




**E78 GROSSETO - FANO**  
**Tratto Nodo di Arezzo – Selci – Lama (E45)**  
**Adeguamento a quattro corsie del tratto**  
**San Zeno – Arezzo – Palazzo del Pero, 1° lotto**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**FI 508**

**ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI**

<p><b>IL GEOLOGO</b></p> <p><i>Dott. Geol. Roberto Salucci</i>          Ordine dei geologi          della Regione Lazio n. 633</p>	<p><b>I PROGETTISTI SPECIALISTICI</b></p> <p><i>Ing. Ambrogio Signorelli</i>          Ordine Ingegneri          Provincia di Roma n. A25141</p> <p><i>Ing. Moreno Panfili</i>          Ordine Ingegneri          Provincia di Perugia n. A2657</p> <p><i>Ing. Matteo Bordugo</i>          Ordine Ingegneri          Provincia di Pordenone al n. 790A</p>	<p><b>PROGETTAZIONE ATI:</b>          (Mandataria)</p> <p><b>GP INGENGNERIA</b>          GESTIONE PROGETTI INGENGNERIA srl</p> <p></p> <p></p> <p>          Studio di Architettura e Ingegneria Moderna</p>
<p><b>COORDINATORE PER LA SICUREZZA          IN FASE DI PROGETTAZIONE</b></p> <p><i>Arch. Santo Salvatore Vermiglio</i>          Ordine Architetti          Provincia di Reggio Calabria n. 1270</p>	<p><i>Ing. Giuseppe Resta</i>          Ordine Ingegneri          Provincia di Roma n. 20629</p>	<p><b>IL PROGETTISTA RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI          SPECIALISTICHE. (DPR207/10 ART 15 COMMA 12):</b></p> <p><i>Dott. Ing. GIORGIO GUIDUCCI</i>          ORDINE INGEGNERI          ROMA          N° 14035</p>
<p><b>VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO</b></p> <p><i>Ing. Francesco Pisani</i></p>		
<p><b>VISTO: IL RESP. DEL PROGETTO</b></p> <p><i>Arch. Pianif. Marco Colazza</i></p>		

**STUDI ED INDAGINI**

Idrologia e idraulica

Relazione idraulica attraversamenti maggiori (viadotto)

<p><b>CODICE PROGETTO</b></p> <p>PROGETTO      LIV.PROG      ANNO</p>	<p><b>NOME FILE</b></p> <p>T01ID00IDRRE04_A</p>	<p><b>REVISIONE</b></p>	<p><b>SCALA</b></p>
<p><b>DPFI508</b>    <b>D</b>    <b>23</b></p>	<p><b>CODICE ELAB.</b>    T 0 1 I D 0 0 I D R R E 0 4</p>	<p><b>A</b></p>	<p>-</p>
<p><b>D</b></p>			
<p><b>C</b></p>			
<p><b>B</b></p>			
<p><b>A</b></p>	<p>Emissione</p>	<p>Agosto 2023</p>	<p>Capponi      Panfili      Guiducci</p>
<p>REV.</p>	<p>DESCRIZIONE</p>	<p>DATA</p>	<p>REDATTO      VERIFICATO      APPROVATO</p>

## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2.</b>	<b>ANALISI IDRAULICA .....</b>	<b>3</b>
2.1.	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	3
2.2.	MODELLO IDRAULICO .....	4
<b>3.</b>	<b>OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MAGGIORI.....</b>	<b>5</b>
3.1.	VIADOTTI SUL RIO FIUMICELLO .....	5
<b>4.</b>	<b>MODELLO IDRAULICO “RIO FIUMICELLO – POST OPERAM” .....</b>	<b>7</b>
4.1.1.	<i>Outputs numerici.....</i>	<i>Errore. Il segnalibro non è definito.</i>
<b>4.</b>	<b>VERIFICA DELLA STABILITÀ DELLA SCOGLIERA .....</b>	<b>15</b>

PROGETTAZIONE ATI:

## **1. PREMESSA**

Scopo della presente relazione è quello di descrivere le analisi e le verifiche idrauliche condotte nell'ambito del progetto definitivo relativo all'intervento "*E 78 Grosseto – Fano, Tratto Nodo di Arezzo - Selci - Lama (E 45) – Adeguamento a quattro corsie del tratto San Zeno – Arezzo - Palazzo del Pero, 1°Lotto*".

Il presente studio va esaminato congiuntamente all'elaborato T01 ID 00 IDR RE 01 "*Relazione idrologica*", nell'ambito della quale si sono sviluppati i modelli concettuali utili alla definizione delle portate di riferimento.

In particolare, la presente relazione contiene le verifiche idrauliche finalizzate alla valutazione delle possibili interferenze tra le correnti di piena e le opere di attraversamento maggiori (viadotti) per scenari caratterizzati da tempo di ritorno pari a 200 anni. Le analisi sono state condotte con lo scopo di verificare il franco in occasione dell'evento di piena di riferimento.

Le principali interferenze del tracciato, per le quali si sono attenzionati questi aspetti specifici, sono:

1. Viadotto "Fiumicello" (VI\_09) sul Rio Fiumicello;
2. Viadotto "Scopetone" (VI\_10) sul Rio Fiumicello.

Giova osservare che la portata di picco duecentennale di progetto stimata nel Rio Fiumicello presso le suddette opere di attraversamento risulta inferiore a 50 m<sup>3</sup>/s.

## 2. ANALISI IDRAULICA

### 2.1. RIFERIMENTI NORMATIVI

La verifica idraulica degli attraversamenti è effettuata sulla base di quanto disposto dalle normative vigenti in materia, le quali vengono di seguito elencate:

- Regio Decreto 25 luglio 1904, n°523 “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie”
- D.M. 17/01/2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” (G.U. n.8 del 20/02/2018) - comma 5.1.2.3 “Compatibilità idraulica”
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. “Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. (G.U. n.5 del 21/01/2019) - – cap. 5.1. Ponti stradali – Comma 5.1.2.3 “Compatibilità idraulica”

Per la progettazione dei ponti, la normativa prescrive che:

- Portata di progetto: *Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno  $T_r$  pari a 200 anni ( $T_r=200$ ) (D.M. 17/01/2018 - comma 5.1.2.3)*
- Alveo: *Ai fini dell'applicazione del punto 5.1.2.3 della Norma, s'intende per alveo la sezione occupata dal deflusso della portata di piena di progetto. (Circolare 21 gennaio 2019 - comma 5.1.2.3)*
- Posizionamento pile e spalle: *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.*
- Franco idraulico: *Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo. Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m. (D.M. 17/01/2018 - comma 5.1.2.3)*
- Quota sottotrave: *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, è 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*

PROGETTAZIONE ATI:

*quota della sommità arginale per l'intera luce. Per tutti gli attraversamenti è opportuno sia garantito il transito dei mezzi di manutenzione delle sponde e/o delle arginature. (Circolare 21 gennaio 2019 - comma 5.1.2.3)*

- **Tombino:** La Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 21 gennaio 2019, contenente le istruzioni per l'applicazione delle NTC 2018, al punto C5.1.2.3 *Compatibilità Idraulica*, precisa che per tombino si intende "un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fini a 50 mc/s. L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comune un tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti". Relativamente al franco nei tombini la predetta circolare prescrive che "nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idraulico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 50 cm".

## 2.2. MODELLO IDRAULICO

I fenomeni di deflusso in esame si caratterizzano per la prevalenza di una dimensione rispetto alle altre, ed appare quindi del tutto ragionevole l'accettazione della ipotesi di monodimensionalità del moto.

Al fine di valutare le condizioni di sicurezza dal punto di vista idraulico delle predette opere di attraversamento, è stata sviluppata una modellazione in moto vario mediante l'utilizzo del codice di calcolo HEC-RAS (River Analysis System) versione 6.4.1, sviluppato presso l'Hydrologic Engineering Center, dall'United States Army Corps of Engineers.

Per l'esauritiva trattazione dei principi teorici sui quali si basa la soluzione numerica delle equazioni di moto e di continuità che regolano il processo di moto si rimanda all'indirizzo internet <http://www.hec.usace.army.mil> (in particolare alle pubblicazioni "Hydraulic Reference Manual", e "User's Manual").

### 3. OPERE DI ATTRAVERSAMENTO MAGGIORI

#### 3.1. VIADOTTI SUL RIO FIUMICELLO

La geometria delle sezioni fluviali nel tratto del Rio Fiumicello interessato dalle opere in progetto in località Scopetone, per una lunghezza complessiva di 2.56 km (di cui circa 1.1 km a monte delle opere di attraversamento in parola), è stata desunta da uno specifico rilievo topografico strumentale effettuato da ITAGROUP nell'ambito del presente progetto.

Il coefficiente di scabrezza del corso d'acqua, avendo adottato la formulazione di Manning, è stato assunto come indicato nella tabella seguente:

Opera	Alveo rivestito con scogliera in massi (Manning $m^{-1/3s}$ )	Aree golenali (Manning $m^{-1/3s}$ )
Viadotto VI_09 "Fiumicello" Viadotto VI_10 "Scopetone" (Rampa L)	0.033	0.06

Per svolgere la simulazione e calcolare il livello del pelo libero in una data sezione, è necessario conoscere la medesima grandezza in una sezione prossima a questa, a monte o a valle a seconda del regime di corrente.

Il programma provvede automaticamente al riconoscimento per tratti del regime di corrente che si può effettivamente instaurare per la portata assegnata e, se in un tratto la corrente ad esempio è veloce, esso adotterà quale altezza di riferimento quella fornita in input per l'estremo di monte; viceversa, se la corrente del tratto è lenta, quale altezza di controllo sarà adottata quella fornita in input per la sezione terminale di valle. Nei tratti intermedi il programma adotta analoghi criteri ed è in grado di processare situazioni in cui i due regimi si susseguono in qualsiasi ordine.

Per effettuare la simulazione è quindi necessario imporre delle condizioni al contorno a monte e a valle dei tratti in esame. Com'è noto questa condizione può essere imposta in vari modi: livello idrico noto, altezza critica, altezza di moto uniforme, scala di deflusso.

A questo proposito va tuttavia osservato che il metodo d'integrazione numerica adottato dal software ("Standard step method") è intrinsecamente autoregolante, ovvero, dopo pochi step spaziali (sezioni), l'altezza della corrente risulta invariante rispetto alla condizione al contorno adottata. Per questo motivo, eventuali imprecisioni nella valutazione delle altezze di controllo diventano inessenziali se si dispone di un numero di sezioni in eccesso rispetto a quelle strettamente occorrenti per l'estensione del tratto da indagare.

Le condizioni al contorno utilizzate nel presente modello sono illustrate nel dettaglio nel successivo paragrafo.

Nella tabella seguente, con riferimento alla sezione posta immediatamente a monte di ciascuno degli attraversamenti oggetto di analisi, si indica: la portata duecentennale di riferimento (in mc/s), il livello idrico (m.s.l.m.), la quota di intradosso del manufatto di progetto (m.s.l.m.).

PROGETTAZIONE ATI:

<b>Attraversamento</b>	<b>Sezione HEC_RAS</b>	<b>QTR200 [mc/s]</b>	<b>Livello idrico [m s.l.m.]</b>	<b>Quota min intradosso [m s.l.m.]</b>	<b>Franco [m]</b>
<i>Viadotto VI_09 "Fiumicello"</i>	3140.75	32.33	452.92	456.23	3.31>1.5
<i>Viadotto VI_10 "Scopetone" (Rampa L)</i>	3029.38	33.77	451.81	459.80	7.99>1.5
<i>Viadotto VI_10 "Scopetone" (Rampa L)</i>	2869.50	33.73	449.92	461.85	11.93>1.5

Nei paragrafi seguenti si riportano gli outputs grafici e numerici delle simulazioni effettuate.

Si precisa che i nuovi viadotti di progetto sono compresi tra le sezioni 3140.75 e 3109.72 (Viadotto VI\_09 "Fiumicello"), 3029.38 e 3001.26 (Viadotto VI\_10 "Scopetone" - Rampa L), 2869.50 e 2845.64 (Viadotto VI\_10 "Scopetone" - Rampa L).

#### 4. MODELLO IDRAULICO “RIO FIUMICELLO – POST OPERAM”

Con riferimento alle tavole T01 ID 00 IDR PL 09 e T01 ID 00 IDR PL 10, i tratti dei corsi d'acqua modellati nella configurazione di progetto sono:

- **Rio Fiumicello:** dalla sezione 6401 posta all'altezza del km48+700 della SS73 Senese Aretina, alla sezione 146 posta circa 270 m a valle dell'attraversamento della SS73 Senese Aretina, per una lunghezza complessiva di circa 2.56 Km.

Per quanto riguarda le scabrezze medie attribuibili al corso d'acqua sulla base dello stato dei luoghi, sugli interventi di progetto e coerentemente ai normali valori proposti in letteratura<sup>1</sup>, si è assunto, con riferimento al valore del coefficiente  $n$  di Manning:

- Dalla sez. 4601 alla sez. 3314  $n = 0.040 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  in alveo e  $0.060 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  extra-alveo;
- Dalla sez. 3215 alla sez. 2423 (tratto oggetto di modificazione/deviazione del corso d'acqua con rivestimento del nuovo alveo inciso in scogliera di massi naturali)  $n = 0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  in alveo e  $0.060 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  extra-alveo;
- Dalla sez. 2324 alla sez. 2126  $n = 0.040 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  in alveo e  $0.060 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  extra-alveo;
- Dalla sez. 2027 alla sez. 1730 (tratto in cui il progetto prevede l'integrazione dei rivestimenti antiersivi esistenti con rivestimento dell'alveo inciso in scogliera di massi naturali)  $n = 0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  in alveo e  $0.060 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  extra-alveo;
- Dalla sez. 1686.83 alla sez. 1301.00 (inserimento del nuovo tombino scatolare TM25 e rivestimento della sezione con gabbioni nei tratti immediatamente a monte e a valle dello stesso)  $n = 0.026 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  in alveo e  $0.060 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  extra-alveo ( $n = 0.015 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  in corrispondenza del tombino);
- Dalla sez. 1235 alla sez. 542 (tratto in cui il progetto prevede l'integrazione dei rivestimenti antiersivi esistenti con rivestimento dell'alveo inciso in scogliera di massi naturali)  $n = 0.033 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  in alveo e  $0.060 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  extra-alveo;
- Dalla sez. 443 alla sez. 146  $n = 0.040 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  in alveo e  $0.060 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$  extra-alveo.

Le condizioni al contorno di monte sono costituite dagli idrogrammi desunti dall'analisi idrologica (vedi elaborato T01 ID 00 IDR RE 01), distribuiti nel modello come mostrato nella tabella seguente. Come condizione al contorno di valle è stata considerata l'altezza di moto uniforme, imponendo per la linea dei carichi una pendenza pari a quella del thalweg (0.04m/m).

---

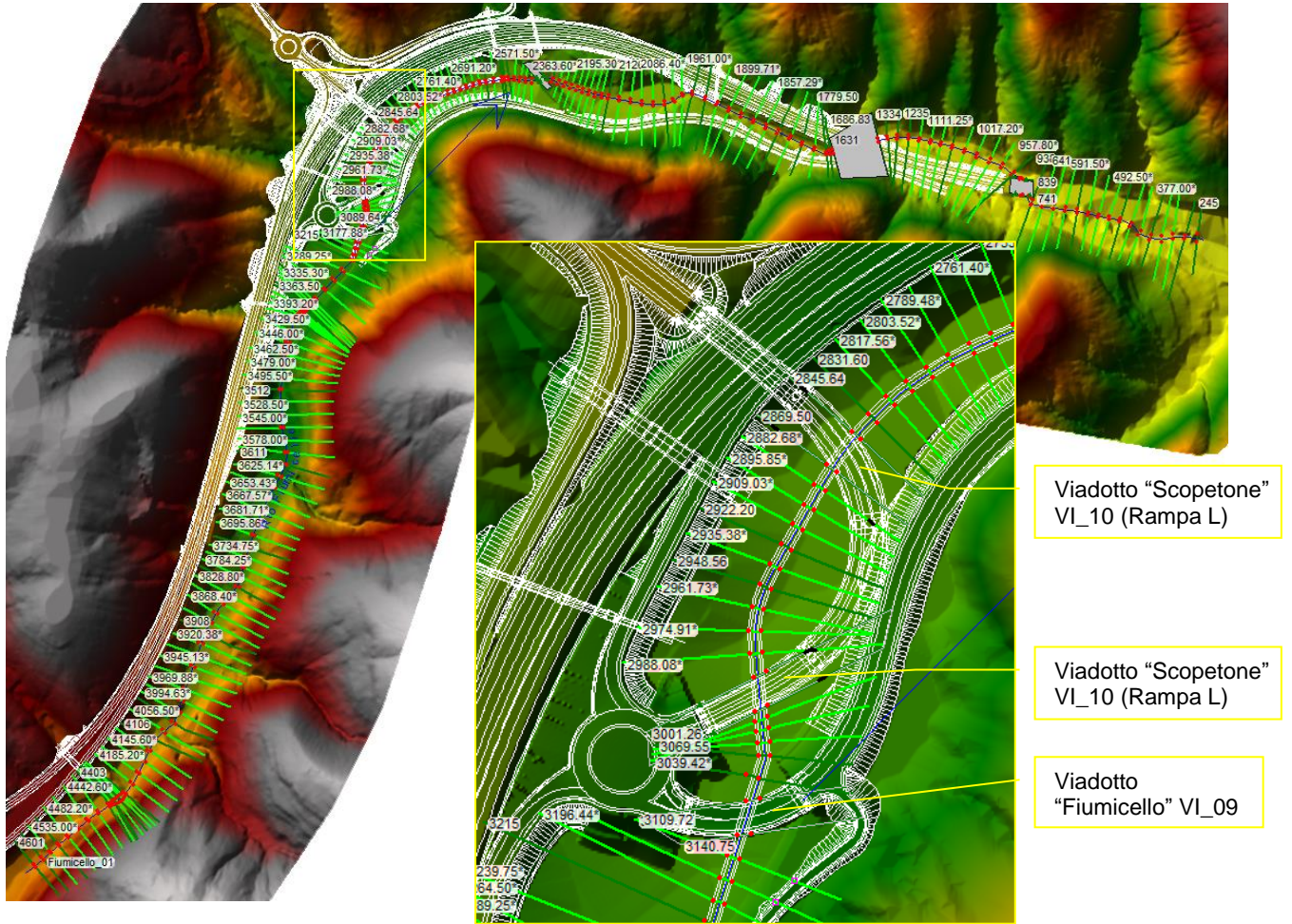
<sup>1</sup> Manuale di Ingegneria Civile - Volume I .Ed.Zanichelli/Esac.



River	Reach	Sezioni HEC-RAS	Nodi HEC_HMS	Tipologia
<b>Rio Fiumicello</b>	Fiumicello_01	4601	FIUMICELLO	Flow Hydrograph
	Fiumicello_01	4568-4403	IRF1	Uniform Lateral Inflow
	Fiumicello_01	4353.47	AV22163	Flow Hydrograph
	Fiumicello_01	4106-3611	IRF0+IRF2	Uniform Lateral Inflow
	Fiumicello_01	3363.5	AV21797	Flow Hydrograph
	Fiumicello_01	3314-3089.64	IRF3	Uniform Lateral Inflow
	Fiumicello_01	3069.55	AV21654	Flow Hydrograph
	Fiumicello_01	2948.56-2922.20	IRF4	Uniform Lateral Inflow
	Fiumicello_01	2845.64	SCOPETONE	Flow Hydrograph
	Fiumicello_01	2831.60-2621	I12+I13	Uniform Lateral Inflow
	Fiumicello_01	2482.91	BOLZE	Flow Hydrograph
	Fiumicello_01	2225-1829	I14+I15+I16	Uniform Lateral Inflow
	Fiumicello_01	2215.1	FONTE	Lateral Inflow Hydrograph
	Fiumicello_01	1913.86	CILIEGINO	Lateral Inflow Hydrograph
	Fiumicello_01	1779.5	CALDESE	Lateral Inflow Hydrograph
	Fiumicello_01	1301	AV21587	Lateral Inflow Hydrograph
	Fiumicello_01	1235-641	I17	Uniform Lateral Inflow
	Fiumicello_01	938	VADO	Lateral Inflow Hydrograph
Fiumicello_01	641	AV21818	Lateral Inflow Hydrograph	

La durata critica per l'evento duecentennale del Rio Fiumicello è pari a 45 min; tuttavia, è stata considerata anche la durata pari a 30 min che massimizza le portate di picco dei suoi affluenti.

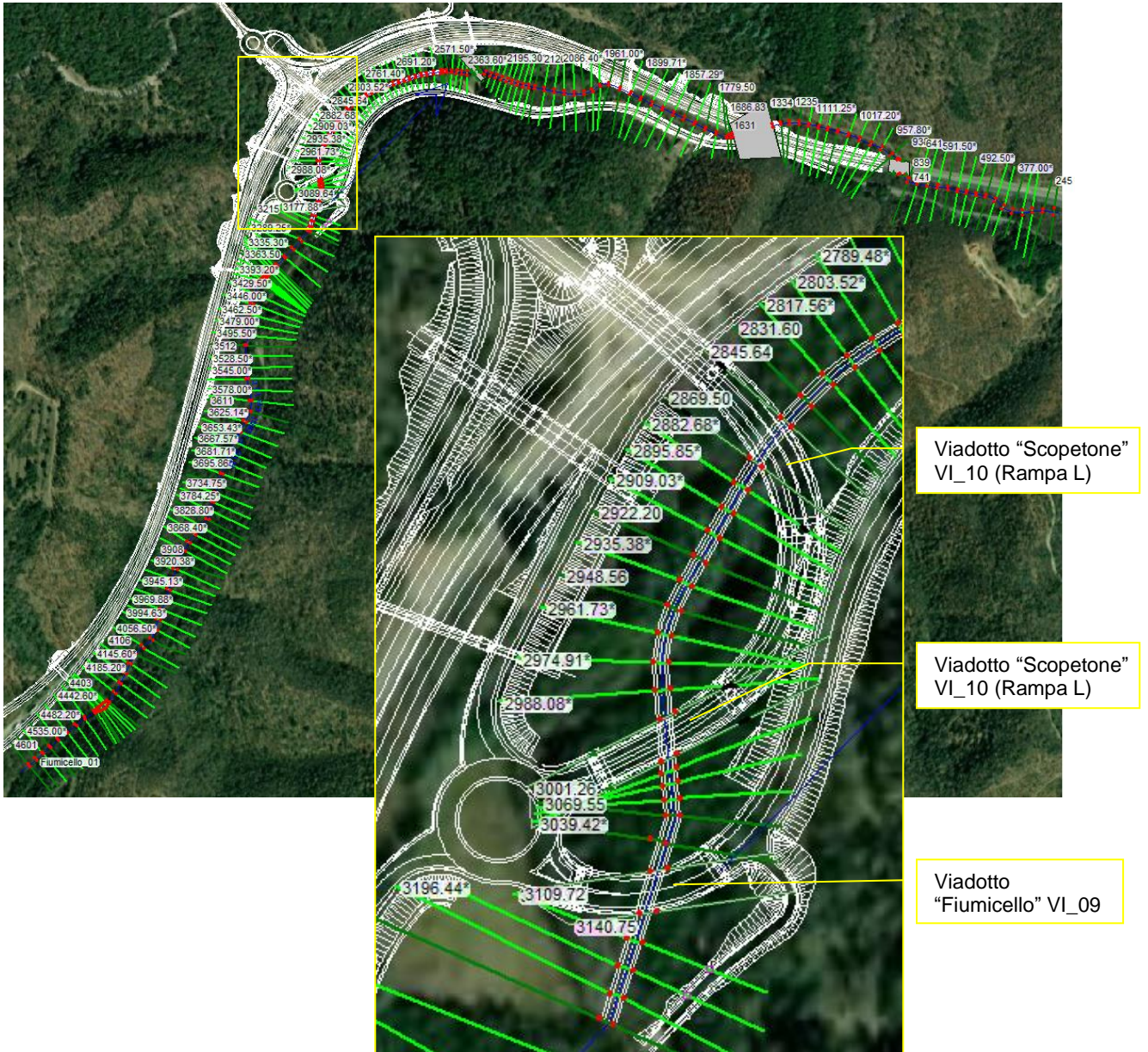
Di seguito si riportano le planimetrie e i profili longitudinali del modello idraulico implementato.



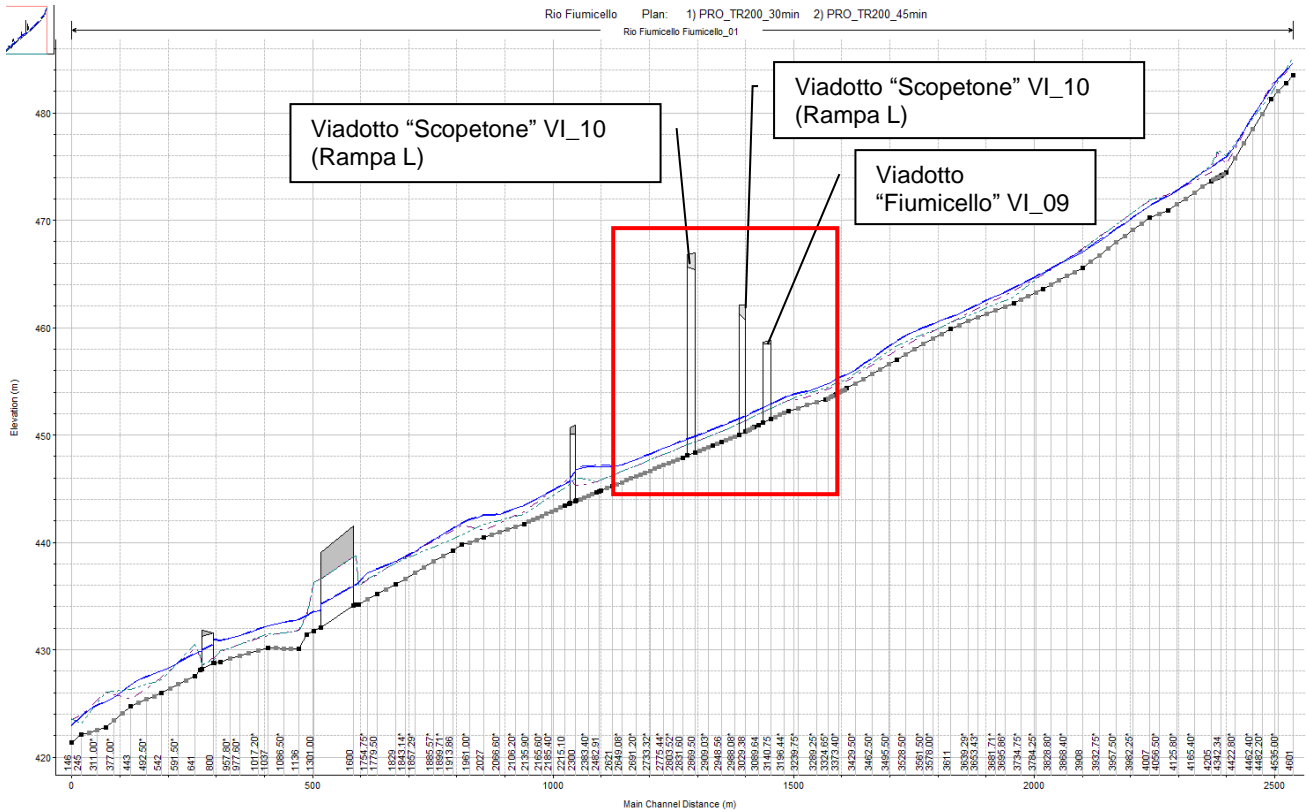
**Figura 4-1: planimetria del modello del Rio Fiumicello – STATO DI PROGETTO TR200 – su base DTM**

PROGETTAZIONE ATI:



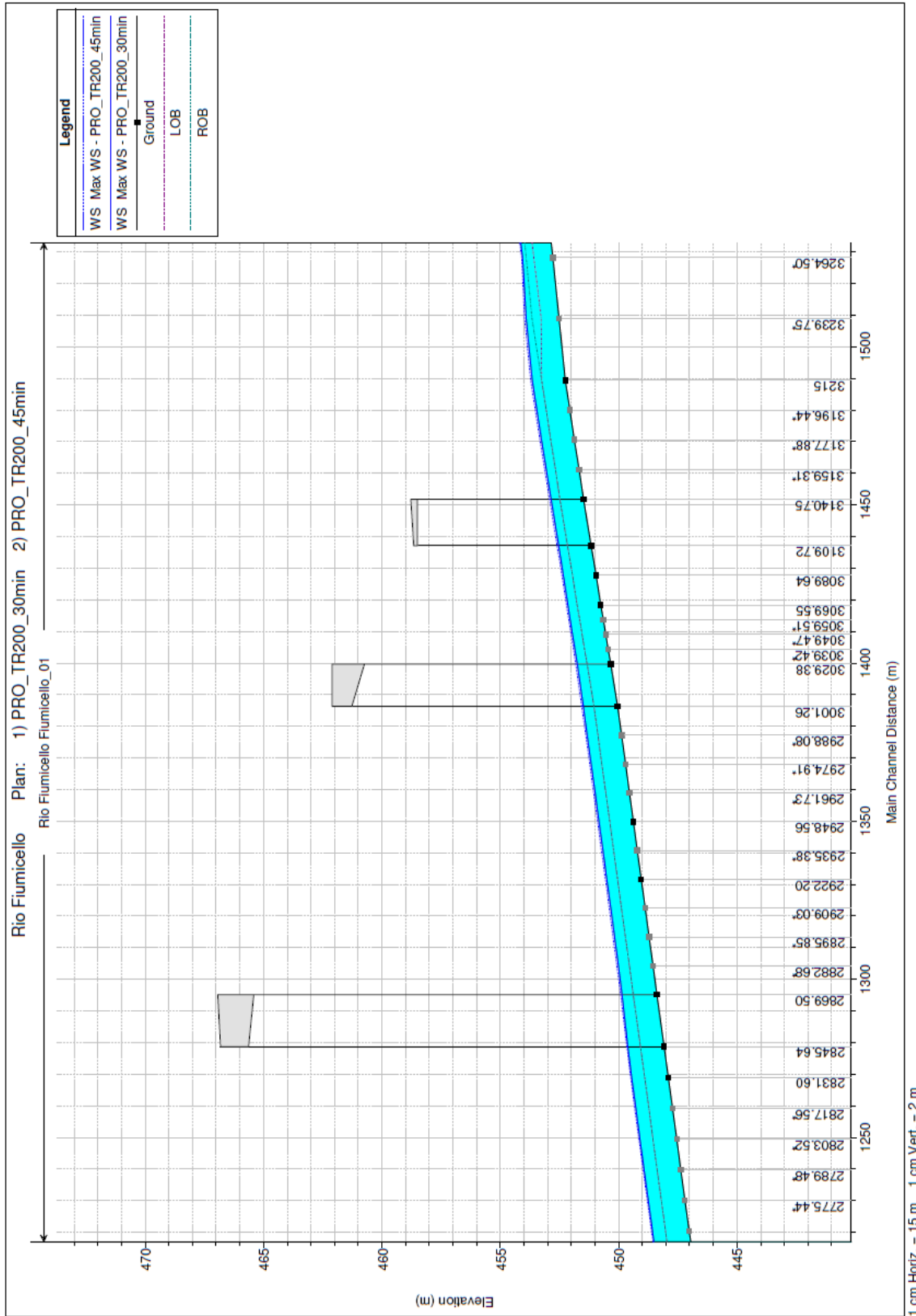


**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MAGGIORI (VIADOTTI)**



**Figura 4-3: profilo longitudinale Rio Fiumicello – STATO DI PROGETTO TR200 - durate di pioggia 30 e 45 min**

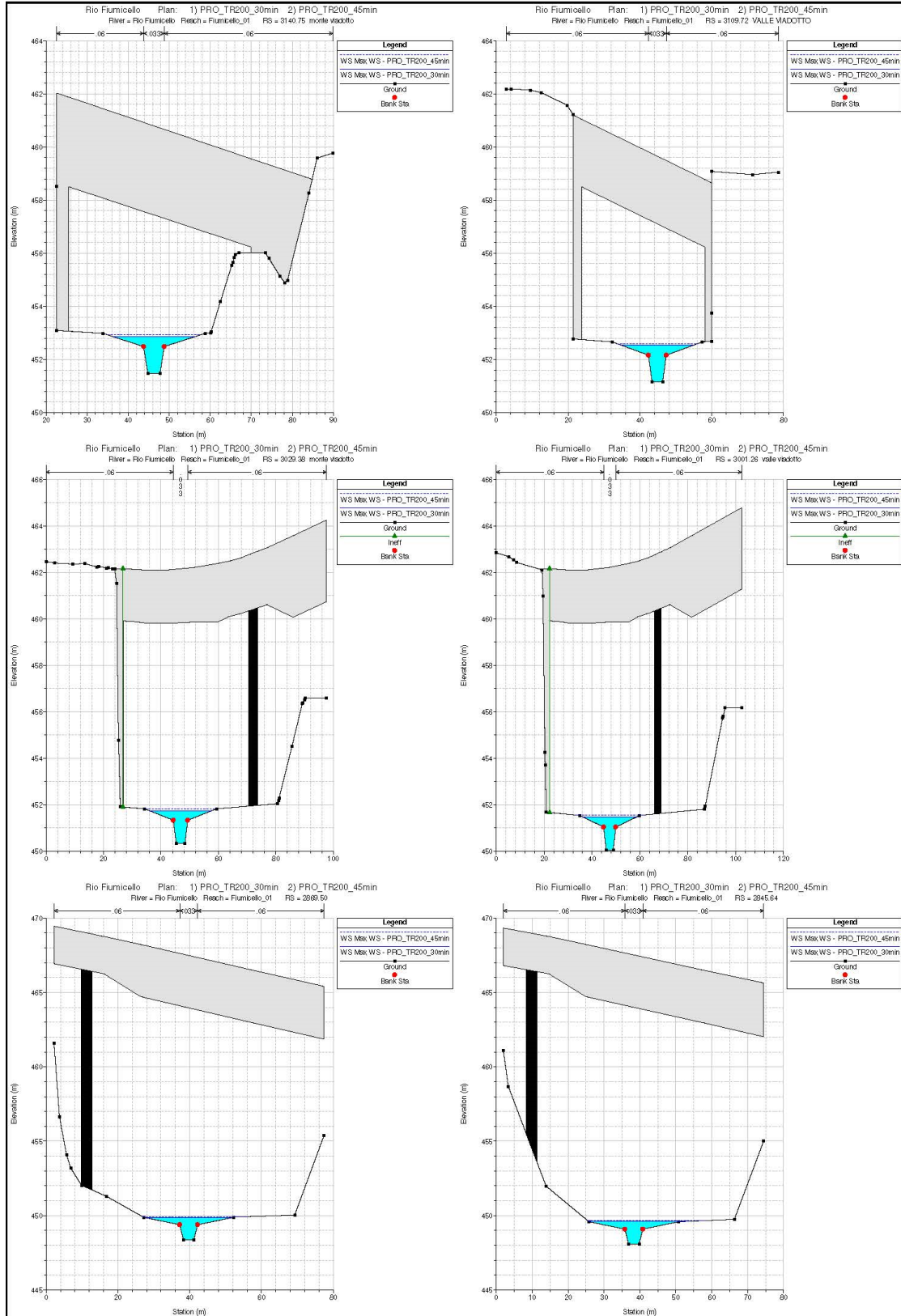
PROGETTAZIONE ATI:



PROGETTAZIONE ATI:



**RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MAGGIORI (VIADOTTI)**



PROGETTAZIONE ATI:

Nella tabella seguente si riportano gli outputs numerici di dettaglio relativi al tratto di Rio Fiumicello che sarà interessato dalla realizzazione dei nuovi viadotti e dagli interventi di modificazione e rivestimento antiersosivo del corso d'acqua.

Per gli outputs grafici e numerici completi delle simulazioni 1D effettuate in regime di moto vario con il software Hec-Ras si rimanda invece all'Appendice 1 dell'elaborato T01 ID 00 IDR RE 03.

**Tabella 4-1: outputs numerici nel tratto oggetto di analisi per TR=200 anni**

HEC-RAS Locations: User Defined Profile: Max WS

River	Reach	River Sta	Profile	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3140.75	Max WS	PRO_TR200_30min	28.61	451.48	452.85	453.23	453.80	0.021708
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3140.75	Max WS	PRO_TR200_45min	32.33	451.48	452.92	453.28	453.91	0.021753
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3109.72	Max WS	PRO_TR200_30min	28.60	451.16	452.53	452.91	453.48	0.021768
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3109.72	Max WS	PRO_TR200_45min	32.32	451.16	452.60	452.96	453.59	0.021833
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3029.38	Max WS	PRO_TR200_30min	30.19	450.33	451.75	452.12	452.67	0.020580
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3029.38	Max WS	PRO_TR200_45min	33.77	450.33	451.81	452.16	452.76	0.020307
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3001.26	Max WS	PRO_TR200_30min	30.18	450.04	451.49	451.85	452.32	0.018140
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3001.26	Max WS	PRO_TR200_45min	33.76	450.04	451.56	451.89	452.43	0.018259
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	2869.50	Max WS	PRO_TR200_30min	30.14	448.38	449.86	450.17	450.62	0.016428
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	2869.50	Max WS	PRO_TR200_45min	33.73	448.38	449.92	450.22	450.73	0.016863
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	2845.64	Max WS	PRO_TR200_30min	30.14	448.08	449.61	449.87	450.27	0.013836
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	2845.64	Max WS	PRO_TR200_45min	33.72	448.08	449.66	449.92	450.38	0.014618

HEC-RAS Locations: User Defined Profile: Max WS

River	Reach	River Sta	Profile	Plan	Vel Left (m/s)	Vel Chnl (m/s)	Vel Right (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3140.75	Max WS	PRO_TR200_30min	0.80	4.49	0.80	8.68	19.96	1.32
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3140.75	Max WS	PRO_TR200_45min	0.89	4.66	0.89	10.06	22.57	1.34
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3109.72	Max WS	PRO_TR200_30min	0.80	4.49	0.80	8.66	19.95	1.32
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3109.72	Max WS	PRO_TR200_45min	0.89	4.66	0.89	10.04	22.55	1.34
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3029.38	Max WS	PRO_TR200_30min	0.84	4.48	0.84	9.58	21.71	1.30
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3029.38	Max WS	PRO_TR200_45min	0.92	4.60	0.92	11.06	24.28	1.30
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3001.26	Max WS	PRO_TR200_30min	0.83	4.28	0.83	10.34	23.07	1.22
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	3001.26	Max WS	PRO_TR200_45min	0.84	4.44	0.84	11.94	28.35	1.24
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	2869.50	Max WS	PRO_TR200_30min	0.82	4.13	0.82	10.96	24.12	1.17
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	2869.50	Max WS	PRO_TR200_45min	0.92	4.31	0.78	12.48	28.93	1.19
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	2845.64	Max WS	PRO_TR200_30min	0.83	3.89	0.72	12.24	27.80	1.08
Rio Fiumicello	Fiumicello_01	2845.64	Max WS	PRO_TR200_45min	0.93	4.09	0.70	13.71	32.73	1.11

#### 4. VERIFICA DELLA STABILITÀ DELLA SCOGLIERA

Rimandando agli elaborati grafici specifici T01 ID 00 IDR DI 01 e T01 ID 00 IDR DI 02 per ulteriori dettagli, il progetto prevede la locale deviazione con conseguente riprofilatura dell'alveo del Rio Fiumicello nel tratto compreso tra le sezioni 3215 (H05-A015) e 2423 (H05-A023), per una lunghezza complessiva pari a circa 400 m. Al fine di conferire stabilità nel tempo al nuovo alveo inciso contrastando l'insorgenza di fenomeni erosivi, è stata prevista la messa in opera di scogliere in massi naturali (intasate con materiale arido) a protezione del fondo e delle sponde (vedi sezione tipo nella figura seguente).

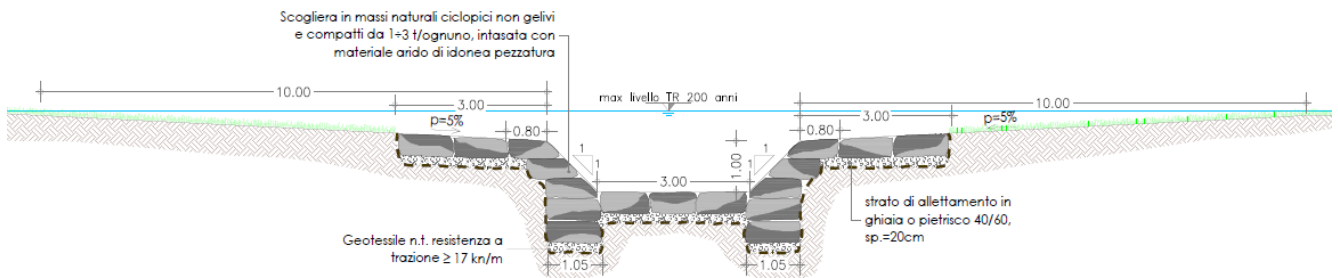


Figura 4-1: Sezione tipo del nuovo inalveamento

La verifica di stabilità dei massi costituenti la scogliera di rivestimento è stata condotta mediante l'applicazione del criterio di Shields, nell'ipotesi che le caratteristiche idrauliche (altezza del pelo libero, raggio idraulico, resistenze al moto) e meccaniche (azioni tangenziali di trascinamento) effettivamente presenti nel tratto soggetto a verifica non si discostino sensibilmente da quelle che si possono ottenere considerando il regime di moto uniforme che ivi si instaurerebbe nelle medesime condizioni di pendenza, portata e sezione trasversale (Figura 4-2).

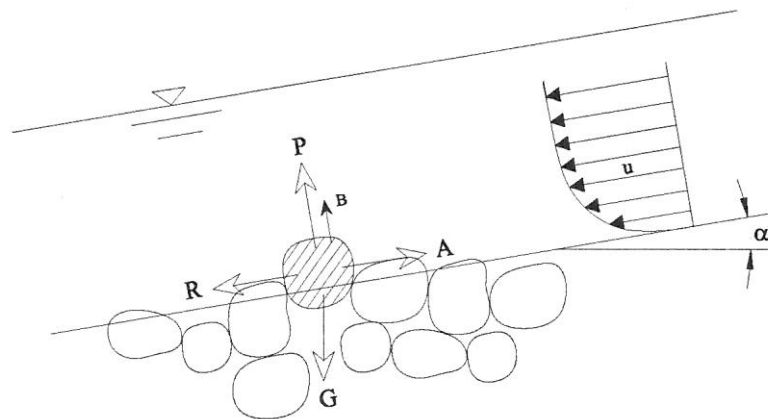


Figura 4-2: schema delle forze agenti su una particella giacente sull'alveo di un corso d'acqua con fondo inclinato (Armanini)

Shields ha ricavato sperimentalmente, e rappresentato nel diagramma di Figura 4-3), la relazione tra il numero di Reynolds del grano, in ascissa, e il parametro di mobilità di Shields,  $\theta_c$ , in ordinata, relativamente all'ipotesi di particelle omogenee, non coesive, su fondo orizzontale e alla ulteriore



ipotesi di scabrezza relativa sufficientemente piccola (dimensione dei grani piccola rispetto al tirante idrico).

Il numero di Reynolds del grano è definito dalla seguente relazione:

$$Re_* = \frac{du_*}{\nu}$$

dove  $d$  = dimensione caratteristica delle particelle solide;

$$u_* = \sqrt{\tau_0/\rho} = \text{velocità di attrito};$$

$\tau$  = sforzo tangenziale;

$\rho$  = densità dell'acqua;

$\nu = \mu/\rho$  = viscosità cinematica dell'acqua.

Il parametro di mobilità di Shields è invece definito dalla seguente relazione:

$$\theta_c = \frac{u_*^2}{g\Delta d}$$

dove  $g$  = accelerazione di gravità;

$\Delta = \frac{\rho_s - \rho}{\rho}$  = densità relativa del grano immerso.

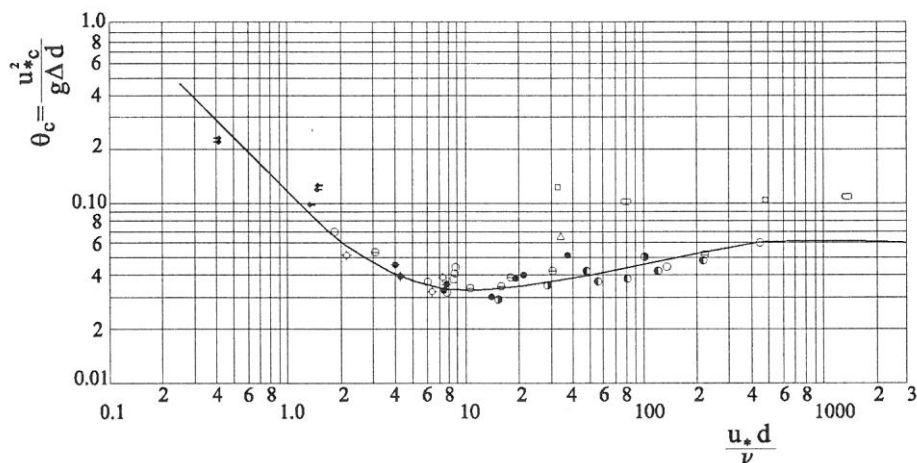


Figura 4-3: Diagramma di Shields

PROGETTAZIONE ATI:

La curva di Figura 4-3, denominata funzione  $f_S$ , separa la zona di mobilità delle particelle da quella di immobilità: per i punti che giacciono sotto la curva ( $\theta \leq \theta_c$ ) il moto dell'acqua non è in grado di provocare il moto delle particelle, mentre i punti che giacciono al di sopra della curva rappresentano condizioni di movimento dei sedimenti.

Il diagramma di Shields mostra che per  $Re_* > 200$ , come nel nostro caso,  $\theta_c \cong 0.06$ .

La verifica di stabilità del rivestimento è stata inoltre implementata tenendo in conto i fattori correttivi derivanti dalla pendenza delle sponde, dalla pendenza del fondo e dalla bassa sommergenza (Armanini<sup>2</sup>).

L'effetto della pendenza del fondo di un angolo  $\alpha$  (Figura 4-2) si esplica nella correzione della funzione  $f_S$  mediante il fattore  $\left(\cos \alpha - \frac{\rho_s \sin \alpha}{\rho_s - \rho \tan \varphi}\right)$ , dove  $\varphi$  = angolo di attrito del materiale di cui è costituito il fondo.

L'effetto dell'inclinazione trasversale delle sponde di un angolo  $\alpha_t$  (anch'esso misurato rispetto all'orizzontale) si esplica invece nella correzione della funzione  $f_S$  mediante il fattore  $\sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha_t}{\sin^2 \varphi}}$ .

L'effetto di bassa sommergenza relativa, che si ha quando è piccolo il rapporto  $h/d$  tra tirante idrico e dimensione dei grani, comporta una riduzione della mobilità dei grani a causa della formazione, in prossimità del fondo alveo, di uno strato di mescolamento dominato dalle scie create dagli elementi di scabrezza: in tal caso il fattore correttivo risulta  $\left(1 + 0.67 \left(\frac{d}{h}\right)^{0.5}\right)$ .

Nella fattispecie, dove la scarpa delle sponde risulta pari a 1 su 1 e dove è ragionevole adottare un angolo di attrito interno del materiale lapideo costituito dai massi di rivestimento pari a 47°, nelle condizioni di piena predette, sulle sponde il minimo diametro stabile risulterebbe pari a 75 cm considerando massi con peso specifico pari a 2.65 t/mc. Detti massi dovranno dunque avere un peso unitario minimo pari a circa 0.6 t.

Nelle medesime condizioni, sempre secondo il criterio di Shields, sul fondo risulterebbero invece stabili massi con diametro equivalente di circa 24 cm, ovvero con peso unitario minimo pari a circa 0.02 t.

Tuttavia, al fine scongiurare eventuali scalzamenti imputabili alla formazione di fenomeni di erosione localizzata con concentrazione di vortici e forti azioni tangenziali, ovvero all'urto di vegetazione flottante trasportata dalla piena, si adottano anche sulla scorta di precedenti favorevoli esperienze, massi ciclopici di roccia non geliva e compatta, silicea o calcarea, di peso pari ad almeno 1 t/ognuno.

<sup>2</sup>Armanini A., "Principi di idraulica fluviale", seconda edizione, Editoriale Bios, Cosenza, 2005

corso d'acqua: **Fiumicello** tronco: **Da sez. 3215 a sez. 2423** sezione: **deviazione con rivest. alveo inciso**

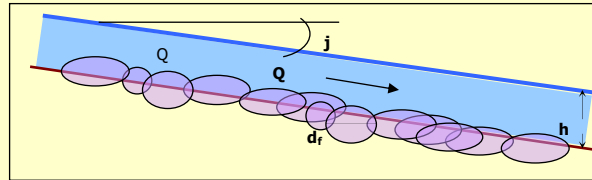
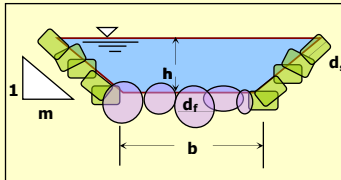
**Calcolo del minimo diametro stabile in alvei trapezi secondo la teoria di Shields (A. Armanini e P. Scotton, 1994)**

dati generali per alvei a forte pendenza										fattori correttivi $\theta_{cr}$			scabrezza		
Portata	Larghezza Fondo	Pendenza motrice	Scarpa	Angolo nat. decl.	Viscosità cinematica	Peso spec. materiale	Peso spec. acqua	Densità relativa	$d_{90}$ di tentativo	Sommerg. (Armanini)	Pendenza fondo	Pendenza scarpa	sulle sponde	al fondo	equivalente
$Q$ [mc/s]	$b$ [m]	$j$ [m/m]	$m$ [-]	$\phi$ [°]	$\nu$ [m <sup>2</sup> /s]	$\gamma_s$ [N/mc]	$\gamma$ [N/mc]	$\Delta$ [-]	$d$ [m]	$C_h$	$C_a$	$C_{sc}$	$K_{sp}$ [m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> ]	$K_s$ [m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> ]	$K_e$ [m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> ]
<b>38</b>	<b>3.00</b>	<b>0.0200</b>	<b>1</b>	<b>47</b>	<b>1.31E-06</b>	<b>25997</b>	<b>9810</b>	<b>1.650</b>	<b>0.080</b>	<b>si</b>	<b>si</b>	<b>si</b>	<b>27.3</b>	<b>39.6</b>	<b>30.6</b>

2.96

caratteristiche di moto uniforme				
Tirante idrico	Area sez. liquida	Perimetro bagnato	Raggio idraulico	Velocità media
$h$ [m]	$A$ [m <sup>2</sup> ]	$P_b$ [m]	$R_i$ [m]	$u$ [m/s]
<b>1.77</b>	<b>8.44</b>	<b>8.01</b>	<b>1.05</b>	<b>4.50</b>

verifica di stabilità al fondo					verifica di stabilità sulle sponde				
Tensione tangenziale	Velocità di attrito	N. Reynolds grano	Param. Shields	D min. stabile	Tensione tangenziale	Velocità di attrito	N. Reynolds grano	Param. Shields	D min. stabile
$\tau_{of}$ [N/m <sup>2</sup> ]	$u_{*f}$ [m/s]	$Re_{f*}$ [-]	$\theta_{cr}$ [-]	$d_f$ [m]	$\tau_{os}$ [N/m <sup>2</sup> ]	$u_{*s}$ [m/s]	$Re_{s*}$ [-]	$\theta_{cas}$ [-]	$d_s$ [m]
<b>259</b>	<b>0.51</b>	<b>9.33E+04</b>	<b>0.066</b>	<b>0.240</b>	<b>207</b>	<b>0.45</b>	<b>2.61E+05</b>	<b>0.017</b>	<b>0.753</b>



	Caratteristiche grano minimo	
	al fondo	alla sponda
$d_{90}$	[m] <b>0.240</b>	[m] <b>0.753</b>
Volume	[dm <sup>3</sup> ] <b>7.269</b>	[dm <sup>3</sup> ] <b>223.508</b>
Peso	[kN] <b>0.1890</b>	[kN] <b>5.8104</b>

PROGETTAZIONE ATI: