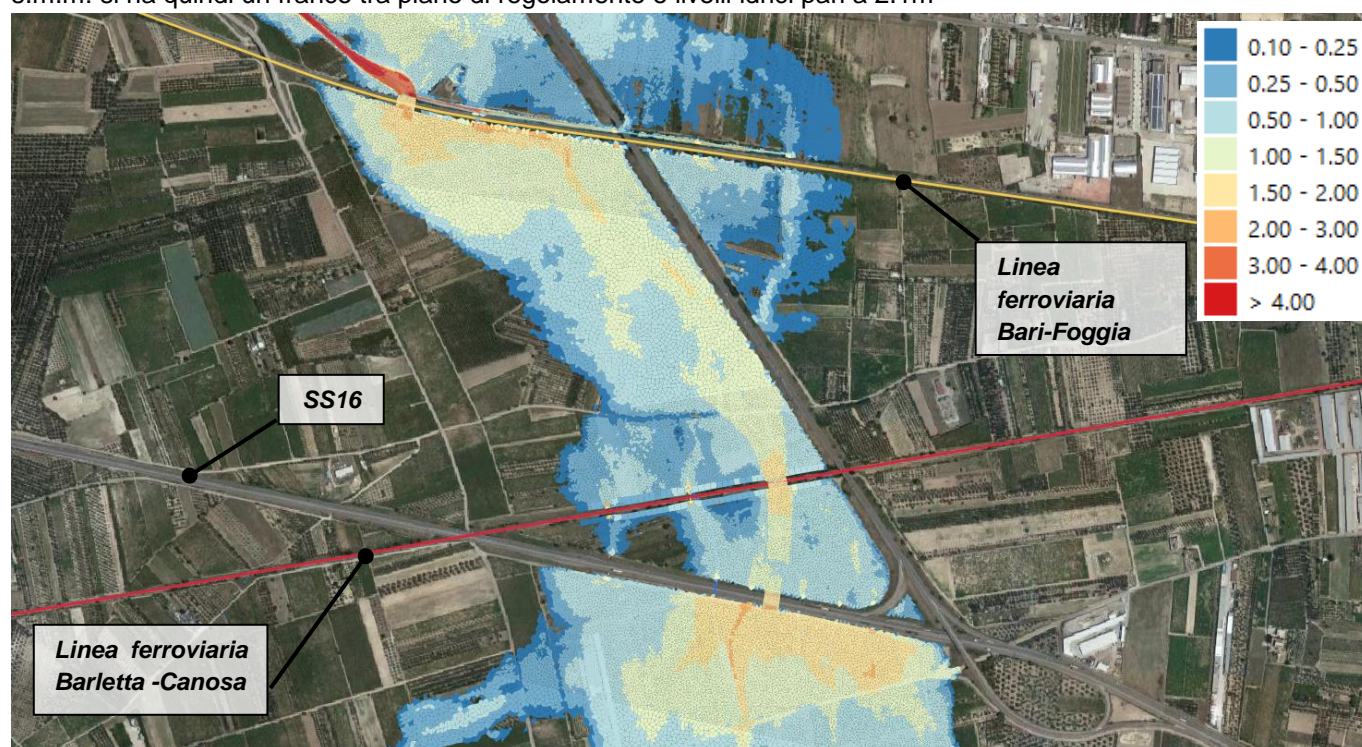


Figura 31 Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ipotesi Progettuale – TR30

In e sono riportati, per ogni opera di attraversamento, i risultati ottenuti dalla simulazione.

Nelle colonne, delle prime due tabelle, sono riportati: la quota di scorrimento, il livello idrico, il tirante, la larghezza (B) e l'altezza (H) dell'opera, il grado di riempimento, il franco rispetto il livello idrico e la portata massima che transita nel tombino.

Per il viadotto esistente, oltre al franco rispetto il livello idrico, è riportato il franco rispetto il livello energetico.

Tabella 14: Risultati TR30anni - tombini di progetto

Tombini di progetto								
ID	Scorrimento	livello idrico	Tirante	B	H	GR	Franco	Q
	m s.m.m.	m s.m.m.	m	m	m	monte	m	mc/S
SDP_01	12.40	12.9	0.50	6.0	3.0	17%	2.5	3.5
SDP_02	12.20	12.89	0.69	6.0	3.0	23%	2.3	6.8
SDP_03	12.20	12.85	0.65	6.0	3.0	22%	2.4	6.4
SDP_04	12.10	12.82	0.72	6.0	3.0	24%	2.3	6.8
SDP_05	12.00	12.83	0.83	6.0	3.0	28%	2.2	8.3
SDP_06	11.80	12.83	1.03	6.0	3.0	34%	2.0	9.3
SDP_06A	12.15	12.78	0.63	6.0	2.5	25%	1.9	4.2
SDP_07	12.15	12.72	0.57	6.0	2.5	23%	1.9	4.4
SDP_08	12.15	12.69	0.54	6.0	2.5	22%	2.0	3.4
SDP_09	12.15	12.68	0.53	6.0	2.5	21%	2.0	2.6
SDP_10	12.15	12.66	0.51	6.0	2.5	20%	2.0	1.9
SDP_11	12.15	12.55	0.40	6.0	2.5	16%	2.1	1.9
SDP_12	12.15	12.54	0.39	6.0	2.5	16%	2.1	1.5
SDP_13	12.15	12.54	0.39	6.0	2.5	16%	2.1	1.9
SDP_14	12.15	12.56	0.41	6.0	2.5	16%	2.1	2.0
SDP_15	12.15	12.56	0.41	6.0	2.5	16%	2.1	2.0
SDP_16	12.15	12.64	0.49	6.0	2.5	20%	2.0	3.2
SDP_17	12.15	12.7	0.55	6.0	2.5	22%	2.0	5.7
SDP_18	12.02	12.68	0.66	6.0	2.5	26%	1.8	3.7
SDP_19	12.02	12.6	0.58	6.0	2.5	23%	1.9	2.5
SDP_20	12.02	12.52	0.50	6.0	2.5	20%	2.0	1.8
SDP_20A	12.02	12.5	0.48	6.0	2.5	19%	2.0	1.2
SDP_21	12.02	12.48	0.46	6.0	2.5	18%	2.0	0.6
SDP_21A	12.02	12.47	0.45	6.0	2.5	18%	2.1	0.9
SDP_22	12.02	12.47	0.45	6.0	2.5	18%	2.1	0.9
SDP_22A	12.02	12.47	0.45	6.0	2.5	18%	2.1	1.0
SDP_23	12.02	12.47	0.45	6.0	2.5	18%	2.1	1.2
SDP_24A	12.02	12.48	0.46	6.0	2.5	18%	2.0	1.6
SDP_24	12.02	12.5	0.48	6.0	2.5	19%	2.0	1.9
SDP_25	12.02	12.54	0.52	6.0	2.5	21%	2.0	1.9
SDP_26	12.57	12.76	0.19	6.0	2.0	9%	1.8	0.0
SDP_27	12.57	12.76	0.19	6.0	2.0	9%	1.8	0.0
SDP_28	12.57	12.76	0.19	6.0	2.0	9%	1.8	0.0

Tabella 15: Risultati TR30anni - tombini esistenti

Tombini esistenti								
ID	Scorrimento	livello idrico	Tirante	B	H	GR	Franco	Q
	m s.m.m.	m s.m.m.	m	m	m	monte	m	mc/S
BD09	10.80	12.62	1.82	2.0	4.0	46%	2.2	8.5
BD10	10.80	12.60	1.80	3.0	4.0	45%	2.2	2.3

Tabella 16: Risultati TR30anni – viadotto

VIADOTTO ESISTENTE									
ID	Q scorrimento	Quota intradosso (quota in chiave dell'arco)	Quota intradosso (2/3 luce)	livello idrico	livello energia	Franco su livello idrico (rispetto alla quota in chiave dell'arco)	Franco su livello energia (rispetto alla quota in chiave dell'arco)	Franco su livello idrico (sui 2/3 della luce)	Franco su livello energia (sui 2/3 della luce)
	m s.m.m.	m s.m.m.	m s.m.m.	m s.m.m.	m s.m.m.	m	m	m	m
Opera	10.90	15.07	14.37	12.77	12.97	2.30	2.10	1.60	1.40
BD08	10.90	15.10	14.37	12.77	12.97	2.33	2.13	1.60	1.40
viadotto	10.90	15.13	14.37	12.77	12.97	2.36	2.16	1.60	1.40
a 5 archi	10.90	15.16	14.37	12.77	12.97	2.39	2.19	1.60	1.40
	10.90	15.20	14.37	12.77	12.97	2.43	2.23	1.60	1.40

5.3.2 Risultati simulazione Ipotesi Progettuale Tr 200 anni

Nella seguente immagine solo riportati i massimi tiranti idrici e l'estensione delle aree allagate ottenuti nella simulazione dello stato di progetto per la piena con tempo di ritorno 200anni.

Rispetto alla simulazione Ante Operam si verifica una riduzione delle aree allagate e dei tiranti idrici in prossimità della linea Barletta Canosa.

I livelli idrici massimi a monte della linea si attestano intorno ai 13.3 m s.m.m., mentre la quota della piattaforma ferroviaria (piano di regolamento), nel tratto considerato varia da un minimo di 15m ad un massimo di 16.4 m s.m.m. si ha quindi un franco tra piano di regolamento e livelli idrici pari a 1.7m.

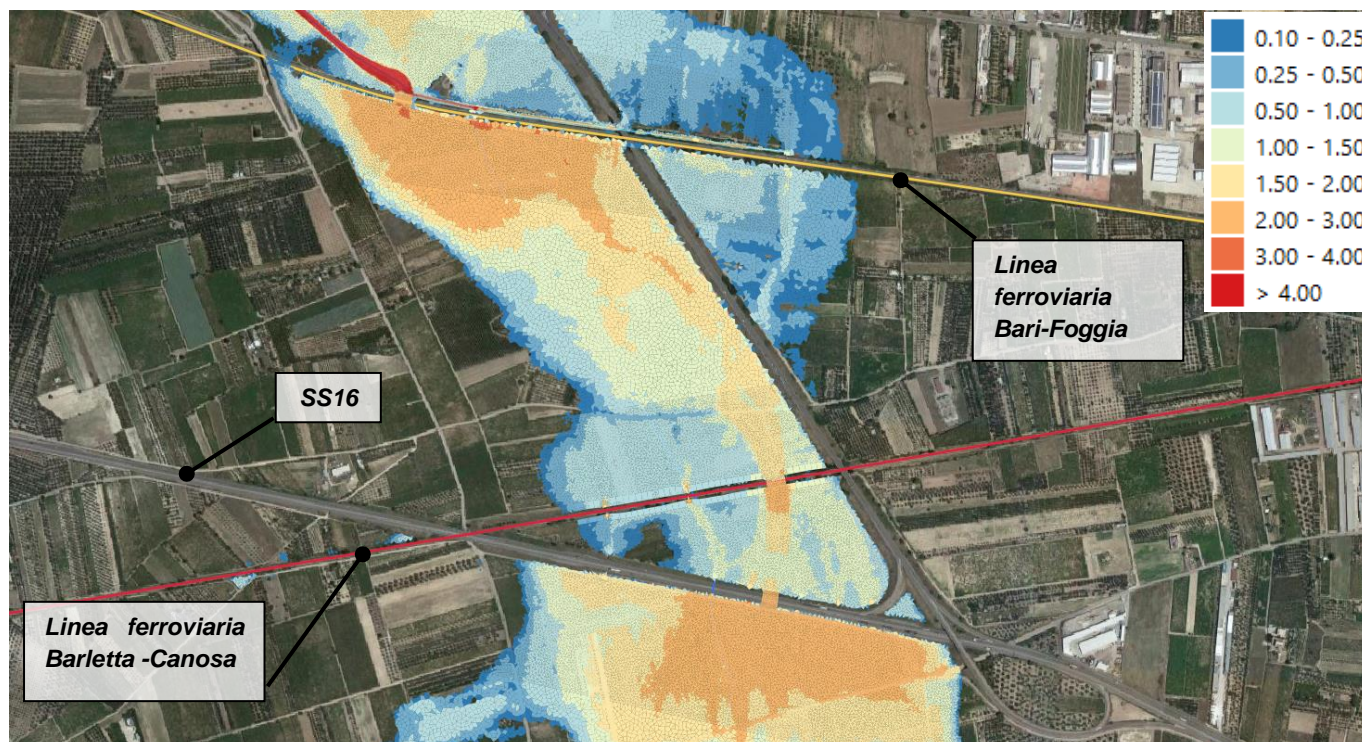


Figura 32 Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ipotesi progettuale – TR200

Le tabelle seguenti riportano i gradi di riempimento per i tombini in progetto e i franchi sul livello idrico ed energetico per il viadotto esistente. Dai dati riportati si evince che, per quanto riguarda i tombini, i gradi di riempimento e i franchi sui livelli idrici verificano le prescrizioni del manuale Italferr e dell'“Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”. Mentre per il viadotto esistente viene garantito 1m di franco per i 2/3 della luce del viadotto.

Nelle colonne delle tabelle sono riportati, per ogni opera di attraversamento, la quota di scorrimento, il livello idrico ottenuto dalla simulazione, il tirante (calcolato come differenza dei due valori precedenti), la larghezza (B) e l'altezza (H) dell'opera, il grado di riempimento, il franco rispetto il livello idrico e la portata massima che transita nel tombino. Per il viadotto esistente oltre al franco rispetto il livello idrico è riportato il franco rispetto il livello energetico.

Tabella 17: Verifica – Tombini di progetto TR200

Tombini di progetto									
ID	Scorrimento	livello idrico	Tirante	B	H	GR	Franco	Q	
	m s.m.m.	m s.m.m.	m	m	m	monte	m	mc/S	
SDP_01	12.4	13.4	1.00	6	3	33%	2.0	12.4	
SDP_02	12.2	13.4	1.20	6	3	40%	1.8	15.7	
SDP_03	12.2	13.38	1.18	6	3	39%	1.8	14.5	
SDP_04	12.1	13.34	1.24	6	3	41%	1.8	14.0	
SDP_05	12	13.34	1.34	6	3	45%	1.7	15.3	
SDP_06	11.8	13.35	1.55	6	3	52%	1.5	15.8	
SDP_06A	12.15	13.34	1.19	6	2.5	48%	1.3	11.6	

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	48 DI 76

Tombini di progetto

ID	Scorrimento m s.m.m.	livello idrico m s.m.m.	Tirante m	B m	H m	GR monte	Franco m	Q mc/S
SDP_07	12.15	13.27	1.12	6	2.5	45%	1.4	14.8
SDP_08	12.15	13.24	1.09	6	2.5	44%	1.4	14.4
SDP_09	12.15	13.18	1.03	6	2.5	41%	1.5	11.5
SDP_10	12.15	13.14	0.99	6	2.5	40%	1.5	10.0
SDP_11	12.15	13.11	0.96	6	2.5	38%	1.5	9.3
SDP_12	12.15	13.09	0.94	6	2.5	38%	1.6	7.8
SDP_13	12.15	13.11	0.96	6	2.5	38%	1.5	8.2
SDP_14	12.15	13.07	0.92	6	2.5	37%	1.6	6.3
SDP_15	12.15	13.07	0.92	6	2.5	37%	1.6	6.7
SDP_16	12.15	13.1	0.95	6	2.5	38%	1.6	8.2
SDP_17	12.15	13.12	0.97	6	2.5	39%	1.5	10.6
SDP_18	12.02	13.03	1.01	6	2.5	40%	1.5	7.5
SDP_19	12.02	12.97	0.95	6	2.5	38%	1.6	6.0
SDP_20	12.02	12.92	0.90	6	2.5	36%	1.6	4.9
SDP_20A	12.02	12.87	0.85	6	2.5	34%	1.7	4.1
SDP_21	12.02	12.84	0.82	6	2.5	33%	1.7	1.8
SDP_21A	12.02	12.81	0.79	6	2.5	32%	1.7	3.1
SDP_22	12.02	12.8	0.78	6	2.5	31%	1.7	3.1
SDP_22A	12.02	12.8	0.78	6	2.5	31%	1.7	3.2
SDP_23	12.02	12.81	0.79	6	2.5	32%	1.7	3.4
SDP_24A	12.02	12.81	0.79	6	2.5	32%	1.7	3.8
SDP_24	12.02	12.84	0.82	6	2.5	33%	1.7	4.0
SDP_25	12.02	12.86	0.84	6	2.5	34%	1.7	3.9
SDP_26	12.57	12.89	0.32	6	2	16%	1.7	1.6
SDP_27	12.57	12.94	0.37	6	2	19%	1.6	1.6
SDP_28	12.57	12.88	0.31	6	2	16%	1.7	1.5

Tabella 18: Verifica Tombini esistenti TR200

Tombini esistenti								
ID	Scorrimento m s.m.m.	livello idrico m s.m.m.	Tirante m	B m	H m	GR monte	Franco m	Q mc/S
BD09	10.8	13.07	2.27	2	4	57%	1.7	11.7
BD10	10.8	12.86	2.06	3	4	52%	1.9	3.6

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	49 DI 76

Tabella 19: Verifica – Viadotto esistente TR200

VIADOTTO ESISTENTE									
ID	Q scorrimento	Quota intradosso (quota in chiave dell'arco)	Quota intradosso (2/3 luce)	livello idrico	livello energia	Franco su livello idrico (rispetto alla quota in chiave dell'arco)	Franco su livello energia (rispetto alla quota in chiave dell'arco)	Franco su livello idrico (sui 2/3 della luce)	Franco su livello energia (sui 2/3 della luce)
	m s.m.m.	m s.m.m.		m s.m.m.	m s.m.m.	m	m	m	m
Opera	10.90	15.07	14.37	13.30	13.62	1.77	1.45	1.07	0.75
BD08	10.90	15.10	14.37	13.30	13.62	1.80	1.48	1.07	0.75
viadotto	10.90	15.13	14.37	13.30	13.62	1.83	1.51	1.07	0.75
a 5 archi	10.90	15.16	14.37	13.30	13.62	1.86	1.54	1.07	0.75
	10.90	15.20	14.37	13.30	13.62	1.90	1.58	1.07	0.75

5.3.3 Risultati simulazione Ipotesi progettuale Tr 500 anni

Nella seguente immagine solo riportati i massimi tiranti idrici e l'estensione delle aree allagate ottenuti nella simulazione dello stato di progetto per la piena con tempo di ritorno 500anni.

Rispetto alla simulazione Ante Operam si verifica una riduzione delle aree allagate e dei tiranti idrici in prossimità della linea Barletta Canosa.

I livelli idrici massimi a monte della linea si attestano intorno ai 13.43 m s.m.m. mentre la quota della piattaforma ferroviaria (piano di regolamento), nel tratto considerato varia da un minimo di 15m ad un massimo di 16.4 m s.m.m: con un franco tra livelli idrici e piano di regolamento pari a 1.57m.

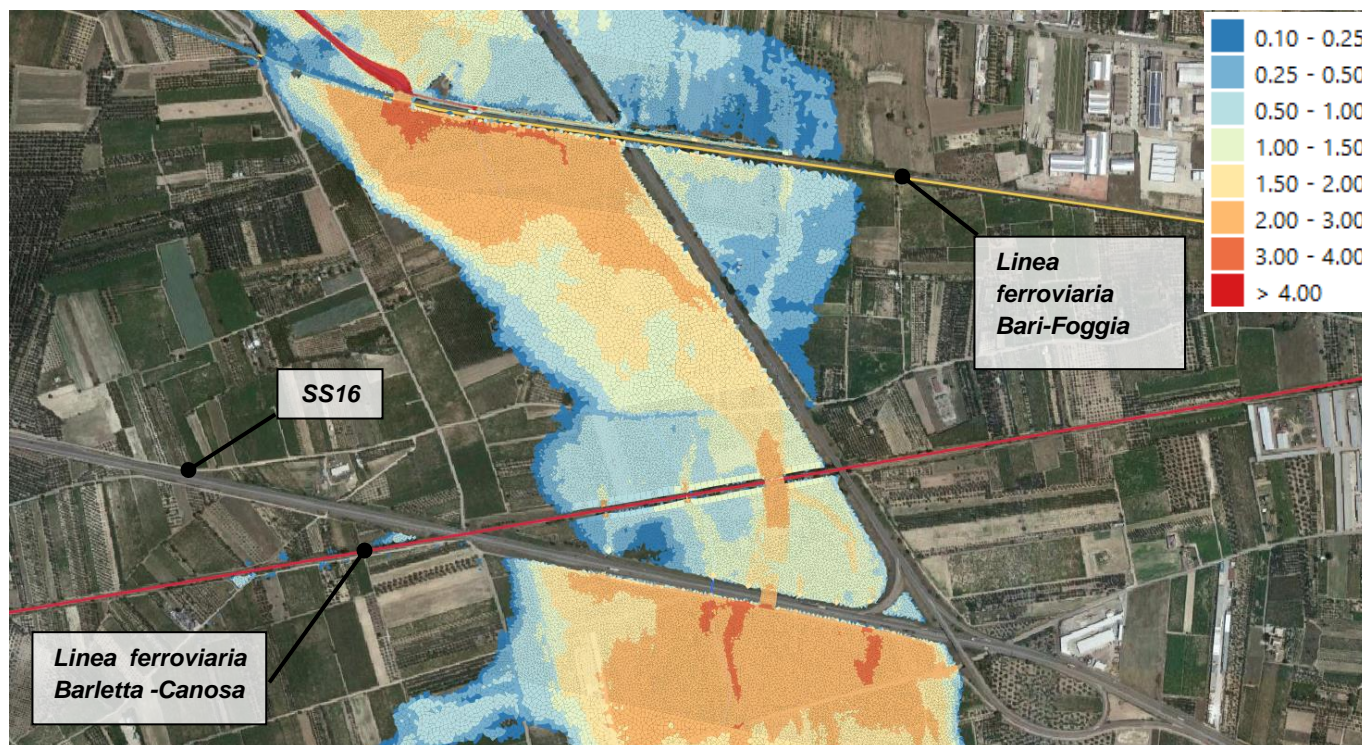


Figura 33 Massima estensione dell'allagamento e massimi tiranti idrici – Ipotesi progettuale – TR500

In ,e sono riportati, per ogni opera di attraversamento, i risultati ottenuti dalla simulazione.

Nelle colonne delle prime due tabelle sono riportati la quota di scorrimento, il livello idrico, il tirante, la larghezza (B) e l'altezza (H) dell'opera, il grado di riempimento, il franco rispetto il livello idrico e la portata massima che transita nel tombino.

Per il viadotto esistente, oltre al franco rispetto il livello idrico, è riportato il franco rispetto il livello energetico.

Tabella 20: Risultati – Tombini di progetto TR500

Tombini di progetto								
ID	Scorrimento	livello idrico monte	tirante	B	H	GR	Franco	Q
	m s.m.m.	m s.m.m.	m	m	m	monte	m	mc/S
SDP_01	12.40	13.54	1.14	6.0	3.0	38%	1.9	14.4
SDP_02	12.20	13.55	1.35	6.0	3.0	45%	1.7	17.9
SDP_03	12.20	13.51	1.31	6.0	3.0	44%	1.7	16.9
SDP_04	12.10	13.49	1.39	6.0	3.0	46%	1.6	16.0
SDP_05	12.00	13.49	1.49	6.0	3.0	50%	1.5	18.0
SDP_06	11.80	13.54	1.74	6.0	3.0	58%	1.3	18.7
SDP_06A	12.15	13.49	1.34	6.0	2.5	54%	1.2	15.3
SDP_07	12.15	13.47	1.32	6.0	2.5	53%	1.2	19.2

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	51 DI 76

Tombini di progetto

ID	Scorrimento	livello idrico monte	tirante	B	H	GR	Franco	Q
	m s.m.m.	m s.m.m.	m	m	m			
SDP_08	12.15	13.43	1.28	6.0	2.5	51%	1.2	18.4
SDP_09	12.15	13.39	1.24	6.0	2.5	50%	1.3	14.8
SDP_10	12.15	13.35	1.20	6.0	2.5	48%	1.3	12.8
SDP_11	12.15	13.31	1.16	6.0	2.5	46%	1.3	11.0
SDP_12	12.15	13.30	1.15	6.0	2.5	46%	1.4	10.6
SDP_13	12.15	13.27	1.12	6.0	2.5	45%	1.4	10.6
SDP_14	12.15	13.25	1.10	6.0	2.5	44%	1.4	10.2
SDP_15	12.15	13.25	1.10	6.0	2.5	44%	1.4	9.2
SDP_16	12.15	13.25	1.10	6.0	2.5	44%	1.4	9.9
SDP_17	12.15	13.30	1.15	6.0	2.5	46%	1.4	13.4
SDP_18	12.02	13.19	1.17	6.0	2.5	47%	1.3	9.6
SDP_19	12.02	13.15	1.13	6.0	2.5	45%	1.4	8.0
SDP_20	12.02	13.08	1.06	6.0	2.5	42%	1.4	6.9
SDP_20A	12.02	13.05	1.03	6.0	2.5	41%	1.5	6.0
SDP_21	12.02	13.02	1.00	6.0	2.5	40%	1.5	2.9
SDP_21A	12.02	13.00	0.98	6.0	2.5	39%	1.5	4.9
SDP_22	12.02	12.98	0.96	6.0	2.5	38%	1.5	4.7
SDP_22A	12.02	12.98	0.96	6.0	2.5	38%	1.5	4.7
SDP_23	12.02	12.98	0.96	6.0	2.5	38%	1.5	4.9
SDP_24A	12.02	12.99	0.97	6.0	2.5	39%	1.5	5.3
SDP_24	12.02	13.00	0.98	6.0	2.5	39%	1.5	5.4
SDP_25	12.02	13.02	1.00	6.0	2.5	40%	1.5	5.1
SDP_26	12.57	13.00	0.43	6.0	2.0	22%	1.6	2.9
SDP_27	12.57	13.04	0.47	6.0	2.0	23%	1.5	2.9
SDP_28	12.57	13.03	0.46	6.0	2.0	23%	1.5	2.6

Tabella 21: Risultati – Tombini esistenti TR500

Tombini esistenti								
ID	Scorrimento	livello idrico monte	tirante	B	H	GR	Franco	Q
	m s.m.m.	m s.m.m.	m	m	m			
BD09	10.80	13.22	2.42	2.0	4.0	61%	1.6	13.3
BD10	10.80	13.00	2.20	3.0	4.0	55%	1.8	4.3

Tabella 22: Risultati – Viadotto esistente TR500

VIADOTTO ESISTENTE									
ID	Q scorrimento	Quota intradosso (quota in chiave dell'arco)	Quota intradosso (2/3 luce)	livello idrico	livello energia	Franco su livello idrico (rispetto alla quota in chiave dell'arco)	Franco su livello energia (rispetto alla quota in chiave dell'arco)	Franco su livello idrico (sui 2/3 della luce)	Franco su livello energia (sui 2/3 della luce)
	m s.m.m.	m s.m.m.		m s.m.m.	m s.m.m.	m	m	m	m
	10.90	15.07	14.37	13.43	13.89	1.64	1.18	0.94	0.48
Opera	10.90	15.10	14.37	13.43	13.89	1.67	1.21	0.94	0.48
BD08	10.90	15.13	14.37	13.43	13.89	1.70	1.24	0.94	0.48
viadotto a	10.90	15.16	14.37	13.43	13.89	1.73	1.27	0.94	0.48
5 archi	10.90	15.20	14.37	13.43	13.89	1.77	1.31	0.94	0.48

5.3.4 Protezioni rilevato ferroviario

Il rilevato ferroviario della linea Barletta-Canosa viene lambito dagli allagamenti dovuti alle piene del corso d' acqua, come riportato dettagliatamente nelle planimetrie delle aree di esondazione allegate. Con il fine di proteggere l'infrastruttura da possibili crolli o danneggiamenti, dovuti ad effetti erosivi, viene prevista una protezione in materassi tipo "Reno". Il dettaglio tipologico è riportato nella figura sottostante (34). I rivestimenti vengono estesi in altezza fino a una quota superiore di almeno un metro rispetto al massimo livello idrico raggiunto per la piena con TR 200 anni.

Peraltro, tale tipologia di protezione del rilevato risulta essere già in corso di progettazione da parte della DTP Bari di RFI come primo intervento di riduzione del rischio idraulico della linea ferroviaria.

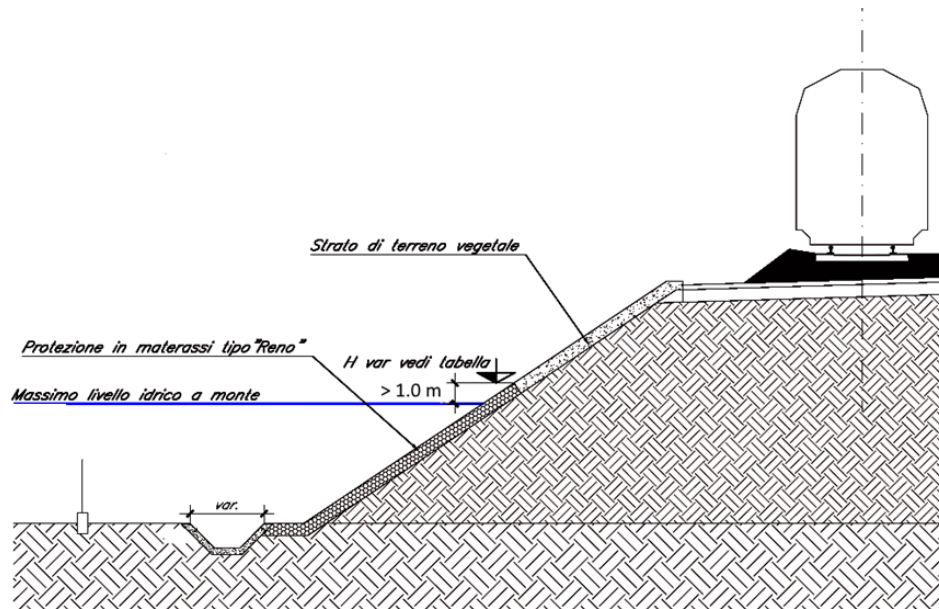


Figura 34: Protezione del rilevato in materassi "tipo Reno"

5.3.5 Protezioni pile del viadotto ad archi esistente

Per la verifica della protezione delle pile del viadotto esistente si terrà conto delle caratteristiche della corrente incidente, calcolate per le piene di progetto.

La tipologia di protezioni adottate è quella in materassi tipo "Reno" che, grazie alla presenza della rete, consente di ridurre lo spessore della protezione rispetto ad una protezione in massi sciolti.

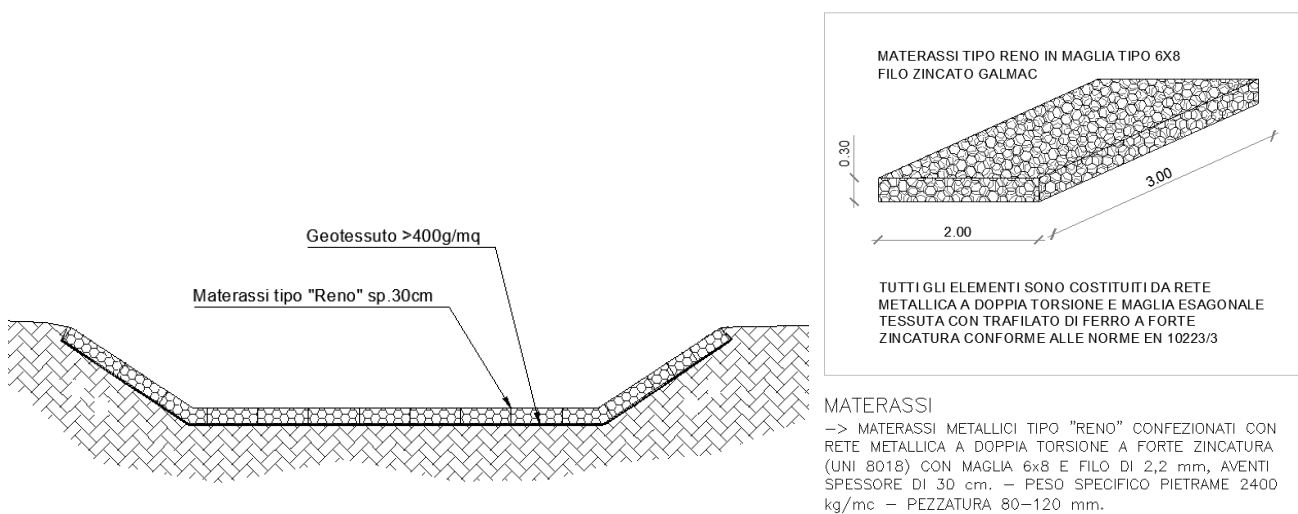


Figura 35 Materassi tipo "Reno"

MATERASSI
-> MATERASSI METALLICI TIPO "RENO" CONFEZIONATI CON RETE METALLICA A DOPPIA TORSIONE A FORTE ZINCATURA (UNI 8018) CON MAGLIA 6x8 E FILO DI 2,2 mm, AVENTI SPESSORE DI 30 cm. - PESO SPECIFICO PIETRAMME 2400 kg/mc - PEZZATURA 80-120 mm.

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

La valutazione della velocità critica di incipiente movimento è stata effettuata seguendo la metodologia proposta all'interno del manuale "Flexible linings in Reno mattress and gabions for canals and canalized water courses".

Secondo le linee guida la velocità critica (derivata da test di laboratorio) dipende sia dallo spessore del rivestimento, che dalla dimensione delle pietre di riempimento. Si riporta di seguito la tabella con i valori suggeriti per il dimensionamento.

Type	Thickness (m)	Filling stones		Critical velocity (*)
		stone size	d ₅₀	
Reno mattress	0,15-0,17	70-100	0.085	3.5
		70-150	0.110	4.2
	0,23-0,25	70-100	0.085	3.6
		70-150	0.120	4.5
	0,30	70-120	0.100	4.2
		100-150	0.125	5.0
Gabions	0,50	100-200	0.150	5.8
		120-250	0.190	6.4

Figura 36: Spessori materassi tipo "Reno"

Si prevede quindi di proteggere per tutta la lunghezza trasversale con materassi tipo "Reno" di spessore 0.30m riempiti con pietre aventi diametro medio di 0.125. In questa fase progettuale si prevede di estendere la protezione 10m a monte e 10m a valle del viadotto. All'inizio e alla fine della sistemazione dovranno essere previsti dei taglioni in gabbioni infissi per una profondità di almeno 1.0m. Nella seguente tabella si riportano i risultati della verifica.

Tabella 23: Protezioni pile viadotto BD08

Opera	Tirante idraulico [m]	V – Velocità corrente [m/s]	D50 protez [m]	Sp protezione [m]	Vcr protez [m/s]	Fv	Tipologia di protezione
BD08	2.30	2.50	0.125	0.30	5.0	2.0	Materassi tipo "Reno"

I dettagli costruttivi saranno sviluppati nella successiva fase progettuale.

5.3.6 Protezioni imbocchi/sbocchi tombini

Si prevede di proteggere gli imbocchi e sbocchi dei tombini con massi sciolti al fine di evitare erosioni localizzate. Il diametro dei massi è stato scelto verificando che il rapporto tra la tensione tangenziale critica dei medesimi e la tensione tangenziale massima derivante dalle modellazioni monodimensionali fosse sempre superiore a 1.

È da precisare che la distribuzione delle tensioni tangenziali è strettamente legata alla forma della sezione. Infatti, essa è prossima a quella media solo quando la sezione è larga rispetto al tirante idrico e approssimativamente rettangolare. Un esempio della distribuzione delle tensioni tangenziali per una sezione trapezia di dimensioni modeste, è raffigurato nella figura seguente, dove τ_0 rappresenta la tensione tangenziale media nella sezione.

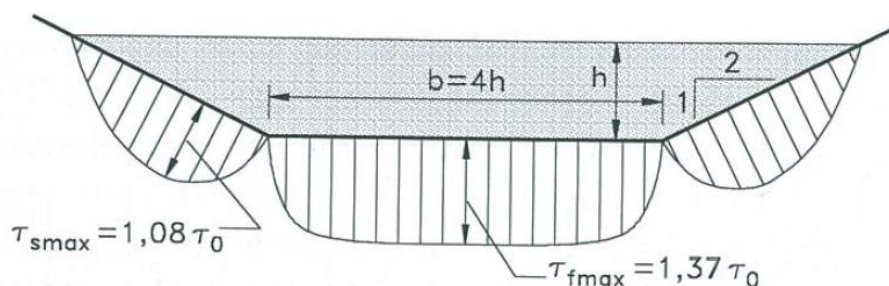


Figura 37: Distribuzione delle tensioni tangenziali in una sezione trapezia

Il valore della tensione tangenziale massima sul fondo e sulle sponde, in una sezione, può essere ottenuto applicando al valore medio i fattori correttivi ricavati dagli abachi sperimentali di Figura 38, in funzione del rapporto tra base della sezione e altezza del tirante idrico (b/h) e dell'inclinazione della sponda. Pertanto, per gli alvei a sezione trapezoidale con un rapporto b/h minore di 8, sono state calcolate le tensioni massime al fondo e sulle sponde applicando i parametri correttivi precedentemente indicati al massimo tra i valori medi ottenuti nelle sezioni oggetto di sistemazione.

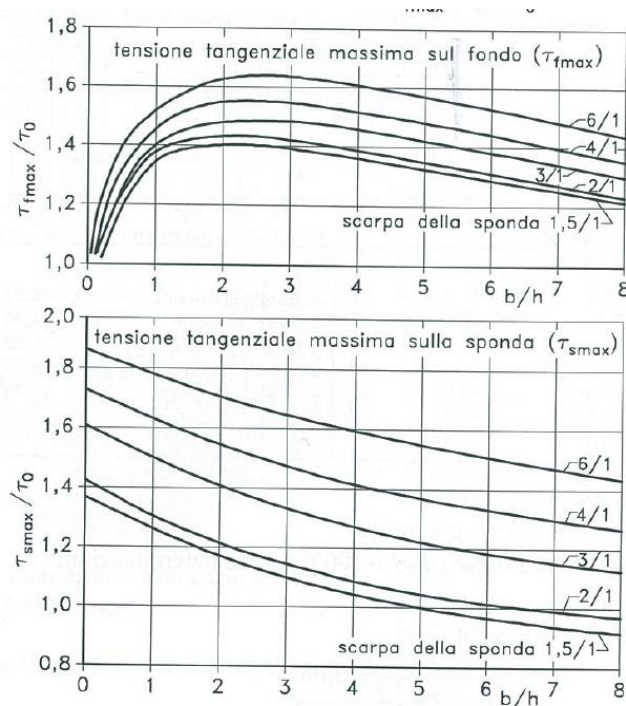


Figura 38: Fattori correttivi per la determinazione della tensione tangenziale massima

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	56 DI 76

Nel caso di bassa sommergenza dei massi, ossia rapporto tra tirante e diametro inferiore a 6, è stato invece applicato al criterio di Shields il fattore correttivo di Armanini e Scott.

$$\tau_{cr} = 0.06 \cdot (\gamma_s - \gamma_w) \cdot d \cdot \left(1 + 0.67 \cdot \left(\frac{d}{h} \right)^{0.5} \right)$$

dove:

- h è il tirante idrico.

Tra il terreno naturale e i massi è prevista la posa di un geotessuto di massa non inferiore ai 400 gr/m², prevedendo uno strato di allettamento in sabbia al fine di non danneggiarlo durante le operazioni di posa.

Per il calcolo della protezione all'imbocco e sbocco dei tombini in progetto si è scelto di utilizzare una protezione unica tra tutti i tombini con massi di diametro 30cm.

Si è scelto quindi di verificare il tombino SDP16 che presenta una velocità all'imbocco e sbocco pari a 1m/s e un tirante pari ad 1m.

Per il calcolo della tensione critica al fondo è stato utilizzato il criterio di Armanini in quanto, il rapporto tra tirante e dimensione del masso pari a 3, evidenzia una bassa sommergenza della protezione.

Impostando il fattore moltiplicativo per il calcolo della tensione tangenziale massima al fondo β_1 pari a 1.3, si ottiene un valore di tensione tangenziale massima al fondo pari a 192.3 N/m² e un valore della tensione tangenziale critica al fondo pari a 398.4 N/m². Il coefficiente di sicurezza risulta quindi pari a 1.6.

B	y	β_1	$\tau_{max,fondo}$	$\tau_{cr(0)}$	F ₀
[m]	[m]		[N/m ²]	[N/m ²]	
6	1	1.3	192.3	398.4	1.6

Tabella 24: Verifica della stabilità delle protezioni

5.3.7 Confronto fra stato di fatto e ipotesi progettuale - TR200

La descrizione dettagliata dei risultati della configurazione progettuale, in termini di massimi tiranti e massime velocità, per eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni, è riportata nelle planimetrie annesse. Nel seguito verranno illustrate le principali risultanze.

5.3.7.1 Confronto TR200 – sezione a monte della viabilità SS16

Nelle seguenti immagini si riporta il confronto tra lo stato di fatto e la ipotesi progettuale in una sezione a monte della strada statale SS16.

L'introduzione dei tombini di progetto sulla linea ferroviaria Barletta-Canosa porta ad una riduzione delle aree allagate e dei tiranti idrici. L'effetto si ripercuote a monte della linea ferroviaria per una distanza di circa 950m. In è riportato il confronto tra le aree di allagamento: in viola la configurazione dello stato di progetto; in verde la configurazione dello stato di fatto.

A monte della viabilità SS16 la massima riduzione del tirante si attesta intorno ai 60cm (Figura 32 e Figura 33)

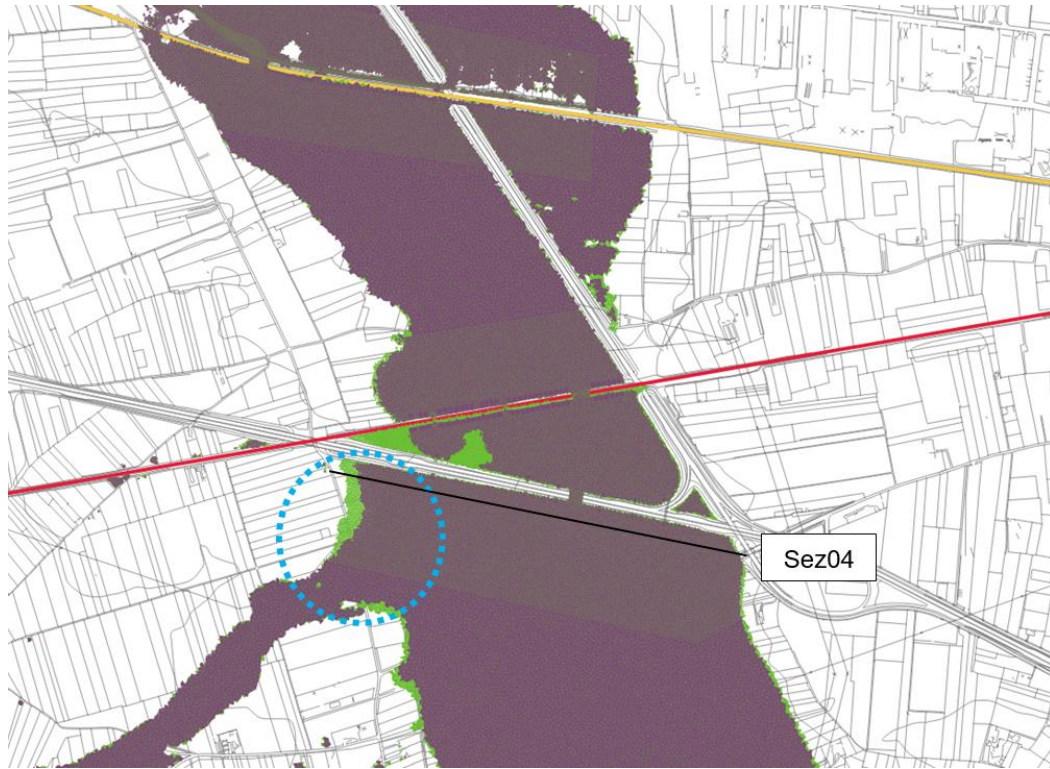
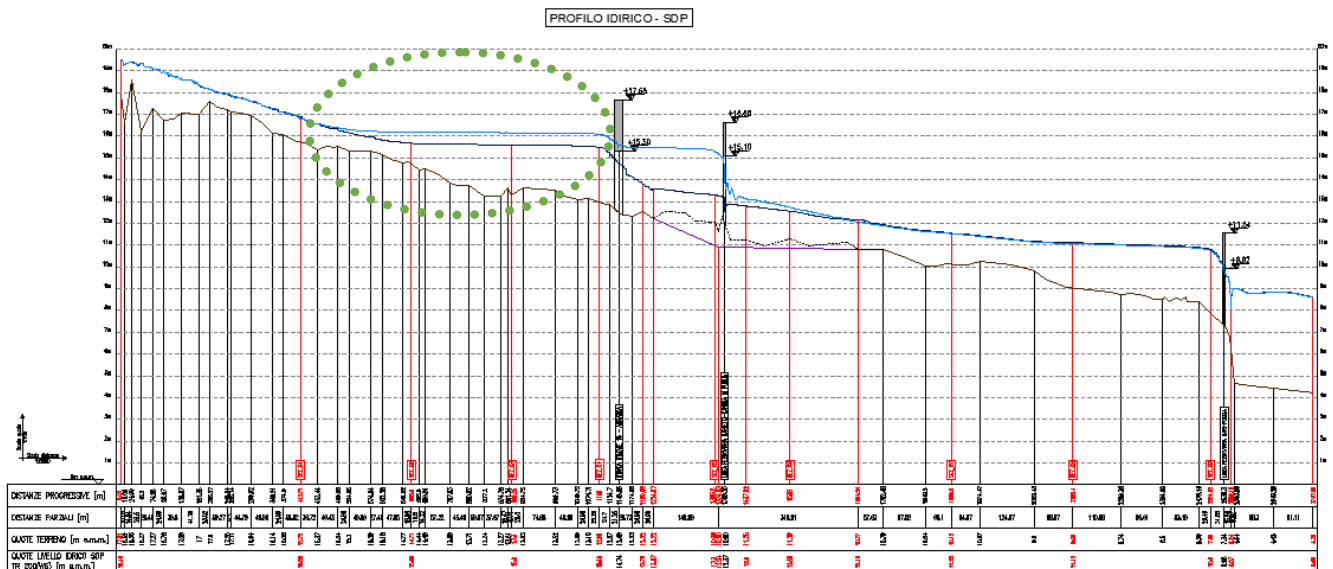


Figura 39 Confronto Aree allagate – Ante e Ipotesi progettuale - TR200 (verde sdf;viola sdp)



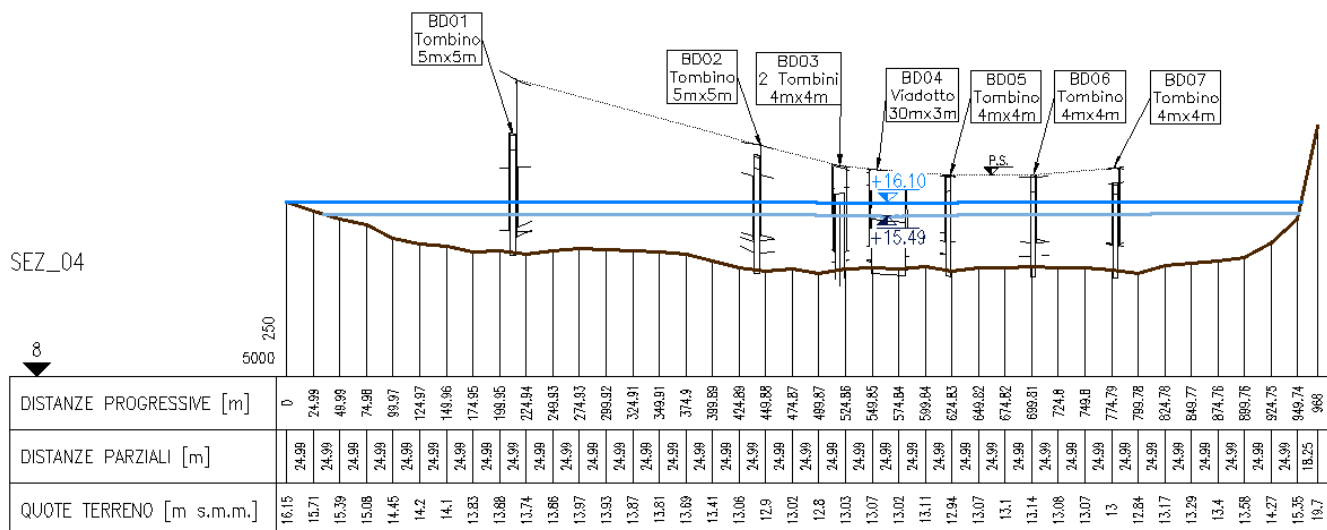


Figura 41 Confronto livelli idrici – sezione a monte della SS16 - TR200

Con riferimento alla sezione 4, dal confronto tra gli idrogrammi di piena si nota come il valore massimo di portata nella ipotesi progettuale sia leggermente superiore al valore dello stato di fatto (da 430 a 436 m³/s).

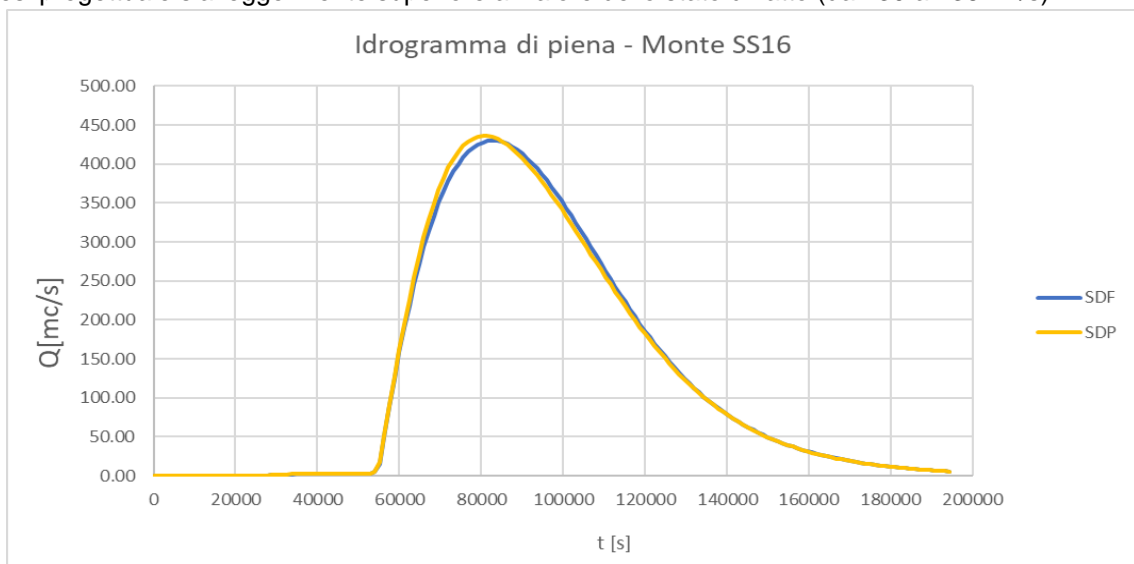


Figura 42 Confronto idrogrammi di piena - TR200

L'aumento della portata massima è dovuto ad una minima riduzione del volume delle aree allagate il cui effetto è quello di laminare le piene.

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	59 DI 76

5.3.7.2 Confronto sezione a monte della linea ferroviaria Barletta-Canosa

Nelle seguenti immagini si riporta il confronto tra lo stato di fatto e di progetto in una sezione a monte della linea ferroviaria Barletta-Canosa.

In è riportato il confronto tra le aree di allagamento: in viola la configurazione dello stato di progetto; in verde la configurazione dello stato di fatto.

L' introduzione delle opere di progetto sulla linea ferroviaria porta ad una riduzione delle aree allagate e dei tiranti idrici. La massima riduzione del tirante si attesta intorno ai 2m (e).

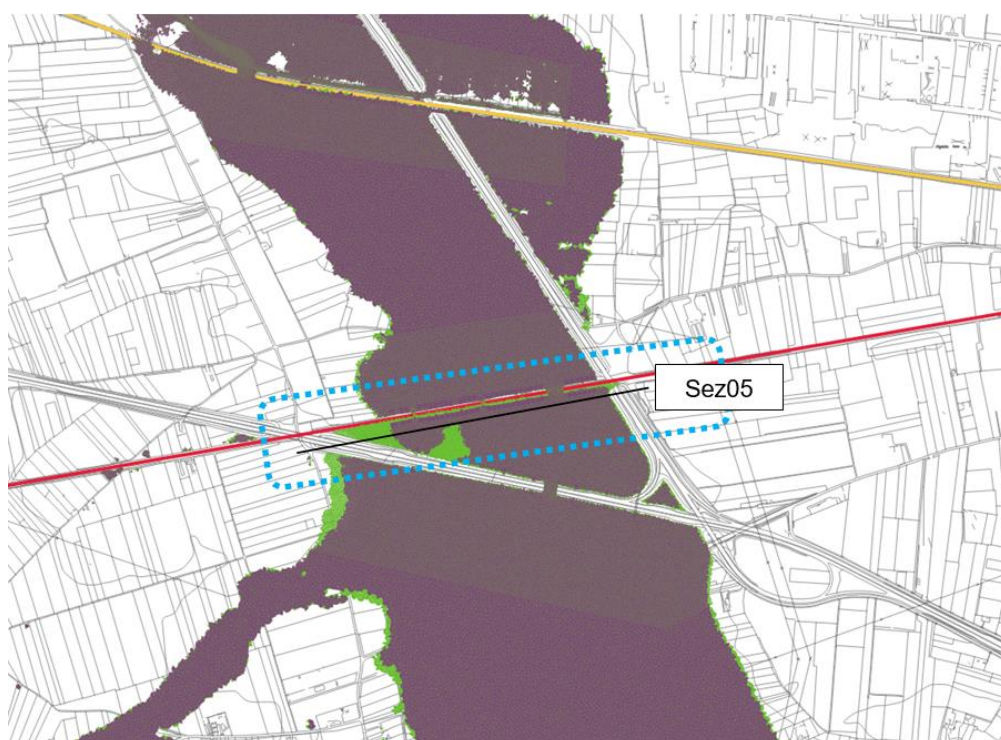


Figura 43 Confronto Aree allagate – Ante e Ipotesi progettuale - TR200(verde sdf; viola sdp)

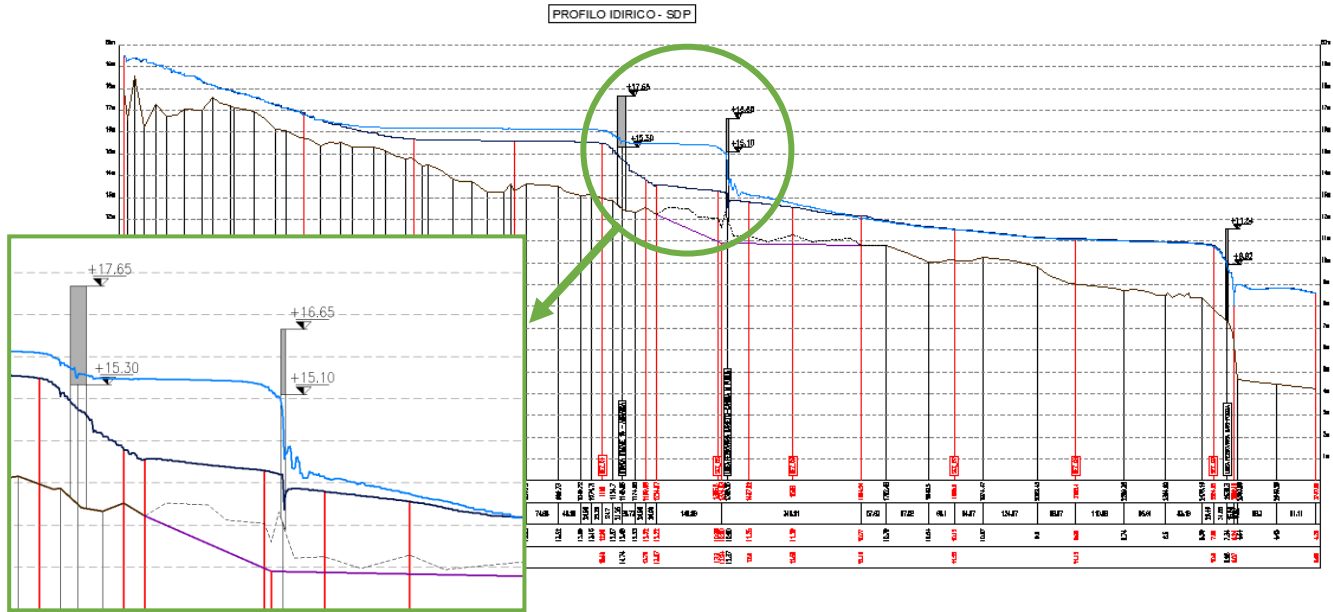


Figura 44 Confronto livelli idrici – Profilo - TR200

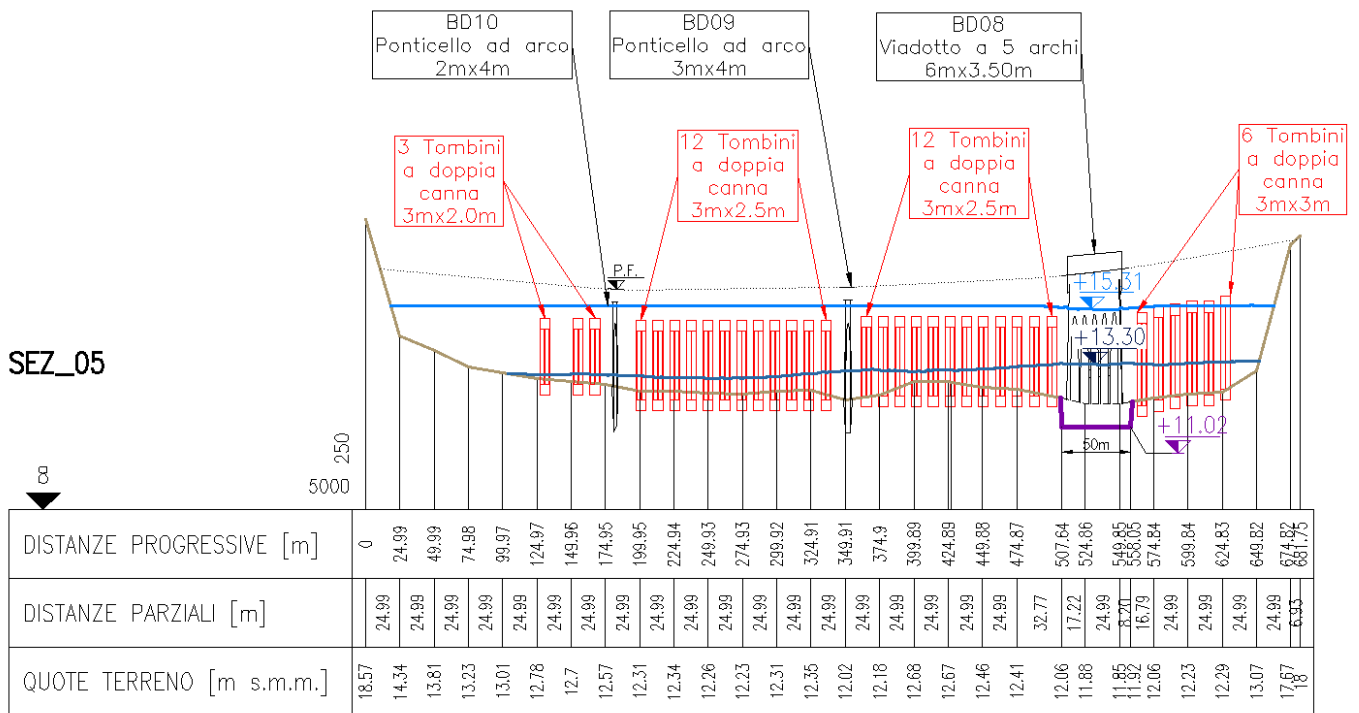


Figura 45 Confronto livelli idrici – sezione a monte della linea ferroviaria Barletta Canosa - TR200

Dal confronto tra gli idrogrammi di piena si nota come la portata massima nella configurazione di progetto sia leggermente superiore alla portata nella configurazione dello stato di fatto (429 a 434 m³/s).

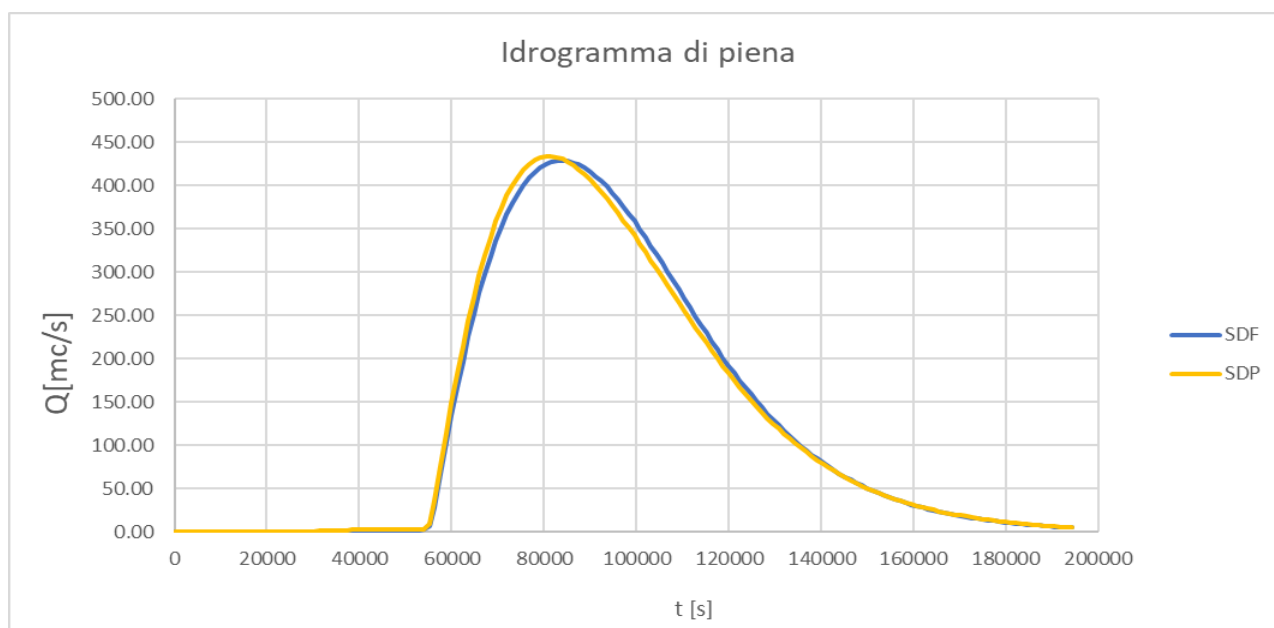


Figura 46 Confronto idrogrammi di piena - TR200- sez5

L'aumento della portata massima è dovuto ad una minima riduzione del volume delle aree allagate il cui effetto è quello di laminare le piene.

5.3.7.3 Confronto sezione a monte della linea ferroviaria Bari Foggia

Nelle seguenti immagini si riporta il confronto tra lo stato di fatto e di progetto in una sezione a monte della linea ferroviaria Bari-Foggia.

In è riportato il confronto tra le aree di allagamento: in viola la configurazione dello stato di progetto; in verde la configurazione dello stato di fatto.

Dal confronto è possibile notare come l'intervento di progetto sulla linea ferroviaria Barletta-Canosa comporta un aumento minimo dei livelli a monte della linea ferroviaria Bari-Foggia (circa 6cm). Si sottolinea che tale incremento di 6cm non modifica significativamente le preesistenti condizioni di rischio idraulico della linea Bari-Foggia, poichè, nell'area investigata dal modello implementato, risulta già tracimata nella configurazione ante operam lungo un tratto di sviluppo pari a circa 100m.

Il franco tra sommità del rilevato e livelli idrici varia tra 0cm a circa 90cm ().

La tracimazione della linea, evidenziata con un cerchio verde in , avviene nella zona in cui la linea ferroviaria è posta alla stessa quota del terreno circostante.

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	62 DI 76

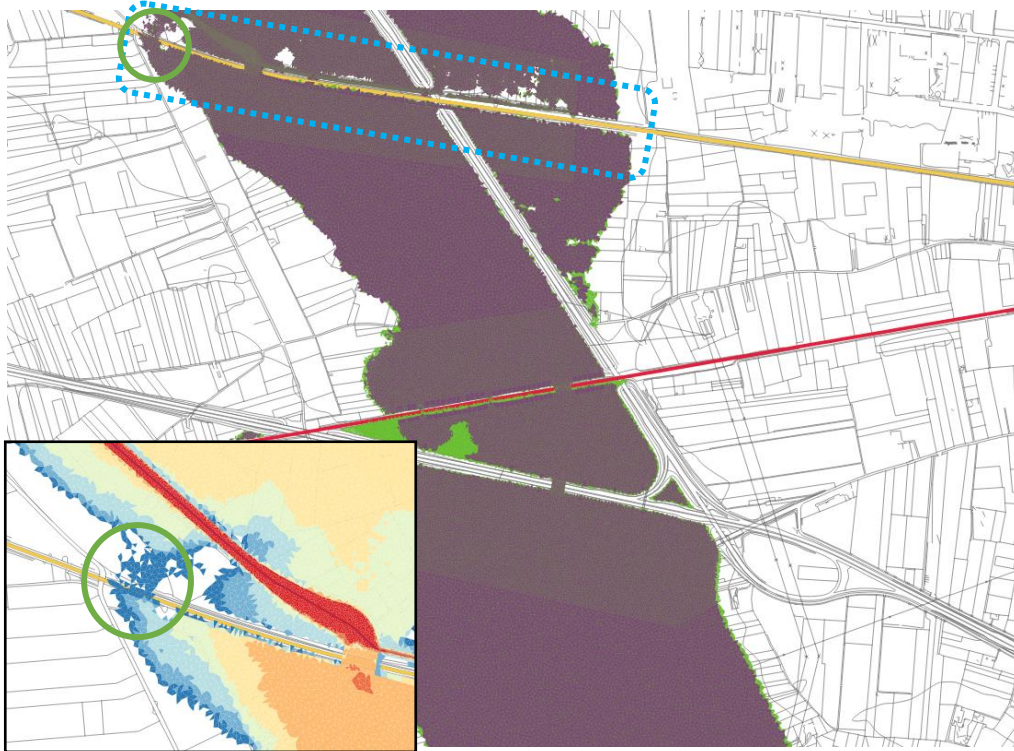


Figura 47 Confronto Aree allagate – Ante e Ipotesi progettuale - TR200(verde sdf; viola sdp)

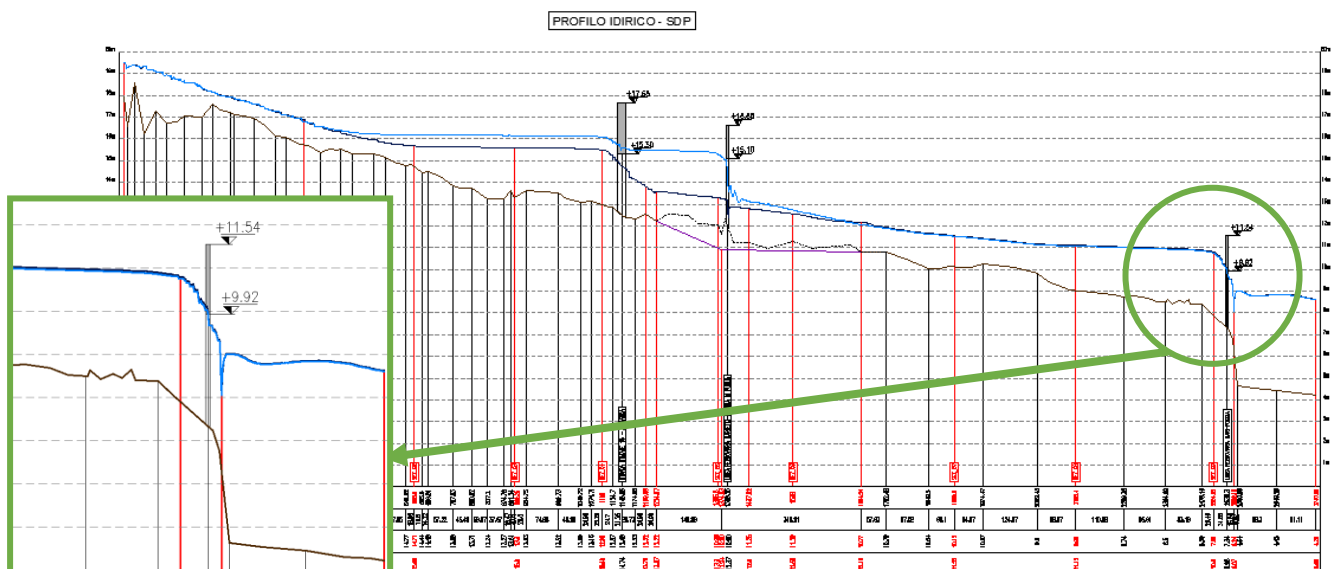


Figura 48 Confronto livelli idrici – Profili - TR200

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IA6C 00 F 10 RI ID0002 001 C 63 DI 76

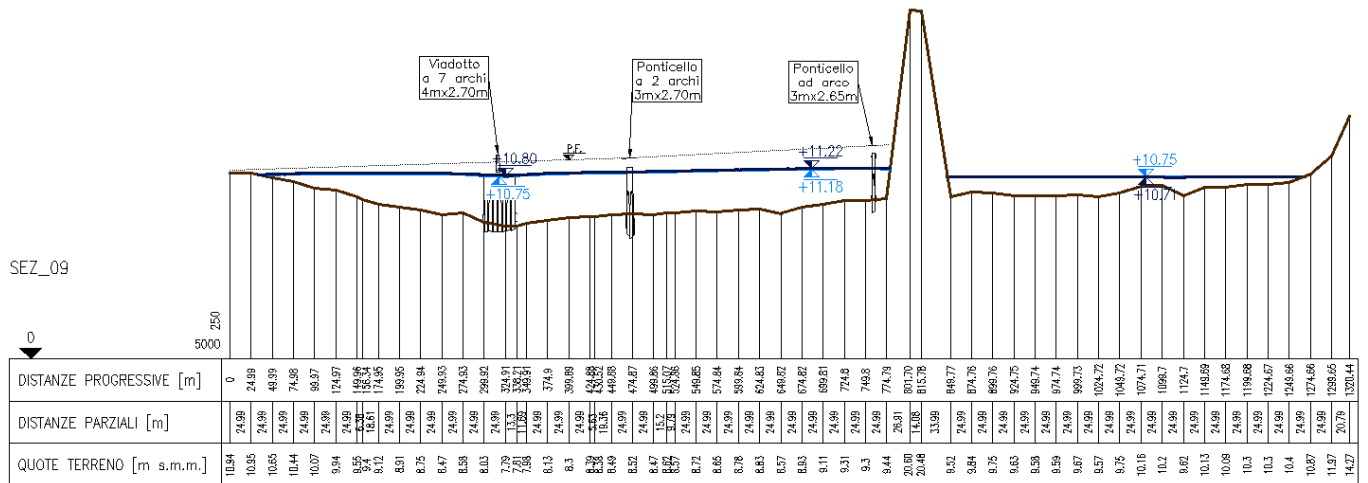


Figura 49 Confronto livelli idrici – sezione a monte della linea ferroviaria Bari- Foggia - TR200- sez09

Si riporta ora il confronto delle aree allagate tra le due linee ferroviarie al fine di prevedere eventuali indennità di allagamento.

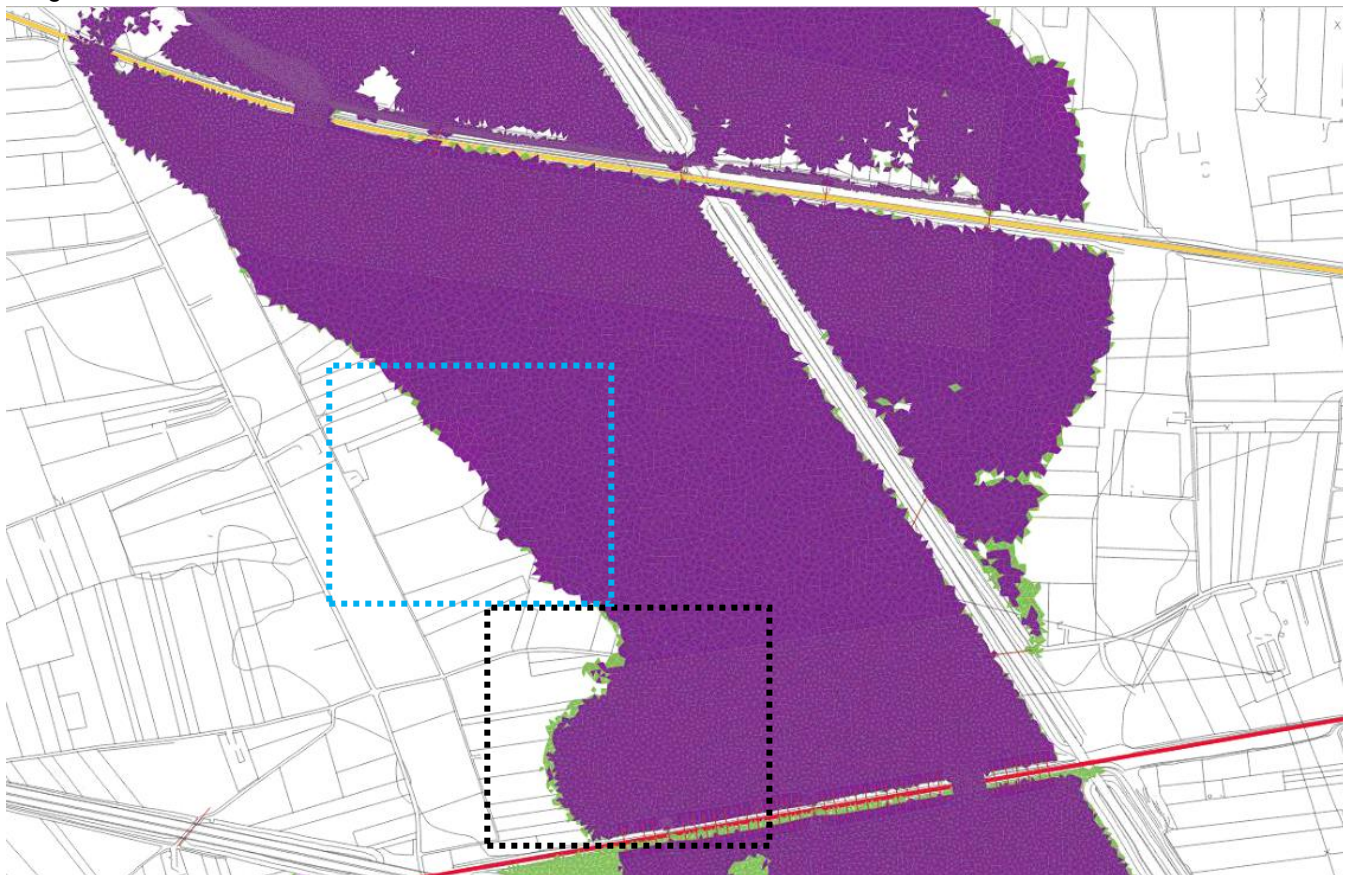


Figura 50 Confronto Aree allagate – Ante e Ipotesi progettuale - TR200(verde sdf; viola sdp)

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	64 DI 76

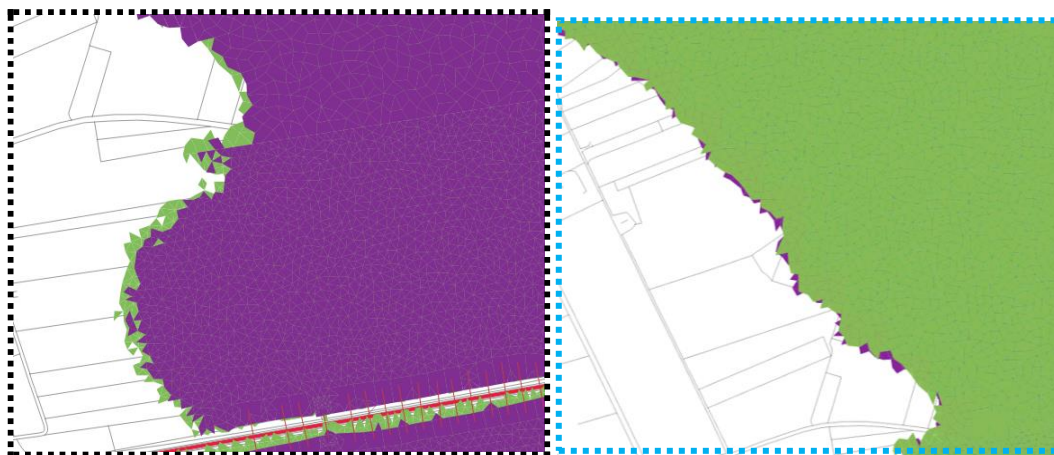


Figura 51 Confronto Aree allagate – Ante e Ipotesi progettuale - TR200(verde sdf; viola sdp)

Dal confronto si evince una riduzione delle aree allagate in prossimità della linea Barletta Canosa mentre più a valle si verifica un aumento di circa 5m rispetto lo stato di fatto, per un'estensione di circa 920m.

6 COMPATIBILITÀ IDRAULICA

L'analisi condotta nel presente studio ha preso in considerazione gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore per determinare la compatibilità idraulica dell'opera in progetto.

L'analisi è finalizzata alla valutazione della compatibilità idraulica in relazione all'attuale assetto idraulico del territorio, alla luce degli strumenti di pianificazione territoriale e delle disposizioni legislative vigenti in materia di difesa del suolo e di protezione dal rischio idraulico.

6.1 Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia

Proprio all'interno degli strumenti legislativi di recente emanazione si è adottato il P.A.I., Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dall'Autorità di Bacino della Puglia, approvato il 30/11/2005, che individua le aree a rischio idraulico ed idrogeologico.

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

Aree a bassa probabilità di inondazione (B.P.) - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) compreso tra 200 e 500 anni.

Aree a moderata probabilità di inondazione (M.P.) - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) compreso tra 30 e 200 anni.

Aree ad alta probabilità di inondazione (A.P.) - Porzioni di territorio soggette ad essere allagate con tempo di ritorno (Tr) inferiore o pari a 30 anni.

Nell'analisi del rischio idrogeologico, l'individuazione delle aree a rischio idrogeologico si ricava per sovrapposizione delle zone soggette a pericolosità con gli elementi a rischio idrogeomorfologico, definiti in 5 classi:

- E5 = agglomerati urbani, aree industriali e/o artigianali, centri abitati estesi, edifici isolati, dighe e invasi idrici, strutture ricreative e campeggi;
- E4 = strade statali, strade provinciali, strade comunali (unica via di collegamento all'abitato) e linee ferroviarie;
- E3 = linee elettriche, acquedotti, fognature, depuratori e strade secondarie;
- E2 = impianti sportivi con soli manufatti di servizio, colture agricole intensive;
- E1 = assenza di insediamenti, attività antropiche e patrimonio ambientale.

Le aree di rischio sono classificate come:

- **Aree a rischio moderato R1:** per il quale i danni sociali, economici e al patrimonio ambientale sono marginali;
- **Aree a rischio medio R2:** per il quale sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- **Aree a rischio elevato R3:** per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture, con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale;
- **Aree a rischio molto elevato R4:** per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture ed al patrimonio ambientale e la distruzione di attività socioeconomiche.

Nelle *Norme tecniche di attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico*, al Titolo II, agli art. 4, 5, 6, 7, 8, 9 e 10 è prescritto quanto segue:

ARTICOLO 4

Disposizioni generali

- In relazione alle condizioni idrauliche, alla tutela dell'ambiente e alla prevenzione di presumibili effetti dannosi prodotti da interventi antropici, così come risultanti dallo stato delle conoscenze, sono soggetti alle norme del presente capo le aree di cui ai successivi artt. 6, 7, 8, 9 e 10*
- In tutte le aree a pericolosità idraulica si applicano, oltre a quelle del presente Titolo II, le disposizioni dei Titoli IV, V e VI.*
- Nelle aree a pericolosità idraulica, tutte le nuove attività e i nuovi interventi devono essere tali da:*
 - migliorare o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità idraulica;*
 - non costituire in nessun caso un fattore di aumento della pericolosità idraulica né localmente, né nei territori a valle o a monte, producendo significativi ostacoli al normale libero deflusso delle acque ovvero causando una riduzione significativa della capacità di invaso delle aree interessate;*
 - non costituire un elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione delle specifiche cause di rischio esistenti;*
 - non pregiudicare le sistemazioni idrauliche definitive né la realizzazione degli interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente;*
 - garantire condizioni adeguate di sicurezza durante la permanenza di cantieri mobili, in modo che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un ostacolo significativo al regolare deflusso delle acque;*
 - limitare l'impermeabilizzazione superficiale del suolo impiegando tipologie costruttive e materiali tali da controllare la ritenzione temporanea delle acque anche attraverso adeguate reti di regimazione e di drenaggio;*
 - rispondere a criteri di basso impatto ambientale facendo ricorso, laddove possibile, all'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica.*
- La realizzazione di tutti gli interventi previsti nelle aree di cui al comma 1, salvo gli interventi di somma urgenza di cui all'art. 5 punto c), è sottoposta al parere vincolante dell'Autorità di Bacino.*
- Nessun intervento previsto nelle aree di cui al comma 1, può essere approvato da parte della competente autorità di livello regionale, provinciale o comunale senza il preventivo o contestuale parere vincolante da parte dell'Autorità di Bacino.*
- Nelle aree di cui al comma 1 interessate anche da pericolosità geomorfologica, le prescrizioni relative si applicano contemporaneamente e si sommano ciascuna operando in funzione della rispettiva finalità.*
- I manufatti lambiti e/o attraversati dal limite di aree a differente livello di pericolosità sono ricompresi nell'area interessata dalle prescrizioni più restrittive.*
- I Comuni ricadenti nel territorio di applicazione del PAI introducono nei certificati di destinazione urbanistica informazioni sulla perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica.*
- Tutti gli interventi e le opere destinate alla prevenzione ed alla protezione del territorio dal rischio idraulico devono essere sottoposti, dall'amministrazione territorialmente competente, ad un idoneo piano di azioni ordinarie di manutenzione tese a garantirne nel tempo la necessaria funzionalità.*
- I vincoli e le prescrizioni di cui ai successivi artt. 6, 7, 8, 9 e 10 non si applicano per le opere pubbliche per le quali alla data di adozione del Piano siano iniziati i lavori. L'uso e la fruizione delle predette opere sono comunque subordinati all'adozione dei Piani di Protezione Civile ai sensi della Legge 225/92 e del relativo sistema di monitoraggio e allerta.*

ARTICOLO 5

Interventi per la mitigazione della pericolosità idraulica

Nelle aree di cui agli artt. 6, 7, 8, 9 e 10 sono consentiti:

- a) gli interventi idraulici e le opere idrauliche per la messa in sicurezza delle aree e per la riduzione o l'eliminazione della pericolosità;
- b) gli interventi di sistemazione e miglioramento ambientale, che favoriscano tra l'altro la ricostruzione dei processi e degli equilibri naturali, il riassetto delle cenosi di vegetazione riparia, la ricostituzione della vegetazione spontanea autoctona. Tra tali interventi sono compresi i tagli di piante stabiliti dall'autorità forestale o idraulica competente per territorio per assicurare il regolare deflusso delle acque, tenuto conto di quanto disposto dal decreto del Presidente della Repubblica 14 aprile 1993;
- c) gli interventi di somma urgenza per la salvaguardia di persone e beni a fronte di eventi pericolosi o situazioni di rischio eccezionali.

In particolare, gli interventi di cui ai punti a) e b) devono essere inseriti in un piano organico di sistemazione dell'intero corso d'acqua oggetto d'intervento preventivamente approvato dall'Autorità di Bacino e dall'Autorità idraulica competente, ai sensi della Legge 112/1998 e s.m.i.

Gli interventi di cui al punto c) devono essere comunicati all'Autorità di Bacino e potranno essere oggetto di verifica da parte della stessa Autorità.

ARTICOLO 6

Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali

1. Al fine della salvaguardia dei corsi d'acqua, della limitazione del rischio idraulico e per consentire il libero deflusso delle acque, il PAI individua il reticolo idrografico in tutto il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia, nonché l'insieme degli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali, ove vige il divieto assoluto di edificabilità.
2. Nelle aree di cui al comma 1 è consentita la realizzazione di opere di regimazione idraulica;
3. In tali aree può essere consentito lo svolgimento di attività che non comportino alterazioni morfologiche o funzionali ed un apprezzabile pericolo per l'ambiente e le persone. All'interno delle aree in oggetto non può comunque essere consentito:
 - a) l'impianto di colture agricole, ad esclusione del prato permanente;
 - b) il taglio o la piantagione di alberi o cespugli se non autorizzati dall'autorità idraulica competente, ai sensi della Legge 112/1998 e s.m.i.;
 - c) lo svolgimento delle attività di campeggio;
 - d) il transito e la sosta di veicoli se non per lo svolgimento delle attività di controllo e di manutenzione del reticolo idrografico o se non specificatamente autorizzate dall'autorità idraulica competente;
 - e) lo svolgimento di operazioni di smaltimento e recupero di cui agli allegati b) e c) del Dlgs 22/97 nonché il deposito temporaneo di rifiuti di cui all'art.6, comma 1, lett. m) del medesimo Dlgs 22/97.
4. All'interno delle aree e nelle porzioni di terreno di cui al precedente comma 1, possono essere consentiti l'ampliamento e la ristrutturazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino.
5. I manufatti e i fabbricati esistenti all'interno delle aree e nelle porzioni di terreno di cui al precedente comma 1, ad esclusione di quelli connessi alla gestione idraulica del corso d'acqua, sono da considerare in condizioni di rischio

idraulico molto elevato e pertanto le Regioni, le Province e i Comuni promuovono e/o adottano provvedimenti per favorire, anche mediante incentivi, la loro rilocalizzazione.

6. Sui manufatti e fabbricati posti all'interno delle aree di cui al comma 1 sono consentiti soltanto:

- interventi di demolizione senza ricostruzione;
- interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 3 del D.P.R. n.380/2001 e s.m.i. a condizione che non concorrano ad incrementare il carico urbanistico;
- interventi volti a mitigare la vulnerabilità dell'edificio senza che essi diano origine ad aumento di superficie o volume.

7. Per tutti gli interventi consentiti nelle aree di cui al comma 1 l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata. Detto studio è sempre richiesto per gli interventi di cui ai commi 2, 4 e 6.

8. Quando il reticolo idrografico e l'alveo in modellamento attivo e le aree golenali non sono arealmente individuate nella cartografia in allegato e le condizioni morfologiche non ne consentano la loro individuazione, le norme si applicano alla porzione di terreno a distanza planimetrica, sia in destra che in sinistra, dall'asse del corso d'acqua, non inferiore a 75 m.

ARTICOLO 7

Interventi consentiti nelle aree ad alta pericolosità idraulica (A.P.)

1. Nelle aree ad alta probabilità di inondazione, oltre agli interventi di cui ai precedenti artt. 5 e 6 e con le modalità ivi previste, sono esclusivamente consentiti:

- interventi di sistemazione idraulica approvati dall'autorità idraulica competente, previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino sulla compatibilità degli interventi stessi con il PAI;
- interventi di adeguamento e ristrutturazione della viabilità e della rete dei servizi pubblici e privati esistenti, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale;
- interventi necessari per la manutenzione di opere pubbliche o di interesse pubblico;
- interventi di ampliamento e di ristrutturazione delle infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino;
- interventi sugli edifici esistenti, finalizzati a ridurre la vulnerabilità e a migliorare la tutela della pubblica incolumità;
- interventi di demolizione senza ricostruzione, interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 3 del D.P.R. n.380/2001 e s.m.i., a condizione che non concorrano ad incrementare il carico urbanistico;
- adeguamenti necessari alla messa a norma delle strutture, degli edifici e degli impianti relativamente a quanto previsto in materia igienico - sanitaria, sismica, di sicurezza ed igiene sul lavoro, di superamento delle barriere architettoniche nonché gli interventi di riparazione di edifici danneggiati da eventi bellici e sismici;
- ampliamenti volumetrici degli edifici esistenti esclusivamente finalizzati alla realizzazione di servizi igienici o ad adeguamenti igienico-sanitari, volumi tecnici, autorimesse pertinenziali, rialzamento del sottotetto al fine di renderlo abitabile o funzionale per gli edifici produttivi senza che si costituiscano nuove unità immobiliari, nonché manufatti

che non siano qualificabili quali volumi edilizi, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità nelle aree adiacenti;

i) realizzazione, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità, di recinzioni, pertinenze, manufatti precari, interventi di sistemazione ambientale senza la creazione di volumetrie e/o superfici impermeabili, annessi agricoli purché indispensabili alla conduzione del fondo e con destinazione agricola vincolata;

2. Per tutti gli interventi di cui al comma 1 l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata. Detto studio è sempre richiesto per gli interventi di cui ai punti a), b), d), e), h) e i).

ARTICOLO 8

Interventi consentiti nelle aree a media pericolosità idraulica (M.P.)

1. Nelle aree a media probabilità di inondazione oltre agli interventi di cui ai precedenti artt. 5 e 6 e con le modalità ivi previste, sono esclusivamente consentiti:

a) interventi di sistemazione idraulica approvati dall'autorità idraulica competente, previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino sulla compatibilità degli interventi stessi con il PAI;

b) interventi di adeguamento e ristrutturazione della viabilità e della rete dei servizi pubblici e privati esistenti, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale;

c) interventi necessari per la manutenzione di opere pubbliche o di interesse pubblico;

d) interventi di ampliamento e di ristrutturazione delle infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino;

e) interventi sugli edifici esistenti, finalizzati a ridurre la vulnerabilità e a migliorare la tutela della pubblica incolumità;

f) interventi di demolizione senza ricostruzione, interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 3 del D.P.R. n.380/2001 e s.m.i.;

g) adeguamenti necessari alla messa a norma delle strutture, degli edifici e degli impianti relativamente a quanto previsto in materia igienico - sanitaria, sismica, di sicurezza ed igiene sul lavoro, di superamento delle barriere architettoniche nonché gli interventi di riparazione di edifici danneggiati da eventi bellici e sismici;

h) ampliamenti volumetrici degli edifici esistenti esclusivamente finalizzati alla realizzazione di servizi igienici o ad adeguamenti igienico-sanitari, volumi tecnici, autorimesse pertinenziali, rialzamento del sottotetto al fine di renderlo abitabile o funzionale per gli edifici produttivi senza che si costituiscano nuove unità immobiliari, nonché manufatti che non siano qualificabili quali volumi edilizi, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità nelle aree adiacenti;

i) realizzazione, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità, di recinzioni, pertinenze, manufatti precari, interventi di sistemazione ambientale senza la creazione di volumetrie e/o superfici impermeabili, annessi agricoli purché indispensabili alla conduzione del fondo e con destinazione agricola vincolata;

j) interventi di ristrutturazione edilizia, così come definiti alla lett. d) dell'art. 3 del D.P.R. n.380/2001 e s.m.i., a condizione che non aumentino il livello di pericolosità nelle aree adiacenti;

k) ulteriori tipologie di intervento a condizione che venga garantita la preventiva o contestuale realizzazione delle opere di messa in sicurezza idraulica per eventi con tempo di ritorno di 200 anni, previo parere favorevole dell'autorità idraulica competente e dell'Autorità di Bacino sulla coerenza degli interventi di messa in sicurezza

anche per ciò che concerne le aree adiacenti e comunque secondo quanto previsto agli artt. 5, 24, 25 e 26 in materia di aggiornamento dal PAI. In caso di contestualità, nei provvedimenti autorizzativi ovvero in atti unilaterali d'obbligo, ovvero in appositi accordi laddove le Amministrazioni competenti lo ritengano necessario, dovranno essere indicate le prescrizioni necessarie (procedure di adempimento, tempi, modalità, ecc.) nonché le condizioni che possano pregiudicare l'abitabilità o l'agibilità. Nelle more del completamento delle opere di mitigazione, dovrà essere comunque garantito il non aggravio della pericolosità in altre aree.

2. Per tutti gli interventi di cui al comma 1 l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata. Detto studio è sempre richiesto per gli interventi di cui ai punti a), b), d), e), h), i), j) e k).

ARTICOLO 9

Interventi consentiti nelle aree a bassa pericolosità idraulica (B.P.)

1. Nelle aree a bassa probabilità di inondazione sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale.

2. Per tutti gli interventi nelle aree di cui al comma 1 l'AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell'area interessata.

3. In tali aree, nel rispetto delle condizioni fissate dagli strumenti di governo del territorio, il PAI persegue l'obiettivo di integrare il livello di sicurezza alle popolazioni mediante la predisposizione prioritaria da parte degli enti competenti, ai sensi della legge 225/92, di programmi di previsione e prevenzione.

ARTICOLO 10

Disciplina delle fasce di pertinenza fluviale

1. Ai fini della tutela e dell'adeguamento dell'assetto complessivo della rete idrografica, il PAI individua le fasce di pertinenza fluviale.

2. All'interno delle fasce di pertinenza fluviale sono consentiti tutti gli interventi previsti dagli strumenti di governo del territorio, a condizione che venga preventivamente verificata la sussistenza delle condizioni di sicurezza idraulica, come definita all'art. 36, sulla base di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica subordinato al parere favorevole dell'Autorità di Bacino.

3. Quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermina all'area golenale, come individuata all'art. 6 comma 8, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m.

6.1.1 Rispetto dei criteri di compatibilità idraulica

L'analisi effettuata per l'ipotesi progettuale indagata è stata svolta in accordo a quanto previsto dalle "Norme Tecniche di Attuazione" approvate nel novembre 2005 e dalla "Relazione di Piano" approvata nel dicembre 2004, del Piano di Bacino Stralcio per Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia.

Dalla sovrapposizione delle aree di intervento con le planimetrie fornite dall' A.d.B. della Puglia si evidenzia che l'opera in progetto va a sovrapporsi interamente le aree di Alta Pericolosità idraulica (AP-Blu) e media pericolosità idraulica (MP-Ciano), (Figura 52).



Figura 52: Inquadramento Linea Barletta Canosa su planimetria PAI

Si considera di seguito le Norme Tecniche di Attuazione presenti nella documentazione di pianificazione di bacino ed in particolare i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica degli interventi in progetto così come indicati al Titolo II – Assetto Idraulico, art. 4 comma 3.

Nelle aree a pericolosità idraulica, tutte le nuove attività e i nuovi interventi devono essere tali da:

a) migliorare o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità idraulica;

Le simulazioni idrauliche bidimensionali hanno evidenziato un miglioramento delle condizioni di funzionalità idraulica per il Torrente Tittadegna. I manufatti previsti aumentano notevolmente la trasparenza idraulica del rilevato ferroviario in esame, per cui, vengono di fatto migliorate le condizioni di deflusso delle piene;

b) non costituire in nessun caso un fattore di aumento della pericolosità idraulica né localmente, né nei territori a valle o a monte, producendo significativi ostacoli al normale libero deflusso delle acque ovvero causando una riduzione significativa della capacità di invaso delle aree interessate;

Come dimostrato dalle simulazioni numeriche, le opere previste tendono a ridurre l'estensione delle aree allagate nelle condizioni di piena. È stato riscontrato un lieve aumento dei livelli idrici massimi a valle della linea Barletta Canosa, dell'ordine di 6 cm. Si sottolinea l'incremento minimo di 6cm non modifica significativamente le preesistenti condizioni di rischio idraulico della linea Bari-Foggia, che risulta trascinata già nella configurazione ante operam. Tuttavia, stante le condizioni di elevato rischio idraulico preesistenti della linea Bari-Foggia nella configurazione ante operam (cioè indipendentemente dalla realizzazione della ipotesi progettuale indagata) e che gli interventi ipotizzati non hanno effetto sul rischio residuo dovuto al permanere dell'accumulo dei volumi esondati a tergo del rilevato della SS16, si ritiene necessario che la messa in sicurezza della linea Barletta-Canosa per il tratto interessato dal Torrente Tittadegna sia affrontata ad una scala più ampia secondo gli indirizzi programmatici contenuti nello studio della AbB del 2015 che prevedeva come soluzione strutturale la realizzazione di una cassa di espansione a monte della SS16, con livello di priorità alta

Torrente Tittadegna – Relazione Idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA6C	00	F 10	RI ID0002 001	C	72 DI 76

c) *non costituire un elemento pregiudizievole all'attenuazione o all'eliminazione delle specifiche cause di rischio esistenti;*

Gli interventi non costituiscono un elemento pregiudizievole all'attenuazione delle cause di rischio esistente.

d) *non pregiudicare le sistemazioni idrauliche definitive né la realizzazione degli interventi previsti dalla pianificazione di bacino o dagli strumenti di programmazione provvisoria e urgente;*

Gli interventi ipotizzati in esame non pregiudicano la realizzazione di quelli previsti dall'Autorità di Bacino della Puglia.

e) *garantire condizioni adeguate di sicurezza durante la permanenza di cantieri mobili, in modo che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un ostacolo significativo al regolare deflusso delle acque;*

Le lavorazioni verranno svolte nei periodi in cui storicamente non si sono verificate alluvioni e comunque operando sempre in modo tale da evitare la permanenza di strutture temporanee in alveo al fine di non produrre ostacoli significativi all'eventuale deflusso delle acque.

Al fine di preservare l'efficienza della sistemazione sia in condizioni ordinarie che in seguito ad eventi di piena, si raccomanda una periodica e programmata attività di manutenzione (che deve consistere nella pulizia dell'area con la rimozione di arbusti e vegetazione) al fine di garantire nel tempo il mantenimento delle luci e delle altezze libere delle aperture.

f) *limitare l'impermeabilizzazione superficiale del suolo impiegando tipologie costruttive e materiali tali da controllare la ritenzione temporanea delle acque anche attraverso adeguate reti di regimazione e di drenaggio;*

Gli interventi ipotizzati non prevedono un aumento delle superfici impermeabili. L'unico intervento di regimazione è legato alla sagomatura e riprofilatura dell'alveo a monte e a valle del viadotto ad archi esistente BD08;

g) *rispondere a criteri di basso impatto ambientale facendo ricorso, laddove possibile, all'utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica.*

Per la sagomatura del fondo verranno impiegate tecniche di ingegneria naturalistica;

In particolare, gli interventi di cui ai punti a) e b) devono essere inseriti in un piano organico di sistemazione dell'intero corso d'acqua oggetto d'intervento preventivamente approvato dall'Autorità di Bacino e dall'Autorità idraulica competente, ai sensi della Legge 112/1998 e s.m.i.

Gli interventi di cui al punto c) devono essere comunicati all'Autorità di Bacino e potranno essere oggetto di verifica da parte della stessa Autorità.

La documentazione allegata al presente progetto costituisce parte degli elaborati necessari all'approvazione da parte dell'Autorità di Bacino competente.

Esponendo quanto richiesto dell'art. 7 "Interventi consentiti nelle aree ad alta pericolosità idraulica (A.P.)", si espone quanto segue:

1. *Nelle aree ad alta probabilità di inondazione, oltre agli interventi di cui ai precedenti artt. 5 e 6 e con le modalità ivi previste, sono esclusivamente consentiti:*

a) *interventi di sistemazione idraulica approvati dall'autorità idraulica competente, previo parere favorevole dell'Autorità di Bacino sulla compatibilità degli interventi stessi con il PAI;*

b) *interventi di adeguamento e ristrutturazione della viabilità e della rete dei servizi pubblici e privati esistenti, purché siano realizzati in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale;*

c) *interventi necessari per la manutenzione di opere pubbliche o di interesse pubblico;*

d) *interventi di ampliamento e di ristrutturazione delle infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico esistenti, comprensive dei relativi manufatti di servizio, riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, nonché la realizzazione di nuove infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico, comprensive dei relativi manufatti di servizio, parimenti essenziali e non diversamente localizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente Piano e con la pianificazione degli interventi di mitigazione. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali, che deve contenere tutti gli elementi atti a dimostrare il possesso delle caratteristiche sopra indicate anche nelle diverse soluzioni presentate, è sottoposto al parere vincolante dell’Autorità di Bacino;*

e) *interventi sugli edifici esistenti, finalizzati a ridurre la vulnerabilità e a migliorare la tutela della pubblica incolumità;*

f) *interventi di demolizione senza ricostruzione, interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell’art. 3 del D.P.R. n.380/2001 e s.m.i., a condizione che non concorrano ad incrementare il carico urbanistico;*

g) *adeguamenti necessari alla messa a norma delle strutture, degli edifici e degli impianti relativamente a quanto previsto in materia igienico - sanitaria, sismica, di sicurezza ed igiene sul lavoro, di superamento delle barriere architettoniche nonché gli interventi di riparazione di edifici danneggiati da eventi bellici e sismici;*

h) *ampliamenti volumetrici degli edifici esistenti esclusivamente finalizzati alla realizzazione di servizi igienici o ad adeguamenti igienico-sanitari, volumi tecnici, autorimesse pertinenziali, rialzamento del sottotetto al fine di renderlo abitabile o funzionale per gli edifici produttivi senza che si costituiscano nuove unità immobiliari, nonché manufatti che non siano qualificabili quali volumi edilizi, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità nelle aree adiacenti;*

i) *realizzazione, a condizione che non aumentino il livello di pericolosità, di recinzioni, pertinenze, manufatti precari, interventi di sistemazione ambientale senza la creazione di volumetrie e/o superfici impermeabili, annessi agricoli purché indispensabili alla conduzione del fondo e con destinazione agricola vincolata;*

Sulle base delle precedenti richieste, gli interventi sono consentiti in quanto rientrano nelle opere di sistemazione idraulica. La documentazione qui redatta costituisce parte dei documenti richiesti ai fini dell’approvazione da parte dell’Autorità di Bacino competente. Inoltre, il progetto ha come oggetto l’ammodernamento della linea ferroviaria esistente, non sono previsti interventi su edifici.

2. *Per tutti gli interventi di cui al comma 1 l’AdB richiede, in funzione della valutazione del rischio ad essi associato, la redazione di uno studio di compatibilità idrologica ed idraulica che ne analizzi compiutamente gli effetti sul regime idraulico a monte e a valle dell’area interessata. Detto studio è sempre richiesto per gli interventi di cui ai punti a), b), d), e), h) e i).*

Parte del presente documento è dedicata alla valutazione della compatibilità idraulica.

6.2 NTC 2018

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

Si riporta un estratto della normativa:

5.1.2.3 Compatibilità Idraulica

[...]

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

[...]

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

[...]

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

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

[...]

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

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

[...]

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

[...]

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

[...]

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

[...]

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

[...]

Restano esclusi dal punto 5.1.2.3 della Norma i tombini, intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a 50 m³/s. L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti. La scelta dei materiali deve garantire la resistenza anche ai fenomeni di abrasione e urto causati dai materiali trasportati dalla corrente.

[...]

nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 m;

[...]

6.2.1 Rispetto dei criteri di compatibilità idraulica

Il viadotto esistente BD08 è stato considerato come attraversamento principale, gli altri attraversamenti esistenti ed in progetto, sono stati inclusi nella Normativa sui tombini in quanto conducono portate inferiori ai $50\text{m}^3/\text{s}$. Per il ponte ferroviario esistente BD08, non sono state eseguite le verifiche dei franchi minimi, dato che l'attraversamento è esistente e non oggetto di progettazione. Sono stati comunque valutati per evidenziare il miglioramento delle condizioni di deflusso determinate dalle modifiche progettuali alla situazione esistente. La realizzazione delle opere di trasparenza in sinistra e destra del ponte ferroviario migliorano le condizioni di sicurezza idraulica dell'attraversamento. I tiranti idrici a monte della linea ferroviaria sono stati ridotti di 2 m rispetto alla configurazione Ante Operam. Tutti i tombini sono stati verificati con un tirante idrico inferiore ai $2/3$ dell'altezza e un franco minimo superiore a 50cm.

Si osserva che i requisiti minimi previsti dalle normative nazionali e di bacino, si riferiscono ad opere di nuova realizzazione e non possono quindi intendersi direttamente applicabili al ponte esistente. Per tale opera è stato perseguito l'obiettivo di riduzione del rischio raggiungendo un franco idraulico di 1m riferito ai livelli idrici con portata $Tr=200$ anni (garantito sui due terzi della luce degli archi) ed è stato verificato il funzionamento in occasione della piena con $Tr=500$ anni: tale verifica ha evidenziato un franco residuo di circa 0.9m sui due terzi della luce degli archi.