

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA

U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI
 RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA

RELAZIONE IDRAULICA
 MODELLO BIDIMENSIONALE DEL TORRENTE CERVARO

SCALA:

-

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

IF1W 00 D 09 RI ID0002 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	C. Cesali	Nov.2018	F. Cobas	Nov.2018	D. Aprea	Nov.2018	A. Vittoria	Novembre 2018

ITALFERR S.p.A.
 U.O. Opere Civili e Gestione delle Varianti
 Dott. Ing. Angelo Vignozzi
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
 N° A.20783

File: IF1W00D09RIID0002001A

n. Elab.: 398_2

INDICE

1	PREMESSA	4
2	INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVO DELLO STUDIO.....	5
2.1	PERICOLOSITÀ IDRAULICA NELL'AREA DI STUDIO	5
2.2	OBIETTIVI DELLO STUDIO IDRAULICO.....	8
3	DATI DI BASE	9
4	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO	9
4.1	MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE	9
4.2	GEOMETRIA DEL MODELLO	13
4.3	SCABREZZE	15
4.4	CONDIZIONI AL CONTORNO	15
4.5	SCENARI SIMULATI.....	17
5	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE.....	17
6	VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	22
7	BIBLIOGRAFIA.....	23

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA: MODELLO 2D CERVARO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IF1W	00 D 09	RI	ID0002 001	A	3 di 23

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 - Inquadramento geografico dell'area di studio, con evidenziata la linea ferroviaria in progetto.</i>	<i>5</i>
<i>Figura 2 – Torrente Cervaro e linea ferroviaria in progetto: aree a pericolosità idraulica PAI – Regione Puglia. ..</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3 – Torrente Cervaro: aree di esondazione Tr 200 (zona Orsara), fonte: Studio Idraulico 2013 – AdB Puglia.</i>	<i>7</i>
<i>Figura 4 – Torrente Cervaro: aree di esondazione Tr 200 (zona Bovino), fonte: Studio Idraulico 2013 – AdB Puglia.</i>	<i>8</i>
<i>Figura 5 – Software Hec Ras 5.0.5: sistema di riferimento.</i>	<i>11</i>
<i>Figura 6 – Software Hec Ras 5.0.4: 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>13</i>
<i>Figura 7 – Zona Orsara: estensione del tratto di studio del T. Cervaro, nel modello idraulico 2D.</i>	<i>14</i>
<i>Figura 8 – Zona Bovino: estensione del tratto di studio del T. Cervaro, nel modello idraulico 2D.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 9 – Idrogrammi di piena del T. Cervaro a Orsara, per diversi tempi di ritorno.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 10 – Idrogrammi di piena del T. Cervaro a Bovino, per diversi tempi di ritorno.....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 11 – Aree di esondazione (Tr 500 anni) del Torrente Cervaro, zona Orsara: confronto con i risultati dell'AdB Puglia.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 12 – Aree di esondazione (Tr 500 anni) del Torrente Cervaro, zona Bovino: confronto con i risultati dell'AdB Puglia.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 13 – Torrente Cervaro: aree di allagamento TR 30 anni a Orsara (in alto) e Bovino (in basso).</i>	<i>19</i>
<i>Figura 14 – Torrente Cervaro: aree di allagamento TR 200 anni a Orsara (in alto) e Bovino (in basso).</i>	<i>20</i>
<i>Figura 15 – Torrente Cervaro: aree di allagamento TR 300 anni a Orsara (in alto) e Bovino (in basso).</i>	<i>21</i>

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1. Tabella dei valori del coefficiente di scabrezza sulle aree 2D (Pestana et al. 2013).</i>	<i>15</i>
--	-----------

1 PREMESSA

La presente relazione idraulica è parte integrante della progettazione definitiva del Raddoppio della Tratta Bovino-Orsara, nell'ambito dell'Itinerario Napoli-Bari, oggetto di approfondimenti tecnico-progettuali sul progetto preliminare. Il progetto si sviluppa in affiancamento al Torrente Cervaro. In particolare, la tratta ferroviaria si sviluppa quasi interamente in galleria, soltanto i tratti iniziale e finale sono allo "scoperto".

Nel presente documento vengono illustrate le simulazioni idrauliche, condotte secondo un modello bidimensionale (in regime di moto vario), finalizzate alla verifica del comportamento del corso d'acqua nei tratti suddetti, con riferimento alle piene di progetto.

Elaborati Annessi

IF1W00D09RIID0001001A – Relazione idrologica

IF1W00D09CZID0001001A – Corografia dei bacini idrografici

IF1W00D09P6ID0002001A – Planimetria livelli idrici, Torrente Cervaro a Orsara, Tr 30 e Tr 200

IF1W00D09P6ID0002002A – Planimetria livelli idrici, Torrente Cervaro a Orsara, Tr 300 e Tr 500

IF1W00D09P5ID0002001A – Planimetria livelli idrici, Torrente Cervaro a Bovino, Tr 30 e Tr 200

IF1W00D09P5ID0002002A – Planimetria livelli idrici, Torrente Cervaro a Bovino, Tr 300 e Tr 500

2 INQUADRAMENTO GENERALE E OBIETTIVO DELLO STUDIO

2.1 Pericolosità idraulica nell'area di studio

La tratta ferroviaria Bovino – Orsara (da pk 29+050.29 a 40+889.79) si sviluppa quasi interamente in galleria eccetto nei tratti iniziale e finale, in affiancamento al T. Cervaro, all'interno della Regione Puglia.



Figura 1 - Inquadramento geografico dell'area di studio, con evidenziata la linea ferroviaria in progetto.

Il Torrente Cervaro nasce dal monte Le Felci (853 m di quota) presso Monteleone di Puglia, si immette in provincia di Avellino e rientra in quella di Foggia fra Panni e Montaguto; incanalato nell'ultimo tratto, prende il nome di canale Cervaro Nuovo e sfocia, dopo circa 80 km di percorso, nel golfo di Manfredonia, mentre due rami si

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA					
	PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA: MODELLO 2D CERVARO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IF1W	00 D 09	RI	ID0002 001	A	6 di 23

immettono nelle vasche di colmata del Cervaro. Costeggiato, da Radogna a Stradola, dalla SS 90, riceve a sinistra il torrente Lavella e il torrente Sannoro, a destra il torrente Bilera.

L'inquadramento geografico, morfologico e idrografico del bacino è riportato nell'Elaborato grafico annesso IF1W00D09RIID0001001A – *Relazione idrologica* (Figura 1).

In Figura 2 è riportato uno *Stralcio del P.A.I. della Regione Puglia*, con le aree di pericolosità idraulica del Torrente Cervaro nell'area di studio.

Il tracciato di progetto si sviluppa in aree non classificate come zone a pericolosità idraulica; le aree classificate come P3 (pericolosità “alta”) riportate nella pianificazione di bacino tutt'ora in vigore, interessano la linea ferroviaria storica, unitamente alla stazione esistente di Bovino.

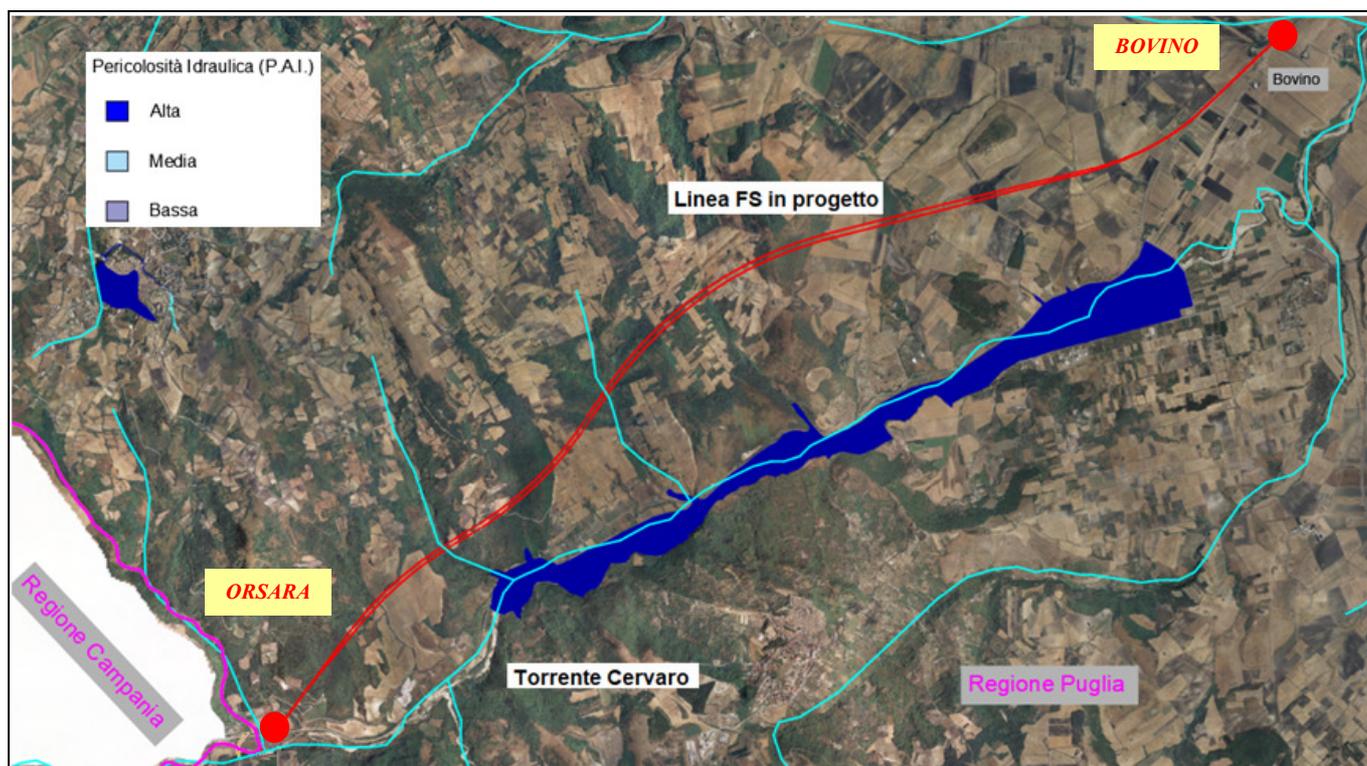


Figura 2 – Torrente Cervaro e linea ferroviaria in progetto: aree a pericolosità idraulica PAI – Regione Puglia.

Tuttavia, a seguito del recente studio idraulico condotto dall'Autorità di Bacino della Regione Puglia nell'ambito del P.O. FESR 2007-2013 (*“Studio per la definizione delle opere necessarie per la messa in sicurezza del reticolo*

idrografico pugliese”), sono state definite le aree di esondazione del Torrente Cervaro anche in corrispondenza dei due tratti (iniziale e finale, allo “*scoperto*”) del tracciato in progetto, a minore distanza dal corso d’acqua. Con riferimento alla piena con tempo di ritorno di 200 anni, tali aree non interessano le opere in progetto (Figura 3, Figura 4).

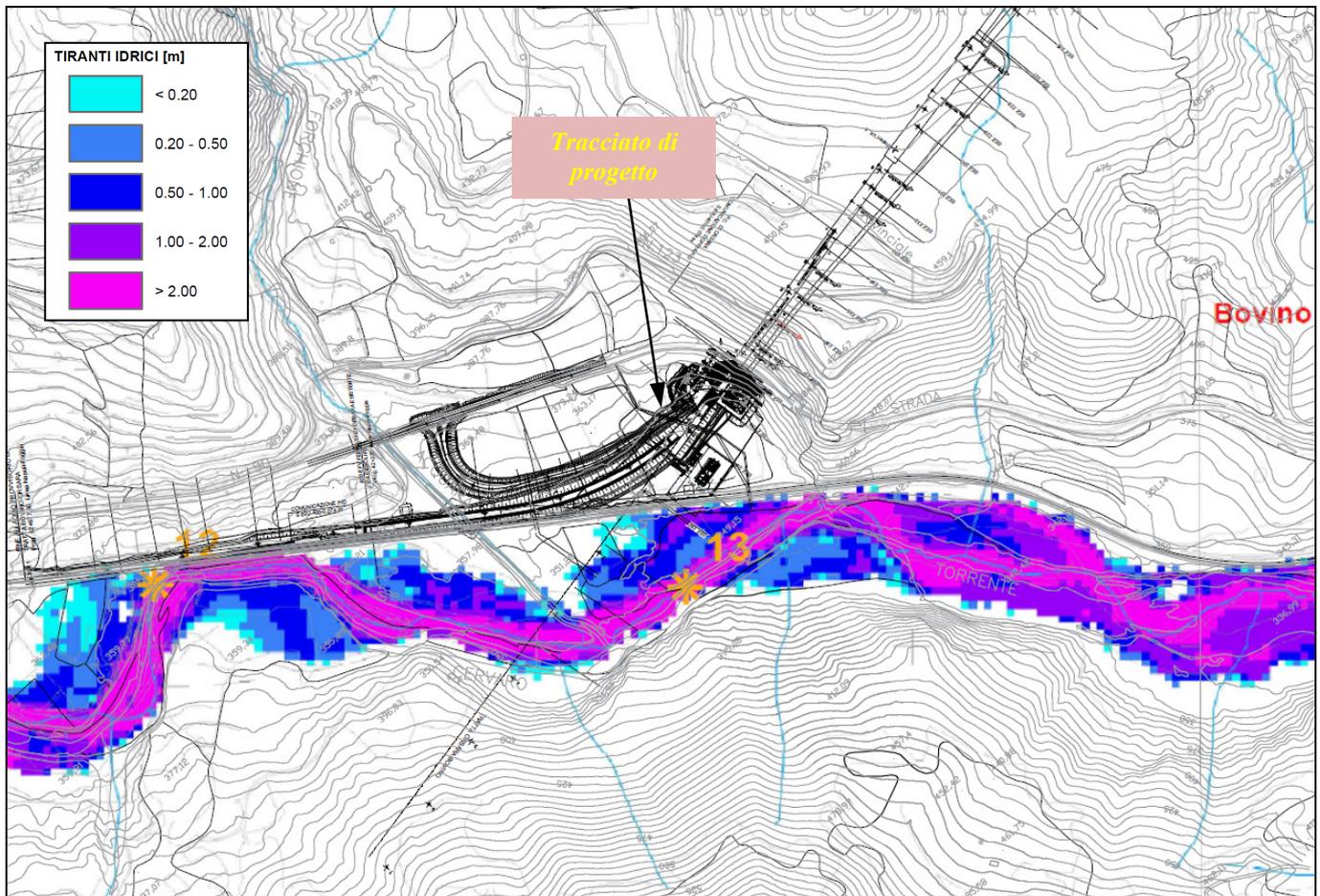


Figura 3 – Torrente Cervaro: aree di esondazione Tr 200 (zona Orsara), fonte: Studio Idraulico 2013 – AdB Puglia.

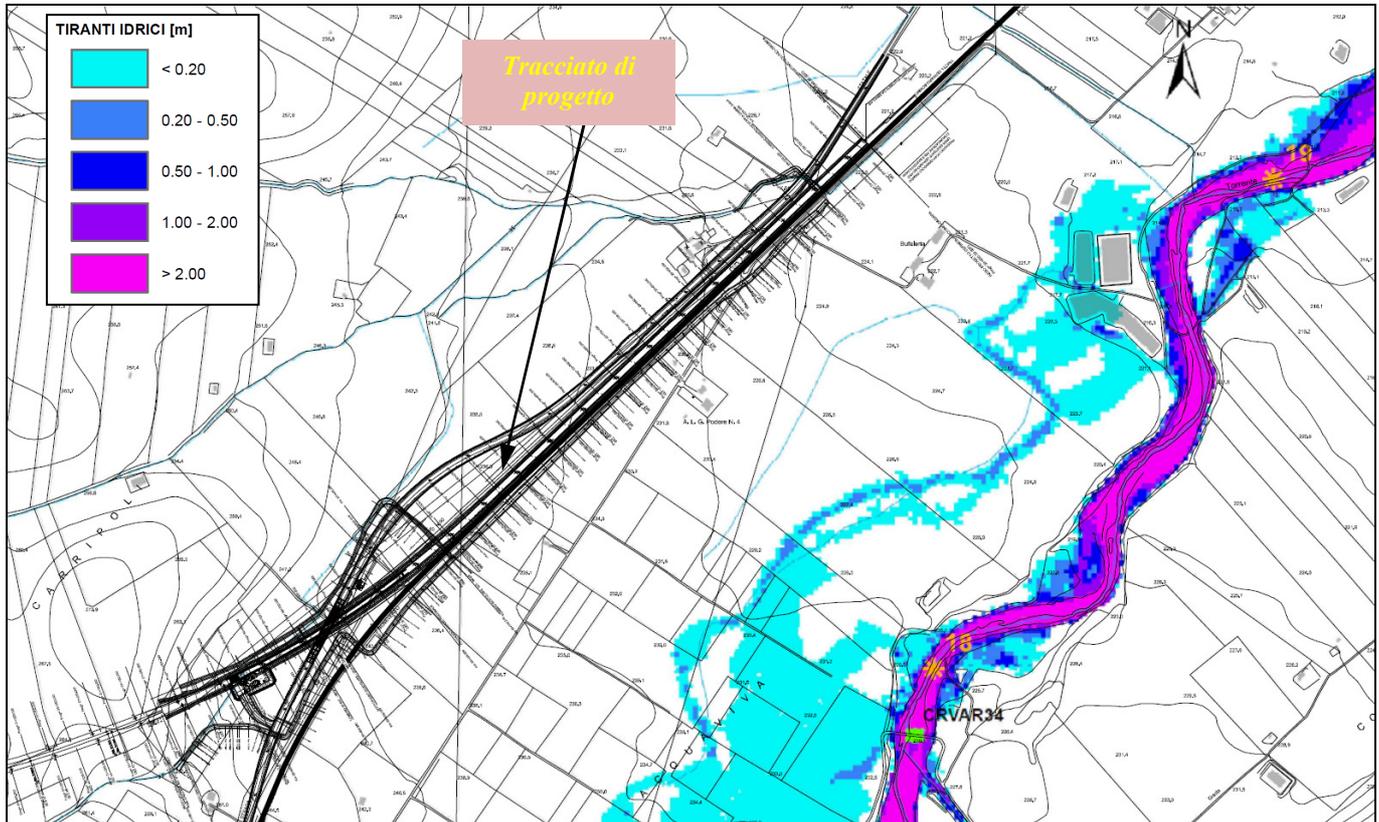


Figura 4 – Torrente Cervaro: aree di esondazione Tr 200 (zona Bovino), fonte: Studio Idraulico 2013 – AdB Puglia.

2.2 Obiettivi dello studio idraulico

Obiettivo del presente studio idraulico è quello di valutare la compatibilità idraulica del nuovo tracciato della tratta Bovino-Orsara, della linea ferroviaria Napoli-Bari.

Per la sicurezza idraulica della linea, come da Manuale di progettazione RFI, le verifiche idrauliche devono essere effettuate per eventi di massima piena caratterizzati dai seguenti tempi di ritorno (Tr):

- $Tr = 300$ anni per $S \geq 10$ km²;
- $Tr = 200$ anni per $S < 10$ km².

avendo indicato con S la superficie del bacino idrografico di interesse.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA: MODELLO 2D CERVARO	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

3 DATI DI BASE

I dati topografici a disposizione per l'implementazione dei modelli idraulici sono i seguenti:

- sezioni trasversali dell'alveo ottenute da apposita campagna topografica, in particolare sono state rilevate 17 sezioni trasversali del Torrente Cervaro;
- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), risoluzione 1x1 m, fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare;
- rilievo laseraltimetrico (LiDAR), ad alta risoluzione, effettuato da ITALFERR S.p.A..

Il confronto tra le diverse informazioni topografiche ed in particolare tra le sezioni trasversali ottenute dal rilievo topografico e il rilievo LiDAR ha evidenziato un'ottima corrispondenza sia per quanto riguarda le aree golenali ed esterne all'ambito fluviale che per l'alveo inciso.

Questo permette di poter utilizzare nell'implementazione del modello idraulico le due informazioni topografiche in maniera complementare.

4 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO

Per la valutazione della compatibilità idraulica dell'intervento in progetto sono stati sviluppati due modelli idraulici bidimensionali (in regime di moto vario), con lo scopo di determinare le aree potenzialmente inondabili, in corrispondenza dei due tratti (iniziale e finale) allo "scoperto". Il codice di calcolo utilizzato è il software HEC-RAS 5.0.5, sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, di Davis (USA).

4.1 Modellazione bidimensionale

Le caratteristiche principali dell'algoritmo di modellazione della versione 5.0.5. del 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 stramazzo 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

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 5).

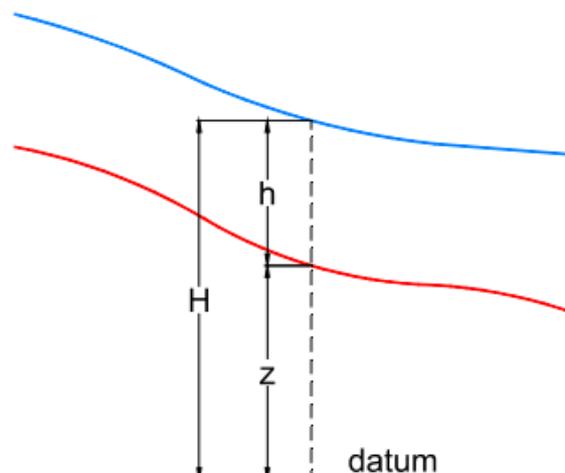


Figura 5 – Software Hec Ras 5.0.5: sistema di riferimento.

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 ed 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 ed 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:

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

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.

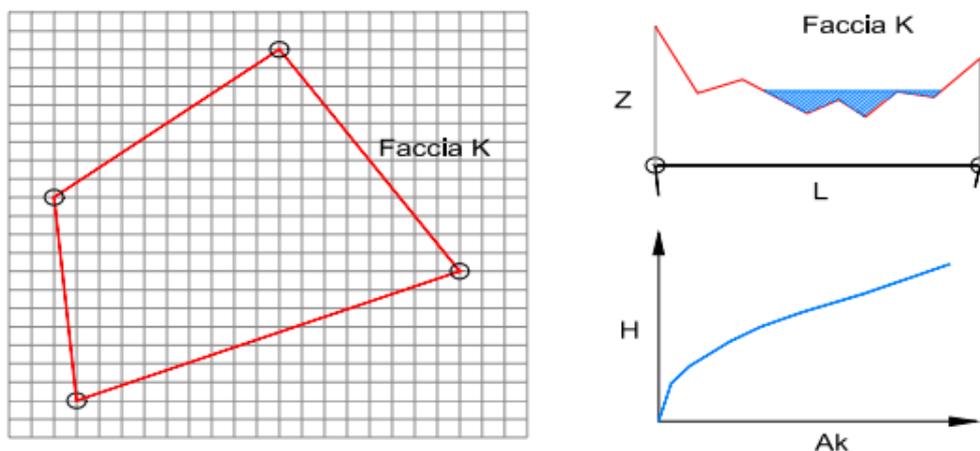


Figura 6 – Software Hec Ras 5.0.4: in grigio il dato della griglia DTM, in rosso la cella di calcolo del modello idraulico. A destra la schematizzazione effettuata da Ras sulle facce del bordo della cella.

4.2 Geometria del modello

Attraverso i modelli idraulici sviluppati è stato simulato il Torrente Cervaro per un tratto di lunghezza totale di 3.0 km, in zona Orsara, e di 7.0 km, in zona Bovino (Figura 7, Figura 8).

La geometria del modello è stata implementata utilizzando i dati LIDAR disponibili per l'area in esame e da rilievo topografico, precedentemente descritti. In particolare:

- per la modellazione dell'alveo inciso si è fatto riferimento a sezioni di rilievo topografico;
- le caratteristiche topografiche della rete di calcolo 2D sono state desunte dal modello digitale del terreno a maglia 1m x 1m fornito dal Ministero dell'Ambiente e realizzato da ITALFERR, verificando la congruenza tra i rilievi disponibili ed il DTM medesimo. La rete di calcolo bidimensionale interessa sia l'alveo inciso sia le aree golenali di espansione esterne, questa è stata definita utilizzando le opzioni di discretizzazione automatica del dominio di calcolo presenti in HEC-RAS, definendo opportune break lines e/o aree di infittimento della maglia in corrispondenza di elementi morfologicamente ed idraulicamente significativi, quali strade, corsi d'acqua, rilevati, etc.

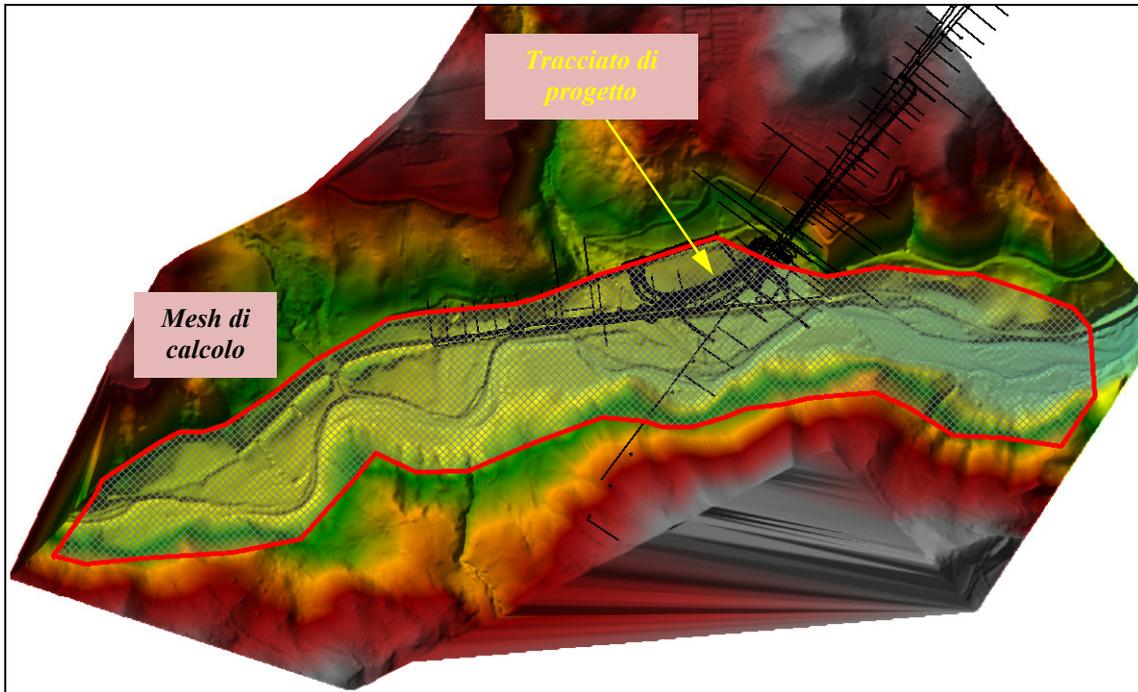


Figura 7 – Zona Orsara: estensione del tratto di studio del T. Cervaro, nel modello idraulico 2D.

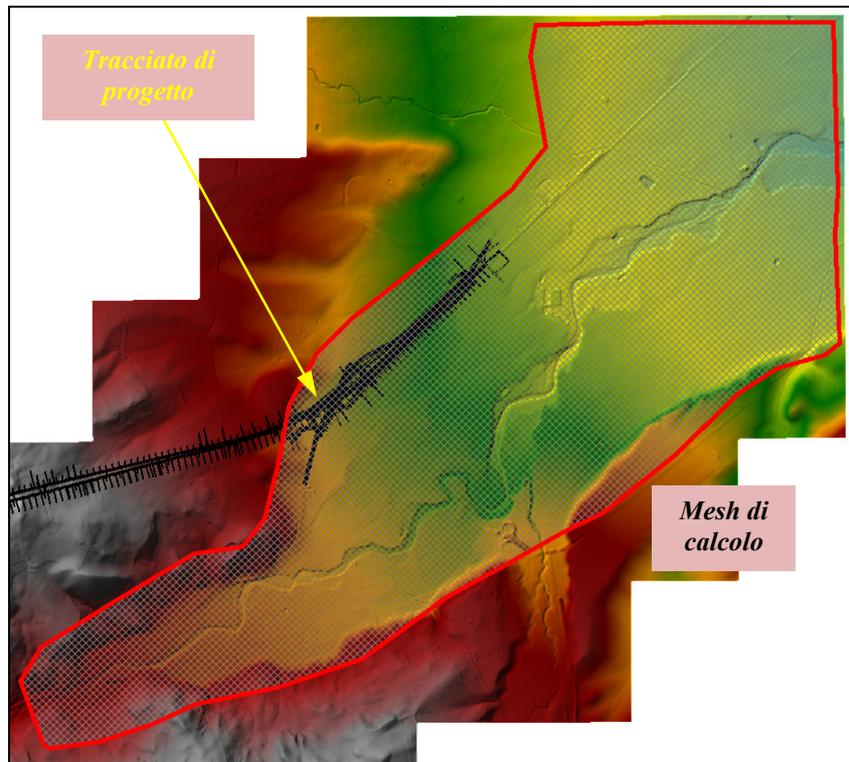


Figura 8 – Zona Bovino: estensione del tratto di studio del T. Cervaro, nel modello idraulico 2D.

4.3 Scabrezze

I coefficienti di scabrezza n di Manning sono stati fissati tramite calibrazione idraulica dei modelli stessi partendo da valori di letteratura.

In particolare, per l'alveo e le golene è stato assunto $n = 0.045$ ($m^{1/3}/s$); il coefficiente di scabrezza per le aree esterne, potenzialmente inondabili, è stato assegnato a partire dall'uso del suolo derivato dal progetto Corine Land Cover (Ispra, 2012), secondo la seguente tabella di corrispondenza (tratta da R. Pestana et al., 2013, Calibration of 2d hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus river, ESA Living Planet Symposium 2013). Il dato di copertura del suolo è stato inserito dunque come dato di input nel modello (in formato .shp).

Code	Designation	n	Code	Designation	n
111	Continuous urban fabric	0.230	242	Complex cultivation patterns	0.023
112	Discontinuous urban fabric	0.115	243	Agriculture, w/significant natural vegetation	0.058
121	Industrial or commercial units	0.230	244	Agro-forestry areas	0.058
122	Roads and rail networks and associated land	0.038	311	Broad-leaved forest	0.230
124	Airports	0.230	312	Coniferous forest	0.127
131	Mineral extraction sites	0.104	313	Mixed forest	0.230
132	Dump sites	0.115	321	Natural grasslands	0.039
133	Construction sites	0.115	322	Moors and heathland	0.058
142	Sport and leisure facilities	0.023	323	Sclerophyllous vegetation	0.058
211	Non-irrigated arable land	0.043	324	Transitional woodland-shrub	0.058
212	Permanently irrigated land	0.043	331	Beaches, dunes, sands	0.138
213	Rice fields	0.023	332	Bare rocks	0.104
221	Vineyards	0.043	333	Sparsely vegetated areas	0.104
222	Fruit trees and berry plantations	0.043	334	Burnt areas	0.104
223	Olive groves	0.043	411	Inland marshes	0.115
231	Pastures	0.298	511	Water courses	0.035
241	Annual crops associated w/permanent crops	0.043	512	Water bodies	0.035

Tabella 1. Tabella dei valori del coefficiente di scabrezza sulle aree 2D (Pestana et al. 2013).

4.4 Condizioni al contorno

Gli idrogrammi di riferimento sono quelli ricavati nello studio idrologico, elaborato IF1W00D09RIID0001001A – *Relazione idrologica*, al quale si rimanda.

Nella figura seguente sono riportati gli idrogrammi utilizzati come condizione al contorno di monte dei modelli idraulici 2D sviluppati (a Orsara e a Bovino).

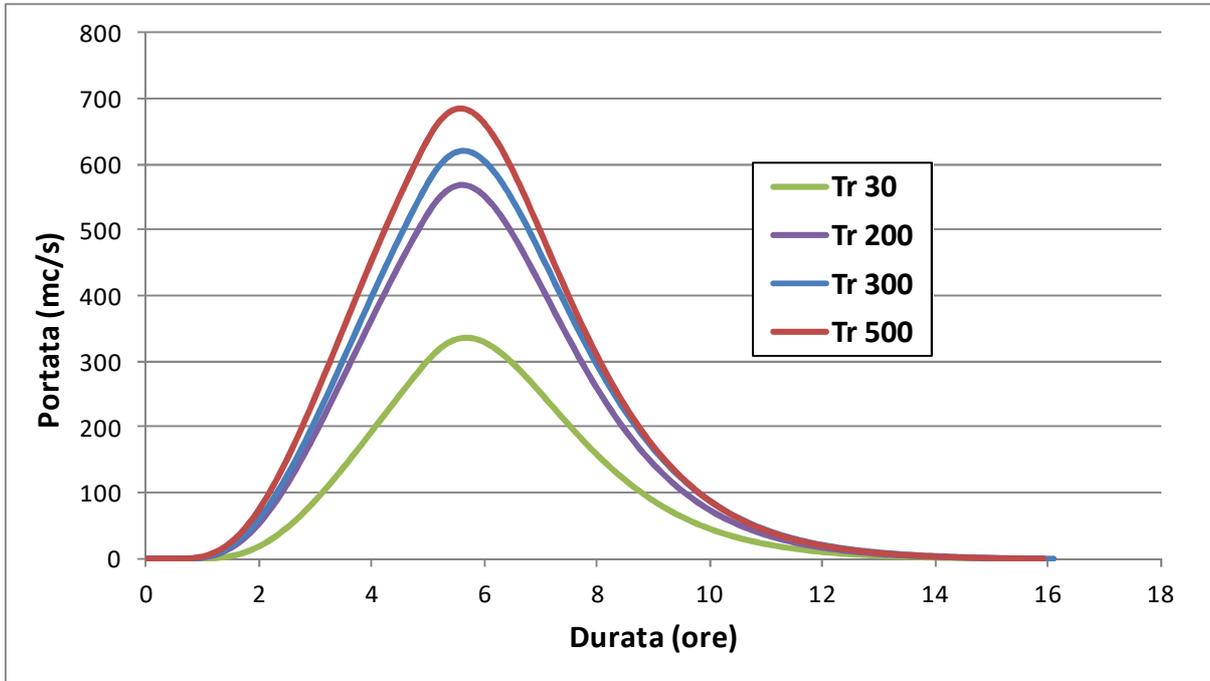


Figura 9 – Idrogrammi di piena del T. Cervaro a Orsara, per diversi tempi di ritorno.

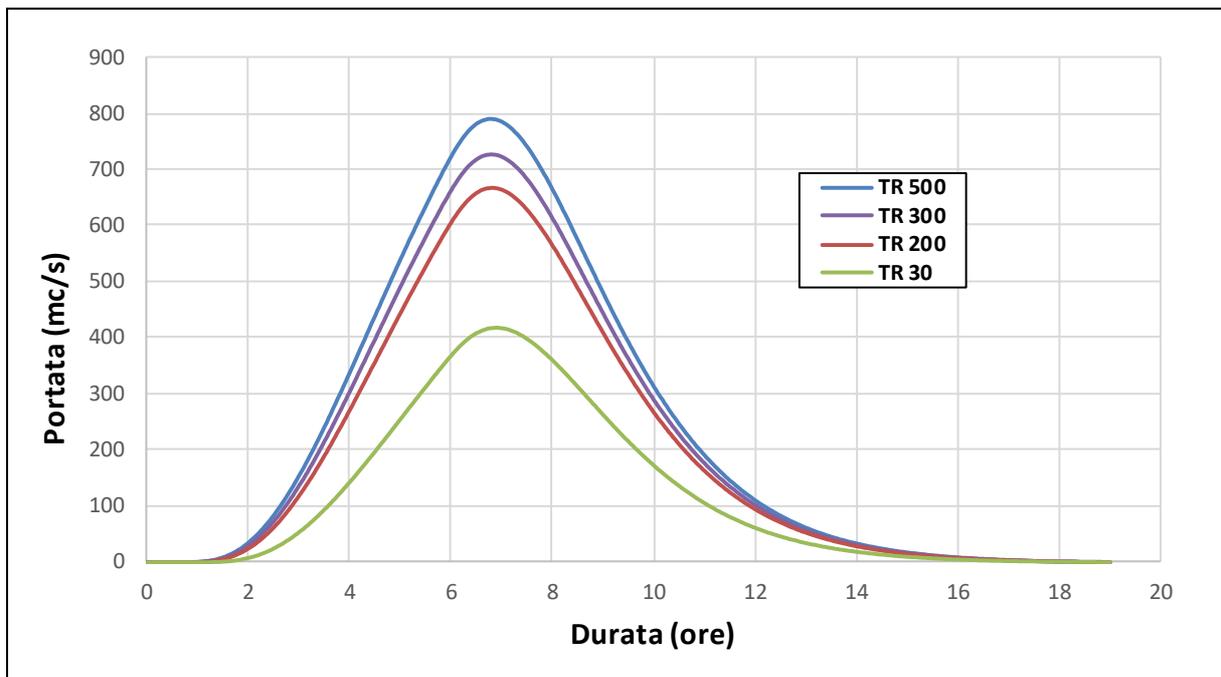


Figura 10 – Idrogrammi di piena del T. Cervaro a Bovino, per diversi tempi di ritorno.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA: MODELLO 2D CERVARO	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

Per quanto riguarda la condizione di valle, è stato imposto un livello idrico di moto uniforme (*Normal Depth* = 0.01), come assunto anche nello studio idraulico condotto dall’Autorità di Bacino della Regione Puglia. Al fine di valutare l’influenza di tale condizione sui profili di rigurgito e sulle aree potenzialmente inondabili, le simulazioni idrauliche ante e post operam sono state effettuate anche con *Normal Depth* = 0.001. La modifica della condizione al contorno di valle si riflette in maniera del tutto trascurabile sulle aree di esondazione.

4.5 Scenari simulati

Gli scenari simulati fanno riferimento alle seguenti configurazioni geometriche:

- *Zona Orsara, stato attuale*: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto (in tale tratto non sono previste opere in alveo sul T. Cervaro);
- *Zona Bovino, stato attuale*: si intende la geometria ottenuta dal modello del terreno nello stato di fatto (in tale tratto non sono previste opere in alveo sul T. Cervaro).

5 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

In Figura 11 e Figura 12 sono riportati i risultati delle simulazioni idrauliche del T. Cervaro, per Tr 500 anni, in corrispondenza dei tratti allo “scoperto” (iniziale e finale) del tracciato in progetto. Sono indicate anche le aree potenzialmente inondabili ottenute nello studio condotto dall’AdB delle Regione Puglia.

Le modeste differenze sono imputabili principalmente alla diversa base cartografica utilizzata per l’implementazione del modello idraulico 2D.

Di seguito si riportano anche i risultati per gli altri tempi di ritorno indagati.

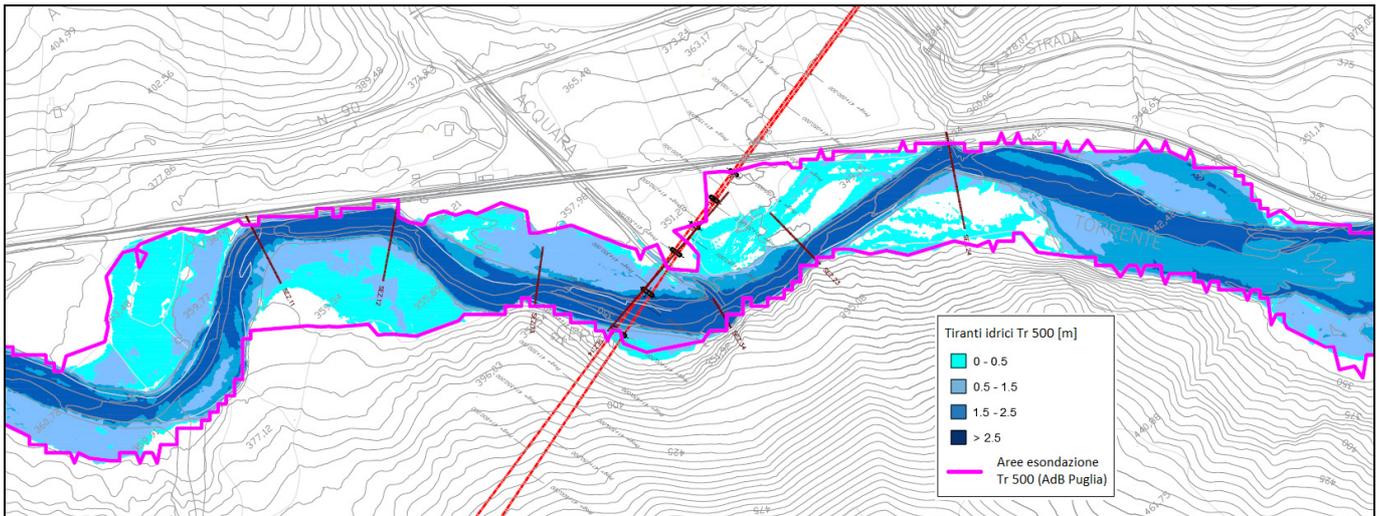


Figura 11 – Aree di esondazione (Tr 500 anni) del Torrente Cervaro, zona Orsara: confronto con i risultati dell'AdB Puglia.

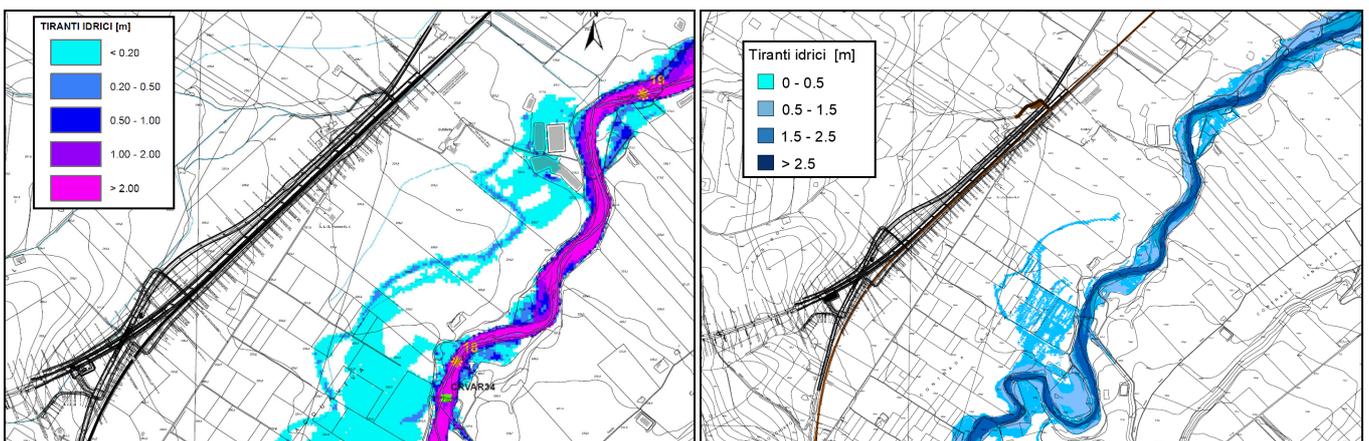


Figura 12 – Aree di esondazione (Tr 500 anni) del Torrente Cervaro, zona Bovino: confronto con i risultati dell'AdB Puglia.

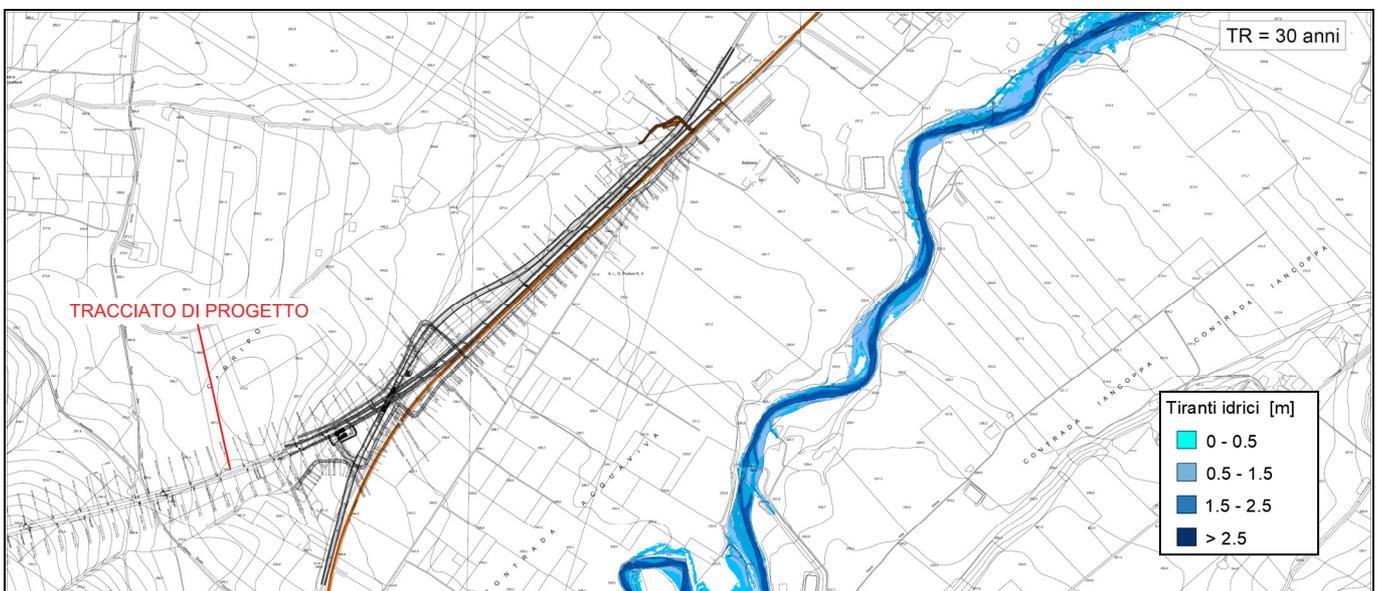
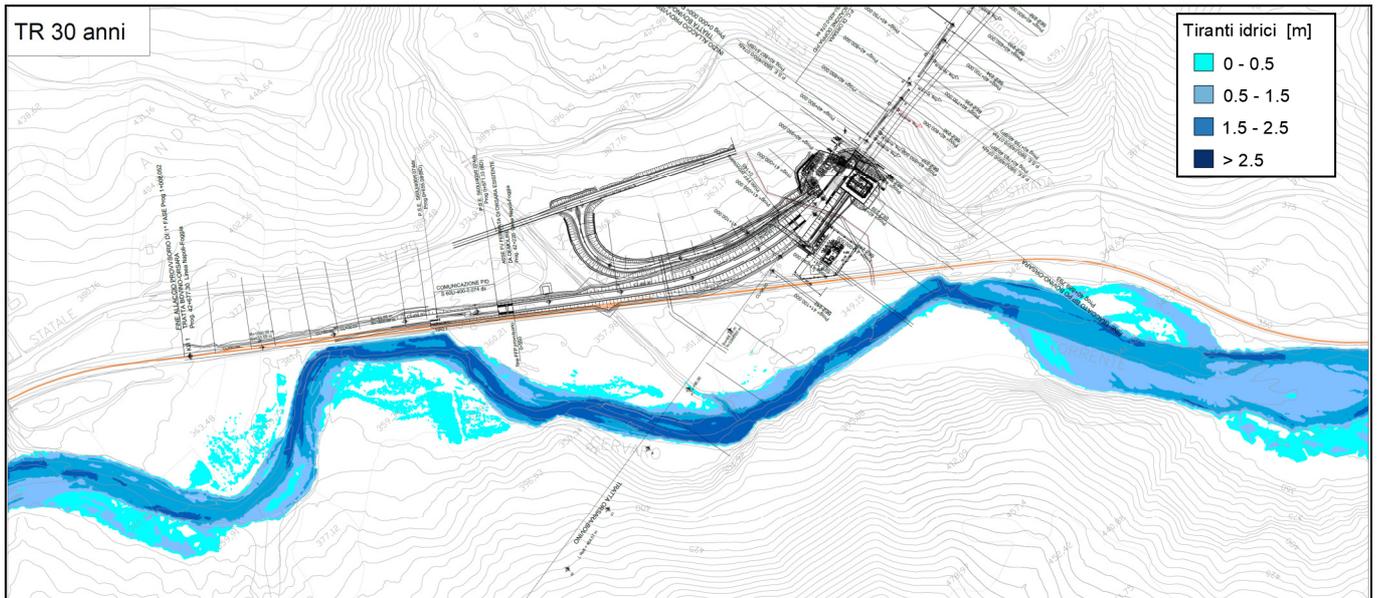


Figura 13 – Torrente Cervaro: aree di allagamento TR 30 anni a Orsara (in alto) e Bovino (in basso).

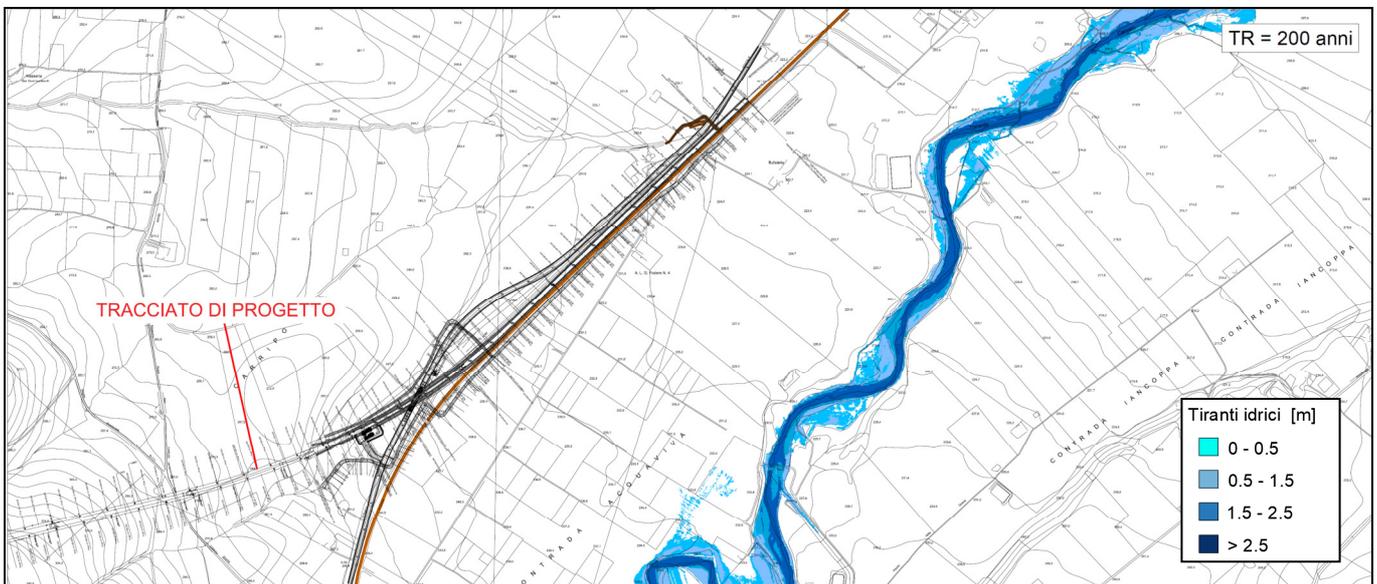
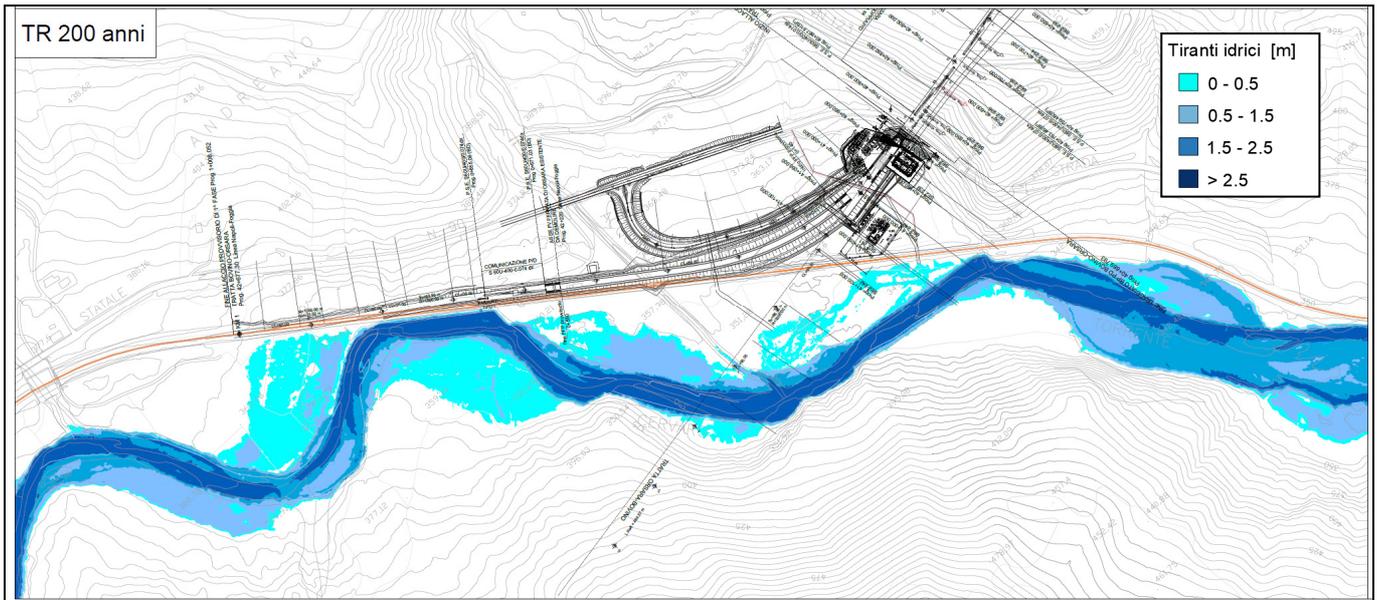


Figura 14 – Torrente Cervaro: aree di allagamento TR 200 anni a Orsara (in alto) e Bovino (in basso).

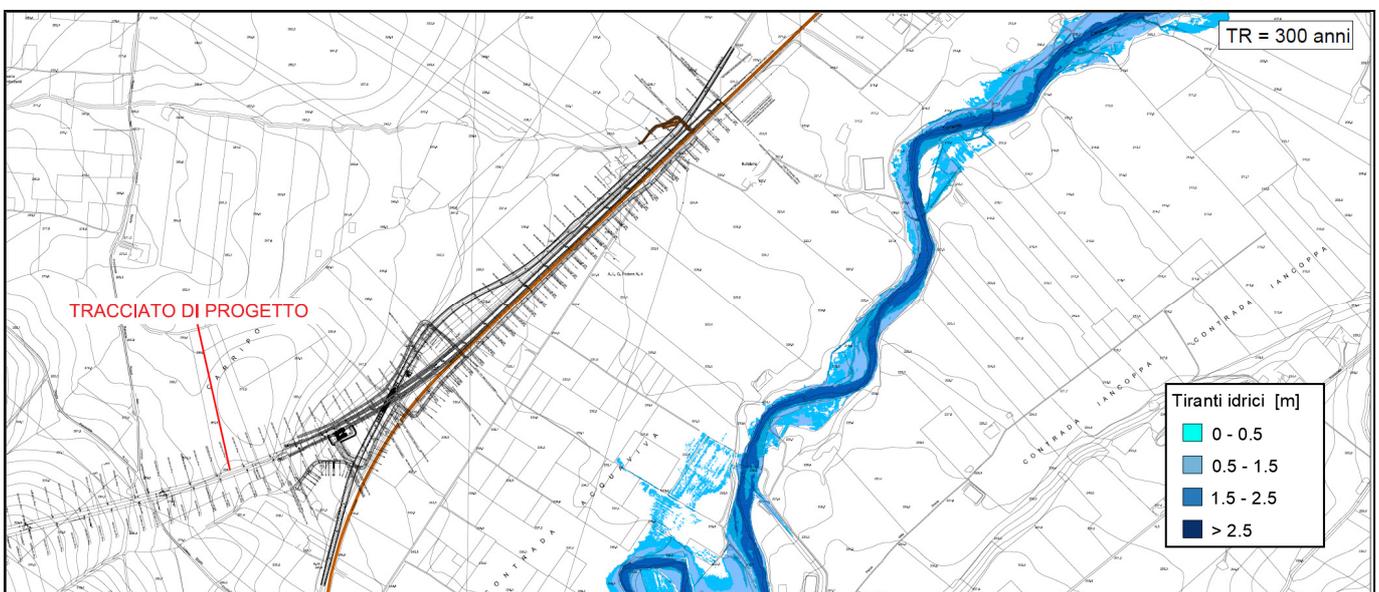
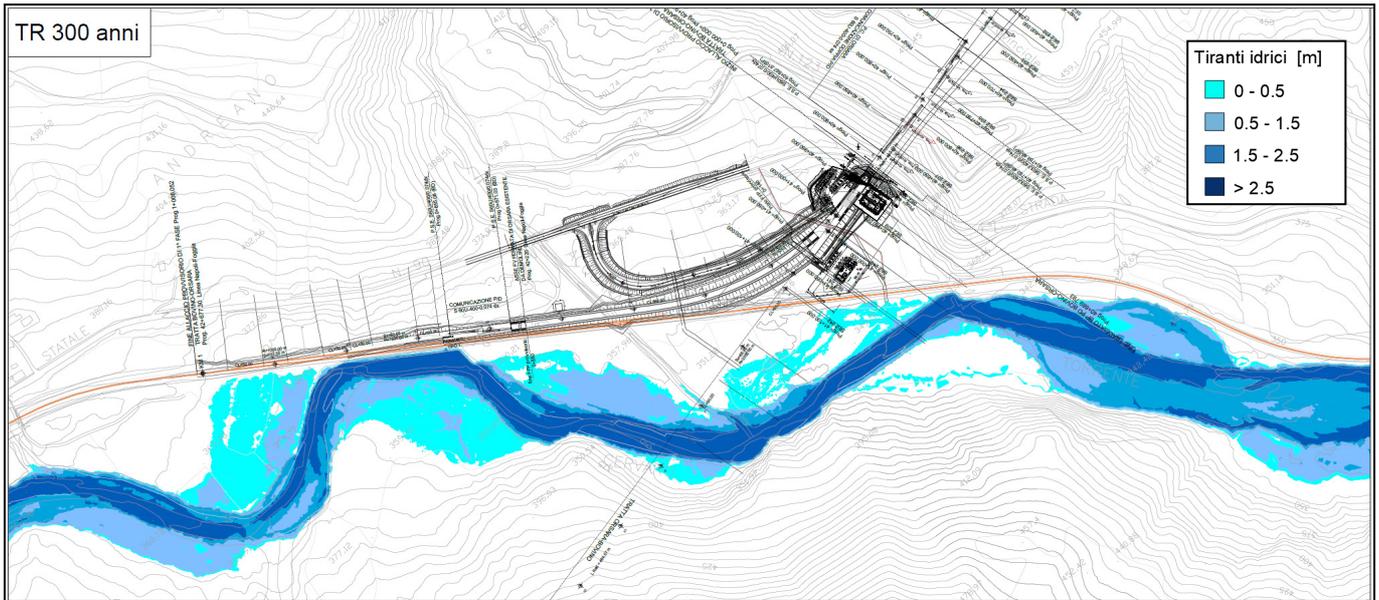


Figura 15 – Torrente Cervaro: aree di allagamento TR 300 anni a Orsara (in alto) e Bovino (in basso).

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE IDRAULICA: MODELLO 2D CERVARO	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A	FOGLIO 22 di 23

6 VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

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

- Compatibilità con le Norme del PAI, ai fini della sicurezza idraulica del territorio;
- Rispetto dei requisiti richiesti dalle NTC 2018, ai fini della sicurezza dell'opera, e dal Manuale di Progettazione Ferroviaria RFI.

Il PAI dell'AdB Puglia, come visto nel paragrafo 2.1, non riporta nessuna area di pericolosità idraulica in corrispondenza dei tratti (iniziale e finale) allo "scoperto", a minore distanza dal Torrente Cervaro; tuttavia, con i recenti studi dell'Autorità di Bacino (P.O. FESR 2007-2013), sono state definite le aree allagabili del Torrente Cervaro nell'area di intervento. Si è proceduto quindi alla simulazione delle condizioni di esondazione secondo i modelli sviluppati, al fine di verificare la compatibilità idraulica dell'opera. I risultati mostrano che le opere in progetto non sono interessate dall'esondazione del Torrente Cervaro, per nessuno dei tempi di ritorno indagati.

Pertanto, l'intervento in progetto risulta idraulicamente compatibile.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO – ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	RELAZIONE IDRAULICA: MODELLO 2D CERVARO	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. A

7 BIBLIOGRAFIA

Autorità di Bacino della Puglia, “Studio per la definizione delle opere necessarie per la messa in sicurezza del reticolo idrografico pugliese”, P.O. FESR 2007-2013.

Da Deppo L., Datei C., *Fognature*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2005.

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

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

FHWA (1989). *Design of riprap revetment*. HEC 11, FHWA Publication Number: IP-89-016, United State Department of Transportation, Washington, DC, USA.

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

Lo Bosco D., Leonardi G., Scopelliti F., *Il dimensionamento delle opere idrauliche a difesa del corpo stradale*, Quaderno di Dipartimento - Serie Didattica, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, 2002.

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

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

Melville, B.W., Raudakivi, A.J., *Effects of Foundation Geometry on Bridge Pier Scour*. J. Hydraul. Eng. , 122, pp. 203-209. 1996

Pestana, R., Matias, M., Canelas, M., Araujo, A., Roque, D., Van Zeller, E., Trigo-Teixeira, A., Ferreira, R., Oliveira, R., Heleno, S. *Calibration of 2D hydraulic inundation models in the floodplain region of the lower Tagus River*. Proc. ‘ESA Living Planet Symposium 2013’, Edinburg, UK, 9-13 Settembre 2013.

Prescrizioni generali per la progettazione di RFI (PTP).

Sheppard, D.M., Melville, B., Demir, H. (2013). *Evaluation of existing equations for local scour at bridge piers*. J. Hydraulic Eng., doi: 10.1061/ASCE_HY.1943-7900.0000800.

Studi idrogeologici, idraulici e geologici di 5 siti instabili, *Linea Catania-Messina Tratta Ali-Galati – Studio idrologico-idraulico - Relazione Idrologica*, 2010.

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