

Committente:

ASSOCIAZIONE MURAZZI DEL PO

Via Murazzi del Po, 21 - 10123 Torino

C.F. 97797810013

Oggetto:

Progetto Murazzi del Po Aree esterne Dehors Removibili e Terrazze Fisse

RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

SCALA:

DATA:

18 febbraio 2020

| Identificazione elaborato | Ambito | | Tipologia | | Commessa | n° elaborato | 1 |
|---------------------------|--------|---|-----------|---|----------|--------------|---|
| | I | D | S | I | 1166 | | |
| IDS1166-1 | I | D | S | I | 1166 | | |

Dati Progettisti:

Studio ANSELMO Associati
Via Vittorio Emanuele n° 14
10023 CHIARI (TO)
tel./fax 011 9415835
e-mail: info@anselmoassociati.it

Dott. Ing. Virgilio Anselmo
Dott. For. Fulvio Anselmo
Collaboratori:
Dott. For. Davide Spada
Dott. Ing. Donato Vittore

| Rev. | Redatto | Controllato | Approvato | Data | Timbri e Firme |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|----------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 0 | Ing. D. Vittore | Ing. V. Anselmo | Ing. V. Anselmo | 18/02/20 | |

Il Committente:

FIRMA

File : 1166IDS1-1.doc

Sommario

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | PREMESSA..... | 1 |
| 2 | RIFERIMENTI NORMATIVI | 1 |
| 2.1 | Inquadramento territoriale..... | 1 |
| 2.2 | Documenti di pianificazione territoriale..... | 2 |
| 2.2.1 | Piano per l'Assetto idrogeologico (PAI)..... | 2 |
| 2.2.2 | Direttiva alluvioni..... | 3 |
| 2.2.3 | Piano regolatore generale | 5 |
| 3 | DESCRIZIONE GEOMETRICA DELL'ALVEO | 6 |
| 3.1 | Morfologia..... | 6 |
| 3.2 | Documentazione fotografica dello stato dei luoghi..... | 7 |
| 3.3 | Difese esistenti..... | 7 |
| 3.4 | Manufatti esistenti | 7 |
| 4 | LE OPERE IN PROGETTO..... | 9 |
| 5 | ANALISI IDRAULICA..... | 10 |
| 5.1 | Geometria di rilievo..... | 10 |
| 5.2 | La modellazione idraulica..... | 12 |
| 5.2.1 | Portate di riferimento | 13 |
| 5.2.2 | Condizioni al contorno | 13 |
| 5.2.3 | Scabrezza | 13 |
| 5.2.4 | Taratura del modello | 14 |
| 5.3 | Risultati..... | 14 |
| 5.4 | Conclusioni | 19 |
| 5.5 | Riferimenti utili per il protocollo delle azioni di protezione civile | 19 |
| 5.6 | Azioni da attuare in base alle previsioni | 20 |
| 5.7 | Riferimenti..... | 26 |
| | APPENDICE - A - Descrizione dello schema di calcolo adottato dal modello numerico hec-ras attivato in moto permanente (verifiche idrauliche)..... | 28 |
| | APPENDICE - B - Planimetria sezioni modello idraulico..... | 34 |
| | APPENDICE - C - Planimetria di dettaglio sezioni modello idraulico..... | 38 |
| | APPENDICE - D - Risultati modellazione idraulica (Stato di progetto) | 42 |
| | APPENDICE - E - Sezioni modello idraulico (Stato di progetto) | 48 |

*Associazione Murazzi del Po
Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
Relazione idrologico-idraulica*

1 PREMESSA

La presente relazione idrologico-idraulica contiene la verifica idraulica del progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne, finalizzata a valutare il comportamento delle opere in progetto nel corso degli eventi di piena di riferimento.

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

2.1 Inquadramento territoriale

L'area si colloca nell'area denominata "Murazzi" in Comune di Torino in sponda sinistra del Fiume Po a monte del ponte Vittorio Emanuele I di Piazza Vittorio Veneto. In Figura 2-1 è riportata la posizione dell'area sulla Carta Tecnica Regionale.



Figura 2-1 – Inquadramento territoriale su CTR Regione Piemonte versione BDTRE2017 raster. Il cerchietto rosso individua l'area di interesse. (scala non rappresentativa)

2.2 Documenti di pianificazione territoriale

2.2.1 PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) di cui alla legge 18 maggio 1989 n. 183, comma 6 ter è stato adottato con deliberazione n. 18 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po in data 26 aprile 2001.

In Figura 2-2 vengono riportate le "Fasce fluviali PAI" risultanti dal GIS-Browser della Regione Piemonte. L'area di interesse per i manufatti proposti ai Murazzi si trova all'interno della fascia A, localmente coincidente con la Fascia B, che risulta tracciata in corrispondenza del muro di sponda. La presenza di locali con piano calpestabile alla quota della banchina e arretrato per tutta la larghezza della soprastante carreggiata stradale costituisce una anomalia ai fini della rappresentazione della delimitazione della fascia, non potendosi dare una rappresentazione tridimensionale del vincolo conseguente alle fasce.



Figura 2-2 – Cartografia delle "Fasce fluviali PAI" nella schermata GIS-Browser della Regione Piemonte. L'area dei Murazzi si colloca all'interno della fascia A. (scala non rappresentativa)

2.2.2 DIRETTIVA ALLUVIONI

Nella seduta di Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po del 17 dicembre 2015, con deliberazione n.4/2015, è stato adottato il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), mentre nella seduta di Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po del 3 marzo 2016, con deliberazione n.2/2016, è stato approvato il PGRA.

In Figura 2-3 vengono riportati gli "Scenari di alluvioni – Pericolosità - 2015" risultanti dal GIS-Browser della Regione Piemonte. L'area dei Murazzi si colloca all'interno di aree caratterizzate da "Probabilità di alluvioni elevata (tr. 10/20)".



Figura 2-3 – Cartografia degli "Scenari di alluvioni – Pericolosità - 2015" nella schermata GIS-Browser della Regione Piemonte. L'area dei Murazzi si colloca all'interno di aree caratterizzate da "Probabilità di alluvioni elevata (tr. 10/20)". (scala non rappresentativa)

In Figura 2-4 vengono riportati gli "Scenari di alluvioni – Pericolosità - 2015" risultanti dal GIS-Browser della Regione Piemonte. L'area dei Murazzi si colloca all'interno di aree caratterizzate da "Rischio molto elevato – R4".

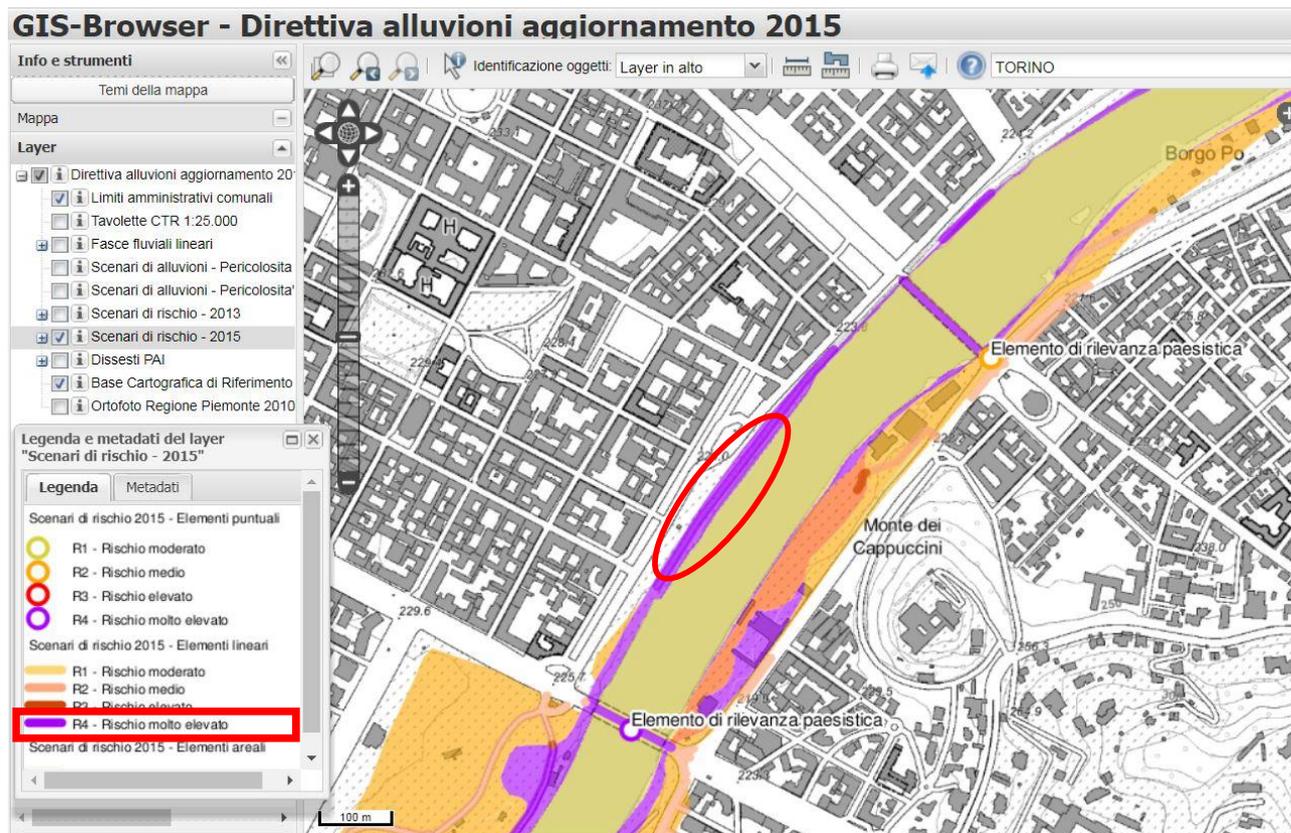


Figura 2-4 – Cartografia degli “Scenari di rischio - 2015” nella schermata GIS-Browser della Regione Piemonte. L’area dei Murazzi si colloca in area caratterizzata da “Rischio molto elevato – R4”. (scala non rappresentativa)

Tab. 4.1: portate di piena per il Po nel tratto da Martiniana a Isola Sant’Antonio (confluenza Tanaro)

| Bacino | Corso d'acqua | Sezione | | | Superficie km ² | Q20 m ³ /s | Q ott 2000 m ³ /s | Q200 m ³ /s | Q500 m ³ /s | Idrometro Denominazione |
|--------|---------------|-------------|------|----------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|
| | | Progr.(km) | Cod. | Denomin. | | | | | | |
| Po | Po | 29.700 | 325 | Gambasca | 214 | 370 | - | 650 | 760 | |
| Po | Po | 53.787 | 311 | Villafranca Piemonte | 670 | 900 | - | 1300 | 1460 | |
| Po | Po | 72.000 | 300 | Lombriasco | 3500 | 1550 | - | 2320 | 2630 | |
| Po | Po | 90.100 | 287 | La Loggia | 3820 | 1600 | - | 2400 | 2720 | |
| Po | Po | 98.051 | 281 | Moncalieri | 4885 | 1750 | - | 2700 | 3100 | Po a Moncalieri |
| Po | Po | 118.464 | 255 | San Mauro | 7408 | 2800 | - | 4300 | 4800 | Po a San Mauro |
| Po | Po | 132.692 | 234 | Chivasso | 8960 | 3800 | - | 5900 | 6600 | |
| Po | Po | 150.500 | 208 | Crescentino | 13640 | 6100 | 8200 | - | 10900 | Po a Crescentino |
| Po | Po | 181.127 | 163 | Casale Monferrato | 13940 | 6000 | - | - | 10000 | Po a Casale Monferrato |
| Po | Po | 204.761 | 125 | Valenza | 17030 | 6500 | 9900 | - | 10800 | Po a Valenza |
| Po | Po | 223.273 | 97 | Isola Sant'Antonio | 25320 | 8400 | 12100 | - | 13300 | Po a Isola Sant'Antonio |

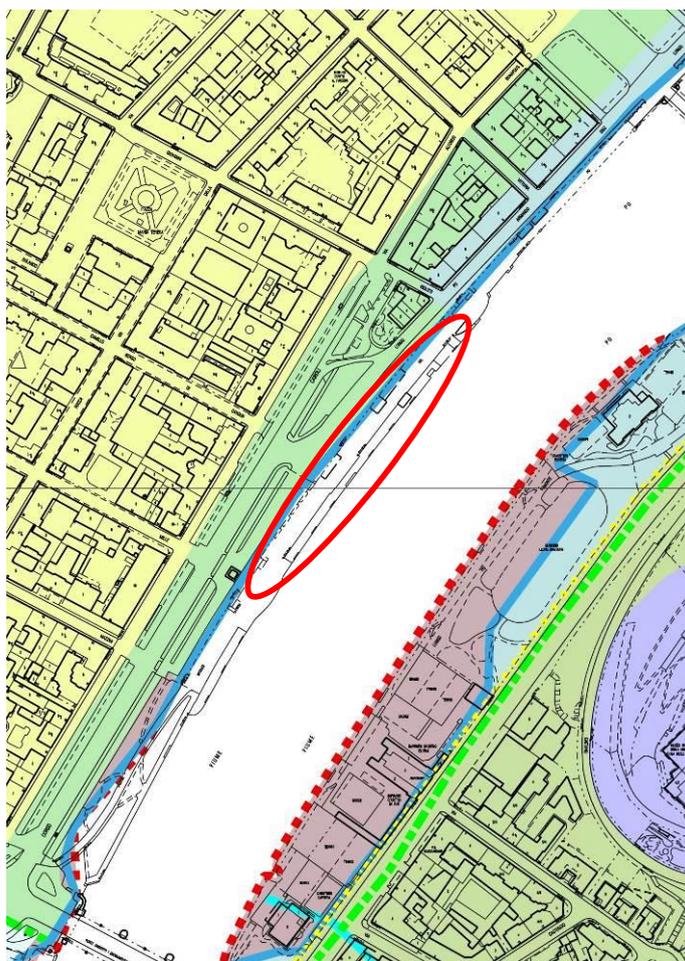
Il PGRA contiene, inoltre, le portate di piena di progetto da assumere nelle verifiche idrauliche nel documento "*Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale*" dal quale, nel seguito, si stralcia la Tab. 4.1. con le portate di piena del Fiume Po. Si evidenziano i valori della sezione di Moncalieri di riferimento per il tratto di corso d'acqua in Torino. Si osserva che i valori sono stati modificati rispetto all'originario contenuto del PAI del 2001.

2.2.3 PIANO REGOLATORE GENERALE

Il nuovo PRG della Città di Torino è stato approvato con DGR n. 3-45091 del 21.04.1995 pubblicata sul B.U.R. n. 21 del 24 maggio 1995.

In Figura 2-5 si riporta un estratto della Tavola 3 (Allegati tecnici) – *Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica* della Variante strutturale al P.R.G.C.

L'area dei Murazzi non è posta in alcuna classe di pericolosità, in quanto si trova direttamente nell'alveo del Po delimitato dalla Fascia A coincidente con la Fascia B.



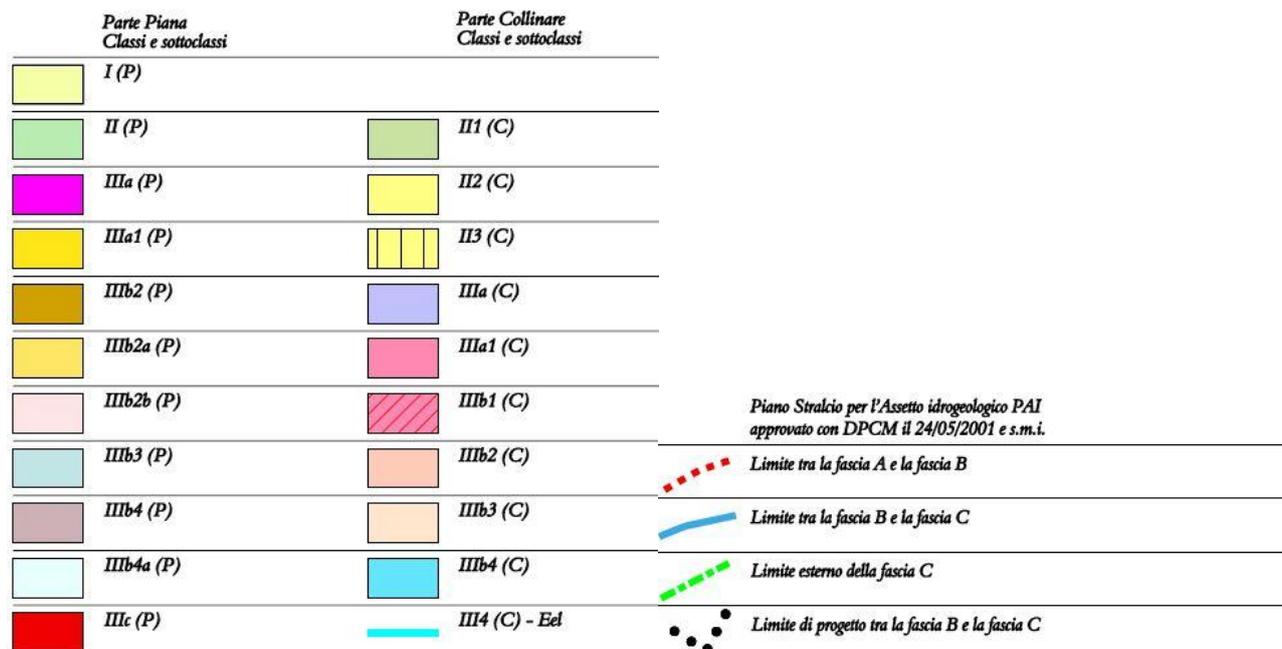


Figura 2-5 – Stralcio della Tavola 3 (Allegati tecnici) – *Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica* del P.R.G. della Città di Torino. L'area dei Murazzi non si colloca in alcuna classe di pericolosità. (scala non rappresentativa)

3 DESCRIZIONE GEOMETRICA DELL'ALVEO

3.1 Morfologia

Il corso d'acqua Fiume Po defluente nel territorio della città di Torino è caratterizzato da un andamento unicursale, tendenzialmente rettilineo ed incassato rispetto al piano campagna circostante.

La larghezza dell'alveo è di circa 100 m e la profondità del fondo rispetto al piano campagna si aggira attorno ai 9-10 m.

Nel tratto di interesse, ovvero a monte della traversa Michelotti all'altezza di Piazza Vittorio, il materiale del fondo è caratterizzato da limi e sabbie. Non si rilevano barre di materiale ghiaioso-terroso in alveo.

Si veda la Figura 3-1 per le condizioni attuali dell'alveo, in cui il livello è controllato e mantenuto permanente alla quota della generatrice del cilindro gonfiabile costituente, di fatto, il coronamento della traversa.

3.2 Documentazione fotografica dello stato dei luoghi



Figura 3-1 – Fiume Po in Torino all'altezza dei Murazzi. (foto: 2346-20170907_125727)

3.3 Difese esistenti

Il Fiume Po per tutto il tratto cittadino di Torino è regolato da opere di difesa spondale, quali muri di sponda, banchine e sistemazioni varie delle scarpate.

Particolare è la sistemazione della sponda sinistra in corrispondenza dei Murazzi: si rileva la presenza di una banchina che costituisce la linea di sponda in condizioni di deflusso ordinario, sulla quale si sviluppa un camminamento avente una larghezza superiore ai 20 m. La sponda vera e propria è costituita dai Murazzi, ovvero delle strutture in muratura il cui fronte, alto 7-8 m, costituisce la linea di sponda in condizioni di piena. All'interno delle strutture si sviluppano degli ambienti adibiti, all'epoca di costruzione, a magazzino e deposito per i barcaioi, mentre al di sopra si sviluppa la viabilità stradale alla quota del piano campagna.

3.4 Manufatti esistenti

Il Fiume Po in Torino è attraversato da una serie di ponti. In particolare, nelle vicinanze dei Murazzi si trovano, a monte, il ponte monumentale Umberto I (di Corso Vittorio Emanuele II - Figura 3-2) ed a valle il ponte monumentale Vittorio Emanuele I (di Piazza Vittorio Veneto - Figura 3-3).



Figura 3-2 – Ponte monumentale Umberto I (di Corso Vittorio Emanuele II) visto da valle. (foto: 2346-20170907_120445)



Figura 3-3 – Ponte monumentale Vittorio Emanuele I (di Piazza Vittorio Veneto) visto da monte. (foto: 2346-20170907_120437)

Immediatamente a valle del ponte Vittorio Emanuele I si trova la traversa Michelotti, una struttura in calcestruzzo munita di un dispositivo gonfiabile in grado di regolare il livello del pelo libero del corso d'acqua a monte.

In merito al funzionamento del dispositivo, le informazioni acquisite dal Settore Ponti e Vie d'acqua sono sintetizzabili come segue:

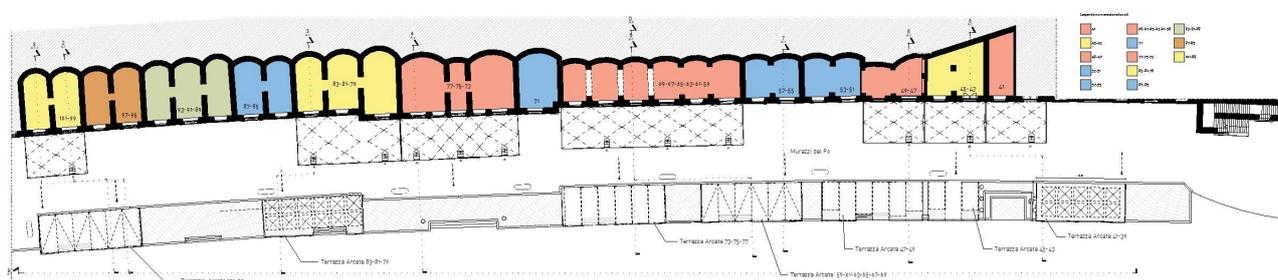
- a) La quota di esercizio è tenuta al 50% del valore massimo consentito (1.0 m) quindi alla quota 213.30 m s.l.m.
- b) Il dispositivo opera in automatico cercando di mantenere costante la quota al variare della portata. Tuttavia, una volta raggiunta la quota 213.10 (ossia 0.30 m di innalzamento rispetto al coronamento fisso a quota 212.80) il sistema prevede il completo abbattimento nel caso la variazione di livello sia brusca.

La funzione del dispositivo gonfiabile è quella di garantire un tirante adeguato all'esercizio del canottaggio.

4 LE OPERE IN PROGETTO

Il progetto Dehors Murazzi prevede la riqualificazione e la rinascita dei locali ai Murazzi. A tale scopo verranno realizzati dei dehors di fronte agli accessi dei locali e lungo la linea di sponda (vedere Figura 4-1).

I dehors sono costituiti da una pedana ancorata al suolo inamovibile e da una struttura soprastante interamente smontabile in caso di allerta meteo (Figura 4-2). Pertanto in caso di allarme, solamente le pedane saranno esposte alla piena del fiume.



In particolare, le pedane lato fiume saranno costituite da un telaio metallico con pavimentazione in doghe in composito legno/polimeri, mentre quelle lato Murazzi saranno realizzate in cemento con finitura in cemento elicotterato,

5 ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica ha lo scopo di valutare l'interferenza delle pedane dei dehors previste in progetto con la piena di riferimento di progetto.

La valutazione è condotta a partire dalla situazione attuale dei luoghi.

5.1 Geometria di rilievo

La geometria della modellazione idraulica del Fiume Po impiegata si fonda su dati di diversa natura e data:

- *sponde ai Murazzi (escluso fondo alveo)*: rilievo topografico di dettaglio (settembre 2017) eseguito con stazione totale che ha dettagliato le banchine, i camminamenti ed i muri sia di sponda sinistra (dei Murazzi) che di sponda destra (del Giardino Ginzburg e delle associazioni canottieri). Il rilievo si è sviluppato per una lunghezza di 500 m a partire dal ponte Vittorio Emanuele I verso il ponte Umberto I ed è stato incentrato sui Murazzi;
- *sponde a monte del ponte Umberto I (escluso fondo alveo)*: modello digitale del terreno DTM del LiDAR del Ministero dell'Ambiente (Figura 5-1). Dato derivante dalla campagna aerofotogrammetrica (2008) con laser scanner restituito con maglia regolare 1x1 m e depurato dagli ostacoli del terreno (edifici, alberi, auto, ecc.);

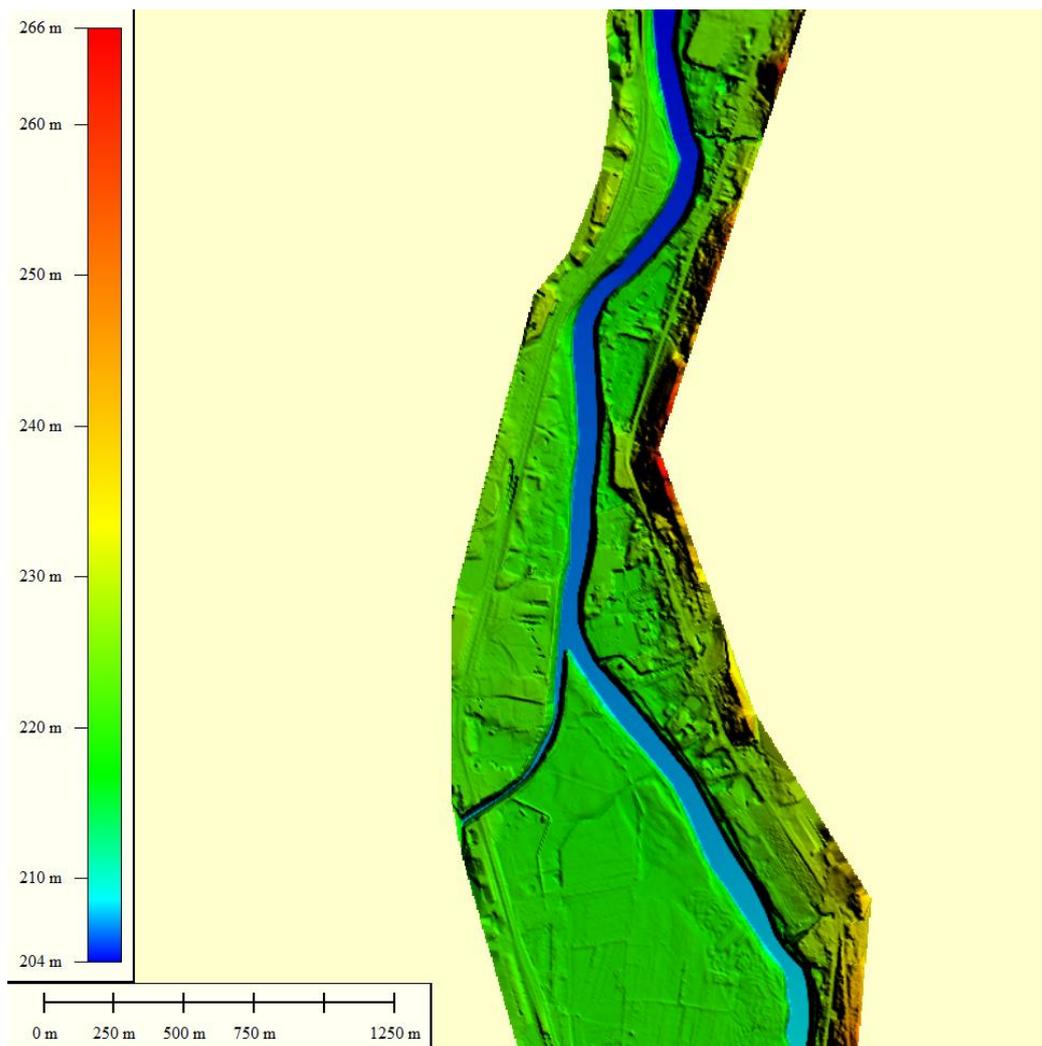


Figura 5-1 – Esempio di visualizzazione del dato LiDAR del Ministero dell’Ambiente nel software GlobalMapper®. Nella figura è mostrata la confluenza del Torrente Sangone nel Fiume Po all’altezza del Parco delle Vallere e del Fioccardo.

- *alveo a monte del ponte Vittorio Emanuele I*: batimetrie della Città di Torino – Infrastrutture e mobilità – Ponti e vie d’acqua presenti nello studio di fattibilità *Piano di riordino fiume Po – Navigazione sul Fiume Po a valle della Diga Michelotti* (agosto 2006);
- *sponde e alveo fra ponte Vittorio Emanuele I e traversa Michelotti*: sezioni e rilievi desunti dal progetto definitivo di *Manutenzione straordinaria diga Michelotti sul fiume Po atta alla Navigazione* della Città di Torino, divisione Infrastrutture e mobilità, settore Ponti e Vie d’acqua (ottobre 2005).
- *sponde e alveo a valle traversa Michelotti*: DTM della Città di Torino;
- *ponti e manufatti di attraversamento*: desunti dal modello Hec-Ras® allestito per la redazione dei documenti del Piano Regolatore della Città di Torino – Variante 100 (2001).

Per quanto riguarda le sezioni del tratto lungo i Murazzi, la geometria è data dalla combinazione dei dati del rilievo a terra e delle batimetrie in ambiente CAD e, successivamente, trasferiti nel codice di calcolo Hec-Ras®.

Per le sezioni a monte del ponte Umberto I sono stati combinati i dati del rilievo LiDAR con quelli delle batimetrie trasferendoli, infine, nel codice di calcolo Hec-Ras®.

Le sezioni comprese fra il ponte Vittorio Emanuele I e la traversa Michelotti sono state desunte direttamente da quelle progettuali.

Le sezioni a valle della traversa Michelotti sono state tracciate desumendo le informazioni spaziali/altimetriche del DTM e trasferite in Hec-Ras®.

Per convenzione, le sezioni del modello sono viste da monte verso valle, pertanto i punti sulla sinistra appartengono alla sponda sinistra ed in punti in destra alla sponda destra.

La numerazione delle sezioni è crescente in direzione contraria alla corrente a partire dalla prima di valle.

5.2 La modellazione idraulica

La modellazione idraulica è condotta impiegando il codice di calcolo Hec-Ras® della U.S. Army Corps of Engineers®. Il codice permette, fra le altre cose, di eseguire verifiche in moto permanente monodimensionali di sistemi di corsi d'acqua.

La spiegazione della routine di calcolo e della formulazione di base del codice di calcolo sono riportate nell'APPENDICE - A - Descrizione dello schema di calcolo adottato dal modello numerico hec-ras attivato in moto permanente (verifiche idrauliche).

Il tratto di Fiume Po modellato si sviluppa a partire da monte dall'area del Fioccardo (confluenza Rio Sappone) fino a valle alle porte di San Mauro Torinese. La lunghezza complessiva è di circa 15.5 km.

Per il tratto modellato, sono state prodotte due geometrie:

- *stato attuale*: situazione dell'alveo e delle sponde come allo stato attuale senza le opere in progetto. In particolare la geometria:
 - contiene tutti i ponti ed i manufatti di attraversamento inseriti come elementi *bridge* (ponti) se interferenti con la corrente in piena o come elementi *lid* (sagome) in caso contrario;
 - contiene la traversa Michelotti con dispositivo gonfiabile abbassato (quota coronamento traversa +212.17 m s.l.m.);
 - presenta *levees* (livelli) che impediscono all'acqua di oltrepassarle laddove si riscontrano arginature;
 - presenta *ineffective flow areas* (parti della sezione in cui è presente acqua ferma o con velocità praticamente nulla) laddove si possono verificare ristagni sul piano campagna.

- *stato di progetto*: aggiunta degli ingombri delle opere previste nel progetto Dehors Murazzi (pedane) mediante l'inserimento di *obstructions* (ostruzioni) al modello stato attuale.

Nell'APPENDICE - B è mostrata la posizione delle sezioni del modello idraulico, mentre nell'APPENDICE - C è mostrato un ingrandimento con la posizione delle sezioni del modello sovrapposta al progetto dehors rimovibili e terrazze fisse.

Il calcolo è stato attivato imponendo la condizione di moto "misto", in quanto si assume che la corrente possa transitare attraverso lo stato critico.

5.2.1 PORTATE DI RIFERIMENTO

Nel paragrafo §2.2.1 sono riportate le portate di piena di progetto desunte dal PGRA alla sezione di Moncalieri e che nel seguito si riportano i valori:

$$Q_{Tr20anni} = 1750 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{Tr200anni} = 2700 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{Tr500anni} = 3100 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dai valori di portata riportati si desume, per regressione sui tre valori, il valore della portata di piena "ordinaria" (caratterizzata da un tempo di ritorno di 4 anni) assumendo che il campione di dati segua una distribuzione del valore estremo del I tipo (EV1):

$$Q_{ordinaria} = 1032 \text{ m}^3/\text{s}$$

La piena "ordinaria" è infatti definita nella circolare del Magistrato per il Po in data 28.05.1963 no. 3607 come la piena che genera il livello raggiunto o superato nel 25% dei casi.

Sarebbe quindi necessario disporre delle registrazioni idrometriche per un periodo di anni adeguato, ordinarne i valori in senso decrescente, quindi individuare il valore collocato in corrispondenza del 75-esimo percentile. In assenza di tali dati, l'Agenzia per il Po (AIPo) assume come livello della "piena ordinaria", il livello connesso alla portata di piena annuale che viene superata in 25 casi su 100 ossia con probabilità di superamento $25/100 = 1/4$ ovvero con tempo medio di ritorno 4 anni.

5.2.2 CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno sono stabilite per l'attivazione del modello generale del Po a Torino:

- a) a monte, la pendenza della linea dell'energia abbia una pendenza del 0.5%;
- b) a valle, la quota del pelo libero è di 211 m s.l.m. corrispondente al livello alla traversa di derivazione alla confluenza della Stura in Po.

5.2.3 SCABREZZA

La scabrezza è stata determinata seguendo le tabelle riportate nei manuali tecnici e dalla calibrazione del modello. Pertanto, per il tronco di Po di interesse, si assegnano rispettivamente valori pari a:

- a) alveo $n = 0.022 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$;
 b) sponda destra $n = 0.040 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$.

5.2.4 TARATURA DEL MODELLO

Il modello è stato tarato per essere in accordo con i livelli idrometrici contenuti nel documento dell'Autorità di Bacino del Fiume Po *Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale* del PGRA (riferimento alla Tab. 5.1_b: profili di piena per il Po nel tratto da Moncalieri a Crescentino).

5.3 Risultati

I risultati mostrati nel seguito fanno riferimento alla modellazione dello *stato di progetto*, in quanto le opere in progetto (pedane) non producono effetti misurabili nei confronti delle piene di progetto rispetto allo *stato attuale* (ovvero le differenze in termini di valori dello *stato di progetto* e quelli dello *stato attuale* sono pressoché trascurabili).

La somiglianza dei risultati citata è mostrata nella Figura 5-2, dove, a titolo di esempio, si mostra la sezione 412 del modello idraulico con la sovrapposizione dei livelli di piena di riferimento riferiti sia allo *stato attuale* che allo *stato di progetto*: non si riscontrano differenze apprezzabili in termini di livello, onde nel seguito riferirsi al solo stato di progetto.

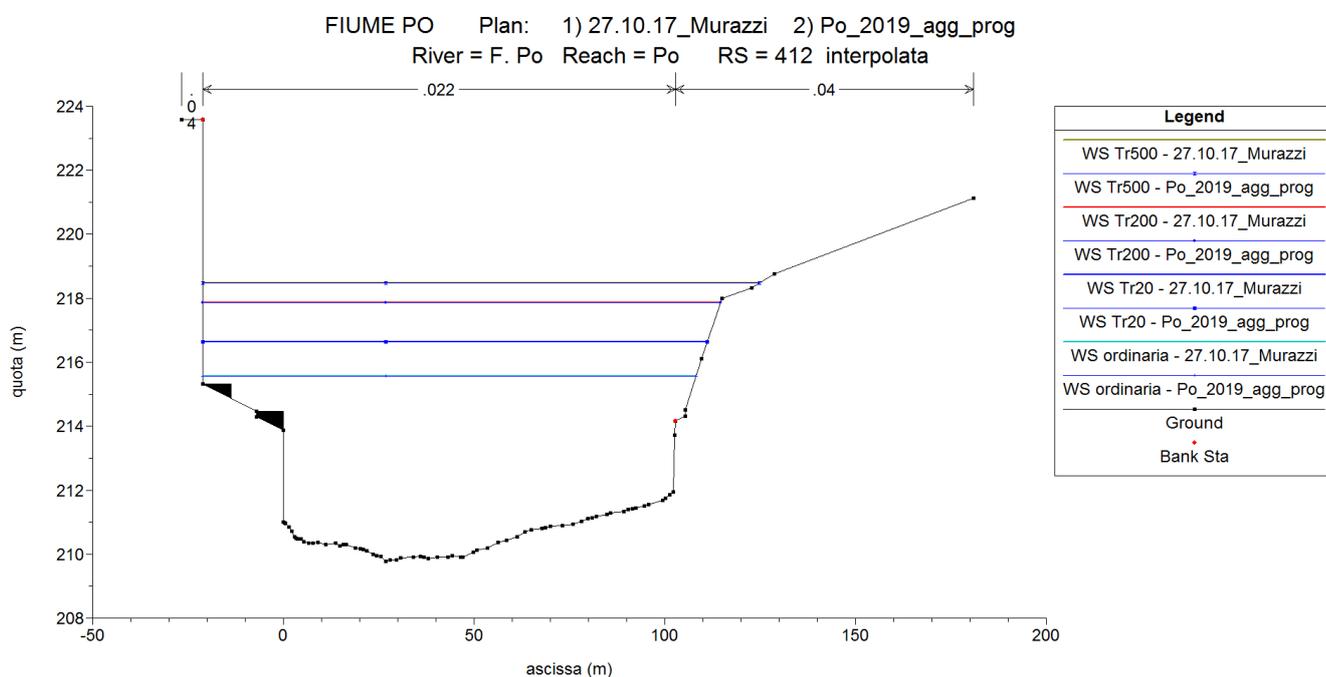


Figura 5-2 – Sezione 412 del modello idraulico con la sovrapposizione dei livelli di piena di progetto considerati negli scenari dello *stato attuale* e dello *stato di progetto*. Non si rilevano differenze in termini di altezze idrometriche nelle condizioni con e senza le opere previste in progetto.

Si prende in considerazione il tratto di Fiume Po lungo il quale si sviluppano i Murazzi, ovvero quello compreso a partire da monte del ponte Umberto I (di Corso Vittorio Emanuele II – sezione 470) fino a valle della traversa Michelotti (sezione 310).

Nell'APPENDICE - D– Risultati modellazione idraulica, si riportano i risultati in uscita della simulazione idraulica relativamente allo stato di progetto.

Nell'APPENDICE - E– Sezioni modello idraulico, si riportano le sezioni del modello idraulico con l'indicazione del pelo libero della portata di riferimento allo stato di progetto.

In Figura 5-6 è mostrato il profilo del tratto di fiume indagato con la sovrapposizione dei livelli delle piene con tempo di ritorno di 20, 200 e 500 anni definite dal PGRA e la piena ordinaria. Il comportamento idraulico del Fiume Po all'altezza dei Murazzi è influenzato a valle dalla presenza dei seguenti manufatti:

- traversa Michelotti (sezz. 320-340): determina la disconnessione idraulica del tronco a valle (la disconnessione in parola è riconoscibile dal risalto idraulico);
- ponte Vittorio Emanuele I (sez. 367.5): le piene, impattando contro le pile e le arcate dell'impalcato, determinano un aumento dei livelli idrometrici a monte dell'opera.

In Figura 5-3 è mostrata la sezione 367.5 BR UP che mostra la situazione in corrispondenza del paramento di monte del ponte Vittorio Emanuele I. Le piene interferiscono con le pile e le arcate dell'impalcato con conseguente innalzamento dei livelli a monte del manufatto.

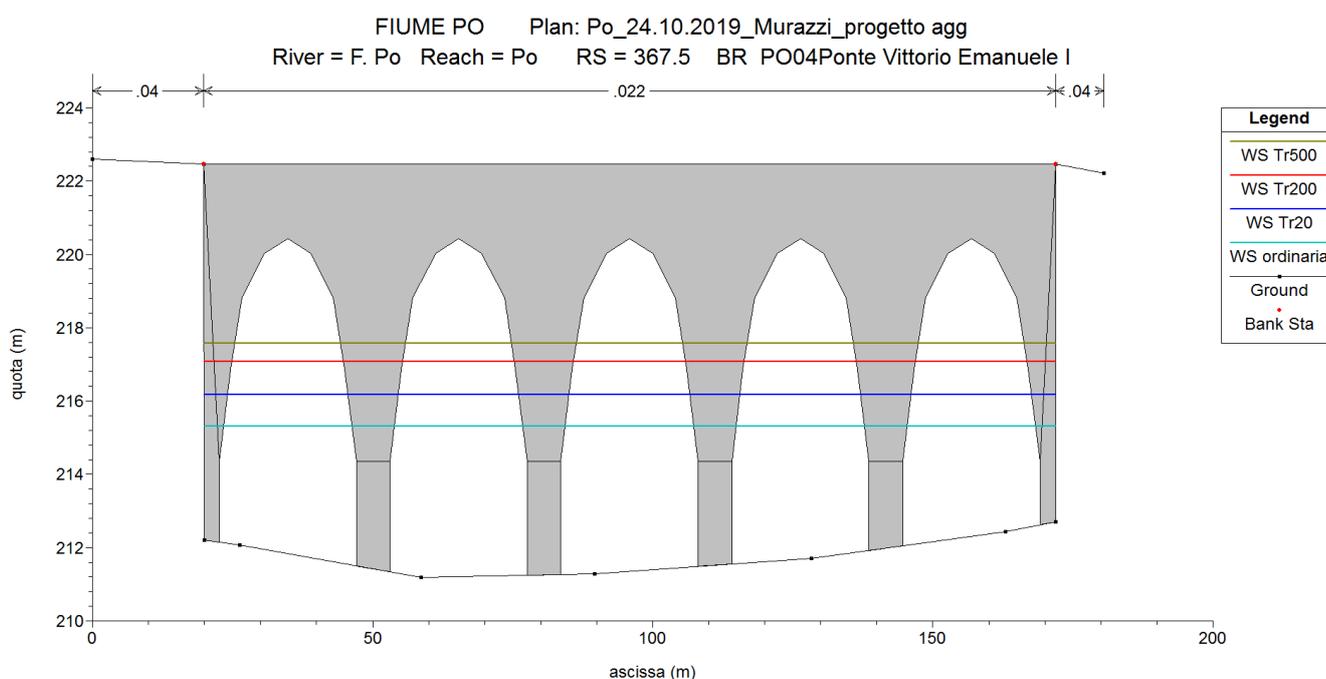


Figura 5-3 – Sezione 367.5 BR UP del modello idraulico che rappresenta il paramento di monte del ponte Vittorio Emanuele I. Le piene di progetto di riferimento impattano contro le pile e le arcate dell'impalcato.

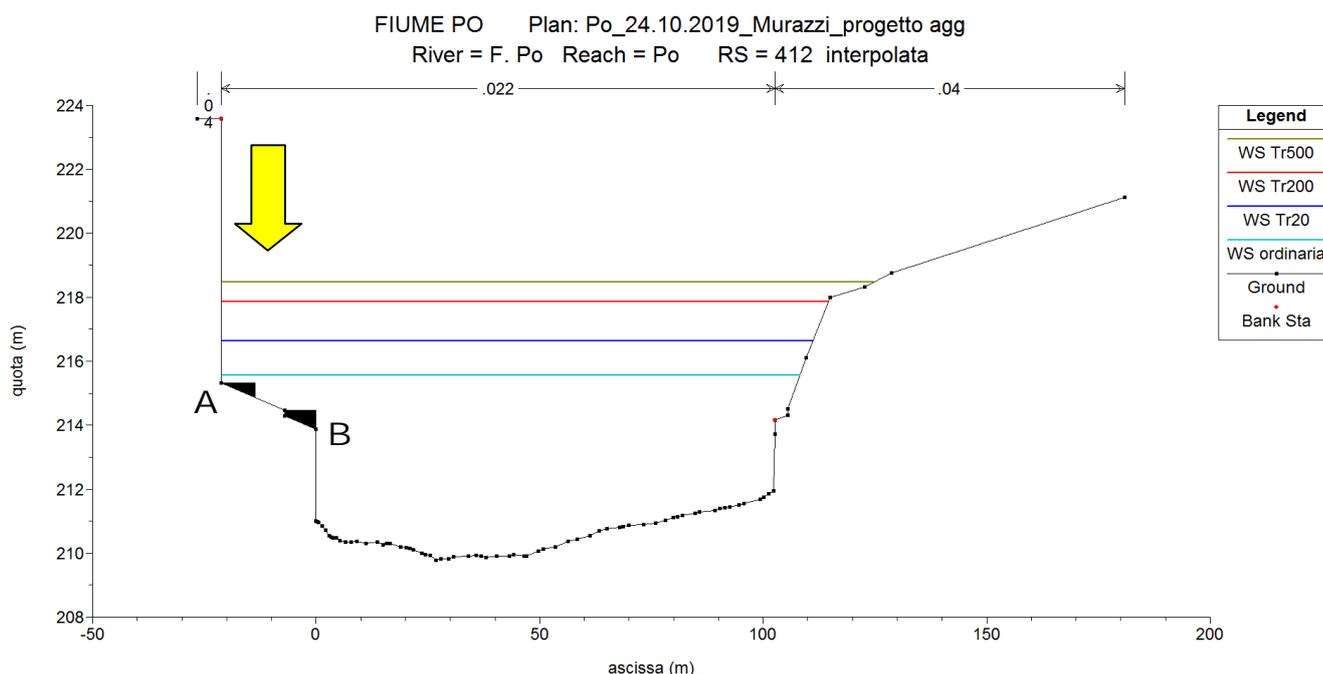


Figura 5-4 – Sezione 412 del modello idraulico presa come riferimento in quanto vi sono presenti le pedane sia contro il muro di sponda che sul bordo lato fiume della banchina. Tutte le piene di progetto interessano il settore dei Murazzi (individuato dalla freccia gialla). Il punto A individua lo spiccato del fronte murario dei Murazzi, mentre il punto B il bordo del marciapiede lato fiume.

Si faccia riferimento alla sezione 412 del modello idraulico, che viene presa come sezione di riferimento per la verifica idraulica del progetto Dehors Murazzi in quanto presenta le pedane inamovibili sia contro il muro di sponda, che sul bordo lato fiume della passeggiata. Tutte le piene di progetto considerate interessano il settore dei Murazzi (individuato dalla freccia gialla). La linea di sponda sinistra coincide con il fronte murario dei Murazzi.

Noti i livelli delle piene di riferimento è possibile determinare l'altezza d'acqua ai Murazzi. Individuati i punti A e B, rispettivamente come lo spiccato del fronte murario dei Murazzi ed il bordo del marciapiede lato fiume (si faccia riferimento alla Figura 5-4 per la posizione) e le relative quote, è possibile determinare l'altezza d'acqua citata (Tabella 5-1).

Tabella 5-1 – Stima dell'altezza dell'acqua ai Murazzi in corrispondenza dello spiccato fronte Murazzi (punto A di Figura 5-4) e del bordo del marciapiede lato fiume (punto B).

| piena | livello idrometrico piena | spiccato fronte Murazzi (punto A) | | bordo marciapiede lato fiume (punto B) | |
|-----------|---------------------------|-----------------------------------|---------------|--|---------------|
| | | quota | altezza acqua | quota | altezza acqua |
| | m s.l.m. | m s.l.m. | m | m s.l.m. | m |
| ordinaria | 215.56 | 215.32 | 0.24 | 213.88 | 1.68 |
| Tr20 | 216.64 | 215.32 | 1.32 | 213.88 | 2.76 |
| Tr200 | 217.86 | 215.32 | 2.54 | 213.88 | 3.98 |
| Tr500 | 218.47 | 215.32 | 3.15 | 213.88 | 4.59 |

Per quanto riguarda il dimensionamento degli ancoraggi delle pedane dei dehors inamovibili con il basamento si fornisce la velocità della corrente transitante sul marciapiede dei Murazzi. In Figura 5-5 è mostrata la sezione 412 del modello con la sovrapposizione della distribuzione delle velocità nella sezione facendo riferimento alla piena cinquecentennale, scelta cautelativamente in quanto reca i maggiori valori di velocità. A favore di sicurezza, inoltre, si prende il valore della velocità in corrispondenza del bordo del marciapiede lato fiume (punto B di Figura 5-4 e di Figura 5-5) che risulta essere il punto più esposto all'azione della corrente: 2.50 m/s.

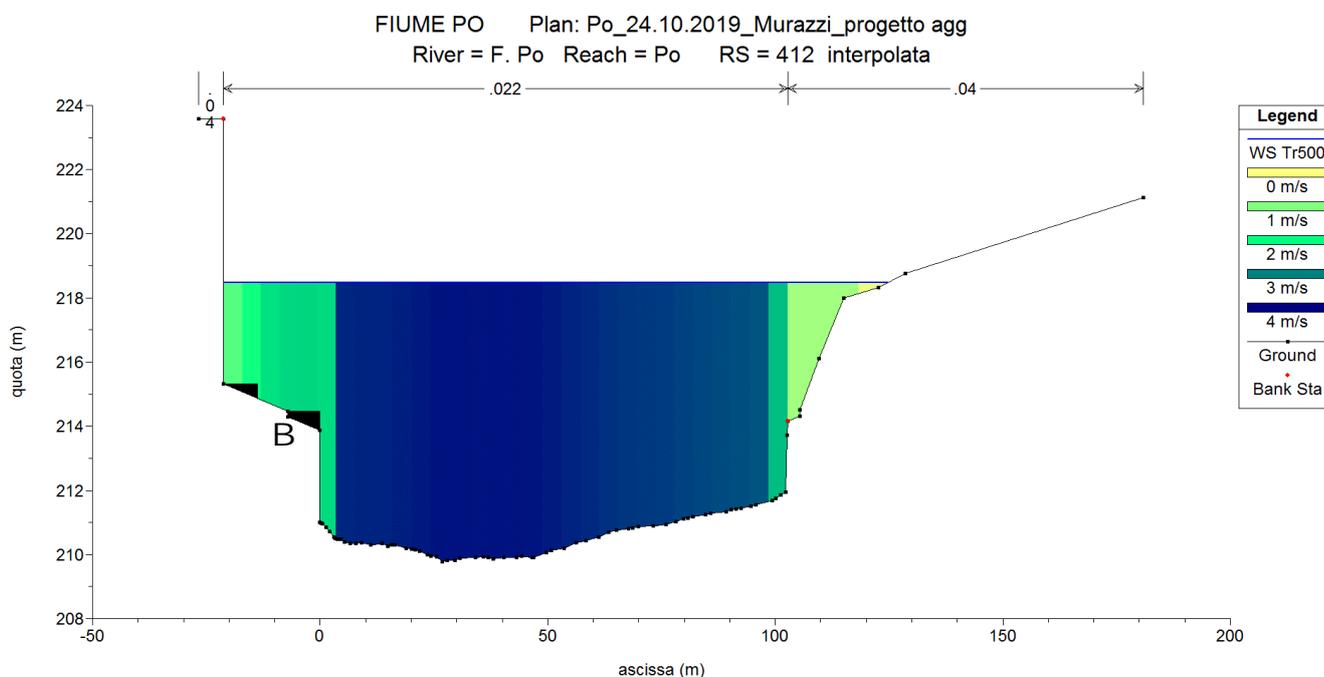
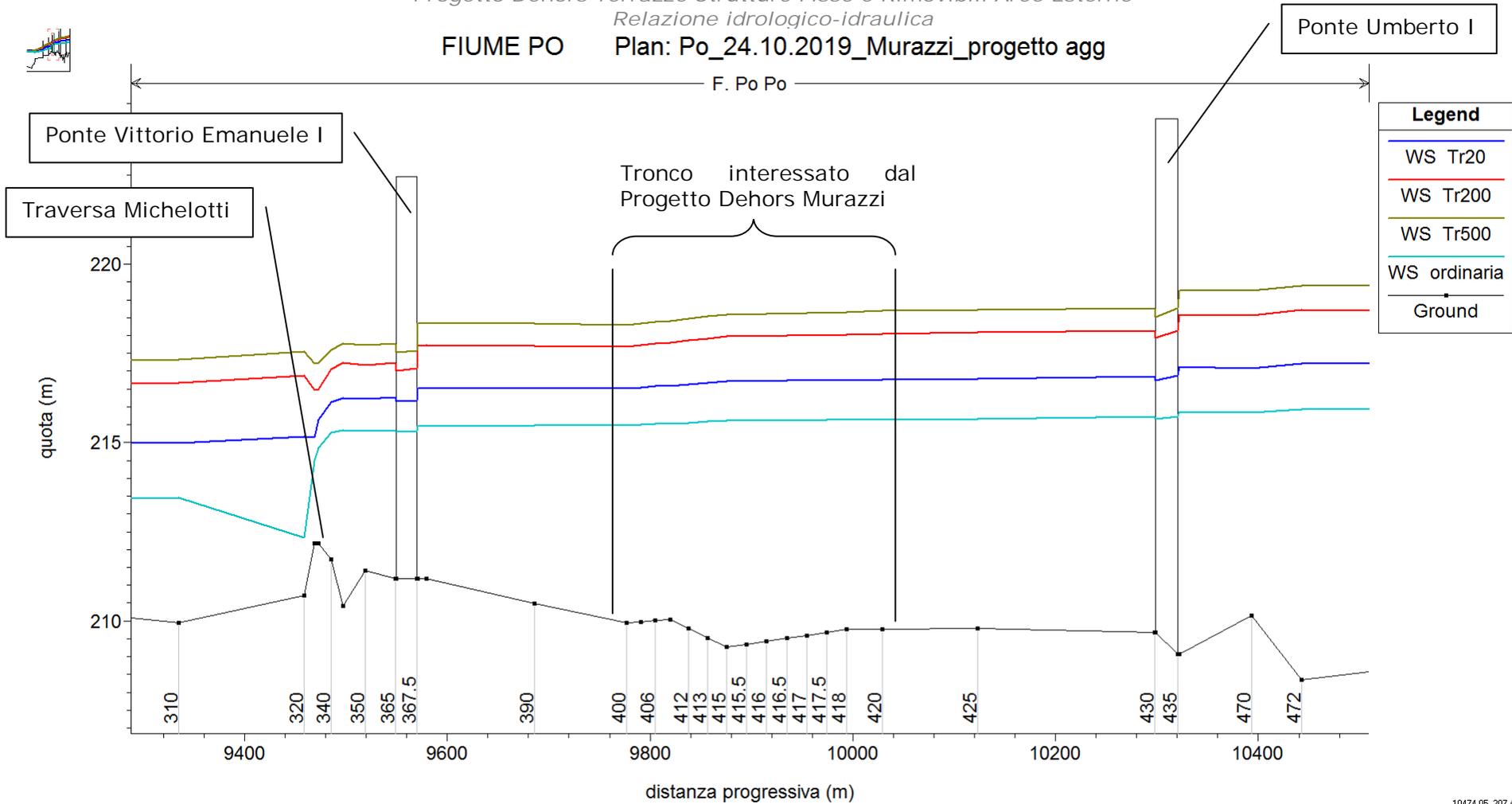


Figura 5-5 – Sezione 412 del modello idraulico con la rappresentazione della distribuzione delle velocità della corrente in riferimento alla piena cinquecentennale.



10/27/05 2017/05

Figura 5-6 – Profilo dell’asta del Fiume Po in corrispondenza dei Murazzi con l’indicazione dei livelli di piena considerati nella modellazione idraulica.

5.4 Conclusioni

Si può concludere specificando quanto segue al riguardo delle questioni idrauliche:

- i Murazzi di Torino sono esposti al pericolo di allagamento in occasione di piene del Fiume Po con tempo di ritorno inferiore anche ai 4 anni. Inoltre, la Direttiva Alluvioni 2015 fa rientrare l'area nelle zone a "Probabilità di alluvioni elevata";
- i *dehors* amovibili in progetto non alterano la dinamica delle piene di progetto di riferimento in quanto, in caso di piena, verranno smontate tutte le parti in elevazione e mantenute soltanto le pedane. La riduzione della sezione disponibile al deflusso della corrente determinata dalle pedane è numericamente irrilevante.

Per quanto riguarda le questioni prettamente strutturali si specifica che:

- la linea di sponda sinistra in caso di piena è costituita dal fronte murario dei Murazzi con soglia di accesso ai locali interni poco più alta della banchina; pertanto sarà necessario installare sulle aperture dei locali (portoni e finestre) idonei dispositivi stagni a tenuta d'acqua montabili in caso di emergenza onde evitare l'intrusione di acqua all'interno degli ambienti;
- sarà necessario provvedere al dimensionamento degli ancoraggi delle pedane al basamento per evitare che la corrente in piena le possa asportare a causa dell'impatto frontale sia della corrente che dei materiali flottanti trasportati durante l'evento.

Per quanto riguarda le questioni legate alla sicurezza dell'area:

- sarà necessario predisporre un piano di protezione civile consistente in un protocollo di operazioni da svolgere in caso di allerta meteo. Lo scopo del piano è la pianificazione delle operazioni necessarie a ridurre il danno.

5.5 Riferimenti utili per il protocollo delle azioni di protezione civile

I riferimenti utili per stabilire un protocollo per le azioni da attuare in caso di allerta meteo derivano dall'analisi che la Città di Torino ha condotto per diffondere le informazioni ai responsabili delle attività ubicate lungo il tronco cittadino del Po.

Il sistema di allertamento attuato dalla Regione Piemonte discende da quanto previsto dalla D.G.R. 30.07.2018 n. 59-7230. Si distinguono due fasi di attività:

- 1) La fase previsionale
- 2) La fase di monitoraggio e sorveglianza

La regione è stata divisa in undici aree di allerta e il Po torinese rientra nell'Area L. La testata del bacino ricade nell'Area M.

L'evoluzione dalla previsione porta all'eventuale attivazione del Sistema di allertamento.

La comunicazione in merito alla possibile occorrenza di un evento di piena deve opportunamente fondarsi sulle informazioni diramate dall'ARPA. Si possono distinguere chiaramente due fasi:

- a) La prima fase è fondata sulle previsioni fornite dall'ARPA;
- b) La seconda fase si attiva in corrispondenza dello stato idrometrico presente nel Po.

5.6 Azioni da attuare in base alle previsioni

In tal senso, la sequenza delle azioni dovrebbe, secondo quanto emerso dall'esperienza diretta degli operatori, essere:

- a) Controllo quotidiano dei bollettini giornalieri d'Allerta meteorologica, di Vigilanza meteo e di Previsione delle piene relativi all'area L corrispondente al Po torinese. I bollettini sono emessi, di regola, a metà giornata e comunque prima delle ore 14;
- b) In caso di previsione di pioggia, si procede a verificare il livello registrato all'idrometro di Carignano. Se il livello a Carignano raggiunge un valore dell'ordine di 2.5 m sullo zero (corrispondente a meno di 350 m³/s) e mostra un andamento stabile o in crescita, è opportuno attivare l'osservazione del livello all'idrometro di Moncalieri con attenzione qualora il livello sia dell'ordine di 3.3 m sullo zero (corrispondente ad una portata di circa 400 m³/s). E' necessario segnalare che l'informazione deducibile da Moncalieri ha puro valore confermativo o sostitutivo in caso di avaria dell'idrometro di Carignano. Nella realtà dei casi osservati, i tempi di trasferimento da Moncalieri ai Murazzi possono essere, di fatto, nulli quindi la procedura ai Murazzi deve essere attivata con riferimento all'idrometro di Carignano. La conversione in portata delle altezze idrometriche fornite dal sito dell'ARPA si avvale della scala delle portate dedotta dai dati forniti da ARPA che portano, per l'intervallo di portata di interesse, ai valori indicati nel grafico sottostante. Il quadro delle soglie di interesse agli idrometri di riferimento è riportato sotto.

Tabella 5-2 – Soglie di riferimento (in metri sullo zero idrometrico) agli idrometri di interesse (Carignano e Moncalieri)

| Idrometro | Soglia 1 | Soglia 2 (allerta gialla) | Soglia 3 (allerta arancione) | Soglia 4 (allerta rossa) |
|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Carignano | 2.50 m (350 m ³ /s) | 3.10 m (440 m ³ /s) | 3.70 m | 5.20 m |
| Moncalieri | 3.30 m (400 m ³ /s) | 3.70 m | 4.90 m | 6.40 m |

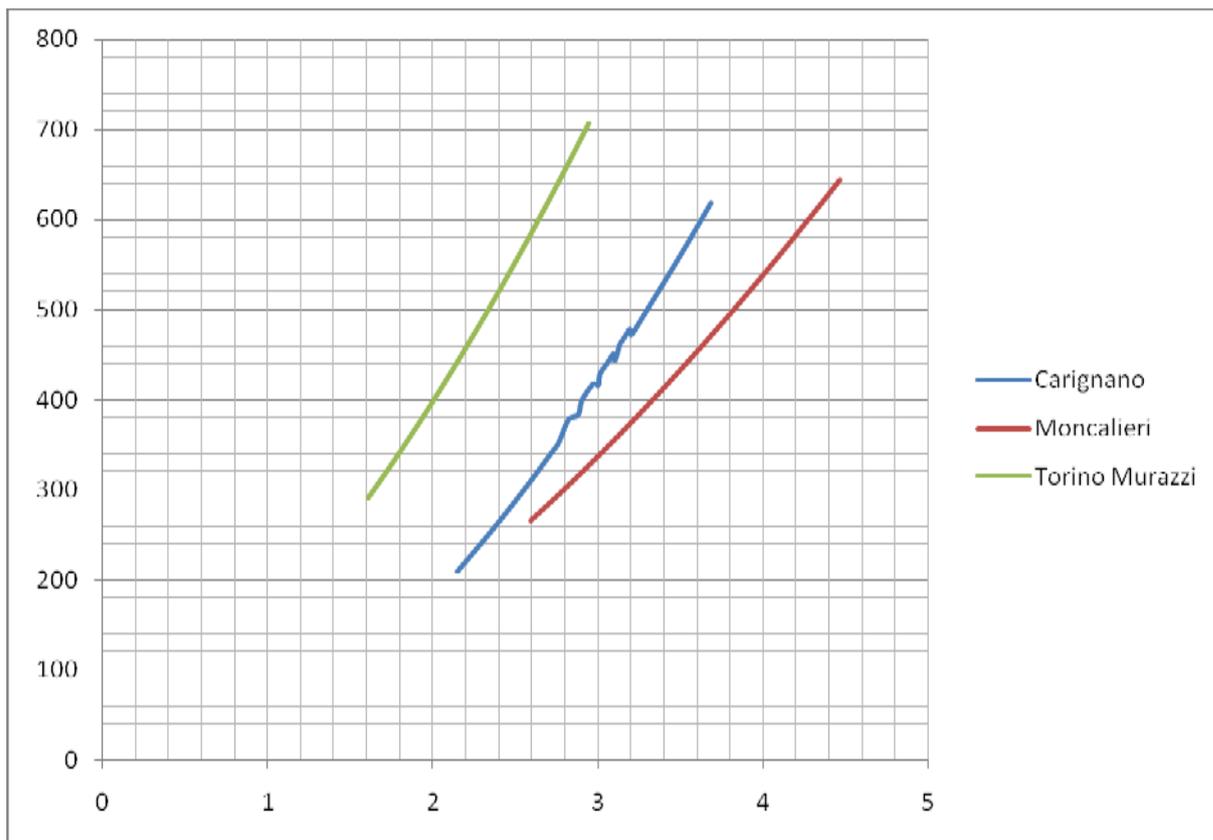


Figura 5-7 – Scala delle portate per gli idrometri di interesse e per l'intervallo significativo ai fini del protocollo (portate in m³/s, in ordinata; altezze in m sullo zero, in ascissa)

Le scale delle portate sono ricostruite sulla base dei valori forniti da ARPA nell'ambito dell'attività qui condotta (primavera 2019). Le scale possono subire modeste variazioni di anno in anno in presenza di eventuali trasformazioni del fondo dell'alveo. Le scale devono pertanto essere periodicamente aggiornate.

Tabella 5-3 – Dati utili per la costruzione della scala delle portate nell'intervallo di altezze di interesse per gli idrometri significativi. La corrispondenza altezza idrometrica-portata è soggetta a variazioni annuali in quanto dipende dalla geometria dell'alveo variabile in funzione delle vicende idrologiche del corso d'acqua. I valori in tabella sono riferiti agli anni 2016-2018.

| Carignano | | Moncalieri | | Torino Murazzi | |
|-----------|-----|------------|-----|----------------|-----|
| 2.15 | 210 | 2.59 | 266 | 1.61 | 292 |
| 2.38 | 260 | 2.7 | 285 | 1.71 | 318 |
| 2.57 | 305 | 2.8 | 302 | 1.78 | 337 |
| 2.71 | 340 | 2.92 | 323 | 1.83 | 351 |
| 2.76 | 352 | 3.05 | 347 | 1.9 | 370 |
| 2.82 | 378 | 3.12 | 360 | 1.92 | 376 |
| 2.88 | 384 | 3.2 | 375 | 1.98 | 393 |
| 2.9 | 399 | 3.25 | 385 | 2.03 | 408 |
| 2.97 | 418 | 3.3 | 395 | 2.06 | 417 |
| 3 | 416 | 3.33 | 401 | 2.07 | 420 |
| 3.01 | 429 | 3.36 | 406 | 2.08 | 422 |
| 3.06 | 443 | 3.37 | 408 | 2.09 | 425 |
| 3.09 | 451 | 3.38 | 410 | 2.1 | 428 |
| 3.1 | 444 | 3.39 | 412 | 2.11 | 431 |
| 3.13 | 462 | 3.4 | 414 | 2.12 | 434 |
| 3.14 | 465 | 3.41 | 416 | 2.13 | 437 |
| 3.15 | 468 | 3.42 | 418 | 2.14 | 440 |
| 3.16 | 470 | 3.42 | 418 | 2.17 | 450 |
| 3.17 | 473 | 3.43 | 420 | 2.18 | 453 |
| 3.18 | 476 | 3.44 | 422 | 2.2 | 459 |
| 3.19 | 479 | 3.45 | 424 | 2.22 | 465 |
| 3.2 | 472 | 3.48 | 430 | 2.26 | 477 |
| 3.27 | 493 | 3.52 | 439 | 2.29 | 487 |
| 3.44 | 544 | 3.53 | 441 | 2.35 | 506 |
| 3.5 | 562 | 3.58 | 451 | 2.36 | 509 |
| 3.57 | 584 | 3.62 | 459 | 2.44 | 535 |
| 3.64 | 606 | 3.65 | 465 | 2.53 | 564 |
| 3.68 | 619 | 3.69 | 474 | 2.54 | 568 |
| | | 3.74 | 484 | 2.58 | 581 |
| | | 3.8 | 497 | 2.68 | 615 |
| | | 3.88 | 514 | 2.72 | 629 |
| | | 3.95 | 529 | 2.84 | 671 |
| | | 4.02 | 545 | 2.86 | 678 |
| | | 4.12 | 567 | 2.94 | 707 |
| | | 4.19 | 583 | | |
| | | 4.29 | 605 | | |
| | | 4.39 | 629 | | |
| | | 4.46 | 645 | | |

Tabella 5-4 – Tabella di comparazione portata-altezze agli idrometri. Valori diversi possono essere direttamente ottenuti dalla Tabella 5-3

| Portata (m ³ /s) | Lettura agli idrometri (m sullo zero) | | |
|--------------------------------|--|------------|----------------|
| | Carignano | Moncalieri | Torino Murazzi |
| 350 | 2.70 | 3.10 | 1.80 |
| 400 | 2.90 | 3.30 | 2.00 |

- c) dare segnalazione del fatto agli operatori in quanto il livello nel tratto torinese può raggiungere il valore soglia dopo solo due ore (se piove anche nel settore torinese) dal raggiungimento del valore di riferimento a Carignano. La segnalazione è giustificata dal fatto che, in base alla modellazione fondata sulla geometria attuale, la portata di 440 m³/s già perviene al ciglio esterno della spianata dei Murazzi (alla sezione 415 il livello risulta 214.43 con il ciglio compreso fra 214.43 e 214.51). In tale situazione, il ripiano su cui l'Imbarco Perosino tiene i tavoli ossia a quota 214.12, risulta già sommerso e anche, la Canottieri Caprera ha già la banchina di approdo (quota 213.71) quasi sommersa ed inagibile. Ai Murazzi resta, dal punto di vista della gestione operativa, ancora la possibilità di operare a livello delle soglie dei locali, che sono quasi un metro più alte del ciglio esterno della spianata.

Pertanto è opportuno avviare la procedura di informazione in anticipo, ossia quando il livello a Carignano ha superato il valore di 2.50 m (come già indicato nella Tabella 5-2) e l'andamento risulta in salita o stabile (ma con previsioni di pioggia).

E' opportuno fare chiarezza sull'argomento, in quanto il trasferimento dell'onda da Carignano ai Murazzi di Torino non segue regole deterministiche in funzione della distanza, ma può subire significative variazioni in base ai contributi degli affluenti dell'area torinese.

Si prenda ad esempio,

- a) il caso del novembre 2018. Alle ore 0.30 il livello a Carignano era a 2.90 m, quindi idoneo ad attivare la procedura. Il livello è arrivato ad interessare la spianata ai Murazzi alle ore 6.00. A Moncalieri, il livello ha raggiunto il valore 3.30 alle 4.00 e contemporaneamente ai Murazzi il livello raggiungeva il valore 2.03 in assenza di apporti significativi da Sangone e Banna dimostrando che il tempo di trasferimento tra Moncalieri e i Murazzi può essere anche nullo;

b) il caso del novembre 2016. Alle ore 9.00 del giorno 24 il livello a Carignano supera il valore 2.50 assunto come riferimento per l'avviamento della procedura. Alle 10.30 a Torino i Murazzi erano già al limite dell'accessibilità (livello 2.29 m corrispondente a circa 483 m³/s quindi già superiore al ciglio esterno della banchina). La differenza rispetto all'evento del 2018 sta nel maggior contributo del Torrente Sangone (oltre 200 m³/s nel 2016 a fronte di poco più di 30 nel 2018) e, nel caso specifico, dell'apporto del Chisola che non è oggetto di osservazione. Pertanto è raccomandabile che la conclusione delle operazioni di smontaggio avvenga entro le due ore dal raggiungimento del valore di riferimento a Carignano, soprattutto se piove anche sul bacino a valle.

| DATA | PO | | | | | |
|---------------|-----------|----------|------------|----------|--------|----------|
| | Carignano | | Moncalieri | | Torino | |
| | H (m) | Q (mc/s) | H (m) | Q (mc/s) | H (m) | Q (mc/s) |
| 05-11-18 0:00 | 2.82 | 378 | 2.59 | 266 | 1.61 | 292 |
| 05-11-18 0:30 | 2.9 | 399 | 2.7 | 285 | 1.61 | 292 |
| 05-11-18 1:00 | 2.97 | 418 | 2.8 | 302 | 1.71 | 318 |
| 05-11-18 1:30 | 3.01 | 429 | 2.92 | 323 | 1.78 | 337 |
| 05-11-18 2:00 | 3.06 | 443 | 3.05 | 347 | 1.83 | 351 |
| 05-11-18 2:30 | 3.09 | 451 | 3.12 | 360 | 1.9 | 370 |
| 05-11-18 3:00 | 3.13 | 462 | 3.2 | 375 | 1.92 | 376 |
| 05-11-18 3:30 | 3.14 | 465 | 3.25 | 385 | 1.98 | 393 |
| 05-11-18 4:00 | 3.15 | 468 | 3.3 | 395 | 2.03 | 408 |
| 05-11-18 4:30 | 3.16 | 470 | 3.33 | 401 | 2.06 | 417 |
| 05-11-18 5:00 | 3.17 | 473 | 3.36 | 406 | 2.1 | 428 |
| 05-11-18 5:30 | 3.19 | 479 | 3.4 | 414 | 2.12 | 434 |
| 05-11-18 6:00 | 3.19 | 479 | 3.43 | 420 | 2.12 | 434 |

| | | | | | | |
|----------------|------|-----|------|-----|------|-----|
| 24-11-16 5:00 | 1.42 | 80 | 1.57 | 118 | 0.95 | 137 |
| 24-11-16 5:30 | 1.48 | 89 | 1.61 | 129 | 1.07 | 161 |
| 24-11-16 6:00 | 1.54 | 98 | 1.67 | 146 | 1.16 | 180 |
| 24-11-16 6:30 | 1.59 | 106 | 1.71 | 137 | 1.24 | 198 |
| 24-11-16 7:00 | 1.67 | 119 | 1.74 | 140 | 1.31 | 214 |
| 24-11-16 7:30 | 1.87 | 154 | 1.82 | 148 | 1.35 | 223 |
| 24-11-16 8:00 | 2.15 | 210 | 1.94 | 161 | 1.41 | 238 |
| 24-11-16 8:30 | 2.38 | 260 | 2.1 | 180 | 1.52 | 265 |
| 24-11-16 9:00 | 2.57 | 305 | 2.32 | 207 | 1.62 | 290 |
| 24-11-16 9:30 | 2.71 | 340 | 2.59 | 244 | 1.86 | 355 |
| 24-11-16 10:00 | 2.76 | 352 | 2.87 | 286 | 2.08 | 419 |
| 24-11-16 10:30 | 2.88 | 384 | 3.18 | 338 | 2.29 | 483 |
| 24-11-16 11:00 | 3 | 416 | 3.47 | 392 | 2.49 | 548 |
| 24-11-16 11:30 | 3.1 | 444 | 3.73 | 444 | 2.71 | 623 |
| 24-11-16 12:00 | 3.2 | 472 | 3.99 | 500 | 2.94 | 706 |
| 24-11-16 12:30 | 3.27 | 493 | 4.16 | 539 | 3.06 | 750 |
| 24-11-16 13:00 | 3.37 | 523 | 4.33 | 579 | 3.22 | 811 |
| 24-11-16 13:30 | 3.44 | 544 | 4.5 | 622 | 3.34 | 858 |



Vale pertanto l'osservazione proposta nel punto c) precedente ovvero che "il livello nel tratto torinese può raggiungere il valore soglia anche solo dopo due ore (se piove anche nel settore torinese)".

Le decisioni basate sulle osservazioni idrometriche a Carignano e Moncalieri sono necessariamente affette da incertezza in quanto la portata ai Murazzi è il risultato di un sistema complesso costituito dagli apporti di Po (misurato a Carignano), di Chisola e Banna (intercettati sul Po a Moncalieri), di Sangone e affluenti collinari (intercettati sul Po all'idrometro denominato "Murazzi" ma posto a valle, al ponte di Corso Regina Margherita). La formazione dell'idrogramma di interesse (ai Murazzi veri e propri) dipende dall'entità delle precipitazioni e dalla loro distribuzione nel tempo che influenza la formazione delle portate dei singoli corsi d'acqua e, di conseguenza, la portata dei tronchi di Po. Solo un modello numerico di simulazione in tempo reale, debitamente tarato, potrebbe fornire le informazioni in merito all'effettivo orario di arrivo del livello di riferimento per lo svolgimento delle operazioni ai Murazzi.

Si assume che il dispositivo di controllo alla traversa Michelotti operi correttamente e segua, in automatico, la variazione di livello mantenendone costante il valore fino al completo abbattimento.

La segnalazione deve quindi essere recepita dai gestori delle attività per attivare la procedura finalizzata alla riduzione del danno che comprende principalmente:

1. la rimozione degli elementi facilmente rimovibili nei locali pubblici presenti (al momento, solo Imbarco Perosino). Nel caso si dia corso alla prevista utilizzazione dei Murazzi, si sottolinea il fatto che, secondo le procedure in atto finora, l'accesso alla banchina è impedito dalla polizia locale quando il livello del Po è prossimo ad invadere la banchina. Se ne deduce che non sarebbe possibile operare allo smontaggio degli arredi in presenza di acqua sulla banchina e pertanto la procedura di smontaggio deve essere avviata sulla base della previsione ossia allo stadio del punto c) sopra individuato;
2. la chiusura delle porte stagne o la sistemazione degli sbarramenti di contenimento ove presenti

L'attività di sorveglianza dei livelli deve proseguire nel caso di conferma della crescita del livello agli idrometri.

L'attività di sorveglianza deve essere condotta in stretta relazione con gli uffici comunali i quali possono accedere alle letture provenienti dagli idrometri della Città nel caso in cui il sito dell'ARPA sia inaccessibile. Gli idrometri in argomento ed i relativi dati da essi raccolti sono gestiti dal Servizio Ponti, Vie d'Acqua e Infrastrutture del Civico ufficio tecnico. La collocazione degli idrometri in parola non è significativa ai fini della previsione, ma solo ai fini della conferma dei livelli raggiunti in città.

Nella giornata successiva, è necessario proseguire con il controllo del Bollettino di previsione delle piene verificando la situazione per il Po a Carignano e ai Murazzi.

L'eventuale colore giallo attribuito al Po segnala un valore di portata atteso compreso fra i valori di riferimento 1 e 2 quindi compreso rispettivamente fra 440÷620 e 680÷900 m³/s.

In presenza di colore giallo diventa necessario continuare il controllo dell'andamento dei livelli a Carignano ed a Moncalieri e risulta opportuno darne comunicazione agli operatori mediante la procedura convenuta in quanto la transizione fra livello 1 e livello 2 a Carignano determina, nel giro di poche ore, l'inaccessibilità ai Murazzi.

Si prevede che l'informazione ai gestori dei Murazzi venga attuata come da protocollo, ma le decisioni in merito sono regolate dalle procedure previste dal piano operativo specificamente redatto dai gestori stessi per lo sgombero delle aree dal pubblico fruitore della medesima e per la rimozione delle strutture ed attrezzature presenti. Il Piano operativo in argomento dovrà costituire un'appendice del Piano di Emergenza comunale di Protezione Civile.

5.7 Riferimenti

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2001): *PAI (Piano per l'Assetto Idrogeologico)*, Parma.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2001): *Piano per l'Assetto Idrogeologico -7- Norme di attuazione - Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*, Parma.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2015): *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA)*

CITTÀ DI TORINO (1995): *PRG – Piano regolatore generale*

CITTÀ DI TORINO (2019): *Servizio di supporto aggiornamento e revisione del piano emergenza comunale di protezione civile Relazione illustrativa*

US ARMY CORPS OF ENGINEERING (2001-a): *HEC-RAS - Hydraulic reference manual*, Dodson & Associates.

US ARMY CORPS OF ENGINEERING (2001-b): *HEC-RAS – Application Guide*, Dodson & Associates.

APPENDICE - A - DESCRIZIONE DELLO SCHEMA DI CALCOLO ADOTTATO DAL MODELLO NUMERICO HEC-RAS ATTIVATO IN MOTO PERMANENTE (VERIFICHE IDRAULICHE)

La determinazione del profilo del pelo libero è stata effettuata mediante modellazione in moto permanente della portata di riferimento tramite il codice numerico HEC-RAS è stato messo a punto dalla Hydrologic Engineering Center (HEC) di Davies, California alla fine degli anni '60 con il nome HEC-2. Adattato all'ambiente Windows® nel 1996 con la nuova denominazione di HEC-RAS (River Analysis System) e dotato d'interfaccia GUI, il codice è attualmente disponibile nella release 3.1 (novembre 2002). Si tratta di un codice di calcolo diffuso a livello internazionale e ampiamente collaudato. Negli USA, in particolare, costituisce l'algoritmo di riferimento per la determinazione dei livelli idrici richiesto dalla FEMA nelle procedure connesse alla copertura assicurativa dei danni alluvionali.

Il codice di calcolo esegue la determinazione del profilo del pelo libero nelle condizioni di moto permanente monodimensionale. La versione 3.0 ha incluso l'analisi in moto vario e si prevede l'estensione all'analisi del trasporto solido su contorno mobile.

Il profilo del pelo libero è calcolato per ogni sezione trasversale risolvendo l'equazione dell'energia con una procedura iterativa denominata standard step method ampiamente descritta nei testi classici dell'idraulica delle correnti a pelo libero.

A.1 Informazioni generali

L'equazione dell'energia fra due sezioni trasversali (1) e (2), con la sezione 1 ubicata a valle della sezione 2, viene scritta nella forma classica, riferita all'unità di peso del liquido:

$$y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

y profondità della corrente nella sezione (m)

z quota del fondo (m)

V velocità media della corrente nella sezione (portata totale/area totale)

α coefficiente di Coriolis che tiene conto della forma della sezione

g accelerazione di gravità (9.81 m/s²)

he perdita di energia (m)

Il significato geometrico dei simboli è illustrato nella Figura A 1.

La sezione trasversale del corso d'acqua viene rappresentata mediante ascissa e ordinata dei punti rilevati e schematizzata in tre settori rilevanti ai fini del convogliamento della portata: golena sinistra (indicata con pedice lob), canale principale (pedice ch), golena destra (pedice rob), ritenendo che in ciascuno dei tre settori la distribuzione di velocità sia uniforme (in caso contrario si procederà ad ulteriori suddivisioni, come riferito in seguito).

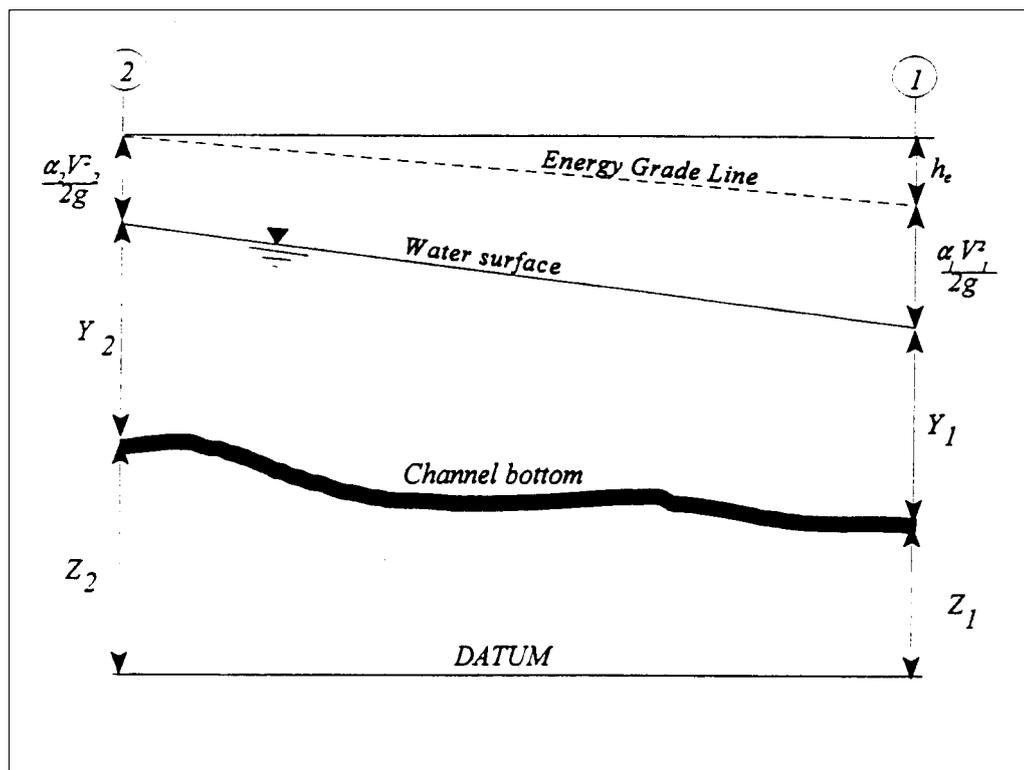


Figura A 1 - Rappresentazione dei termini dell'equazione dell'energia (da HEC, 1997)

La perdita di energia tra due sezioni, espressa dal termine h_e , comprende le perdite dovute alla resistenza distribuita (in funzione della scabrezza) e le perdite localizzate per espansione o restringimento delle sezioni, secondo la relazione

$$h_e = L \cdot S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

essendo:

L lunghezza del tronco (in metri), ponderata in funzione della media delle portate defluenti nelle tre porzioni in cui può essere suddivisa ciascuna sezione, secondo quanto detto sopra. La relazione per la ponderazione citata è

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

dove i simboli L, con il proprio pedice, indicano le distanze dei rispettivi settori in cui è stata divisa ciascuna sezione e i simboli Q le portate defluenti in ciascuna porzione delle due sezioni (in m³/s);

S_f pendenza media della linea dell'energia tra le due sezioni;

C coefficiente di contrazione o di espansione. Si osservi che per espansione o contrazione non si intende aumento o diminuzione dell'area bagnata tra la sezione di monte e quella di valle, ma diminuzione o aumento del termine cinetico tra monte e valle.

Tipici valori dei coefficienti di contrazione ed espansione sono desumibili dalla seguente Figura A 2 (i valori standard sono evidenziati in corsivo)

A.2 Parzializzazione delle sezioni

La determinazione della capacità di convogliamento totale della sezione richiede che la sezione trasversale sia suddivisa in settori ove la corrente defluisca con velocità uniformemente distribuita. I settori sono individuati mediante linee di separazione verticali, come illustrato nella Figura A 2, in corrispondenza dei punti della sezione dove si pone la variazione di scabrezza in funzione delle caratteristiche della superficie.

Tabella 5-5 - Coefficienti di contrazione ed espansione tra sezioni.

| | Contrazione | Espansione |
|---|-------------|------------|
| Nessuna variazione | 0.0 | 0.0 |
| Variazione graduale | 0.1 | 0.3 |
| Tipica situazione in corrispondenza di un ponte | 0.3 | 0.5 |
| Brusca variazione | 0.6 | 0.8 |

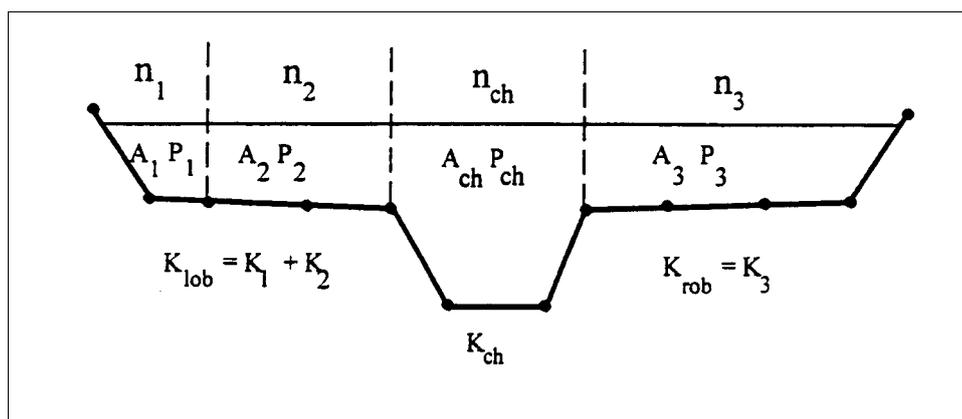


Figura A 2 - Suddivisione di una sezione trasversale in settori con scabrezza uniforme (da HEC, 1997)

A.3 Determinazione della portata

La portata in ciascun settore è calcolata dalla formula

$$Q = K S_f^{0.5} m^3/s$$

secondo la scrittura tradizionale nella letteratura idraulica anglosassone per cui:

K capacità di convogliamento di ciascun settore (m³/s)

n coefficiente di scabrezza (m^{-1/3} s) secondo Manning

A area bagnata del settore di area (m²)

R raggio idraulico del settore (m)

Il programma provvede a sommare le portate parziali per ciascun settore e determina la portata dell'area golenale sinistra e destra di ciascuna sezione. La portata totale della sezione è

data dalla somma di queste due portate e della portata relativa al canale principale, di norma considerato come unico settore. Qualora si desideri prendere in esame eventuali differenze di scabrezza nel canale principale, il programma ne deriva la scabrezza equivalente quale unico valore, se la pendenza delle scarpate è maggiore di 1 (verticale) su 5 (orizzontale) con la formula

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1/5})}{P} \right]^{2/3}$$

con:

n_c coefficiente di scabrezza equivalente

P contorno bagnato dell'intero canale principale

P_i contorno bagnato della i -esima suddivisione

n_i scabrezza della i -esima suddivisione

In caso contrario, ossia pendenza delle scarpate minore di 1 (verticale) su 5 (orizzontale), l'alveo principale viene trattato come un'area suddivisa in diversi settori analogamente a quanto avviene per le golene.

Con tali premesse, in caso di variazione della scabrezza nella sezione, viene calcolato il coefficiente di Coriolis secondo la formula generale:

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2}{Q \bar{V}^2}$$

che può essere espressa in termini delle capacità di convogliamento di ciascuno dei tre settori della sezione. la relazione allora diventa

$$\alpha = \frac{(A_{tot})^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_{tot})^3}$$

con il significato dei simboli precisato sopra.

Infine, la pendenza della linea dell'energia media fra due sezioni viene determinata nel codice di calcolo, salvo diversa richiesta, con la relazione

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

essendo le due sezioni indicate con il relativo pedice numerico.

A.4 Manufatti di attraversamento

In presenza di opere di attraversamento, la modellazione prende in esame le caratteristiche geometriche del ponte e fissa alcune condizioni relative al funzionamento dell'opera in funzione della portata. Di particolare importanza è il rapporto di restringimento b/B in cui:

b : luce totale delle aperture del ponte;

B : larghezza totale dell'alveo

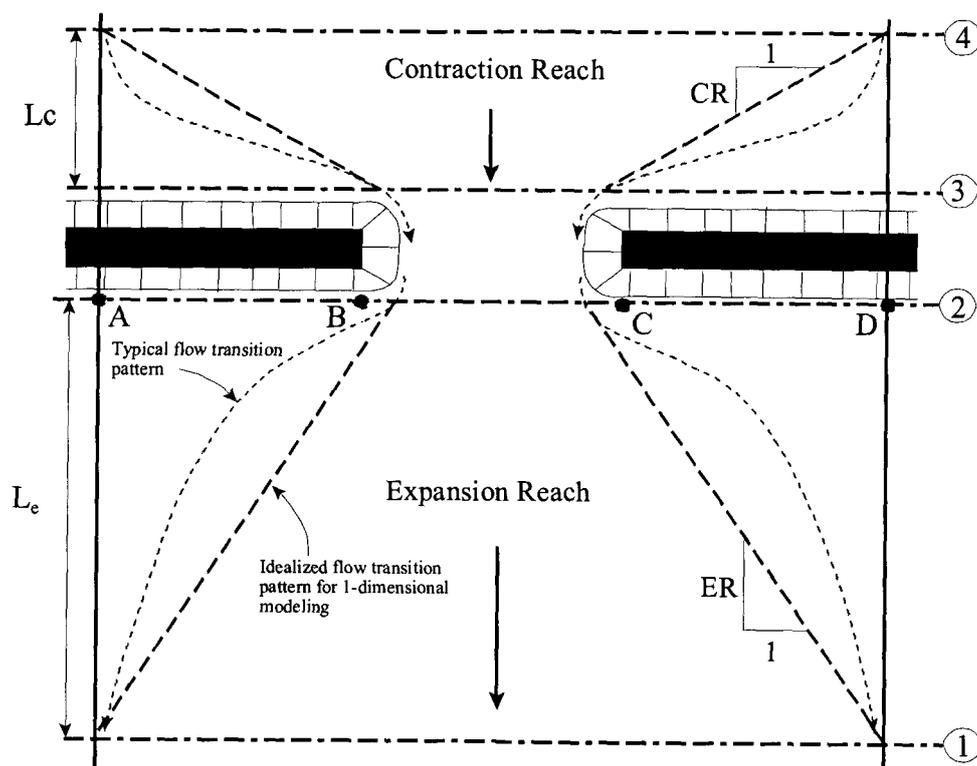


Figura A 3. Schema per l'assegnazione delle sezioni trasversali descrittive di un'opera di attraversamento (da HEC, 1995).

La modellazione richiede la presenza di quattro sezioni collocate secondo quanto indicato nella figura collocate rispettivamente:

- due sezioni (2 e 3) a ridosso dei paramenti dell'opera o al piede del rilevato di accesso;
- due sezioni (1 e 4) ad una distanza determinabile in funzione delle caratteristiche dell'opera.

In generale e in maniera indicativa, la sezione di monte, che definisce il tronco in cui avviene la contrazione dei filetti fluidi, è collocata ad una distanza L_c pari a una volta la luce libera b , mentre la sezione di valle, delimitante il tronco in cui avviene l'espansione, si trova ad una distanza L_e pari a 4 volte la luce. Nel caso di rapporti di restringimento b/B significativi, è necessario collocare le sezioni in modo attento, seguendo le indicazioni fornite, a seguito di indagini sperimentali, dal rapporto HEC (1995) il codice Hec-Ras distingue due situazioni:

- la portata transita tutta entro la luce libera, senza interessare l'impalcato (low flow);
- la portata è tale per cui la corrente supera l'impalcato e vi scorre sopra (high flow).

La scelta delle condizioni di calcolo è critica e può influenzare il risultato. Sembra opportuno operare preventivamente senza ponte allo scopo di osservare le condizioni di moto e il livello raggiunto dal profilo in presenza della sola riduzione di sezione.

A.4.1 Condizioni di convogliamento identificate come *low flow*

Si identificano in base all'analisi della quantità di moto tre condizioni:

Classe A – la corrente attraversa l'opera in condizioni di corrente lenta. Quattro metodi di calcolo sono accessibili in Hec-Ras in funzione della tipologia dell'opera (equazione dell'energia; quantità di moto; equazione di Yarnell (in presenza di pile); metodo WSPRO;

Classe B – la corrente, attraversando l'opera, passa allo stato di corrente veloce. Se il movimento in alveo avviene in condizioni di corrente lenta, si utilizza l'equazione della quantità di moto per determinare il passaggio dalla corrente lenta (nella sezione 3) alla corrente veloce (nella sezione 2); se il moto avviene in condizioni di corrente veloce, il ponte è una sezione di controllo che determina, nella sezione di monte, l'innalzamento della corrente sopra la profondità critica. Il calcolo deve essere eseguito in condizioni di calcolo "misto" (mixed);

Classe C – la corrente, all'attraversamento dell'opera, si mantiene allo stato di corrente veloce e l'equazione dell'energia o della quantità di moto sono usate per il calcolo.

A.4.2 Condizioni di convogliamento identificate come *high flow*

Quando la corrente viene a contatto con il punto più alto dell'intradosso del ponte, si possono utilizzare sia l'equazione della conservazione dell'energia, sia due distinte equazioni per la porzione di portata che defluisce nella luce a battente e per la porzione che attraversa l'impalcato considerato come stramazzo a larga soglia.

Per la bocca a battente, il coefficiente di deflusso, in base a ricerche sperimentali, viene fissato pari a 0.5 se la corrente interessa solo il paramento di monte dell'impalcato, mentre risulta pari a 0.8 quando anche il paramento di valle è interessato dalla corrente

A.5 Riferimenti

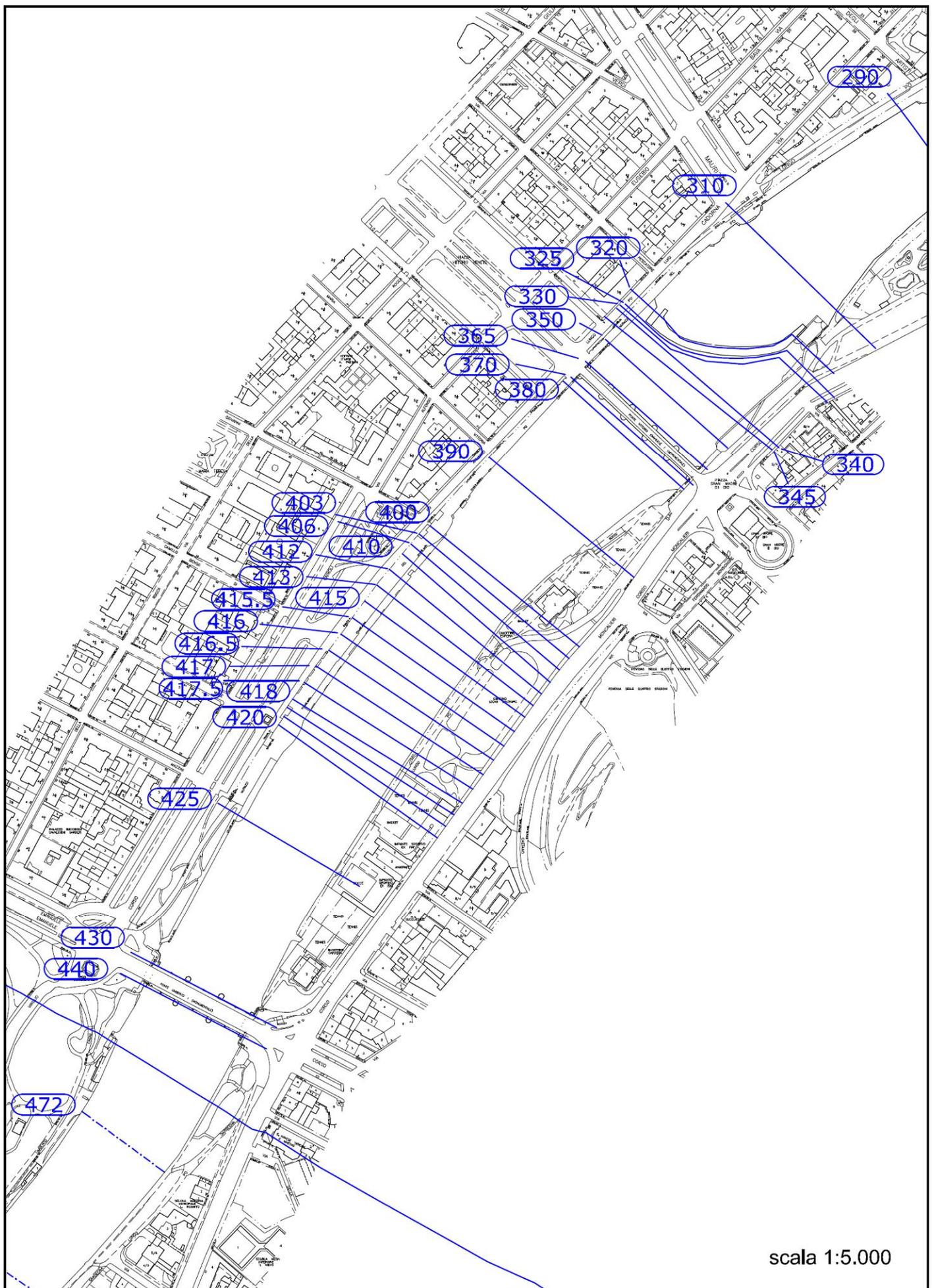
HEC (2001) – *Hec-Ras Hydraulic Reference Manual*, US Army Corps of Engineers, Davis

HEC (1995) – *Flow Transition in Bridge Backwater Analysis- RD-42*, US Army Corps of Engineers, Davis

HOGGAN D.H (1997): *Computer Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics*, McGraw Hill, New York

APPENDICE - B – PLANIMETRIA SEZIONI MODELLO IDRAULICO

Nel seguito si riporta la planimetria con l'indicazione della posizione delle sezioni implementate nel modello idraulico.

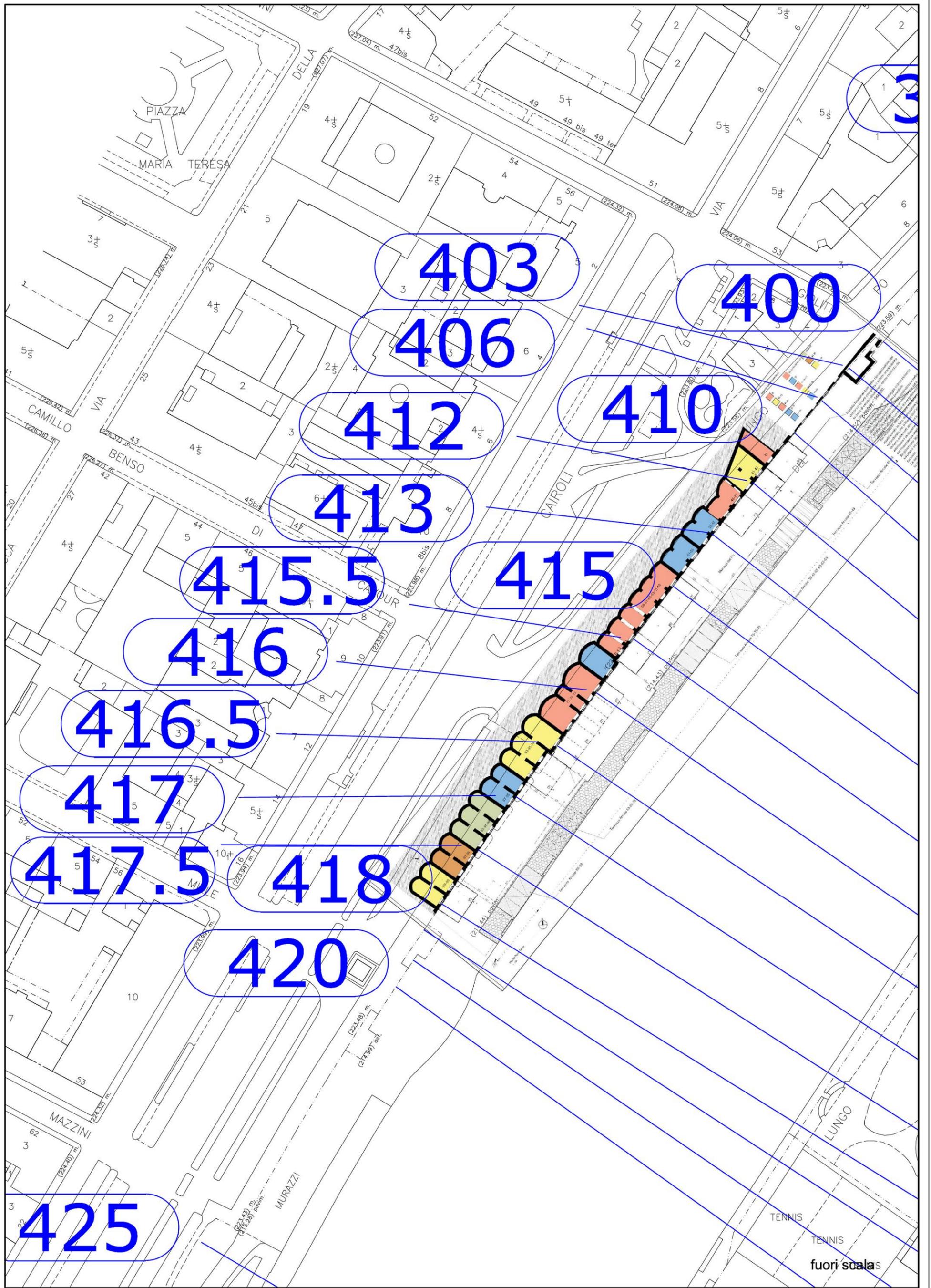


scala 1:5.000

Planimetria sezioni modello idraulico

APPENDICE - C – PLANIMETRIA DI DETTAGLIO SEZIONI MODELLO IDRAULICO

Nel seguito si riporta la planimetria di dettaglio con l'indicazione della posizione delle sezioni implementate nel modello idraulico con riferimento al progetto dehors removibili e terrazze fisse.



Planimetria sezioni modello idraulico - ingrandimento

APPENDICE - D – RISULTATI MODELLAZIONE IDRAULICA (STATO DI PROGETTO)

Si ricorda che le colonne della tabella hanno il significato seguente:

| | |
|---------------|---|
| Reach | : tronco considerato |
| River Station | : numero sezione (crescente da valle verso monte) |
| Profile | : profilo di riferimento |
| Plan | : simulazione di riferimento |
| Q total | : portata di riferimento |
| Min Ch El | : quota minima del fondo |
| W.S. Elev. | : quota del pelo libero |
| Crit - W.S. | : quota del pelo libero allo stato critico |
| E.G. Elev. | : quota della linea dell'energia |
| E.G. Slope | : pendenza "motrice" |
| Vel Chnl | : velocità media nell'alveo principale |
| Flow Area | : area bagnata |
| Top Width | : larghezza del pelo libero |
| Froude # Chl | : numero di Froude per l'alveo principale (la corrente è "veloce" per numero di Froude > 1) |

| Reach | River Station | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|-------|---------------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------------|-----------|-----------|--------------|
| | | | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m ²) | (m) | | |
| Po | 470 | Tr20 | 1750 | 210.15 | 217.09 | | 217.43 | 0.000353 | 2.6 | 673.29 | 124.61 | 0.36 |
| Po | 470 | Tr200 | 2700 | 210.15 | 218.56 | | 219.06 | 0.000439 | 3.12 | 865.69 | 143.1 | 0.4 |
| Po | 470 | Tr500 | 3100 | 210.15 | 219.26 | | 219.78 | 0.000428 | 3.2 | 968.23 | 151.07 | 0.4 |
| Po | 470 | ordinaria | 1032 | 210.15 | 215.84 | | 216.04 | 0.000273 | 1.98 | 520.55 | 119.69 | 0.3 |
| | | | | | | | | | | | | |
| Po | 440 | Tr20 | 1750 | 209.08 | 217.12 | 213.07 | 217.37 | 0.000204 | 2.22 | 786.64 | 114.45 | 0.27 |
| Po | 440 | Tr200 | 2700 | 209.08 | 218.58 | 214.03 | 218.99 | 0.000263 | 2.83 | 955.58 | 115.77 | 0.31 |
| Po | 440 | Tr500 | 3100 | 209.08 | 219.27 | 214.41 | 219.73 | 0.00027 | 2.99 | 1035.13 | 116.39 | 0.32 |
| Po | 440 | ordinaria | 1032 | 209.08 | 215.86 | 212.2 | 215.99 | 0.000135 | 1.6 | 643.52 | 113.53 | 0.22 |
| | | | | | | | | | | | | |
| Po | 435 | | Bridge | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica

| Reach | River Station | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|-------|---------------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------------|-----------|-----------|--------------|
| | | | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m ²) | (m) | | |
| Po | 430 | Tr20 | 1750 | 209.67 | 216.85 | | 217.15 | 0.000282 | 2.43 | 720.28 | 116.93 | 0.31 |
| Po | 430 | Tr200 | 2700 | 209.67 | 218.13 | | 218.62 | 0.000367 | 3.1 | 870.73 | 117.63 | 0.36 |
| Po | 430 | Tr500 | 3100 | 209.67 | 218.75 | | 219.3 | 0.000374 | 3.28 | 944.15 | 117.97 | 0.37 |
| Po | 430 | ordinaria | 1032 | 209.67 | 215.72 | | 215.88 | 0.000188 | 1.75 | 588.46 | 116.56 | 0.25 |
| | | | | | | | | | | | | |
| Po | 425 | Tr20 | 1750 | 209.79 | 216.79 | | 217.09 | 0.000351 | 2.45 | 716.46 | 143.88 | 0.35 |
| Po | 425 | Tr200 | 2700 | 209.79 | 218.08 | | 218.54 | 0.000392 | 2.98 | 939.8 | 191.87 | 0.38 |
| Po | 425 | Tr500 | 3100 | 209.79 | 218.72 | | 219.2 | 0.000368 | 3.09 | 1064.79 | 198.59 | 0.37 |
| Po | 425 | ordinaria | 1032 | 209.79 | 215.66 | | 215.83 | 0.000262 | 1.85 | 558.33 | 136.01 | 0.29 |
| | | | | | | | | | | | | |
| Po | 420 | Tr20 | 1750 | 209.76 | 216.76 | | 217.06 | 0.000322 | 2.44 | 747.05 | 178.88 | 0.33 |
| Po | 420 | Tr200 | 2700 | 209.76 | 218.05 | | 218.5 | 0.000369 | 2.99 | 983.82 | 186.81 | 0.37 |
| Po | 420 | Tr500 | 3100 | 209.76 | 218.69 | | 219.17 | 0.000356 | 3.1 | 1104.84 | 190.74 | 0.36 |
| Po | 420 | ordinaria | 1032 | 209.76 | 215.64 | | 215.8 | 0.000239 | 1.82 | 571.53 | 133.32 | 0.28 |
| | | | | | | | | | | | | |
| Po | 418 | Tr20 | 1750 | 209.76 | 216.75 | | 217.04 | 0.000306 | 2.4 | 738.38 | 138.12 | 0.32 |
| Po | 418 | Tr200 | 2700 | 209.76 | 218.02 | | 218.48 | 0.00037 | 3 | 920.98 | 152.68 | 0.37 |
| Po | 418 | Tr500 | 3100 | 209.76 | 218.64 | | 219.15 | 0.000365 | 3.15 | 1018.07 | 158.17 | 0.37 |
| Po | 418 | ordinaria | 1032 | 209.76 | 215.63 | | 215.79 | 0.000223 | 1.77 | 585.84 | 134.62 | 0.27 |
| | | | | | | | | | | | | |
| Po | 417.5 | Tr20 | 1750 | 209.68 | 216.74 | | 217.04 | 0.000306 | 2.4 | 735.93 | 137.08 | 0.32 |
| Po | 417.5 | Tr200 | 2700 | 209.68 | 218.01 | | 218.47 | 0.000372 | 3.02 | 915.41 | 149.92 | 0.37 |
| Po | 417.5 | Tr500 | 3100 | 209.68 | 218.63 | | 219.14 | 0.000367 | 3.17 | 1010.99 | 156.79 | 0.37 |
| Po | 417.5 | ordinaria | 1032 | 209.68 | 215.63 | | 215.79 | 0.000222 | 1.77 | 584.83 | 133.85 | 0.27 |
| | | | | | | | | | | | | |
| Po | 417 | Tr20 | 1750 | 209.6 | 216.74 | | 217.03 | 0.000303 | 2.4 | 735.93 | 136.08 | 0.32 |
| Po | 417 | Tr200 | 2700 | 209.6 | 218 | | 218.46 | 0.00037 | 3.02 | 912.65 | 147.72 | 0.37 |
| Po | 417 | Tr500 | 3100 | 209.6 | 218.62 | | 219.13 | 0.000366 | 3.17 | 1006.6 | 155.16 | 0.37 |
| Po | 417 | ordinaria | 1032 | 209.6 | 215.62 | | 215.78 | 0.000218 | 1.77 | 586.12 | 133.08 | 0.27 |
| | | | | | | | | | | | | |
| Po | 416.5 | Tr20 | 1750 | 209.52 | 216.73 | | 217.02 | 0.000297 | 2.39 | 738.03 | 135.1 | 0.32 |
| Po | 416.5 | Tr200 | 2700 | 209.52 | 217.99 | | 218.46 | 0.000365 | 3.02 | 912.26 | 145.87 | 0.37 |

Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica

| Reach | River Station | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|-------|---------------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------------|-----------|-----------|--------------|
| | | | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m ²) | (m) | | |
| Po | 416.5 | Tr500 | 3100 | 209.52 | 218.61 | | 219.12 | 0.000363 | 3.17 | 1004.66 | 153.15 | 0.37 |
| Po | 416.5 | ordinaria | 1032 | 209.52 | 215.62 | | 215.78 | 0.000212 | 1.76 | 589.41 | 132.32 | 0.26 |
| Po | 416 | Tr20 | 1750 | 209.43 | 216.73 | | 217.02 | 0.000293 | 2.39 | 738.58 | 134.13 | 0.32 |
| Po | 416 | Tr200 | 2700 | 209.43 | 217.99 | | 218.45 | 0.000363 | 3.02 | 910.31 | 143.68 | 0.37 |
| Po | 416 | Tr500 | 3100 | 209.43 | 218.6 | | 219.12 | 0.000361 | 3.18 | 1001.35 | 150.06 | 0.37 |
| Po | 416 | ordinaria | 1032 | 209.43 | 215.62 | | 215.77 | 0.000208 | 1.75 | 591.18 | 131.56 | 0.26 |
| Po | 415.5 | Tr20 | 1750 | 209.35 | 216.72 | | 217.01 | 0.00029 | 2.39 | 739.49 | 133.18 | 0.32 |
| Po | 415.5 | Tr200 | 2700 | 209.35 | 217.98 | | 218.44 | 0.00036 | 3.02 | 909.08 | 139.75 | 0.36 |
| Po | 415.5 | Tr500 | 3100 | 209.35 | 218.6 | | 219.11 | 0.000359 | 3.18 | 998.62 | 148.11 | 0.37 |
| Po | 415.5 | ordinaria | 1032 | 209.35 | 215.61 | | 215.77 | 0.000204 | 1.75 | 593.26 | 130.8 | 0.26 |
| Po | 415 | Tr20 | 1750 | 209.27 | 216.72 | | 217.01 | 0.000286 | 2.38 | 740.79 | 132.26 | 0.32 |
| Po | 415 | Tr200 | 2700 | 209.27 | 217.97 | | 218.43 | 0.000356 | 3.02 | 908.78 | 135.51 | 0.36 |
| Po | 415 | Tr500 | 3100 | 209.27 | 218.59 | | 219.1 | 0.000357 | 3.18 | 996.48 | 146.39 | 0.37 |
| Po | 415 | ordinaria | 1032 | 209.27 | 215.61 | | 215.77 | 0.0002 | 1.74 | 595.72 | 130.03 | 0.26 |
| Po | 413 | Tr20 | 1750 | 209.53 | 216.68 | | 217 | 0.00033 | 2.5 | 707.17 | 132.29 | 0.34 |
| Po | 413 | Tr200 | 2700 | 209.53 | 217.92 | | 218.42 | 0.000405 | 3.15 | 873.44 | 135.69 | 0.39 |
| Po | 413 | Tr500 | 3100 | 209.53 | 218.53 | | 219.09 | 0.000403 | 3.32 | 960.17 | 146.32 | 0.39 |
| Po | 413 | ordinaria | 1032 | 209.53 | 215.59 | | 215.76 | 0.000236 | 1.84 | 564.2 | 129.6 | 0.28 |
| Po | 412 | Tr20 | 1750 | 209.78 | 216.64 | | 216.99 | 0.000389 | 2.63 | 673.78 | 132.37 | 0.36 |
| Po | 412 | Tr200 | 2700 | 209.78 | 217.86 | | 218.41 | 0.000467 | 3.29 | 838.17 | 135.85 | 0.41 |
| Po | 412 | Tr500 | 3100 | 209.78 | 218.47 | | 219.08 | 0.00046 | 3.46 | 923.92 | 145.96 | 0.41 |
| Po | 412 | ordinaria | 1032 | 209.78 | 215.56 | | 215.75 | 0.000285 | 1.95 | 532.91 | 129.41 | 0.3 |
| Po | 410 | Tr20 | 1750 | 210.04 | 216.59 | | 216.98 | 0.000448 | 2.76 | 644.94 | 132.47 | 0.39 |
| Po | 410 | Tr200 | 2700 | 210.04 | 217.8 | | 218.4 | 0.000528 | 3.43 | 807.53 | 135.99 | 0.44 |
| Po | 410 | Tr500 | 3100 | 210.04 | 218.41 | | 219.06 | 0.000516 | 3.6 | 892.45 | 144.91 | 0.44 |
| Po | 410 | ordinaria | 1032 | 210.04 | 215.53 | | 215.74 | 0.000336 | 2.06 | 506.04 | 129.39 | 0.33 |

Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica

| Reach | River Station | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|-------|---------------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------------|-----------|-----------|--------------|
| | | | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m ²) | (m) | | |
| Po | 406 | Tr20 | 1750 | 210.01 | 216.57 | | 216.97 | 0.000457 | 2.79 | 637.55 | 130.65 | 0.39 |
| Po | 406 | Tr200 | 2700 | 210.01 | 217.77 | | 218.38 | 0.000541 | 3.47 | 796.25 | 133.54 | 0.44 |
| Po | 406 | Tr500 | 3100 | 210.01 | 218.38 | | 219.05 | 0.000528 | 3.64 | 879.69 | 143.12 | 0.44 |
| Po | 406 | ordinaria | 1032 | 210.01 | 215.52 | | 215.74 | 0.000342 | 2.08 | 501.2 | 128.11 | 0.33 |
| Po | 403 | Tr20 | 1750 | 209.97 | 216.55 | | 216.96 | 0.00048 | 2.84 | 625.65 | 128.75 | 0.4 |
| Po | 403 | Tr200 | 2700 | 209.97 | 217.74 | | 218.37 | 0.000567 | 3.54 | 780.27 | 131.02 | 0.45 |
| Po | 403 | Tr500 | 3100 | 209.97 | 218.34 | | 219.04 | 0.000554 | 3.7 | 862.19 | 141.14 | 0.45 |
| Po | 403 | ordinaria | 1032 | 209.97 | 215.5 | | 215.73 | 0.000359 | 2.12 | 492.35 | 126.75 | 0.34 |
| Po | 400 | Tr20 | 1750 | 209.94 | 216.52 | | 216.94 | 0.000506 | 2.9 | 612.79 | 126.79 | 0.41 |
| Po | 400 | Tr200 | 2700 | 209.94 | 217.7 | | 218.35 | 0.000599 | 3.6 | 763.01 | 128.45 | 0.46 |
| Po | 400 | Tr500 | 3100 | 209.94 | 218.3 | | 219.02 | 0.000583 | 3.77 | 843.37 | 139.04 | 0.46 |
| Po | 400 | ordinaria | 1032 | 209.94 | 215.49 | | 215.72 | 0.000379 | 2.16 | 482.69 | 125.34 | 0.35 |
| Po | 390 | Tr20 | 1750 | 210.49 | 216.52 | | 216.86 | 0.000404 | 2.56 | 683.92 | 136.35 | 0.36 |
| Po | 390 | Tr200 | 2700 | 210.49 | 217.72 | | 218.23 | 0.000479 | 3.19 | 849.71 | 144.72 | 0.41 |
| Po | 390 | Tr500 | 3100 | 210.49 | 218.33 | | 218.89 | 0.000462 | 3.33 | 940.67 | 151.85 | 0.41 |
| Po | 390 | ordinaria | 1032 | 210.49 | 215.48 | | 215.67 | 0.000269 | 1.9 | 542.82 | 126.89 | 0.29 |
| Po | 380 | Tr20 | 1750 | 211.18 | 216.51 | | 216.8 | 0.000362 | 2.38 | 734.02 | 152.55 | 0.35 |
| Po | 380 | Tr200 | 2700 | 211.18 | 217.72 | | 218.16 | 0.000416 | 2.94 | 918.73 | 152.64 | 0.38 |
| Po | 380 | Tr500 | 3100 | 211.18 | 218.35 | | 218.82 | 0.000399 | 3.06 | 1013.63 | 152.69 | 0.38 |
| Po | 380 | ordinaria | 1032 | 211.18 | 215.47 | | 215.63 | 0.00028 | 1.8 | 574.68 | 152.47 | 0.3 |
| Po | 370 | Tr20 | 1750 | 211.18 | 216.51 | 214.07 | 216.8 | 0.000365 | 2.39 | 731.53 | 152.01 | 0.35 |
| Po | 370 | Tr200 | 2700 | 211.18 | 217.72 | 214.87 | 218.16 | 0.00042 | 2.95 | 915.26 | 152.03 | 0.38 |
| Po | 370 | Tr500 | 3100 | 211.18 | 218.34 | 215.18 | 218.82 | 0.000403 | 3.07 | 1009.74 | 152.04 | 0.38 |
| Po | 370 | ordinaria | 1032 | 211.18 | 215.47 | 213.37 | 215.63 | 0.000282 | 1.8 | 572.99 | 151.99 | 0.3 |
| Po | 367.5 | | Bridge | | | | | | | | | |

Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica

| Reach | River Station | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|-------|---------------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------------|-----------|-----------|--------------|
| | | | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m ²) | (m) | | |
| Po | 365 | Tr20 | 1750 | 211.18 | 216.26 | | 216.59 | 0.000433 | 2.52 | 694.04 | 152 | 0.38 |
| Po | 365 | Tr200 | 2700 | 211.18 | 217.23 | | 217.75 | 0.000552 | 3.21 | 841.15 | 152.02 | 0.44 |
| Po | 365 | Tr500 | 3100 | 211.18 | 217.77 | | 218.34 | 0.000539 | 3.36 | 923.29 | 152.03 | 0.43 |
| Po | 365 | ordinaria | 1032 | 211.18 | 215.35 | | 215.53 | 0.000311 | 1.86 | 555.78 | 151.99 | 0.31 |
| Po | 350 | Tr20 | 1750 | 211.42 | 216.22 | | 216.56 | 0.000487 | 2.61 | 670.02 | 154.79 | 0.4 |
| Po | 350 | Tr200 | 2700 | 211.42 | 217.17 | | 217.73 | 0.000605 | 3.3 | 818.68 | 155.92 | 0.46 |
| Po | 350 | Tr500 | 3100 | 211.42 | 217.72 | | 218.32 | 0.000579 | 3.43 | 904.13 | 156.57 | 0.46 |
| Po | 350 | ordinaria | 1032 | 211.42 | 215.32 | | 215.51 | 0.000359 | 1.94 | 531.77 | 153.72 | 0.33 |
| Po | 345 | Tr20 | 1750 | 210.43 | 216.25 | | 216.51 | 0.000318 | 2.27 | 769.46 | 158.92 | 0.33 |
| Po | 345 | Tr200 | 2700 | 210.43 | 217.22 | | 217.66 | 0.000435 | 2.91 | 928.72 | 166.76 | 0.39 |
| Po | 345 | Tr500 | 3100 | 210.43 | 217.77 | | 218.24 | 0.000424 | 3.04 | 1020.68 | 167.65 | 0.39 |
| Po | 345 | ordinaria | 1032 | 210.43 | 215.34 | | 215.48 | 0.000216 | 1.65 | 625.64 | 157.51 | 0.26 |
| Po | 340 | Tr20 | 1750 | 211.72 | 216.14 | | 216.5 | 0.000532 | 2.67 | 656.01 | 155.91 | 0.42 |
| Po | 340 | Tr200 | 2700 | 211.72 | 217.05 | | 217.63 | 0.000667 | 3.38 | 799.2 | 156.89 | 0.48 |
| Po | 340 | Tr500 | 3100 | 211.72 | 217.6 | | 218.22 | 0.000632 | 3.5 | 884.92 | 157.47 | 0.47 |
| Po | 340 | ordinaria | 1032 | 211.72 | 215.27 | | 215.47 | 0.000391 | 1.98 | 521.43 | 154.98 | 0.34 |
| Po | 330 | Tr20 | 1750 | 212.17 | 215.64 | 215.15 | 216.38 | 0.002207 | 3.79 | 461.25 | 172.74 | 0.74 |
| Po | 330 | Tr200 | 2700 | 212.17 | 216.49 | | 217.49 | 0.002127 | 4.44 | 608.19 | 174.26 | 0.76 |
| Po | 330 | Tr500 | 3100 | 212.17 | 217.23 | | 218.13 | 0.001497 | 4.21 | 736.44 | 174.26 | 0.65 |
| Po | 330 | ordinaria | 1032 | 212.17 | 214.86 | 214.5 | 215.37 | 0.002406 | 3.17 | 325.93 | 171.6 | 0.73 |
| Po | 325 | Tr20 | 1750 | 212.17 | 215.15 | 215.15 | 216.25 | 0.004327 | 4.66 | 375.78 | 171.95 | 1.01 |
| Po | 325 | Tr200 | 2700 | 212.17 | 216.47 | | 217.48 | 0.002176 | 4.47 | 604 | 174.26 | 0.77 |
| Po | 325 | Tr500 | 3100 | 212.17 | 217.22 | | 218.12 | 0.001508 | 4.22 | 734.71 | 174.26 | 0.66 |
| Po | 325 | ordinaria | 1032 | 212.17 | 214.49 | 214.49 | 215.27 | 0.004852 | 3.92 | 263.55 | 171.16 | 1.01 |
| Po | 320 | Tr20 | 1750 | 210.72 | 215.16 | 213.76 | 215.54 | 0.000737 | 2.73 | 640.23 | 183.29 | 0.47 |

*Associazione Murazzi del Po
Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
Relazione idrologico-idraulica*

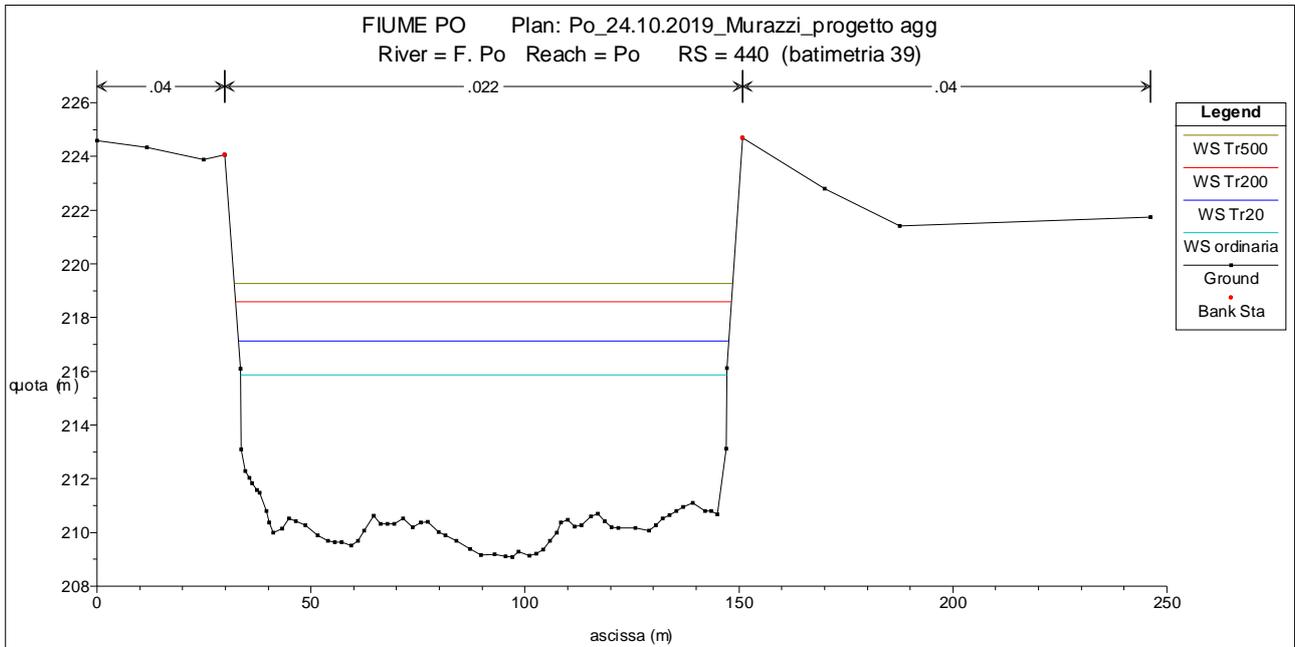
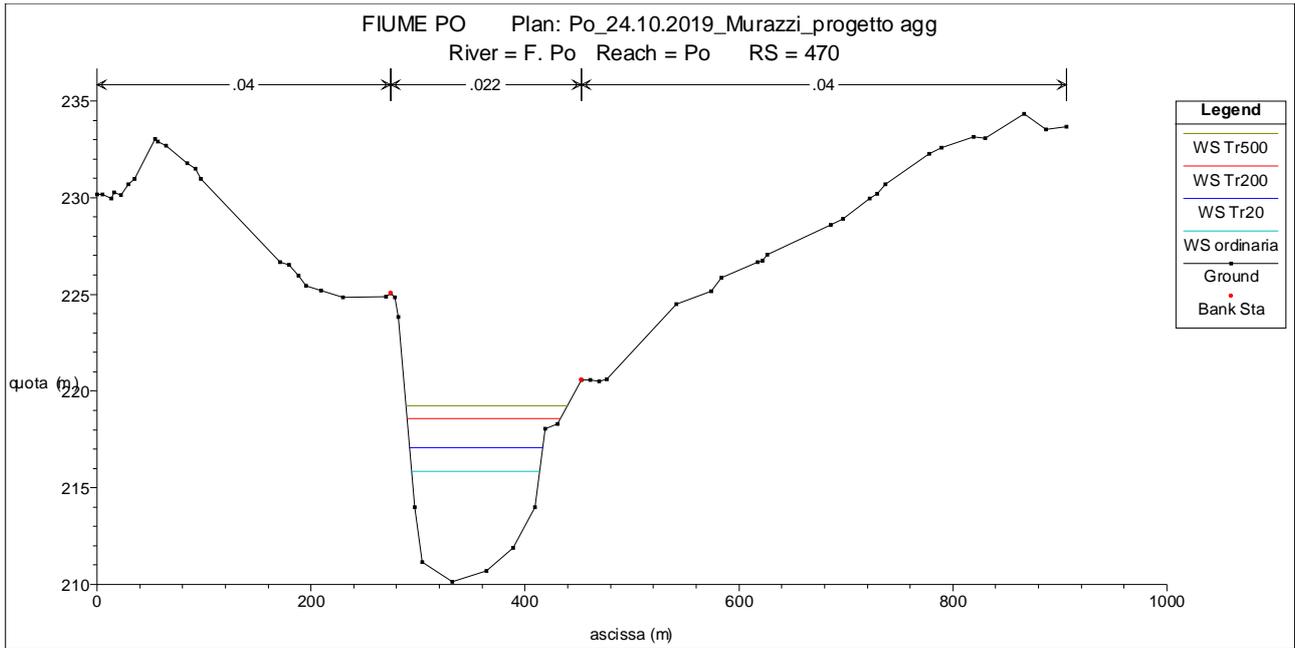
| Reach | River Station | Profile | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude # Chl |
|-------|---------------|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-------------------|-----------|-----------|--------------|
| | | | (m) | (m) | (m) | (m) | (m/m) | (m/s) | (m ²) | (m) | | |
| Po | 320 | Tr200 | 2700 | 210.72 | 216.89 | | 217.29 | 0.00048 | 2.81 | 961.42 | 189.51 | 0.4 |
| Po | 320 | Tr500 | 3100 | 210.72 | 217.55 | | 217.97 | 0.000425 | 2.85 | 1088.18 | 191.06 | 0.38 |
| Po | 320 | ordinaria | 1032 | 210.72 | 212.34 | 213.05 | 214.98 | 0.031074 | 7.2 | 143.28 | 177.4 | 2.47 |
| | | | | | | | | | | | | |
| Po | 310 | Tr20 | 1750 | 209.95 | 215 | | 215.44 | 0.000666 | 2.94 | 596.25 | 146.07 | 0.46 |
| Po | 310 | Tr200 | 2700 | 209.95 | 216.67 | | 217.19 | 0.000527 | 3.2 | 843.82 | 152.59 | 0.43 |
| Po | 310 | Tr500 | 3100 | 209.95 | 217.32 | | 217.87 | 0.000485 | 3.29 | 944.91 | 159.29 | 0.42 |
| Po | 310 | ordinaria | 1032 | 209.95 | 213.46 | 212.36 | 213.84 | 0.000878 | 2.71 | 381.46 | 130.98 | 0.51 |

APPENDICE - E – SEZIONI MODELLO IDRAULICO (STATO DI PROGETTO)

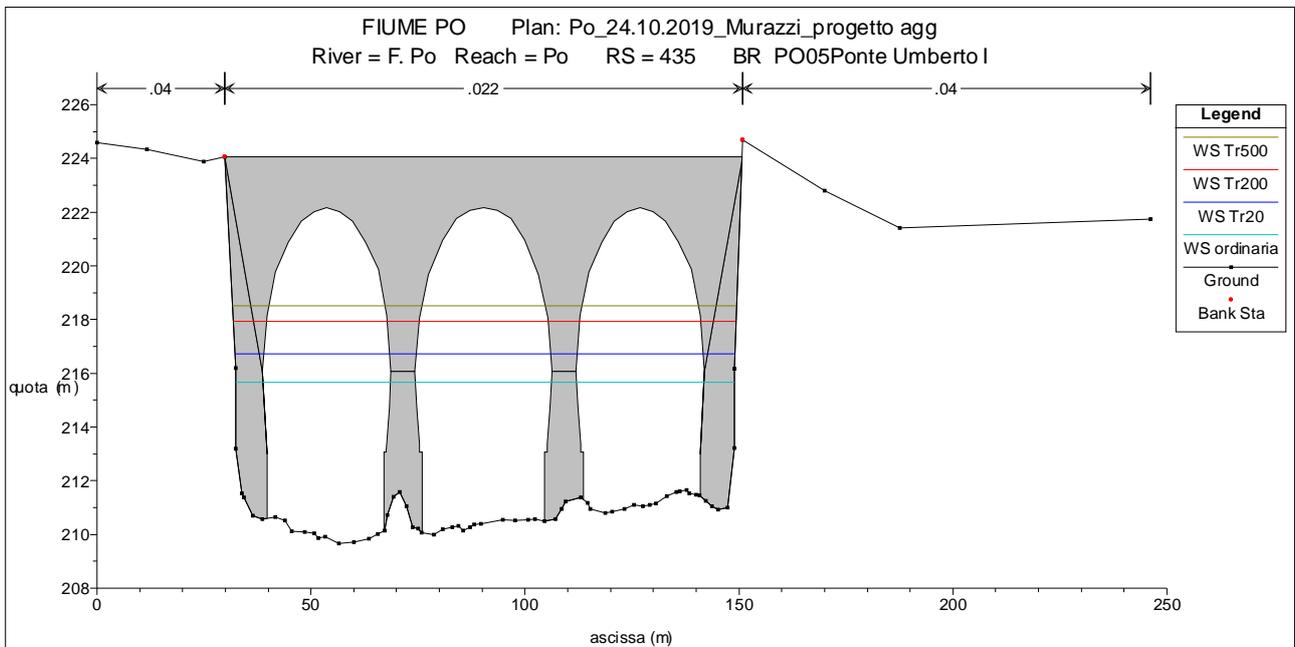
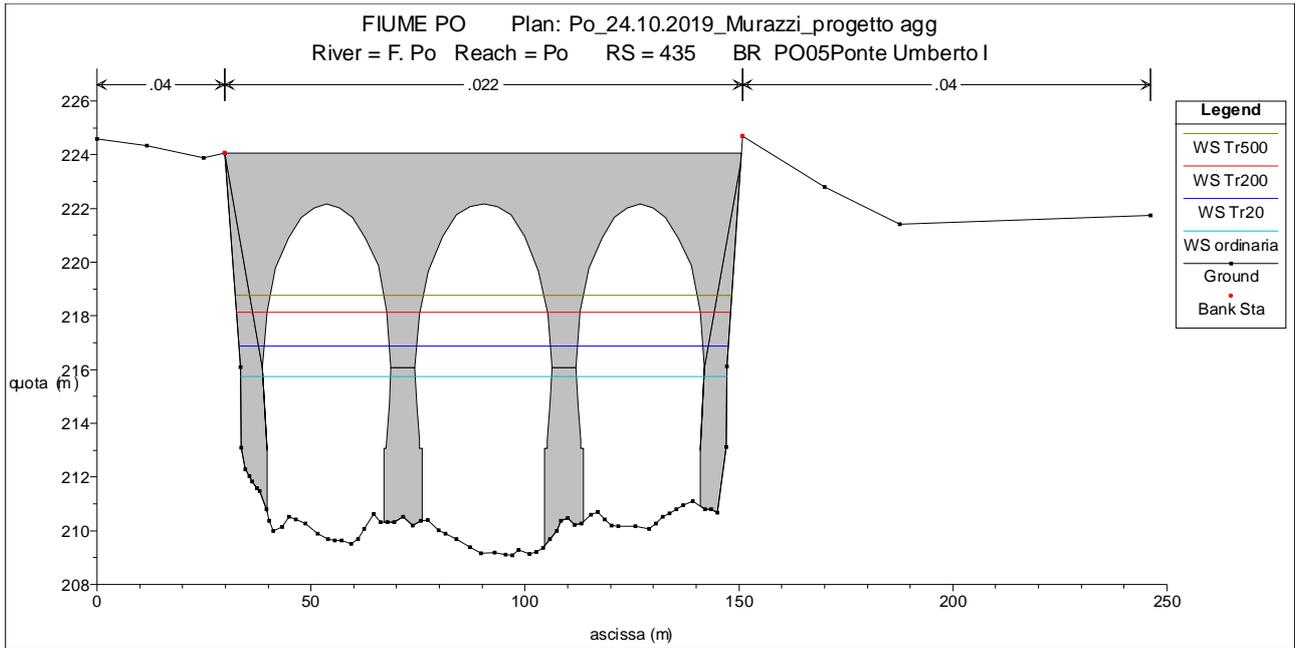
Sezioni con indicazione del pelo libero delle piene di progetto considerato nella verifica idraulica (linea blu) relative allo stato di progetto.

Sulla stessa sezione viene rappresentato sia l'altezza critica (linea rossa puntinata) che la linea dell'energia (linea verde tratteggiata).

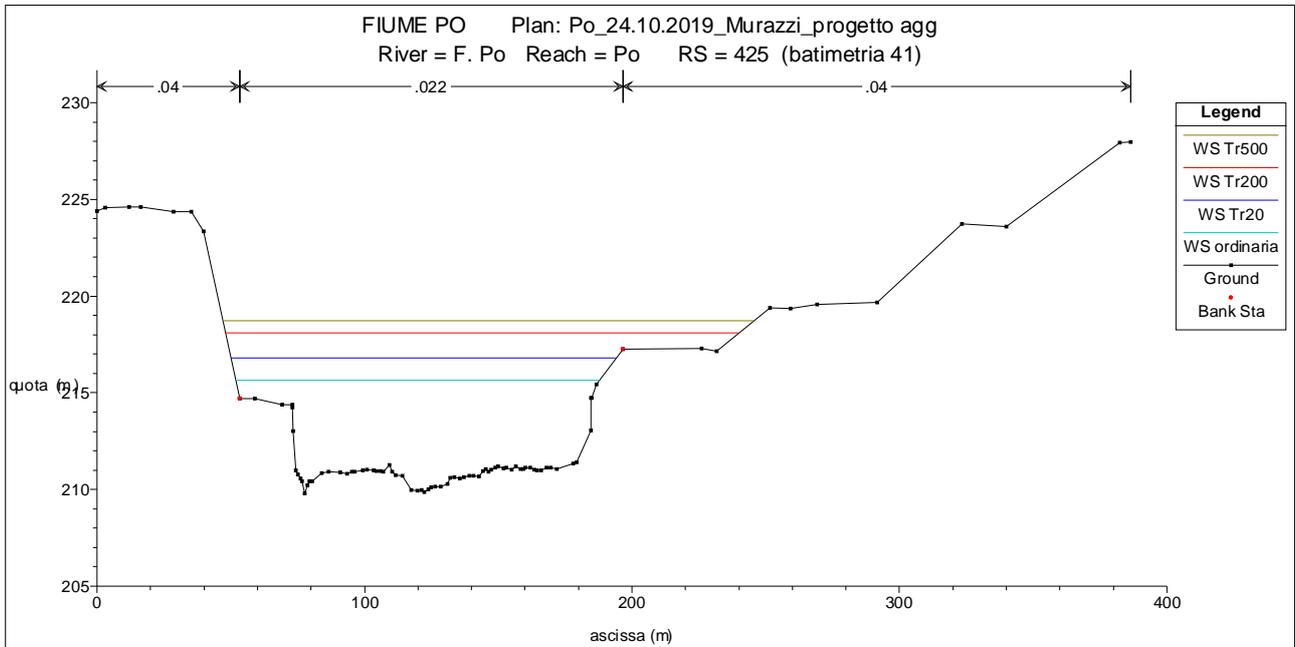
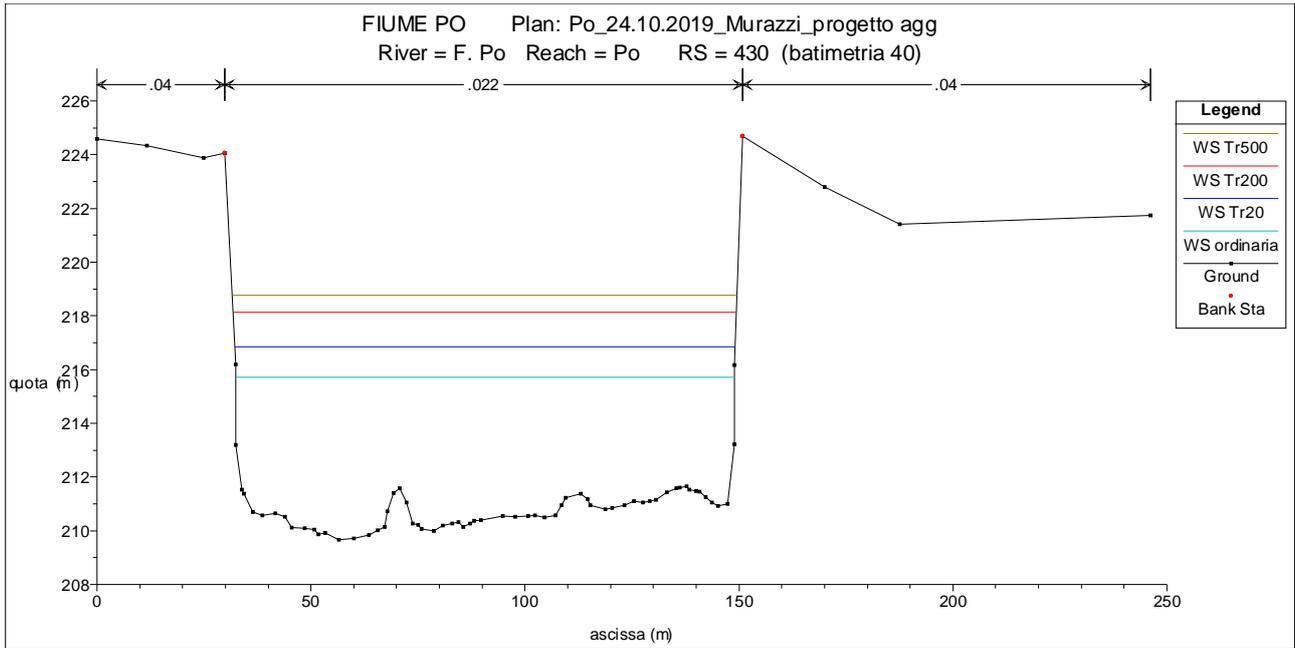
Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica



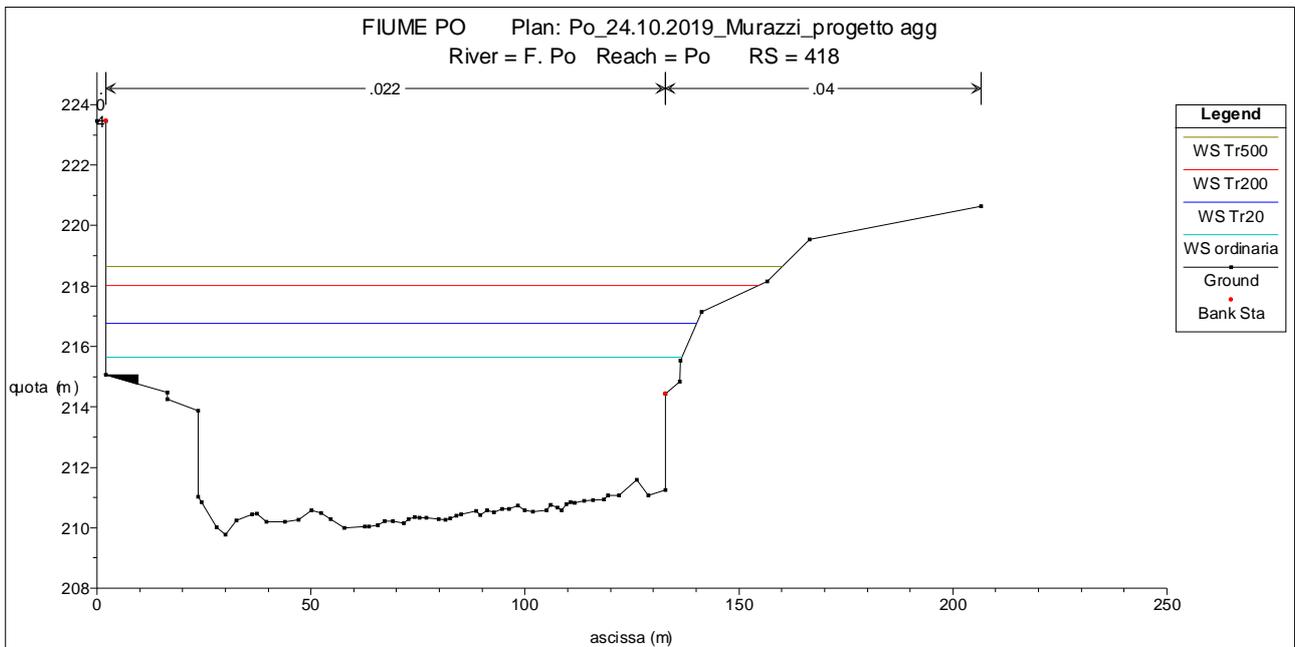
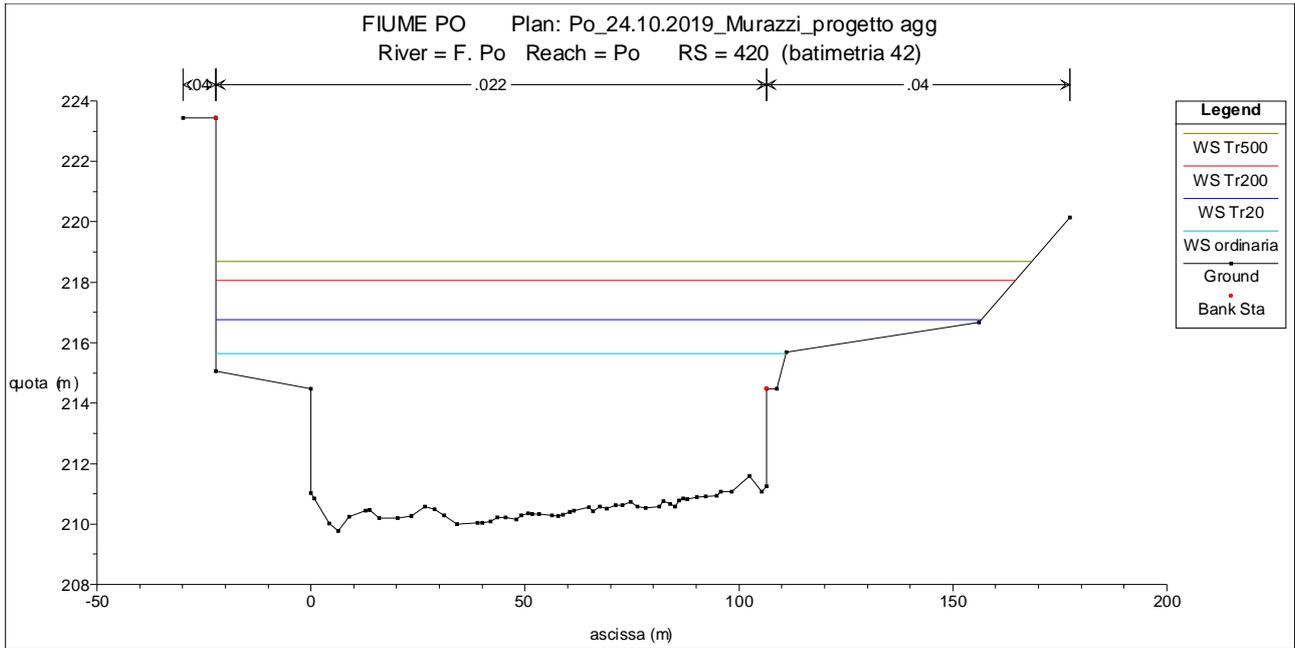
Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica



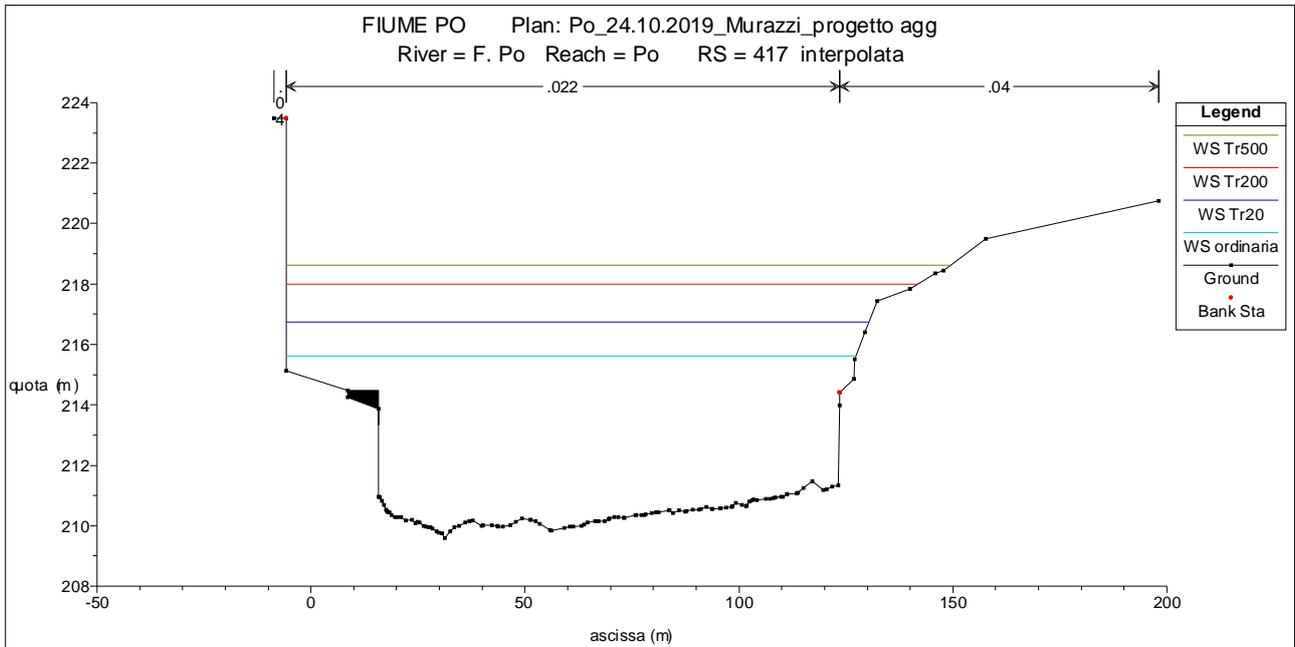
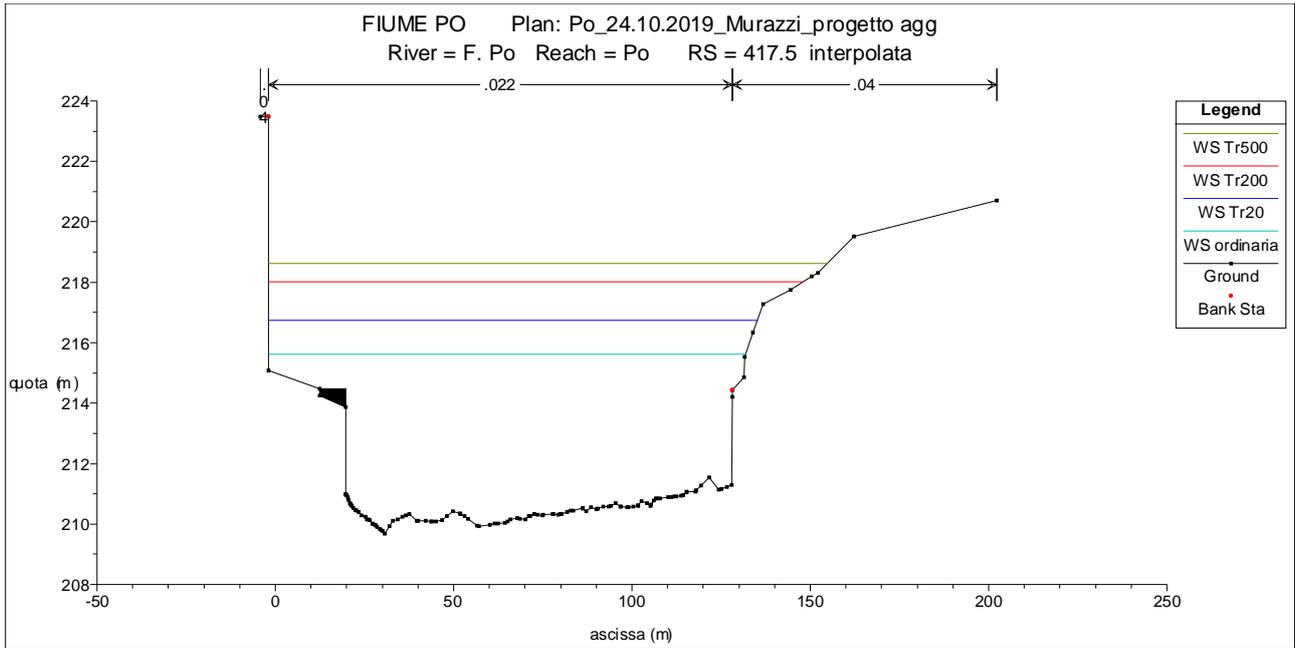
Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica

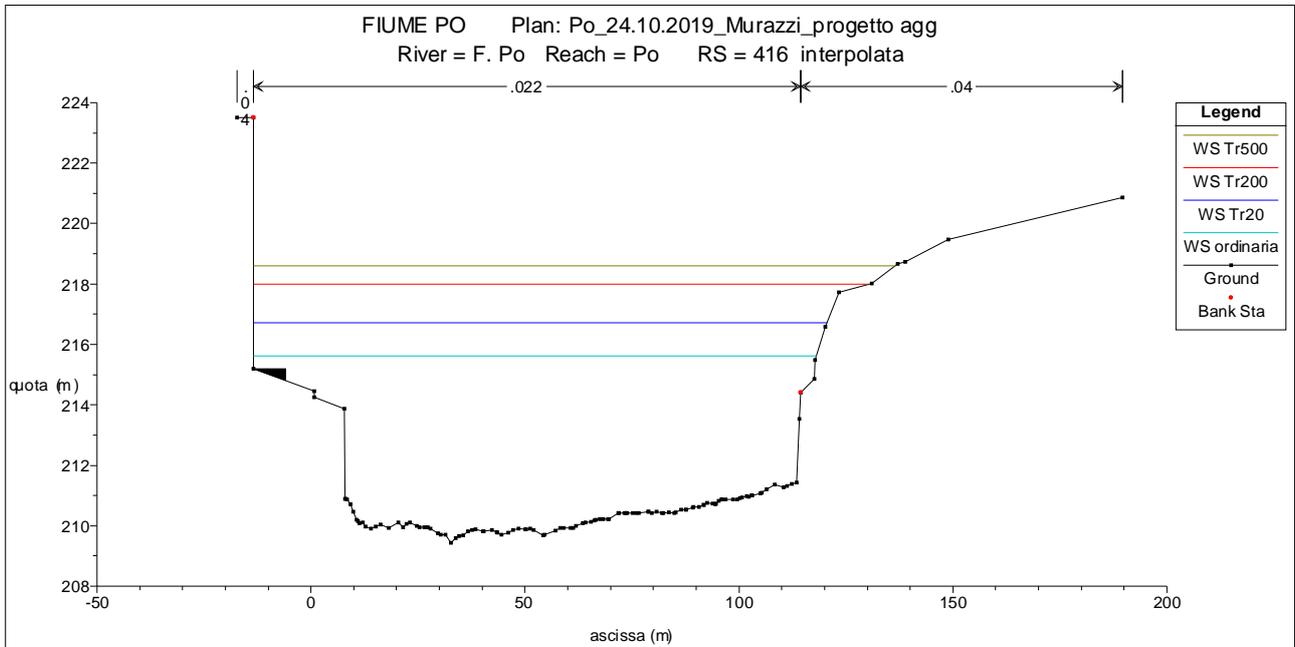
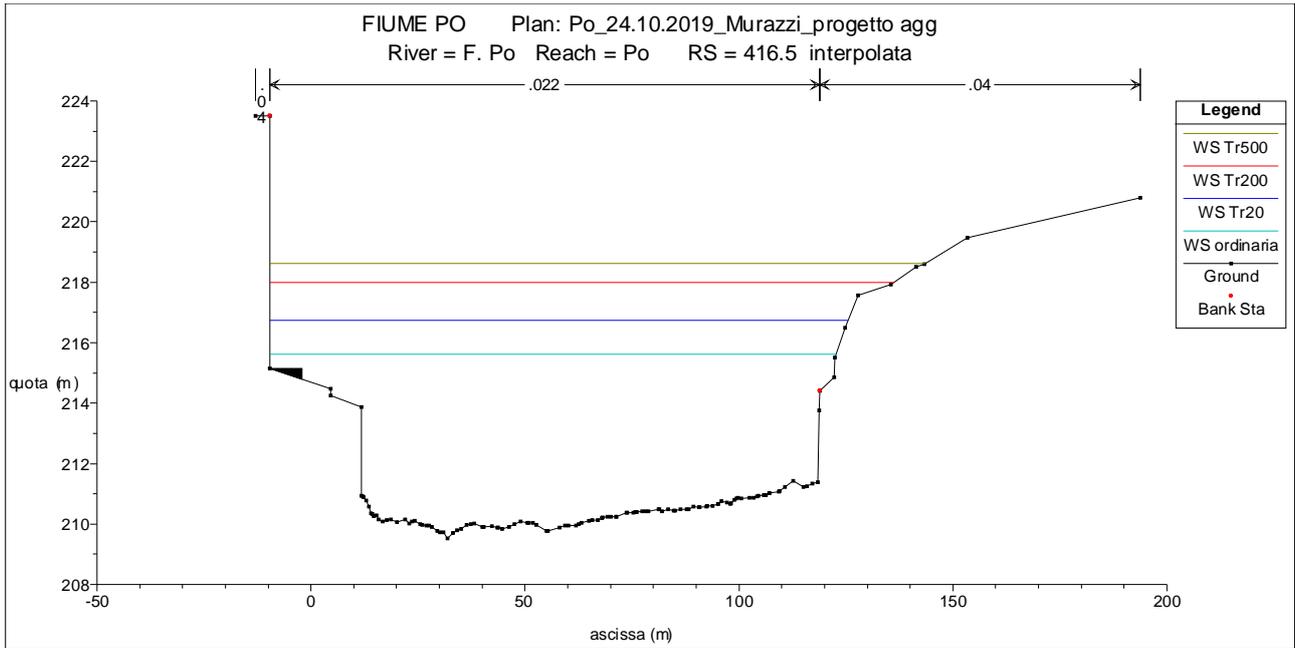


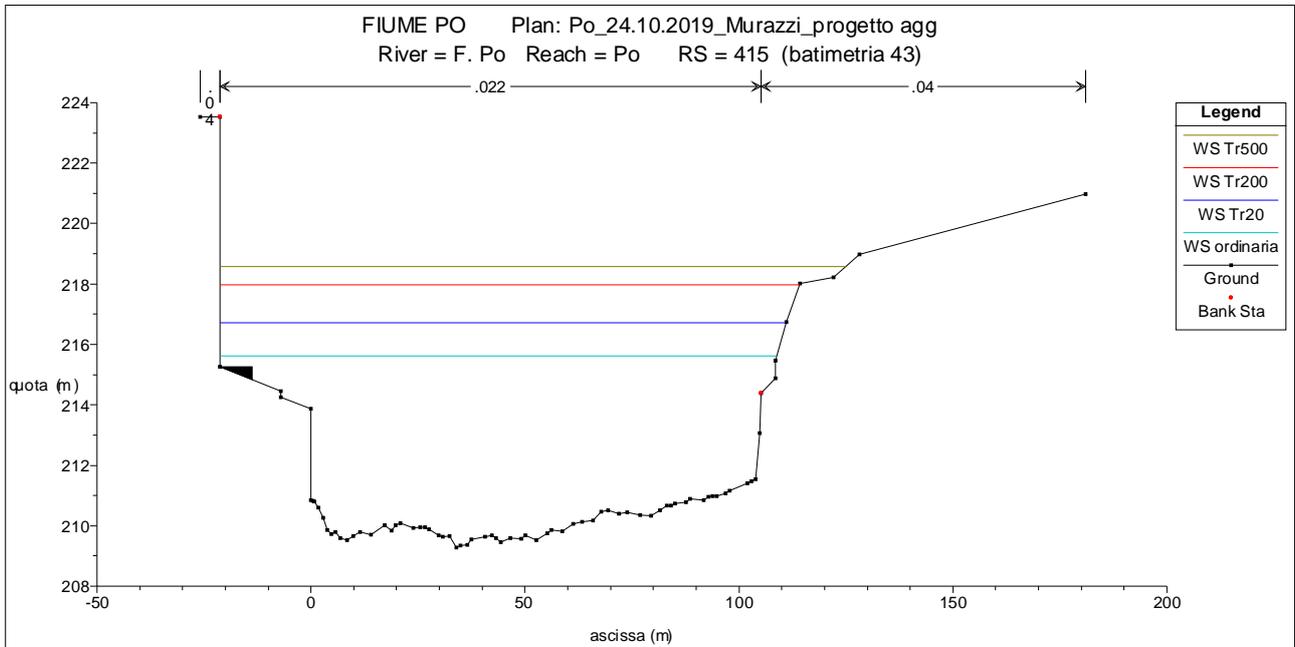
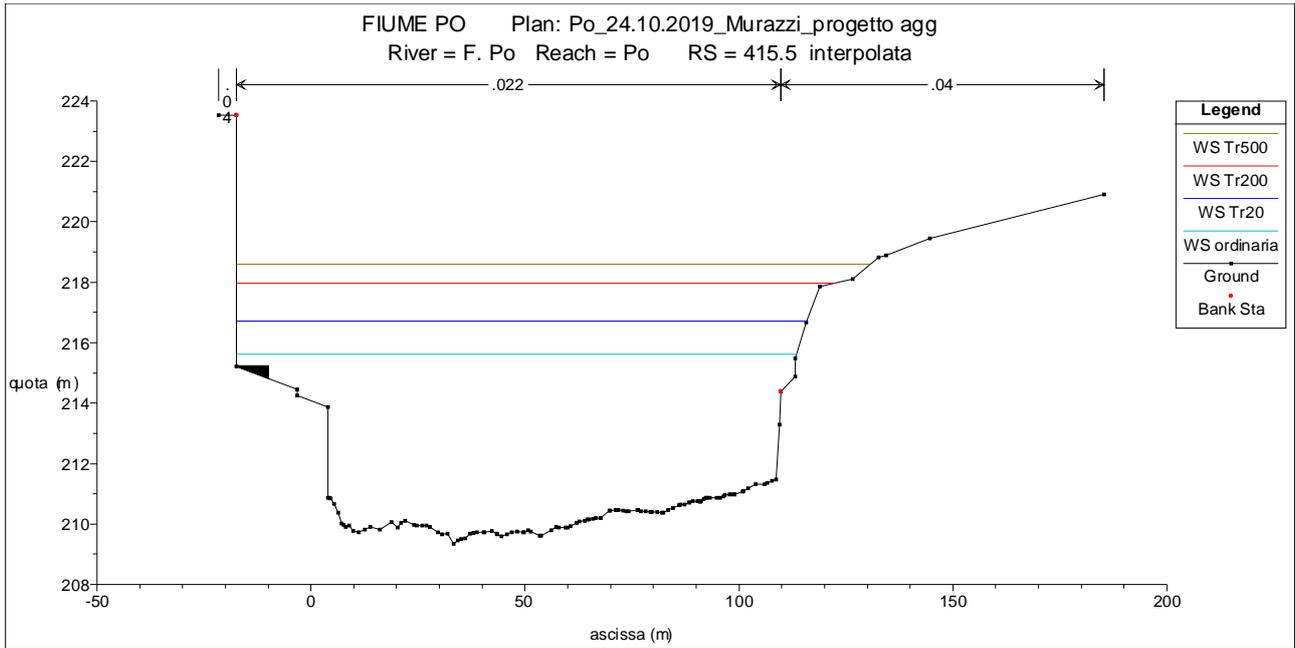
Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica



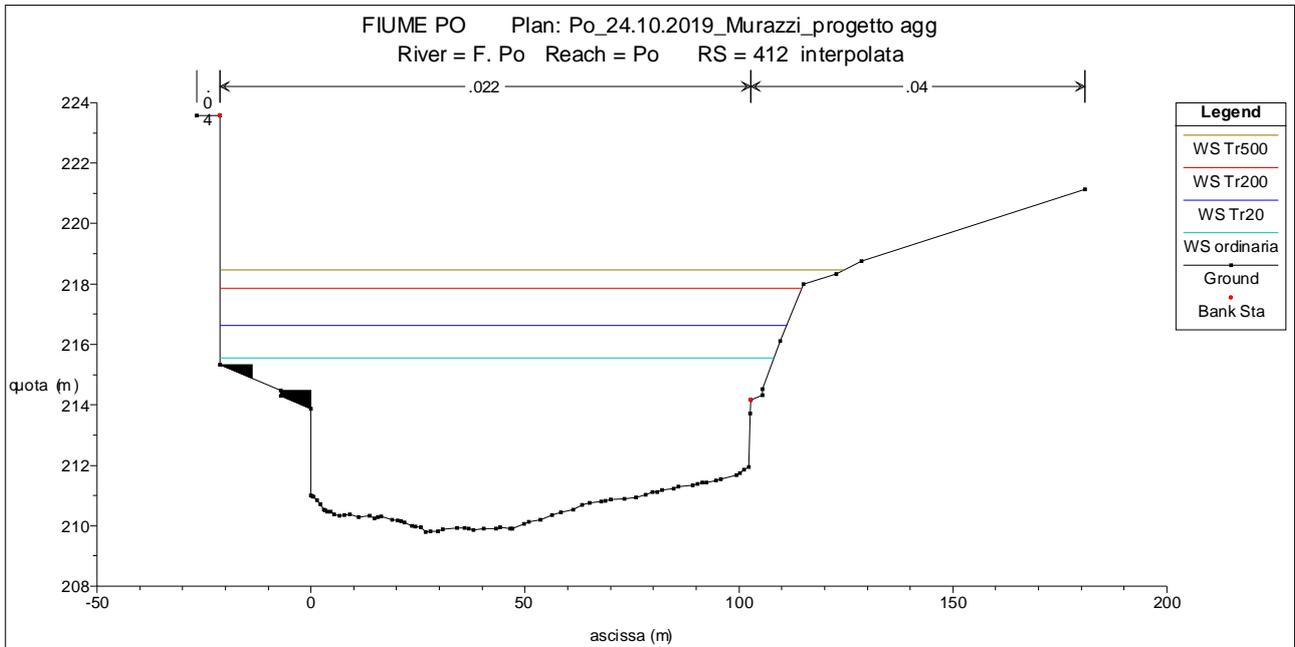
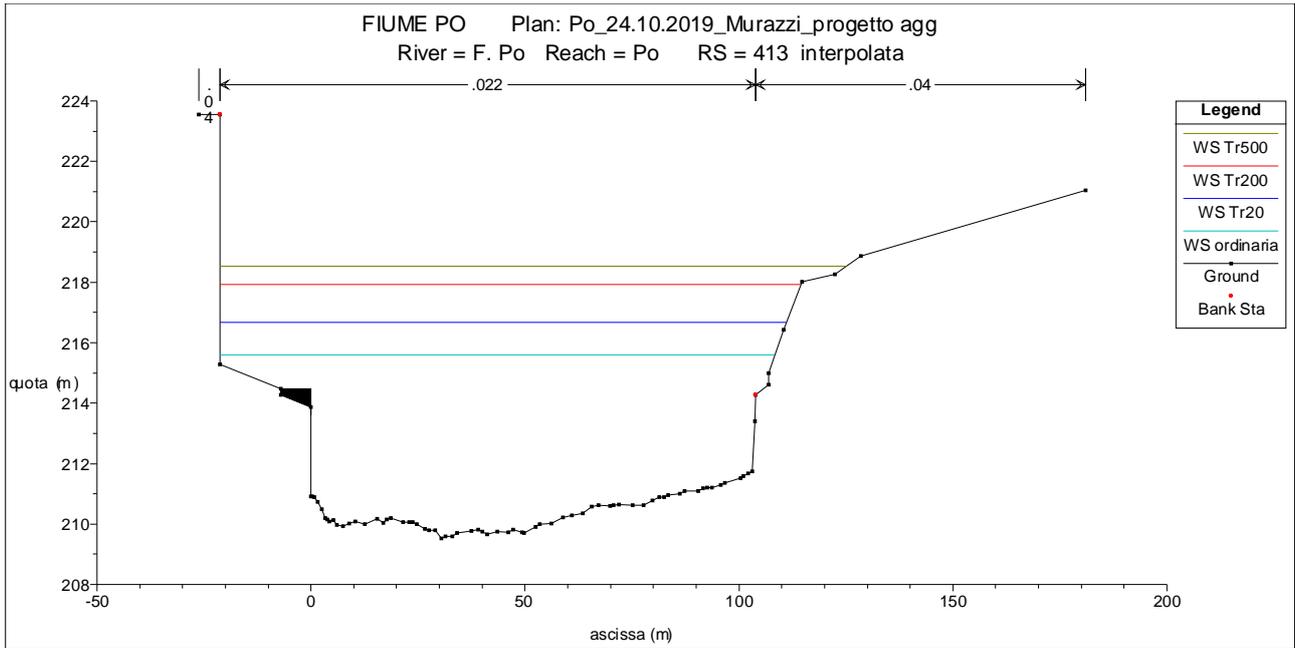
Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica

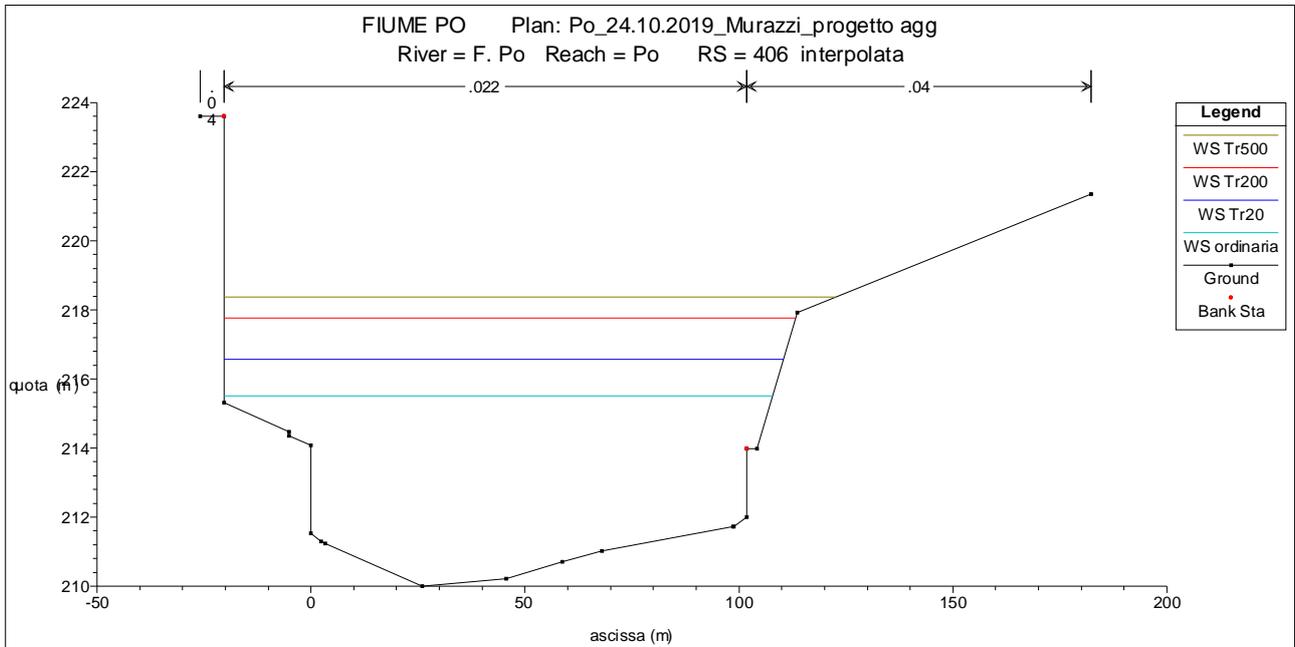
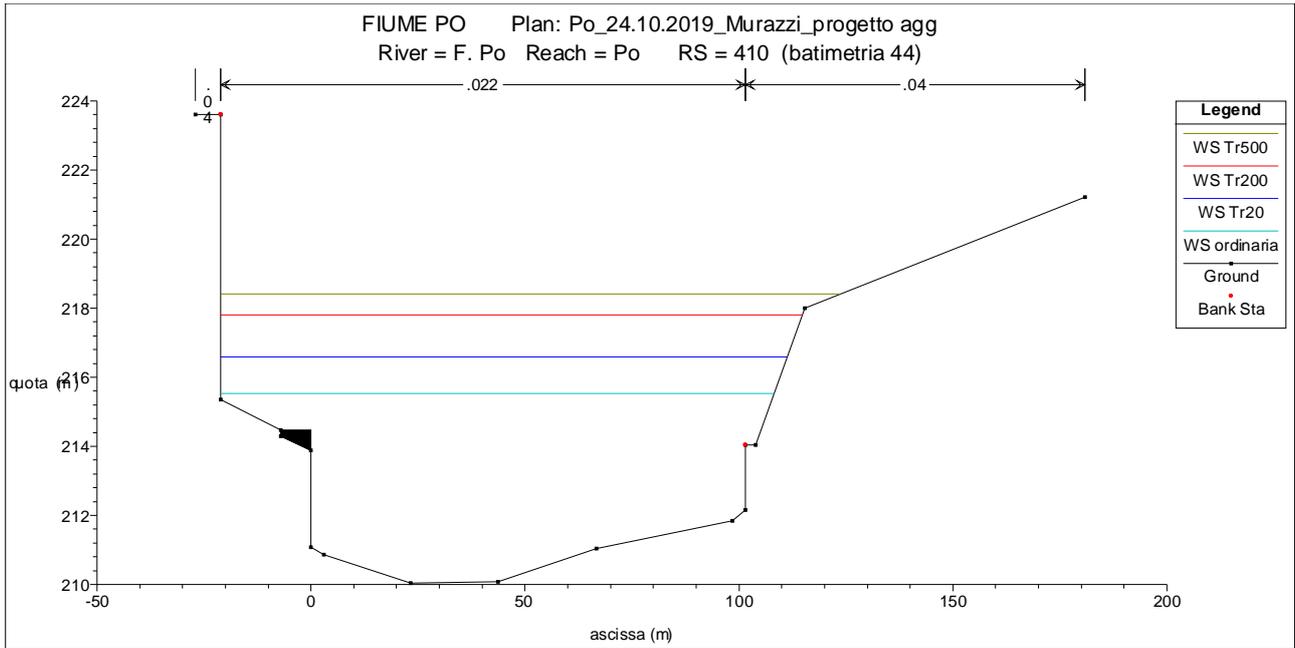




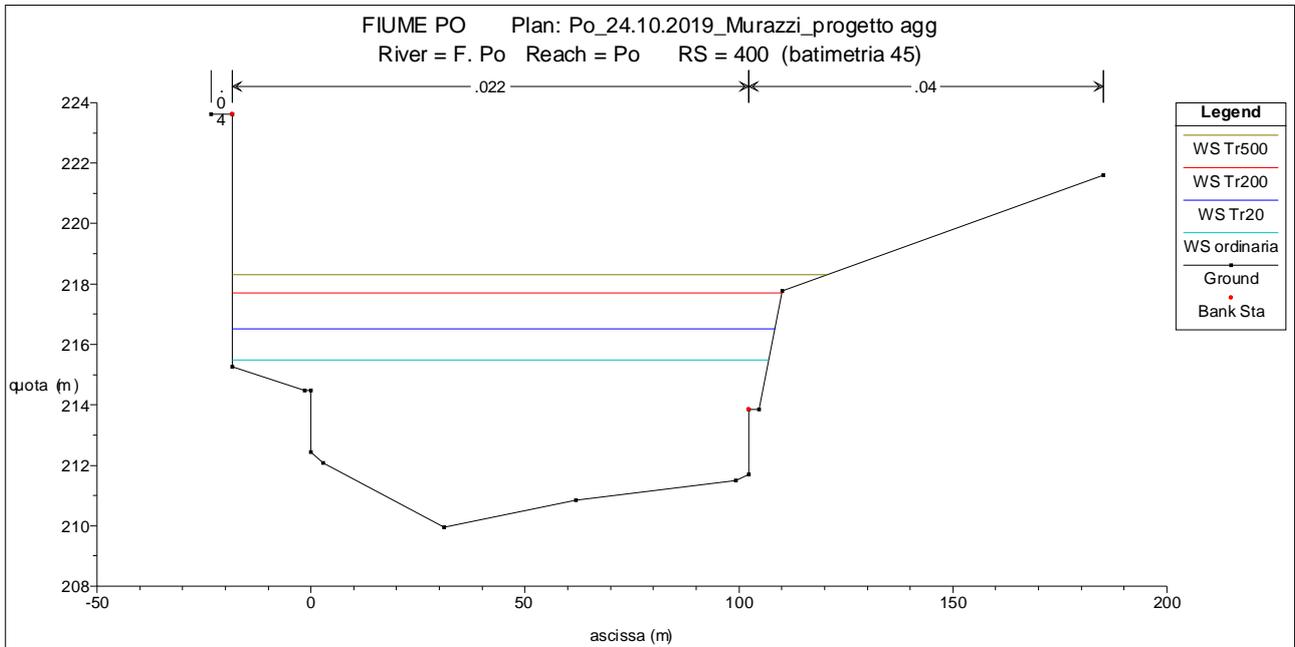
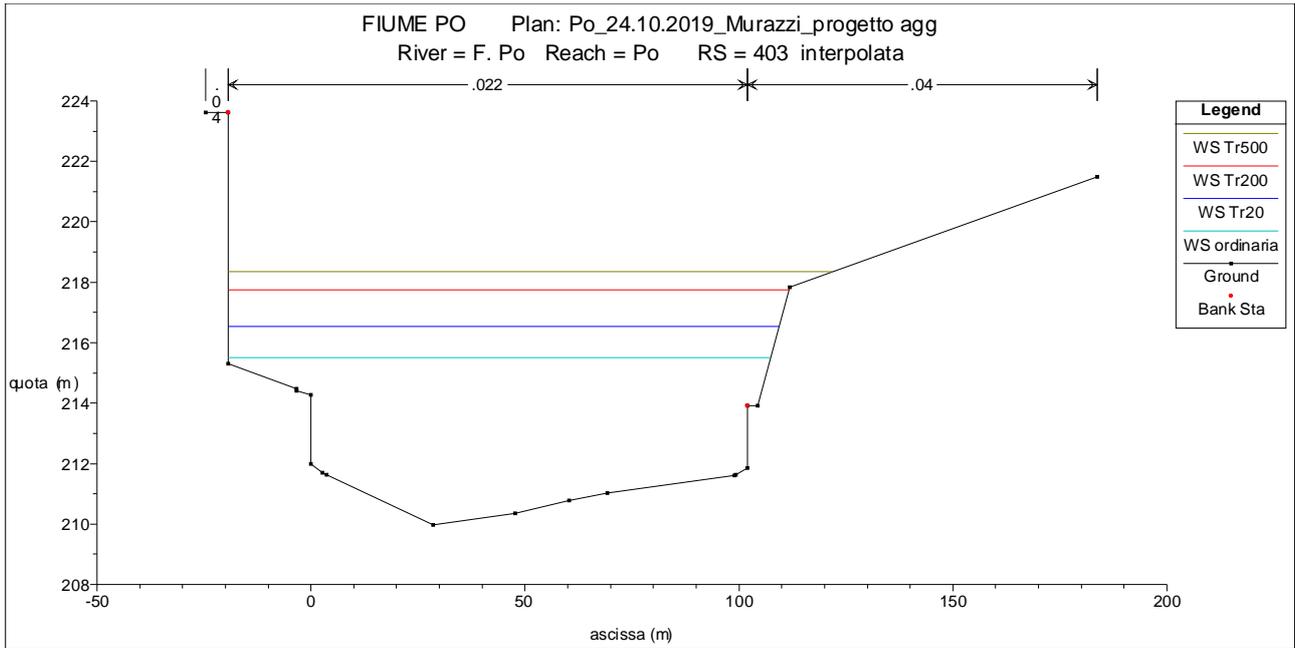


Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica

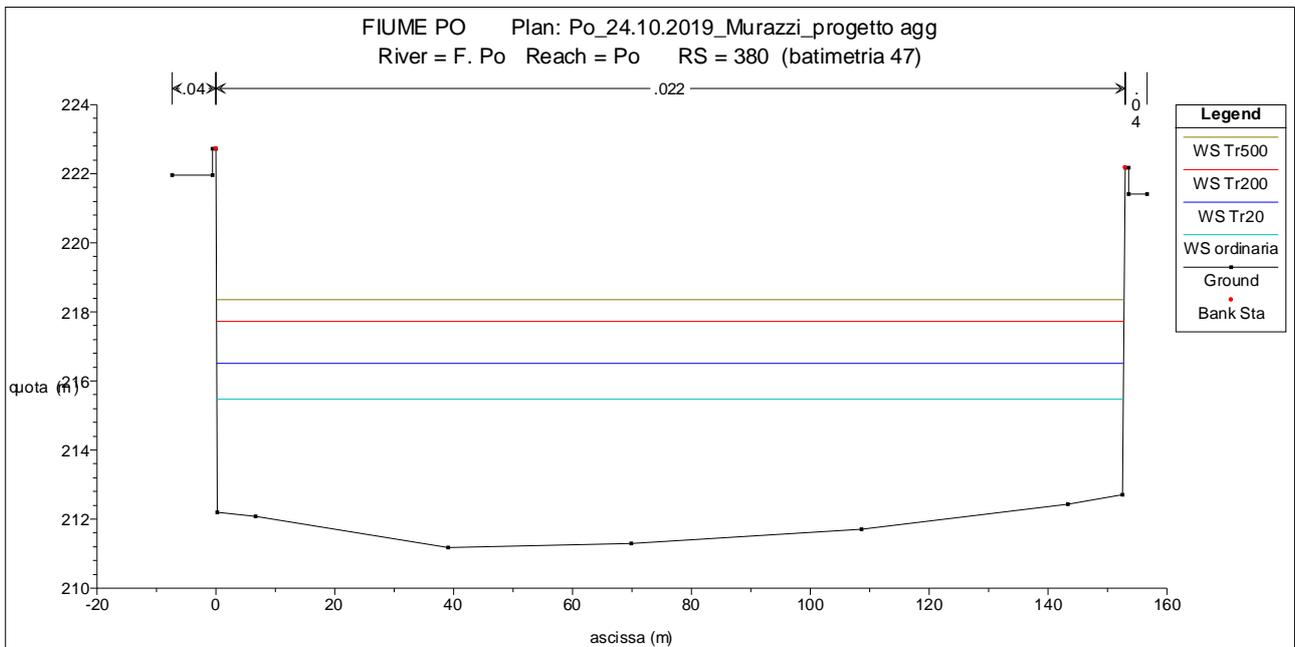
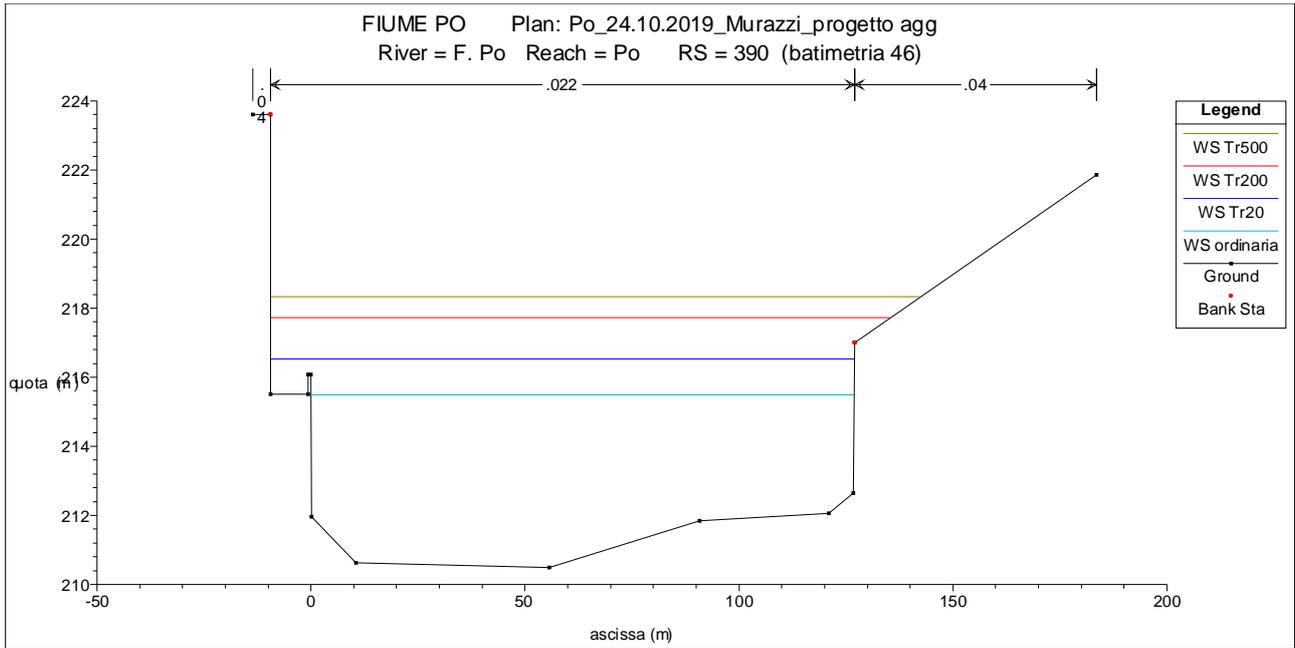


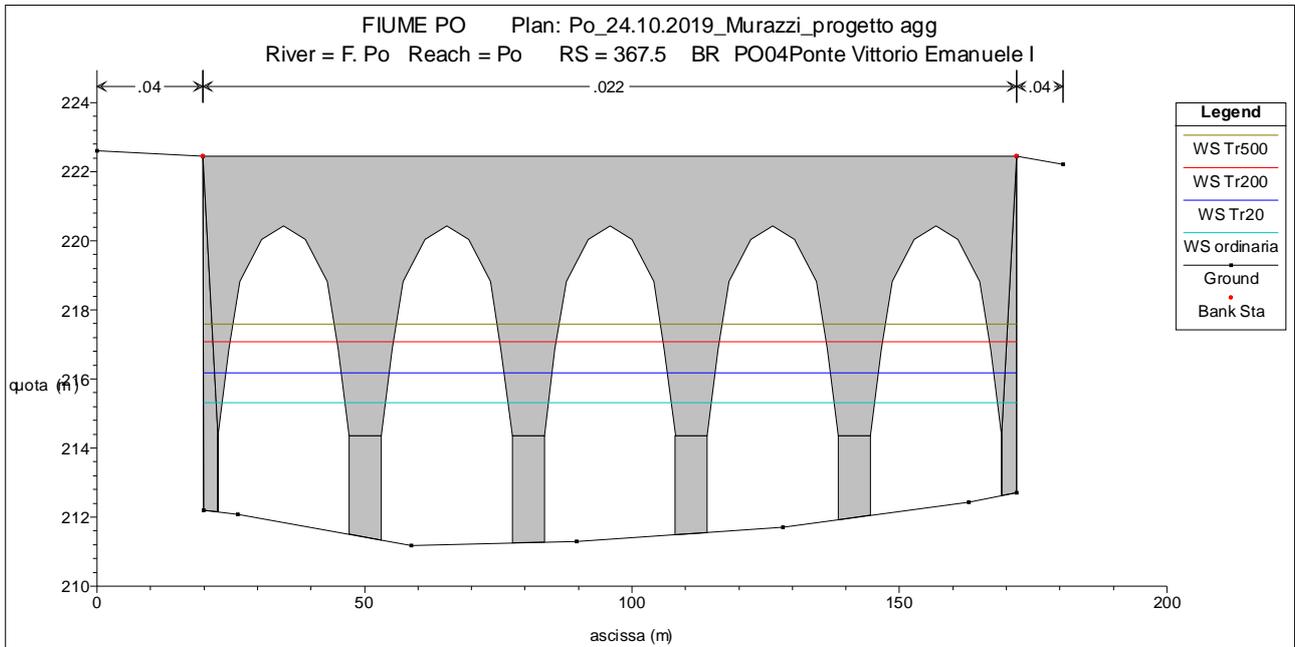
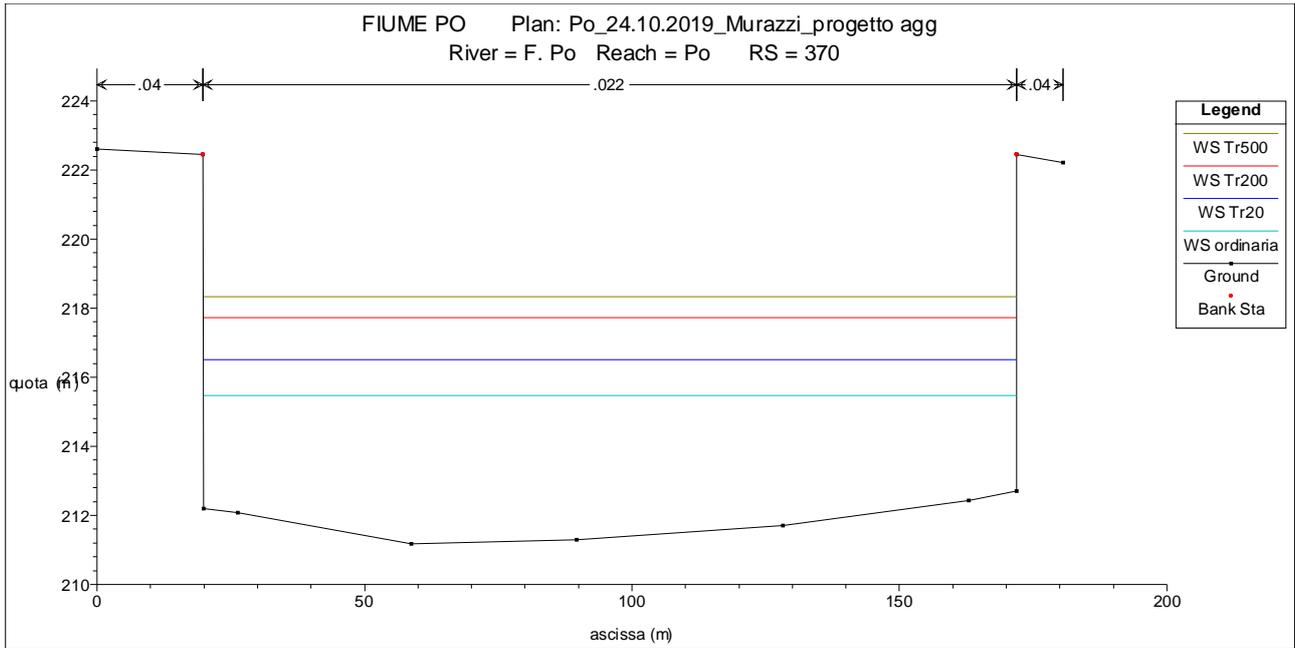


Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica

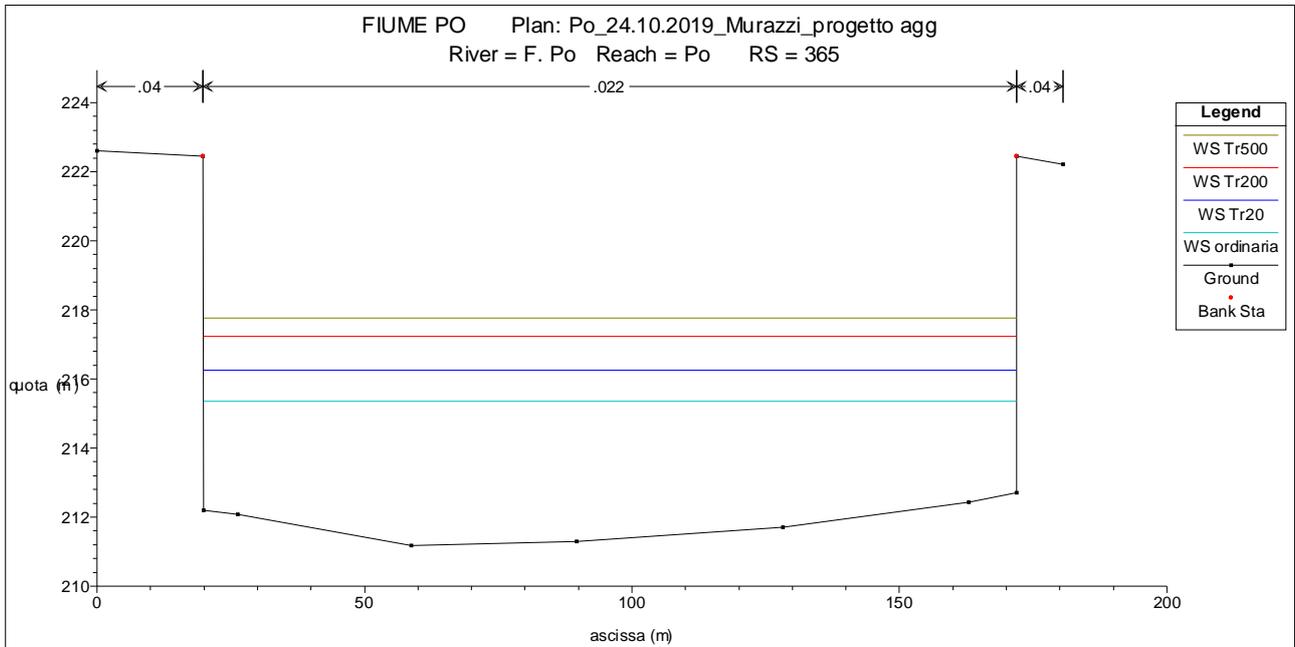
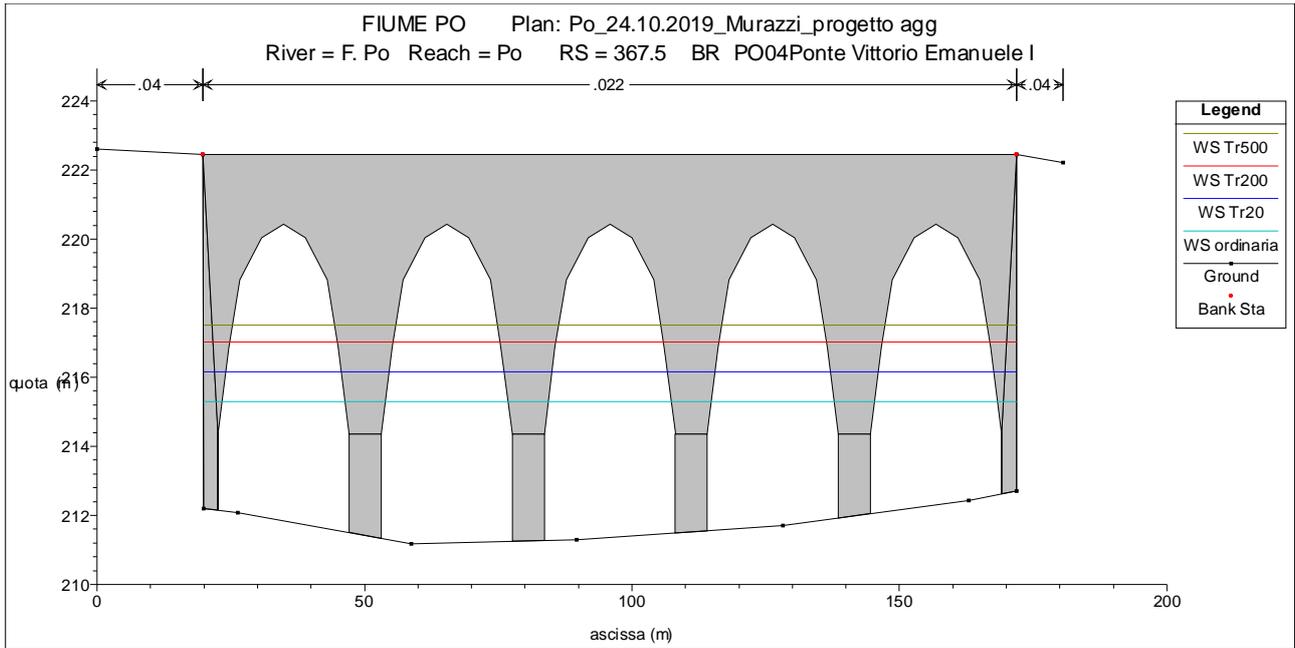


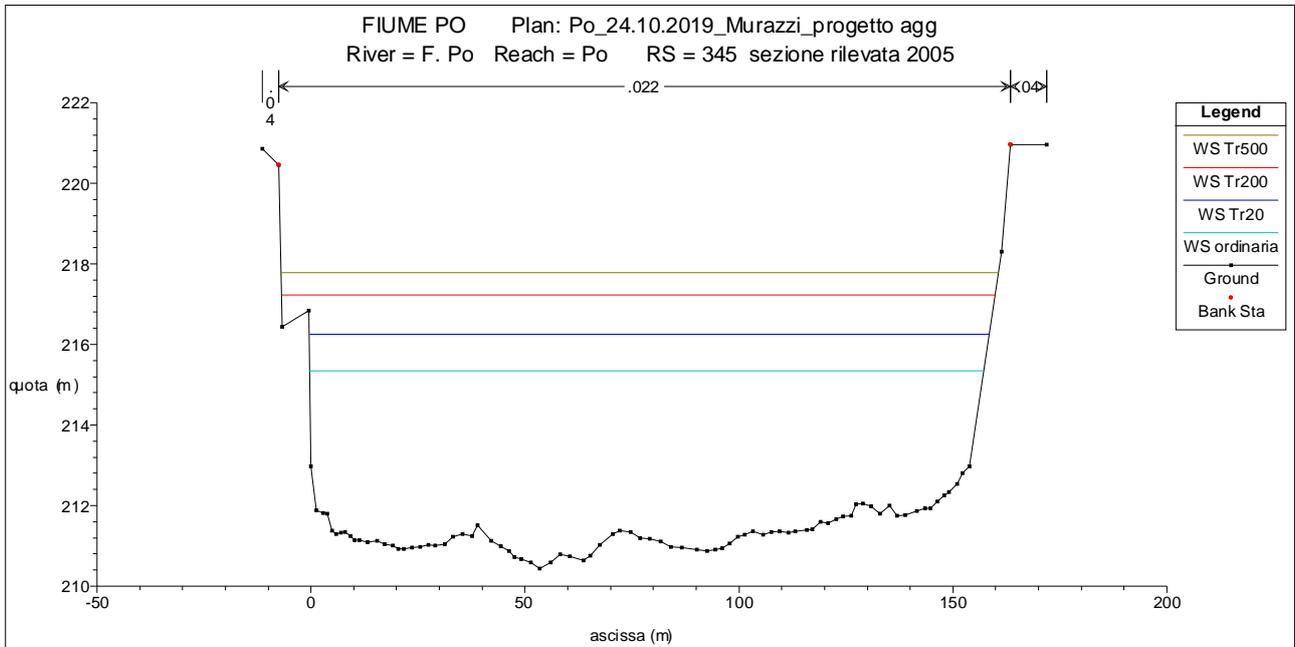
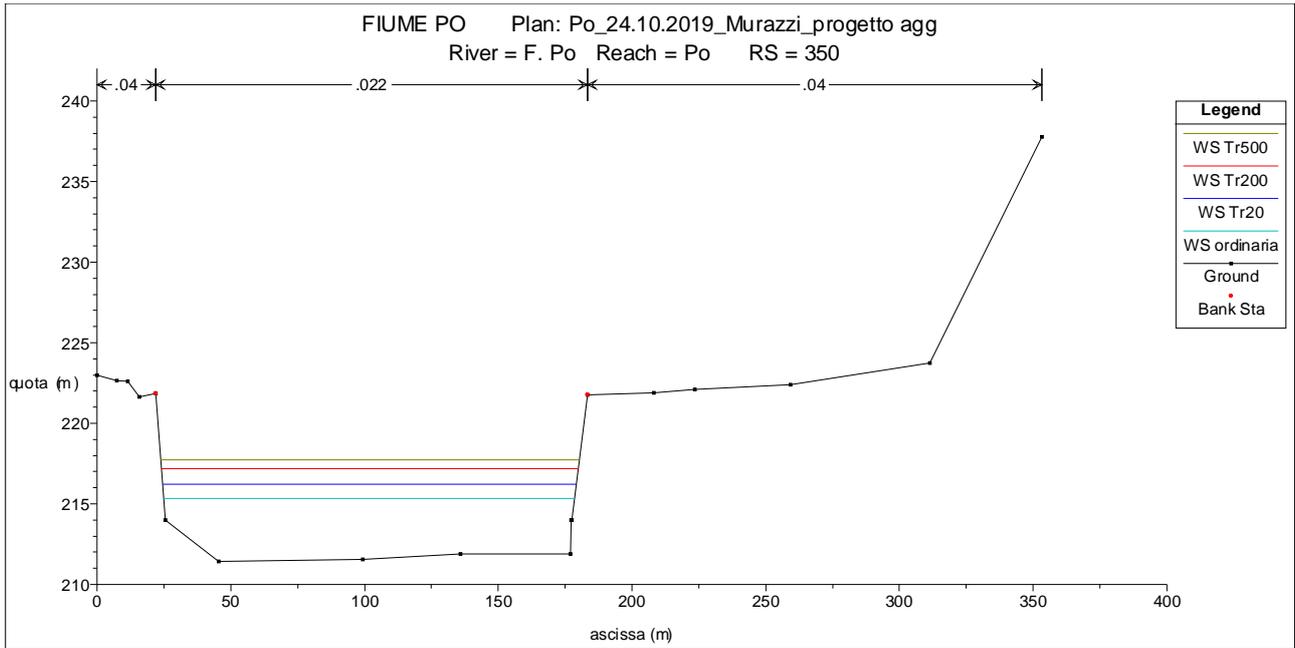
Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica



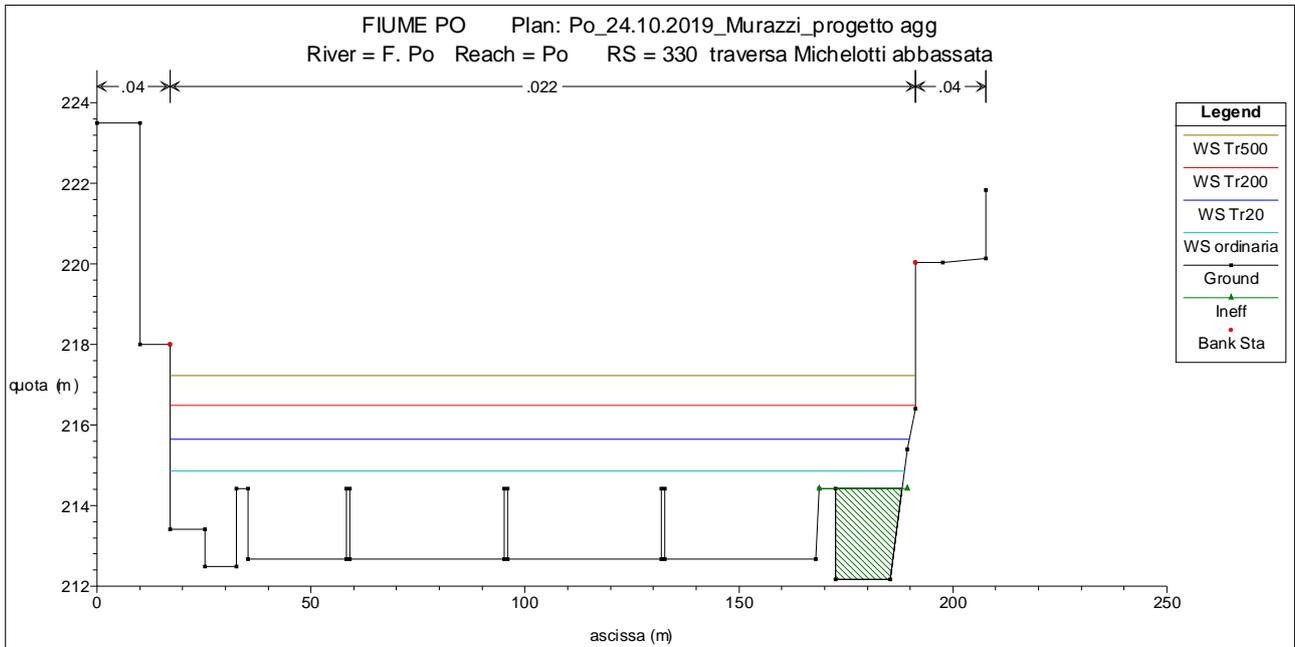
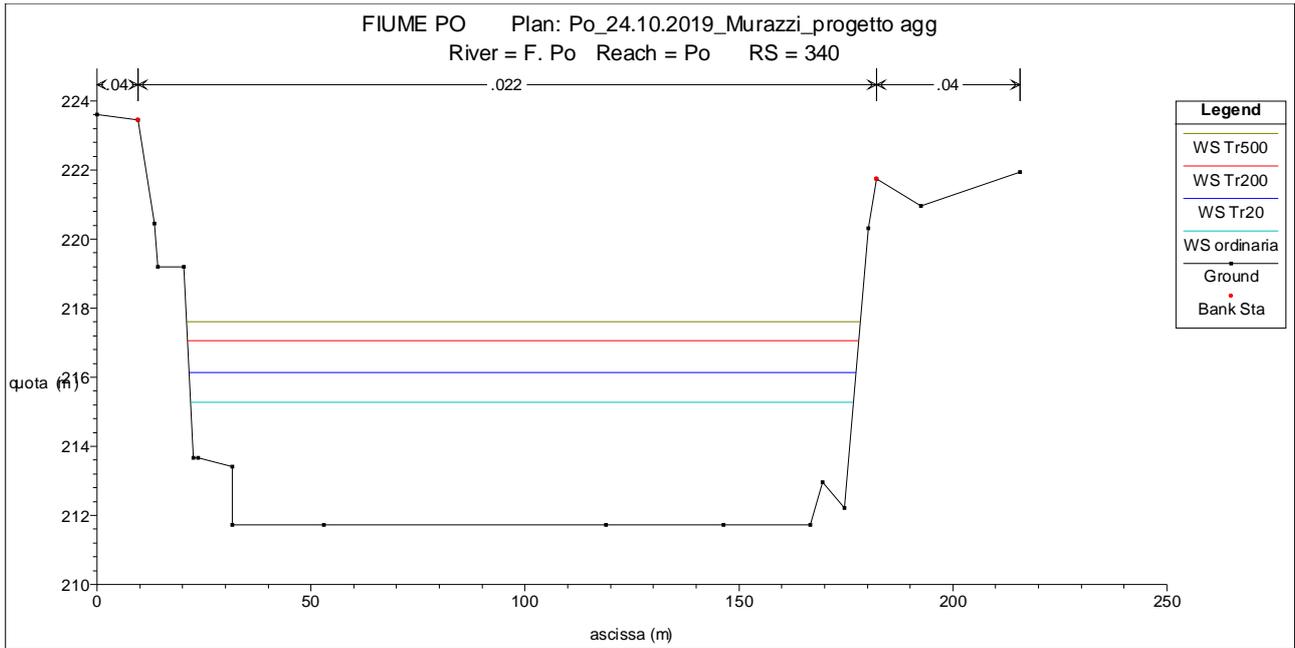


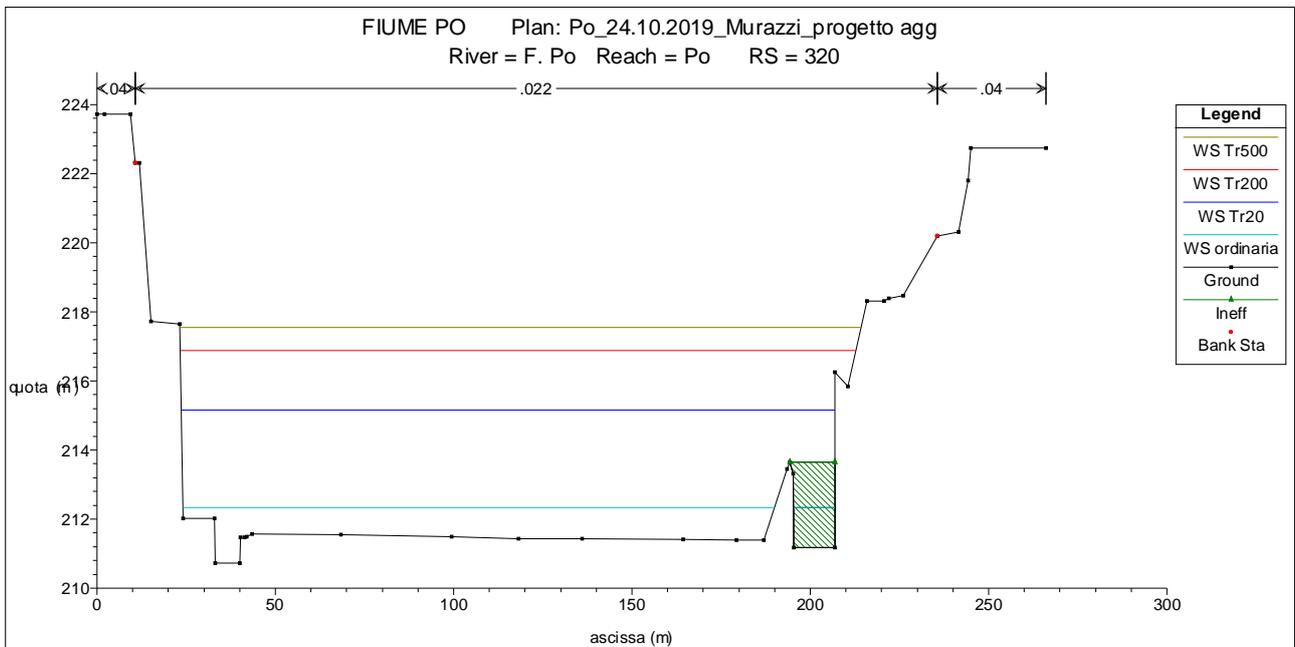
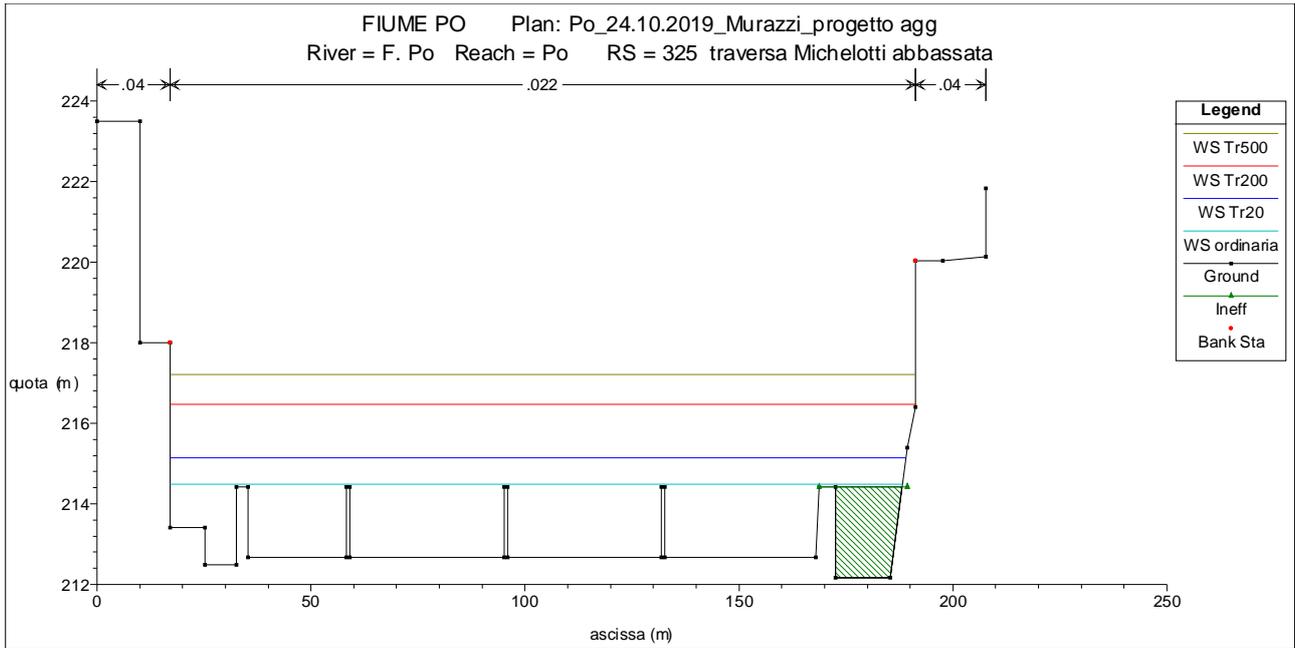
Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica





Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica





Associazione Murazzi del Po
 Progetto Dehors Terrazze Strutture Fisse e Rimovibili Aree Esterne
 Relazione idrologico-idraulica

