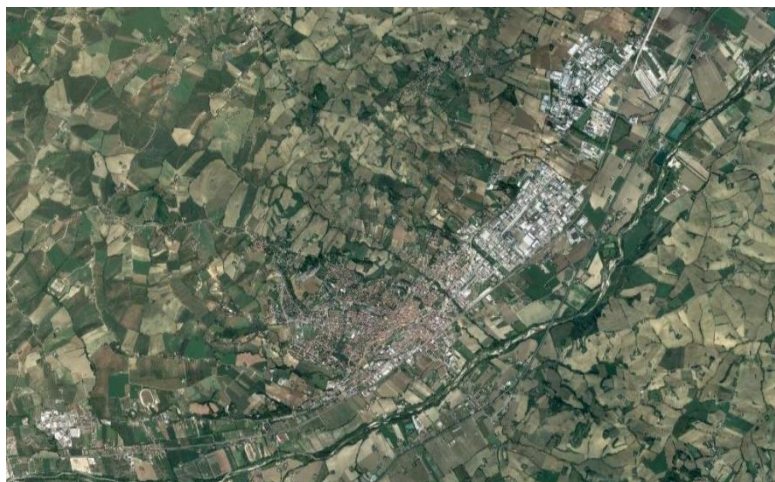




REGIONE MARCHE

INTERCONNESSIONE VALLIVA CICLOVIA TURISTICA DEL FIUME ESINO – PRIMO STRALCIO FUNZIONALE

PERIZIA DI VARIANTE N.1



TAU Engineering s.r.l.
Partita Iva 11045890966
Via Ettore Ciccotti, 3 – 20161
Milano (MI)

t +39 02 26417244
tecnico@tauengineering.net
tau@pec.tauengineering.net
www.t-au.com



Geologo Mirco Moreschi
Partita Iva 01393400427
via Cavour, 38
60033 Chiaravalle (AN)

t +39 071 949279
moreschimirco66@gmail.com
moreschimirco@epap.sicurezzapostale.

Architetto Gianni Raffaeli

Architetto Gianni Raffaeli
Partita Iva 01201690425
via Clementina, 46- e
60033 Chiaravalle (AN)

t +39 071 7450361
info@gianniraffaeliarchitetto.eu
gianni.raffaeli@archiworldpec.it
www.gianniraffaeliarchitetto.eu

Responsabile Unico del Procedimento

Ing. Luca Arabi

n° elaborato

1.02

commessa	fase	livello	tipo	prog	rev	scala
4115	DL	V1	IDR	01	C	-

Oggetto

RELAZIONE TECNICA E QUADRO ECONOMICO

rev	data	autore	verifica	approvazione
A	18.12.2023	Gianfranco Picco	Marco Salvadori	Giorgio Morini
B	28.03.2024	Gianfranco Picco	Marco Salvadori	Giorgio Morini
C	07.02.2025	Gianfranco Picco	Marco Salvadori	Giorgio Morini
D				

La proprietà intellettuale di questo documento è riservata alla società TAU Engineering srl ai sensi di legge. Il presente documento non può pertanto essere utilizzato per alcun scopo eccetto quello per il quale è stato realizzato e fornito senza l'autorizzazione scritta di TAU Engineering srl né venire comunicato a terzi o riprodotto. La società proprietaria tutela i propri diritti a rigore di legge.

INDICE

1.	PREMESSA.....	3
2.	INQUADRAMENTO IDRAULICO DELL'OPERA.....	4
3.	INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO DEL FOSSO.....	6
4.	STIMA DELLE PORTATE DI DEFLUSSO CON IL METODO CIMA IN RAGIONE DELLE OSSERVAZIONI DEL GENIO CIVILE	8
5.	VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLA PASSERELLA PEDONALE SUL FOSSO LUPO.....	10
6.	ADEGUAMENTO DELLA PASSERELLA A SEGUITO DELLA VARIAZIONE DEI TIRANTI IDROMETERICI ALLA SEZIONE DI INTERESSE.....	17
7.	CONCLUSIONI.....	18

1. PREMESSA

La presente relazione idraulica è parte integrante del progetto esecutivo relativo alla realizzazione della ciclovia turistica del fiume Esino, comune di Jesi, Regione Marche. Il progetto esecutivo, consegnato nel 2022, ha ricevuto una prescrizione da parte del settore del Genio Civile della Regione Marche NORD sullo studio idrologico idraulico condotto sul bacino idrografico del Fosso del Lupo. Tale prescrizione afferma che le portate di deflusso valutate nella relazione idrologica idraulica risultano sottostimate per la valutazione del franco idraulico del progetto dell'attraversamento ciclabile del Fosso del Lupo, per tale motivo è stata chiesta "la verifica di compatibilità idraulica relativa al Fosso del Lupo, in corrispondenza dell'opera di attraversamento, in ragione dei corretti risultati che si ottengono applicando la metodologia proposta da fondazione CIMA per la stima delle portate estreme nei bacini di superficie inferiore a 50 km²."

La verifica di compatibilità idraulica della nuova infrastruttura viene eseguita in ottemperanza alle indicazioni Regionali: "Criteri, modalità e indicazioni tecnico-operative per la redazione della verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di pianificazione territoriale e per l'invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali (Delibera di Giunta Regionale n. 53 del 27/1/2014)".

Nelle seguenti pagine viene esplicitata la verifica idrologica idraulica a seguito delle indicazioni del Genio Civile, condotta prendendo come riferimento un evento con tempo di ritorno di 200 anni.

2. INQUADRAMENTO IDRAULICO DELL'OPERA

Il progetto del “Lotto 3 - Interconnessione valliva ciclovia turistica del fiume Esino – Primo stralcio funzionale” rientra negli interventi previsti nel Masterplan per il Distretto cicloturistico della Vallesina del 2015 che risulta di lunghezza pari a 18,50 km circa fino alla località di Pantiere.

La zona interessata dall'intervento è interamente ubicata all'interno della Regione Marche nella Provincia di Ancona. Il tracciato parte nel Comune di Jesi in via Coppetella nelle vicinanze dello svincolo con la Strada Statale 76 e finisce in corrispondenza di via Contrada Pantiere a Pantiere, frazione di Jesi.

Gli interventi previsti nella verifica idraulica della presente relazione sono:

- Realizzazione di opere acciaio Corten di attraversamento del fosso del Lupo in prossimità di Contrada Pantiere.



Attualmente è presente un fossato; il percorso ciclabile lo attraverserà grazie alla realizzazione di una passerella in acciaio, con struttura portante in S235 e parti a vista in acciaio corten. Queste strutture andranno ad appoggiarsi su spalle e fondazioni in calcestruzzo, realizzate ai lati del canale. La presente relazione idrologico-idraulica

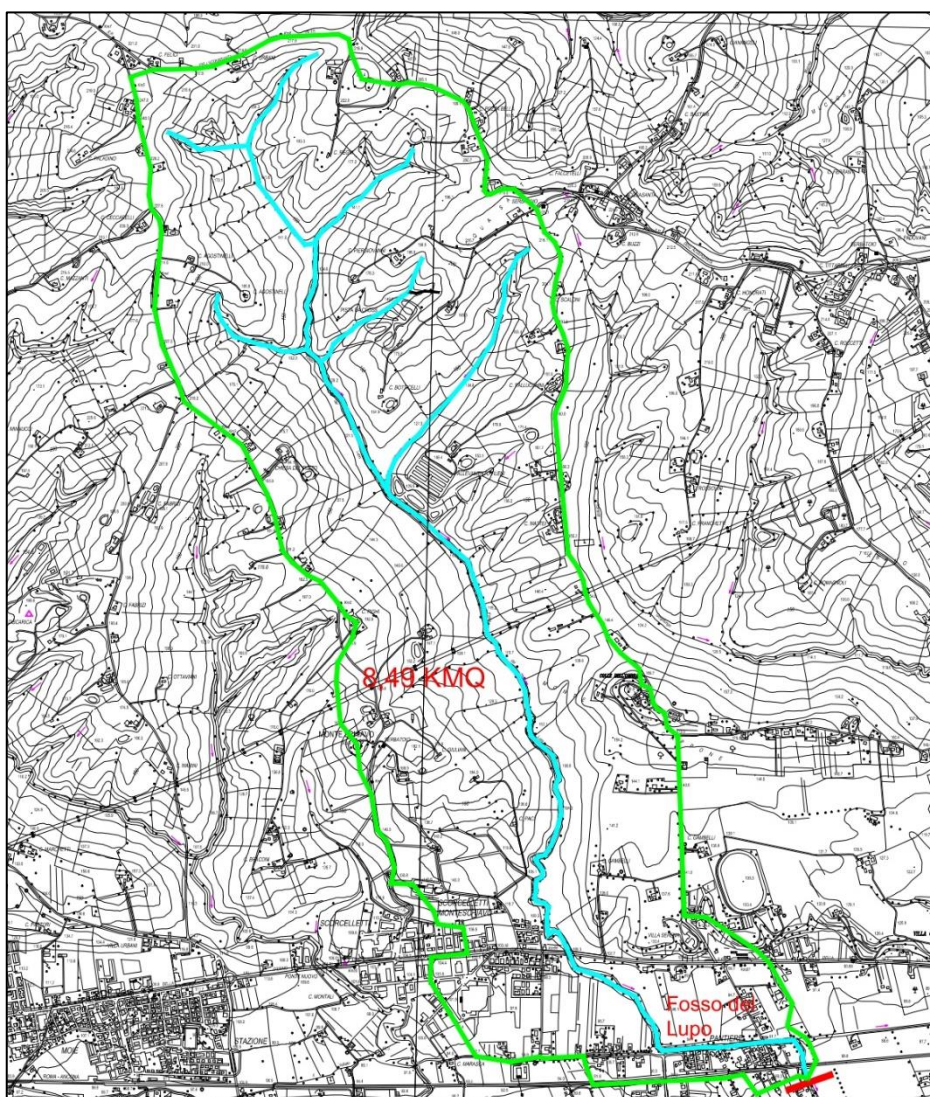
riguarda lo studio della dinamica del fosso del Lupo e risulta volta a fornire una serie di informazioni utili alla condizione di deflusso, che soddisfino il valore di franco minimo tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e l'intradosso del manufatto.

3. INDIVIDUAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO DEL FOSSO

CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO IDROGRAFICO

Il bacino idrografico del fosso Lupo, sotteso dalla sezione di chiusura individuata, si sviluppa su una superficie complessiva di 8,49 km² compresa tra gli 81,21 m s.l.m. della sezione di chiusura individuata e i 247 m s.l.m. della quota massima.

Si inserisce di seguito l'estratto sul quale viene individuata la perimetrazione del bacino imbrifero oggetto di intervento, precisamente su cartografia CTR, ricavata dal Sito Regione Marche.



Di seguito si riassumono le principali caratteristiche fisiche del bacino idrografico del Fosso del Lupo, utili ai fini della stima della portata di piena del corso d'acqua:

- SUPERFICIE BACINO 8,49 km²
- QUOTA MASSIMA 247,00 m s.l.m.
- QUOTA MINIMA 81,21 m s.l.m.
- QUOTA MEDIA 146,17 m s.l.m.
- LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE 7,17 km

4. STIMA DELLE PORTATE DI DEFLUSSO CON IL METODO CIMA IN RAGIONE DELLE OSSERVAZIONI DEL GENIO CIVILE

Al fine di stimare la portata di deflusso corrispondente ad un tempo di ritorno $T_r=200$ anni, relativa all'area di intervento e per una determinata durata dell'evento meteorico, ci si è avvalsi del rapporto emesso dalla fondazione CIMA nel maggio 2016, dal titolo "Modellazione e definizione delle grandezze idrologiche utili alla progettazione per la messa in sicurezza strutturale e non strutturale del reticolo idrografico principale della Regione Marche - Regionalizzazione delle precipitazioni intense".

Il documento citato presenta la descrizione delle attività svolte da Fondazione CIMA per la regionalizzazione delle portate massime annuali al colmo di piena per la stima dei tempi di ritorno delle grandezze idrologiche. Obiettivo del lavoro è stata la definizione della regionalizzazione delle portate massime annuali al colmo di piena con diversi tempi di ritorno per il territorio marchigiano.

Allo scopo di trattare anche questi casi, e di considerare un'analisi in favore di sicurezza, è stata considerata una distribuzione campionaria adimensionale, ottenuta nel seguente modo:

1. Sono stati selezionati solo i bacini, simulati, di dimensioni inferiori ai 50 km²;
2. Tutte le serie di portata rimaste sono state adimensionalizzate rispetto alla loro media;
3. I valori così ottenuti sono stati uniti in un unico campione.

E' stata quindi fittata una relazione media con un'opportuna legge di potenza che descrive l'andamento della variabile indice in funzione dell'area drenata espressa in km²:

$$Q_i = 1.6119 A^{0.9735} \quad [m^3/s]$$

Mediante tale relazione, quindi, si è ricavata una metodologia alternativa per la stima delle portate estreme nei piccoli bacini consistente nella seguente procedura:

Tempo di ritorno [anni]	2	5	10	20	50	100	150	200	500	1000
Fattore di crescita K_T	0.864	1.375	1.755	2.155	2.730	3.207	3.505	3.725	4.482	5.115

1. Si calcola l'area A a monte della sezione in cui si vuole dare una stima della portata con dato tempo di ritorno T;
2. Si applica la legge di potenza per ottenere la variabile indice (Q_i) in funzione dell'area drenata;
3. Si applicano i valori del fattore di crescita KT riportati in Tabella 1 per ottenere il quantile desiderato:

$$Q_T = K_T Q_i.$$

Essendo:

$$Q_i = 1.6119 \cdot 8.49^{0.9735} = 12.93 \text{ m}^3/\text{s}$$

Applicando il coefficiente di crescita KT relativo al tempo di ritorno di 200 anni, si ottiene:

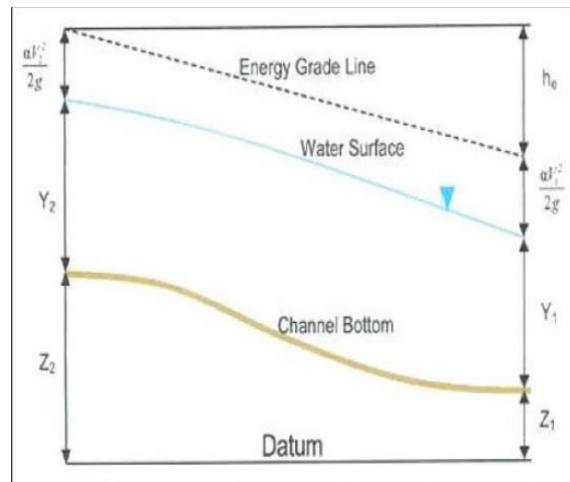
$$Q_{T=200} = 3.725 \cdot 12.93 = \mathbf{48.16 \text{ m}^3/\text{s}}$$

La portata di deflusso con TR 200 anni pari a 48.16 m³/s viene utilizzata per valutare il franco idraulico dell'opera di attraversamento sul fosso Lupo.

5. VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA DELLA PASSERELLA PEDONALE SUL FOSSO LUPO

Il Fosso del Lupo presenta una sezione di deflusso variabile lungo il suo percorso, per tale motivo l'analisi idraulica è stata affinata con l'uso di un software idraulico per la valutazione dei tiranti idrometrici che si instaurano durante il passaggio della piena. Nel modello idraulico è stato introdotto anche il collettore scatolare della linea ferroviaria attraverso il quale defluisce il corso d'acqua. La modellazione è stata condotta con il software Hec RAS, sviluppato all'Hydrologic Engineering Center (HEC) della U.S. Army Corps of Engineers. L'equazione risolutiva del modello è l'espressione matematica del teorema di Bernoulli:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{a_1 V_1^2}{2g} + h_e$$



Dove:

Y1 e Y2 sono i tiranti idrometrici nella sezione valle-monte;

Z1 e Z2 sono le quote geodetiche del thalweg dell'alveo;

V1 e V2 le velocità medie della corrente;

a1 e a2 i coefficienti di ragguaglio delle altezze cinetiche;

g accelerazione di gravità;

he è la perdita di carico totale nel tratto considerato.

La perdita di carico he viene valutata come:

$$h_e = L S_f + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right|$$

che rappresenta la sommatoria tra le perdite di carico concentrate e le perdite di carico distribuite.

Dove:

L è la lunghezza del tratto fluviale mediata sulle portate;

S_f è la cadente della linea dei carichi totali;

C è il coefficiente di espansione/contrazione compreso tra 0 e 1, che tiene conto delle perdite di carico dovute all'espansione e alla contrazione della vena fluida.

Tramite la formula di Chezy è possibile calcolare il valore delle conveyance considerando le singole porzioni di flusso (in golena destra e sinistra e nel canale centrale)

$$Q = K S_f^{1/2} \quad \text{e} \quad K = \frac{1}{n} A R^{2/3}$$

K è la conveyance espressa in m³ /s;

n è il coefficiente di scabrezza di Manning espressa in m^{1/3} /s;

A è l'area relativa al deflusso espressa in m²;

R è il raggio idraulico espresso in m;

Infine, il coefficiente di ragguaglio α viene calcolato considerando che l'altezza cinetica deriva dal valore medio pesato sulla portata sulle singole sezioni (golenali e centrale)

$$\frac{\alpha \bar{V}^2}{2g} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i \frac{V_i^2}{2g}}{Q_{tot}} \quad \text{con} \quad \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n V_i^2 Q_i}{Q_{tot} \bar{V}^2}$$

Il valore relativo all'altezza della superficie libera incognita viene determinato in maniera iterativa a partire dai dati assegnati di portata e dalle caratteristiche geometriche delle singole sezioni.

Il coefficiente di scabrezza viene valutato facendo riferimento ai valori dei coefficienti di Manning che si trovano in letteratura.

CORSI D'ACQUA MINORI (LARGHEZZA A PIENE RIVE < 30 m)

tipo di superficie	Minimo	Normale	Massimo
ALVEI DI PIANURA			
non vegetati, rettilinei, corrente regolare	0.025	0.030	0.033
come sopra ma con pietre e alghe	0.030	0.035	0.040
non vegetati, tortuosi con molienti e rapide	0.033	0.040	0.045
come sopra ma con pietre e alghe	0.035	0.045	0.050
come sopra, in magra	0.040	0.048	0.055
non vegetati, tortuosi, pietre, molienti e rapide	0.045	0.050	0.060
molto irregolari e alghe molto fitte	0.075	0.100	0.150
ALVEI DI MONTAGNA (SPONDE CON ALBERI E CESPUGLI)			
sul fondo: ghiaia, ciotoli e massi radi	0.030	0.040	0.050
sul fondo: ciotoli e grandi massi	0.040	0.050	0.070
GOLENE E PIANE INONDABILI			
prato senza cespugli, erba bassa	0.025	0.030	0.035
prato senza cespugli, erba alta	0.030	0.035	0.050
campi incolti	0.020	0.030	0.040
coltivazioni a filari	0.025	0.035	0.045
colture di cereali in pieno sviluppo	0.030	0.040	0.050
aree con cespugli sparsi e erba alta	0.035	0.050	0.070
aree con cespugli bassi e alberi, in inverno	0.035	0.050	0.060
aree con cespugli bassi e alberi, in estate	0.040	0.060	0.080
cespugli fitti, in inverno	0.045	0.070	0.110
cespugli fitti, in estate	0.070	0.100	0.160

Viste le condizioni dell'alveo allo stato di fatto è stato scelto un coefficiente di Manning, n , pari a 0.04 e che corrisponde ad un coefficiente di Strickler pari a $k_s = 1/n = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Tale condizione va mantenuta effettuando operazioni di pulizia ordinaria dell'alveo. Le condizioni al contorno che sono state inserite nel modello idraulico sono:

- 1) **$Q_{200} = 48.20 \text{ m}^3/\text{s}$;**
- 2) La Normal Depth, che viene confusa con pendenza media dell'alveo, a monte e a valle del tratto di alveo modellato.

La geometria del fosso è stata costruita dalle sezioni di deflusso rilevate durante la fase di progettazione e che sono ubicate come mostra l'immagine:



Figura 1 – Planimetria delle sezioni rilevate

Per comodità si assegna un numero progressivo alle sezioni partendo a valle della ferrovia e andando verso monte (da 1 a 4). La sezione dove verrà inserito l'attraversamento ciclabile è la numero 2. Nel modello idraulico è stato inserito anche il ponte della ferrovia (tra la sezione 2 e la sezione 1) per valutare gli effetti di rigurgito sul pelo libero dell'acqua. La simulazione idraulica in steady flow, allo stato di fatto, ha fornito i seguenti risultati:

REGIONE MARCHE
INTERCONNESSIONE VALLIVA CICLOVIA TURISTICA
DEL FIUME ESINO – PRIMO STRALCIO FUNZIONALE
PERIZIA DI VARIANTE N° 1

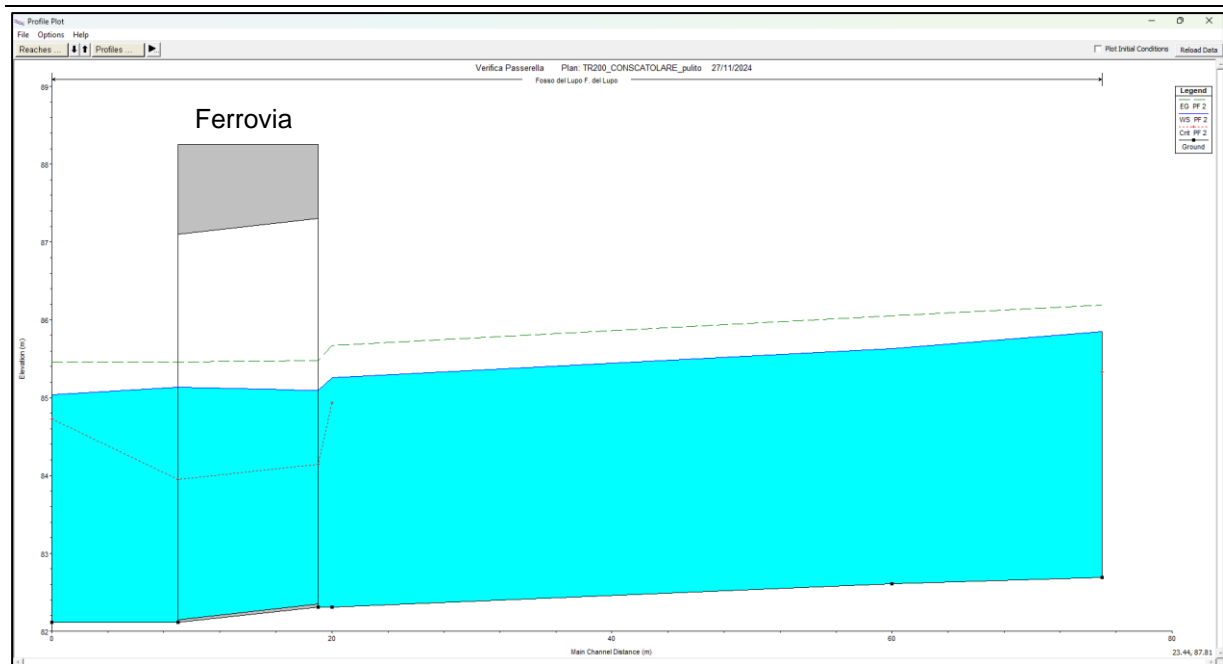


Figura 2-Profilo della corrente con TR 200 anni

Le sezioni di deflusso, rappresentate da monte verso valle (dalla 4 alla 1), sono le seguenti:

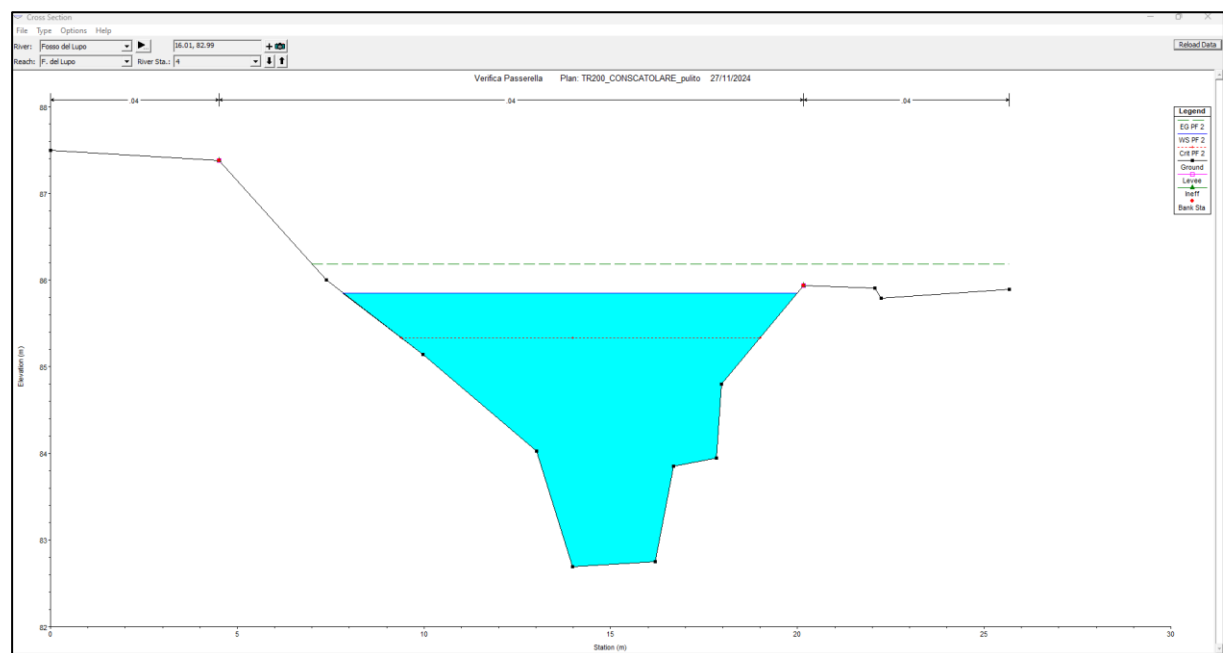


Figura 3: Sezione 4-Livello idrometrico TR 200 anni 85.85 m s.l.m.

REGIONE MARCHE
INTERCONNESSIONE VALLIVA CICLOVIA TURISTICA
DEL FIUME ESINO – PRIMO STRALCIO FUNZIONALE
PERIZIA DI VARIANTE N° 1

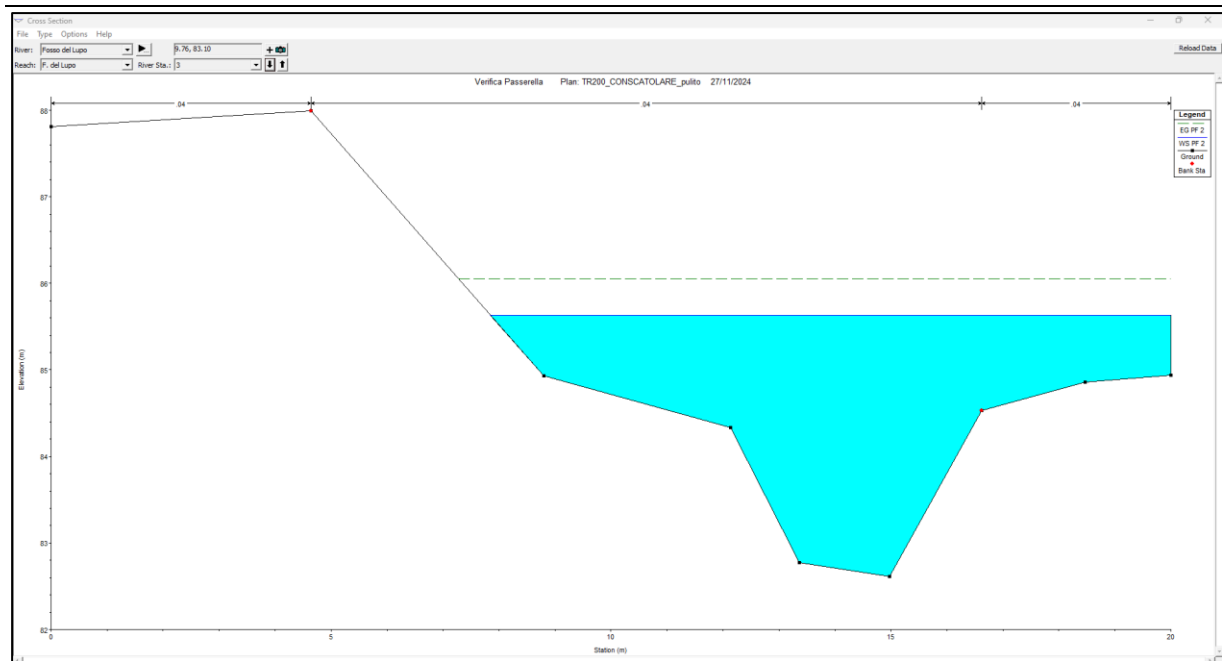


Figura 4: Sezione 3-Livello idrometrico TR 200 anni 85.63 m s.l.m.

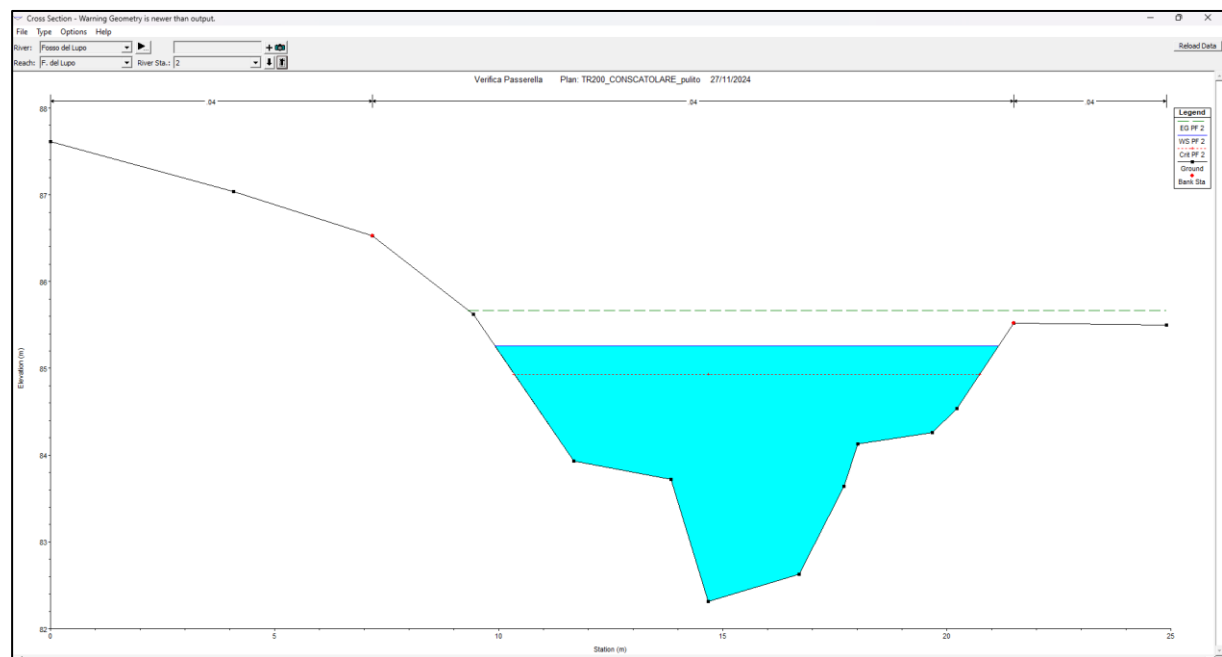


Figura 5: Sezione 2 - Livello idrometrico TR 200 anni 85.26 m s.l.m. dove verrà il nuovo attraversamento.

REGIONE MARCHE
INTERCONNESSIONE VALLIVA CICLOVIA TURISTICA
DEL FIUME ESINO – PRIMO STRALCIO FUNZIONALE
PERIZIA DI VARIANTE N° 1

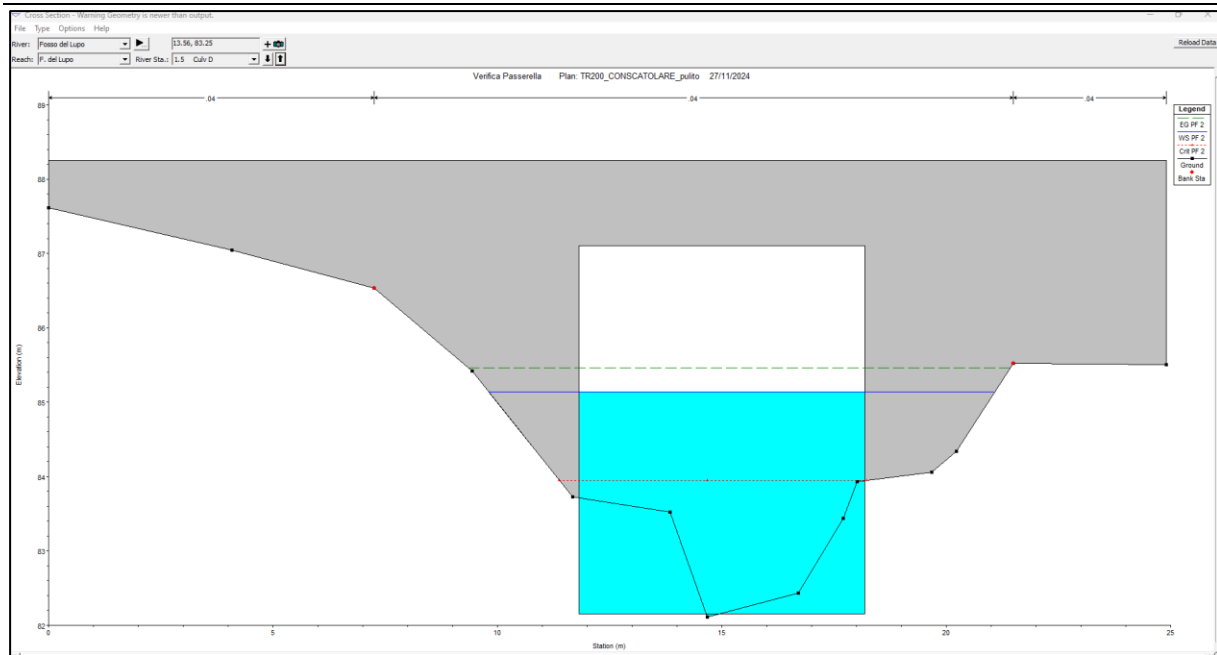


Figura 6: Sezione Ponte Ferrovia Monte -Livello idrometrico TR 200 anni 85.13 m s.l.m.

I tiranti idrometrici medi, nell'area dove si vuole realizzare la passerella pedonale, valutati con il software risultano pari a 2.5-3.0 m.

Viene riportata la tabella con i risultati in forma numerica estratti dal software:

Profile Output Table - Standard Table 1												
File Options Std. Tables Locations Help												
HEC-RAS Plan: T												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
F. del Lupo	4	PF 2	48.00	82.69	85.85	85.33	86.19	0.007766	2.57	18.76	14.34	0.66
F. del Lupo	3	PF 2	48.00	82.61	85.63		86.05	0.009443	2.96	17.24	12.16	0.74
F. del Lupo	2	PF 2	48.00	82.31	85.26	84.93	85.67	0.009576	2.84	16.91	11.24	0.74
F. del Lupo	1.5											
F. del Lupo	1	Culvert	48.00	82.11	85.03	84.73	85.46	0.010004	2.89	16.60	11.02	0.75

Nella tabella sono state evidenziate le colonne dove si legge la quota del pelo libero della corrente e la velocità di deflusso del corso d'acqua.

6. ADEGUAMENTO DELLA PASSERELLA A SEGUITO DELLA VARIAZIONE DEI TIRANTI IDROMETERICI ALLA SEZIONE DI INTERESSE

La quota dell'intradosso della passerella ciclabile viene valutata a valle delle analisi idrauliche condotte allo stato di fatto con la portata di progetto TR 200 anni pari a 48.16 m³/s. Le analisi idrauliche riportano nell'area di intervento udi 2.5 - 3.0 m (SEZ2). Per valutare la quota dell'intradosso della passerella pedonale è stato indicato il franco idraulico come: *"Il minimo franco tra la quota idometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte deve essere non inferiore a 0.5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a 1.00 m per almeno per 2/3 della sezione di deflusso"*. Tale indicazione è stata presa dal documento Verifica di Compatibilità idraulica (*Delibera di Giunta Regionale n. 53 del 27/1/2014*). Nel caso presente caso il franco è superiore a 1.00 m nei 2/3 dell'alveo.

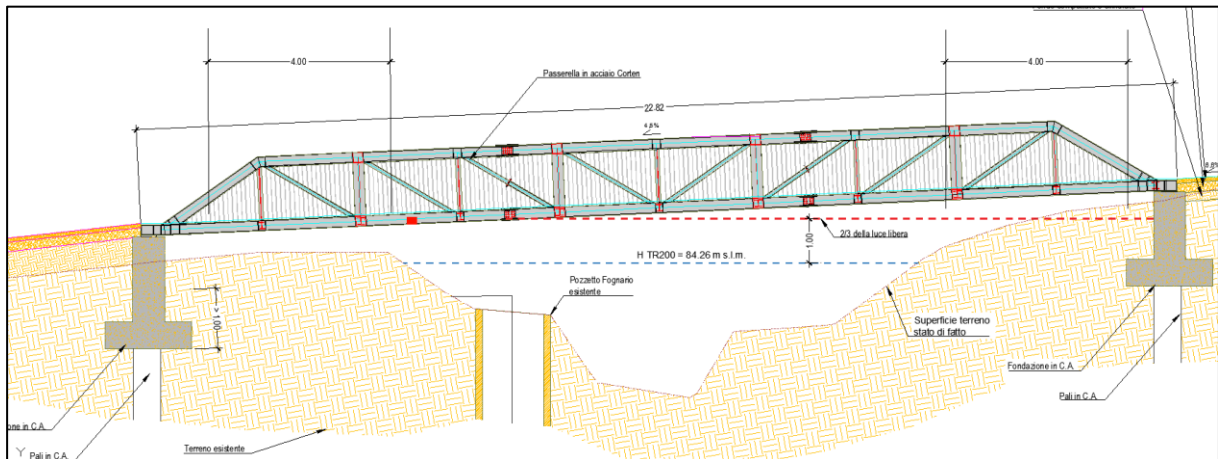


Figura 7: Sezione Nuovo Ponte Ciclabile - Livello idrometrico TR 200 anni 85.26 m s.l.m.

7. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti dalle elaborazioni idrauliche evidenziano in via preliminare come la piena del Fosso del Lupo, anche in caso di un evento bicentenario, nel tratto indagato, alla sezione di deflusso corrispondente alla nuova passerella, provoca un tirante idrometrico che rispetta il franco di sicurezza di 1.00 metro per il 2/3 della sezione. Si precisa che le grandezze idrauliche qui determinate potrebbero ovviamente variare in funzione dello stato di manutenzione dell'alveo del fosso.

Per tale motivo, si consiglia la pulizia ordinaria dell'alveo e il taglio della vegetazione in eccesso. In tal modo si hanno dei coefficienti di scabrezza contenuti che comportano livelli idrometrici che rispettano i franchi imposti dalla normativa.

Il livello idrometrico per una piena con TR 200 anni è pari a 85.26 m s.l.m., l'intradosso del ponte risulta 84.90 nella parte più bassa ed 85.86 nella parte più alta, il franco idraulico varia rispettivamente da 0.63 a 1.60 metri.