

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

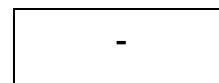
COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI

IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDRAULICA

Modello bidimensionale del Canale Cillarese e Compatibilità idraulica dell'intervento

SCALA:



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


I A 7 K 0 0 D 0 9 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione esecutiva	P.Luciani	Dic. 2019	E. Casas 	Dic. 2019	T. Paoletti 	Dic. 2019		

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

INDICE

1	PREMESSA	4
1.1	Riferimenti normativi	6
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO	7
2.1	Pericolosità idraulica nell'area di intervento	7
2.2	Obiettivo dello studio idraulico	8
2.2.1	Opera di attraversamento esistente	11
3	STUDIO IDRAULICO.....	11
3.1	Generalità	11
3.2	Dati di base	12
3.3	Implementazione del modello numerico idraulico	12
3.3.1	Modello bidimensionale	12
3.3.1.1	Geometria del modello	16
3.3.1.2	Scabrezze	17
3.3.1.3	Condizioni al contorno	18
3.3.1.4	Scenari simulati	19
3.3.1.5	Risultati delle simulazioni numeriche 2D.....	19
3.3.1.6	Verifica del franco idraulico.....	24
4	VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA.....	25
5	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	26

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
	IDROLOGIA RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002001	REV. A

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1– Inquadramento dell'area oggetto di intervento.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2– Soluzione progettuale oggetto del presente PD</i>	<i>5</i>
<i>Figura 3– Interventi compresi nel Lotto II (in rosso).....</i>	<i>5</i>
<i>Figura 4 - Aree di pericolosità idraulica P.A.I., Provincia di Brindisi.....</i>	<i>8</i>
<i>Figura 5 – Attraversamenti idraulici critici (P.G.R.A.)</i>	<i>9</i>
<i>Figura 6 – Attraversamento ferroviario esistente sul Canale Cillarese.</i>	<i>11</i>
<i>Figura 7 - Canale Cillarese: sezioni rilevate.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 8 – Software Hec Ras 5.0.7: sistema di riferimento.</i>	<i>14</i>
<i>Figura 9 – Software Hec Ras 5.0.7: in grigio il dato della griglia DTM, in rosso la cella di calcolo del modello idraulico. A destra la schematizzazione effettuata da Ras sulle facce del bordo della cella.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 10 - C. Cillarese: dominio di calcolo del modello idraulico 2D.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 11 - Sottobacino CB01: idrogrammi di piena di progetto.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 12 - Sottobacino CB02: idrogrammi di piena di progetto.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 13 - Modello 2D del Canale Cillarese: aree di esondazione Tr 500.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 14 - Modello 2D del Canale Cillarese: aree di esondazione Tr 300.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 15 - Modello 2D del Canale Cillarese: aree di esondazione Tr 200.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 16 - Modello 2D del Canale Cillarese: aree di esondazione Tr 30.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 17 - Modello 2D del Canale Cillarese: sovrapposizione delle aree di esondazione per differenti valori del periodo di ritorno.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 18 - Modello 2D del Canale Cillarese: vettori velocità in corrispondenza del ponte ferroviario.....</i>	<i>24</i>

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 - Classi di pericolosità idraulica (PAI).....</i>	<i>7</i>
<i>Tabella 2 – Verifica del franco idraulico in corrispondenza del ponte ferroviario esistente.</i>	<i>24</i>

1 PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del Progetto Definitivo “*Nodo Intermodale di Brindisi – Collegamento Ferroviario dell’Aeroporto del Salento con la stazione di Brindisi*”, ed illustra i risultati delle verifiche idrauliche effettuate sul Canale Cillarese, al fine di dimostrare la compatibilità idraulica dell’attraversamento ferroviario esistente e dell’intervento in progetto.

L’area interessata dall’intervento ricade a nord e nord-ovest della città di Brindisi ed è compresa tra l’asse ferroviario della linea Adriatica e l’Aeroporto del Salento.



Figura 1– Inquadramento dell’area oggetto di intervento

Il tracciato di progetto, lungo circa 6+225 km, attraversa le aree agricole a nord-ovest dell’abitato di Brindisi. In corrispondenza di due interferenze viarie, in particolare per realizzare lo scavalco della SP42 e della SS379, la livelletta ferroviaria aumenta di quota (circa +7.5 m e +10 m rispetto al piano di campagna rispettivamente). Il tracciato di progetto si suddivide in due lotti:

- il **lotto 1** comprende l’intero tracciato del collegamento ferroviario tra la stazione di Brindisi e la futura stazione dell’aeroporto del Salento, a partire dall’innesto con la linea Adriatica (binario dispari);
- il **lotto 2** comprende il raccordo con la linea Adriatica in direzione Bari (binario pari), avente circa 1 chilometro di sviluppo, e il raccordo tra la linea Adriatica e la linea Taranto Brindisi (sviluppo circa 1,1 Km).



Figura 2– Soluzione progettuale oggetto del presente PD

Nella figura seguente, i due raccordi del lotto 2.

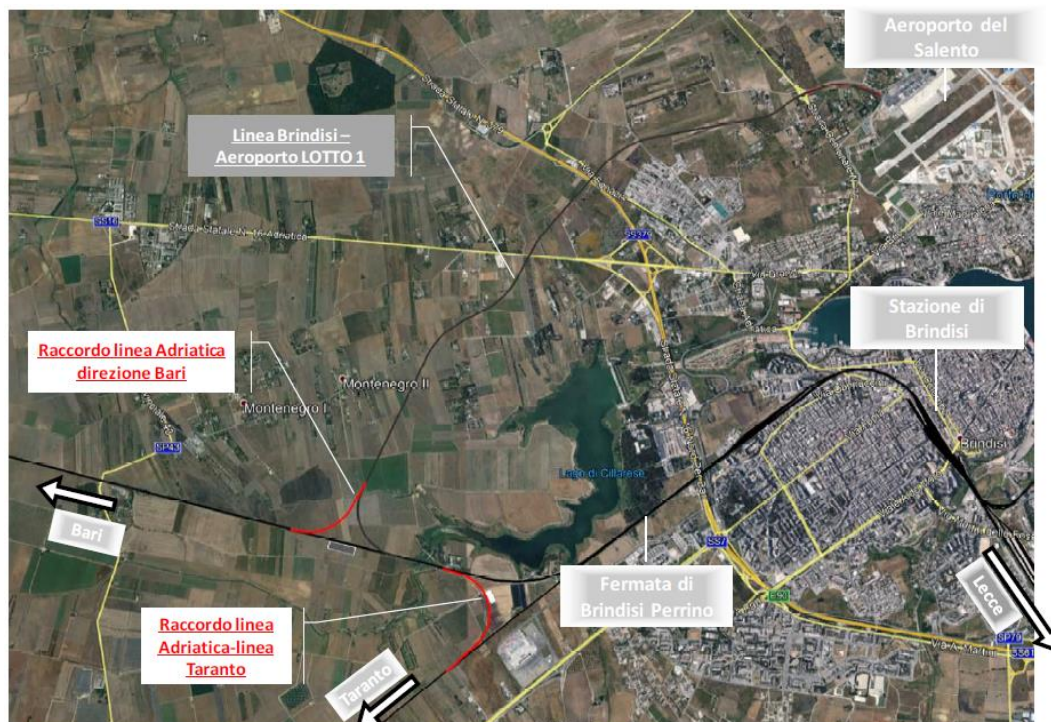



Figura 3– Interventi compresi nel Lotto II (in rosso)

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
IDROLOGIA RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002001	REV. A	FOGLIO 6 di 26

E' stato condotto quindi lo studio idraulico del Canale Cillarese finalizzato alla valutazione delle aree potenzialmente inondabili, tramite simulazioni numeriche bidimensionali (2D).

Le analisi svolte sono state condotte in conformità a quanto previsto ed effettuato nell'ambito del Piano di Assetto idrogeologico (P.A.I.) della Regione Puglia (2005) e del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (2016) nonché nel Manuale di Progettazione RFI e nelle Nuove NTC2018.

1.1 Riferimenti normativi

I principali riferimenti per il presente progetto sono dati dai seguenti riferimenti normativi e/o strumenti di pianificazione territoriale:

- Regio Decreto del 25/07/1904 n.523
- Legge n. 183/1989, *“Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”*
- D.M. del 14 febbraio 1997 *“Direttive tecniche per l'individuazione e perimetrazione da parte delle Regioni a rischio idraulico”*
- D.L. n. 180/1998 (Decreto Sarno)
- Legge n. 365/2000 *“Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 12 ottobre 2000, n. 279, recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile”* (Legge Soverato)
- Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Puglia (PAI, 2005)
- D.Lgs. n. 152/2006 *“Norma in materia ambientale”*
- D.Lgs. n. 49/2010 *“Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvioni”*
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA, 2016)
- Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018)
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP.
- Manuale di Progettazione delle opere ferroviarie (RFIDTCSICSMAIFS001B)

2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVI DELLO STUDIO

2.1 Pericolosità idraulica nell'area di intervento

Il quadro conoscitivo di riferimento per la caratterizzazione idraulica del bacino del Canale Cillarese e la definizione delle aree di pericolosità è attualmente riportata nel Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I., 2005) della Regione Puglia e nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A., 2016) redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale.

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

La classe di pericolosità alta (P3) fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento $Tr \leq 30$ anni.

La classe di pericolosità media (P2) fa riferimento ad un evento caratterizzato da una probabilità di accadimento compresa tra $Tr = 30 - 200$ anni.

La classe di pericolosità bassa (P1) fa riferimento ad un evento di piena raro, caratterizzato da un tempo di ritorno compreso tra $Tr = 200 - 500$ anni.

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

TR (anni)	Pericolosità
30	P3
200	P2
500	P1

Tabella 1 - Classi di pericolosità idraulica (PAI).

Come è possibile riscontrare nella figura seguente, l'area di intervento non ricade in aree di pericolosità idraulica definite nell'ambito del P.A.I..

Con riferimento al P.G.R.A., si riporta invece uno stralcio della tavola "Opere di attraversamento idraulico critiche per l'ambito territoriale omogeneo 'Bari e Brindisi'"; l'opera ferroviaria esistente in esame non è tra quelle ritenute idraulicamente critiche.

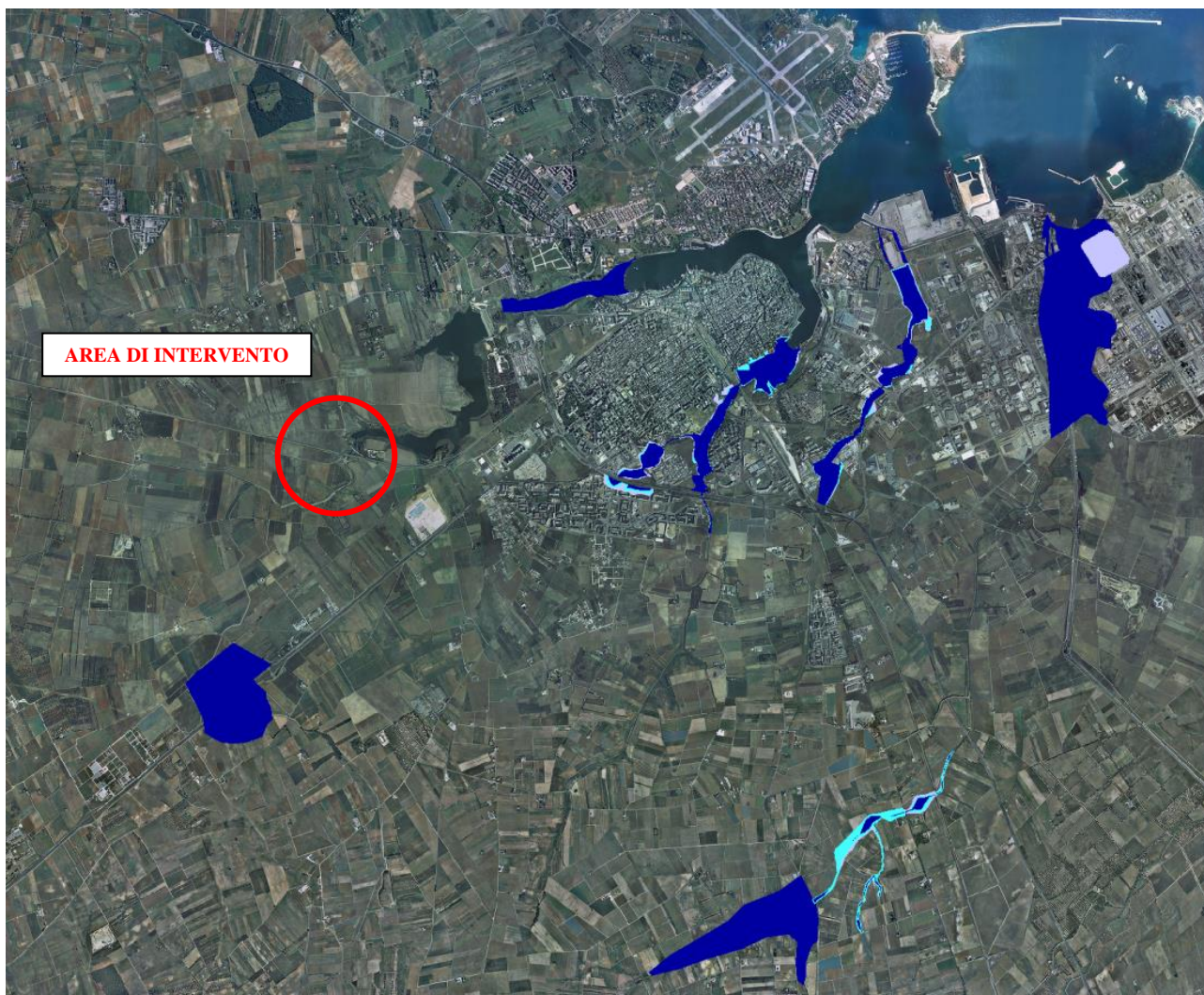



Figura 4 - Aree di pericolosità idraulica P.A.I., Provincia di Brindisi

2.2 Obiettivo dello studio idraulico

Obiettivo del presente studio idraulico è quello di valutare la compatibilità idraulica **dell'attraversamento ferroviario esistente** sul Canale Cillarese, che rimarrà in esercizio così come nello stato attuale, e dell'intervento in progetto. Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento (esistenti, nel caso specifico) devono osservare le prescrizioni del Manuale di Progettazione RFI (MdP), nonché le indicazioni riportate nelle Nuove NTC2018 (e nella relativa circolare applicativa del 7 gennaio 2019).

In sintesi, con riferimento al MdP, le opere idrauliche di attraversamento devono essere verificate per eventi di massima piena caratterizzati dai seguenti tempi di ritorno (Tr):

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
	IDROLOGIA RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002001	REV. A

- $Tr = 300$ anni per $S \geq 10$ km² (come nel caso in esame);
- $Tr = 200$ anni per $S < 10$ km².

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

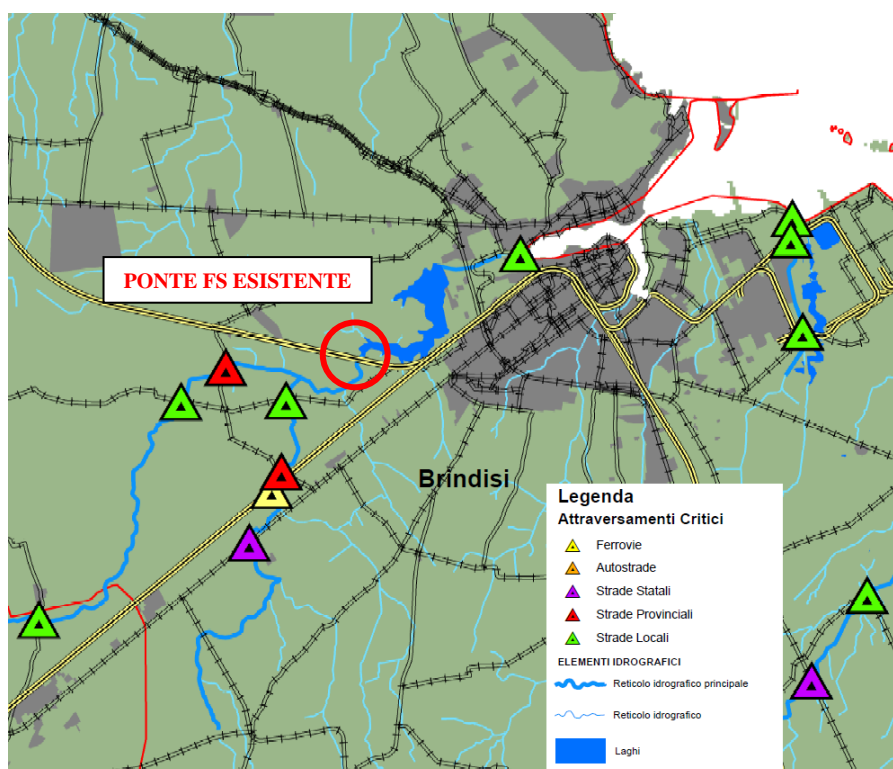


Figura 5 – Attraversamenti idraulici critici (P.G.R.A.).

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

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

Con riferimento alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2018), l'opera deve rispondere ai seguenti requisiti:

*“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. **Per i ponti esistenti, eventualmente interessati da luci nette di misura inferiore, è ammesso l’allargamento della piattaforma, a patto che questo non comporti modifiche dimensionali delle pile, delle spalle o della pianta delle fondazioni di queste, e nel rispetto del franco idraulico come nel seguito precisato. In tutti gli altri casi deve essere richiesta l’autorizzazione all’Autorità competente, che si esprime previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.** Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni 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. 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.”*

Nella relativa circolare applicativa del 9 gennaio 2019, si asserisce inoltre:

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


Con riferimento alle N.T.A. del P.A.I. della Regione Puglia (art. 17 “Obiettivi di sicurezza idraulica”):

“Gli obiettivi di sicurezza idraulica delle azioni del PAI sono definiti in termini di tempi di ritorno, così come definiti all’art. 36. Costituisce obiettivo primario la riduzione della pericolosità nelle aree ad alta pericolosità idraulica (P3), così come individuate nella cartografia in allegato e definite all’art. 36, con particolare riferimento al tessuto insediativo esistente.

Le azioni del PAI perseguono altresì l’obiettivo della riduzione della pericolosità nelle aree a media pericolosità idraulica (P2), così come individuate nella cartografia in allegato e definite all’art. 36, qualora ciò concorra al raggiungimento dell’obiettivo primario.

Nelle aree a bassa pericolosità idraulica (P1), così come individuate nella cartografia in allegato e definite all’art. 36, le azioni del PAI concorrono al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza contenuti negli strumenti di governo del territorio definiti a livello regionale, provinciale e comunale, qualora ciò concorra al raggiungimento dell’obiettivo primario.”

In definitiva, in accordo al MdP e alle NTC2018, nonché alle classi di pericolosità idraulica indicate nelle NTA del P.A.I./P.G.R.A. (Tabella 1), sono state effettuate le simulazioni idrauliche per i tempi di ritorno di 30, 200, 300, 500 anni.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
IDROLOGIA RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002001	REV. A	FOGLIO 11 di 26

2.2.1 Opera di attraversamento esistente

L'**attuale** attraversamento ferroviario sul Canale Cillarese è costituito di 3 campate con luce netta pari a circa 9.5 metri, con due pile in alveo, come mostrato in figura. La quota minima di impalcato si attesta a +25.80 m slm; mentre la quota di fondo alveo in corrispondenza dell'opera si attesta a 15.56 m slm.



Figura 6 – Attraversamento ferroviario esistente sul Canale Cillarese.


3 STUDIO IDRAULICO

3.1 Generalità

Con riferimento ai due sottobacini individuati nello studio idrologico (rif. IA7K00D09RIID0001001A):

- 1) Sottobacino BC1 (superficie 78.6 km² circa)
- 2) Sottobacino BC2 (superficie 52.0 km²)

è stato sviluppato il modello (numerico) idraulico bidimensionale (2D) del Canale Cillarese, in regime di moto vario, tramite il software Hec-Ras 5.0.7, finalizzato alla determinazione delle aree potenzialmente inondabili (per le portate di piena di riferimento), nonché della loro possibile interferenza con il nuovo tracciato ferroviario.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
	IDROLOGIA RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002001	REV. A

3.2 Dati di base

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

- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 2x2 m;
- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 1x1 m;
- rilievo di sezioni (batimetriche) trasversali del Canale Cillarese e delle opere di attraversamento esistenti;

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

3.3 Implementazione del modello numerico idraulico

3.3.1 Modello bidimensionale

Il codice di calcolo utilizzato per l'implementazione del modello bidimensionale del Canale Cillarese è il software Hec-Ras 5.0.7 sviluppato dall'Hydrologic Center del Corpo degli Ingegneri dell'Esercito degli Stati Uniti d'America.

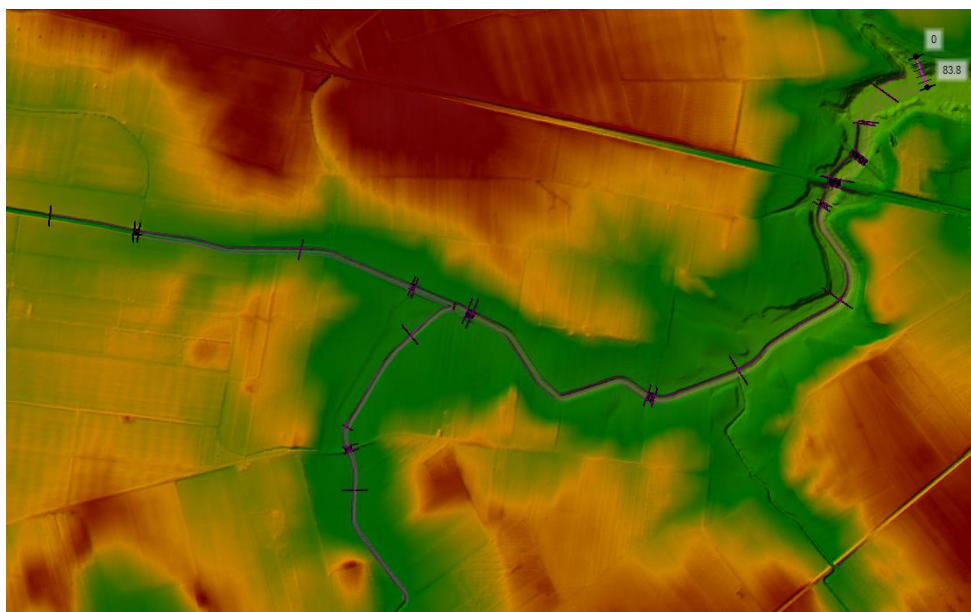



Figura 7 - Canale Cillarese: sezioni rilevate

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
IDROLOGIA RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002001	REV. A	FOGLIO 13 di 26

Le caratteristiche principali dell'algoritmo di modellazione nel software Hec Ras sono:

- Modellazione combinata 1D e 2D che prevede la possibilità di eseguire una simulazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario che permettendo di lavorare su schemi fluviali più complessi, utilizzando come sopra descritto la modellazione 1D per l'alveo, e la modellazione 2D aree inondabili esterne.
- Equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D: Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo inoltre una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.
- Algoritmo di soluzione ai volumi finiti: Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai volumi finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare step temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce una misura dei miglioramenti in termini di stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi agli elementi finiti.
- Algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D: Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo permettendo una perfetta coerenza a ogni step tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzone è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra dell'argine o attraverso la breccia.
- Maglie computazionali strutturate e non strutturate: Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturate o non strutturate. Ciò significa che le cellule computazionali possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono.
- Tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo: All'interno di HEC-RAS le celle e le facce delle celle si basano sui dati del terreno sottostante (DTM). Ogni cella della maglia

computazionale è pre-elaborato per sviluppare dei grafici dettagliati sulle proprietà idrauliche basate sul terreno sottostante che vengono utilizzati nella modellazione di HEC. Inoltre, ogni faccia delle celle viene valutata come una sezione trasversale dove vengono elaborate in tabelle che descrivono le proprietà idrauliche. Il flusso si muove in tutta la faccia (tra le celle) basandosi su questi dati. Questo permette agli utenti di utilizzare delle celle molti grandi senza però perdere troppo il dettaglio del terreno sottostante che governa il movimento del flusso. Il vantaggio è un minor numero di calcoli e quindi tempi di esecuzione molto più veloci.

- Dettagliata mappatura dello scenario degli allagamenti con animazioni: La perimetrazione delle aree allagabili così come le animazioni dello scenario degli allagamenti in funzione del tempo può essere fatta all'interno di HEC-RAS utilizzando le funzionalità di RAS-Mapper. La mappatura delle aree allagate si basa sul DTM, ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli della morfologia del terreno sottostante e non sulla dimensione della cella di calcolo. Le celle quindi possono anche essere parzialmente bagnate/asciutte.
- Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore: Il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore presenti sui computer moderni (architettura parallela). In questo l'algoritmo di soluzione presenta una maggiore velocità e quindi i computer dotati di più processori saranno in grado di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore.
- Motori di calcolo a 64 e 32 bit: HEC-RAS è ora dotato di motori di calcolo sia a 64 bit che a 32 bit. Il software utilizzerà automaticamente i motori di calcolo a 64 bit se si installa su un sistema operativo a 64 bit

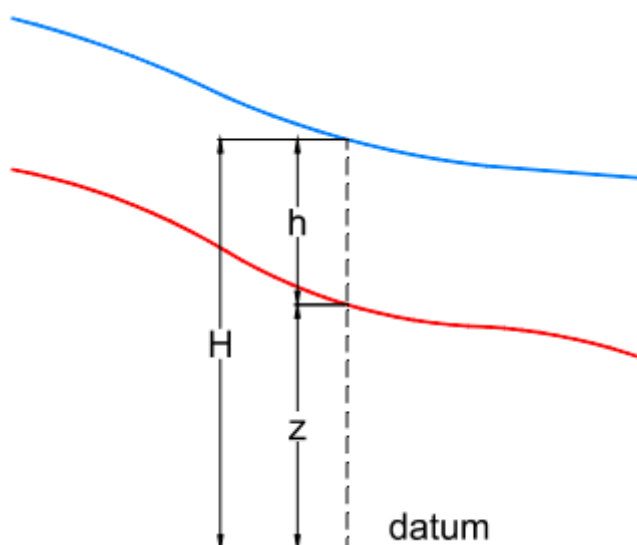


Figura 8 – Software Hec Ras 5.0.7: sistema di riferimento.

Il modello matematico bidimensionale utilizza le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, che vengono risolte con uno schema ai volumi finiti. Si riporta di seguito il sistema di riferimento di HEC-RAS 2D, ove la quota del terreno è indicata con $z(x,y)$, l'altezza idrica con $h(x,y,t)$ e l'altezza del pelo libero con $H(x,y,t) = z(x,y) + h(x,y,t)$ (Figura 8).

Conservazione della massa: assumendo il fluido incomprimibile, l'equazione differenziale della conservazione della massa (continuità) in moto vario è:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial (h \cdot u)}{\partial x} + \frac{\partial (h \cdot v)}{\partial y} + q = 0$$

in cui t è il tempo, u e v sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni x e y , e q è la portata in ingresso ed in uscita dovuta a immissioni od uscite di acqua.

Conservazione della quantità di moto: quando la dimensione orizzontale caratteristica dell'area di studio è molto maggiore della dimensione verticale, gli effetti legati alla componente verticale della velocità possono essere trascurati e si può assumere una distribuzione idrostatica delle pressioni, a partire dalle equazioni di Navier-Stokes.

In tali ipotesi e nell'ipotesi di densità del fluido costante, l'equazione di conservazione della quantità di moto assume la seguente forma:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial v}{\partial y} = -g \cdot \frac{\partial H}{\partial x} + \nu_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - c_f \cdot u + f \cdot v$$

in cui oltre ai simboli già illustrati, g è l'accelerazione di gravità, ν_t è il coefficiente di viscosità turbolenta, c_f è il coefficiente di attrito al fondo, ed f è il coefficiente di Coriolis.

Utilizzando la formula di Chézy il coefficiente di scabrezza sul fondo è dato da:

$$c_f = \frac{g \cdot |V|}{C^2 \cdot R}$$

in cui g è l'accelerazione di gravità, $|V|$ è il modulo del vettore velocità, C è il coefficiente di Chézy e R è il raggio idraulico. Utilizzando la formula di Manning $C = R^{1/6}/n$, in cui n è il coefficiente di scabrezza di Manning, pertanto si ha:

$$c_f = \frac{n^2 \cdot g |V|}{R^{4/3}}$$

Per la modellazione del campo di moto HEC-RAS utilizza l'approccio batimetrico sub-grid sviluppato da Casulli.

Con tale approccio si riesce a sfruttare informazioni topografiche ad alta risoluzione (ad esempio dati Lidar con passo della griglia pari ad 1m) pur utilizzando celle di calcolo a dimensione caratteristica maggiore rispetto alla risoluzione dei dati in ingresso.

Per ogni singola cella di calcolo infatti in fase di pre-processing viene ricavata la legge di variazione con la quota del pelo libero delle grandezze idrauliche caratteristiche, basandosi sui dati topografici ad alta risoluzione relativi alla cella stessa.

Vengono così determinate: curva di invaso della cella, area, contorno bagnato e raggio idraulico su ogni bordo della cella. Tale schema di risoluzione consente di sfruttare al massimo il dettaglio dei dati in ingresso.

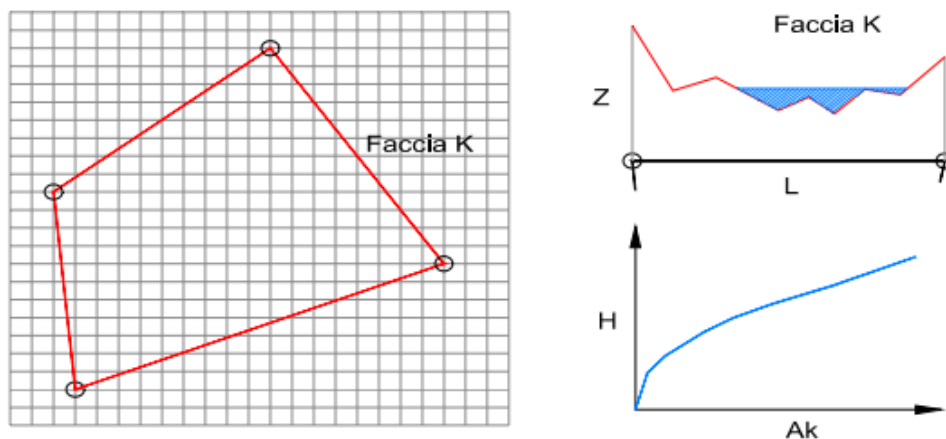


Figura 9 – Software Hec Ras 5.0.7: in grigio il dato della griglia DTM, in rosso la cella di calcolo del modello idraulico. A destra la schematizzazione effettuata da Ras sulle facce del bordo della cella.

3.3.1.1 Geometria del modello

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

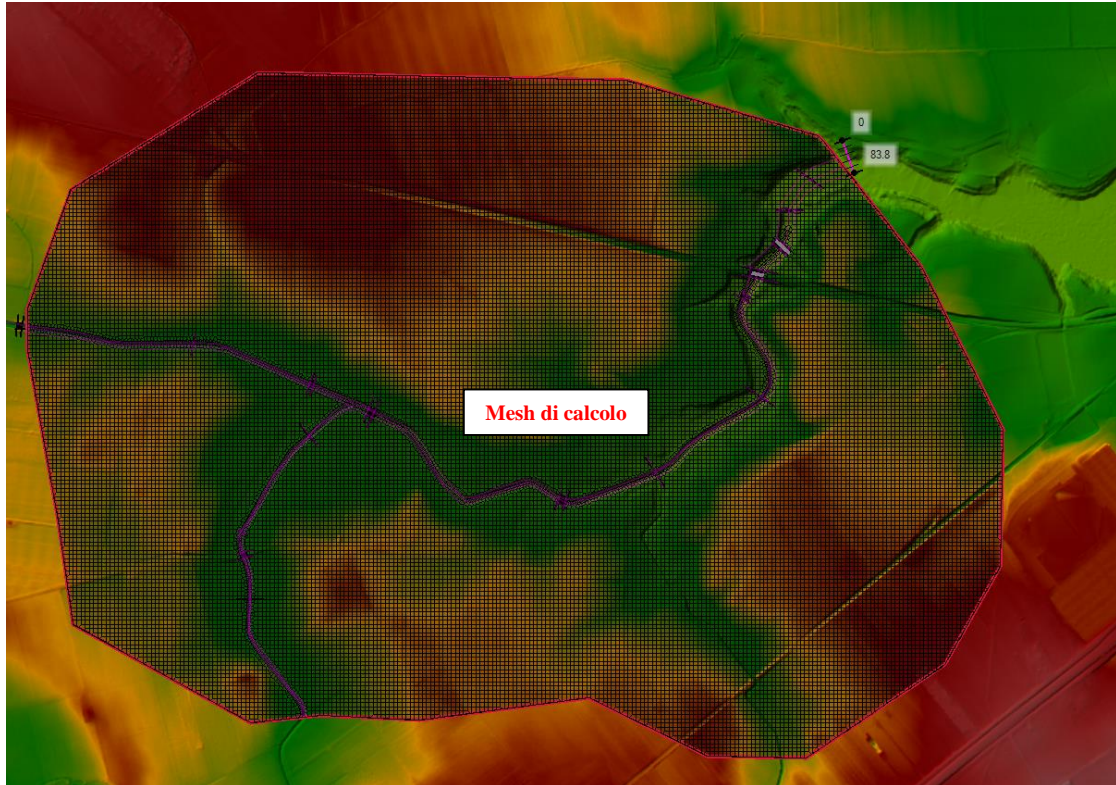


Figura 10 - C. Cillarese: dominio di calcolo del modello idraulico 2D.

La geometria del modello sopra introdotta è stata implementata utilizzando i dati topografici disponibili per l'area di studio, precedentemente descritti.

La rete di calcolo bidimensionale interessa sia l'alveo inciso sia le aree golenali di espansione esterne; questa è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo mediante l'utilizzo di braklines, definendo opportune aree di infittimento della maglia in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.

La creazione della mesh è stata sviluppata in modo tale che le dimensioni massime degli elementi non fossero superiori a valori di 100 m² e che le dimensioni minime non fossero inferiori ad un area di 16 m².

3.3.1.2 Scabrezze

Per quanto concerne il coefficiente di scabrezza (Manning, n) sono stati adottati i seguenti valori:

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

3.3.1.3 Condizioni al contorno

Gli idrogrammi di riferimento (imposti come condizione al contorno di monte nel modello idraulico), di seguito riportati, sono quelli ricavati nello studio idrologico annesso al presente progetto, al quale si rimanda per maggiori dettagli. A valle, è stata imposta la condizione di livello idrico noto pari +17.00 m s.l.m. (fonte: Consorzio ASI), corrispondente al livello idrico di invaso, nello specifico alla quota di massima regolazione, della diga o lago del Canale Cillarese, ubicata subito a valle dell'attraversamento in esame.

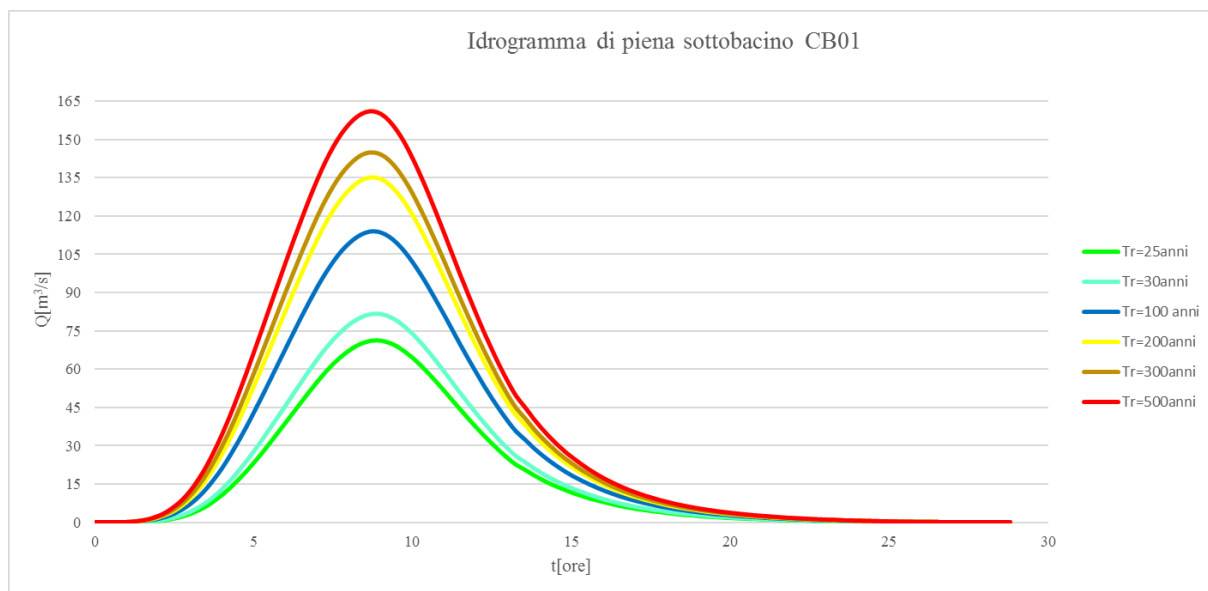


Figura 11 - Sottobacino CB01: idrogrammi di piena di progetto.

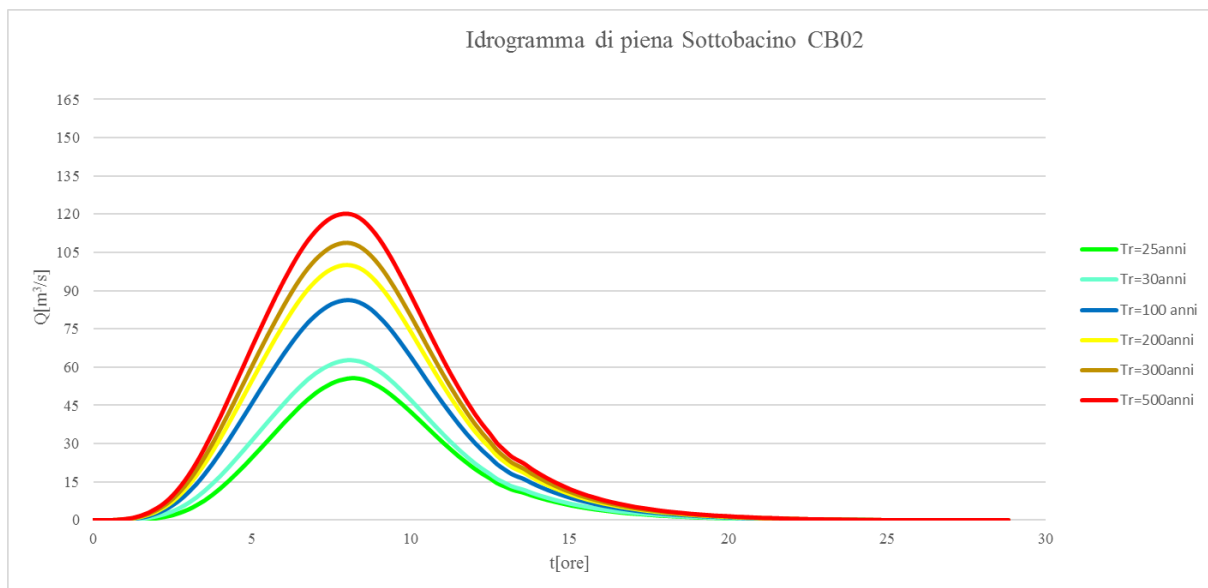


Figura 12 - Sottobacino CB02: idrogrammi di piena di progetto.

3.3.1.4 Scenari simulati

Come precedentemente specificato, si è proceduto alla simulazione delle onde di piena riferite ai tempi di ritorno di 30, 200, 300, 500 anni, soltanto nella configurazione geometrica attuale, **poiché non sono previste nuove opere sul Canale Cillarese.**

3.3.1.5 Risultati delle simulazioni numeriche 2D

Nelle figure seguenti si riportano le aree di allagamento del Canale Cillarese, nello stato “attuale”, lungo il tratto fluviale studiato, per i vari tempi di ritorno considerati.

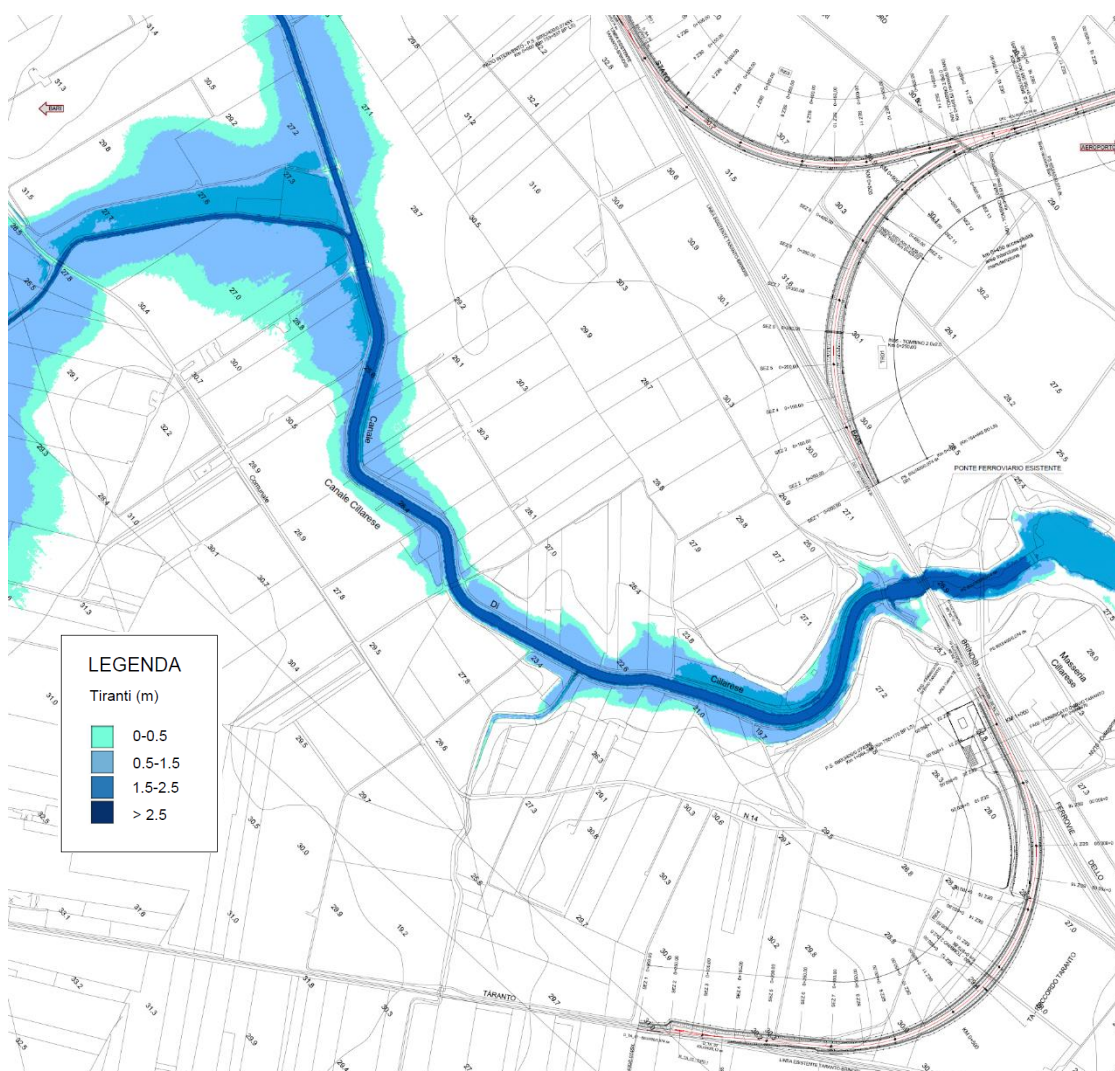


Figura 13 - Modello 2D del Canale Cillarese: aree di esondazione Tr 500.

IDROLOGIA

RELAZIONE IDRAULICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0002001	A	20 di 26



Figura 14 - Modello 2D del Canale Cillarese: aree di esondazione Tr 300.

IDROLOGIA

RELAZIONE IDRAULICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0002001	A	21 di 26



Figura 15 - Modello 2D del Canale Cillarese: aree di esondazione Tr 200.


IDROLOGIA

RELAZIONE IDRAULICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0002001	A	22 di 26



Figura 16 - Modello 2D del Canale Cillarese: aree di esondazione Tr 30.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
	IDROLOGIA RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002001	REV. A

Non si riscontrano problematiche inerenti al franco di sicurezza idraulica richiesto (1.5 m) dalle NTC2018 (come mostrato nel paragrafo successivo) in corrispondenza del viadotto ferroviario esistente, né di allagamento dei “nuovi” fabbricati previsti nel presente progetto lungo il ramo ferroviario “Direzione Taranto”, che quindi non interferiscono con le aree di espansione delle piene del Canale Cillarese. Per completezza si riporta anche uno stralcio della mappa dei vettori velocità in corrispondenza del ponte ferroviario in esame, per la portata di progetto, Tr_{300} anni. Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati grafici annesso al presente studio.

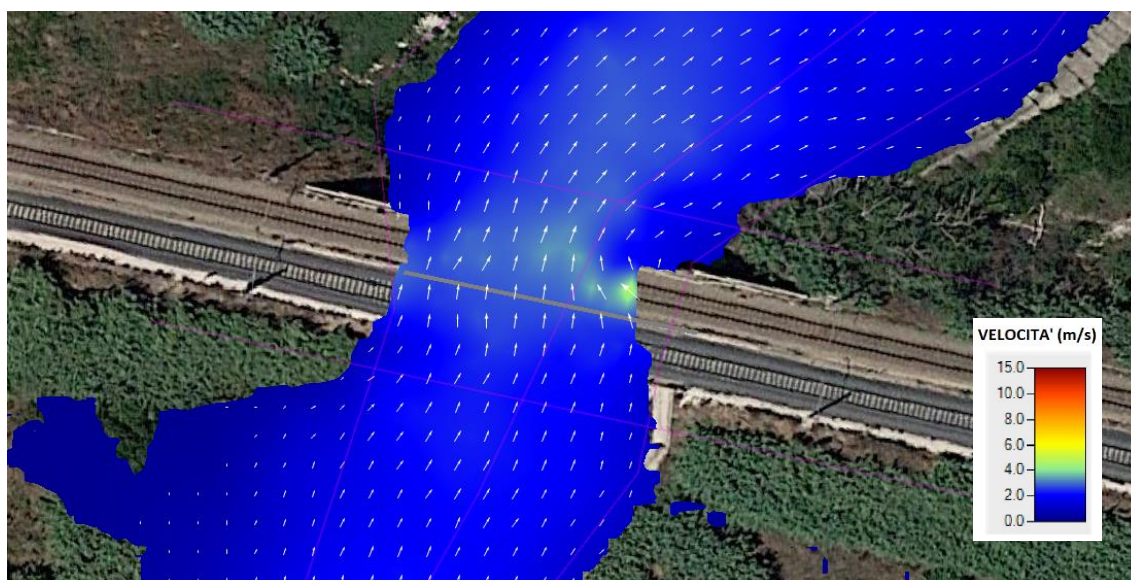



Figura 18 - Modello 2D del Canale Cillarese:: vettori velocità in corrispondenza del ponte ferroviario.

3.3.1.6 Verifica del franco idraulico

La verifica del franco idraulico eseguita secondo le normative vigenti dimostra la compatibilità idraulica del ponte ferroviario esistente sul Canale Cillarese, come riportato nella tabella seguente.

	Quota minima impalcato [m slm]	Livello di piena [m slm]	Carico idraulico [m slm]	Franco sul livello idrico [m]	Franco sul carico idraulico [m]	Verifica
Manuale di Progettazione RFI – TR300	25.80	21.200	22.50	4.60 (> 1.50 m)	3.30 (> 0.50 m)	OK
NTC2018 TR200	25.80	21.010	-	4.79 (> 1.50 m)	-	OK

Tabella 2 – Verifica del franco idraulico in corrispondenza del ponte ferroviario esistente.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
IDROLOGIA RELAZIONE IDRAULICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002001	REV. A	FOGLIO 25 di 26

Inoltre, essendo l'intradosso dell'impalcato a quota +25.80 m slm e la quota di fondo alveo in corrispondenza dell'opera a +15.56 m slm, la distanza “fondo alveo-sottotrave” è superiore a 10 metri (ovvero superiore al minimo previsto dalle NTC2018/circolare esplicativa n.7/2019, pari a 6-7 metri), sufficiente a garantire il passaggio di eventuali materiali galleggianti.

4 VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA


La valutazione di compatibilità idraulica è stata svolta in base ai seguenti criteri:

- compatibilità con le Norme Tecniche di Attuazione del PAI e del PGRA della Regione Puglia, ai fini della sicurezza idraulica del territorio;
- rispetto dei requisiti richiesti dalle NTC2018, ai fini della sicurezza dell'opera di attraversamento esistente, che rimarrà in esercizio così come nello stato attuale, nonché dell'intervento in progetto.

Il P.A.I. della Regione Puglia, come visto in precedenza, non riporta nessuna area di pericolosità idraulica per il tratto di Canale Cillarese interessato dal ponte esistente, che inoltre non rientra nelle opere idrauliche di attraversamento “critiche” censite nelle mappe del PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale.

Ai fini delle verifiche idrauliche secondo i criteri sopra richiamati, si è proceduto quindi alla simulazione numerica della propagazione delle onde di piena, per differenti periodi di ritorno, del Canale Cillarese nello stato attuale (non è stata effettuata alcuna verifica nelle condizioni “post operam” in quanto non sono previste nuove opere sul Canale Cillarese).

I requisiti richiesti dalle NTC 2018 per i ponti esistenti (con luce minima tra pile contigue in alveo inferiore al minimo previsto di 40 metri) riguardano il franco sui livelli idrici della quota di sottotrave dell'impalcato, che per il ponte ferroviario esistente (per la piena Tr300) in esame è superiore a 1.5 m (nello specifico è pari a 4.4 m), minimo previsto dal Manuale di Progettazione RFI (e dalle NTC 2018, con riferimento alla piena Tr 200).

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI</p>					
<p>IDROLOGIA RELAZIONE IDRAULICA</p>	<p>COMMESSA IA7K</p>	<p>LOTTO 00D09</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>DOCUMENTO ID0002001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 26 di 26</p>

5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Autorità di Bacino della Puglia – Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI)

Analisi Regionale dei massimi annuali delle precipitazioni Puglia centro-meridionale

GNDCI Linea 1. Rapporti di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia

Corine Land Cover 2012 IV Livello

Soil Conservation Service, (1972) National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A.

Rainfall Depth – Duration Relationship for South Italy, (1996) Vito Ferro and Vincenzo Bagarello, Journal of Hydrologic Engineering/October 1996.

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

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

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

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

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

Manuale di progettazione RFI (2019).

Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, 2018 (circolare applicativa, 7 gennaio 2019),

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

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

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