

**Fiume Panaro**

MO-E-1358 / MO-E-1363

CUP: **B98E18000340002**

CUP: **B83H20000150001**

CIG:



# AIPO

Agenzia Interregionale per il fiume Po

## PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

### Intervento A

**Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO**

(ordinanza n.1 del 28/12/2017 cod. 13064)

### Intervento B

**Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO**

ELABORATO

### **Relazione idraulica**

UBICAZIONE OPERE

Comune di San Cesario sul Panaro  
Comune di Spilamberto

DATA: Marzo 2020

AGG. -

SCALA:

-

COMMITTENTE

**AIPO - Direzione territoriale Idrografica Emilia Orientale**  
**Ufficio operativo di Modena**

Strada Attiraglio, 24 - 41122 Modena

tel. + 39 059225244

fax. + 39 059220150

e-mail: ufficio-mo@cert.agenziapo.it

Raggruppamento temporaneo d'impresa

**POLARIS - STUDIO ASSOCIATO**



Legale rappresentante  
**Ing. Luciano Corradini**

Il responsabile di progetto e dell'integrazione  
delle prestazioni specialistiche  
**Ing. Luciano Corradini**

R.U.P.  
**Ing. Federica Pellegrini**

**ART Ambiente Risorse Territorio S.r.l.**



Legale rappresentante  
**Ing. Marco Andreoli**

Il geologo  
**Geol. Giovanni Carra**

Il coordinatore della sicurezza in fase di progettazione  
**Ing. Ugo Bernini**

Supporto al R.U.P.  
**Geol. Stefano Parodi**

# 2.1





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

## 1. Scopo del documento

La presente relazione idraulica è redatta a supporto degli interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i comuni di San Cesario sul Panaro (MO) in destra idrografica, e Spilamberto (MO) in sinistra idrografica (Figura 1-1).



Figura 1-1 Inquadramento dell'area d'intervento

L'opera è posta a 6 km a monte del ponte dell'Autostrada A1 e quindi della cassa di espansione e a 1,5 km a valle del ponte di Spilamberto.

Nel seguito sono illustrate le analisi eseguite finalizzate a indagare le dinamiche di deflusso in piena del Panaro e al dimensionamento delle opere di sistemazione idraulica e di consolidamento della briglia esistente.

A tal fine è stato realizzato un modello idraulico bidimensionale di dettaglio con l'obiettivo di valutare le dinamiche di piena e quindi valutare gli interventi di progetto per il ripristino della stabilità della briglia esistente.

### 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

## 2. Riferimenti normativi

Per gli aspetti idrologici e idraulici si è fatto riferimento alla seguente documentazione tecnica disponibile.

1. Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), Autorità di Bacino del fiume Po, 2015: Mappe delle aree inondabili sul reticolo idrografico principale del bacino del fiume Po: bacino del Panaro – fiume Panaro;
2. Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) – Fasce Fluviali e Norme Tecniche d'Attuazione;
3. Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP 2009).

### 2.1. Direttiva alluvioni

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA), introdotto dalla Direttiva Europea 2007/60/CE, recepita con D.Lgs. 49/2010, per ogni distretto idrografico, individua le aree a rischio più significativo, organizzate e gerarchizzate, e definisce gli obiettivi di sicurezza e le priorità di intervento a scala distrettuale, in modo concertato fra tutte le Amministrazioni e gli Enti gestori, con la partecipazione dei portatori di interesse e il coinvolgimento del pubblico in generale.

Di seguito si riporta un estratto cartografico della porzione di fiume in esame evidenziando la pericolosità idraulica vigente aggiornata nel 2015 secondo la Direttiva.

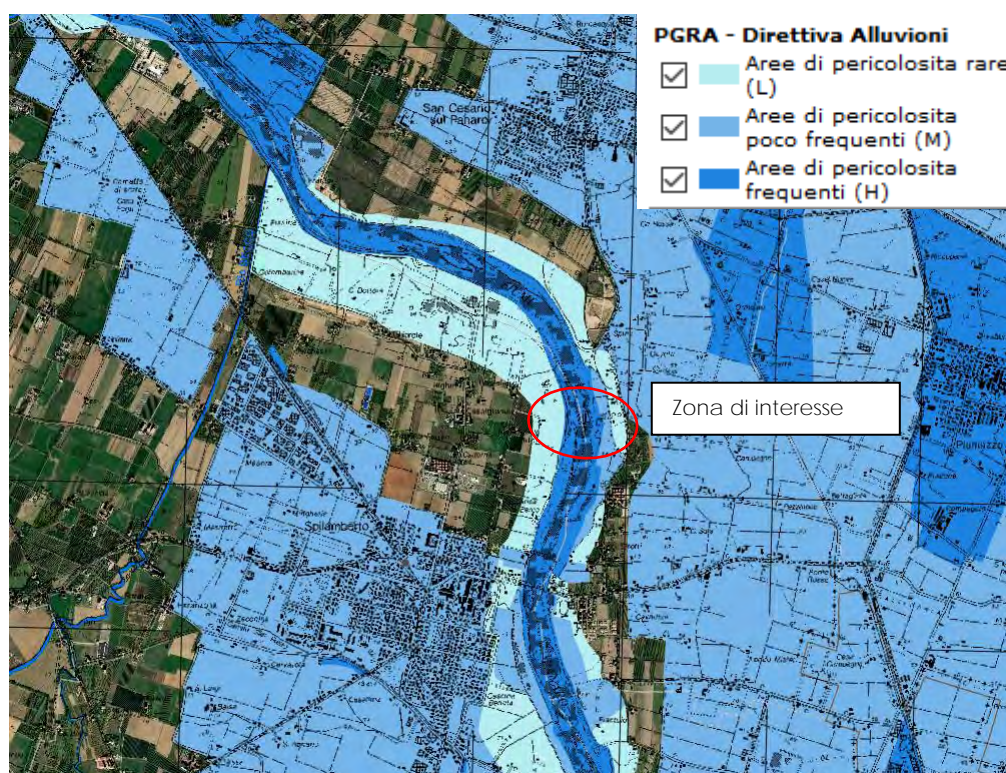


Figura 2 Estratto cartografico della pericolosità idraulica secondo la Direttiva Alluvioni 2015 (alluvioni frequenti (H) = TR 30 – 50 anni, alluvioni poco frequenti (M) = TR 100 – 200 anni, alluvioni rare (L) = TR fino a 500 anni)

### 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

## 2.2. Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) – Fasce Fluviali e Norme Tecniche d'Attuazione

Il PAI vigente, adottato con DPCM del 24/05/2001, affronta la materia relativa ai corsi d'acqua principali al Titolo II "Norme per le fasce fluviali" delle Norme di attuazione.

L'assetto idraulico dei corsi d'acqua principali e i relativi fenomeni di inondazione che determinano condizioni di pericolosità e rischio idraulico sono gestiti nel PAI attraverso la delimitazione delle fasce fluviali, condotta secondo un metodo che definisce tre distinte fasce (art.28 N.A e Allegato 3 "Metodo di delimitazione delle fasce fluviali" al Titolo II delle N.A. del PAI):

- la fascia A o fascia di deflusso della piena, è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso della corrente; per la delimitazione della stessa si assume quella più ampia fra:
  - la porzione dell'alveo ove defluisce almeno l'80% della portata di riferimento; all'esterno di tale fascia la velocità della corrente deve essere minore o uguale a 0,4 m/s (criterio prevalente per i corsi d'acqua mono o pluricursali);
  - il limite esterno delle forme fluviali potenzialmente attive per la portata di riferimento (criterio prevalente nei corsi d'acqua ramificati);
- la fascia B o fascia di esondazione, esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena, ovvero sino alle opere idrauliche di controllo delle inondazioni dimensionate per la stessa portata; la delimitazione sulla base dei livelli idrici va integrata con:
  - le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate, dal punto di vista morfologico, paesaggistico e talvolta ecosistemico alla dinamica fluviale che le ha generate;
  - le aree di elevato pregio naturalistico e ambientale e quelle di interesse storico, artistico, culturale strettamente collegate all'ambito fluviale;
- la fascia B di progetto è costituita da quella parte della fascia B in cui il contenimento dei livelli idrici di piena è affidato a opere idrauliche non esistenti e programmate nell'ambito dello stesso PAI; la fascia B di progetto è ricondotta alla fascia B nel momento in cui le opere previste sono realizzate, "in conformità al tracciato dell'opera idraulica eseguita";
- la fascia C o area di inondazione per piena catastrofica è costituita dalla porzione di territorio esterna alla fascia B, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento. Come portata catastrofica si assume la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un tempo di ritorno superiore a 200 anni, o in assenza di essa, la piena con 500 anni di tempo di ritorno. Per i corsi d'acqua non arginati la delimitazione viene effettuata con gli stessi criteri adottati per la fascia B; per i corsi d'acqua arginati, l'area è delimitata unicamente nei tratti in cui lo rendano possibile gli elementi morfologici disponibili; in tali casi la delimitazione è definita in funzione della più gravosa delle seguenti due ipotesi (se entrambe applicabili) in relazione alle altezze idriche relative alla piena:
  - altezze idriche corrispondenti alla quota di tracimazione degli argini;
  - altezze idriche ottenute calcolando il profilo idrico senza tenere conto degli argini.

Per le aree ricadenti all'interno delle fasce, il PAI prevede una serie di norme d'uso del suolo, finalizzate a garantire le condizioni di sicurezza del territorio e la compatibilità degli usi all'interno delle fasce stesse con i fenomeni legati al deflusso della piena. La regolamentazione generale delle porzioni di territorio ricadenti all'interno delle fasce A, B e C è contenuta rispettivamente negli art. 29, 30 e 31 delle Norme di attuazione. Di seguito si riporta un estratto cartografico in cui si evidenzia che il tratto di fiume oggetto di studio ricade nella delimitazione delle fasce PAI, per un maggior dettaglio grafico si rimanda agli allegati.

### 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:

### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro. Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

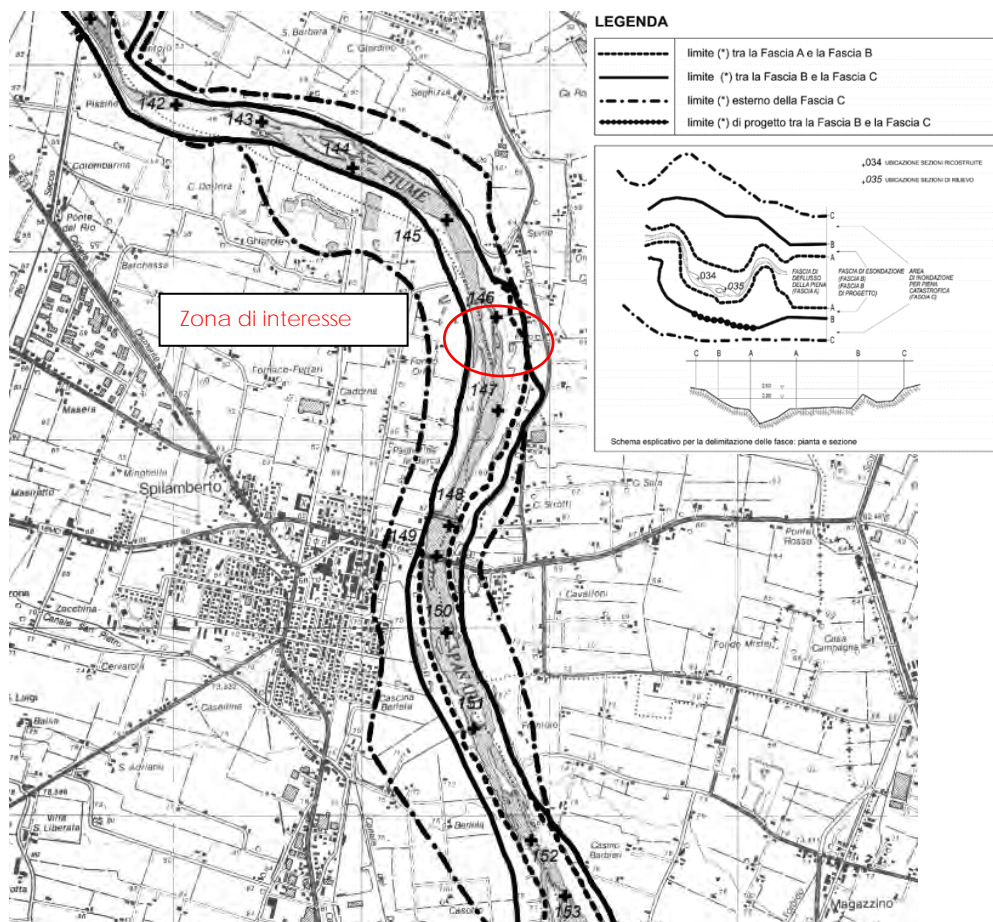


Figura 3 Estratto cartografico fasce PAI

### 2.3. Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) è lo strumento di pianificazione a scala provinciale che, in coerenza con gli indirizzi regionali di sviluppo socio - **economico**, **definisce obiettivi ed elementi fondamentali dell'assetto del territorio** provinciale con riguardo alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, sismiche, idrogeologiche, paesaggistiche e ambientali.

Il tratto di fiume in esame ricade nel territorio provinciale di Modena.

Per quanto concerne la provincia di Modena, il primo PTCP risale agli anni 1998-1999; successivamente è entrata in vigore la legge "urbanistica" regionale "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio" (L.R. nr.20 del 24 marzo 2000), e sono sopraggiunte numerose novità nel campo degli assetti economici, sociali, demografici, ambientali e della sicurezza del territorio.

Il Piano è entrato in vigore l'8 aprile 2009 a seguito della pubblicazione dell'avviso di avvenuta approvazione sul Bollettino Ufficiale della Regione Emilia Romagna (nr.59- parte seconda).

Analizzando il documento 2.3 "Rischio idraulico: carta della pericolosità e della criticità idraulica" il tratto di fiume Panaro di interesse per il seguente studio viene classificato secondo le "fasce di espansione inondabili" (art.9, comma 2, lettera a) per la definizione della pericolosità e/o criticità idraulica.

## 2.1 Relazione idraulica

### RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



## MANDANTE





### Intervento A

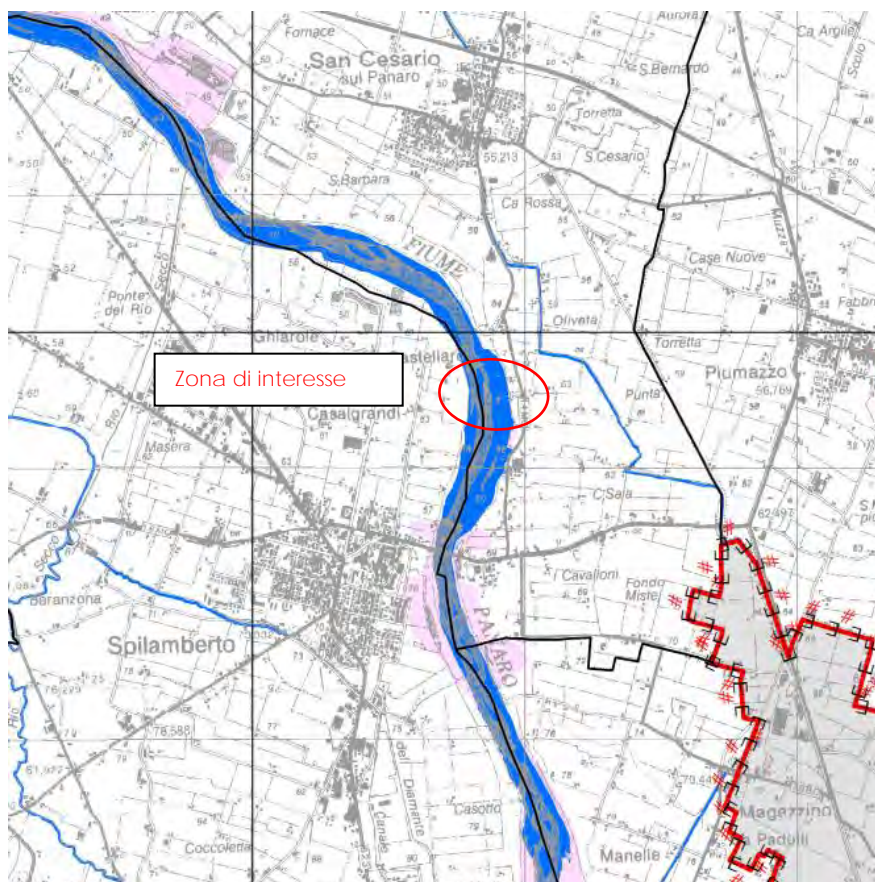
Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO



VOCI DI LEGENDA	
Aree a differente pericolosità e/o criticità idraulica	
	A1 - Aree ad elevata pericolosità idraulica (Art.11)
	A2 - Aree depresse ad elevata criticità idraulica con possibilità di permanenza dell'acqua a livelli maggiori di 1 metro (Art.11)
	A3 - Aree depresse ad elevata criticità idraulica aree a rapido scorrimento ad elevata criticità idraulica (Art.11)
	A4 - Aree a media criticità idraulica con bassa capacità di scorrimento (Art.11)
	Aree golenali naturali ed artificiali
	Paleodossi di accertato interesse (Art.23A, comma 2, lettera a)
	Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua (Art.10)
	Fasce di espansione inondabili (Art.9, comma 2, lettera a)
	Limite delle aree soggette a criticità idraulica (Art.11)
<b>LIMITI AMMINISTRATIVI</b>	
	Limite di Regione
	Limite di Provincia
	Limite di Comune



Figura 4 Estratto cartografico "Rischio idraulico: carta della pericolosità e della criticità idraulica" – PTCP della Provincia di Modena

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

### 3. Inquadramento dell'area di intervento e analisi delle criticità

Il manufatto oggetto di intervento è la briglia selettiva posizionata circa 1,2 km a valle della traversa di Spilamberto, manufatto realizzato nella seconda metà degli anni 1970.

L'opera ha la funzione di intercettare il materiale flottante per evitare il più possibile che arrivi in cassa e quindi vada ad infierire sulle manovre di regolazione.

La briglia esistente, risalente a metà degli anni 70, ha una lunghezza di circa 151 m da muro d'ala a muro d'ala, ed è costituita da una fondazione profonda su diaframmi, da una trave di coronamento degli stessi e da un pettine costituito da denti in calcestruzzo armato di diametro 50 cm rivestiti con tubi di acciaio, posti ad interasse di 3,00 m di altezza, pari a circa 5,00 m.

Si evidenzia comunque che nel tempo sono stati eseguiti vari interventi sia di modifica della stessa che di protezione dell'alveo del fiume.

In primo luogo, è stata effettuata la demolizione dei denti nella parte centrale dell'opera per indirizzare il più possibile la corrente nella zona centrale dell'alveo al fine di alleggerire l'impatto diretto della corrente sulla sponda destra appena a monte del manufatto cercando quindi di contenere gli effetti erosivi in atto. Come si evince anche dalle immagini sotto riportate il fronte di erosione ha arretrato la sponda di circa 65 m.



Figura 5 Vista aerea della configurazione dell'area di interesse nell'anno 2006 (fonte: Google maps)

#### 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO



Figura 6 Vista aerea della configurazione dell'area di interesse nell'anno 2011 (fonte: Google maps)



Figura 7 Vista aerea della configurazione dell'area di interesse nell'anno 2014 (fonte: Google maps)

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO



Figura 8 Vista aerea della configurazione dell'area di interesse nell'anno 2018 (fonte: Google maps)

Tale erosione è stata poi contrastata di recente (estate/autunno 2019) mediante la realizzazione una ricalibratura della sponda erosa con realizzazione di una scogliera in massi a protezione.



Figura 9 Rilievo DTM con l'erosione in atto della sponda destra

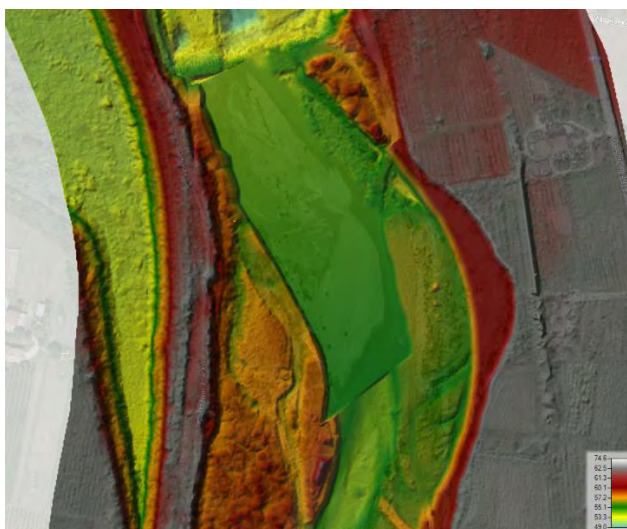


Figura 10 Rilievo DTM con l'integrazione da parte dello scrivente del progetto della difesa spondale progettata dallo studio Eatec

La ricostruzione geometrica della difesa di sponda, da poco ultima da Regione Emilia - Romagna e AIPO con il piano di emergenza dissesto del 2019, è stata effettuata seguendo il progetto esecutivo realizzato da ETATEC e di cui sotto si riportano alcuni estratti cartografici per rendere più chiara l'entità dell'intervento.

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

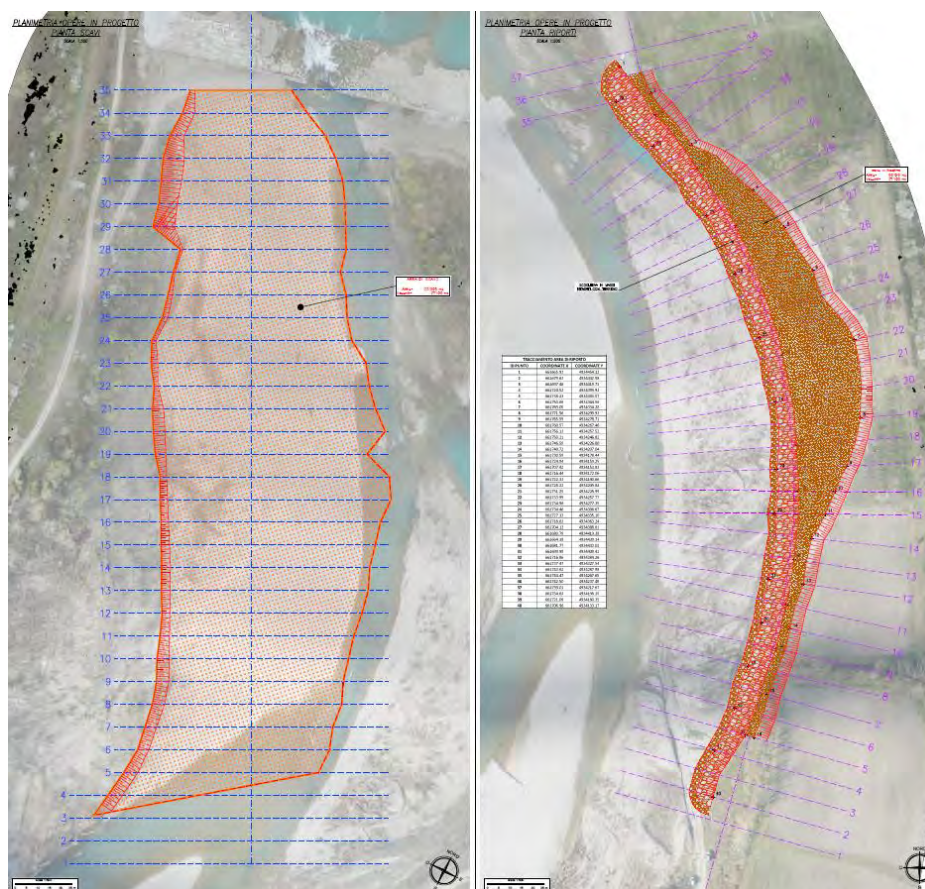


Figura 11 Estratto della planimetria di progetto della difesa in sponda destra sul fiume Panaro a monte della briglia selettiva

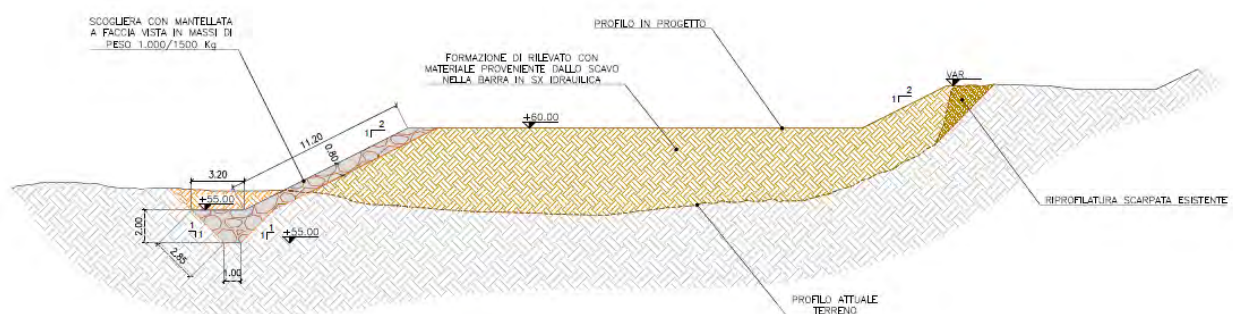


Figura 12 Sezione tipologica di progetto della difesa in sponda destra sul fiume Panaro a monte della briglia selettiva

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE





#### **Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### **Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO



Figura 13 Vista fotografica della scogliera in massi a seguito del ripristino dell'erosione della sponda destra a monte della briglia selettiva

L'eliminazione dei denti centrali dell'opera trasversale ha alleggerito le azioni sollecitanti della corrente su di essa lasciando passare molto materiale flottante a valle, al contempo però tale configurazione ha determinato una progressiva erosione del fondo alveo con evidenti effetti di scalzamento della struttura stessa. Dal rilievo celerimetrico realizzato per il progetto in questione e dal DTM del corso d'acqua dell'anno 2015 fornito da AIPO, si rilevano a ridosso della struttura delle depressioni dell'alveo anche superiori a 6 m come si vede in Figura 16.



Figura 14 Configurazione attuale della briglia selettiva con evidenti segni di erosione a valle della struttura

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO



Figura 15 Vista fotografica della briglia selettiva dalla sponda destra del fiume durante l'evento di piena del 17 novembre 2019

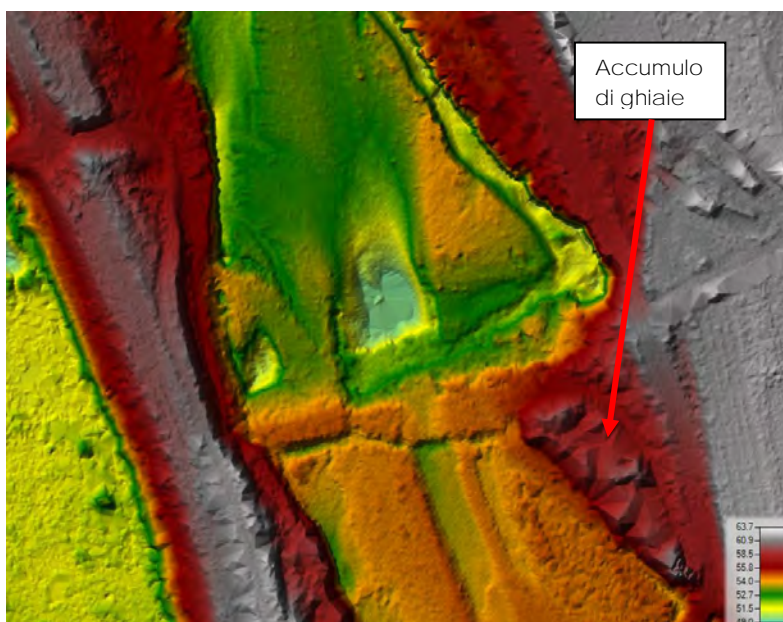


Figura 16 Rilievo DTM del fondo alveo nella configurazione attuale dell'area oggetto di studio

Per contrastare tali fenomeni nel corso degli anni sono stati effettuati ripetuti interventi di rivestimento del fondo alveo a valle della briglia, per ripristinare il fondale e contrastare i fenomeni di erosione; anche in sponda sinistra, dove la corrente, a seguito del cambio di direzione dovuta all'erosione di monte, impatta maggiormente in condizioni di piena è stata realizzata una protezione spondale in massi di cava.

Inoltre, sono infine stati effettuati anche vari interventi puntuali di consolidamento dei fissaggi dei denti della griglia soggetti sollecitazioni tali in piena da determinarne l'asportazione.

In ragione di quanto esposto la configurazione attuale della briglia è caratterizzata dalle seguenti dimensioni:

- larghezza briglia fra i muri di sponda: 151,00 m s.l.m.;

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

- dimensioni e quote trave coronamento:
  - larghezza: 1,45 m;
  - altezza: 1,55 m;
  - Qsommità sx: 54,80 m s.l.m.;
  - Qsommità dx: 55,90 m s.l.m.;
- dimensioni e quote gaveta:
  - lunghezza: 11,50 m s.l.m.;
  - Qfondo 53,75 m s.l.m.;
- Quota sommità denti briglia: 59,45 m s.l.m.



Figura 17 Ripresa fotografica da valle della briglia selettiva

A monte della struttura il fondo alveo si allinea circa alla quota della trave della briglia. Di fatto in sponda destra risulta evidente un consistente accumulo di ghiaie il cui effetto, unitamente alla grande ansa formatasi a monte per erosione, è quello di indirizzare la corrente in sponda sinistra con danni sempre più evidenti della stessa (Figura 16).

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO



Figura 18 Ripresa fotografica da monte dell'accumulo di ghiaie in sponda destra

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





#### **Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### **Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

## 4. Inquadramento generale dell'intervento

L'analisi delle condizioni di dissesto del manufatto, l'assetto morfologico attuale del corso d'acqua, l'analisi idraulica condotta (e le conseguenti azioni a cui il manufatto è soggetto per la piena di riferimento con tempo di ritorno di 200 anni) suggeriscono come obiettivo progettuale il consolidamento della struttura esistente, garantendo la sua duplice funzione: trattenere il materiale flottante trasportato dalla corrente e stabilizzare il fondo alveo, evitando il progressivo abbassamento del thalweg con conseguenti problemi di stabilità delle strutture a monte, come la soglia del ponte di Spilamberto ed il ponte stesso.

Di seguito si elencano in maniera sintetica le azioni di progetto:

1. mantenimento dell'attuale interasse dei denti della briglia;
2. posizionamento dei denti ora mancanti in corrispondenza della gaveta e quello mancante a ridosso del muro di sinistra idraulica;
3. realizzazione di una controstruttura in calcestruzzo a ridosso della briglia esistente per consolidamento strutturale della stessa, garantendo il migliore ancoraggio dei tirafondi di fissaggio delle carpenterie metalliche che andranno a rinforzare gli attuali denti della briglia e gestire il dislivello fra la briglia attuale e la vasca di dissipazione in progetto di valle che andrà a contrastare l'azione erosiva della corrente causata dal salto idraulico indotto dall'opera trasversale stessa;
4. **rimodellamento dell'alveo a monte** con sistemazione degli accumuli di materiale inerte a ridosso della parte di monte della briglia con trasferimento a valle, a riempimento delle fosse scavate lateralmente dal fiume. Con tale operazione si cercherà di migliorare il deflusso delle acque evitando di convogliare le stesse in sponda sinistra e cercando di distribuirle il più possibile in maniera uniforme su tutto lo sviluppo dell'opera trasversale;
5. realizzazione di una vasca di dissipazione a valle della briglia selettiva contenuta all'estremità di valle da un traverso in calcestruzzo su pali, posizionato a 47 m di distanza dalla vecchia briglia. In questo modo si ottiene una vasca di dissipazione, perfettamente in piano, di larghezza superiore a 40 m, realizzata con massi ciclopici in pietra naturale studiata per contenere il deflusso massimo della piena duecentennale;
6. realizzazione di nuove difese spondali sia a monte che a valle con massi in pietra naturale.

I lavori sopra descritti saranno previsti in due interventi esecutivi, così individuati:

INTERVENTO A) - Lavori di consolidamento strutturale della briglia selettiva esistente con realizzazione della porzione di vasca di dissipazione strettamente funzionale al completamento della stessa.

INTERVENTO B) – Completamento dei movimenti terra da monte a valle, realizzazione traverso di contenimento della vasca di dissipazione e completamento di quest'ultima. Contestualmente si provvede al completamento delle difese spondali.



### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO



Figura 19 Planimetria di progetto

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

## 5. Analisi idrologica

### 5.1. Caratteristiche del bacino del fiume Panaro

Il bacino del fiume Panaro occupa la Provincia di Modena, parte della Provincia di Bologna e limitatamente, le Province di Pistoia (Abetone), Ferrara (Bondeno) e Mantova (Oltrepò mantovano).

Ha una superficie complessiva di 1775 km<sup>2</sup>, in cui 45% ricade in ambito montano. A sud-ovest è delimitato dal crinale appenninico tosco-emiliano e si estende con andamento sud-ovest – nord-est fino all'asse della pianura padana rappresentato dal fiume Po.

Il fiume nasce dal Monte Cimone (2165 m s.l.m.) e confluisce nel Po, presso Bondeno, dopo aver percorso circa 165 km; prende il nome di Panaro a valle di Montespecchio dopo la confluenza dei torrenti Leo e Scoltenna, che costituiscono la parte alta del reticolo idrografico, prendendo origine dal crinale appenninico, alle quote di 1500-1700 m s.l.m. e confluendo alla quota di circa 300 m s.l.m. per formare l'asta principale.

Dalla confluenza dei torrenti Leo e Scoltenna il corso d'acqua scorre in una valle ampia con andamento sinuoso ricevendo numerosi affluenti; in particolare in sinistra il torrente Lerna e il rio Torto, in destra i rii S. Martino e Missano. Da Marano alla via Emilia il corso d'acqua scorre nell'alta pianura con andamento meandriforme e struttura pluricursale. A valle dell'area di laminazione della cassa di Sant'Anna, gli affluenti sono tutti in sinistra, in particolare il torrente Tiepido e il Canale Naviglio.

Le sorgenti del T. Tiepido sono situate sulle pendici dei monti Cornazzano, Ravaglia, Pizzicano, Monfestino e Serramazzone. Il corso d'acqua ha andamento pressoché rettilineo in direzione sud-ovest – nord-est. Il T. Tiepido ha un'estensione di circa 35 km e il suo bacino imbrifero è pari a circa 107 km<sup>2</sup>.



Figura 20 Sistema fluviale del Fiume Panaro (fonte: "Relazione tecnica sulla verifica funzionale delle arginature del fiume Panaro" Unimore)

### 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

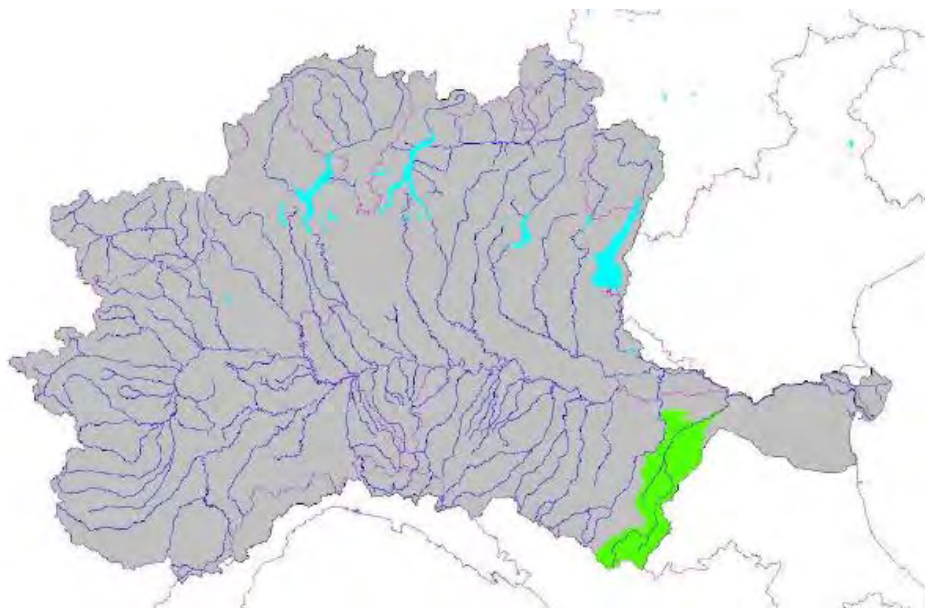


Figura 21 Inquadramento dell'intero bacino del fiume Po ed in verde il bacino del fiume Panaro



Figura 22 Dettaglio del bacino del fiume Panaro (fonte: Relazione idraulica del Progetto Esecutivo "Lavori di movimentazione del materiale litoide in alveo e di ripresa erosione spondale in destra idraulica del fiume Panaro a monte della briglia selettiva piano degli interventi urgenti – annualità 2019 di cui all'art.2 C.1 DPCM del 27/02/2019")

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

Il bacino idrografico di monte del fiume Panaro, chiuso alla traversa fluviale in ingresso alla cassa di espansione posta in località Sant'Anna subito a valle del ponte dell'autostrada A1, ha un'estensione totale di 880 km<sup>2</sup>.

La cassa di espansione è situata in località Sant'Anna a San Cesario sul Panaro ed è costituita da uno sbarramento in linea del corso d'acqua poi, un corpo di arginature maestre che sottende un invaso in linea ed uno sfioratore laterale interno all'invaso in linea che regola il deflusso verso un invaso secondario fuori linea. L'invaso fuori linea è interno alle arginature maestre dell'invaso in linea, ma risulta diviso da un argine interno secondario sormontabile.

L'asta fluviale a valle della cassa di espansione è protetta da un corpo arginale continuo in destra e sinistra idraulica lungo tutto lo sviluppo del fiume (circa 68 km) fino alla confluenza con il fiume Po.

Come anticipato precedentemente, lungo il corso fluviale, il fiume Panaro riceve in sinistra idraulica le acque di due affluenti: il torrente Tiepido in località Fossalta ed il Naviglio a Bomporto.

Il tratto oggetto del presente progetto, appartiene alla prima unità, cioè all'asta del F. Panaro a monte della cassa di laminazione.

Le portate di piena di riferimento per il Panaro sono riportate nella tabella 31 dell'apposita Direttiva del PAI, riportata nella Tabella 1. Tali valori di portata solo gli stessi riportati nella Tabella 4.37 del documento "Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale" del PGRA, riportati nella successiva Tabella 2.

Tabella 1 Portate di piena di riferimento del F. Panaro indicate nel PAI

Tabella 31: portate di piena per i corsi d'acqua principali del bacino del Panaro (Panaro, Tiepido)										
Bacino	Corso d'acqua	Sezione			Superficie km <sup>2</sup>	Q20 m <sup>3</sup> /s	Q100 m <sup>3</sup> /s	Q200 m <sup>3</sup> /s	Q500 m <sup>3</sup> /s	Idrometro Denominazione
		Progr.( km)	Cod.	Denomin.						
Panaro	Panaro	84.029	175	Marano sul P.	696	960	1180	1380	1550	
Panaro	Panaro	104.273	136	San Cesario	759	1030	1270	1480	1660	
Panaro	Panaro	113.283	117	Saliceto P.	1043	780	880	940	-	
Panaro	Panaro	174.940	3	Confl. in Po	1070	780	880	940	-	
Panaro	Tiepido	12.643	31	Gorzano	44	100	155	175	210	
Panaro	Tiepido	25.965	11	San Damaso	67	120	180	200	240	

Tabella 2 Portate di piena di riferimento del F. Panaro indicate nel PGRA

Tab. 4.37: portate di piena per i corsi d'acqua principali del bacino del Panaro (Panaro, Tiepido)										
Bacino	Corso d'acqua	Sezione			Superficie km <sup>2</sup>	Q20 m <sup>3</sup> /s	Q200 m <sup>3</sup> /s	Q500 m <sup>3</sup> /s	Idrometro	
		Progr. (km)	Cod.	Denomin.					Denominazione	
Panaro	Tiepido	12.643	31	Gorzano	44	100	175	210	Tiepido a Gorzano	
Panaro	Tiepido	25.965	11	San Damaso	67	120	200	240		
Panaro	Panaro	84.029	175	Marano sul Panaro	696	960	1380	1550		
Panaro	Panaro	104.273	136	San Cesario sul Panaro	759	1030	1480	1660		

Il tratto oggetto del presente progetto è posto in Comune di San Cesario sul Panaro.

**2.1 Relazione idraulica**

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

Per lo studio in questione sono stati utilizzati gli idrogrammi di piena forniti da ADBPO e riportati in Figura 23, in particolare sempre per le finalità delle analisi funzionali al progetto in questione sono state analizzati gli eventi con tempi di ritorno 20 e 200 anni.

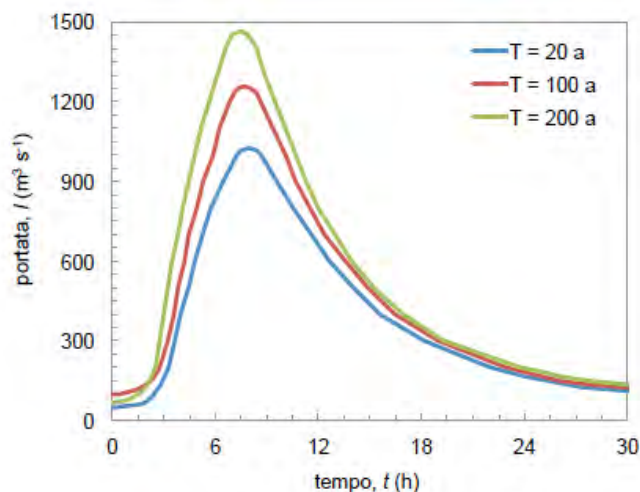


Figura 23 Idrogrammi di piena con periodo di ritorno 20, 100 e 200 anni secondo ADBPO

Un ulteriore dato di input idrologico utilizzato per il seguente studio per la taratura del modello numerico riguarda la simulazione di un evento di piena utilizzando i dati idrometrici registrati dall'idrometro di Spilamberto e la corrispettiva scala di deflusso per la conversione degli stessi in valori di portata. Poi mediante un sopralluogo in corso di evento (evento del 17 Novembre 2019) sono state effettuate delle misure speditive e dei rilievi fotografici per poter orientare meglio i parametri della taratura modellistica.

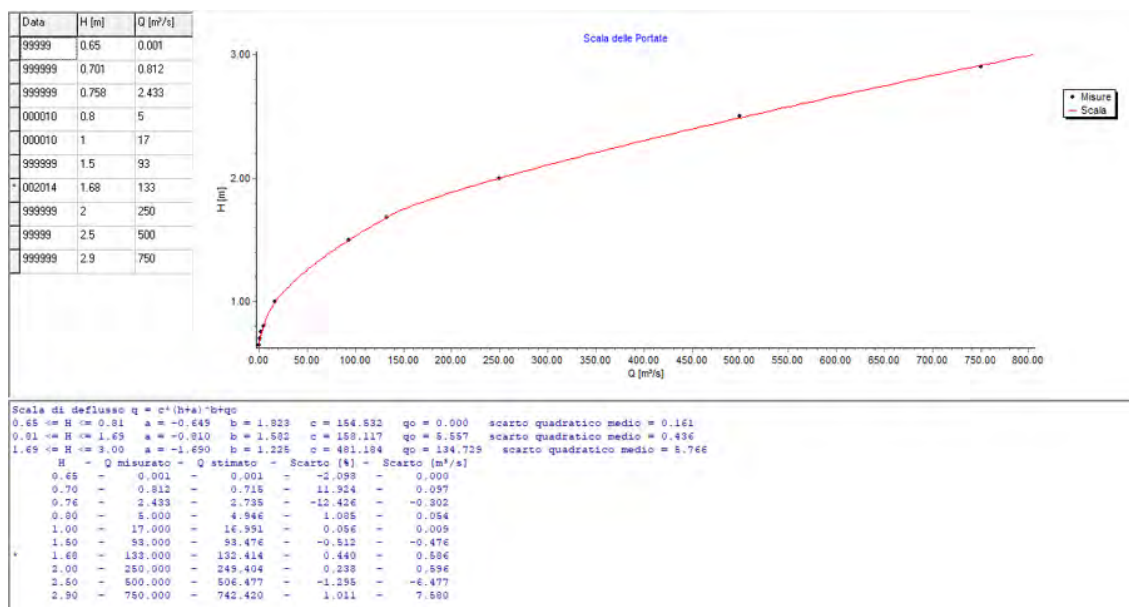


Figura 24 Scala di deflusso del ponte di Spilamberto (fonte: Aipo)

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE





### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

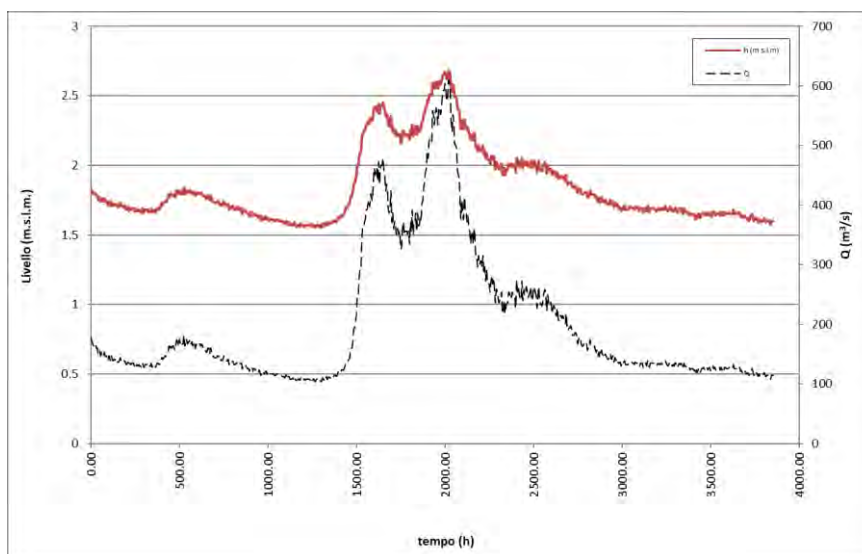


Figura 25 Idrogrammi di livello e di portata registrati dall'idrogmetro di Spilamberto dell'evento del 17 Novembre 2019

Per tale evento è stata quindi registrata una portata massima a Spilamberto di circa 610 m<sup>3</sup>/s.

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

## 6. Analisi idraulica

Le analisi idrauliche effettuate sono finalizzate al dimensionamento delle opere di sistemazione idraulica per la messa in sicurezza della briglia selettiva in questione e all'analisi delle dinamiche di deflusso delle piene nel tratto di fiume Panaro interessato dalle opere mediante l'implementazione di uno specifico modello numerico bidimensionale di dettaglio, verificando la compatibilità idraulica degli interventi previsti.

### 6.1. Analisi modellistica

L'analisi modellistica idraulica è stata svolta implementando un modello numerico bidimensionale con il codice di calcolo HEC-RAS 5.0.7 sviluppato dalla Hydrologic Engineering Center della U.S. Army, che consente il calcolo dell'andamento dei profili di corrente in moto stazionario o gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali includendo anche la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc..

Il modello implementato riguarda una porzione del tratto di Panaro che si estende per una lunghezza di circa 7 km partendo dal ponte di Spilamberto fino al ponte dell'autostrada A1.

Per lo studio idraulico in questione a supporto della progettazione, è stata effettuata una prima analisi delle dinamiche di deflusso delle piene nella configurazione geometrica di stato di fatto e successivamente è stata implementata la configurazione di progetto.



Figura 26 Dettaglio planimetrico dell'estensione del modello idraulico monodimensionale

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE





### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

#### 6.1.1. Allestimento e calibrazione del modello idrodinamico

##### 6.1.1.1. Assetto geometrico dell'alveo

La schematizzazione geometrica dell'alveo è stata effettuata in modo da ottenere una buona e realistica rappresentazione della geometria dell'alveo ai fini di ottenere una corretta valutazione delle condizioni di deflusso in piena.

I dati geometrici inseriti nel modello derivano dall'accorpamento del DTM dell'anno 2015 passo 0,5 m dell'asta (fonte AIPO) ed il rilievo celerimetrico di dettaglio realizzato appositamente per il seguente progetto.

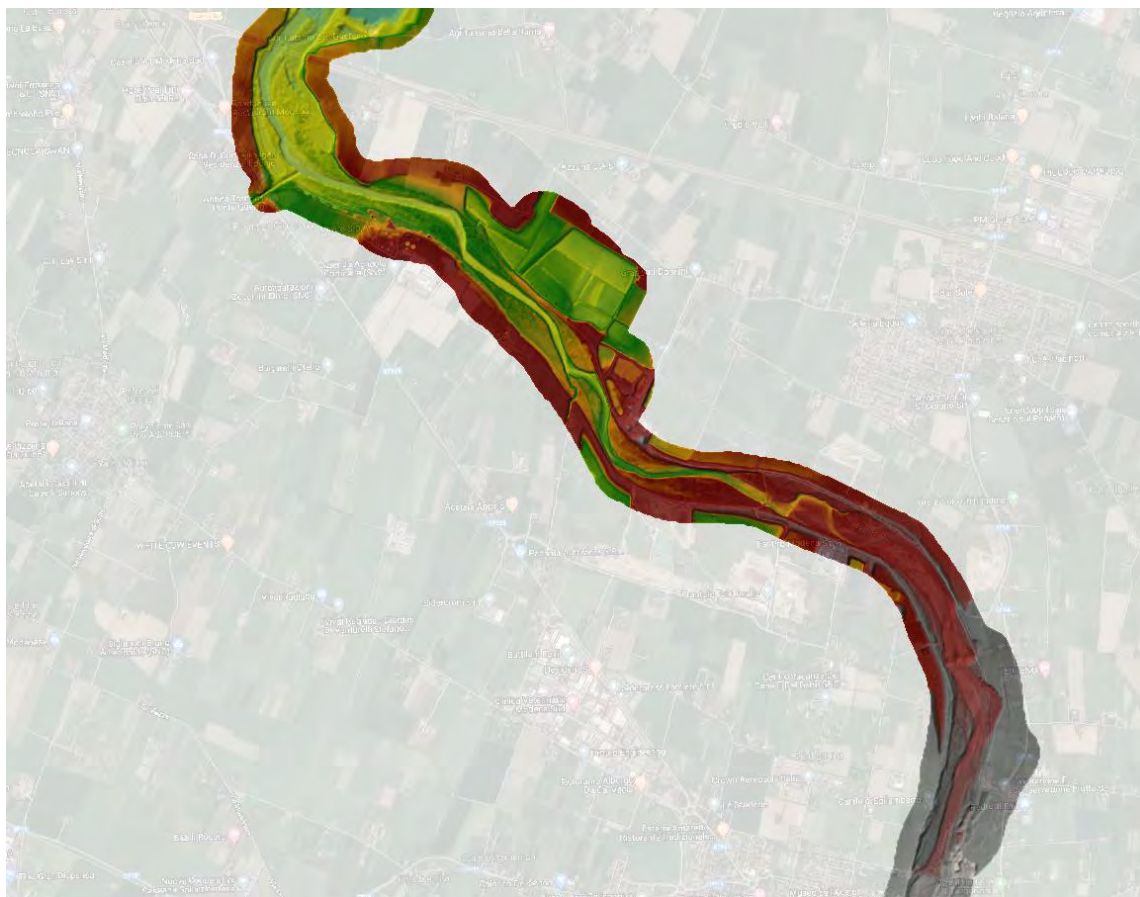


Figura 27 DTM passo 0,5 m integrato con il rilievo celerimetrico nella zona di interesse

A seguire si riporta la schematizzazione grafica della struttura della briglia selettiva inserita nei modelli sia nella configurazione di stato di fatto che di progetto. L'opera è stata schematizzata nel modello numerico come una "inline structure" ed i relativi coefficienti di deflusso sono stati oggetto di taratura.

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE



### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

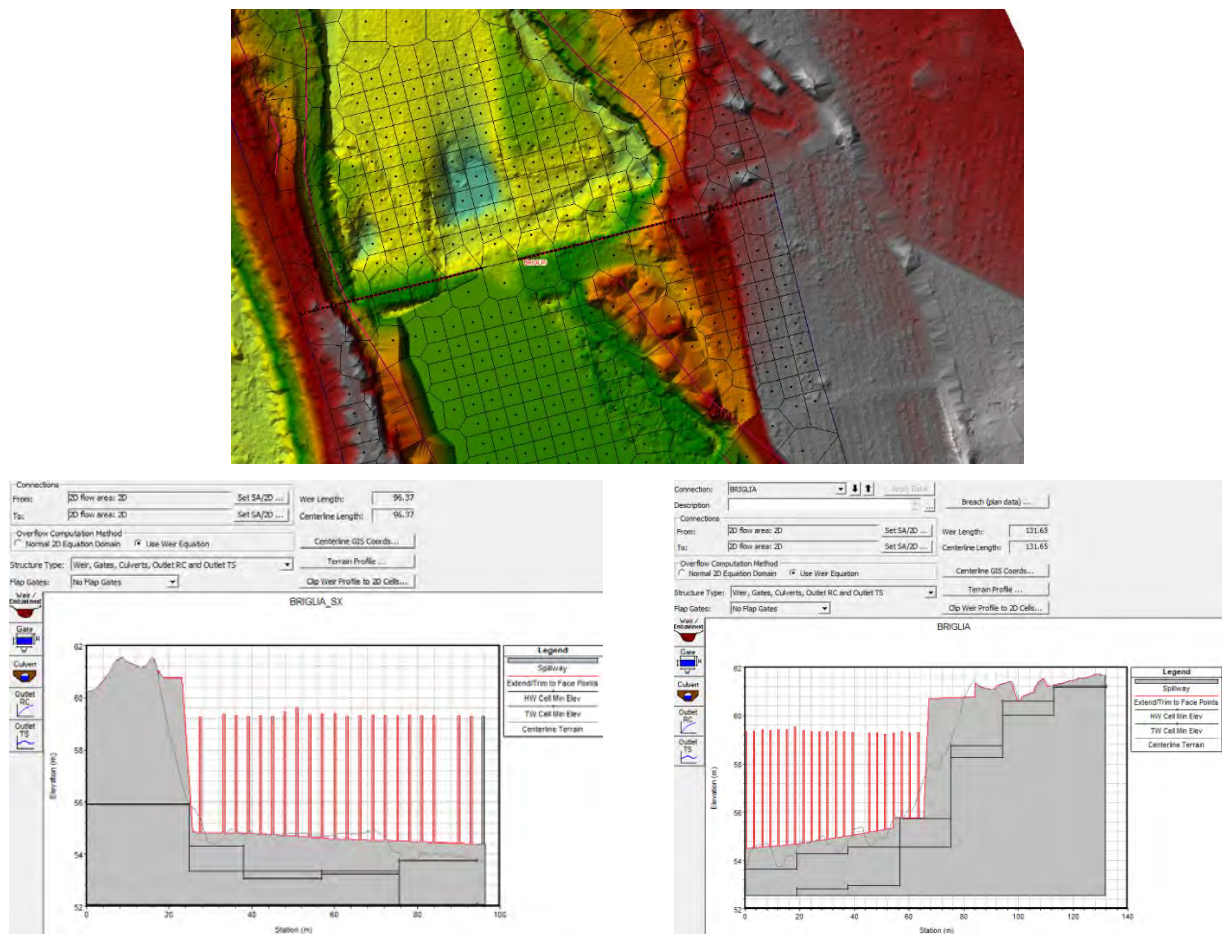


Figura 28 Schematizzazione modellistica della briglia esistente con l'assenza dei denti centrali

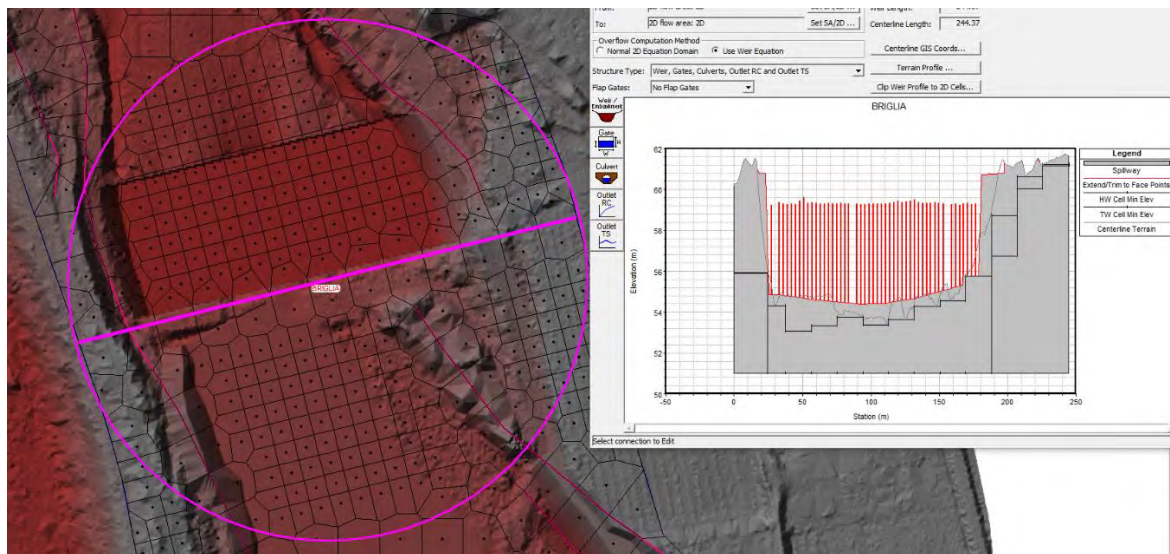


Figura 29 Schematizzazione modellistica della briglia nella configurazione ripristinata di progetto

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

#### 6.1.1.2. Costruzione della griglia di calcolo

Il numero totale delle celle di calcolo adottate nel dominio 2D è di 5613. La schematizzazione 2D è stata implementata mediante l'utilizzo di maglie di calcolo del tipo flexible mesh adatta a discretizzare in maniera dettagliata le varie geometrie del tratto bidimensionale di interesse. La dimensione della maglia principale è costituita da celle 20X20 m; con l'inserimento di breaklines di dettaglio per schematizzare al meglio le discontinuità geometriche del corso il dominio di calcolo è passato da celle 20x20 m a celle di dimensioni molto minori fino al limite 1x1 m nei punti in cui si è discretizzato con il massimo dettaglio le discontinuità morfologiche del terreno.

#### 6.1.2. Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno assegnate al modello monodimensionale per l'esecuzione delle simulazioni idrodinamiche sono le seguenti:

- condizione al contorno di monte (Ponte di Spilamberto): idrogrammi di portata in ingresso descritti nel capitolo dell'idrologia;
- condizione al contorno di valle (ponte A1): imposizione del passaggio in corrente di moto uniforme.

Per la finalità progettuale le analisi idrauliche svolte tengono conto delle piene di progetto definite nel capitolo dell'idrologia in particolare delle piene con tempo di ritorno di 20 e 200 anni e della piena del 17 novembre 2019 utilizzata per la taratura del modello.

#### 6.1.3. Definizione della scabrezza

La valutazione dei coefficienti di scabrezza da inserire nel modello è stata basata su dati di letteratura, sulle indicazioni rilevate durante i sopralluoghi lungo il tratto oggetto di studio ed in particolare dalle analisi di taratura effettuate sulla piena simulata del 17 novembre 2019. In particolare, si è scelto di riferirsi alle tabelle di cui al paragrafo 4.8.4 della Direttiva "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" emanata dall'Autorità di Bacino del fiume Po.

Per il tratto oggetto di studio è stato assunto cautelativamente un valore del coefficiente di Strickler pari a  $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per l'alveo attivo; nella restante porzione del letto del fiume in corrispondenza delle zone vegetate è stato imposto un valore pari a  $18 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ .

Si riporta in Figura 30 la tabella dei valori dell'indice di scabrezza di Strickler per i corsi d'acqua naturali (V.T. Chow) da cui si evince la conferma dei parametri di scabrezza utilizzati nel modello.

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

PAG. 24/44



### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

<b>2. Excavated or Dredged Channels</b>			
<b>a. Earth, Straight, and Uniform:</b>			
1. Clean, recently completed	0.016	0.018	0.020
2. Clean, after weathering	0.018	0.022	0.025
3. Gravel, uniform section, clean	0.022	0.025	0.030
4. With short grass, few weeds	0.022	0.027	0.033
<b>b. Earth Winding and Sluggish:</b>			
1. No vegetation	0.023	0.025	0.030
2. Grass, some weeds	0.025	0.030	0.035
3. Dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.030	0.035	0.040
4. Earth bottom and rubble sides	0.028	0.030	0.035
5. Stony bottom and weedy banks	0.025	0.035	0.040
6. Cobble bottom and clean sides	0.030	0.040	0.050
<b>c. Dragline-Excavated or Dredged:</b>			
1. No vegetation	0.025	0.028	0.033
2. Light brush on banks	0.035	0.050	0.060
<b>d. Rock Cuts:</b>			
1. Smooth and uniform	0.025	0.035	0.040
2. Jagged and irregular	0.035	0.040	0.050
<b>e. Channels not Maintained, Weeds and Brush Uncut:</b>			
1. Dense weeds, high as flow depth	0.050	0.080	0.120
2. Clean bottom, brush on sides	0.040	0.050	0.080
3. Same as above, highest stage of flow	0.045	0.070	0.110
4. Dense brush, high stage	0.080	0.100	0.140
<b>3. Main Channels:</b>			
a. Clean, straight, full stage, no riffs or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective	0.040	0.048	0.055
f. Same as (d) with more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stand of timber and underbrush	0.075	0.100	0.150
<b>4. Mountain Streams, No Vegetation in Channel, Banks usually Steep, Trees and Brush along Banks Submerged at High Stages</b>			
a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. Bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070
<small>Sources: (1) ASCE, (1982), Gravity Sanitary Sewer Design and Construction, ASCE Manual of Practice No. 60, New York, NY. (2) Chow, V.T., (1959), Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill, New York, NY.</small>			

Figura 30 Valori dell'indice di scabrezza di Strickler ( $m^{1/3}/s$ )

#### 6.1.4. Taratura del modello

La messa a punto del modello è stata completata dalla fase di taratura, consistente nella ricerca dei valori dei coefficienti di scabrezza più opportuni e dei coefficienti di deflusso della briglia selettiva al fine di ottenere un soddisfacente confronto calcolato/misurato nell'ambito della simulazione di taratura.

In particolare, a seguito di un sopralluogo effettuato alle ore 15:50 del 17 Novembre 2019 quando ormai il colmo era transitato da qualche ora per la zona di interesse e la piena era in fase discendente ma non cessata, sono stati rilevati alcuni indicatori utilizzati per l'analisi dei risultati modellistici. Di seguito si riportano i riscontri fotografici ed i corrispettivi punti di ripresa sulla planimetria dell'area di interesse con riportato i livelli ottenuti dalla simulazione numerica.

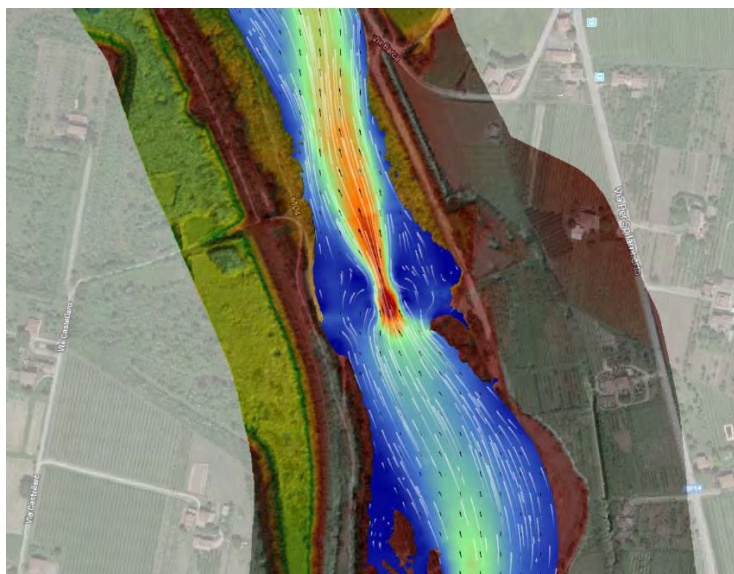


Figura 31 Simulazione dell'evento del 17/11/2019 durante il passaggio del colmo di piena

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

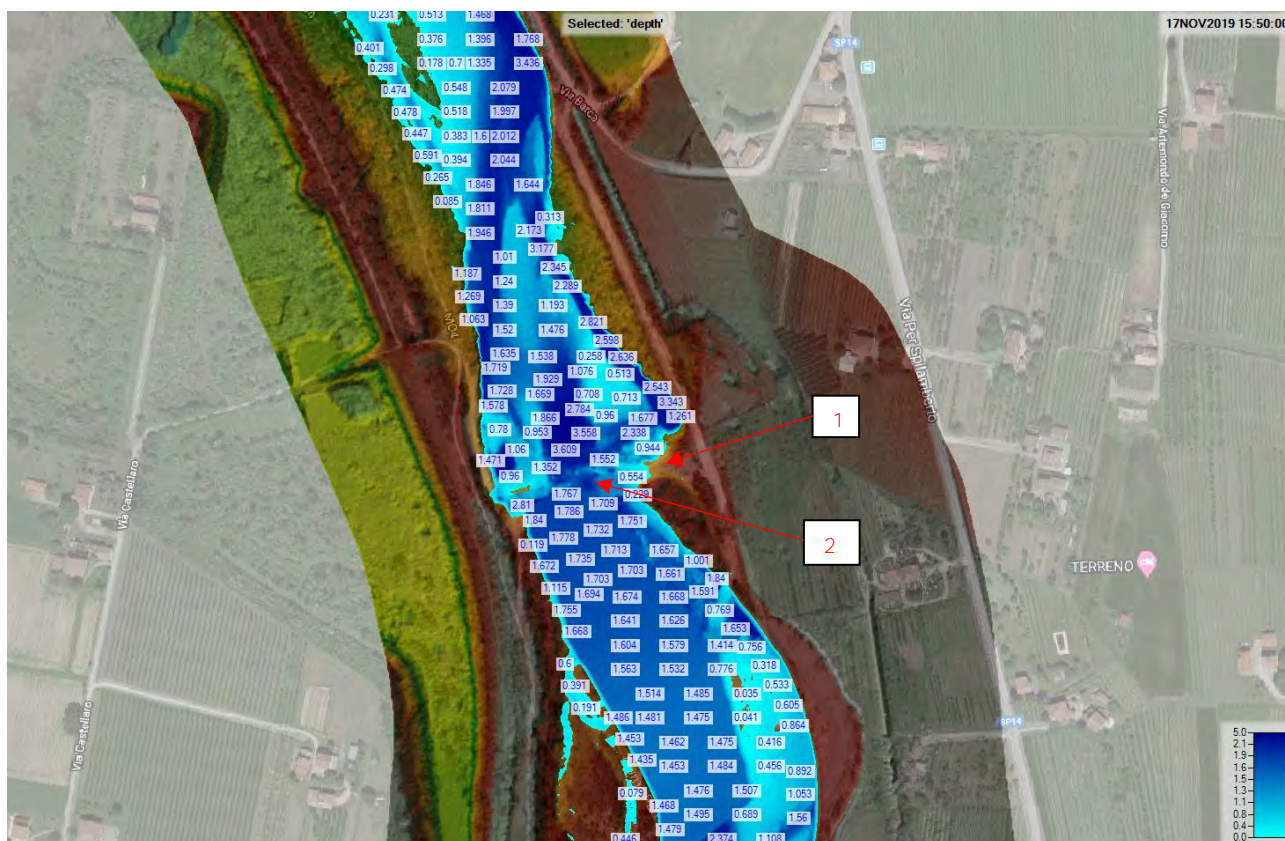


Figura 32 Livelli idrici delle ore 15:30 del 17/11/2019 ottenuti con la simulazione di taratura



Figura 33 Vista fotografica del punto di ripresa 1 durante l'evento del 17/11/2019 alle ore 15:50

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

PAG. 26/44





### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO



Figura 34 Vista fotografica del punto di ripresa 2 durante l'evento del 17/11/2019 alle ore 15:50

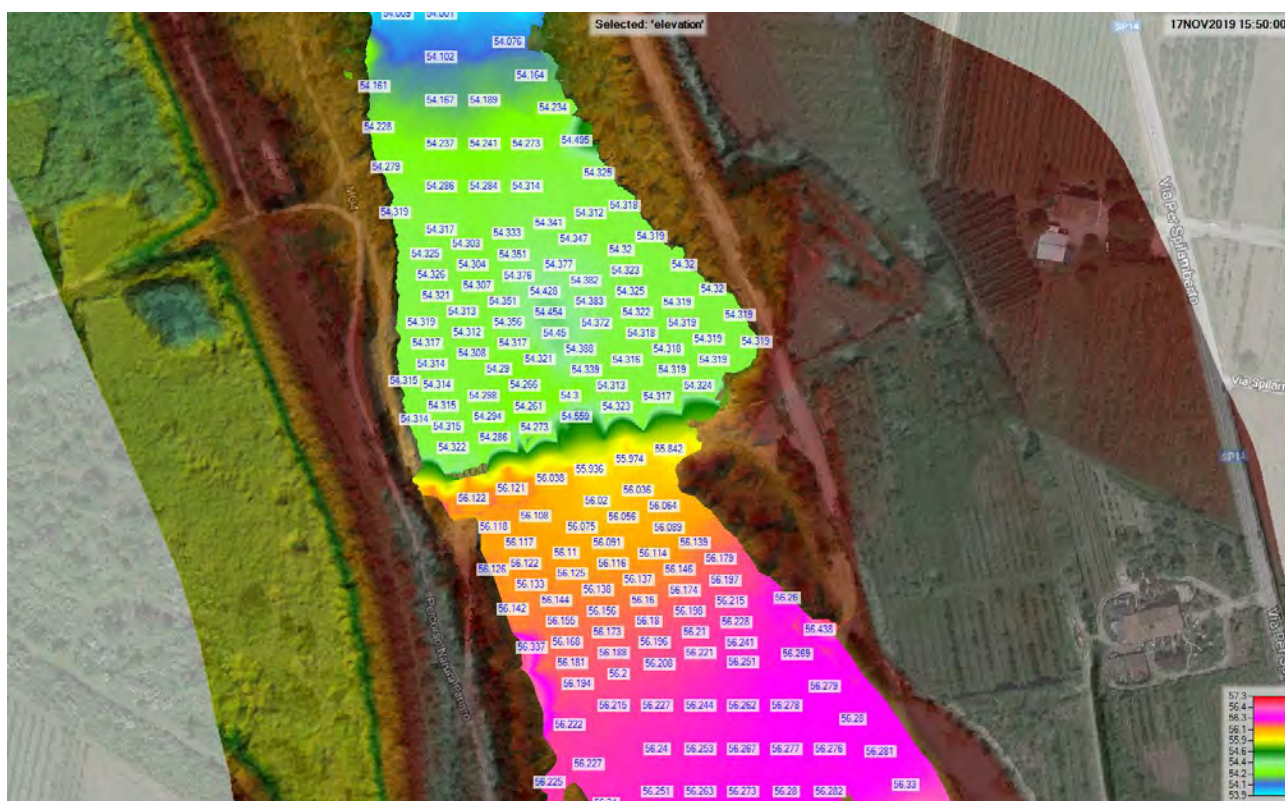


Figura 35 Livelli idrici ottenuti dalla simulazione numerica alle ore 15:50 del 17/11/2019

Come si può osservare dalla Figura 34 l'emersione dei pali della selettiva è di circa 3/3,5 m lato monte, confrontando tale valore con i risultati ottenuti dalla modellazione numerica Figura 35, si osserva che i livelli si attestano ad una quota di circa 56 m s.l.m., quindi rispetto alla sommità dei pali a 59,45 m s.l.m., si ottiene appunto un'altezza emersa del palo dall'acqua pari a circa 3,5 m.

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

#### 6.1.5. Simulazioni idrodinamiche

1. SCENARIO 1: Configurazione di "Stato di fatto" – evento di piena del 17/11/2019: nel tratto di interesse tale scenario prevede la verifica delle dinamiche di deflusso del corso d'acqua ed in particolare ha permesso di effettuare un'opportuna taratura modellistica;
2. SCENARIO 2: Configurazione di "Stato di fatto" – evento di piena TR200 anni: nel tratto di interesse tale scenario prevede la verifica delle dinamiche di deflusso nel corso d'acqua della piena duecentennale al fine di verificare allo stato attuale quali criticità si evidenziano nella zona in esame;
3. SCENARIO 3: Configurazione di "Progetto" – evento di piena TR20 anni: nel tratto di interesse tale scenario prevede la verifica delle dinamiche di deflusso nel corso d'acqua della piena ventennale;
4. SCENARIO 4: Configurazione di "Progetto" – evento di piena TR200 anni: nel tratto di interesse tale scenario prevede la verifica delle dinamiche di deflusso nel corso d'acqua della piena di riferimento verificando il dimensionamento delle opere in progetto;
5. SCENARIO 5: Configurazione di "Progetto con briglia completamente ostruita" – evento di piena TR200 anni: nel tratto di interesse tale scenario prevede la verifica delle dinamiche di deflusso nel corso d'acqua della piena di riferimento verificando il dimensionamento delle opere in progetto;

#### 6.1.6. Analisi dei risultati

Le analisi idrauliche condotte hanno permesso di definire, nel tratto di interesse, le caratteristiche di deflusso verificabili al transito delle piene di progetto e in particolare quella con tempo di ritorno pari a 20 e 200 anni.

Un importante aspetto da sottolineare nelle simulazioni svolte riguarda la regolazione dei coefficienti di deflusso della briglia in progetto per poter tener conto in maniera efficace dell'intasamento della struttura per l'effetto di trattenuta del materiale flottante. Riuscire a definire a priori la quantità di materiale che può trattenere l'opera in ogni piena è molto difficile essendo un fenomeno aleatorio. Quindi dall'analisi di taratura e dal sopralluogo effettuato in corso di piena è stata definita una condizione di parziale funzionamento dell'opera tenendo conto appunto che attualmente, con l'apertura centrale del pettine, si registra un accumulo di materiale che raggiunge altezze anche di 2,5/3 m, quindi con il ripristino dei denti centrali è plausibile aspettarsi un maggior intasamento della struttura.



Figura 36 Vista da valle dell'intasamento del pettine di trattenuta della briglia selettiva durante l'evento del 17/11/2019

Oltre alla configurazione di parziale ostruzione, è stata considerata anche la completa ostruzione dell'opera.

#### 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### **Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### **Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

I risultati specifici delle simulazioni vengono riportati di seguito nella descrizione degli scenari analizzati, inquadrando le caratteristiche idrauliche di riferimento nell'intorno del manufatto oggetto di studio.

#### Scenario 1

Per quanto concerne lo scenario 1 si rimanda alle descrizioni esposte nel paragrafo precedente inerente alla taratura del modello numerico.

#### Scenario 2

Lo scenario 2, descrive il passaggio della piena duecentennale nella configurazione attuale della briglia selettiva, quindi con l'assenza dei denti centrali che favoriscono maggiormente il deflusso del materiale flottante verso valle e questo comporta un minor intasamento della selettiva e quindi un minor aggravio in termini di livelli subito a monte della struttura. Inoltre, in tale scenario si sta tenendo conto della totale permanenza di tutti i denti esistenti che invece, con molta probabilità, in concomitanza con un evento duecentennale è plausibile la rottura di qualcuno di essi, questo determinerebbe un ulteriore abbassamento dei livelli a monte della struttura e quindi diminuirebbe le eventuali criticità dovute al contenimento della piena in alveo.

Come si evince dalla Figura 37, la piena duecentennale transita nella configurazione attuale senza evidenziare particolari problematiche legate al contenimento della piena nelle sponde. I livelli a monte della selettiva attestano intorno ad una quota di 60,2 m s.l.m., quindi i denti vengono completamente sormontati di circa 75 cm, mentre i muri d'ala non vengono scavalcati dalla corrente essendo ad una quota di 60,89 m s.l.m. circa.

Analizzando l'inviluppo delle massime velocità, è evidente come in prossimità dello scavalco della briglia e in particolare in corrispondenza del canale aperto per mancanza dei denti, si concentrano le velocità maggiori con valori anche di 8 m/s.

Rispetto invece alla scogliera appena ultimata per il ripristino dell'erosione sulla sponda destra, si osservano velocità prossime ai 1,3 – 1,4 m/s con un livello alla quota di 60,45 m s.l.m., quindi sormontando di 45 cm la sommità dell'opera di protezione spondale.

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

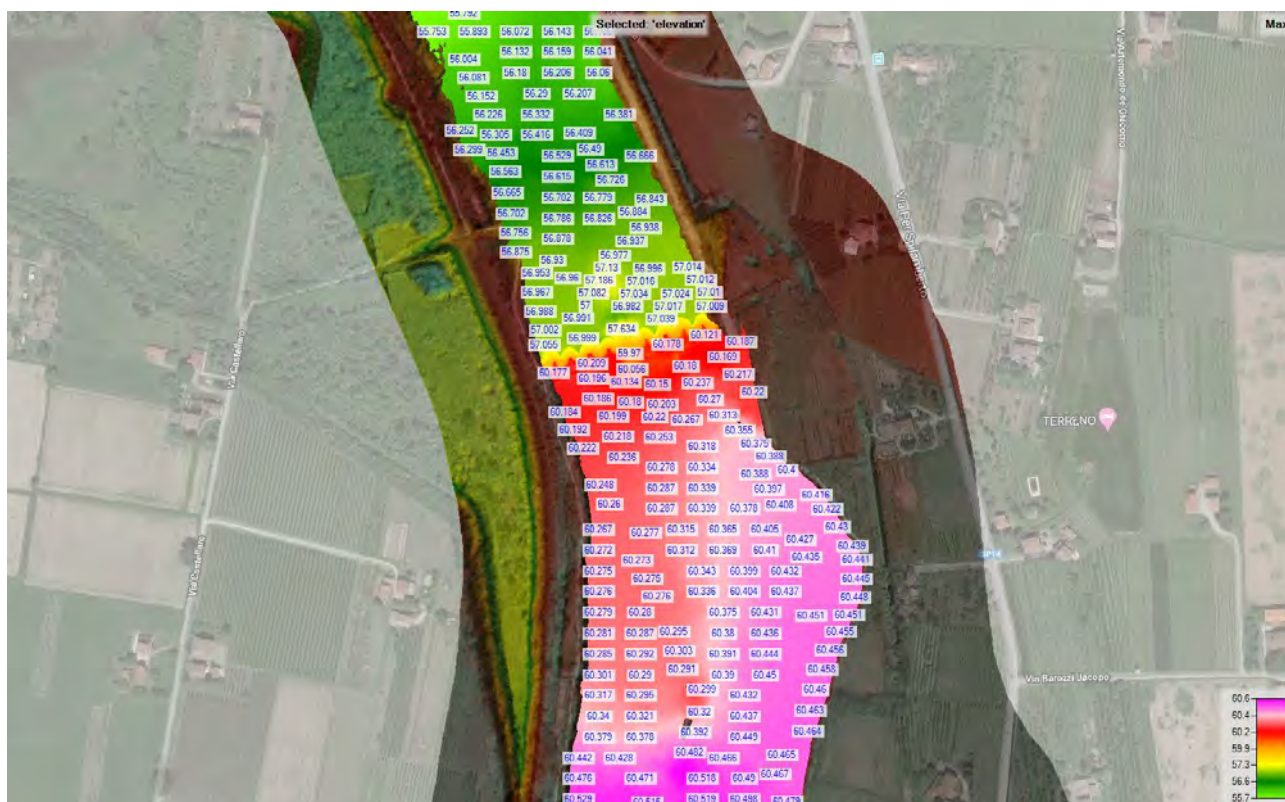


Figura 37 Scenario 2 – Involuppo dei massimi livelli idrici

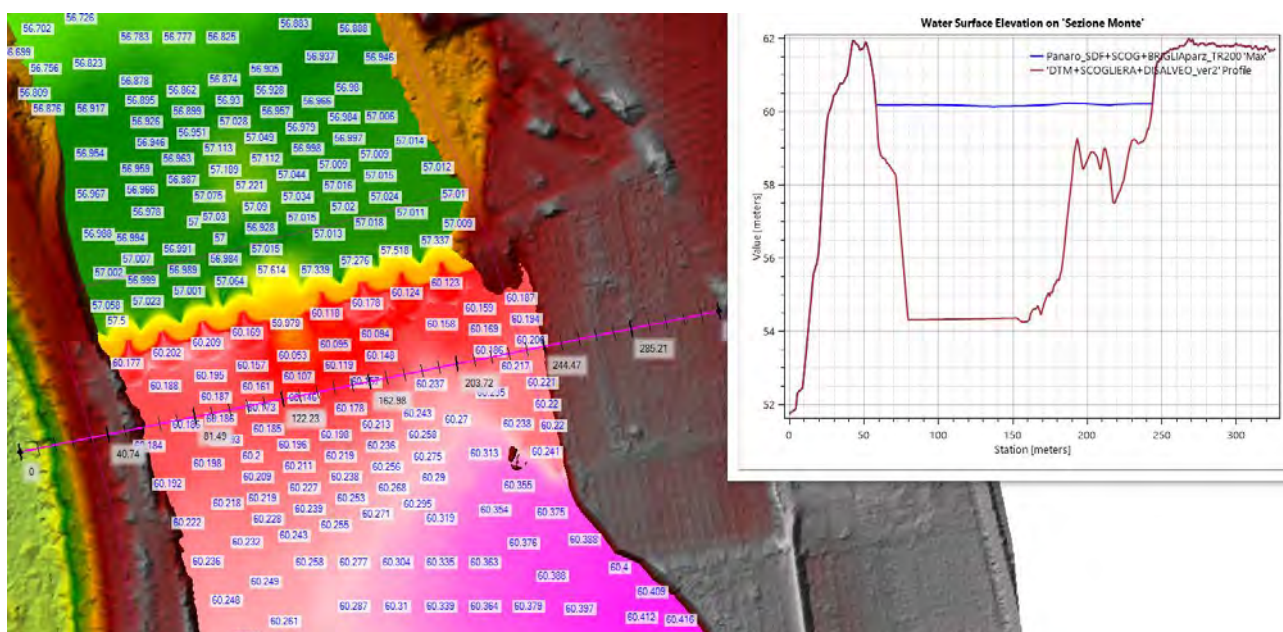


Figura 38 Scenario 2 – Livelli idrici in una sezione a monte della briglia selettiva

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE

PAG. 30/44





### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

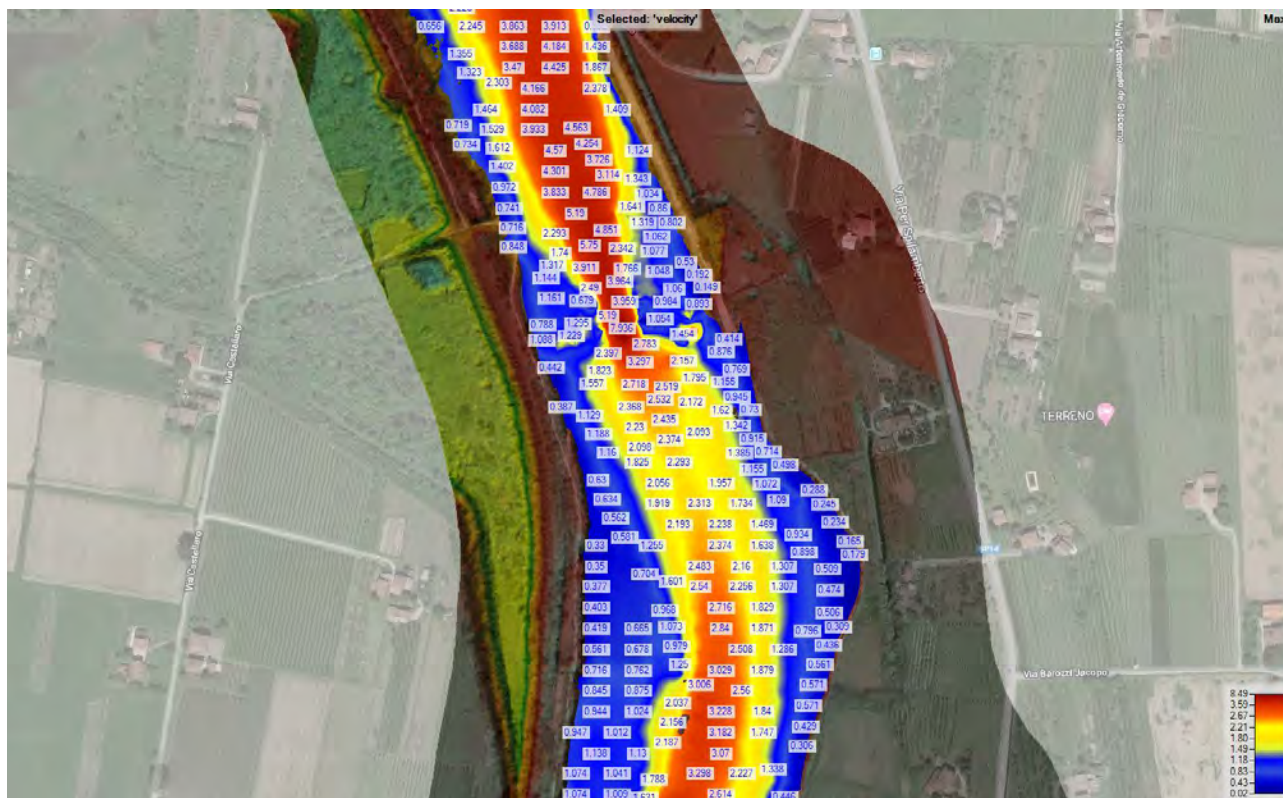


Figura 39 Scenario 2 – Inviluppo delle massime velocità

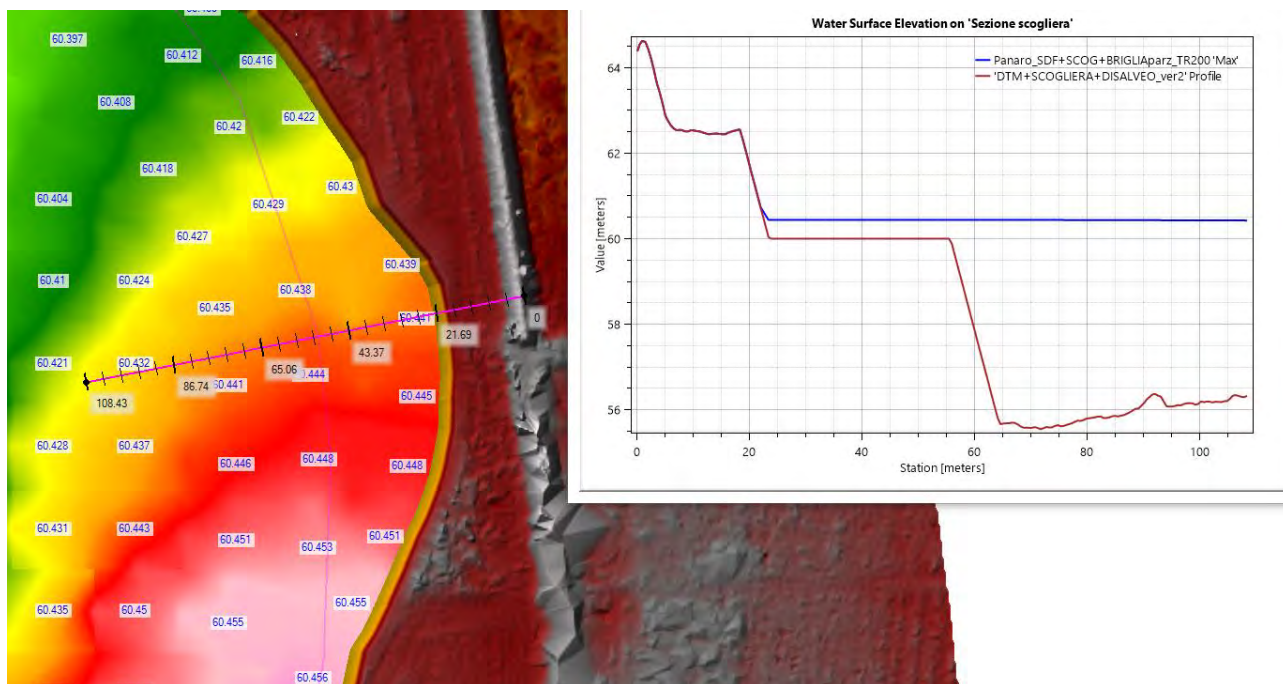


Figura 40 Scenario 2 – Livelli idrici in una sezione in prossimità della scogliera in destra idraulica a monte della briglia selettiva

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

### Scenario 3

Tale scenario schematizza l'opera in progetto come descritta nel capitolo 4. In particolare, i risultati di tale simulazione sono stati utilizzati per definire le spinte idrodinamiche e idrostatiche sull'opera trasversale utili per le varie verifiche strutturali dell'opera in progetto secondo le NTC, considerando le azioni della piena ventennale cautelativamente come azioni ordinarie sulla struttura. Si rimanda quindi al capitolo specifico per la descrizione delle spinte, mentre di seguito si dà una descrizione delle dinamiche della piena ventennale nella configurazione di progetto.

La piena ventennale è stata simulata nella configurazione di parziale ostruzione dell'opera. Come si evince dalle immagini sotto riportate, nel transito di tale piena si attestano livelli a monte dell'opera ad una quota di 59,80 m s.l.m. circa mentre a valle il livello in vasca di dissipazione raggiungono una quota di circa 56,80 m s.l.m.. Quindi tale piena comporta un sormonto del pettine della briglia ma il contenimento nei muri d'ala della stessa.

Rispetto alla scogliera di monte, i livelli che si attestano sono ad una quota di 59,93 m s.l.m., quindi non sormontano la difesa di sponda.

Analizzando invece i valori delle velocità in gioco in corrispondenza dell'opera, si avverte innanzitutto l'effetto di riduzione delle velocità della corrente in corrispondenza della vasca di dissipazione, raggiungendo valori prossimi a 1,5 m/s per poi riprendere la velocità indisturbata dell'alveo di valle di circa 3,5 m/s. A monte della struttura, per l'effetto di rigurgito che essa determina anche in funzione dell'intasamento verificatosi durante il deflusso della piena, si osserva un rallentamento della corrente che da 3 m/s circa passa a 1,6 – 1,7 m/s, dopodiché, avviene lo stramazzo nella vasca di dissipazione. L'azione del getto libero da un salto di fondo della corrente e l'interpretazione delle turbolenze del risalto idraulico mediante modelli bidimensionali è di difficile interpretazione, per tale motivo, nei capitoli successivi verrà effettuata l'analisi di dettaglio del risalto idraulico e degli effetti del salto di fondo generato dalla briglia selettiva.

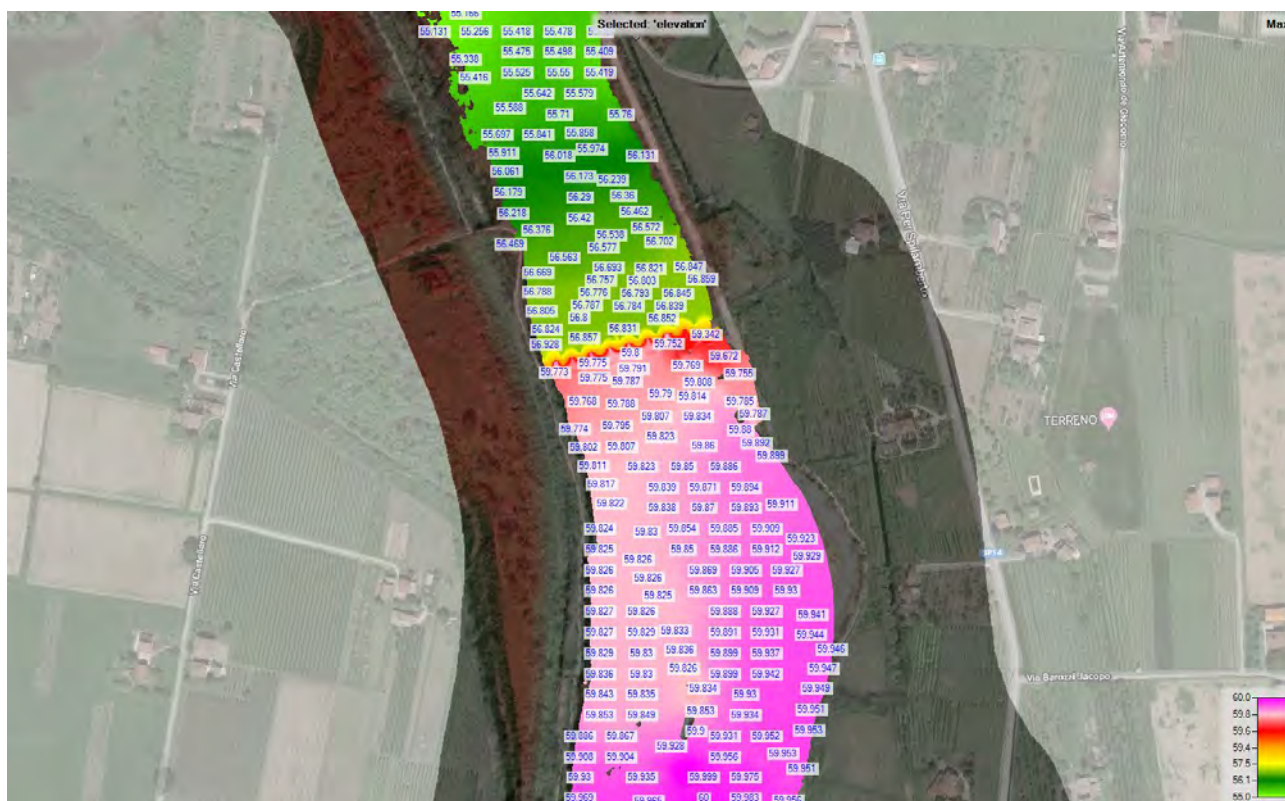


Figura 41 Scenario 3 – Inviluppo dei massimi livelli idrici

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

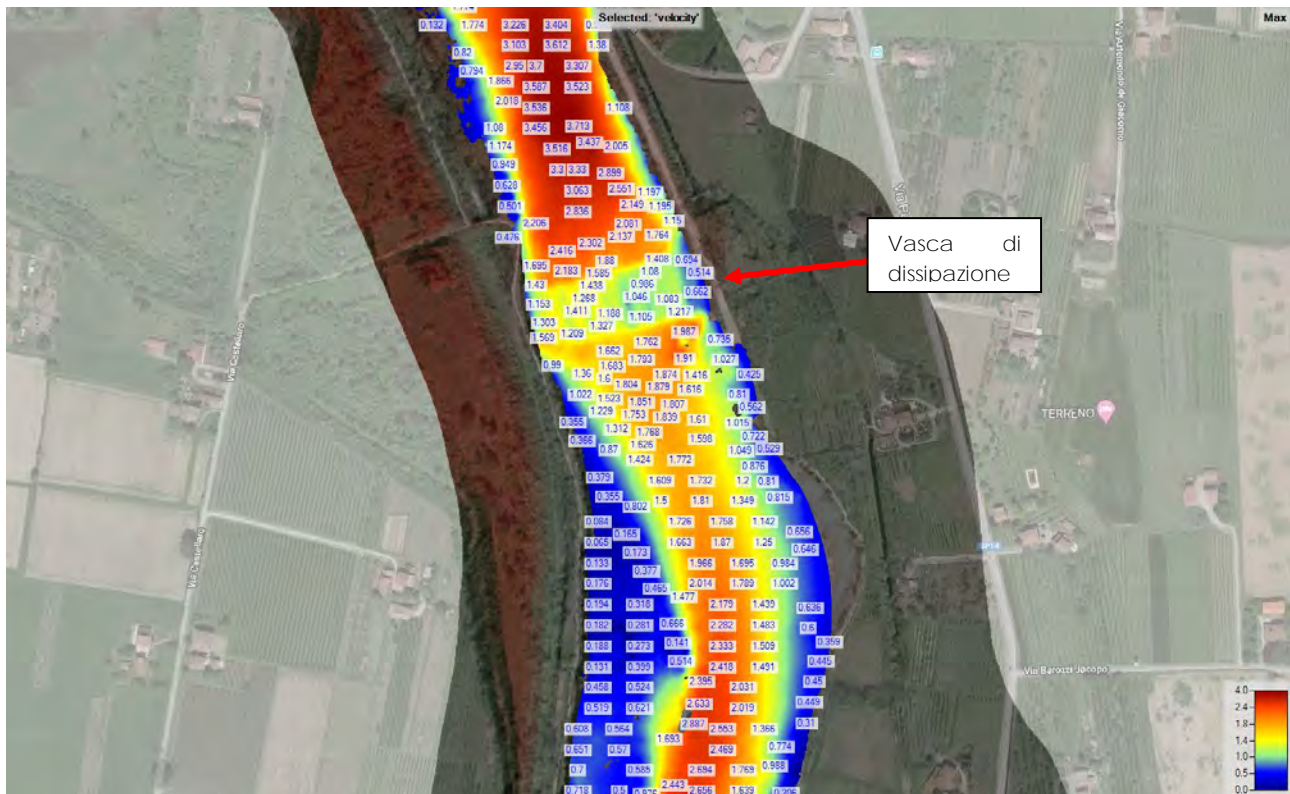


Figura 42 Scenario 3 – Inviluppo delle massime velocità

#### Scenario 4

La piena duecentennale nella configurazione di parziale ostruzione del pettine della selettiva comporta un incremento dei livelli a monte dell'opera che rimangono contenuti nelle sponde del corso d'acqua con un franco di circa 90 cm. Con il livello di 61 m s.l.m., i muri di immersione vengono parzialmente sormontati.

Il campo delle velocità evidenzia come lo sbarramento determina un rallentamento della corrente proveniente da monte, effetto positivo anche per controllare le azioni erosive delle sponde di monte, soprattutto quella in destra ripristinata da poco. Si osserva inoltre il rallentamento delle velocità all'interno della vasca di dissipazione e poi la ripresa delle velocità nel tratto di alveo subito a valle.

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





## Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

## Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

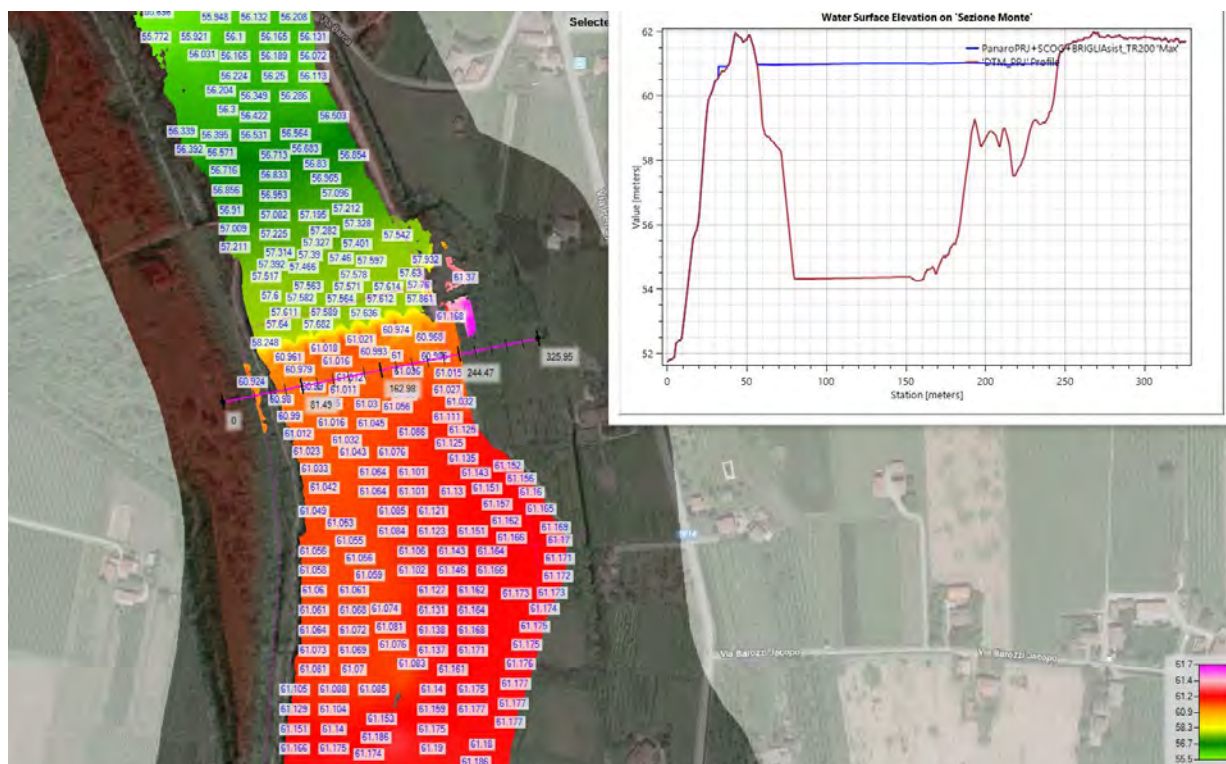


Figura 43 Scenario 4: Livelli idrici in una sezione a monte della briglia selettiva

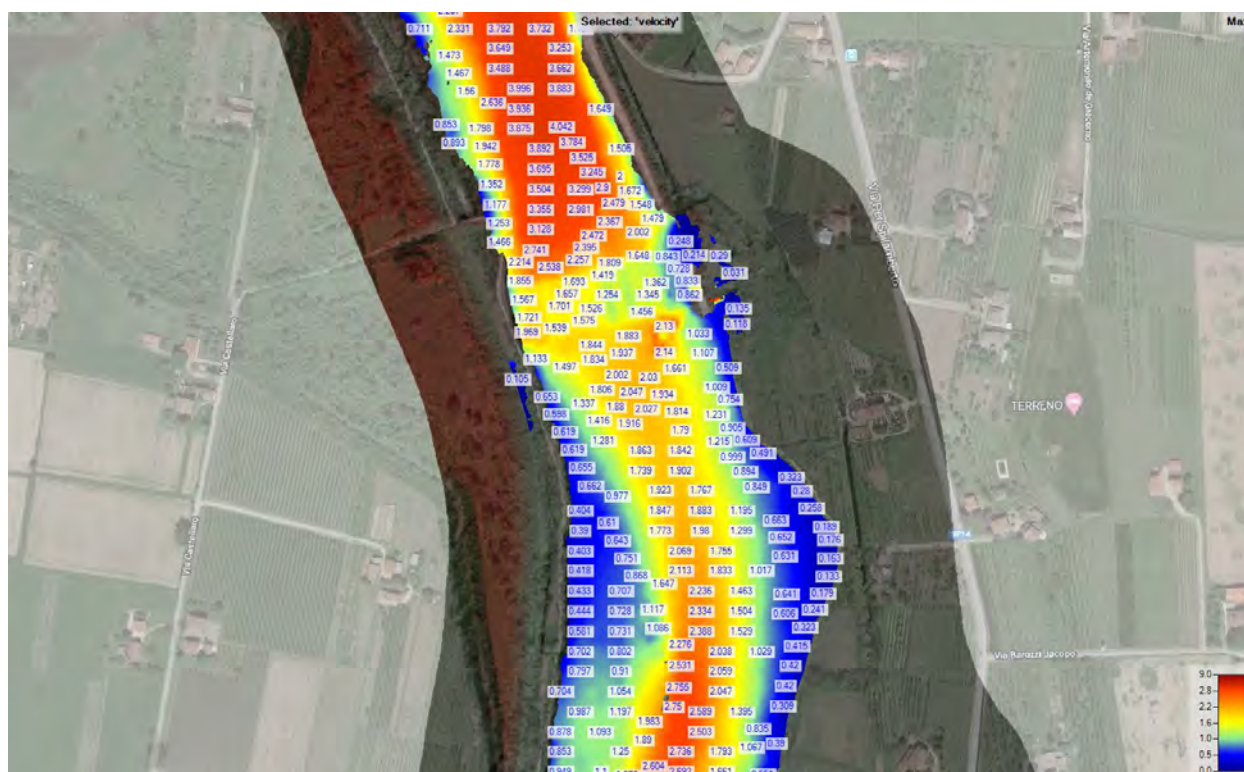


Figura 44 Scenario 4 – Involuppo delle massime velocità

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE





### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

#### Scenario 5

Tale scenario schematizza il passaggio della piena duecentennale con la totale ostruzione del pettine della briglia selettiva. Per tarare il coefficiente di efflusso della briglia completamente intasata dal materiale flottante è stata considerata la legge di efflusso da uno stramazzo del tipo Bazin considerando la quota di sfioro a 59,45 m s.l.m. e una lunghezza complessiva dello sfioro pari a 156 m. Considerando quindi la portata della piena con tempo di ritorno di 200 anni pari a 1467 m<sup>3</sup>/s, il carico sullo stramazzo risulta essere di circa 3 m, corrispondente ad una quota di 62,45 m s.l.m.. Con tale dato è stato tarato il modello numerico mantenendolo confinato ai limiti massimi delle sponde del corso d'acqua. Ma come si evince dalla Figura 46, la quota di 62,45 m s.l.m. determina un sormonto delle sponde del fiume essendo ad una quota di circa 61,90 m s.l.m. in corrispondenza dell'opera, per tale motivo quello che si verificherà nella realtà, è un'attestazione dei livelli ad una quota prossima di 61,90 m s.l.m. fintanto che non verranno nel caso prese in considerazione opere di contenimento dei livelli della piena duecentennale nella condizione più sfavorevole con briglia totalmente ostruita.

Anche in tal caso l'interpretazione del campo delle velocità in corrispondenza del salto di fondo viene rimandato al capitolo specifico, di seguito invece si riporta l'involuppo delle massime velocità ben schematizzato dal modello numerico nell'intorno della struttura. In Figura 47, si osserva come la struttura determina un rallentamento della corrente proveniente da monte (da 2,5 m/s passa a 1,5 m/s). Poi, con il salto, aumenta di velocità, rallentando bruscamente nella vasca di dissipazione (1,5 m/s) ritornando poi a recuperare energia cinetica nel tratto di fiume a valle della vasca con velocità di 4 m/s. Si percepisce un aumento concentrato delle velocità sulla sponda destra dell'opera, questo fenomeno è dovuto al sormonto della struttura e l'interferenza della corrente con le asperità del terreno.

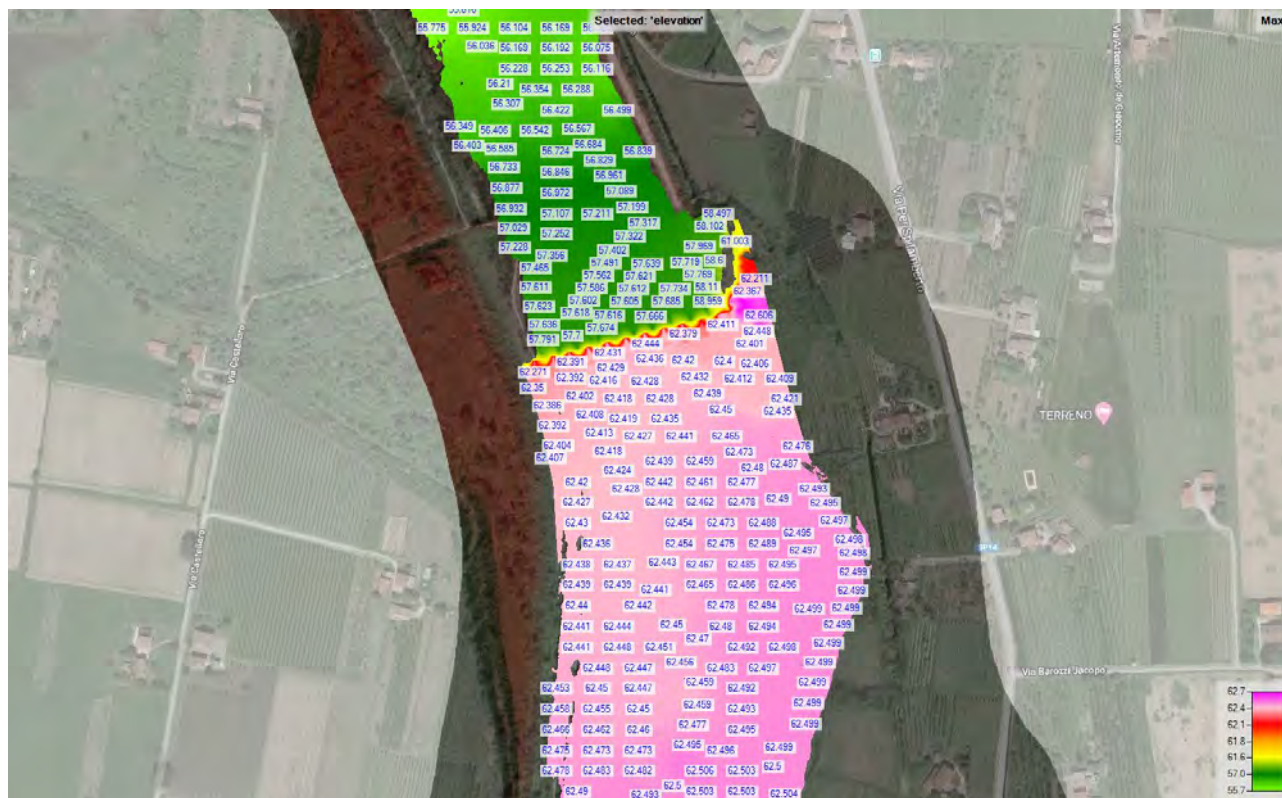


Figura 45 Scenario 5 – Involuppo dei massimi livelli idrici

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

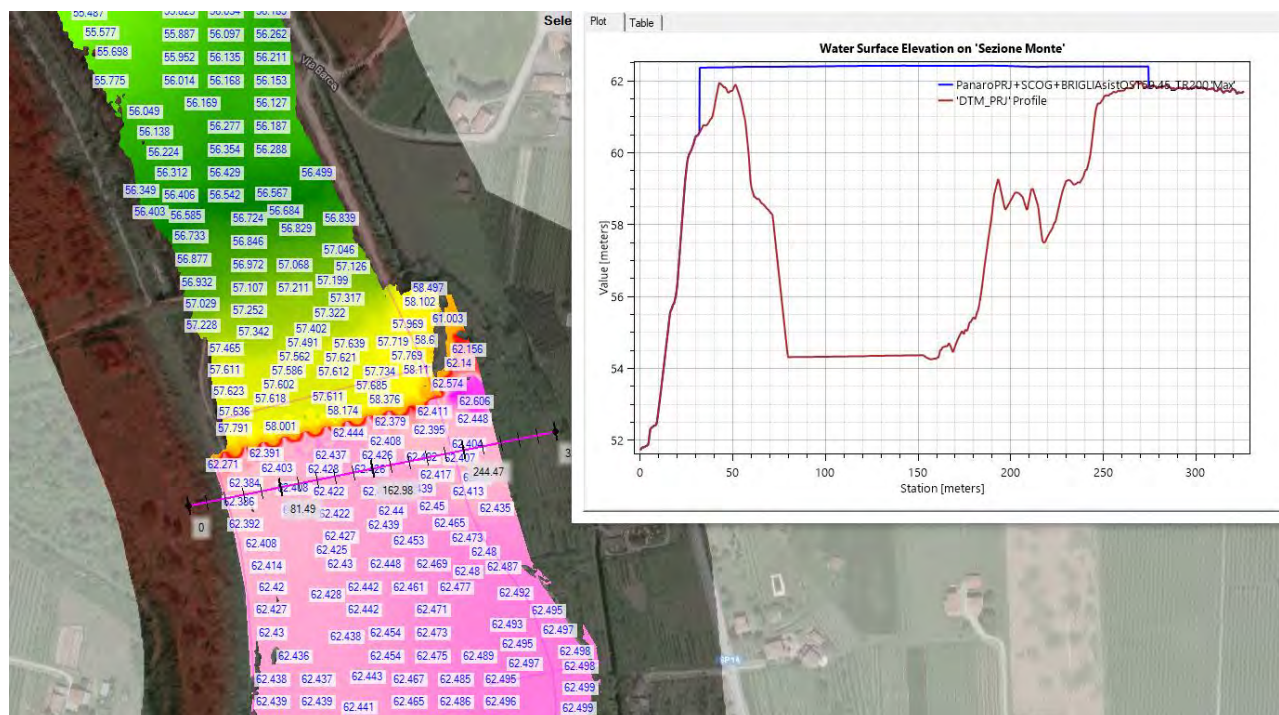


Figura 46 Scenario 5 – Livelli idrici in una sezione a monte della briglia selettiva



Figura 47 Scenario 5 – Involuppo delle massime velocità

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



**Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

**Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

## 6.2. Dimensionamento della vasca di dissipazione

La briglia selettiva determina una discontinuità idraulica dell'alveo soprattutto in termini di quote monte valle dell'opera stessa. Tale configurazione determina il cosiddetto salto idraulico. Tale configurazione concentra la dissipazione dell'energia della corrente di monte tramite un risalto, un fenomeno fisico mediante il quale si ha la trasformazione dell'energia cinetica posseduta dalla corrente in calore. Per rendere compatibili le caratteristiche idrodinamiche della corrente alle esigenze di stabilità complessiva dell'alveo a valle del manufatto è necessario prevedere delle opere di protezione, definite anche vasche di dissipazione.

Per il dimensionamento dell'opera si è tenuto conto della morfologia attuale del corso d'acqua nella zona di intervento, e delle necessità strutturali utili per stabilizzare l'opera esistente. Tale opera risulta essere necessaria e complementare agli interventi di consolidamento della struttura esistente, poiché una mancata protezione del tratto d'alveo a valle della stessa comporta ciò che oggi è evidente, e cioè una importante e progressiva erosione del fondo alveo ed il successivo scalzamento della struttura. Lo scalzamento teorico calcolato in assenza della vasca di dissipazione al passaggio della piena duecentennale è di una escavazione di circa 11 m per un raggio di interessamento di circa 40 m.

Con l'obbligo di prevedere un intervento compatibile con le esigenze strutturali ed in linea con le disposizioni del committente, è stata prevista la predisposizione di una vasca di dissipazione protetta con massi ciclopici sul fondo e sulle sponde di lunghezza pari a 40 m partendo da valle della controstruttura di consolidamento della briglia esistente, che se considerata anch'essa determina una lunghezza complessiva dell'opera di contenimento del risalto di 47 m.

Per il dimensionamento della vasca è stata considerata la configurazione di piena duecentennale con la totale ostruzione del pettine, e quindi la necessità di predisporre una lunghezza totale del dissipatore pari a 47 m, sfruttando peraltro l'azione dissipativa della controstruttura di consolidamento dell'opera esistente. Considerando invece la stessa piena ma con il parziale intasamento della briglia, la lunghezza complessiva del contenimento del risalto è di 40 m.

Lo scenario che si verifica durante il deflusso della corrente dalla struttura in progetto è un getto libero che stramazza nella vasca di dissipazione senza risentire del rigurgito da valle. Tale funzionamento dell'opera in progetto lo si ha quando defluiscono piene ordinarie e non.

Per tale analisi sono state utilizzate le formulazioni di A. Paoletti (1979) determinate a seguito di un'ampia ricerca sperimentale. Tali formulazioni sono valide come per il caso in esame, quando il getto stramazza provenga da una corrente lenta in cui il numero di Froude è minore di 1 e l'altezza di moto uniforme superiore all'altezza critica.

$$\frac{y_p}{\Delta z} = 1,00 \left( \frac{y_c}{\Delta z} \right)^{0,66} ; \quad \frac{y_1}{\Delta z} = 0,54 \left( \frac{y_c}{\Delta z} \right)^{1,275} ;$$

$$\frac{y_2}{\Delta z} = 1,66 \left( \frac{y_c}{\Delta z} \right)^{0,81} ; \quad \frac{L_1}{\Delta z} = 4,30 \left( \frac{y_c}{\Delta z} \right)^{0,81} .$$

Figura 48 Relazioni interpolari per la determinazione del risalto idraulico in corrispondenza di un salto di fondo con getto libero e corrente lenta a monte (fonte: "Sistemazione dei corsi d'acqua" L. Da Deppo, C. Datei e P. Saladin)





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

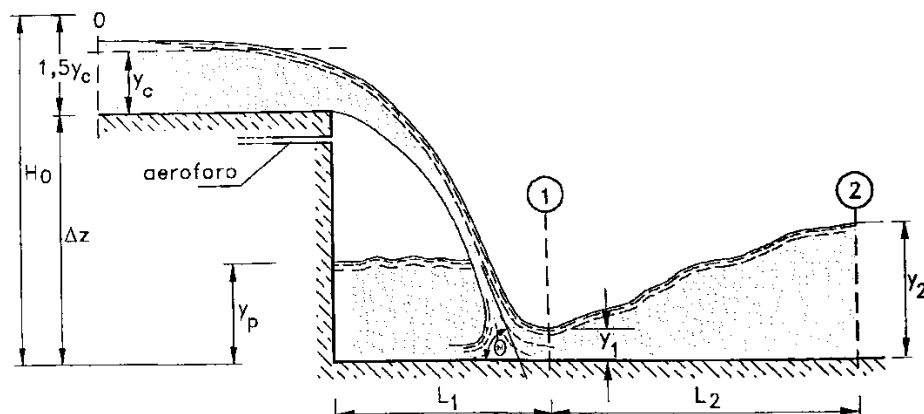


Figura 49 Salto di fondo con getto libero e corrente lenta a monte (fonte: "Sistemazione dei corsi d'acqua" L. Da Deppo, C. Datei e P. Saladin)

Il fondo della vasca è stato posto ad una quota di 51,50 m s.l.m. e all'estremo finale è stato prevista una trave di contenimento fondata su pali che genera uno salto di quota di 1 m dal fondo della vasca al raccordo con il fondo alveo di valle. Tale geometrizzazione del tratto terminale, è stato opportunamente previsto per facilitare il contenimento in vasca dei massi di rivestimento eventualmente smossi dalla corrente e quindi facilmente ricomponibili con azioni di manutenzione ordinaria post piena insieme alla rimozione del materiale trattenuta dal pettine per mantenere efficiente il dispositivo durante la gestione di ciascuna piena.

La scelta di corazzare la vasca di dissipazione con massi di cava di grande diametro opportunamente incastrati tra loro ma non cementati è finalizzata a creare un'opera dinamica e facilmente ripristinabile, inoltre con l'accortezza della predisposizione del geotessuto prima della posa dei massi evita il più possibile l'azione dilavante della corrente di materiale fine e quindi potenziali cedimenti della vasca stessa.

### 6.3. Spinta idraulica

La spinta esercitata dalla corrente sulla struttura trasversale dipende dall'entità del sopralzo del livello idrico tra monte e valle, oltre che dal valore della velocità di corrente che impatta sulle strutture.

Essa è dunque costituita da una componente idrostatica, che dipende direttamente dalla differenza di livello idrico che si instaura rispettivamente sui lati di monte e di valle della briglia, e da una componente idrodinamica che è funzione del carico cinetico della corrente a contatto con il lato di monte della struttura stessa. La somma delle due forze costituisce una sollecitazione orizzontale che concorre, assieme agli altri carichi agenti, alla verifica strutturale dell'opera.

La spinta è stata calcolata con riferimento alla piena duecentennale con briglia completamente ostruita e con la piena ventennale a briglia parzialmente ostruita per assecondare le esigenze di verifica strutturale secondo le NTC. Il valore della forza  $R$  è ottenibile mediante l'applicazione del teorema della quantità di moto al volume di controllo delimitato dalle sezioni subito a monte e a valle dell'attraversamento:

$$R = S_m - S_v$$

dove con  $S$  è indicata la spinta totale pari a:

$$S = \gamma A y_b + \rho V^2$$

con

$A$  = superficie su cui agisce la spinta,

$y_b$  = affondamento del baricentro della sezione al di sotto del pelo libero;

$V$  = velocità di corrente a contatto l'opera;

### 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

$\rho$  = densità,

$\gamma$  = peso specifico.

Tabella 3 Spinte idrauliche sulla struttura

Scenario	Spinta Totale
TR 200 anni – briglia completamente ostruita	124 kN (*)
TR 20 anni – briglia parzialmente ostruita	102 kN (*)

\* A metro di larghezza

## 6.4. Dimensionamento delle difese di sponda

### 6.4.1. Calcolo delle condizioni critiche di moto incipiente

Differenti formule di calcolo sono disponibili in letteratura per la valutazione della stabilità di materiali di assegnata granulometria soggetti all'azione di trascinamento della corrente.

Questi procedimenti si basano sulla determinazione dei valori critici (in generale desunti da dati sperimentali) delle velocità o delle tensioni tangenziali (intesi come valori che corrispondono alle condizioni di moto incipiente per il materiale considerato) e sul confronto con i valori reali di tali grandezze.

Le formule che si basano sul concetto di velocità critica, sebbene molto usate in passato, presentano evidenti limiti di applicabilità: infatti, non essendo generalmente disponibili informazioni sulla distribuzione delle velocità nelle sezioni d'alveo, si utilizza nei calcoli il valore della velocità media per il confronto con il valore di velocità critica, che porta ad una sovrastima della velocità allo strato limite, specialmente per alvei che hanno elevata scabrezza e che quindi non presentano uno strato limite laminare.

Per questo motivo appare preferibile l'utilizzo di formule basate sul confronto delle tensioni di trascinamento.

Tale criterio si basa sulla definizione dello sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul materiale solido in alveo, secondo la formula:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i \quad (\text{kg/m}^2)$$

dove  $\gamma$  (kg/m<sup>3</sup>) è il peso specifico dell'acqua,  $R$  (m) è il raggio idraulico della sezione e  $i$  (m/m) la pendenza di fondo.

La condizione di stabilità del materiale risulta quando:

$$\tau_{cr} > \tau_0$$

La seguente analisi di stabilità è riferita alla teoria della tensione tangenziale critica (Shields - 1936 - la cui formula base è stata ricavata da esperimenti su letti a granulometria uniforme di forte scabrezza), attraverso la valutazione della forza che determina il moto incipiente dei granuli, esprimibile in termini generali con la seguente relazione che esprime una condizione di equilibrio:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = \phi(Re^*)$$

con:

$\tau_{cr}$  = tensione tangenziale critica (kg/m<sup>2</sup>);

$\gamma_s$  = peso specifico materiale d'alveo (kg/m<sup>3</sup>);

$\gamma$  = peso specifico dell'acqua (kg/m<sup>3</sup>);

$d$  = diametro del granulo (m);

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

$\phi$  = parametro adimensionale, dipendente dalle caratteristiche dei granuli e del letto fluviale e dal numero di Reynolds ( $Re^*$ ) relativo alla velocità di attrito ( $u^* = \tau_{cr}/\rho$ ).

Per la traduzione della condizione di equilibrio suddetta in termini applicativi sono state proposte varie formulazioni, derivanti da osservazioni sperimentali, ciascuna caratterizzata da limiti e campi di applicabilità specifici che ne condizionano l'utilizzo alla preventiva definizione della tipologia dei substrati naturali o artificiali e del comportamento idraulico dell'alveo.

In particolare, alcuni autori hanno individuato valori empirici specifici del parametro di Shields:

- $\phi = 0,047$  nella espressione di Meyer-Peter, che considera nullo il termine relativo al trasporto solido;
- $\phi = 0,058 - 0,060$  nella espressione originale di Shields per  $Re^* > 400$ ;
- $\phi = 0,116$  nella espressione di Kalinske, che considera un fattore di compattezza del materiale rappresentante l'effetto di mutuo incastro delle particelle.

Per le verifiche di stabilità dei massi costituenti l'opera esistente verrà fatto riferimento, nel caso specifico, all'espressione di Shields e Kalinske.

Per le verifiche di stabilità del paramento inclinato, la condizione di moto incipiente va espressa considerando le componenti attive del peso e della spinta idrodinamica in relazione alla pendenza ( $\alpha$ ) della sponda rispetto all'orizzontale.

Viene normalmente utilizzata la seguente espressione (E.Lane (1953), con  $\tau_{cr}(0)$  = tensione critica sul fondo e  $\phi$  = angolo d'attrito interno del materiale):

$$\tau_{cr}(\alpha) = \tau_{cr}(0) \left[ \cos \alpha \sqrt{1 - \frac{tg^2 \alpha}{tg^2 \phi}} \right]$$

Dal confronto fra le tensioni tangenziali esercitate dalla corrente sul fondo e la corrispondente tensione tangenziale critica legata alla pezzatura del materiale utilizzato per il rivestimento, è possibile verificarne la stabilità in alveo valutando l'adeguatezza delle dimensioni dei massi impiegati attraverso il diametro medio di calcolo D50.

#### 6.4.2. Verifica delle difese

La tensione tangenziale  $\tau_0$  agente sul fondo e al piede delle difese è stata calcolata con riferimento all'espressione:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i \quad (\text{kg/m}^2)$$

assumendo:

$\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$  peso specifico dell'acqua;

R = raggio idraulico nella sezione di verifica;

i = pendenza di fondo media del tratto.

Per il peso specifico dei massi è stato considerato un valore minimo pari a  $2400 \text{ kg/m}^3$ ; inoltre si assume un angolo di attrito del materiale pari a  $55^\circ$  (valido nel caso specifico in cui l'elevata pezzatura dei massi determina un effetto rilevante di mutuo incastro).

Tabella 4 Verifica della stabilità delle difese

Difesa	Inclinazione sponda $\alpha$ (°)	Pendenza alveo i (%)	D50 (mm)	Tensione tangenziale esercitata dal flusso $\tau_0$ (N/m²)	Tensione critica $\tau_{cr}$ (N/m²)	Coefficiente di sicurezza	Verifica di stabilità $\tau_{cr}/\tau_0 > 1,5$
Difesa di sponda	34	0,001	1000	986	1592	1,5	1,6

#### 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

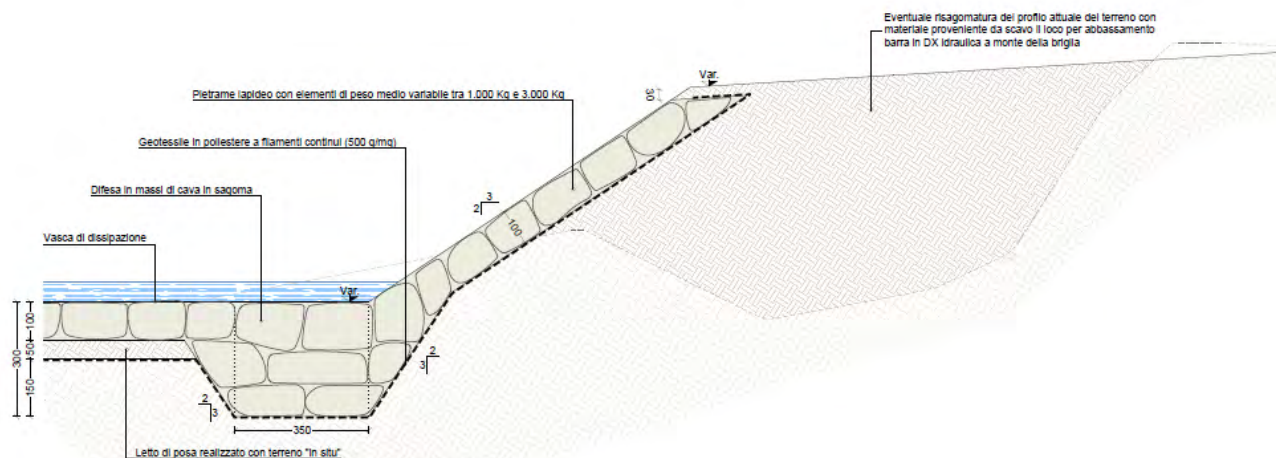


Figura 50 Sezione tipo della scogliera in prossimità della vasca di dissipazione

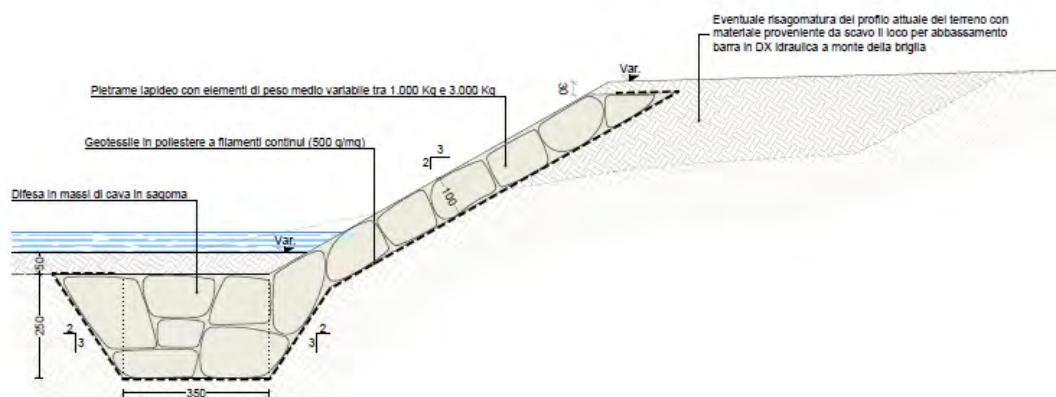


Figura 51 Sezione tipo della scogliera in prossimità della sponda sinistra a monte della briglia selettiva dove la corrente arriva in battuta e ha compromesso la stabilità della protezione esistente

## 6.5. Analisi di filtrazione

Le opere idrauliche sollecitate da un dislivello tra monte e valle possono essere esposte a fenomeni di instabilità dipendenti dal processo di filtrazione che si instaura nel terreno entro il quale le opere sono fondate.

I problemi relativi al sifonamento sono da intendersi in due modi:

- 1) Quando in qualche parte del campo di moto prende origine la rimozione, o opera della corrente, di particelle di terreno. La rapida esaltazione del processo, e quindi la mobilitazione di particelle via via di maggiore dimensione, determina vene o piccoli canali sotterranei (piping), e può portare al collasso della struttura;
- 2) Possibilità di sollevamento di una parte del terreno (heaving) nella zona posta al piede di valle dell'opera quando abbia a verificarsi, in quell'intorno, la condizione che la pendenza locale superi quella critica.

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

Il processo del sifonamento prende avvio quando la velocità assume in qualche punto valori che possono dare luogo alla rimozione delle particelle più fini.

Il criterio da utilizzare per il controllo del fenomeno si limita a contenere il valore delle velocità. Ciò può ottenersi adottando disposizioni che provvedano alla dissipazione del dislivello tra monte e valle della traversa con percorsi tanto lunghi da contenere, per il ridotto valore della pendenza  $i$ , quello della velocità (con Darcy)  $v=ki$ , al di sotto di un certo limite definito dal materiale che forma il materasso filtrante, anzi dalla sua fase più fine.

Per studiare quindi il fenomeno della filtrazione è stato utilizzato il criterio empirico di Lane, basato sul fatto che la resistenza al moto è molto minore lungo il contatto tra la base (orizzontale o quasi) del manufatto e il terreno che lungo gli altri contatti tra le strutture (verticali) di tenuta (diaframmi, palancole ecc...) e il terreno. In tal modo si individua tra i percorsi dell'acqua quello critico. Esso è prudenzialmente rappresentato dal contorno dell'opera inserita nel mezzo poroso, il cui sviluppo, adeguatamente pesato nei suoi tratti ( $1/3$  se il contatto è orizzontale o inclinato di un angolo  $\leq 45^\circ$ ;  $1$  se è verticale o inclinato di più di  $45^\circ$ ) deve essere un multiplo del dislivello  $h$  tra monte e valle, il cui valore deve essere non inferiore a quello definito dalla natura dei terreni interessati.

$$F = \frac{\frac{L_0}{3} + L_v}{h} \geq F^*$$

Sabbia molto fine o limo	8,5
Sabbia fine	7,0
Sabbia media	6,0
Sabbia grossa	5,0
Ghiaia fine	4,0
Ghiaia media	3,5
Ghiaia grossa con ciottoli	3,0
Massi con ciottoli e ghiaia	2,5
Argilla molle	3,0
Argilla media	2,0
Argilla compatta	1,8
Argilla molto compatta	1,6

Figura 52 Regola di Lane: fattori di sicurezza al variare della natura del terreno

Nella configurazione di progetto applicando la regola di Lane si ottiene un valore di  $F$  pari a 3,1, quindi superiore al fattore di sicurezza pari a 3 corrispondente a ghiaia grossa con ciottoli.

## 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



#### **Intervento A**

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### **Intervento B**

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

## 7. Sintesi delle analisi e conclusioni

Lo studio condotto ha permesso di delineare i principali aspetti idraulici degli interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i comuni di San Cesario sul Panaro (MO) in destra idrografica, e Spilamberto (MO) in sinistra idrografica.

### Inquadramento geografico e amministrativo

L'intervento ricade lungo il fiume Panaro, tra i Comuni di Spilamberto (MO) e San Cesario sul Panaro (MO), a valle dell'attraversamento stradale della SP 14.

### Idraulica

Sulla base delle criticità segnalate lungo la briglia selettiva, si è previsto di intervenire con un consolidamento dell'opera esistente mediante la realizzazione di fondazioni profonde, e il rifacimento della vasca di dissipazione a valle per un'opportuna estensione al fine di evitare lo scalzamento al piede già in atto.

Dal punto di vista idraulico sono state eseguite le analisi della dinamica di deflusso delle piene di riferimento, in particolare è stata considerata per il dimensionamento delle opere la piena con tempo di 200 anni osservando un duplice e plausibile funzionamento dell'opera di intercettazione: parzialmente ostruita e completamente ostruita. Per quanto concerne la definizione delle azioni della corrente sulla struttura utili per il dimensionamento strutture è stata utilizzata la configurazione più cautelativa di pettine completamente intasato.

In tale configurazione si evidenzia una criticità idraulica legata al sormonto delle sponde del corso d'acqua. In accordo con il committente in tale intervento non si prevede alcuna opera di protezione idraulica a riguardo.

Viceversa, in caso di parziale occlusione della selettiva, la piena duecentennale, rimane contenuta nelle sponde del corso d'acqua nonostante il sormonto dell'intera struttura trasversale compresi i muri di immersione.

Per contrastare lo scalzamento in atto a valle della struttura è stato previsto il rifacimento di una più estesa vasca di dissipazione opportunamente protetta con massi ciclopici per contrastare l'azione erosiva della corrente stramazzante dallo sbarramento. Tale opera è ritenuta strategica e complementare agli interventi di consolidamento strutturale del manufatto esistente, viceversa si comprometterebbe nuovamente la stabilità degli interventi previsti.

Un ultimo aspetto riguarda la programmazione di azioni ordinarie di manutenzione idraulica dell'opera, rimuovendo il materiale trattenuto dal pettine tra una piena e quella successiva ed inoltre l'eventuale ripristino dei massi predisposti nella vasca di dissipazione.

### 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA:



CAPOGRUPPO



MANDANTE





#### Intervento A

Interventi di adeguamento del sistema di intercettazione del materiale flottante a monte della cassa di espansione del fiume Panaro, fra i Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto – MO

#### Intervento B

Lavori di stabilizzazione del fondo alveo e ripresa erosioni spondali immediatamente a valle della briglia selettiva del fiume Panaro, Comuni di San Cesario sul Panaro e Spilamberto - MO

MO-E-1358 / MO-E-1363

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

## SOMMARIO

1. Scopo del documento.....	1
2. Riferimenti normativi .....	2
2.1. Direttiva alluvioni .....	2
2.2. Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) – Fasce Fluviali e Norme Tecniche d'Attuazione .....	3
2.3. Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale .....	4
3. <b>Inquadramento dell'area di intervento e analisi delle criticità</b> .....	6
4. <b>Inquadramento generale dell'intervento</b> .....	14
5. Analisi idrologica .....	16
5.1. Caratteristiche del bacino del fiume Panaro.....	16
6. Analisi idraulica.....	21
6.1. Analisi modellistica.....	21
6.1.1. Allestimento e calibrazione del modello idrodinamico .....	22
6.1.1.1. Assetto geometrico dell'alveo.....	22
6.1.1.2. Costruzione della griglia di calcolo.....	24
6.1.2. Condizioni al contorno .....	24
6.1.3. Definizione della scabrezza.....	24
6.1.4. Taratura del modello.....	25
6.1.5. Simulazioni idrodinamiche.....	28
6.1.6. Analisi dei risultati .....	28
6.2. Dimensionamento della vasca di dissipazione .....	37
6.3. Spinta idraulica .....	38
6.4. Dimensionamento delle difese di sponda .....	39
6.4.1. Calcolo delle condizioni critiche di moto incipiente.....	39
6.4.2. Verifica delle difese.....	40
6.5. Analisi di filtrazione .....	41
7. Sintesi delle analisi e conclusioni .....	43

### 2.1 Relazione idraulica

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO D'IMPRESA: