

Direzione Azioni Integrate
con gli Enti Locali



Comune di Chivasso

**PROGRAMMA GENERALE DI GESTIONE DEI SEDIMENTI -
STRALCIO TORRENTE ORCO NEL TRATTO TRA CUORGNE'
E CHIVASSO - PRIMO PROGRAMMA OPERATIVO -

1° LOTTO - COMUNE DI CHIVASSO**

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTO REDATTO dalla
CITTA' METROPOLITANA DI TORINO

**Direzione Azioni Integrate con gli EE.LL.
Unità Specializzata Tutela del Territorio**

REV.	DESCRIZIONE-CONTENUTO	DATA	REDATTO	VERIFICATO
0	1° emissione	aprile 2021		

IL COORDINATORE DEL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

Ing. Giovanni PONCHIA
Città Metropolitana di Torino

CONSULENZA SPECIALISTICA

POLITECNICO DI TORINO
*DIATI - Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente,
del Territorio e delle Infrastrutture
Corso Duca degli Abruzzi, 24
10129 Torino*



**POLITECNICO
DI TORINO**

visto: IL DIRIGENTE DELLA DIREZIONE

Ing. Massimo VETTORETTI
Città Metropolitana di Torino

CODICE ID. COMMESSA:

1819A

CODICE ELABORATO:

1819A_D_A_05_1

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Geol. Gabriele PAPA
Città Metropolitana di Torino

SCALA:

1:100 - 1:50

OGGETTO:

**RELAZIONE IDROLOGICO - IDRAULICA
E SPECIALISTICA**

TAVOLA N°:

A05

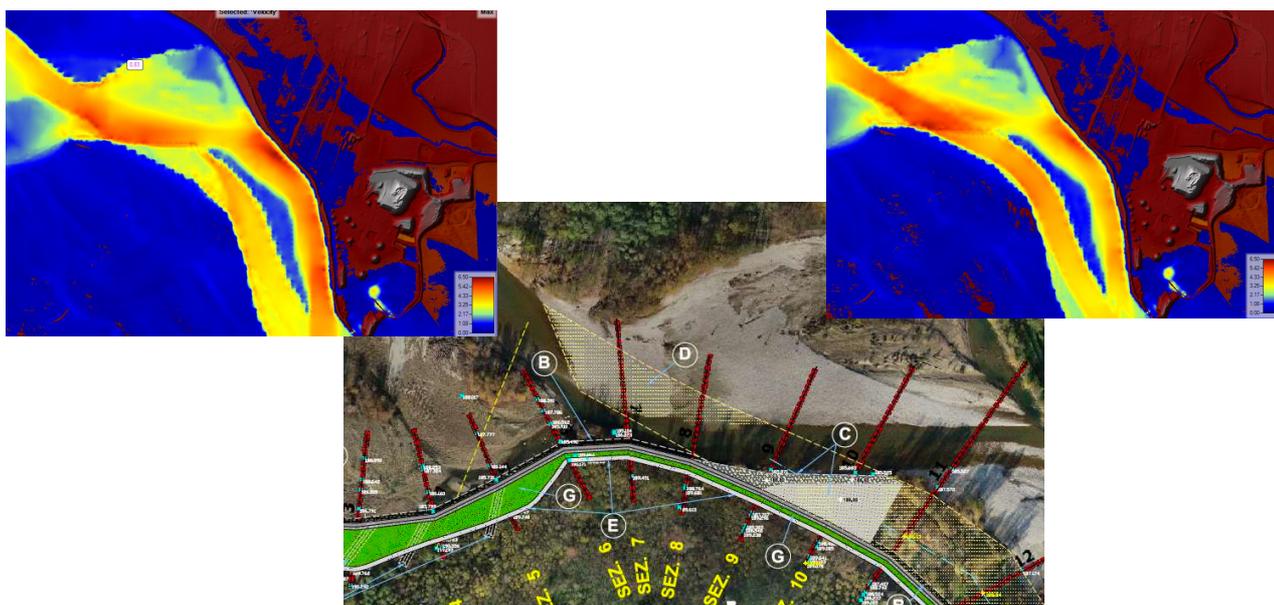


Politecnico di Torino

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle
Infrastrutture

ATTIVITÀ DI SUPPORTO TECNICO SCIENTIFICO ALLA PROGETTAZIONE DEFINITIVA DI OPERE DI GESTIONE DEI SEDIMENTI DEL TORRENTE ORCO

Relazione Tecnica



Responsabili: Prof. Carlo Camporeale, Prof. Francesco Laio

Collaboratori: Ing. Fabio Sola, Prof. Paolo Veza, Paolo Maschio

Carlo Camporeale
Francesco Laio



Sommario

1. Premessa.....	4
1.1. BREVE SINTESI DEI LAVORI PRECEDENTI.....	4
1.2. SOMMARIO DEGLI INTERVENTI PREVISTI NEL PROGETTO DI FATTIBILITA' ECONOMICA.....	5
2. ANALISI DELL'EVENTO DEL 2-3 OTTOBRE 2020	10
2.1. VALUTAZIONI PLANIMETRICHE.....	10
3. CONSIDERAZIONI GENERALI PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA	14
4. ASPETTI MODELLISTICI.....	18
4.1. DATI TOPOGRAFICI	18
4.2. MODELLAZIONE IDROLOGICA.....	21
4.3. MODELLAZIONE MORFODINAMICA.....	27
4.4. ASPETTI NUMERICI.....	33
5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI MORFODINAMICHE E INDICAZIONI PROGETTUALI	37
5.1. INTERVENTI DEL 1°LOTTO (CHIVASSO)	37
5.2. INTERVENTI DEL 2°LOTTO (RIVAROLO).....	53
6. VERIFICA IDRAULICA DELLE SCOGLIERE	59
7. PIANO DI MONITORAGGIO	63
7.1. Premesse	63
7.2. Linee guida	64
7.3. Esempi applicativi.....	65
7.4. Elenco delle attività proposte	69
9. RISPOSTE ALLE RACCOMANDAZIONI DI REGIONE PIEMONTE (ATTO DD 2341/A1813B/2020).....	71



1. Premessa

Il progetto definitivo qui proposto segue il progetto di fattibilità tecnica economica, descritto all'interno della Tav. A.02, e redatto dalla Città Metropolitana di Torino in data Febbraio 2020 nell'ambito di una convenzione stipulata con il Politecnico di Torino per una consulenza a supporto della progettazione idraulica degli interventi. Nell'ambito della progettazione definitiva il Politecnico si è occupato di

- Mettere a punto un modello idraulico bidimensionale utile a definire le geometrie delle opere in progetto.
- Aggiornare i DTM a seguito delle modifiche generate dagli eventi di piena avvenuti in Ottobre 2020.
- Effettuare una rivalutazione organica e sistematica degli interventi proposti nel progetto preliminare tenendo conto delle mutate condizioni morfologiche e delle raccomandazioni sintetizzate dalla deliberazione di Regione Piemonte in Conferenza di Servizi.
- Definire gli idrogrammi di piena sintetici.
- Analizzare criticamente i risultati delle simulazioni morfodinamiche per diverse portate di progetto
- Supportare tramite verifiche idraulica la progettazione delle opere.

1.1. BREVE SINTESI DEI LAVORI PRECEDENTI

Gli interventi esposti e commentati nel seguito fanno riferimento a quanto inizialmente proposto nel Programma di Gestione e Sedimenti (PGS) del torrente Orco per il tratto tra Cuornè e Chivasso, redatto nel Maggio 2007 ed aggiornato nel Febbraio 2008.

Le finalità del PGS erano:

- ripristinare le configurazioni planimetriche che garantiscono le condizioni di maggiore stabilità morfologica;
- aumentare l'officiosità idraulica del corso d'acqua durante le condizioni di piena con particolare riguardo ai tratti prossimi alle zone antropizzate;
- migliorare la capacità di laminazione naturale delle portate di piena nelle aree golenali con particolare riguardo ai tratti caratterizzati da alvei in forte incisione;
- migliorare l'assetto ecologico del corso d'acqua.

Nel PGS furono identificati i tratti di fiume che presentavano le maggiori criticità idrauliche, lungo l'asta di torrente compresa tra Cuornè e Chivasso, e furono suggeriti numerosi interventi di riassetto morfologico ed

alcune sistemazioni idrauliche, quali la realizzazione di difese spondali, l'apertura di nuovi canali secondari, l'asportazione di materiale lapideo da barre fluviali ed il ripascimento.

Nel 2010, tramite D.G.R. n. 49-1306 del 23.12.2010, la Regione Piemonte emanò il primo Programma Operativo, ove gli interventi proposti dal PGS vennero riconsiderati e modificati. In particolare, nel Programma Operativo, alcuni interventi vennero selezionati come strategici e necessari. Il tempo trascorso tra i due Programmi (circa tre anni), e la significativa mobilità laterale del corso d'acqua in oggetto, comportò un'ovvia rianalisi degli interventi, che vennero quindi rilocalizzati, tenendo in considerazione l'evoluzione planimetrica, che nel frattempo aveva subito il fiume.

Nel progetto di fattibilità tecnico economica, che precede la presente relazione, sono stati analizzati e nuovamente esaminati tutti gli interventi del primo programma operativo a causa delle variazioni morfologiche del corso d'acqua avvenute nel corso del tempo. Nel tratto di valle, compreso tra San Benigno e Chivasso, gli interventi sono stati in parte rilocalizzati, ed in parte eliminati, laddove non fossero più compatibili con il nuovo assetto del torrente.

In data 7 Settembre 2020 la regione Piemonte con Atto DD 2341/A1813B/2020, ha determinato di escludere il progetto proposto dalla procedura di Valutazione di impatto ambientale (VIA) indicando all'interno dell'allegato A una serie di raccomandazioni da dover seguire durante la fase di progettazione del progetto definitivo. Le condizioni da rispettare al fine di tale esclusione, concernenti gli aspetti idraulici sono riportati al punto denominato "Misure supplementari e Raccomandazioni" del medesimo documento, e sono riportate nel Capitolo 8 della presente relazione.

1.2. SOMMARIO DEGLI INTERVENTI PREVISTI NEL PROGETTO DI FATTIBILITA' ECONOMICA

Il progetto riguarda la sistemazione fluviale e rinaturalizzazione del torrente Orco, in particolare nel tratto di lunghezza complessiva pari a circa 35 km e compreso tra la città di Cuorgnè e Chivasso (confluenza nel fiume Po), in provincia di Torino. Ulteriori dettagli relativi all'inquadramento idromorfologico sono riportati nella relazione dell'analisi di Fattibilità Tecnico-Economica. Gli interventi prevedono una parziale rimodellazione del corridoio fluviale tramite una riapertura di canali secondari, morfologicamente già esistenti, e la costruzione di difese spondali atte a mantenere il corso d'acqua all'interno della

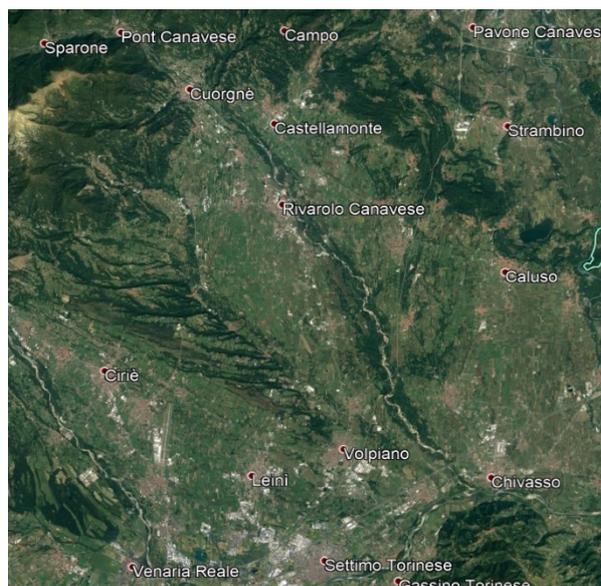


Figura 1.1: Inquadramento geografico del fiume Orco



sua fascia di divagazione compatibile.

Di seguito (Figure 1.2-1.9) si sovrappongono le perimetrazioni degli interventi proposti nella relazione idraulica del progetto di fattibilità tecnica economica con l'Ortofoto del 2019 effettuata durante il rilievo Lidar. Gli interventi previsti nel Primo Programma Operativo sono riportati in rosso mentre quelli esposti nella progettazione preliminare sono in verde.



Figura 1.2



Figura 1.3

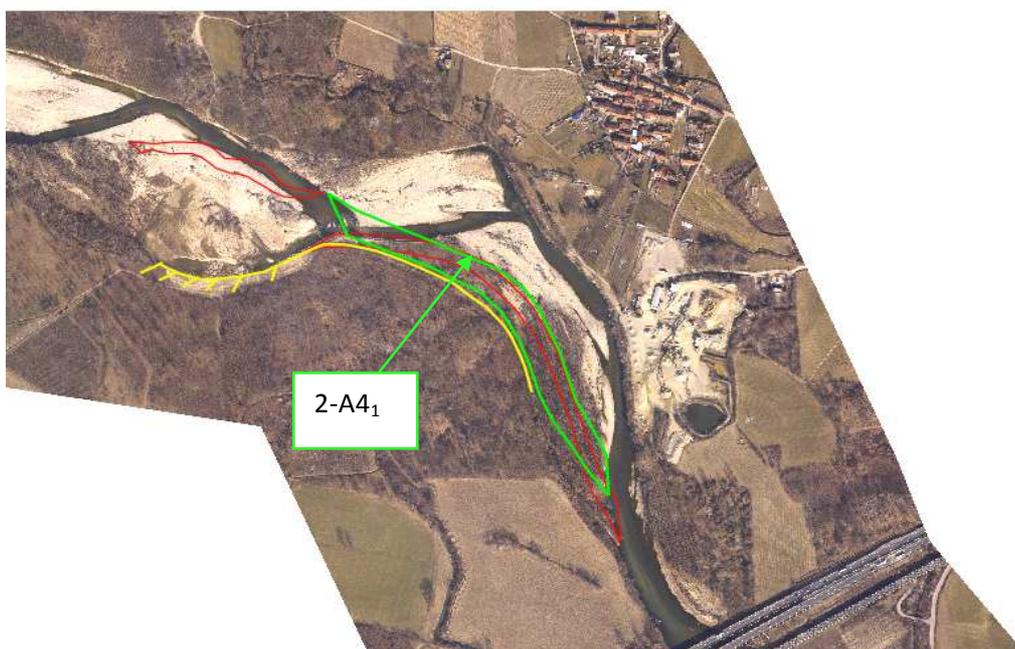


Figura 1.4

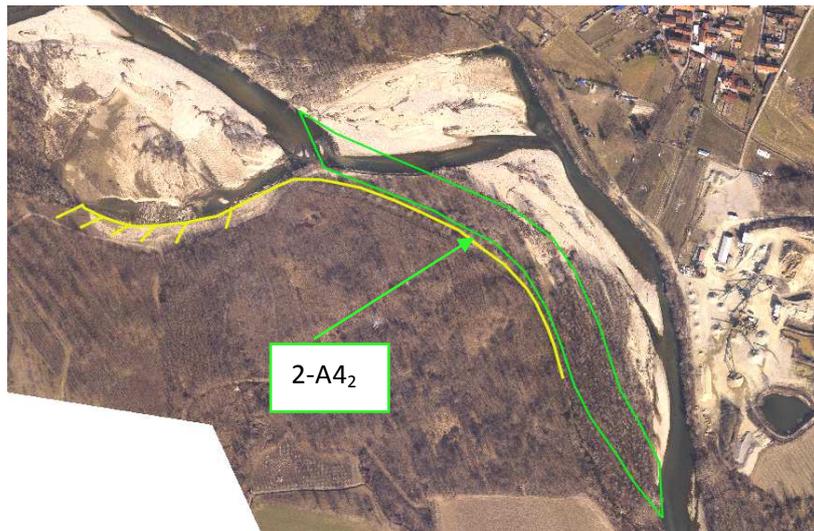


Figura 1.5: Pennelli e scogliera in massi non legati interrati (in giallo) ed apertura di canale secondario (in verde) su Ortofoto del 2019.



Figura 1.6



Figura 1.7

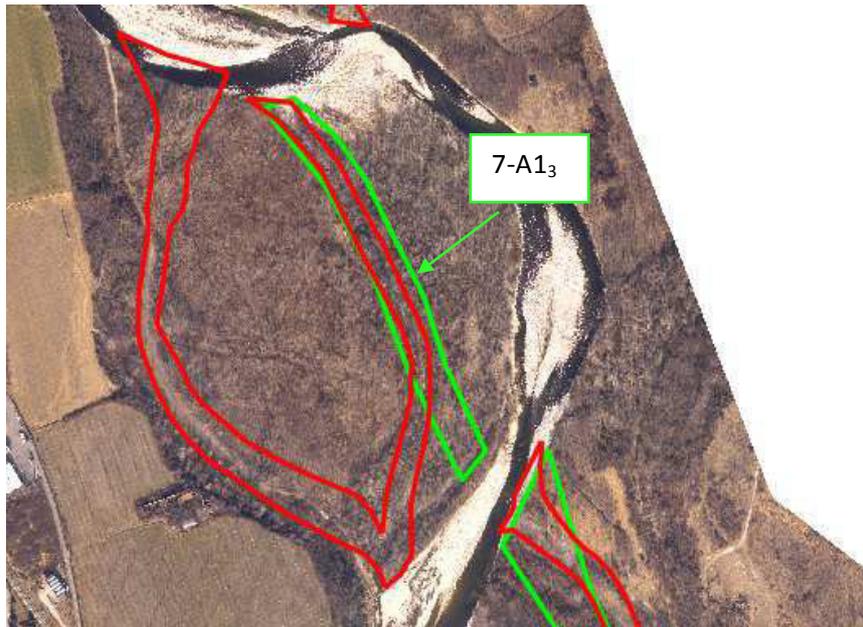


Figura 1.8

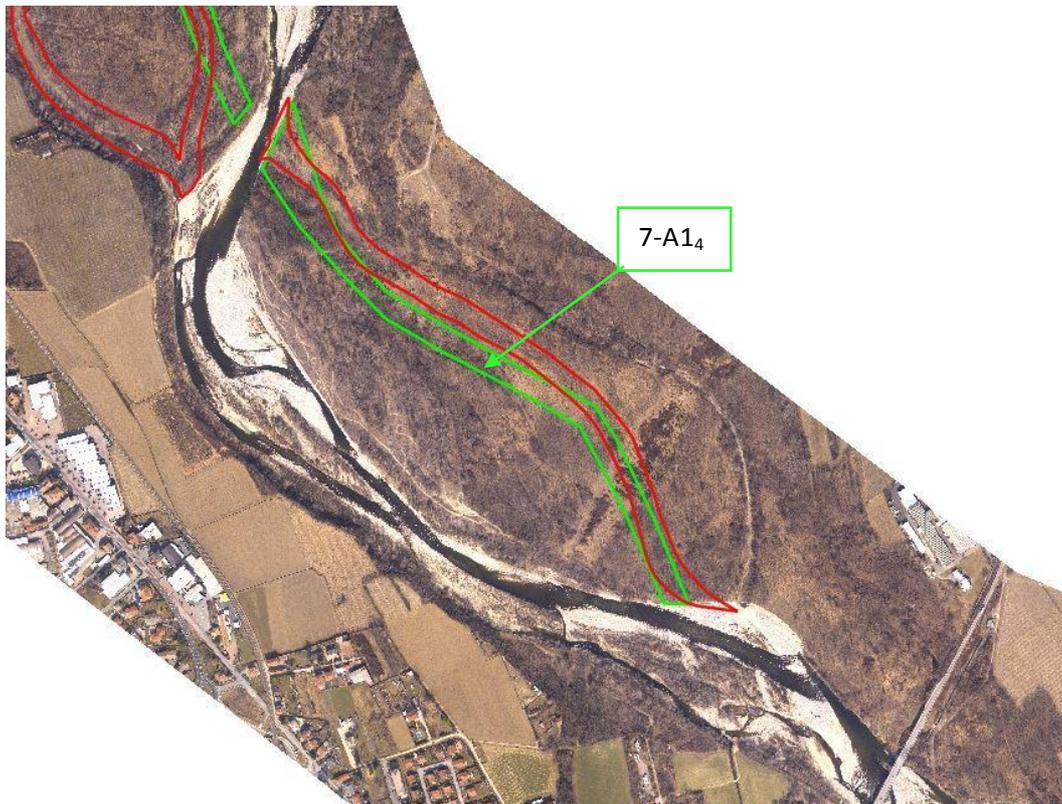


Figura 1.9

2. ANALISI DELL'EVENTO DEL 2-3 OTTOBRE 2020

L'evento meteorologico verificatosi in Nord Italia il 2-3 Ottobre 2020 ha comportato un andamento pluviometrico di intensità eccezionale per il Piemonte. Il rapporto dell'Arpa del 14 ottobre cita: *“Nelle stazioni maggiormente coinvolte dalle precipitazioni i tempi di ritorno stimati per le durate di 12 e 24 ore superano i 200 anni, le stazioni di Limone Piemonte (CN) e Sambughetto (VB) hanno registrato valori estremi per tutte le durate (1, 2, 6, 12, 24 ore), confermando l'eccezionalità dell'evento”*.

Per quanto riguarda le portate idriche sul torrente Orco, i colmi di piena sono stati rilevati il 3 Ottobre, con tempi di ritorno stimati intorno a 20-50 anni per la stazione di Spineto (circa 1400 m³/s) e di circa 20 anni per la stazione di San Benigno.

Alcuni sopralluoghi hanno evidenziato intensi fenomeni erosivi generalizzati e collassi spondali.

2.1 VALUTAZIONI PLANIMETRICHE

Il reperimento di immagini satellitari catturate l'8 Ottobre dal satellite Sentinel 2 del programma Copernicus permettono di effettuare un primo confronto qualitativo sugli effetti cumulati dei processi erosivi intercorsi tra l'ultima acquisizione del DTM, avvenuta in Marzo 2019, e gli eventi di piena avvenuti fino ad oggi, il maggiore dei quali è stato quello recente del 3/10/2020. Di seguito, si riportano sinteticamente alcuni confronti rappresentativi nelle zone di interesse progettuale (a sinistra è riportata l'ortofoto relativa al DTM acquisito in Marzo 2019, mentre a destra l'immagine satellitare recente, con risoluzione di 10 m). Si ricorda che un'interpretazione qualitativa del confronto cartografico deve considerare che le portate idriche impegnate nei due momenti acquisizione delle foto non sono confrontabili, in quanto nella prima occasione confluivano circa 11 m³/s, mentre nella seconda circa 40 m³/s.

In Figura 2.1 è riportato il tratto in prossimità di Rivarolo, dove precedentemente il fiume presentava due rami separati, di cui il maggiore era addossato in sponda sinistra, mentre il minore era probabilmente indotto da piccole canalizzazioni artificiali scavate nel letto al fine di favorire l'apporto idrico in prossimità delle prese idriche poste più a valle. Dall'immagine sulla destra di Figura 2.1 si evince che la corrente principale ora si trova a ridosso della sponda destra, incrementando così la curvatura della linea d'asse del fiume. Di conseguenza, non si esclude che si siano intensificati i fenomeni erosivi a ridosso di tale sponda, la quale coincide con una scarpata di circa 25 m che separa la piana esondabile dal terrazzo su cui si sviluppa il comune di Rivarolo. In sintesi, il corso d'acqua sembra abbia incrementato la propria sinuosità, innescando le condizioni per la formazione di un vero e proprio meandro, come dimostra la presenza di una zona a colorazione chiara in sponda sinistra, testimoniando la formazione di una barra puntuale all'intradosso.

Inoltre, la presenza di una barra visibilmente vegetata potrebbe ulteriormente promuovere il meccanismo di erosione appena descritto. Fenomeni analoghi sono riconoscibili anche nel meandro più a valle presente in figura. Infine, un tratto di propaggine di lanca visibile nel tratto di monte su sponda sinistra manifesta un fenomeno erosivo direzionato verso il tratto iniziale del paleo-alveo.



Figura 2.1: Tratto di fiume in prossimità di Rivarolo (sx: Marzo 2019, dx: Ottobre 2020)

Per quanto riguarda il tratto di interesse nel comune di San Benigno, come già evidenziato nella relazione di Fattibilità Tecnico Economica a supporto della progettazione preliminare, durante l'evento di piena del 24/10/2019 il corso d'acqua aveva effettuato un salto di meandro, privando parzialmente dell'apporto idrico la grossa ansa che si estende verso est (si veda immagine centrale in Figura 2.2, rilevata tramite volo drone). L'evento più recente di Ottobre 2020 presenta la naturale evoluzione del nuovo alveo principale, manifestando la tipica migrazione verso valle di una serie di piccoli meandri in evoluzione. L'incremento di sinuosità nel tratto di valle, che nella relazione preliminare si auspicava di promuovere con interventi ad hoc, sembra che sia già naturalmente in atto (si veda il capitolo 3 per ulteriori approfondimenti).



Figura 2.2: Salto di meandro in comune di San Benigno (sx: Marzo 2019; centro: Ottobre 2019; dx: Ottobre 2020)



Figura 2.3: Tratto nel comune di Montanaro (sx: Marzo 2019, dx: Ottobre 2020)

Anche il tratto di pertinenza del Comune di Montanaro era già stato interessato da un salto di meandro durante l'evento di Ottobre 2019, lasciando così una lanca semi-abbandonata in sponda sinistra (si veda box riportato in Figura 2.3). Anche in questo caso, l'evento recente conferma il nuovo assetto, intensificando un

corridoio di alveo principale che dalla sponda destra si riversa principalmente su sponda sinistra tramite un unico grosso filone.



Figura 2.4: Zona in prossimità dell'abitato di Pratoregio nel Comune di Chivasso (sx: Marzo 2019, dx: Ottobre 2020)

Infine, il tratto in prossimità dell'abitato di Pratoregio sembra aver subito alcuni fenomeni di erosione. In particolare, la freccia rossa in Figura 2.4 evidenzia la sede di un importante collasso spondale (documentato in Figura 2.5). Inoltre, da osservazioni in campo si è osservato che i terrazzi su entrambe le sponde sono stati alluvionati.

Anche in questo caso il canale principale ha subito l'evoluzione tipica di un fiume debolmente meandriforme, con fenomeni di erosione localizzata che si alternano tra sponda destra e sinistra.



Figura 2.5: Collasso spondale in sponda destra (segnata da freccia rossa in Fig. 2.4)

In questo scenario evolutivo, si reputa che i fenomeni erosivi a ridosso dell'abitato di Pratoregio possano perdere di rilevanza futura ma che, al contrario, la zona di sponda più a valle, a ridosso dell'impianto di trattamento di inerti possa invece essere sede di intensa attività erosiva.

3. CONSIDERAZIONI GENERALI PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA

Al fine di procedere con la progettazione definitiva degli interventi attuativi del Primo Programma Operativo, lo stato attuale del torrente Orco deve essere analizzato all'interno del quadro di raccomandazioni contenute nel documento allegato alla Trasmissione della determinazione dirigenziale da parte di Regione Piemonte n°2 341 del 07/09/2020 di esclusione dalla fase di valutazione della procedura di VIA. A seguito di tali raccomandazioni e in conseguenza dell'evento di piena del 2-3 Ottobre 2020, documentato nel capitolo precedente, è stato necessario sottoporre ad una rivalutazione critica gli interventi proposti inizialmente nel Primo Programma Operativo e successivamente nell'Analisi di Fattibilità Tecnico Economica e procedere a nuove simulazioni idrauliche bidimensionali che considerassero anche gli aspetti evolutivi della morfologia fluviale.

Gli scriventi sono giunti alle seguenti conclusioni (gli interventi previsti nella relazione preliminare sono riportati nelle figure seguenti in colore verde):

- La realizzazione dell'intervento 2-A1₁ non è più giustificabile poiché, come illustrato in figura 3.1, si è spontaneamente realizzato a seguito di un salto di meandro avvenuto durante l'evento di piena del 2-3 Ottobre 2020.



Figura 3.1: Evoluzione morfologica in prossimità dell'intervento 2-A1₁. Sinistra: Ortofoto da rilievo del 2019. Destra: Foto satellitare Novembre 2020 (Sentinel 2).

- In merito all'intervento 2-A1₂, nelle raccomandazioni da parte di Regione Piemonte, si suggeriva di ponderare con attenzione tale opera al fine di evitare “la formazione di un prevalente monocorsuale”. La scelta di questo intervento si basava su simulazioni idrodinamiche, che già suggerivano la presenza di tale filone per portate non ordinarie. Come si evince dalla figura 3.2, anche in questo

caso il fiume ha spontaneamente anticipato quanto previsto dall'intervento, che risulta quindi non più necessario.

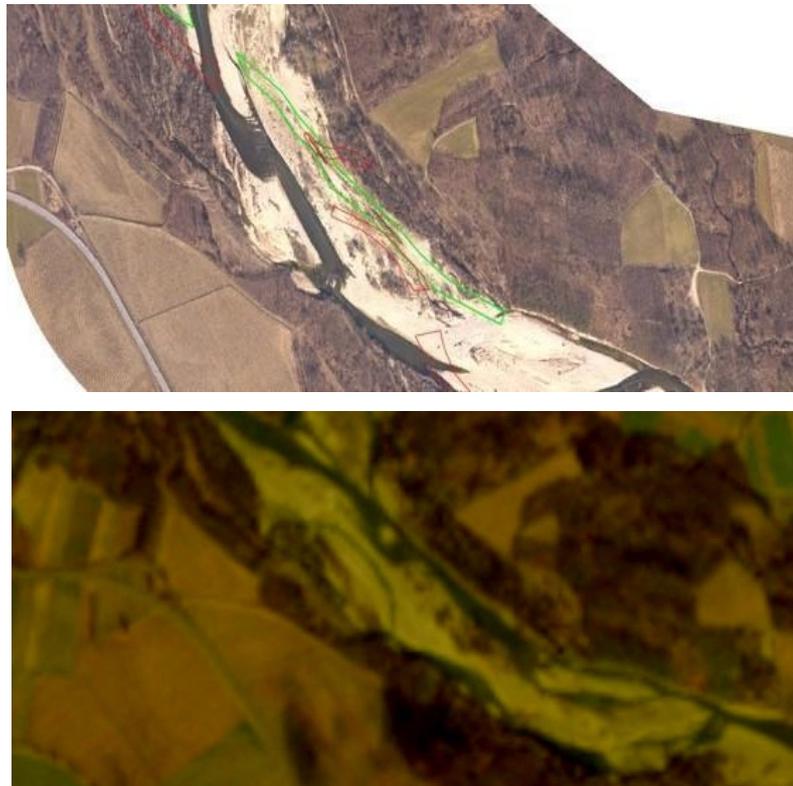


Figura 3.2: Evoluzione morfologica in prossimità dell'intervento 2-A1₂. In alto è riportata l'ortofoto relativa al rilievo del 2019. In basso l'immagine satellitare (Sentinel 2) acquisita il 31 Gennaio 2021.

- Per motivi analoghi, anche l'intervento 3-A2 non risulta più necessario. Dato che il taglio del meandro riportato in Figura 3.1 ha spontaneamente e irreversibilmente allontanato la corrente dalla sponda sinistra, la sua realizzazione comporterebbe un'eccessiva e ingiustificata artificializzazione del letto fluviale.
- **Gli interventi 7-A1₁ e 7-A1₂ risultano ancora realizzabili e giustificabili (si veda Figura 1.7).**
- L'intervento 7-A1₄ è stato escluso dalla determinazione dirigenziale della Regione Piemonte, quindi non verrà più considerato. Dalle osservazioni riportate sopra, in merito all'evoluzione del paleoalveo, si suggerisce tuttavia di includere comunque tale zona nell'ambito dei programmi di monitoraggio futuro (si veda il capitolo 7).
- La progettazione dell'intervento 7-A1₃, come previsto nel progetto di Fattibilità Tecnico Economica, era strettamente legata a quella dell'intervento posto a valle (7-A1₄), che volutamente presentava un imbocco posizionato in linea d'asse con la restituzione del 7-A1₃ (si veda figura 3.3). Lo scopo di tale assetto era quello di assicurare che, per portate con tempi di ritorno superiori ai 2 anni, la corrente del canale principale venisse volutamente intercettata lateralmente dalla re-immissione in sponda destra del canale 7-A1₃ favorendo così un parziale deflusso laterale in sponda sinistra nel 7-A1₄. I due interventi erano quindi stati progettati per consentire una (moderata) connessione idraulica che disturbasse il filone principale e favorisse lo scollo in sponda sinistra nel canale 7-A1₄.

Eliminando la realizzazione di quest'ultimo (ottemperando alle raccomandazioni di Regione Piemonte, si veda punto precedente), cade anche la necessità di realizzare anche il canale 7-A1₃. Tale realizzazione non è neanche giustificata nella variante suggerita da Regione Piemonte che prevede un re-immissione leggermente più a valle con un angolo di incidenza meno marcato (si veda il tratto riportato in giallo in figura 3.3), “allo scopo di escludere eccessive pressioni sul canale attivo provocando nel tempo un condizionamento indesiderato nell'evoluzione dello stesso”. Le simulazioni idrodinamiche riportate nel Capitolo 5 suggeriscono infatti che, anche in questo nuovo assetto, il canale 7-A1₃ risulta di *per sé* inefficace a ridurre la batimetria e/o il campo di moto nell'asta principale in. A tali considerazioni si aggiungono le raccomandazioni riportate nella relazione dello studio STA Engineering s.r.l. dello studio di fattibilità ambientale (Tav. A03), dove si consiglia di ridurre al minimo lo sfalcio della vegetazione all'interno della barra fluviale.

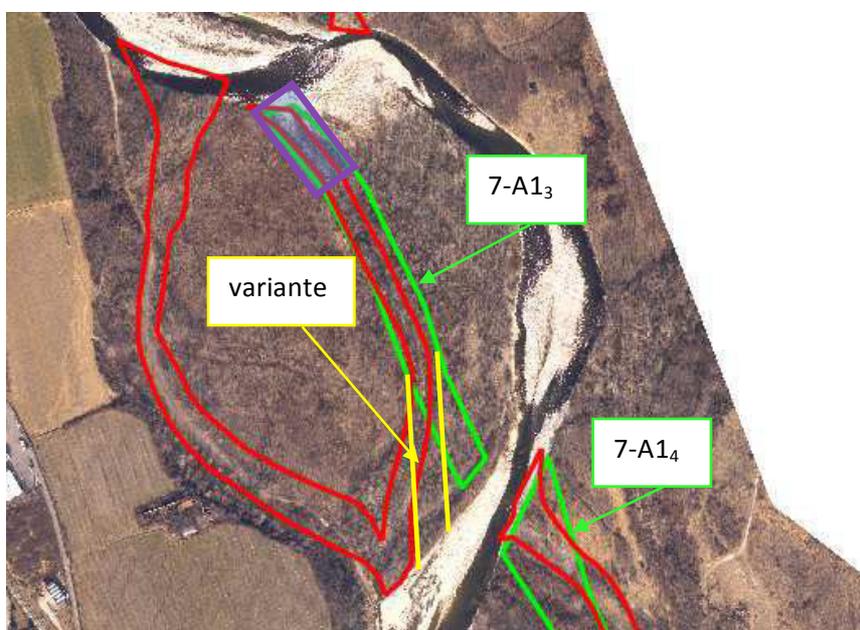


Figura 3.3: Intervento 7-A1₃, variante suggerita da Regione Piemonte (in giallo) ed intervento 7-A1₄

E' tuttavia utile valutare la possibilità di limitare l'asportazione del materiale nella parte iniziale del canale 7-A1₃, all'interno della zona evidenziata dal rettangolo viola della Figura 3.3, dove la vegetazione è più rada e la granulometria più grossolana ($d_{50}=16$ cm). Tale operazione avrebbe il duplice scopo di:

- i) Favorire col tempo il deflusso naturale della corrente in un tracciato topograficamente depresso, di modo da aumentare la probabilità d'innescio di una biforcazione naturale, che quindi allevierebbe la pressione erosiva in sponda sinistra del canale attivo.
- ii) Fornire una parte di materiale necessario per il ripascimento previsto nel tratto di monte (intervento 7-A1₁, si veda figura 1.7). Risulta infatti che il materiale proveniente dallo scavo del canale prospiciente (intervento 7-A1₂) sia troppo fine per assicurare un ripascimento duraturo nel tempo e funzionale ad una protezione della sponda destra.

In sintesi, per le motivazioni sopra riportate, suggeriamo di evitare la realizzazione del canale 7-A1₃, salvo l'asportazione di materiale grossolano nel tratto iniziale evidenziato dal rettangolo viola in figura 3.3, al fine di fornire sedimento utile per il ripascimento del tratto 7-A1₁.

- Ottemperando alle raccomandazioni di Regione Piemonte (riportate nel punto 9 del Capitolo 8), si è valutato di ripristinare la protezione spondale ubicata in sponda sinistra a valle del ponte di Rivarolo (2° lotto, 2° stralcio). Tale opera non era prevista nel Primo Programma Operativo, e non è da considerarsi come elemento funzionale alla gestione dei sedimenti del fiume Orco.
- Il tratto di scogliera con pennelli in cassero e relativo canale secondario a tergo della scogliera (interventi 2-A4₂ e 2-A4₃) sono confermati. L'evento di piena ha infatti evidenziato come la corrente sia giunta, seppure con bassi tiranti, in prossimità della strada sterrata. Una protezione ai fenomeni erosivi superficiali è quindi auspicabile. Per quanto riguarda il tratto di scogliera più a valle e la realizzazione di un canale a ridosso della stessa, l'erosione localizzata documentata in figura 3.4 ed il trasporto solido di fondo, hanno probabilmente modificato l'assetto generale dell'alveo. Rimane attuale, la necessità di proteggere la sponda sinistra da fenomeni erosivi, seppure per un tratto più a valle di quanto precedentemente designato. A tale scopo si è ritenuto necessario aggiornare il modello digitale del terreno dell'intera zona.



Figura 3.4: Interventi 2-A4₂ e 2-A4₃

4. ASPETTI MODELLISTICI

A supporto del progetto di fattibilità tecnico economica, erano stati presentati i risultati di simulazioni idrauliche bidimensionali a fondo fisso, effettuate per mezzo del software Delft3D-Flexible mesh (Deltares), nell'approssimazione di moto permanente. Giunti in questa fase di progettazione, e a seguito delle considerazioni riportate sopra, si è ritenuto necessario affinare l'indagine tramite nuove simulazioni, che tenessero conto dell'assetto definitivo degli interventi e della loro eventuale evoluzione morfologica, al fine di determinarne la stabilità durante gli eventi di piena. Nel seguito, si illustrano i dati di input necessari alla predisposizione del modello morfodinamico.

4.1. DATI TOPOGRAFICI

Come già trattato nella relazione di fattibilità tecnica economica, il rilievo topografico del terreno era stato realizzato tramite volo Lidar (28/02/2019) che ha coperto l'intero tratto di Orco interessato dagli interventi. Per la corretta valutazione del fondo alveo sono stati svolti diversi rilievi batimetrici per mezzo di misure dirette e l'utilizzo di un natante.

A causa degli eventi di piena avvenuti in Ottobre 2019 e in Ottobre 2020, si è reso necessario effettuare dei nuovi voli drone di dettaglio di alcune aree, funzionali all'acquisizione fotogrammetrica della topografia aggiornata. In particolare, sono state rilevate le aree nei pressi di due tagli di meandro, avvenuti nelle località di Montanaro e San Benigno e dell'ansa in prossimità di Pratoregio, coinvolta da fenomeni erosivi durante la seconda ondata di piena relativa all'evento del 2-3 Ottobre 2020. Le figure 4.1 - 4.3 riportano le ortofoto rilevate dai droni.



Figura 4.1: Ortofoto del rilievo effettuato in Maggio 2020, nei pressi del salto di meandro avvenuto in località San Benigno



Figura 4.2: Ortofoto del rilievo effettuato in Maggio 2020 nei pressi del salto di meandro avvenuto in località Montanaro



Figura 4.3: Ortofoto del rilievo effettuato in Novembre 2020, nei pressi di Pratoregio

4.2. MODELLAZIONE IDROLOGICA

Al fine di emulare una condizione di moto permanente, il modello a fondo fisso utilizzato nelle simulazioni idrodinamiche per il progetto preliminare adottava un idrogramma rettangolare pari alla portata di progetto. Tale condizione risulta particolarmente inadeguata per le simulazioni a fondo mobile e comporta il rischio di un'errata stima dei fenomeni erosivi, in ragione del legame fortemente non lineare tra portata liquida e portata solida. Di conseguenza, si è proceduto all'identificazione di due idrogrammi sintetici (standardizzati), desunti dagli eventi storici registrati nella stazione di Pont Canavese e trasposti nella sezione di Rivarolo e San Benigno.

La ricostruzione degli idrogrammi di riferimento è stata condotta utilizzando la metodologia delle Curve di Riduzione dei Colmi di Piena (CRCP) (NERC, 1975; Tomirotti e Mignosa, 2017). Tali curve permettono di sintetizzare le informazioni sui volumi delle onde di piena e consentire una ricostruzione parametrica degli idrogrammi di progetto anche in sezioni non strumentate. Rimandando alla bibliografia citata per ulteriori dettagli, qui si richiamano gli elementi essenziali.

In primo luogo, si definisce la portata Q_D come il massimo valore della portata media transitata in D ore consecutive, come si può osservare dall'esempio di Figura 4.4. In termini matematici risulta:

$$Q_D = \max \left(\frac{1}{D} \int_t^{t+D} Q(\tau) d\tau \right) \quad (1)$$

dove $Q(t)$ rappresenta l'idrogramma osservato e D la durata temporale di riferimento. Utilizzando diversi valori di durata D , e normalizzando i punti ottenuti per la portata di picco Q_{max} della sequenza analizzata, si ottiene quindi la CRCP:

$$\varepsilon_D = \frac{Q_D}{Q_{max}} \quad (2)$$

Per durata $D = 0$, Q_D corrisponde al picco e, di conseguenza, $\varepsilon_D = 1$.

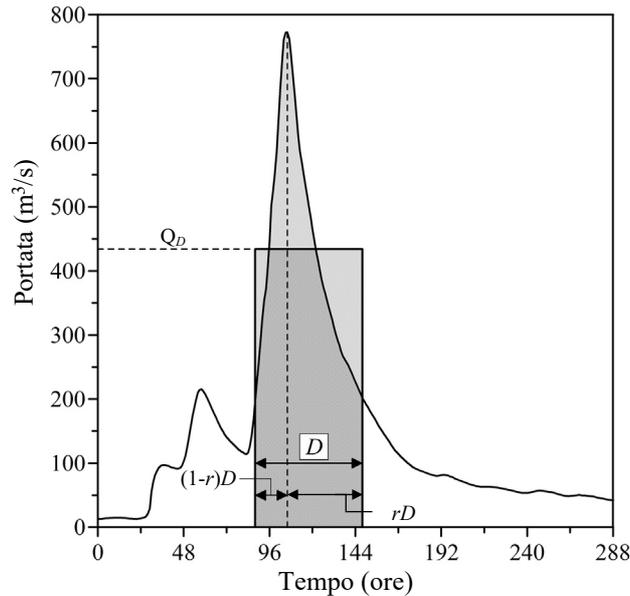


Figura 4.4: Definizione della curva di riduzione dei colmi di piena

La CRCP empirica può poi essere rappresentata in forma analitica utilizzando diverse forme funzionali, tra cui quella a due parametri proposta dal NERC (1975), che risulta:

$$\varepsilon(D) = (1 + b \cdot D)^{-c}. \quad (3)$$

A partire da questa curva si possono ricavare idrogrammi di forma qualsiasi, consistenti con la distribuzione dei volumi, imponendo che il massimo volume sotteso dall'idrogramma per ogni intervallo di durata D sia pari a quello individuato dalla curva di riduzione, moltiplicata per la portata al colmo istantanea. Se si ipotizza un idrogramma perfettamente simmetrico, l'equazione dell'idrogramma NERC risulta essere

$$q(t) = Q_T \cdot [(1 + 2b \cdot |t|)^{-c} - 2b \cdot c \cdot |t| \cdot (1 + 2b \cdot |t|)^{-c-1}]. \quad (4)$$

Tale formulazione può essere generalizzata per ottenere un idrogramma a 2 rami asimmetrico, sempre consistente con la curva di riduzione NERC. Sia r il parametro di asimmetria (Figura 4.4) che definisce la distribuzione relativa dei volumi tra il ramo crescente e quello decrescente dell'idrogramma del ramo destro dell'idrogramma ($0 \leq r \leq 1$), l'equazione dell'idrogramma diventa

$$q(t) = \begin{cases} \left(1 + \frac{b}{1-r}|t|\right)^{-c} - \frac{b \cdot c}{1-r}|t| \left(1 + \frac{b}{1-r}|t|\right)^{-c-1} & t < 0 \\ \left(1 + \frac{b}{r}t\right)^{-c} - \frac{b \cdot c}{r}t \left(1 + \frac{b}{r}t\right)^{-c-1} & t \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Per $r = 0.5$ l'idrogramma è simmetrico; per $r = 1$ l'idrogramma ha solo il ramo discendente (picco istantaneo a $t = 0$). Si osservi che la CRCP non contiene informazioni relative all'asimmetria dell'idrogramma, rendendo necessario determinare r indipendentemente.

Nel caso del torrente Orco, sono disponibili alcuni anni di osservazione nelle stazioni di Pont Canavese e di San Benigno Canavese. Nello specifico, sono disponibili 66 idrogrammi d'evento con risoluzione temporale di 5 minuti per la stazione di Pont Canavese e 14 idrogrammi d'evento risoluzione temporale 30 minuti per la stazione di San benigno Canavese. Nella presente analisi, si è proceduto a calcolare la CRCP empirica per ogni evento (Figura 3, linee colorate) e la corrispondente CRCP media (Figura 4.5, linee nere). Infine, la funzione NERC è stata adattata alle CRCP medie mediante un algoritmo di minimizzazione degli scarti quadratici, fornendo i parametri b e c riportati nella Tabella 4.1. Si noti che l'adattamento della curva NERC sulla CRCP media è così buono da rendere le due curve indistinguibili.

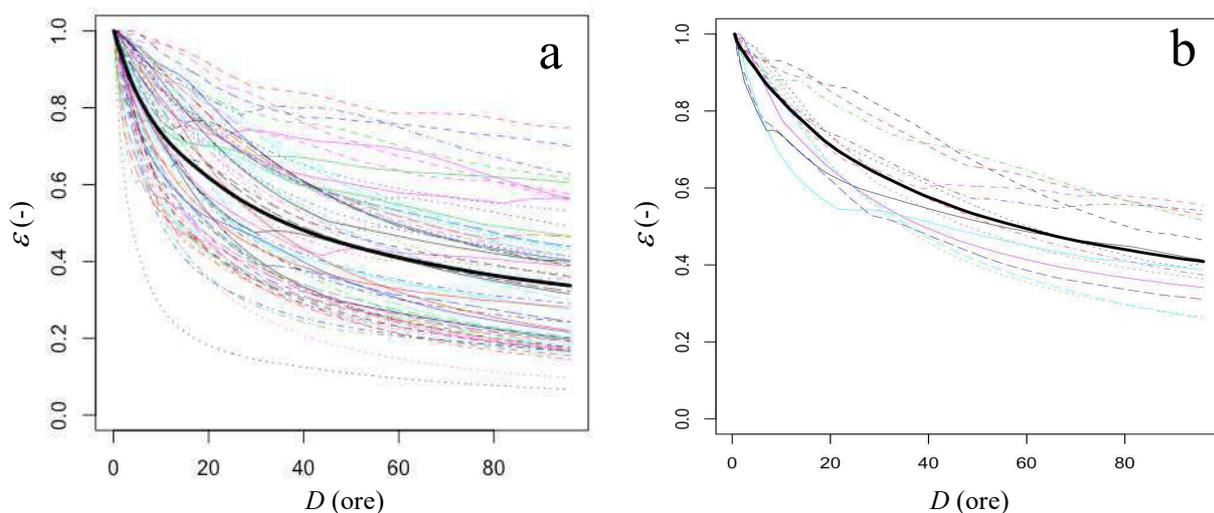


Figura 4.5: CRCP dei singoli eventi (linee colorate) e CRCP media (linea nera) per le stazioni di Pont Canavese (a) e San Benigno Canavese (b)

Tabella 4.1 Valori dei parametri della CRCP NERC calcolati sulle curve empiriche e l'area dei bacini

parametro	b	c	area (km^2)
Pont Canavese	0.0849	0.4923	617
San Benigno Canavese	0.0404	0.5709	846

Si sono inoltre riportati, nella Figura 4.6 e Figura 4.7, gli idrogrammi osservati normalizzati (in grigio, linea leggera) e allineati rispetto al picco principale. Si noti che alcuni idrogrammi hanno picchi multipli. La linea nera rappresenta l'idrogramma medio (media di Q per ogni t). Sono stati inoltre sovrapposti gli idrogrammi sintetici ottenuti con le rispettive parametrizzazioni e per diversi valori di r . Nel caso specifico è stato adottato il valore di asimmetria $r=0.7$ per entrambe le stazioni.

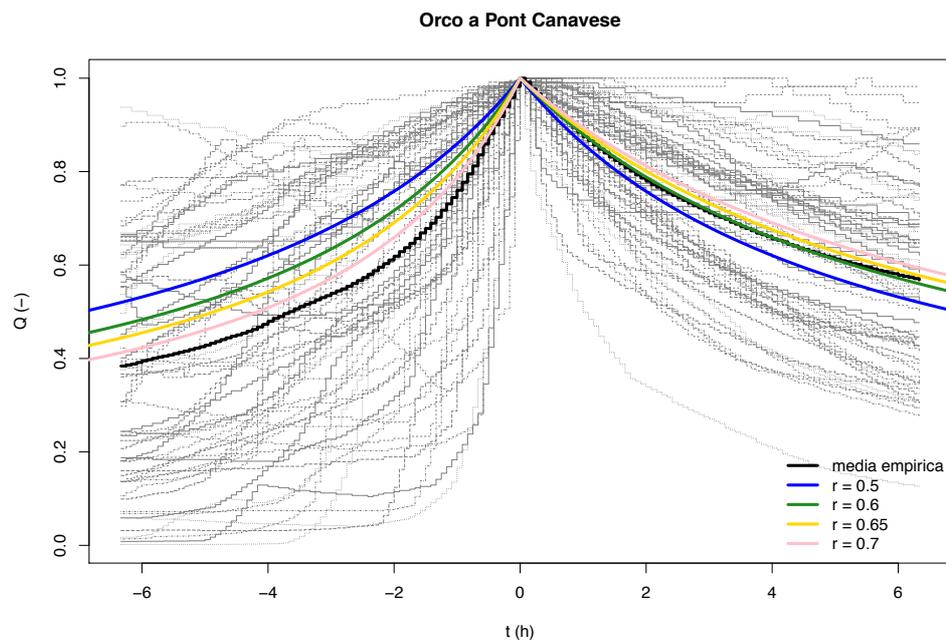


Figura 4.6: Stazione di Pont Canavese. Idrogrammi d'evento normalizzati e allineati con picco in posizione $t=0$ (linee in grigio tratteggiate), idrogramma medio empirico (linea nera), idrogrammi regolarizzati NERC per diversi valori di r (linee colorate).

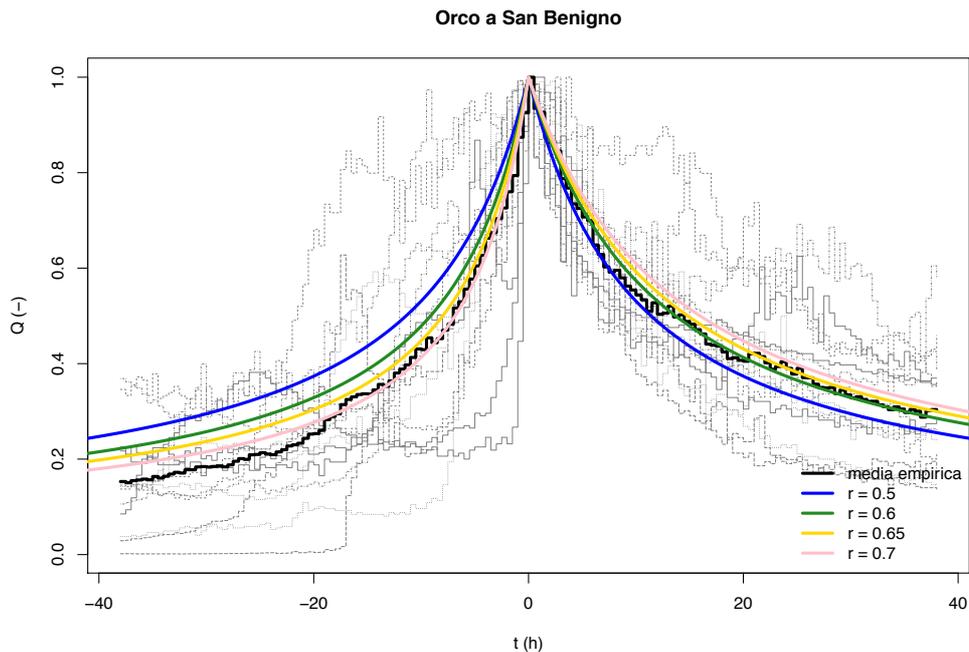


Figura 4.7: Stazione di San Benigno Canavese. Idrogrammi d'evento normalizzati e allineati con picco in posizione $t=0$ (linee in grigio tratteggiate), idrogramma medio empirico (linea nera), idrogrammi regolarizzati NERC per diversi valori di r (linee colorate).

Per ottenere una stima degli idrogrammi sintetici in sezioni fluviali intermedie e non strumentate si possono quindi far variare con regolarità i parametri ottenuti per le due sezioni, ottenendo infine un idrogramma sintetico. Nel caso specifico, l'obiettivo è di valutare l'idrogramma di riferimento nella sezione in corrispondenza del comune di Rivarolo, nella quale non si hanno osservazioni. Essendo la sezione di Rivarolo collocata tra le due stazioni strumentate lungo l'asta dell'Orco, appare adeguato ricavare i parametri b e c relativi a Rivarolo interpolando linearmente i parametri riportati nella Tabella 4.1 sulla base della rispettiva area dei bacini. I risultati ottenuti per i parametri b e c sono riportati nella Tabella 4.2. Per quanto riguarda il parametro di asimmetria, si considera lo stesso valore ottenuto per le stazioni strumentate, pari a $r = 0.7$.

Tabella 4.2 Valori dei parametri della CRCP NERC calcolati sulle curve empiriche e l'area dei bacini

parametro	b	c	area (km^2)
Rivarolo	0.0682	0.5218	703

Infine, è stato ricostruito l'idrogramma di progetto nella stazione di Rivarolo applicando l'equazione dell'idrogramma NECR asimmetrico è riportato nella Figura 26a insieme ai già citati idrogrammi delle sezioni di Pont Canavese e San Benigno Canavese. Ai fini della modellazione idraulica, è tuttavia opportuno discretizzare gli idrogrammi con un passo temporale adeguato (in questo caso 1 ora). Operando in questo modo (Figura 4.8b) gli idrogrammi di riferimento appaiono a gradini; il valore di picco dell'idrogramma discretizzato non risulterà più uguale all'unità, ma corrisponderà alla portata media transitata nel periodo di discretizzazione.

In ultima analisi, gli idrogrammi ottenuti, essendo adimensionali, possono essere scalati per la portata di picco relativa al tempo di ritorno di interesse.

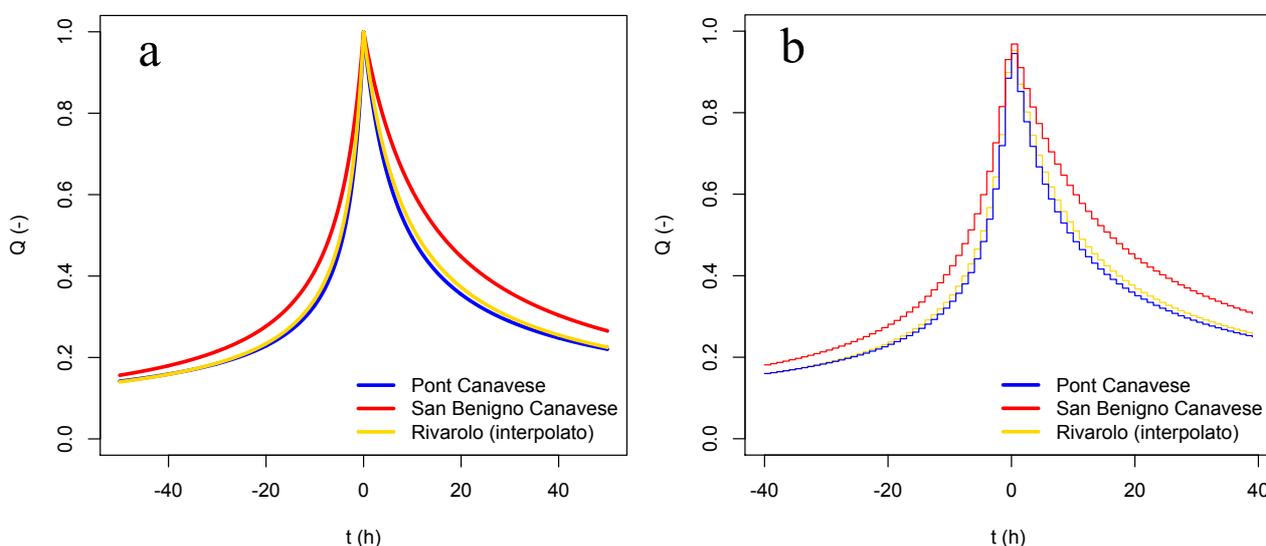


Figura 4.8: Idrogramma presso Rivarolo ottenuto per interpolazione dei parametri delle stazioni di Pont Canavese e San Benigno Canavese. A sinistra la soluzione analitica e a destra la soluzione discretizzata con passo temporale di 1 ora.

Per completezza si riporta in Tabella 4.3 la valutazione dei tempi di ritorno per le portate di progetto desunte dall'analisi idrologica effettuata a supporto dell'analisi di Fattibilità Tecnico Economica. In aggiunta, a supporto delle analisi riportate nel capitolo 5, si specifica che dalla curva di durata delle portate, il valore di portato superato in media per 15 gg l'anno è pari a 70 m³/s.

Tabella 4.3 Portate di progetto (Q_p)

T [anni]	<i>Pont Canavese</i>	<i>San Benigno</i>
2	400	503
5	689	839
20	1128	1330
100	1692	1942
200	1959	2225
500	2336	2623

4.3. MODELLAZIONE MORFODINAMICA

Il modello morfodinamico differisce rispetto al modello idrodinamico a fondo fisso in quanto, oltre all'equazioni di bilancio di massa e quantità di moto della fase liquida, si considera anche la conservazione della massa della fase solida accoppiata con delle leggi di trasporto per il sedimento di fondo ed eventualmente sospeso (Equazione di Exner). In estrema sintesi, per un generico volume di controllo corrispondente ad una cella di calcolo, la differenza netta dei flussi di materiale solido deve uguagliare l'incremento o riduzione di materiale contenuto nel volume, che si realizza tramite un aumento o riduzione di materiale sospesa e/o della quota di fondo (Figura 4.9).

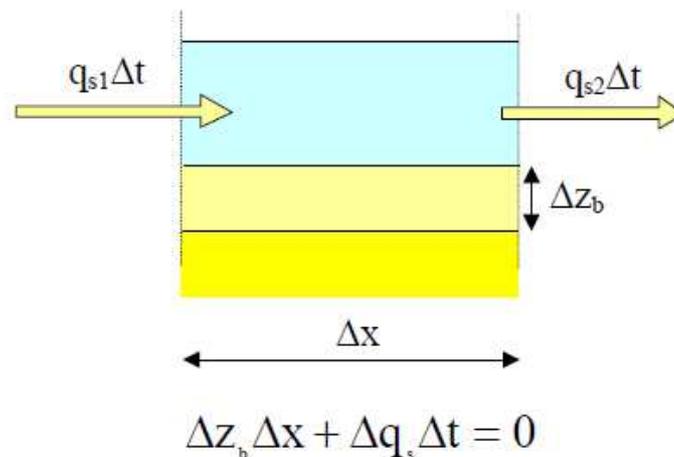


Figura 4.9: Schematizzazione del bilancio di conservazione della massa solida

L'utilizzo del modulo morfodinamico richiede l'acquisizione dettagliata delle informazioni granulometriche del sedimento, del grado di coesione del sedimento o della presenza o meno di corazzamento del fondo alveo. Tali proprietà sono state già oggetto di valutazione per la caratterizzazione degli indici di resistenza del materiale di fondo, come riportato nella Relazione di Fattibilità Tecnico Economica. Si riepilogano gli elementi essenziali delle analisi svolte.

Durante la fase di raccolta dati sono stati effettuati diversi prelievi di materiale solido per determinare i fusi granulometrici di diverse aree (si veda Figura 4.10).



Figura 4.10: Siti di campionamento granulometrico. L'area Blu è stata rilevata il 28/02/2019, l'area viola il 18/03/2019, l'area arancione il 28/03/2019.

La modalità di campionamento della granulometria fa riferimento al metodo “Wolman Pebble count”. Tale metodo prevede di misurare i tre diametri principali di un elemento lapideo (massimo, minimo ed intermedio) prelevato manualmente dal suolo ed in maniera casuale, attraverso percorsi a zig-zag. I campioni vengono poi suddivisi, in riferimento al diametro massimo, secondo le classi granulometriche: <2, 2-4, 4-8, 8-16, 16-32, 32-64, 64-128, 128-256, 256-512, 512-1024 e >1024 mm. I campioni con presenza di materiale sabbioso (<2 mm) sono stati analizzati tramite setacciatura nel laboratorio di Idraulica del DIATI. Nelle Figure 4.11-4.13 vengono riportate le curve granulometriche ottenute

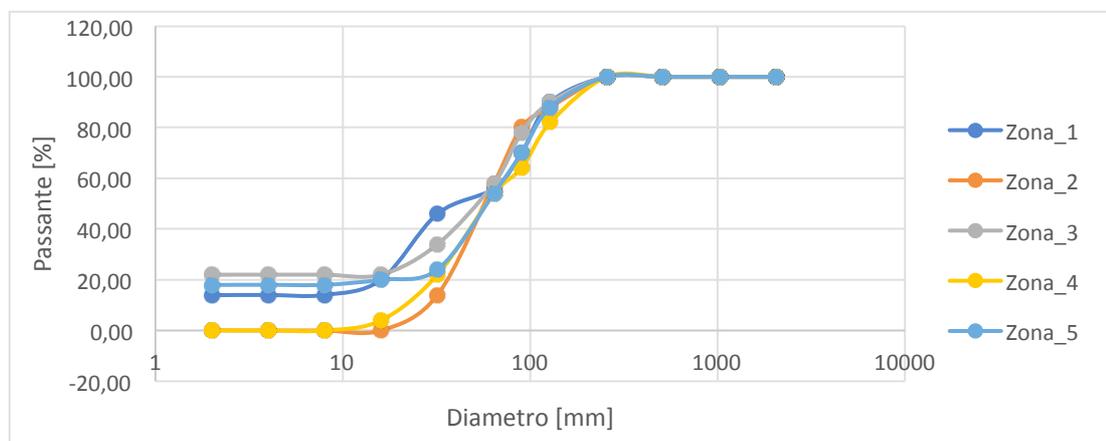


Figura 4.11: Campionamento del 28/02/2019.

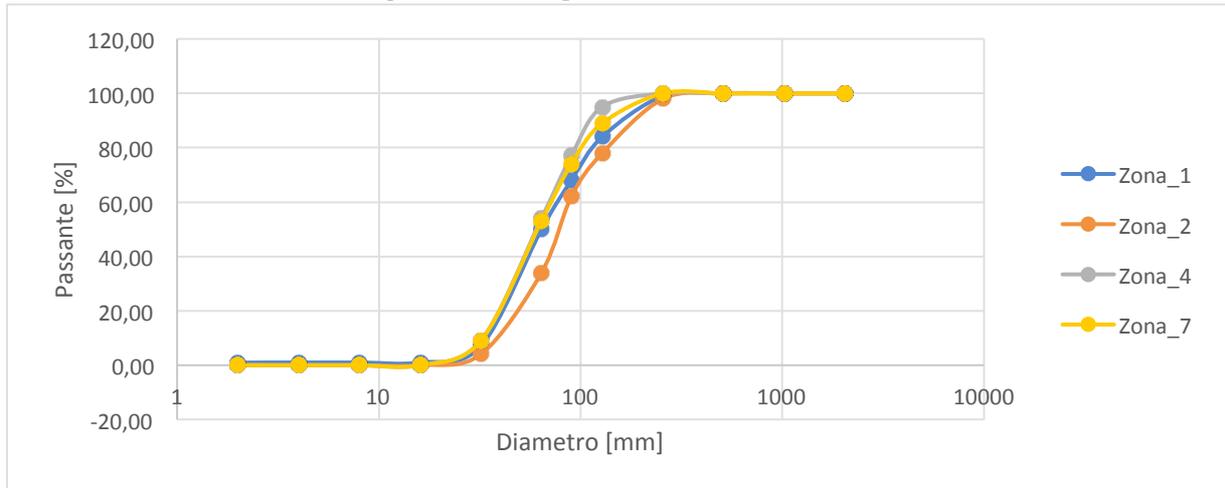


Figura 4.12: Campionamento del 18/03/2019.

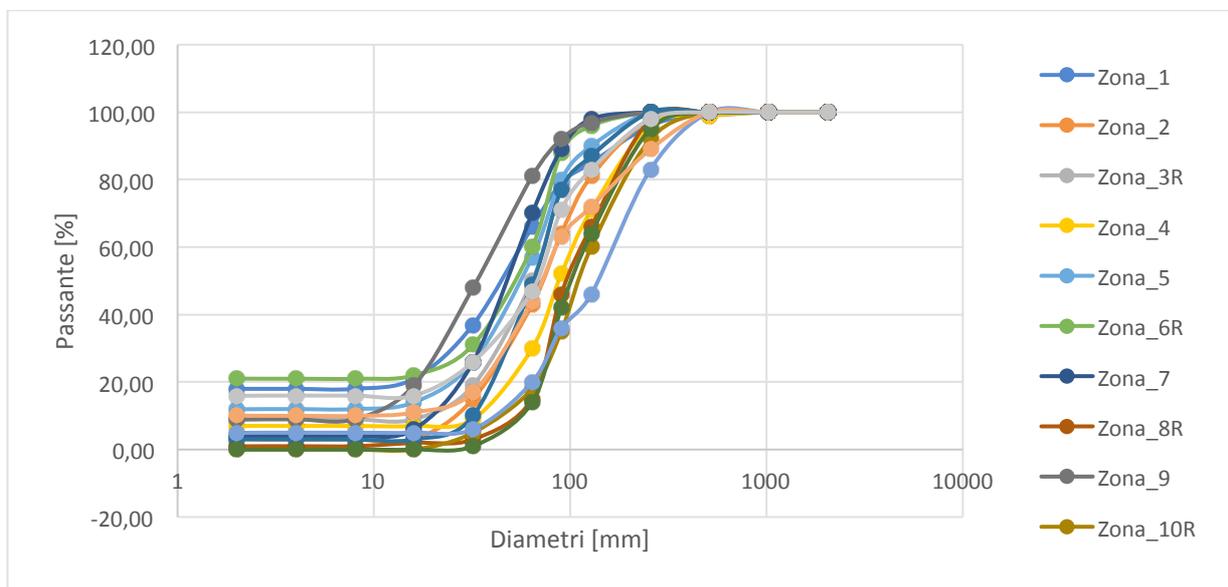


Figura 4.13: Campionamento del 28/03/2019.

Dai campionamenti effettuati sono stati estratti i valori dei diametri corrispondenti al 50° e 90° quantile della curva di distribuzione granulometrica, ovvero le grandezze maggiormente utilizzate nella parametrizzazione delle formule empiriche di trasporto solido.



Figura 4.14: Siti di campionamento in Chivasso (Sito 1)



Figura 4.15: Siti di campionamento in San Benigno (Sito 2)

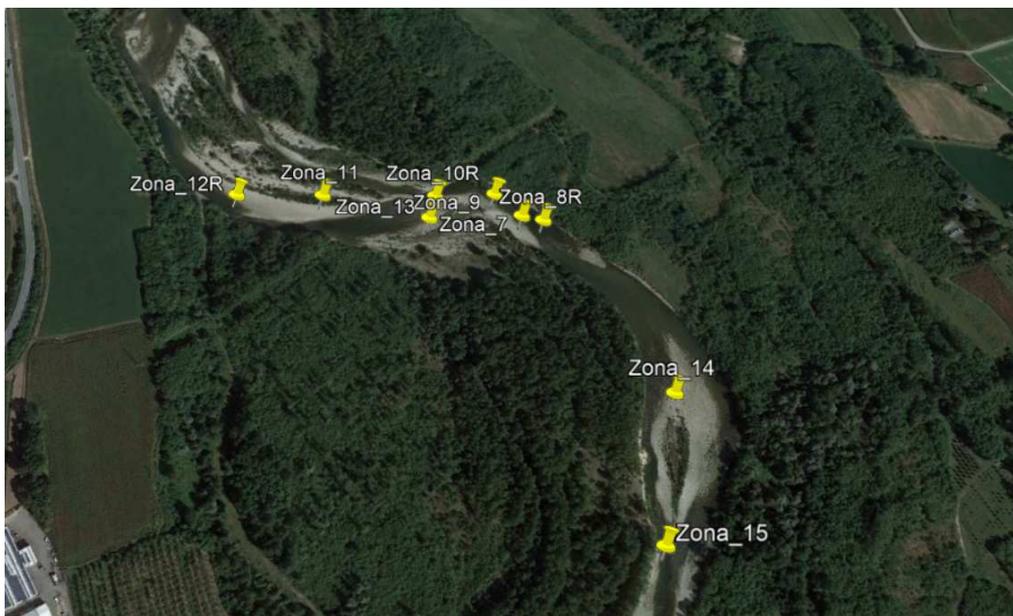


Figura 4.16: Siti di campionamento in Rivarolo (Sito 3)

Tabella 4.4: Diametri caratteristici delle zone campionate (si vedano le Figure 4.14 – 4.16)

Sito	Zona	Tipo	d50 [mm]	d90 [mm]
1	1	Barra	44,80	128,00
	2	Alveo	58,18	149,33
	3	Barra	53,33	128,00
	4	Alveo	60,00	184,89
	5	Barra	59,73	149,73
2	1	Barra	64,00	179,20
	2	Alveo	78,86	204,80
	4	Barra	61,16	117,44
	7	Alveo	61,82	139,64
3	1	Barra	46,34	186,18
	2	Barra	72,67	195,76
	3R	Alveo	64,00	157,54
	4	Barra	87,64	225,28
	5	Barra	56,77	128,00
	6R	Alveo	52,97	99,50
	7	Barra	49,45	94,22
	8R	Alveo	97,60	224,00
	9	Barra	33,94	85,27
	10R	Alveo	112,80	248,00
	11	Barra	64,93	157,54
	12R	Alveo	103,82	235,35
	13	Barra	141,84	361,41
	14	Barra	72,21	279,27
	15	Barra	67,25	187,73

4.4. ASPETTI NUMERICI

I modelli idrodinamici 2D permettono di simulare l'andamento del flusso nelle due direzioni, tramite la discretizzazione dell'area di studio in elementi di dimensione finita e l'utilizzo, per la rappresentazione della morfologia dell'alveo e delle aree golenali, di un modello digitale del terreno fisso nel tempo. L'obiettivo è determinare per ogni punto del dominio i valori di livello idrico, velocità e direzione del flusso. Nonostante il la tridimensionalità del moto, è possibile considerare la corrente bidimensionale ed utilizzare le grandezze mediate sulla verticale, nell'ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni e quindi di accelerazioni verticali trascurabili.

A differenza dei modelli idrodinamici, i modelli morfodinamici 2D utilizzano un modello digitale del terreno che può cambiare nel tempo a causa del trasporto del materiale solido presente nell'area di simulazione. La variazione del fondo ottenuta dalla simulazione, oltre alle variabili idrauliche ottenibili con il modello idrodinamico, permette di valutare la possibile variazione morfologica indotta da un determinato intervento o da un evento particolarmente intenso.

L'analisi bidimensionale del deflusso è stata condotta tramite due software che consentono l'elaborazione di modelli idraulici bidimensionali: i) HECRAS 2D (US Army Corps of Engineers); ii) Delft3D FM (Deltares).

Equazioni idrodinamiche

Il moto vario di una corrente a pelo libero in due dimensioni è governato dalle cosiddette equazioni delle Acque Basse (Shallow Water Equations, SWE). Le Shallow Water Equations governano una grande varietà di fenomeni fisici naturali, tra i quali i flussi d'acqua a superficie libera soggetti all'azione della forza di gravità, come le onde di marea degli oceani, le onde prodotte dalla rottura di uno sbarramento e le onde di piena dei corsi d'acqua naturali. Una descrizione dettagliata di tali equazioni è stata riportata già nella relazione di Fattibilità Tecnico Economica. Ci preme qui ricordare esclusivamente le ipotesi di lavoro su cui si basano le SWE:

- Fluido incomprimibile.
- Distribuzione idrostatica delle pressioni sulle sezioni trasversali.
- Fondo alveo non troppo acclive

Equazioni Morfodinamiche

Come già anticipato il modello morfodinamico utilizza sia le equazioni idrodinamiche per acque basse, sia equazioni che permettano di valutare quanto materiale solido viene movimentato e quindi, tramite un bilancio locale di sedimenti, quale è la variazione della quota di fondo.

Si richiamano brevemente gli approcci modellistici adottati, nel modulo morfodinamico, dai due modelli qui utilizzati

Hec-Ras

- Equazione di trasporto solido totale, dato come trasporto solido di fondo ed in sospensione:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{hC_{tk}}{\beta_{tk}} \right) + \nabla(hUC_{tk}) = \nabla \cdot (\varepsilon_{tk} h \nabla C_{tk}) + E_{tk}^{HF} - D_{tk}^{HF} + S_{tk} \quad (6)$$

dove C_{tk} è la concentrazione della classe granulometria, β_{tk} fattore di correzione della classe granulometrica, U velocità, h tirante, ε_{tk} coefficiente di diffusione della classe granulometrica, E_{tk} erosione ed infine D_{tk} deposito.

- Per il calcolo del trasporto solido di fondo è stata utilizzata la formulazione di Meyer-Peter-Muller:

$$\frac{q_{bk}^*}{\sqrt{R_k g d_k^3}} = A_M \rho_{sk} (\theta'_b - \theta_{crk})^{E_M} \quad (7)$$

dove $\theta'_b = \frac{\tau'_b}{(\rho_{sk} - \rho_w) g d_k}$ = indice di mobilitazione, ρ_{sk} è la densità del solido, ρ_w è la densità dell'acqua, θ_{crk} è il parametro di Shields (pari a 0.047), A_M è un coefficiente empirico (per MPM è pari a 8) ed E_M è pari a 3/2.

- Equazione di evoluzione del fondo

$$\rho_{sk} (1 - \phi_b) \left(\frac{\partial z_b}{\partial t} \right)_k = D_{tk} - E_{tk} + \nabla(k_{bk} |q_{bk}| \nabla z_b) \quad (8)$$

dove z_b è l'elevazione del terreno, ρ_{sk} densità delle particelle solide, ϕ_b porosità del deposito, D_{tk} deposito, E_{tk} erosione, q_{bk} è la massa trasportata ed infine k_{bk} è il coefficiente empirico della pendenza del fondo per la classe generica granulometrica.

DELFT 3D FM

- L'equazione di trasporto solido totale è formata solo dal contributo di trasporto solido di fondo
- Anche in questo caso è stata utilizzata la formulazione di Meyer-Peter-Muller che per Delft 3D è formulata nel seguente modo

$$S = 8\alpha D_{50} \sqrt{\Delta g D_{50}} (\mu\theta - \varepsilon\theta_{cr})^{3/2} \quad (9)$$

dove D_{50} è il diametro medio, α è il coefficiente di calibrazione, Δ è la densità relativa $(\rho_s - \rho_w)/\rho_w$,

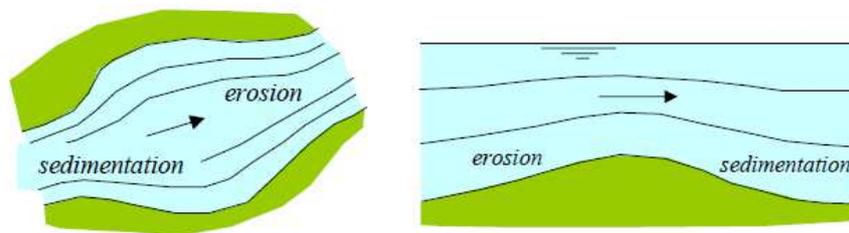
m è il fattore di correzione delle onde, θ_{cr} è il parametro di Shields (pari a 0.047) ed infine ε è il fattore di corazzamento.

- Equazioni di variazioni del fondo

Le equazioni adottate per le variazioni del fondo utilizzate da Delft 3D derivano dall'Equazione di Exner. Nella direzione del flusso viene utilizzata la seguente formula:

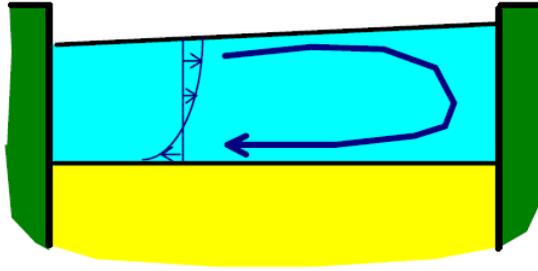
$$\frac{\partial z_b}{\partial t} + \frac{dq_s}{du} \frac{\partial u}{\partial x} = 0 \quad (10)$$

dove z_b è la quota del fondo, q_s è la portata solida nella direzione del flusso ed u è la velocità nella direzione principale.



Nella direzione trasversale al flusso e nei tratti curvilinei invece il bilancio di quantità di moto induce una sopraelevazione laterale, ricavabile attraverso

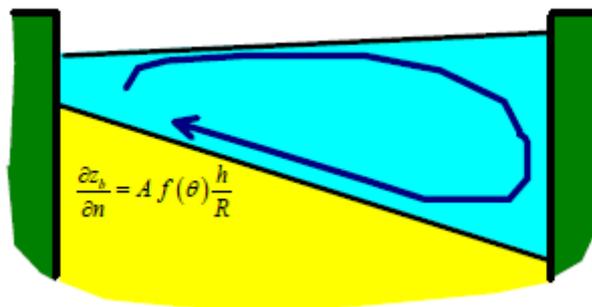
$$\frac{\partial z_w}{\partial n} = \frac{u^2}{gR_S} \quad (11)$$



che combinata con l'equazione di Exner porta a

$$\frac{\partial z_b}{\partial n} = A f(\theta) \frac{h}{R},$$

dove A è un fattore di inclinazione laterale, h è il battente idrico, R è il raggio di curvatura e $f(\theta)$ è la funzione di Shields.



L'effetto della curva di distribuzione granulometrica sul trasporto solido è considerato da Delft 3D attraverso l'uso di alcuni diametri caratteristici (d_{30} , d_{50} , d_{90}) mentre in Hec-ras attraverso l'inserimento di un'unica curva. Si è adottato in questo caso la media delle curve granulometriche misurate nel sito 1.

Si ricorda infine che il presente modello non è in grado di fare previsioni sul tasso di migrazione laterale delle sponde per collasso spondale o erosione diretta, in quanto non dispone di un modulo di erosione e collasso spondale.

Riferimenti bibliografici

NERC, 1975. Estimation of flood volumes over different duration. *Flood Stud. Rep. I*, 352–373.

Leopold, L. B., M. Wolman, and J. Miller, 1964. *Fluvial Processes in Geomorphology*. W. H. Freeman, San Francisco, CA

Tomirotti, M., Mignosa, P., 2017. A methodology to derive Synthetic Design Hydrographs for river flood management. *J. Hydrol.* 555, 736–743. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.10.036>

5. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI MORFODINAMICHE E INDICAZIONI PROGETTUALI

Una volta completata l'operazione di messa a punto del modello si è proseguito con le simulazioni morfodinamiche, in condizioni di moto vario per le diverse condizioni di piena. A tal fine, gli idrogrammi sintetici discretizzati su scala oraria (pannello destro di Figura 4.8), sono stati moltiplicati per le portate al colmo di piena relative ai tempi di ritorno pari a 2-5-20-100 e 200 anni. I valori di tali portate sono desunti dalla tabella 4.3. In aggiunta, per la zona d'intervento di Chivasso (1°LOTTO) si è considerata anche la portata superata mediamente per 15 giorni all'anno, corrispondente a $70 \text{ m}^3/\text{s}$. Si osserva che la discretizzazione su scala oraria comporta una leggera riduzione del picco di piena, rispetto ai valori considerati precedentemente nelle simulazioni in moto permanente.

Si riporta nel seguito un'analisi ragionata dei risultati fondamentali delle simulazioni. La completa documentazione del calcolo di tiranti, velocità e tassi di erosione è contenuta negli allegati tecnici. Dall'analisi critica dei risultati delle simulazioni sono scaturite dalle scelte progettuali. E' bene ricordare però, che come tutti gli approcci modellistici, è necessario verificare la bontà delle scelte fatte tramite verifica in campo. Per questo motivo riteniamo di fondamentale importanza, e parte integrante della presente progettazione, la messa a punto di un piano di monitoraggio che indirizzi eventuali correzioni o interventi di manutenzione. Si vedano in merito le considerazioni fatte nel Capitolo 7.

5.1 Interventi del 1° LOTTO (Chivasso)

5.1.1 Risultati delle simulazioni e scenari possibili

A seguito delle mutate condizioni dell'alveo, innescate dall'evento alluvionale del 3 Ottobre 2020, il lotto 1 ha richiesto un'analisi approfondita, mirata a verificare nuovamente l'efficacia idraulica dell'intervento stesso ai fini della sicurezza idraulica del territorio circostante. Sono stati presi in considerazione due scenari progettuali. Un primo (denominato nel seguito scenario A) prevede l'attivazione del ramo 2-A4₁ con la portata Q_2 , in conformità al criterio di attivazione stabilito nel Progetto di Fattibilità Tecnico Economica. In questo caso la quota di sfioro nel nuovo ramo corrisponde a circa a 188,50 m s.l.m. Il secondo (scenario B) fissa la portata di attivazione a un valore inferiore, pari a $70 \text{ m}^3/\text{s}$, e corrispondente al valore di portata superato in media per 15 giorni l'anno, riducendo così la quota di sfioro a 186,80 s.l.m.

La figura 5.1 riporta le caratteristiche idro-morfologiche (velocità, tiranti e variazione netta di fondo alveo) dello scenario A, durante un evento di piena con una portata di picco con tempo di ritorno di 200 anni ($Q_{\max}=Q_{200}$). Si precisa che in tutte le mappe riportate, i tiranti e le velocità fanno riferimento all'istante del picco di piena, mentre i valori di erosione e deposito sono stati calcolati come differenza complessiva della



quota di fondo tra prima e dopo l'evento di piena (i valori positivi si riferiscono ad un deposito netto, mentre quelli negativi ad una erosione netta).

Confrontando la colonna sinistra con la colonna destra si osserva che, con la portata di progetto Q_{200} , non si osservano sostanziali differenze sulle tre variabili, tra prima e dopo l'intervento. In particolare, l'apertura del ramo secondario sembra non contribuire alla riduzione di velocità (o tiranti) nel tratto in sponda sinistra a valle dell'abitato di Pratoregio. Si ricorda inoltre, che dal confronto delle immagini tra prima e dopo l'evento della piena di Ottobre 2020, tale sponda ha subito un modesto arretramento, fino a 20 m. Risulta quindi necessario apportare azioni che possano ridurre la pressione erosiva della medesima sponda e lo scenario di interventi A non sembra essere risolutivo.

L'analisi successiva dimostra invece che lo scenario B, di cui la planimetria con le sezioni quotate è mostrata in figura 5.2, sembra essere maggiormente efficace già per una piena con portate di picco più modeste rispetto alla Q_{200} .

PRE - INTERVENTO

POST - INTERVENTO

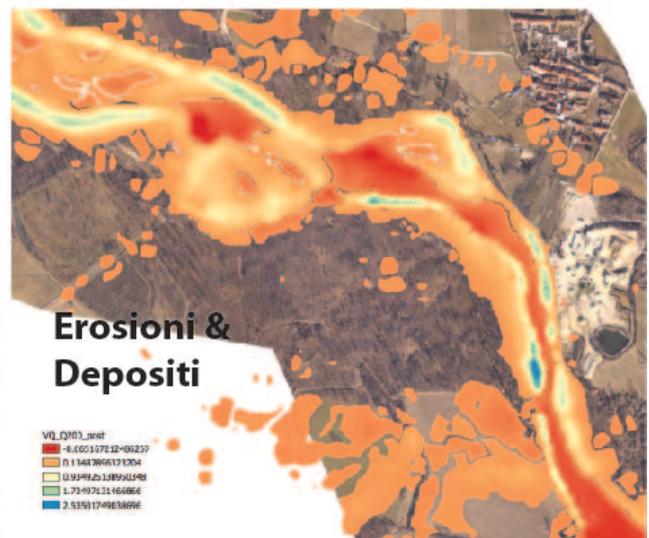
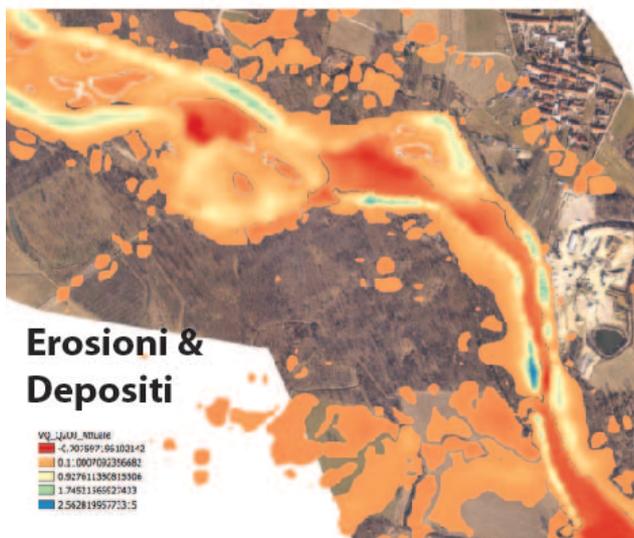
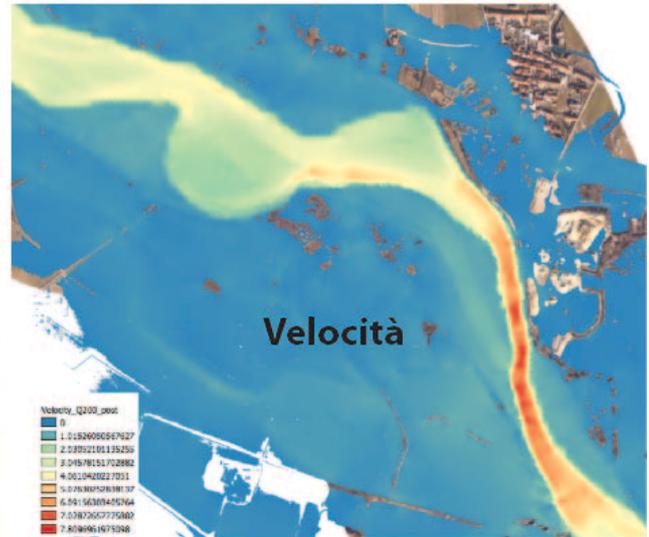
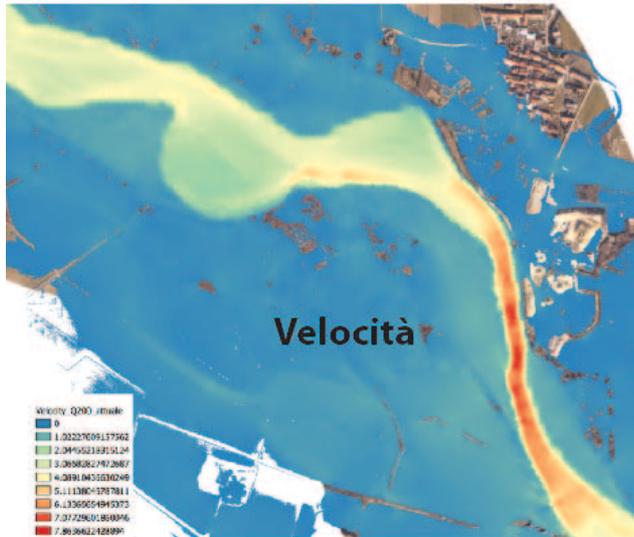


Figura 5.1: Mappe di velocità, tiranti e variazione netta di fondo alveo per il 1° Lotto – Scenario A ($Q_{max}=Q_{200}$).



Figura 5.2: Planimetria definitiva degli interventi del 1° Lotto. A: Pennelli in cassero. B: Scogliera in massi. C: Corazzamento della zona di sfioro. D: Realizzazione nuovo canale. E-F: Pista di manutenzione. G: Sistemazione finale e inverdimento.

La figura 5.3 mostra la mappa delle velocità con $Q_{\max}=Q_{20}$, confrontando lo stato attuale (sinistra) con lo scenario B (destra). Si può osservare che la sponda sinistra, nello stato attuale, è soggetta a velocità rilevanti (fino a 6 m/s) a ridosso di tutto il tratto terminale del ramo principale della corrente, in prossimità del quale si trova un impianto di trattamento inerti che ha subito un parziale allagamento durante l'evento di Ottobre 2020.

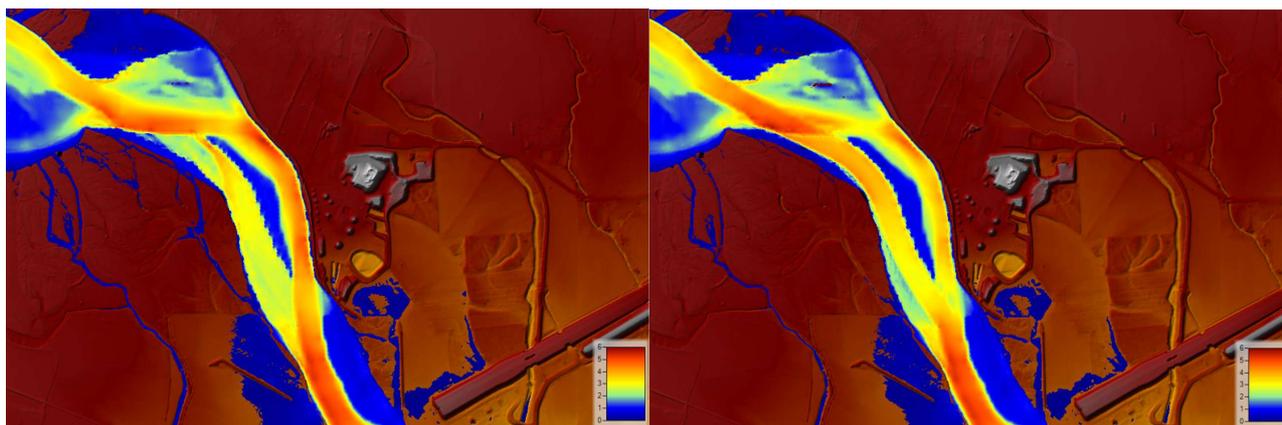


Figura 5.3: Particolare di confronto sulle velocità, riportate in m/s, per lo scenario B con $Q_{\max}=Q_{20}$. Caso pre-intervento (sx). Caso post-intervento (dx).

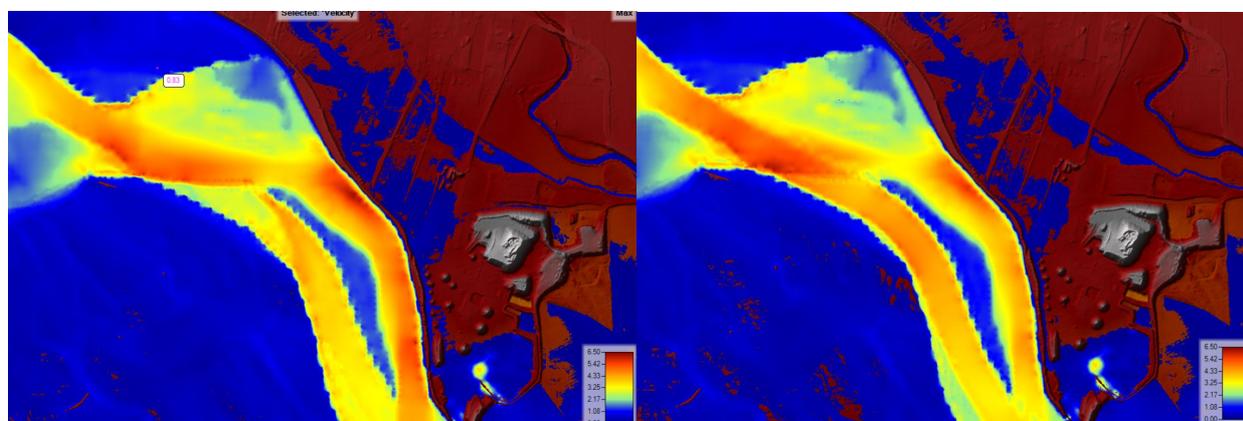


Figura 5.4: Particolare di confronto sulle velocità, riportate in m/s, per lo scenario B con $Q_{\max}=Q_{200}$. Caso pre-intervento (sx). Caso post-intervento (dx).

L'apertura del ramo secondario con quota media di sfioro pari a 186,80 m s.l.m. (scenario B) induce invece una riduzione di tali velocità tramite una redistribuzione dei flussi verso la sponda destra.

La realizzazione della scogliera in sponda destra (si veda la planimetria in Figura 5.2) ha i seguenti obiettivi:

1. Indurre un re-indirizzamento più adeguato della corrente verso le luci del ponte dell'autostrada 24;
2. Comportare l'arresto dell'erosione e della migrazione spondale in sponda dx, in particolare nel tratto compreso tra la sezione 6 e la sezione 9. Tale migrazione spondale potrebbe infatti comportare un aumento di sinuosità ed una intensificazione del processo di meandrazione con l'effetto di: i) direzionare nuovamente il filone principale in direzione ortogonale alla sponda sinistra, a ridosso del profilo arginale dell'abitato di Pratoregio; ii) incrementare i fenomeni erosivi in maniera generalizzata su tutto il tratto.

Considerazioni e conclusioni analoghe sono ugualmente valide se si osservano le mappe relative alla porta Q_{200} (Figura 5.4). Le velocità (e corrispondentemente le tensioni al fondo) sono anche in questo caso maggiormente ridistribuite tra i due rami. Ovviamente, si osserva che con portate maggiori (circa $850 \text{ m}^3/\text{s}$) la scogliera è sormontata e quindi completamente allagata.

In conclusione, lo scenario B è maggiormente efficace in termini di protezione idraulica ed è quindi da preferire. Di conseguenza, in questo scenario progettuale il ramo secondario verrà attivato nelle condizioni in cui in alveo transiterà una portata di picco inferiore a quella con tempo di ritorno inferiore a 1 anno. E' quindi consigliabile evitare che si sviluppi nel tempo della vegetazione matura. A questo scopo, tale intervento dovrà essere inserito nel piano di monitoraggio e manutenzione, al fine di garantirne l'efficienza idraulica. Per i medesimi motivi, le simulazioni idrodinamiche di Figura 5.4 sono state svolte considerando una scabrezza di fondo pari a quella dell'alveo principale (coefficiente di Manning, $n=0.03 \text{ m s}^{-1/3}$).

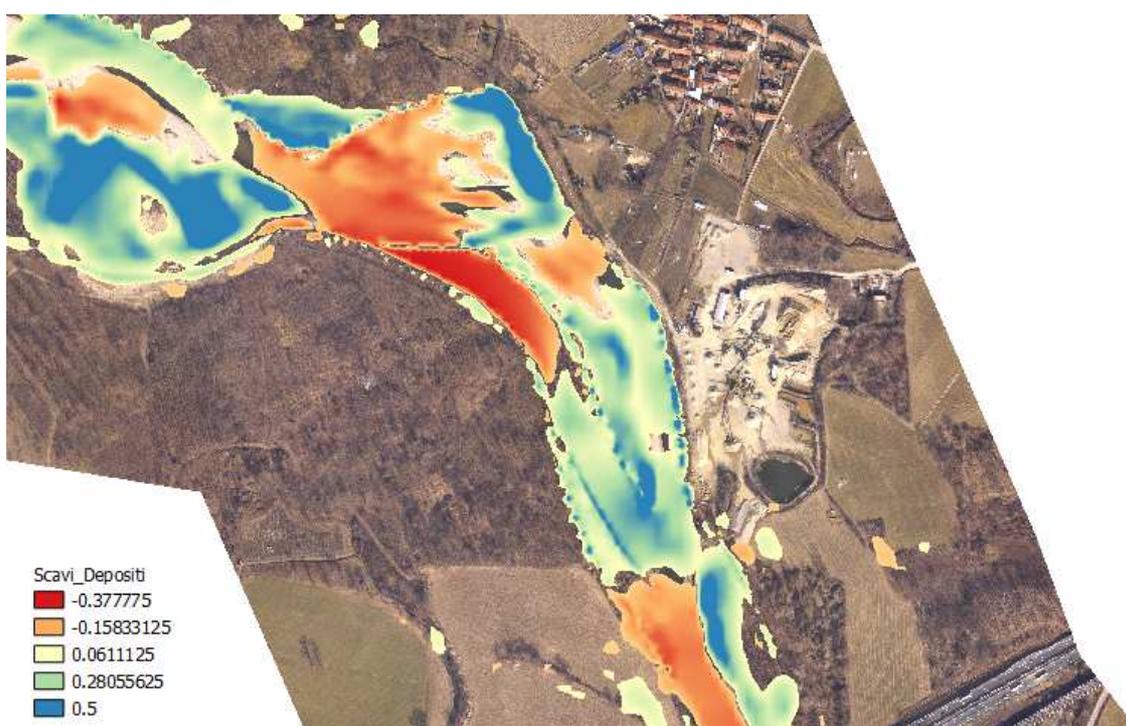


Figura 5.5: Erosioni e depositi nel 1° lotto con $Q_{\max}=Q_{200}$ (scenario progettuale definitivo)

La Figura 5.5 riporta i cambiamenti morfologici derivanti il passaggio di una piena con tempo di ritorno di 200 anni, nella configurazione post-intervento, per il caso dello scenario B. Si può osservare che lo scavo massimo previsto non supera i 40 cm ed è essenzialmente contenuto nel tratto iniziale del nuovo ramo per circa metà della sua lunghezza complessiva a valle della soglia di sfioro. Il tratto terminale invece dovrebbe

subire un deposito, mediamente intorno ai 30 cm. In altri termini, la simulazione prevede che nel nuovo ramo si instauri una nuova pendenza di equilibrio, leggermente inferiore a quella attuale, attraverso il trasporto di materiale che dalla parte di monte viene recapito nella parte di valle. Questo risultato numerico non tiene conto del corazzamento di materiale grossolano ($D_{50}=30$ cm) che è stato previsto subito a valle della soglia di sfioro poiché, nella simulazione, per questioni di stabilità numerica e al fine di porsi nelle condizioni più gravose, si è assunta una granulometria uniformemente distribuita (salvo assumere non erodibile la linea di sfioro in massi ciclopici). E' quindi probabile che l'erosione prevista dalla simulazione per la semi-lunghezza di monte nel nuovo ramo sia sovrastimata.

Un altro aspetto evidente nella figura 5.5 è la riduzione delle erosioni del fondo in prossimità della sponda sinistra, se confrontate con quanto previsto dalle simulazioni per lo stato attuale (si veda in merito l'immagine in basso a sinistra della Figura 5.1). Si vede infatti che nello stato di fatto, il canale principale sarebbe oggetto di una erosione generalizzata per tutto il tratto adiacente alla sponda sinistra. Questo aspetto è verosimilmente ridimensionato dalla ridistribuzione dei flussi nel caso di apertura del ramo 2-A4₁.

Infine, osserviamo che le erosioni visualizzate a monte del ponte autostradale non sono modificate dall'intervento in oggetto. Ci teniamo però a precisare che uno studio dettagliato dell'entità delle erosioni in prossimità del ponte non sono oggetto della presente relazione e si sconsiglia di considerare i valori riportati negli elaborati grafici delle simulazioni in prossimità del ponte per scopi progettuali o di verifica idraulica del ponte stesso. Uno studio di questo tipo richiederebbe un approccio più locale di quanto messo a punto con il presente modello, ad una scala di dettaglio dell'erosione localizzata sotto il ponte, indotta dal restringimento e dall'interazione con le pile.

5.1.2 Aspetti progettuali del 1° lotto

Gli interventi del 1° lotto sono divisi in due gruppi:

1. 2-A4₁: Una difesa spondale realizzata tramite scogliera in massi ciclopici posizionata in sponda destra tra la sezione 1 e la sezione 13;
2. 2-A4₂: Lo scavo di un ramo secondario tra le sezioni 9 e 16 con sfioro per tracimazione da una soglia, laterale al canale principale, e ubicata tra le sezioni 9 e 10;
3. Una schiera di 6 pennelli in cassero a tergo della scogliera, tra la sezione 1 e la sezione 13

La vista delle sezioni tracciate in figura 5.3 è riportata negli allegati tecnici in scala 1:100. Tutte le sezioni oggetto d'intervento dovranno presentare una scabrezza pari a quella media del canale, quindi il movimento terra nelle operazioni di scavo o di ricalibratura dovrà assicurare un diametro medio d_{50} pari al valor medio rilevato in alveo per tutti i tratti analizzati. Analizzando la media dei valori riportati in Tabella 4.4, risulta che

tale valore è pari a circa 7 cm. Le sezioni dei rami risagomati avranno forma trapezia con una scarpa delle sponde laterali 2:1, salvo nelle sponde oggetto di intervento di difesa spondale.

La scogliera dell'intervento 2-A4₁ sarà realizzata con massi ciclopici, con diametro nominale pari a $d_{50}=1$ m, corrispondente a un volume specifico pari a $V=0.8 \times (d_{50})^3=0.8 \text{ m}^3$. La scarpa laterale sarà 1:1. Con tali caratteristiche l'opera supera la verifica alla mobilitazione idrodinamica (si vedano in merito i calcoli riportati nel capitolo successivo).

Come risulta dalla Figura 5.3, l'intervento 2-A4₁ prevede una ricalibratura dell'alveo tra le sezioni 6 e 9, tramite rimozione del materiale all'interno dell'area campita in giallo e depositato attualmente su una barra puntuale in sponda sinistra. Lo scopo di tale rimozione è ridurre l'angolo d'incidenza tra corrente e sponda destra poiché nelle condizioni attuali il filone punta pericolosamente contro la sponda della sezione 7, con rischio eccessivo di erosione e scalzamento (si veda il particolare riportato in Figura 5.5)

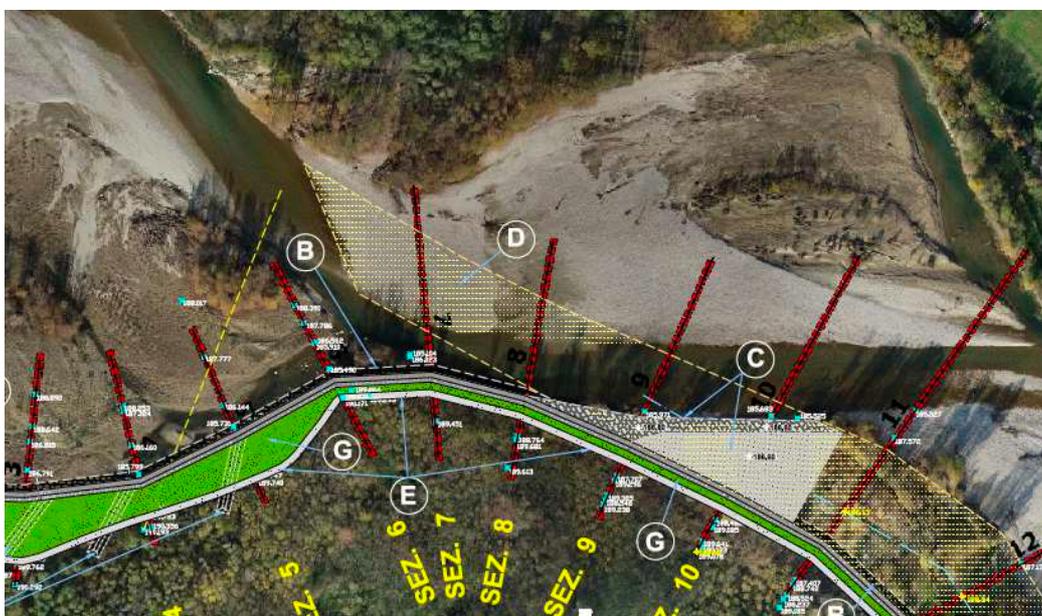


Figura 5.5: Particolare della figura 5.2

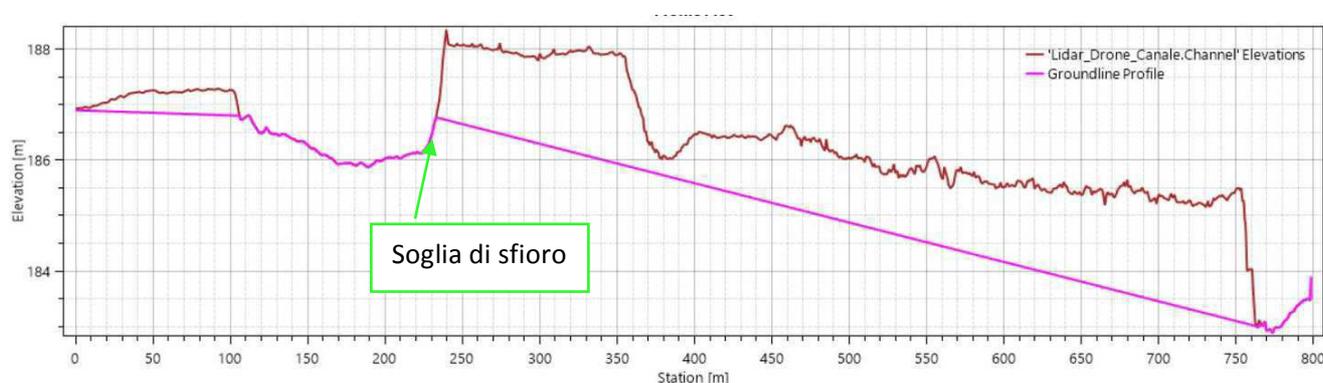


Figura 5.6: Profilo longitudinale dell'asse del ramo 2-A4₁. Pre-operam (marrone). Ante-operam (viola)

Analisi del nuovo ramo

La figura 5.6 riporta il profilo longitudinale della linea di mezzeria del ramo 2-A4₁. La soglia di sfioro, fissata alla quota dello scenario progettuale B, consente la tracimazione della corrente per portate totali in alveo superiori a 70 m³/s. Al fine di assicurare una stabilità nel tempo della soglia di sfioro e del canale che da essa diparte, si prevede di rivestire il fondo tramite un corazzamento artificiale del ramo secondario per il tratto di imbocco compreso nella regione triangolare limitata dalla soglia di sfioro e la scogliera (tratto del nuovo ramo compreso tra la sezione 8 e la sezione 11, campita in Figura 5.5).

Il rivestimento dovrà essere eseguito tramite posa alla rinfusa di ciottoli ad alta pezzatura e recuperati in loco. Lo scopo del rivestimento è evitare che si inneschino fenomeni erosivi nel tratto iniziale del ramo a seguito della rimozione di vegetazione, che sarà inevitabilmente realizzata al fine di consentire l'efficienza idraulica del canale stesso. Un tale rivestimento evita infatti che, fino alla portata di progetto Q₂₀₀, non si abbiano in loco fenomeni di erosione localizzata, subito a valle della soglia e/o l'arretramento della soglia stessa.

Al fine di procedere alla valutazione della dimensione nominale del corazzamento, si riportano in Figura 5.7 le caratteristiche idrodinamiche, previste dalle simulazioni, nella sezione coinvolta da velocità e tiranti maggiori (sezione 9) e nella condizione più critica considerata, ovvero Q_{max}=Q₂₀₀. La figura mette in risalto che in prossimità della soglia di sfioro (che intercetta la sezione 9 per una lunghezza di circa 20 m), la velocità è circa pari a 4.6 m/s, con un tirante medio di 2.8 m. Le altre sezioni presentano delle condizioni meno critiche, quindi per il calcolo si farà riferimento a tali valori.

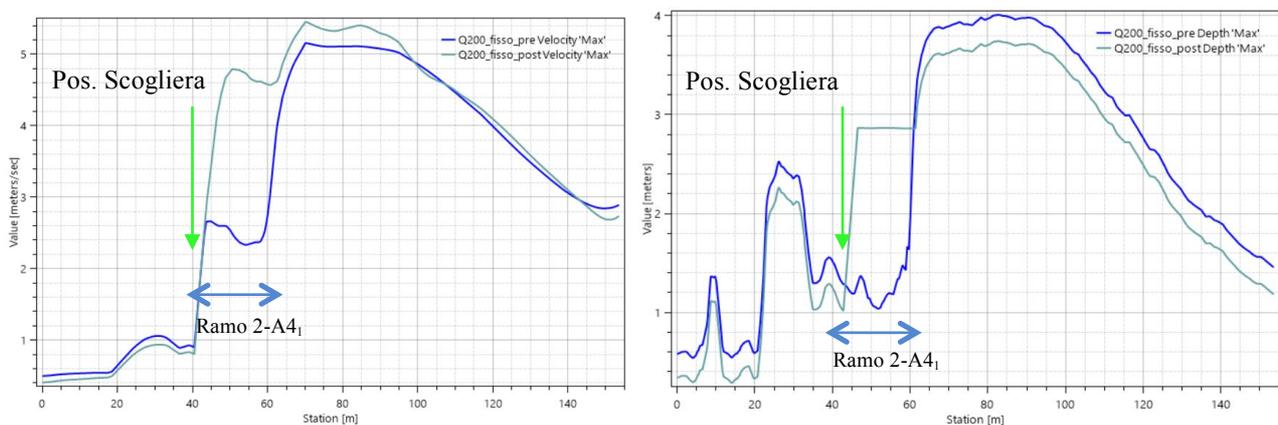


Figura 5.7: Valori del modulo della velocità (sx) e dei tiranti (dx) nella sezione 9. Pre-operam (blu). Ante-operam (verde).

Il prodotto tra la velocità (mediata sulla verticale) e tirante fornisce il valore di portata unitaria [m²/s] dal quale è possibile valutare il rivestimento nell'ipotesi cautelativa di trattare la soglia di sfioro come se fosse ortogonale alla corrente. Con queste premesse è possibile rifarsi agli schemi di calcolo classico per il rivestimento di canali con strati di elementi lapidei, tramite un'equazione basata su analisi dimensionale e valutazioni empiriche, che fornisce la condizione di stabilità dei massi che costituiscono il rivestimento

(*Rock Stability equation*, RSE). Facendo riferimento alle misure condotte da Abt & Johnson (1991) e Rice et. al (1998a) si perviene ad un valore nominale medio dei massi pari a:

$$D_{50} = 0.95 L i \left(\frac{q}{L^{3/2} g^{1/2} \frac{\rho_s - \rho}{\rho}} \right)^{1/2} = 0.37 m \quad (1)$$

dove:

- L è la larghezza del canale (pari in questo caso a 55m);
- i è la pendenza longitudinale del canale (pari a 0.0034, come desunto da Fig. 5.6);
- q è la portata unitaria, pari a 11.2 m²/s nella sezione 9
- ρ_s e ρ sono rispettivamente il peso specifico del sedimento (2650 kg/m³), e dell'acqua (1000 kg/m³);
- g è l'accelerazione di gravità.

Le indicazioni per tali ricoprimenti prevedono un grado di eterogeneità valutato dal rapporto D_{84}/D_{16} , compreso tra 1.79 e 2.72. L'equazione (1) è teoricamente valida per rivestimenti in massi con spigoli vivi e utilizzando uno spessore della copertura pari a $2 D_{50}$.

Una valutazione alternativa si poggia sul criterio di Shields, riadattato alle condizioni di moto locale (*normal flow*), che pone la condizione di incipiente mobilizzazione corrispondente ad un valore critico del parametro di Shields:

$$\frac{\tau}{(\rho_s - \rho) g D_{50}} = \theta_c, \quad (2)$$

dove τ è la tensione tangenziale al fondo, mentre θ_c è il valore critico del parametro di Shields. In merito alla tensione τ , le simulazioni idrodinamiche riportano nella sezione 9 un valore pari a circa 130 N/m² in prossimità della soglia di sfioro. Inoltre, per un fondo ghiaioso o ciottoloso Gary Parker suggerisce di adottare $\theta_c=0.03$. Tale indicazione emerge da una rivalutazione della formula di Brownlie (1981), da recenti misure, tramite un coefficiente correttivo pari a 0.5. Con tali valori, invertendo l'equazione (2) si giunge a **$D_{50}=0.26$ m**. Quest'ultimo risultato va tuttavia leggermente corretto considerando che nella simulazione idrodinamica il valore di scabrezza locale, definito dall'indice di Manning, è stata posta uniformemente pari a 0.03 s m^{-1/3}, corrispondente ad un diametro medio di fondo alveo pari a 0.07 m. Questa scelta è dettata dal fatto che, considerando le scale di risoluzione del modello numerico, introdurre eterogeneità spaziali troppo fini potrebbe generare instabilità numeriche o soluzioni spurie. Si ritiene quindi opportuno correggere il valore della tensione al fondo calcolata dalle simulazioni per tener conto degli effetti locali di una scabrezza maggiore.

Se si assume l'esiguità della zona considerata, è ragionevole pensare che la redistribuzione delle portate tra i due rami non è affetta dalla variazione di scabrezza al fondo, quindi la portata unitaria rimane invariata, seppur la velocità e il tirante possono localmente cambiare. Adottando la nota formula di Strickler per la scabrezza in alvei naturali, è possibile dimostrare che, a parità di portata unitaria e pendenza, la tensione al fondo è proporzionale a $D_{50}^{1/10}$. L'equazione (10) allora si modifica in

$$\frac{\tau \left(\frac{D_{50}}{0.07}\right)^{1/10}}{(\rho_s - \rho) g D_{50}} = \theta_c \quad (3)$$

Risolvendo la (3) si ottiene infine $D_{50}=0.31$ m.

Seppur il calcolo tramite la RSE prevede un valore leggermente superiore a quest'ultima stima, come abbiamo già osservato, esso è da intendere come estremamente cautelativo, poiché non considera la non ortogonalità della quota di sfioro rispetto alle linee di corrente, aspetto che tende a ridurre i processi erosivi. Va inoltre considerato, che il materiale da riporre tra la sezione 8 e la sezione 11 andrebbe preferibilmente recuperato in alveo, e dalle indagini di campo fatte sul fiume Orco, ciottoli di pezzatura superiore ai 30 cm sembrano estremamente rari. Per questo motivo una stima del diametro nominale per il ricoprimento pari a circa 30 cm pare essere un giusto compromesso.

Aggiungiamo infine che la soglia di sfioro necessiterà di un corazzamento con massi di maggiori dimensioni, al fine di assicurare una resistenza all'erosione diretta indotta dall'interazione tra la corrente nel canale principale e quella in sormonto nel ramo secondario. Le condizioni idrodinamiche locali nella sezione di sfioro sono fortemente tridimensionali, quindi una trattazione analitica delle condizioni di mobilitazione dei massi è proibitiva. In forma cautelativa, si suggerisce di rinforzare la soglia di sfioro con massi non legati di pezzatura nominale pari a 1 m, per un'estensione massima nella direzione del moto pari a 8 metri dallo sfioro (zona campita in grigio in figura 5.2).

Analisi della zona esterna alla scogliera

Nelle batimetrie del pannello destro della figura 5.7 è evidente un modesto allagamento a tergo della scogliera, con battenti di circa 2 metri (progressiva laterale 22-35 m, riportata sulle ascisse). Questi battenti sono la manifestazione di un allagamento dovuto ad un ribassamento del piano campagna, probabilmente imputabile ai fenomeni erosivi avvenuti durante la piena di Ottobre 2020. Al fine di indurre ulteriori fenomeni erosivi che possano destabilizzare la scogliera o aggiramenti della stessa, si ritiene necessario colmare tale ribassamento con riporto di materiale d'alveo, eventualmente recuperato dalla zona all'interno del canale che è oggetto del ricoprimento menzionato sopra. In tal modo, sarà possibile disporre anche una pista per l'accesso e la manutenzione delle opere.

L'effetto di tale riporto su velocità e tiranti è dimostrato in figura 5.8 nella zona indicata dalla freccia rossa. Se si confronta infatti la Figura 5.8 con la 5.9, si riconosce che velocità e tiranti a tergo della scogliera si sono ridotti considerevolmente.

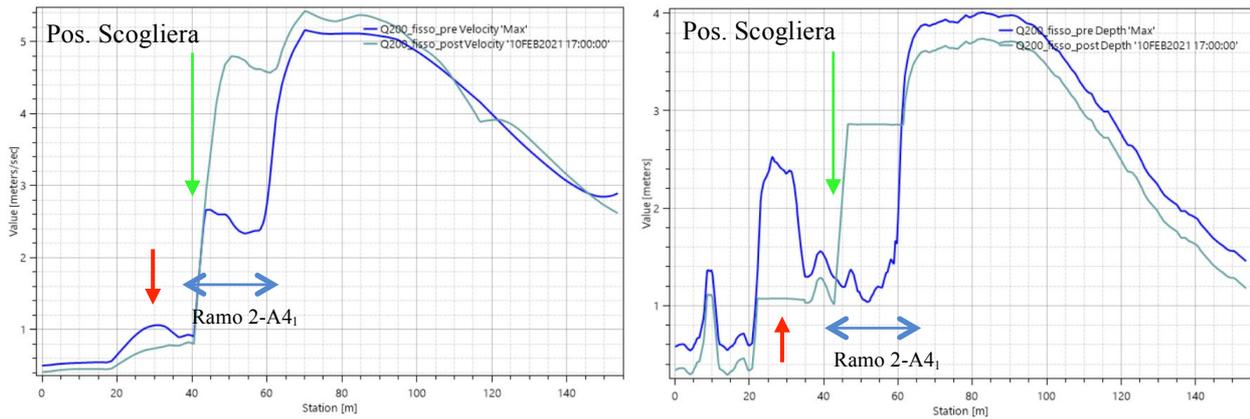


Figura 5.8: Medesimi dati riportati in figura 5.7, in presenza di riporto nella parte ribassata a tergo della scogliera, tra la progressiva 22 e 35 (indicata con freccia rossa). Il riporto è visibile in rosso nella Figura 5.9.

Una sintesi degli aspetti progettuali salienti discussi sopra è contenuta in un particolare della sezione 9 come riportato in Figura 5.9, dove in giallo e in rosso sono segnati rispettivamente scavi e riporti.

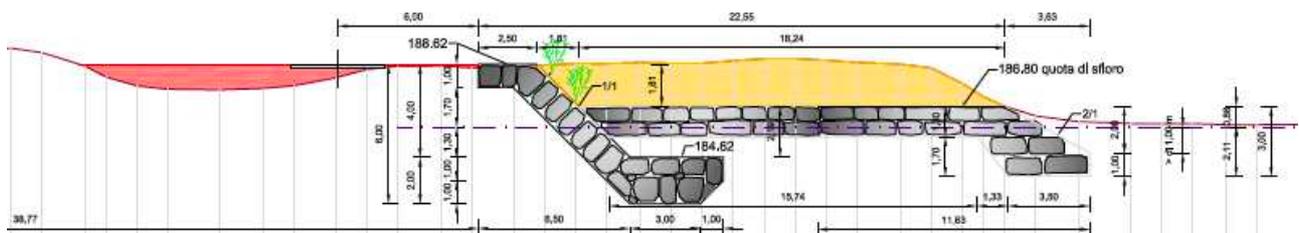


Figura 5.9: Particolare della sezione 9 in progetto (scavi in giallo, riporti in rosso)

Analisi dei pennelli in cassero

Per quanto riguarda i pennelli in cassero, posti a tergo della scogliera tra le sezioni 1 e 5, essi hanno lo scopo di:

1. Stabilizzare la scogliera che in quelle sezioni poggerà su un sedimento rimaneggiato dagli ultimi eventi di piena.
2. Evitare che la scogliera venga aggirata attraverso un'onda erosiva innescata da monte, che pericolosamente incanali la corrente in un'ansa esterna la quale più a valle possa poi ripiegare pericolosamente verso sinistra con effetti deleteri sulla scogliera stessa, sul ramo secondario e sulla sponda sinistra del canale attivo. Infatti, una fenomenologia simile si è già realizzata durante alcuni eventi di piena avvenuti in passato.

Per garantire tali funzionalità i pennelli in cassero dovranno soddisfare le seguenti condizioni:

- I. Resistere al trascinamento nelle condizioni di allagamento.
- II. Indurre buche di scavo localizzato inferiori alla profondità del basamento dei pennelli.
- III. Resistere ad una spinta idrodinamica diretta della corrente nell'eventualità di asportazione della scogliera e erosione completa o parziale del sedimento in cui si trovano i pennelli.

Si fa notare che tali pennelli, essendo completamente annegati nel sedimento, non interagiscono con la corrente direttamente, e quindi non devono soddisfare le indicazioni di dimensionamento e distanziamento adottate per i pennelli e i repellenti fluviali.

Per assicurare la condizione I, si possono ripetere i ragionamenti che hanno portato all'equazione (3). In questo caso si farà riferimento alla sezione 5, che riporta le condizioni di massima tensione al fondo con $Q_{max}=Q_{200}$. Il valore di τ previsto dalle simulazioni idrodinamiche, nel tratto intercettato dal pennello in cassero, è pari a circa 46 N/m^2 (si veda Figura 5.10). Con tale valore, il diametro del sedimento minimo soggetto a mobilitazione secondo l'approccio di Shields risulta essere $D_{50}=10 \text{ cm}$. E' evidente che la pezzatura del pietrame che costituirà l'opera sarà certamente superiore a questo valore.

La condizione II considera l'eventualità che il pennello in condizioni di esondazione, si comporti come una soglia annegata nel sedimento, inducendo così un'erosione localizzata subito a valle. In effetti, il calcolo svolto poc'anzi prevede che, poiché il sedimento medio dell'alveo è generalmente inferiore ai 10 cm, il materiale infrapposto tra i pennelli possa subire un'asportazione con la Q_{200} , innescando così la formazione di una buca di scavo (nell'ipotesi cautelativa di trascurare l'effetto stabilizzante della vegetazione che potrà svilupparsi).

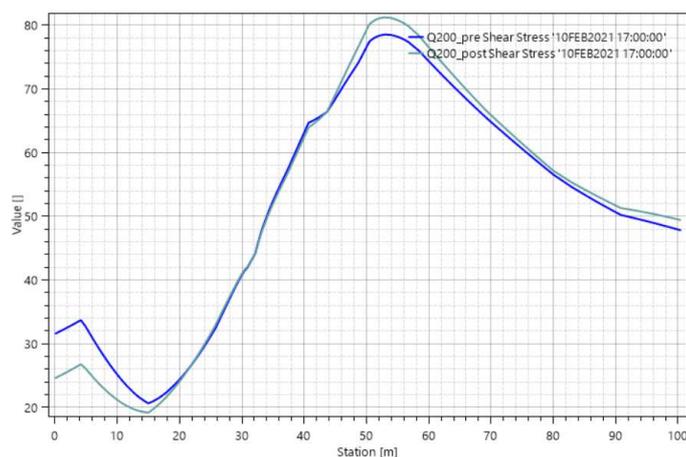


Figura 5.10: Andamento della tensione al fondo per la sezione 5 con $Q_{max}=Q_{200}$. Pre-operam (curva blu). Post-operam (curva verde). Il pennello in cassero si estende fino alla coordinata trasversale di 35 m. Il valore massimo di tensione in tale intervallo è 46 N/m^2 .

Utilizzando le esperienze disponibili in letteratura in merito agli scavi a valle delle soglie si è giunti alle seguenti formule e relativi risultati

Bovolin et al, 1999; Lenzi et al 2000:

$$s_{max} = 0.3298 a \left(\frac{2 L^{2/3} g^{1/3}}{3 q^{2/3}} \right)^{0.3247} \left(\frac{q}{a \sqrt{g d_m \Delta}} \right)^{0.3684} \left(\frac{L_s}{a} \right)^{0.2491} = 2,55 m \quad (4)$$

Gaudio & Marion, 2003:

$$s_{max} = \frac{2 q^{2/3}}{3 g^{1/3}} \left(0.18 \frac{a}{d_m \Delta} + 0.369 \right) = 1,26 m \quad (5)$$

Lenzi et al 2002:

$$s_{max} = \frac{2 q^{2/3}}{3 g^{1/3}} \left[0.436 + 1.453 \left(\frac{3 a g^{1/3}}{2 q^{2/3}} \right)^{0.863} + \left(\frac{a}{d_m \Delta} \right)^{1.491} \right] = 1,32 m \quad (6)$$

dove:

- s_{max} è la profondità massima di scavo
- a è l'abbassamento nel tratto compreso tra i due pennelli dovuto alla realizzazione di una pendenza di equilibrio con la Q_{200} , cautelativamente posto qui pari al valore di 0.4 m (si veda nota¹).
- L è larghezza del pennello (pari a la massimo a 40 m)
- L_s è la distanza media tra i pennelli (circa 50 m)
- q è la portata unitaria media sul pennello, valutata come il prodotto di velocità e tirante in prossimità del pennello stesso. Dalle simulazioni idrodinamiche risulta $q=2.4 \text{ m}^2/\text{s}$
- Δ è $(\rho_s - \rho)/\rho$, genericamente assunto pari a 1.65 per sedimenti fluviali
- d_m è il diametro medio dell'alveo fluviale (pari a 0.07 m)

Con i valori sopra riportati si ottiene una stima superiore di scavo pari a $s_{max}=2.55 \text{ m}$.

¹ Facendo come al solito riferimento alle previsioni fatte dalle simulazioni morfodinamiche (Figura 5.5), si osserva che all'interno della zona interessata non è prevista un'effettiva erosione bensì un debole deposito. Bisogna ricordare tuttavia che le simulazioni non tengono conto né dell'effetto localizzato indotto dai pennelli, né dall'eventualità eccezionale - che qui si vuole considerare - che il canale principale ritorni ad interessare direttamente tale ansa, comportando in questo caso certamente delle erosioni del fondo. Ponendoci cautelativamente in quest'ultima eventualità, possiamo stimare che un valore ragionevole della componente di erosione diretta possa essere pari al valore medio delle erosioni riportate in figura 5.5, e cioè pari a $a=0.4 \text{ m}$.

Infine, la condizione III prevede di considerare il pennello in cassero nella situazione più gravosa, ovvero nel caso in cui un'erosione progressiva innescata da monte abbia rimosso parte della scogliera ed il sedimento a tergo della scogliera, fino a comportare un'azione diretta della corrente sul pennello stesso. In questo caso, la condizione più critica è subita dal pennello più a monte (sezione 1), a seguito della sua orientazione rispetto alle linee di corrente. In questo caso la verifica alla mobilitazione del pietrame costituente il corpo del pennello è la medesima che si attua per le scogliere. Di conseguenza valgono le medesime verifiche idrauliche riportate nel capitolo 6 che, a favore di sicurezza, portano ad una scelta della pezzatura del pietrame pari a quella della scogliera.

In conclusione, si riporta una sintesi delle indicazioni progettuali riguardanti il 1° lotto

- 2-A4₁: Scogliera posizionata in sponda destra tra la sezione 1 e la sezione 13 con le seguenti caratteristiche costruttive:
 - massi di cava non legati a spigoli vivi di pietra non geliva
 - diametro caratteristico non inferiore a 1 m (volume minimo 0.8 m³ e peso non inferiore a 2000 Kg)
 - Altezza massima rispetto al fondo alveo di progetto: 3 m
 - inclinazione rispetto all'orizzontale del paramento esterno: 1:1 (45°);
 - spessore minimo corpo della scogliera: 1.4 m
 - quota sommitale della fondazione: almeno 2 m sotto il fondo alveo in progetto e 1 m sotto la linea di thalweg.
 - lunghezza totale di circa: 710 m
 - spessore alla sommità: 1 m

- Tra le sezioni 1 e 5, a tergo della scogliera sarà prevista l'ubicazione di 6 pennelli in cassero aventi le seguenti caratteristiche costruttive:
 - massi di cava non legati a spigoli vivi di pietra non geliva
 - diametro caratteristico non inferiore a 1 m (volume minimo 0.8 m³ e peso non inferiore a 2000 Kg)
 - quota sommitale della fondazione: minimo 3 m sotto il piano campagna attuale
 - spessore minimo corpo del pennello: 7 m (sezione tipo: 7 m di base maggiore, 2 m di base minore, 4 m di altezza)

Ulteriori indicazioni progettuali sono riportate nelle tavole allegate.



- 2-A4₂: Lo scavo di un ramo secondario tra le sezioni 9 e 16 avrà quota di sfioro pari a 186.80 m s.l.m., con tracimazione laterale dal canale principale in prossimità di una soglia ubicata tra le sezioni 9 e 10. La zona di sfioro sarà rinforzata tramite posa di massi ciclopici di 1 m, per un'estensione di circa 8 m dalla linea di sfioro. La superficie triangolare compresa tra la sezione 9 e 11 dovrà essere ricoperta con pietrame recuperato in alveo di pezzatura media pari a 30 cm. Il ramo secondario avrà una sezione trapezia con pendenza laterale delle sponde 2:1, salvo per il tratto interessato dalla scogliera. Il materiale di fondo sarà il medesimo dell'alveo naturale. L'intervento dovrà essere oggetto di monitoraggio e manutenzione ordinaria, che assicuri la pulizia dell'alveo da vegetazione pluriennale. Si faccia riferimento alle tavole allegate per ulteriori dettagli geometrici.
- La zona a tergo della scogliera verrà colmata con materiale recuperato in alveo fino ad una quota almeno pari al coronamento della scogliera (come sintetizzato in figura 5.9).

5.2 Interventi del 2° LOTTO (Rivarolo)

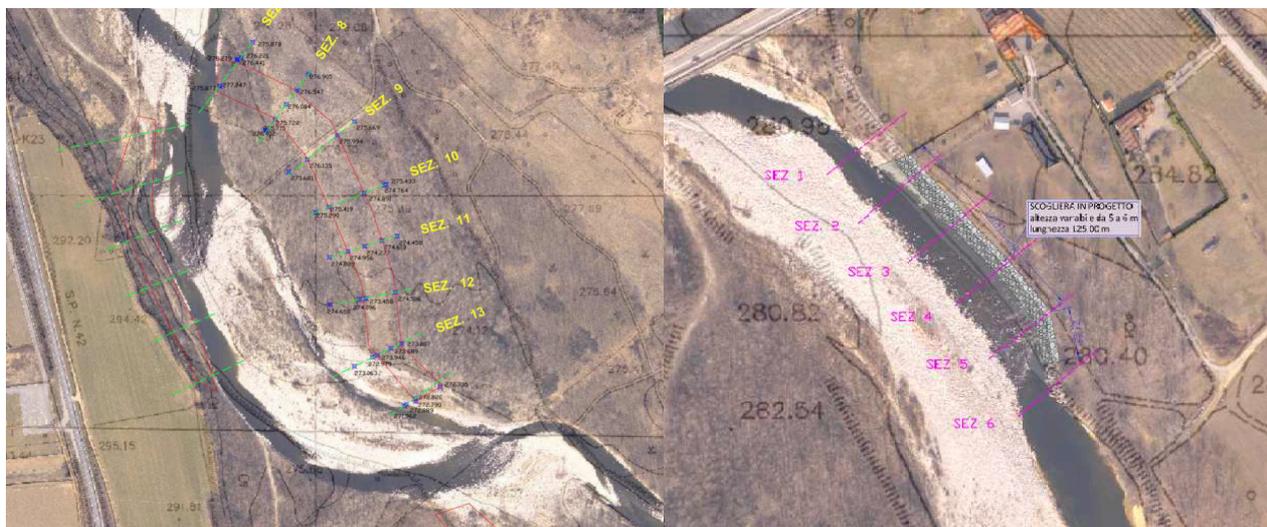


Figura 5.11: Interventi del 2° lotto. 1° stralcio (sinistra); 2° stralcio (destra).

Il 2° lotto (1° stralcio) prevede i seguenti interventi (Figura 5.11, sinistra):

- 7-A₁: ripascimento in sponda destra
- 7-A₂: apertura ramo secondario in sponda sinistra
- 7-A₃: apertura ramo secondario più a valle in sponda destra
- Ripristino difesa spondale ammalorata

In ottemperanza alle raccomandazioni di Regione Piemonte (si veda punto 9 del capitolo 8) è stato aggiunto un 2° stralcio al 2° lotto.

Il 2° lotto (2° stralcio) prevede il seguente intervento (Figura 5.11, destra):

- Ripristino protezione spondale realizzata tramite scogliera in massi ciclopici posizionata in sponda sinistra tra la sezione 1 e la sezione 5 a valle del ponte della statale Sp 222 di Castellamonte

5.2.1 Risultati delle simulazioni nel 2° lotto

La figura 5.12 riporta le mappe di tiranti, velocità e erosioni relative alle situazioni pre- e post-intervento per la portata di riferimento Q_2 , cioè la portata di attivazione dei canali previsti nel 2° lotto (1° stralcio). È evidente che gli interventi residuali di questo lotto rispetto a quanto previsto dal Primo Programma Operativo, non comportano modifiche significative nell'idro-morfologia dell'intero tratto. Considerazioni analoghe valgono anche per portate superiori, fino alla Q_{200} . Si fa notare che l'effetto dell'azione di ripascimento 7-A₁ da operarsi con materiale proveniente dallo scavo nell'imbocco del ramo 7-A₂, non è



numericamente simulabile dal presente modello morfodinamico, in quanto esso non è in grado di prevedere collassi spondali o erosione diretta delle sponde.

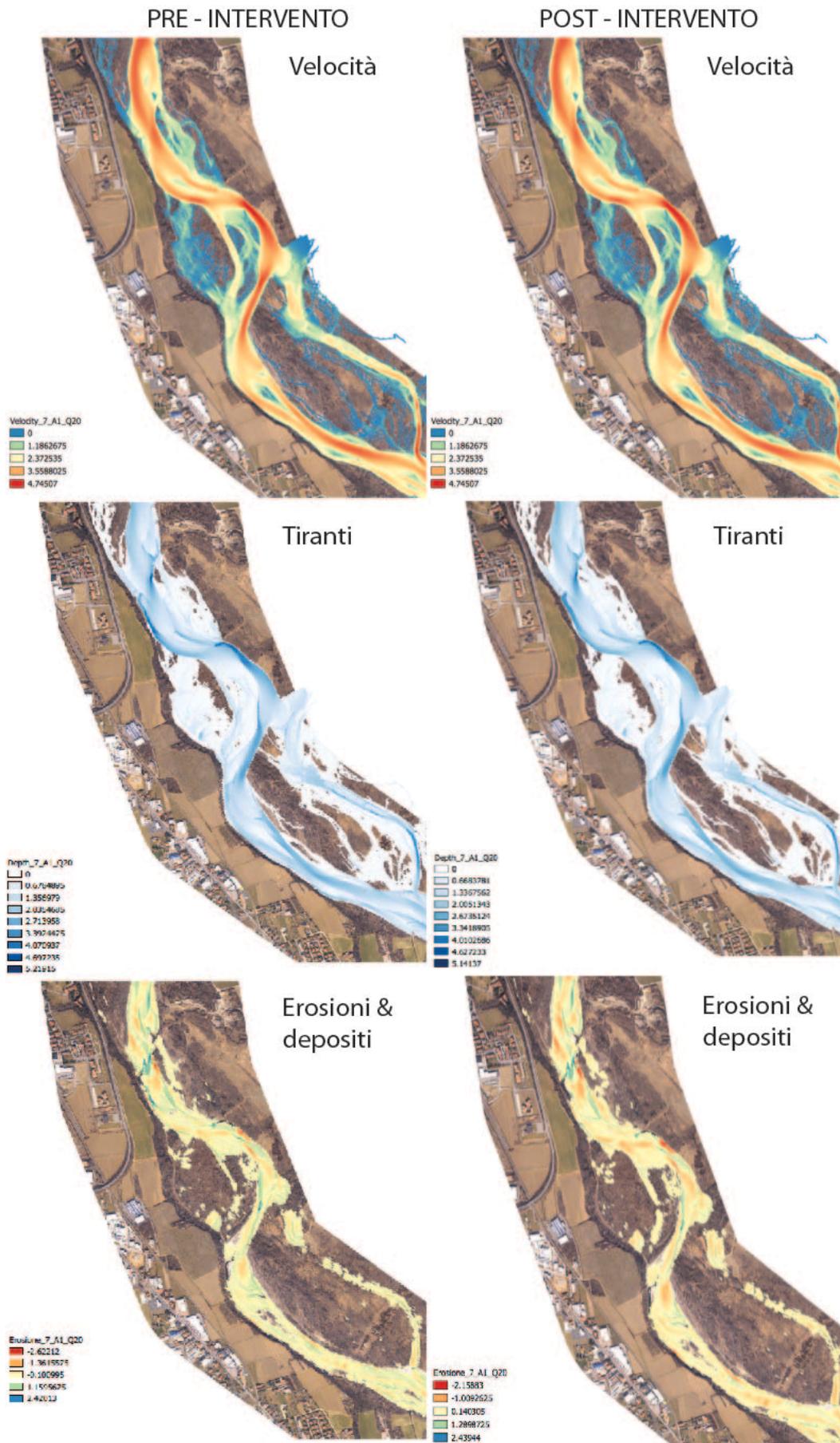


Figura 5.12: Mappe di velocità, tiranti e variazioni netta di fondo alveo per il 2° Lotto (Q20)

La mancanza di sostanziali modifiche tra lo scenario pre-intervento e post-intervento è da imputarsi alle quote delle soglie di sfioro dei nuovi rami corrispondenti ad una portata di attivazione pari alla Q_2 . In questo caso, diversamente da quanto valutato nel 1° lotto, per il 2° lotto si è deciso di non ridurre la portata di attivazione in quanto non sussistono nella zona delle condizioni di emergenza che richiedono un intervento maggiormente invasivo sul fiume. Bisogna ricordare tuttavia che i conti riportati in questa sede si riferiscono all'evoluzione di un singolo evento di piena. Non è da escludere che la successione di più eventi possa comportare invece modifiche sostanziali alla morfologia sul lungo periodo. Per tale motivo, riteniamo che la realizzazione del canale 7-A1₂ sia ancora giustificabile. Se da un lato tale canale ha un impatto minimo a breve termine - sia in termini idraulici che morfologici -, la sua apertura, combinata con un continuo monitoraggio, può operare da trigger per l'innescò del fiume verso una sua naturale pluri-corsualizzazione. Tale fenomeno è auspicato in questo tratto, in ragione del fatto che in sponda destra, in prossimità del ripascimento 7-A1₁ e oltre, il fiume ha la tendenza di erodere il terrazzo su cui si trova il centro abitato di Rivarolo. Il ripascimento ha proprio lo scopo di rallentare tale processo erosivo.

Infine, nel capitolo 3 sono state riportate le motivazioni che suggeriscono di **non** realizzare più l'intervento 7-A1₃, salvo per la zona di imbocco per un'estensione di circa 100 m dalla linea di sfioro dall'alveo principale.

5.2.2 Indicazioni progettuali per il 2° lotto - 1° stralcio

- 7-A1₁ : Ritombamento di un lungo tratto in erosione in sponda destra, in prossimità di una difesa spondale esistente che presenta un marcato scalzamento alle fondazioni con impiego dei materiali più grossolani movimentati dagli interventi seguenti
LUNGHEZZA: 280 m
SCARPA: 1/1
- 7-A1₂: Realizzazione di un nuovo canale in scavo con funzione di alleggerimento delle velocità e della capacità erosiva verso la sponda destra; il diversivo in progetto avrà la funzione di favorire la pluricorsualità dell'alveo, dando un ulteriore sbocco alle acque di piena verso la sinistra idrografica.
LUNGHEZZA: 438 m
PROFONDITA' MEDIA DI SCAVO: 0.60 m
LARGHEZZA MEDIA: 40 m
SCARPA: 3/2



- 7-A1₃: Ribassamento e risagomatura dell'attuale area di sfioro del ramo esistente
LUNGHEZZA: 100 m
PROFONDITA' MEDIA DI SCAVO: 0.60 m
LARGHEZZA MEDIA: 42 m
SCARPA: 3/2
- Ripristino di un tratto di difesa spondale esistente (intervento definito da Città Metropolitana su richiesta del Comune di Rivarolo Canavese): Realizzazione di un ripristino di tratti di fondazione e paramento erosivi, di una scogliera esistente in sponda destra, tramite massi di cavi aventi dimensioni superiori o uguali a 1,6 m
LUNGHEZZA: 36 m
ALTEZZA MEDIA: 3 m
SCARPA: 1/1

5.2.3 Indicazioni progettuali per il 2° lotto - 2° stralcio

- Il ripristino della protezione spondale già esistente sarà realizzata tramite una scogliera posizionata in sponda sinistra con le seguenti caratteristiche costruttive:
 - Massi di cava non legati a spigoli vivi di pietra non geliva
 - Diametro caratteristico non inferiore a 1.6 m (volume minimo 3.3 m³ e peso non inferiore a 8000 Kg)
 - Altezza massima rispetto al fondo alveo di progetto: 5,5 m
 - Inclinazione rispetto all'orizzontale del paramento esterno: 1:1 (45°);
 - Spessore minimo corpo della scogliera: 2 m
 - Quota sommitale della fondazione: almeno 2 m sotto il fondo alveo in progetto e 1 m sotto la linea di thalweg.
 - Lunghezza totale di circa 125 m
 - Spessore alla sommità: 1,5 m



Riferimenti bibliografici

Abt, Johnson (1991), Riprap design for overtopping flow, *Journal of Hydraulic Engineering, Proc. ASCE*, Vol. 117, 8, 959-972

Bovolín, Gaudio, Marion (1999), Erosione localizzata a valle di soglie di fondo, *L'acqua*, 5, 89-98.

Gaudio, Marion (2003), Time evolution of scouring downstream of bed sills in degrading rivers, *J. Hydraulic Research* 41(3), 271-284.

Lenzi, Marion, Comiti, Gaudio (2000), Riduzione dello scavo a valle di soglie di fondo, per effetto dell'interferenza tra le opere, "Atti del XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche", Genova, Vol3, 271-278.

Lenzi, Marion, Comiti, Gaudio (2002), Local scour in low and high gradient streams at bed sills, *J. Hydraulic Research* 40(6), 731-39.

Rice, Kadavy, Robinson, Cook (1998), Rock chute outlet stability. *Applied Engineering in Agriculture*. Vol. 14, 2, pp. 145-148.

6. VERIFICA IDRAULICA DELLE SCOGLIERE

Si presenta nel seguito la metodologia di calcolo per la verifica alla mobilitazione idrodinamica degli elementi lapidei costituenti le scogliere da realizzare ex-novo come difese spondali nel 1° lotto e nel 2° lotto (2° stralcio), rispettivamente nei comuni di Chivasso e Rivarolo (le vista in sezione delle scogliere sono riportate rispettivamente in Figure 6.1 e 6.2).

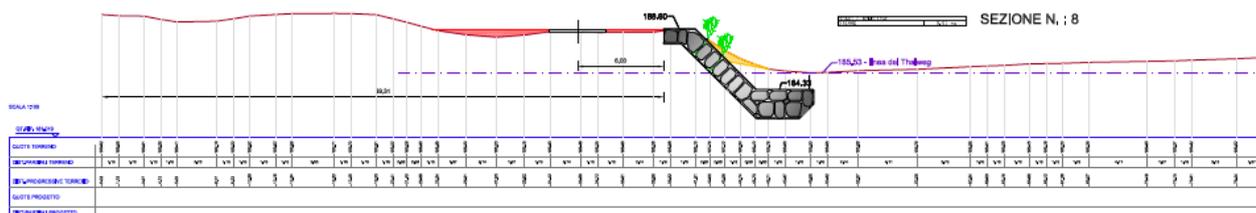


Figura 6.1: Prospetto scogliera del 1° Lotto (Chivasso)

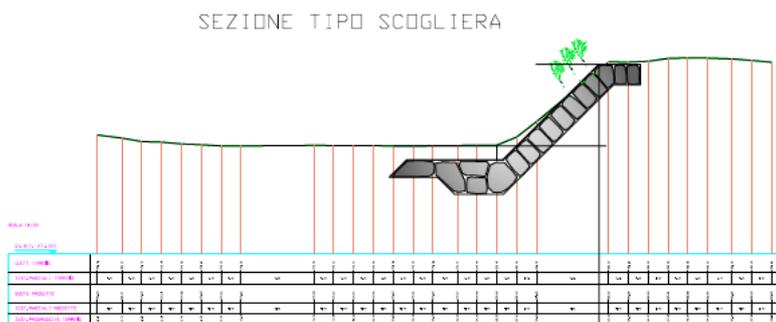


Figura 6.2: Prospetto scogliera del 2° Lotto - stralcio (Rivarolo)

Le diverse formulazioni in letteratura fanno generalmente riferimento alla valutazione delle condizioni idrodinamiche che determinano la mobilitazione del singolo elemento lapideo posto su un piano lateralmente inclinato rispetto all'orizzontale, tenendo conto delle forze di trascinamento, le forze resistenti e l'azione della gravità. L'azione di trascinamento può essere valutata in maniera diretta, riferendosi alla tensione tangenziale τ che agisce sulla parete inclinata, o in maniera indiretta, riferendosi alla velocità della corrente V della corrente in prossimità della parete.

Le formulazioni tradizionali per la valutazione delle condizioni critiche si basano su approcci semplificati e mono-dimensionali del campo di moto e quindi si riferiscono a valori medi sulla sezione trasversale di τ oppure V .

Nel nostro caso, disponendo di una soluzione 2D del campo di moto e delle tensioni al fondo, è più conveniente, oltre che accurato, utilizzare i valori calcolati nelle simulazioni idrodinamiche in prossimità della parete spondale, per le sezioni dove tali valori risultano massimi, così da apportare le condizioni più gravose. Come già fatto in precedenza, si farà riferimento alla simulazione con $Q_{\max}=Q_{200}$, nella sezione 9 per la scogliera di Chivasso e nella sezione 5 per quella di Rivarolo.

Si fa notare che la scogliera di Chivasso, non avendo una funzione di contenimento ma solo di protezione all'erosione, per tali valori di portata è già completamente sormontata dalla corrente. Adottando gli schemi di calcolo descritti nel seguito, e con un battente superiore all'altezza della sponda, si prevede che l'azione destabilizzante della gravità sulla tensione di mobilitazione venga quindi sovrastimata, comportando così una verifica a favore di sicurezza.

Il calcolo di verifica al trascinamento è stato effettuato con tre diversi approcci.

- 1) **Criterio di Shields.** Un approccio classico, già richiamato in precedenza, è definito dalla tensione critica di Shields. In questo caso, come annunciato, tale tensione deve essere corretta al fine di considerare l'azione destabilizzante della gravità sui massi posti sulla scarpata. La correzione è facilmente derivabile per via teorica e ben descritta dalla nota formula di Lane (1955). Inoltre, per bassa sommergenza, ovvero quando il rapporto tra tirante e dimensione dei massi è inferiore a 6, Armanini e Scotton (1995) suggeriscono di apportare un'ulteriore correzione. Combinando i due contributi si arriva alla seguente formula

$$\theta_c = \theta_{0c} \left(1 + 0.67 \sqrt{\frac{D}{H}} \right) \sqrt{1 - \left(\frac{\sin \beta}{\sin \varphi} \right)^2} \quad (1)$$

Dove

- θ_c è il parametro critico di Shields su un piano inclinato lateralmente;
- D è il diametro dei massi;
- H è il tirante d'acqua;
- θ_{0c} è il parametro critico di Shields per fondo orizzontale, valutabile ad esempio dalla formula di Brownlie (1981), opportunamente modificata con un pre-fattore pari a 0.5 (come suggerito da Parker, 2003). Per il materiale considerato, si ha $\theta_{0c}=0.03$;
- β è la pendenza della scarpata, pari per entrambe le scogliere a 45° ;
- φ è l'angolo di riposo in acqua dei massi, assunto pari a 55° .

In definitiva il criterio di Shields impone:

$$\frac{\tau}{(\rho_s - \rho) g D} = \theta_c \quad (2)$$

Dove il valore di picco per tensione la τ , valutata dalle simulazioni idrodinamiche, è pari a 200 N/m² per la scogliera di Chivasso e 157 N/m² per quella di Rivarolo.

Combinando le equazioni (1) e (2) e risolvendo si ottiene:

$$D = 0.62 \text{ m (Scogliera di Chivasso)}$$

$$D = 0.51 \text{ m (Scogliera di Rivarolo)}$$

2) Formule empiriche su base cinematica. Diverse formule di origine empiriche definiscono direttamente il valore del diametro minimo che deve avere la scogliera, tramite l'uso diretto del valore di velocità medio in alveo e nell'ipotesi di geometria prismatica. Come anticipato, qui si farà invece uso del valore calcolato in corrispondenza della sponda. Le diverse formulazioni si possono tutte ricondurre alla forma

$$D = \frac{k V^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{\sin \beta}{\sin \varphi}\right)^2}} \quad (3)$$

dove il coefficiente k assume valori diversi a seconda degli autori:

- $k=0.04$ (formula antica, ancora frequentemente adottata nella pratica);
- $k = \frac{C_t}{g\Delta}$ (Izbash) dove C_t è un coefficiente di turbolenza compreso tra 0.3 e 0.7, mentre $\Delta=1,65$;
- $k = \frac{0.347}{g\Delta}$ (U. S. Corps of Engineers);

Per entrambe le scogliere si assume un valore a favore di sicurezza pari a $V=3$ m/s. Le tre formulazioni forniscono il seguente intervallo di risultati per entrambe le scogliere: **D=0.4 – 0.78 m.**

3) Metodo di Stevens et al. (1976). L'approccio proposto da Stevens si basa sulla valutazione di un fattore di sicurezza F_s , definito come il rapporto dei momenti delle forze stabilizzanti su quelle ribaltanti. La verifica al trascinamento e ribaltamento è quindi superata se $F_s > 1$. Dopo un'accurata analisi dinamica, Stevens giunge al seguente risultato

$$F_s = \frac{\cos \beta \tan \varphi}{\sigma' \tan \varphi + \sin \beta \cos \alpha} \quad (4)$$

dove:

- β è la pendenza della scarpata, pari per entrambe le scogliere a 45° ;
- φ è l'angolo di riposo in acqua dei massi, assunto pari a 55°
- $\sigma' = \sigma \frac{1 + \sin(\lambda + \alpha)}{2}$ è il numero di stabilità del masso su sponda inclinata, mentre $\sigma = \frac{0.3 V^2}{D g \Delta}$ è il numero di stabilità del masso sul fondo (si osservi che la definizione di questi due parametri è spesso erroneamente invertita in alcune relazioni tecniche)
- $\lambda = \tan^{-1} i$, con i la pendenza del fondo
- $\alpha = \tan^{-1} \frac{\cos \lambda}{\frac{2 \sin \beta}{\sigma \tan \varphi} + \sin \lambda}$ è l'angolo che la direzione di caduta del masso forma con la linea di massima pendenza della scarpata.

L'approccio di Stevens è più cautelativo rispetto alle formulazioni riportate sopra e comporta diametri maggiori. Al fine di ottenere un valore di F_s sistematicamente maggiore di 1, si è deciso di adottare $D=1$ m per la scogliera di Chivasso e $D=1,6$ m per la scogliera di Rivarolo.

Assumendo $D=1$ m, il fattore di sicurezza per la scogliera di Chivasso risulta: $F_s = 1.21$

Assumendo $D=1,6$ m, il fattore di sicurezza per la scogliera di Rivarolo risulta pari a $F_s = 1.28$

Sulla base di tutte e tre le formulazioni adottate, risulta che entrambe le scogliere, come definite dalle indicazioni progettuali riportate nel Capitolo precedente, superano la verifica al trascinamento e al ribaltamento.

Riferimenti bibliografici

Armanini, Scotton (1991) "Criteri di dimensionamento e di verifica delle stabilizzazioni di alveo e di sponda con massi sciolti e massi legati"

Lane, E. W. (1955), "Design of Stable Channels", *Transactions, ASCE* vol. 120 (2776), pp. 1234-1260.

Stevens, M.A., Simons D.B., and Lewis G.L. 1976. "Safety factors for riprap protection". *ASCE Journal of the Hydraulics Division* 102(HY5): 637-655.

7. PIANO DI MONITORAGGIO

7.1. Premesse

Le analisi e le osservazioni effettuate in questo studio hanno permesso di raccogliere una serie di indicazioni sul comportamento del torrente Orco. Gli eventi di piena più recenti, avvenuti in Ottobre 2020 confermano una fenomenologia già descritta nell'Analisi di Fattibilità Tecnico Economica, dove si sottolineava che *“...il torrente sembra sia soggetto a due tendenze evolutive contrastanti. La prima, continua e graduale, caratterizzata dalla riduzione della larghezza attiva ed erosione generalizzata dell'alveo (seppur con intensità ridotte rispetto a quelle del secolo scorso). La seconda, repentina e imprevedibile, determinata da una riattivazione di aree abbandonate e di canali secondari a seguito di eventi idrologici estremi, con il conseguente allargamento della zona periferiale e l'incremento di fenomeni deposizionali (omissis). A seguito dell'incertezza previsionale sul comportamento plano-altimetrico del Torrente Orco, tali soluzioni non sono da intendersi come risolutive a lungo termine, e necessiteranno quindi di un'attività di monitoraggio continua nel tempo, cui dovrà accompagnarsi uno sforzo di aggiornamento continuo delle risultanze modellistiche ed una capacità di intervenire, ove e quando necessario, con misure correttive.”*

L'evento alluvionale del 3/10/2020, seppur eccezionale, non ha comportato una sostanziale riattivazione di aree abbandonate, ma ha visibilmente incrementato le curvature di numerose anse fluviali, agevolando una graduale transizione del corso d'acqua verso l'assetto meandriforme. Come già evidenziato, tale transizione non è però da considerarsi come irreversibile, in quanto eventi di intensità ancora maggiore, ma non improbabili, potrebbero facilmente ricondurre il corso d'acqua verso un assetto simile a quello che si realizzò successivamente alla piena del 2000. Tale “volubilità morfologica” dell'Orco è indotta dalla sua spiccata mobilità laterale e da una natura plano-altimetrica che si pone a cavallo tra quella di un fiume meandriforme e quella di un fiume multi-corsuale, ovvero un carattere transizionale. Partendo da queste considerazioni, gli scriventi suggeriscono di mettere in campo due strategie di intervento tra loro complementari.

Interventi di regolazione morfologica a breve termine

Gli interventi considerati tuttora come necessari (7-A₁, 7-A₂,7-A₃ (in parte), 2-A₄₂ e 2-A₄₃) mirano a sanare alcune criticità del corso d'acqua in un orizzonte temporale di breve termine, indicativamente compreso tra i 5-10 anni e comunque fino al prossimo evento formativo significativo. La progettazione definitiva ha il compito di verificare l'attivazione dei rami secondari realizzati e la loro stabilità morfologica per eventi con portata inferiore a tempi di ritorno di 20 anni. Per una corretta e aggiornata progettazione degli interventi 2-A₄₂ e 2-A₄₃ è stato necessario un aggiornamento del DTM, che è stato effettuato tramite nuove acquisizioni fotogrammetriche da drone. Come è stato descritto nel capitolo 4, le mutate condizioni morfologiche ed il recepimento delle raccomandazioni di Regione Piemonte hanno comportato di rivalutare

il criterio di attivazione per il canale 2-A4₃, portando la soglia di attivazione al valore della portata superata in media 15 gg. l'anno (pari a $Q=70 \text{ m}^3/\text{s}$).

Piano di monitoraggio e attività previsionale a lungo termine

La forte dinamicità del corso d'acqua in oggetto, combinata ad una pluviometria in lenta ma continua evoluzione dovuta ai cambiamenti climatici, suggeriscono che parte degli investimenti vadano ri-direzionati verso una strategia di monitoraggio a lungo termine. Con le attuali conoscenze scientifiche e tecnologiche, si dispone oggi degli strumenti necessari per poter aggiornare in tempi brevi il modello digitale del corso d'acqua in tutte le sue peculiarità. Tale aggiornamento deve essere realizzato di pari passo con gli eventi di piena più significativi dal punto di vista morfologico, che nel caso in esame si possono verificare anche a distanza di pochi anni. Una "digitalizzazione" aggiornata e continua del corso d'acqua permetterebbe di mettere in campo una strategia pianificatoria innovativa, che non ha precedenti nel panorama nazionale, e che sia capace, sulla base di modelli previsionali aggiornati, di programmare interventi di tutela e salvaguardia del territorio con più largo anticipo rispetto alle azioni tipiche in ambito fluviale.

Si ritiene che tra i compiti istituzionali dell'Università vi sia il dovere di indirizzare e organizzare tali attività, al fine di ottimizzare l'uso di risorse economiche a tutela dei corpi idrici e dei beni ambientali. Senza un piano di monitoraggio aggiornato, affiancato da modellazione idraulica, qualsiasi investimento in interventi strutturali (e non) per la difesa risulterà vanificato dalla forte dinamicità morfologica e varietà idrologica di un corso d'acqua di questo tipo.

7.2. Linee guida

Alla luce delle considerazioni fatte sopra, si presenta nel seguito una proposta di piano di monitoraggio, con lo scopo di mettere in campo un'attività programmatoria capace di: i) prevenire e/o risolvere criticità idro-geomorfologiche che siano origine di rischio idraulico; ii) aumentare il grado di conoscenza del funzionamento dell'intera asta fluviale per un miglioramento nella gestione dell'intero corridoio fluviale. L'intento è avviare un approccio sistemico alla gestione territoriale dei corpi idrici, che sia capace di combinare le esigenze delle amministrazioni locali con il *continuum* eco-geomorfologico del corso d'acqua.

In accordo a quanto sviluppato e analizzato nella presente relazione, il piano di monitoraggio dovrà seguire tre fondamentali criteri:

1. La cadenza delle attività di monitoraggio, delle analisi di campo e dei rilievi geomatici dovrà essere annuale per il 1° lotto e almeno biennale per il 2° lotto. In tal modo, l'attivazione periodica dei canali secondari ed il funzionamento delle opere potrà essere monitorata correttamente.

2. Le zone che sono oggetto d'intervento (7-A1₁, 7-A1₂, 7-A1₃, 2-A4₂ e 2-A4₃) e le zone limitrofe avranno priorità nel monitoraggio. In aggiunta, si suggerisce di monitorare anche la zona che era stata precedentemente identificata per l'intervento 7-A1₄, successivamente rimosso, come esplicitamente richiesto nella deliberazione regionale.
3. Tutte le zone coinvolte da un'erosione significativa devono essere oggetto di monitoraggio. Per erosione significativa si intenderà nel seguito la presenza di una buca di scavo superiore a 1.5 m generata dal passaggio di un evento di piena con $Q_{\max}=Q_{200}$.

7.3. Esempi applicativi

Come già riportato nelle premesse, il fiume Orco è soggetto a una spiccata mobilità, ed è quindi necessario disporsi di strumenti che siano in grado di cogliere in tempi brevi eventuali variazioni repentine del suo assetto. Riteniamo importante approfondire, tramite alcuni esempi applicativi, quanto contenuto nel punto 3 delle linee guida introdotte nel paragrafo precedente.

Vale la pena ricordare che il modello morfodinamico adottato non è in grado di prevedere i fenomeni di collasso spondale, e che nonostante alcuni software commerciali dichiarino di poterlo fare, una loro corretta valutazione su base idraulica e geotecnica richiederebbe una scala d'indagine di dettaglio, che va al di là dei presenti scopi di monitoraggio. E' altresì noto che erosione e collasso spondale sono correlati con la presenza buche di scavo al piede della sponda le quali, insieme alla conoscenza del campo di moto, possono essere adottate come elemento premonitore del collasso. Per questo motivo, un approccio modellistico semplificato, come quello qui considerato, ben si presta per una valutazione ad ampio raggio dei tratti a maggiore rischio di collasso.

Nella figura 7.1 sono riquadrate due aree d'indagine, in un tratto di fiume tra Feletto e Cortereggi (quindi non interessato dagli interventi in progetto). Con gradazione dal giallo all'arancio sono evidenziate le zone di alveo con erosione *significativa* del fondo, secondo quanto previsto dalle simulazioni morfodinamiche.

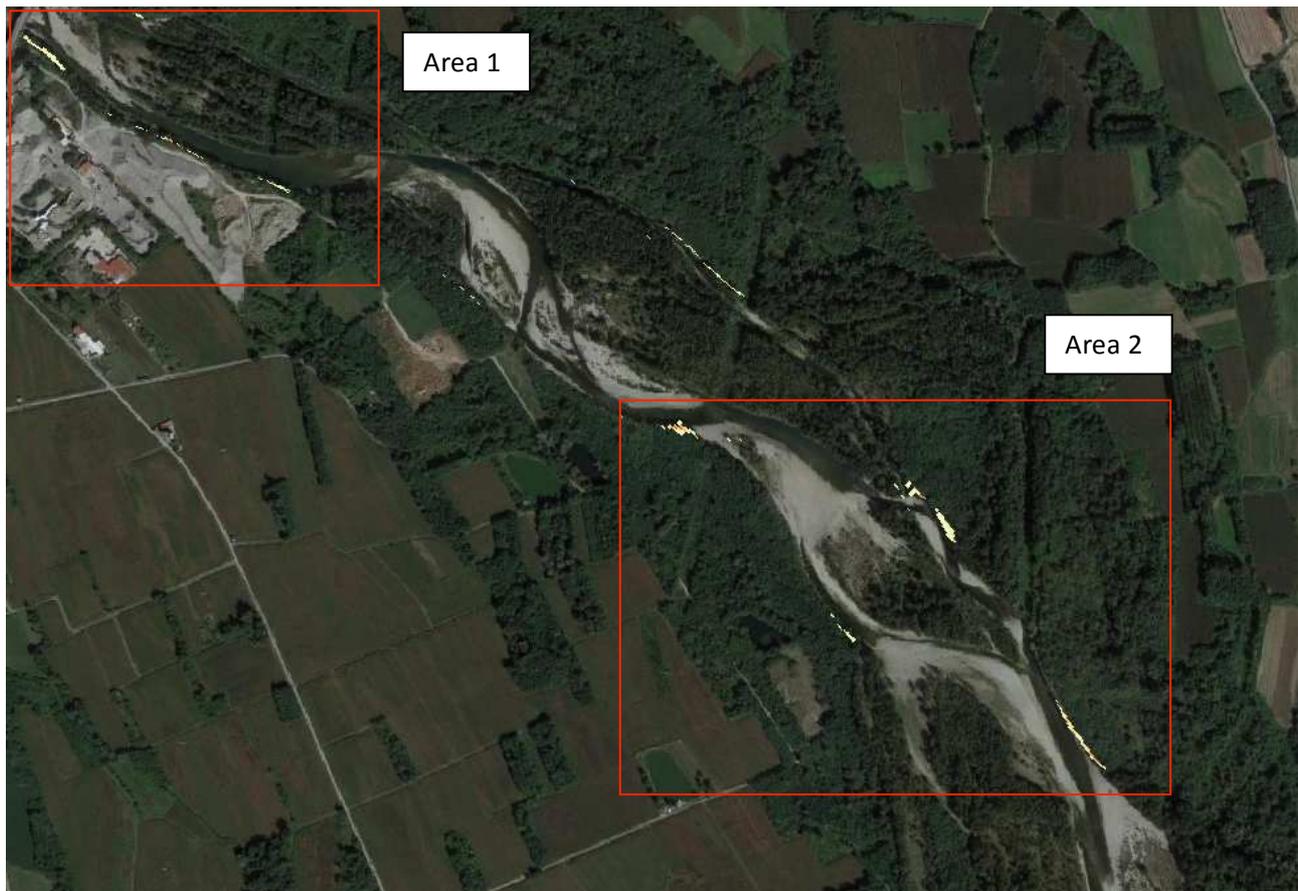


Figura 7.1: Previsione dei tratti coinvolti da erosione significativa ($>1,5$ m) tra Feletto e Cortereggio.

La figura 7.2 presenta un particolare dell'area 1 riquadrata in Figura 7.1. In sponda destra, a ridosso dell'impianto trattamento inerti, il modello prevede dell'erosione localizzata. Non vi sono evidenze in quel tratto di difese spondali (che invece sono segnalate a monte del ponte, con tratto giallo-verde).



Figura 7.2: Particolare di Figura 7.1. Giallo: erosioni significative. Giallo-verde: difese spondali. Viola: argine. Blue e marrone: viabilità.

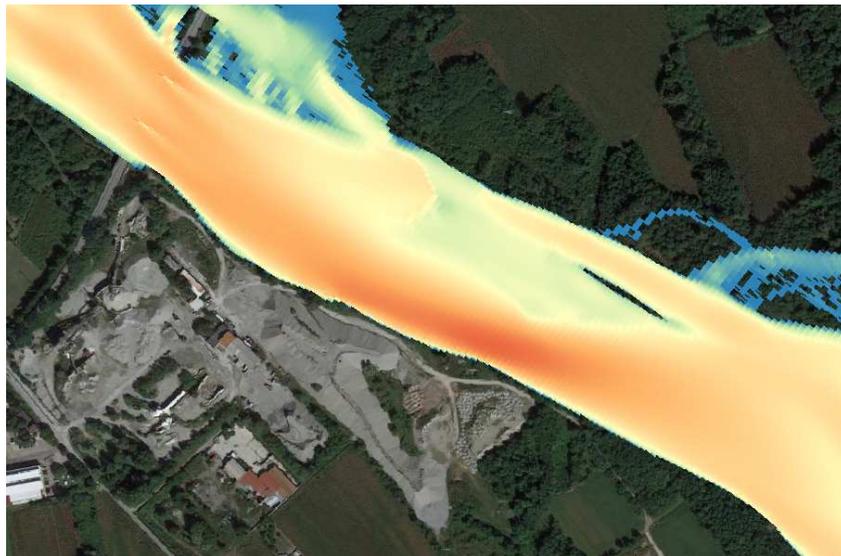


Figura 7.3: Velocità con $Q_{max}=Q_{200}$ (fondo scala= 5 m/s)



Figura 7.4: Sovrapposizione tra immagine satellitare recente e aree di scavo valutate su DTM del 2019.

Ricordiamo che le ortofoto qui riportate sono state acquisite in Marzo 2019. La previsione di scavo è confermata dalla visualizzazione di immagini satellitari più recenti (Figura 7.4) che, anche se con una risoluzione inferiore, evidenziano un arretramento della sponda in atto, poiché l'area di scavo che precedentemente era posizionata in sponda ora si trova in alveo. Un secondo esempio, altrettanto esplicativo, è fornito da un tratto di fiume nel territorio di Cortereggio riportato nelle Figure 7.5.

Dagli esempi riportati è evidente che uno strumento importante di monitoraggio è l'interrogazione periodica delle acquisizioni satellitari, che consentono di aggiornare, con cadenza quindicinale, l'assetto planimetrico del fiume, ad integrazione dei dati in possesso. Riteniamo questo ulteriore elemento di valutazione debba essere preso in considerazione all'interno di un piano di monitoraggio.



Figura 7.5: Previsione di aree di erosione su ortofoto del 2019 (sopra) e su immagine satellitare recente (sotto).

7.4. Elenco delle attività proposte

La previsione dei costi si basa su un arco temporale di monitoraggio di **almeno 4 anni**, ma è fortemente consigliato protrarre il monitoraggio per un arco di tempo superiore.

Attività d'interesse generale per l'intera asta fluviale (costo complessivo: 30000 €)

- **Aggiornamento DTM** tramite rilievo LIDAR dell'intero tratto compreso tra Cuornè e Chivasso, preferibilmente all'inizio della primavera. Tale misura permetterà di: i) aggiornare il bilancio complessivo dei sedimenti; ii) Identificare le zone che presentano un trend evolutivo plano-altimetrico; iii) Rilanciare e aggiornare i dati di input dei codici di calcolo del modello morfodinamico per mettere in luce eventuali criticità; iv) Determinare la risposta della vegetazione riparia alle forzanti antropiche e naturali attraverso la determinazione estensiva della densità di biomassa dalla nuvola di punti LIDAR (Latella et al, 2021).
- **Installazione, calibrazione e manutenzione di un torbidimetro** per la misura in continuo del trasporto solido sospeso. L'installazione della strumentazione torbidimetrica/nefelometrica verrà eseguita in corrispondenza dell'idrometro di ARPA Piemonte situato a San Benigno Canavese (ponte S.P. 40). Per l'acquisto della strumentazione, verrà fatta una valutazione rispetto ai modelli attualmente utilizzati in Italia e in Europa al fine di scegliere la soluzione tecnica più adeguata alle condizioni ambientali di installazione nel Fiume Orco. Dopo l'acquisto verrà eseguita la calibrazione tramite campionamenti puntuali manuali nella sezione di interesse. La strumentazione installata verrà infine mantenuta per la durata delle attività di monitoraggio (minimo 4 anni). I dati raccolti permetteranno di stimare la produzione media annua di sedimenti trasportati in sospensione da parte del bacino idrografico del fiume Orco e di quantificare l'andamento dei valori di torbidità durante gli eventi di piena.

Attività d'interesse per i lotti oggetto d'intervento (costo complessivo: 15000 €/anno)

- Utilizzo di tecniche di acquisizione da drone per l'aggiornamento del DTM di dettaglio (risoluzione 10 cm) e delle batimetrie nelle zone fluviali e perifluviali, **in prossimità di tutti gli interventi previsti nel presente progetto definitivo** (disalvei, scogliere, corazzamenti, ripascimenti) e della zona precedentemente identificata per l'intervento 7-A1₄. Le batimetrie potranno essere identificate *direttamente* su singole sezioni in modalità GPS-RTK o *indirettamente*, per interi tratti, tramite drone e tecniche speditive innovative (si veda Pontoglio et al, 2020).
- Valutazione dello stato di salute, grado di diffusione e biodiversità della vegetazione riparia, tramite acquisizioni da droni equipaggiati con sensori multispettrali. Campionamenti in campo.



- Aggiornamento delle previsioni idrodinamiche.
- Monitoraggio delle condizioni d'idoneità dei meso-habitat per l'ittiofauna nei canali di nuova costruzione.

Attività specifica per le zone soggette a erosione significativa (costo complessivo: 7500 €/anno)

- Definizione e aggiornamento di un sistema informativo territoriale dell'area che raccoglie i diversi dati acquisiti (geomatici e idraulici) in uno strumento GIS comune multiscala e multitemporale.
- Misure di campo ad hoc post alluvione (da drone e da terra)
- Aggiornamento delle previsioni idrodinamiche

Riferimenti Bibliografici

Latella, Sola, Camporeale(2021) A Density-Based Algorithm for the detection of individual trees from Lidar Data. *Remote Sensing* 13 (22) pp. 322

Pontoglio, Grasso, Cagninei, Dabove, Camporeale, Lingua (2020) Bathymetric detection of fluvial environments through UASs and machine learning systems. *Remote Sensing* 24 (1)

8. RISPOSTE ALLE RACCOMANDAZIONI DI REGIONE PIEMONTE (ATTO DD 2341/A1813B/2020)

In data 7 Settembre 2020 la regione Piemonte con Atto DD 2341/A1813B/2020, ha determinato di escludere il progetto proposto dalla procedura di Valutazione di impatto ambientale (VIA) indicando all'interno dell'allegato A una serie di raccomandazioni da dover seguire durante la fase di progettazione del progetto definitivo. Le "Misure supplementari e Raccomandazioni" da seguire al fine di tale esclusione, concernenti prevalentemente gli aspetti idraulici, sono riportati nella sezione C del medesimo documento. Nel seguito, si riporta una risposta dettagliata per ogni singolo punto sollevato.

1. *Si migliori la conoscenza idrodinamica del torrente facendo leva su modellazioni a fondo mobile, nelle configurazioni prima e dopo i lavori (tenendo conto di una portata di riferimento $Tr = 200$ anni), in linea generale in un intorno significativo degli interventi, ed in particolare per conoscere gli effetti sulle prese della Gora di Campagna e della Roggia di San Marco analizzando un tratto del torrente che comprenda le suddette prese fino al ponte della SP n. 40;*

RISPOSTA: Si è proceduto a simulazioni morfodinamiche a fondo mobile, nelle configurazioni prima e dopo i lavori, per tutte le zone soggette ad intervento con le portate corrispondenti a tempi di ritorno pari a: 2, 20, 100, 200 anni (si veda tavole allegate). L'analisi dell'intervento 2-A4₂ ha richiesto un ulteriore approfondimento in merito alla portata di attivazione, la quale è stata definita inferiore a quella con tempo di ritorno di 2 anni. In particolare, è stato necessario fissare la portata di attivazione al valore di 70 m³/s, ovvero circa tre volte la portata media e corrispondente al valore superato per almeno 15 gg giorni l'anno. Una sintesi dei risultati è la giustificazione di tale scelta è riportata nel capitolo 5. Tutti gli elaborati grafici relativi alle mappe dei battenti, velocità e variazione di fondo per tutte le condizioni simulate sono riportati negli allegati della presente relazione. Le prese menzionate (Gora di Campagna e della Roggia di San Marco) non subiscono alcuna interferenza, in quanto si trovano in zone non più soggette ad intervento.

2. *Sia verificata l'interferenza delle opere da realizzare con la presenza in Comune di Rivarolo Canavese di due scaricatori di piena a servizio delle rete di fognatura pubblica gestita dalla SMAT S.p.A. (n. 01704124 e n. 01704125, entrambi posizionati in destra idrografica);*

RISPOSTA: Gli scaricatori di piena si trovano in una zona che non è soggetta ad intervento, quindi l'interferenza è nulla.

3. *Si realizzino esclusivamente i canali previsti nella pertinenza attiva propriamente detta, ossia quella interessata dalle piene ricorrenti del torrente, escludendo al momento l'intervento 7_A1_4 (comuni di Rivarolo Canavese e Feletto) anche in relazione alle dimensioni significative dello stesso ramo (lunghezza 1.060m, larghezza 60m) che si collocherebbe in un contesto ad elevata dinamicità idraulica. La sua eliminazione evita inoltre le interferenze con gli approvvigionamenti delle piccole derivazioni Busardo (BTO316R5093 - Q_{max} 190 l/s) e Ronco Gurtè (BTO316R5095 - Q_{max} 45 litri/s) e della grande derivazione conosciuta come Bealera Abbaziale (TO913 - Q_{max} nel periodo di massima idroesigenza litri/s 2100) poste in destra Orco presso l'abitato di Feletto, tutte operanti senza una traversa fissa ma con derivazione effettuata mediante materiale sciolto dell'alveo;*

RISPOSTA: Come riportato in dettaglio nel Capitolo 3, gli interventi residuali da realizzare sono: 7A1₁, 7A1₂, 2A4₂, 2A4₃ e 7A1₃ (solo parzialmente). L'intervento 7A1₄ non è stato più considerato, come richiesto da Regione Piemonte.

4. *Sia valutata la reimmissione del ramo in progetto 7_A1_3 (Comune di Rivarolo Canavese) considerato che risulta orientata pressoché perpendicolarmente al canale attivo esistente, allo scopo di escludere eccessive pressioni sul canale attivo provocando nel tempo un condizionamento indesiderato nell'evoluzione dello stesso.*

RISPOSTA: Come riportato in dettaglio nel capitolo 3, a seguito dell'eliminazione dell'intervento 7-A1₄, l'intervento 7-A1₃ non risulta più necessario, salvo la possibilità di prelevare del materiale grossolano nel tratto iniziale dello stesso, da poter utilizzare per il ripascimento in 7-A1₁.

5. *Va ponderata attentamente la realizzazione dell'intervento 2_A1_2 (comuni di Montanaro e Chivasso) poiché occorre evitare la formazione di un prevalente monocursale in associazione agli interventi 2_A1_1 (Comune di Montanaro) e 2_A4_2 (Comune di Chivasso);*

RISPOSTA: Come riportato nel Capitolo 3, gli interventi 2-A1₁ e 2-A1₂ non sono più realizzabili, a causa delle mutate condizioni planimetriche dell'alveo dovute ai recenti eventi alluvionali.

6. *Sia approfondito l'esame in merito alla corretta orientazione dello sbocco del ramo 2_A4_2 (Comune di Chivasso) allo scopo di evitare un indirizzamento del filone fluido che metta a maggiore rischio la sponda sinistra idrografica e il ponte dell'autostrada A4 localizzato poco più a valle. In particolare, si pone in evidenza che dalle tavole di simulazioni appare come l'intervento faccia diminuire le velocità in sponda sinistra, con notevole beneficio delle sollecitudini sulla sponda stessa, ma sembra, invece, che il medesimo comporti una diminuzione delle aree bagnate in sponda destra, sottraendo porzioni utili a laminare le piene, e che faccia aumentare le velocità in sponda destra, dove verrà realizzata la scogliera, creando una canalizzazione forzata della corrente. Inoltre, sembrerebbe che a metà del canale in progetto le velocità si riducano notevolmente, anche se non sono evidenti, dalle tavole di progetto, degli elementi che possano condurre a tale*

situazione. E' più probabile, invece, che si creino delle erosioni localizzate, rispostando nuovamente, anche in maniera più pronunciata, la corrente in sponda sinistra;

RISPOSTA: A seguito della raccomandazione di Regione Piemonte e delle mutate condizioni plano-altimetriche successive alla piena del 2-3 ottobre 2020, l'intervento 2-A4₂ è stato oggetto di ulteriori approfondimenti e rivalutazioni. I dettagli sono riportati nel Capitolo 5 della presente relazione. In sintesi, al fine di garantire un'efficace azione in termini di riduzione della pressione erosiva in sponda sinistra, la soglia di monte del canale è stata posizionata ad una quota pari a 186.8 m s.l.m. Tale quota consente l'attivazione del canale con una portata pari a circa 70 m³/s, ovvero la portata che viene superata in media 15 gg all'anno. Con tale assetto, si è verificato che le velocità di picco in sponda sinistra si subiscono una riduzione fino al 22% con la Q₂₀ e 14% con la Q₂₀₀, comportando una notevole riduzione anche sull'erosioni localizzate in prossimità della sponda (si vedano inoltre figure 5.3 e 5.4 della presente relazione).

- 7. Venga verificato il posizionamento dell'intervento 2_A4_1 (Comune di Chivasso) tenendo conto che non dovrebbe risultare collocato all'interno della fascia di divagazione compatibile individuata dal PGS al fine di non condizionare il corso d'acqua quando invece il PGS medesimo ha definito la possibilità di divagare;*

RISPOSTA: Si osserva che la riduzione della fascia di divagazione compatibile è limitata a pochi metri. Inoltre, la scogliera progettata è certamente sormontata per portate con tempi di superiori a 5 anni. Si ritiene inoltre che arretrare ulteriormente la scogliera potrebbe comportare un aumento significativo di rischio di by-pass del filone principale del corso d'acqua con l'effetto di un mancato allineamento tra canale principale e le luci del ponte dell'autostrada A4.

- 8. Venga verificata con attenzione l'utilità dell'intervento di ripascimento 3_A1_3 (Comune di San Benigno Canavese) alla luce dell'attuale posizione marginale dello spazio entro cui si dovrebbe agire rispetto alla dinamica del fiume, e ciò anche a fronte del suo riconosciuto valore naturalistico, prevedendo invece lavori sul nuovo percorso circa rettilineo, dove si esplicano i processi erosivi legati al deflusso concentrato, per un tratto indicativamente che va dal taglio di meandro verso monte fino al ponte della SP n° 40. I lavori di ripascimento siano completati da opere a verde o di ingegneria naturalistica per conseguire un maggiore consolidamento delle aree interessate;*

RISPOSTA: Come si può osservare dalla Figura 8.1 il tratto di fiume che si trova a valle del taglio di meandro ha subito un processo di meandrizzazione, con conseguente riduzione della sinuosità. E' bene notare che, da un confronto tra le planimetrie, si evince che alcune anse del nuovo tratto di fiume hanno subito una migrazione spondale dell'ordine di 100 m

nell'ultimo anno. Un tale tasso erosivo è da considerarsi eccezionale. Il valore di erodibilità spondale che si era assunto in sede di progetto preliminare era quindi probabilmente sottostimato di almeno un ordine di grandezza. Il torrente Orco sta quindi sviluppando naturalmente quanto si auspicava pochi giorni dopo l'avvenuta del taglio. Nel Progetto di Fattibilità Tecnico Economica, gli scriventi avevano infatti ipotizzato che alcune opere di pulizia arginale potessero essere previste allo scopo di favorire la meandrazione del corso d'acqua, così da ridurre naturalmente la sinuosità e quindi l'intensità dei processi erosivi nel tratto che si trova a monte. A seguito della spiccata dinamicità del fiume, sembra che tali interventi non siano più necessari, perché il fiume ha sviluppato autonomamente quanto si proponeva di promuovere con quelle opere.

Un tale processo di meandrazione inoltre comporta la migrazione delle nuove anse verso valle, con la conseguente rettificazione del tratto di monte (che pare invece meno dinamico). Il risultato è quindi un allontanamento del canale principale dal vecchio meandro. L'opera di ripascimento ivi prevista al fine di proteggere la sponda nel caso di riattivazione temporanea durante le piene maggiori è quindi da ritenersi non prioritario, dal momento che tale riattivazione risulta oramai improbabile.

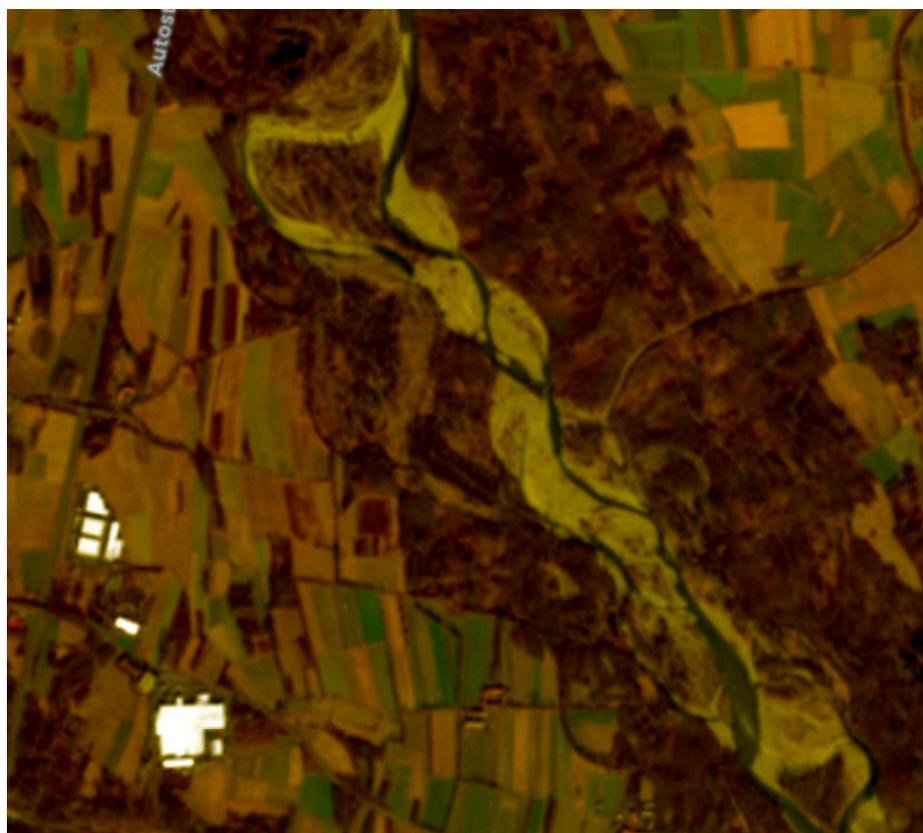


Figura 8.1: Immagine satellitare recente del tratto a valle salto del meandro avvenuto in Ottobre 2019 (Comune di San Benigno)

9. *Sia valutato un aumento del livello di protezione lungo i margini della pertinenza attiva del torrente tenendo conto delle situazioni note ed attualmente in evoluzione, riscontrabili nei comuni di Rivarolo Canavese, San Giorgio Canavese, Foglizzo, San Benigno Canavese e Montanaro (anche a tutela della frazione Pratoregio in Comune di Chivasso), facendo leva sulle economie derivanti dall'eliminazione dell'intervento 7_A1_4 di cui sopra, oltre a quanto potrà essere disponibile a seguito della verifica sulla necessità o meno dell'intervento 2_A1_2 e dell'aggiornamento progettuale che tenga conto dello stato attuale dei luoghi. Si dovrà operare per lo più mediante movimentazione del litoide a ripascimento delle rive in erosione e solo laddove necessario, a tutela di beni pubblici, d'interesse collettivo e degli abitati esposti a rischio, prevedendo opere di difesa comunque di tipo flessibile da realizzare con le tecniche dell'ingegneria naturalistica;*

RISPOSTA: A seguito della presente sollecitazione, e beneficiando delle economie derivanti dall'eliminazione di alcuni interventi previsti nel precedente progetto di Fattibilità Tecnico economica, si è valutato di ripristinare la protezione spondale ubicata in sponda sinistra a valle del ponte di Rivarolo (2° lotto, 2° stralcio), sebbene tale opera non fosse prevista nel Primo Programma Operativo. Le indicazioni progettuali di tale opera sono contenute nel capitolo 5, mentre la verifica al trascinamento nel capitolo 6.

Nella prospettiva di un monitoraggio continuo delle zone soggette ad intervento e più in generale dell'intero tratto analizzato tra Cuornè e la confluenza con il Po, si sono fornite indicazioni aggiuntive nel Capitolo 7 attraverso degli esempi applicativi

In ottemperanza a quanto raccomandato da Regione Piemonte, oltre alle opere previste nel precedente documento di Fattibilità Tecnico Economica, si è altresì provveduto a dimensionare e verificare una scogliera in massi posizionata a valle del ponte sulla strada statale S.S. 565, su sponda sinistra (i dettagli della verifica idraulica sono riportati nel capitolo 6).

La scelta è caduta sul Comune di Rivarolo, sia perché oggetto di un sopralluogo congiunto Comune – Città Metropolitana di Torino – Regione Piemonte propedeutica alla conferenza dei servizi regionale di assoggettabilità a VIA, sia perché l'ubicazione della scogliera in progetto è prossima al progetto di realizzazione di due canali e di rimbottimento di sponda, come abbiamo visto in precedenza, dunque costituisce una risposta complessiva alle criticità idrauliche di questo settore.

10. Sia appurata con cura la quota di posizionamento di tutte le interferenze presenti nel tratto torrentizio oggetto d'intervento, che va da Rivarolo Canavese a Chivasso, comprendendo quindi i passaggi in subalveo, le pile e spalle dei ponti, i punti di presa idrica, in modo da escludere qualsiasi attività di scavo nel corso d'acqua, per un intorno geomorfologicamente significativo, che possa determinare su dette interferenze effetti negativi;

RISPOSTA: Nell'ambito dell'area d'intervento del lotto 1 (Chivasso) si riconoscono una serie di potenziali interferenze, come rappresentato nella figura seguente.

Questo tema sarà meglio ripreso e dettagliato nell'elaborato Z.19 (codice tavola 1819A_D_Z_26_1) Prime indicazioni per la stesura del Piano di Sicurezza.

Tuttavia, preme sottolineare e riassumere, già nell'ambito della presente relazione, quali siano le infrastrutture e i sotto-servizi potenzialmente interferenti con i lavori in progetto o indirettamente insistenti sull'area interessata dai lavori.

Le principali interferenze individuate sono:

- Presenza di linea di metanodotto Snam in subalveo Torrente Orco (Pratoregio): la profondità del metanodotto rispetto al p.c. è tale (oltre 30 metri) da non potere interagire con la profondità degli scavi per il progetto in esame;
- Acquedotto SMAT: è presente alla distanza di circa 30 dalla scogliera in progetto l'acquedotto interrato della SMAT. Da un sopralluogo svolto congiuntamente nel mese di gennaio 2021 tra tecnici della Città Metropolitana e funzionari della SMAT, in occasione dell'esecuzione di tre sondaggi geognostici a supporto della relazione geologica e geotecnica parte del progetto, non risulta però che ci siano possibilità di interferire con la condotta idropotabile;
- Linee aeree media/alta tensione attraversanti l'alveo del torrente Orco: gli scavi per le strutture in progetto non interferiranno con i tralicci dell'elettrodotto.

Nell'intorno dell'area nell'ambito della quale saranno realizzati i lavori si riscontrano una serie di infrastrutture pubbliche e private e una serie di sottoservizi tra i quali preme rammentare:

- Viabilità principale (ponte autostradale Autostrada Torino – Milano A5); gli scavi per la realizzazione del canale non interferiscono con le fondazioni del viadotto autostradale e la realizzazione dell'insieme delle opere serve appunto per impedire

e/o controllare una accentuata divagazione del torrente che possa dirigersi fuori asse rispetto all'attraversamento;

- Impianto trattamento inerti posto a SE di località Pratoregio, sul terrazzo in sponda sinistra del T. Orco; (cfr. sezz. 12, 13, 14 15 intervento D pro parte Tav. B.06 Planimetria di progetto); la realizzazione di un canale in destra orografica alleggerisce appunto l'attività erosiva in sinistra.

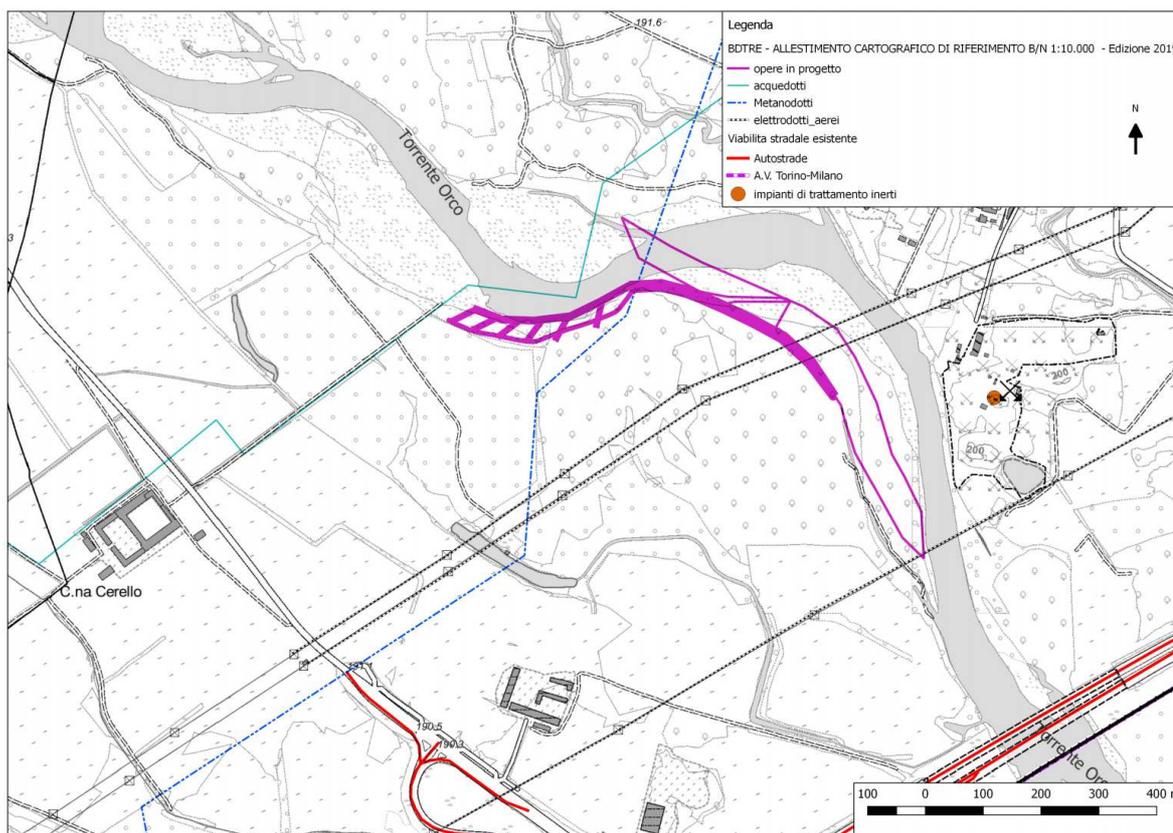


Figura 8.2

Nell'ambito dell'area d'intervento del lotto 2 (Rivarolo C.se) si riconoscono una serie di potenziali interferenze come rappresentato nella figura successiva.

Questo tema sarà meglio ripreso e dettagliato nell'elaborato Z.19 (codice tavola 1819A_D_Z_26_1) Prime indicazioni per la stesura del Piano di Sicurezza.

Tuttavia preme sottolineare e riassumere, già nell'ambito della presente relazione, quali siano le infrastrutture e i sotto servizi potenzialmente interferenti con i lavori in progetto o indirettamente insistenti sull'area interessata dai lavori.

Le principali interferenze individuate sono:

- Ponte sul T. Orco della S.P. 222: la realizzazione della scogliera non interferirà affatto con l'attraversamento stradale;

- Discarica ex SALP Loc. Vercellino oggi dismessa: tutti i canali sono ubicati a valle del sito della discarica.

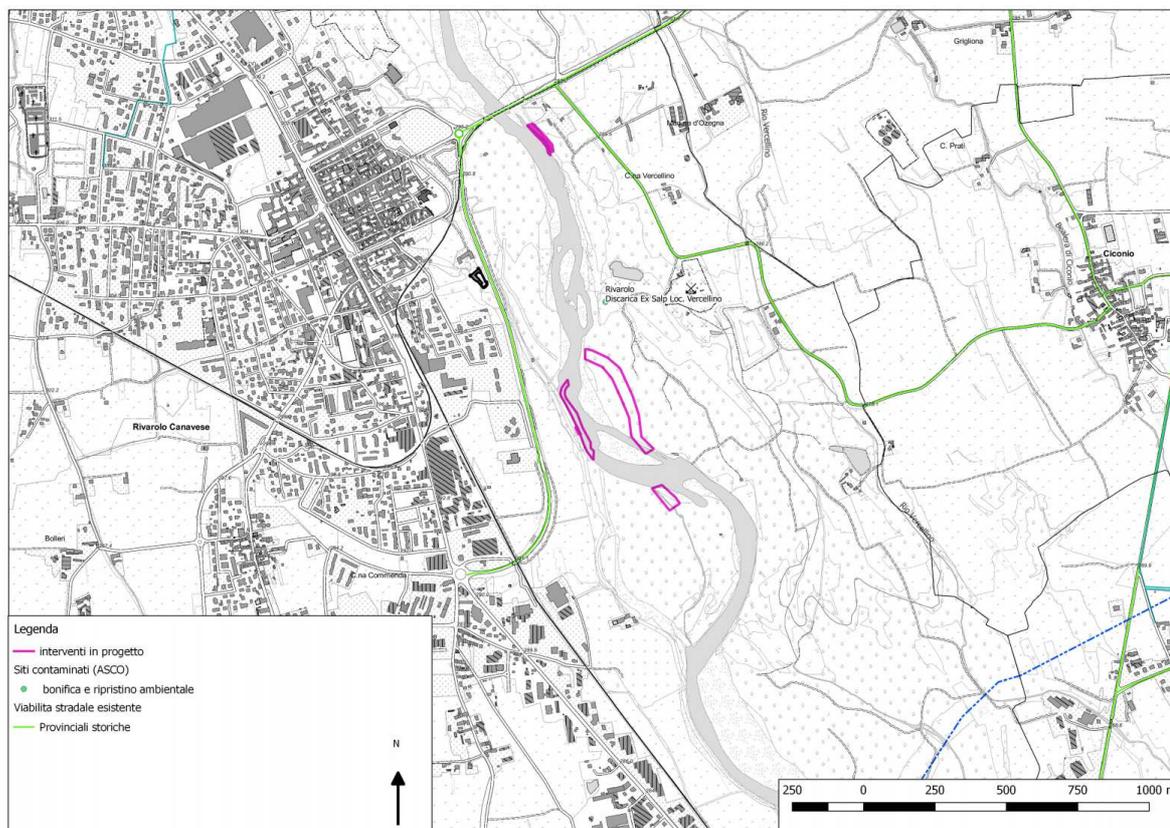


Figura 8.3

11. Sia sviluppato, anche in ottemperanza alle previsioni del Primo Programma Operativo di cui al PGS, il monitoraggio degli interventi sia nella fase di realizzazione e sia in quella di esercizio, al fine di verificare analiticamente tutte le ricadute sul territorio dal punto di vista idraulico e morfologico. In particolare, dovrà essere verificato che i rami a carattere aggiuntivo si attivino in corrispondenza della Q_2 (deflusso con ricorrenza ogni due anni circa) e non si impongano come sostitutivi del ramo principale provocando una rettificazione del percorso del torrente a discapito della diversificazione dell'alveo e della qualità ecosistemica (ad esempio con penalizzazioni delle aree umide, degli spazi riparali, ecc);

RISPOSTA: Si conferma la necessità di effettuare un piano di monitoraggio, come descritto nel Capitolo 8. Si è verificato che l'intervento 7-A1₃, ridotto ad un prelievo di materiale grossolano nella sua parte iniziale, si attiva con la Q_2 . Anche l'intervento 7-A1₂ si attiva con la medesima portata. Questa condizione garantisce lo sviluppo di una vegetazione pluriennale e quindi la stabilizzazione dei canali. Per quanto riguarda il ramo 2-A4₂, tale condizione non è soddisfatta, come è stato descritto nel dettaglio nel capitolo 5. Si è reso

infatti necessario abbassare la soglia di sfioro del canale in modo da ridurre la portata di attivazione, fino ad un valore pari a $70 \text{ m}^3/\text{s}$. Dalle simulazioni numeriche, risulta infatti che quest'ultimo valore definisce il compromesso tra efficacia idraulica del ramo secondario nel ridurre la pressione erosiva in sponda sinistra e l'esigenza di ridurre eventuali modificazioni morfologiche indotte dall'apertura del ramo stesso.

12. Sia verificata la fattibilità di uno sviluppo dell'intervento per lotti funzionali successivi, allo scopo di controllare con maggiore efficacia il comportamento dell'Orco a seguito dei lavori realizzati;

RISPOSTA: La proposta è stata accettata, dividendo il progetto in due lotti, uno a Chivasso, l'altro a Rivarolo, a sua volta suddiviso ulteriormente in due stralci funzionali.

13. Siano prese in considerazione le possibili ricadute del futuro intervento relative al nuovo sistema acquedottistico della Valle Orco nel rapporto con le opere in progetto;

RISPOSTA: Sulla base delle attuali conoscenze e in ragione del fatto che l'acquedotto in questione recapiterà una portata media pari a circa $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$, non vi è ragione di credere che vi siano ricadute e interazioni con gli interventi oggetto del presente studio.

14. Il progetto dovrà essere sottoposto alle procedure autorizzative ai sensi dell'art. 146 del Codice e dovrà essere accompagnato dalla documentazione prevista dal D.P.C.M. 12.12.2005 (Relazione paesaggistica), nonché rispettare le disposizioni cogenti e prevalenti del Ppr espressamente richiamate nella deliberazione di approvazione e contenute nelle prescrizioni delle Norme di attuazione (articoli 3, 13, 14, 15, 16, 18, 23, 26, 33, 39 e 46) oltre alle specifiche prescrizioni d'uso dei beni paesaggistici di cui all'articolo 143, c.1, lett. b), del Codice stesso, riportate nelle schede del Catalogo. Pertanto la Relazione paesaggistica dovrà contenere tutti gli elementi necessari per la verifica della conformità dell'intervento proposto rispetto a tali disposizioni, con specifico riferimento alle prescrizioni degli articoli: 14 (Sistema idrografico), 16 (Territori coperti da foreste e da boschi), 26 (Ville, giardini e parchi, aree ed impianti per il loisir e il turismo) delle Nda del Ppr e rispetto alle prescrizioni specifiche contenute nella Scheda A122 del Catalogo. In particolare la Relazione paesaggistica dovrà contenere una puntuale documentazione fotografica (con punti di visuale indicati in planimetria) che illustri nel dettaglio lo stato attuale dei luoghi e le caratteristiche paesaggistiche dell'ambito considerato (in relazione alle opere di maggiore impatto visivo che vanno a modificare significativamente l'assetto dei luoghi, dovranno essere prodotte fotosimulazioni della situazione pre e post-intervento confrontabili tra loro);

RISPOSTA: Si veda la relazione paesaggistica

15. Eventuali varianti urbanistiche necessarie alla realizzazione degli interventi andranno sviluppate nel rispetto della norma vigente in materia avendo cura di ottemperare le disposizioni cogenti e prevalenti del succitato Ppr;

RISPOSTA: Gli interventi si collocano entro l'alveo attivo del torrente Orco, in prossimità di aree agricole od entro aree identificate come corridoio ecologico del torrente. Non sono presenti siti della Rete Natura 2000. Si tratta di aree caratterizzate dalla presenza di depositi sabbiosi o di vegetazione spontanea legata alla dinamica torrentizia.

Le opere in progetto, pertanto sono compatibili con le attuali destinazioni d'uso del Prg e non comportano una variazione urbanistica, fatta salva la necessità di apporre un vincolo preordinato all'esproprio per la definizione del regime di proprietà delle aree su cui saranno realizzati gli interventi.

L'acquisizione delle aree con procedura di esproprio si rende necessaria, infatti, per consentire il trasferimento in capo al Demanio Idrico delle proprietà private, come desunte dalla mappa catastale, ma ricadenti nella piena ordinaria del fiume Orco.

A seguito di accordi con l'Agenzia del Demanio, in data 29/10/2019, si è convenuto che la delimitazione di "area demaniale" ovvero le aree che costituiscono il demanio idrico del torrente Orco sono quelle che ricadono all'interno della piena ordinaria del fiume calcolata dal Politecnico di Torino sulla base delle indicazioni dell'Agenzia del Demanio e da consolidata giurisprudenza : *livello o portata di piena in una sezione di un corso d'acqua che, rispetto alla serie storica dei massimi livelli o delle massime portate annuali verificatisi nella stessa sezione, è uguagliata o superata nel 75% dei casi*". ("Memorie e studi idrografici", Ministero LL.PP., Consiglio Superiore LL.PP., Servizio Idrografico, 1928 – sentenza Corte Suprema a Sezioni Unite del 30.6.1999, n. 361).

La procedura di esproprio richiederà inevitabilmente la previsione di una variante urbanistica per ciascun Comune interessato **per l'apposizione del vincolo preordinato di esproprio**, come prescritto dall'art 8 comma 1 lettera a) DPR 327/01 "Il decreto di esproprio può essere emanato qualora: l'opera da realizzare sia prevista nello strumento urbanistico generale, o in un atto di natura ed efficacia equivalente, e sul bene da espropriare sia stato apposto il vincolo preordinato all'esproprio" e art 10 comma 2: "Il vincolo può essere altresì disposto, dandosene espressamente atto, con il ricorso alla variante semplificata al piano urbanistico da realizzare").

La variante urbanistica sarà quindi necessaria unicamente per il trasferimento delle proprietà private ove sarà necessario realizzare i canali e non per variazioni di destinazioni d'uso o di adeguamento al PRAE.

Per poter avviare la variante urbanistica sono state individuate tre soluzioni alternative:

- variante semplificata per la realizzazione di opere pubblica o di pubblica utilità con indizione di conferenza di servizi (art 17 bis comma 6 primo paragrafo LR 56/77 e articolo 10, comma 1 DPR 327/01)

- variante semplificata con approvazione del progetto preliminare o definitivo da parte del consiglio comunale (art 17 bis comma 6 secondo paragrafo LR 56/77 e articolo 19, commi 2 e seguenti DPR 327/01)
- varianti parziali al PRG (art 17 comma 5 LR 56/77).

Trattasi, infine, di interventi coerenti con le indicazioni del Ppr, il quale, per le fasce allargate e ristrette del sistema idrografico di cui all'art. 14, persegue obiettivi di qualità paesaggistica *“in coerenza con la pianificazione di settore volta alla razionale utilizzazione e gestione delle risorse idriche, alla tutela della qualità delle acque e alla prevenzione dell'inquinamento, alla garanzia del deflusso minimo vitale e alla sicurezza idraulica, nonché al mantenimento o, ove possibile, al ripristino dell'assetto ecosistemico dei corsi d'acqua”*.

Le opere di manutenzione straordinaria previste entro l'alveo del torrente sono progettate al fine di garantire *“la conservazione dei complessi vegetazionali naturali caratterizzanti il corso d'acqua, anche mediante misure mitigative e compensative atte alla ricostituzione della continuità ambientale del fiume e al miglioramento delle sue caratteristiche paesaggistiche e naturalistico-ecologiche, tenendo conto altresì degli indirizzi predisposti dall'Autorità di bacino del Po in attuazione del PAI e di quelli contenuti nella Direttiva Quadro Acque e nella Direttiva Alluvioni”*(co.11 art. 14 NdA PPR, prescrizioni);

16. Considerato che il progetto rientra nella casistica di cui al comma 6, art. 1 della L.R. 23/2016 prevedendo movimenti terra sia su terreni demaniali che su particelle private, lo stesso dovrà essere assoggettato alle procedure autorizzative della legge medesima;

RISPOSTA: Considerato che il progetto rientra nella casistica di cui al comma 6, art. 1 della L.R. 23/2016 prevedendo movimenti terra sia su terreni demaniali che su particelle private, lo stesso dovrà essere assoggettato alle procedure autorizzative della legge medesima;

Si allega la risposta della Regione Piemonte - Settore Polizia Mineraria, Cave e Miniere, alla domanda posta dalla Città Metropolitana di Torino.

Oggetto: Progettazione Primo Programma Operativo del Piano Sedimenti nel Torrente Orco – Comuni vari. CUP J76C18000260002. Richiesta chiarimenti ai sensi della l.r. 23/2016 – Riscontro

Con riferimento a quanto in oggetto si riscontra in merito agli adempimenti in materia di cave nel più ampio ambito dei compiti della Pubblica Amministrazione d'indizione di gare di appalto per la realizzazione di opere pubbliche e per l'acquisizione di beni o servizi da privati.

Considerate in particolare le caratteristiche del progetto in oggetto e la necessità di assoggettare lo stesso anche ai disposti della l.r. 23/2016, si individua nel bando pubblico il momento in cui, tra i criteri di ammissione richiesti, deve essere inserito anche il possesso dei requisiti previsti dalla normativa regionale in materia di cave.



Sarà onere del vincitore, ossia dell'impresa che meglio si allinea ai requisiti dell'aggiudicazione, provvedere successivamente all'ottenimento dell'autorizzazione ai sensi della l.r. 23/2016.

Nel rimanere a disposizione per gli ulteriori chiarimenti che dovessero rendersi necessari, si inviano distinti saluti.

*Il Responsabile del Settore
Dott. Edoardo Guerrini*

- 17. Siano prodotti gli elaborati utili ad acquisire maggiori dettagli sugli impatti potenziali e sulle misure mitigative previste per stabilire se l'intervento debba essere assoggettato a Valutazione di incidenza, ai sensi dell'art. 43 della L.R. 19/2009 e s.m.i., giusto come richiesto dall'Ente di gestione delle Aree protette del Po torinese, data la presenza a valle dell'intervento di un'area classificata come Zona Speciale di Conservazione (ZSC) e Zona di Protezione Speciale (ZPS) IT1110018 "Confluenza Po-Orco-Malone";*

RISPOSTA: Si veda lo studio di fattibilità ambientale.

- 18. siano prodotti gli elaborati utili a verificare la sussistenza di interferenze degli interventi in progetto con l'infrastruttura e l'esercizio ferroviario, richiedendo all'occorrenza apposita autorizzazione ad RFI ai sensi dell'art. 58 del DPR 753/1980 a livello di progettazione esecutiva.*

RISPOSTA: Dagli studi sin qui eseguiti, si può dedurre che gli interventi in Comune di Chivasso siano tesi proprio a fare sì che il torrente continui a mantenere il suo alveo ramificato attivo in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario limitandone le possibilità di divagazione.

Vista la distanza degli scavi per il canale dall'attraversamento ferroviario, si esclude ogni possibile interferenza tra scavi e struttura del rilevato ferroviario.