



## COMUNE DI CIVATE

Provincia di Lecco

# SISTEMAZIONE IDRAULICA E MESSA IN SICUREZZA DELLA VALLE DELL'ORO A SEGUITO DEGLI EVENTI ALLUVIONALI DEL LUGLIO 2009

## INTERVENTI RELATIVI AL PONTE SUL TORRENTE TOSCIO IN VIA PAPA GIOVANNI XXIII

### PROGETTO ESECUTIVO

**B.1**

RELAZIONE SPECIALISTICA: IDROLOGICO IDRAULICA

aggiornamenti			classificazione
n.	data		
			75S10
			scala
			data
			Dicembre 2010

Progettista:

DOTT. ING. MARCO MANNUCCI BENINCASA

Collaboratore:

DOTT. ING. ELENA LOPATRIELLO

Grafica:

GEOM. MARCO OLTOLINI



**BMB INGEGNERIA S.R.L.**

Sede Legale: Via Robecco, 82 - 20092 Cinisello Balsamo (MI)  
Tel. +39 02 66014751 - Fax +39 02 66014342  
studio@bmbingegneria.net  
www.bmbingegneria.net

Codice Fiscale 04780760965  
Partita IVA 04780760965  
R.E.A. MI1910276  
Iscriz. C.C.I.A.A. n° 04780760965

Consulenza geologica e indagini geotecniche:

**Dott. Geol. Egidio De Maron**

Sede ufficio: C.so Martiri della Liberazione n. 152/c - 23900 LECCO  
Tel. / Fax 0341.281958 - 338.4727106  
egidio.demaron@fastwebnet.it

Partita IVA 02150330138

## **INDICE**

<b>1</b>	<b>STUDIO IDROLOGICO .....</b>	<b>3</b>
1.1	STUDIO IDROLOGICO DELLE PIOGGE INTENSE.....	3
1.2	CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DEL BACINO DI DRENAGGIO .....	5
1.3	CALCOLO DELLE PORTATE METEORICHE.....	6
<b>2</b>	<b>CALCOLO DEI PROFILI IDRAULICI IN MOTO PERMANENTE .....</b>	<b>9</b>
2.1	DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO .....	9
2.1.1	<i>Equazioni per il calcolo del profilo idraulico.....</i>	<i>10</i>
2.1.2	<i>Calcolo della profondità di stato critico.....</i>	<i>13</i>
2.1.3	<i>Calcoli idraulici per sezioni con singolarità.....</i>	<i>13</i>
2.2	MODALITÀ DI DEFLUSSO DELLA PIENA.....	16
2.3	PROFILI DI MOTO PERMANENTE – VERIFICA DELLO STATO DI FATTO .....	19
2.3.1	<i>Valle dell'Oro .....</i>	<i>19</i>
2.3.2	<i>Ponte su via Papa Giovanni XXIII.....</i>	<i>23</i>
<b>3</b>	<b>GENERALITÀ SUL TRASPORTO SOLIDO .....</b>	<b>26</b>
3.1	TIPI DI TRASPORTO .....	26
3.2	CRITERI DI MOTO INCIPIENTE PER UNA CORRENTE TORBIDA IN MOTO UNIFORME.....	27
<b>4</b>	<b>OPERE IN PROGETTO .....</b>	<b>28</b>
4.1	SISTEMAZIONE IDRAULICA DELLA VALLE DELL'ORO .....	28
4.1.1	<i>Risagomatura dell'alveo .....</i>	<i>28</i>
4.1.2	<i>Dimensionamento delle sponde.....</i>	<i>35</i>
4.2	INTERVENTI RELATIVI AL PONTE IN VIA PAPA GIOVANNI XXIII .....	37
4.2.1	<i>Risagomatura dell'alveo e dimensionamento nuovo ponte stradale.....</i>	<i>37</i>
4.2.2	<i>Dimensionamento delle sponde.....</i>	<i>43</i>



## **1 STUDIO IDROLOGICO**

### **1.1 STUDIO IDROLOGICO DELLE PIOGGE INTENSE**

Una delle ipotesi fondamentali che sta alla base del dimensionamento di opere soggette ad eventi idrologici, è che le portate massime e le onde di piena critiche, aventi un certo tempo di ritorno  $T$ , siano originate da una precipitazione avente lo stesso tempo di ritorno.

Partendo da questa ipotesi, è necessario determinare la curva di possibilità climatica, ovvero l'espressione che, per un preassegnato tempo di ritorno  $T$ , fornisce per ogni durata di pioggia la massima altezza di precipitazione che può verificarsi e che viene superata una volta ogni  $T$  anni.

A tale proposito, si fa generalmente riferimento ad un'espressione algebrica monomia del tipo:

$$h = a \cdot t^n$$

in cui  $h$  è l'altezza di pioggia espressa in millimetri,  $t$  è la corrispondente durata in ore,  $a$  ed  $n$  sono due coefficienti che definiscono la curva risultante.

Per giungere all'espressione della curva di possibilità climatica è necessario elaborare con metodi statistici i dati storici raccolti nelle stazioni pluviografiche, in particolar modo quelli corrispondenti ai massimi eventi piovosi che si verificano annualmente in corrispondenza di durate assegnate.

Nel caso in esame per la determinazione delle curve di possibilità climatica sono stati presi in esame i dati delle piogge intense delle stazioni pluviometriche della zona del ramo di Lecco del lago di Como.

Il legame tra l'altezza di precipitazione massima, la relativa durata e la funzione con cui tale altezza può verificarsi è stato determinato applicando ad ogni campione le metodologie statistiche relative agli eventi rari, quali appunto i massimi annuali di pioggia.

Tra le diverse leggi probabilistiche, si è verificata l'applicabilità di quella asintotica del massimo valore o distribuzione di Gumbel che ha espressione:

$$P(h) = \exp(-\exp(-\alpha(\bar{h} - \mu)))$$

in cui  $h$  è la massima altezza di pioggia,  $P$  è la probabilità con cui  $h$  può verificarsi,  $\alpha$  e  $\mu$  sono i parametri che caratterizzano la distribuzione, legati alla media  $\bar{h}$  ed allo scarto quadratico medio  $\bar{S}$  dalle relazioni:

$$\alpha = \frac{1,283}{S}$$

$$\mu = \bar{h} - \frac{0,5772}{\alpha}$$

Introducendo la variabile ridotta

$$y = \alpha(h - \mu)$$

l'espressione della probabilità diventa:

$$P(h) = \exp(-\exp(-y))$$

ed essendo il tempo di ritorno  $T$  legato alla probabilità dalla relazione

$$T = \frac{1}{1-P}$$

è possibile, noti i parametri  $\alpha$  e  $\mu$  della distribuzione, ricavare il valore di  $h$  per un preassegnato valore di  $T$ :

$$h = \mu - \frac{1}{\alpha} \ln \left[ -\ln \left( \frac{T-1}{T} \right) \right]$$

Per ottenere le equazioni delle curve di possibilità climatica individuate le coppie di valori  $t$  e  $h$  relative a ciascun tempo di ritorno considerato, occorre valutare le corrispondenti coppie  $\log t$  e  $\log h$  e procedere all'interpolazione delle stesse effettuando una regressione lineare della variabile  $\log h$  sulla variabile  $\log t$  individuando così i parametri  $a$  ed  $n$  delle curve di possibilità climatica.

Nel presente caso sono state considerate le sole piogge con durata inferiore all'ora poiché sono quelle con maggiore intensità. I dati sono stati interpolati con il metodo dei minimi quadrati valutando il coefficiente di correzione  $r$  ed i parametri  $a$  ed  $n$ .

Le curve di possibilità climatica determinate per i tempi di ritorno  $T$  di 100 e 200 anni, corrispondenti rispettivamente alla portata di progetto e quella di verifica, nel Comune di Civate risultano (da elaborazioni ETATEC già utilizzate nel progetto di "Interventi di sistemazione idraulica - Rio Torto ed affluenti nei comuni di Civate e Valmadrera):

$$T_r = 100 \text{ anni} \quad h_T(t) = 64.76 \cdot t^{0.33}$$

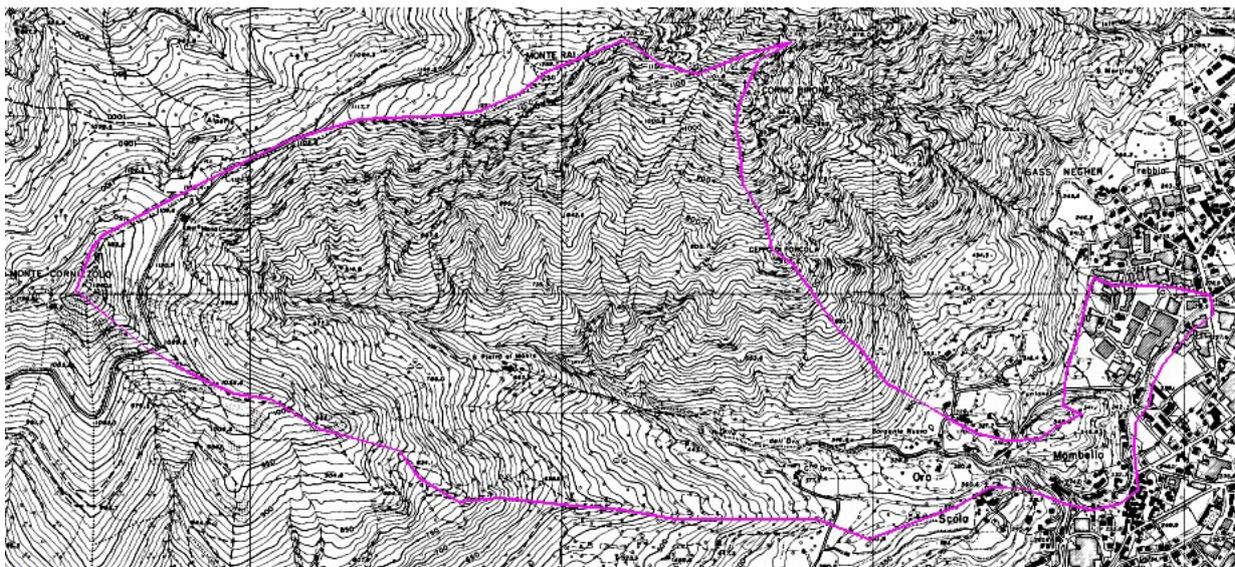
$$T_r = 200 \text{ anni} \quad h_T(t) = 70.24 \cdot t^{0.33}$$

## 1.2 CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DEL BACINO DI DRENAGGIO

### Ponte su via Papa Giovanni XXIII

Il bacino idrografico di riferimento, relativo alla sezione di chiusura del ponte su via Papa Giovanni XXIII, è rappresentato nella seguente immagine:

Figura 1.1 – Bacino idrografico di riferimento per la sezione di chiusura del ponte su via Papa Giovanni XXIII



I suoi parametri caratteristici sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 1.1 – Caratteristiche del bacino idrografico di riferimento.

Superficie (km <sup>2</sup> )	L asta principale (km)	H sezione chiusura (m s.l.m.)
2.9	4.2	225

Il suo tempo di corrivazione, stimato con la formula di Giandotti:

$$t_c \text{ (ore)} = (4 * S^{0.5} + 1.5L) / (0.8 * H^{0.5})$$

ove:

S (km<sup>2</sup>) è l'area della superficie del bacino considerato,

L (km) è la lunghezza dell'asta principale,

H (m) è l'altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura;

è risultato pari a 45 minuti.

### 1.3 CALCOLO DELLE PORTATE METEORICHE

La valutazione delle portate di piena, elaborata secondo la procedura seguita ETATEC, è stata realizzata utilizzando un modello che simula la risposta del bacino rappresentato da 3 serbatoi lineari posti in serie (modello tipo Nash) di costante temporale  $k$  pari a  $0,25 T_0$ , essendo  $T_0$  il tempo di corrivazione del bacino.

La risposta impulsiva del modello è data dall'espressione:

$$IUH(t) = \frac{1}{k - g(n-1)} \left[ \frac{t}{k} \right]^{n-1} e^{-t/k}$$

dove  $g$  è la funzione Gamma incompleta che, per  $n$  intero (numero dei serbatoi) si riduce a  $(n-1)!$ .

Per quanto riguarda le perdite per infiltrazione è stato adottato un modello di depurazione delle piogge del tipo Curve Number proposto dal Soil Conservation Service (CN-SCS) applicato ad uno ietogramma standard di tipo Chicago.

Tale procedura consente di calcolare il volume defluito sulla base dell'espressione:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia + S)}$$

dove  $Q$  (mm) è il volume complessivamente defluito durante l'evento,  $P$  (mm) è il volume affluito,  $S$  (mm) è la capacità di immagazzinamento del terreno, cioè il volume invasabile nello stesso a saturazione ed  $Ia$  (mm) rappresenta la quota parte del volume affluito che viene sottratto con vari meccanismi al processo di deflusso. La determinazione di  $S$  viene effettuata sulla base della relazione:

$$S = 25400 / CN - 254$$

che la riconduce a quella del cosiddetto indice CN (Curve Number), il cui valore è compreso tra 0 e 100 e tabulato nella letteratura tecnica. Per quanto attiene il parametro  $Ia$  (Initial abstraction o depurazione iniziale) si è posto  $Ia = 2 \div 3$  mm concordemente con lo studio ETATEC.

Per quanto riguarda le precipitazioni introdotte nel modello, si sono adottati i valori deducibili dalle curve di probabilità pluviometrica per il tempo di ritorno considerato definendone un

andamento temporale tipo Chicago. Si è assunta la durata  $T_b \geq 6$  ore e la posizione del picco di intensità pluviometrica in corrispondenza della metà della pioggia.

Lo ietogramma così ottenuto è stato ragguagliato all'area del bacino.

Per il calcolo dell'idrogramma di piena centennale si è sviluppato l'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = \int_0^t h(t-t)i(t)dt$$

nel quale l'espressione  $h(t-\tau)$  è l'idrogramma unitario istantaneo IUH (t) convoluto alla precipitazione di progetto  $i(\tau)$ .

Le portate così ottenute, alla sezione di chiusura del ponte su via Papa Giovanni XXIII, sono pari a:

$$Q_{100} = 36 \text{ mc/s}$$

$$Q_{200} = 39 \text{ mc/s}$$

### **Valle dell'Oro**

Per le verifiche idrauliche sul tratto montano del torrente, il cui bacino di riferimento è riportato nell'immagine seguente, il calcolo delle portate è stato effettuato utilizzando l'ipotesi di similitudine idrologica tramite la valutazione del coefficiente udometrico (portata per unità di superficie del bacino).

Figura 1.2 – Bacino idrografico di riferimento per il tratto in esame in Valle dell'Oro

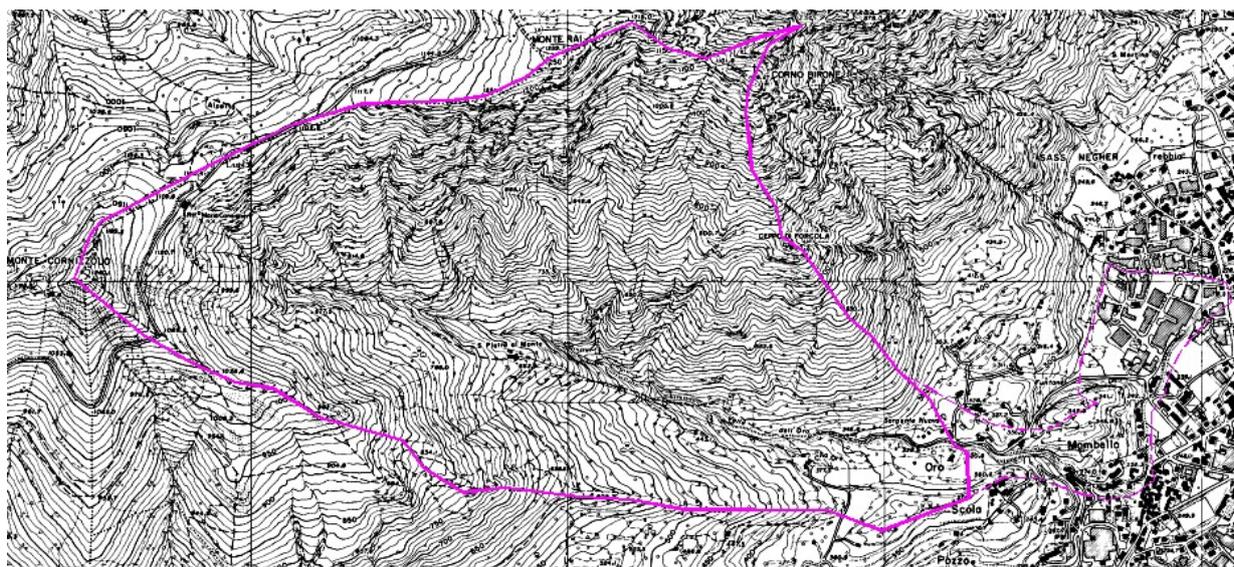


Tabella 1.2 – Caratteristiche del bacino idrografico di riferimento.

Superficie (km <sup>2</sup> )	L asta principale (km)	H sezione chiusura (m s.l.m.)
-------------------------------	------------------------	-------------------------------

2.6	2.8	317
-----	-----	-----

Esso è risultato, sulla base dei dati sopra riportati, pari a :

$$u_{100} = Q_{100}/S = 36/2.9 = 12.41 \text{ mc/s/kmq}$$

$$u_{200} = Q_{200}/S = 39/2.9 = 13.45 \text{ mc/s/kmq}$$

Le portate di progetto per il bacino relativo alla sola Valle dell'Oro sono pertanto:

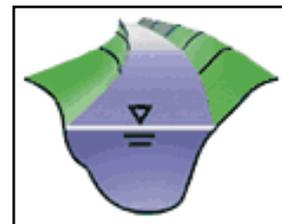
$$Q_{100} = u_{100} \cdot S = 12.41 \cdot 2.6 = \mathbf{32 \text{ mc/s}}$$

$$Q_{200} = u_{200} \cdot S = 13.45 \cdot 2.6 = \mathbf{35 \text{ mc/s}}$$

## 2 CALCOLO DEI PROFILI IDRAULICI IN MOTO PERMANENTE

### 2.1 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO

La valutazione della sufficienza idraulica è stata condotta mediante l'ausilio di un codice<sup>1</sup> per il calcolo dei profili idraulici in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali (o artificiali), che consente anche la valutazione degli effetti della corrente dovuti all'interazione con ponti, briglie, stramazzi, aree golenali.



In primo luogo occorre fornire le informazioni relative alla geometria del corso d'acqua in un'apposita sezione (denominata *geometric data*), all'interno della quale si devono definire il corso del fiume (denominato *reach*), la geometria delle sezioni (denominata *cross section geometry*), la distanza fra le sezioni (denominata *reach lengths*) e il coefficiente di scabrezza, rappresentativo delle perdite di carico, secondo la formulazione di Manning. In questa sezione sono disponibili altre opzioni, fra le quali la procedura di interpolazione fra una sezione e l'altra (denominata *XS Interpolation*), molto utile quando occorre infittire il numero di sezioni, qualora i rilievi originali siano troppo distanti fra loro; inoltre, è possibile definire la quota delle sponde (denominate *left and right elevations*) e degli argini (denominati *levees*) e inserire nella sezione delle aree dove l'acqua arriva ma non contribuisce al deflusso (denominate *ineffective flow areas*) e delle coperture (denominate *lids*).

Il codice di calcolo permette anche di fornire la geometria dei ponti in una sezione (denominata *bridge and culvert data*) nella quale è possibile definire per ogni ponte l'impalcato (denominato *deck/roadway*), le pile (denominate *piers*), le spalle (denominate *sloping abutments*) e le condizioni di calcolo (denominate *bridge modelling approach*).

Successivamente occorre impostare la sezione relativa alle condizioni di moto (denominata *steady flow data*), definendo la portata di riferimento per le diverse sezioni fluviali e le condizioni al contorno (denominate *boundary conditions*). A questo punto il codice di calcolo è pronto per eseguire i calcoli idraulici nella sezione denominta *steady flow analysis*. I risultati delle computazioni idrauliche sono proposti attraverso tabelle riepilogative (*cross-section table*

---

<sup>1</sup>. HEC-RAS, River Analysis System (versione 4.1.0), sviluppato da U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 609 Second Street, Davis, California, USA.

e *profile table*) e grafici delle sezioni geometriche (*plot cross-section*) e del profilo longitudinale (*plot profile*) e, infine, tramite una visione prospettica tridimensionale del sistema fluviale (*x, y, z perspective plot*).

### 2.1.1 Equazioni per il calcolo del profilo idraulico

L'ipotesi alla base delle formulazioni per la determinazione del profilo idraulico è che il moto dell'acqua nel canale sia uniforme. Questo significa che tutte le grandezze caratterizzanti la corrente (altezza idrica, velocità media nella sezione, portata, ecc.) risultano costanti nel tempo e nello spazio. Sotto questa ipotesi, la pendenza media disponibile  $i_m$ , definita come il rapporto fra la differenza di quota e la distanza fra la sezione di monte e quella di valle, è esattamente pari alla cadente piezometrica  $J$ , che rappresenta le dissipazioni energetiche per unità di lunghezza. La relazione  $i_m = J$  costituisce l'equazione fondamentale del moto uniforme.

La determinazione del profilo teorico in moto permanente è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard Step Method*, basato appunto sull'equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e \quad (2.1)$$

dove  $H_1[m]$  ed  $H_2[m]$  sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato,  $h_f[m]$  sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde mentre  $h_e[m]$  è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare,  $h_f$  dipende principalmente dalla scabrezza del tratto di alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = j_f \cdot L \quad (2.2)$$

con  $j_f$  pendenza motrice nel tratto di lunghezza  $L[m]$ .

Il calcolo di  $j_f$  è effettuabile con diverse formulazioni in funzione della pendenza motrice  $J$  in corrispondenza delle sezioni di inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine  $J$  nella singola sezione è effettuato mediante la:

$$J = \left[ \frac{Q}{K} \right]^2 \quad (2.3)$$

dove  $Q[m^3/s]$  è la portata di calcolo e  $K$  (denominato *conveyance*) rappresenta un parametro di conducibilità, ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \quad (2.4)$$

dove  $A[m^2]$  è l'area della sezione liquida,  $R[m]$  il raggio idraulico e  $n[m^{-1/3} s]$  è il parametro rappresentativo della scabrezza, espresso in termini di coefficiente di Manning.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro  $n$  di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Ai fini del calcolo, si possono assumere valori del coefficiente  $n$  riportati nella tabella seguente a seconda della tipologia d'alveo e di golenale; tali valori sono da intendersi di riferimento<sup>2</sup> e, quindi, in ogni situazione reale vanno adeguatamente soppesati con le condizioni esistenti.

Tabella 2.1 - Valori del parametro di scabrezza per diverse tipologie d'alveo e di area golenale, secondo le principali formulazioni esistenti in letteratura tecnica.

---

<sup>2</sup> Per una trattazione approfondita e un criterio di scelta del coefficiente di scabrezza cfr., ad es., CHOW V.T., *Open channel hydraulics*, McGraw-Hill, NewYork, 1953 e 1979; COWAN W.L., *Estimating Hydraulic Roughness Coefficients*, Agricultural Engineering, Vol. 37, N. 7, 1956; MARCHI E., RUBATTA A., *Meccanica dei fluidi*, UTET, Torino, 1981; DE MARCHI G., *Idraulica*, Vol. I, parte 2<sup>a</sup>, Hoepli, Milano, 1986.

Descrizione del corso d'acqua: alveo e area golenale	n Manning (m <sup>-1/3</sup> ×s)	ks Strickler (m <sup>1/3</sup> ×s <sup>-1</sup> )	m Kutter (m <sup>1/2</sup> )	γ Bazin (m <sup>1/2</sup> )
Tratti montani dei corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione arbustiva-arborea in alveo	0.040÷0.033	25÷30	3.50÷3.00	3.00÷2.30
Corsi d'acqua regolari con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	0.033÷0.028	30÷35	3.00÷2.00	2.30÷1.75
Corsi d'acqua di pianura, con andamento regolare e scarsa presenza di vegetazione	0.028÷0.025	35÷40	2.00÷1.50	1.75÷1.30
Tratti urbanizzati dei corsi d'acqua, con fondo naturale e pareti in massi regolari cementati	0.028÷0.025	35÷40	2.00÷1.50	1.75÷1.30
Corsi d'acqua con fondo e pareti totalmente cementati, in buono stato e privi di manufatti in alveo	0.025÷0.022	40÷45	1.50÷1.35	1.30÷1.00
Tratti tominati perfettamente lisciati e dotati di dispositivi di trattenuta di materiale flottante o di trasporto	0.020÷0.018	50÷55	1.00÷0.75	0.85÷0.60
Aree golenali verdi, caratterizzate da vegetazione regolare e alberi di medie dimensioni	0.050÷0.040	20÷25	≥3.50	≥3.00
Aree golenali a prato, con erba tagliata e assenza di alberi	0.033÷0.025	30÷40	3.00÷1.50	2.30÷1.30
Aree urbane adibite a parcheggio o con strade abbastanza ampie	0.020÷0.018	50÷55	1.00÷0.75	0.85÷0.60

Per il calcolo della scabrezza equivalente  $n_c$  il codice di calcolo utilizza la formula:

$$n_c = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N \left( P_i \cdot n_i^{\frac{3}{2}} \right)}{P} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (2.5)$$

dove  $P[m]$  rappresenta il perimetro bagnato dell'intera sezione,  $P_i$  e  $n_i$  il perimetro bagnato e il coefficiente di Manning della sezione i-esima.

Per rappresentare la macro-scabrezza, in particolare nei tratti urbani dove si possono trovare edifici in prossimità del corso d'acqua, il codice di calcolo permette di inserire dei blocchi (denominati *blocked obstruction*), che sono aree della sezione permanentemente bloccate, le quali diminuiscono l'area della sezione e aggiungono perimetro bagnato quando l'acqua giunge a contatto con esse.

Il termine  $h_e$  dipende, invece, dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni  $i$  e  $i+1$  dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_i \cdot \frac{V_i^2}{2g} - \alpha_{i+1} \cdot \frac{V_{i+1}^2}{2g} \right| \quad (2.6)$$

dove  $\beta$  è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato,  $V_i$  e  $V_{i+1}$  [m/s] sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e  $\alpha_i$  e  $\alpha_{i+1}$  sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

### 2.1.2 Calcolo della profondità di stato critico

Al tirante idrico in condizioni di stato critico corrisponde la massima portata teoricamente smaltibile dalla sezione, indipendentemente dalla natura del fondo e delle pareti, nonché dall'inserimento della sezione stessa in un tronco fluviale. Esso è stato valutato imponendo che il numero di Froude, indicato con  $Fr$ , assuma valore unitario. In termini di portata e per le sezioni in esame, si scrive:

$$Fr = \frac{VA}{\sqrt{A^2 gh_m}} \quad (2.7)$$

dove  $g$  è l'accelerazione di gravità,  $h_m$  il tirante idrico,  $A$  l'area bagnata della sezione, e  $V$  la velocità media della sezione.

### 2.1.3 Calcoli idraulici per sezioni con singolarità

Il codice di calcolo consente la simulazione del deflusso attraverso ponti (*bridge*) e tombature (*culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.). La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalco dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello utilizza il metodo della conservazione della quantità di moto (*Momentum Balance*) che consiste nell'eguagliare la quantità di moto fra la sezione di monte e di valle del manufatto attraverso tre passi successivi:

1) tra sezione esterna di valle (sezione 2) e sezione interna di valle (sezione D):

$$(my)_D + (mq)_D = (my)_2 - (my)_p + (mq)_2 + \frac{F_f - W_x}{\gamma} \quad (2.8)$$

2) tra sezione interna di valle (sezione D) e sezione interna di monte (sezione U):

$$(my)_U + (mq)_U = (my)_D + (mq)_D + \frac{F_f - W_x}{\gamma} \quad (2.9)$$

3) tra sezione interna di monte (sezione U) e sezione esterna di monte (sezione 1):

$$(my)_1 + (mq)_1 = (my)_U + (mq)_U + (my)_p + \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \left( \frac{A_p}{A_1} \right) \cdot (mq)_1 + \frac{F_f - W_x}{\gamma} \quad (2.10)$$

Avendo indicato con:

$my = A \cdot Y =$  prodotto dell'area per la distanza verticale tra il pelo libero e il centro di gravità delle sezioni di deflusso;

$$mq = \frac{Q^2}{g \cdot A};$$

$C_D =$  coefficiente di "drag" variabile in funzione della forma delle pile;

$F_f =$  forza dovuta all'attrito sul fondo e sulle pareti;

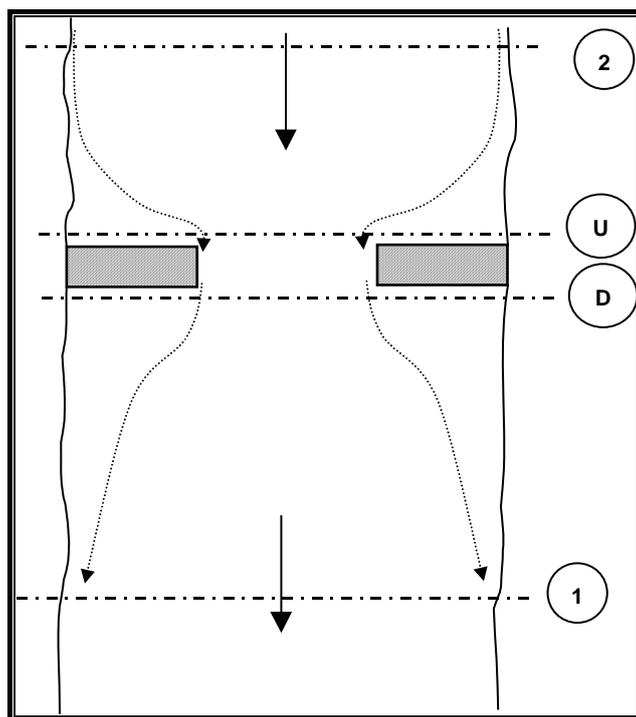
$W_x =$  forza peso nella direzione del flusso;

$\gamma =$  peso specifico dell'acqua;

$p =$  pedice di riferimento della sola sezione bagnata delle pile.

In *Figura 2.1* si riporta lo schema della successione delle sezioni (ordinarie e fittizie) utilizzato per il calcolo del profilo in presenza delle pile di un ponte, dove la freccia indica la direzione del moto e i numeri si riferiscono alle sezioni utilizzate nelle formulazioni viste precedentemente. Le sezioni che delimitano il tronco devono essere scelte in modo che la corrente che le attraversa sia gradualmente variata e, inoltre, tale che la loro distanza sia sufficientemente breve da poter lecitamente trascurare la risultante degli sforzi di attrito.

*Figura 2.1 - Schema della successione delle sezioni utilizzato per il calcolo del profilo in presenza delle pile di un ponte.*



Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2gH} \quad (2.11)$$

dove  $Q[m^3/s]$  è la portata defluita attraverso la luce di area  $A[m^2]$ ,  $H[m]$  è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e  $C$  è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell'utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell'intradosso dell'impalcato.

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad (2.12)$$

dove  $Q[m^3/s]$  è la portata defluita sulla soglia di larghezza  $L[m]$  e  $H[m]$  è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e  $C$  è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalcamento del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazze e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

Nella verifica di sezioni particolari, quali ad esempio le zone di confluenza, dove non sono applicabili le relazioni precedenti, è stato applicato il teorema della quantità di moto.

In particolare, è stato individuato un volume di controllo definito dalla superficie di contorno del tratto in esame in cui è applicabile la relazione:

$$F_s + G = I + M_u - M_e \quad (2.13)$$

dove  $F_s$  è la risultante delle forze di superficie (spinta idrostatica e attrito del fondo e delle pareti) agenti dall'esterno sul volume di controllo,  $G$  è la risultante delle forze di massa (in genere la forza peso),  $I$  la risultante delle inerzie locali,  $M_u$  e  $M_e$  le quantità di moto delle masse che nell'unità di tempo entrano ed escono dal volume di controllo.

## **2.2 MODALITÀ DI DEFLUSSO DELLA PIENA**

La verifica delle condizioni di deflusso della portata di piena è stata dunque svolta simulando il moto permanente gradualmente variato (portata costante e alveo variabile) in alveo schematizzato come monodimensionale.

### **Caratterizzazione geometrica**

Le sezioni battute sono state inserite nel codice di calcolo per verificare le effettive condizioni di funzionamento idraulico del canale, in modo da tener conto dei manufatti esistenti nei tratti in esame: l'esistenza di ponti e singolarità, infatti può modificare anche in maniera sostanziale le altezze idriche calcolate trascurando tali effetti.

L'inserimento delle sezioni, con l'ausilio del rilievo topografico disponibile e sulla base delle informazioni acquisite durante i sopralluoghi, è stato completato dalla precisazione della quota delle sponde (denominate *left and right elevations*) e degli argini (denominati *levees*). Per garantire la stabilità della soluzione calcolata sono state quindi introdotte delle sezioni fittizie, interpolate sulla base di quelle rilevate: tale soluzione è consigliata nel manuale di riferimento

idraulico (*Hydraulic Reference Manual*) nel caso in cui le sezioni battute abbiano distanze elevate. Nel presente caso si è optato per un passo di interpolazione pari a 5-10 m.

Per quanto riguarda il ponte di via Papa Giovanni XXIII, inoltre, ne è stata schematizzata la geometria tramite l'inserimento, nel settore denominato *bridge and culvert data*, dell'impalcato, delle spalle e delle condizioni di calcolo per il tracciamento del profilo di moto nei pressi del manufatto stesso.

### **Parametri idraulici**

Dal punto di vista idraulico, il software Hec-Ras richiede in ingresso i dati della portata e dei valori di scabrezza.

In particolare, le portate di assegnato tempo di ritorno, calcolate come descritto nel capitolo 1, sono state utilizzate come condizione in ingresso a monte del tratto in esame e considerate uniformemente distribuite lungo tutto lo sviluppo del corso d'acqua.

La scelta di un appropriato valore del coefficiente di scabrezza è particolarmente significativa per un'accurata simulazione del profilo di moto. Esprimere in un unico parametro un fenomeno complesso come la resistenza al moto esercitata dalle forme presenti in alveo è certamente difficile e passibile di errori dovuti al grado di soggettività presente nella scelta: la scabrezza viene espressa attraverso il coefficiente di Manning, che è molto variabile e dipende da un elevato numero di fattori quali la rugosità della superficie dell'alveo, la presenza di vegetazione, le irregolarità del canale, la capacità di erosione e deposizione della corrente, la temperatura dell'acqua, la forma e la dimensione del canale, le ostruzioni presenti.

Per quanto riguarda le simulazioni condotte, sono stati adottati i seguenti valori di scabrezza:

Tabella 2.2 – Valori del coefficiente di scabrezza utilizzati nelle simulazioni

<b>Descrizione</b>	<b>n Manning (m<sup>-1/3</sup>xs)</b>
<i>Tratti montani dei corsi d'acqua naturali con salti e rocce in alveo</i>	0.05
<i>Corsi d'acqua naturali con fondo in ghiaia, ciottoli e alcuni trovanti</i>	0.04
<i>Corsi d'acqua naturali con fondo regolare</i>	0.035
<i>Aree spondali inerbite</i>	0.03
<i>Aree spondali con vegetazione irregolare e arbusti di medie dimensioni</i>	0.05
<i>Sponde in massi regolari</i>	0.033
<i>Sponde in cemento</i>	0.017

### **Condizioni al contorno**

Il programma Hec-Ras dispone di quattro differenti opzioni per la definizione delle condizioni al contorno:

1. *Known Water Surface Elevations*: la condizione al contorno corrisponde ad un valore noto d'altezza d'acqua inserito per ciascuno dei profili da calcolare;
2. *Critical Depth*: la condizione al contorno viene posta uguale alla profondità critica che il programma calcola per ciascuno dei profili;
3. *Normal Depth*: la condizione al contorno è uguale alla profondità di moto uniforme che il programma calcola per ciascuno dei profili. In questo caso si deve inserire la pendenza della linea dei carichi totali, che può essere approssimata mediante la pendenza del tratto nel canale a monte;
4. *Rating Curve*: in questo caso occorre inserire una serie di valori noti di altezza d'acqua e delle relative portate. La condizione al contorno, per ciascun profilo, viene ottenuta interpolando le altezze d'acqua della scala di deflusso per il corrispondente valore di portata.

Nel presente caso è stato ipotizzato un regime di moto di tipo misto, con condizioni al contorno dettate dalla pendenza dell'alveo sia monte che a valle (Normal Depth). Tale pendenza è un parametro geometrico, calcolato come:

$$i = i_{media} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

dove

$\Delta x$  = lunghezza del tratto considerato;

$\Delta y$  = dislivello fra la quota più bassa della sezione a monte e quella della sezione a valle.

### **Parametri di calcolo**

Ai fini di una corretta stima delle perdite di carico, che si verificano in seguito al brusco restringimento operato dalle strutture (ponti), occorre inserire degli opportuni valori dei coefficienti di espansione e di contrazione.

Nella seguente Tabella 2.3 vengono riportati i valori consigliati dei suddetti coefficienti nel caso di corrente subcritica dal programma Hec-Ras.

Tabella 2.3 – *Coefficienti di contrazione e espansione per corrente subcritica*

<b>Coefficienti di contrazione e espansione per corrente subcritica</b>		
	<b>Contrazione</b>	<b>Espansione</b>
No transition loss computed	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Typical Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

Nel caso di corrente supercritica i valori di entrambi i coefficienti devono essere scelti con maggiore cautela, per evitare una sovrastima delle perdite per contrazione e/o espansione. In generale, i valori assunti da entrambi i coefficienti devono essere minori.

Nel presente caso, non essendo noto a priori il regime di flusso della corrente, è stato scelto un regime di flusso misto e sono stati imposti i valori del subcritico.

### **2.3 PROFILI DI MOTO PERMANENTE – VERIFICA DELLO STATO DI FATTO**

Si riportano di seguito i risultati ottenuti nelle simulazioni realizzate per i due tratti di interesse in condizioni attuali.

#### **2.3.1 Valle dell'Oro**

Figura 2.2 – Profili idraulici di moto permanente – Valle dell'Oro stato di fatto Tr100 e Tr200

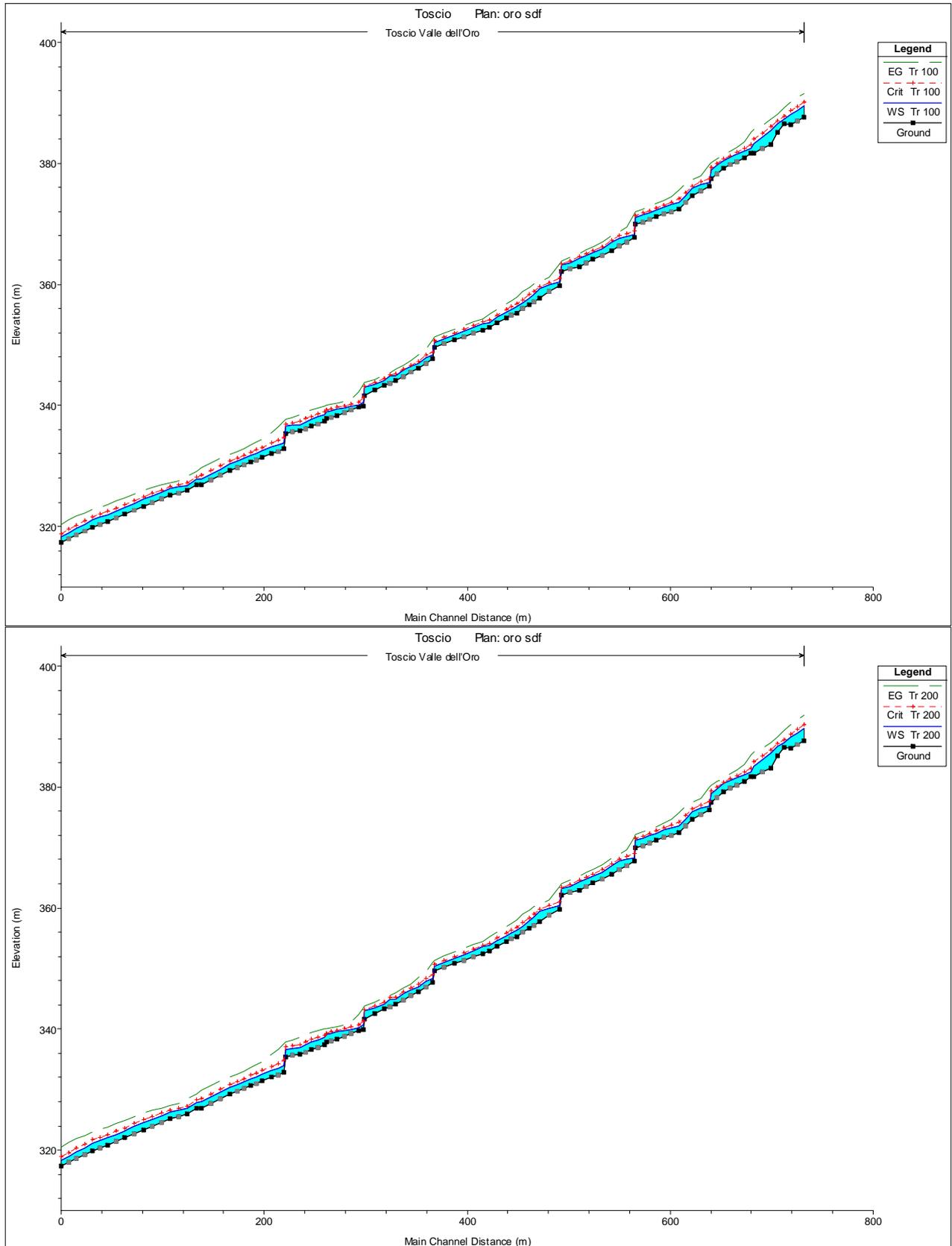


Tabella 2.4 – Simulazione di moto permanente – Valle dell'Oro stato di fatto Tr 100

River Sta	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)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Hydr Rad (m)	Froude
58	32	387.69	389.55	390.15	391.61	0.106101	6.63	5.4	0.7	2.03
57	32	386.38	388.13	388.72	390.13	0.119629	6.3	5.23	0.7	2.01
56	32	386.55	387.28	387.79	389.13	0.155972	6.09	5.38	0.59	2.36
55	32	385.1	386.61	387.07	388.14	0.124354	5.54	5.91	0.61	2.03
54	32	383.17	385.48	386.02	387.25	0.134169	5.95	5.53	0.67	1.85
53	32	381.71	383.29	384.07	385.53	0.076835	7.31	5.46	0.85	1.89
52	32	381.61	382.41	383.04	385.05	0.275132	7.22	4.5	0.51	3.04
51	32	380.83	381.95	382.42	383.58	0.126815	5.68	5.73	0.64	2.13
50	32	379.21	380.5	380.75	381.35	0.082852	4.14	7.94	0.56	1.67
49	32	377.4	378.85	379.26	380.15	0.095531	5.06	6.36	0.71	1.83
48	32	376.22	376.83	377.51	379.77	0.342669	7.59	4.22	0.52	3.14
47	32	374.61	375.83	376.27	377.25	0.063863	5.54	6.45	0.82	1.65
46	32	372.44	373.57	374.12	375.61	0.174741	6.34	5.08	0.63	2.44
45	32	371.2	372.33	372.62	373.33	0.069183	4.49	7.38	0.69	1.6
44	32	369.9	371.1	371.38	372.04	0.058143	4.35	7.64	0.74	1.49
43	32	367.75	368.24	368.91	371.6	0.503523	8.13	3.93	0.43	3.73
42	32	365.55	366.96	367.29	368.1	0.124979	4.75	6.86	0.51	2.02
41	32	364.12	365.25	365.53	366.25	0.060827	4.5	7.36	0.79	1.49
40	32	362.91	364.32	364.57	365.17	0.074225	4.11	7.96	0.6	1.61
39	32	362.16	363.16	363.35	363.86	0.045561	3.83	8.96	0.69	1.32
38	32	359.84	360.38	361	363.42	0.46945	7.72	4.14	0.42	3.64
37	32	357.71	359.35	359.65	360.45	0.052502	4.68	7.05	0.86	1.44
36	32	356.64	357.8	358.33	359.53	0.104747	6.01	5.68	0.72	2.01
35	32	355.3	356.25	356.74	357.95	0.133305	5.89	5.67	0.63	2.21
34	32	354.42	355.41	355.84	356.8	0.087907	5.33	6.35	0.7	1.84
33	32	353.73	354.59	354.99	355.93	0.110821	5.19	6.37	0.61	1.99
32	32	352.84	353.72	354.11	355.04	0.128933	5.1	6.39	0.55	2.08
31	32	352.41	353.59	353.78	354.35	0.046808	3.92	8.41	0.74	1.34
30	32	350.84	351.58	351.89	352.62	0.064136	4.64	7.35	0.55	1.87
29	32	349.56	350.4	350.66	351.25	0.062174	4.08	7.84	0.53	1.71
28	32	347.74	348.36	348.88	350.86	0.301603	6.99	4.57	0.36	3.54
27	32	346.11	346.96	347.33	348.35	0.148317	5.24	6.11	0.4	2.6
26	32	344.17	344.91	345.21	345.96	0.113226	4.53	7.06	0.4	2.25
25	32	343.27	344.09	344.39	345.08	0.094217	4.4	7.28	0.43	2.09
24	32	342.6	343.51	343.75	344.32	0.059204	3.97	8.06	0.53	1.69
23	32	341.64	342.96	343.2	343.79	0.046739	4.05	7.89	0.65	1.48
22	32	339.95	340.6	341.27	343.47	0.260951	7.5	4.27	0.45	3.09
21	32	339.71	340.12	340.59	342.18	0.216054	6.41	5.11	0.38	3.2
20	32	338.36	339.5	339.7	340.32	0.027561	4.14	8.41	0.81	1.32
19	32	337.79	338.98	339.26	339.99	0.02993	4.63	7.73	0.85	1.4
18	32	337.39	338.5	338.93	339.9	0.04297	5.3	6.36	0.76	1.66
17	32	336.56	337.77	338.22	339.26	0.052996	5.61	6.21	0.74	1.82
16	32	335.87	336.83	337.35	338.55	0.06613	6.01	5.81	0.71	2.02
15	32	335.32	336.55	336.92	337.75	0.035918	5.16	7.14	0.81	1.54
14	32	332.86	333.83	334.71	337.42	0.134958	8.4	3.81	0.62	2.87
13	32	332.06	333.09	333.73	335.53	0.125169	7.02	4.79	0.61	2.66
12	32	331.42	332.47	333.02	334.42	0.085064	6.26	5.35	0.66	2.24
11	32	330.6	331.74	332.23	333.45	0.080725	5.87	5.7	0.65	2.16
10	32	329.28	330.3	330.79	331.95	0.067293	5.75	5.83	0.69	2
9	32	326.86	327.92	328.43	329.65	0.085181	5.94	5.75	0.6	2.2
8	32	326.91	327.79	328.19	329.13	0.084762	5.13	6.23	0.59	2.09
7	32	325.94	326.82	327.23	328.27	0.097306	5.36	6.01	0.54	2.26
6	32	325.18	326.23	326.52	327.25	0.036869	4.56	7.44	0.77	1.51
5	32	323.37	324.5	324.94	325.94	0.05346	5.39	6.29	0.74	1.8
4	32	322.11	323.14	323.61	324.74	0.072493	5.67	5.85	0.68	2.04
3	32	320.86	321.96	322.49	323.68	0.057586	6.01	5.91	0.74	1.91
2	32	319.87	321.06	321.58	322.78	0.058178	5.93	5.72	0.77	1.91
1	32	317.32	318.25	318.84	320.36	0.090924	6.46	5.06	0.67	2.31

Tabella 2.5 – Simulazione di moto permanente – Valle dell'Oro stato di fatto Tr 200

River Sta	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)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Hydr Rad (m)	Froude
58	35	387.69	389.6	390.23	391.81	0.106052	6.86	5.74	0.73	2.04
57	35	386.38	388.19	388.8	390.33	0.12036	6.54	5.55	0.73	2.03
56	35	386.55	387.31	387.87	389.31	0.157637	6.32	5.67	0.62	2.39
55	35	385.1	386.64	387.12	388.3	0.129838	5.75	6.24	0.63	2.09
54	35	383.17	385.55	386.12	387.39	0.129798	6.1	5.92	0.7	1.84
53	35	381.71	383.36	384.17	385.72	0.076307	7.52	5.84	0.88	1.9
52	35	381.61	382.45	383.11	385.24	0.268516	7.43	4.78	0.54	3.04
51	35	380.83	381.98	382.49	383.77	0.13053	5.94	6.01	0.66	2.17
50	35	379.21	380.53	380.79	381.45	0.084363	4.31	8.35	0.59	1.7
49	35	377.4	378.9	379.32	380.27	0.094843	5.2	6.79	0.73	1.83
48	35	376.22	376.88	377.59	379.9	0.323438	7.7	4.55	0.56	3.07
47	35	374.61	375.89	376.36	377.41	0.064664	5.75	6.82	0.85	1.67
46	35	372.44	373.61	374.19	375.78	0.175001	6.53	5.39	0.66	2.46
45	35	371.2	372.37	372.69	373.46	0.07016	4.67	7.77	0.72	1.63
44	35	369.9	371.15	371.44	372.15	0.058361	4.51	8.09	0.77	1.51
43	35	367.75	368.28	368.98	371.71	0.467802	8.22	4.26	0.47	3.62
42	35	365.55	367	367.34	368.2	0.122186	4.89	7.29	0.54	2.02
41	35	364.12	365.3	365.6	366.37	0.061786	4.67	7.77	0.82	1.51
40	35	362.91	364.36	364.62	365.28	0.075768	4.29	8.35	0.63	1.64
39	35	362.16	363.2	363.41	363.96	0.046783	3.99	9.43	0.71	1.35
38	35	359.84	360.42	361.07	363.51	0.434101	7.79	4.49	0.45	3.53
37	35	357.71	359.41	359.74	360.58	0.05177	4.83	7.51	0.89	1.44
36	35	356.64	357.85	358.41	359.68	0.102977	6.19	6.07	0.75	2.01
35	35	355.3	356.29	356.82	358.12	0.134115	6.12	5.98	0.66	2.23
34	35	354.42	355.45	355.91	356.94	0.088641	5.53	6.72	0.73	1.86
33	35	353.73	354.62	355.05	356.05	0.110218	5.37	6.76	0.63	2.01
32	35	352.84	353.76	354.16	355.16	0.128957	5.29	6.76	0.57	2.1
31	35	352.41	353.62	353.85	354.47	0.04958	4.13	8.75	0.77	1.39
30	35	350.84	351.61	351.94	352.72	0.063205	4.78	7.82	0.58	1.87
29	35	349.56	350.43	350.71	351.35	0.063693	4.25	8.24	0.55	1.74
28	35	347.74	348.39	348.94	350.95	0.284851	7.09	4.94	0.39	3.47
27	35	346.11	346.98	347.37	348.47	0.150953	5.4	6.48	0.41	2.63
26	35	344.17	344.94	345.26	346.04	0.110914	4.65	7.53	0.42	2.24
25	35	343.27	344.13	344.43	345.14	0.088987	4.46	7.85	0.46	2.05
24	35	342.6	343.55	343.8	344.4	0.058577	4.08	8.58	0.55	1.7
23	35	341.64	343.01	343.26	343.88	0.046019	4.14	8.45	0.68	1.47
22	35	339.95	340.65	341.35	343.57	0.245095	7.57	4.63	0.48	3
21	35	339.71	340.14	340.64	342.35	0.215261	6.64	5.41	0.4	3.22
20	35	338.36	339.56	339.77	340.43	0.027212	4.27	8.95	0.85	1.33
19	35	337.79	339.05	339.34	340.11	0.029094	4.75	8.29	0.89	1.4
18	35	337.39	338.58	339.02	340.02	0.040809	5.4	6.88	0.8	1.64
17	35	336.56	337.82	338.31	339.4	0.052483	5.79	6.62	0.77	1.83
16	35	335.87	336.89	337.43	338.69	0.064695	6.17	6.21	0.74	2.01
15	35	335.32	336.6	337	337.89	0.036712	5.37	7.54	0.84	1.57
14	35	332.86	333.9	334.82	337.56	0.123465	8.48	4.13	0.66	2.78
13	35	332.06	333.13	333.81	335.75	0.126058	7.29	5.05	0.63	2.69
12	35	331.42	332.5	333.1	334.63	0.08738	6.54	5.61	0.69	2.28
11	35	330.6	331.77	332.31	333.63	0.081911	6.11	6	0.68	2.19
10	35	329.28	330.35	330.87	332.11	0.067514	5.96	6.18	0.72	2.02
9	35	326.86	327.96	328.53	329.8	0.085304	6.15	6.11	0.62	2.22
8	35	326.91	327.81	328.25	329.28	0.08808	5.36	6.53	0.61	2.14
7	35	325.94	326.85	327.29	328.41	0.097459	5.56	6.35	0.57	2.28
6	35	325.18	326.28	326.59	327.37	0.036707	4.72	7.89	0.81	1.52
5	35	323.37	324.56	325.02	326.07	0.052403	5.54	6.72	0.78	1.8
4	35	322.11	323.18	323.69	324.89	0.07192	5.86	6.22	0.71	2.05
3	35	320.86	322.01	322.57	323.83	0.057225	6.2	6.29	0.77	1.92
2	35	319.87	321.11	321.67	322.95	0.057857	6.13	6.08	0.8	1.92
1	35	317.32	318.3	318.93	320.55	0.089681	6.67	5.37	0.7	2.32

Da una prima analisi dei risultati è stato possibile rilevare come la sezione dell'alveo nel tratto in esame sia mediamente sufficiente al convogliamento delle portate centenaria e bicentenaria. Date le elevate pendenze però al suo interno si sviluppano notevoli velocità di deflusso (superiori in certi tratti ai 7 m/s), in grado di generare notevole erosione del fondo e delle sponde, con conseguente innesco del trasporto solido. Evidenze di tali fenomeni sono infatti visibili lungo il tracciato del corso d'acqua, dove il passaggio del flusso idrico ha attivato in diversi tratti il franamento delle sponde.

Al fine di contenere l'azione erosiva della corrente è stata pertanto valutata la possibilità di ridurre da un lato la pendenza dell'alveo, in modo da diminuire la velocità di trascinamento, dall'altro di consolidare il letto e le scarpate spondali per limitare la disponibilità di materiale fine, maggiormente soggetto al trasporto.

### 2.3.2 Ponte su via Papa Giovanni XXIII

Figura 2.3 – Profilo idraulico di moto permanente - ponte su via Papa Giovanni XXIII stato di fatto Tr100 e Tr200

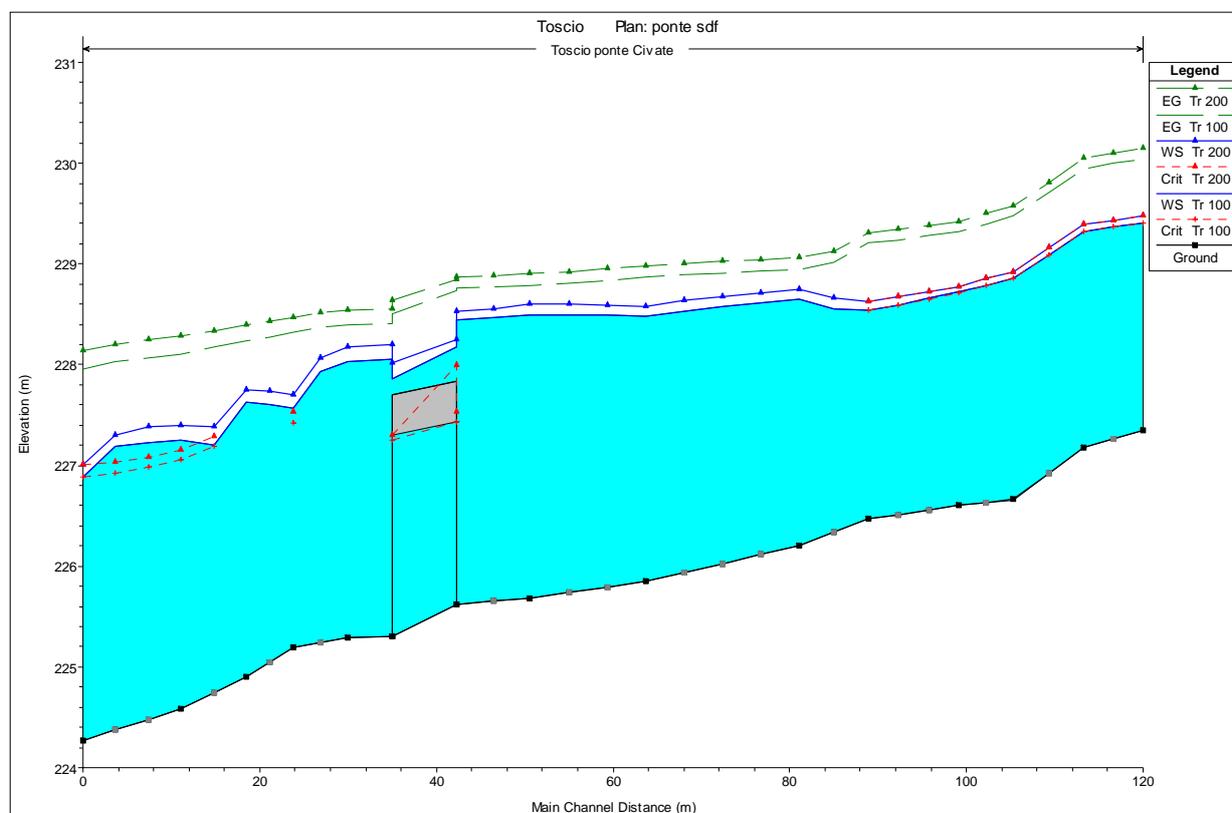


Tabella 2.6 – Simulazione di moto permanente – ponte su via Papa Giovanni XXIII stato di fatto Tr 100

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Hydr Rad	Froude
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
15	36	227.35	229.41	229.41	230.04	0.010191	3.97	10.67	1.09	0.9
14	36	227.18	229.32	229.32	229.94	0.010168	3.92	10.79	1.07	0.89
13	36	226.66	228.85	228.85	229.47	0.009409	3.92	10.91	1.07	0.87
12	36	226.6	228.72	228.71	229.32	0.009247	3.9	11.15	1.06	0.87
11	36	226.47	228.54	228.54	229.21	0.010599	4.15	10.11	1.07	0.93
10	36	226.2	228.65		228.95	0.003716	2.72	15.28	1.34	0.56
9	36	225.85	228.48		228.87	0.004818	3.23	13.7	1.26	0.65
8	36	225.68	228.5		228.78	0.003148	2.77	16.09	1.34	0.53
7	36	225.62	228.44	227.43	228.76	0.002705	2.53	14.8	1.38	0.49
6.5	Bridge									
6	36	225.3	228.06		228.41	0.003418	2.7	14.03	1.31	0.54
5	36	225.29	228.04		228.39	0.003557	2.75	15.23	1.36	0.55
4	36	225.19	227.56	227.43	228.32	0.009466	4.1	10.45	1.19	0.88
3	36	224.9	227.63		228.24	0.006114	3.68	11.84	1.28	0.73
2	36	224.58	227.25	227.05	228.1	0.009619	4.59	10.98	1.29	0.91
1	36	224.27	226.89	226.89	227.96	0.014762	5.61	10.06	1.22	1.13

Tabella 2.7 – Simulazione di moto permanente – ponte su via Papa Giovanni XXIII stato di fatto Tr 200

River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Hydr Rad	Froude
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
15	39	227.35	229.48	229.48	230.15	0.01026	4.07	11.25	1.13	0.91
14	39	227.18	229.39	229.39	230.05	0.010214	4.02	11.4	1.11	0.89
13	39	226.66	228.92	228.92	229.57	0.009507	4.03	11.51	1.11	0.87
12	39	226.6	228.77	228.77	229.41	0.009717	4.06	11.6	1.08	0.89
11	39	226.47	228.62	228.62	229.31	0.010314	4.21	10.79	1.12	0.92
10	39	226.2	228.75		229.06	0.003692	2.79	16.17	1.39	0.56
9	39	225.85	228.58		228.98	0.004713	3.28	14.59	1.32	0.64
8	39	225.68	228.6		228.9	0.003168	2.85	16.98	1.39	0.54
7	39	225.62	228.52	227.53	228.87	0.002854	2.65	15.3	1.41	0.51
6.5	Bridge									
6	39	225.3	228.2		228.56	0.003316	2.75	14.94	1.36	0.54
5	39	225.29	228.17		228.54	0.003475	2.81	16.22	1.42	0.55
4	39	225.19	227.7	227.54	228.47	0.008943	4.15	11.26	1.24	0.86
3	39	224.9	227.75		228.4	0.006099	3.79	12.53	1.32	0.73
2	39	224.58	227.39	227.16	228.28	0.009319	4.68	11.76	1.34	0.9
1	39	224.27	227.01	227.01	228.13	0.014681	5.77	10.68	1.26	1.13

Si riportano inoltre i dettagli relativi alle sezioni in corrispondenza del ponte:

Figura 2.4 – Sezione del ponte su via Papa Giovanni XXIII vista da monte stato di fatto Tr100 e Tr200

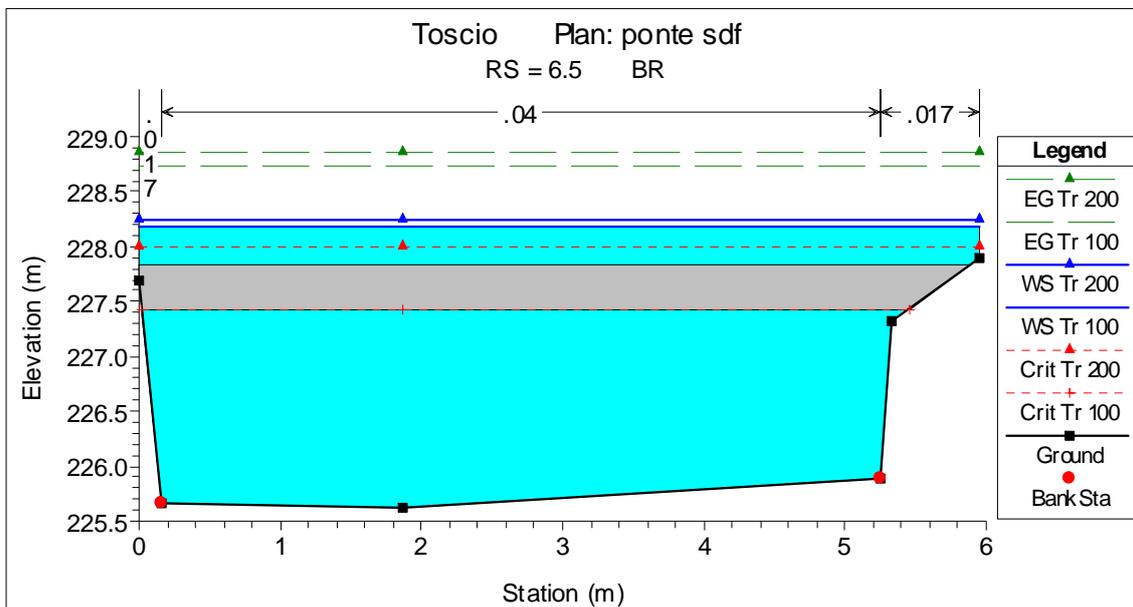
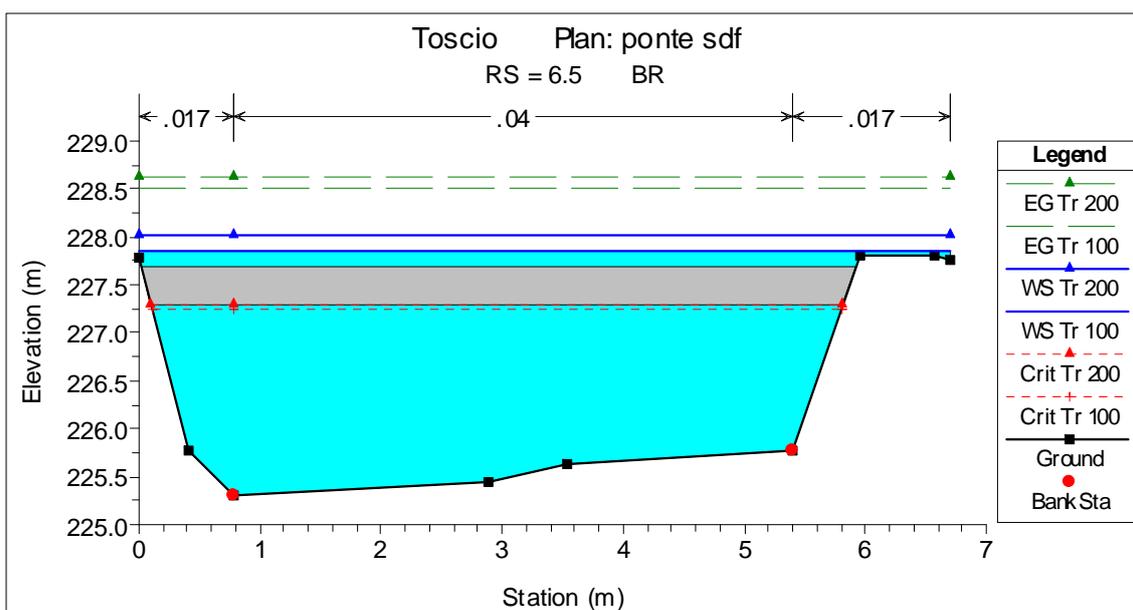


Figura 2.5 – Sezione del ponte su via Papa Giovanni XXIII vista da valle stato di fatto Tr100 e Tr200



I risultati della simulazione mettono in evidenza l'incapacità della sezione idraulica di smaltire le portate di progetto: l'impalcato del ponte viene infatti sormontato dalla corrente, come spesso è accaduto in occasione di eventi meteorici di forte intensità. Il livello idrico raggiunge un'altezza di circa 228.18 m s.l.m. per il tempo di ritorno di 100 anni, e 228.24 per 200 anni, superando di oltre 50 cm la quota dell'intradosso del manufatto.

Si evidenzia dunque la necessità di aumentare la luce utile della sezione.

### **3 GENERALITÀ SUL TRASPORTO SOLIDO**

Le correnti idriche, in relazione ai valori di velocità e ai caratteri della loro turbolenza, sono in grado di trasportare materiali solidi di differente granulometria.

Questo fenomeno fisico, denominato trasporto solido, costituisce il punto di unione tra i fenomeni di erosione che interessano, prevalentemente, la parte montana del bacino e quelli di deposito che si verificano nella zona valliva e alla foce del corso d'acqua.

Il trasporto solido riguarda sia i sedimenti originati dall'erosione dei versanti che quelli provenienti dall'evoluzione naturale del reticolo idrografico (fenomeni di scavo del fondo alveo, di erosione delle sponde etc.) e pertanto il suo studio deve essere posto alla base della scelta degli interventi di sistemazione della rete fluviale e del relativo bacino idrografico. Il materiale che la corrente liquida rimuove dal fondo può essere trasportato, per tratti più o meno lunghi, con balzi, rotolamenti, oppure in sospensione, a seconda del tipo di sedimento (coesivo o non), delle sue proprietà fisiche (dimensione dei grani, forma e densità), della sua velocità di sedimentazione e delle caratteristiche della corrente idrica (velocità, altezza idrica etc.).

#### **3.1 TIPI DI TRASPORTO**

La trattazione teorica e sperimentale del fenomeno del trasporto solido è relativamente recente e riguarda prevalentemente i fenomeni legati a materiali di tipo non coesivo (ghiaie e sabbie).

La corrente di un corso d'acqua dal fondo mobile può avere la capacità di staccare le particelle del fondo e trasportarle a tratti; in particolare, se la concentrazione di sedimenti in soluzione è molto bassa rispetto alla quantità d'acqua, il trasporto solido può avvenire secondo due modalità principali:

- trasporto in sospensione le particelle solide si muovono in seno alla corrente sostenute dalla sua agitazione turbolenta e il materiale trasportato è generalmente quello più fine (argilla, limo e sabbia);
- trasporto al fondo le particelle solide si muovono per rotolamento o strisciamento sul fondo senza abbandonarlo mai ed il materiale trasportato è soprattutto quello più grossolano (ghiaia, blocchi).

Esiste, invero, una terza modalità, denominata per *saltazione* o per *saltellamento*, in cui le particelle procedono a tratti successivi ricadendo sul fondo dopo averlo abbandonato.

### **3.2 CRITERI DI MOTO INCIPIENTE PER UNA CORRENTE TORBIDA IN MOTO UNIFORME**

Lo studio del trasporto solido per trascinamento al fondo prende le mosse dall'analisi della condizione di inizio del moto delle particelle solide. Per definire la situazione di *equilibrio limite*, denominata di *moto incipiente*, si può fare ricorso a equazioni in cui figura o la velocità, o la portata, o la tensione critica di trascinamento.

La condizione di moto incipiente è definita quindi tramite un'equazione in cui compaiono, oltre alle caratteristiche fisiche e geometriche del materiale trasportato, anche i valori critici delle variabili del moto.

Per il caso in esame si è utilizzata la formula ricavata da Butera e Sordo:

$$V_c = 7.04 h^{0.05} d^{0.45} \quad (3.1)$$

in cui  $h$  è il tirante idrico e  $d$  il diametro caratteristico del materiale di fondo alveo, che esprime il valore medio della velocità per cui si ha inizio del trasporto.

Tale espressione risulta valida per alvei costituiti da materiale incoerente in condizioni di moto puramente turbolento ed in presenza di macroscabrezza, che si verifica per valori di sommergenza relativa compresi  $1 \leq h/d < 6$ .

## **4 OPERE IN PROGETTO**

### **4.1 SISTEMAZIONE IDRAULICA DELLA VALLE DELL'ORO**

Sulla base delle evidenze di calcolo sopra descritte si è proceduto alla valutazione delle possibili soluzioni di intervento compatibilmente con le condizioni di sito.

Per ridurre la velocità della corrente corrispondente alla piena di progetto, all'interno di un intervento di riprofilatura generale del fondo alveo, si è prevista la costruzione di 5 briglie in massi di altezza media pari a 2 m, e la creazione di un bacino di calma in corrispondenza dell'attuale barra di accumulo, realizzabile tramite l'asportazione della stessa.

Tali interventi saranno completati da una risagomatura delle sezioni, che saranno rese più larghe e regolari (assumendo forma trapezia) tramite un livellamento del fondo, realizzato in materiale di classatura uniforme proveniente dallo stesso alveo e di diametro medio di 0.5 m, e la sistemazione delle sponde, realizzate in massi con scarpa pari a 60°.

L'utilizzo di tali materiali e gli interventi sulla geometria e l'altimetria dell'alveo hanno permesso di ridurre la disponibilità di materiale fine maggiormente soggetto al trasporto, e contestualmente di ridurre la capacità di trasporto stessa della corrente.

In questa prima fase di intervento è stata valutata come prioritaria la realizzazione delle opere di sistemazione nel tratto compreso tra le sezioni 12 e 29, per una lunghezza complessiva di circa 170 m.

#### **4.1.1 Risagomatura dell'alveo**

Il parametro di riferimento per il dimensionamento delle suddette opere è la velocità critica di moto incipiente corrispondente al diametro caratteristico della granulometria di fondo alveo, assunto per le condizioni di progetto pari a 0.5 m.

La formula (3.1) diventa pertanto:

$$V_c = 7.04 h^{0.05} 0.5^{0.45}$$

Dal calcolo del profilo di moto permanente, realizzato secondo le metodologie illustrate nei precedenti capitoli dopo aver introdotto le suddette modifiche alla geometria delle sezioni e all'andamento altimetrico del profilo dell'alveo, si è quindi ricavato il valore del tirante idrico  $h$  e della velocità del flusso idrico.

Figura 4.1 – Profilo idraulico di moto permanente – Valle dell'Oro progetto Tr100 e Tr200

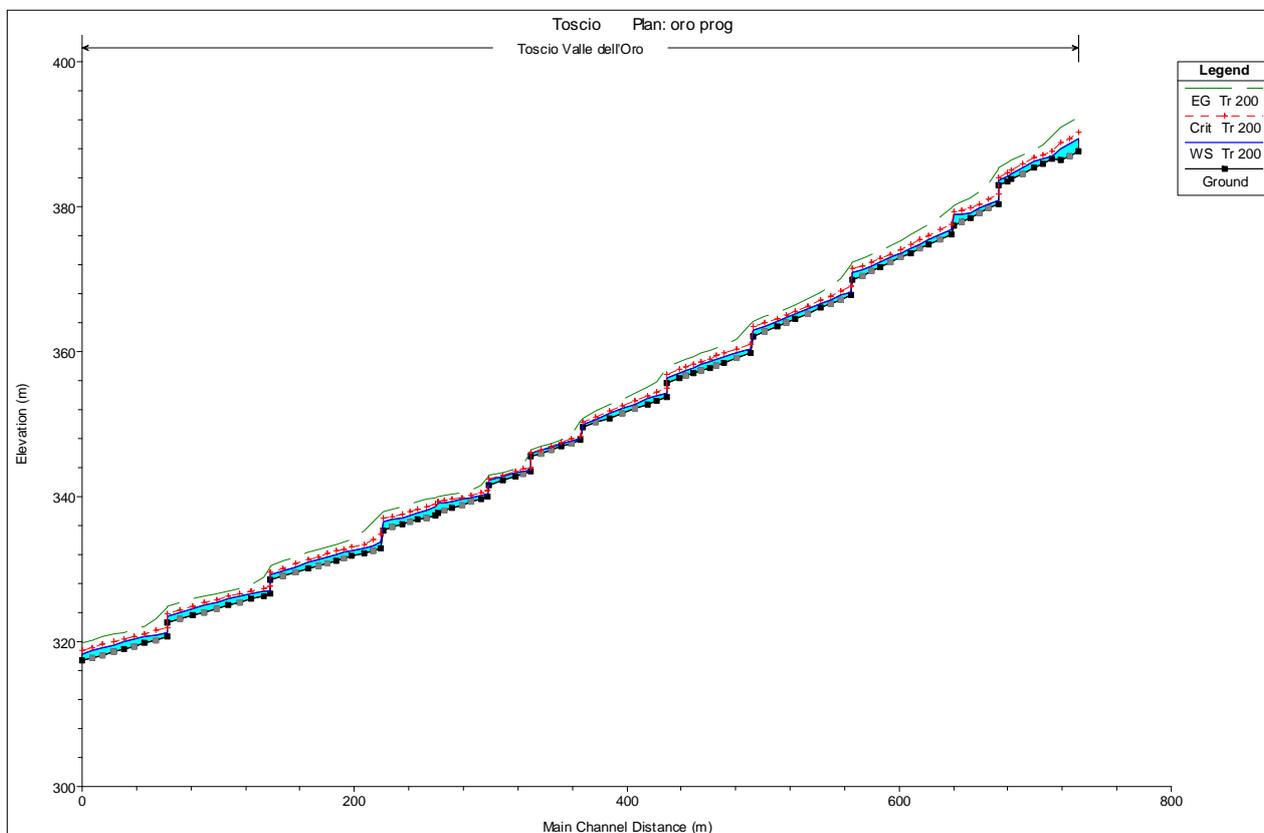
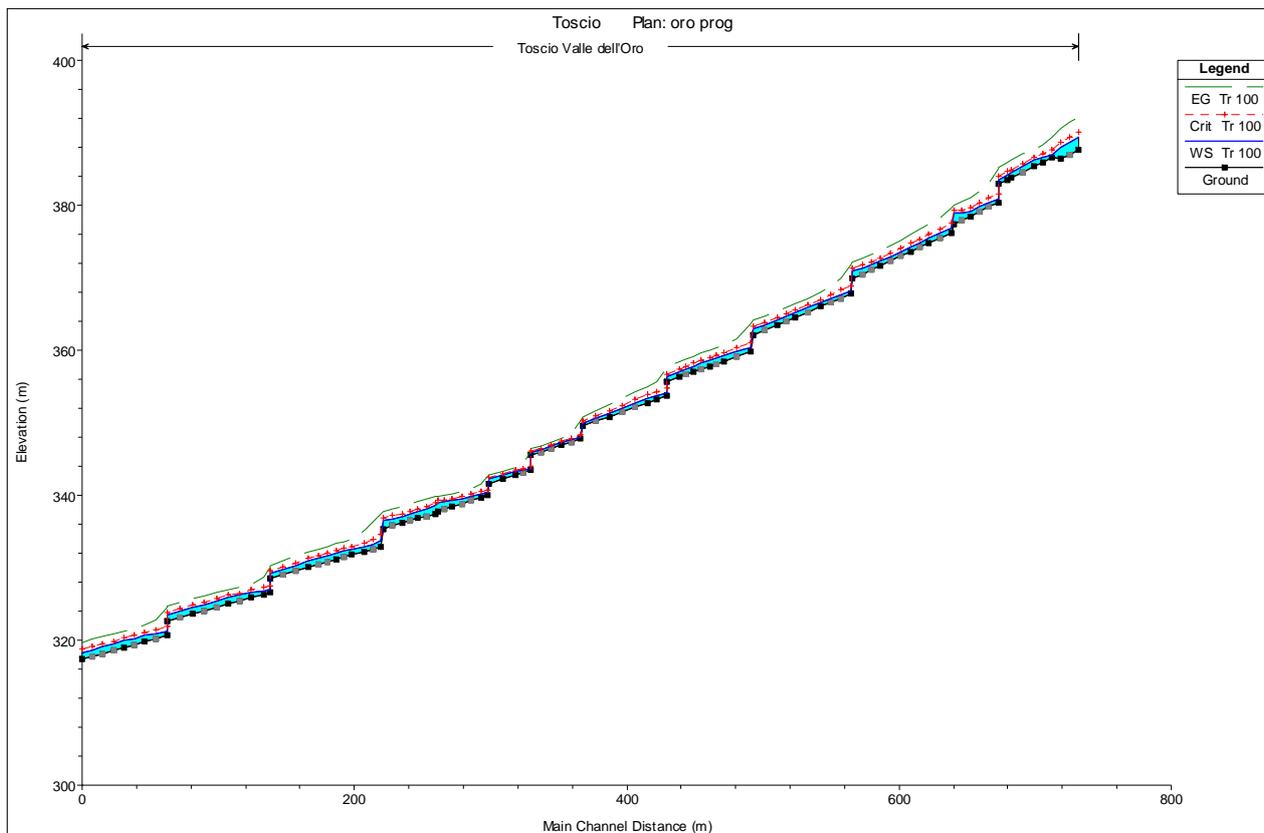


Tabella 4.1 – Simulazione di moto permanente – Valle dell'Oro progetto Tr100

River Sta	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)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Hydr Rad (m)	Froude
58	32	387.69	389.41	390.13	392.1	0.106026	7.56	4.61	0.63	2.47
57	32	386.38	388.01	388.72	390.66	0.120229	7.23	4.5	0.65	2.46
56	32	386.55	387.02	387.57	389.48	0.215889	7	4.65	0.43	3.27
55	32	385.96	386.58	387.06	388.31	0.107546	5.87	5.56	0.54	2.41
54	32	385.33	386.19	386.63	387.69	0.065741	5.48	6.01	0.67	1.97
53	32	383.83	384.47	384.95	386.25	0.106645	6.04	5.47	0.56	2.42
52	32	383.52	384.18	384.65	385.89	0.096938	5.91	5.61	0.57	2.32
51.5	32	382.92	383.56	384.02	385.24	0.10082	5.88	5.64	0.55	2.35
51	32	380.42	380.9	381.64	384.99	0.3468	8.97	3.57	0.42	4.15
50	32	378.52	379.17	379.68	381.03	0.106578	6.1	5.37	0.57	2.42
49	32	377.4	378.92	379.26	380.01	0.039737	4.52	6.97	0.74	1.52
48	32	376.22	376.84	377.52	379.73	0.173693	7.55	4.29	0.53	3.07
47	32	374.75	375.45	375.98	377.37	0.099652	6.2	5.3	0.6	2.37
46	32	373.6	374.23	374.71	375.96	0.102621	5.87	5.57	0.56	2.37
45	32	371.67	372.3	372.73	373.82	0.090296	5.51	5.93	0.56	2.22
44	32	369.9	370.99	371.37	372.23	0.058301	4.99	6.58	0.66	1.83
43	32	367.75	368.22	368.91	371.82	0.309989	8.41	3.81	0.42	3.92
42	32	366.05	366.6	366.99	367.98	0.096847	5.24	6.2	0.51	2.25
41	32	364.55	365.16	365.52	366.38	0.074764	4.92	6.61	0.56	2.01
40	32	363.51	364.1	364.46	365.34	0.079083	4.95	6.57	0.54	2.06
39	32	362.16	363	363.34	364.11	0.060633	4.77	6.93	0.58	1.84
38	32	359.84	360.36	361	363.66	0.308982	8.04	3.98	0.41	3.87
37	32	358.5	359.29	359.73	360.77	0.064298	5.44	6.08	0.67	1.95
36	32	357.82	358.54	358.98	360.05	0.077536	5.59	5.96	0.62	2.1
35	32	357	357.78	358.2	359.2	0.064311	5.35	6.16	0.66	1.94
34	32	356.31	357.01	357.43	358.47	0.074848	5.41	6.08	0.62	2.06
33.5	32	355.72	356.36	356.76	357.77	0.083714	5.36	6.15	0.57	2.14
33	32	353.72	354.16	354.81	357.57	0.319485	8.18	3.91	0.4	3.93
32	32	353.22	353.81	354.32	355.73	0.124194	6.19	5.28	0.53	2.57
31	32	352.74	353.46	353.89	354.93	0.07304	5.44	6.05	0.63	2.04
30	32	350.84	351.39	351.72	352.51	0.080455	4.75	6.87	0.5	2.05
29	32	349.56	349.97	350.2	350.76	0.080824	3.95	8.16	0.4	1.96
28	32	347.74	347.98	348.39	350.29	0.474651	6.73	4.76	0.24	4.35
27	32	346.88	347.24	347.41	347.8	0.069029	3.33	9.65	0.35	1.77
26.5	32	345.52	345.87	346.02	346.36	0.060944	3.09	10.4	0.35	1.66
26	32	343.52	343.69	344.04	346.15	0.84441	6.96	4.6	0.16	5.44
25	32	342.84	343.25	343.4	343.78	0.055714	3.24	9.94	0.39	1.62
24	32	342.25	342.74	342.9	343.29	0.044488	3.29	9.8	0.47	1.5
23	32	341.64	342.23	342.41	342.87	0.040718	3.56	9.11	0.55	1.48
22	32	339.95	340.28	340.75	342.59	0.315644	6.75	4.78	0.32	3.73
21	32	339.68	340.14	340.51	341.5	0.119753	5.18	6.24	0.44	2.43
20	32	338.36	339.25	339.5	340.17	0.034656	4.31	7.67	0.76	1.46
19	32	337.79	339.02	339.23	339.87	0.02382	4.24	8.11	0.88	1.26
18	32	337.39	338.56	338.93	339.79	0.035183	4.97	6.78	0.79	1.52
17	32	336.86	337.7	338.13	339.12	0.059742	5.42	6.19	0.68	1.89
16	32	336.17	337.01	337.44	338.43	0.058395	5.37	6.19	0.7	1.87
15	32	335.32	336.48	336.89	337.76	0.040811	5.29	6.63	0.77	1.63
14	32	332.86	333.75	334.64	337.42	0.139657	8.49	3.77	0.62	2.91
13	32	332.23	332.81	333.39	335.14	0.153174	6.81	4.79	0.52	2.85
12	32	331.74	332.51	332.95	333.98	0.066486	5.44	6.07	0.66	1.97
11	32	331.16	332.01	332.4	333.31	0.052455	5.12	6.47	0.71	1.78
10	32	330.08	330.88	331.27	332.18	0.055865	5.1	6.47	0.68	1.82
9.5	32	328.58	329.21	329.53	330.28	0.064466	4.65	7.07	0.56	1.87
9	32	326.58	326.97	327.56	330.07	0.337662	7.81	4.12	0.37	3.97
8	32	326.33	326.85	327.33	328.71	0.141527	6.08	5.34	0.48	2.69
7	32	325.85	326.54	326.88	327.69	0.060752	4.79	6.82	0.61	1.85
6	32	324.96	325.9	326.18	326.91	0.035149	4.5	7.37	0.78	1.48
5	32	323.58	324.5	324.87	325.76	0.045932	5.05	6.58	0.75	1.69
4.5	32	322.61	323.42	323.82	324.76	0.058556	5.24	6.37	0.68	1.86
4	32	320.61	321.17	321.89	324.55	0.232078	8.15	3.94	0.48	3.49
3	32	319.74	320.61	321.04	322	0.064044	5.25	6.2	0.7	1.9
2	32	318.93	319.94	320.29	321.15	0.039067	4.96	6.75	0.8	1.58
1	32	317.32	318.27	318.7	319.71	0.0495	5.37	6.13	0.75	1.76

Tabella 4.2 – Simulazione di moto permanente – Valle dell'Oro progetto Tr200

River Sta	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)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Hydr Rad (m)	Froude
58	35	387.69	389.46	390.21	392.33	0.106033	7.82	4.89	5.61	2.49
57	35	386.38	388.05	388.8	390.9	0.121213	7.51	4.76	5.8	2.49
56	35	386.55	387.04	387.63	389.7	0.218947	7.28	4.89	10.39	3.32
55	35	385.96	386.61	387.12	388.51	0.11167	6.15	5.81	9.55	2.47
54	35	385.33	386.22	386.7	387.85	0.067019	5.71	6.32	8.02	2
53	35	383.83	384.5	385.02	386.41	0.106396	6.26	5.78	8.99	2.44
52	35	383.52	384.22	384.71	386.05	0.097661	6.13	5.92	9.34	2.35
51.5	35	382.92	383.59	384.08	385.39	0.101419	6.1	5.96	9.76	2.38
51	35	380.42	380.93	381.72	385.15	0.322776	9.1	3.85	7.51	4.06
50	35	378.52	379.2	379.75	381.23	0.109569	6.38	5.63	8.72	2.47
49	35	377.4	378.95	379.32	380.15	0.042003	4.77	7.27	9	1.58
48	35	376.22	376.89	377.6	379.87	0.163332	7.69	4.61	7.1	3.01
47	35	374.75	375.48	376.05	377.56	0.101053	6.45	5.58	8.04	2.41
46	35	373.6	374.26	374.77	376.13	0.103896	6.1	5.86	9.27	2.4
45	35	371.67	372.33	372.8	373.97	0.090564	5.71	6.26	9.83	2.24
44	35	369.9	371.03	371.44	372.38	0.060147	5.21	6.9	9.69	1.87
43	35	367.75	368.26	368.99	371.97	0.289743	8.54	4.1	8.11	3.83
42	35	366.05	366.63	367.05	368.13	0.098847	5.46	6.51	11.58	2.29
41	35	364.55	365.19	365.58	366.51	0.075835	5.12	6.96	11.21	2.04
40	35	363.51	364.13	364.52	365.46	0.079235	5.14	6.93	11.48	2.08
39	35	362.16	363.03	363.4	364.23	0.061574	4.96	7.31	11.87	1.87
38	35	359.84	360.4	361.07	363.78	0.286014	8.15	4.3	9.05	3.77
37	35	358.5	359.33	359.81	360.93	0.066035	5.68	6.37	8.16	1.99
36	35	357.82	358.57	359.04	360.21	0.078721	5.81	6.27	9.08	2.14
35	35	357	357.82	358.27	359.35	0.064234	5.54	6.52	8.45	1.96
34	35	356.31	357.05	357.5	358.61	0.074892	5.6	6.43	9.17	2.08
33.5	35	355.72	356.39	356.82	357.91	0.084025	5.55	6.5	10.5	2.16
33	35	353.72	354.19	354.88	357.71	0.297894	8.3	4.22	8.88	3.85
32	35	353.22	353.84	354.38	355.91	0.12534	6.43	5.56	9.38	2.61
31	35	352.74	353.49	353.96	355.1	0.075072	5.68	6.35	8.9	2.09
30	35	350.84	351.42	351.77	352.63	0.081648	4.94	7.23	13.36	2.08
29	35	349.56	349.99	350.25	350.86	0.083199	4.13	8.54	19.98	2
28	35	347.74	348	348.43	350.38	0.442892	6.83	5.12	19.47	4.25
27	35	346.88	347.26	347.44	347.87	0.070836	3.48	10.11	27.09	1.81
26.5	35	345.52	345.89	346.04	346.42	0.063651	3.25	10.84	29.77	1.71
26	35	343.52	343.7	344.07	346.22	0.77546	7.03	4.98	27.57	5.28
25	35	342.84	343.26	343.43	343.84	0.057208	3.38	10.41	24.77	1.65
24	35	342.25	342.77	342.93	343.36	0.04503	3.43	10.31	20.24	1.52
23	35	341.64	342.27	342.46	342.94	0.039122	3.65	9.75	15.95	1.46
22	35	339.95	340.31	340.79	342.66	0.289216	6.81	5.18	14.58	3.62
21	35	339.68	340.17	340.56	341.62	0.119364	5.36	6.6	13.78	2.45
20	35	338.36	339.3	339.57	340.28	0.033928	4.43	8.16	9.19	1.46
19	35	337.79	339.08	339.3	339.98	0.023782	4.38	8.61	8.5	1.27
18	35	337.39	338.64	339.02	339.9	0.033482	5.06	7.32	7.46	1.5
17	35	336.86	337.74	338.21	339.26	0.059191	5.6	6.58	8.46	1.9
16	35	336.17	337.05	337.51	338.57	0.058471	5.56	6.55	8.06	1.89
15	35	335.32	336.53	336.97	337.9	0.041514	5.49	7.01	8.02	1.66
14	35	332.86	333.82	334.75	337.56	0.127953	8.57	4.09	4.36	2.82
13	35	332.23	332.84	333.46	335.37	0.156	7.1	5.04	8.58	2.9
12	35	331.74	332.54	333.02	334.17	0.070035	5.72	6.32	8.36	2.04
11	35	331.16	332.05	332.47	333.45	0.052454	5.31	6.84	8.23	1.79
10	35	330.08	330.93	331.34	332.32	0.056013	5.29	6.83	8.57	1.84
9.5	35	328.58	329.24	329.59	330.39	0.065414	4.84	7.44	12.26	1.9
9	35	326.58	327	327.62	330.19	0.313992	7.92	4.45	10.57	3.88
8	35	326.33	326.88	327.39	328.87	0.141215	6.29	5.65	10.61	2.71
7	35	325.85	326.57	326.94	327.83	0.062898	5.02	7.13	10.36	1.89
6	35	324.96	325.95	326.26	327.03	0.035316	4.67	7.79	8.43	1.5
5	35	323.58	324.55	324.95	325.89	0.045398	5.21	6.99	7.78	1.69
4.5	35	322.61	323.46	323.9	324.9	0.058826	5.43	6.73	8.82	1.88
4	35	320.61	321.21	321.97	324.69	0.215596	8.26	4.25	7.11	3.4
3	35	319.74	320.65	321.1	322.17	0.067536	5.51	6.46	8.28	1.96
2	35	318.93	319.98	320.37	321.3	0.039816	5.16	7.11	7.34	1.61
1	35	317.32	318.32	318.78	319.86	0.048973	5.54	6.5	6.81	1.77

Da un confronto tra la velocità di deflusso della corrente e la velocità di moto incipiente, è stato quindi possibile analizzare l'innesco del fenomeno di trasporto.

Nelle seguenti tabelle si illustrano i risultati di tale verifica, dove sono stati evidenziati in verde i tratti in cui la corrente non è in grado di mobilitare il materiale di fondo alveo ( $V < V_c$ ).

Escludendo le sezioni con presenza di singolarità quali briglie, che presentano condizioni di flusso influenzate dalle stesse (la velocità della corrente è infatti condizionata dal salto di fondo), appare quindi evidente che nel tratto di interesse (sezioni 29-12) la gran parte del fondo alveo risulta in condizioni di stabilità.

Da un confronto con la situazione attuale inoltre, in cui il diametro caratteristico è stato assunto pari a 0.1 m e la condizione di moto incipiente si dimostra sempre superata, è inoltre possibile notare la notevole diminuzione di instabilità di fondo, e dunque di materiale trasportato.

È opportuno comunque prevedere interventi di periodica manutenzione, soprattutto in occasione di eventi di piena, per la rimozione dalle zone di accumulo del materiale eventualmente depositatosi, per poter garantire il mantenimento della capacità idraulica della sezione fluviale.

Tabella 4.3 – Confronto tra la velocità di deflusso della corrente e la velocità di moto incipiente – Valle dell'Oro Tr100

River Sta	STATO DI FATTO Tr 100				PROGETTO Tr 100			
	h	V	V <sub>c</sub> (d=0.1m)	V-V <sub>c</sub>	h	V	V <sub>c</sub> (d=0.5m)	V-V <sub>c</sub>
	m	m/s	m/s	m/s	m	m/s	m/s	m/s
58	1.86	6.63	2.58	4.05	1.72	7.56	5.30	2.26
57	1.75	6.3	2.57	3.73	1.63	7.23	5.28	1.95
56	0.73	6.09	2.46	3.63	0.47	7	4.96	2.04
55	1.51	5.54	2.55	2.99	0.62	5.87	5.03	0.84
54	2.31	5.95	2.60	3.35	0.86	5.48	5.11	0.37
53	1.58	7.31	2.56	4.75	0.64	6.04	5.04	1.00
52	0.8	7.22	2.47	4.75	0.66	5.91	5.05	0.86
51.5	-	-	-	-	0.64	5.88	5.04	0.84
51	1.12	5.68	2.51	3.17	0.48	8.97	4.97	4.00
50	1.29	4.14	2.53	1.61	0.65	6.1	5.04	1.06
49	1.45	5.06	2.54	2.52	1.52	4.52	5.26	-0.74
48	0.61	7.59	2.44	5.15	0.62	7.55	5.03	2.52
47	1.22	5.54	2.52	3.02	0.70	6.2	5.06	1.14
46	1.13	6.34	2.51	3.83	0.63	5.87	5.03	0.84
45	1.13	4.49	2.51	1.98	0.63	5.51	5.03	0.48
44	1.2	4.35	2.52	1.83	1.09	4.99	5.18	-0.19
43	0.49	8.13	2.41	5.72	0.47	8.41	4.96	3.45
42	1.41	4.75	2.54	2.21	0.55	5.24	5.00	0.24
41	1.13	4.5	2.51	1.99	0.61	4.92	5.03	-0.11
40	1.41	4.11	2.54	1.57	0.59	4.95	5.02	-0.07
39	1	3.83	2.50	1.33	0.84	4.77	5.11	-0.34
38	0.54	7.72	2.42	5.30	0.52	8.04	4.99	3.05
37	1.64	4.68	2.56	2.12	0.79	5.44	5.09	0.35
36	1.16	6.01	2.52	3.49	0.72	5.59	5.07	0.52
35	0.95	5.89	2.49	3.40	0.78	5.35	5.09	0.26
34	0.99	5.33	2.50	2.83	0.70	5.41	5.06	0.35
33.5	-	-	-	-	0.64	5.36	5.04	0.32
33	0.86	5.19	2.48	2.71	0.44	8.18	4.95	3.23
32	0.88	5.1	2.48	2.62	0.59	6.19	5.02	1.17
31	1.18	3.92	2.52	1.40	0.72	5.44	5.07	0.37
30	0.74	4.64	2.46	2.18	0.55	4.75	5.00	-0.25
29	0.84	4.08	2.48	1.60	0.41	3.95	4.93	-0.98
28	0.62	6.99	2.44	4.55	0.24	6.73	4.80	1.93
27	0.85	5.24	2.48	2.76	0.36	3.33	4.90	-1.57
26.5	-	-	-	-	0.35	3.09	4.89	-1.80
26	0.74	4.53	2.46	2.07	0.17	6.96	4.72	2.24
25	0.82	4.4	2.47	1.93	0.41	3.24	4.93	-1.69
24	0.91	3.97	2.49	1.48	0.49	3.29	4.97	-1.68
23	1.32	4.05	2.53	1.52	0.59	3.56	5.02	-1.46
22	0.65	7.5	2.44	5.06	0.33	6.75	4.88	1.87
21	0.41	6.41	2.39	4.02	0.46	5.18	4.95	0.23
20	1.14	4.14	2.51	1.63	0.89	4.31	5.12	-0.81
19	1.19	4.63	2.52	2.11	1.27	4.24	5.22	-0.98
18	1.11	5.3	2.51	2.79	0.90	4.97	5.13	-0.16
17	1.21	5.61	2.52	3.09	0.84	5.42	5.11	0.31
16	0.96	6.01	2.49	3.52	0.84	5.37	5.11	0.26
15	1.23	5.16	2.52	2.64	1.16	5.29	5.19	0.10
14	0.97	8.4	2.49	5.91	0.89	8.49	5.12	3.37
13	1.03	7.02	2.50	4.52	0.58	6.81	5.02	1.79
12	1.05	6.26	2.50	3.76	0.77	5.44	5.09	0.35
11	1.14	5.87	2.51	3.36	0.85	5.12	5.11	0.01
10	1.02	5.75	2.50	3.25	0.80	5.1	5.10	0.00
9.5	-	-	-	-	0.63	4.65	5.03	-0.38
9	1.06	5.94	2.51	3.43	0.39	7.81	4.92	2.89
8	0.88	5.13	2.48	2.65	0.52	6.08	4.99	1.09
7	0.88	5.36	2.48	2.88	0.69	4.79	5.06	-0.27
6	1.05	4.56	2.50	2.06	0.94	4.5	5.14	-0.64
5	1.13	5.39	2.51	2.88	0.92	5.05	5.13	-0.08
4.5	-	-	-	-	0.81	5.24	5.10	0.14
4	1.03	5.67	2.50	3.17	0.56	8.15	5.01	3.14
3	1.1	6.01	2.51	3.50	0.87	5.25	5.12	0.13
2	1.19	5.93	2.52	3.41	1.01	4.96	5.16	-0.20
1	0.93	6.46	2.49	3.97	0.95	5.37	5.14	0.23

Tabella 4.4 – Confronto tra la velocità di deflusso della corrente e la velocità di moto incipiente – Valle dell'Oro Tr 200

River Sta	STATO DI FATTO Tr 200				PROGETTO Tr 200			
	h m	V m/s	V <sub>c</sub> (d=0.1m) m/s	V-V <sub>c</sub> m/s	h m	V m/s	V <sub>c</sub> (d=0.5m) m/s	V-V <sub>c</sub> m/s
58	1.91	6.86	2.58	4.28	1.77	7.82	5.30	2.52
57	1.81	6.54	2.57	3.97	1.67	7.51	5.29	2.22
56	0.76	6.32	2.46	3.86	0.49	7.28	4.97	2.31
55	1.54	5.75	2.55	3.20	0.65	6.15	5.04	1.11
54	2.38	6.1	2.61	3.49	0.89	5.71	5.12	0.59
53	1.65	7.52	2.56	4.96	0.67	6.26	5.05	1.21
52	0.84	7.43	2.48	4.95	0.70	6.13	5.06	1.07
51.5	-	-	-	-	0.67	6.10	5.05	1.05
51	1.15	5.94	2.52	3.42	0.51	9.10	4.98	4.12
50	1.32	4.31	2.53	1.78	0.68	6.38	5.05	1.33
49	1.5	5.2	2.55	2.65	1.55	4.77	5.27	-0.50
48	0.66	7.7	2.45	5.25	0.67	7.69	5.05	2.64
47	1.28	5.75	2.53	3.22	0.73	6.45	5.07	1.38
46	1.17	6.53	2.52	4.01	0.66	6.10	5.05	1.05
45	1.17	4.67	2.52	2.15	0.66	5.71	5.05	0.66
44	1.25	4.51	2.53	1.98	1.13	5.21	5.19	0.02
43	0.53	8.22	2.42	5.80	0.51	8.54	4.98	3.56
42	1.45	4.89	2.54	2.35	0.58	5.46	5.02	0.44
41	1.18	4.67	2.52	2.15	0.64	5.12	5.04	0.08
40	1.45	4.29	2.54	1.75	0.62	5.14	5.03	0.11
39	1.04	3.99	2.50	1.49	0.87	4.96	5.12	-0.16
38	0.58	7.79	2.43	5.36	0.56	8.15	5.01	3.14
37	1.7	4.83	2.57	2.26	0.83	5.68	5.11	0.57
36	1.21	6.19	2.52	3.67	0.75	5.81	5.08	0.73
35	0.99	6.12	2.50	3.62	0.82	5.54	5.10	0.44
34	1.03	5.53	2.50	3.03	0.74	5.60	5.08	0.52
33.5	-	-	-	-	0.67	5.55	5.05	0.50
33	0.89	5.37	2.48	2.89	0.47	8.30	4.96	3.34
32	0.92	5.29	2.49	2.80	0.62	6.43	5.03	1.40
31	1.21	4.13	2.52	1.61	0.75	5.68	5.08	0.60
30	0.77	4.78	2.47	2.31	0.58	4.94	5.01	-0.07
29	0.87	4.25	2.48	1.77	0.43	4.13	4.94	-0.81
28	0.65	7.09	2.44	4.65	0.26	6.83	4.82	2.01
27	0.87	5.4	2.48	2.92	0.38	3.48	4.91	-1.43
26.5	-	-	-	-	0.37	3.25	4.91	-1.66
26	0.77	4.65	2.47	2.18	0.18	7.03	4.73	2.30
25	0.86	4.46	2.48	1.98	0.42	3.38	4.93	-1.55
24	0.95	4.08	2.49	1.59	0.52	3.43	4.99	-1.56
23	1.37	4.14	2.54	1.60	0.63	3.65	5.04	-1.39
22	0.7	7.57	2.45	5.12	0.36	6.81	4.90	1.91
21	0.43	6.64	2.39	4.25	0.49	5.36	4.97	0.39
20	1.2	4.27	2.52	1.75	0.94	4.43	5.14	-0.71
19	1.26	4.75	2.53	2.22	1.33	4.38	5.23	-0.85
18	1.19	5.4	2.52	2.88	0.98	5.06	5.15	-0.09
17	1.26	5.79	2.53	3.26	0.88	5.60	5.12	0.48
16	1.02	6.17	2.50	3.67	0.88	5.56	5.12	0.44
15	1.28	5.37	2.53	2.84	1.21	5.49	5.20	0.29
14	1.04	8.48	2.50	5.98	0.96	8.57	5.14	3.43
13	1.07	7.29	2.51	4.78	0.61	7.10	5.03	2.07
12	1.08	6.54	2.51	4.03	0.80	5.72	5.10	0.62
11	1.17	6.11	2.52	3.59	0.89	5.31	5.12	0.19
10	1.07	5.96	2.51	3.45	0.85	5.29	5.11	0.18
9.5	-	-	-	-	0.66	4.84	5.05	-0.21
9	1.1	6.15	2.51	3.64	0.42	7.92	4.93	2.99
8	0.9	5.36	2.48	2.88	0.55	6.29	5.00	1.29
7	0.91	5.56	2.49	3.07	0.72	5.02	5.07	-0.05
6	1.1	4.72	2.51	2.21	0.99	4.67	5.15	-0.48
5	1.19	5.54	2.52	3.02	0.97	5.21	5.15	0.06
4.5	-	-	-	-	0.85	5.43	5.11	0.32
4	1.07	5.86	2.51	3.35	0.60	8.26	5.02	3.24
3	1.15	6.2	2.52	3.68	0.91	5.51	5.13	0.38
2	1.24	6.13	2.52	3.61	1.05	5.16	5.17	-0.01
1	0.98	6.67	2.50	4.17	1.00	5.54	5.15	0.39

#### **4.1.2 Dimensionamento delle sponde**

Le attuali condizioni delle sponde evidenziano una situazione di degrado dovuto alla frequente presenza di vegetazione, che ne ricopre la superficie ostruendo in parte la sezione fluviale, e ad alcuni fenomeni franosi dovuti all'erosione della corrente sulle stesse.

Si è quindi optato per una ricostruzione delle scarpate utilizzando massi ciclopici provenienti dallo stesso alveo fluviale, posizionati a secco con una pendenza di 60°.

Il dimensionamento delle protezioni d'alveo con scogliere di sponda realizzate in materiale lapideo naturale può essere ottenuto con diverse formulazioni in funzione del valore medio dell'azione tangenziale sulle superfici (valutabile in via semplificata sulla base del valore medio della velocità e del tirante idrico), e delle azioni turbolente i cui effetti sono largamente incerti data la complessità del fenomeno.

In questo caso si è scelto di utilizzare il criterio di Shields, che si riferisce a casi caratterizzati da un elevato valore del numero di Reynolds, e quindi ben si adatta a protezioni d'alveo ad elevata granulometria.

Il diametro dei massi risulta pertanto:

$$d = V^2 / (0.06 K C^2 g \Delta)$$

dove:

$K$  è il fattore di correzione per sponde inclinate, pari a  $\sqrt[3]{(1 - \sin^2 \alpha / \sin^2 \phi)}$ , con  $\alpha$  pendenza della scarpata e  $\phi$  angolo di riposo del materiale;

$C$  è un coefficiente adimensionale legato alla scabrezza dell'alveo, con  $C^2 = V^2 / (g R i)$ ;

$\Delta$  è la densità relativa del materiale immerso rispetto all'acqua  $(\rho_s - \rho_w) / \rho_w$ , assunto pari a 1.65.

Si riportano nella seguente tabella i risultati ottenuti sezione per sezione, da cui si ricava un diametro medio dei massi nel tratto di interesse (sezioni 12-29) pari a circa 0.85 m.

Si conferma pertanto l'ipotesi di utilizzare i blocchi giacenti nell'alveo del torrente che corrispondono per dimensione (e quantità) ai requisiti richiesti.

Tabella 4.5 – Dimensionamento dei massi costituenti le sponde – Valle dell'Oro

River Sta	i	PROGETTO Tr 100			PROGETTO Tr 200		
		R	V	d	R	V	d
	m/m	m	m/s	m	m	m/s	m
58	0.106	0.63	7.56	1.74	0.65	7.82	1.79
57	-0.024	0.65	7.23	-0.40	0.67	7.51	-0.42
56	0.092	0.43	7	1.03	0.45	7.28	1.08
55	0.092	0.54	5.87	1.30	0.56	6.15	1.35
54	0.092	0.67	5.48	1.61	0.7	5.71	1.68
53	0.092	0.56	6.04	1.35	0.59	6.26	1.42
52	0.092	0.57	5.91	1.37	0.6	6.13	1.44
51.5	0.092	0.55	5.88	1.32	0.58	6.1	1.40
51	0.092	0.42	8.97	1.01	0.45	9.1	1.08
50	0.092	0.57	6.1	1.37	0.59	6.38	1.42
49	0.092	0.74	4.52	1.78	0.76	4.77	1.83
48	0.087	0.53	7.55	1.20	0.56	7.69	1.26
47	0.087	0.6	6.2	1.35	0.63	6.45	1.42
46	0.087	0.56	5.87	1.26	0.58	6.1	1.31
45	0.087	0.56	5.51	1.26	0.59	5.71	1.33
44	0.087	0.66	4.99	1.49	0.68	5.21	1.54
43	0.078	0.42	8.41	0.85	0.45	8.54	0.91
42	0.078	0.51	5.24	1.04	0.53	5.46	1.08
41	0.078	0.56	4.92	1.14	0.58	5.12	1.18
40	0.078	0.54	4.95	1.10	0.57	5.14	1.16
39	0.078	0.58	4.77	1.18	0.6	4.96	1.22
38	0.067	0.41	8.04	0.72	0.44	8.15	0.77
37	0.067	0.67	5.44	1.17	0.7	5.68	1.23
36	0.067	0.62	5.59	1.09	0.64	5.81	1.12
35	0.067	0.66	5.35	1.16	0.69	5.54	1.21
34	0.067	0.62	5.41	1.09	0.65	5.6	1.14
33.5	0.067	0.57	5.36	1.00	0.59	5.55	1.03
33	0.067	0.4	8.18	0.70	0.43	8.3	0.75
32	0.067	0.53	6.19	0.93	0.55	6.43	0.96
31	0.067	0.63	5.44	1.10	0.65	5.68	1.14
30	0.067	0.5	4.75	0.88	0.52	4.94	0.91
29	0.067	0.4	3.95	0.70	0.42	4.13	0.74
28	0.061	0.24	6.73	0.38	0.26	6.83	0.41
27	0.061	0.35	3.33	0.56	0.37	3.48	0.59
26.5	0.061	0.35	3.09	0.56	0.36	3.25	0.57
26	0.061	0.16	6.96	0.25	0.18	7.03	0.29
25	0.061	0.39	3.24	0.62	0.41	3.38	0.65
24	0.061	0.47	3.29	0.75	0.5	3.43	0.80
23	0.061	0.55	3.56	0.88	0.59	3.65	0.94
22	0.060	0.32	6.75	0.50	0.35	6.81	0.55
21	0.060	0.44	5.18	0.69	0.46	5.36	0.72
20	0.060	0.76	4.31	1.19	0.79	4.43	1.24
19	0.060	0.88	4.24	1.38	0.91	4.38	1.43
18	0.060	0.79	4.97	1.24	0.83	5.06	1.30
17	0.060	0.68	5.42	1.07	0.71	5.6	1.11
16	0.060	0.7	5.37	1.10	0.73	5.56	1.14
15	0.060	0.77	5.29	1.21	0.8	5.49	1.25
14	0.053	0.62	8.49	0.85	0.66	8.57	0.90
13	0.053	0.52	6.81	0.71	0.54	7.1	0.74
12	0.053	0.66	5.44	0.90	0.68	5.72	0.93
11	0.053	0.71	5.12	0.97	0.74	5.31	1.01
10	0.053	0.68	5.1	0.93	0.72	5.29	0.98
9.5	0.053	0.56	4.65	0.77	0.59	4.84	0.81
9	0.053	0.37	7.81	0.51	0.39	7.92	0.53
8	0.053	0.48	6.08	0.66	0.5	6.29	0.68
7	0.053	0.61	4.79	0.83	0.64	5.02	0.88
6	0.053	0.78	4.5	1.07	0.81	4.67	1.11
5	0.053	0.75	5.05	1.03	0.79	5.21	1.08
4.5	0.053	0.68	5.24	0.93	0.71	5.43	0.97
4	0.053	0.48	8.15	0.66	0.52	8.26	0.71
3	0.053	0.7	5.25	0.96	0.72	5.51	0.98
2	0.053	0.8	4.96	1.09	0.83	5.16	1.13
1	0.053	0.75	5.37	1.03	0.78	5.54	1.07

## **4.2 INTERVENTI RELATIVI AL PONTE IN VIA PAPA GIOVANNI XXIII**

### **4.2.1 Risagomatura dell'alveo e dimensionamento nuovo ponte stradale**

Al fine di migliorare le condizioni di deflusso della corrente in corrispondenza del ponte stradale di via Papa Giovanni XXIII, è stata effettuata una simulazione di moto permanente, secondo le modalità descritte nei precedenti capitoli, in cui sono state introdotte le seguenti modifiche allo stato di fatto, i cui dettagli grafici, per la sola parte compresa nel presente progetto, sono rappresentati nelle tavole allegate:

- risagomatura della sezione fluviale in un tratto di lunghezza pari a circa 47 m a monte del ponte, consistente nell'allargamento della stessa e nella formazione di scogliere in massi ciclopici a 60° con materiale lapideo proveniente dallo stesso alveo e/o dai lavori di sistemazione idraulica da effettuare in Valle dell'Oro, e 209 m a valle (di cui 63 compresi nel presente progetto), consistente di nuovo nell'allargamento della sezione. In sponda sinistra l'allargamento si svilupperà fino ai muri di recinzione delle proprietà private adiacenti, che saranno sottomurati, mentre in sponda destra esso comporterà l'arretramento di circa 1 m ed il rifacimento dei muri di recinzione;
- allargamento della sezione fluviale in corrispondenza del ponte, di cui si è previsto l'integrale rifacimento compatibilmente con i vincoli dettati dalle condizioni urbanistiche circostanti (si vedano al riguardo gli allegati n. 3);
- riprofilatura del fondo per la realizzazione di una pendenza costante pari a circa 2.7% nei primi 117 m (dalla sezione 12 alla 0.8) ottenuta tramite l'asportazione del materiale depositato sul letto del fiume e la pavimentazione con blocchi lapidei sbozzati posati sotto sagoma;

a valle dell'intervento oggetto della presente relazione, nel tratto di raccordo con opere già previste in altro progetto per la sistemazione idraulica del torrente Toscio, è inoltre stata inserita la costruzione di una briglia con salto di fondo di circa 1.3 m e riprofilatura nei successivi 145 m con pendenza pari a circa 1.4%, ottenuta tramite l'asportazione del materiale depositato sul letto del fiume e la pavimentazione con blocchi lapidei sbozzati posati sotto sagoma. Poiché il tratto analizzato a valle del ponte comprende nella sua estensione la confluenza del Rio Sole, dal punto di immissione dello stesso (immediatamente a valle della briglia di nuova realizzazione) è stata considerato anche il rispettivo apporto di portata, che ha

implicato l'aumento dei valori precedentemente considerati. I dati utilizzati, ricavati secondo gli stessi criteri descritti nel capitolo 1, sono pertanto:

$$Q_{100} = 47 \text{ mc/s}$$

$$Q_{200} = 52 \text{ mc/s}$$

Preso atto delle risorse finanziarie attualmente disponibili, si ribadisce che non è possibile realizzare i lavori nella loro completezza; in questa prima fase di intervento è stata pertanto valutata come prioritaria la costruzione del nuovo ponte, la realizzazione delle opere di sistemazione nel tratto a monte dello stesso per una lunghezza di 47 m, e a valle per circa 63 m, cioè nel tratto compreso tra il ponte e la nuova briglia.

I risultati ottenuti come sopra descritto sono di seguito riportati:

Figura 4.2 – Profilo idraulico di moto permanente – ponte su via Papa Giovanni XXIII progetto Tr 100

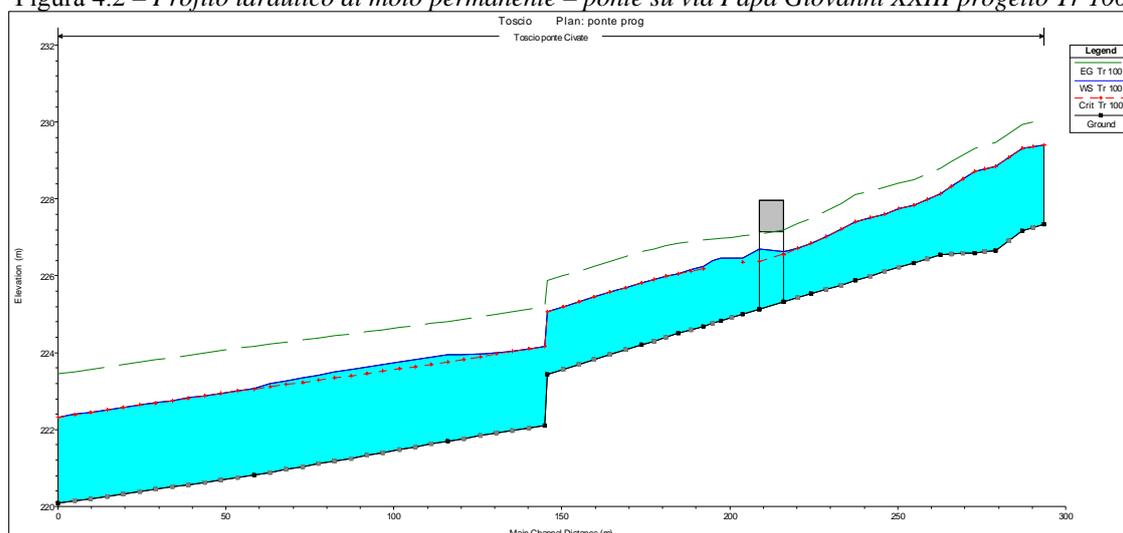


Figura 4.3 – Profilo idraulico di moto permanente – ponte su via Papa Giovanni XXIII progetto Tr 200

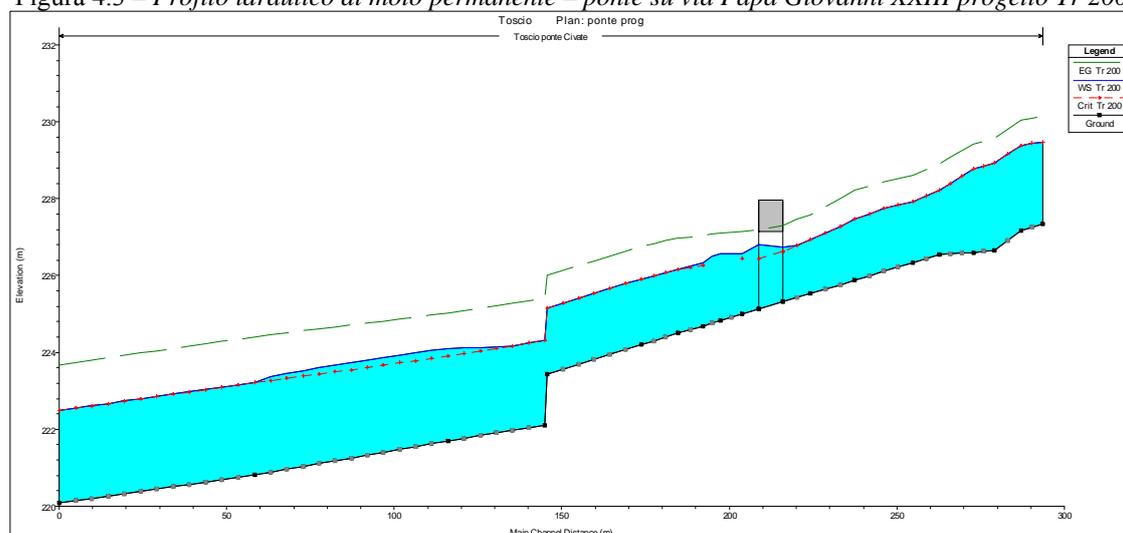


Tabella 4.6 – Simulazione di moto permanente – ponte su via Papa Giovanni XXIII progetto Tr100

River Sta	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)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Hydr Rad (m)	Froude
15	36	227.35	229.41	229.41	230.04	0.010191	3.97	10.67	1.09	0.9
14	36	227.18	229.32	229.32	229.94	0.01017	3.92	10.79	1.07	0.89
13	36	226.66	228.85	228.85	229.47	0.009409	3.92	10.91	1.07	0.87
12	36	226.6	228.71	228.71	229.32	0.009461	3.93	11.07	1.05	0.87
11	36	226.55	228.14	228.14	228.8	0.008998	3.7	10.83	1.02	0.94
10	36	226.34	227.84	227.84	228.49	0.009608	3.67	10.73	1.02	0.96
9	36	225.88	227.4	227.4	228.11	0.010266	3.82	10.19	1.09	0.99
8	36	225.53	226.86	226.86	227.48	0.010733	3.57	10.67	1.03	0.99
7	36	225.32	226.64	226.55	227.18	0.008987	3.26	11.04	1	0.91
6.5	Bridge									
6	36	225.13	226.71		227.09	0.004997	2.74	13.17	1.14	0.7
5	36	225	226.47	226.36	227.04	0.00824	3.36	11.13	1.09	0.88
4	36	224.83	226.47		226.98	0.006516	3.2	11.79	1.16	0.8
3	36	224.69	226.25	226.19	226.93	0.009139	3.68	10.17	1.08	0.94
2	36	224.5	226.06	226.06	226.85	0.010426	3.93	9.35	1.04	1
1	36	224.2	225.82	225.82	226.63	0.010279	4	9.2	1.05	1
0.8	36	223.44	225.06	225.06	225.87	0.010279	4	9.2	1.05	1
0.6	47	222.11	224.17	224.17	225.2	0.009528	4.51	10.63	1.16	1
0.4	47	221.7	223.94	223.76	224.81	0.009367	4.14	11.6	1.22	0.88
0.2	47	220.81	223.07	223.06	224.17	0.011881	4.69	10.31	1.15	1
0	47	220.08	222.33	222.33	223.45	0.012042	4.71	10.25	1.15	1

Tabella 4.7 – Simulazione di moto permanente – ponte su via Papa Giovanni XXIII progetto Tr200

River Sta	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)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Hydr Rad (m)	Froude
15	39	227.35	229.48	229.48	230.15	0.01026	4.07	11.25	1.13	0.91
14	39	227.18	229.39	229.39	230.05	0.010213	4.02	11.4	1.11	0.89
13	39	226.66	228.92	228.92	229.57	0.009507	4.03	11.51	1.11	0.87
12	39	226.6	228.77	228.77	229.41	0.009717	4.06	11.6	1.08	0.89
11	39	226.55	228.22	228.22	228.9	0.00897	3.8	11.47	1.06	0.94
10	39	226.34	227.91	227.91	228.6	0.009536	3.78	11.35	1.06	0.96
9	39	225.88	227.48	227.48	228.22	0.010074	3.92	10.81	1.13	0.99
8	39	225.53	226.92	226.92	227.59	0.01061	3.67	11.27	1.07	0.99
7	39	225.32	226.74	226.62	227.29	0.008301	3.29	11.87	1.06	0.88
6.5	Bridge									
6	39	225.13	226.8		227.2	0.004814	2.79	13.97	1.19	0.69
5	39	225	226.58	226.43	227.15	0.007651	3.39	11.98	1.14	0.86
4	39	224.83	226.57		227.1	0.006216	3.26	12.59	1.21	0.79
3	39	224.69	226.34	226.27	227.05	0.008853	3.76	10.8	1.13	0.93
2	39	224.5	226.15	226.15	226.97	0.010221	4.03	9.88	1.08	1
1	39	224.2	225.91	225.91	226.76	0.010072	4.11	9.73	1.09	1
0.8	39	223.44	225.15	225.15	226.01	0.010072	4.11	9.73	1.09	1
0.6	52	222.11	224.31	224.31	225.41	0.009312	4.67	11.4	1.21	1
0.4	52	221.7	224.11	223.9	225.03	0.009021	4.26	12.49	1.27	0.88
0.2	52	220.81	223.22	223.21	224.41	0.011659	4.85	11.04	1.2	1
0	52	220.08	222.48	222.48	223.68	0.011787	4.87	10.99	1.19	1

Figura 4.4 – Sezione del ponte su via Papa Giovanni XXIII vista da monte progetto Tr100

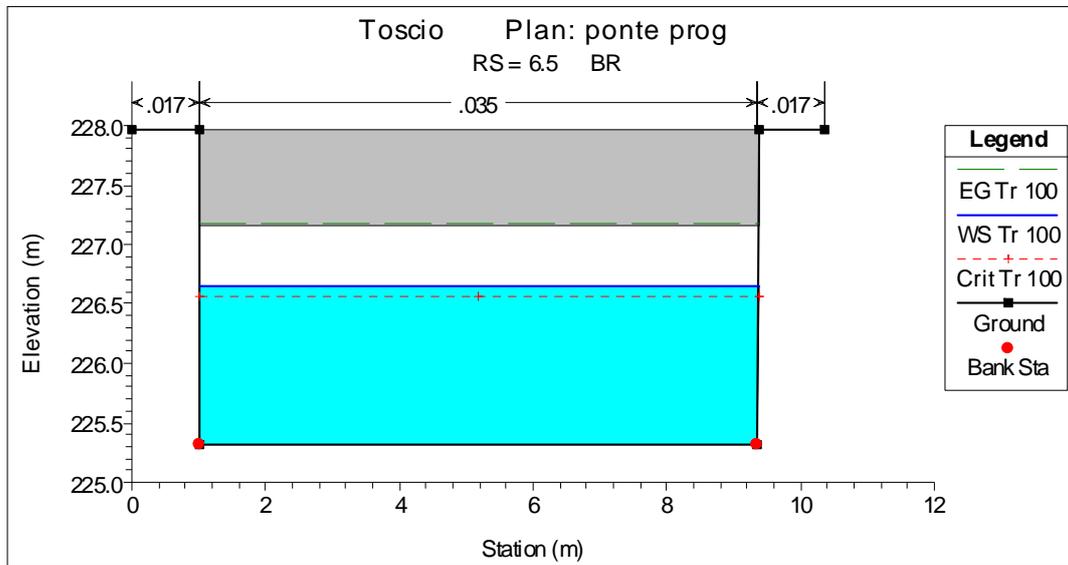


Figura 4.5 – Sezione del ponte su via Papa Giovanni XXIII vista da valle progetto Tr100

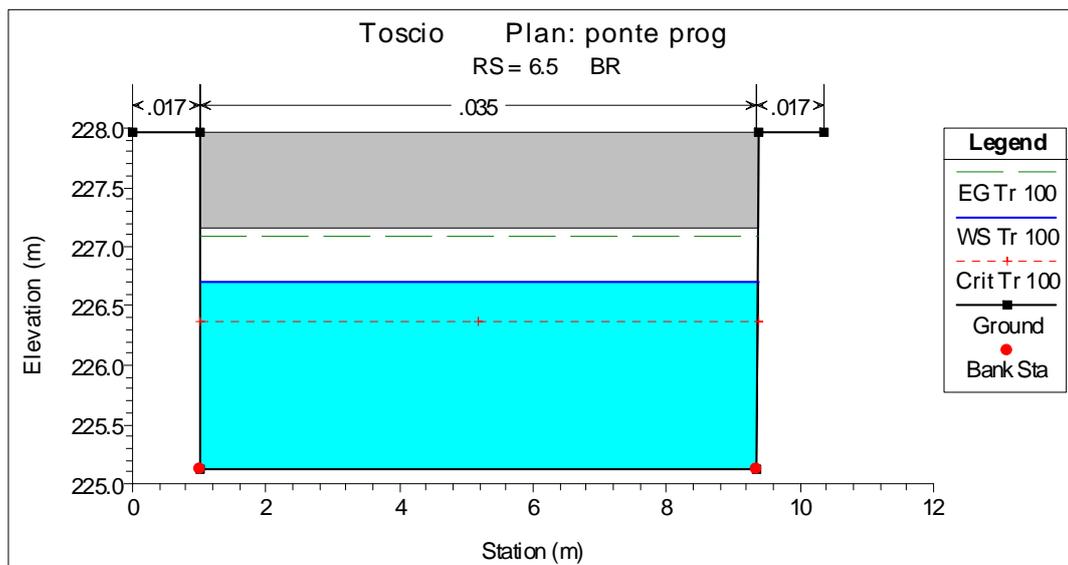


Figura 4.6 – Sezione del ponte su via Papa Giovanni XXIII vista da monte progetto Tr200

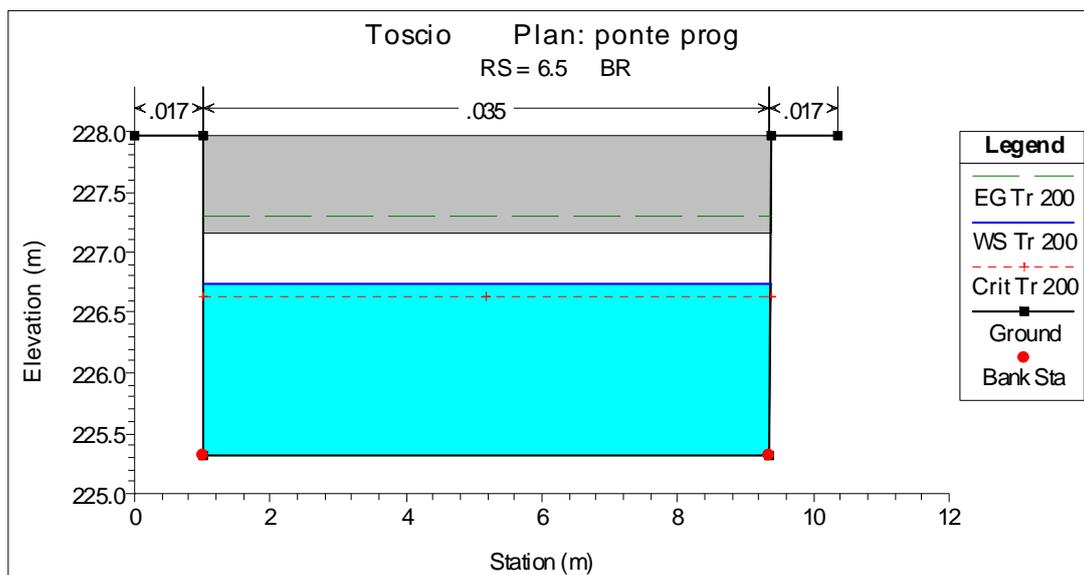
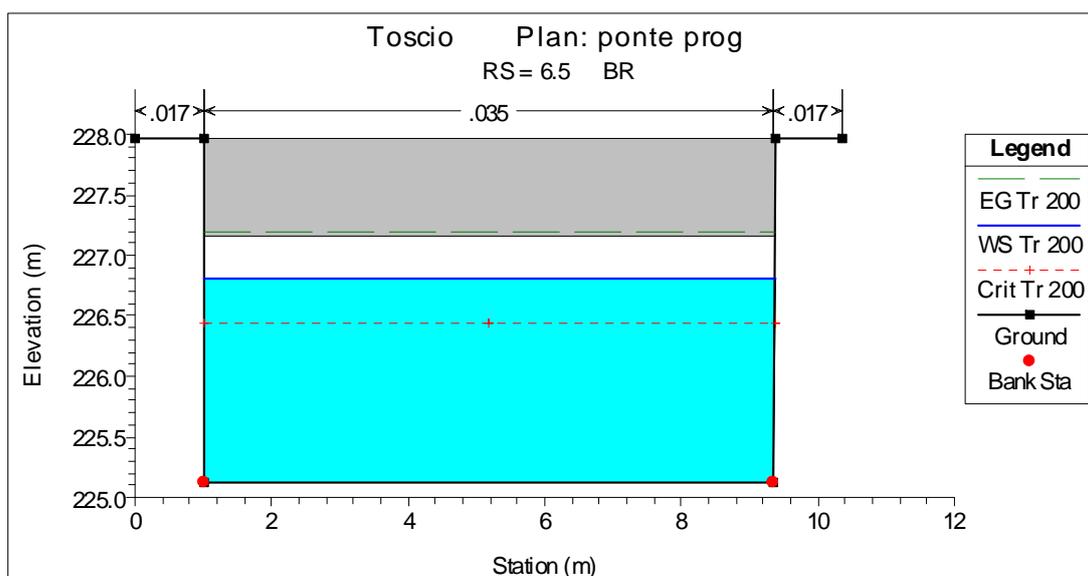


Figura 4.7 – Sezione del ponte su via Papa Giovanni XXIII vista da valle progetto Tr200



I profili di moto ottenuti presentano un notevole abbassamento dei livelli rispetto alla simulazione condotta in condizioni attuali.

In questo modo la sezione fluviale risulta sufficiente allo smaltimento sia della portata con tempo di ritorno pari 100 anni che 200 anni, con un franco rispettivamente di 44 e 35 cm, ma non garantisce il franco minimo di 1 m imposto dalla direttiva concernente i “*Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico*”

all'interno delle fasce A e B", approvata dall'Autorità di Bacino del Fiume Po con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 dell'11 maggio 1999.

Anche in questo caso è stata condotta un'analisi della capacità di trasporto della corrente, dalla quale si ricava che il diametro medio dei massi costituenti il fondo alveo nel tratto di interesse (sezioni 12-0.8), affinché si abbia una condizione generale di stabilità, non deve essere inferiore a 0.30 m.

Tabella 4.8 – Confronto tra la velocità di deflusso della corrente e la velocità di moto incipiente – ponte su via Papa Giovanni XXIII Tr 100

River Sta	STATO DI FATTO Tr 100				PROGETTO Tr 100			
	h m	V m/s	V <sub>c</sub> (d=0.01m) m/s	V-V <sub>c</sub> m/s	h m	V m/s	V <sub>c</sub> (d=0.3m) m/s	V-V <sub>c</sub> m/s
15	2.06	3.97	0.92	3.05	2.06	3.97	4.25	-0.28
14	2.14	3.92	0.92	3.00	2.14	3.92	4.25	-0.33
13	2.19	3.92	0.92	3.00	2.19	3.92	4.26	-0.34
12	2.12	3.9	0.92	2.98	2.11	3.93	4.25	-0.32
11	2.07	4.15	0.92	3.23	1.59	3.7	4.19	-0.49
10	2.45	2.72	0.93	1.79	1.50	3.67	4.18	-0.51
9	2.63	3.23	0.93	2.30	1.52	3.82	4.18	-0.36
8	2.82	2.77	0.93	1.84	1.33	3.57	4.15	-0.58
7	2.82	2.53	0.93	1.60	1.32	3.26	4.15	-0.89
6.5	Bridge							
6	2.76	2.7	0.93	1.77	1.58	2.74	4.19	-1.45
5	2.75	2.75	0.93	1.82	1.47	3.36	4.17	-0.81
4	2.37	4.1	0.93	3.17	1.64	3.2	4.20	-1.00
3	2.73	3.68	0.93	2.75	1.56	3.68	4.19	-0.51
2	2.67	4.59	0.93	3.66	1.56	3.93	4.19	-0.26
1	2.62	5.61	0.93	4.68	1.62	4	4.20	-0.20
0.8					1.62	4	4.20	-0.20
0.6					2.06	4.51	4.25	0.26
0.4					2.24	4.14	4.26	-0.12
0.2					2.26	4.69	4.27	0.42
0					2.25	4.71	4.26	0.45

Tabella 4.9 – Confronto tra la velocità di deflusso della corrente e la velocità di moto incipiente – ponte su via  
 Papa Giovanni XXIII Tr 200

River Sta	STATO DI FATTO Tr 200				PROGETTO Tr 200			
	h m	V m/s	V <sub>c</sub> (d=0.01m) m/s	V-V <sub>c</sub> m/s	h m	V m/s	V <sub>c</sub> (d=0.3m) m/s	V-V <sub>c</sub> m/s
15	2.13	4.07	0.92	3.15	2.13	4.07	4.25	-0.18
14	2.21	4.02	0.92	3.10	2.21	4.02	4.26	-0.24
13	2.26	4.03	0.92	3.11	2.26	4.03	4.27	-0.24
12	2.17	4.06	0.92	3.14	2.17	4.06	4.26	-0.20
11	2.15	4.21	0.92	3.29	1.67	3.8	4.20	-0.40
10	2.55	2.79	0.93	1.86	1.57	3.78	4.19	-0.41
9	2.73	3.28	0.93	2.35	1.60	3.92	4.19	-0.27
8	2.92	2.85	0.94	1.91	1.39	3.67	4.16	-0.49
7	2.9	2.65	0.93	1.72	1.42	3.29	4.17	-0.88
6.5	Bridge							
6	2.9	2.75	0.93	1.82	1.67	2.79	4.20	-1.41
5	2.88	2.81	0.93	1.88	1.58	3.39	4.19	-0.80
4	2.51	4.15	0.93	3.22	1.74	3.26	4.21	-0.95
3	2.85	3.79	0.93	2.86	1.65	3.76	4.20	-0.44
2	2.81	4.68	0.93	3.75	1.65	4.03	4.20	-0.17
1	2.74	5.77	0.93	4.84	1.71	4.11	4.21	-0.10
0.8					1.71	4.11	4.21	-0.10
0.6					2.2	4.67	4.26	0.41
0.4					2.41	4.26	4.28	-0.02
0.2					2.41	4.85	4.28	0.57
0					2.4	4.87	4.28	0.59

#### 4.2.2 Dimensionamento delle sponde

Analogamente a quanto descritto nel precedente capitolo, si è svolta la verifica per il dimensionamento delle sponde, dalla quale è risultato che il diametro medio dei massi costituenti la scogliera nel tratto interessato non deve essere inferiore a 0.75m.

Tabella 4.6 – Dimensionamento dei massi costituenti le sponde – ponte su via Papa Giovanni XXIII

River Sta	PROGETTO Tr 100				PROGETTO Tr 200		
	i m/m	R m	V m/s	d m	R m	V m/s	d m
11	0.027	1.02	3.7	0.71	1.06	3.8	0.73
10	0.027	1.02	3.67	0.71	1.06	3.78	0.73
9	0.027	1.09	3.82	0.76	1.13	3.92	0.78
8	0.025	1.03	3.57	0.68	1.07	3.67	0.70
7	0.026	1	3.26	0.68	1.06	3.29	0.72
6.5	Bridge						
6	0.026	1.14	2.74	0.77	1.19	2.79	0.80
5	0.027	1.09	3.36	0.77	1.14	3.39	0.80
4	0.027	1.16	3.2	0.81	1.21	3.26	0.84
3	0.025	1.08	3.68	0.72	1.13	3.76	0.75
2		1.04	3.93		1.08	4.03	