



PROVINCIA DI FORLÌ-CESENA

Servizio Infrastrutture Viarie, Gestione Strade, Patrimonio, Mobilità e Trasporti

SP 27BIS BRALDO AL KM 2+350 INTERVENTO DI DEMOLIZIONE E RICOSTRUZIONE DEL VIADOTTO SUL TORRENTE MONTONE

CUP

G67H21019760001

B.6.1

Relazione Idraulica: ponte sul fiume Montone

Fase Progettuale: **Progetto definitivo**

Il progettista
Ing. Luca Gardelli

Data: **FEBBRAIO 2023**

Il RUP
Ing. Fabrizio Di Blasio

Con la collaborazione di
Arch. Laura Capizzi
Arch. Silvia Conversano

Progetto strutturale:

ENSER srl
 **enser**

Indice

1	Premessa	3
2	Documentazione di riferimento	3
3	Descrizione del progetto	3
3.1	Inquadramento geografico	3
3.2	Descrizione dell'intervento	4
4	Verifica di compatibilità idraulica	5
4.1	Teoria di HEC-RAS	6
4.2	Definizione della geometria stato di progetto	7
4.3	Risultati della modellazione	9
4.4	Verifica rispetto del franco idraulico	12
5	Dimensionamento del rivestimento in massi a protezione delle pile	13

1 Premessa

La presente relazione rappresenta la relazione idraulica a corredo del progetto definitivo *“SP27bis Braldo al km 2+350 intervento di demolizione e ricostruzione del viadotto sul torrente Montone”*.

Più specificatamente, questa relazione si articola nei seguenti corpi tematici:

- Documentazione di riferimento
- Descrizione del progetto
- Verifica di compatibilità idraulica
- Dimensionamento del rivestimento in massi a protezione delle pile

2 Documentazione di riferimento

Ai fini della redazione della qui presente sono stati considerati i seguenti documenti:

- [1] Modello idraulico HEC-RAS del torrente Montone e con sezioni riferite ad una situazione futura di alveo svasato secondo progetto della Regione E-R e con ponte Braldo esistente da demolire;
- [2] Planimetria e sezioni del torrente Montone relative al progetto di futuro svasamento dell'alveo fornite dalla Regione E-R;
- [3] Rilievo dell'area di intervento fornito dalla Servizio Infrastrutture Viarie, Gestione Strade, Patrimonio, Mobilità e Trasporti della Provincia di Forlì-Cesena;
- [4] D.M. 17 gennaio 2018: “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” nel seguito per comodità redazionale indicata nel seguito come NTC2018.

3 Descrizione del progetto

3.1 Inquadramento geografico

Il nuovo intervento è previsto a Forlì, sulla strada SP27BIS tra via Zignola e via Lughese (Sp1). In corrispondenza della pk 2+350 è ubicata l'opera principale dell'intervento ossia il nuovo ponte sul torrente Montone in sostituzione al Ponte Braldo esistente, da demolire.

Di seguito in forma grafica (tramite immagine satellitare non in scala da Google Earth) si identifica la zona oggetto di intervento.

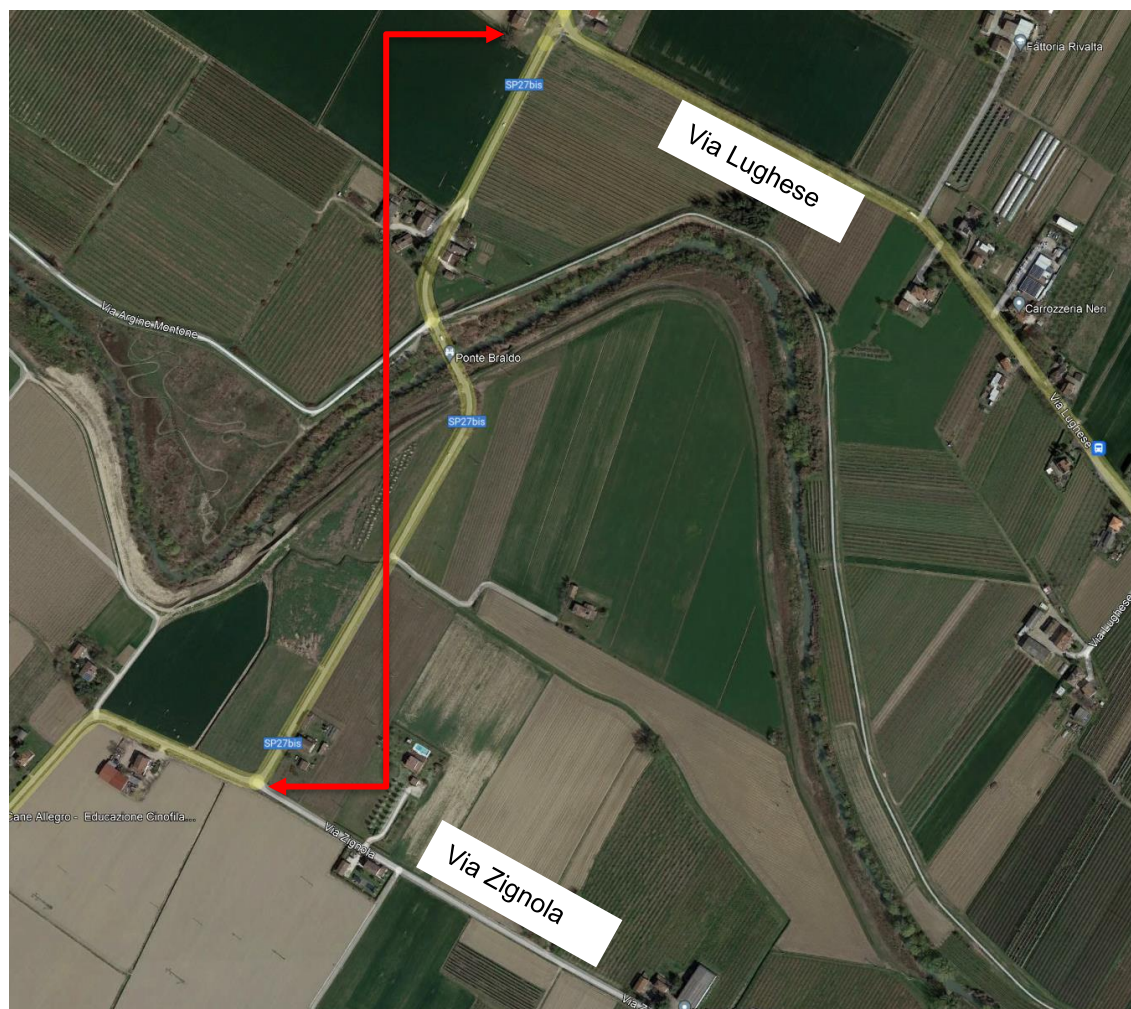


Figure 3-1 - Zona di intervento

3.2 Descrizione dell'intervento

Il nuovo ponte sul torrente Montone è una struttura mista in di lunghezza pari a circa 100.0 m e larghezza di circa 14.4 m. In particolare, l'impalcato continuo è costituito da n°3 campate: le due campate laterali hanno una luce di circa 23.5 m, mentre la campata centrale ha luce di circa 53.0 m.

La sede stradale è caratterizzata dalla carreggiata centrale di 9.50 m, comprendente due corsie da 3.50 m e due banchine da 1.25 m, e da due marciapiedi laterali di luce netta interna pari a 1.50 m.

L'impalcato misto presenta n°2 travi continue ad altezza variabile in acciaio cor-ten, con soletta collaborante di spessore pari a 30 cm. In direzione trasversale sono presenti traversi a sezione variabile in acciaio cor-ten posti ad interasse di 5.0 m.

Le travi sono asimmetriche ad altezza variabile, la sezione presenta un'altezza massima pari a 2.20 m, piattabanda superiore di larghezza pari a 0.80 m e spessore di 40mm, piattabanda inferiore di larghezza pari a 1.20 m e spessore di 60mm.

Le n°2 pile in cemento armato sono costituite da una ciabatta di fondazione di 12.0 m x 12.0 m e spessore pari a 2.5 m, il fusto circolare di diametro pari a 3.0 m ed altezza massima di 8.3 m, la

parte terminale della pila a forma di tronco di cono ed il pulvino di spessore pari a 1.0 m. Le pile poggiano su n°9 pali trivellati di diametro pari a 1.5 m e lunghezza pari a 30 m.

Le n°2 spalle sono costituite ognuna da n°8 diaframmi di sezione 2.5 m x 1.0 m e lunghezza pari a 30.0 m, disposti come da elaborati grafici, e da un solettone superiore di dimensioni in pianta pari a 6.0 m x 20.0 m e spessore pari a 2.0 m che li collega. I diaframmi frontali di spalla proseguono lateralmente con altri diaframmi sempre di sezione 2.5 m x 1.0 m e lunghezza inferiore pari a 15.0 m.

Per tutti i dettagli si vedano i relativi elaborati grafici.

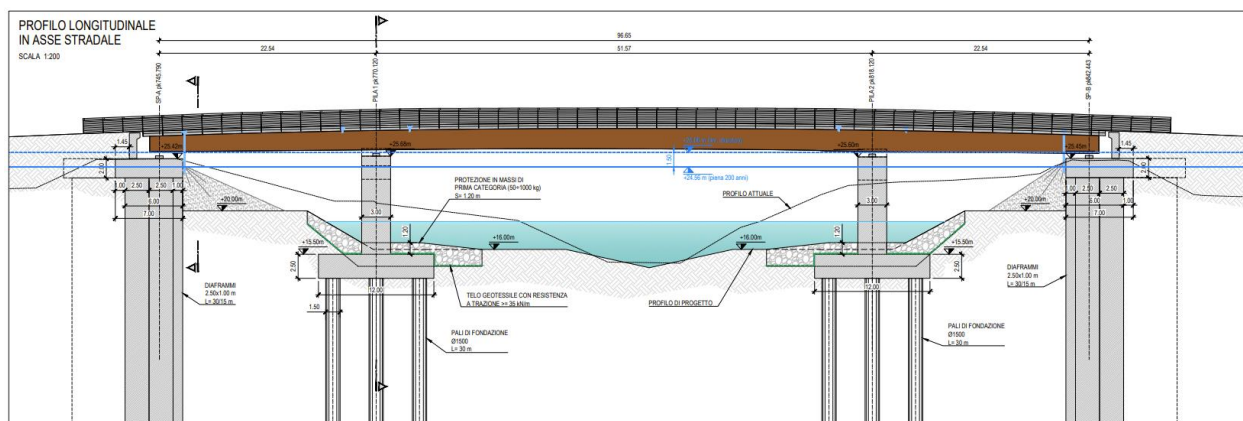


Figure 3-2 - Profilo longitudinale in asse stradale del Ponte sul fiume Montone

4 Verifica di compatibilità idraulica

L'NTC2018 [4] prescrive al § 5.1.2.3 la verifica di compatibilità idraulica dei ponti, ovvero impone di verificare la sussistenza di un **franco minimo** tra il livello di massima piena e l'intradosso del ponte di 1.5 m, considerando come portata di progetto la portata con tempo di ritorno pari a 200 anni.

Pertanto, al fine di verificare la compatibilità idraulica del Ponte Braldo in progetto, ovvero di verificare la sussistenza del franco minimo di 1.5m, è stata ricostruita la quota di massima piena in corrispondenza del ponte al passaggio della portata duecentennale. Nello specifico, è stata condotta una modellazione monodimensionale in moto permanente del Torrente Montone mediante il software HEC-RAS, considerando un tratto di lunghezza significativa a monte ed a valle del manufatto. A tal proposito, ci si è avvalsi del modello idraulico del Torrente Montone fornito dalla Regione E-R [1], andando ad aggiornare il modello idraulico con le nuove geometrie dell'attraversamento.

Il posizionamento ipotizzato per le **pile** è coerente con le prescrizioni delle NTC 2018 (p.to 5.1.2.3), infatti, la luce netta minima tra pile è non inferiore a 40 m, misurati ortogonalmente al filone principale della corrente.

Per quanto riguarda le **spalle**, in relazione ai contatti preliminari intercorsi con gli Enti competenti, la soluzione di progetto prevede l'interferenza con gli attuali corpi arginali, ciò in deroga alle prescrizioni delle NTC 2018 (p.to 5.1.2.3).

4.1 Teoria di HEC-RAS

Come già accennato, la quota di massima piena in corrispondenza del ponte di progetto al passaggio della portata duecentennale è stato ricostruito mediante un modello monodimensionale in condizioni di moto permanente, con l'ausilio del software HEC-RAS, programma di calcolo sviluppato dall'U.S. Army Corps of Engineers (USACE).

Tale codice di calcolo è basato sull'integrazione delle equazioni di De Saint Venant monodimensionali trascurando le variazioni delle grandezze in gioco rispetto al tempo. Nella forma più generale esse hanno la seguente forma:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} - q = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta QV)}{\partial x} = -gA \frac{\partial Z_w}{\partial x} - \frac{\tau_0 P}{\rho_0} + q \cdot U_q$$

dove:

Q= portata liquida

A= area liquida

q= afflusso laterale

x= ascissa longitudinale del corso d'acqua

V= velocità

g= accelerazione di gravità

Z= altezza d'acqua

τ_0 = tensione tangenziale alla parete

P= perimetro bagnato

La prima equazione rappresenta l'equazione di continuità. La seconda equazione deriva invece dall'applicazione del teorema della quantità di moto: al primo membro si trovano rispettivamente la variazione di quantità di moto del volume di controllo ed il flusso netto di quantità di moto attraverso la sua frontiera. Al secondo membro si trovano le forze dovute alla pressione e all'attrito lungo le pareti nonché la componente nella direzione del moto della quantità di moto della portata laterale immessa. Se si considera il moto permanente, si annullano le derivate rispetto al tempo e le equazioni soprascritte divengono:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0$$

$$\frac{\partial(\beta VQ)}{\partial x} = -gA \frac{\partial Z_w}{\partial x} - \frac{\tau_0 P}{\rho_0} + q \cdot U_q$$

Con alcuni passaggi matematici, in particolare sviluppando la seconda equazione e sostituendovi la prima, e supponendo che la pendenza di attrito S_f (perdita di carico per unità di percorso) sia legata alle caratteristiche globali della corrente dalle stesse relazioni valide per il moto uniforme:

$$S_f = \frac{\tau_0 P}{\rho_0 g A} = \frac{V^2}{g C^2 R}$$

Si ricava:

$$\frac{dH}{dx} = -S_f + \frac{q}{gA} \left(U_q - \beta \frac{Q}{A} \right)$$

Quest'ultima equazione viene integrata per fornire l'andamento del profilo del pelo libero della corrente.

4.2 Definizione della geometria stato di progetto

Come già accennato, la modellazione monodimensionale in moto permanente del Torrente Montone è stata condotta partendo dal modello idraulico HEC-RAS del Torrente Montone fornito dalla Regione E-R [1].

La geometria del modello è stata quindi modificata andando a sostituire il ponte esistente con quello di progetto, previo inserimento di due sezioni a monte e valle del ponte, ricostruite in modo tale da raccordarsi alle sezioni della configurazione di progetto futura di alveo svasato.

In figura 4.1, si riporta un estratto della pianta delle sezioni del modello HEC-RAS, a monte e a valle del ponte, nella configurazione di intervento.

Nella figura 4.2 si riporta la sezione HEC - RAS del ponte di progetto.

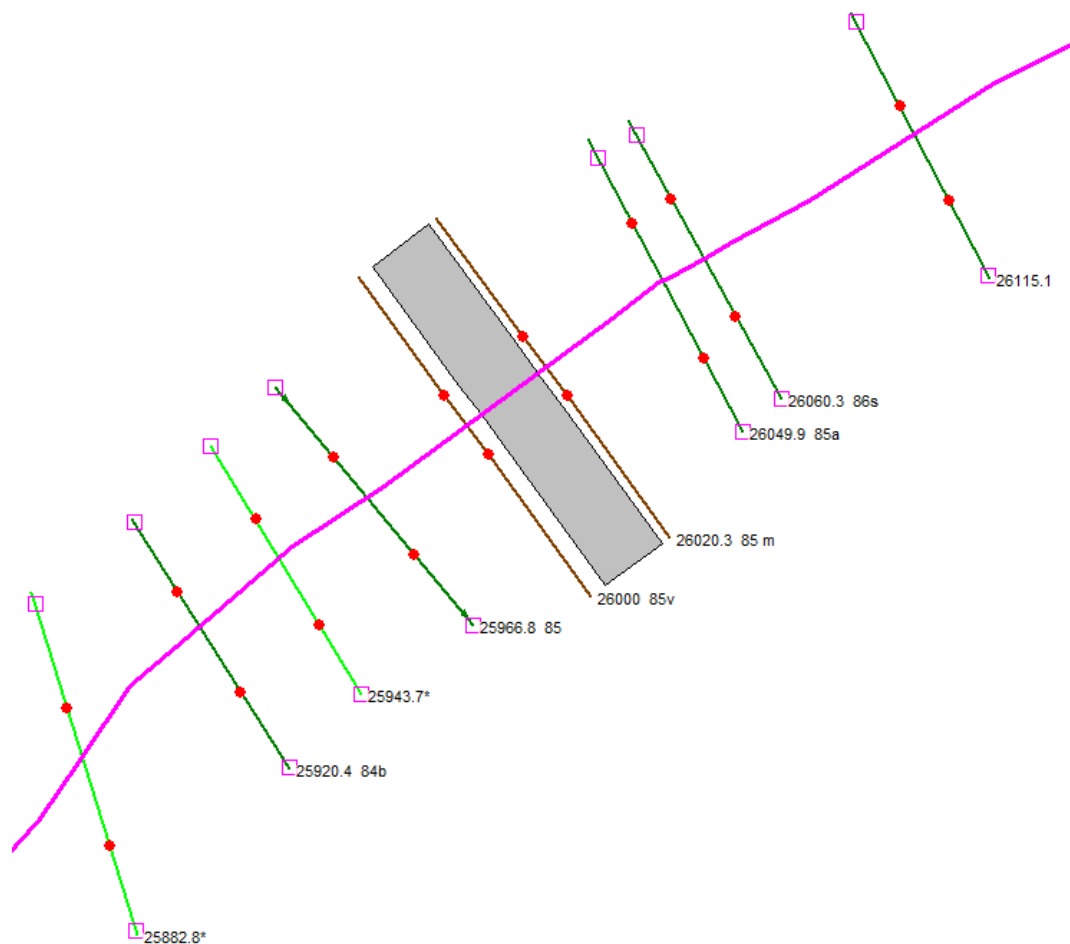


Figure 4-1 – Pianta delle sezioni del modello Hec - Ras in corrispondenza del Ponte sul torrente Montone, stato di progetto

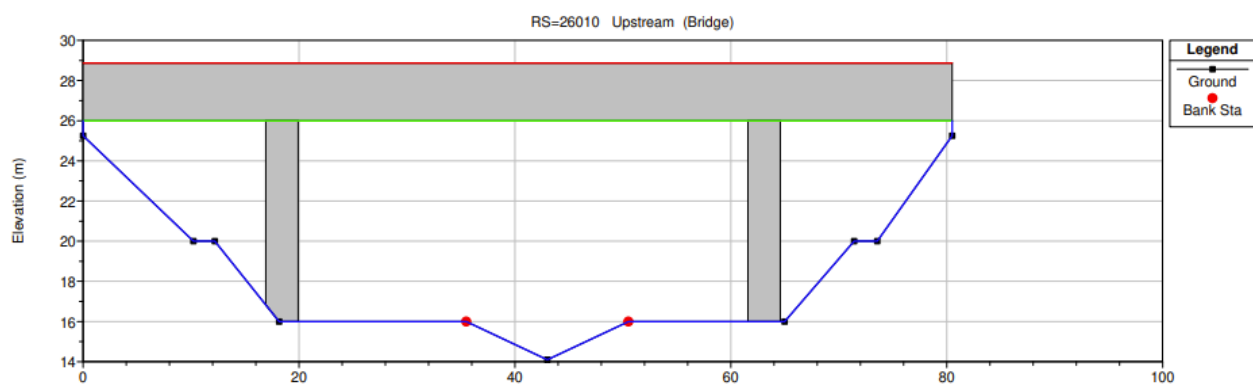


Figure 4-2 – Sezione Hec – Ras del Ponte sul torrente Montone, stato di progetto

Come valori di scabrezza sono stati adottati i valori utilizzati nel modello HEC - RAS per le sezioni subito a monte del tratto di interesse. In particolare, i coefficienti di scabrezza secondo Manning è stato posto uguale pari a $0.027 \text{ s/m}^{1/3}$ nella parte centrale dell'alveo e pari a $0.040 \text{ s/m}^{1/3}$ nella zona più periferica che risulta più vegetata.

4.3 Risultati della modellazione

La modellazione idraulica è stata eseguita assumendo come evento di riferimento l'evento di piena con TR = 200 anni, impiegando il valore di portata fornita dalla Regione di $1028 \text{ m}^3/\text{s}$.

Di seguito si riportano le sezioni di monte, di valle e in corrispondenza del ponte Braldo con indicazione del tirante idrico per un evento di pieno con TR=200 anni, e la tabella dei risultati ottenuti dalla modellazione idraulica.

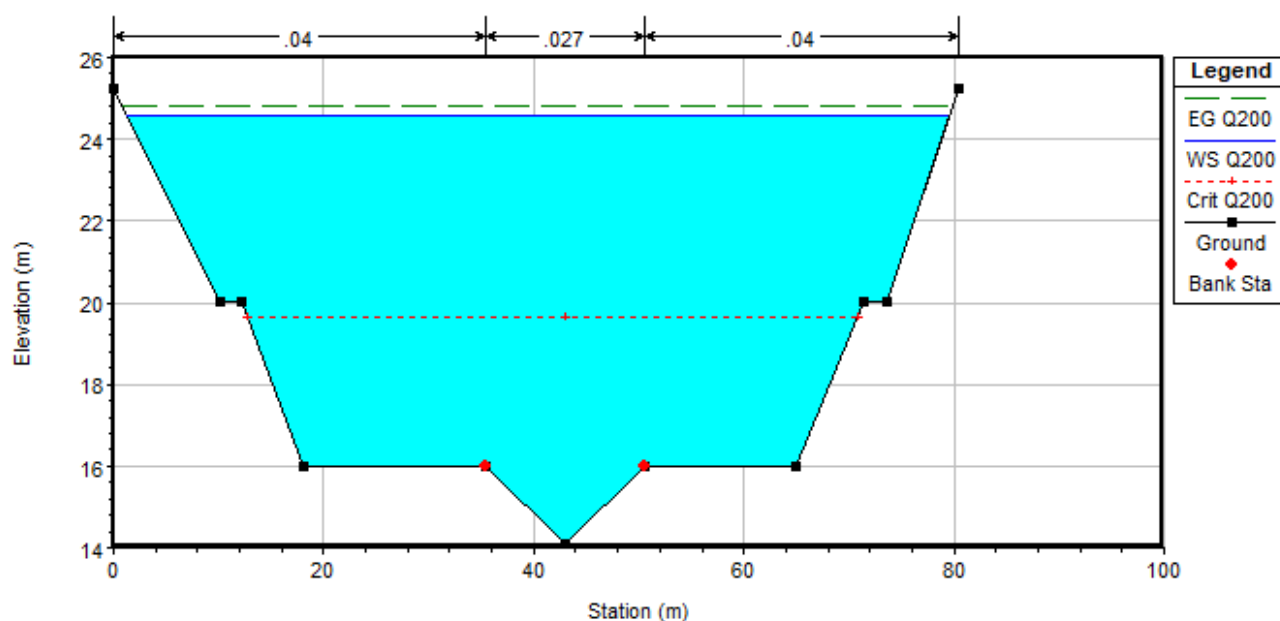


Figure 4-3 – Tirante idrico in corrispondenza della sezione 85 m a monte del Ponte TR = 200 anni

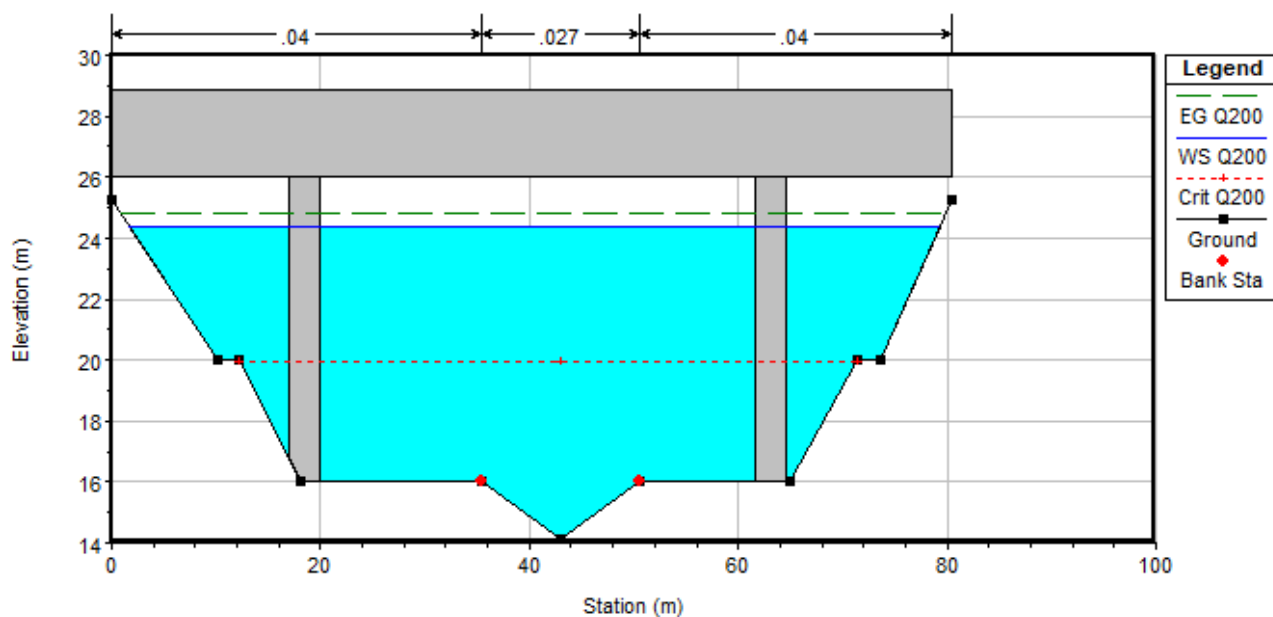


Figure 4-4 - Tirante idrico nella sezione in corrispondenza del ponte TR = 200 anni

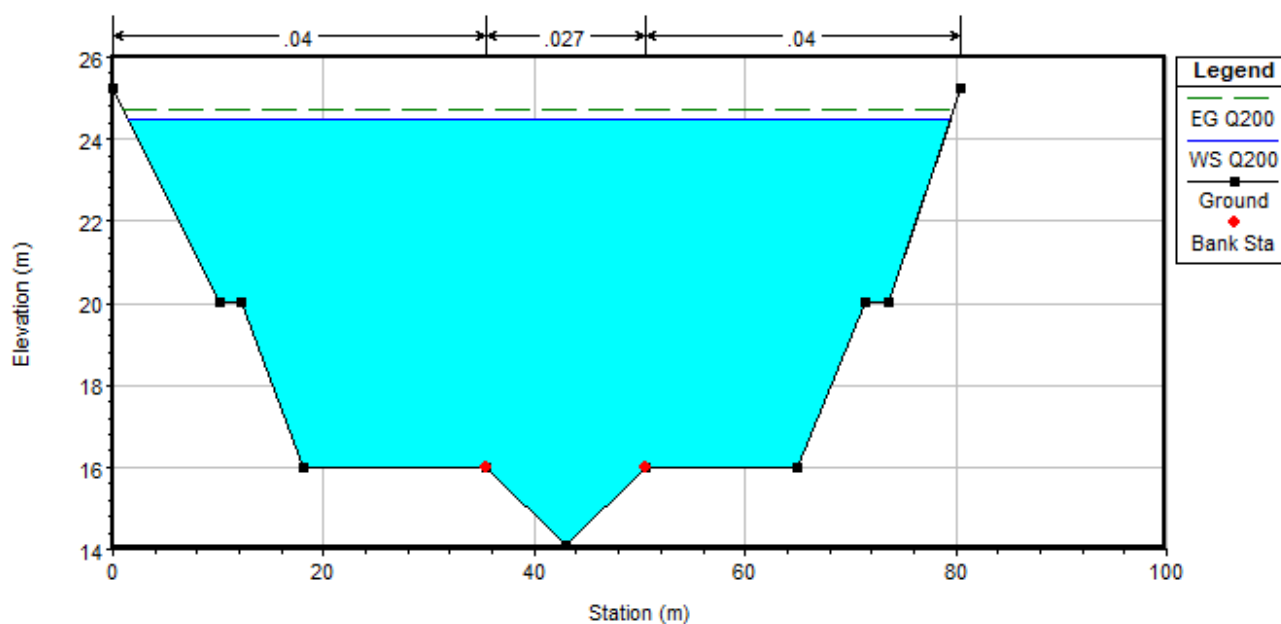


Figure 4-5 – Tirante idrico in corrispondenza della sezione 85 v a valle del ponte TR = 200 anni

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
montone	28170.0*	Q200	1028.00	15.97	25.91	21.83	26.28	0.000617	2.93	430.18	70.39	0.31
montone	28057.5*	Q200	1028.00	15.85	25.79	21.73	26.20	0.000644	3.09	404.82	63.73	0.33
montone	27944.4 92	Q200	1028.00	15.74	25.70	21.65	26.12	0.000717	3.11	396.97	66.94	0.33
montone	27828.7*	Q200	1028.00	15.73	25.65	21.51	26.03	0.000650	2.96	416.12	66.22	0.31
montone	27752.7*	Q200	1028.00	15.60	25.61	21.40	25.98	0.000637	2.92	419.84	66.03	0.31
montone	27689.4*	Q200	1028.00	15.50	25.63	21.20	25.92	0.000480	2.63	479.19	75.20	0.28
montone	27572.5 91	Q200	1028.00	15.36	25.51	21.07	25.85	0.000558	2.82	437.75	68.45	0.30
montone	27480.4*	Q200	1028.00	15.21	25.51	21.30	25.78	0.000513	2.67	487.18	76.53	0.28
montone	27377.5*	Q200	1028.00	15.23	25.43	21.22	25.73	0.000537	2.70	468.89	74.22	0.28
montone	27282.1*	Q200	1028.00	15.05	25.35	20.97	25.67	0.000556	2.75	445.80	68.72	0.29
montone	27182.8 90	Q200	1028.00	15.02	25.30	20.81	25.62	0.000523	2.70	461.93	73.45	0.28
montone	27047.1*	Q200	1028.00	14.97	25.18	20.94	25.53	0.000609	2.89	432.70	69.29	0.30
montone	26945.9*	Q200	1028.00	14.99	25.13	20.97	25.47	0.000597	2.83	444.74	73.45	0.30
montone	26794.7 89	Q200	1028.00	14.99	24.97	20.97	25.37	0.000684	3.04	409.88	68.03	0.32
montone	26687.5*	Q200	1028.00	14.63	24.95	20.56	25.28	0.000553	2.82	443.42	67.51	0.29
montone	26596.7 88	Q200	1028.00	14.46	24.93	20.29	25.22	0.000467	2.63	481.60	74.06	0.27
montone	26529.2*	Q200	1028.00	14.37	24.96	20.17	25.17	0.000340	2.29	567.87	86.91	0.23
montone	26459.7 87a	Q200	1028.00	14.29	24.90	20.30	25.14	0.000394	2.49	525.96	79.11	0.25
montone	26391.8*	Q200	1028.00	14.21	24.81	20.42	25.11	0.000479	2.71	477.17	72.72	0.28
montone	26348.2 87	Q200	1028.00	14.16	24.84	20.11	25.08	0.000391	2.47	533.96	84.90	0.25
montone	26317.7*	Q200	1028.00	14.21	24.76	19.94	25.06	0.000498	2.64	469.13	70.85	0.27
montone	26279.8 86b	Q200	1028.00	14.22	24.61	20.49	25.02	0.000691	3.16	408.70	66.40	0.32
montone	26236.8*	Q200	1028.00	14.22	24.55	20.59	24.99	0.000662	3.27	400.08	66.93	0.34
montone	26178.4 86a	Q200	1028.00	14.17	24.50	20.43	24.95	0.000636	3.26	398.49	66.72	0.34
montone	26115.1	Q200	1028.00	14.17	24.54	19.62	24.90	0.000361	2.95	463.83	67.87	0.30
montone	26060.3 86s	Q200	1028.00	14.06	24.65	18.42	24.83	0.000150	2.11	587.03	69.82	0.21
montone	26020.3 85 m	Q200	1028.00	14.10	24.56	19.63	24.81	0.000329	2.95	549.44	78.26	0.31
montone	26010	Bridge										
montone	26000 85v	Q200	1028.00	14.10	24.49		24.74	0.000339	2.98	543.48	78.01	0.31
montone	25991.8 85	Q200	1028.00	13.92	24.48	19.75	24.75	0.000421	2.75	509.92	70.99	0.28
montone	25943.7*	Q200	1028.00	13.96	24.38	19.65	24.71	0.000516	2.75	452.17	71.31	0.28
montone	25920.4 84b	Q200	1028.00	13.95	24.38	19.62	24.70	0.000509	2.72	461.15	72.22	0.28
montone	25882.8*	Q200	1028.00	13.86	24.39	19.43	24.67	0.000429	2.52	495.71	76.08	0.26
montone	25846.3*	Q200	1028.00	13.79	24.48	19.23	24.61	0.000240	1.85	716.10	117.94	0.19
montone	25807.6*	Q200	1028.00	13.84	24.50	19.72	24.59	0.000181	1.61	882.22	163.46	0.17
montone	25751.0*	Q200	1028.00	13.79	24.53	19.44	24.57	0.000086	1.11	1278.88	220.48	0.11
montone	25685.7*	Q200	1028.00	13.73	24.53	19.91	24.57	0.000060	1.21	1516.25	265.61	0.12
montone	25655.5 84a	Q200	1028.00	13.60	24.54	19.22	24.56	0.000047	0.87	1732.00	289.44	0.09
montone	25553.4*	Q200	1028.00	13.60	24.52	19.24	24.56	0.000068	1.02	1417.55	236.83	0.10
montone	25443.8*	Q200	1028.00	13.42	24.43	19.13	24.54	0.000183	1.69	803.31	129.04	0.17
montone	25398.8*	Q200	1028.00	13.58	24.31	19.77	24.52	0.000366	2.39	585.76	100.25	0.24
montone	25355.0 84	Q200	1028.00	13.54	24.28	19.45	24.50	0.000369	2.36	558.67	88.68	0.24
montone	25260.0*	Q200	1028.00	13.54	24.14	19.47	24.45	0.000517	2.73	465.41	73.92	0.28
montone	25146.7*	Q200	1028.00	13.53	24.06	19.50	24.39	0.000543	2.84	452.76	71.26	0.29
montone	25111.7 83	Q200	1028.00	13.53	24.00	19.35	24.37	0.000565	2.88	431.40	68.28	0.30
montone	24991.5*	Q200	1028.00	13.36	23.97	18.97	24.29	0.000465	2.70	463.46	73.41	0.28
montone	24923.4*	Q200	1028.00	13.30	24.02	18.25	24.24	0.000281	2.18	559.89	82.00	0.22
montone	24878.1*	Q200	1028.00	13.30	24.05	18.00	24.21	0.000214	1.94	653.37	103.79	0.20
montone	24826.4*	Q200	1028.00	13.17	24.09	18.84	24.18	0.000168	1.65	840.55	131.88	0.17
montone	24772.3 82	Q200	1028.00	13.17	24.10	19.20	24.17	0.000134	1.43	996.76	164.05	0.14
montone	24716.0*	Q200	1028.00	13.17	24.07	19.30	24.16	0.000158	1.60	905.78	150.21	0.16
montone	24665.1*	Q200	1028.00	13.15	24.00	19.57	24.14	0.000247	1.99	705.60	115.56	0.20
montone	24606.9*	Q200	1028.00	13.11	23.86	19.76	24.11	0.000453	2.60	523.79	85.90	0.26
montone	24574.5*	Q200	1028.00	13.10	23.77	19.34	24.09	0.000479	2.82	473.73	75.42	0.28
montone	24512.7*	Q200	1028.00	13.11	23.47	19.47	24.03	0.000913	3.53	342.98	50.69	0.36
montone	24449.3 81	Q200	1028.00	12.93	23.57	18.84	23.92	0.000522	2.83	435.61	64.10	0.29
montone	24358.3*	Q200	1028.00	12.99	23.38	19.19	23.85	0.000772	3.25	371.25	54.59	0.34
montone	24301.3*	Q200	1028.00	12.80	23.42	18.68	23.78	0.000564	2.87	423.73	61.44	0.29
montone	24245.2*	Q200	1028.00	12.80	23.32	18.78	23.74	0.000659	3.06	388.72	56.11	0.32
montone	24142.8 80	Q200	1028.00	12.74	23.20	19.14	23.66	0.000791	3.30	375.36	58.10	0.34
montone	24061.3*	Q200	1028.00	12.62	23.18	18.55	23.59	0.000611	3.02	394.45	54.63	0.31
montone	24002.4*	Q200	1028.00	12.68	23.13	18.57	23.55	0.000638	3.05	389.54	54.08	0.31

Tabella 4-1 Tabella dei risultati ottenuti dalla modellazione idraulica per TR = 200 anni

4.4 Verifica del franco idraulico

Dalla modellazione HEC-RAS risulta che il livello di massima piena per portata Q200, in corrispondenza della sezione di monte, è pari a 24.56 m s.l.m.

Poiché la quota dell'intradosso del ponte di progetto è pari a 26.42 m.s.l.m, risulta che il franco idraulico, rispetto all'intradosso delle strutture del ponte sia, su tutta la larghezza del ponte, superiore a 1.50 m, come rappresentato nella figura sottostante.

La verifica di compatibilità idraulica del ponte secondo la NTC2018 risulta quindi essere soddisfatta.

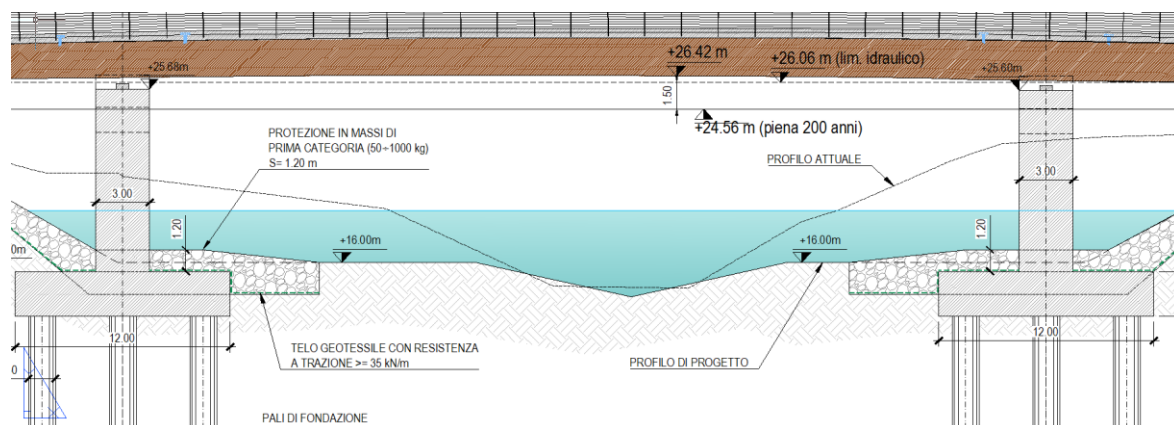


Figure 4-6 – Verifica del franco idraulico

5 Dimensionamento del rivestimento in massi a protezione delle pile

Per evitare fenomeni di scavo intorno alla pila, in corrispondenza della pila è previsto un rivestimento in massi a protezione della pila stessa.

Il dimensionamento del rivestimento in massi a difesa dello scavo intorno alle pile è stato condotto impiegando la seguente *formula di Isbash*:

- Formula di Isbash**

$$D_{50} = \frac{0.692 \cdot (K \cdot V)^2}{2 \cdot g \cdot (S_s - 1)}$$

Dove

D_{50} = diametro medio del masso [m]

V = velocità [m/s]

S_s = gravità specifica delle scogliere [-]

K = coefficiente, che assume un valore pari a 0.9 se la pila è in prossimità della sponda e 1.7 se la pila è all'interno dell'alveo [-]

Si riporta qui di seguito il dimensionamento del rivestimento in massi a difesa dello scavo intorno alla pila, condotto mediante la formula di Isbash.

accelerazione di gravità	g	m/s^2	9.81
densità dell'acqua	ρ_w	kg/m^3	1000.00
peso specifico dell'acqua	γ_w	N/m^3	9806.00
densità dei massi	ρ_s	kg/m^3	2650.00
peso specifico dei massi	γ_s	N/m^3	25985.90
	$(\gamma_s - \gamma_w) / \gamma_w$	-	1.65
diametro della pila	b	m	3.00
velocità massima della corrente nel tratto	V	m/s	2.95
parametro	K	-	0.90
diametro medio minimo	D_{50}	m/s	0.15
range peso		-	50-1000kg
categoria		-	I
peso 50 della categoria	M_{50}	Kg	525
peso 100 della categoria	M_{100}	Kg	1000
diametro 50 della categoria	Dn_{50}	m	0.58
diametro 100 della categoria	Dn_{100}	m	0.72

Tabella 5-1: Dimensionamento della protezione in massi a difesa della pila

Come si evince dalla tabella sopra riportata, è stata utilizzata come velocità massima della corrente, la velocità in corrispondenza della sezione 85 m a monte del ponte.

Lo spessore della scogliera deve essere pari almeno a $2D_{50}$ e nel caso specifico è stato posto pari a 1.20 m. L'estensione della scogliera è stata definita in modo da proteggere il plinto di fondazione dai fenomeni di scavo. Per tutti i dettagli si rimanda agli elaborati grafici.