



Presidenza
del Consiglio dei Ministri

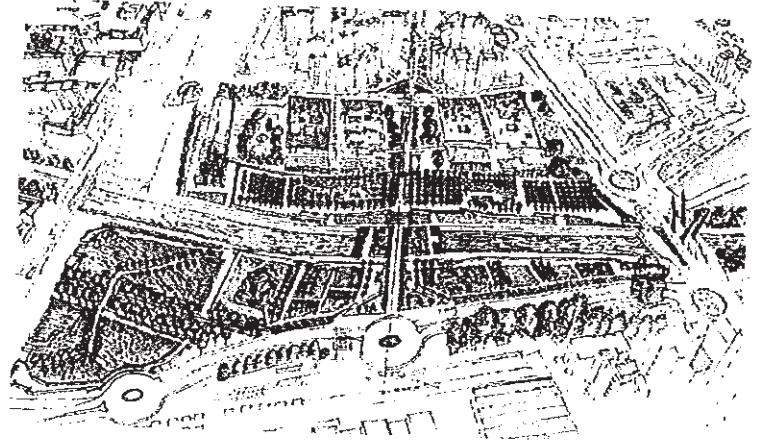


CITTA' DI TORINO

DIREZIONE AMBIENTE VERDE E PROTEZIONE CIVILE
AREA VERDE
SERVIZIO GESTIONE GRANDI OPERE

ALLEGATO N. 16
DELIBERA N. MECC.
2018-01956/117

AxTO



azioni	SPAZIO PUBBLICO
per	CASA
e	LAVORO E COMMERCIO
periferie	SCUOLA E CULTURA
torinesi	COMUNITA' E PARTECIPAZIONE

azione 1.21

Parco Dora - Spina 3 . Lotto Valdocco sub. B

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDRAULICA

E/12 - 0.1

data revisione
febbraio 2018

GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

dott. for. Ezio DE MAGISTRIS (Coordinatore)

Visto: [Signature]

Codice LL.PP: 4438

CUP: C17B16000110004

CIG:

Ordine di servizio del 24/03/2017 prot. n. 4065 del Dirigente Arch. Sbrino PALERMO

COORDINATORE SICUREZZA
IN FASE DI PROGETTAZIONE
p.a. Giovanni BESUSSO

RESPONSABILE DELL'ELABORATO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO - DIRIGENTE SERVIZIO TECNICO
Arch. Sbrino PALERMO

**PROGETTO DEFINITIVO DI DEMOLIZIONE DEL
TRATTO DI COPERTURA DELLA DORA RIPARIA
COMPRESO TRA VIA LIVORNO E IL PONTE DELLA
LINEA FERROVIARIA TORINO-MILANO NEL
COMUNE DI TORINO**

Studio idraulico

Relazione e allegati

3320 - 0 1 - 0 0 1 0 0 . DOC 1

Hydrodata S.p.A.
via Pomba, 23
10123 Torino - Italia
Tel. +39 11 55 92 811
Fax +39 11 56 20 620
e-mail: hydrodata@hydrodata.it
sito web: www.hydrodata.it

00	LUG. 17	M.CARGNELUTTI	L.DUTTO	M.CARGNELUTTI	
REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE

INDICE

1. PREMESSA	1
2. INQUADRAMENTO IDROLOGICO	2
2.1 Portate di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni	2
2.2 Portata di piena di riferimento per la verifica delle opere provvisionali	4
3. VERIFICHE IDRAULICHE	6
3.1 Il modello idraulico utilizzato	6
3.2 Schematizzazione del modello geometrico	7
3.3 Condizioni al contorno e scabrezze	10
3.4 Verifiche idrauliche nelle condizioni attuali con portata duecentennale	11
3.5 Verifiche idrauliche nelle condizioni di progetto con portata duecentennale	16
3.6 Valutazione degli effetti degli interventi in progetto	19
3.6.1 Modifiche indotte sul profilo involuppo di piena	20
3.6.2 Riduzione della capacità di invaso dell'alveo	22
3.6.3 Interazioni con gli attraversamenti esistenti e condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena	23
3.7 Verifica idraulica delle opere provvisionali con portata TR 2 anni	25
4. CONCLUSIONI	27

ALLEGATO 1 – Descrizione del codice di calcolo MIKE 11 HD

1. PREMESSA

Il progetto definitivo di demolizione della soletta di copertura della Dora Riparia nel tratto compreso tra via Livorno e il ponte della linea ferroviaria Torino-Milano prevedeva il mantenimento dei due setti in calcestruzzo presenti in alveo; la variante al progetto elaborata dal Comune di Torino prevede invece una demolizione totale dei setti ad eccezione del tratto centrale, di circa 55-60 m in cui rimarrebbero a supporto dell'impalcato originario, mantenuto al fine di creare un corridoio ecologico di collegamento delle due sponde del fiume.

L'AIPO ha richiesto di conseguenza la redazione di uno studio idraulico per verificare gli effetti locali e lungo il tratto di valle di questa nuova soluzione, che, comportando l'eliminazione dei setti, consente di ampliare ulteriormente la sezione idraulica del fiume.

Ai fini dell'analisi del funzionamento idraulico del sistema fluviale nel tratto di interesse, si è pertanto redatto il presente studio idraulico di dettaglio che richiama i principali punti previsti dalla Direttiva 2/99 dell'Autorità di Bacino del Fiume Po "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B".

La Direttiva propone un approccio di studio completo ed esauriente sia in fase di supporto alla progettazione di una nuova opera, sia in fase di verifica di una esistente, risultando quindi particolarmente adeguata per le finalità del presente studio.

In particolare, in accordo alla Direttiva, il presente studio idraulico ha valutato gli effetti degli interventi in progetto in termini di:

- modifiche indotte sul profilo involuppo di piena;
- riduzione della capacità di invaso dell'alveo;
- interazioni con gli attraversamenti esistenti;
- condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

Le analisi idrauliche sono state condotte mediante la messa a punto ed applicazione di un modello numerico monodimensionale a fondo fisso in grado di valutare in dettaglio sia le condizioni di deflusso di una piena con tempo di ritorno 200 anni nel tratto in esame fino alla confluenza in Po nella sua configurazione attuale che gli effetti indotti in seguito alle ipotesi di demolizione previste.

Lo studio è stato in particolare articolato nelle seguenti attività:

- predisposizione della geometria del modello (topografia e batimetria);
- messa a punto del modello numerico;
- verifica idraulica nella configurazione attuale del tratto tombato;
- verifica degli effetti indotti dalle ipotesi di progetto.

Con il modello è stata inoltre condotta una simulazione con portata di piena con tempo di ritorno 2 anni finalizzata a definire le quote di sommità degli arginelli provvisori in materiale sciolto da realizzare in fase di cantiere allo scopo di consentire la deviazione della corrente in condizioni di magra del corso d'acqua e l'accesso in alveo da parte dei mezzi meccanici.

2. INQUADRAMENTO IDROLOGICO

2.1 Portate di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni

Le portate di progetto di assegnato tempo di ritorno della Dora Riparia nel suo tratto terminale di attraversamento dell'abitato della città di Torino e di confluenza in Po derivano dallo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Dora Riparia" redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nel 2003 (vedi Tabella 1) e dal successivo approfondimento della stessa Autorità nel 2006 (Variante del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – PAI)(vedi Tabella 2).

SEZIONE	TR=2	TR=20	TR=50	TR=100	TR=200	T=500
S.Antonino di Susa	94	289	409	525	671	919
Confluenza in Po	107	330	467	600	766	1049

Tabella 1 - Portate al colmo (in m³/s) con prefissato tempo di ritorno (Fonte: Studio AdBPo 2003).

LOCALITA'	PORTATA STATO DI FATTO (m ³ /s)	PORTATA DI PROGETTO (m ³ /s)
Borgone di Susa	530	530
Rosta (a monte area laminazione)	680	690
Alpignano (a valle area laminazione)	650	530
Torino (valle Ponte Regina Margherita)	630	530

Tabella 2 - Portate al colmo con tempo di ritorno 200 anni (Fonte: Variante PAI AdBPo 2006).

In particolare per le verifiche idrauliche condotte nel presente studio in moto permanente si è fatto riferimento ai seguenti due eventi di piena con tempo di ritorno 200 anni:

- scenario in assenza di casce di laminazione $Q = 630$ m³/s;
- scenario in presenza di casce di laminazione $Q = 530$ m³/s.

Al fine di condurre alcune analisi idrauliche con modello numerico anche in moto vario sono stati definiti successivamente due idrogrammi di piena di riferimento da associare alle portate al colmo sopra definite. Affinché tali idrogrammi avessero una forma e pertanto un volume sufficientemente gravoso e realistico, per la loro caratterizzazione si è partiti dall'idrogramma di piena osservato nel corso del recente evento di piena del novembre 2016 a Torino in prossimità della foce in Po, all'idrometro di Ponte Washington della Regione Piemonte (vedi Figura 1).

Nella Figura 2 sono riportati i due idrogrammi di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni ottenuti a partire dall'idrogramma di piena storico, opportunamente regolarizzato e scalato in modo da ottenere ai colmi le portate di piena di 630 e 530 m³/s.

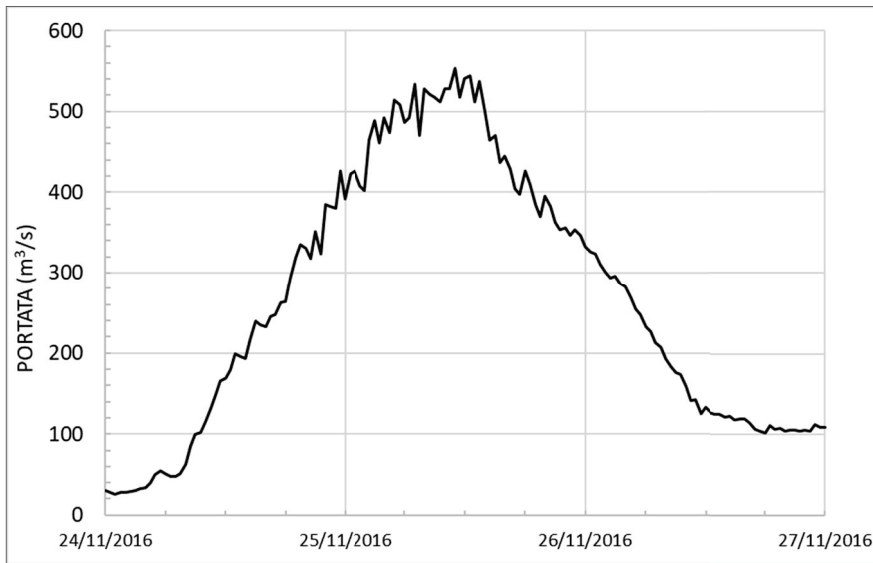


Figura 1 – Idrogramma di portata misurato alla stazione idrometrica di Torino – Ponte Washington nel novembre 2016.

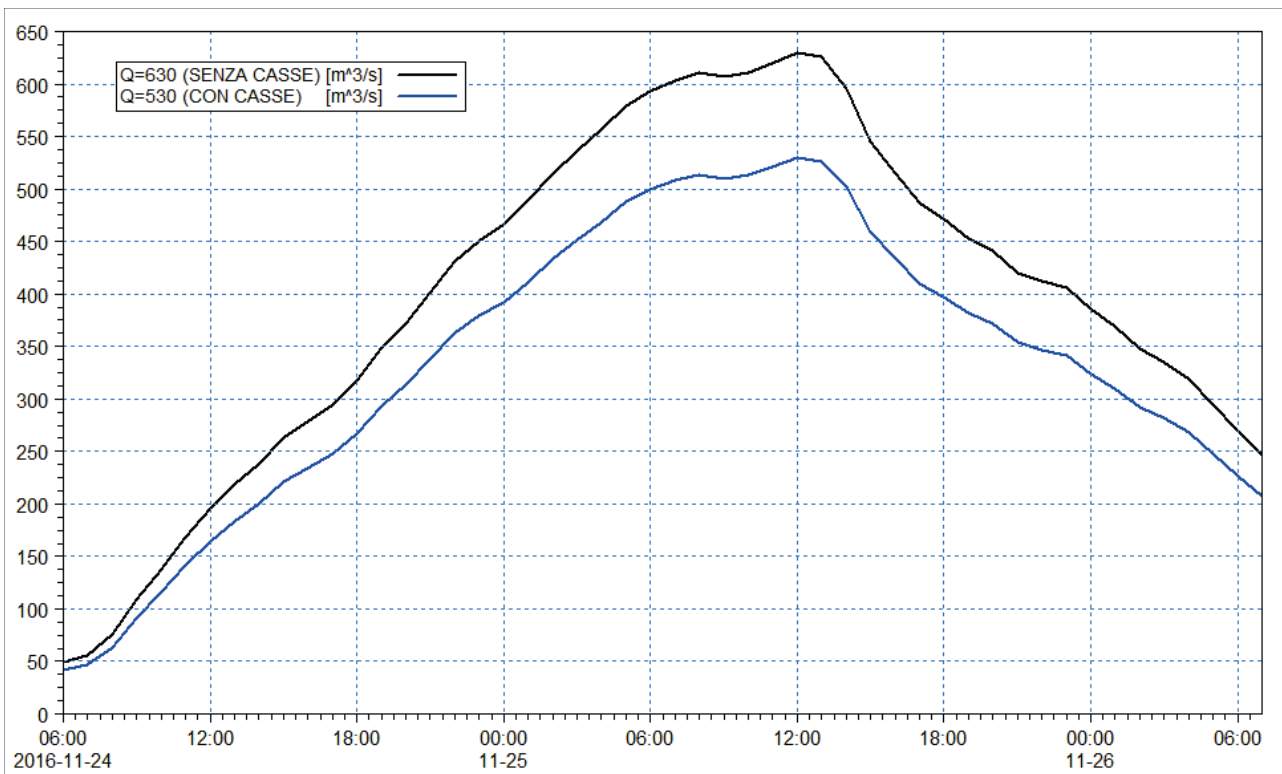


Figura 2 – Idrogrammi di portata di riferimento con tempo di ritorno 200 anni.

2.2 Portata di piena di riferimento per la verifica delle opere provvisionali

In merito alle opere provvisionali previste in alveo per l'esecuzione delle demolizioni della copertura e dei setti del tratto tombato (pertanto ricadenti in fascia A), si è proceduto alla verifica secondo quanto disposto dalla Direttiva 2/99 dell'Autorità di Bacino del fiume Po.

Per quanto concerne la determinazione del tempo di ritorno per la verifica idraulica in presenza delle opere provvisionali, necessarie per accedere in alveo con i mezzi meccanici, la Direttiva 2/99 dell'Autorità di Bacino del fiume Po (deliberazione 11 maggio 1999) stabilisce al paragrafo 4-8.3 – Condizioni fisiche di riferimento – che per le “fasi significative” di costruzione dell'opera, tenendo conto delle opere provvisionali eventualmente inserite, qualora comportino interazioni più severe con le condizioni di deflusso in piena rispetto alla condizione di opera realizzata [...] che il tempo di ritorno della piena da assumere per le valutazioni è quello la cui probabilità di essere raggiunta o superata una volta nel periodo temporale corrispondente alle fasi di costruzione non è superiore alla probabilità che ha la portata di progetto di essere raggiunta o superata una volta nel periodo di vita dell'opera.

Tale definizione richiama il concetto di “rischio idraulico”, cioè la probabilità composta di non superamento che un determinato evento caratterizzato da tempo di ritorno assegnato, T, si manifesti nel corso di un periodo temporale prefissato, N.

Lo sviluppo della formulazione di tempo di ritorno, associato alla probabilità composta per la quale l'evento si manifesti all'interno dell'orizzonte temporale stabilito, porta alla seguente formulazione del rischio idraulico:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N$$

nella quale:

R = rischio idraulico, inteso come probabilità di non superamento;

T = tempo di ritorno dell'evento di riferimento (anni);

N = orizzonte temporale di riferimento (anni).

L'assunto della Direttiva sopraccitata può essere interpretato nel modo seguente: il rischio idraulico associato all'interferenza prodotta dalle opere provvisionali nel periodo di installazione del cantiere (periodo di costruzione dell'opera) deve essere uguale al rischio idraulico che l'evento di progetto si manifesti nel corso della vita dell'opera.

Stabilite quindi le seguenti variabili:

T = tempo di ritorno di progetto (anni);

V = durata dell'opera (anni);

c = durata di costruzione (anni);

T_{pr} = tempo di ritorno per la verifica delle opere provvisionali (anni);

l'assunto precedente si trasforma nella seguente eguaglianza:

$$1 - \left(1 - \frac{1}{T_{pr}}\right)^c = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^v$$

dalla quale si ricava T_{pr}:

$$T_{pr} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{\frac{V}{c}}}$$

Nel caso in esame si sono assunti i seguenti valori di riferimento:

- il tempo di ritorno (T) della piena utilizzata per il dimensionamento/la verifica dell'opera è di **200 anni**;
- la vita dell'opera (V) è stata assunta pari a **100 anni**;
- il tempo di installazione del cantiere (c) è variabile in funzione degli effettivi tempi di lavorazione e si considera che possa interessare un periodo complessivo non superiore a **6 mesi**.

Utilizzando tali valori, facendo variare V tra 30 e 130 anni (con passo di 10 anni) e assumendo per (c) valori di 1, 2 e 3 anni, sono state costruite le curve di variazione di T_{pr} riportate nella seguente Figura 3.

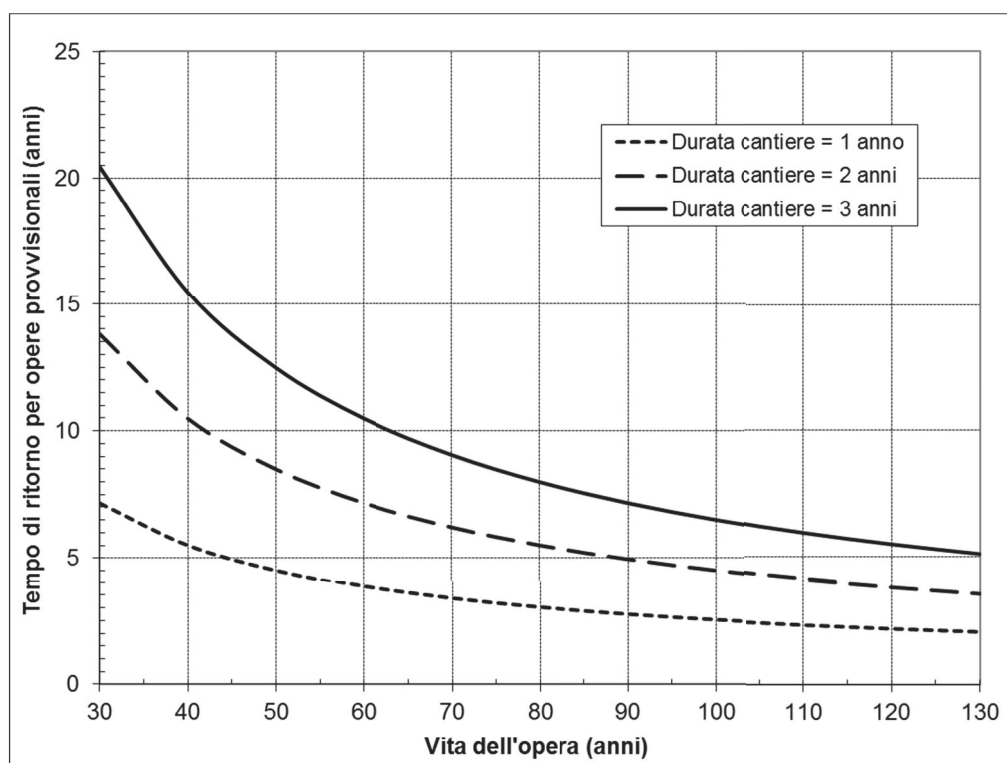


Figura 3 - Variazione del tempo di ritorno per la verifica delle opere provvisionali in funzione della vita dell'opera (V) e del tempo di costruzione (c) per un tempo di ritorno di progetto di 200 anni.

Come si può notare dal grafico su riportato all'aumentare della vita dell'opera ed al diminuire del tempo di costruzione si riduce il tempo di ritorno richiesto per la verifica delle opere provvisionali, coerentemente con la struttura delle formulazioni statistiche utilizzate.

Considerando una vita utile dell'opera pari a 100 anni ed assumendo un tempo relativo alla presenza del cantiere in alveo di un massimo di 6 mesi, risulta che il tempo di ritorno da assumere per la verifica delle opere provvisionali è inferiore a 2 anni; nelle verifiche idrauliche si è assunto, a titolo cautelativo, un tempo di ritorno di verifica pari a **2 anni**.

La portata con tempo di ritorno 2 anni risulta pari a **107 m³/s** (vedi Tabella 1).

Nel caso in esame le opere provvisionali (arginelli in materiale sciolto) devono essere completamente asportate da un evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 2 anni.

3. VERIFICHE IDRAULICHE

Per la caratterizzazione geometrica dell'alveo della Dora Riparia sono state utilizzate le sezioni trasversali di rilievo più recenti disponibili, tratte dai seguenti due principali studi pregressi:

- Autorità di Bacino del Fiume Po - Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po – 2003;
- Fintecna Immobiliare – Demolizione del tratto di copertura della Dora Riparia compreso tra via Livorno e il ponte della linea ferroviaria Torino-Milano nel Comune di Torino – Relazione idraulica dello studio Anselmo associati - 2013.

A partire da tali informazioni è stato costruito un modello idraulico monodimensionale, basato sul codice di calcolo MIKE 11 del DHI che risolve le equazioni del moto di de Saint-Venant come descritto nel seguito.

Con il modello si è proceduto preliminarmente alla verifica idraulica relativa alla configurazione geometrica attuale, consentendo di analizzare il comportamento idrodinamico della Dora Riparia nel tratto in esame, di confrontare il profilo di piena in sviluppo con quello degli studi pregressi e di definire un termine di riferimento e confronto per le successive analisi degli effetti degli interventi in progetto.

A parità di condizioni al contorno si è proceduto successivamente alla verifica idraulica dello scenario di progetto, ai fini di quantificarne gli effetti indotti sia localmente nel tratto in esame che estesamente nel tratto di valle.

I risultati delle analisi hanno fornito quindi, come descritto nel seguito, utili indicazioni sulla reale efficacia degli interventi ipotizzati nei confronti delle condizioni di sicurezza idraulica in caso di piena sia del tratto attualmente coperto che in generale di tutto il tratto fluviale a monte-valle di esso, consentendo inoltre la verifica dei franchi di sicurezza disponibili.

3.1 Il modello idraulico utilizzato

Lo studio idraulico è stato eseguito mediante l'applicazione del codice di calcolo MIKE 11 del DHI del quale in allegato 1 viene fornita una descrizione di dettaglio.

Il modello idrodinamico simula il deflusso in moto stazionario e non, secondo schematizzazione monodimensionale o quasi 2D, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali, descrivibile attraverso la soluzione delle equazioni del moto di de Saint-Venant, con la messa in conto principalmente delle seguenti condizioni:

- portate laterali,
- flusso libero o rigurgitato,
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi,
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate,
- aree d'espansione,

- nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

Le equazioni generali di de Saint-Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e H alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico H, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).

La soluzione del sistema di equazioni di de Saint-Venant permette di rappresentare, in dettaglio, tutte le trasformazioni che l'onda di piena subisce nella traslazione da monte verso valle per effetto della laminazione naturale, dell'interferenza con le opere idrauliche, delle esondazioni al di fuori dell'alveo attivo, della confluenza di tributari laterali, del contributo distribuito dei bacini versanti ecc.

3.2 Schematizzazione del modello geometrico

La geometria del fiume Dora Riparia è stata descritta sulla base di due diversi rilievi topografici costituiti da:

- sezioni trasversali relative all'anno 2003 dell'AdBPO;
- sezioni trasversali desunte dallo studio "Anselmo associati" per il tratto tombato e ponti prossimi ad esso.

Il modello è costituito complessivamente da 84 sezioni trasversali, che rappresentano la geometria della Dora Riparia, a partire da monte del ponte di Corso Potenza (Sez. 012) fino alla confluenza in Po (Sez. 001) per un'estensione di circa 7740 m.

Nella Figura 4 è riportata una corografia del modello numerico nella quale sono rappresentate l'asta della Dora Riparia e le sezioni trasversali di calcolo; come base cartografica è stata utilizzata la CTR 1:10.000 in coordinate UTM 32 WGS84 che purtroppo non risulta aggiornata nell'area delle ex-ferriere FIAT.

Nella Tabella 3 si riporta l'elenco delle sezioni inserite nel modello idrodinamico, con codice identificativo, progressiva longitudinale e fonte del rilievo. Nel modello sono state ovviamente inserite anche le geometrie degli attraversamenti (ponti e passerelle) interferenti con l'asta della Dora Riparia, elencati nella stessa tabella.

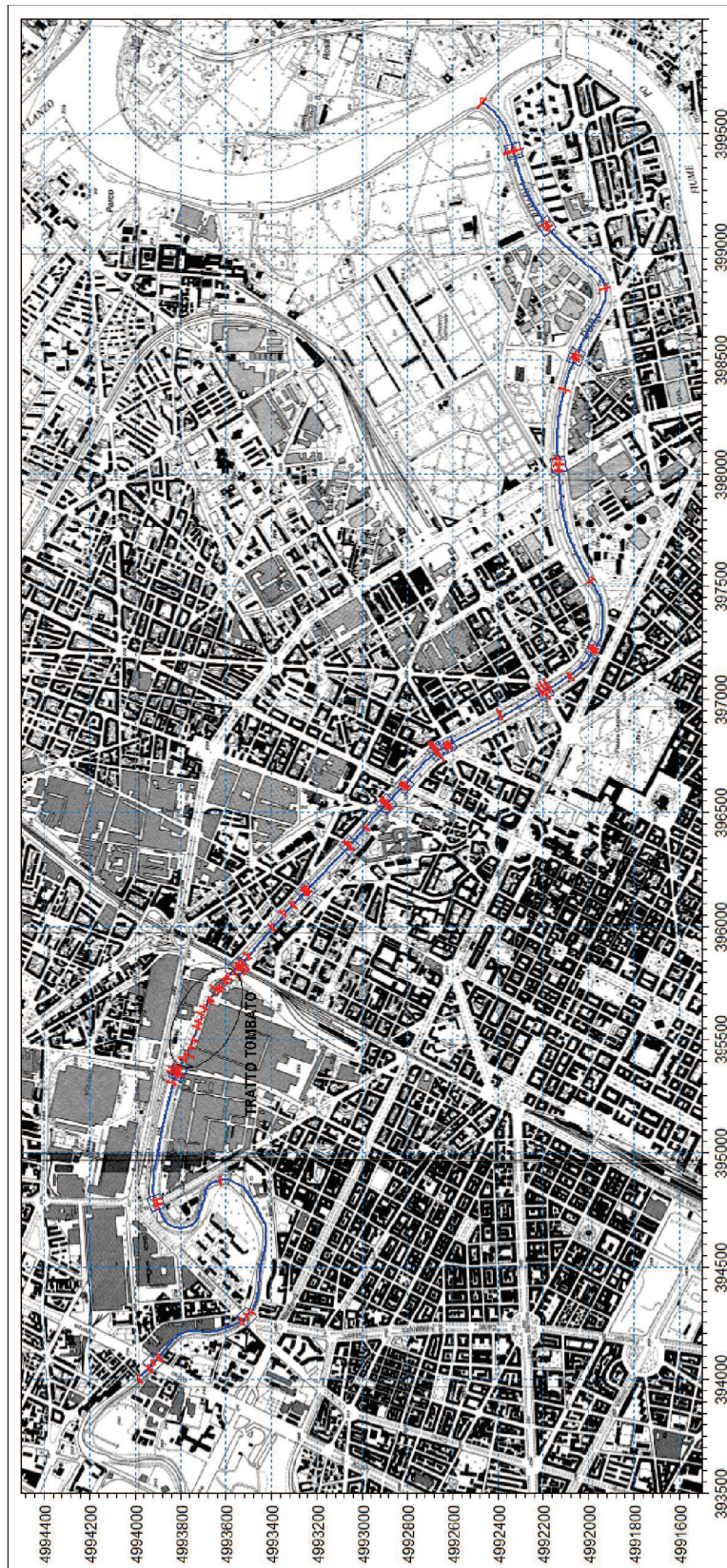


Figura 4 - Corografia del modello numerico.

FORNITORE	ID Sezione	Manufatti	PROGR.
Studio AdBPO	SEZ-012		115234,34
Studio AdBPO	SEZ-011-1P-m		115301,84
Studio AdBPO	SEZ-011-1P-p	Ponte corso Potenza	115332,84
Studio AdBPO	SEZ-011-1P-v		115363,84
Studio AdBPO	SEZ-010-3P-m		115791,89
Studio AdBPO	SEZ-010-3P	Ponte Candido Ramello	115819,89
Studio AdBPO	SEZ-010-3P-v		115847,89
Studio AdBPO	SEZ-010-1		116550,00
Studio AdBPO	SEZ-009-1P-m		117006,27
Studio AdBPO	SEZ-009-1P	Ponte corso Umbria	117018,27
Studio AdBPO	SEZ-009-1P-v		117030,27
Studio Anselmo associati	318.20-ANS	Nuovo Ponte via Livorno	117558,92
Studio Anselmo associati	317-ANS-m		117598,66
Studio Anselmo associati	317-ANS	Vecchio Ponte via Livorno	117607,16
Studio Anselmo associati	317-ANS-v		117615,66
Studio Anselmo associati	315.5-ANS		117619,78
Studio Anselmo associati	315.4-ANS	Inizio tratto tombato	117635,12
Studio Anselmo associati	315.1-ANS		117674,80
Studio Anselmo associati	314.9-ANS		117699,68
Studio Anselmo associati	314.5-ANS		117737,82
Studio Anselmo associati	314.3-ANS		117773,22
Studio Anselmo associati	313.8-ANS		117833,62
Studio Anselmo associati	313.7-ANS		117860,62
Studio Anselmo associati	313.6-ANS		117894,42
Studio Anselmo associati	313.4-ANS		117927,68
Studio Anselmo associati	313.2-ANS		117962,08
Studio Anselmo associati	313-ANS		117972,12
Studio Anselmo associati	312.9-ANS		118020,28
Studio Anselmo associati	312.7-ANS		118031,92
Studio Anselmo associati	311-ANS		118044,10
Studio Anselmo associati	310.8-ANS	Fine tratto tombato	118076,90
Studio Anselmo associati	310.7-ANS		118098,06
Studio Anselmo associati	310.6-ANS	Nuovo Ponte corso Principe Oddone	118133,52
Studio Anselmo associati	310.1-ANS-m		118158,44
Studio Anselmo associati	310.1-ANS-p	Ponte Re Alberto del Belgio	118166,44
Studio Anselmo associati	310.1-ANS-v		118174,44
Studio Anselmo associati	310-ANS		118186,96
Studio Anselmo associati	305-ANS		118226,12
Studio Anselmo associati	300-ANS		118391,18
Studio AdBPO	SEZ-007		118470,00
Studio Anselmo associati	295-ANS		118527,70
Studio AdBPO	SEZ-006-2P-m		118603,42
Studio AdBPO	SEZ-006-2P-p	Ponte via Francesco Cigna	118611,92
Studio AdBPO	SEZ-006-2P-v		118620,42
Studio AdBPO	SEZ-006-P1-m		118880,87
Studio AdBPO	SEZ-006-P1	Passerella via Mondovi	118884,37
Studio AdBPO	SEZ-006-P1-v		118887,87
Studio AdBPO	SEZ-006		118992,70
Studio AdBPO	SEZ-005-2P-m		119123,45
Studio AdBPO	SEZ-005-2P	Ponte tram via Borgo Dora	119130,95
Studio AdBPO	SEZ-005-2P-v		119138,45
Studio AdBPO	SEZ-005-1P-m		119239,00

FORNITORE	ID Sezione	Manufatti	PROGR.
Studio AdBPO	SEZ-005-1P	Ponte Mosca	119246,50
Studio AdBPO	SEZ-005-1P-v		119254,00
Studio AdBPO	SEZ-004-4P-m		119450,68
Studio AdBPO	SEZ-004-4P	Passerella via Aosta	119454,68
Studio AdBPO	SEZ-004-4P-v		119458,68
Studio AdBPO	SEZ-004-3P-m		119501,38
Studio AdBPO	SEZ-004-3P	Ponte via Bologna	119509,88
Studio AdBPO	SEZ-004-3P-v		119518,38
Studio AdBPO	SEZ-004-2		119773,17
Studio AdBPO	SEZ-004-1P-m		119979,79
Studio AdBPO	SEZ-004-1P	Ponte corso Regio Parco	119998,29
Studio AdBPO	SEZ-004-1P-v		120016,79
Studio AdBPO	SEZ-004		120124,00
Studio AdBPO	SEZ-003-2P-m		120273,98
Studio AdBPO	SEZ-003-2P	Ponte Rossini	120282,48
Studio AdBPO	SEZ-003-2P-v		120290,98
Studio AdBPO	SEZ-003-1		120605,16
Studio AdBPO	SEZ-002-5P-m		121123,25
Studio AdBPO	SEZ-002-5P	Ponte corso Tortona	121146,75
Studio AdBPO	SEZ-002-5P-v		121170,25
Studio AdBPO	SEZ-002-4		121478,42
Studio AdBPO	SEZ-002-3P-m		121621,30
Studio AdBPO	SEZ-002-3P	Ponte Emanuele Filiberto	121629,80
Studio AdBPO	SEZ-002-3P-v		121638,30
Studio AdBPO	SEZ-002-2		121962,34
Studio AdBPO	SEZ-002-1P-m		122334,41
Studio AdBPO	SEZ-002-1P	Ponte Washington	122345,41
Studio AdBPO	SEZ-002		122360,00
Studio AdBPO	SEZ-001-1P-m		122704,51
Studio AdBPO	SEZ-001-1P	Passerella ciclopedonale corso Cadore	122707,51
Studio AdBPO	SEZ-001-1P-v		122710,51
Studio AdBPO	SEZ-001		122970,00

Tabella 3 - Schema idrografico del modello numerico di simulazione.

3.3 Condizioni al contorno e scabrezze

Per tutti gli scenari di piena simulati si sono assunte le seguenti condizioni al contorno:

- condizione al contorno di monte: portata costante di assegnato tempo di ritorno TR (200 o 2 anni) in ingresso a monte del tratto in esame (sez.012);
- condizione al contorno di valle: livello idrico in Po (sez.001).

Sono stati considerati i seguenti differenti scenari di verifica sia nella situazione attuale che in quella di progetto:

- SCENARIO CS_530: scenario attuale con setti (CS) e copertura - portata TR200 = 530 m³/s;
- SCENARIO CS_630: scenario attuale con setti (CS) e copertura - portata TR200 = 630 m³/s;
- SCENARIO SS_530: scenario di progetto senza setti (SS) - portata TR200 = 530 m³/s;
- SCENARIO SS_630: scenario di progetto senza setti (SS) - portata TR200 = 630 m³/s;
- SCENARIO CS_107: scenario attuale con setti (CS) e copertura - portata TR2 = 107 m³/s.

Le simulazioni dei primi 4 scenari, oltre che in condizioni di moto permanente, sono state eseguite anche in moto vario impiegando gli idrogrammi di piena rappresentati nella Figura 2.

Come condizione al contorno di valle, per tutte le simulazioni, si è considerata una quota di pelo libero costante in Po pari a 212,41 m s.m., valore desunto dallo studio Anselmo e associati. A posteriori si è verificato che tale valore non influenza i risultati a monte di Ponte Washington.

Per la valutazione dei coefficienti di scabrezza da inserire nel modello si è fatto riferimento ai dati di letteratura e all'esperienza acquisita nel campo della modellistica idraulica. Per tutti i tratti di alveo, esistenti o in progetto, si è considerato un coefficiente di scabrezza medio cautelativo pari a $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, trattandosi di alveo fortemente canalizzato e antropizzato in tutto il suo corso cittadino.

I coefficienti delle perdite di carico concentrate in corrispondenza dei ponti sono stati calibrati in base all'esperienza, ai dati di letteratura e in modo da ottenere profili di pelo libero del tutto paragonabili a quelli dello studio Anselmo e associati nel caso dello scenario attuale.

3.4 Verifiche idrauliche nelle condizioni attuali con portata duecentennale

Nella Figura 5 è rappresentato graficamente il profilo di corrente relativo allo SCENARIO CS_530 sull'intero tratto di Dora Riparia simulato, fino alla confluenza in Po.

Nella Tabella 4, in corrispondenza delle sezioni trasversali d'alveo del solo tratto di Dora Riparia di interesse, a partire da monte del ponte di via Livorno e fino a valle della passerella di via Mondovì, sono elencati i seguenti parametri caratterizzanti i valori del profilo di corrente relativo allo SCENARIO CS_530:

- ID Sez. = identificativo sezione di rilievo;
- Progr. = progressiva metrica lungo l'asta (m);
- Fondo = quota minima di fondo alveo (m s.m.);
- P.L. = quota di pelo libero (m s.m.);
- h = altezza d'acqua sul fondo (m);
- A = area della sezione liquida (m^2);
- b = larghezza del pelo libero (m);
- v = velocità media della corrente (m/s);
- Fr = numero di Froude della corrente (-);
- H = carico idraulico totale (m s.m.).

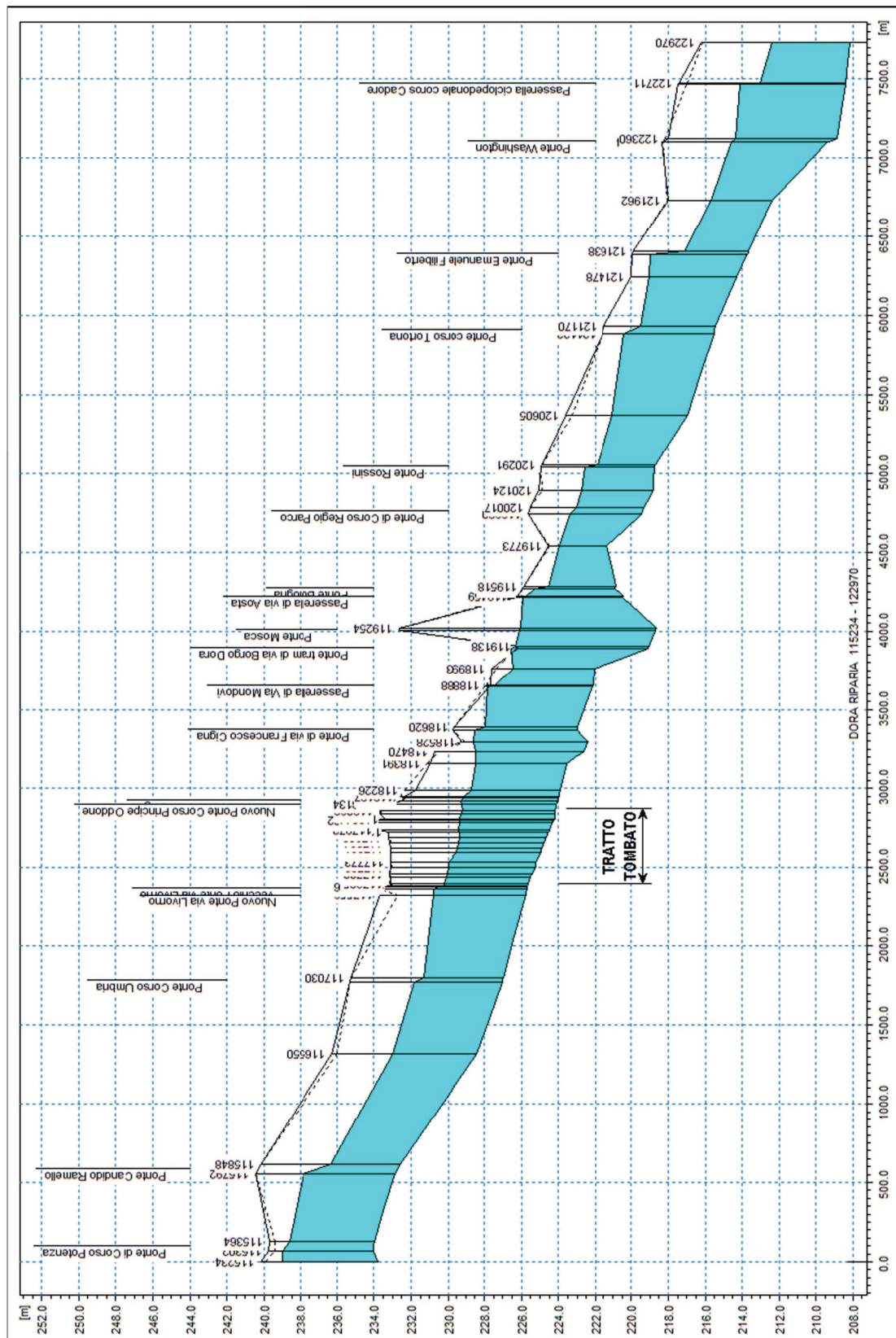


Figura 5 - Profilo longitudinale di corrente relativo allo SCENARIO CS_530 (con setti Q=530 m³/s).

ID Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	h (m)	A (m ²)	b (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)	Descrizione
318.20-ANS	117558,92	225,75	231,08	5,33	197,79	42,91	2,68	0,40	231,45	
317-ANS-m	117598,66	225,72	231,09	5,37	209,64	45,63	2,53	0,38	231,41	Nuovo Ponte via Livorno
317-ANS-v	117615,66	225,67	230,85	5,18	201,01	45,18	2,64	0,40	231,20	Vecchio Ponte via Livorno
315.5-ANS	117619,78	225,69	230,54	4,85	156,43	32,79	3,39	0,50	231,13	
315.4-ANS	117635,12	225,63	230,27	4,64	146,94	32,44	3,61	0,54	230,94	Inizio tratto tombato (attuale)
315.1-ANS	117674,80	225,52	230,13	4,61	133,95	29,73	3,96	0,60	230,92	
314.9-ANS	117699,68	225,42	230,06	4,64	135,83	29,67	3,90	0,58	230,83	
314.5-ANS	117737,82	225,25	229,94	4,69	135,28	29,34	3,92	0,58	230,72	
314.3-ANS	117773,22	225,21	229,84	4,63	137,53	30,14	3,85	0,58	230,60	
313.8-ANS	117833,62	224,96	229,70	4,74	142,59	30,81	3,72	0,55	230,40	Inizio tratto residuo setti (progetto)
313.7-ANS	117860,62	224,88	229,63	4,75	143,95	31,32	3,68	0,55	230,32	
313.6-ANS	117894,42	224,74	229,57	4,83	148,61	31,90	3,57	0,53	230,22	Fine tratto residuo setti (progetto)
313.4-ANS	117927,68	224,65	229,47	4,82	143,64	30,74	3,69	0,54	230,16	
313.2-ANS	117962,08	224,52	229,44	4,92	156,75	32,44	3,38	0,49	230,02	
313-ANS	117972,12	224,47	229,41	4,94	156,60	33,01	3,38	0,50	230,00	
312.9-ANS	118020,28	224,32	229,35	5,03	163,16	33,94	3,25	0,47	229,88	
312.7-ANS	118031,92	224,26	229,32	5,06	162,25	33,03	3,27	0,47	229,87	
311-ANS	118044,10	224,20	229,27	5,07	154,46	31,31	3,43	0,49	229,87	
310.8-ANS	118076,90	224,18	229,21	5,04	156,85	31,72	3,38	0,49	229,79	Fine tratto tombato (attuale)
310.7-ANS	118098,06	224,18	229,16	4,99	172,64	34,91	3,07	0,44	229,64	
310.6-ANS	118133,52	224,12	229,21	5,09	195,12	38,56	2,72	0,39	229,59	
310.1-ANS-m	118158,44	224,04	229,28	5,24	227,74	43,76	2,33	0,33	229,55	Nuovo Ponte Corso Principe Oddone
310.1-ANS-v	118174,44	223,99	229,11	5,12	222,67	43,75	2,38	0,34	229,40	Ponte Re Alberto del Belgio
310-ANS	118186,96	223,97	229,11	5,13	223,45	45,18	2,37	0,34	229,39	
305-ANS	118226,12	223,89	228,67	4,78	137,83	34,53	3,85	0,61	229,43	
300-ANS	118391,18	223,56	228,48	4,92	146,06	37,47	3,63	0,59	229,15	
SEZ-007	118470,00	222,64	228,47	5,83	164,11	35,22	3,23	0,48	229,00	
295-ANS	118527,70	222,42	228,57	6,15	204,92	44,20	2,59	0,38	228,91	
SEZ-006-2P-m	118603,42	223,00	228,54	5,54	209,63	44,89	2,53	0,37	228,86	
SEZ-006-2P-v	118620,42	222,95	227,98	5,03	186,79	44,73	2,84	0,44	228,39	Ponte di via Francesco Cigna
SEZ-006-P1-m	118880,87	222,18	227,84	5,66	196,27	42,56	2,70	0,40	228,21	
SEZ-006-P1-v	118887,87	222,13	227,45	5,32	182,23	41,96	2,91	0,45	227,88	Passerella di Via Mondovi
SEZ-006	118992,70	222,06	226,46	4,40	134,02	36,93	3,95	0,66	227,26	

Tabella 4 - Scenario CS_530 – parametri caratterizzanti il profilo di corrente nella situazione attuale per TR200 = 530 m³/s.

Nella Figura 6 è rappresentato invece il profilo di corrente relativo allo SCENARIO CS_530 per il solo tratto di interesse. Nella figura è evidenziato l'intradosso del tratto di copertura oggetto degli interventi di demolizione.

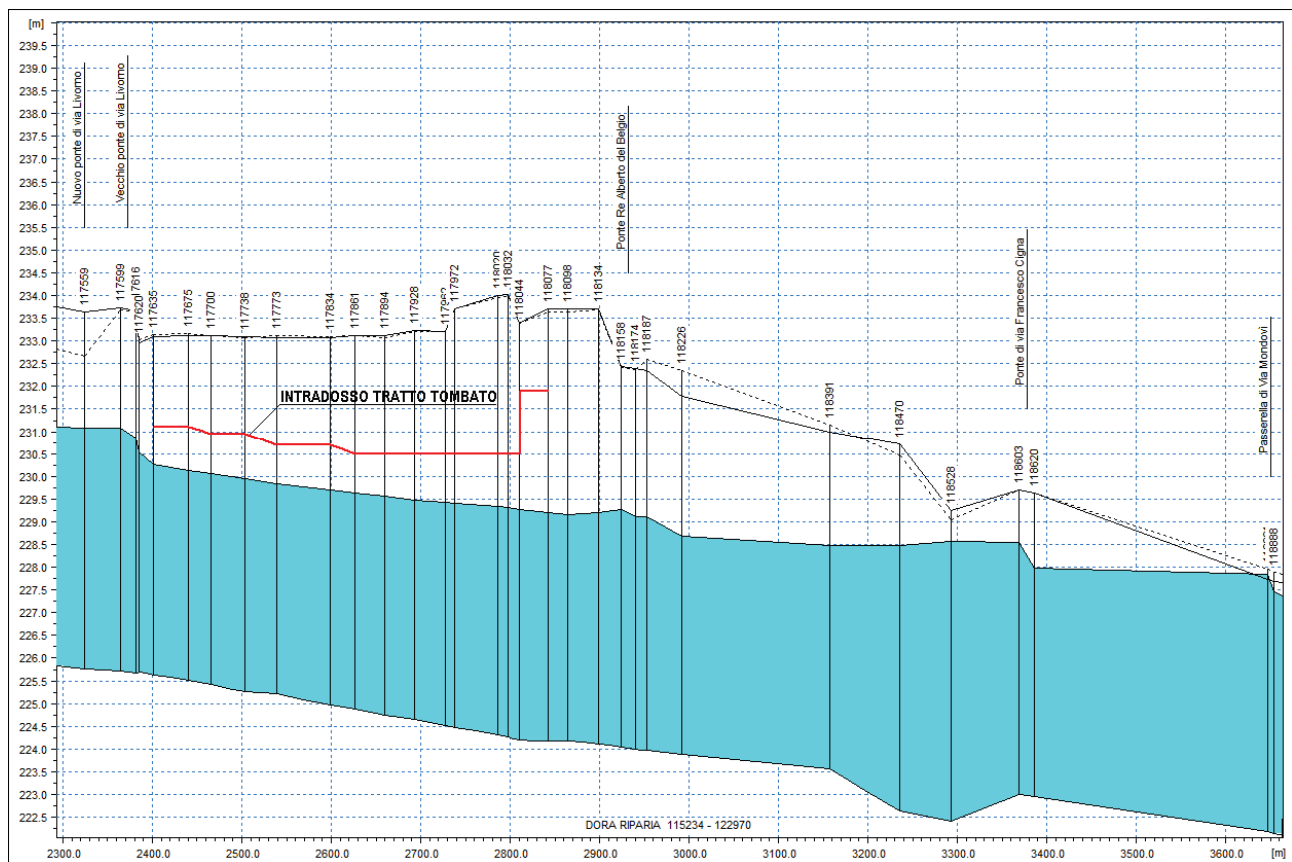


Figura 6 – Ingrandimento nel tratto di interesse del profilo longitudinale di corrente relativo allo SCENARIO CS_530 (con setti $Q=530 \text{ m}^3/\text{s}$).

Nella Tabella 5 sono invece riportati i valori del profilo di corrente relativo allo SCENARIO CS_630 nella configurazione attuale per il solo tratto di Dora Riparia di interesse, rappresentato graficamente nella Figura 7 in cui l'andamento delle quote di intradosso del tratto tombato evidenzia come il deflusso della portata di piena duecentennale “senza casse” avvenga teoricamente a “pelo libero”, con franchi di sicurezza modesti come evidenziato meglio nel paragrafo 3.6.

Le simulazioni dello stato attuale, per entrambi i valori di portata duecentennale considerati, forniscono risultati del tutto confrontabili con quelli dello studio Anselmo associati e pertanto si conferma quanto già affermato in tale studio:

- la passerella di Via Mondovì e il ponte di Via Cigna influenzano negativamente il profilo di piena nel tratto tombato; in particolare la passerella di Via Mondovì risulta sormontata mentre il deflusso attraverso il ponte di via Cigna avviene sotto battente: ne consegue un innalzamento delle quote del pelo libero di piena per effetto di rigurgito che si risente fino al ponte di Corso Principe Oddone;
- anche il ponte Alberto del Belgio determina un modesto rigurgito verso monte, il cui effetto si annulla solo allo sbocco del tratto tombato;
- le portate di piena transitano all'interno del tratto tombato con franchi di sicurezza esigui come già sopra accennato.

ID Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	h (m)	A (m ²)	b (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)	Descrizione
318.20-ANS	117558,92	225,75	231,91	6,15	233,53	43,71	2,70	0,37	232,28	
317-ANS-m	117598,66	225,72	231,92	6,20	248,47	48,00	2,54	0,36	232,25	Nuovo Ponte via Livorno
317-ANS-v	117615,66	225,67	231,62	5,95	236,51	47,14	2,66	0,38	231,98	Vecchio Ponte via Livorno
315.5-ANS	117619,78	225,69	231,28	5,59	180,77	32,93	3,49	0,47	231,90	
315.4-ANS	117635,12	225,63	231,01	5,37	170,83	32,80	3,69	0,52	231,70	Inizio tratto tombato (attuale)
315.1-ANS	117674,80	225,52	230,86	5,34	155,85	29,90	4,04	0,57	231,69	
314.9-ANS	117699,68	225,42	230,80	5,38	157,80	29,80	3,99	0,55	231,61	
314.5-ANS	117737,82	225,25	230,69	5,43	157,15	29,44	4,01	0,55	231,50	
314.3-ANS	117773,22	225,21	230,60	5,39	160,27	30,28	3,93	0,55	231,38	
313.8-ANS	117833,62	224,96	230,46	5,50	166,26	31,02	3,79	0,52	231,19	Inizio tratto residuo setti (progetto)
313.7-ANS	117860,62	224,88	230,40	5,52	168,26	31,64	3,74	0,52	231,12	
313.6-ANS	117894,42	224,74	230,35	5,61	173,60	32,24	3,63	0,50	231,02	Fine tratto residuo setti (progetto)
313.4-ANS	117927,68	224,65	230,25	5,60	167,82	31,03	3,75	0,52	230,97	
313.2-ANS	117962,08	224,52	230,23	5,71	182,47	32,61	3,45	0,47	230,83	
313-ANS	117972,12	224,47	230,21	5,74	182,99	33,41	3,44	0,47	230,81	
312.9-ANS	118020,28	224,32	230,15	5,83	190,58	34,39	3,31	0,45	230,71	
312.7-ANS	118031,92	224,26	230,13	5,87	188,82	33,28	3,34	0,45	230,70	
311-ANS	118044,10	224,20	230,07	5,87	179,58	31,53	3,51	0,47	230,70	
310.8-ANS	118076,90	224,18	230,02	5,84	182,44	31,99	3,45	0,46	230,62	Fine tratto tombato (attuale)
310.7-ANS	118098,06	224,18	229,97	5,80	200,89	34,98	3,14	0,42	230,47	
310.6-ANS	118133,52	224,12	230,03	5,91	226,60	38,63	2,78	0,37	230,42	
310.1-ANS-m	118158,44	224,04	230,10	6,06	263,70	43,85	2,39	0,31	230,39	Nuovo Ponte Corso Principe Oddone
310.1-ANS-v	118174,44	223,99	229,93	5,93	258,32	43,84	2,44	0,32	230,23	Ponte Re Alberto del Belgio
310-ANS	118186,96	223,97	229,92	5,95	261,00	46,56	2,41	0,33	230,22	
305-ANS	118226,12	223,89	229,50	5,61	177,94	38,66	3,54	0,53	230,14	
300-ANS	118391,18	223,56	229,39	5,83	189,67	39,75	3,32	0,49	229,95	
SEZ-007	118470,00	222,64	229,38	6,74	203,09	37,30	3,10	0,42	229,87	
295-ANS	118527,70	222,42	229,49	7,07	248,48	47,01	2,54	0,35	229,82	
SEZ-006-2P-m	118603,42	223,00	229,46	6,46	252,04	45,20	2,50	0,34	229,78	
SEZ-006-2P-v	118620,42	222,95	228,67	5,72	218,64	44,96	2,88	0,42	229,09	Ponte di via Francesco Cigna
SEZ-006-P1-m	118880,87	222,18	228,55	6,37	226,60	42,64	2,78	0,39	228,94	
SEZ-006-P1-v	118887,87	222,13	228,18	6,05	212,96	42,64	2,96	0,42	228,62	Passerella di Via Mondovi
SEZ-006	118992,70	222,06	227,25	5,19	172,05	38,82	3,66	0,56	227,94	

Tabella 5 - Scenario CS_630 – parametri caratterizzanti il profilo di corrente nella situazione attuale per TR200 = 630 m³/s.

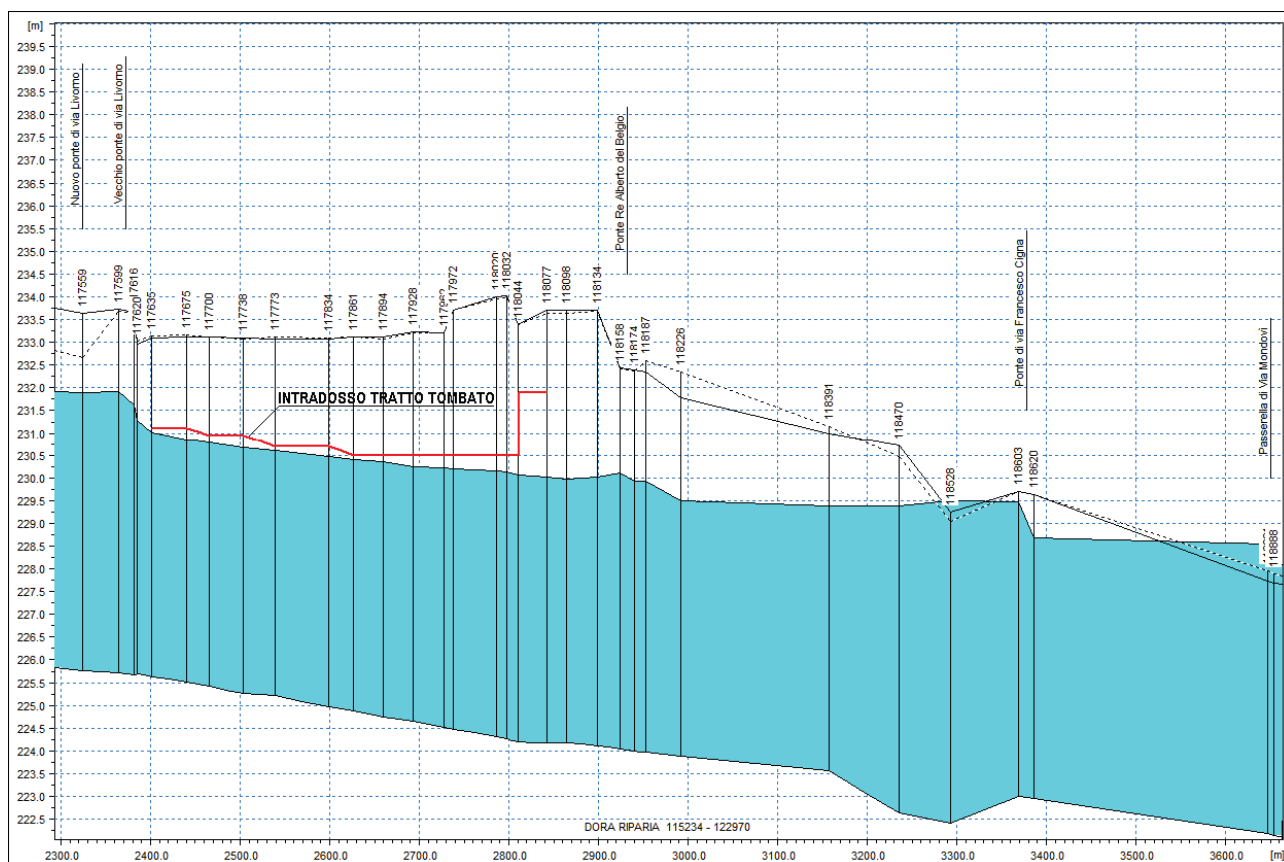


Figura 7 – Ingrandimento nel tratto di interesse del profilo longitudinale di corrente relativo allo SCENARIO CS_630 (con setti $Q=630 \text{ m}^3/\text{s}$).

3.5 Verifiche idrauliche nelle condizioni di progetto con portata duecentennale

Nella Tabella 6 e nella Figura 8 sono presentati i risultati della simulazione dello SCENARIO SS_530 nella configurazione di progetto mentre nella Tabella 7 Figura 8 – Ingrandimento nel tratto di interesse del profilo longitudinale di corrente relativo allo SCENARIO SS_530 (senza setti $Q=530 \text{ m}^3/\text{s}$).

e nella Figura 9 sono presentati i risultati della simulazione dello SCENARIO SS_630. In entrambe le figure viene evidenziato l'intradosso del tratto di copertura che non viene demolito al fine di creare un corridoio ecologico di collegamento delle due sponde del fiume.

ID Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	h (m)	A (m^2)	b (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)	Descrizione
318.20-ANS	117558,92	225,75	230,77	5,02	184,55	42,38	2,87	0,44	231,19	
317-ANS-m	117598,66	225,72	230,77	5,06	195,45	44,89	2,71	0,41	231,15	Nuovo Ponte via Livorno
317-ANS-v	117615,66	225,67	230,48	4,81	184,62	44,31	2,87	0,45	230,90	Vecchio Ponte via Livorno
315.5-ANS	117619,78	225,69	230,13	4,44	143,06	32,72	3,70	0,57	230,83	
315.4-ANS	117635,12	225,63	230,19	4,56	159,05	35,34	3,33	0,50	230,76	Inizio tratto tombato (attuale)
315.1-ANS	117674,80	225,52	230,08	4,57	147,73	32,71	3,59	0,54	230,74	
314.9-ANS	117699,68	225,42	230,04	4,62	146,48	31,95	3,62	0,54	230,70	
314.5-ANS	117737,82	225,25	229,99	4,73	147,80	31,56	3,59	0,53	230,64	
314.3-ANS	117773,22	225,21	229,96	4,75	151,43	32,14	3,50	0,51	230,58	

ID Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	h (m)	A (m ²)	b (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)	Descrizione
313.8-ANS	117833,62	224,96	229,52	4,56	137,10	30,77	3,87	0,58	230,28	Inizio tratto residuo setti (progetto)
313.7-ANS	117860,62	224,88	229,44	4,56	138,06	31,24	3,84	0,58	230,19	
313.6-ANS	117894,42	224,74	229,37	4,63	142,21	31,82	3,73	0,56	230,07	Fine tratto residuo setti (progetto)
313.4-ANS	117927,68	224,65	229,32	4,67	149,19	32,67	3,55	0,53	229,96	
313.2-ANS	117962,08	224,52	229,36	4,84	165,64	34,41	3,20	0,47	229,88	
313-ANS	117972,12	224,47	229,37	4,90	171,03	35,83	3,10	0,45	229,86	
312.9-ANS	118020,28	224,32	229,36	5,05	181,12	36,97	2,93	0,42	229,80	
312.7-ANS	118031,92	224,26	229,35	5,08	179,43	35,84	2,95	0,42	229,79	
311-ANS	118044,10	224,20	229,31	5,11	172,53	34,27	3,07	0,44	229,79	
310.8-ANS	118076,90	224,18	229,30	5,12	177,38	34,92	2,99	0,42	229,75	Fine tratto tombato (attuale)
310.7-ANS	118098,06	224,18	229,16	4,99	172,64	34,91	3,07	0,44	229,64	
310.6-ANS	118133,52	224,12	229,21	5,09	195,12	38,56	2,72	0,39	229,59	
310.1-ANS-m	118158,44	224,04	229,28	5,24	227,74	43,76	2,33	0,33	229,55	Nuovo Ponte Corso Principe Oddone
310.1-ANS-v	118174,44	223,99	229,11	5,12	222,67	43,75	2,38	0,34	229,40	Ponte Re Alberto del Belgio
310-ANS	118186,96	223,97	229,11	5,13	223,45	45,18	2,37	0,34	229,39	
305-ANS	118226,12	223,89	228,67	4,78	137,83	34,53	3,85	0,61	229,43	
300-ANS	118391,18	223,56	228,48	4,92	146,06	37,47	3,63	0,59	229,15	
SEZ-007	118470,00	222,64	228,47	5,83	164,11	35,22	3,23	0,48	229,00	
295-ANS	118527,70	222,42	228,57	6,15	204,92	44,20	2,59	0,38	228,91	
SEZ-006-2P-m	118603,42	223,00	228,54	5,54	209,63	44,89	2,53	0,37	228,86	
SEZ-006-2P-v	118620,42	222,95	227,98	5,03	186,79	44,73	2,84	0,44	228,39	Ponte di via Francesco Cigna
SEZ-006-P1-m	118880,87	222,18	227,84	5,66	196,27	42,56	2,70	0,40	228,21	
SEZ-006-P1-v	118887,87	222,13	227,45	5,32	182,23	41,96	2,91	0,45	227,88	Passerella di Via Mondovi
SEZ-006	118992,70	222,06	226,46	4,40	134,02	36,93	3,95	0,66	227,26	

Tabella 6 - Scenario SS_530 – parametri caratterizzanti il profilo di corrente nella situazione di progetto per TR200 = 530 m³/s.

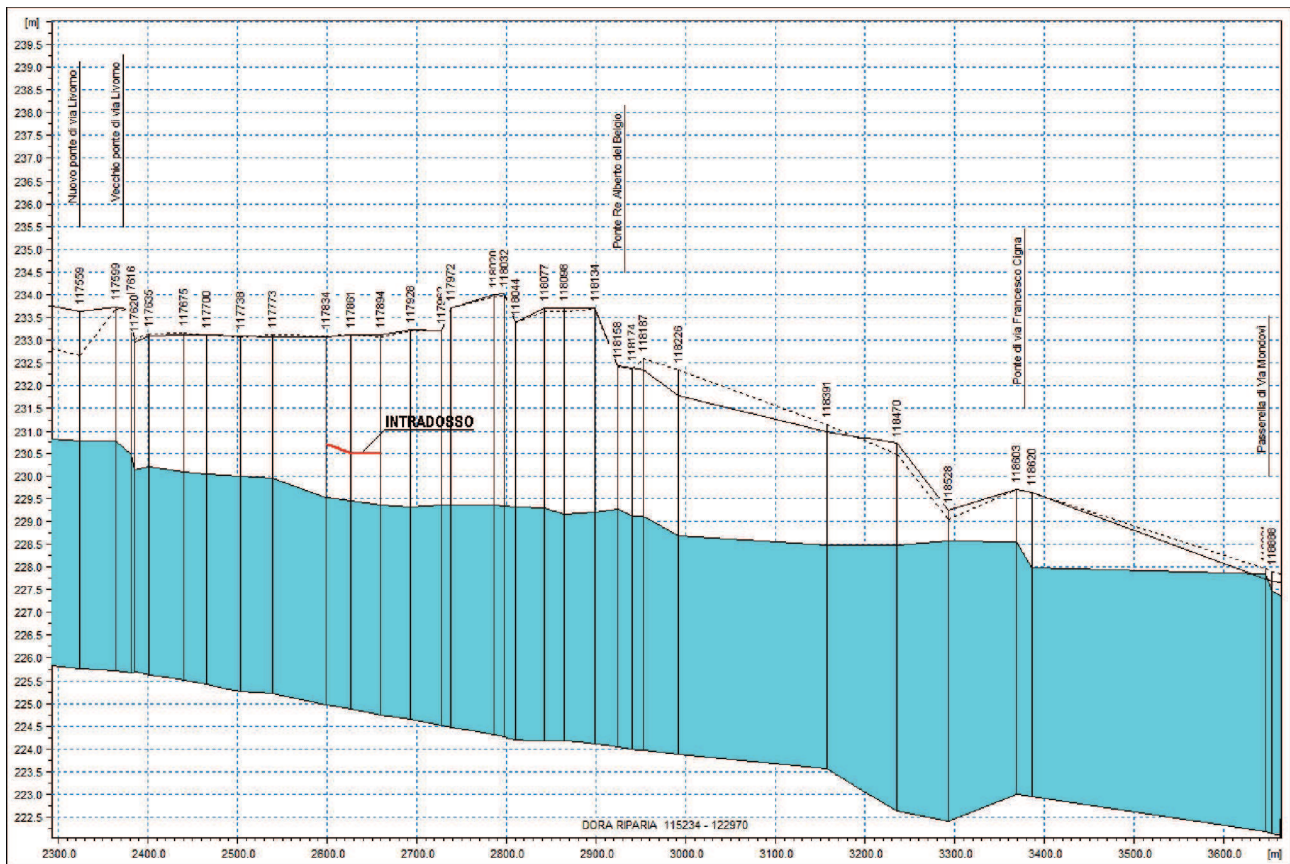


Figura 8 – Ingrandimento nel tratto di interesse del profilo longitudinale di corrente relativo allo SCENARIO SS_530 (senza setti Q=530 m³/s).

ID Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	h (m)	A (m ²)	b (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)	Descrizione
318.20-ANS	117558,92	225,75	231,58	5,82	219,18	43,43	2,87	0,41	232,00	
317-ANS-m	117598,66	225,72	231,59	5,87	232,73	46,88	2,71	0,39	231,96	Nuovo Ponte via Livorno
317-ANS-v	117615,66	225,67	231,25	5,58	219,16	46,12	2,87	0,42	231,67	Vecchio Ponte via Livorno
315.5-ANS	117619,78	225,69	230,87	5,18	167,20	32,85	3,77	0,53	231,59	
315.4-ANS	117635,12	225,63	230,93	5,30	185,39	35,45	3,40	0,47	231,52	Inizio tratto tombato (attuale)
315.1-ANS	117674,80	225,52	230,82	5,31	172,12	32,78	3,66	0,51	231,51	
314.9-ANS	117699,68	225,42	230,78	5,37	170,36	32,03	3,70	0,51	231,48	
314.5-ANS	117737,82	225,25	230,74	5,48	171,53	31,62	3,67	0,50	231,43	
314.3-ANS	117773,22	225,21	230,72	5,51	175,82	32,21	3,58	0,49	231,37	
313.8-ANS	117833,62	224,96	230,28	5,32	160,68	30,97	3,92	0,55	231,06	Inizio tratto residuo setti (progetto)
313.7-ANS	117860,62	224,88	230,22	5,33	162,32	31,56	3,88	0,55	230,98	
313.6-ANS	117894,42	224,74	230,15	5,41	167,24	32,15	3,77	0,53	230,87	Fine tratto residuo setti (progetto)
313.4-ANS	117927,68	224,65	230,11	5,46	175,17	32,91	3,60	0,50	230,77	
313.2-ANS	117962,08	224,52	230,15	5,64	193,14	34,45	3,26	0,44	230,70	
313-ANS	117972,12	224,47	230,17	5,70	199,91	36,09	3,15	0,43	230,68	
312.9-ANS	118020,28	224,32	230,17	5,85	211,16	37,28	2,98	0,40	230,63	
312.7-ANS	118031,92	224,26	230,16	5,89	208,39	35,95	3,02	0,40	230,62	
311-ANS	118044,10	224,20	230,11	5,91	200,17	34,37	3,15	0,42	230,62	
310.8-ANS	118076,90	224,18	230,11	5,93	205,67	34,99	3,06	0,40	230,59	Fine tratto tombato (attuale)
310.7-ANS	118098,06	224,18	229,97	5,80	200,89	34,98	3,14	0,42	230,47	
310.6-ANS	118133,52	224,12	230,03	5,91	226,60	38,63	2,78	0,37	230,42	
310.1-ANS-m	118158,44	224,04	230,10	6,06	263,70	43,85	2,39	0,31	230,39	Nuovo Ponte Corso Principe Oddone

ID Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	h (m)	A (m ²)	b (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)	Descrizione
310.1-ANS-v	118174,44	223,99	229,93	5,93	258,32	43,84	2,44	0,32	230,23	Ponte Re Alberto del Belgio
310-ANS	118186,96	223,97	229,92	5,95	261,00	46,56	2,41	0,33	230,22	
305-ANS	118226,12	223,89	229,50	5,61	177,94	38,66	3,54	0,53	230,14	
300-ANS	118391,18	223,56	229,39	5,83	189,67	39,75	3,32	0,49	229,95	
SEZ-007	118470,00	222,64	229,38	6,74	203,09	37,30	3,10	0,42	229,87	
295-ANS	118527,70	222,42	229,49	7,07	248,48	47,01	2,54	0,35	229,82	
SEZ-006-2P-m	118603,42	223,00	229,46	6,46	252,04	45,20	2,50	0,34	229,78	
SEZ-006-2P-v	118620,42	222,95	228,67	5,72	218,64	44,96	2,88	0,42	229,09	Ponte di via Francesco Cigna
SEZ-006-P1-m	118880,87	222,18	228,55	6,37	226,60	42,64	2,78	0,39	228,94	
SEZ-006-P1-v	118887,87	222,13	228,18	6,05	212,96	42,64	2,96	0,42	228,62	Passerella di Via Mondovi
SEZ-006	118992,70	222,06	227,25	5,19	172,05	38,82	3,66	0,56	227,94	

Tabella 7 - Scenario SS_630 – parametri caratterizzanti il profilo di corrente nella situazione di progetto per TR200 = 630 m³/s.

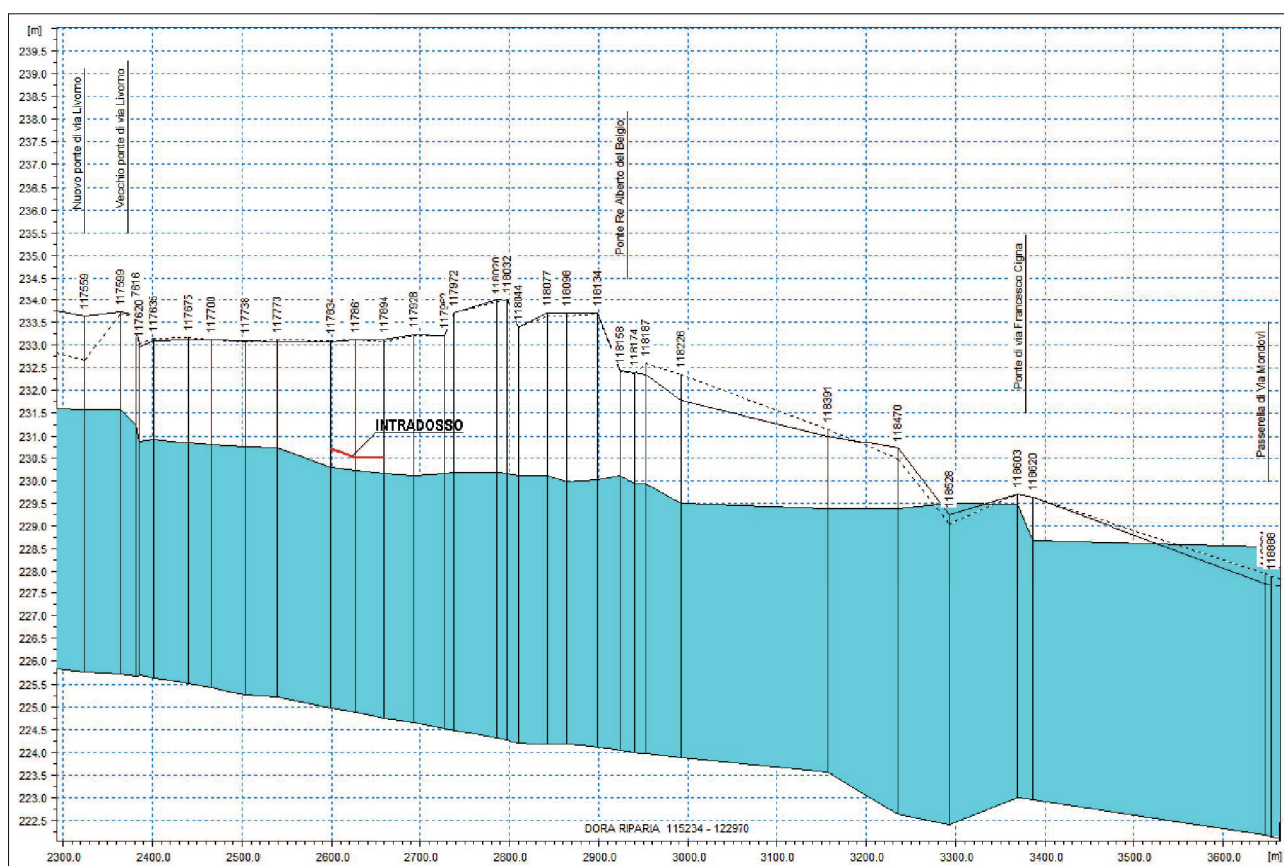


Figura 9 – Ingrandimento nel tratto di interesse del profilo longitudinale di corrente relativo allo SCENARIO SS_630 (senza setti Q=630 m³/s).

3.6 Valutazione degli effetti degli interventi in progetto

La valutazione degli effetti degli interventi in progetto è stata condotta confrontando i risultati delle simulazioni dello scenario attuale con quelli delle simulazioni dello scenario di progetto. Sono stati considerati in particolare i seguenti aspetti:

- modifiche indotte sul profilo involuppo di piena;

- riduzione della capacità di invaso dell'alveo;
- interazioni con gli attraversamenti esistenti;
- condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

3.6.1 Modifiche indotte sul profilo involuppo di piena

Nella Tabella 8 sono posti a confronto le quote di pelo libero dei profili di piena ottenuti per $Q = 630 \text{ m}^3/\text{s}$ relativi allo scenario attuale con setti e allo scenario di progetto in cui i setti sono presenti solo nel tratto di larghezza 55-60 m in cui la copertura funge da collegamento tra le due sponde del fiume. Nella stessa tabella sono anche evidenziate le differenze numeriche tra i due profili.

Nella Figura 10 è rappresentato il confronto grafico tra gli stessi profili di pelo libero, attuale e di progetto per $Q=630 \text{ m}^3/\text{s}$.

In base a tali confronti è possibile affermare quanto segue:

- poiché il deflusso di piena avviene in condizioni di "corrente lenta" non si hanno variazioni di livello a valle del tratto oggetto di demolizione dei setti;
- dall'imbocco del tratto oggetto di intervento, la rimozione dei setti determina una riduzione dei livelli pari a circa 0,40 m che si ripercuote verso monte attenuandosi: risulta pari a circa 0,35 m in corrispondenza dei ponti di via Livorno, pari a 0,20 m nei pressi del ponte di corso Umbria, fino ad annullarsi in prossimità del ponte Candido Ramello;
- in corrispondenza del solo tratto attualmente tombato la rimozione totale dei setti comporterebbe in teoria un modesto rialzamento dei livelli per effetto della riduzione delle velocità di flusso causata dall'aumento dell'area della sezione liquida fino al punto indisturbato subito a valle dell'intervento; il fatto che si mantengano i setti attuali su un tratto di larghezza pari a 55-60 m per sostenere la copertura di passaggio tra le due sponde del fiume complica il comportamento idraulico della corrente di piena che trova un ostacolo da superare, evidenziato da una perdita di carico e quindi di livello a monte del tratto residuo di setti, come se si trattasse delle pile di un normale ponte; l'effetto complessivo della rimozione dei setti e del mantenimento degli stessi solo in corrispondenza dell'attraversamento di collegamento previsto determina pertanto una variazione dei livelli compresa localmente tra gli estremi -0,20 e +0,12 m ma mediamente poco significativa come si evince dal grafico.

Nella Tabella 9, analogamente, sono posti a confronto le quote di pelo libero dei profili di piena ottenuti per $Q = 530 \text{ m}^3/\text{s}$ relativi allo scenario attuale e a quello di progetto. Anche in questo caso si osservano gli effetti sopra descritti, con differenze numeriche tra i due profili leggermente più contenute a causa della minore portata defluente considerata.

ID Sez.	Progr. (m)	P.L. Scenario CS_630 (m s.m.)	P.L. Scenario SS_630 (m s.m.)	Differenza (m)	Descrizione
SEZ-012	115234,34	239,54	239,54	0,00	
SEZ-011-1P-m	115301,84	239,60	239,60	0,00	Ponte corso Potenza
SEZ-011-1P-v	115363,84	239,17	239,17	0,00	
SEZ-010-3P-m	115791,89	238,50	238,50	0,00	Ponte Candido Ramello
SEZ-010-3P-v	115847,89	236,77	236,75	-0,02	
SEZ-010-1	116550,00	233,60	233,52	-0,08	
SEZ-009-1P-m	117006,27	232,81	232,61	-0,20	Ponte corso Umbria
SEZ-009-1P-v	117030,27	232,25	232,01	-0,23	
318.20-ANS	117558,92	231,91	231,58	-0,33	

ID Sez.	Progr. (m)	P.L. Scenario CS_630 (m s.m.)	P.L. Scenario SS_630 (m s.m.)	Differenza (m)	Descrizione
317-ANS-m	117598,66	231,92	231,59	-0,33	Nuovo Ponte via Livorno
317-ANS-v	117615,66	231,62	231,25	-0,37	Vecchio Ponte via Livorno
315.5-ANS	117619,78	231,28	230,87	-0,41	
315.4-ANS	117635,12	231,01	230,93	-0,07	Inizio tratto tombato (attuale)
315.1-ANS	117674,80	230,86	230,82	-0,03	
314.9-ANS	117699,68	230,80	230,78	-0,01	
314.5-ANS	117737,82	230,69	230,74	0,05	
314.3-ANS	117773,22	230,60	230,72	0,12	
313.8-ANS	117833,62	230,46	230,28	-0,18	Inizio tratto residuo setti (progetto)
313.7-ANS	117860,62	230,40	230,22	-0,19	
313.6-ANS	117894,42	230,35	230,15	-0,20	Fine tratto residuo setti (progetto)
313.4-ANS	117927,68	230,25	230,11	-0,14	
313.2-ANS	117962,08	230,23	230,15	-0,07	
313-ANS	117972,12	230,21	230,17	-0,04	
312.9-ANS	118020,28	230,15	230,17	0,02	
312.7-ANS	118031,92	230,13	230,16	0,03	
311-ANS	118044,10	230,07	230,11	0,05	
310.8-ANS	118076,90	230,02	230,11	0,09	Fine tratto tombato (attuale)
310.7-ANS	118098,06	229,97	229,97	0,00	
310.6-ANS	118133,52	230,03	230,03	0,00	
310.1-ANS-m	118158,44	230,10	230,10	0,00	Nuovo Ponte Corso Principe Oddone
310.1-ANS-v	118174,44	229,93	229,93	0,00	Ponte Re Alberto del Belgio
310-ANS	118186,96	229,92	229,92	0,00	
305-ANS	118226,12	229,50	229,50	0,00	

Tabella 8 - Confronto tra i profili di pelo libero per $Q = 630 \text{ m}^3/\text{s}$ relativi allo scenario attuale con setti (CS) e allo scenario di progetto senza setti (SS).

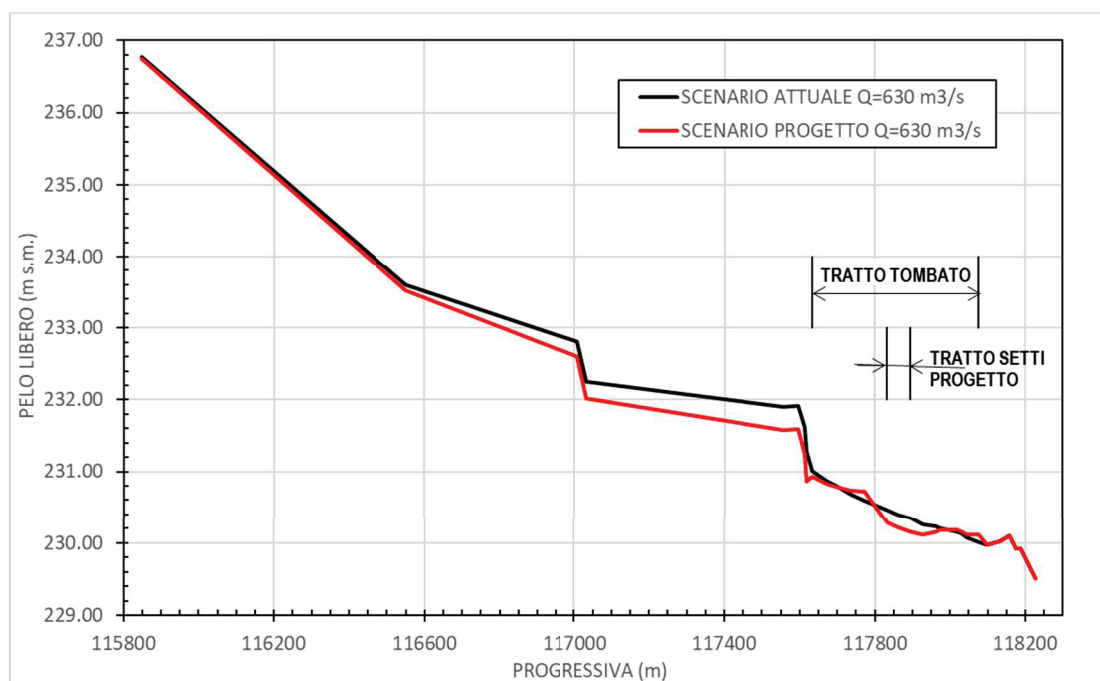


Figura 10 – Confronto grafico tra i profili di pelo libero per $Q = 630 \text{ m}^3/\text{s}$ relativi allo scenario attuale e a quello di progetto.

ID Sez.	Progr. (m)	P.L. Scenario CS_530 (m s.m.)	P.L. Scenario SS_530 (m s.m.)	Differenza (m)	Descrizione
SEZ-012	115234,34	238,99	238,99	0,00	
SEZ-011-1P-m	115301,84	239,02	239,02	0,00	Ponte corso Potenza
SEZ-011-1P-v	115363,84	238,58	238,58	0,00	
SEZ-010-3P-m	115791,89	237,82	237,82	0,00	Ponte Candido Ramello
SEZ-010-3P-v	115847,89	236,36	236,35	-0,01	
SEZ-010-1	116550,00	233,03	232,98	-0,06	
SEZ-009-1P-m	117006,27	232,01	231,85	-0,17	Ponte corso Umbria
SEZ-009-1P-v	117030,27	231,52	231,33	-0,19	
318.20-ANS	117558,92	231,08	230,77	-0,31	
317-ANS-m	117598,66	231,09	230,77	-0,31	Nuovo Ponte via Livorno
317-ANS-v	117615,66	230,85	230,48	-0,37	Vecchio Ponte via Livorno
315.5-ANS	117619,78	230,54	230,13	-0,41	
315.4-ANS	117635,12	230,27	230,19	-0,08	Inizio tratto tombato (attuale)
315.1-ANS	117674,80	230,13	230,08	-0,04	
314.9-ANS	117699,68	230,06	230,04	-0,02	
314.5-ANS	117737,82	229,94	229,99	0,05	
314.3-ANS	117773,22	229,84	229,96	0,11	
313.8-ANS	117833,62	229,70	229,52	-0,18	Inizio tratto residuo setti (progetto)
313.7-ANS	117860,62	229,63	229,44	-0,19	
313.6-ANS	117894,42	229,57	229,37	-0,20	Fine tratto residuo setti (progetto)
313.4-ANS	117927,68	229,47	229,32	-0,15	
313.2-ANS	117962,08	229,44	229,36	-0,08	
313-ANS	117972,12	229,41	229,37	-0,04	
312.9-ANS	118020,28	229,35	229,36	0,02	
312.7-ANS	118031,92	229,32	229,35	0,03	
311-ANS	118044,10	229,27	229,31	0,04	
310.8-ANS	118076,90	229,21	229,30	0,09	Fine tratto tombato (attuale)
310.7-ANS	118098,06	229,16	229,16	0,00	
310.6-ANS	118133,52	229,21	229,21	0,00	
310.1-ANS-m	118158,44	229,28	229,28	0,00	Nuovo Ponte Corso Principe Oddone
310.1-ANS-v	118174,44	229,11	229,11	0,00	Ponte Re Alberto del Belgio
310-ANS	118186,96	229,11	229,11	0,00	
305-ANS	118226,12	228,67	228,67	0,00	

Tabella 9 - Confronto tra i profili di pelo libero per $Q = 530 \text{ m}^3/\text{s}$ relativi allo scenario attuale con setti (CS) e allo scenario di progetto senza setti (SS).

3.6.2 Riduzione della capacità di invaso dell'alveo

La riduzione della capacità di invaso dell'alveo in seguito all'intervento di demolizione oggetto del presente studio è modesta, stimabile dell'ordine di circa 10.000 m^3 , valore calcolato in prima approssimazione come differenza tra i volumi liquidi sottesi tra i due profili (attuale e progetto) per $Q = 630 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'effetto di tale riduzione di volume invasato dall'alveo nel tratto di Dora a valle dell'intervento è da ritenersi ancora più modesta e del tutto trascurabile. Una quantificazione puramente numerica di tale effetto è stata effettuata a partire dalla simulazione di propagazione dell'idrogramma di piena con portata al colmo di $630 \text{ m}^3/\text{s}$ rappresentato nella Figura 2.

Nella Figura 11 si osserva come l'effetto di laminazione dell'idrogramma di piena con colmo $Q=630 \text{ m}^3/\text{s}$ in ingresso a monte del ponte di corso Potenza (linea nera) nel tratto cittadino di Dora Riparia sia poco significativo

in quanto l'idrogramma di piena calcolato con il modello in corrispondenza della confluenza in Po (linea rossa) risulta solo traslato nel tempo con il colmo di poco diminuito.

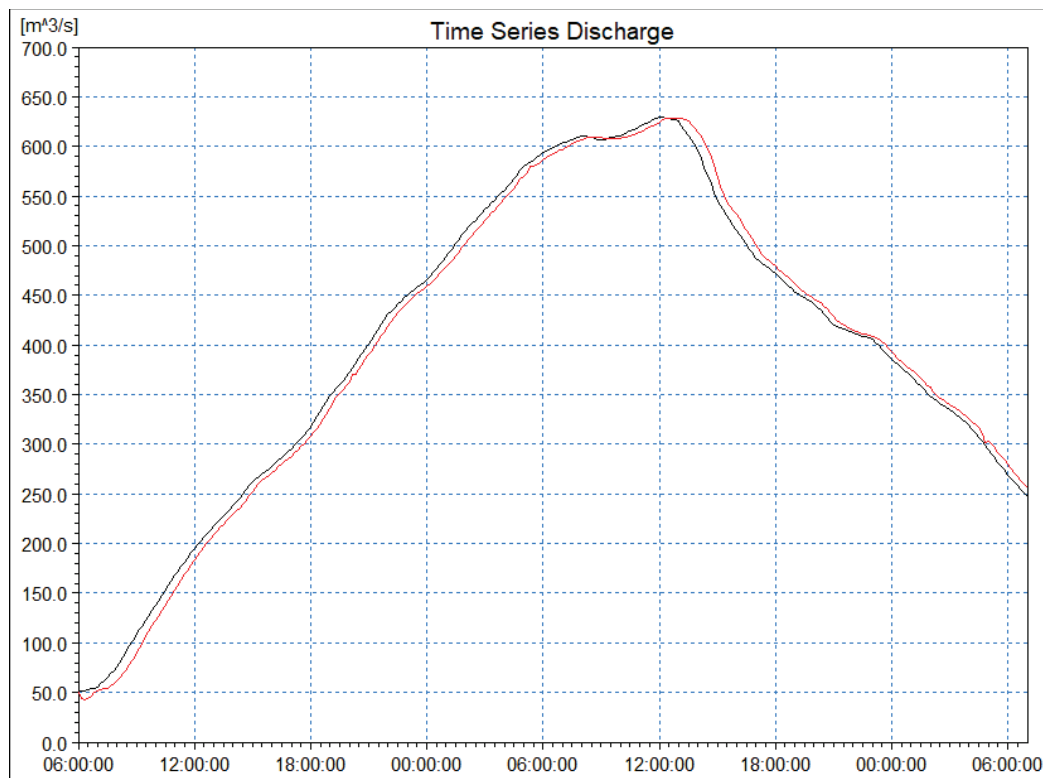


Figura 11 – Confronto tra l'idrogramma di piena con colmo $Q=630 \text{ m}^3/\text{s}$ in ingresso a monte del ponte di corso Potenza (linea nera) e l'idrogramma di piena calcolato con il modello in corrispondenza della confluenza in Po (linea rossa).

In termini numerici le simulazioni forniscono le seguenti informazioni:

- portata al colmo in ingresso $Q = 630,000 \text{ m}^3/\text{s}$;
- portata al colmo alla confluenza in Po nelle condizioni attuali $Q = 628,652 \text{ m}^3/\text{s}$;
- effetto di laminazione nel tratto cittadino nelle condizioni attuali: riduzione della portata al colmo di $1,348 \text{ m}^3/\text{s}$ pari allo 0,214% della portata in ingresso, pertanto modesto e circa trascurabile;
- portata al colmo alla confluenza in Po nelle condizioni di progetto $Q = 628,637 \text{ m}^3/\text{s}$;
- effetto di laminazione indotto dagli interventi: riduzione della portata al colmo di $0,015 \text{ m}^3/\text{s}$ pari allo 0,0024% della portata in condizioni attuali, pertanto del tutto insignificante.

3.6.3 Interazioni con gli attraversamenti esistenti e condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena

Per quantificare le interazioni con gli attraversamenti esistenti e le condizioni di sicurezza dell'intervento in stati di piena sono stati valutati i franchi di sicurezza in corrispondenza dei ponti più prossimi all'area in esame e all'interno della copertura a partire dai risultati delle simulazioni numeriche condotte.

Nella Tabella 10 sono indicati, per il tratto di copertura e i ponti di maggiore interesse al presente studio, le quote di intradosso, i livelli di piena al colmo e i corrispondenti valori dei franchi di sicurezza (fr) in relazione ai quattro

scenari considerati, quindi per portate al colmo pari a 630 e 530 m³/s, nelle condizioni attuali (CS) e di progetto (SS).

ID Sezione	Descrizione	Progr. (m)	Intradosso (m s.m.)	P.L. CS_630 (m s.m.)	fr (m)	P.L. CS_530 (m s.m.)	fr (m)	P.L. SS_630 (m s.m.)	fr (m)	P.L. SS_530 (m s.m.)	fr (m)
SEZ-011-1P-m	Ponte corso Potenza	115301,84	240,53	239,60	0,93	239,02	1,51	239,60	0,93	239,02	1,51
SEZ-010-3P-m	Ponte Candido Ramello	115791,89	238,94	238,50	0,44	237,82	1,12	238,50	0,44	237,82	1,12
SEZ-009-1P-m	Ponte corso Umbria	117006,27	234,19	232,81	1,38	232,01	2,18	232,61	1,58	231,85	2,34
318.20-ANS	Nuovo Ponte via Livorno	117558,92	232,67	231,91	0,76	231,08	1,59	231,58	1,09	230,77	1,90
317-ANS-m	Vecchio Ponte via Livorno	117598,66	232,97	231,92	1,05	231,09	1,89	231,59	1,39	230,77	2,20
315.4-ANS	Tratto tombato	117635,12	231,10	231,01	0,09	230,27	0,83	230,93	-	230,19	-
315.1-ANS	Tratto tombato	117674,80	231,10	230,86	0,24	230,13	0,97	230,82	-	230,08	-
314.9-ANS	Tratto tombato	117699,68	230,95	230,80	0,16	230,06	0,89	230,78	-	230,04	-
314.5-ANS	Tratto tombato	117737,82	230,95	230,69	0,26	229,94	1,01	230,74	-	229,99	-
314.3-ANS	Tratto tombato	117773,22	230,70	230,60	0,10	229,84	0,86	230,72	-	229,96	-
313.8-ANS	Tratto tombato	117833,62	230,70	230,46	0,24	229,70	1,01	230,28	0,42	229,52	1,18
313.7-ANS	Tratto tombato	117860,62	230,50	230,40	0,10	229,63	0,87	230,22	0,28	229,44	1,06
313.6-ANS	Tratto tombato	117894,42	230,50	230,35	0,15	229,57	0,93	230,15	0,35	229,37	1,13
313.4-ANS	Tratto tombato	117927,68	230,50	230,25	0,25	229,47	1,03	230,11	-	229,32	-
313.2-ANS	Tratto tombato	117962,08	230,50	230,23	0,27	229,44	1,07	230,15	-	229,36	-
313-ANS	Tratto tombato	117972,12	230,50	230,21	0,29	229,41	1,09	230,17	-	229,37	-
312.9-ANS	Tratto tombato	118020,28	230,50	230,15	0,35	229,35	1,15	230,17	-	229,36	-
312.7-ANS	Tratto tombato	118031,92	230,50	230,12	0,38	229,32	1,18	230,16	-	229,35	-
311-ANS	Tratto tombato	118044,10	230,50	230,07	0,43	229,27	1,23	230,11	-	229,31	-
310.8-ANS	Tratto tombato	118076,90	231,91	230,02	1,89	229,21	2,69	230,11	-	229,30	-
310.7-ANS	Ponte corso Princ. Oddone	118098,06	231,00	229,97	1,03	229,16	1,84	229,97	1,03	229,16	1,84
310.1-ANS-m	Ponte Re Alberto del Belgio	118158,44	231,12	230,10	1,02	229,28	1,84	230,10	1,02	229,28	1,84
SEZ-006-2P-m	Ponte via Francesco Cigna	118603,42	228,43	229,46	-1,03	228,54	-0,11	229,46	-1,03	228,54	-0,11
SEZ-006-P1-m	Passerella via Mondovi	118880,87	226,79	228,55	-1,76	227,84	-1,05	228,55	-1,76	227,84	-1,05

Tabella 10 - Valutazione dei franchi di sicurezza (fr) in relazione ai 4 scenari considerati, per portate al colmo pari a 630 e 530 m³/s, nelle condizioni attuali (CS) e di progetto (SS).

Per i ponti di corso Potenza e Candido Ramello non si assiste ad alcuna variazione di franco perché l'effetto di diminuzione dei livelli indotto dall'intervento in progetto si esaurisce poco a valle del secondo dei due ponti. Anche per i ponti a valle del tratto tombato non si hanno variazioni del franco. Sul ponte di corso Umbria si ottiene invece un incremento del franco di una ventina di centimetri, mentre sui due ponti di via Livorno il vantaggio è anche maggiore con il franco che in entrambe le condizioni di portata risulta superiore a un metro.

In corrispondenza del tratto di copertura residuo previsto in progetto, di collegamento tra le due sponde fluviali, i franchi si incrementano rispetto alla situazione attuale e risultano maggiori di un metro per la condizione di portata Q=530 m³/s.

Per ciò che riguarda infine il trasporto di materiale flottante nel corso delle piene e l'effetto di trattenuta dello stesso a monte dei setti con conseguente incremento dei livelli a monte, si ritiene che le condizioni di sicurezza nello scenario di progetto non siano particolarmente diverse da quello dello scenario attuale: l'effetto di trattenuta del flottante che attualmente avviene all'imbocco del tratto tombato risulta solamente traslato più a valle in corrispondenza del tratto di copertura residuo con relativi setti, mantenuto per consentire il collegamento tra le due sponde fluviali. Nella situazione di progetto, a parità di flottante trattenuto, si avrebbe però il notevole vantaggio di aver allontanato notevolmente il conseguente effetto di rigurgito dai ponti di via Livorno, in un tratto di corso d'acqua (circa in mezz'ora dell'ex tratto tombato) in cui i franchi di sicurezza rispetto alle sponde sono

elevati, considerato lo spessore attuale delle travi di copertura che presentano uno spessore pari a circa due metri e che verranno demolite nel corso dell'intervento previsto.

3.7 Verifica idraulica delle opere provvisionali con portata TR 2 anni

Come ultima attività, con il modello è stata condotta una simulazione con portata di piena con tempo di ritorno 2 anni finalizzata a definire le quote di sommità degli arginelli provvisori in materiale sciolto da realizzare in fase di cantiere allo scopo di consentire la deviazione della corrente in condizioni di magra del corso d'acqua e l'accesso in alveo da parte dei mezzi meccanici.

Poiché gli arginelli in materiale sciolto devono essere completamente asportati da un evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 2 anni, la quota di sommità degli stessi viene imposta pari alla quota di pelo libero del profilo di corrente corrispondente a tale evento, calcolato nell'ipotesi di stato attuale in presenza dei setti e alveo completamente sgombro da opere provvisionali. Trattandosi soltanto di demolizione di setti e copertura e non di realizzazione di nuove opere in alveo, non si è ritenuto necessario simulare le varie fasi di cantiere in alveo con la deviazione provvisoria del flusso di corrente in una sola o due campate per lasciare in asciutto la restante porzione di alveo e permettere l'accesso dei mezzi meccanici.

Nella Tabella 11 sono elencati i parametri caratterizzanti i valori del profilo di corrente relativo al deflusso della portata con tempo di ritorno 2 anni.

Le altezze d'acqua sul fondo alveo variano tra circa 1,5 m all'inizio del tratto di copertura e circa 2,0 m in corrispondenza dell'uscita di esso: l'arginello provvisorio destinato a deviare il deflusso di magra della Dora deve pertanto prevedersi di altezza dell'ordine di 1,5 m, con quota di sommità desunta dai valori di P.L. definiti nella Tabella 11 in funzione dell'ubicazione prevista in cantiere, che potrebbe variare in funzione delle diverse fasi di demolizione pianificate.

ID Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	h (m)	A (m ²)	b (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)	Descrizione
318.20-ANS	117558,92	225,75	227,64	1,89	63,89	35,72	1,67	0,40	227,78	
317-ANS-m	117598,66	225,72	227,61	1,89	65,28	37,43	1,64	0,40	227,75	Nuovo Ponte via Livorno
317-ANS-v	117615,66	225,67	227,38	1,71	58,51	37,00	1,83	0,46	227,55	Vecchio Ponte via Livorno
315.5-ANS	117619,78	225,69	227,27	1,58	50,26	32,20	2,13	0,54	227,50	
315.4-ANS	117635,12	225,63	227,14	1,51	46,91	31,51	2,28	0,60	227,41	Inizio tratto tombato
315.1-ANS	117674,80	225,52	227,00	1,49	42,31	28,99	2,53	0,67	227,33	
314.9-ANS	117699,68	225,42	226,93	1,52	43,96	29,13	2,43	0,63	227,23	
314.5-ANS	117737,82	225,25	226,82	1,57	44,40	28,91	2,41	0,62	227,12	
314.3-ANS	117773,22	225,21	226,71	1,50	44,01	29,57	2,43	0,64	227,01	
313.8-ANS	117833,62	224,96	226,56	1,60	47,24	29,98	2,27	0,58	226,82	
313.7-ANS	117860,62	224,88	226,49	1,61	47,74	30,02	2,24	0,57	226,75	
313.6-ANS	117894,42	224,74	226,44	1,70	50,80	30,57	2,11	0,52	226,66	
313.4-ANS	117927,68	224,65	226,36	1,71	49,97	29,61	2,14	0,53	226,60	
313.2-ANS	117962,08	224,52	226,34	1,82	57,26	31,77	1,87	0,44	226,51	
313-ANS	117972,12	224,47	226,32	1,85	56,84	31,46	1,88	0,45	226,50	
312.9-ANS	118020,28	224,32	226,28	1,96	61,51	32,23	1,74	0,40	226,43	
312.7-ANS	118031,92	224,26	226,27	2,00	62,77	32,07	1,70	0,39	226,41	
311-ANS	118044,10	224,20	226,25	2,05	60,99	30,52	1,75	0,40	226,40	
310.8-ANS	118076,90	224,18	226,22	2,04	62,71	31,14	1,71	0,38	226,36	Fine tratto tombato
310.7-ANS	118098,06	224,18	226,20	2,02	69,46	34,66	1,54	0,35	226,32	
310.6-ANS	118133,52	224,12	226,20	2,08	79,45	38,29	1,35	0,30	226,29	
310.1-ANS-m	118158,44	224,04	226,21	2,17	94,19	43,46	1,14	0,25	226,28	Nuovo Ponte Corso Principe Oddone

ID Sez.	Progr. (m)	Fondo (m s.m.)	P.L. (m s.m.)	h (m)	A (m ²)	b (m)	v (m/s)	Fr (-)	H (m s.m.)	Descrizione
310.1-ANS-v	118174,44	223,99	226,13	2,14	92,73	43,45	1,15	0,25	226,20	Ponte Re Alberto del Belgio
310-ANS	118186,96	223,97	226,13	2,15	92,58	43,56	1,16	0,25	226,19	
305-ANS	118226,12	223,89	225,95	2,06	51,36	31,55	2,08	0,52	226,17	
300-ANS	118391,18	223,56	225,73	2,17	55,00	30,76	1,95	0,46	225,92	
SEZ-007	118470,00	222,64	225,74	3,10	75,65	30,03	1,41	0,28	225,84	
295-ANS	118527,70	222,42	225,76	3,34	96,86	33,65	1,10	0,21	225,82	
SEZ-006-2P-m	118603,42	223,00	225,72	2,72	85,93	42,89	1,25	0,28	225,80	
SEZ-006-2P-v	118620,42	222,95	224,77	1,82	48,70	39,57	2,20	0,63	225,01	Ponte di via Francesco Cigna
SEZ-006-P1-m	118880,87	222,18	224,36	2,18	57,66	36,54	1,86	0,47	224,54	
SEZ-006-P1-v	118887,87	222,13	224,21	2,08	54,16	36,47	1,98	0,52	224,41	Passerella di Via Mondovi
SEZ-006	118992,70	222,06	223,56	1,50	39,66	30,47	2,70	0,75	223,93	

Tabella 11 - Scenario CS_107 – parametri caratterizzanti il profilo di corrente nella situazione attuale con portata TR2 = 107 m³/s.

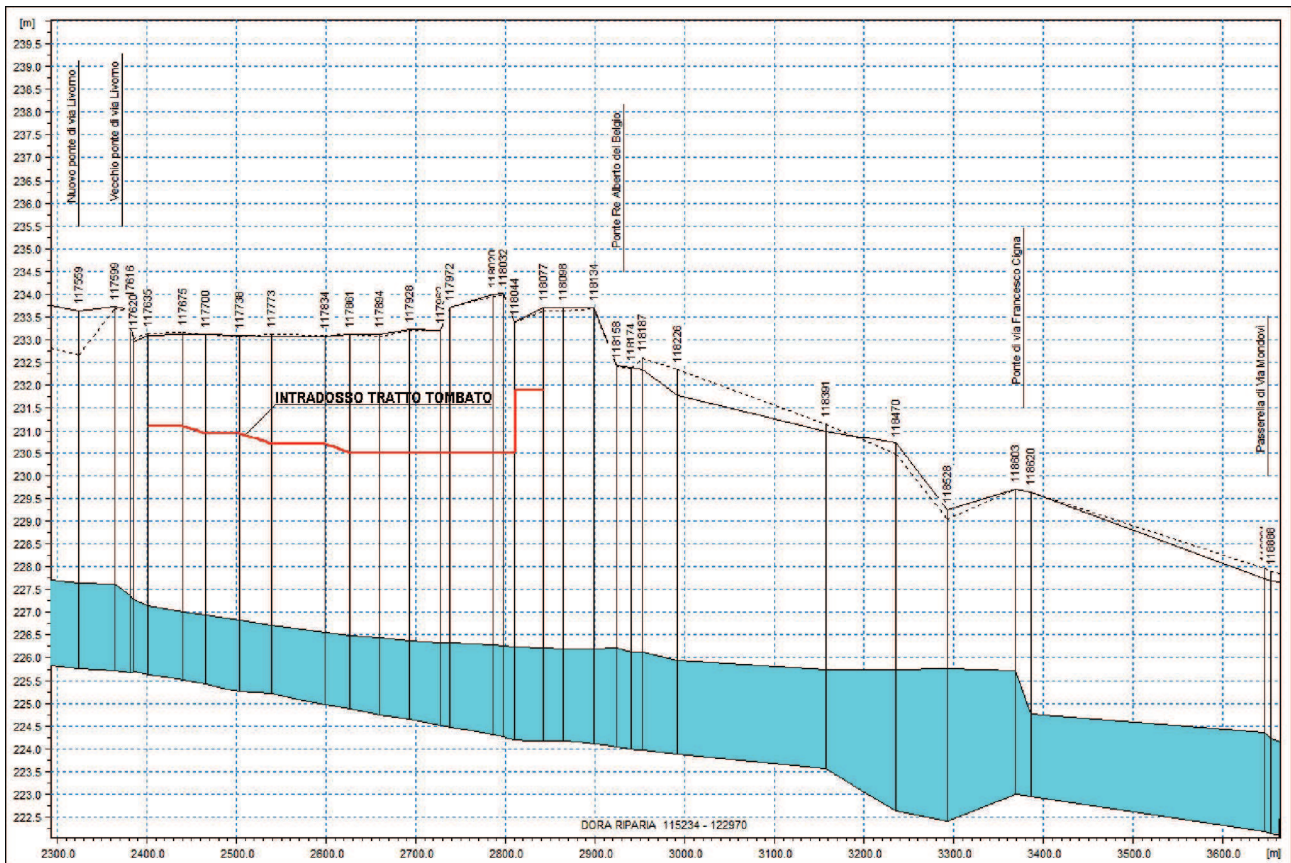


Figura 12 – Ingrandimento nel tratto di interesse del profilo longitudinale di corrente relativo allo SCENARIO CS_107 (con setti Q=107 m³/s).

4. CONCLUSIONI

Nel presente studio è stata condotta la verifica idraulica del progetto definitivo di demolizione della soletta di copertura della Dora Riparia nel tratto compreso tra via Livorno e il ponte della linea ferroviaria Torino-Milano che in una prima versione prevedeva il mantenimento dei due setti in calcestruzzo presenti in alveo e che nella versione attuale, in base a una variante elaborata dal Comune di Torino, prevede invece una demolizione totale dei setti ad eccezione del tratto centrale, di circa 55-60 m, in cui i setti vengono mantenuti a supporto dell'impalcato originario, al fine di creare un corridoio ecologico di collegamento delle due sponde del fiume.

Le analisi idrauliche sono state condotte mediante la messa a punto ed applicazione di un modello numerico monodimensionale a fondo fisso in grado di valutare in dettaglio le condizioni di deflusso di una piena con tempo di ritorno 200 anni nel tratto in esame fino alla confluenza in Po, sia nella configurazione attuale dell'alveo che in seguito alle ipotesi di demolizione previste.

Con il modello, oltre a quantificare gli effetti indotti dagli interventi in progetto, è stata condotta una simulazione con portata di piena con tempo di ritorno 2 anni finalizzata a definire le quote di sommità degli arginelli provvisori in materiale sciolto da realizzare in fase di cantiere allo scopo di consentire la deviazione della corrente in condizioni di magra del corso d'acqua e l'accesso in alveo da parte dei mezzi meccanici.

Le simulazioni dello stato attuale forniscono risultati del tutto confrontabili con quelli dello studio pregresso redatto da Anselmo associati.

Confrontando i risultati delle simulazioni dello scenario attuale e quelle dello scenario di progetto si è constatato che:

- non si hanno variazioni di livello a valle del tratto oggetto di demolizione dei setti;
- dall'imbocco del tratto oggetto di intervento, la rimozione dei setti determina una riduzione dei livelli pari a circa 0,40 m che si ripercuote verso monte attenuandosi: risulta pari a circa 0,35 m in corrispondenza dei ponti di via Livorno, pari a 0,20 m nei pressi del ponte di corso Umbria, fino ad annullarsi in prossimità del ponte Candido Ramello;
- nell'ambito del tratto attualmente tombato, l'effetto complessivo della rimozione dei setti e del mantenimento degli stessi solo in corrispondenza dell'attraversamento di collegamento previsto determina una variazione dei livelli poco significativa.

La riduzione della capacità di invaso dell'alveo in seguito all'intervento di demolizione oggetto del presente studio è modesta, stimabile dell'ordine di circa 10.000 m³. L'effetto di tale riduzione di volume invasato dall'alveo nel tratto di Dora a valle dell'intervento è stata quantificata numericamente e considerata del tutto trascurabile.

Per i ponti di corso Potenza e Candido Ramello non si assiste ad alcuna variazione di franco perché l'effetto di diminuzione dei livelli indotto dall'intervento in progetto si esaurisce poco a valle del secondo dei due ponti. Anche per i ponti a valle del tratto tombato non si hanno variazioni del franco. Sul ponte di corso Umbria si ottiene invece un incremento del franco di una ventina di centimetri, mentre sui due ponti di via Livorno il vantaggio è anche maggiore con il franco che risulta superiore a un metro.

In corrispondenza del tratto di copertura residuo previsto in progetto ai fini di un collegamento tra le due sponde fluviali, i franchi si incrementano rispetto alla situazione attuale e risultano maggiori di un metro per la condizione di portata $Q=530 \text{ m}^3/\text{s}$.

Per ciò che riguarda infine il trasporto di materiale flottante nel corso delle piene e l'effetto di trattenuta dello stesso a monte dei setti con conseguente incremento dei livelli a monte, si ritiene che le condizioni di sicurezza nello scenario di progetto non siano particolarmente diverse da quello dello scenario attuale: l'effetto di trattenuta del flottante che attualmente avviene all'imbocco del tratto tombato risulta solamente traslato più a valle in corrispondenza del tratto di copertura residuo con relativi setti, mantenuto per consentire il collegamento tra le due sponde fluviali. Nella situazione di progetto, a parità di flottante trattenuto, si avrebbe però il notevole vantaggio di aver allontanato notevolmente il conseguente effetto di rigurgito dai ponti di via Livorno, in un tratto di corso d'acqua (circa in mezzeria dell'ex tratto tombato) in cui i franchi di sicurezza rispetto alle sponde sono elevati.

ALLEGATO 1 – Descrizione del codice di calcolo MIKE 11 HD

1. PREMESSA

Il programma MIKE 11 è stato realizzato dal DHI (Danish Hydraulic Institute) a partire dal programma SYSTEM 11 che dal 1972, anno della sua messa a punto, ad oggi, è stato usato in un grande numero di applicazioni in tutto il mondo con ottimi risultati e riconoscimenti.

MIKE 11 è un programma generale per la simulazione del flusso idrico a pelo libero in estuari, fiumi, sistemi di irrigazione e simili corpi idrici. MIKE 11 simula il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. È possibile tenere conto di:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

L'adozione del programma di simulazione DHI\MIKE 11, consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

2. EQUAZIONI GENERALI DI DE SAINT VENANT

MIKE 11 risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- a) Il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità.
- b) La pendenza del fondo è piccola.
- c) Le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

dove:

A = area della sezione bagnata (m^2);
C = coefficiente di attrito di Chezy ($m^{1/2}s^{-1}$);
g = accelerazione di gravità ($m s^{-2}$);
h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
Q = portata (m^3/s);
R = raggio idraulico (m);
 α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;
q = portata laterale addotta (m^2/s).

3. DESCRIZIONE IN CORRISPONDENZA DI STRUTTURE

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. In MIKE 11 la descrizione di ogni struttura viene effettuata in un segmento di corso d'acqua.

Tipi di strutture simulate

Tipo 1. Stramazzo a larga soglia

Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

Tipo 2. Relazione Q-h

Nel caso in cui le condizioni standard di funzionamento (tipo 1) dello stramazzo non risultino adeguate (ad esempio quando è evidente una significativa curvatura delle linee di corrente) è possibile specificare le relazioni Q-h (portate-livelli) valide per la data struttura. La relazione Q-h viene utilizzata per il deflusso libero in condizioni critiche, mentre per il deflusso rigurgitato (o sommerso) vengono utilizzati gli stessi algoritmi della struttura "tipo 1".

Tipo 3. Tombino

Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo pieno". il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso. Deve essere inserita una relazione Q-h che contempli tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da una formulazione di stramazzo a larga soglia quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.

Tipo 4. Relazione Q-t

È possibile inserire una qualsiasi relazione Q-t esterna per descrivere ad esempio il deflusso da una diga o un pompaggio. Questa relazione sostituisce localmente l'equazione di conservazione della quantità di moto.

Tipo 5. Relazione $Q = A(Z_{j1}) \cdot Z_{j2}$

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un vaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

Tipo 6. Strutture mobili

E' possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

4. RESISTENZA D'ATTRITO

MIKE 11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler.

Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{C^2 AR}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{M^2 AR^{4/3}}$$

dove M è il coefficiente di Strickler, pari a $1/n$, essendo n il coefficiente di Manning.

5. CONDIZIONI INIZIALI

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

6. METODO DI SOLUZIONE

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).

La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:

- i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;
- la distanza tra due punti h può essere variabile;
- ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;
- ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

7. CONDIZIONI AL CONTORNO

In MIKE 11 le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne, attrito indotto dal vento. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

8. DEFINIZIONE DEI PASSI DI CALCOLO

La scelta ottimale dei passi di calcolo Dx (spazio) e Dt (tempo) da utilizzare nell'ambito di una simulazione è molto importante perché questi parametri possono condizionare pesantemente la stabilità del calcolo numerico e quindi i risultati stessi della simulazione. Esistono due differenti criteri per determinare correttamente i passi di calcolo Dx e Dt. Essi sono descritti nel seguito.

1) Criterio di Courant

$$Cr = \frac{\sqrt{g \cdot d + V}}{Dx} \cdot Dt$$

dove:

- Cr = numero di Courant;
- d = altezza d'acqua media;
- V = velocità media della corrente;
- g = accelerazione di gravità;
- Dt, Dx = passi di calcolo.

Il numero di Courant esprime quanti Dx vengono percorsi da un'onda, causata da una piccola perturbazione, che si muove in un intervallo di tempo Dt unitario. Per correnti lente ($Fr < 1$), il valore massimo del numero di Courant deve essere inferiore a 20.

2) Criterio della velocità.

Il criterio della velocità stabilisce che i passi Dx e Dt di calcolo siano definiti in modo tale che la corrente si muova di uno spazio Dx in un tempo maggiore di Dt, e cioè:

$$V \cdot Dt < Dx$$

dove V è velocità media della corrente.

In definitiva entrambi i criteri esprimono il concetto che, per un dato passo di tempo Dt, Dx deve essere maggiore di un valore definito; contemporaneamente sia Dt che Dx devono essere inferiori a valori prestabiliti, in modo da descrivere correttamente il fenomeno in esame.

Il modello DHI/MIKE 11 genera automaticamente una griglia di calcolo sulla quale i nodi che rappresentano le altezze d'acqua sono localizzati in corrispondenza delle sezioni trasversali di rilievo. Nel caso in cui la distanza tra due sezioni sia maggiore di Dx, vengono inseriti nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro Dx o meno.