



**REGIONE PIEMONTE
CITTA' METROPOLITANA di TORINO
Zona omogenea n. 10**

COMUNE di BRANDIZZO

**VARIANTE GENERALE
del Piano Regolatore Generale Comunale
approvato con D.G.R. n. 13-10374 del 8.9.2003
e adeguamento al PPR**

**Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
(ai sensi dell'art.15 comma 1 della LUR 56/77 e s.m.i.)
Delibera del C.C. n.....del.....**

Novembre 2025

| | |
|---|--|
| Urbanista progettista Prof. Arch. Carlo Alberto BARBIERI Collaboratore: <i>Dott. Pianif. Giulio Gabriele PANTALONI</i> Rapporto ambientale-VAS Prof. Arch. Carlo Alberto BARBIERI Geologi Dott. Geol. Paolo QUAGLIOLO Dott. Geol. Marco BALESTRO Compatibilità acustica Ing. Gabriele FERRARIS Studi idraulici ANSELMO associati Studi Territoriali, urbanistici e ambientali Politecnico di Torino-DIST, Prof.Arch. Carolina GIAIMO | Sindaco Avv. Monica DURANTE Assessore Urbanistica Arch. Enrico BARBERA Segretario Comunale Dott. ssa Diana VERNEAU Responsabile Unico del procedimento Arch. Laura PANICUCCI Organo Tecnico comunale Arch. Luca CRETELLA |
|---|--|

AT5 - INDAGINI GEOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE

AT5.1: Relazione idraulica

INDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA..... | 3 |
| 1.1 | LE ATTIVITÀ PREVISTE..... | 3 |
| 1.2 | LA DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO | 4 |
| 2 | CARATTERIZZAZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO..... | 5 |
| 2.1 | LA RETE IDROGRAFICA PRINCIPALE | 10 |
| 2.1.1 | <i>Fiume Po</i> | 10 |
| 2.1.2 | <i>Torrente Malone</i> | 16 |
| 2.2 | LA RETE IDROGRAFICA MINORE | 22 |
| 2.2.1 | <i>T. Bendola e canale scolmatore</i> | 24 |
| 2.2.1.1 | Definizione delle portate | 29 |
| 2.2.1.2 | Definizione della capacità di convogliamento..... | 33 |
| 2.2.2 | <i>Rio San Giovanni di Volpiano (Malonetto)</i> | 37 |
| 2.2.2.1 | Definizione delle portate | 42 |
| 2.2.2.2 | Definizione della capacità di convogliamento..... | 44 |
| 2.2.3 | <i>Il settore compreso tra la SP 220 e la SS 11</i> | 48 |
| 2.2.4 | <i>Bealera nuova e Gora del Molino</i> | 49 |
| 2.2.4.1 | Definizione delle portate | 50 |
| 2.2.4.2 | Definizione della capacità di convogliamento..... | 54 |
| 2.2.5 | <i>T. Sturella</i> | 58 |
| 2.2.5.1 | Definizione delle portate | 62 |
| 2.2.5.2 | Definizione della capacità di convogliamento..... | 64 |
| 3 | DEFINIZIONE DEL CAMPO DI INONDAZIONE..... | 67 |
| 3.1 | METODO DI CALCOLO | 68 |
| 3.2 | GEOMETRIA IMPIEGATA..... | 69 |
| 3.3 | CONDIZIONI AL CONTORNO E SETTAGGI DI CALCOLO | 73 |
| 3.3.1 | <i>Condizioni al contorno in ingresso: portate e idrogrammi di riferimento</i> | 74 |
| 3.3.2 | <i>Scabrezza</i> | 75 |
| 3.3.3 | <i>Condizioni al contorno in uscita</i> | 75 |
| 3.4 | I MODELLI IDRAULICI PREDISPOSTI | 78 |
| 3.4.1 | <i>Modello idraulico parte Sud</i> | 79 |
| 3.4.2 | <i>Modello idraulico parte Nord</i> | 81 |
| 3.5 | RISULTATI | 84 |
| 4 | ELEMENTI PER LA RIDEFINIZIONE DELLA CARTA DELLA PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE | 97 |
| 4.1 | RETICOLO IDROGRAFICO SECONDARIO | 97 |

COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.2 | RETICOLO IDROGRAFICO PRINCIPALE | 99 |
| 5 | ELENCO ELABORATI..... | 106 |
| 6 | RIFERIMENTI | 107 |
| | APPENDICE - A . Caratteristiche del codice di calcolo bidimensionale SOBEK-RURAL..... | 108 |
| | APPENDICE - B . Descrizione dello schema di calcolo adottato dal modello numerico Hec-ras attivato in moto permanente. 112 | |
| | APPENDICE - C . Risultati del modello idraulico Hec-ras: T. Bendola e canale scolmatore | 116 |
| | APPENDICE - D . Calcolo delle portate di progetto per il Rio San Giovanni (Malonetto) | 126 |
| | APPENDICE - E . Risultati del modello idraulico Hec-ras: Rio san Giovanni (Malonetto) | 133 |
| | APPENDICE - F . Risultati del modello idraulico Hec-ras: Bealera Nuova (Gora del Molino) | 138 |
| | APPENDICE - G . Risultati del modello idraulico Hec-ras: T. Sturella | 145 |

1 PREMESSA

Il Comune di Brandizzo è dotato di P.R.G.C. approvato con D.G.R. n. 13-10374 del 08.09.2003 adeguato al PAI.

L'Amministrazione comunale, considerate le disposizioni legislative intervenute negli ultimi anni, intende ora procedere alla realizzazione di una Variante di revisione completa del vigente PRGC che preveda inoltre l'adeguamento al Piano di Gestione Rischio di Alluvione - PGRA (Direttiva "Alluvioni" 2007/60 CE – D. Lgs 49/2010), allo scopo di favorire una gestione urbanistica coerente con tali disposizioni.

Su incarico del Comune di Brandizzo, lo scrivente ha prodotto nel 2011 lo studio *"Studi geologici ed idraulici per l'adeguamento del quadro del dissesto ai sensi della D.G.R. n°2 - 11830 del 28/07/2009 - STUDIO IDRAULICO"*, allo scopo di avviare le procedure per la condivisione del quadro del dissesto. I contenuti dello studio citato sono da ritenersi obsoleti alla luce dei cambiamenti intervenuti in merito ai seguenti aspetti:

- modifiche normative direttamente collegate all'emanazione del Piano di Gestione Rischio di Alluvione - PGRA (Direttiva "Alluvioni" 2007/60 CE – D. Lgs 49/2010);
- modifiche territoriali collegate alla realizzazione di importanti opere di mitigazione del rischio idraulico del concentrato (canale scolmatore del T. Bendola);
- disponibilità di rilievi topografici di maggior dettaglio (LiDAR) rispetto a quanto disponibile all'epoca (restituzione aerofotogrammetrica).

In ragione di quanto esposto lo studio citato è stato integralmente accantonato (ad eccezione della raccolta dei dati di base) in quanto non più idoneo allo scopo per il quale era stato realizzato.

In conseguenza, con Determinazione numero 402 del 10 ottobre 2022 *"Variante di revisione completa al P.R.G.C. – Affidamento incarico all'Ing. Virgilio Anselmo dello studio Anselmo Associati per le indagini idrauliche"* lo scrivente ha ricevuto incarico per la redazione delle indagini idrauliche inerenti la Variante in parola.

Si evidenzia che gli approfondimenti idraulici, condotti secondo i criteri dell'analisi idraulica approfondita ai sensi della D.G.R. 64-7417 del 07/07/2014, hanno carattere di maggior dettaglio rispetto agli studi idraulici effettuati a supporto della Variante al P.R.G.C. vigente, sia in termini di rilievo topografico che di metodo di calcolo impiegato.

1.1 Le attività previste

Per quanto riguarda gli aspetti idraulici, la Variante al P.R.G. è finalizzata principalmente ad allineare il quadro dei dissesti agli ambiti di pericolosità definiti dal Piano di Gestione Rischio di Alluvione (PGRA).

Sono previste le seguenti attività:

- 1) **Elaborazione del piano quotato del territorio comunale (DTM) allo scopo di renderlo compatibile con il software di modellazione idraulica per la definizione del campo di inondazione.** La base altimetrica disponibile deriva da fonti diverse ⁽¹⁾ pertanto, allo scopo di uniformare il dato, è prevista l'attività di elaborazione del piano quotato. L'attività include il controllo e l'aggiornamento della topografia (con rilievo a terra) delle variazioni apportate in occasione dei lavori realizzati (scolmatore del T. Bendola e opere di contenimento del T. Sturella).
- 2) **Definizione delle portate di riferimento della rete idrografica minore.** L'attività prevede la raccolta ed il riordino dei valori di portata sulla base della documentazione esistente già approvata in altre sedi. In assenza di tali indicazioni i valori verranno calcolati con modellazione afflussi-deflussi.
- 3) **Definizione delle portate e dei livelli di piena della rete idrografica principale (Fiume Po e T. Malone).** In considerazione delle iterazioni tra i livelli di piena del Po e del Malone, che possono portare all'inondazione di parte del territorio comunale per rigurgito, in particolare per quanto riguarda i settori a tergo della ex SS 11 a partire dai sottopassi stradali, l'attività prevede di definire tali valori a partire dalle indicazioni contenute nel PGRA.
- 4) **Definizione del campo di inondazione mediante modellazione idraulica.** L'analisi idraulica viene condotta mediante modello numerico 1D+2D in moto vario bidimensionale (codice di calcolo Sobek) allo scopo di definire il campo di inondazione e le grandezze idrauliche (profondità e velocità della corrente) in condizioni di piena con tr 50, 200 e 500 anni. Allo scopo di ottimizzare il rapporto tra la geometria a disposizione ed i tempi di calcolo, in considerazione del grado di approfondimento atteso per il presente studio, si è valutato che la dimensione della cella quadrata che caratterizza il DTM debba essere pari a 10x10 m. Dal punto di vista operativo si procederà con l'allestimento di due distinti modelli idraulici:
 - Modello idraulico della parte Sud per la modellazione del settore compreso tra la linea ferroviaria ed il rilevato della SS. 11;
 - Modello idraulico della parte Nord per la modellazione del settore compreso tra il settore confinante del Comune di Volpiano e la linea ferroviaria.

1.2 La documentazione di riferimento

Per la redazione del presente studio, al fine di rispettare la congruenza con la documentazione esistente e con quanto già condiviso ed approvato dai Settori regionali competenti in materia

⁽¹⁾ La base altimetrica disponibile, non uniforme, è rappresentata da rilievi LiDAR a diversa risoluzione, rilievi aerofotogrammetrici, carta tecnica comunale 3D e rilievi topografici a terra.

di Difesa del Suolo e OO.PP in occasione della realizzazione degli interventi di messa in sicurezza ad oggi realizzati e/o progettati, si fatto riferimento alla seguente documentazione:

- PROVINCIA DI TORINO (1996) *"Studi di sistemazione del reticolo idrografico secondario compreso tra i torrenti Stura e Malone"*;
- COMUNE DI BRANDIZZO (1996) *"Studio di massima relativo all'opera di difesa e sistemazione del Torrente Bendola"* redatto dall'Ing. Ruberto;
- PROVINCIA DI TORINO, VOLPIANO COMUNE CAPOFILA (1999) *"Studio per la sistemazione idraulica dell'asta fluviale del Torrente Malone. 2° Fase – Tratto di pianura"*;
- COMUNE DI BRANDIZZO (2000) *"Lavori per la sistemazione idraulica del Torrente Bendola e Malonetto a difesa dell'abitato di Brandizzo – Scolmatore T. Bendola – Progetto definitivo"* redatto dall'Ing. Ruberto;
- COMUNE DI BRANDIZZO (2009) *"Lavori per la sistemazione idraulica del Torrente Bendola e Malonetto a difesa dell'abitato di Brandizzo – Scolmatore T. Bendola – Progetto esecutivo"* redatto dall'Ing. Ruberto;
- COMUNE DI SETTIMO TORINESE (2009) *"Progetto di manutenzione e adeguamento Bealera Nuova – Studio di fattibilità"* redatto da ANSELMO associati;
- COMUNE DI BRANDIZZO (2011) *Studi geologici ed idraulici per l'adeguamento del quadro del dissesto ai sensi della D.G.R. n°2-11830 del 28/07/2009 - STUDIO IDRAULICO"* redatto da ANSELMO associati;
- COMUNE DI BRANDIZZO (2019) *"Realizzazione argini Malonetto / Rio San Giovanni – Progetto definitivo/esecutivo"* redatto da ANSELMO associati;
- COMUNE DI BRANDIZZO (2020) *"Lavori per opere di contenimento Torrente Sturella – Progetto definitivo/esecutivo"* redatto da ANSELMO associati;
- CONSORZIO PER L'ARGINATURA E SISTEMAZIONE DEL TORRENTE BANNA-BENDOLA (2019) *"Definizione dell'assetto idraulico di progetto del Torrente Banna-Bendola nel tratto compreso tra il Comune di Mathi e la confluenza con il Torrente Malone nel Comune di Brandizzo – Studio idrologico-idraulico con simulazioni numeriche idrauliche 1D e 2D"* redatto da STUDIO ROSSO ingegneri associati;
- COMUNE DI BRANDIZZO (2021) *"Realizzazione nuovo canale scolmatore Rio San Giovanni – Progetto definitivo Variante progettuale n. 1"* redatto da ANSELMO associati;

2 CARATTERIZZAZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO

Il territorio comunale di Brandizzo è interessato da una serie di corsi d'acqua che evidenziano reciproche connessioni ed iterazioni:

- 1) **Rete idrografica principale** costituita da:
 - Fiume Po (riferimenti in 2.1.1);
 - Torrente Malone (riferimenti in 2.1.2);

2) **Rete idrografica minore** costituita da:

- T. Bendola e canale scolmatore (riferimenti in 2.2.1);
- Rio San Giovanni di Volpiano (Malonetto) (riferimenti in 2.2.2);
- Bealera Nuova e Gora del Molino (riferimenti in 2.2.4);
- T. Sturella (riferimenti in 2.2.5);
- Bealere e fossi irrigui in parte in funzione ed in parte dismesse/residuali.

L'analisi delle criticità idrauliche mostra quanto segue:

- a) Le aree inondabili connesse alla rete idrografica principale fanno riferimento ai fenomeni descritti nel PAI- PGRA.
- b) In linea generale, gli alvei della rete idrografica minore risultano insufficienti al convogliamento delle portate di progetto. I valori di portata calcolati assumono pertanto un significato prevalentemente teorico (*"portata idrologica"*) in quanto, la geometria della rete idrografica e dei manufatti, consente solamente il convogliamento di una frazione del valore individuato. In pratica, i valori di portata calcolati per una certa sezione di chiusura possono risultare più severi di quelli osservati in loco poiché risultano superiori alla capacità di convogliamento della rete idrografica già a partire dalle sezioni di monte. In tali settori hanno origine allagamenti che si propagano verso valle sotto forma di una lama d'acqua che percorre il piano campagna con caratteristiche che dipendono dalla topografia e dai particolari locali.
- c) La rete idrografica minore è influenzata dai complessi rapporti di causa-effetto del sistema di confluenze con la rete principale. In sostanza parte del territorio risulta vulnerabile sia per eventi pluviometrici brevi con intensità elevata (in grado di causare la crisi della rete minore) che per eventi di lunga durata e minor intensità (in grado di causare la crisi di Po e Malone e quindi innescare allagamenti diretti o importanti fenomeni di rigurgito che possono portare ad interessare il piano campagna). L'esame delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni allegate al PGRA evidenzia quanto richiamato (riferimenti in Figura 2-2 e Figura 2-3).

In ragione di quanto esposto, allo scopo di individuare un campo di inondazione coerente con quanto osservato in occasione dei fenomeni di piena di cui si ha testimonianza, accertato che gli allagamenti si originano già monte del territorio comunale di Brandizzo si stabilisce che le simulazioni idrauliche saranno realizzate considerando un settore più ampio rispetto al territorio comunale (ovvero partendo più a monte).

Nel seguito si espone la caratterizzazione idraulica di ciascun corso d'acqua in modo separato, allo scopo di evidenziare nel modo più chiaro ed esaustivo le singole criticità.

COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

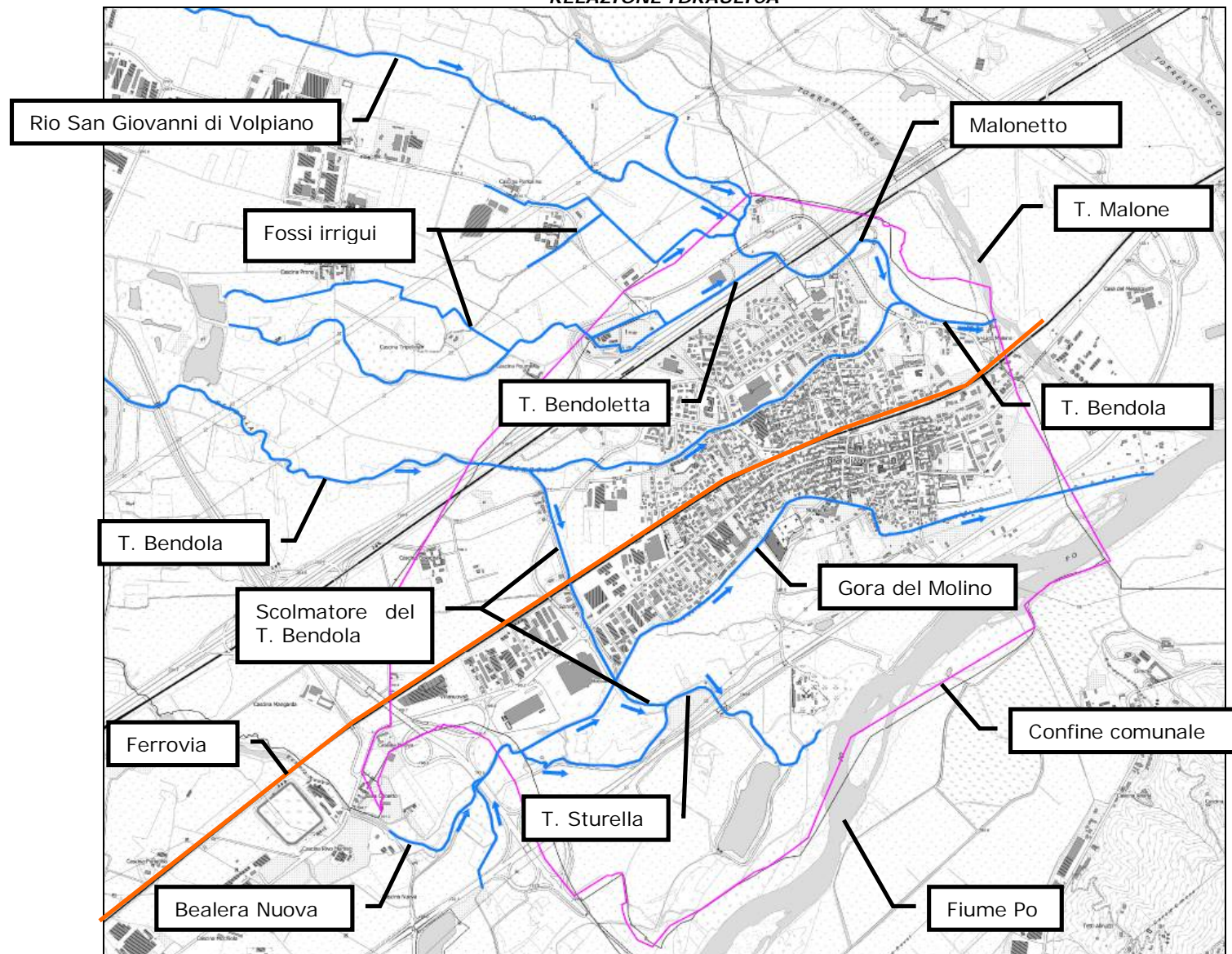


Figura 2-1. Schema delle rete idrografica in territorio di Brandizzo (dettagli in Elaborato AT5 - 2).

COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

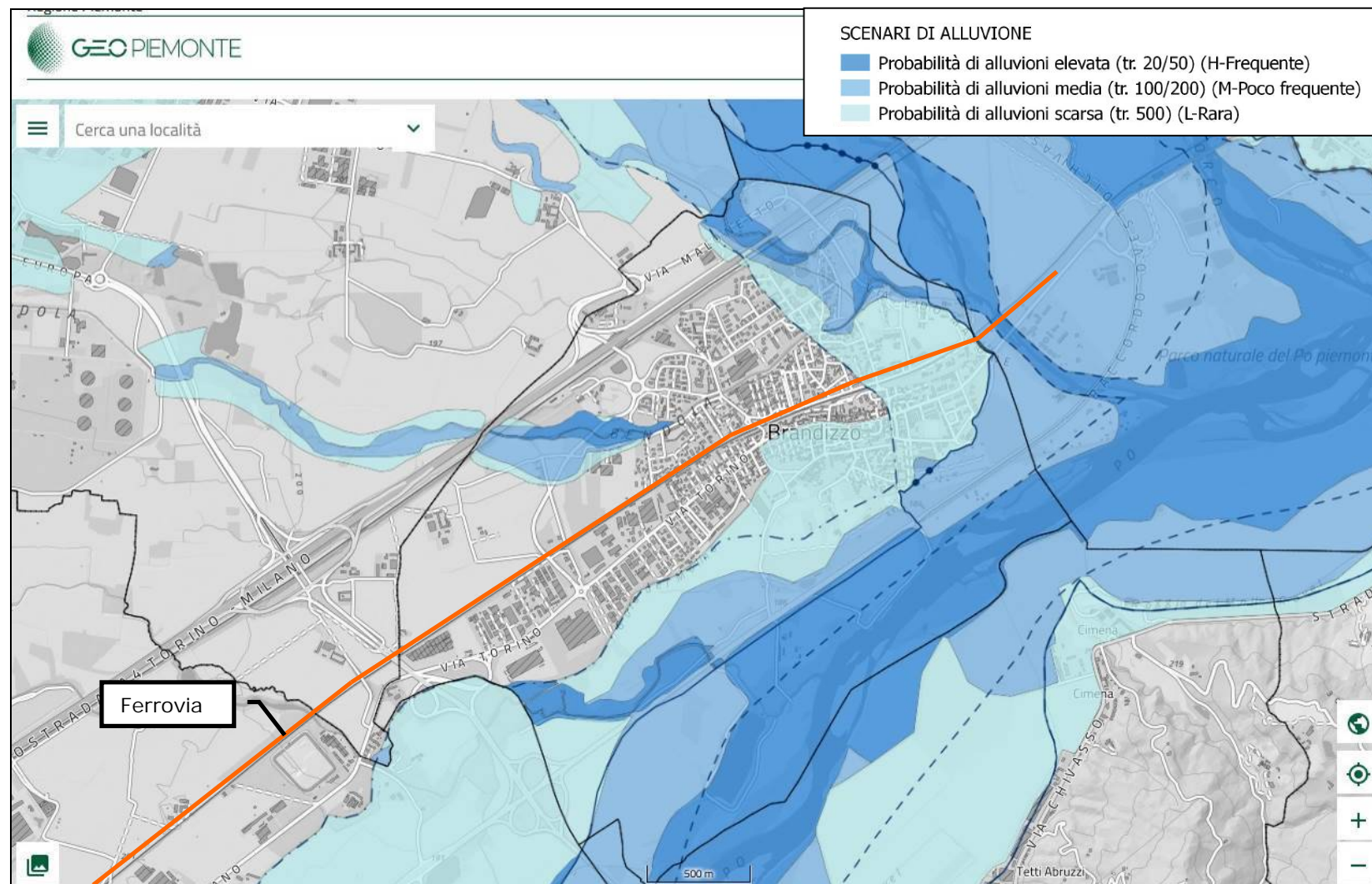


Figura 2-2. Carta della pericolosità da alluvione per l'area di interesse definita nell'ambito del PGRA (ciclo sessennale di pianificazione 2021 – 2027 vigente) sovrapposta alle Fasce Fluviali.

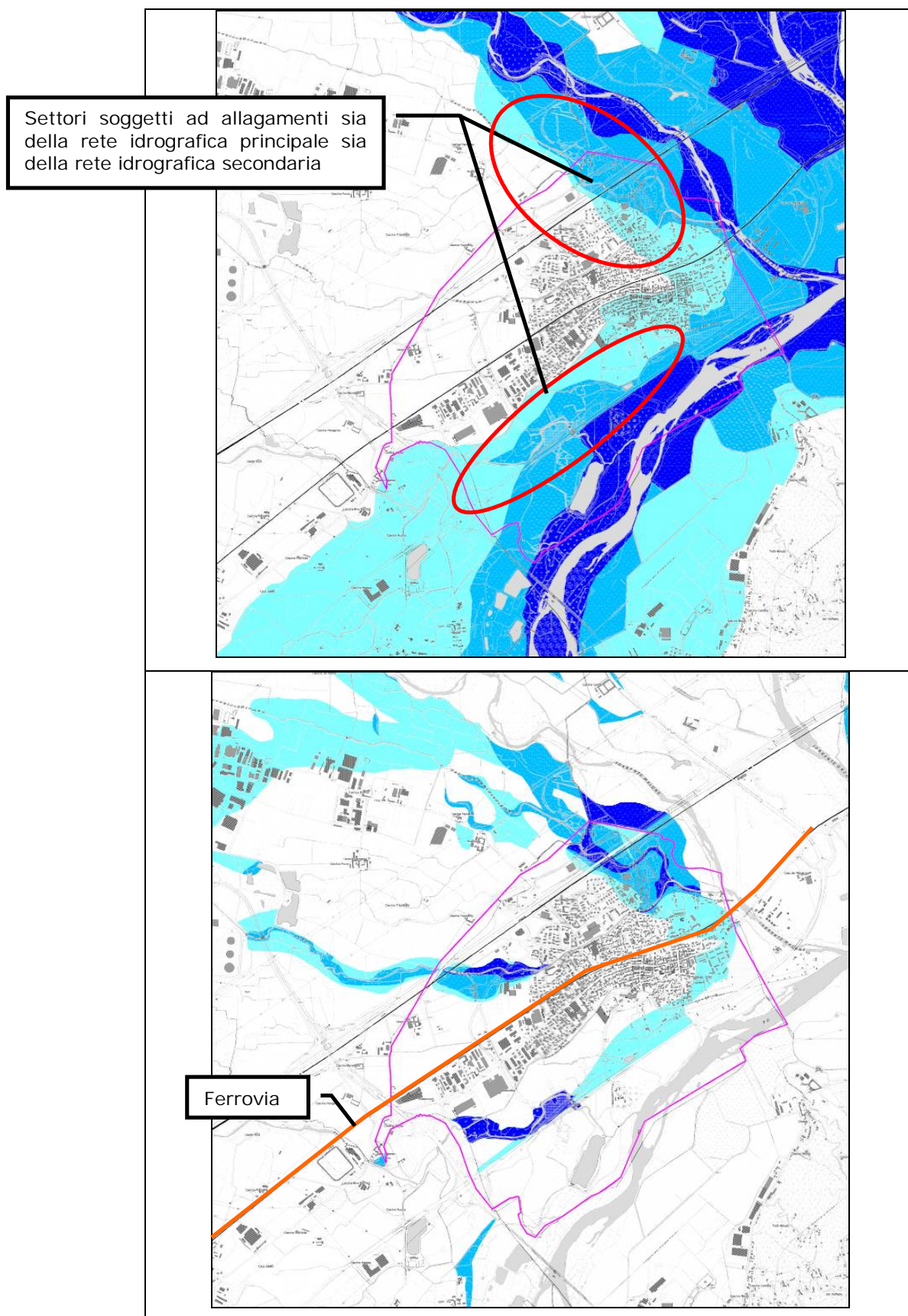


Figura 2-3. Estratto della Carta della pericolosità da alluvione definita nell'ambito del PGRA. Nel primo riquadro vengono rappresentati gli scenari di alluvione connessi al reticolo principale, nel secondo riquadro gli scenari connessi al reticolo idrografico secondario.

2.1 La rete idrografica principale

La rete idrografica principale che interessa il territorio comunale di Brandizzo è costituita da:

- Fiume Po (riferimenti in 2.1.1);
- Torrente Malone (riferimenti in 2.1.2);

I corsi d'acqua in parola sono oggetto di delimitazione delle Fasce fluviali nell'ambito del PAI. I dettagli sono riportati nei paragrafi successivi.

2.1.1 FIUME PO

La caratterizzazione idraulica del settore influenzato dal Fiume Po è definita sulla base dei seguenti documenti:

- 1) Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI – 2001). Nell'ambito del PAI originario (2001) vennero definite le fasce fluviali e i valori di portata ed il profilo idrometrico:

| Tabella 2: portate di piena per il Po nel tratto da Martiniana a Isola Sant'Antonio (confluenza Tanaro) | | | | | | | | | | |
|---|---------------|------------|------------|----------------------|-------|------|------|-----------|------|------------------------|
| Bacino | Corso d'acqua | Sezione | Superficie | Q20 | Q100 | Q200 | Q500 | Idrometro | | |
| | | Progr.(km) | Cod. | Denomin. | km² | m³/s | m³/s | m³/s | m³/s | Denominazione |
| Alto Po | Po | 29.700 | 325 | Gambasca | 214 | 370 | 540 | 650 | 760 | |
| Alto Po | Po | 53.787 | 311 | Villafranca Piemonte | 670 | 900 | 1100 | 1300 | 1460 | |
| Alto Po | Po | 72.000 | 300 | Lombriasco | 3500 | 1550 | 2100 | 2320 | 2630 | |
| Alto Po | Po | 90.100 | 287 | La Loggia | 3820 | 1600 | 2150 | 2400 | 2720 | |
| Alto Po | Po | 98.051 | 281 | Moncalieri | 4885 | 1730 | 2350 | 2600 | 2950 | Po a Moncalieri |
| Alto Po | Po | 118.464 | 255 | San Mauro | 7408 | 2600 | 3600 | 4000 | 4600 | Po a San Mauro |
| Alto Po | Po | 132.692 | 234 | Chivasso | 8960 | 3200 | 4400 | 4800 | 5500 | |
| Alto Po | Po | 150.500 | 208 | Palazzo Vercellese | 13640 | 4200 | 5600 | 6100 | 6900 | Po a Palazzolo |
| Alto Po | Po | 181.127 | 163 | Casale Monferrato | 13940 | 4200 | 5600 | 6100 | 6900 | Po a Casale Monferrato |

| Tabella 32: profilo di piena per il Po nel tratto da Martiniana a Isola Sant'Antonio (confluenza Tanaro) | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|----------------------------|----------|------|-------------|----------------------------|----------|---------|-------------|----------------------------|----------|
| Sez. | Progr. (km) | T = 200 anni | | Sez. | Progr. (km) | T = 200 anni | | Sez. | Progr. (km) | T = 200 anni | |
| | | Quota idrometrica (m s.m.) | Q (m³/s) | | | Quota idrometrica (m s.m.) | Q (m³/s) | | | Quota idrometrica (m s.m.) | Q (m³/s) |
| 325 | 29.700 | 383.58 | 650 | 248 | 122.480 | 191.82 | 171 | 176.630 | 120.84 | | |
| 324 | 31.700 | 347.82 | | 247 | 123.057 | 191.15 | 170 | 177.166 | 120.43 | | |
| 323 | 33.700 | 326.01 | | 246 | 123.633 | 190.16 | 169 | 177.701 | 120.06 | | |
| 322 | 35.600 | 314.10 | | 245 | 124.210 | 189.97 | 168 | 178.237 | 119.62 | | |
| 321 | 37.500 | 299.87 | | 244 | 124.787 | 189.56 | 167 | 178.773 | 119.17 | | |
| 320 | 39.500 | 284.26 | | 243 | 125.363 | 189.20 | 166 | 179.309 | 118.36 | | |
| 319 | 41.500 | 273.17 | | 242 | 126.517 | 188.49 | 165 | 179.844 | 117.74 | | |
| 318 | 43.100 | 270.71 | | 241 | 127.093 | 187.90 | 164 | 180.580 | 116.84 | | |
| 317 | 44.700 | 267.37 | | 240 | 128.786 | 186.11 | 163 | 181.127 | 115.10 | 6100 | |
| 316 | 46.300 | 264.26 | | 239 | 129.344 | 184.98 | 162 | 181.673 | 114.28 | | |
| 315 | 47.900 | 258.77 | | 238 | 129.902 | 183.71 | 161 | 182.220 | 113.56 | | |
| 314 | 49.293 | 257.36 | | 237 | 130.460 | 183.05 | 160 | 182.767 | 112.82 | | |
| 313 | 51.250 | 255.21 | | 236 | 131.576 | 181.41 | 159 | 183.313 | 112.07 | | |
| 312 | 52.630 | 254.30 | | 235 | 132.134 | 180.62 | 158 | 183.860 | 111.45 | | |
| 311 | 53.787 | 253.80 | 1300 | 234 | 132.692 | 179.83 | 4800 | 184.250 | 110.52 | | |

Figura 2-4. Estratto dei valori di portata e dei livelli idrometrici nelle sezioni di interesse per il territorio comunale di Brandizzo contenuti nel PAI (2001).

- 2) Nell'ambito dei successivi approfondimenti è stato realizzato lo *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Po nel tratto dalla confluenza del Fiume Stura di Lanzo alla confluenza del Fiume Dora Baltea* (AUTORITA DI BACINO DEL FIUME PO 2006) contenete analisi idrologica, analisi idraulica e delimitazione delle aree inondabili per Tr 20, 200 e 500 anni. La delimitazione delle fasce fluviali, attualmente vigente, è stata aggiornata e modificata dal Comitato Istituzionale con deliberazione n° 13 del 2006. Dettagli in Figura 2-5.

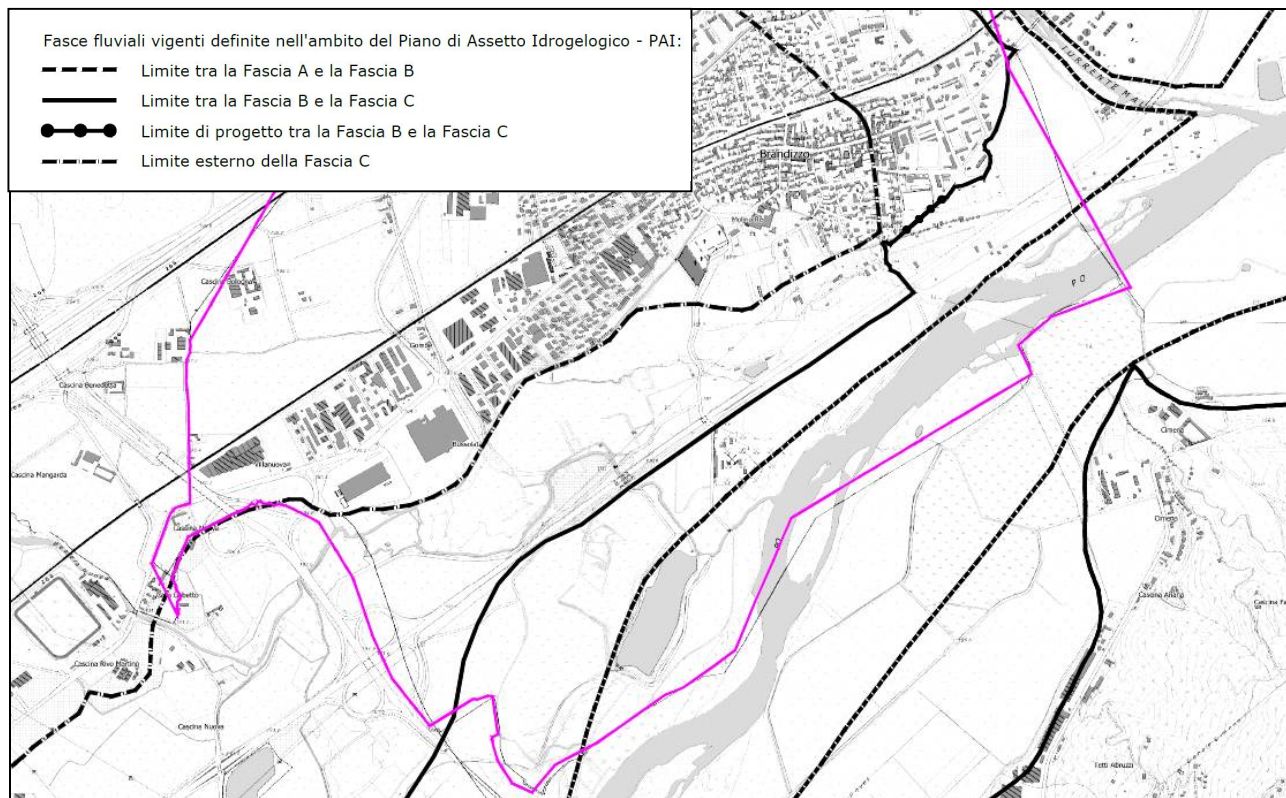


Figura 2-5. Corografia delle fasce fluviali nel settore di interesse così come definite nell'ambito del PAI-2001. In magenta il confine comunale derivato dalla mosaicatura catastale regionale.

- 3) Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA 2015-2021 e successivo ciclo sessennale 2021-2027 attualmente vigente). In attuazione della Direttiva 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni, sono state elaborate delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni che costituiscono lo strumento di aggiornamento ed integrazione al PAI. Nel tronco tra confluenza Stura di Lanzo e confluenza Tanaro, la delimitazione delle aree inondabili per i tre scenari di piena è stata effettuata a partire dalle aree inondabili definite nell'ambito del citato Studio di Fattibilità, apportando modifiche locali in funzione della realizzazione di argini e opere di difesa in attuazione del limite B di progetto o in funzione di valutazioni locali effettuate utilizzando il DTM di AdbPo del 2005 e le cartografie delle aree allagate dell'evento 2000. Dettagli in Figura 2-6.

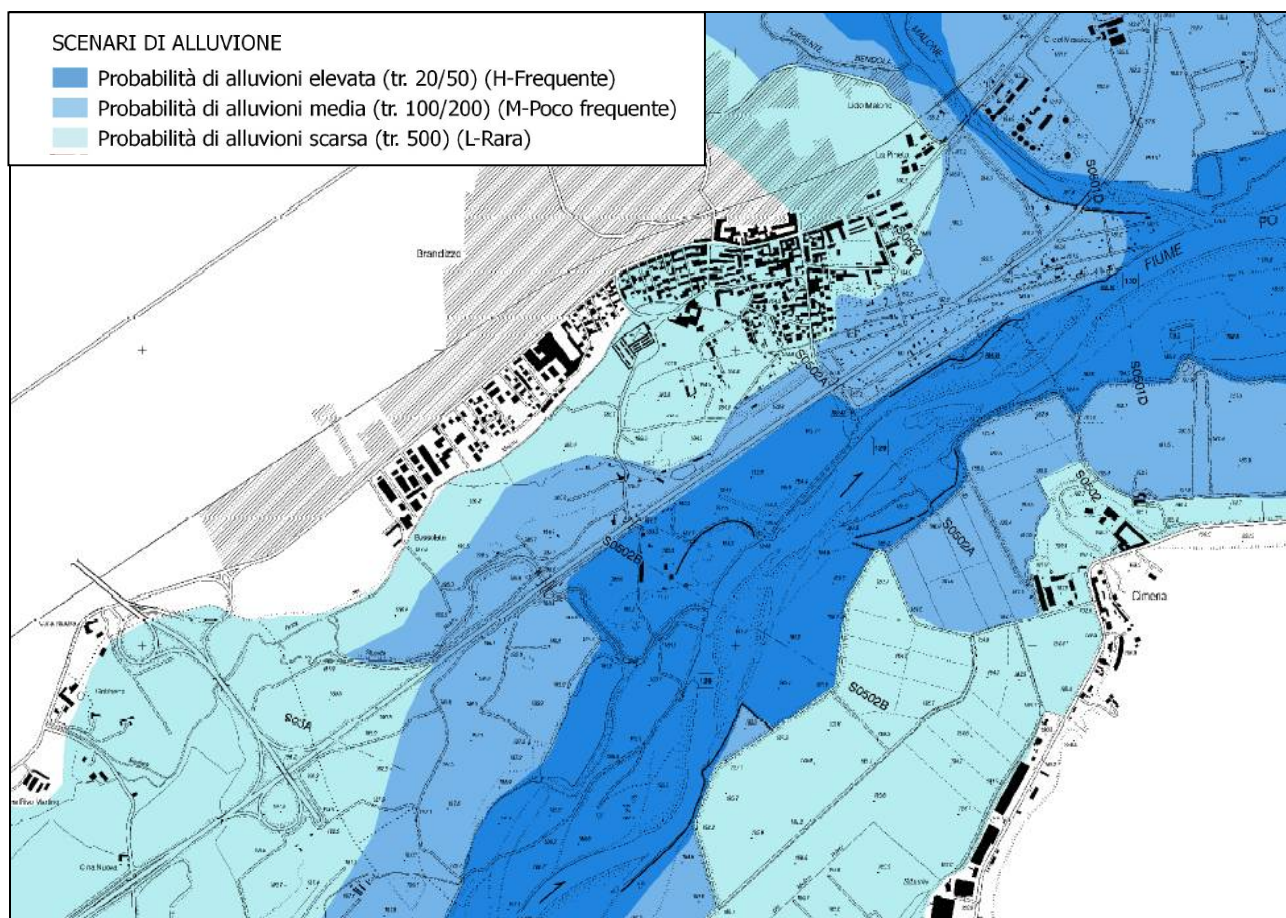


Figura 2-6. Estratto per l'area di interesse delle "Mappe delle aree inondabili sul reticolo idrografico principale del bacino del Fiume Po": Fiume Po TAV 9 redatte dalla Segreteria Tecnica dell'Autorità di bacino del Fiume Po (22 dicembre 2013).

Nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA 2021-2027 attualmente vigente) vengono definiti i valori di portata ed i livelli idrometrici vigenti che aggiornano il PAI originario (2001). Tali valori, definiti nell'ambito del citato Studio di Fattibilità, sono riportati nelle successive Tabella 2-1 e Tabella 2-2.

COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

Tabella 2-1. Portate del Fiume Po (tratto da PGRA "Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale" - Tab 4.1).

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 | Q20 | Q ott 2000 | Q200 | Q500 | Idrometro |
|--------|---------------|-------------|------|----------------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------------|
| | | Progr.(km) | Cod. | Denomin. | km ² | m ³ /s | m ³ /s | m ³ /s | m ³ /s | Denominazione |
| 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 |

Tabella 2-2. Livelli idrometrici del Fiume Po nelle sezioni di interesse per il territorio comunale di Brandizzo (tratto da PGRA "Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale" - Tab 5.1b).

Tab. 5.1_b: profili di piena per il Po nel tratto da Moncalieri a Crescentino

| Sez. PAI | Progr. PAI (km) | Sez. modello SdF | Progr. modello SdF (km) | T = 20 anni | T = 200 anni | T = 500 anni | Sez. PAI | Progr. PAI (km) | Sez. modello SdF | Progr. modello SdF (km) | T = 20 anni | T = 200 anni | T = 500 anni |
|----------|-----------------|------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------|-----------------|------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | Quota idrica (m s.m.) | Quota idrica (m s.m.) | Quota idrica (m s.m.) | | | | | Quota idrica (m s.m.) | Quota idrica (m s.m.) | Quota idrica (m s.m.) |
| | | 127443 | 103.650 | 218.69 | 220.63 | 221.14 | | | 106645 | 124.448 | 190.11 | 190.84 | 191.03 |
| | | 126938 | 104.155 | 218.63 | 220.50 | 220.97 | 245 | 124.210 | 106085 | 125.008 | 189.69 | 190.64 | 190.83 |
| | | 126778 | 104.315 | 218.63 | 220.50 | 220.98 | | | 105476 | 125.617 | 188.76 | 189.81 | 189.98 |
| 277 | 103.267 | 126622 | 104.471 | 218.60 | 220.46 | 220.93 | | | 105380 | 125.713 | 188.58 | 189.65 | 189.83 |
| | | 126243 | 104.850 | 218.43 | 220.27 | 220.74 | | | 105204 | 125.889 | 187.71 | 188.80 | 189.01 |
| | | 126012 | 105.081 | 218.35 | 220.19 | 220.65 | | | 104728 | 126.365 | 187.18 | 188.21 | 188.42 |
| | | 126003 | 105.090 | 218.35 | 220.17 | 220.63 | | | 104393 | 126.700 | 186.97 | 188.04 | 188.27 |
| | | 125972 | 105.121 | 218.33 | 220.15 | 220.60 | | | 104011 | 127.082 | 186.44 | 187.52 | 187.74 |
| | | 125961 | 105.132 | 218.32 | 220.15 | 220.61 | | | 103723 | 127.370 | 185.84 | 186.99 | 187.22 |
| | | 125860 | 105.233 | 218.18 | 219.97 | 220.42 | | | 103174 | 127.919 | 185.19 | 186.32 | 186.55 |
| | | 125329 | 105.764 | 217.88 | 219.66 | 220.13 | | | 102664 | 128.429 | 184.38 | 185.53 | 185.77 |
| | | 125324 | 105.769 | 217.89 | 219.66 | 220.12 | | | 102187 | 128.906 | 183.62 | 184.64 | 184.85 |
| | | 125297 | 105.796 | 217.86 | 219.61 | 220.08 | | | 102117 | 128.976 | 183.65 | 184.73 | 184.95 |
| | | 125291 | 105.802 | 217.88 | 219.64 | 220.11 | | | 101955 | 129.138 | 183.54 | 184.60 | 184.81 |
| 276 | 104.845 | 125109 | 105.984 | 217.67 | 219.42 | 219.89 | | | 101909 | 129.184 | 183.45 | 184.45 | 184.65 |
| | | 124671 | 106.422 | 217.35 | 219.07 | 219.53 | | | 101583 | 129.510 | 182.92 | 183.75 | 183.91 |
| | | 124118 | 106.975 | 216.92 | 218.63 | 219.09 | 237 | 130.460 | 101184 | 129.909 | 182.37 | 183.10 | 183.30 |
| 274 | 106.290 | 123769 | 107.324 | 216.66 | 218.37 | 218.82 | | | 100861 | 130.232 | 181.96 | 182.68 | 182.93 |
| | | 123759 | 107.334 | 216.59 | 218.25 | 218.69 | | | 100527 | 130.566 | 181.55 | 182.43 | 182.72 |
| | | 123711 | 107.382 | 216.56 | 218.23 | 218.66 | | | 100107 | 130.986 | 181.17 | 182.24 | 182.55 |
| | | 123701 | 107.392 | 216.60 | 218.33 | 218.78 | | | 99552 | 131.541 | 180.91 | 182.03 | 182.35 |
| | | 123356 | 107.737 | 216.26 | 218.02 | 218.48 | | | 99144 | 131.949 | 179.87 | 181.26 | 181.65 |
| | | 123007 | 108.086 | 216.15 | 217.95 | 218.42 | | | 98685 | 132.408 | 179.28 | 180.63 | 181.00 |
| 273 | 106.990 | 123001 | 108.092 | 216.14 | 217.92 | 218.39 | | | 98493 | 132.600 | 178.79 | 179.99 | 180.32 |
| | | 122976 | 108.117 | 216.12 | 217.91 | 218.38 | | | 98468 | 132.625 | 178.70 | 179.80 | 180.10 |
| | | 122969 | 108.124 | 216.12 | 217.91 | 218.38 | | | 98390 | 132.703 | 178.32 | 179.27 | 179.51 |

Il settore compreso tra il rilevato della S.S. 11 e la Gora del Molino è soggetto ad essere inondato, sia dalle acque circolanti nella rete idrografica secondaria (Bealera Nuova, T. Sturella e canale scolmatore del T. Bendola) che possono essere rigurgitate dal Po in piena, sia dallo stesso Fiume Po in quanto, a partire dai sottopassaggi della S.S. 11, risulta in comunicazione diretta con il settore di interesse che, in alcune porzioni, risulta più depresso rispetto alla quota raggiungibile dalla piena (riferimenti in Figura 2-7).

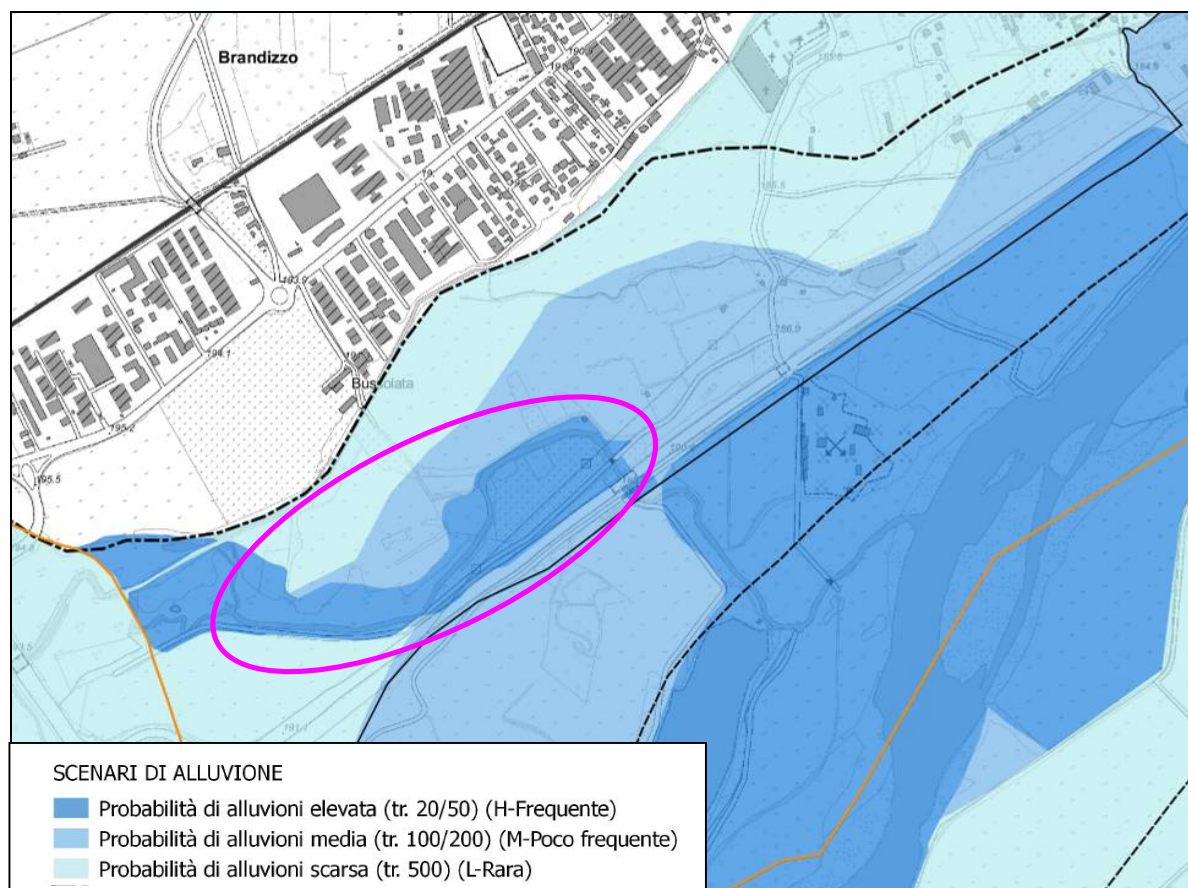


Figura 2-7. Scenari di alluvione in prossimità del settore compreso il rilevato della S.S. 11 e la Gora del Molino definiti nell'ambito del PGRA.

Allo scopo di definire il campo di inondazione in tale settore la condizione al contorno in uscita è stata definita considerando la condizione più cautelativa che si verifica in caso di concomitanza tra l'evento di piena del Po e l'evento di piena della rete secondaria.

In pratica, a partire dai valori idrometrici riportati nel PGRA, sono stati definiti i livelli idrometrici in corrispondenza delle posizioni di interesse, rappresentate dai sottopassaggi della S.S. 11 e dalle confluenze di T. Sturella e Gora del Molino con il Fiume Po (dettagli in Figura 2-8 e Tabella 2-3).

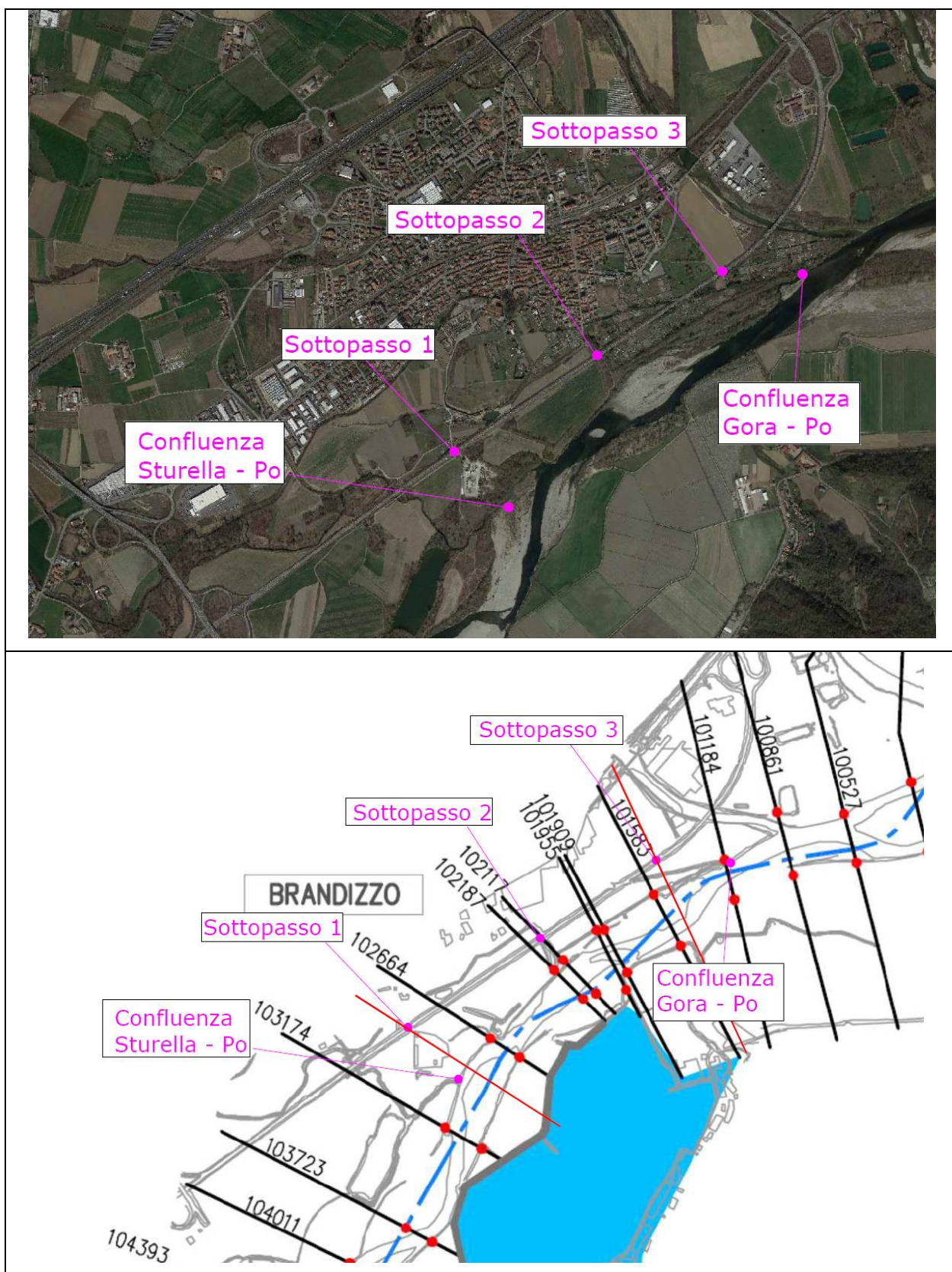


Figura 2-8. Posizioni di interesse in cui sono stati definiti i livelli idrometrici a partire dai valori riportati nel PGRA per l'evento con tr 200 anni (lo schema della posizione delle sezioni è tratto da *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Po nel tratto dalla confluenza del Fiume Stura di Lanzo alla confluenza del Fiume Dora Baltea* - Elaborato 2.2./1/1K Cartogramma allegato alla relazione metodologica e di analisi: schema del modello).

Tabella 2-3. Livelli idrometrici in corrispondenza delle posizioni di interesse calcolati a partire dai valori idrometrici riportati nel PGRA (riferimenti in Tabella 2-2).

| Localizzazione | Sezione SdF | Progressiva | Tr 20 | Tr 50 (1) | Tr 200 | Tr 500 | Distanze |
|--|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|----------|
| | [ID] | [km] | [m s.l.m.] | [m s.l.m.] | [m s.l.m.] | [m s.l.m.] | |
| Sottopasso Sturella | 103174 | 127.919 | 185.19 | 185.64 | 186.32 | 186.55 | |
| Sottopasso 1 (*) | | 127.599 | 184.68 | 185.14 | 185.82 | 186.06 | 0.32 |
| | 102664 | 128.429 | 184.38 | 184.84 | 185.53 | 185.77 | 0.510 |
| Sottopasso 2 | 102117 | 128.976 | 183.65 | 184.08 | 184.73 | 184.95 | |
| | 101583 | 129.51 | 182.92 | 183.25 | 183.75 | 183.91 | |
| Sottopasso 3 (*) | | 129.426 | 182.80 | 183.12 | 183.61 | 183.78 | 0.084 |
| Confluenza Gora - Po | 101184 | 129.909 | 182.37 | 182.66 | 183.1 | 183.3 | 0.399 |
| Confluenza Po-Orco | 99552 | 131.541 | 180.91 | 181.36 | 182.03 | 182.35 | |
| (1) Valori estrapolati nell'ipotesi che la distribuzione delle frequenze segua lo schema EV1 | | | | | | | |
| (*) Valori interpolati correlando il livello idrometrico alla distanza tra le sezioni | | | | | | | |

La modellazione idraulica predisposta per la definizione del campo di inondazione nel settore in parola tiene conto di quanto segue:

- livelli idrometrici di piena del Po (così come sopra richiamato);
- maggiori apporti al T. Sturella dovuti alla realizzazione del canale scolmatore del T. Bendola (dettagli in 2.2.1);
- effetti dei lavori di contenimento dei livelli del T. Sturella consistenti nell'innalzamento della sponda sinistra allo scopo di mitigare gli effetti descritti al punto precedente (dettagli in 2.2.5).

2.1.2 TORRENTE MALONE

La caratterizzazione idraulica del settore influenzato dal Torrente Malone è definita sulla base dei seguenti documenti:

- 1) Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI). Il PAI originario (2001) inizialmente non prevedeva la delimitazione delle fasce fluviali sul T. Malone. In seguito è stato prodotto l'approfondimento tecnico rappresentato dallo Studio "SP1.4 (2004) Studio sul reticolo minore naturale ed artificiale" contenente analisi idraulica con modello monodimensionale di asta che definisce i livelli e le aree inondabili per gli scenari di piena. Il "Progetto di variante al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Rete idrografica minore naturale della Regione Piemonte" adottato con Deliberazione del Comitato Istituzionale 18/2004, che prende il nome di *Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Reticolo Minore (PSRM)*, ha provveduto ad una prima stesura delle fasce fluviali. Le Fasce fluviali vigenti sono state definite nell'ambito della "Variante del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Rete idrografica minore naturale della regione Piemonte" adottata con Deliberazione del Comitato Istituzionale 6/2007.

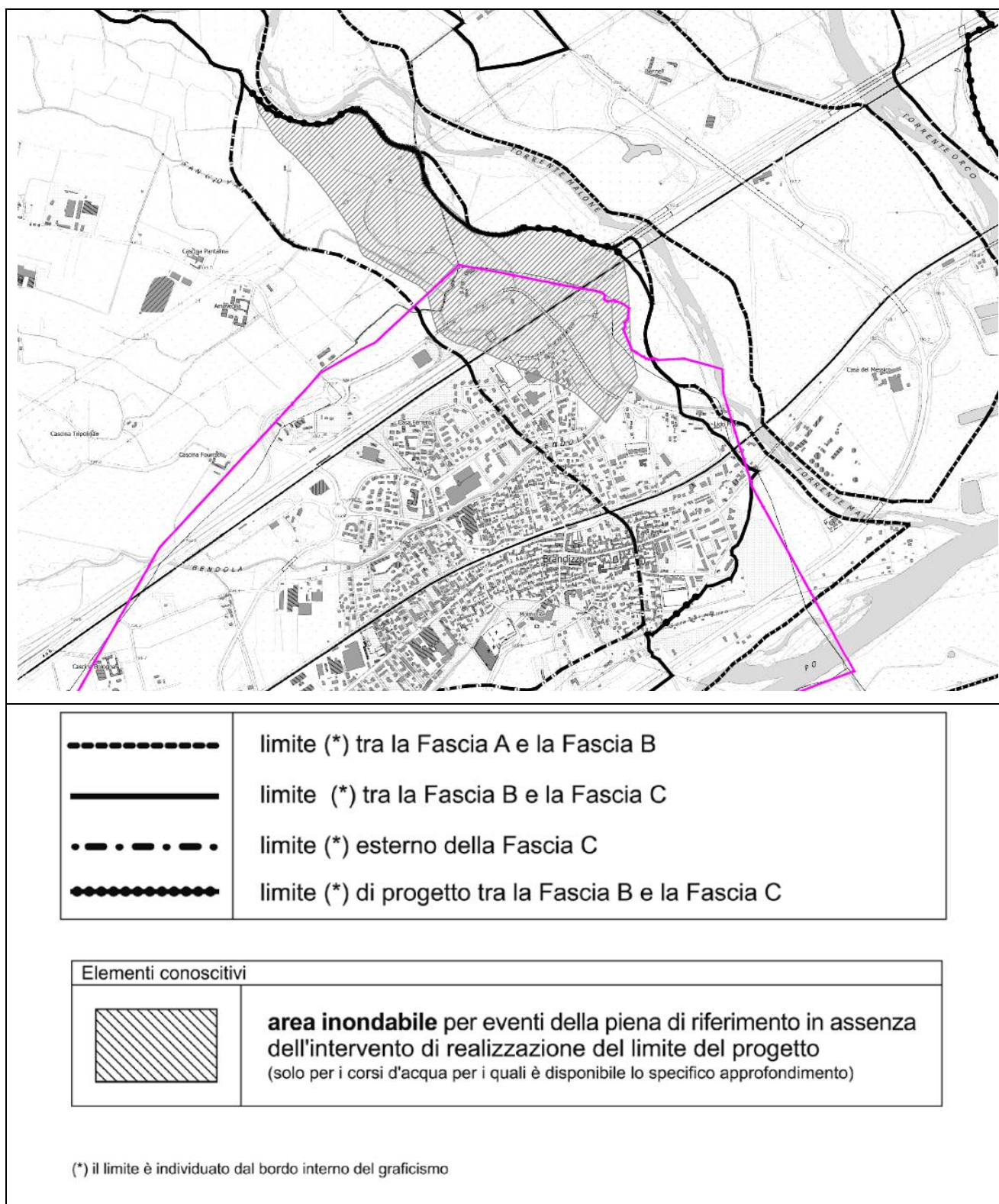


Figura 2-9. Corografia delle fasce fluviali nel settore di interesse così come definite nell'ambito della "Variante del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Rete idrografica minore naturale della regione Piemonte" (Deliberazione del Comitato Istituzionale 6/2007). In magenta il confine comunale derivato dalla mosaicatura catastale regionale.

- 2) Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA 2015-2021 e successivo ciclo sessennale 2021-2027 attualmente vigente). In attuazione della Direttiva 2007/60/CE, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni, sono state elaborate delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni che costituiscono lo strumento di aggiornamento ed integrazione al PAI. Per il T. Malone la delimitazione delle aree inondabili per i tre scenari di piena è stata effettuata a partire dalle aree inondabili definite nell'ambito del citato *Studio SP1.4*, apportando modifiche locali in funzione della realizzazione di argini e opere di difesa in attuazione del limite B di progetto o in funzione di valutazioni locali effettuate utilizzando il DTM del Ministero dell'Ambiente del 2008 e dell'ortofoto AGEA del 2007. Dettagli in Figura 2-10.

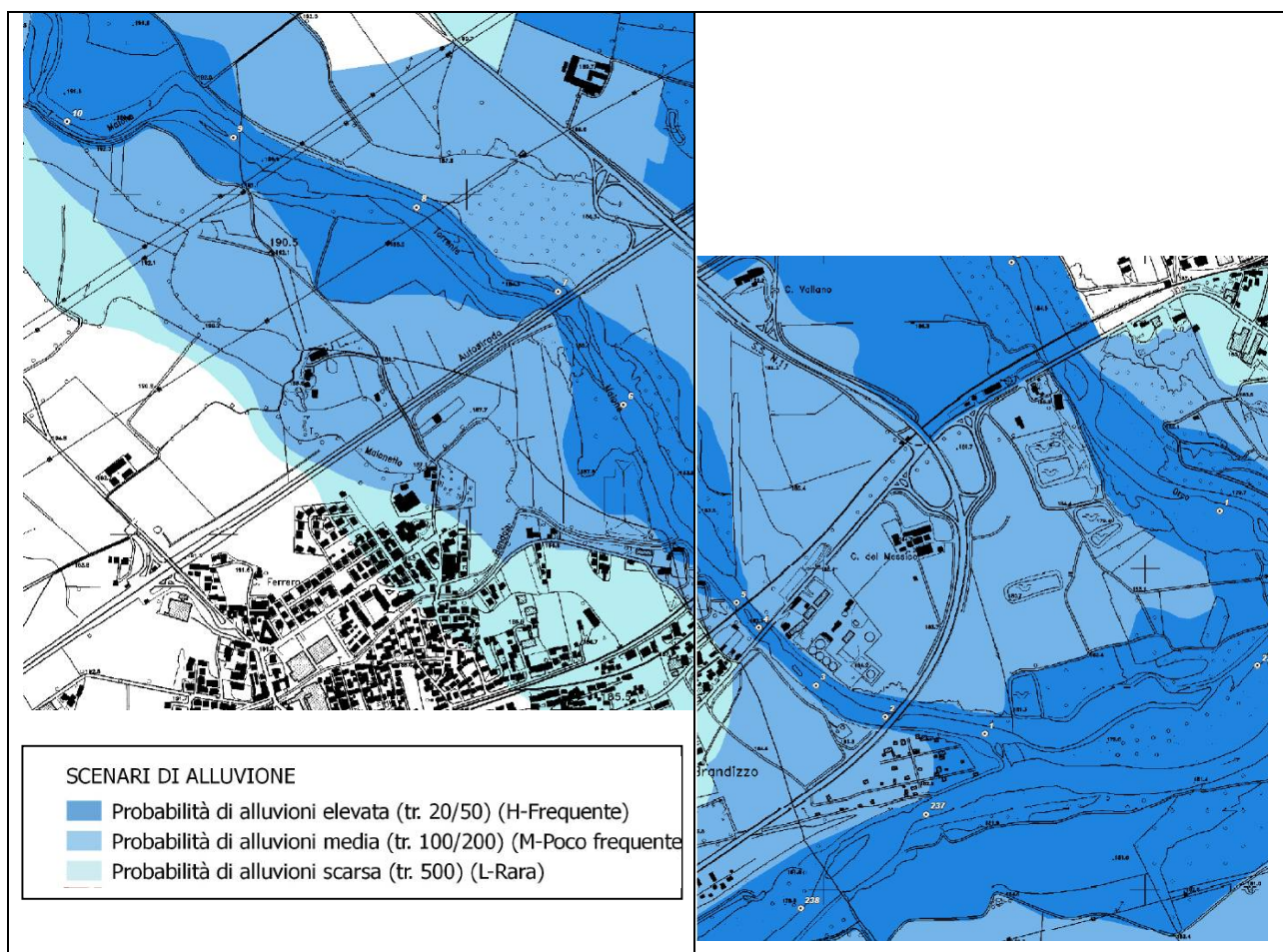


Figura 2-10. Estratto per l'area di interesse delle "Mappe delle aree inondabili sul reticolo idrografico principale del bacino del Fiume Po": Malone TAV 1 e TAV 2 redatte dalla Segreteria Tecnica dell'Autorità di bacino del Fiume Po (22 dicembre 2013).

- 3) Nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA 2021-2027 attualmente vigente) vengono definiti i valori di portata ed i livelli idrometrici vigenti. Tali valori sono riportati nelle successive Tabella 2-4 e Tabella 2-5.

COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

Tabella 2-4. Portate del T. Malone (tratto da PGRA "Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale" - Tab 4.14).

Tab. 4.14: portate di piena per il torrente Malone

| Bacino | Corso d'acqua | Sezione | | | Superficie | Q20 | Q200 | Q500 | Idrometro |
|--------|---------------|-------------|------|---------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| | | Progr. (km) | Cod. | Denomin. | km ² | m ³ /s | m ³ /s | m ³ /s | Denominazione |
| Malone | Malone | 0.493 | 53 | Front | 121 | 392 | 572 | 652 | Malone a Front |
| Malone | Malone | 10.915 | 31 | Lombardore | 224 | 531 | 774 | 872 | |
| Malone | Malone | 16.595 | 17 | Volpiano (A5) | 271 | 607 | 886 | 966 | |
| Malone | Malone | 23.433 | 4 | Brandizzo | 371 | 725 | 1032 | 1170 | Malone a Brandizzo |

Tabella 2-5. Livelli idrometrici del T. Malone nelle sezioni di interesse (tratto da PGRA "Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale" - Tab 5.37).

| Sez. | Progr. (km) | T = 20 anni | T = 200 anni | T = 500 anni | Sez. | Progr. (km) | T = 20 anni | T = 200 anni | T = 500 anni |
|--------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------|-------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | Quota idrica (m s.m.) | Quota idrica (m s.m.) | Quota idrica (m s.m.) | | | Quota idrica (m s.m.) | Quota idrica (m s.m.) | Quota idrica (m s.m.) |
| 38 (m) | 7.761 | 233.99 | 234.89 | 235.34 | 10 | 20.784 | 192.06 | 192.68 | 192.84 |
| 38 (v) | 7.761 | 233.59 | 234.20 | 234.44 | 9 | 21.299 | 190.09 | 190.89 | 191.10 |
| 37 | 7.972 | 232.63 | 233.21 | 233.43 | 8 | 21.881 | 188.52 | 189.23 | 189.44 |
| 36 | 8.658 | 229.80 | 230.25 | 230.43 | 7 (m) | 22.366 | 187.27 | 187.92 | 188.14 |
| 35 | 9.098 | 228.29 | 228.67 | 228.82 | 7 (v) | 22.366 | 186.64 | 187.18 | 187.34 |
| 34 | 9.937 | 224.57 | 225.24 | 225.51 | 7_vs | 22.380 | 186.49 | 187.00 | 187.17 |
| 33 (m) | 10.460 | 222.97 | 223.75 | 224.06 | 6 | 22.759 | 185.58 | 186.18 | 186.39 |
| 33 (v) | 10.460 | 222.22 | 222.84 | 223.11 | 5 (m) | 23.329 | 184.19 | 185.02 | 185.28 |
| 32 | 10.681 | 221.15 | 221.80 | 222.12 | 5 (v) | 23.329 | 184.12 | 184.94 | 185.19 |
| 31 (m) | 10.915 | 220.81 | 221.59 | 221.80 | 4 (m) | 23.433 | 184.09 | 184.93 | 185.18 |
| 31 (v) | 10.915 | 220.55 | 221.22 | 221.50 | 4 (v) | 23.433 | 183.84 | 184.53 | 184.76 |
| 30 | 11.155 | 219.74 | 220.40 | 220.61 | 3 | 23.683 | 183.17 | 183.80 | 184.01 |
| 29 | 11.638 | 217.97 | 218.53 | 218.68 | 2 (m) | 23.930 | 182.73 | 183.22 | 183.37 |
| 28 | 12.478 | 214.68 | 215.48 | 215.59 | 2 (v) | 23.930 | 182.69 | 183.14 | 183.28 |
| 27 | 13.049 | 212.61 | 212.90 | 213.03 | 1 | 24.240 | 182.26 | 182.51 | 182.57 |
| 26 | 13.610 | 211.05 | 211.40 | 211.53 | | | | | |

Nell'ambito delle valutazioni contenute nelle "Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi – Bacino del Torrente Malone" per il tronco di T. Malone compreso tra la cascina Cerello ed il ponte della ferrovia Torino – Chivasso (nel tratto compreso tra le sezioni 5 e 11) si evidenzia che "potenziali esondazioni dell'abitato di Brandizzo possono essere determinate dai complessi rapporti di causa-effetto del sistema di confluenze ravvicinate della zona (Fiume Po, torrenti Orco e Malone) e da eventuali contributi del Malone in piena al Malonetto (in cui confluisce anche il rio Bendola) che defluisce su un probabile paleoalveo dello stesso Malone", in particolare si riporta che *"a monte del rilevato ferroviario, nel tratto di torrente compreso fra le sezioni 5 e 11, all'allagamento provocato dall'esondazione del torrente Malone su entrambe le sponde, si aggiunge il contributo del rio Bendola e del Malonetto,*

attivabile per un evento stimato fra $T=100-200$ anni di tempo di ritorno, aggravando l'allagamento della città di Brandizzo a valle dell'autostrada A4 Torino-Milano".

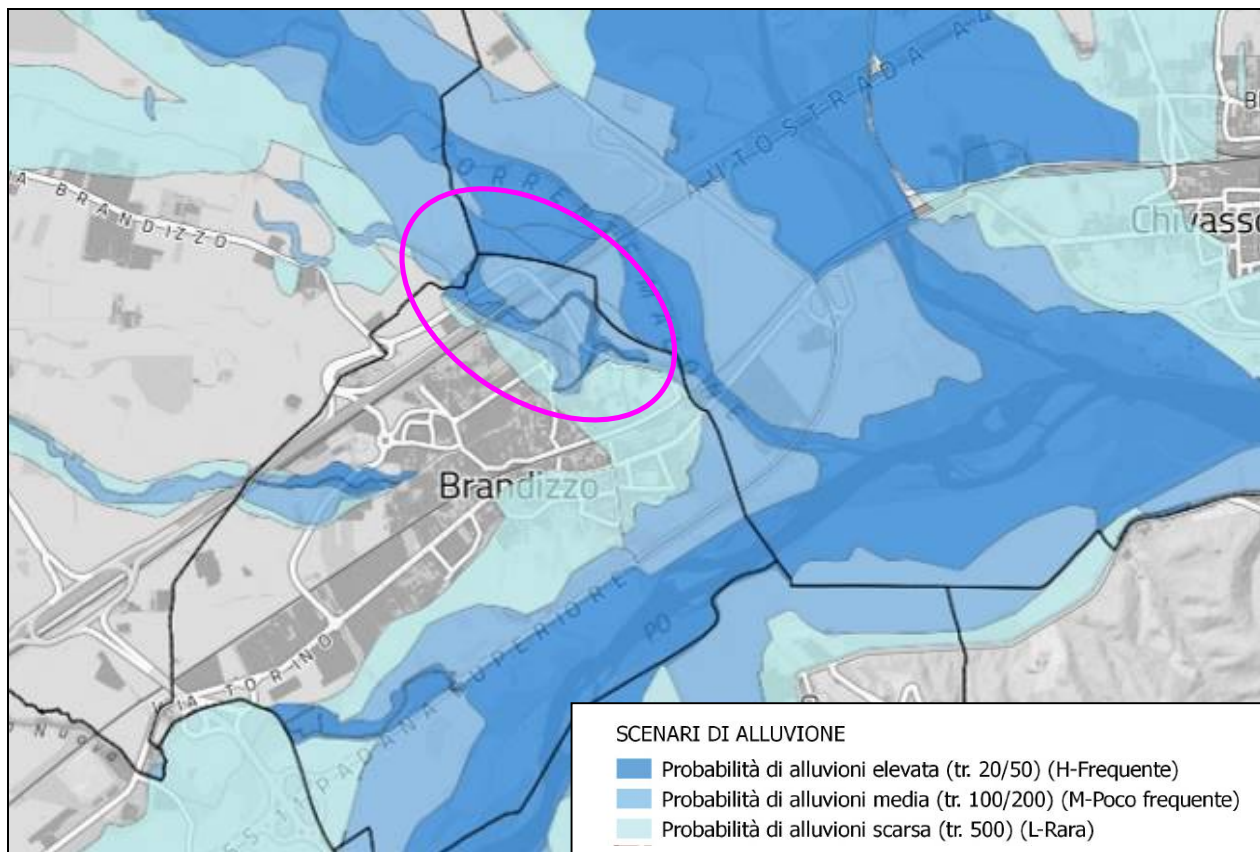


Figura 2-11. Scenari di alluvione in prossimità del settore in cui si sovrappongono gli effetti degli allagamenti del T. Malone e della rete minore (Malonetto e Bendola) così come definiti nell'ambito del PGRA.

Allo scopo di definire il campo di inondazione in tale settore, le verifiche idrauliche saranno predisposte impiegando i valori di portata e idrogrammi definiti nell'ambito del citato *Studio SP1.4* (2004). Con riferimento alla Relazione *"Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi – Bacino del Torrente Malone"* vengono individuate 4 sezioni di rilevanza idrologica che, da monte verso valle, risultano essere poste nelle seguenti posizioni:

- alla confluenza con il torrente Fandaglia (sez.54);
- in corrispondenza dell'immissione del T. Fisca (sez. 31);
- in prossimità dell'attraversamento dell'autostrada A5 (sez. 17);
- alla confluenza Po (sez. 1).

Poichè dall'abitato di S. Benigno (posto poco a monte dell'A5) alla confluenza Po l'unica immissione importante è quella del T. Bendola, che a sua volta riceve il contributo del T. Malonetto poco a monte, si è deciso assumere la portata in ingresso riferita alla Sezione 17. Lo studio citato specifica che *"il calcolo degli idrogrammi di portata chiusi alle sezioni di interesse,*

stante la mancanza di stazioni idrometriche sul corso d'acqua in esame, è stato effettuato con un modello deterministico a parametri concentrati (modulo afflussi-deflussi)".

La sintesi dei valori di portata al colmo nelle sezioni di interesse, tratti dal PGRA vigente, è riportata in Tabella 2-6. Gli idrogrammi impiegati sono riportati in Figura 2-12.

Tabella 2-6. Sintesi dei valori di portata al colmo impiegati per le verifiche idrauliche (valori tratti dal PGRA vigente, riferimenti in Tabella 2-4).

| Sezione | Q 20 anni (m ³ /s) | Q 50 anni (*) (m ³ /s) | Q 100 anni (m ³ /s) | Q 200 anni (m ³ /s) | Q 500 anni (m ³ /s) |
|---------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1 | 725 | | 937 | 1032 | 1170 |
| 17 | 607 | 720 | 810 | 886 | 966 |
| 31 | 531 | | 705 | 774 | 872 |
| 54 | 392 | | 542 | 572 | 652 |

(*) Valori estrapolati nell'ipotesi che la distribuzione delle frequenze segua lo schema EV1

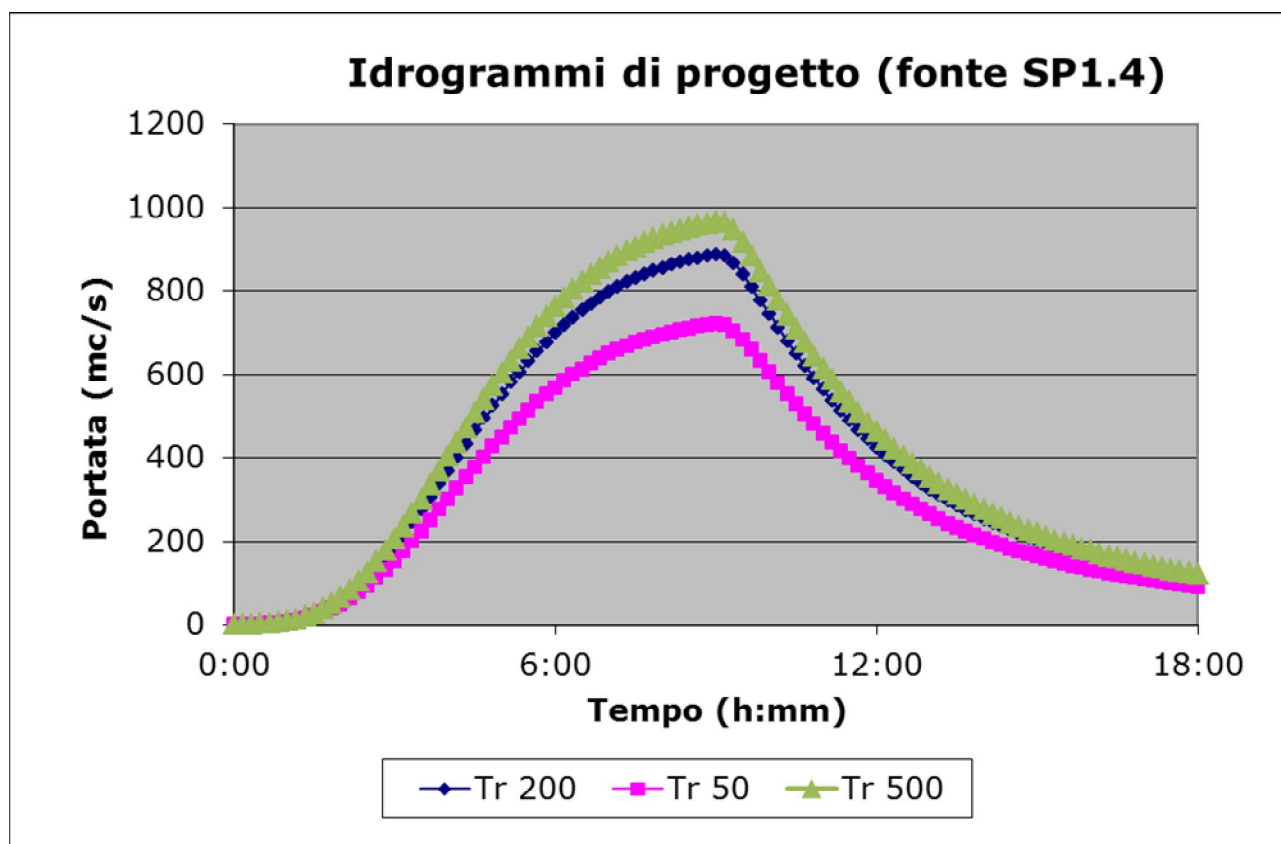


Figura 2-12. Idrogrammi di progetto (fonte SP1.4) che saranno impiegati nell'ambito degli approfondimenti idraulici.

2.2 La rete idrografica minore

Il territorio comunale di Brandizzo è percorso da una fitta rete idrografica secondaria costituita da (riferimenti in Figura 2-1 e in Elaborato AT5 - 2):

- T. Bendola e canale scolmatore (riferimenti in 2.2.1);
- Rio San Giovanni di Volpiano (Malonetto) (riferimenti in 2.2.2);
- Bealera Nuova e Gora del Molino (riferimenti in 2.2.4);
- T. Sturella (riferimenti in 2.2.5);
- Bealere e fossi irrigui in parte in funzione ed in parte dismesse/residuali.

Il funzionamento idraulico della rete idrografica minore è influenzato dai complessi rapporti di causa-effetto del sistema di confluenze con la rete principale. In particolare si osserva quanto segue:

- 1) Nell'ambito del territorio posto a Sud della linea ferroviaria, il settore compreso tra il rilevato della S.S. 11 e la Gora del Molino è soggetto ad essere inondato, sia dalle acque circolanti nella rete idrografica secondaria (Bealera Nuova, T. Sturella e canale scolmatore del T. Bendola) che possono essere rigurgitate dal Po in piena, sia dallo stesso Fiume Po, in comunicazione diretta con il settore di interesse, a partire dai sottopassaggi della S.S. 11 (in alcune porzioni il piano campagna è più depresso rispetto alla quota raggiungibile dalla piena). Riferimenti in Figura 2-3 e in Figura 2-7.
- 2) Nell'ambito del territorio posto a Nord della linea ferroviaria, il settore compreso tra il nodo idraulico "Prati magri" (origine del Malonetto) e la confluenza Bendola – Malone è soggetto ad essere inondato sia da esondazioni che si possono originare direttamente dalla rete idrografica minore (Malonetto e Bendola), sia dalle acque provenienti direttamente dalla sponda destra del T. Malone che, incanalandosi nell'attraversamento dell'Autostrada A4 (riferimenti in Figura 2-25), si aggiungono al contributo del Malonetto e del Bendola aggravando le condizioni di allagamento a valle della A4 Torino-Milano.

In sostanza parte del territorio risulta vulnerabile sia per eventi pluviometrici brevi con intensità elevata (in grado di causare la crisi della rete minore) che per eventi di lunga durata e minor intensità (in grado di causare la crisi di Po e Malone e quindi innescare importanti fenomeni di rigurgito che possono portare ad interessare il piano campagna).

In merito alla mappa della pericolosità e del rischio di alluvioni definita nell'ambito del PGRA si evidenzia che, per i Comuni con PRG adeguato al PAI alla data di aprile 2013 (come Brandizzo), il dato riferito alla pericolosità idraulica, così come definito negli elaborati del PRGC, è confluito direttamente nelle Mappe allegate al PGRA (dettagli in Figura 2-13)⁽²⁾.

⁽²⁾ In sintesi gli ambiti di pericolosità individuati nelle Mappe del PGRA tengono conto sia della delimitazione operata dall'Autorità di Bacino per la rete idrografica principale, sia di quella operata nell'ambito del Piano Regolatore (mantenendo il limite più esterno tra quelli individuati nelle fonti citate).

Si sottolinea che nell'ambito del PRGC vigente le aree a diversa probabilità di esondazione sono state definite in assenza di specifica modellazione idraulica (ovvero su base morfologica o di lavori terzi). Il presente studio ha quindi carattere di maggior dettaglio rispetto agli studi realizzati a supporto della Variante al P.R.G.C. vigente.

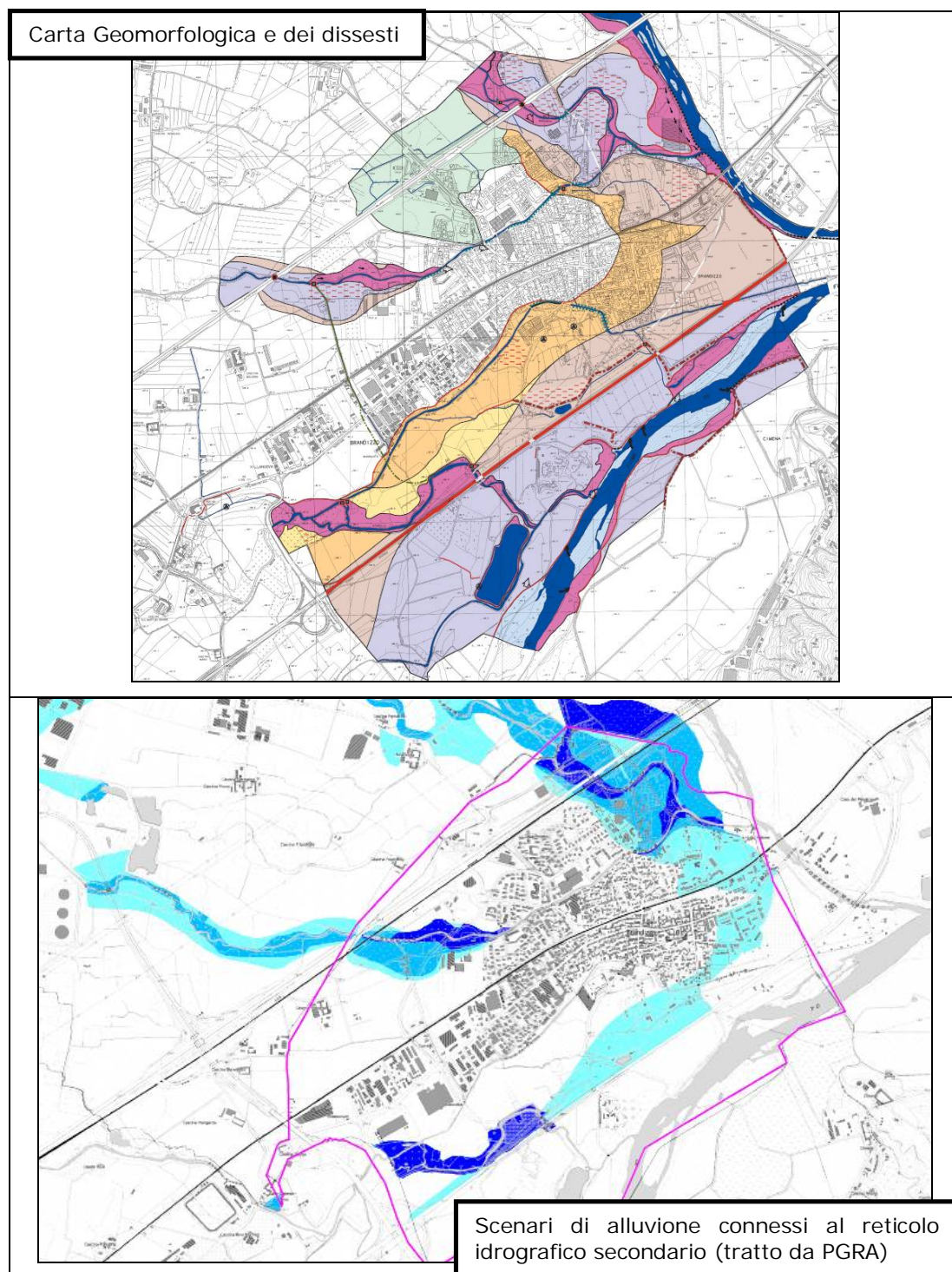


Figura 2-13. Sovrapposizione tra la Carta Geomorfologica e dei dissesti allegata al PGR vigente (Tavola AT5/3) e la mappa della pericolosità e del rischio di alluvioni del PGRA (in cui è confluito il dato).

2.2.1 T. BENDOLA E CANALE SCOLMATORE

Il territorio oggetto di indagine presenta caratteristiche intermedie tra un'area completamente urbanizzata ed un'area con vocazione agricola o ex-agricola (aree periurbane) in cui la rete di drenaggio è costituita da canali irrigui e fossi di scolo/derivatori ad essi collegati. L'urbanizzazione, il mancato adeguamento dei fossi citati ed il progressivo abbandono di parte della rete irrigua a causa della contrazione delle attività agricole, hanno portato allo stato di fatto attuale in cui la rete di drenaggio non risulta adeguata al convogliamento delle portate di piena. In generale nelle aree irrigue (o ex-irrigue) più o meno densamente urbanizzate, il pericolo di sommersione per straripamento dei canali è evidente.

Il T. Bendola, proveniente dal territorio di Volpiano, interessa il territorio comunale con andamento Ovest – Est (riferimenti in Figura 2-14).

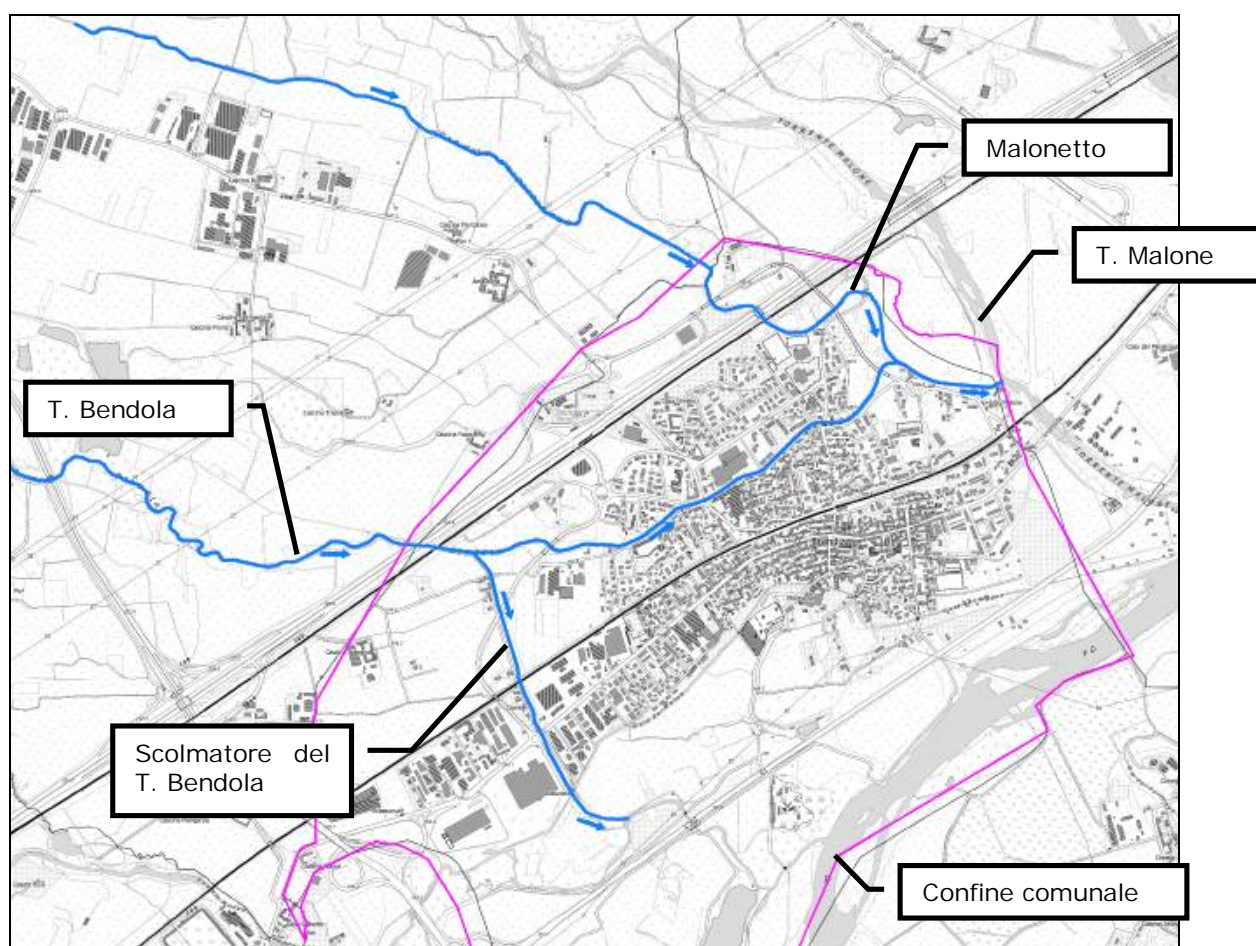


Figura 2-14. Percorso del T. Bendola nel tratto di interesse.

Il T. Bendola storicamente ha provocato allagamenti nell'abitato dei Brandizzo a causa dell'insufficiente capacità di convogliamento dell'alveo. Il fenomeno si aggrava a valle della confluenza con il T. Malonetto in ragione dell'ulteriore apporto di portata.

Allo scopo di ridurre la pericolosità idraulica nel tratto cittadino, è stato realizzato un canale scolmatore nell'ambito del progetto *"Lavori per la sistemazione idraulica del Torrente Bendola e Malonetto a difesa dell'abitato di Brandizzo – Scolmatore T. Bendola – Progetto esecutivo"* redatto dall'Ing. Ruberto per conto del Comune di Brandizzo.

Allo stato attuale il percorso nel tratto cittadino, a partire dall'attraversamento dell'autostrada A4 Torino-Milano (riferimenti in Figura 2-15), è caratterizzato da:

- a) presenza di un canale scolmatore (posto tra l'attraversamento della linea ferroviaria dell'alta velocità e l'attraversamento di Strada Monviso). Riferimenti in Figura 2-16, in Figura 2-17 e in Figura 2-18;
- b) confluenza con il T. Malonetto (di cui riceve le acque a valle dell'attraversamento di Strada del Lys);
- c) confluenza con il T. Malone (a monte del ponte della ferrovia).

In merito alla caratterizzazione del T. Bendola in territorio di Brandizzo si segnala il recente studio CONSORZIO PER L'ARGINATURA E SISTEMAZIONE DEL TORRENTE BANNA-BENDOLA (2019) *"Definizione dell'assetto idraulico di progetto del Torrente Banna-Bendola nel tratto compreso tra il Comune di Mathi e la confluenza con il Torrente Malone nel Comune di Brandizzo – Studio idrologico-idraulico con simulazioni numeriche idrauliche 1D e 2D"* redatto da STUDIO ROSSO ingegneri associati (nel seguito abbreviato come *Studio idraulico SRIA*).

Le simulazioni idrauliche e le considerazioni operative effettuate nell'ambito dello *Studio idraulico SRIA*, hanno come principale obiettivo la definizione della massima portata di piena compatibile con l'assetto attuale del territorio ⁽³⁾. Allo scopo si evidenzia che:

Le condizioni di deflusso del torrente Banna-Bendola sono state simulate con riferimento a n.12 differenti portate al colmo di piena, definite imponendo un incremento costante di 5 m³/s da un valore minimo di 5 ad un massimo di 60 m³/s. Quest'ultima portata è sostanzialmente analoga a quella del picco di piena riferito ad un tempo di ritorno di 200 anni (58 m³/s, cfr. §6.4).

ELABORATO 01 – Relazione tecnico-illustrativa e documentazione fotografica

Pag. 36

379/SR-Z-S01-RGE-01-0

LUGLIO 2019

I risultati esposti negli elaborati dello studio citato fanno riferimento a scenari di portata pari a 10, 20 e 60 m³/s. Tali valori non corrispondono alle portate di progetto con tr 50, 200 e 500 anni (riferimenti in 2.2.1.1).

I contenuti dello Studio idraulico SRIA pertanto non possono essere integralmente trasferiti in questo studio idraulico. Dello *Studio idraulico SRIA* si terrà comunque conto in termini generali verificando, laddove possibile, la congruenza con i risultati ottenuti.

⁽³⁾ Elaborato 1 pag. 33.

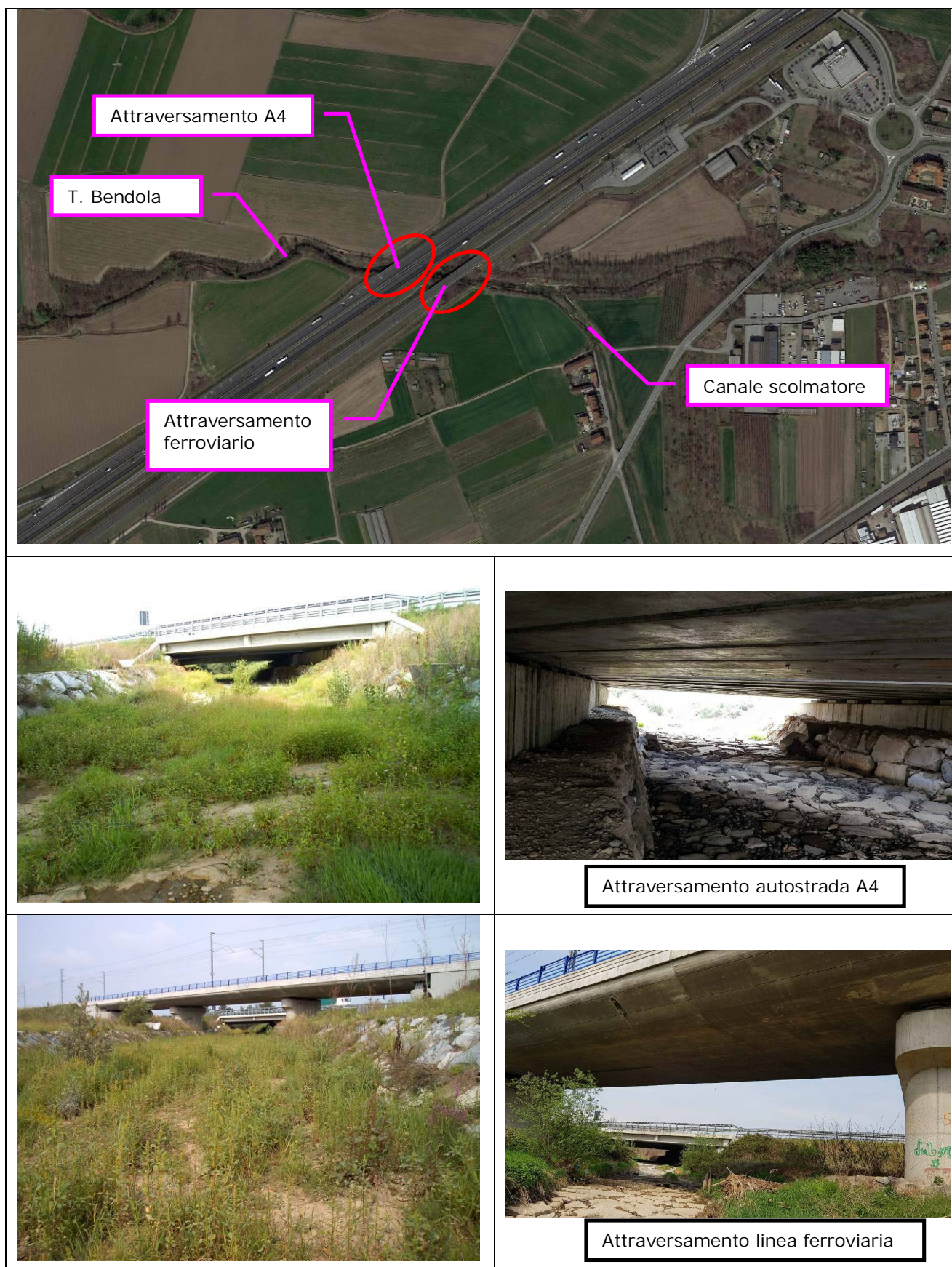
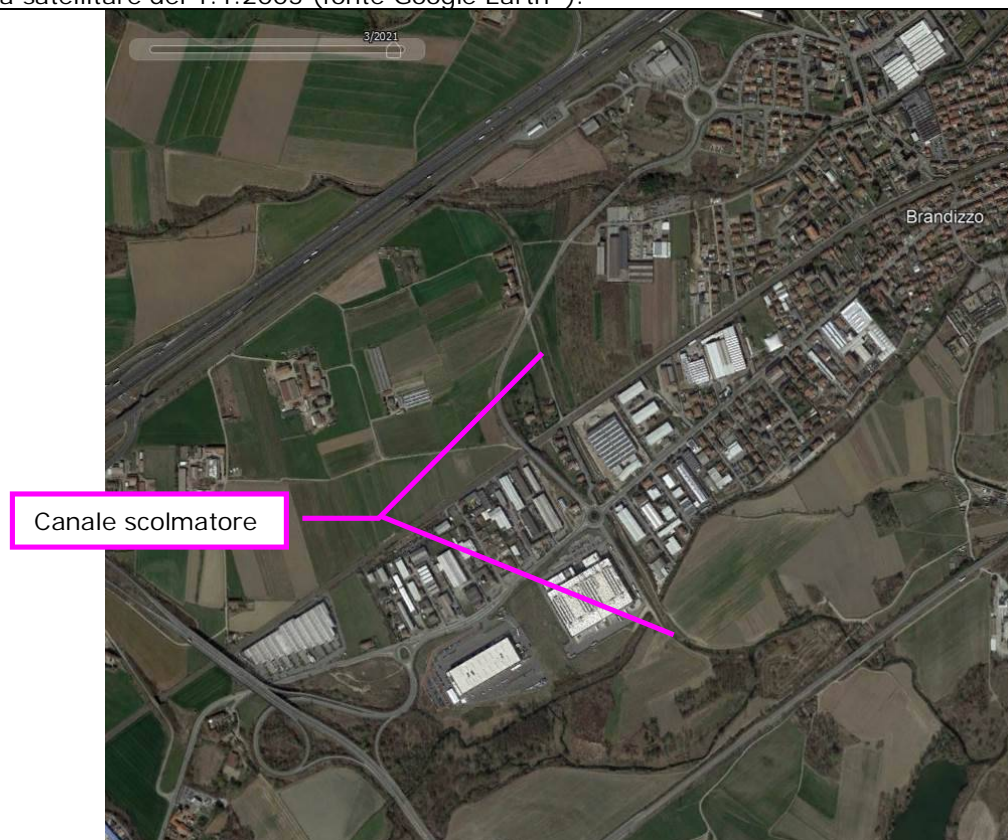


Figura 2-15. T. Bendola in ingresso al tratto cittadino: attraversamento dell'autostrada A4 Torino – Milano e della linea ferroviaria (alta velocità).



Ripresa satellitare del 1.1.2005 (fonte Google Earth®).



Ripresa satellitare del 24.03.2021 (fonte Google Earth®).

Figura 2-16. Riprese satellitari del settore interessato dal canale scolmatore del T. Bendola.



Figura 2-17. Riprese (da monte verso valle) dell'imbocco del canale scolmatore (a sinistra il T. Bendola, a destra il canale scolmatore). Le immagini della piena sono riferite all'evento nell'autunno 2019 (in quell'occasione non si sono registrati inconvenienti nel tratto cittadino).



Figura 2-18. Sezione longitudinale del T. Bendola e del canale scolmatore all'altezza della diramazione (vista da monte verso valle). La base altimetrica (DTM) è stata elaborata in ambiente GIS (Global Mapper® 13.0).

2.2.1.1 Definizione delle portate

I valori di portata del T. Bendola sono tratti dai seguenti studi:

- *"Studio di massima relativo all'opera di difesa e sistemazione del Torrente Bendola (1996)"* redatto dall'Ing. Ruberto su incarico del comune di Brandizzo.
- *"Lavori per la sistemazione idraulica del Torrente Bendola e Malonetto a difesa dell'abitato di Brandizzo – Progetto esecutivo (2009)"* redatto dall'Ing. Ruberto su incarico del comune di Brandizzo.

La scelta consente di impiegare valori di portata che sono già stati discussi ed esaminati, in linea tecnica, da parte della Segreteria Tecnica della Regione Piemonte nell'ambito del progetto del canale scolmatore (che, allo stato attuale, risulta realizzato e collaudato) e che sono stati ripresi nell'ambito degli studi geologici realizzati a corredo del PRG vigente ⁽⁴⁾.

Lo schema delle portate è riportato in Figura 2-19 e in Tabella 2-6.

⁽⁴⁾ Si segnala che ulteriori recenti Studi di fattibilità tecnica ed economica per la realizzazione di interventi nel tratto cittadino del Bendola realizzati dall'Ufficio pianificazione e realizzazione OO.PP della Città Metropolitana di Torino hanno impiegato tali valori come riferimento.

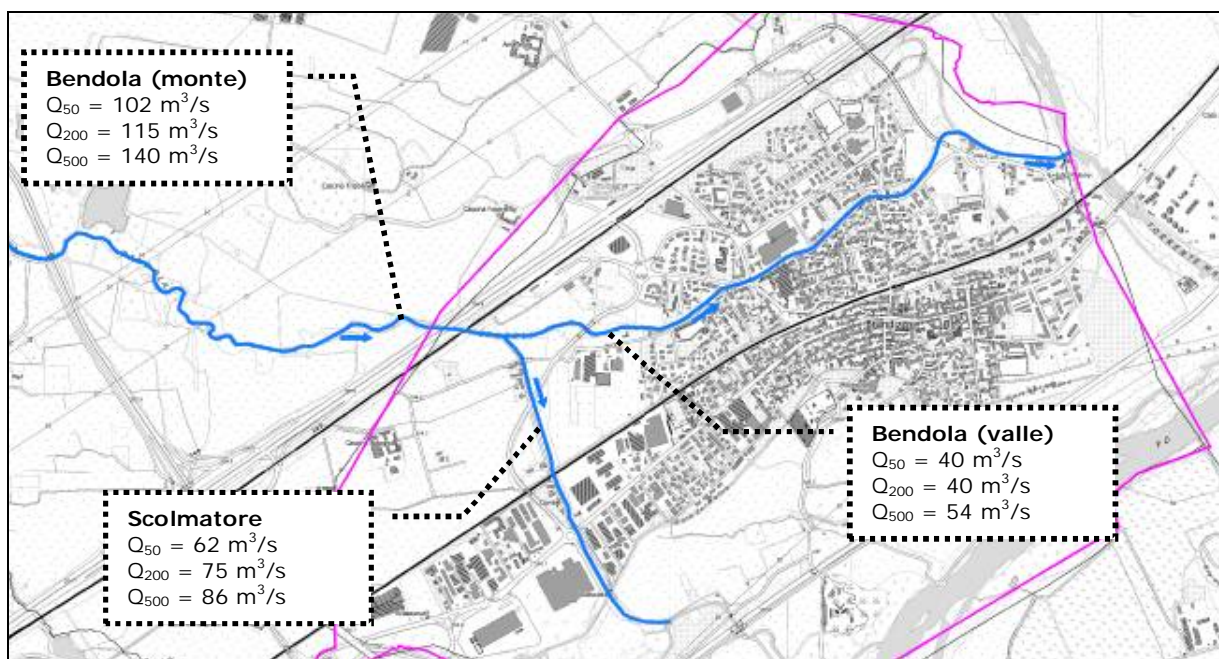


Figura 2-19. Schema delle portate di piena per il T. Bendola e per il canale scolmatore.

Tabella 2-7. Sintesi dei valori di portata al colmo per il T. Bendola e per il canale scolmatore.

| Localizzazione | Portata al colmo [m³/s] | | |
|--|-------------------------|--------|--------|
| | Tr 50 | Tr 200 | Tr 500 |
| T. Bendola a monte di Brandizzo (monte scolmatore) | 102 | 115 | 140 |
| Canale scolmatore | 62 | 75 | 86 |
| T. Bendola a valle dello scolmatore (tratto cittadino) | 40 | 40 | 54 |

Poichè la definizione del campo di inondazione viene condotta in moto vario, condizione in cui le portate variano al variare del tempo, occorre definire la distribuzione temporale dell'onda di piena.

Gli idrogrammi di piena in ingresso sono stati estrapolati mediante la seguente procedura:

- I valori di portata al colmo sono tratti dall'indagine idrologica citata.
- L'andamento temporale delle portate è stato estrapolato impiegando il metodo SCS dell'idrogramma unitario (SCS, 1972) che assume una relazione tra tempo di corrivazione (il valore tratto dallo studio citato è pari a 8h), tempo di pioggia (che nel metodo razionale è pari al tempo di corrivazione) e andamento delle portate. I valori delle ordinate dell'idrogramma sono determinate in base allo schema adimensionale riportato in letteratura ⁽⁵⁾.

A seguito di quanto esposto si assumono gli idrogrammi di riferimento riportati in Figura 2-20, Figura 2-21 e Figura 2-22.

⁽⁵⁾ DODSON INC. (1995): *ProHEC1 Plus*, Program Documentation (Tabella 6.4 pag. 6-8).

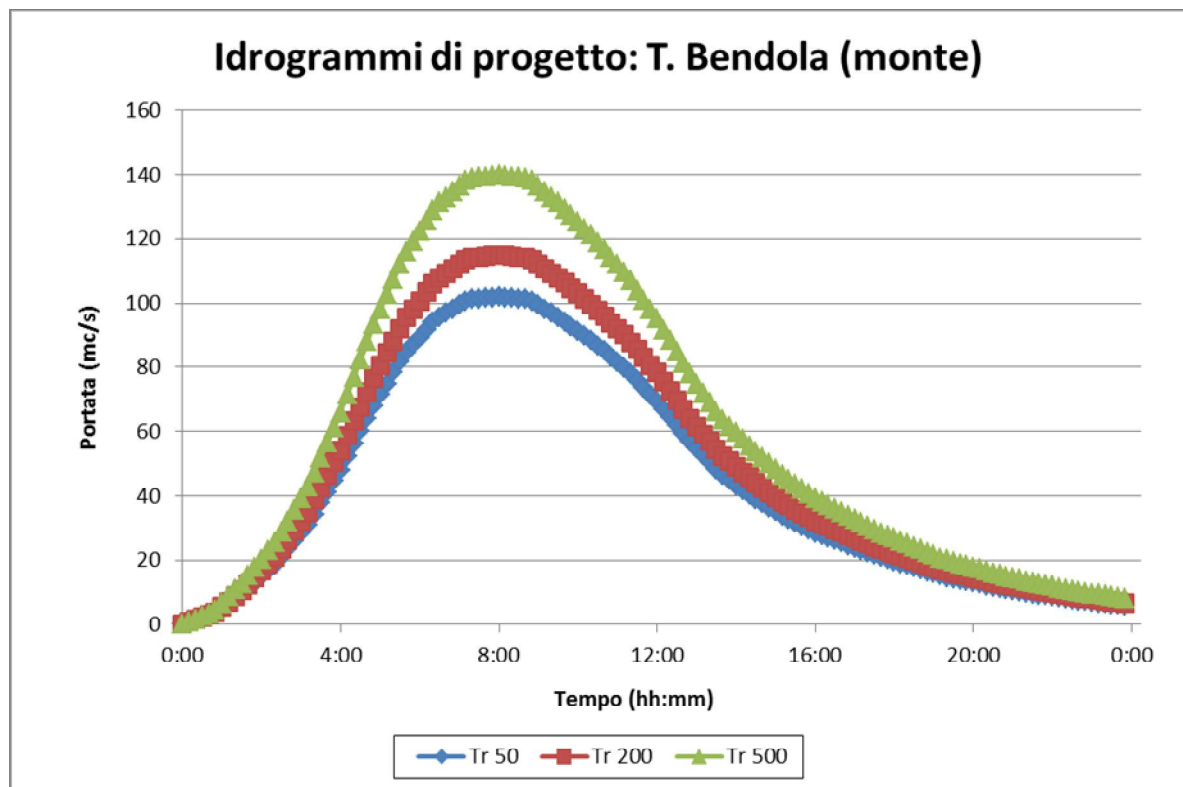


Figura 2-20. Idrogrammi di riferimento per il T. Bendola (tratto di monte).

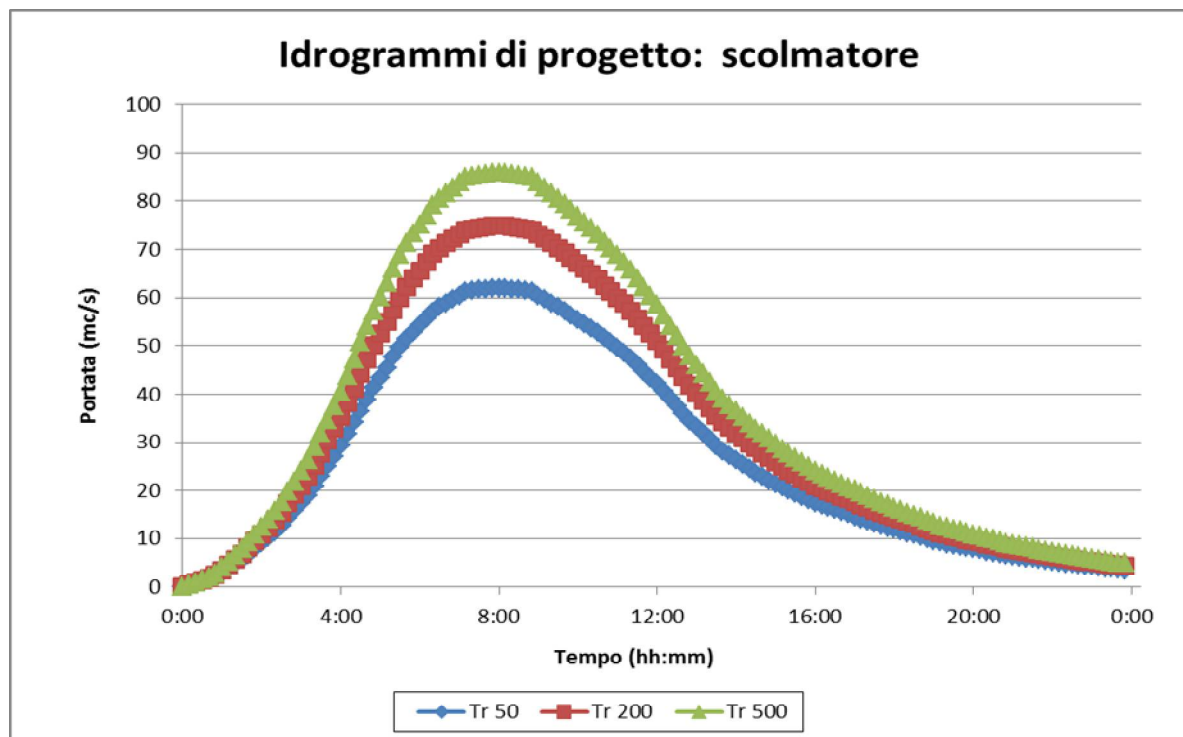


Figura 2-21. Idrogrammi di riferimento per il canale scolmatore del T. Bendola.

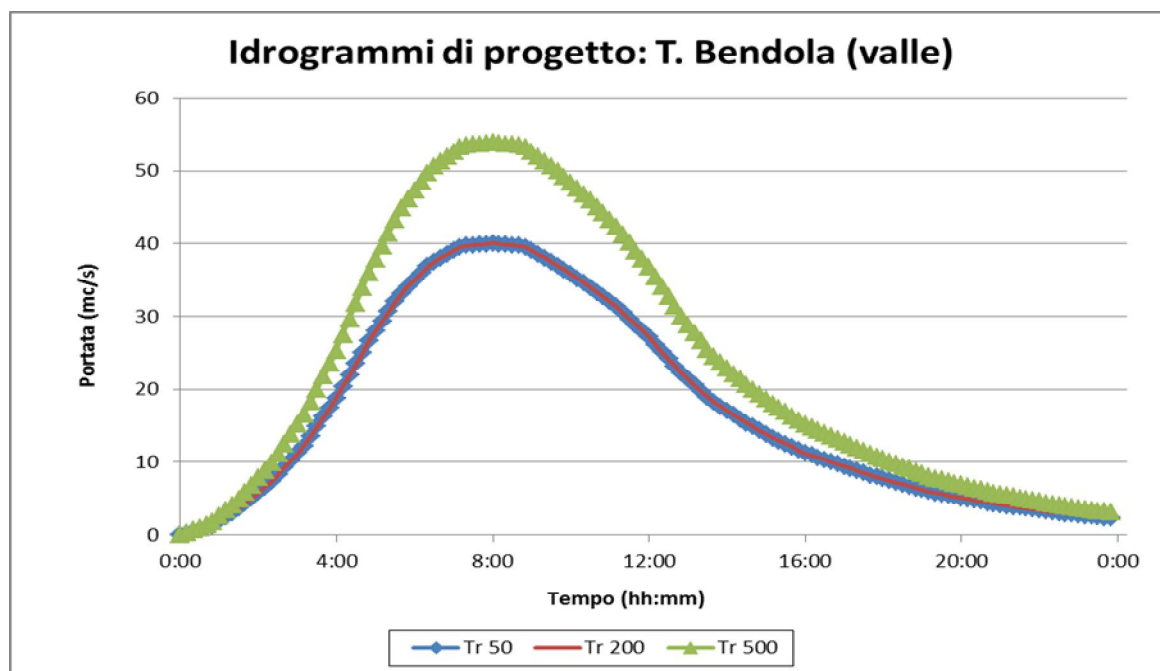


Figura 2-22. Idrogrammi di riferimento per il T. Bendola (tratto di valle).

Si evidenzia che, nell'ambito del progetto esecutivo *"Lavori per la sistemazione idraulica del Torrente Bendola e Malonetto a difesa dell'abitato di Brandizzo – Progetto esecutivo (2009)"* redatto dall'Ing. Ruberto su incarico del comune di Brandizzo, sono richiamati i seguenti interventi:

Le risultanze conducevano alla necessità di prevedere per il T. Bendola, nel tratto a valle dell'autostrada TO-MI, uno scolmatore delle acque a monte del tratto cittadino, una risagomatura totale delle sezioni trasversali e del profilo longitudinale (con eliminazione di alcune soglie di derivazione) ed una modifica della confluenza sia col T. Malonetto che col T. Malone. Per il T. Malonetto, nel tratto a valle dell'autostrada TO-MI, oltre alla rettifica del meandro e della confluenza col T. Bendola risultava la necessità di risagomare totalmente le sezioni trasversali ed il profilo longitudinale con eliminazione della soglia posta nei pressi di un vecchio molino (attualmente riadattato a civile abitazione) ed il raddoppio del ponte posto immediatamente a valle di tale soglia.

L'attuale stato di fatto mostra quanto segue:

- lo scolmatore in parola risulta realizzato e collaudato;
- la ricalibratura del Malonetto è stata realizzata (riferimenti in 2.2.2);
- la ricalibratura delle sezioni del tronco a valle dello scolmatore, allo scopo di adeguare le sezioni al transito della portata di progetto pari a $40 \text{ m}^3/\text{s}$, non è completata (allo stato attuale i progetti per la ricalibratura e difesa spondale non sono stati pienamente realizzati).

2.2.1.2 Definizione della capacità di convogliamento

Scopo dell'indagine è quello stabilire la capacità di convogliamento dell'alveo ed il campo di inondazione con riferimento allo stato di fatto sulla basi dei seguenti approfondimenti:

- 1) La definizione della capacità di convogliamento dell'alveo viene realizzata mediante la predisposizione di un modello per sezioni in moto permanente monodimensionale 1D (codice di calcolo Hec-ras descritto in APPENDICE - B) che prevede portata costante nel tempo e geometria dell'alveo variabile tra una sezione e la successiva. Il modello numerico è ottimizzato per computare le singolarità localizzate (es. ponti, strutture in alveo, variazioni di scabrezza, salti di fondo, ecc.) e consente di indagare con dettaglio la capacità di convogliamento dell'alveo esplicitando il profilo del pelo libero e delle grandezze idrauliche fintanto che il livello idrometrico risulta contenuto nelle sezioni ⁽⁶⁾.
- 2) La definizione del campo di inondazione viene realizzata mediante la predisposizione di un modello bidimensionale 1D+2D in moto vario (codice di calcolo Sobek descritto in APPENDICE - A) che prevede portata variabile nel tempo e sezioni dell'alveo "collegate" al piano campagna. Il modello numerico è ottimizzato per la definizione delle aree inondabili, delle grandezze idrauliche (profondità e velocità) e della direzione della corrente sul piano campagna. Lo scenario effettivo delle aree inondabili viene quindi ricavato con modellazione bidimensionale (dettagli in 3).

Si precisa che, in generale l'alveo risulta insufficiente al convogliamento delle portate di progetto. I valori di portata calcolati assumono pertanto un significato prevalentemente teorico ("portata idrologica") in quanto, la geometria della rete idrografica e dei manufatti, consente solamente il convogliamento di una frazione del valore individuato. In pratica, i valori di portata calcolati per una certa sezione di chiusura possono risultare più severi di quelli osservati in loco poiché risultano superiori alla capacità di convogliamento della rete idrografica già a partire dalle sezioni di monte. In tali settori hanno origine allagamenti che si propagano verso valle sotto forma di una lama d'acqua che percorre il piano campagna con caratteristiche che dipendono dalla topografia e dai particolari locali. In ragione di quanto esposto, **allo scopo di definire la capacità di convogliamento dell'alveo e di individuare un campo di inondazione** coerente con quanto osservato in occasione dei fenomeni di piena di cui si ha testimonianza, accertato che gli allagamenti si originano già monte del territorio comunale di Brandizzo **si procede realizzando le**

⁽⁶⁾ Si specifica che, qualora la portata di riferimento non sia contenuta all'interno delle sponde, il livello idrometrico restituito dal modello idraulico 1D non è indicativo della quota effettivamente raggiunta dall'acqua. Tale quota potrà essere dedotta dai risultati del modello 2D, che si presta a descrivere al meglio le situazioni reali (in cui la corrente si adagia al terreno, torna indietro a colmare depressioni o ristagna), in quanto consente di calcolare il livello idrometrico in funzione della morfologia del terreno e delle situazioni di moto locali e, di conseguenza, di individuare il campo di inondazione (dettagli in APPENDICE - A).

simulazioni idrauliche per un settore più ampio rispetto al territorio comunale (ovvero partendo più a monte).

Operativamente si è proceduto con l'allestimento di un modello idraulico 1D per sezioni (Hec-ras), alimentato con valori di portata crescente allo scopo di definire la capacità di convogliamento delle singole sezioni considerate, nel tronco compreso tra l'attraversamento della SP 500 e la confluenza con il T. Malone. Per completare l'informazione è stata attivata in oltre una simulazione delle portate con tempi di ritorno pari 50, 200 e 500 anni (i risultati sono riportati integralmente in APPENDICE - C).

I risultati evidenziano quanto segue:

- La capacità di convogliamento (dettagli in Elaborato AT5 - 2) è sintetizzata in Figura 2-23.
- In generale l'alveo risulta insufficiente al convogliamento delle portate di progetto già a partire dal tronco a monte dell'ingresso in territorio di Brandizzo. In pratica si osserva quanto segue:
 - Il tronco a monte del territorio di Brandizzo è in grado di convogliare una portata pari a circa 80-90 m³/s, a fronte di una portata di progetto pari a 102 (tr 50), 115 (tr 200) e 140 (tr 500) m³/s; in pratica gli allagamenti si concretizzano già a partire dalle sezioni di monte. In tali settori hanno origine allagamenti che si propagano verso valle sotto forma di una lama d'acqua che percorre il piano campagna con caratteristiche che dipendono dalla topografia e dai particolari locali.
 - All'altezza dell'attraversamento dell'autostrada A4 Torino – Milano si valuta che la massima portata convogliabile verso il concentrico sia pari a circa 75-80 m³/s. In pratica la porzione di portata eccedente la capacità di convogliamento dell'attraversamento andrà ad interessare il piano campagna a monte del rilevato autostradale.
 - Il canale scolmatore è in grado di convogliare un valore di portata pari a circa 100-110 m³/s (tale valore è superiore alla portata prevista nel progetto). Le valutazioni idrauliche indicano che lo scolmatore convoglia circa i 2/3 della portata in arrivo (il valore è coerente con i contenuti del progetto).
 - Il tronco del T. Bendola immediatamente a valle dello scolmatore è in grado di convogliare una portata pari a circa 25-30 m³/s (tale valore è inferiore alla portata di progetto che dovrebbe transitare in alveo secondo le previsioni del progetto del canale scolmatore). Tali valori sono congruenti con i risultati degli studi consultati:

COMUNE DI BRANDIZZO (2000) *“Lavori per la sistemazione idraulica del Torrente Bendola e Malonetto a difesa dell'abitato di Brandizzo – Scolmatore T. Bendola – Progetto definitivo”* redatto dall'Ing. Ruberto pag. 2

Pertanto, risultava che:

- a) T. Bendola: la massima portata in grado di defluire nel tratto cittadino, che presenta la criticità maggiore, è di circa 25 mc/s a fronte di una portata massima stimata pari a circa

CONSORZIO PER L'ARGINATURA E SISTEMAZIONE DEL TORRENTE BANNA-BENDOLA (2019) *“Definizione dell'assetto idraulico di progetto del Torrente Banna-Bendola nel tratto compreso tra il Comune di Mathi e la confluenza con il Torrente Malone nel Comune di Brandizzo – Studio idrologico-idraulico con simulazioni numeriche idrauliche 1D e 2D”* redatto da STUDIO ROSSO ingegneri associati pag. 40

Come accennato in precedenza, il principale obiettivo delle simulazioni così condotte è stato dunque quello di definire la massima portata di piena compatibile con l'attuale assetto del territorio, ossia convogliabile dal torrente a fronte della realizzazione di alcuni interventi di adeguamento/sistemazione non eccessivamente impattanti in termini ambientali ed economici.

Ipotizzando pertanto il deflusso di portate crescenti da un minimo di 5 m³/s ad un valore massimo di 60 m³/s assimilabile al picco di piena dell'evento con tempo di ritorno duecentennale (58 m³/s), si è potuto determinare che la portata compatibile ottimale per il tratto di torrente Banna compreso tra Mathi e Brandizzo sia generalmente pari a 25 m³/s.

COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

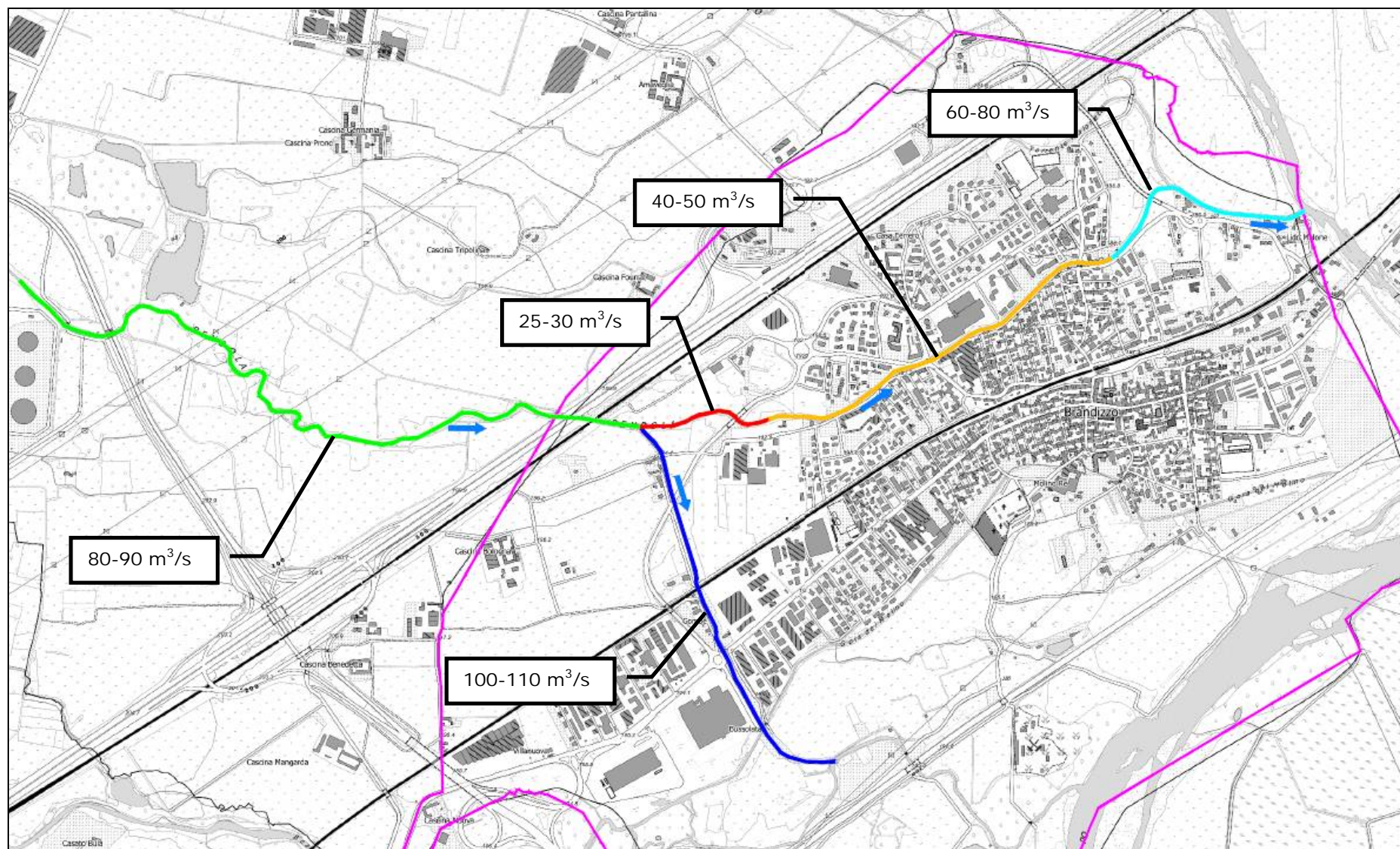


Figura 2-23. Indicazione della capacità di convogliamento dell'alveo del T. Bendola e del canale scolmatore nel settore di interesse.

2.2.2 RIO SAN GIOVANNI DI VOLPIANO (MALONETTO)

Il territorio oggetto di indagine presenta caratteristiche intermedie tra un'area completamente urbanizzata ed un'area con vocazione agricola o ex-agricola (aree periurbane) in cui la rete di drenaggio è costituita da canali irrigui e fossi di scolo/derivatori ad essi collegati. Il reticolo idrografico del bacino del Rio San Giovanni/T. Malonetto è costituito da una articolata rete di bealere e canali irrigui che, per effetto dell'urbanizzazione e del progressivo abbandono di parte della rete irrigua, non è sempre possibile identificare univocamente.

Ai fini dell'identificazione del corso d'acqua si specifica che, nel presente studio, viene impiegata la denominazione riportata nella BDTRE regionale che riporta la dicitura *Rio San Giovanni di Volpiano* in territorio di Volpiano e *T. Malonetto* in territorio di Brandizzo.

Il Rio San Giovanni (Malonetto), proveniente dal territorio di Volpiano, interessa il territorio comunale di Brandizzo con andamento Nord – Sud per il tronco compreso tra l'attraversamento dell'autostrada A4 Torino – Milano e la confluenza con il T. Bendola (riferimenti in Figura 2-24).

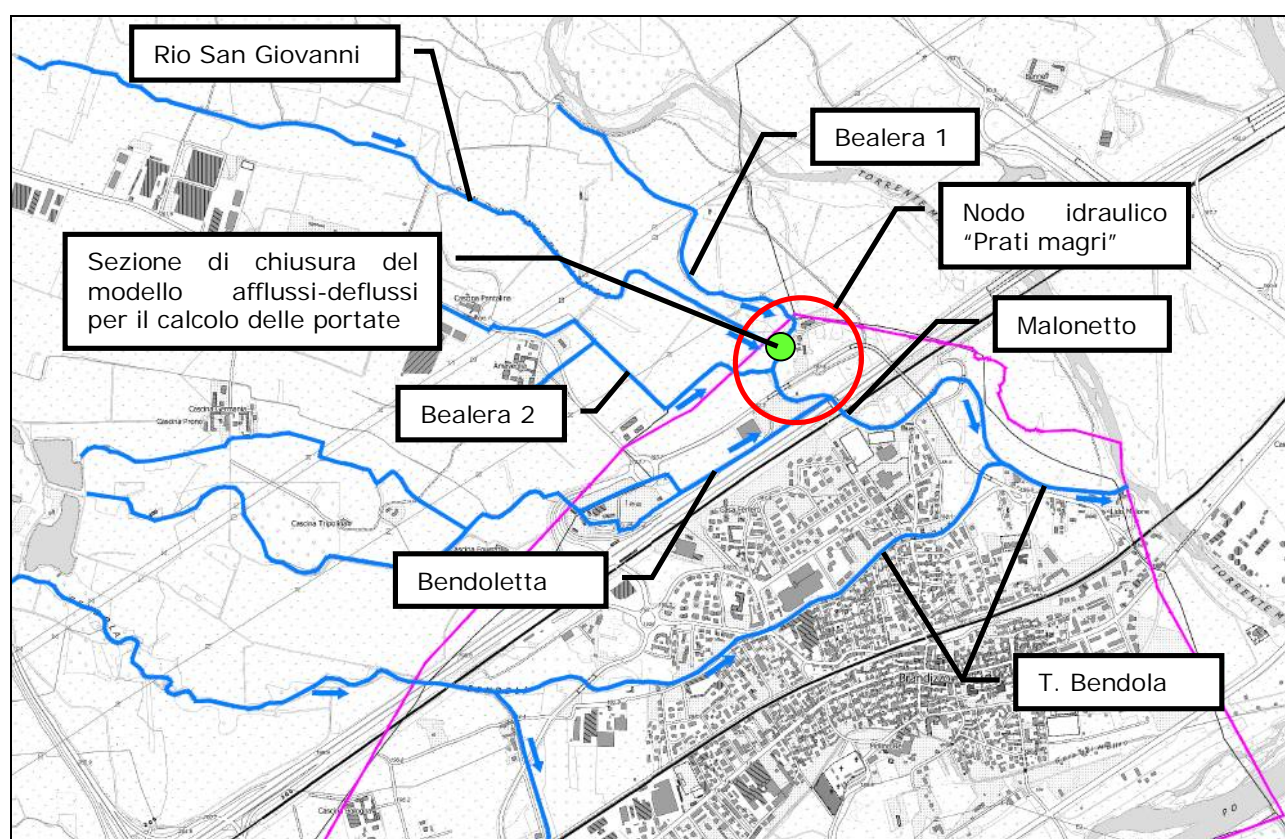


Figura 2-24. Percorso del Rio San Giovanni (Malonetto) nel tronco di interesse con indicazione della sezione di chiusura del modello afflussi-deflussi per il calcolo delle portate.

Allo stato attuale l'alveo del Rio San Giovanni (Malonetto), nel tronco a valle dell'abitato di Volpiano, non è in grado di convogliare interamente le portate di piena. In occasione degli eventi più gravosi si osserva l'allagamento del piano campagna circostante, in particolare a monte dell'Autostrada Torino-Milano con inconvenienti ai terreni circostanti la Cascina in Località Prati Magri. Il settore compreso tra il nodo idraulico "Prati magri" (origine del Malonetto) e la confluenza Bendola – Malone è soggetto ad essere inondato sia da esondazioni che si possono originare direttamente dalla rete idrografica minore (Malonetto e Bendola), sia dalle acque provenienti direttamente dalla sponda destra del T. Malone che, incanalandosi nell'attraversamento dell'Autostrada A4 (riferimenti in Figura 2-25), si aggiungono al contributo del Malonetto e del Bendola aggravando le condizioni di allagamento a valle della A4 Torino-Milano.

In oltre, poichè l'alveo inciso è caratterizzato da sponde prive di difese (la cui stabilità è affidata alla vegetazione spondale) nei tratti privi di vegetazione si evidenziano alcuni fenomeni di erosione delle sponde con la formazione di lunate.

Allo stato attuale il percorso nel territorio comunale è caratterizzato da:

- a) Rio San Giovanni proveniente dal territorio di Volpiano.
- b) Il nodo idraulico "Prati magri" che rappresenta la confluenza tra i seguenti corsi d'acqua:
 - Rio San Giovanni;
 - Bealera 1 (che confluisce in sinistra idrografica e proviene da una presa irrigua sul T. Malone);
 - Bealera 2 (che confluisce in destra idrografica e proviene dalla cascine poste a monte);La confluenza in parola è stata oggetto di recente manutenzione e riordino (2020) con rimozione della vegetazione e realizzazione di difesa spondale mediante gabbioni metallici cilindrici riempiti con ciottoli e di una palificata in legname a parete singola (riferimenti in Figura 2-26).
- c) Rio Bendoletta che corre al piede del rilevato autostradale e confluisce nel Malonetto immediatamente a monte dell'attraversamento autostradale (riferimenti in Figura 2-27).
- d) Tratto cittadino del T. Malonetto compreso tra l'attraversamento autostradale e la confluenza con il T. Bendola. Il tronco in parola è stato oggetto di ricalibratura (riferimenti in Figura 2-28).



Figura 2-25. Attraversamento dell'autostrada A4 Torino-Milano del T. Malonetto (vista da valle verso monte).

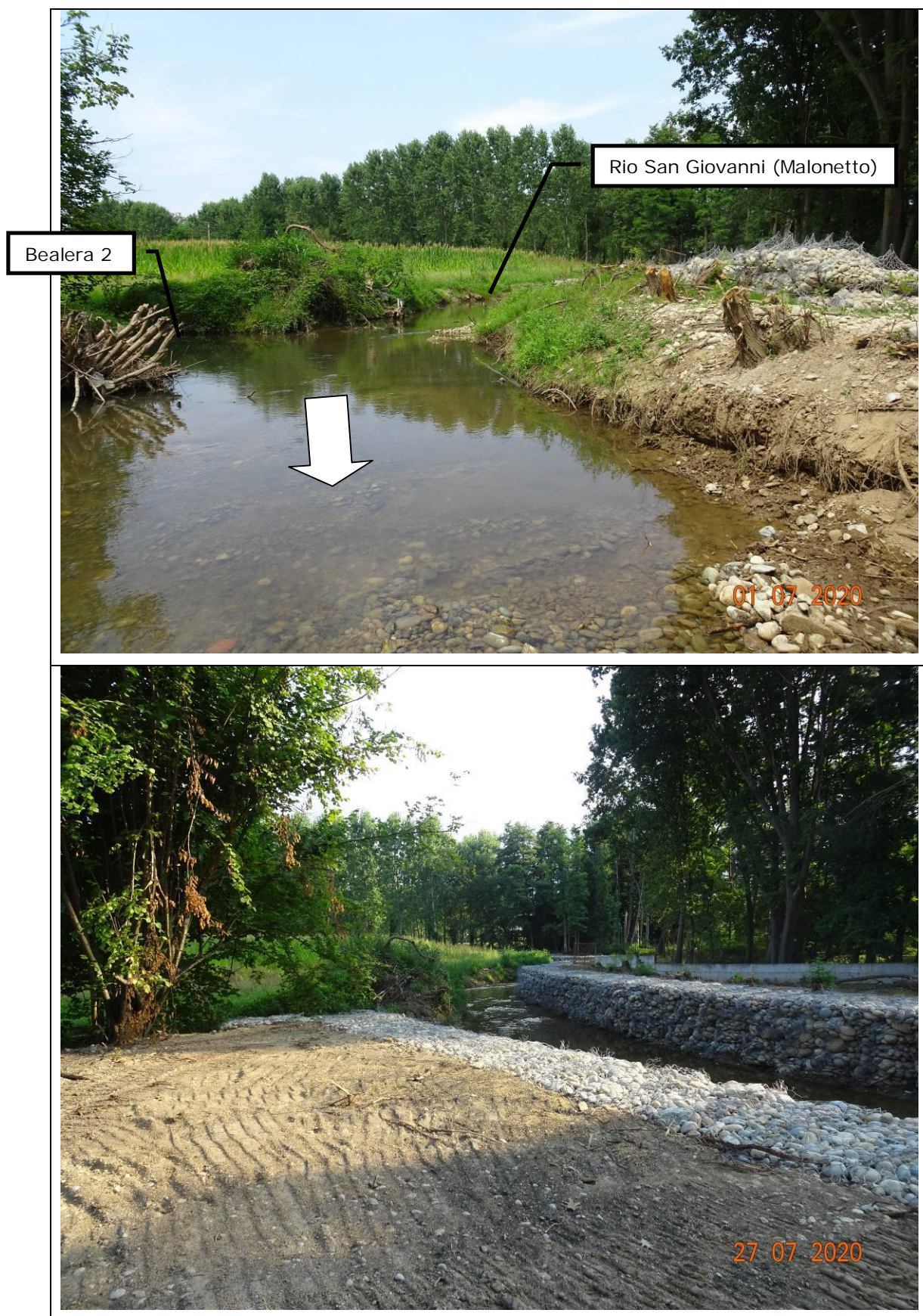


Figura 2-26. Ripresa del nodo idraulico "Prati magri" (vista da valle verso monte) nella condizione ante e post lavori.



Figura 2-27. Ripresa del Rio Bendoletta (vista da valle verso monte). Sullo sfondo l'autostrada.

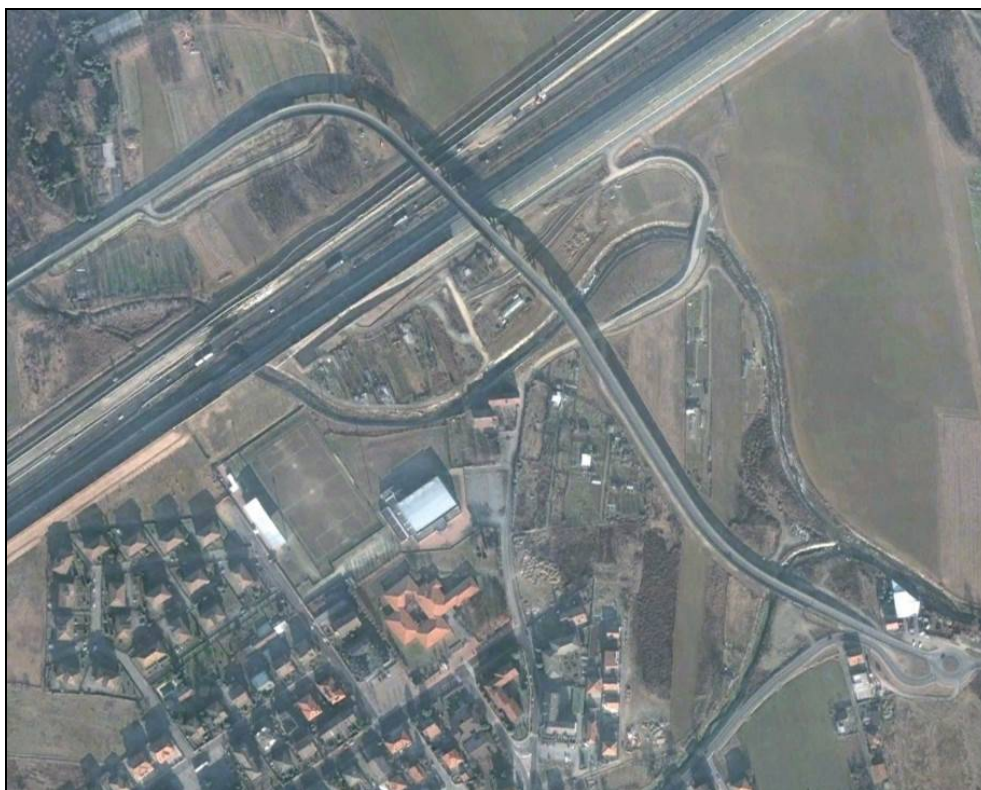


Figura 2-28. Ripresa satellitare del 01.01.2005 in cui risultano evidenti i lavori di ricalibratura nel tronco di T. Malonetto compreso tra l'attraversamento autostradale e la confluenza con il T. Bendola fonte Google Earth®).

2.2.2.1 Definizione delle portate

Il reticolo idrografico del Rio San Giovanni (Malonetto) è costituito da una articolata rete di bealere e canali irrigui che, per effetto dell'urbanizzazione e del progressivo abbandono di parte della rete irrigua, non è sempre possibile identificare univocamente

In questo settore le attività antropiche ed il tracciato delle infrastrutture (viabilità e ferrovia) influenzano fortemente la direzione e la modalità di trasferimento del ruscellamento superficiale proveniente dalle falde scolanti costituenti il bacino. A seguito di quanto esposto, al fine di identificare il bacino contribuente, non pare realistico affidarsi alla sola determinazione delle direzioni di flusso. Il tracciamento dello spartiacque è stato effettuato considerando sia i caratteri morfologici dell'area che le interferenze antropiche (posizionamento e dimensioni dei manufatti, ecc.). Il grado di interferenza dei manufatti presenti è tale che solo una frazione della portata che si forma sul bacino oggetto di studio sia effettivamente convogliata dall'alveo del Rio San Giovanni/T. Malonetto.

Al fine di considerare le effettive limitazioni al ruscellamento e la reale capacità di convogliamento dell'alveo, lo schema delle portate è stato calcolato come segue:

- 1) I valori di portata del Rio San Giovanni (Malonetto) sono stati calcolati con modellazione afflussi-deflussi con sezione di chiusura posta in corrispondenza del nodo idraulico "Prati magri" (riferimenti in Figura 2-24). Dettagli del calcolo delle portate sono riportati in APPENDICE - D.
- 2) I valori di portata della Bealera 2 (riferimenti in Figura 2-24) sono stati calcolati con riferimento alla capacità di convogliamento delle luci attraversate a monte della confluenza (il massimo valore di portata convogliabile da tali luci è pari a $7.5 \text{ m}^3/\text{s}$).
- 3) I valori di portata del T. Bendoletta, calcolati con il metodo razionale, sono tratti dallo studio COMUNE DI BRANDIZZO (2021) *"Realizzazione nuovo canale scolmatore Rio San Giovanni – Progetto definitivo Variante progettuale n. 1"* redatto da ANSELMO associati.

Lo schema delle portate circolanti definita in base allo schema citato è riportata in Figura 2-29 e in Tabella 2-8.

Tabella 2-8. Sintesi dei valori di portata al colmo per il T. Malonetto.

| Localizzazione | Portata al colmo [m^3/s] | | |
|---|--|--------|--------|
| | Tr 50 | Tr 200 | Tr 500 |
| Rio San Giovanni (sezione di chiusura) | 33.1 | 44.9 | 52.6 |
| Bealera 2 | 7.5 | 7.5 | 7.5 |
| T. Bendoletta | 1.9 | 2.2 | 2.4 |
| Portata a monte dell'attraversamento dell'autostrada A4 | 42.5 | 54.6 | 62.5 |

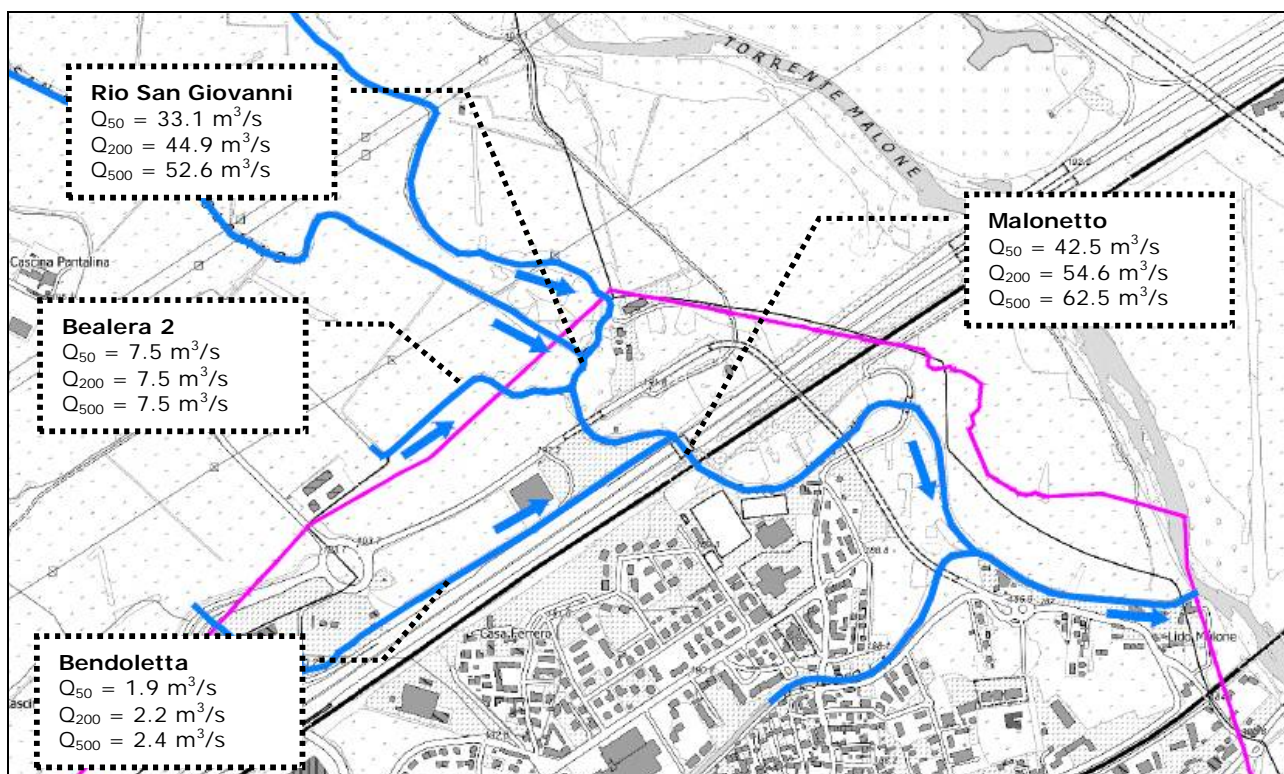


Figura 2-29. Schema delle portate di piena il T. Malonetto.

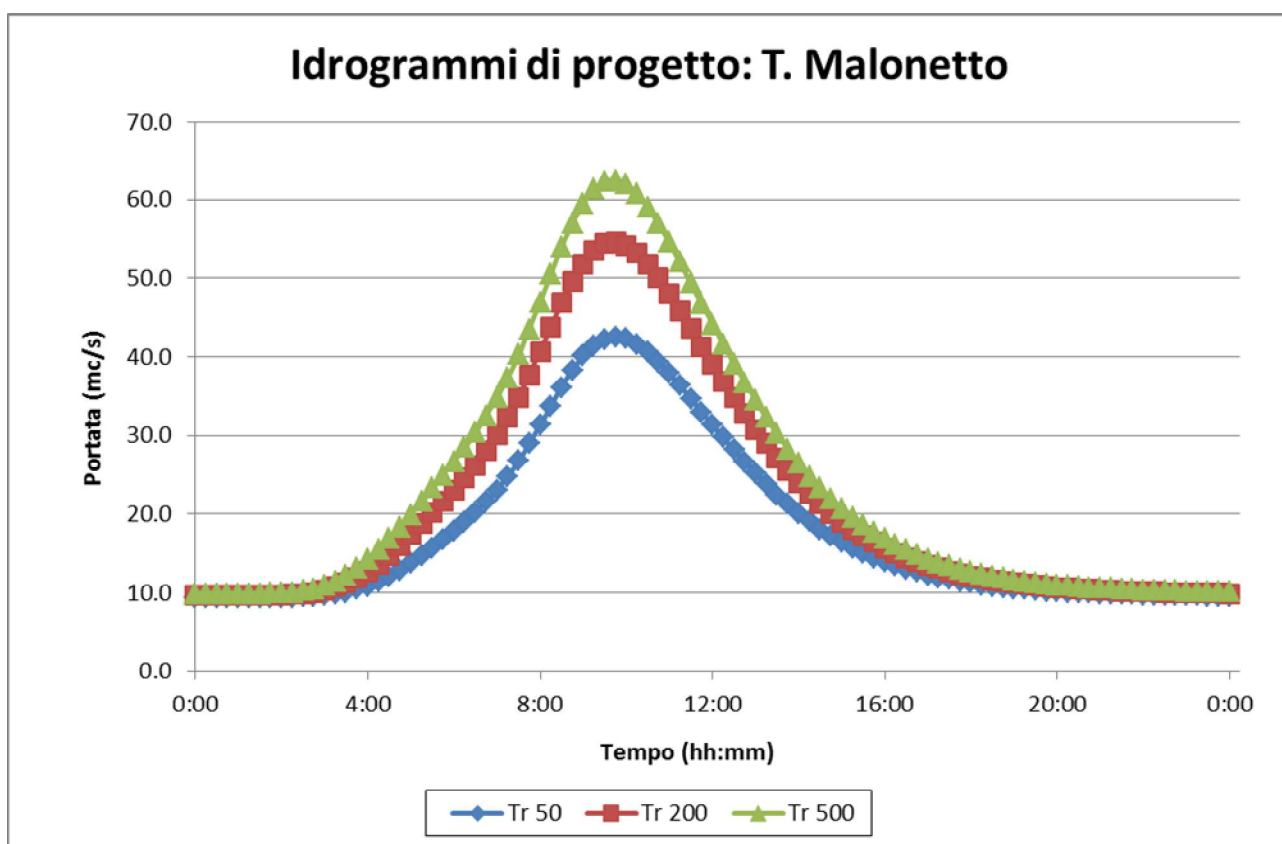


Figura 2-30. Idrogrammi di riferimento per il T. Malonetto all'attraversamento dell'autostrada A4 Torino - Milano.

Poichè la definizione del campo di inondazione viene condotta in moto vario, condizione in cui le portate variano al variare del tempo, la distribuzione temporale dell'onda di piena è stata definita mediante la seguente procedura:

- Gli idrogrammi con tr 50, 200 e 500 anni sono stati ricavati dalla modellazione afflussi-deflussi;
- I valori di portata per i restanti corsi d'acqua sono considerati costanti in funzione della capacità di convogliamento delle luci degli attraversamenti.
- Si ipotizza la piena contemporanea dei corsi d'acqua.
- Gli idrogrammi di riferimento sono stati ottenuti per somma algebrica. La procedura risulta pertanto cautelativa. (riferimenti in Figura 2-30).

2.2.2.2 Definizione della capacità di convogliamento

Scopo dell'indagine è quello stabilire la capacità di convogliamento dell'alveo ed il campo di inondazione con riferimento allo stato di fatto sulla basi dei seguenti approfondimenti:

- 1) La definizione della capacità di convogliamento dell'alveo viene realizzata mediante la predisposizione di un modello per sezioni in moto permanente monodimensionale 1D (codice di calcolo Hec-ras descritto in APPENDICE - B) che prevede portata costante nel tempo e geometria dell'alveo variabile tra una sezione e la successiva. Il modello numerico è ottimizzato per computare le singolarità localizzate (es. ponti, strutture in alveo, variazioni di scabrezza, salti di fondo, ecc.) e consente di indagare con dettaglio la capacità di convogliamento dell'alveo esplicitando il profilo del pelo libero e delle grandezze idrauliche fintanto che il livello idrometrico risulta contenuto nelle sezioni ⁽⁷⁾.
- 2) La definizione del campo di inondazione viene realizzata mediante la predisposizione di un modello bidimensionale 1D+2D in moto vario (codice di calcolo Sobek descritto in APPENDICE - A) che prevede portata variabile nel tempo e sezioni dell'alveo "collegate" al piano campagna. Il modello numerico è ottimizzato per la definizione delle aree inondabili, delle grandezze idrauliche (profondità e velocità) e della direzione della corrente sul piano campagna. Lo scenario effettivo delle aree inondabili viene quindi ricavato con modellazione bidimensionale (dettagli in 3).

Si precisa che, in generale l'alveo risulta insufficiente al convogliamento delle portate di progetto. I valori di portata calcolati assumono pertanto un significato

⁽⁷⁾ Si specifica che, qualora la portata di riferimento non sia contenuta all'interno delle sponde, il livello idrometrico restituito dal modello idraulico 1D non è indicativo della quota effettivamente raggiunta dall'acqua. Tale quota potrà essere dedotta dai risultati del modello 2D, che si presta a descrivere al meglio le situazioni reali (in cui la corrente si adagia al terreno, torna indietro a colmare depressioni o ristagna), in quanto consente di calcolare il livello idrometrico in funzione della morfologia del terreno e delle situazioni di moto locali e, di conseguenza, di individuare il campo di inondazione (dettagli in APPENDICE - A).

prevalentemente teorico (“portata idrologica”) in quanto, la geometria della rete idrografica e dei manufatti, consente solamente il convogliamento di una frazione del valore individuato. In pratica, i valori di portata calcolati per una certa sezione di chiusura possono risultare più severi di quelli osservati in loco poiché risultano superiori alla capacità di convogliamento della rete idrografica già a partire dalle sezioni di monte. In tali settori hanno origine allagamenti che si propagano verso valle sotto forma di una lama d’acqua che percorre il piano campagna con caratteristiche che dipendono dalla topografia e dai particolari locali.

In ragione di quanto esposto, **allo scopo di definire la capacità di convogliamento dell’alveo e di individuare un campo di inondazione** coerente con quanto osservato in occasione dei fenomeni di piena di cui si ha testimonianza, accertato che gli allagamenti si originano già monte del territorio comunale di Brandizzo **si procede realizzando le simulazioni idrauliche per un settore più ampio rispetto al territorio comunale** (ovvero partendo più a monte).

Operativamente si è proceduto con l’allestimento di un modello idraulico 1D per sezioni (Hec-ras), alimentato con valori di portata crescente allo scopo di definire la capacità di convogliamento delle singole sezioni considerate, nel tronco compreso tra l’attraversamento della SP 500 e la confluenza nel settore immediatamente a valle dell’attraversamento dell’autostrada A5 Torino – Aosta e la confluenza con il T. Bendola. Per completare l’informazione è stata attivata in oltre una simulazione delle portate con tempi di ritorno pari 50, 200 e 500 anni (i risultati sono riportati integralmente in APPENDICE - E).

I risultati evidenziano quanto segue:

- La capacità di convogliamento (dettagli in Elaborato AT5 - 2) è sintetizzata in Figura 2-32.
- In generale l’alveo risulta insufficiente al convogliamento delle portate di progetto già a partire dal tronco a monte dell’ingresso in territorio di Brandizzo. In pratica si osserva quanto segue:
 - Il tronco a monte del territorio di Brandizzo è in grado di convogliare una portata pari a circa 10-25 m³/s, a fronte di una portata di progetto pari a 33.1 (tr 50), 44.9 (tr 200) e 52.6 (tr 500) m³/s; in pratica gli allagamenti si concretizzano già a partire dalle sezioni di monte. In tali settori hanno origine allagamenti che si propagano verso valle sotto forma di una lama d’acqua che percorre il piano campagna con caratteristiche che dipendono dalla topografia e dai particolari locali.
 - All’altezza del nodo idraulico “Prati magri”, si aggiungono le acque provenienti dai fossi e dal piano campagna circostante (laddove allagato), aggravando ulteriormente le condizioni di convogliamento.
 - Si valuta che, tra l’attraversamento dell’autostrada A4 Torino – Milano (riferimenti in Figura 2-25) e l’attraversamento della linea ferroviaria ad alta velocità (riferimenti in Figura 2-31), la massima portata convogliabile in alveo è pari a circa 35-40 m³/s a

fronte di una portata di progetto pari a 42.5 (tr 50), 54.6 (tr 200) e 62.5 (tr 500) m³/s. In pratica la porzione di portata eccedente la capacità di convogliamento dell'alveo andrà ad interessare le sponde incanalandosi sul piano campagna. Si segnala in oltre che le acque che si addossano a monte del rilevato autostradale possono interessare un sottopasso coinvolgendo il settore posto a valle (riferimenti in Figura 2-31).

- Il tronco posto tra l'attraversamento della linea ferroviaria ad alta velocità e la confluenza con il T. Bendola non presenta particolari criticità.

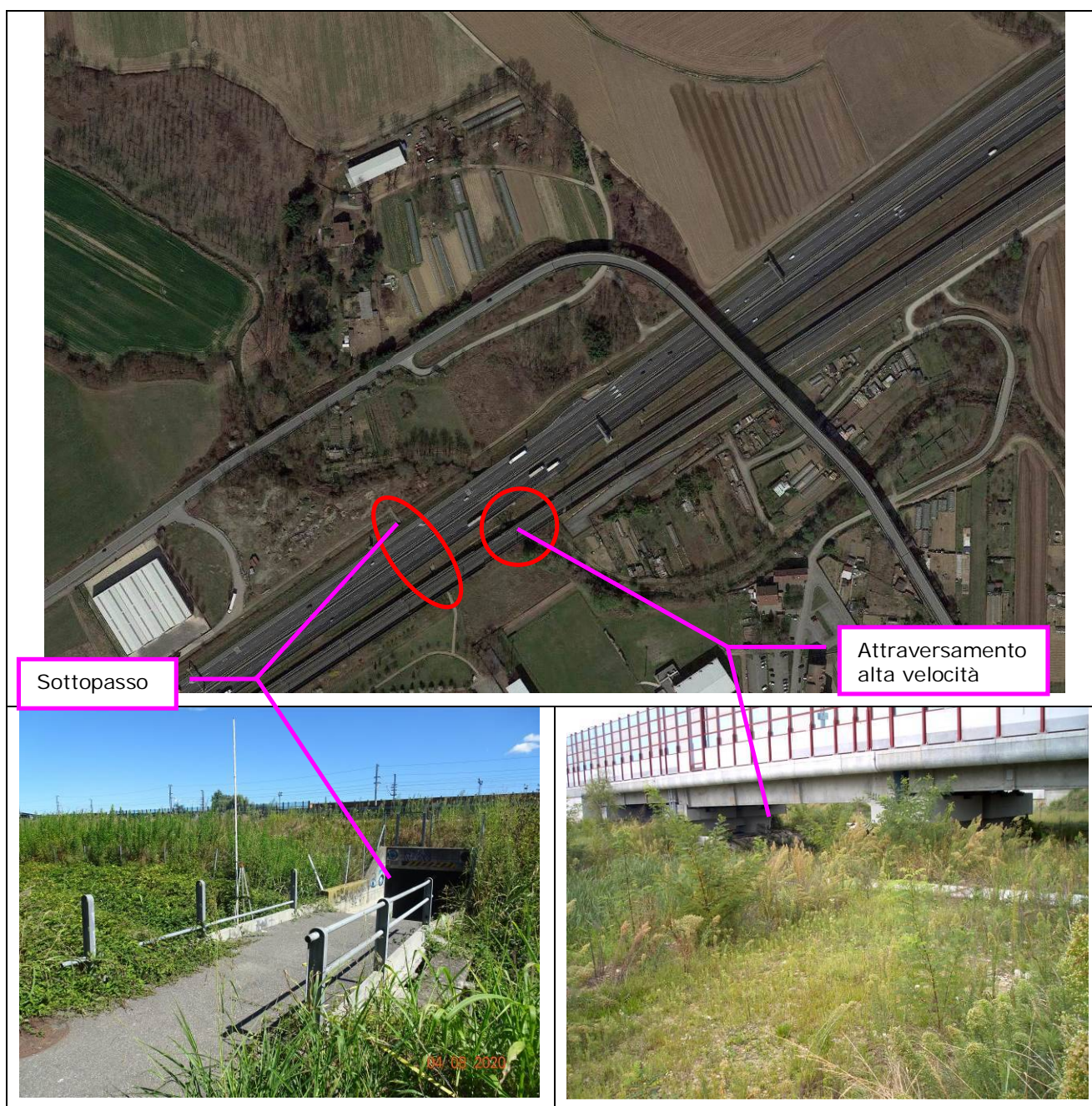


Figura 2-31. Vista dell'attraversamento della linea ferroviaria dell'alta velocità e del sottopasso posto nelle vicinanze.

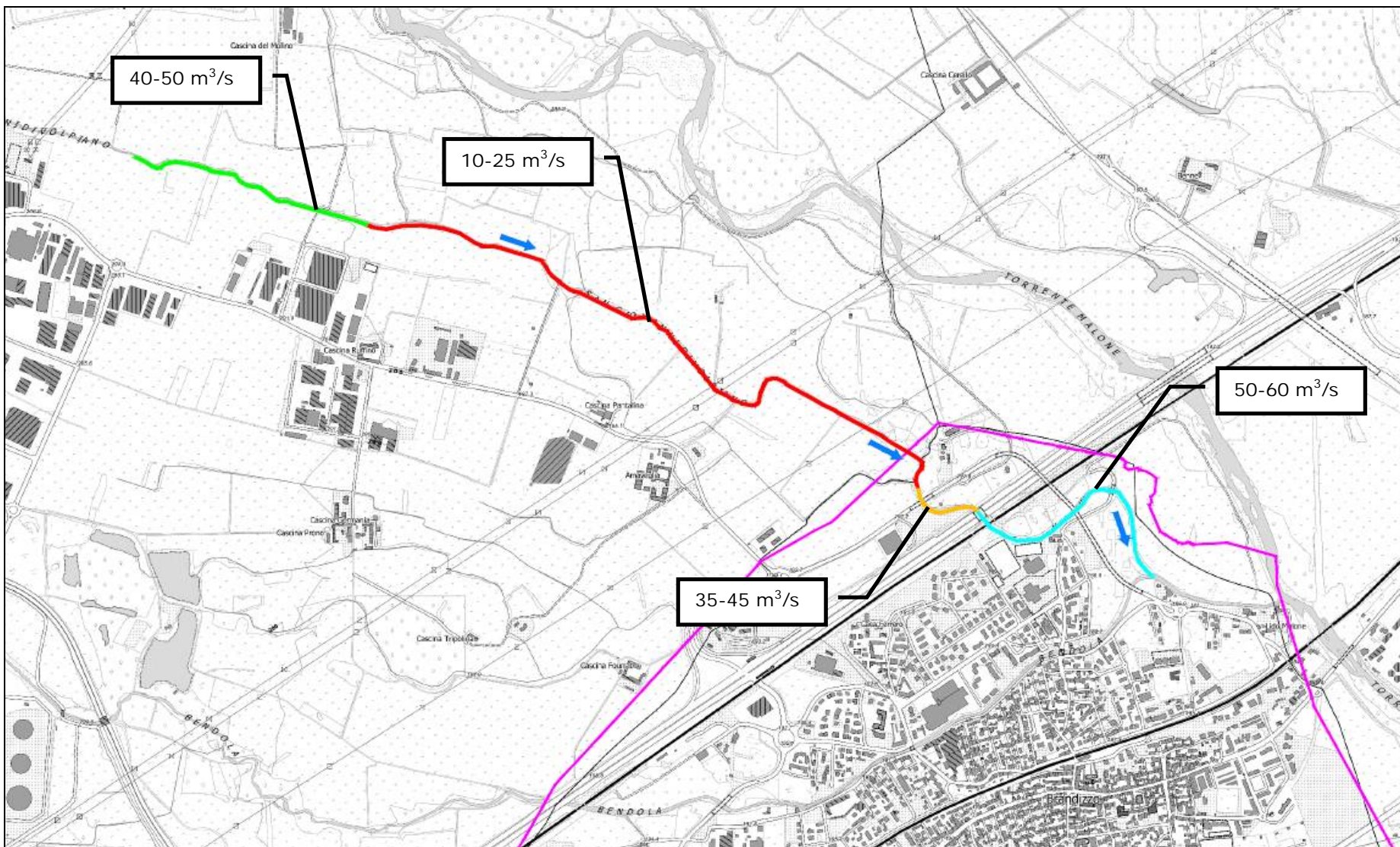


Figura 2-32. Indicazione della capacità di convogliamento dell'alveo del Rio San Giovanni (Malonetto) nel settore di interesse.

2.2.3 IL SETTORE COMPRESO TRA LA SP 220 E LA SS 11

Il reticolo idrografico che caratterizza il settore compreso tra SP 220 e la S.S.11 è costituito da una serie di canali irrigui e fossi di scolo/derivatori ad essi collegati. L'originaria funzione irrigua è stata in gran parte mantenuta, anche se alcuni tratti risultano abbandonati. In considerazione dell'attuale stato di manutenzione degli alvei e dei manufatti, gran parte della rete idrografica di tale settore non è adeguata al convogliamento delle portate di progetto.

La rete idrografica è costituita da (riferimenti in Figura 2-33):

- Bealera Nuova e Gora del Molino;
- T. Sturella;
- Canale scolmatore del T. Bendola.

Nel settore in parola si evidenziano le seguenti criticità idrauliche:

- Allagamenti connessi direttamente agli straripamenti della rete idrografica secondaria (Bealera Nuova, T. Sturella).
- Allagamenti connessi direttamente al rigurgito del Fiume Po attraverso i sottopassi della S.S. 11. In caso di piena con tr 200 anni, le porzioni più depresse del piano campagna rispetto al livello idrometrico del Fiume Po, vengono interessate per rigurgito a partire dai sottopassi in parola (riferimenti in Figura 2-3, Figura 2-7 e Figura 2-8).
- In occasione di eventi di piena contemporanei della rete idrografica minore e del Fiume Po, si possono verificare allagamenti della Sturella connessi alla risalita del rigurgito del Fiume Po. In occasione di tali eventi è possibile che venga sormontata la sponda sinistra allagando i fondi limitrofi (una volta che l'acqua si trova sul piano campagna non rientra nel corso d'acqua ma segue la naturale pendenza delle superfici in direzione Est). Gli apporti del canale scolmatore del T. Bendola (che confluisce nella Sturella in questo settore) aggravano tale condizione. Allo scopo di mitigare gli effetti degli ulteriori apporti dovuti al canale scolmatore, sono stati realizzati degli interventi di mitigazione (consistenti nella sopraelevazione della strada interpodereale che corre lungo la sponda sinistra della Sturella) allo scopo di contenerne i livelli.

In pratica tale settore è soggetto ad essere inondato, sia dalle acque circolanti nella rete idrografica secondaria (Bealera Nuova, T. Sturella e canale scolmatore del T. Bendola) che possono essere rigurgitate dal Po in piena, sia dallo stesso Fiume Po in quanto, a partire dai sottopassaggi della S.S. 11, risulta in comunicazione diretta con il settore di interesse che, in alcune porzioni, risulta più depresso rispetto alla quota raggiungibile dalla piena.

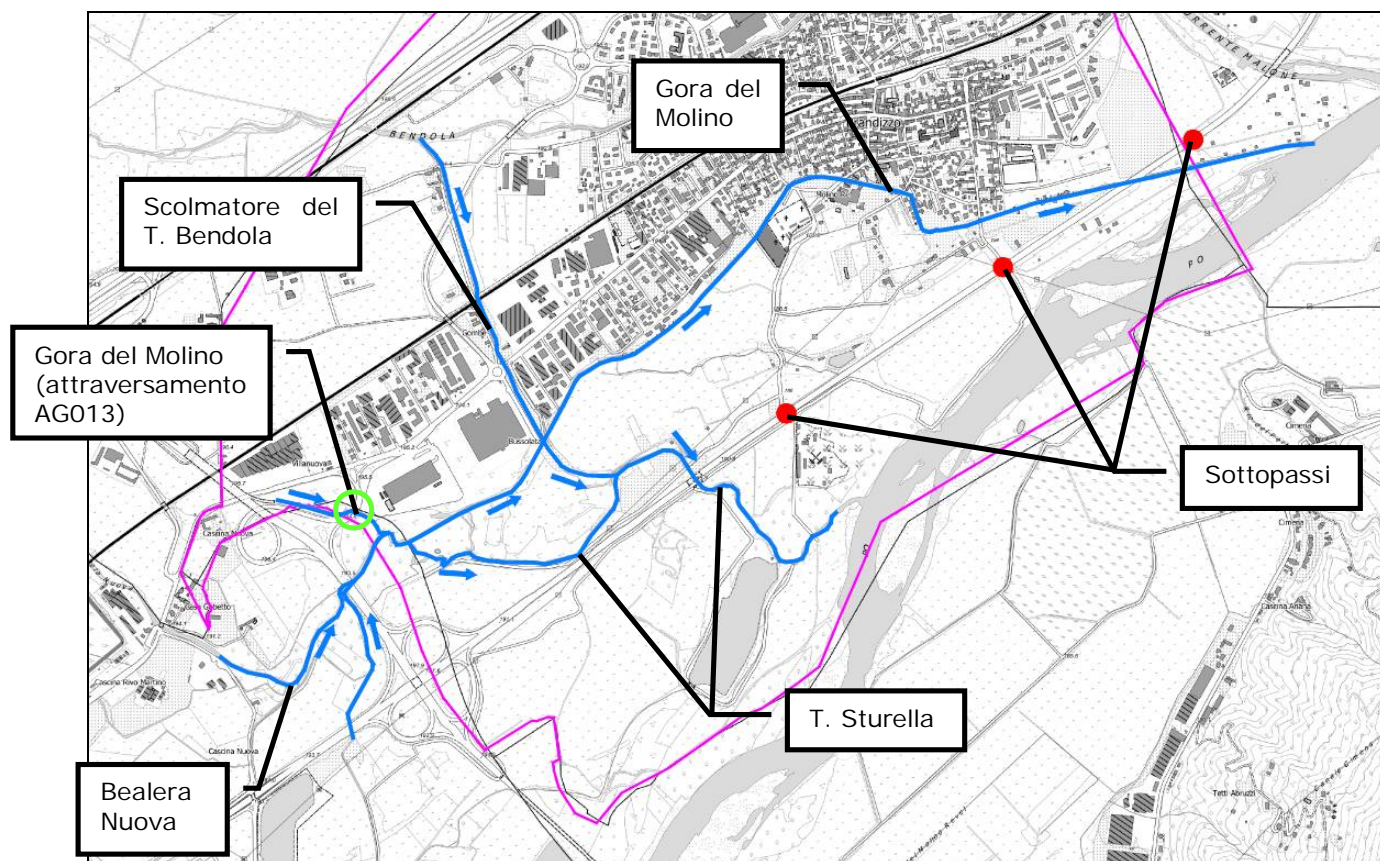


Figura 2-33. Schema della rete idrografica nel settore compreso tra la SP 220 e la SS 11.

2.2.4 BEALERA NUOVA E GORA DEL MOLINO

La Bealera Nuova, proveniente dal territorio di Settimo, interessa il territorio comunale con andamento Ovest – Est (riferimenti in Figura 2-33):

- 1) A monte del rilevato della SP 500 riceve il contributo della Sturella (2° derivazione);
- 2) A valle del rilevato della SP 500 la Bealera Nuova confluisce nella Gora del Molino.

La Gora del Molino percorre il territorio comunale con andamento Ovest – Est, mantenendosi al piede del terrazzo (riferimenti in Figura 2-34).

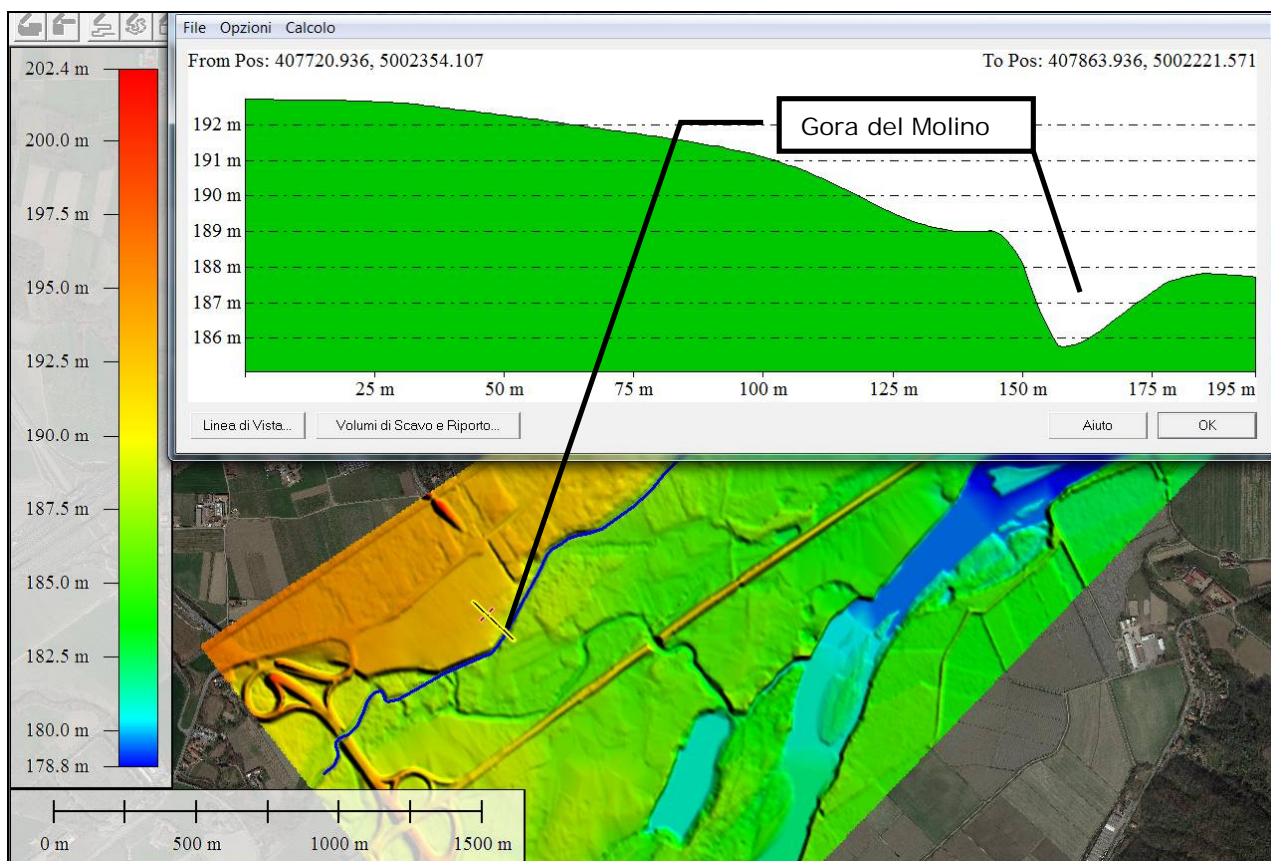


Figura 2-34. Sezione longitudinale del pieno campagna in cui risulta evidente che la Gora del Molino si mantiene al piede del terrazzo.

2.2.4.1 Definizione delle portate

La definizione delle portate tiene conto di quanto segue:

- 1) I valori di portata della Bealera Nuova sono tratti dallo studio *“Progetto di manutenzione e adeguamento Bealera Nuova – Studio di fattibilità”* (redatto da ANSELMO associati per conto del Comune di Settimo Torinese - 2009)⁽⁸⁾. Il bacino sotteso, compreso tra lo scolmatore Ovest in Comune di Settimo Torinese e la sezione di chiusura posta immediatamente a monte del confine comunale di Brandizzo, è pari a circa 11 km².
- 2) Il calcolo della portata idrologica del T. Sturella (2° derivazione), sotteso ad una sezione di chiusura posta immediatamente a monte del confine comunale di Brandizzo, porterebbe a valori puramente teorici, in quanto la geometria degli attraversamenti

⁽⁸⁾ La determinazione delle portate di progetto è stata effettuata tramite un modello afflussi-deflussi (codice di calcolo SWMM) calcolando la portata unitaria (ad ettaro) e moltiplicando il valore per la superficie sottesa alla sezione di chiusura. La procedura considera i valori medi di: pendenza delle superfici scolanti, coefficiente di afflusso, scabrezza delle superfici, coefficienti di infiltrazione. Il modello è stato alimentato con i valori di pioggia contenuti nella *“Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica”* del PAI.

presenti e dell' alveo esistente, consente il convogliamento di una frazione minima rispetto ai valori calcolati. Ai fini del presente studio si fa riferimento a quanto riportato in *"Lavori per la sistemazione idraulica del Torrente Bendola e Malonetto a difesa dell'abitato di Brandizzo – Scolmatore T. Bendola – Progetto esecutivo"* (Comune di Brandizzo - 2009), che stima una capacità di convogliamento dell'alveo a monte della confluenza con la Bealera Nuova pari a 10 m³/s.

- 3) I valori di portata della Gora del Molino sono stati calcolati con riferimento alla capacità di convogliamento della luce dell'attraversamento AG013 (codice SICOD; riferimenti in Figura 2-33 e Figura 2-35). Con riferimento allo schema di moto uniforme il massimo valore di portata convogliabile da tale luce è pari a circa 3.0 m³/s).



Figura 2-35. Vista dell'attraversamento AG013 (codice SICOD).

- 4) In merito la tronco di valle della Gora del Molino si evidenzia che il superamento del canale scolmatore del T. Bendola avviene mediante un manufatto scatolare in c.a di dimensioni pari a 4 x 1.75 m con pendenza del fondo pari all' 1% ⁽⁹⁾. Si evidenzia pertanto che la portata trasferita a valle canale scolmatore dalla Gora del Molino è limitata da tale luce (riferimenti in Figura 2-36 e Figura 2-37). Con riferimento allo schema di calcolo in moto uniforme, il valore di portata convogliabile verso valle è pari a circa 10-15 m³/s (a seconda del valore di scabrezza considerato e del grado di manutenzione).

⁽⁹⁾ Secondo quanto riportato nel progetto dello scolmatore, in corrispondenza dell'attraversamento la quota del fondo della gora del Molino è pari a 184.98 a fronte di una quota del canale scolmatore pari a 187.23.



Figura 2-36. Vista (da valle verso monte) del paramento di monte dell'attraversamento del canale scolmatore da parte della Gora del Molino.



Figura 2-37. Vista (verso valle) del paramento di valle dell'attraversamento del canale scolmatore da parte della Gora del Molino.

Tabella 2-9. Sintesi dei valori di portata al colmo per la Bealera Nuova e Gora del Molino.

| Localizzazione | Portata al colmo [m ³ /s] | | |
|--|--------------------------------------|--------|--------|
| | Tr 50 | Tr 200 | Tr 500 |
| Bealera Nuova | 42 | 49 | 53 |
| Sturella (2° derivazione) | 10 | 10 | 10 |
| Gora del Molino (attraversamento) | 3 | 3 | 3 |
| Portata totale (valle confluenza) | 55 | 62 | 66 |
| Gora del Molino (valle attraversamento scolmatore) | 10 | 10 | 10 |

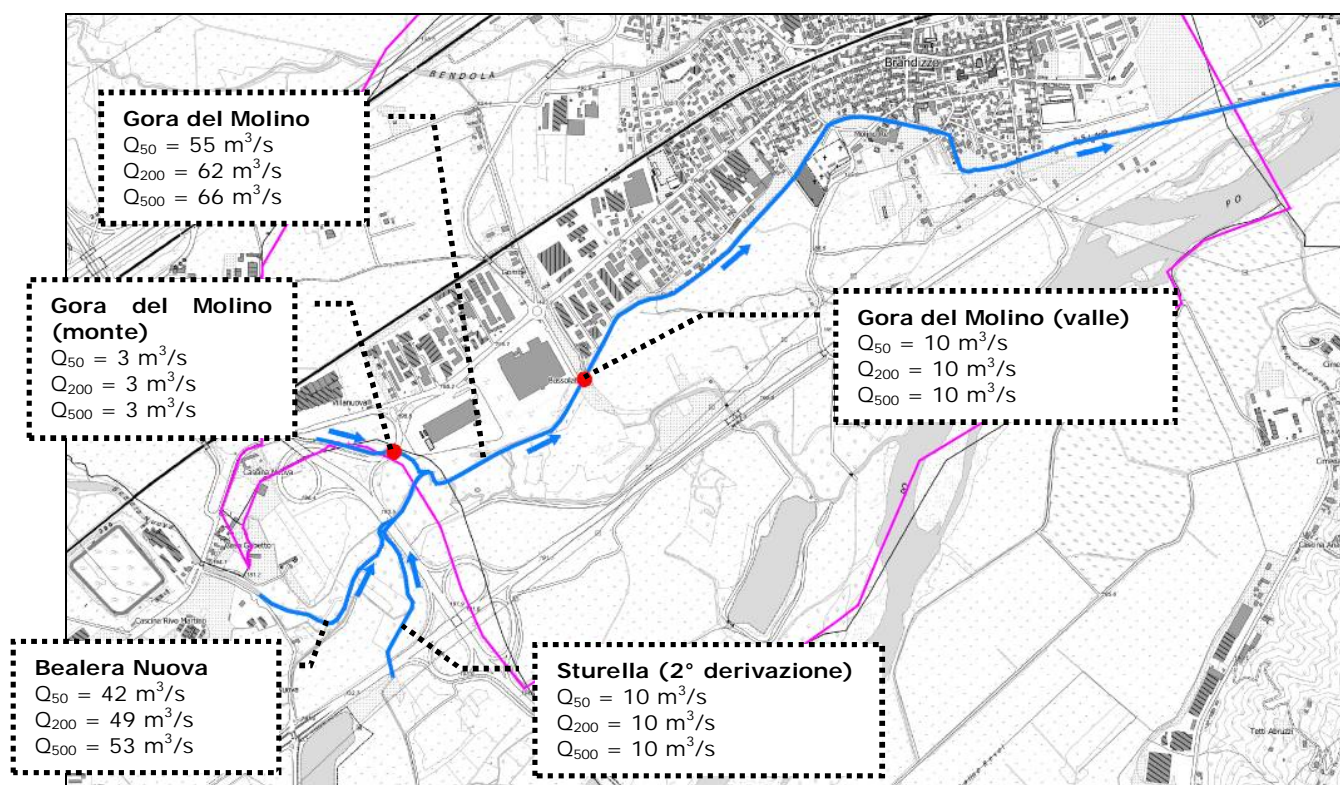


Figura 2-38. Schema delle portate di piena per la Bealera Nuova e Gora del Molino.

Poichè la definizione del campo di inondazione viene condotta in moto vario, condizione in cui le portate variano al variare del tempo, la distribuzione temporale dell'onda di piena è stata definita mediante la seguente procedura:

- Gli idrogrammi con tr 50, 200 e 500 anni per la Bealera Nuova sono stati ricavati dalla modellazione afflussi-deflussi.
- I valori di portata per i restanti corsi d'acqua sono considerati costanti in funzione della capacità di convogliamento delle luci degli attraversamenti.
- Si ipotizza la piena contemporanea dei corsi d'acqua.
- Gli idrogrammi di riferimento sono stati ottenuti per somma algebrica. La procedura risulta pertanto cautelativa (riferimenti in Figura 2-39).

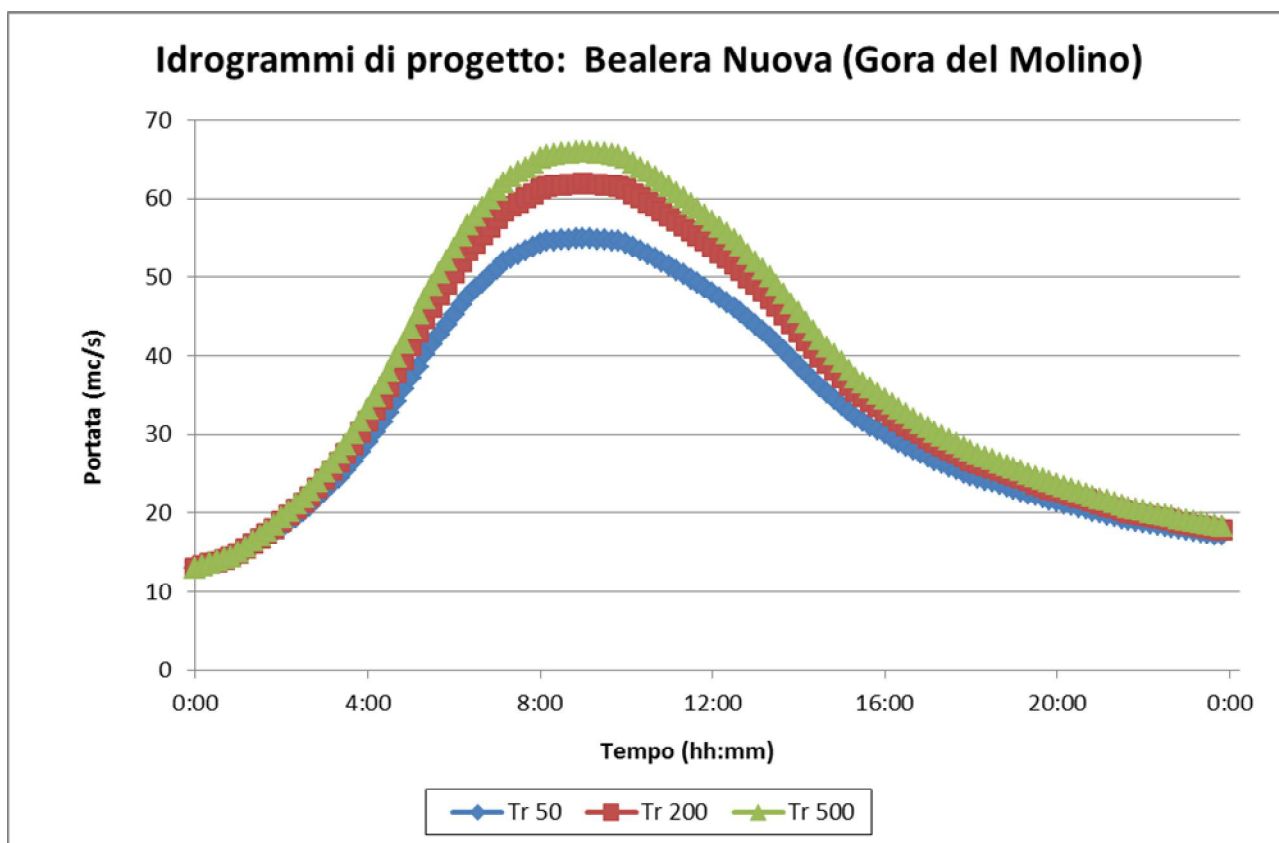


Figura 2-39. Idrogrammi di riferimento per la Bealera Nuova (Gora del Molino) a valle della confluenza.

2.2.4.2 Definizione della capacità di convogliamento

Scopo dell'indagine è quello stabilire la capacità di convogliamento dell'alveo ed il campo di inondazione con riferimento allo stato di fatto sulla basi dei seguenti approfondimenti:

- 1) La definizione della capacità di convogliamento dell'alveo viene realizzata mediante la predisposizione di un modello per sezioni in moto permanente monodimensionale 1D (codice di calcolo Hec-ras descritto in APPENDICE - B) che prevede portata costante nel tempo e geometria dell'alveo variabile tra una sezione e la successiva. Il modello numerico è ottimizzato per computare le singolarità localizzate (es. ponti, strutture in alveo, variazioni di scabrezza, salti di fondo, ecc.) e consente di indagare con dettaglio la capacità di convogliamento dell'alveo esplicitando il profilo del pelo libero e delle grandezze idrauliche fintanto che il livello idrometrico risulta contenuto nelle sezioni ⁽¹⁰⁾.

⁽¹⁰⁾ Si specifica che, qualora la portata di riferimento non sia contenuta all'interno delle sponde, il livello idrometrico restituito dal modello idraulico 1D non è indicativo della quota effettivamente raggiunta dall'acqua. Tale quota potrà essere dedotta dai risultati del modello 2D, che si presta a descrivere al meglio le situazioni reali (in cui la corrente si adagia al terreno, torna indietro a colmare depressioni o ristagna), in quanto consente di calcolare il

- 2) La definizione del campo di inondazione viene realizzata mediante la predisposizione di un modello bidimensionale 1D+2D in moto vario (codice di calcolo Sobek descritto in APPENDICE - A) che prevede portata variabile nel tempo e sezioni dell'alveo "collegate" al piano campagna. Il modello numerico è ottimizzato per la definizione delle aree inondabili, delle grandezze idrauliche (profondità e velocità) e della direzione della corrente sul piano campagna. Lo scenario effettivo delle aree inondabili viene quindi ricavato con modellazione bidimensionale (dettagli in 3).

Si precisa che, in generale l'alveo risulta insufficiente al convogliamento delle portate di progetto. I valori di portata calcolati assumono pertanto un significato prevalentemente teorico ("portata idrologica") in quanto, la geometria della rete idrografica e dei manufatti, consente solamente il convogliamento di una frazione del valore individuato. In pratica, i valori di portata calcolati per una certa sezione di chiusura possono risultare più severi di quelli osservati in loco poiché risultano superiori alla capacità di convogliamento della rete idrografica già a partire dalle sezioni di monte. In tali settori hanno origine allagamenti che si propagano verso valle sotto forma di una lama d'acqua che percorre il piano campagna con caratteristiche che dipendono dalla topografia e dai particolari locali.

In ragione di quanto esposto, **allo scopo di definire la capacità di convogliamento dell'alveo e di individuare un campo di inondazione** coerente con quanto osservato in occasione dei fenomeni di piena di cui si ha testimonianza, accertato che gli allagamenti si originano già monte del territorio comunale di Brandizzo **si procede realizzando le simulazioni idrauliche per un settore più ampio rispetto al territorio comunale** (ovvero partendo più a monte).

Operativamente si è proceduto con l'allestimento di un modello idraulico 1D per sezioni (Hec-ras), alimentato con valori di portata crescente allo scopo di definire la capacità di convogliamento delle singole sezioni considerate, nel tronco compreso tra il settore al confine con il Comune di Settimo e la confluenza con il Fiume Po. Per completare l'informazione è stata attivata in oltre una simulazione delle portate con tempi di ritorno pari 50, 200 e 500 anni (i risultati sono riportati integralmente in APPENDICE - F).

I risultati evidenziano quanto segue:

- La capacità di convogliamento (dettagli in Elaborato AT5 - 2) è sintetizzata in Figura 2-40.
- In generale l'alveo risulta insufficiente al convogliamento delle portate di progetto già a partire dal tronco a monte dell'ingresso in territorio di Brandizzo. In pratica si osserva quanto segue:

livello idrometrico in funzione della morfologia del terreno e delle situazioni di moto locali e, di conseguenza, di individuare il campo di inondazione (dettagli in APPENDICE - A).

- Il tronco a monte del territorio di Brandizzo è in grado di convogliare una portata pari a circa 20 m³/s, a fronte di una portata di progetto pari a 55 (tr 50), 62 (tr 200) e 66 (tr 500) m³/s; in pratica gli allagamenti si concretizzano già a partire dalle sezioni di monte.
- A valle dell'attraversamento della SP 500 si diparte l'alveo del T. Sturella che convoglia la maggior parte della portata (riferimenti in 2.2.5).
- L'attraversamento del canale scolmatore del T. Bendola avviene mediante un manufatto scatolare in c.a di dimensioni pari a 4 x 1.75 m in grado di convogliare una portata pari a circa 10-15 m³/s. Il tronco di valle pertanto risulta sufficiente al convogliamento di tale portata salvo potenziali occlusioni che si possono manifestare in corrispondenza dei manufatti di attraversamento in caso di mancata manutenzione.
- In ragione del fatto che la Gora del Molino è posta al piede del terrazzo, gli eventuali allagamenti potranno interessare solo i settori posti in destra idrografica.

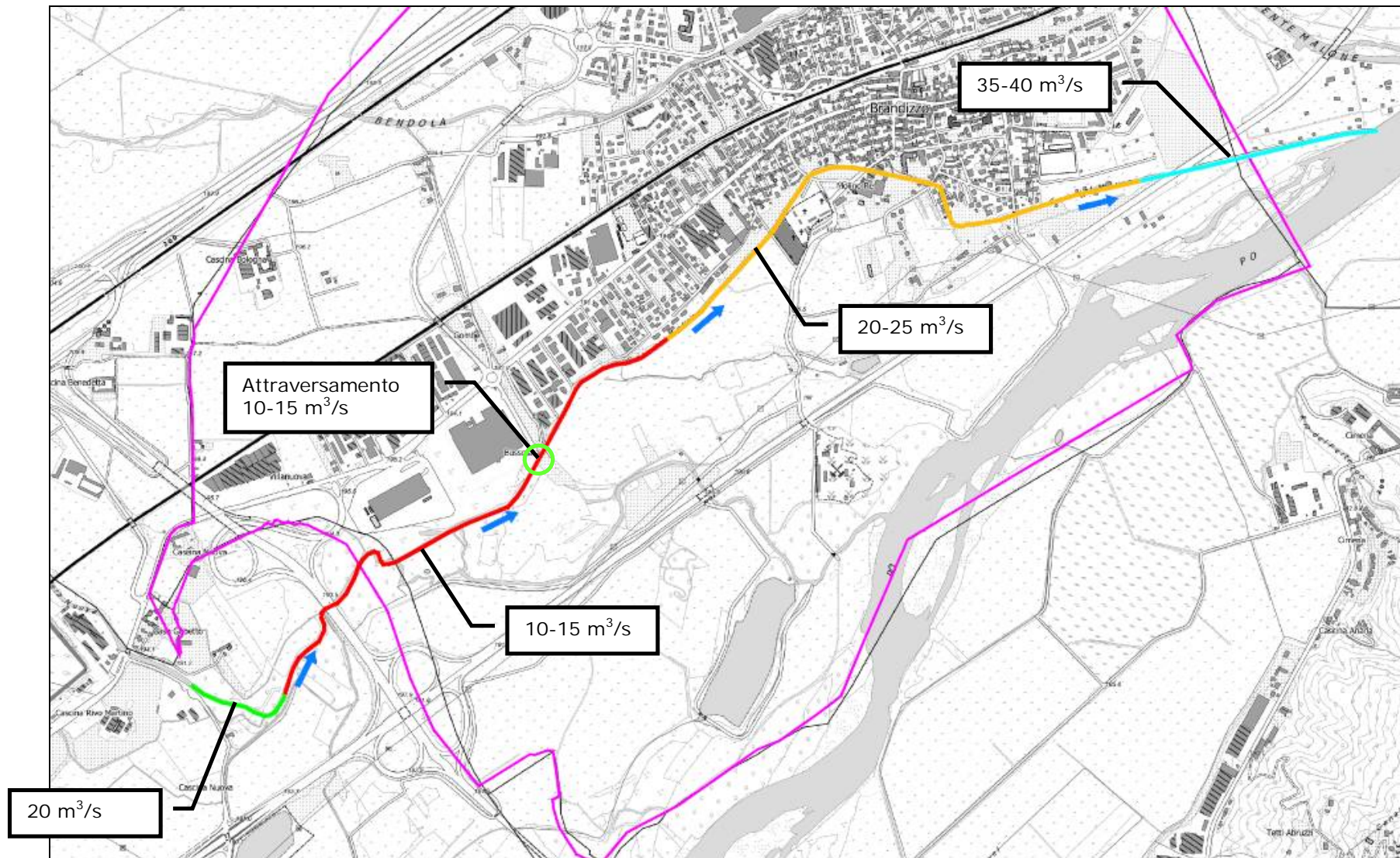


Figura 2-40. Indicazione della capacità di convogliamento dell'alveo della Bealera Nuova (Gora del Molino) nel settore di interesse.

2.2.5 T. STURELLA

Con riferimento a quanto esposto nel par. 2.2.3, si richiamano le criticità idrauliche del settore interessato dal T. Sturella:

- 1) Allagamenti connessi direttamente agli straripamenti della rete idrografica secondaria (T. Sturella).
- 2) In occasione di eventi di piena contemporanei della rete idrografica minore e del Fiume Po della rete idrografica minore e del Fiume Po, si possono verificare allagamenti della Sturella connessi alla risalita del rigurgito del Fiume Po in corrispondenza dell'attraversamento della SS. 11 (riferimenti in Figura 2-42). In occasione di tali eventi è possibile che venga sormontata la sponda sinistra allagando i fondi limitrofi (una volta che l'acqua si trova sul piano campagna non rientra nel corso d'acqua ma segue la naturale pendenza delle superfici in direzione Est). Gli apporti del canale scolmatore del T. Bendola (che confluisce nella Sturella in questo settore) aggravano tale condizione. Allo scopo di mitigare gli effetti degli ulteriori apporti dovuti al canale scolmatore, sono stati realizzati degli interventi di mitigazione (consistenti nella sopraelevazione della strada interpoderale che corre lungo la sponda sinistra della Sturella) allo scopo di contenerne i livelli (riferimenti in Figura 2-44).

A valle dell'attraversamento della SP 500, immediatamente a valle della confluenza tra la Bealera Nuova e la Gora del Molino si diparte l'alveo del T. Sturella:

- Il T. Sturella interessa il territorio comunale con andamento Ovest – Est fino all'attraversamento della SS 11 da cui raggiunge poco a valle la confluenza con il Fiume Po (riferimenti in Figura 2-41).
- Nel tronco poco a monte dell'attraversamento della SS. 11 il T. Sturella riceve le acque del Canale scolmatore del T. Bendola (riferimenti in Figura 2-43).

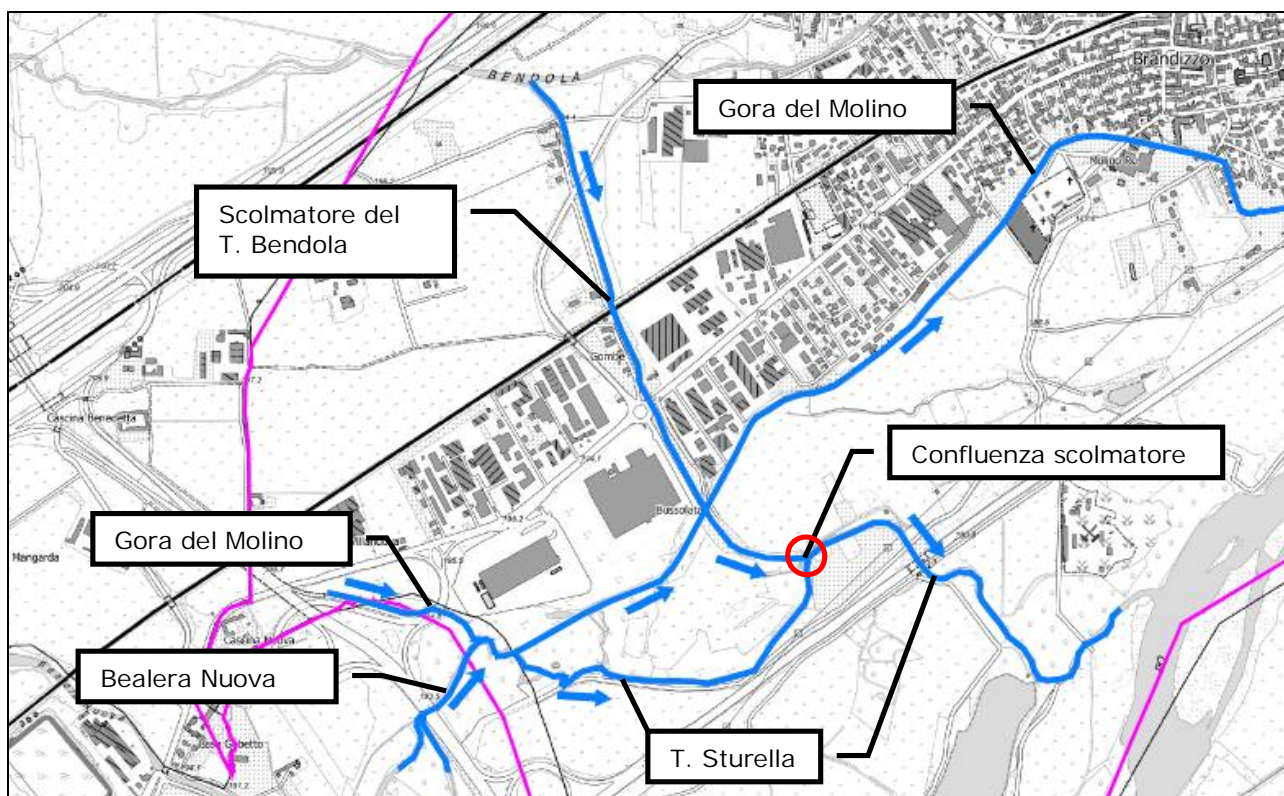


Figura 2-41. Percorso del T. Sturella nel tronco di interesse.



Figura 2-42. Ripresa (da valle verso monte) dell'attraversamento della SS. 11 che mette in comunicazione il T. Sturella con il Fiume Po.

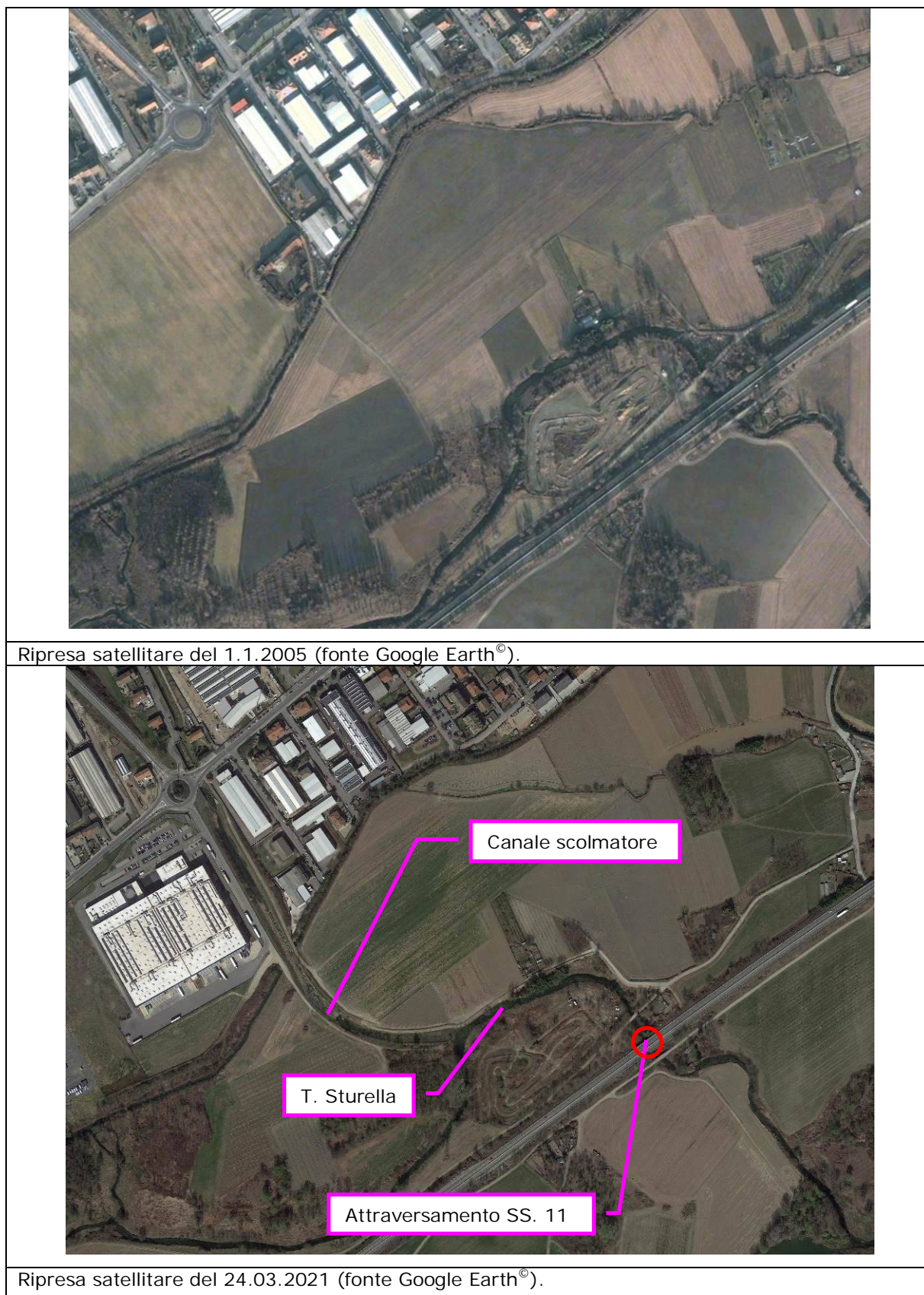


Figura 2-43. Riprese satellitari del settore in cui il canale scolmatore del T. Bendola confluisce nel T. Sturella.

COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

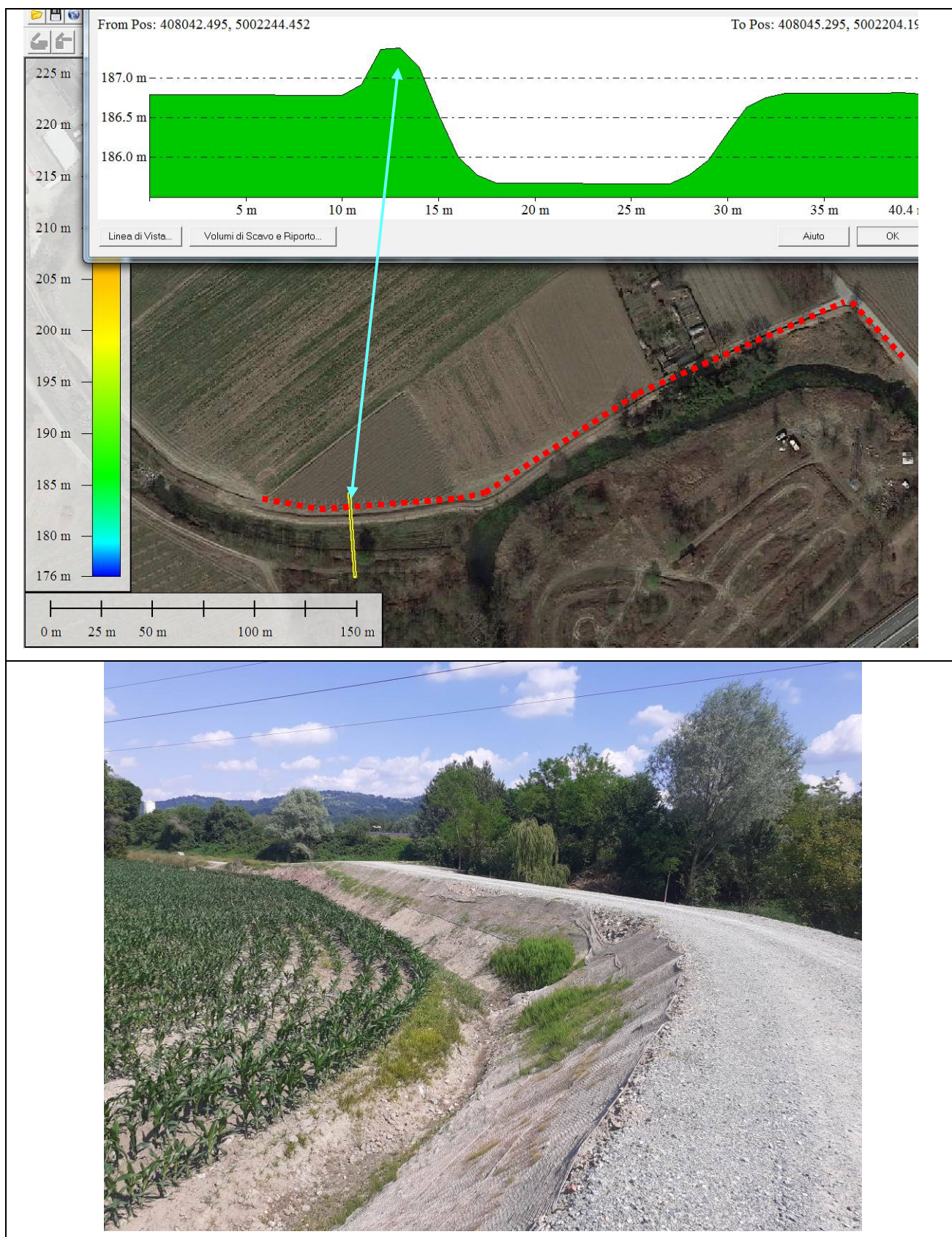


Figura 2-44. Lavori realizzati dell'ambito del progetto "Lavori per opere di contenimento Torrente – Progetto definitivo/esecutivo" redatto da ANSELMO associati per conto del COMUNE DI BRANDIZZO (2020) in corrispondenza della sponda sinistra del T. Sturella (in prossimità della confluenza con il canale scolmatore del T. Bendola).

2.2.5.1 Definizione delle portate

In ragione di quanto descritto nei paragrafi precedenti, le portate del T. Sturella vengono calcolate come somma dei valori di portata provenienti dalla Bealera Nuova e dal canale scolmatore al netto della portata che può transitare nella Gora del Molino attraverso lo scatolare posto in corrispondenza dello scolmatore.

Poichè la definizione del campo di inondazione viene condotta in moto vario, condizione in cui le portate variano al variare del tempo, la distribuzione temporale dell'onda di piena è stata definita mediante la seguente procedura:

- Gli idrogrammi con tr 50, 200 e 500 anni della Bealera Nuova sono stati ricavati con modellazione afflussi-deflussi (riferimenti in 2.2.4.1);
- Gli idrogrammi con tr 50, 200 e 500 anni del canale scolmatore del T. Bendola sono tratti dal progetto esecutivo dei lavori (riferimenti in 2.2.1.1)
- I valori di portata per i restanti corsi d'acqua sono considerati costanti in funzione della capacità di convogliamento delle luci degli attraversamenti;
- Si ipotizza la piena contemporanea dei corsi d'acqua.
- Gli idrogrammi di riferimento sono stati ottenuti per somma algebrica. La procedura risulta pertanto cautelativa (riferimenti in Figura 2-46).

Lo schema delle portate è riportato in Figura 2-45 e in Tabella 2-10.

Tabella 2-10. Sintesi dei valori di portata al colmo per il T. Sturella nel settore di interesse.

| Localizzazione | Portata al colmo [m ³ /s] | | |
|--|--------------------------------------|--------|--------|
| | Tr 50 | Tr 200 | Tr 500 |
| Bealera nuova (Gora del Molino) | 55 | 62 | 66 |
| Canale scolmatore del T. Bendola | 62 | 75 | 86 |
| Gora del Molino (valle attraversamento scolmatore) | 10 | 10 | 10 |
| T. Sturella (valle confluenza scolmatore) | 107 | 127 | 142 |

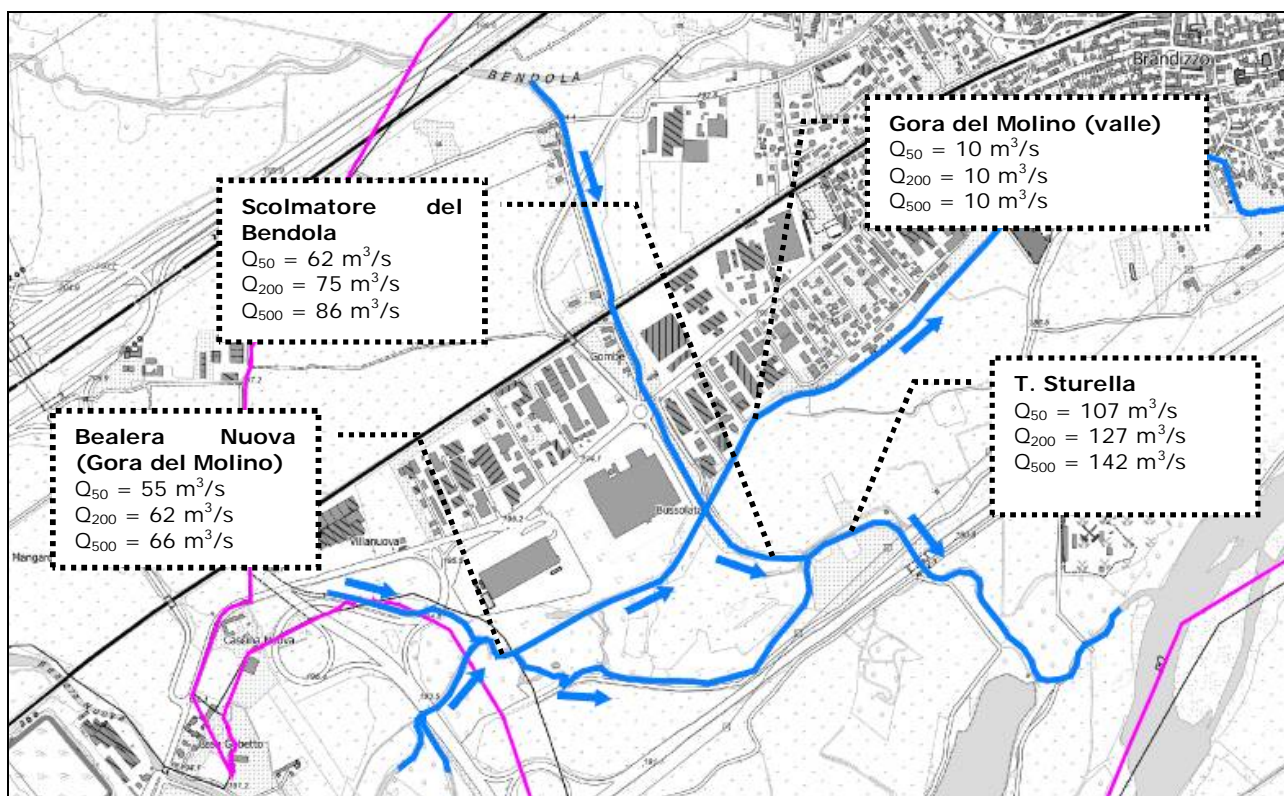


Figura 2-45. Schema delle portate di piena per il T. Sturella nel settore di interesse

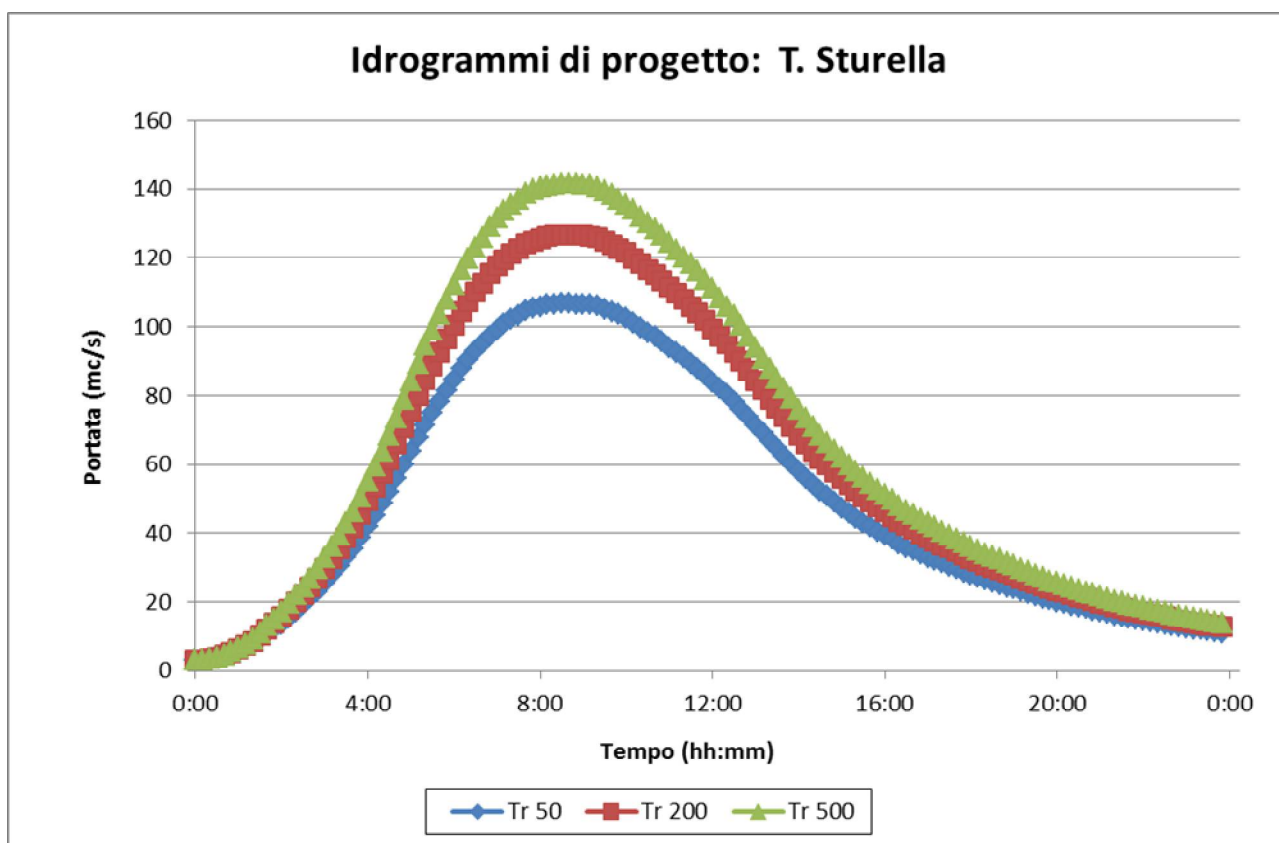


Figura 2-46. Idrogrammi di progetto per il T. Sturella nel settore di interesse.

2.2.5.2 Definizione della capacità di convogliamento

Scopo dell'indagine è quello stabilire la capacità di convogliamento dell'alveo ed il campo di inondazione con riferimento allo stato di fatto sulla basi dei seguenti approfondimenti:

- 1) La definizione della capacità di convogliamento dell'alveo viene realizzata mediante la predisposizione di un modello per sezioni in moto permanente monodimensionale 1D (codice di calcolo Hec-ras descritto in APPENDICE - B) che prevede portata costante nel tempo e geometria dell'alveo variabile tra una sezione e la successiva. Il modello numerico è ottimizzato per computare le singolarità localizzate (es. ponti, strutture in alveo, variazioni di scabrezza, salti di fondo, ecc.) e consente di indagare con dettaglio la capacità di convogliamento dell'alveo esplicitando il profilo del pelo libero e delle grandezze idrauliche fintanto che il livello idrometrico risulta contenuto nelle sezioni ⁽¹¹⁾.
- 2) La definizione del campo di inondazione viene realizzata mediante la predisposizione di un modello bidimensionale 1D+2D in moto vario (codice di calcolo Sobek descritto in APPENDICE - A) che prevede portata variabile nel tempo e sezioni dell'alveo "collegate" al piano campagna. Il modello numerico è ottimizzato per la definizione delle aree inondabili, delle grandezze idrauliche (profondità e velocità) e della direzione della corrente sul piano campagna. Lo scenario effettivo delle aree inondabili viene quindi ricavato con modellazione bidimensionale (dettagli in 3).

Si precisa che, in generale l'alveo risulta insufficiente al convogliamento delle portate di progetto. I valori di portata calcolati assumono pertanto un significato prevalentemente teorico ("portata idrologica") in quanto, la geometria della rete idrografica e dei manufatti, consente solamente il convogliamento di una frazione del valore individuato. In pratica, i valori di portata calcolati per una certa sezione di chiusura possono risultare più severi di quelli osservati in loco poiché risultano superiori alla capacità di convogliamento della rete idrografica già a partire dalle sezioni di monte. In tali settori hanno origine allagamenti che si propagano verso valle sotto forma di una lama d'acqua che percorre il piano campagna con caratteristiche che dipendono dalla topografia e dai particolari locali.

In ragione di quanto esposto, **allo scopo di definire la capacità di convogliamento dell'alveo e di individuare un campo di inondazione** coerente con quanto osservato in occasione dei fenomeni di piena di cui si ha testimonianza, accertato che gli allagamenti si

⁽¹¹⁾ Si specifica che, qualora la portata di riferimento non sia contenuta all'interno delle sponde, il livello idrometrico restituito dal modello idraulico 1D non è indicativo della quota effettivamente raggiunta dall'acqua. Tale quota potrà essere dedotta dai risultati del modello 2D, che si presta a descrivere al meglio le situazioni reali (in cui la corrente si adagia al terreno, torna indietro a colmare depressioni o ristagna), in quanto consente di calcolare il livello idrometrico in funzione della morfologia del terreno e delle situazioni di moto locali e, di conseguenza, di individuare il campo di inondazione (dettagli in APPENDICE - A).

originano già monte del territorio comunale di Brandizzo **si procede realizzando le simulazioni idrauliche per un settore più ampio rispetto al territorio comunale** (ovvero partendo più a monte).

Operativamente si è proceduto con l'allestimento di un modello idraulico 1D per sezioni (Hec-ras), alimentato con valori di portata crescente allo scopo di definire la capacità di convogliamento delle singole sezioni considerate, nel tronco compreso tra il settore al confine con il Comune di Settimo e la confluenza con il Fiume Po. Per completare l'informazione è stata attivata in oltre una simulazione delle portate con tempi di ritorno pari 50, 200 e 500 anni (i risultati sono riportati integralmente in APPENDICE - G).

I risultati evidenziano quanto segue:

- La capacità di convogliamento (dettagli in Elaborato AT5 - 2) è sintetizzata in Figura 2-47.
- In generale l'alveo risulta insufficiente al convogliamento delle portate di progetto già a partire dal tronco a monte dell'ingresso in territorio di Brandizzo. In pratica si osserva quanto segue:
 - Il tronco in ingresso al territorio di Brandizzo è in grado di convogliare una portata pari a circa 10-15 m³/s, a fronte di una portata di progetto pari a 55 (tr 50), 62 (tr 200) e 66 (tr 500) m³/s; in pratica gli allagamenti si concretizzano già a partire dalle sezioni di monte.
 - Il tronco a valle della confluenza con il canale scolmatore è in grado di convogliare una portata pari a circa 35-40 m³/s, a fronte di una portata di progetto pari a 117 (tr 50), 137 (tr 200) e 152 (tr 500) m³/s. In ragione dei lavori realizzati in sponda sinistra, gli allagamenti avverranno nel settore posto in destra e saranno per lo più contenuti nel settore compreso tra il T. Sturella ed il rilevato della SS. 11.
 - In occasione di eventi di piena contemporanei della rete idrografica minore e del Fiume Po i fenomeni di allagamento sono aggravati a causa della risalita del rigurgito del Fiume Po.

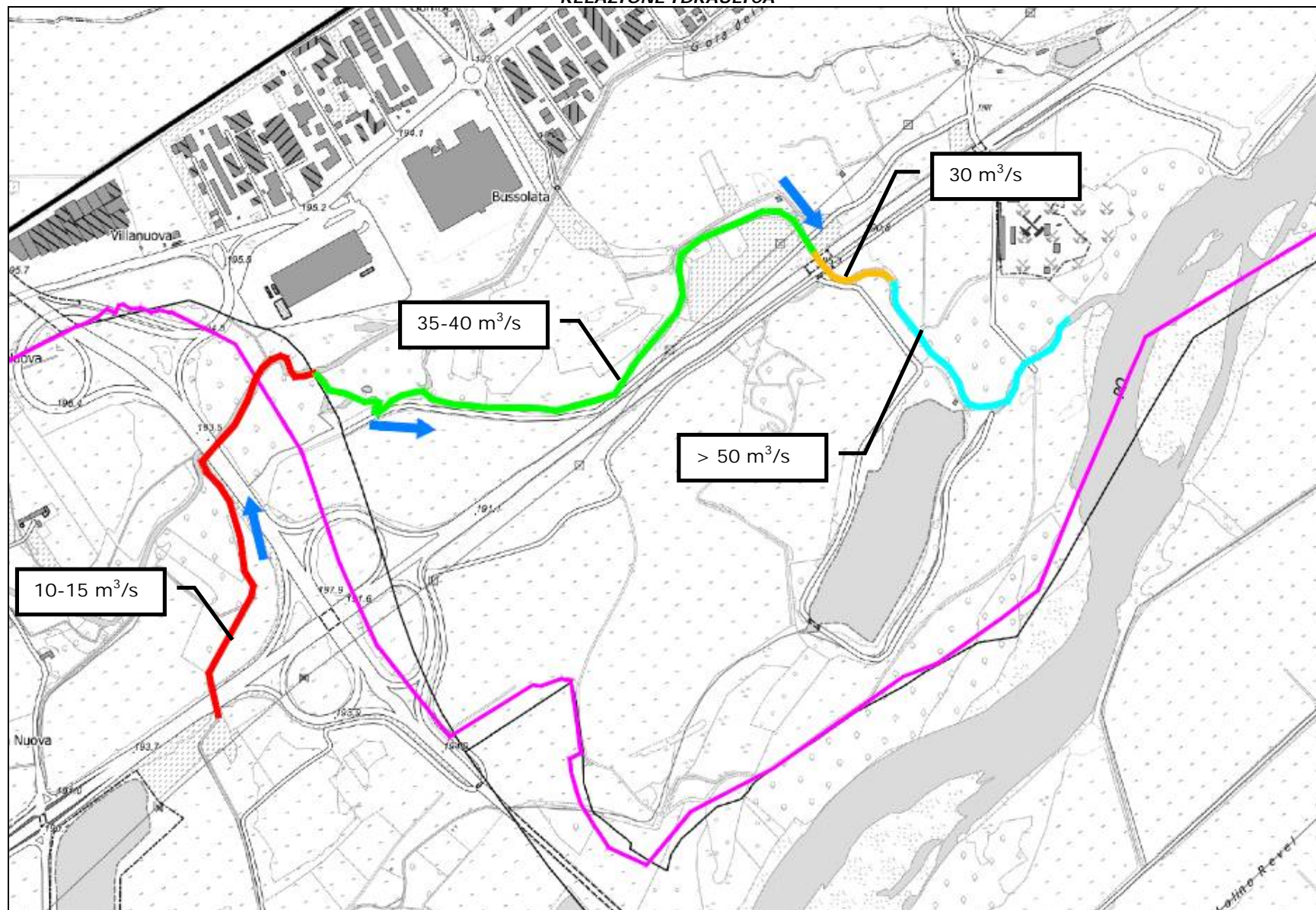


Figura 2-47. Indicazione della capacità di convogliamento dell'alveo del T. Sturella nel settore di interesse.

3 DEFINIZIONE DEL CAMPO DI INONDAZIONE

Per quanto riguarda gli aspetti idraulici, la Variante al P.R.G. è finalizzata principalmente ad allineare il quadro dei dissesti agli ambiti di pericolosità definiti dal Piano di Gestione Rischio di Alluvione (PGRA).

In considerazione delle attuali esigenze, la definizione del campo di inondazione viene condotta secondo i criteri dell'analisi idraulica approfondita ai sensi della D.G.R. 64-7417 del 07/07/2014, mediante la realizzazione di un modello idraulico bidimensionale 1D+2D in moto vario fondato su rilievo topografico di dettaglio.

Ai fini della predisposizione del modello idraulico, allo scopo di osservare la congruenza con i profili di piena di riferimento riportati nel PAI-PGRA ⁽¹²⁾, si è fatto riferimento ai contenuti tecnici dei seguenti studi:

- per il Fiume Po il riferimento tecnico è costituito dallo *Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Po nel tratto dalla confluenza del Fiume Stura di Lanzo alla confluenza del Fiume Dora Baltea* (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO 2006) contenete analisi idrologica, analisi idraulica e delimitazione delle aree inondabili per Tr 20, 200 e 500 anni;
- per il T. Malone il riferimento tecnico è costituito dallo *"SP1.4 (2004) Studio sul reticolo minore naturale ed artificiale"* contenente analisi idraulica con modello monodimensionale di asta che definisce i livelli e le aree inondabili per gli scenari di piena.

L'analisi delle criticità idrauliche del territorio comunale di Brandizzo descritte nei paragrafi precedenti, mostra che il funzionamento idraulico della rete idrografica minore è influenzato dai complessi rapporti di causa-effetto del sistema di confluenze con la rete principale. In particolare si osserva quanto segue:

- 1) Nell'ambito del territorio posto a Sud della linea ferroviaria, il settore compreso tra il rilevato della S.S. 11 e la Gora del Molino è soggetto ad essere inondato, sia dalle acque circolanti nella rete idrografica secondaria (Bealera Nuova, T. Sturella e canale scolmatore del T. Bendola) che possono essere rigurgitate dal Po in piena, sia dallo stesso Fiume Po in quanto, a partire dai sottopassaggi della S.S. 11, risulta in comunicazione diretta con il settore di interesse che, in alcune porzioni, risulta più depresso rispetto alla quota raggiungibile dalla piena (riferimenti in Figura 2-3 e in Figura 2-7).
- 2) Nell'ambito del territorio posto a Nord della linea ferroviaria, il settore compreso tra il nodo idraulico "Prati magri" (origine del Malonetto) e la confluenza Bendola – Malone è

⁽¹²⁾ I criteri tecnici riportati nella Direttiva 4 del PAI specificano che il profilo di piena risultante dai calcoli idraulici deve essere coerente con quello definito dall'Autorità di Bacino con riferimento alle sezioni di calcolo utilizzate per la delimitazione delle fasce fluviali.

soggetto ad essere inondato sia da esondazioni che si possono originare direttamente dalla rete idrografica minore (Malonetto e Bendola), sia dalle acque provenienti direttamente dalla sponda destra del T. Malone che, incanalandosi nell'attraversamento dell'Autostrada A4 (riferimenti in Figura 2-25), si aggiungono al contributo del Malonetto e del Bendola aggravando le condizioni di allagamento a valle della A4 Torino-Milano.

- 3) In sostanza parte del territorio risulta vulnerabile sia per eventi pluviometrici brevi con intensità elevata (in grado di causare la crisi della rete minore) che per eventi di lunga durata e minor intensità (in grado di causare la crisi di Po e Malone e quindi innescare allagamenti diretti).
- 4) In linea generale, gli alvei della rete idrografica minore risultano insufficienti al convogliamento delle portate di progetto già a partire dalle sezioni di monte. In tali settori hanno origine allagamenti che si propagano verso valle sotto forma di una lama d'acqua che percorre il piano campagna con caratteristiche che dipendono dalla topografia e dai particolari locali.

In ragione di quanto esposto, allo scopo di individuare un campo di inondazione coerente con quanto osservato in occasione dei fenomeni di piena di cui si ha testimonianza ed accertato che gli allagamenti si originano già monte del territorio comunale di Brandizzo, si stabilisce che le simulazioni idrauliche saranno realizzate considerando un settore più ampio rispetto al territorio comunale (ovvero partendo più a monte).

In considerazione delle peculiarità del territorio indagato, dal punto di vista operativo si procederà con l'allestimento di due distinti modelli idraulici:

- Modello idraulico della parte Sud per la modellazione del settore compreso tra la linea ferroviaria ed il rilevato della SS. 11;
- Modello idraulico della parte Nord per la modellazione del settore compreso tra il settore confinante del Comune di Volpiano e la linea ferroviaria.

3.1 Metodo di calcolo

L'esperienza professionale e progettuale mostra l'oggettiva difficoltà della definizione del campo di inondazione di un corso d'acqua in ambiente di pianura. I modelli numerici in moto vario bidimensionale (2D) basati su topografia di dettaglio, consentono di definire il campo di inondazione con maggior precisione e realismo rispetto a quanto ottenibile con altri metodi (es. criterio della soggiacenza). Il loro impiego permette di cogliere i particolari dovuti all'effettivo andamento del terreno, alla direzione ed alla cinematizzazione della corrente.

Sulla base di quanto richiamato le verifiche idrauliche sono condotte con modello in moto vario bidimensionale 1D+2D agli elementi finiti fondato su rilievo topografico di dettaglio. Viene impiegato il codice di calcolo SOBEK-Rural, sviluppato dalla WL | Delft Hydraulics (descrizione

in APPENDICE - A). Il modello numerico è ottimizzato per la definizione del campo di inondazione ed il calcolo della direzione della corrente e delle grandezze idrauliche (profondità e velocità) sul piano campagna.

Una tipica applicazione del programma è la simulazione della progressione di un evento di piena in un'area inondabile inizialmente asciutta, tenendo conto dell'influenza di interventi esistenti e/o pianificati.

Il modello è stato allestito attivando l'opzione di accoppiamento fra modelli 1-D e 2-D che permette di operare il passaggio automatico da monodimensionale (moto nell'alveo incanalato) a bidimensionale (sommersione progressiva del piano campagna).

Il modulo monodimensionale è usato per risolvere le equazioni idrauliche secondo la tecnica numerica delle differenze finite nell'alveo, descritto tramite sezioni trasversali e strutture importanti (ponti, traverse, ecc.). Il modello è in grado di simulare ogni tipo di condizioni di deflusso, sub o supercritiche. La parte bidimensionale del codice opera su celle quadrate mediante l'applicazione di equazioni di bilancio della quantità di moto e di conservazione della massa. Per il bilancio della quantità di moto i livelli 1D e 2D rimangono rigorosamente separati, mentre per la conservazione della massa i volumi 1D e 2D sono combinati in modo da avere congruenza dei livelli idrometrici.

Il modello numerico è stato tarato e calibrato sulla base dei contenuti della documentazione di riferimento (PAI-PGRA), al fine di consentire la sovrapposizione dei risultati con la documentazione citata.

3.2 Geometria impiegata

Nell'ambito delle attività necessarie alla predisposizione del modello idraulico, si è provveduto all'elaborazione del piano quotato del territorio indagato (DTM) allo scopo di renderlo compatibile con il software di modellazione idraulica per la definizione del campo di inondazione.

La base altimetrica disponibile per la descrizione del territorio indagato è costituita dai seguenti prodotti (riferimenti in Figura 3-1):

- 1) Modello digitale del terreno (DTM) realizzato mediante l'impiego di laser-scanner aviotrasportato (LiDAR – Ligth Detection And Ranging) per conto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (PST 2008-2010). La tolleranza altimetrica del rilievo è pari a ± 0.15 m con risoluzione dei punti a terra pari a 1x1 m restituiti sotto forma di DSM e DTM in formato *.ASCII. Il dato è stato impiegato per descrivere tutti gli elementi della regione fluviale, golene, piano campagna, rilevati stradali e manufatti circostanti per il settore restituito nell'interno del territorio indagato.
- 2) Modello digitale del terreno (DTM) realizzato mediante l'impiego di laser-scanner aviotrasportato per conto della Regione Piemonte con ripresa aerea ICE 2009-2011

(LiDAR in standard di livello 4 con quota di volo relativa 4500 m). La tolleranza altimetrica del rilievo è pari a ± 0.30 m (± 0.50 m nelle aree corrispondenti alle aree con vegetazione) con risoluzione dei punti a terra pari a 5x5 m restituiti sotto forma di DTM in formato *.ASCII. Il dato è stato impiegato per descrivere tutti gli elementi della regione fluviale, golene, piano campagna, rilevati stradali e manufatti circostanti per il settore indagato che non sono descritti dal LiDAR 1x1 del Ministero.

- 3) Carta Tecnica Comunale realizzata mediante rilievo aerofotogrammetrico dalla ditta Technical Design per conto del Comune di Brandizzo (rilievo luglio 2021). Il prodotto contiene singoli punti quotati e linee 3D a descrizione delle discontinuità lineari (rilevati stradali, linee di sponda, ecc.). La restituzione è limitata al territorio comunale. Il dato è stato impiegato per descrivere le discontinuità lineari all'interno del territorio comunale che sono state oggetto di modifiche posteriori alla realizzazione dei rilievi LiDAR (es. scolmatore, rilevati stradali, rampe, sottopassi, ecc.).
- 4) Particolari locali rilevati a terra con strumento GPS. I rilievi sono riferiti al caposaldo IGM95 n. 056626. La tolleranza del rilievo svolto è adeguata allo scopo del rilievo. Il dato è stato impiegato per descrivere particolari locali modificati a seguito di specifici interventi o che non possono essere colti in modo esaustivo dai rilievi citati (es. lavori in sponda sinistra del T. Sturella, lavori di manutenzione sul Malonetto, ecc.).

Si specifica che i rilievi richiamati hanno reciproca congruenza plano-altimetrica.

Operativamente la superficie del settore oggetto di indagine è stata elaborata come DTM mediante un compressore di dati cartografici in ambiente GIS (Global Mapper® 13.0), allo scopo di rappresentare regione fluviale, golene, piano campagna, rilevati stradali e manufatti circostanti (riferimenti in Figura 3-2). A partire da questo dato è stato successivamente elaborato un modello tridimensionale del terreno, a celle quadrate, di dimensioni tali da permettere la convergenza delle equazioni che risolvono il modello numerico alla base del software di modellazione idraulica per la definizione del campo di inondazione.

Ai fini della predisposizione del modello idraulico occorre considerare quanto segue:

- a) La dimensione della cella quadrata che caratterizza il DEM (in formato ASCII) a descrizione del piano campagna, nell'ambito della modellazione bidimensionale, deve avere le seguenti caratteristiche:
 - essere sufficientemente ampia da permettere la convergenza delle equazioni che risolvono il modello numerico (ciò dipende dall'entità di portata che transita nell'unità di superficie ed è in genere compresa nell'ordine di alcune unità di m^3 di portata per ciascun m^2 di superficie della cella);
 - essere sufficientemente ristretta da permettere di cogliere le peculiarità delle discontinuità lineari che caratterizzano il territorio.

- b) La dimensione della cella quadrata che caratterizza il DEM inoltre influenza i tempi di calcolo (ad un maggior numero di celle corrisponderà una dilatazione dei tempi di calcolo più che proporzionale).
- c) Allo scopo di ottimizzare il rapporto tra la geometria a disposizione ed i tempi di calcolo, in considerazione del grado di approfondimento atteso per il presente studio, si è valutato che la dimensione della cella quadrata che caratterizza il DTM debba essere pari a 10x10 m.

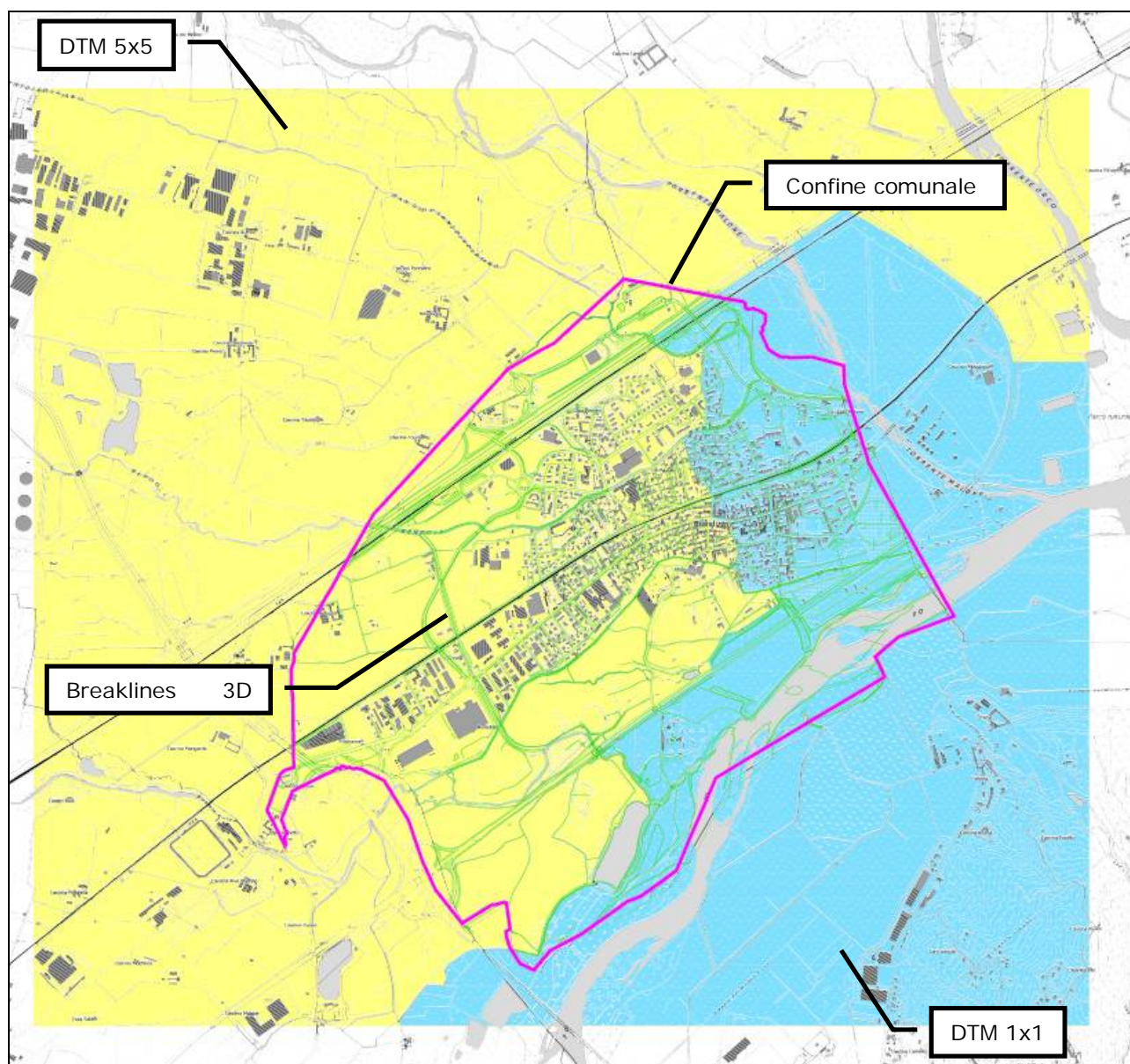


Figura 3-1. Rappresentazione planimetrica dei prodotti topografici disponibili per l'elaborazione del piano quotato impiegato nella modellazione idraulica realizzata per la definizione del campo di inondazione.

Dal punto di vista operativo si procederà con l'allestimento di due distinti modelli idraulici:

- Modello idraulico della parte Sud per la modellazione del settore compreso tra la linea ferroviaria ed il rilevato della SS. 11. La superficie di interesse viene rappresentata mediante un modello digitale delle elevazioni che comprendente circa 80 000 celle quadrate (DEM in formato ASCII inserito nel modulo 2D) derivante dallo sfoltimento del dato LiDAR originario, ricampionato a maglie quadrate di 10 x 10 metri con metodo "nearest neighbor".
- Modello idraulico della parte Nord per la modellazione del settore compreso tra il settore confinante del Comune di Volpiano e la linea ferroviaria. La superficie di interesse viene rappresentata mediante un modello digitale delle elevazioni che comprendente circa 150 000 celle quadrate con caratteristiche pari a quelle richiamate al punto precedente.

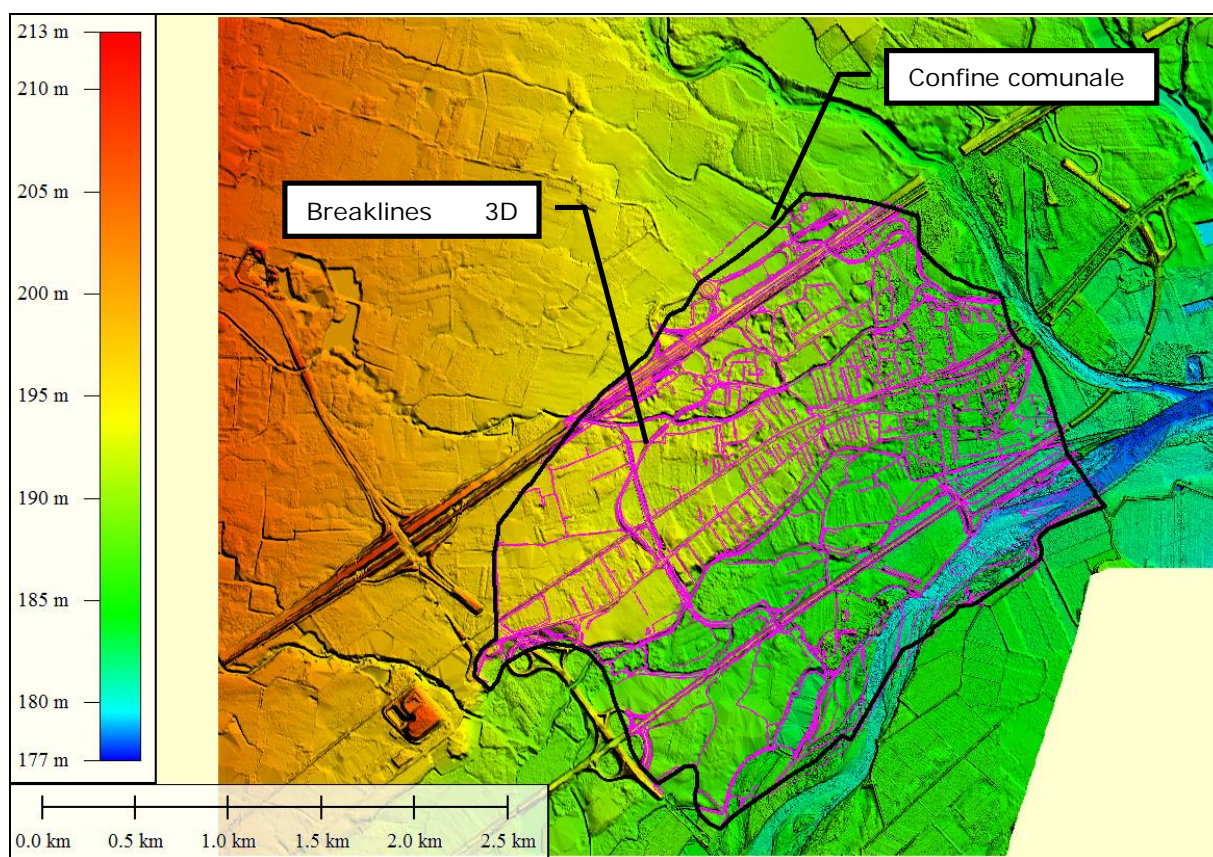


Figura 3-2. Rappresentazione del dato LiDAR elaborato mediante Global Mapper® 13.0 per la descrizione della geometria del settore di interesse.

In merito alla descrizione degli alvei si specifica quanto segue:

- La geometria dell'alveo del T. Malone è stata descritta mediante le sezioni trasversali impiegate nell'ambito dello studio "SP1.4 (2004) Studio sul reticolo minore naturale ed artificiale" contenente analisi idraulica con modello monodimensionale di asta che definisce i livelli di piena e le aree inondabili per gli scenari di piena impiegato per la

definizione delle Fasce fluviali vigenti. I sopralluoghi a terra hanno evidenziato che non ci sono variazioni significative dell'alveo e che tali sezioni sono funzionali alla rappresentazione dei luoghi;

- La geometria degli alvei della rete idrografica minore sono stati descritti mediante sezioni trasversali poste in posizioni ritenute significative. Le sezioni sono state estrapolate dal DTM con software topografici.

In merito alla geometria inserita nel modello idraulico si precisa quanto segue:

- **il corpo degli edifici non viene inserito;**
- in generale **la presenza di ostacoli al ruscellamento delle acque rappresentati da muri perimetrali, recinzioni e arredi urbani viene trascurata.** Operativamente tali particolari non possono essere paragonati ad un limite morfologico in quanto vi è la possibilità che possano essere modificati, ammalorati o eliminati;
- **il criterio richiamato è stato assunto in via cautelativa, anche in considerazione di quanto espresso dai settori regionali competenti in casi analoghi ⁽¹³⁾.**
- in ragione di quanto detto il battente risultante dall'analisi idraulica dovrà essere inteso come valore medio per l'area rappresentata da ciascuna cella (ovvero 10x10 m). I valori potranno differire localmente sulla base della geometria dei singoli particolari.

3.3 Condizioni al contorno e settaggi di calcolo

Le condizioni al contorno ed i settaggi di calcolo sono nel seguito riassunte:

- Il modello è stato attivato con l'opzione di accoppiamento fra modelli 1-D e 2-D che permette di operare un passaggio automatico da monodimensionale (moto nell'alveo incanalato) a bidimensionale (sommersione progressiva del piano campagna).
- La superficie del settore di interesse è descritta mediante griglie 2D in formato ASCII costituite rispettivamente da circa 80 000 con risoluzione al suolo di 10x10 m per la porzione Sud e da circa 150 000 con risoluzione al suolo di 10x10 m per la porzione Nord.
- Il time-step di calcolo è stato impostato pari a 20 min per una durata totale pari a 16 h.
- Il ramo 1D che rappresenta il T. Malone è accoppiato alla griglia 2D tramite una serie di *calculation point* (1 ogni 11 m). Nelle sezioni è attivata l'opzione *assume lowest level of embankments*.
- Le condizioni al contorno in uscita fanno riferimento ai livelli idrometrici riferiti nel PGRA.

⁽¹³⁾ Tali assunzioni portano, nel complesso, a valutare maggiormente in dettaglio la vulnerabilità idraulica dell'area.

- **Si ipotizza la piena contemporanea dei corsi d'acqua** (sia della rete idrografica principale sia delle rete idrografica minore). **La procedura risulta pertanto cautelativa**

3.3.1 CONDIZIONI AL CONTORNO IN INGRESSO: PORTATE E IDROGRAMMI DI RIFERIMENTO

Le condizioni al contorno in ingresso fanno riferimento ai valori di portata ed agli idrogrammi per gli eventi con tr 50, 200 e 500 anni riportati nei paragrafi precedenti.

Sintesi dei valori è riportata in Tabella 3-1 e Figura 3-3.

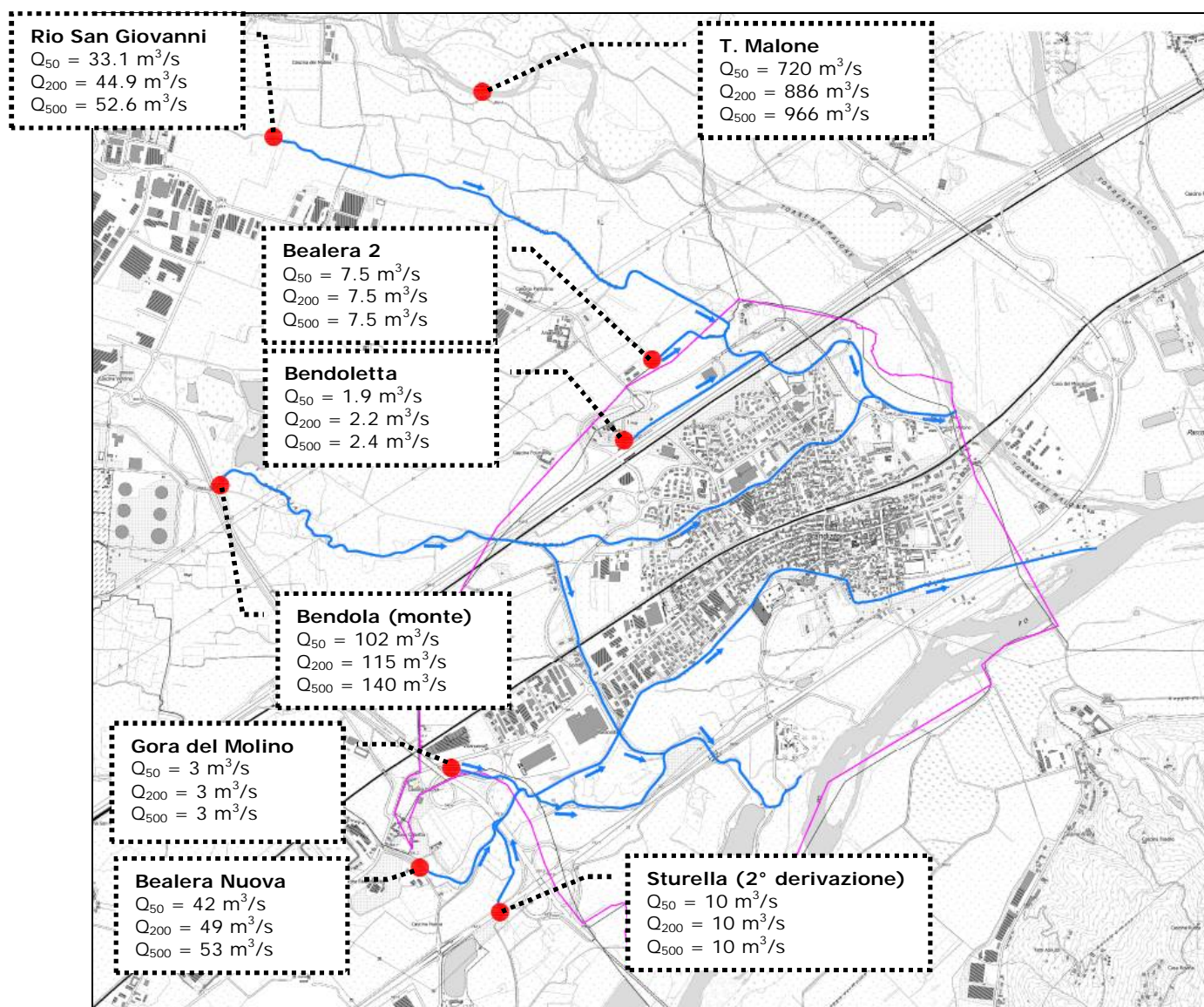


Figura 3-3. Sintesi delle condizioni al contorno in ingresso impiegate per la modellazione idraulica.

Tabella 3-1. Sintesi dei valori di portata al colmo impiegati per le verifiche idrauliche.

| Identificativo | Portata al colmo [m ³ /s] | | | Idrogramma |
|--|--------------------------------------|--------|--------|-------------|
| | Tr 50 | Tr 200 | Tr 500 | |
| T. Malone | 720 | 886 | 966 | Figura 2-12 |
| T. Bendola a monte di Brandizzo (monte scolmatore) | 102 | 115 | 140 | Figura 2-20 |
| Rio San Giovanni (Malonetto) | 33.1 | 44.9 | 52.6 | Figura 2-30 |
| Bealera 2 | 7.5 | 7.5 | 7.5 | Figura 2-30 |
| Bendoletta | 1.9 | 2.2 | 2.4 | Figura 2-30 |
| Bealera Nuova | 42 | 49 | 53 | Figura 2-39 |
| Sturella (2° derivazione) | 10 | 10 | 10 | Figura 2-39 |
| Gora del Molino | 3 | 3 | 3 | Figura 2-39 |

Richiamando quanto esposto nei paragrafi precedenti, si precisa che, in generale, gli alvei risultano insufficienti al convogliamento delle portate di progetto. Allo scopo di definire il campo di inondazione, accertato che gli allagamenti si originano già monte del territorio comunale di Brandizzo, si procede realizzando le simulazioni idrauliche per un settore più ampio rispetto al territorio comunale (ovvero partendo più a monte).

3.3.2 SCABREZZA

Le condizioni di scabrezza nelle sezioni (modulo 1D) sono state fissate con riferimento a valori (n di Manning) presenti in letteratura (CHOW, 1959):

$n = 0.035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ per l'alveo inciso;

$n = 0.050 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ per sponde, golene e piano campagna (valore indicato per aree con bassa vegetazione diffusa) attribuendo condizioni uniformi.

3.3.3 CONDIZIONI AL CONTORNO IN USCITA

Le condizioni al contorno in uscita fanno riferimento ai livelli idrometrici riferiti nel PGRA. Nell'ipotesi cautelativa di eventi di piena contemporanea dei corsi d'acqua si considerano le seguenti condizioni:

- 1) Le condizioni al contorno in uscita del ramo 1D fanno riferimento al livello di piena con tr 50, 200 e 500 anni per la sezione di controllo posta a valle (ovvero l'ultima sezione del modello idraulico posta in corrispondenza della confluenza Po - Orco). A tale scopo è stata predisposta una simulazione preventiva di inizializzazione per ciascun tempo di ritorno allo scopo di determinare la relazione tra la portata in ingresso ed il corrispondente livello in uscita nell'ultima sezione di valle, secondo lo schema seguente:
 - inserimento della geometria della sezione che descrive l'alveo in corrispondenza della sezione in uscita;
 - attivazione della simulazione facendo coincidere il transito della portata al colmo con la massima quota raggiungibile dalla piena di riferimento tratta dal PGRA (es. tr 200). Il

passo temporale di restituzione viene impostato pari al *Time-step* di calcolo sulla base del rapporto tra l'ampiezza delle celle e la portata in transito (in questo caso pari a 20 minuti);

- dato l'idrogramma di ingresso, il modello numerico calcola il tempo di percorrenza nel tronco simulato ed i corrispondenti livelli idrometrici nella sezione di uscita. In pratica viene calcolata una scala dei livelli delle portate in corrispondenza della sezione di valle in rapporto alla portata entrante. Il calcolo viene effettuato mediante le *routines* di calcolo del modello numerico che considera l'applicazione delle equazioni di bilancio della quantità di moto e di conservazione della massa.

Il livello (variabile) così determinato risulta congruente sia con la scala delle portate che con la scala temporale imposta all'evento. A conclusione di questo processo, diventa possibile assegnare le condizioni al contorno in uscita sotto forma di livello variabile dipendente dalla portata in ingresso (la quota massima sarà pari al livello idrometrico tratto dal PGRA per l'evento di riferimento considerato).

- 2) Il settore di territorio adiacente al rilevato della SS. 11 è soggetto ad essere inondato dal rigurgito del Fiume Po a partire dai sottopassaggi del citato rilevato. Allo scopo di definire il campo di inondazione in tale settore la condizione al contorno in uscita è stata definita considerando la condizione più cautelativa che si verifica in caso di concomitanza tra l'evento di piena del Po e l'evento di piena della rete secondaria. In pratica, a partire dai valori idrometrici riportati nel PGRA, sono stati definiti i livelli idrometrici in corrispondenza delle posizioni di interesse, rappresentate dai sottopassaggi della ex S.S. 11 e dalle confluenze di T. Sturella e Gora del Molino con il Fiume Po (dettagli in 2.1.1). Ai fini della simulazione idraulica si impone che il livello idrometrico del Po in corrispondenza dei sottopassi in parola si mantenga costante per tutto l'evento (criterio cautelativo)

Con riferimento ai contenuti del par. 2.1.1, nella tabella seguente si richiamano le condizioni al contorno in uscita (la posizione dei sottopassi è richiamata in Figura 2-8):

| Localizzazione | Livello idrometrico | | |
|----------------------|---------------------|------------|------------|
| | Tr 50 | Tr 200 | Tr 500 |
| | [m s.l.m.] | [m s.l.m.] | [m s.l.m.] |
| Sottopasso Sturella | 185.64 | 186.32 | 186.55 |
| Sottopasso 1 | 185.14 | 185.82 | 186.06 |
| Sottopasso 2 | 184.08 | 184.73 | 184.95 |
| Sottopasso 3 | 183.12 | 183.61 | 183.78 |
| Confluenza Gora - Po | 182.66 | 183.10 | 183.30 |
| Confluenza Po-Orco | 181.36 | 182.03 | 182.35 |

In sintesi le condizioni al contorno in uscita considerano quanto segue:

- si ipotizza la piena contemporanea di tutti i corsi d'acqua;
- nella sezione di controllo posta a valle (in corrispondenza della confluenza Po – Orco) viene assegnata la scala dei livelli idrometrici correlata alla portata in ingresso a partire dai valori indicati nel PGRA per le piene di riferimento con tr 50, 200 e 500 anni;
- in corrispondenza dei sottopassi della SS. 11 che mettono in comunicazione il Fiume Po con i settori retrostanti, viene assegnato il livello idrometrico del Po indicato nel PGRA per le piene di riferimento con tr 50, 200 e 500 anni (livello costante per l'intera durata dell'evento).

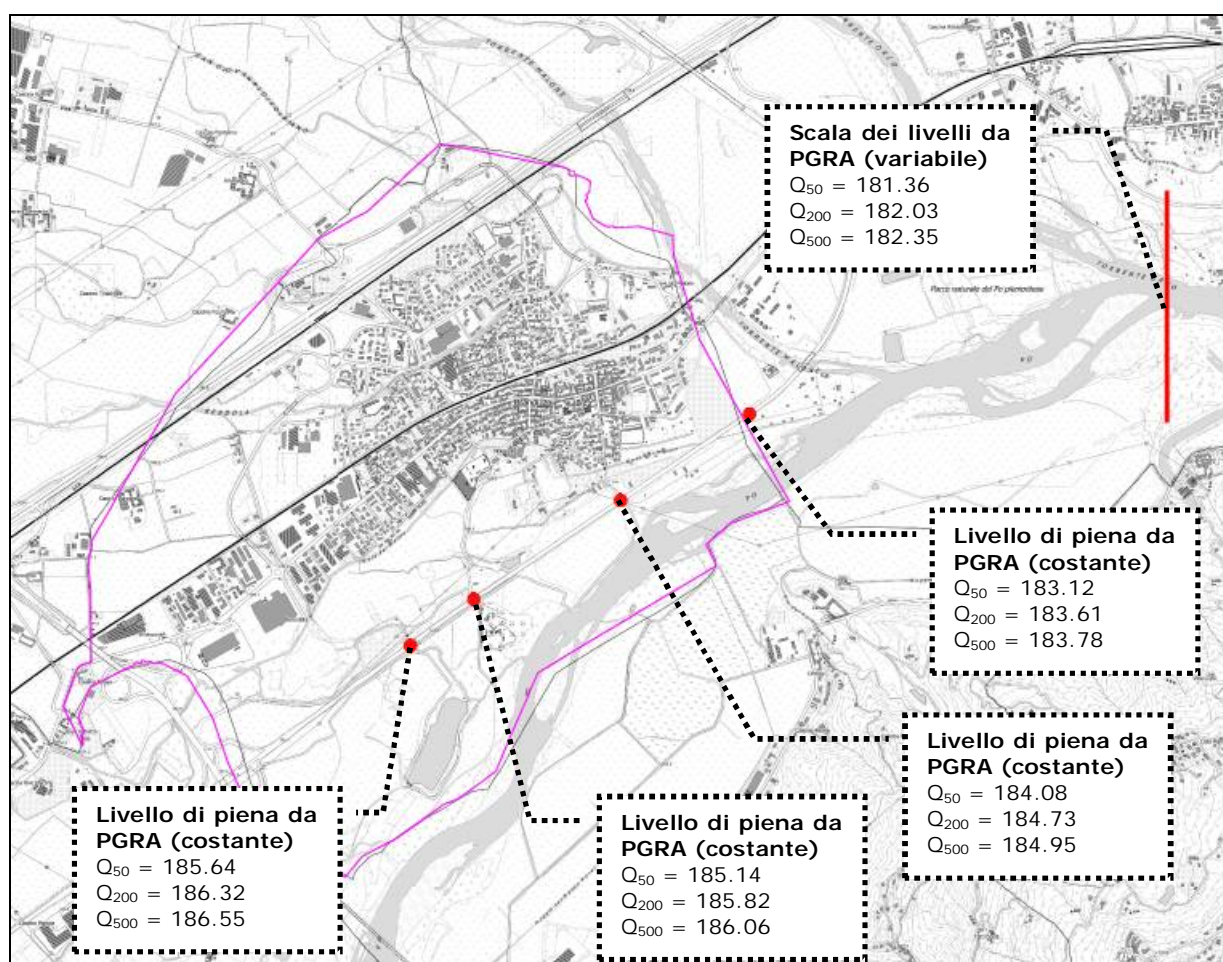


Figura 3-4. Sintesi delle condizioni al contorno in uscita impiegate per la modellazione idraulica.

3.4 I modelli idraulici predisposti

L'analisi idraulica è finalizzata alla definizione del campo di inondazione e delle grandezze idrauliche (profondità e velocità della corrente) in condizioni di piena con tr 50, 200 e 500 anni con particolare riferimento a:

- evoluzione della sommersione del piano campagna;
- definizione delle caratteristiche della corrente (direzione prevalente, profondità e velocità);
- definizione del campo di inondazione

L'analisi delle criticità idrauliche del territorio comunale di Brandizzo descritte nei paragrafi precedenti, mostra che il funzionamento idraulico della rete idrografica minore è influenzato dai complessi rapporti di causa-effetto del sistema di confluenze con la rete principale. In particolare si osserva quanto segue:

- 1) Nell'ambito del territorio posto a Sud della linea ferroviaria, il settore compreso tra il rilevato della S.S. 11 e la Gora del Molino è soggetto ad essere inondato, sia dalle acque circolanti nella rete idrografica secondaria (Bealera Nuova, T. Sturella e canale scolmatore del T. Bendola) che possono essere rigurgitate dal Po in piena, sia dallo stesso Fiume Po in quanto, a partire dai sottopassaggi della S.S. 11, risulta in comunicazione diretta con il settore di interesse che, in alcune porzioni, risulta più depresso rispetto alla quota raggiungibile dalla piena (riferimenti in Figura 2-3 e in Figura 2-7).
- 2) Nell'ambito del territorio posto a Nord della linea ferroviaria, il settore compreso tra il nodo idraulico "Prati magri" (origine del Malonetto) e la confluenza Bendola – Malone è soggetto ad essere inondato sia da esondazioni che si possono originare direttamente dalla rete idrografica minore (Malonetto e Bendola), sia dalle acque provenienti direttamente dalla sponda destra del T. Malone che, incanalandosi nell'attraversamento dell'Autostrada A4 (riferimenti in Figura 2-25), si aggiungono al contributo del Malonetto e del Bendola aggravando le condizioni di allagamento a valle della A4 Torino-Milano.

In ragione di quanto esposto, in considerazione delle peculiarità del territorio indagato, dal punto di vista operativo si procederà con l'allestimento di due distinti modelli idraulici:

- Modello idraulico della parte Sud per la modellazione del settore compreso tra la linea ferroviaria ed il rilevato della SS. 11;
- Modello idraulico della parte Nord per la modellazione del settore compreso tra il settore confinante del Comune di Volpiano e la linea ferroviaria.

3.4.1 MODELLO IDRAULICO PARTE SUD

Il modello idraulico realizzato per la modellazione del settore compreso tra la linea ferroviaria ed il rilevato della SS. 11 (parte Sud) è stato realizzato considerando quanto segue (riferimenti in Figura 3-5):

- 1) La superficie di interesse è rappresentata mediante DTM comprendente circa 80 000 celle quadrate con risoluzione pari a 10 x 10 metri (Modulo 2D).
- 2) Gli alvei della rete idrografica minore sono rappresentati mediante una serie di sezioni trasversali (*cross section nodes*) poste in posizioni ritenute significative (Modulo 1D). Le sezioni sono state estrapolate dal DTM con software topografici.
- 3) Le condizioni al contorno in ingresso fanno riferimento agli idrogrammi con tr 50, 20 e 50 anni dei seguenti corsi d'acqua:
 - Bealera Nuova;
 - Gora del Molino;
 - T. Sturella;
 - Canale scolmatore del T. Bendola.
- 4) Le condizioni al contorno in uscita fanno riferimento ai livelli idrometrici, calcolati a partire dai valori del PGRA, nelle seguenti posizioni:
 - in corrispondenza dei sottopassi della SS. 11 che mettono in comunicazione il Fiume Po con i settori retrostanti;
 - in corrispondenza della confluenza Po – Sturella;
 - in corrispondenza della confluenza Po – Gora del Molino.

In considerazione del fatto che alcune porzioni del settore a tergo della SS. 11 risultano più depresse rispetto alla quota raggiungibile dalla piena, in tali settori si configura una condizione di rigurgito proveniente dal Po.

COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

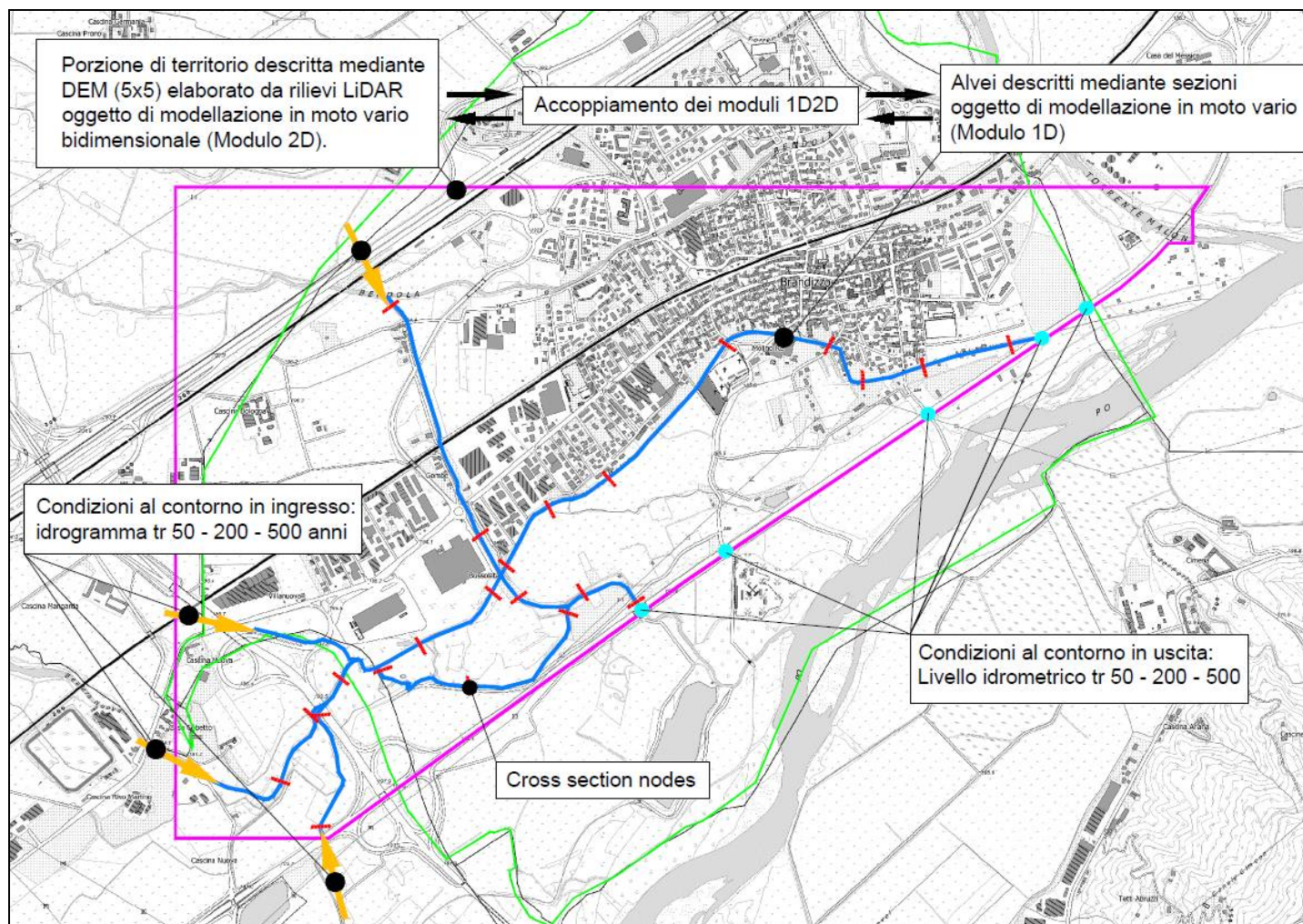


Figura 3-5. Schema logico impiegato per l'allestimento del modello idraulico: in arancione la posizione degli ingressi nel modello, in azzurro la posizione delle uscite, in magenta la porzione descritta mediante DTM (2D) che rappresenta anche il limite fisico del modello idraulico, in blu gli alvei descritti mediante sezioni (1D), in rosso la posizione delle sezioni inserite nel modulo 1D, in verde il limite comunale.

3.4.2 MODELLO IDRAULICO PARTE NORD

Il modello idraulico realizzato per la modellazione del settore compreso tra il settore confinante del Comune di Volpiano e la linea ferroviaria (parte Nord) è stato realizzato considerando quanto segue (riferimenti in Figura 3-6):

- 1) La superficie di interesse è rappresentata mediante DTM comprendente circa 150 000 celle quadrate con risoluzione pari a 10 x 10 metri (Modulo 2D).
- 2) Gli alvei della rete idrografica minore sono rappresentati mediante una serie di sezioni trasversali (*cross section nodes*) poste in posizioni ritenute significative (Modulo 1D). Le sezioni sono state estrapolate dal DTM con software topografici.
- 3) L'alveo del T. Malone è stato descritto mediante le sezioni trasversali impiegate nell'ambito dello studio *"SP1.4 (2004) Studio sul reticolo minore naturale ed artificiale"*.
- 4) Le condizioni al contorno in ingresso fanno riferimento agli idrogrammi con tr 50, 20 e 50 anni dei seguenti corsi d'acqua:
 - T. Malone;
 - Rio San Giovanni;
 - T. Bendola;
 - Bendoletta;
 - Bealera 2.
- 5) Le condizioni al contorno in uscita fanno riferimento alla scala dei livelli idrometrici, calcolati a partire dai valori del PGRA, nella sezione di controllo posta a valle in corrispondenza della confluenza Po – Orco (sezione 99552 del PGRA).

Allo scopo di verificare la validità del modello idraulico, i risultati della modellazione sono stati confrontati con i contenuti del PAI-PGRA.

Il confronto tra il profilo idrometrico definito con modellazione 1D+2D ed il profilo idrometrico allagato al PAI-PGRA mostra che i risultati sono congruenti (riferimenti in Figura 3-7 e Tabella 3-2).

In ragione di quanto esposto si ritiene che il modello idraulico realizzato possa essere utilmente impiegato per la definizione del campo di inondazione.

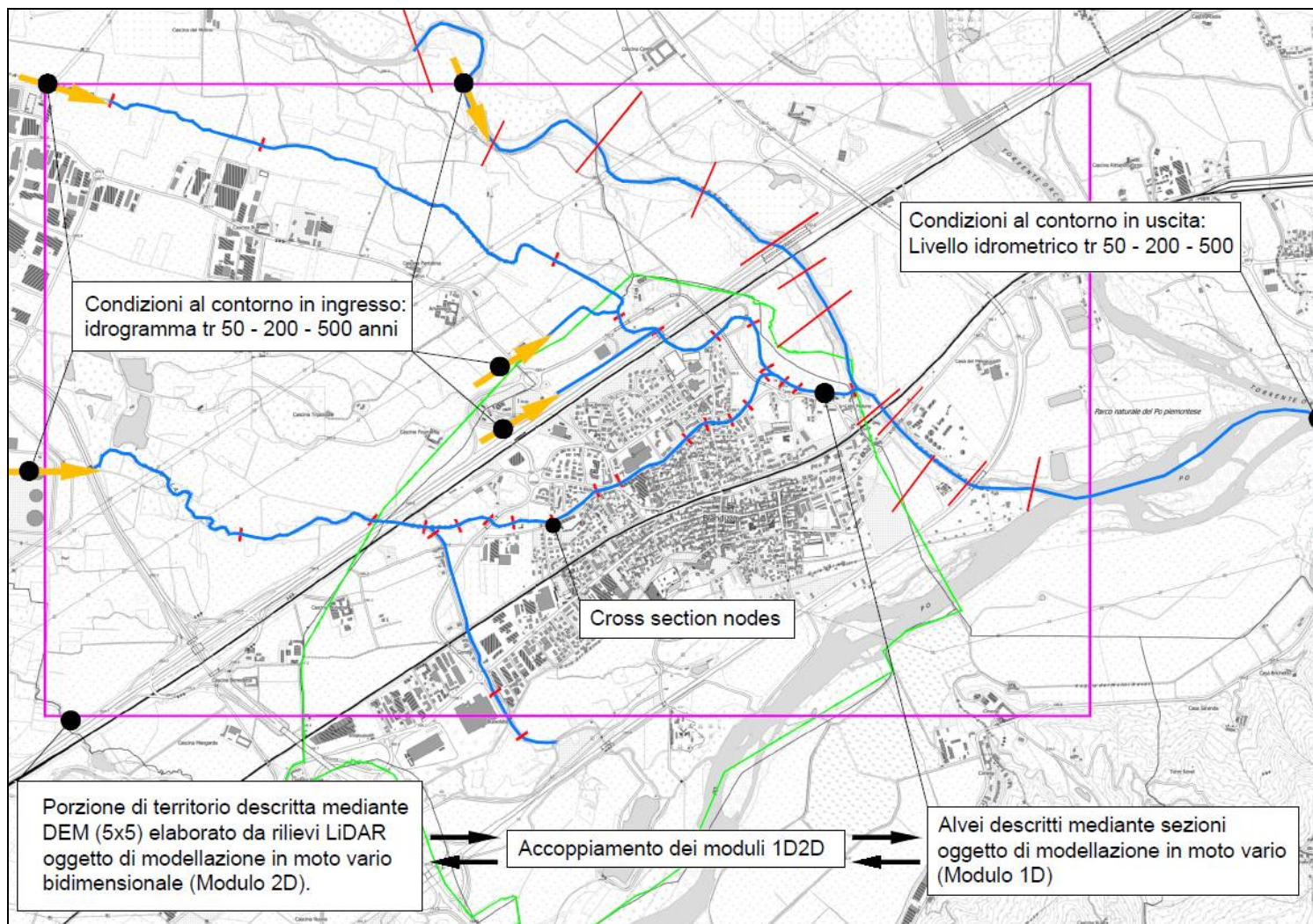


Figura 3-6. Schema logico impiegato per l'allestimento del modello idraulico: in arancione la posizione degli ingressi nel modello, in azzurro la posizione delle uscite, in magenta la porzione descritta mediante DTM (2D) che rappresenta anche il limite fisico del modello idraulico, in blu gli alvei descritti mediante sezioni (1D), in rosso la posizione delle sezioni inserite nel modulo 1D, in verde il limite comunale.

COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

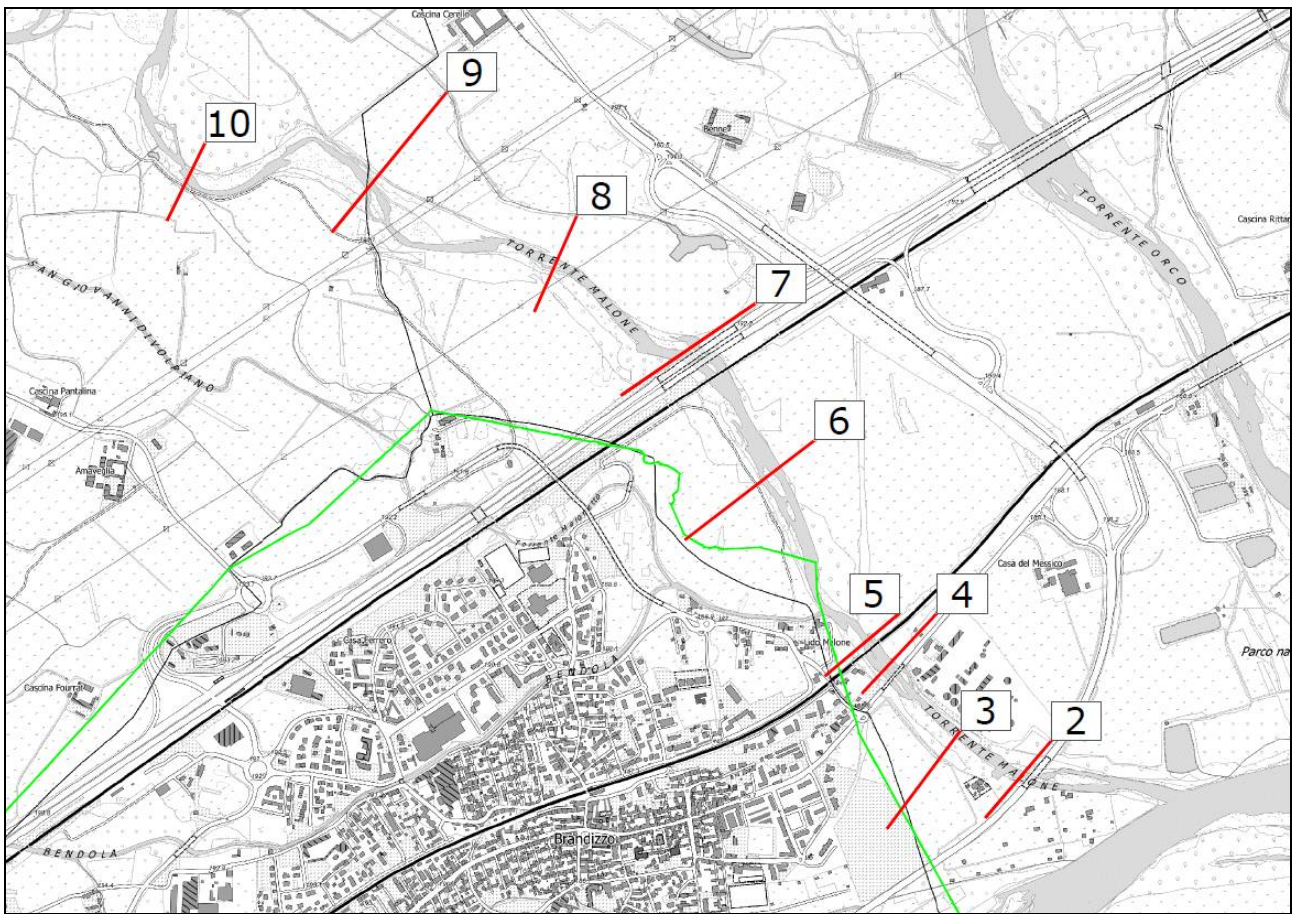


Figura 3-7. Planimetria delle sezioni di interesse (in verde il limite comunale).

Tabella 3-2. Confronto tra il profilo idrometrico con tr 200 anni ottenuto con modellazione 1D+2D e quello del PAI-PGRA ("Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale" - Tab 5.37).

| Sezione | Punto di controllo | PGRA (Tr 200) | Modello idraulico 1D+2D | Differenza |
|----------|--------------------|---------------|-------------------------|------------|
| [ID PAI] | [ID Sobek] | [m s.l.m.] | [m s.l.m.] | [m] |
| 10 | 17 | 192.68 | 192.37 | -0.31 |
| 9 | 18 | 190.89 | 190.49 | -0.40 |
| 8 | 19 | 189.23 | 188.73 | -0.50 |
| 7 | 20 | 187.92 | 187.27 | -0.65 |
| 6 | 22 | 186.18 | 186.28 | 0.10 |
| 5 | 25 | 185.02 | 185.09 | 0.07 |
| 4 | 26 | 184.93 | 185.01 | 0.08 |
| 3 | 29 | 183.8 | 183.73 | -0.07 |
| 2 | 30 | 183.22 | 183.26 | 0.04 |

3.5 Risultati

L'analisi idraulica è finalizzata alla definizione del campo di inondazione e delle grandezze idrauliche (profondità e velocità della corrente) in condizioni di piena con tr 50, 200 e 500 anni allo scopo di allineare il quadro dei dissesti agli ambiti di pericolosità definiti dal Piano di Gestione Rischio di Alluvione (PGRA).

I risultati sono esposti in apposite mappe in cui sono cartografati, nei settori coinvolti, i massimi valori di profondità della corrente e la direzione prevalente sul piano campagna:

- Evento con tr 50 anni: Elaborato AT5 - 3.
- Evento con tr 200 anni: Elaborato AT5 - 4.
- Evento con tr 500 anni: Elaborato AT5 - 5.

Ai fini della corretta interpretazione dei risultati esposti si precisa quanto segue:

- I risultati sintetizzati negli elaborati citati, rappresentano il massimo valore calcolato di profondità/velocità per ciascuna cella di calcolo nel corso dell'intero evento esaminato (ovvero il transito dell'onda di piena con tr 50 e 200 anni). La cartografia pertanto rappresenta l'involuppo della condizione peggiore in tutte le aree coinvolte nel corso dell'evento.
- La base altimetrica fa riferimento alla piano quotato derivante dal trattamento dei dati topografici (par. 3.2). I dati di profondità e quota idrometrica sono rigorosamente riferiti al DTM. Si evidenzia che la ridefinizione delle celle del DTM a dimensioni superiori (es. 10x10 a partire dall'originario 5x5 o 1x1), porta ad un peggioramento della tolleranza piano-altimetrica rispetto all'informazione originale.
- La profondità della corrente viene espressa per ognuna delle singole celle che costituiscono la base geometrica della simulazione (80 000 per la parte Sud; 150 000 per la parte Nord). L'output fornito rappresenta il valore medio per l'area rappresentata e non un valore puntuale ed è rappresentato in dipendenza dell'ampiezza delle classi e del loro numero (es. se le classi sono definite come 0.2–0.3 e 0.3–0.4 il valore di 0.32 m verrà segnalato con il valore superiore della classe di appartenenza).
- Il modello idraulico impiegato utilizza una rappresentazione del terreno mediante celle quadrate. Il moto è determinato mediante la conservazione della massa in ciascuna cella in funzione delle caratteristiche altimetriche ed idrauliche delle celle adiacenti. Pertanto non vale più la schematizzazione secondo cui area bagnata e pelo libero sono individuabili su di un piano ortogonale al vettore velocità media nella sezione. In definitiva la modellazione bidimensionale si presta a fornire l'indicazione di profondità e velocità nelle celle in cui viene schematizzato il piano campagna ma non è ottimizzata per fornire una rappresentazione "per sezioni" (poiché, nella realtà, in una sezione il pelo libero non è quasi mai orizzontale).

- Nelle tavole viene riportato il campo di inondazione per ciascun tempo di ritorno. Si precisa che tale campo di inondazione è stato delimitato perimetrando il limite esterno delle aree coinvolte così come definito dalla modellazione idraulica. Si precisa che, ai fini dell'effettiva delimitazione delle aree a diversa pericolosità idraulica, tale limite dovrebbe essere esteso fino al limite "morfologico" di entità superiore alla tolleranza del rilievo topografico in ragione delle singolarità riscontrate. Tale ragionamento trova piena attuazione nell'ambito dei criteri tecnici per la definizione delle aree in dissesto riferiti nella citata DGR 7 aprile 2014 n. 64-7417 in cui si evidenzia che *"la determinazione delle aree in dissesto [...] anche in presenza di uno studio idraulico approfondito, non dovrà essere effettuata tramite una mera trasposizione delle aree di esondazione definite mediante la modellizzazione idraulica, ma dovrà risultare dall'integrazione di queste con le risultanze scaturenti anche dall'analisi geomorfologica"*.

I risultati evidenziano quanto segue:

- 1) **Settore Sud** (compreso tra la linea ferroviaria ed il rilevato della SS. 11). Come già osservato in precedenza si evidenzia che il settore compreso tra il rilevato della S.S. 11 e la Gora del Molino è soggetto ad essere inondato, sia dalle acque circolanti nella rete idrografica secondaria (Bealera Nuova, T. Sturella e canale scolmatore del T. Bendola), sia dallo stesso Fiume Po in quanto, a partire dai sottopassaggi della S.S. 11, risulta in comunicazione diretta con il settore di interesse che, in alcune porzioni, risulta più depresso rispetto alla quota raggiungibile dalla piena (riferimenti in Figura 3-8).
- 1.1 **Criticità connesse alla rete idrografica minore.** Allo stato attuale gran parte della rete idrografica di tale settore non è adeguata al convogliamento delle portate di progetto. Nel settore in parola si evidenziano le seguenti criticità idrauliche:
 - Allagamenti connessi direttamente agli straripamenti della rete idrografica secondaria (Bealera Nuova, T. Sturella) già a partire dai settori in comune di Settimo.
 - Gli apporti del canale scolmatore del T. Bendola (che confluisce nella Sturella in questo settore) aggravano le condizioni di convogliamento. Gli interventi di mitigazione realizzati allo scopo di contenere i livelli della piena con Tr 200 anni risultano adeguati.
 - In merito alla Gora del Molino si osserva che il tronco posto a valle dell'attraversamento del canale scolmatore del T. Bendola (scatolare in c.a di dimensioni pari a 4 x 1.75 m in grado di convogliare una portata pari a circa 10-15 m³/s) risulta sufficiente al convogliamento della portata in arrivo in quanto limitata dal manufatto in parola. Si osserva che localmente potrebbero comunque verificarsi allagamenti in caso di occlusioni che si possono manifestare

in corrispondenza dei manufatti di attraversamento o in caso di mancata manutenzione. In ragione del fatto che la Gora del Molino è posta al piede del terrazzo, gli eventuali allagamenti potranno interessare solo i settori posti in destra idrografica.

- Si sottolinea pertanto che, tra gli interventi che saranno inseriti nel Cronoprogramma, occorre prevedere un piano di manutenzione della rete idrografica che assicuri l'esecuzione di opportuni ed adeguati lavori di manutenzione ordinaria e straordinaria dell'alveo e degli attraversamenti, allo scopo di non aggravare le condizioni di inondabilità delle aree circostanti.

1.2 Criticità connesse al Fiume Po. Per il settore in parola si evidenzia quanto segue:

- In caso di piena con tr 200 e 500 anni si evidenziano allagamenti connessi direttamente al rigurgito del Fiume Po attraverso i sottopassi della S.S. 11. In pratica le porzioni più depresse del piano campagna, rispetto al livello idrometrico del Fiume Po, vengono interessate per rigurgito a partire dai sottopassi in parola.
- I rilevati arginali presenti nel settore a tergo della SS. 11 risultano adeguati al contenimento della piena con tr 200 anni.
- Nel settore di territorio posto più a valle, gli allagamenti causati dal rigurgito del Po si spingono a lambire Via Alba – Via Chivasso fino al limite dello Scenario M indicato nel PGRA.

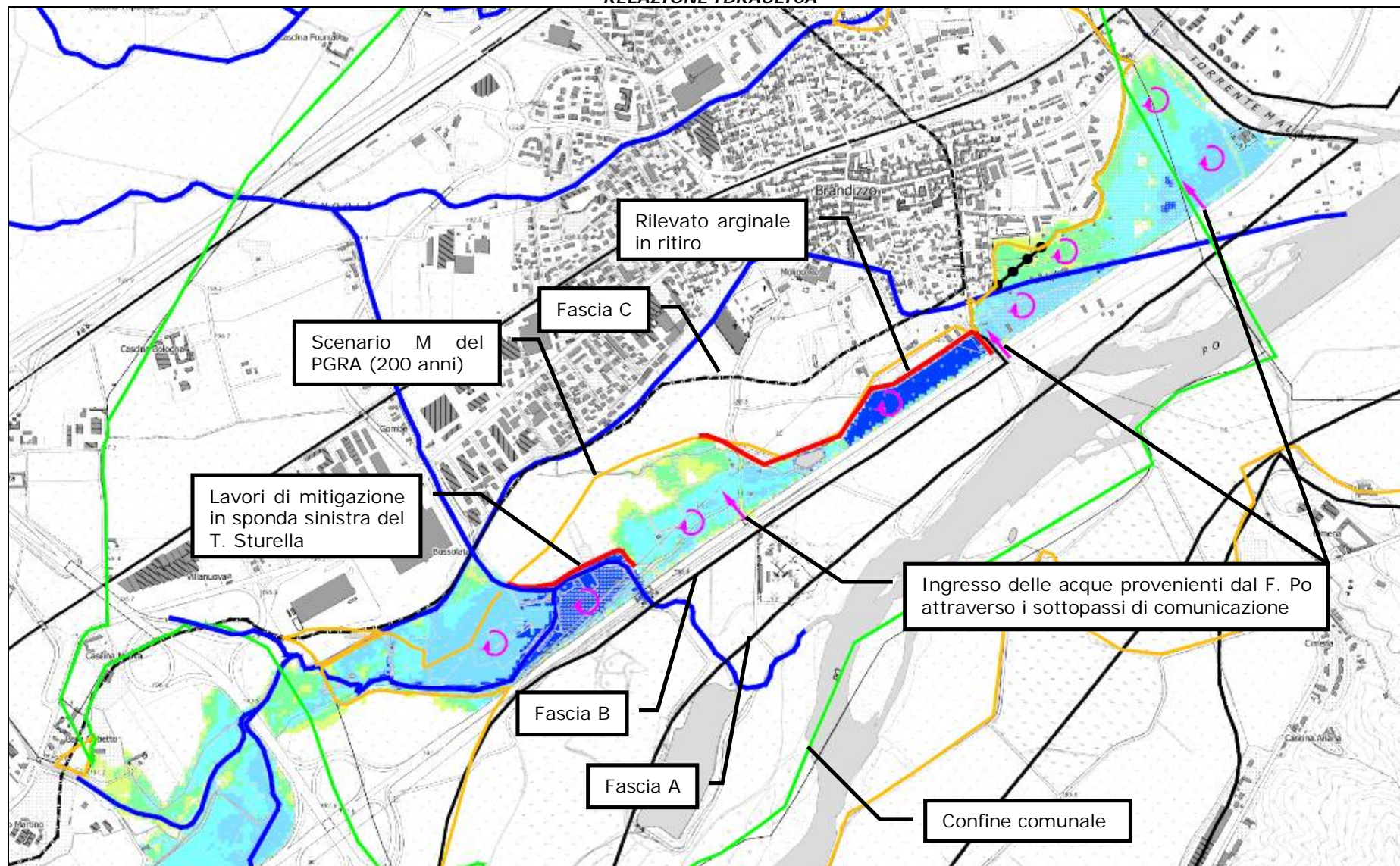


Figura 3-8. Rappresentazione dei risultati ricavati dalla modellazione idraulica per la piena con tr 200 anni (estratto per il Settore Sud).
Dettagli in Elaborato AT5 - 3, Elaborato AT5 - 4 ed Elaborato AT5 - 5.

2) **Settore Nord** (compreso tra il settore confinante del Comune di Volpiano e la linea ferroviaria). In linea generale, gli alvei della rete idrografica minore risultano insufficienti al convogliamento delle portate di progetto già a partire dalle sezioni di monte. Le acque fuoriuscite dagli alvei della rete idrografica minore nel settore confinante del Comune di Volpiano, generano allagamenti che si propagano verso valle sotto forma di una lama d'acqua. In occasione degli eventi più gravosi si osserva l'allagamento del piano campagna a monte dell'Autostrada Torino-Milano. Risultano di particolare rilevanza gli inconvenienti che si registrano in prossimità dei terreni circostanti la Cascina in Località Prati Magri. Le acque sono in grado di superare il rilevato autostradale in corrispondenza degli attraversamenti della viabilità o della rete idrografica e interessare alcuni settori posti a valle del rilevato in parola. In particolare si osserva che il settore compreso tra il nodo idraulico "Prati magri" (in cui confluiscono il Rio San Giovanni e le bealere che danno origine al Malonetto) e la confluenza Bendola – Malone è soggetto ad essere inondato sia da esondazioni che si possono originare direttamente dalla rete idrografica minore (Malonetto e Bendola), sia dalle acque provenienti direttamente dalla sponda destra del T. Malone che, incanalandosi nell'attraversamento dell'Autostrada A4 (riferimenti in Figura 2-25), si aggiungono al contributo del Malonetto e del Bendola aggravando le condizioni di allagamento a valle della A4 Torino-Milano.

2.1 **Criticità connesse al T. Bendola.** In generale l'alveo risulta insufficiente al convogliamento delle portate di progetto, già a partire dal tronco a monte dell'ingresso in territorio di Brandizzo. In pratica si osserva quanto segue:

- Il tronco a monte del territorio di Brandizzo è in grado di convogliare una portata pari a circa 80-90 m³/s, a fronte di una portata di progetto pari a 102 (tr 50), 115 (tr 200) e 140 (tr 500) m³/s; in pratica gli allagamenti si concretizzano già a partire dalle sezioni di monte in territorio di Volpiano. In tali settori hanno origine allagamenti che si propagano verso valle sotto forma di una lama d'acqua che percorre il piano campagna con caratteristiche che dipendono dalla topografia e dai particolari locali (riferimenti in Figura 3-9).
- All'altezza dell'attraversamento dell'autostrada A4 Torino – Milano, si valuta che la massima portata convogliabile verso il concentrico sia pari a circa 75-80 m³/s. La portata eccedente la capacità di convogliamento dell'attraversamento andrà ad interessare il piano campagna a monte del rilevato autostradale. Tali acque si adagiano al rilevato autostradale, percorrendo il piano campagna verso Est e si aggiungono al contributo del Malonetto e del Malone (in caso di piena contemporanea) in prossimità dell'imbocco dell'attraversamento dell'autostrada A4, aggravando le condizioni di convogliamento del Malonetto (possono essere interessati alcuni settori posti a valle). Riferimenti in Figura 3-10.

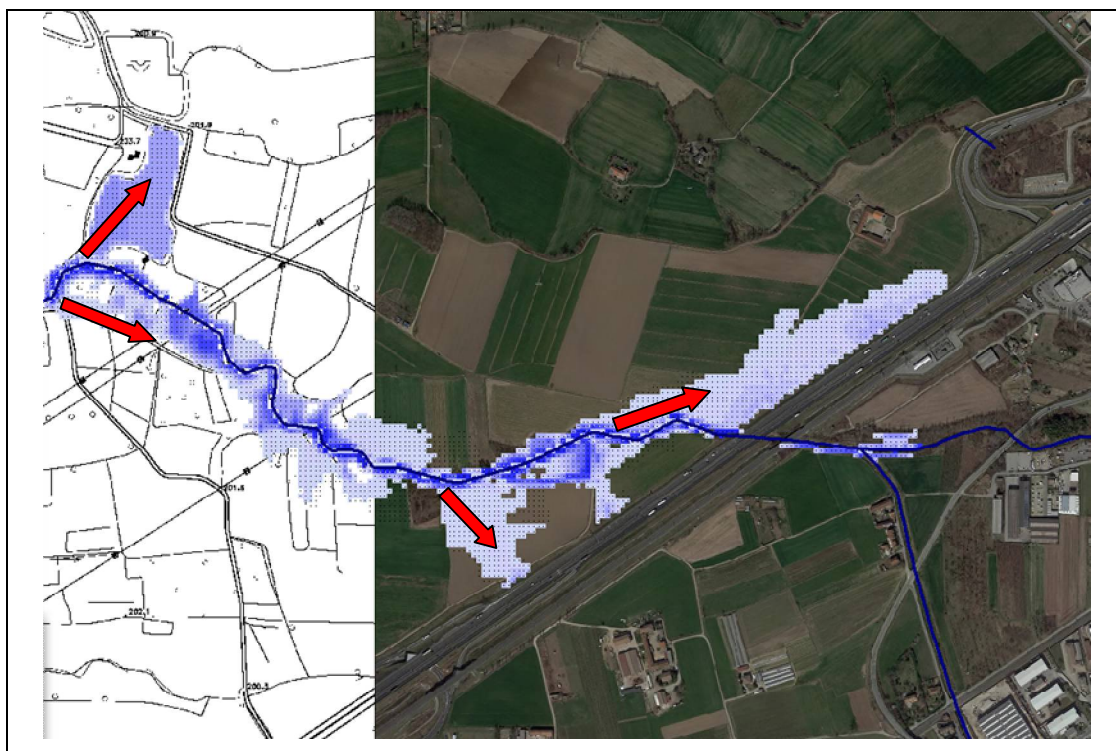


Figura 3-9. Estratto della modellazione idraulica 1D+2D (Tr 200 anni): rappresentazione dell'origine dei fenomeni di allagamento nel settore di monte (territorio di Volpiano).

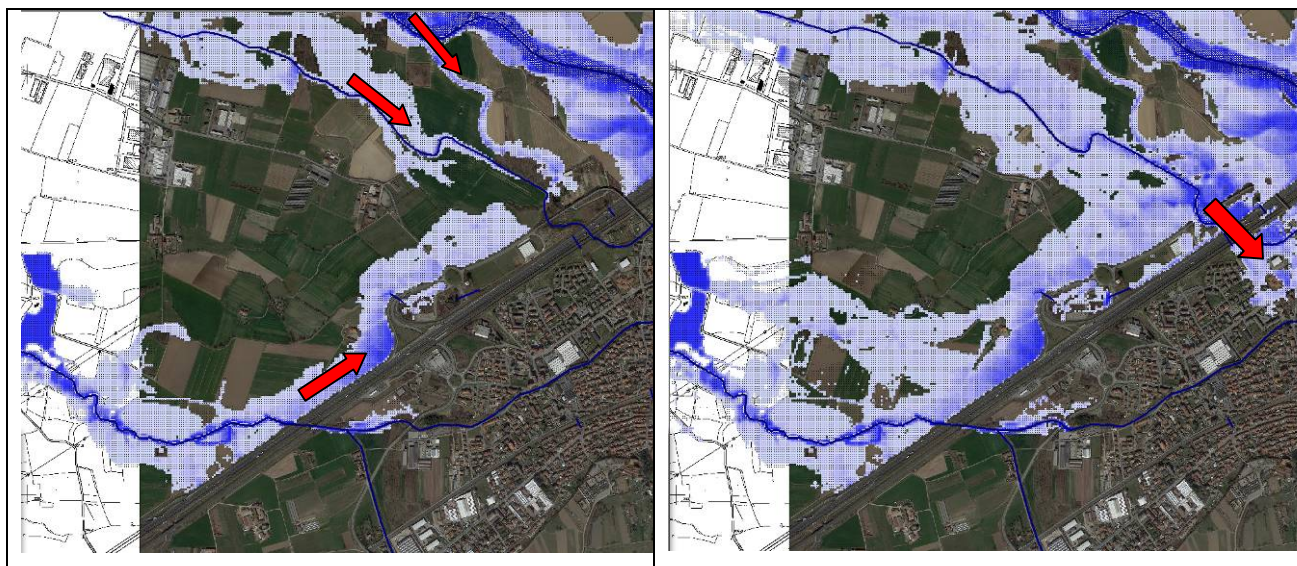


Figura 3-10. Estratto della modellazione idraulica 1D+2D (Tr 200 anni): rappresentazione dell'evoluzione degli allagamenti nel settore posto a monte del rilevato autostradale. Le acque provenienti dal Bendola si adagiano al rilevato autostradale, percorrendo il piano campagna verso Est e si aggiungono al contributo del Malonetto e del Malone (in caso di piena contemporanea) in prossimità dell'imbocco dell'attraversamento dell'autostrada A4, aggravando le condizioni di convogliamento del Malonetto (possono essere interessati alcuni settori posti a valle).

- Il canale scolmatore è in grado di convogliare un valore di portata pari a circa 100-110 m³/s (tale valore è superiore alla portata prevista nel progetto). Le valutazioni idrauliche indicano che lo scolmatore convoglia circa i 2/3 della portata in arrivo secondo lo schema riportato nella tabella seguente:

| Schema delle portate definito nel progetto del canale scolmatore | | | |
|---|-----------------|------------|-----------------|
| | Bendola a monte | Scolmatore | Bendola a valle |
| Tr 50 | 102 | 62 | 40 |
| Tr 200 | 115 | 75 | 40 |
| Tr 500 | 140 | 86 | 54 |
| Schema delle portate definito con modellazione idraulica | | | |
| | Bendola a monte | Scolmatore | Bendola a valle |
| Tr 50 | 75 | 50 | 25 |
| Tr 200 | 76 | 50 | 26 |
| Tr 500 | 80 | 52 | 28 |

- Il tronco del T. Bendola immediatamente a valle dello scolmatore è in grado di convogliare una portata pari a circa 25-30 m³/s (tale valore è inferiore alla portata di progetto che dovrebbe transitare in alveo secondo le previsioni del progetto del canale scolmatore). In sintesi la modellazione evidenzia quanto segue:
 - la massima portata convogliabile verso il concentrico attraverso l'attraversamento della A4 è pari a circa 75-80 m³/s;
 - il canale scolmatore (in grado di convogliare una portata massima pari a 100-110 m³/s) convoglia circa i 2/3 della portata in arrivo da monte per un valore pari a circa 50 m³/s;
 - Il tronco del T. Bendola immediatamente a valle dello scolmatore, è in grado di convogliare una portata pari a circa 25-30 m³/s. Localmente, in questo settore, alcune sezioni d'alveo risultano debolmente insufficienti al convogliamento di tali valori di portata (il tronco posto più a valle è in grado di convogliare valori di portata superiori)
 - In pratica, allo stato attuale, gli allagamenti nel tratto cittadino del T. Bendola sono localizzati nel settore posto a monte dell'attraversamento di Strada Monviso.
- Si sottolinea pertanto che, tra gli interventi che saranno inseriti nel Cronoprogramma, occorre prevedere il completamento della ricalibratura delle sezioni del tronco a valle dello scolmatore, allo scopo di adeguare le sezioni al transito della portata di progetto pari a 40 m³/s originariamente previsto nell'ambito del progetto del canale scolmatore (allo stato attuale i progetti per la ricalibratura e difesa spondale non sono stati pienamente realizzati).

2.2 **Criticità connesse al Rio San Giovanni (Malonetto).** In generale l'alveo risulta insufficiente al convogliamento delle portate di progetto, già a partire dal tronco a monte dell'ingresso in territorio di Brandizzo. In pratica si osserva quanto segue:

- Il tronco a monte del territorio di Brandizzo è in grado di convogliare una portata pari a circa 10-25 m³/s, a fronte di una portata di progetto pari a 33.1 (tr 50), 44.9 (tr 200) e 52.6 (tr 500) m³/s; in pratica gli allagamenti si concretizzano già a partire dalle sezioni di monte. In tali settori hanno origine allagamenti che si propagano verso valle sotto forma di una lama d'acqua che percorre il piano campagna con caratteristiche che dipendono dalla topografia e dai particolari locali (riferimenti in Figura 3-11).

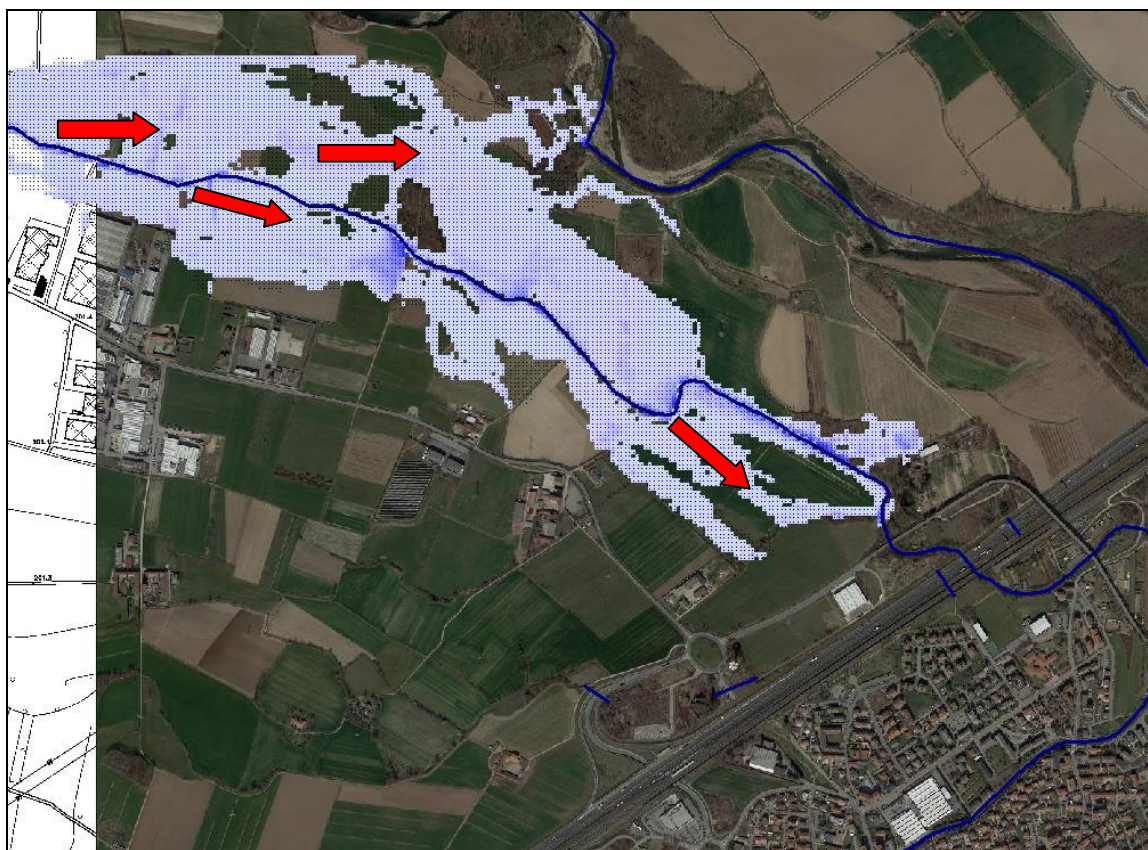
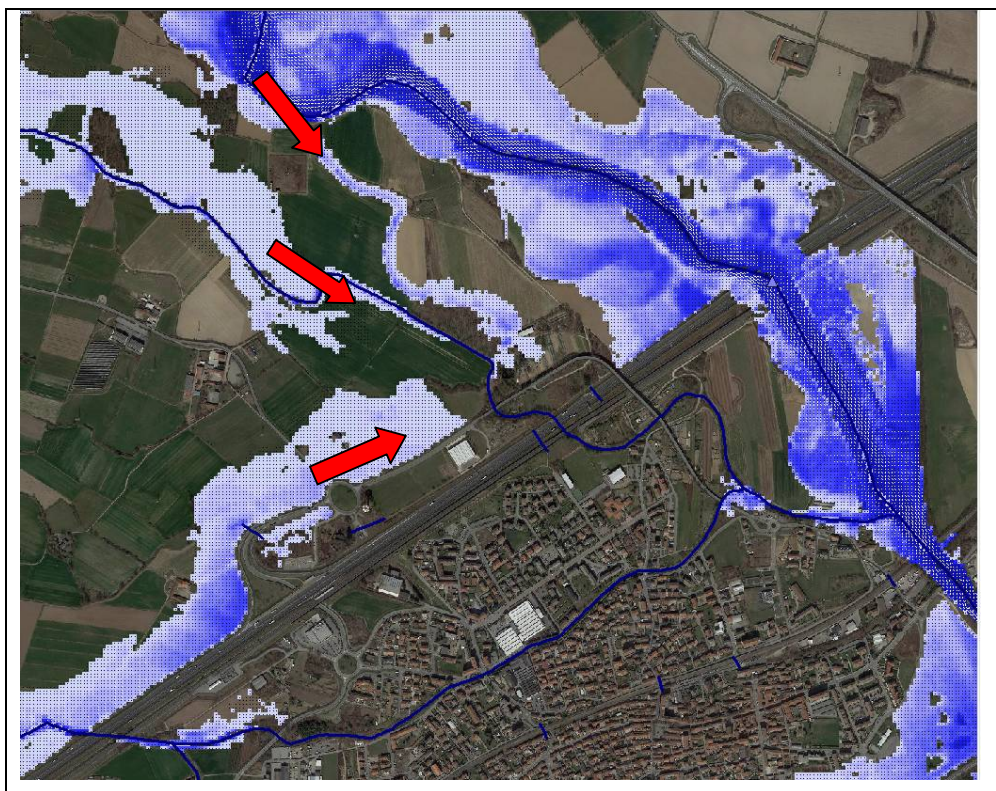


Figura 3-11. Estratto della modellazione idraulica 1D+2D (Tr 200 anni): rappresentazione dell'origine dei fenomeni di allagamento nel settore di monte (territorio di Volpiano). Si specifica che l'immagine si riferisce ad una simulazione in cui è stato inserito solo il contributo del Rio San Giovanni (Malonetto) allo scopo di isolarne gli effetti rispetto alle altre componenti (Bendola e Malone).

- All'altezza del nodo idraulico "Prati magri", si aggiungono le acque provenienti dai fossi e dal piano campagna circostante (laddove allagato), aggravando le condizioni di convogliamento.

- Si valuta che, tra l'attraversamento dell'autostrada A4 Torino – Milano e l'attraversamento della linea ferroviaria ad alta velocità, la massima portata convogliabile in alveo è pari a circa 35-40 m³/s a fronte di una portata di progetto pari a 42.5 (tr 50), 54.6 (tr 200) e 62.5 (tr 500) m³/s. In pratica la porzione di portata eccedente la capacità di convogliamento dell'alveo andrà ad interessare le sponde incanalandosi sul piano campagna (le condizioni di convogliamento possono essere aggravate dal contributo delle acque provenienti dal Bendola e dal Malone in caso di piene contemporanee). I settori posti a valle possono essere interessati dalle acque provenienti dagli attraversamenti in parola e da quelle che possono imboccare un sottopasso posto nelle vicinanze. Riferimenti in Figura 3-12.



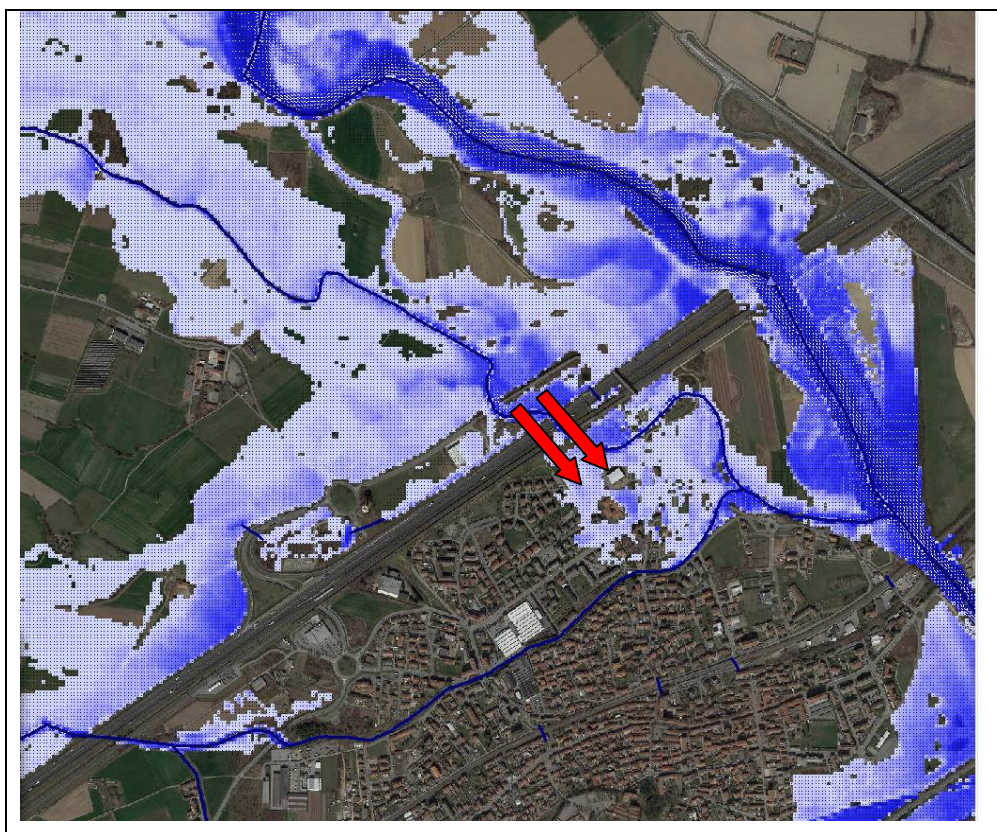


Figura 3-12. Estratto della modellazione idraulica 1D+2D (Tr 200 anni): rappresentazione dell'evoluzione degli allagamenti nel settore posto a monte del rilevato autostradale. In corrispondenza dell'attraversamento dell'autostrada convergono le acque provenienti dal Bendola, dal Rio San Giovanni e dal Malone (in caso di piena contemporanea) aggravando le condizioni di convogliamento. I settori posti a valle possono essere interessati a partire dagli attraversamenti.

2.3 Criticità connesse al T. Malone. Per il settore di interesse si evidenzia quanto segue:

- Nel tronco a monte del territorio di Brandizzo la modellazione idraulica indica l'allagamento del piano campagna in corrispondenza dei settori in cui il PAI individua le aree inondabili in assenza di realizzazione del limite B di progetto (riferimenti in Figura 3-13).
- Le acque del T. Malone si incanalano sul piano campagna fino a giungere all'attraversamento del T. Malonetto posto in corrispondenza dell'autostrada aggravandone le condizioni di convogliamento.
- Nel tronco cittadino la modellazione idraulica indica il coinvolgimento del settore posto a tergo di Via Lido Malone solo in caso di piena con tr 500 anni (riferimenti in Figura 3-14).

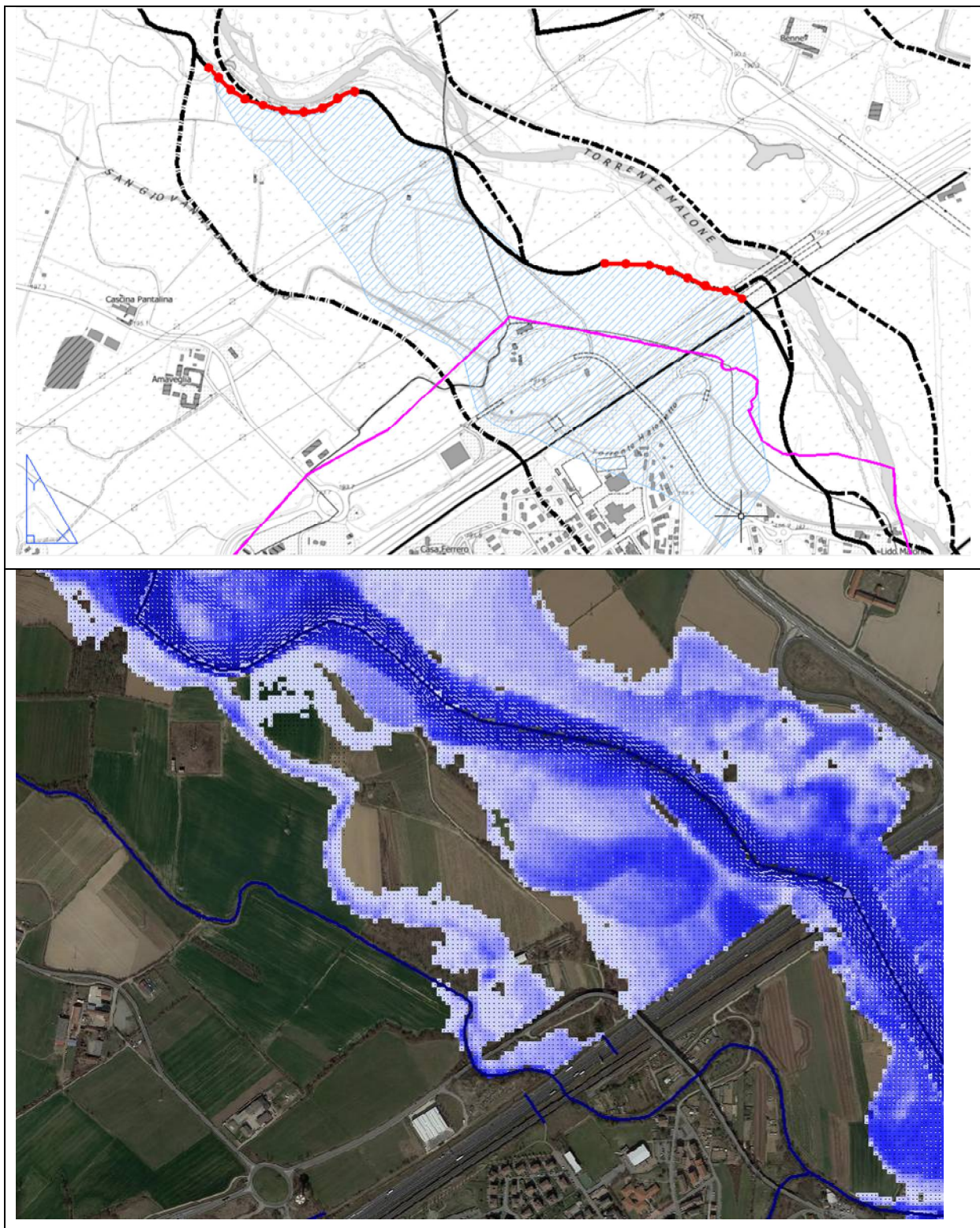


Figura 3-13. Confronto tra le aree inondabili in assenza di realizzazione del limite B di progetto definite nell'ambito del PAI (evidenziato con linea rossa) e i risultati della modellazione idraulica per la piena con tr 200 anni. Si specifica che l'immagine si riferisce ad una simulazione in cui è stato inserito solo il contributo del Malone allo scopo di isolarne gli effetti rispetto alle altre componenti (Bendola e Malonetto).

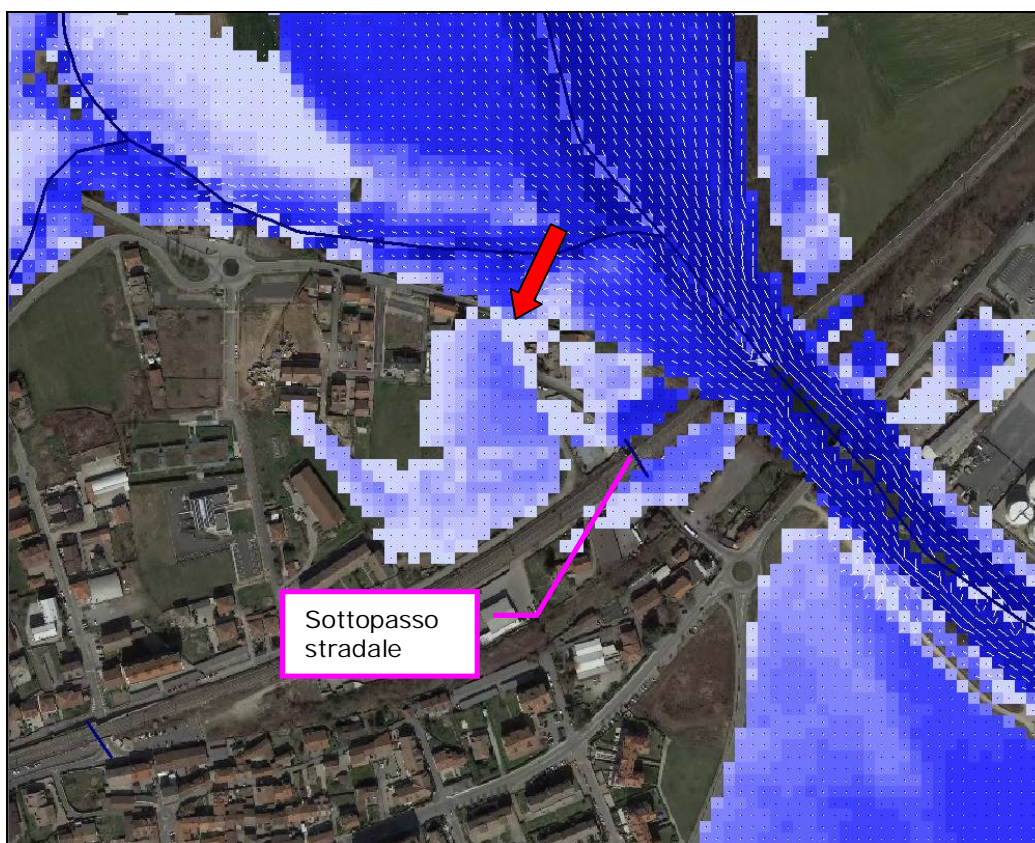


Figura 3-14. Rappresentazione del settore a tergo di Via Lido Malone interessata in caso di piena con Tr 500 anni.

2.4 **Criticità connesse al tratto cittadino del T. Malonetto.** Per il settore in parola si evidenzia quanto segue:

- Il tronco di alveo compreso tra l'attraversamento della linea ferroviaria alta velocità e la confluenza con il T. Bendola è stato oggetto di ricalibratura (riferimenti in Figura 2-28) ed è in grado di convogliare una portata pari a circa 50-60 m³/s a fronte di una portata al colmo pari a 42.5 (tr 50), 54.6 (tr 200) e 62.5 (tr 500) m³/s.
- Le condizioni di convogliamento sono aggravate dagli apporti provenienti dal T. Malone e dal T. Bendola in caso di piene contemporanee. In pratica il settore in parola è interessato da allagamenti che si originano a monte dell'attraversamento dell'autostrada e che, in ragione della geometria delle superfici, non rientrano in alveo.
- Le condizioni di allagamento restituite dal modello idraulico risultano essere la somma degli effetti di tutti gli apporti considerati (T. Malone, T. Bendola, Rio san Giovanni, Bealere e fossi minori).

In Figura 3-15 si riporta una sintesi dei risultati ricavati dalla modellazione idraulica per il settore Nord.

COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

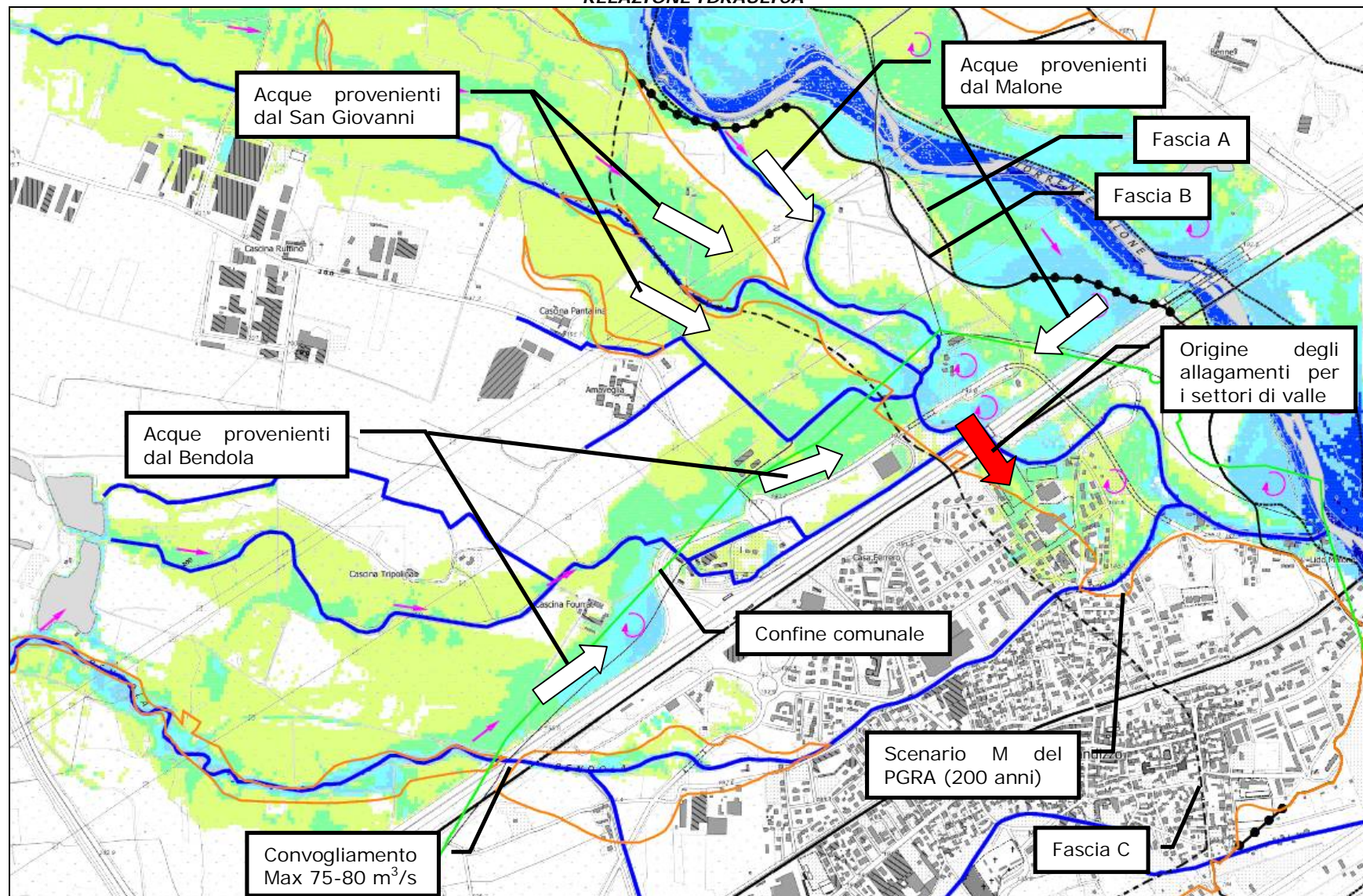


Figura 3-15. Rappresentazione dei risultati ricavati dalla modellazione idraulica per la piena con tr 200 anni (estratto per il Settore Nord).
 Dettagli in Elaborato AT5 - 3, Elaborato AT5 - 4 ed Elaborato AT5 - 5.

4 ELEMENTI PER LA RIDEFINIZIONE DELLA CARTA DELLA PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE

Le indagini idrauliche condotte hanno fornito alcuni elementi per la ridefinizione della Carta della pericolosità da alluvione allegata al PGRA.

Gli approfondimenti idraulici realizzati nell'ambito della presente Variante al Piano Regolatore, condotti secondo i criteri dell'analisi idraulica approfondita ai sensi della D.G.R. 64-7417 del 07/07/2014, hanno carattere di maggior dettaglio rispetto agli studi idraulici effettuati a supporto della Variante al P.R.G.C. vigente, sia in termini di rilievo topografico che di metodo di calcolo impiegato ⁽¹⁴⁾.

Tali elementi, illustrati nei paragrafi precedenti, vengono sintetizzati nel seguito.

4.1 Reticolo idrografico secondario

Si osserva che le aree a diversa probabilità di esondazione del reticolo idrografico secondario riportate nel P.R.G.C. vigente, sono state definite in assenza di specifica modellazione idraulica (ovvero sono state definite su base morfologica o di lavori terzi reimpiegati allo scopo).

Si sottolinea che, per il territorio comunale di Brandizzo, gli scenari da alluvione riferiti al reticolo idrografico secondario riportati nel PGRA sono stati definiti trasferendo integralmente i contenuti del PRGC vigente all'epoca della stesura delle Mappe citate ⁽¹⁵⁾. Riferimenti in Figura 2-13.

La definizione del campo di inondazione con diversi tempi di ritorno realizzata nell'ambito del presente studio, ha quindi carattere di maggior dettaglio (riferimenti in Figura 4-2).

Si precisa che tali informazioni, opportunamente integrate dalle indagini geomorfologiche e storiche condotte dai geologi incaricati ⁽¹⁶⁾, sono confluite nella nuova Carta geomorfologica e dei dissesti a cui si potrà fare riferimento per la ridefinizione degli scenari di alluvione citati.

⁽¹⁴⁾ Gli studi idraulici sono stati condotti con modello idraulico 1D+2D in moto vario fondato su rilievo topografico di dettaglio (LiDAR).

⁽¹⁵⁾ Per i Comuni con PRG adeguato al PAI alla data di aprile 2013 (come Brandizzo), il dato riferito alla pericolosità idraulica, così come definito negli elaborati del PRGC, è confluito direttamente nelle Mappe allegate al PGRA.

⁽¹⁶⁾ Il criterio trova piena attuazione nell'ambito dei criteri tecnici per la definizione delle aree in dissesto riferiti nella citata DGR 7 aprile 2014 n. 64-7417 in cui si evidenzia che *"la determinazione delle aree in dissesto [...] anche in presenza di uno studio idraulico approfondito, non dovrà essere effettuata tramite una mera trasposizione delle aree di esondazione definite mediante la modellizzazione idraulica, ma dovrà risultare dall'integrazione di queste con le risultanze scaturenti anche dall'analisi geomorfologica"*.

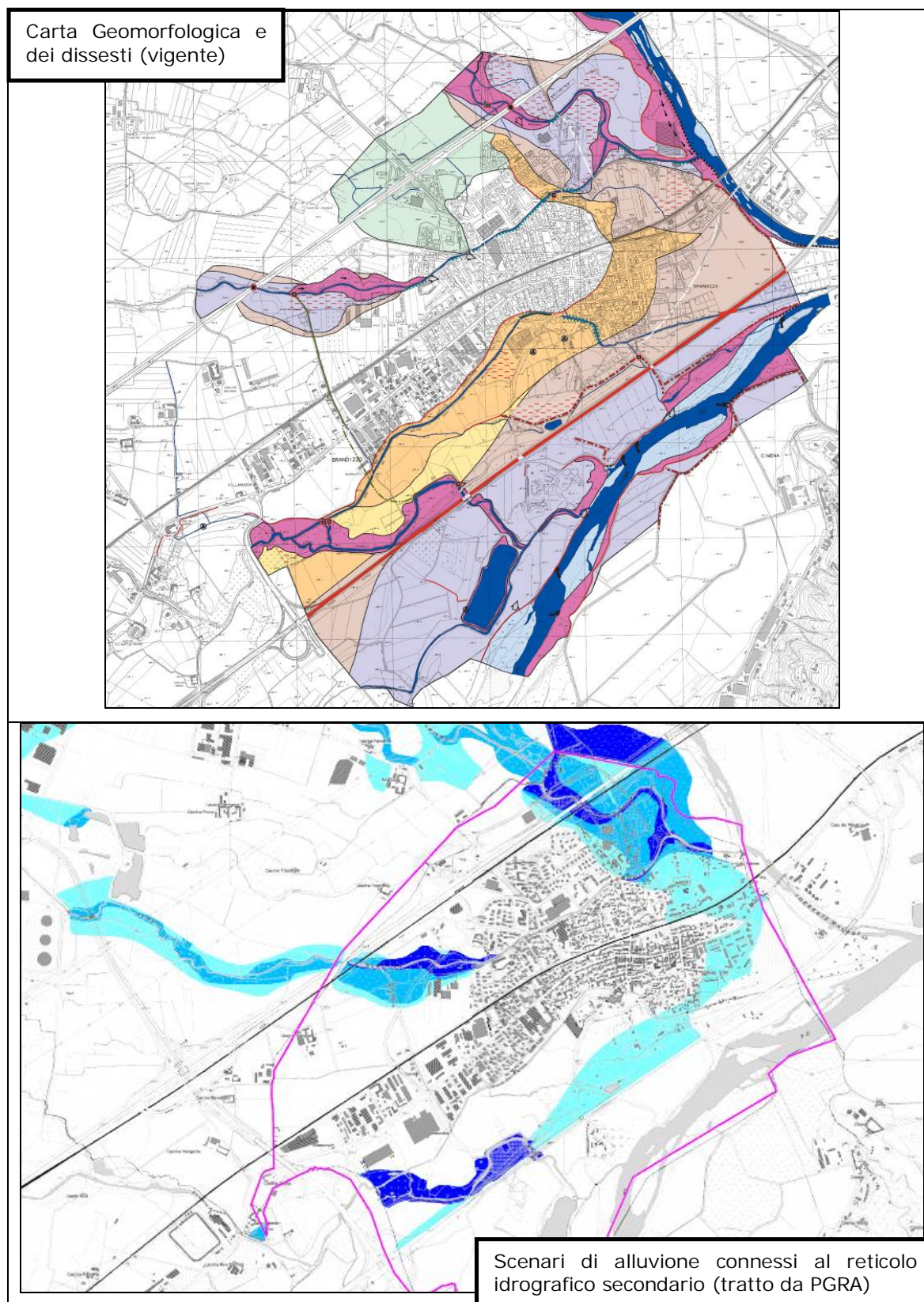


Figura 4-1. Sovrapposizione tra la Carta Geomorfologica e dei dissesti allegata al PGR vigente (Tavola AT5/3) e la mappa della pericolosità e del rischio di alluvioni del PGRA per il reticolo idrografico secondario (in cui è confluito il dato).

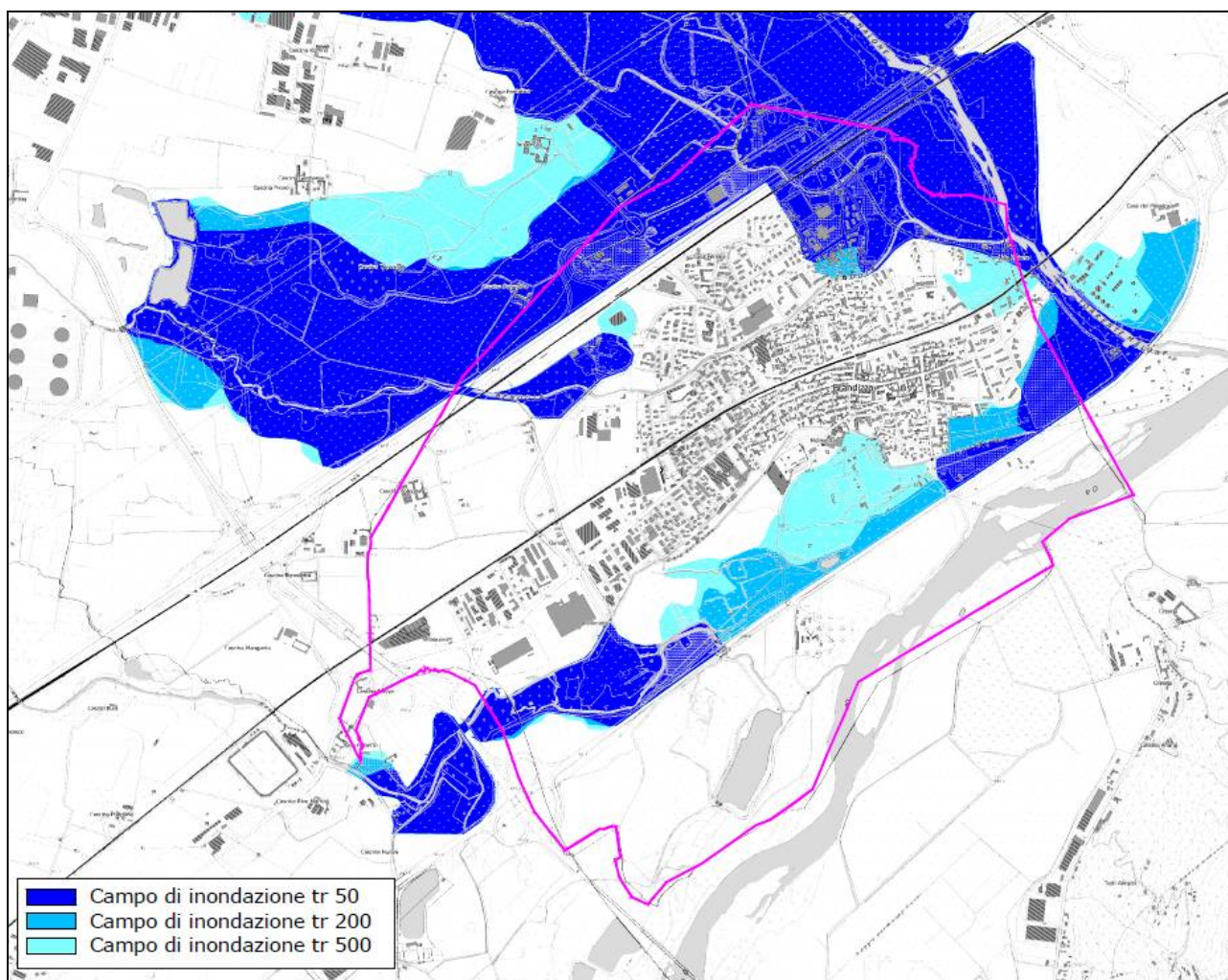


Figura 4-2. Limite del campo di inondazione con tr 50, 200 e 500 anni così come definito dal modello idraulico (il dato, integrato con i risultati dell'analisi geomorfologica e storica è confluito nella nuova Carta Geomorfologica e dei dissesti).

4.2 Reticolo idrografico principale

Nell'area di studio gli scenari di alluvione ascrivibili al reticolo idrografico principale, definiti nell'ambito del PGRA, fanno riferimento al Fiume Po ed al Torrente Malone.

La delimitazione delle aree inondabili per i tre scenari di piena riportata nel PGRA, è stata effettuata a partire dalle aree inondabili definite nell'ambito dello "*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Po nel tratto dalla confluenza del Fiume Stura di Lanzo alla confluenza del Fiume Dora Baltea*" (AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO 2006) ⁽¹⁷⁾, apportando modifiche locali in funzione della realizzazione di argini e opere di difesa in attuazione del limite

⁽¹⁷⁾ Lo studio contiene analisi idrologica, analisi idraulica e delimitazione delle aree inondabili per Tr 20, 200 e 500 anni. Sulla base dei contenuti di detto Studio, con deliberazione n° 13 del 2006 del Comitato Istituzionale, è stata aggiornata e modificata la delimitazione delle fasce fluviali attualmente vigenti.

B di progetto o in funzione di valutazioni locali effettuate utilizzando il DTM di AdbPo del 2005 e le cartografie delle aree allagate dell'evento 2000.

In sintesi si osserva che gli scenari di alluvione vigenti sono sovrapponibili alle Fasce Fluviali, ad eccezione del settore evidenziato in Figura 4-3.

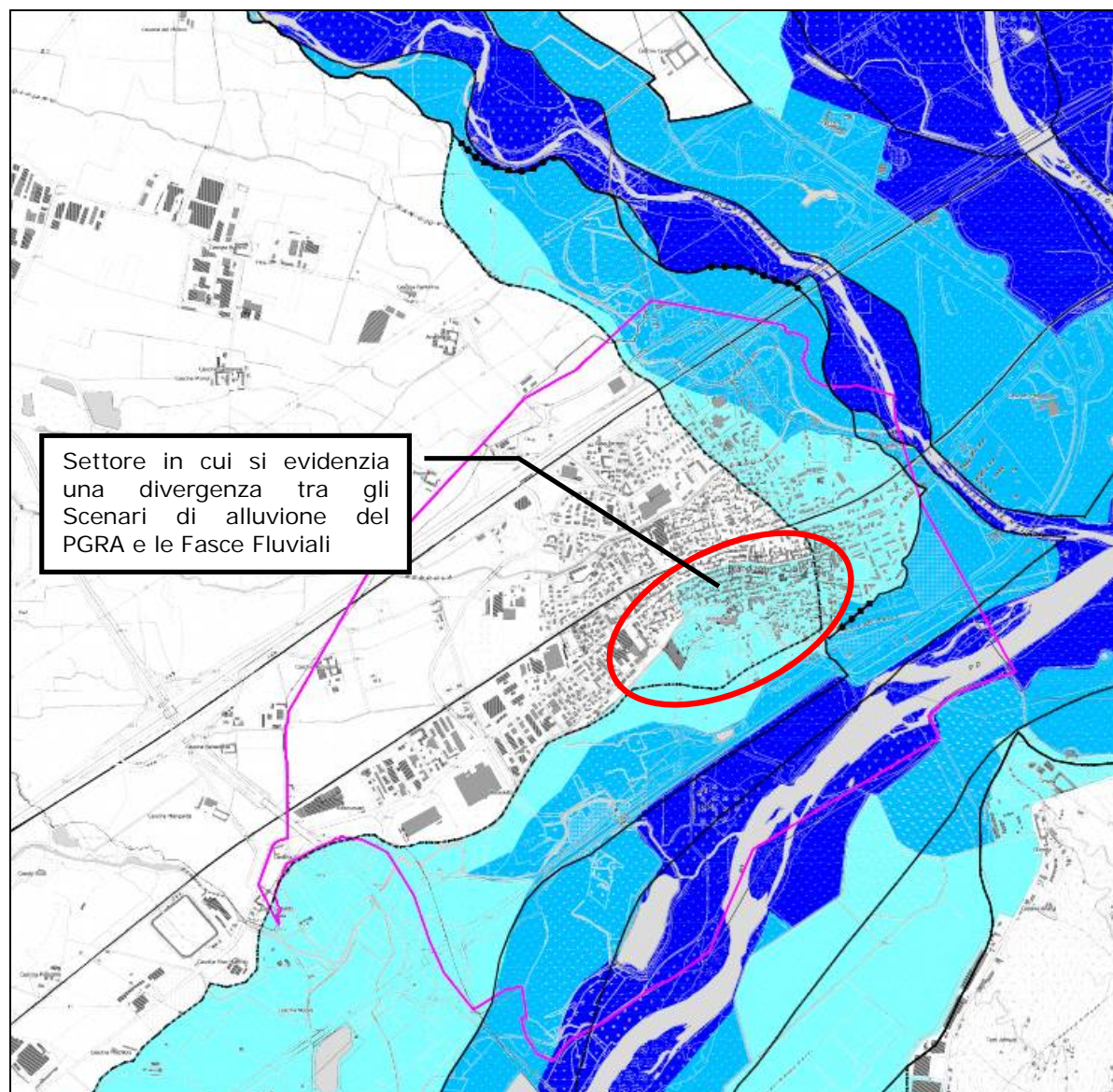


Figura 4-3. Sovrapposizione tra le Fasce fluviali e la mappa della pericolosità e del rischio di alluvioni del PGRA per il reticolo idrografico principale per il settore di interesse.

In merito al settore indicato le indagini locali hanno evidenziato quanto segue:

- 1) Il limite morfologico che individua il piede del terrazzo fluviale è rappresentato dal tracciato della Gora del Molino fino al "Molino Re" e dal piano viabile di Via Matteotti (riferimenti in Figura 4-4).
- 2) Il tracciato della Fascia C non segue tale limite morfologico.
- 3) Il limite dello Scenario di alluvione con tr 500 anni è intestato al piano viabile della SP 220.

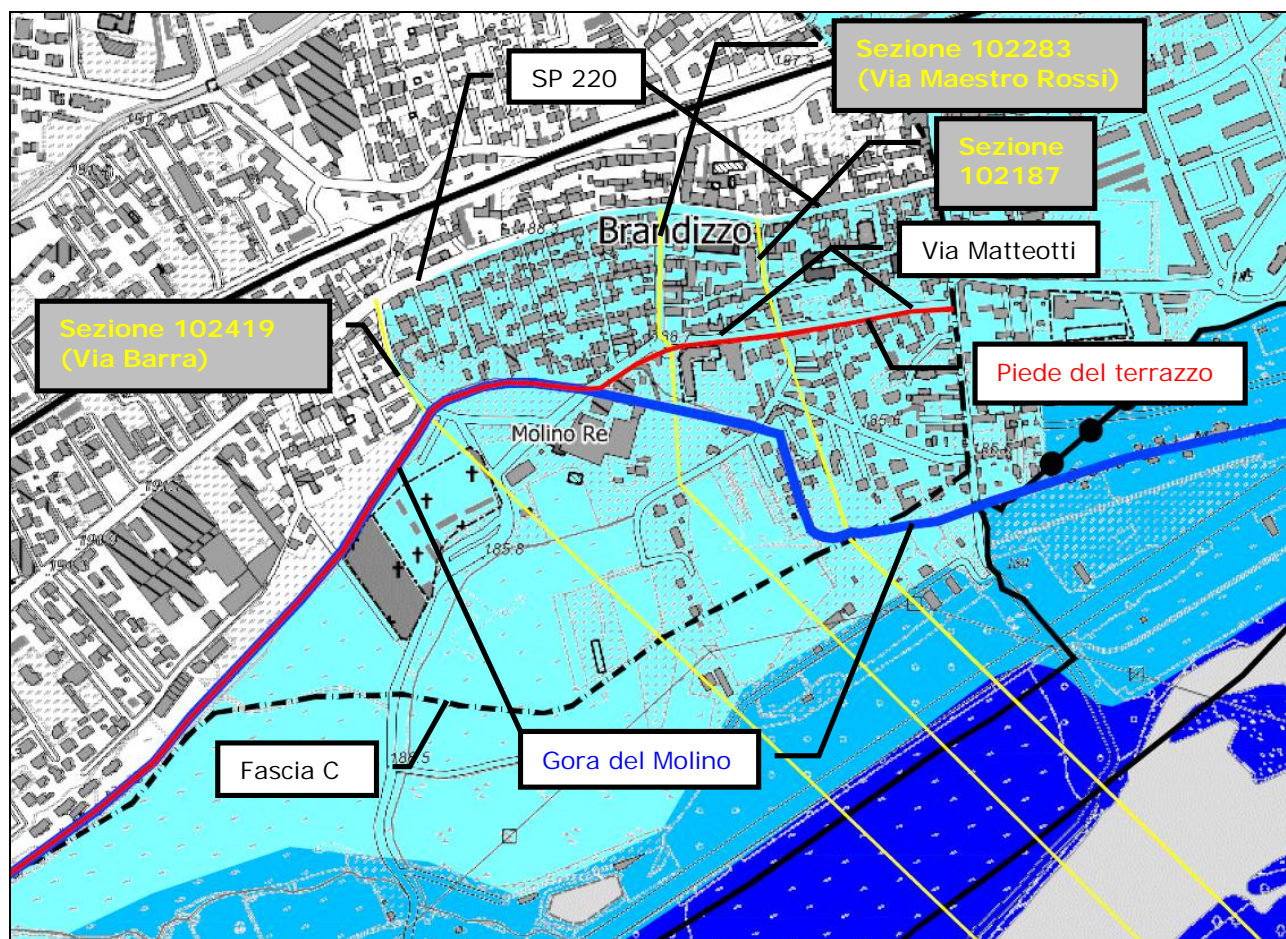


Figura 4-4. Rappresentazione degli elementi di interesse.

- 4) Le sezioni del terreno, in cui vengono materializzati gli elementi di interesse (livello della piena con tr 500 anni, limite di Fascia C, limite dello Scenario H) mostrano la geometria dei luoghi nei punti di interesse (dettagli nelle figure successive)

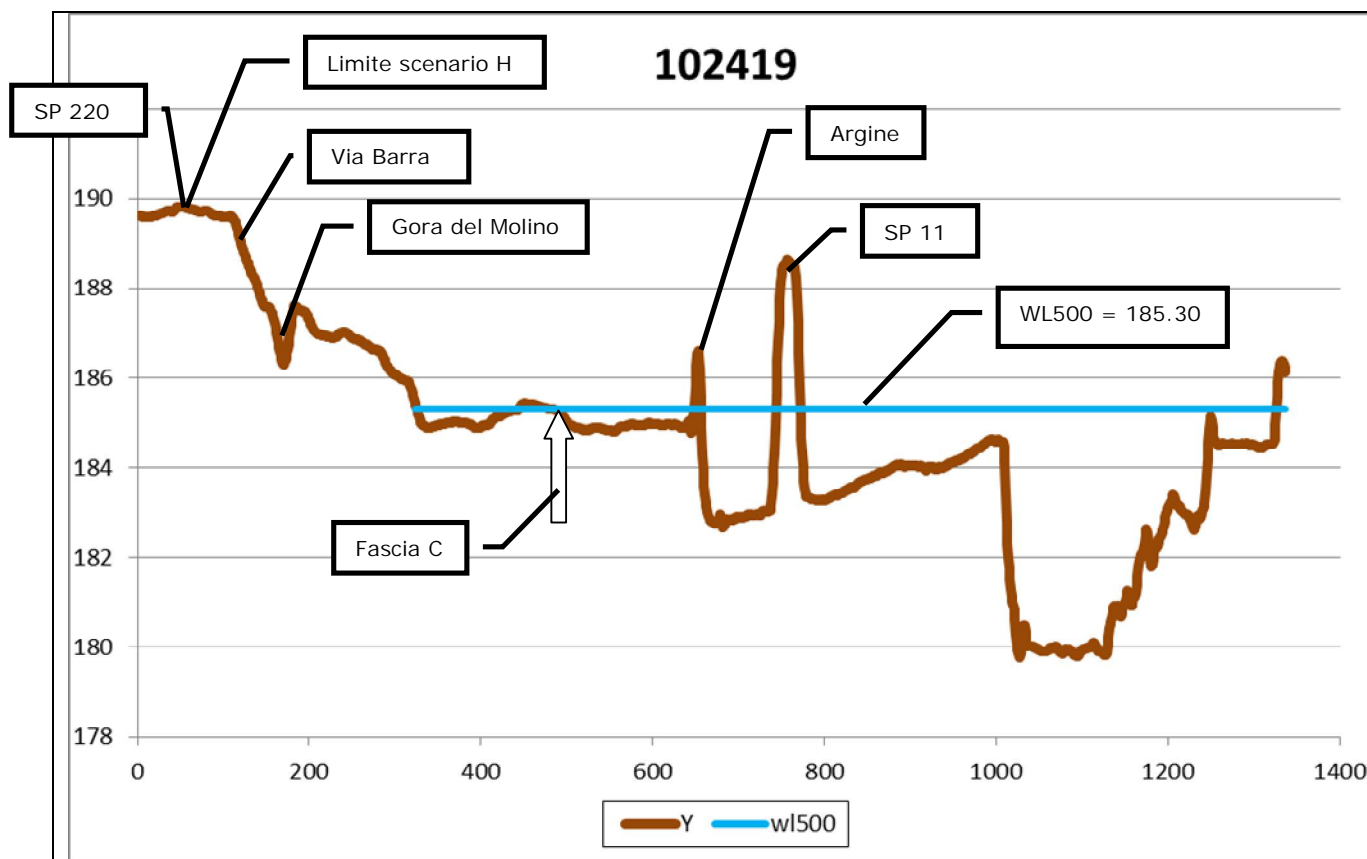


Figura 4-5. Rappresentazione della sezione 102419 (vista da monte verso valle). Il valore del livello idrometrico con tr 500 anni è calcolato a partire dai livelli idrometrici riportati nel PGRA (si veda par. 2.1)

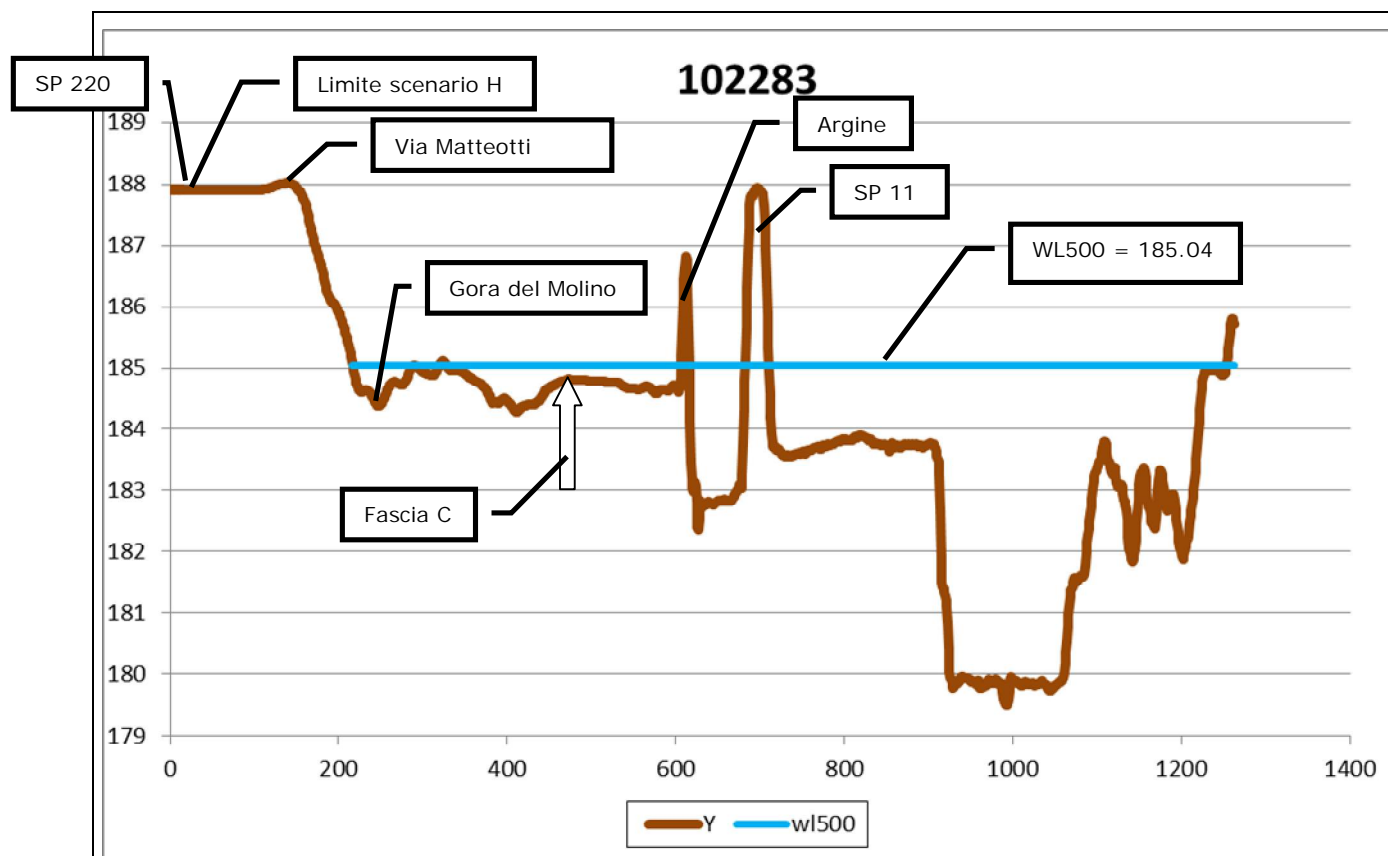


Figura 4-6. Rappresentazione della sezione 102283 (vista da monte verso valle). Il valore del livello idrometrico con tr 500 anni è calcolato a partire dai livelli idrometrici riportati nel PGRA.

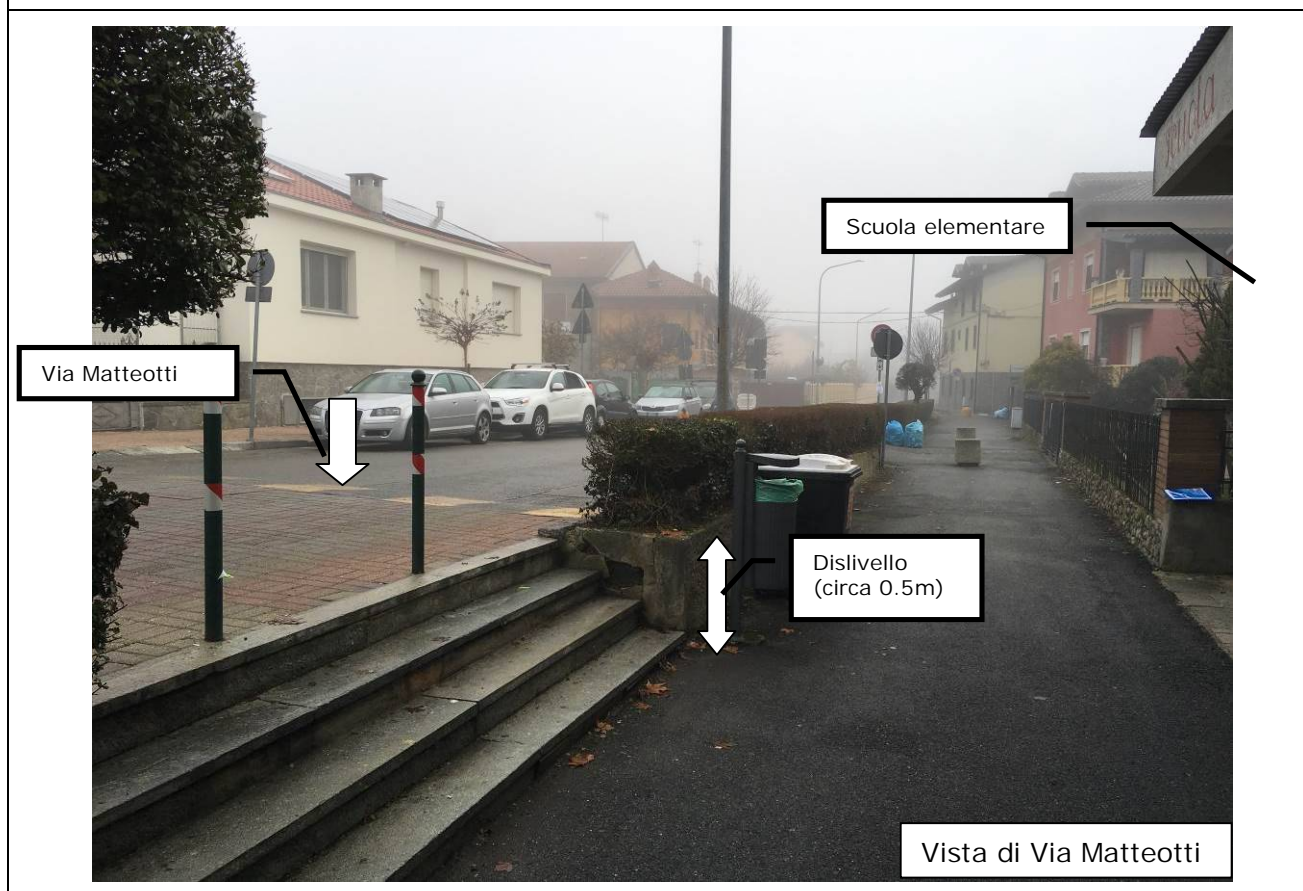
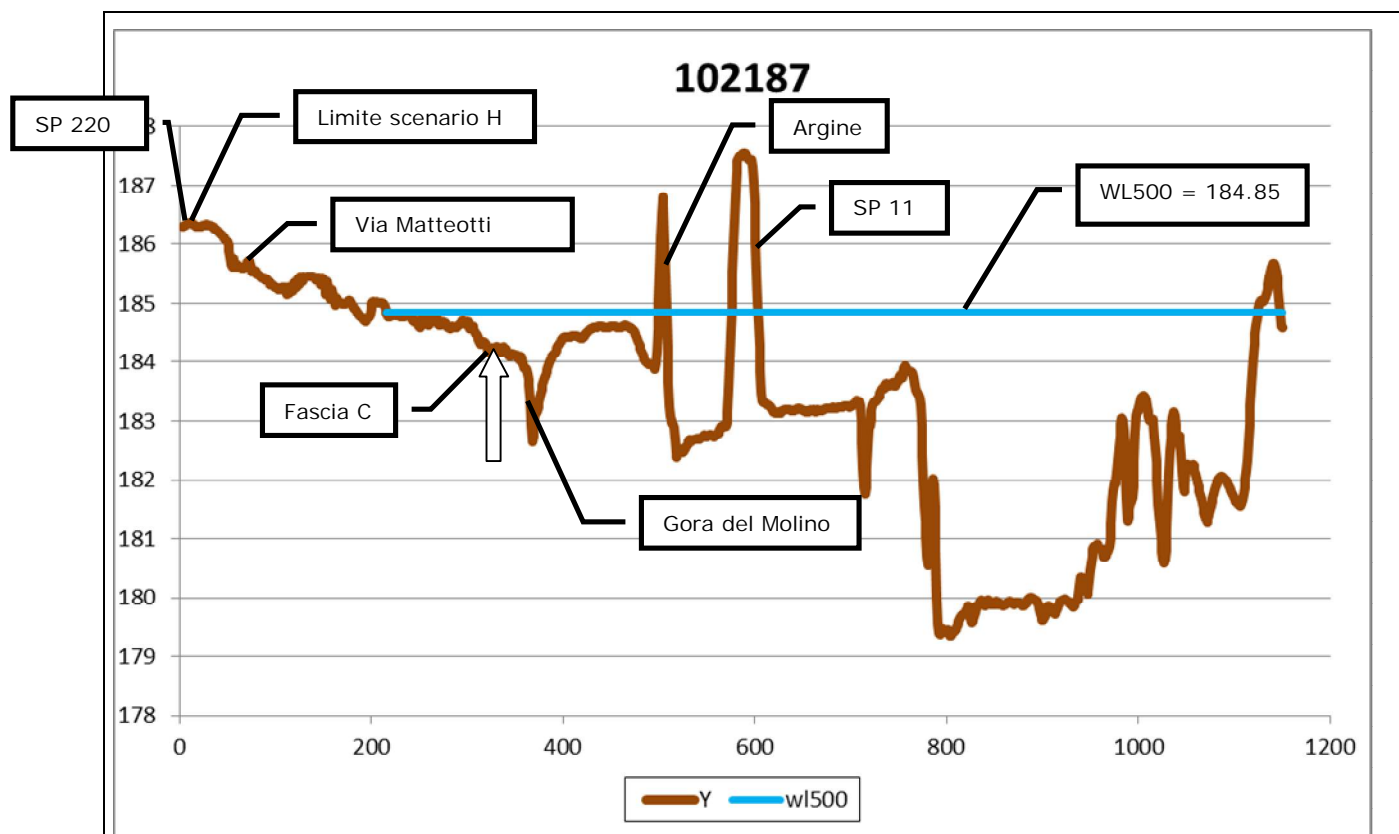


Figura 4-7. Rappresentazione della sezione 102187 (vista da monte verso valle). Il valore del livello idrometrico con tr 500 anni è calcolato a partire dai livelli idrometrici riportati nel PGRA.

In conclusione, a seguito di quanto esposto, si evidenziano alcuni elementi utili alla ridefinizione della Carta della pericolosità da alluvione allegata al PGRA:

- il limite dell'area con pericolosità tr 500 anni coincide con il piede del terrazzo (rappresentato indicativamente dal percorso della Gora del Molino fino a Molino Re e da Via Matteotti nel tronco fino a Via Po). In pratica lo Scenario di alluvione H (tr 500 anni) dovrebbe essere ridotto fino al piede del terrazzo.
- il limite di Fascia C dovrebbe essere esteso fino a coincidere con l'elemento morfologico rappresentato dal citato piede del terrazzo.

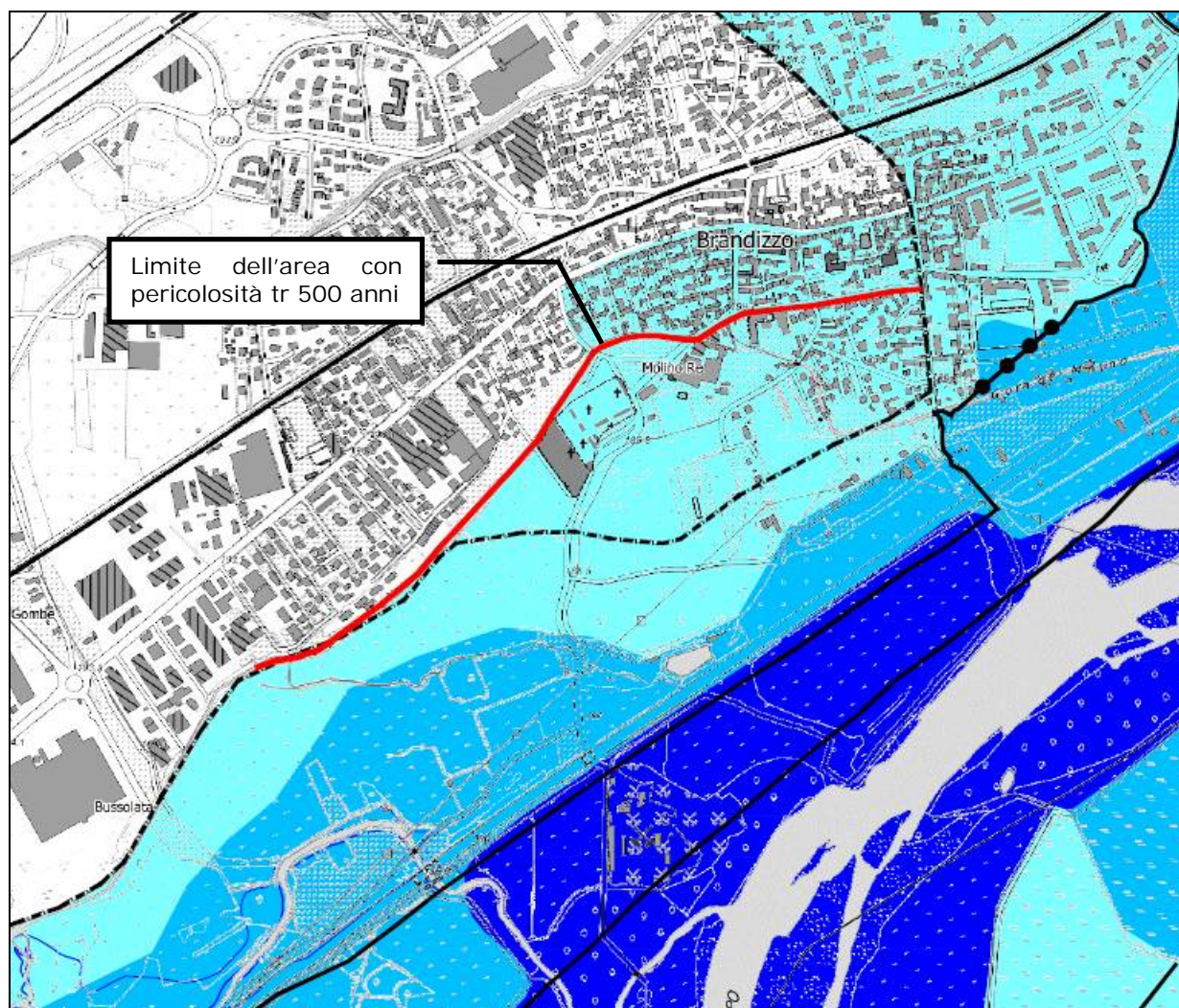


Figura 4-8. Rappresentazione del limite dell'area con pericolosità tr 500 anni.

5 ELENCO ELABORATI

Elaborato AT5 - 1. Relazione idraulica.

Elaborato AT5 - 2. Carta della rete idrografica minore oggetto di indagine idraulica con indicazione della capacità di convogliamento (scala 1:10 000).

Elaborato AT5 - 3. Risultati delle verifiche idrauliche in moto vario bidimensionale. Caratterizzazione dell'evento con tr 50 anni per il territorio oggetto di studio. Profondità della corrente al transito della portata al colmo: STATO DI FATTO (scala 1:10 000).

Elaborato AT5 - 4. Risultati delle verifiche idrauliche in moto vario bidimensionale. Caratterizzazione dell'evento con tr 200 anni per il territorio oggetto di studio. Profondità della corrente al transito della portata al colmo: STATO DI FATTO (scala 1:10 000).

Elaborato AT5 - 5. Risultati delle verifiche idrauliche in moto vario bidimensionale. Caratterizzazione dell'evento con tr 500 anni per il territorio oggetto di studio. Profondità della corrente al transito della portata al colmo: STATO DI FATTO (scala 1:10 000).

Elaborato AT5 – 15. Confronto tra il campo di inondazione definito con modellazione idraulica e gli scenari di alluvione riportati nel PGRA per il reticolo idrografico principale (scala 1: 11 000).

Elaborato AT5 – 16. Confronto tra il campo di inondazione definito con modellazione idraulica e gli scenari di alluvione riportati nel PGRA per il reticolo idrografico secondario (scala 1: 11000).

6 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 (2001): *Piano per l'Assetto Idrogeologico -7- Norme di attuazione - Direttiva criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B*, Parma.

AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO (2003) *"Piano Stralcio di integrazione al Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Fiume Po e affluenti in sinistra a Torino"* approvato con Deliberazione n. 11/2003;

APPENDICE - A. CARATTERISTICHE DEL CODICE DI CALCOLO BIDIMENSIONALE SOBEK-RURAL.

Il codice di calcolo SOBEK-Rural è uno strumento di modellazione di corsi d'acqua naturali in aree di pianura; una tipica applicazione del programma è la simulazione della progressione di un evento di piena in un'area inondabile inizialmente asciutta, tenendo conto dell'influenza di infrastrutture esistenti e/o pianificate (WL Delft Hydraulics, 2003). Il modello è in grado di simulare ogni tipo di condizioni di deflusso, sub o supercritiche ed il passaggio da un regime all'altro.

Derivato da un originario modello monodimensionale, presenta caratteristiche interessanti di sovrapposizione fra modulo 1D e 2D: permette infatti di operare un passaggio automatico da monodimensionale (moto nell'alveo incanalato) a bidimensionale (sommersione progressiva del piano campagna) e risulta, pertanto, particolarmente promettente per le indagini legate all'analisi del funzionamento delle fasce fluviali.

Il modulo 1D è costituito dalle sezioni trasversali dell'alveo a distanze appropriate l'una dall'altra, mentre il modulo 2D si basa su una griglia di calcolo a maglie quadrate, che rappresenta la regione fluviale: ad ogni cella della griglia sono assegnate la quota s.l.m. e il valore della scabrezza.

Il modello si basa sulle equazioni di De Saint Venant per il bilancio della quantità di moto e la conservazione della massa. Lo schema di soluzione utilizza il metodo delle differenze finite. Per la conservazione della quantità di moto i moduli 1D e 2D rimangono strettamente separati: le velocità sulla verticale e le forze di taglio tra 1D e 2D sono trascurate. Per la conservazione della massa, gli appropriati volumi 1D e 2D sono combinati in modo da avere congruenza dei livelli idrometrici (Figura A- 1).

Ad ogni *time step* della simulazione i risultati ottenuti nello schema monodimensionale sono usati come condizioni al contorno interne per lo schema bidimensionale, utilizzato per simulare i processi di inondazione delle aree golenali (Stelling et al., 1998; Frank et al., 2001). L'accoppiamento tra 1D e 2D avviene a livello dei punti di calcolo 1D (*calculation points*) quando si trovano sovrapposti alle celle della griglia 2D (Figura A- 2). I modi con cui l'acqua può fuoriuscire dall'alveo 1D e inondare le aree circostanti (griglia 2D) sono due:

- 1) l'acqua entra nella griglia 2D quando il livello idrometrico nell'1D supera la quota della sponda più alta o più bassa (opzione: *assume highest/lowest level of embankments*). In questo caso le sponde formano una barriera tra l'alveo e la griglia 2D, sia per l'acqua che fuoriesce dall'alveo, sia per l'acqua che rientra nell'alveo (Figura A- 3).
- 2) l'acqua entra nella griglia 2D non appena il livello idrometrico raggiunge la quota del terreno nella griglia 2D, mentre la parte di sponda al di sopra di tale livello è trascurata (opzione: *assume no dikes*). Questa opzione è utile quando non sono presenti argini e non si conosce l'esatta connessione locale tra il profilo 1D e il piano campagna (Figura A- 3).

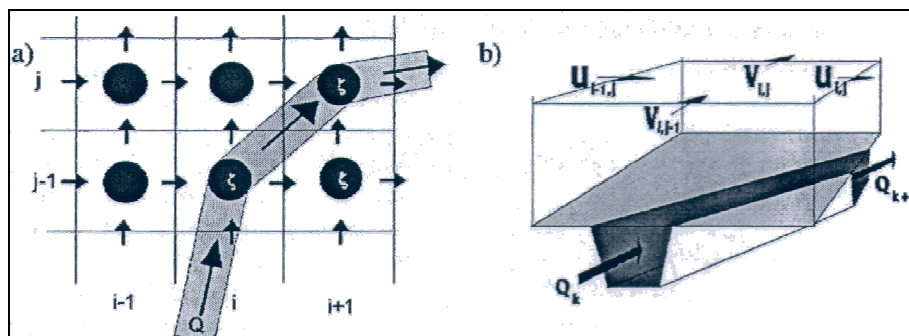


Figura A- 1. Schema del modello idraulico: a) combinazione 1D/2D; b) combinazione dei volumi 1D/2D (da: Frank et al., 2001)

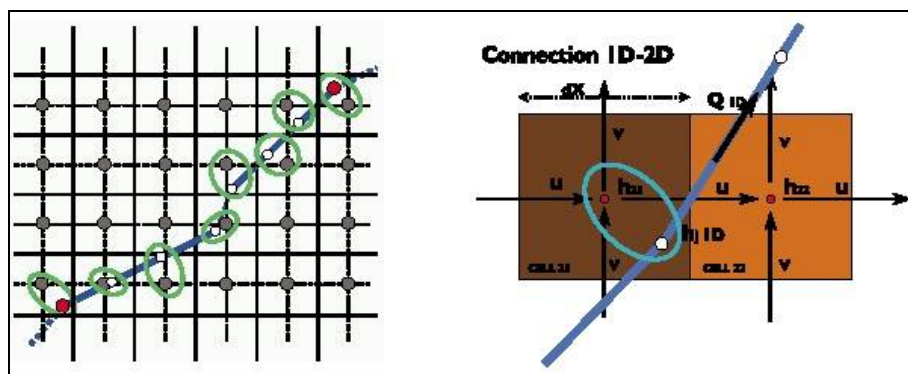


Figura A- 2. Accoppiamento tra la rete 1D e le celle 2D (h : livello idrometrico (lo stesso per 1D e 2D); u, v : velocità in direzione x e y ; dX : dimensione della cella; Q : portata nel ramo 1D). (WL DELFT, 2000).

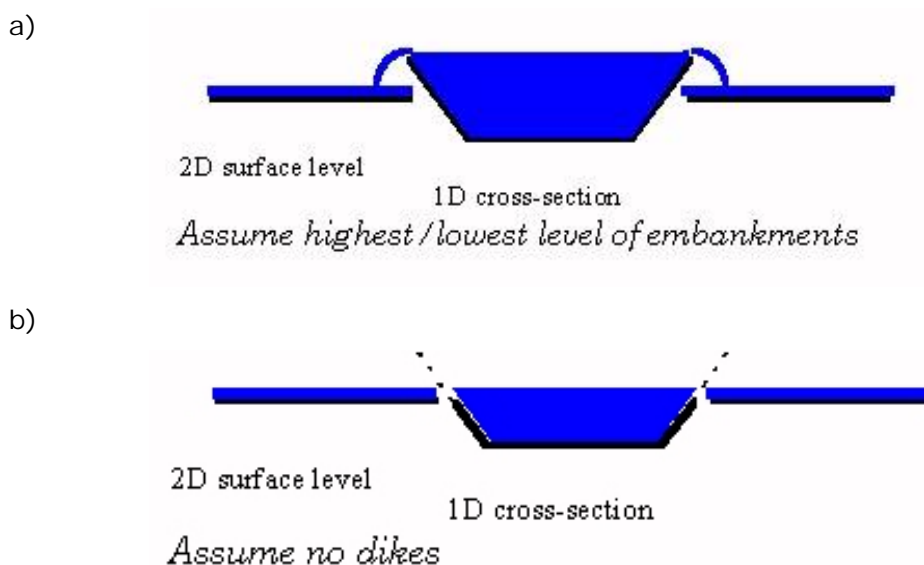


Figura A- 3. Opzioni di fuoriuscita dell'acqua dall'alveo 1D alla griglia 2D (figure tratte dalla guida in linea del programma).

Campi di applicazione e risultati ottenibili

Il modello può essere utilizzato in due modalità:

ACCOPIAMENTO 1D-2D: particolarmente utile per lo studio dell'allagamento progressivo delle aree vicine all'alveo nel caso di un evento di piena (l'alveo è descritto tramite sezioni trasversali nel modulo 1D, mentre le zone golenali sono descritte dalla griglia 2D) o l'effetto di strutture trasversali (per esempio ponti e traverse, descritte nel modulo 1D)

SOLO 2D: utile nel caso di alvei molto ampi e ramificati. Sia l'alveo, sia le aree golenali sono descritti dalla griglia 2D. La modellazione mostra la distribuzione della corrente nell'alveo e permette di valutare i punti critici (erosioni di sponda, riattivazione di alvei antichi).

Requisiti minimi dei dati di partenza per l'uso del modello

I dati necessari per allestire il modello sono:

Topografia di dettaglio

PUNTI QUOTATI: sia l'alveo, sia la regione fluviale devono essere descritti da un numero sufficiente di punti quotati. E' importante sia la densità dei punti quotati, sia la loro accuratezza altimetrica. In generale, si ottengono buoni risultati dall'interpretazioni di ortofotomagini digitali (un punto quotato ogni 25 m², con un'accuratezza altimetrica di $\pm 20-25$ cm).

BREAKLINES: polilinee 3D che descrivono una "rottura" nel rilievo, ossia un brusco cambiamento di pendenza determinato, per esempio, da rilevati stradali e ferroviari, argini, corsi d'acqua.

SEZIONI TRASVERSALI: nel caso di accoppiamento 1D-2D lungo tutto il tronco d'alveo oggetto di studio sono necessarie sezioni trasversali ad una distanza adeguata una dall'altra (il modello interpola la geometria tra una sezione e la successiva). Nel caso di solo 2D, è necessaria almeno una sezione in uscita.

EVENTUALI STRUTTURE TRASVERSALI: ponti, traverse (larghezza, quota del coronamento, ecc.)

Dall'elaborazione in ambiente G.I.S. di punti quotati e breaklines si ottiene la griglia, a maglie quadrate, delle quote: l'ampiezza del lato delle celle della griglia è scelta in base alla densità dei punti iniziali e al caso di studio (generalmente varia da un minimo di 2-4 m, ad un massimo di 25-50 m).

Condizioni al contorno:

IDROGRAMMA/I IN INGRESSO

SCABREZZE dell'alveo e della regione fluviale

LIVELLO IDROMETRICO IN USCITA: fisso o variabile. E' attualmente in fase di sperimentazione la possibilità di utilizzare come condizione al contorno in uscita, anziché un livello idrometrico, la relazione Q-H (scala delle portate).

Output delle simulazioni

Gli output del modello, per ogni timestep di simulazione, sono:

- livelli idrometrici e velocità della corrente (scalare e vettoriale) nella rete 1D e nella griglia 2D;
- aree inondate e profondità dell'acqua in ogni cella della griglia.

I risultati possono essere agevolmente esportati in ambiente GIS per ulteriori considerazioni, per esempio, sulla massima area inondata e sulle profondità dell'acqua nelle zone inondate.

I risultati sono inoltre esportabili anche sotto forma di filmati che illustrano la progressione dell'evento di piena.

In merito alle indagini avviate si richiama l'attenzione sul fatto che nei modelli bidimensionali, che utilizzano una rappresentazione del territorio con celle triangolari o

quadrate, il moto è determinato mediante la conservazione della massa nella cella in funzione delle caratteristiche altimetriche ed idrauliche delle celle adiacenti, pertanto non vale la schematizzazione secondo cui area bagnata e pelo libero sono individuabili su di un piano ortogonale al vettore velocità media nella sezione. La direzione della corrente varia quindi da cella a cella e, con essa, la quota del pelo libero che normalmente risulta diverso tra celle confinanti. Il modello si presta a descrivere al meglio le situazioni reali in cui talvolta la corrente torna indietro a colmare depressioni o ristagna. In funzione della morfologia del terreno e delle situazioni di moto locali, il pelo libero può adagiarsi sul terreno in funzione della profondità locale non essendo più valido il concetto di velocità media nella sezione e quindi di pelo libero ⁽¹⁸⁾.

In sintesi, laddove la corrente si avvia sul piano campagna e inizia a muoversi in maniera indipendente rispetto alla corrente in alveo, lo schema del moto monodimensionale cade in quanto non più riconducibile ad un insieme di tubi di flusso paralleli. In termini di risultati la modellazione bidimensionale permette di conoscere la quota del pelo libero in forma discretizzata in funzione delle dimensioni della griglia di calcolo (in cui la superficie non risulta mai orizzontale sulla larghezza di una sezione, come invece accade nella rappresentazione impiegata nello schema del moto monodimensionale che però, come detto, non è più valido nelle condizioni richiamate).

RIFERIMENTI

FRANK E., OSTAN A., COCCATO M., STELLING G.S. (2001): *Use of an integrated one dimensional-two dimensional hydraulic modelling approach for flood hazard and risk mapping*. Proceedings of the Conference on River Basin Management 2001, 11-13 September 2001, Cardiff, UK.

GUIOT E. (2004): *Valutazione della pericolosità dei fenomeni torrentizi e fluviali lungo la rete idrografica ai fini della riorganizzazione del territorio*. Tesi di dottorato, Università di Torino.

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE (2011): *Manuale d'uso del software applicativo AdB-ToolBox (versione 1.6). Strumenti per il trattamento dei dati LiDAR (St LiDAR)*.

STELLING G.S., KERNKAMP H.W.J., LAGUZZI M.M. (1998): *Delft Flooding System: a powerful tool for inundation assessment based upon a positive flow simulation*. In Hydroinformatics '98, Babovic and Larsen (eds), 1998 Balkema, Rotterdam.

WL | DELFT HYDRAULICS (2000): *R&D 2000. Annual Report*.

WL | DELFT HYDRAULICS (2003-2019): *SOBEK-Rural Reference Manual*.

⁽¹⁸⁾ Nel caso di un modello monodimensionale, il moto è determinato dalla pendenza della linea dell'energia e il pelo libero entro la sezione bagnata si mantiene orizzontale ed uniforme in tutta la sezione rappresentata. La quota del pelo libero è determinata dalla conservazione dell'energia fra due sezioni adiacenti determinando la differenza di livello, a partire dalla sezione di valle (nel caso della corrente lenta) con un processo iterativo in base alle caratteristiche geometriche di scabrezza. Nella sezione, il calcolo procede utilizzando la media pesata della capacità di convogliamento dell'alveo inciso e delle porzioni golenali adiacenti. Lo schema resta valido per correnti incanalate (canale, alveo naturale inciso, alveo naturale con golene) pur ammettendo variazioni di scabrezza in settori diversi della stessa sezione. Nel caso in cui la configurazione dell'area attraversata dal corso d'acqua sia tale per cui, in caso di straripamento, la corrente possa avviarsi sul piano campagna adiacente e muoversi su di esso in maniera indipendente dalla corrente in alveo, lo schema del moto monodimensionale cade in quanto non più riconducibile ad un insieme di tubi di flusso paralleli.

APPENDICE - B. DESCRIZIONE DELLO SCHEMA DI CALCOLO ADOTTATO DAL MODELLO NUMERICO HEC-RAS ATTIVATO IN MOTO PERMANENTE.

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 4.1.3. 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 4.0 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.

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)

h_e perdita di energia (m)

Il significato geometrico dei simboli è illustrato nella Figura B- 1.

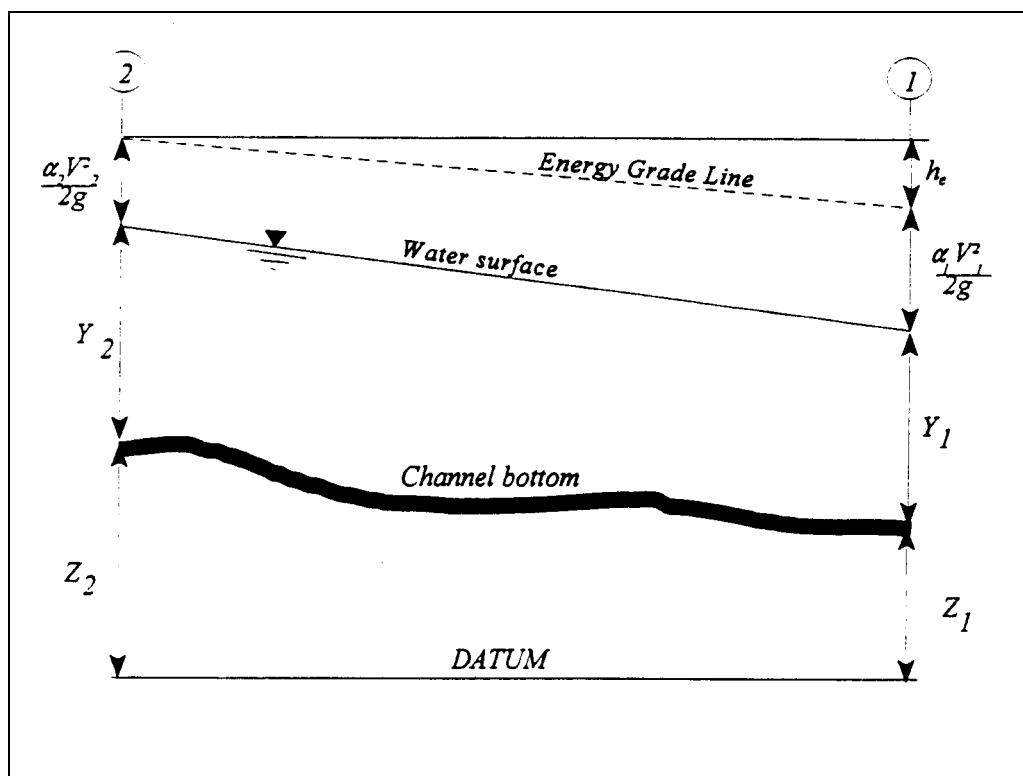


Figura B- 1. Rappresentazione dei termini dell'equazione dell'energia (da HEC, 1997)

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).

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 divisa 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 m^3/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 Tabella A-1 (i valori standard sono evidenziati in corsivo)

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 B- 2, in corrispondenza dei punti della sezione dove si pone la variazione di scabrezza in funzione delle caratteristiche della superficie.

Tabella B- 1. Coefficienti di contrazione ed espansione tra sezioni.

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

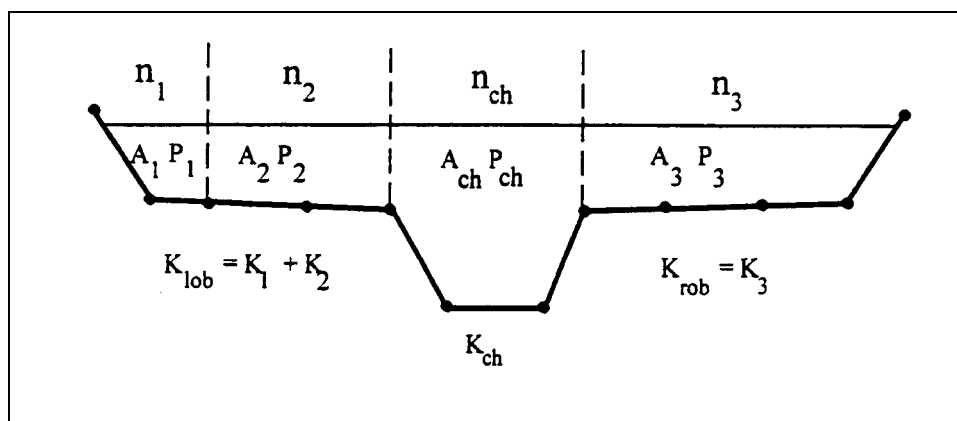


Figura B- 2. Suddivisione di una sezione trasversale in settori con scabrezza uniforme (da HEC, 1997)

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 (m^3/s)

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

A area bagnata del settore di area (m^2)

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.

APPENDICE - C. RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICO HEC-RAS: T. BENDOLA E CANALE SCOLMATORE

Di seguito si riportano i risultati della modellazione idraulica. I risultati, riferiti agli eventi con tr 20, 200 e 500 anni, sono costituiti da:

- tabulato di uscita del codice di calcolo in cui vengono esplicitate le grandezze idrauliche;
- rappresentazione delle sezioni idrauliche. Si precisa che, qualora la portata di riferimento non sia contenuta all'interno delle sponde, il livello idrometrico restituito dal modello idraulico 1D non è indicativo della quota effettivamente raggiunta dall'acqua. Tale quota potrà essere dedotta dai risultati del modello 2D, che si presta a descrivere al meglio le situazioni reali (in cui la corrente si adagia al terreno, torna indietro a colmare depressioni o ristagna), in quanto consente di calcolare il livello idrometrico in funzione della morfologia del terreno e delle situazioni di moto locali e, di conseguenza, di individuare il campo di inondazione (dettagli in APPENDICE - A).

Si evidenzia quanto segue:

- La corografia delle sezioni è riportata in Elaborato AT5 - 2.
- L'identificativo delle sezioni è stato assegnato assumendo la progressiva chilometrica (espressa in metri) a partire dall'ultima sezione di valle del modello (sez. 0). La distanza tra le sezioni è pertanto ricavabile per differenza tra gli identificativi delle sezioni.
- Nella rappresentazione delle sezioni (viste da monte verso valle) le altezze sono esaltate rispetto alle distanze, pertanto i dislivelli appaiono accentuati.

Al fine di rendere più leggibile la tabella seguente si specifica che:

| | |
|--------------|---|
| River Sta | : numero sezione (crescente da valle verso monte) |
| Plan | : condizione 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) |

COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

Tabella C- 1. Tabella dei risultati del modello 1D in moto permanente attivato per eventi con tr 20, 200 e 500 anni per il T. Bendola.

| HEC-RAS T. Bendola | | | | | | | | | | | |
|--------------------|--------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|--------|
| River Sta | Plan | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude |
| 4811 | Tr 50 | 102 | 203.15 | 205.67 | 205.45 | 206.03 | 0.004049 | 3.28 | 46.37 | 42.44 | 0.67 |
| 4811 | Tr 200 | 115 | 203.15 | 205.84 | 205.62 | 206.12 | 0.003148 | 3.03 | 61.37 | 59 | 0.6 |
| 4811 | Tr 500 | 140 | 203.15 | 205.86 | 205.76 | 206.26 | 0.004435 | 3.61 | 62.51 | 59 | 0.71 |
| 3416 | Tr 50 | 102 | 196.36 | 198.48 | 198.2 | 198.99 | 0.006419 | 3.6 | 46.21 | 100 | 0.82 |
| 3416 | Tr 200 | 115 | 196.36 | 198.52 | 198.26 | 199.06 | 0.00674 | 3.75 | 50.92 | 100 | 0.84 |
| 3416 | Tr 500 | 140 | 196.36 | 198.66 | 198.29 | 199.12 | 0.005958 | 3.68 | 64.28 | 100 | 0.8 |
| 2746 | Tr 50 | 102 | 192.92 | 195.47 | 195.11 | 195.84 | 0.003508 | 3.1 | 43.94 | 33.99 | 0.63 |
| 2746 | Tr 200 | 115 | 192.92 | 195.64 | 195.38 | 196 | 0.003206 | 3.1 | 49.72 | 34.46 | 0.6 |
| 2746 | Tr 500 | 140 | 192.92 | 195.86 | 195.54 | 196.25 | 0.003175 | 3.25 | 57.57 | 35.1 | 0.61 |
| 2466 | Tr 50 | 102 | 192.43 | 194.06 | | 194.52 | 0.006595 | 3.13 | 35.27 | 26.73 | 0.8 |
| 2466 | Tr 200 | 115 | 192.43 | 194.09 | 193.99 | 194.65 | 0.007792 | 3.45 | 36.14 | 26.88 | 0.87 |
| 2466 | Tr 500 | 140 | 192.43 | 194.3 | 194.18 | 194.92 | 0.007559 | 3.67 | 41.65 | 28.05 | 0.87 |
| 2306 | Tr 50 | 40 | 191.58 | 193.57 | 192.98 | 193.72 | 0.002091 | 2.01 | 27.34 | 29.14 | 0.46 |
| 2306 | Tr 200 | 40 | 191.58 | 193.57 | 192.98 | 193.72 | 0.002091 | 2.01 | 27.34 | 29.14 | 0.46 |
| 2306 | Tr 500 | 54 | 191.58 | 193.7 | 193.02 | 193.92 | 0.002876 | 2.47 | 31.97 | 41 | 0.55 |
| 2141 | Tr 50 | 40 | 190.89 | 192.28 | 192.28 | 192.95 | 0.013806 | 3.96 | 12.17 | 14.57 | 1.11 |
| 2141 | Tr 200 | 40 | 190.89 | 192.28 | 192.28 | 192.95 | 0.013806 | 3.96 | 12.17 | 14.57 | 1.11 |
| 2141 | Tr 500 | 54 | 190.89 | 192.67 | 192.67 | 193.15 | 0.007906 | 3.57 | 20.71 | 25.03 | 0.88 |
| 2005 | Tr 50 | 40 | 189.71 | 192.19 | | 192.29 | 0.001204 | 1.75 | 32.71 | 27.59 | 0.36 |
| 2005 | Tr 200 | 40 | 189.71 | 192.19 | | 192.29 | 0.001204 | 1.75 | 32.71 | 27.59 | 0.36 |
| 2005 | Tr 500 | 54 | 189.71 | 192.45 | | 192.57 | 0.001263 | 1.92 | 39.97 | 28.4 | 0.38 |
| 1799 | Tr 50 | 40 | 189.23 | 191.78 | | 191.97 | 0.002023 | 2.27 | 26.74 | 30.79 | 0.47 |
| 1799 | Tr 200 | 40 | 189.23 | 191.78 | | 191.97 | 0.002023 | 2.27 | 26.74 | 30.79 | 0.47 |
| 1799 | Tr 500 | 54 | 189.23 | 192.12 | | 192.28 | 0.001551 | 2.17 | 38.02 | 33 | 0.42 |
| 1544 | Tr 50 | 40 | 188.4 | 190.41 | 190.38 | 191.01 | 0.007943 | 3.82 | 12.91 | 10.47 | 0.89 |
| 1544 | Tr 200 | 40 | 188.4 | 190.41 | 190.38 | 191.01 | 0.007943 | 3.82 | 12.91 | 10.47 | 0.89 |
| 1544 | Tr 500 | 54 | 188.4 | 190.65 | 190.65 | 191.42 | 0.009083 | 4.41 | 15.52 | 11.89 | 0.97 |
| 1422 | Tr 50 | 40 | 188.23 | 190.05 | 189.55 | 190.31 | 0.003319 | 2.4 | 18.51 | 12.65 | 0.57 |
| 1422 | Tr 200 | 40 | 188.23 | 190.05 | 189.55 | 190.31 | 0.003319 | 2.4 | 18.51 | 12.65 | 0.57 |
| 1422 | Tr 500 | 54 | 188.23 | 190.37 | 189.8 | 190.71 | 0.003414 | 2.72 | 23.11 | 16.34 | 0.6 |
| 1017 | Tr 50 | 40 | 186.35 | 187.67 | 187.61 | 188.18 | 0.009286 | 3.3 | 13.17 | 11.29 | 0.92 |
| 1017 | Tr 200 | 40 | 186.35 | 187.67 | 187.61 | 188.18 | 0.009286 | 3.3 | 13.17 | 11.29 | 0.92 |
| 1017 | Tr 500 | 54 | 186.35 | 187.93 | 187.87 | 188.56 | 0.009036 | 3.67 | 16.16 | 11.69 | 0.93 |
| 892 | Tr 50 | 40 | 185.73 | 187.46 | 186.75 | 187.62 | 0.001932 | 1.81 | 23.51 | 14.88 | 0.44 |
| 892 | Tr 200 | 40 | 185.73 | 187.46 | 186.75 | 187.62 | 0.001932 | 1.81 | 23.51 | 14.88 | 0.44 |
| 892 | Tr 500 | 54 | 185.73 | 187.75 | 186.97 | 187.96 | 0.002091 | 2.08 | 27.78 | 15.26 | 0.47 |
| 771 | Tr 50 | 40 | 185.03 | 187.15 | | 187.36 | 0.002357 | 2.26 | 22.29 | 17.46 | 0.5 |
| 771 | Tr 200 | 40 | 185.03 | 187.15 | | 187.36 | 0.002357 | 2.26 | 22.29 | 17.46 | 0.5 |
| 771 | Tr 500 | 54 | 185.03 | 187.38 | | 187.66 | 0.002835 | 2.66 | 27.21 | 22.82 | 0.56 |
| 655 | Tr 50 | 40 | 184.72 | 186.81 | | 187.06 | 0.002823 | 2.44 | 21.9 | 26.2 | 0.54 |
| 655 | Tr 200 | 40 | 184.72 | 186.81 | | 187.06 | 0.002823 | 2.44 | 21.9 | 26.2 | 0.54 |
| 655 | Tr 500 | 54 | 184.72 | 187.08 | | 187.33 | 0.002686 | 2.58 | 28.94 | 26.77 | 0.54 |
| 464 | Tr 50 | 40 | 184.19 | 185.66 | 185.66 | 186.2 | 0.009952 | 3.65 | 13.13 | 12.57 | 0.97 |
| 464 | Tr 200 | 40 | 184.19 | 185.66 | 185.66 | 186.2 | 0.009952 | 3.65 | 13.13 | 12.57 | 0.97 |
| 464 | Tr 500 | 54 | 184.19 | 185.93 | 185.93 | 186.55 | 0.009474 | 3.98 | 16.63 | 14.07 | 0.97 |
| 364 | Tr 50 | 40 | 182.94 | 184.94 | | 185.2 | 0.003108 | 2.42 | 19.3 | 14.25 | 0.56 |
| 364 | Tr 200 | 40 | 182.94 | 184.94 | | 185.2 | 0.003108 | 2.42 | 19.3 | 14.25 | 0.56 |

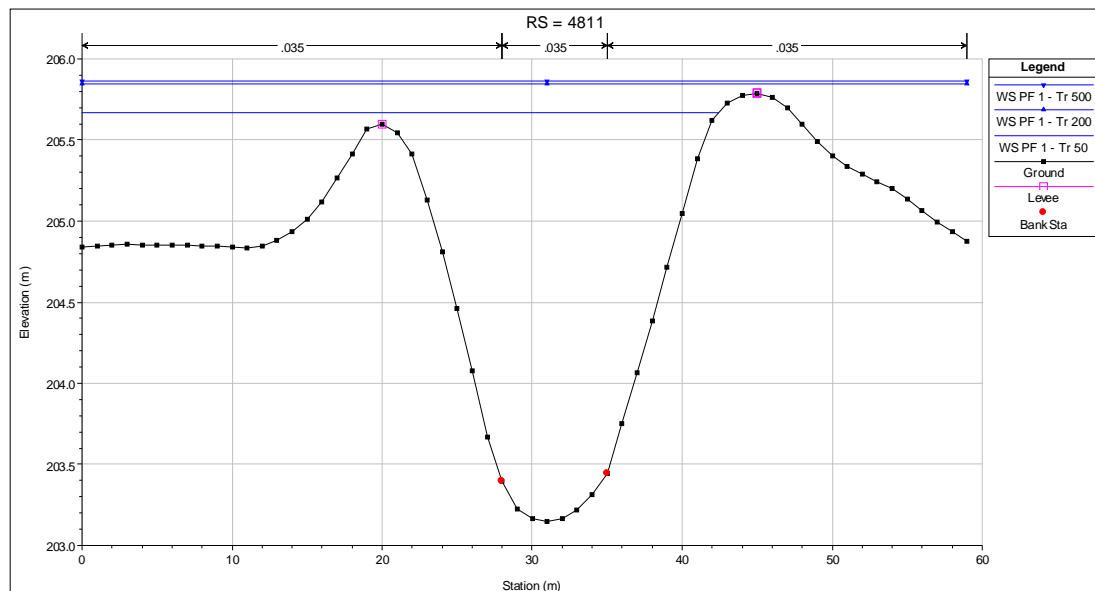
COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

| | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|----|--------|--------|--------|--------|----------|------|-------|-------|------|
| 364 | Tr 500 | 54 | 182.94 | 185.24 | | 185.55 | 0.003177 | 2.7 | 23.8 | 15.55 | 0.58 |
| 280 | Tr 50 | 40 | 182.82 | 184.37 | 184.24 | 184.8 | 0.007124 | 3.12 | 14.57 | 12.76 | 0.82 |
| 280 | Tr 200 | 40 | 182.82 | 184.37 | 184.24 | 184.8 | 0.007124 | 3.12 | 14.57 | 12.76 | 0.82 |
| 280 | Tr 500 | 54 | 182.82 | 184.63 | 184.49 | 185.15 | 0.007032 | 3.45 | 18.05 | 13.77 | 0.84 |
| 0 | Tr 50 | 40 | 181.26 | 182.9 | 182.58 | 183.19 | 0.004503 | 2.57 | 17.67 | 14.65 | 0.66 |
| 0 | Tr 200 | 40 | 181.26 | 182.9 | 182.58 | 183.19 | 0.004503 | 2.57 | 17.67 | 14.65 | 0.66 |
| 0 | Tr 500 | 54 | 181.26 | 183.19 | 182.81 | 183.55 | 0.004501 | 2.87 | 22.28 | 18.11 | 0.68 |

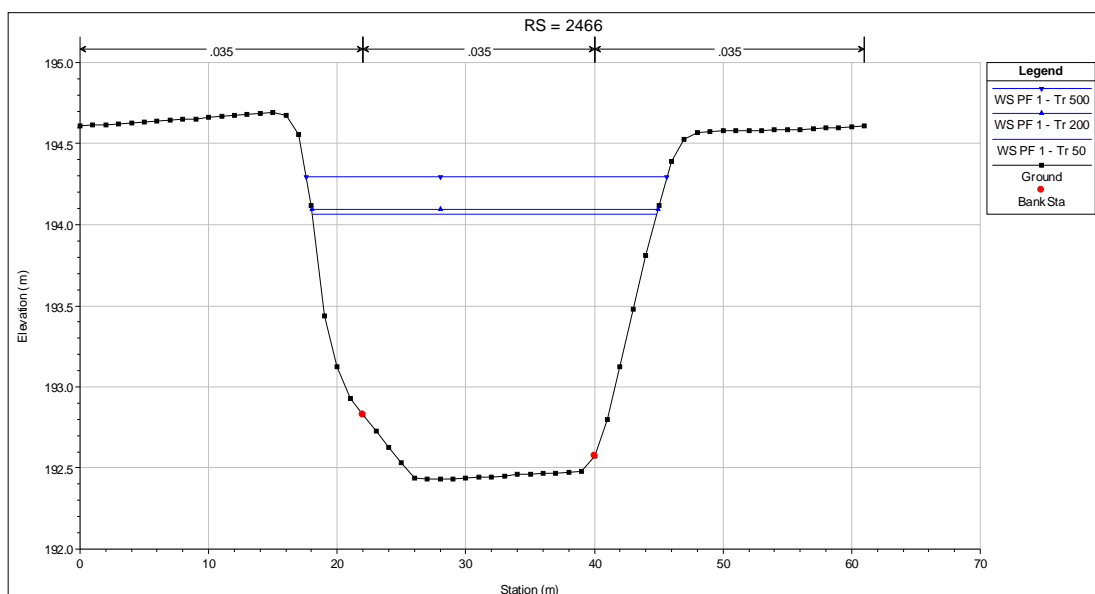
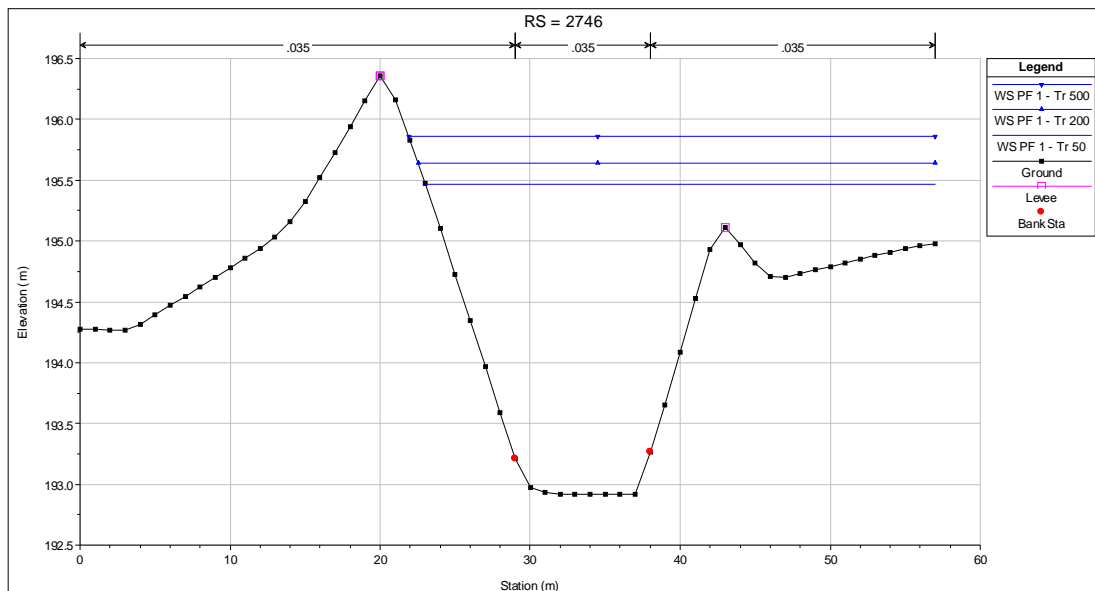
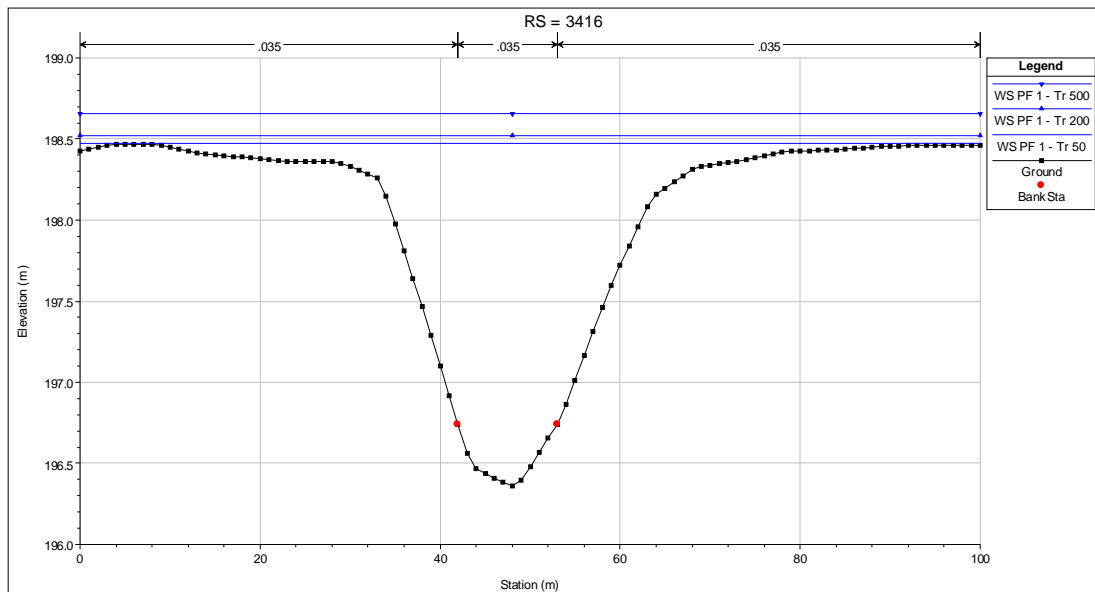
Tabella C- 2. Tabella dei risultati del modello 1D in moto permanente attivato per eventi con tr 20, 200 e 500 anni per il canale scolmatore.

| HEC-RAS Canale scolmatore | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------|---------|-----------|-----------|-----------|----------|------------|----------|-----------|-----------|--------|--|
| River Sta | Plan | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G.Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude | |
| 1106 | Tr 50 | 62 | 191.12 | 193.54 | | 193.73 | 0.001809 | 2 | 32.74 | 17.57 | 0.42 | |
| 1106 | Tr 200 | 75 | 191.12 | 193.78 | | 194.01 | 0.001836 | 2.16 | 37.22 | 18.82 | 0.43 | |
| 1106 | Tr 500 | 86 | 191.12 | 193.98 | | 194.23 | 0.001848 | 2.28 | 41.17 | 21.21 | 0.44 | |
| 250 | Tr 50 | 62 | 188.05 | 189.87 | 189.87 | 190.68 | 0.009394 | 4.08 | 16.42 | 10.9 | 0.97 | |
| 250 | Tr 200 | 75 | 188.05 | 190.12 | 190.12 | 191 | 0.008647 | 4.27 | 19.26 | 11.72 | 0.95 | |
| 250 | Tr 500 | 86 | 188.05 | 190.31 | 190.31 | 191.25 | 0.008271 | 4.43 | 21.54 | 12.33 | 0.95 | |
| 0 | Tr 50 | 62 | 184.89 | 187.07 | 186.67 | 187.62 | 0.005004 | 3.38 | 20.21 | 12.03 | 0.73 | |
| 0 | Tr 200 | 75 | 184.89 | 187.31 | 186.97 | 187.94 | 0.005001 | 3.62 | 23.22 | 13.14 | 0.75 | |
| 0 | Tr 500 | 86 | 184.89 | 187.49 | 187.18 | 188.18 | 0.005004 | 3.81 | 25.71 | 14 | 0.76 | |

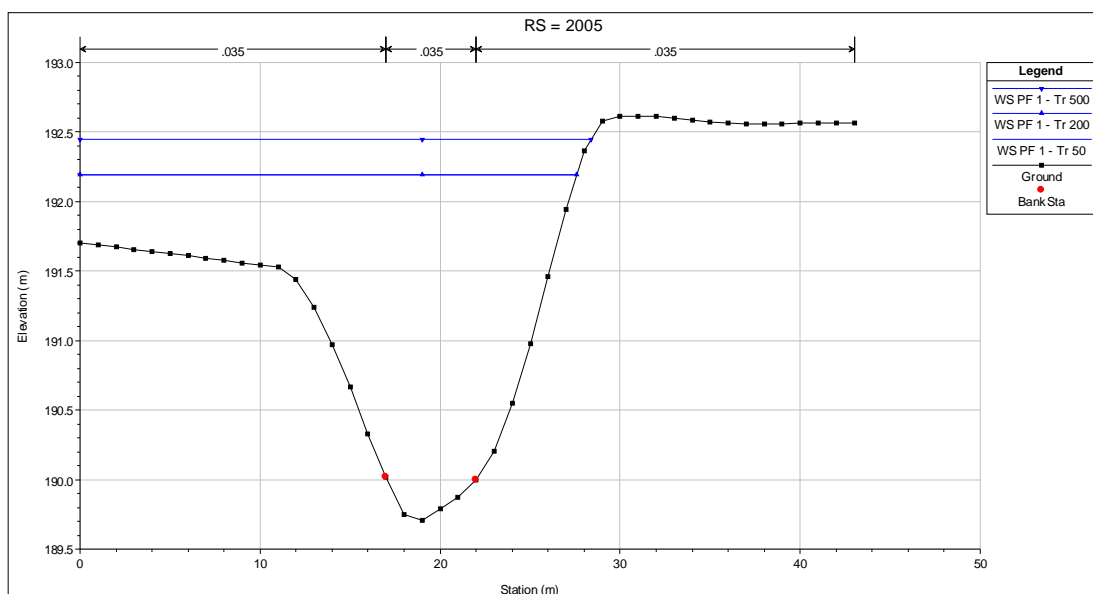
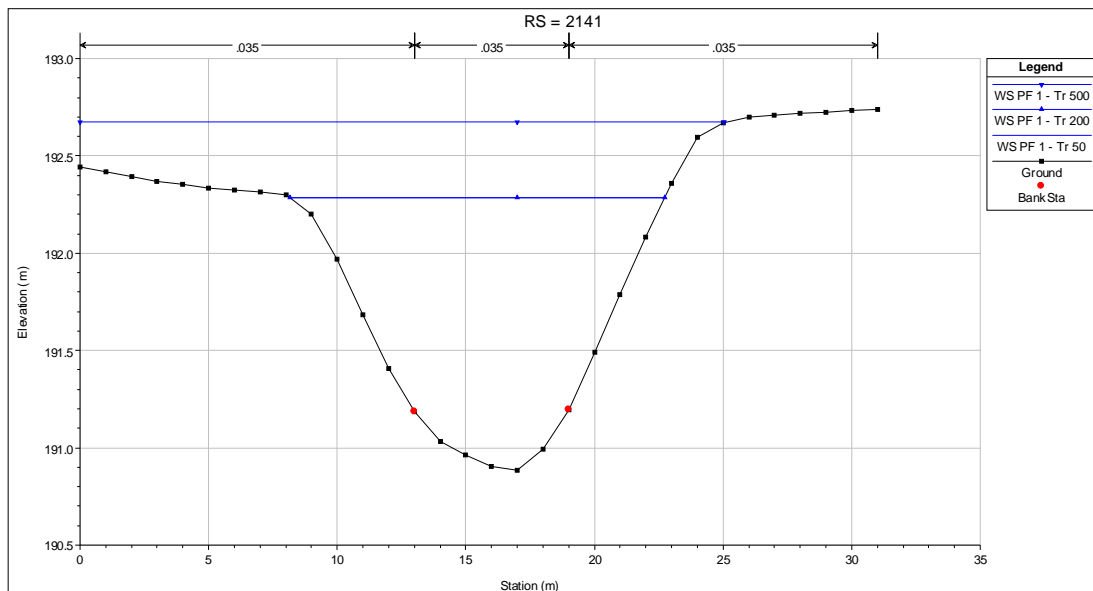
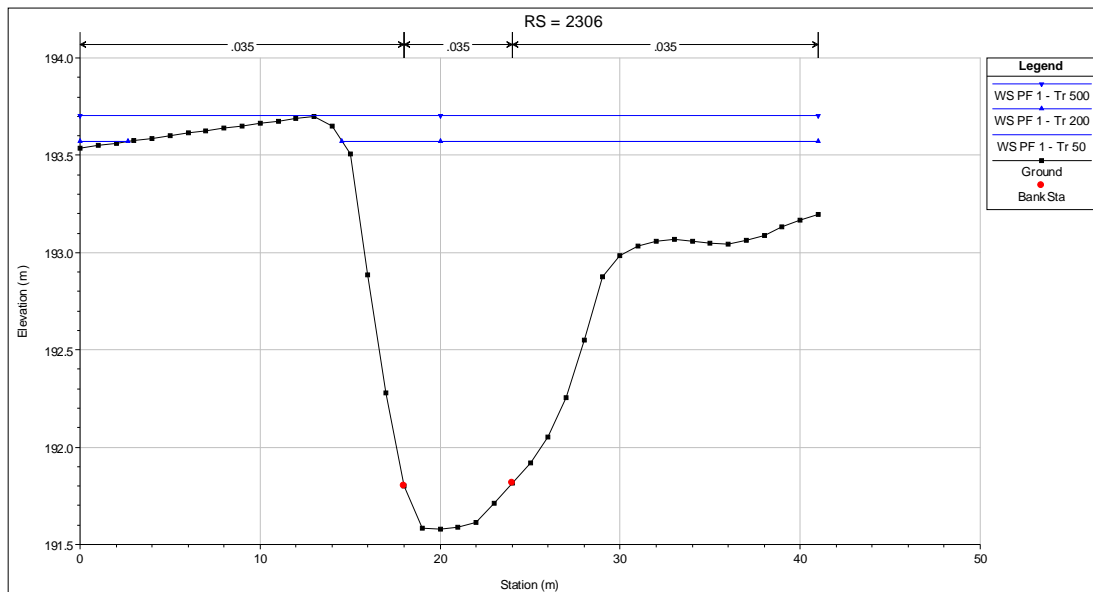
Sezioni del T. Bendola



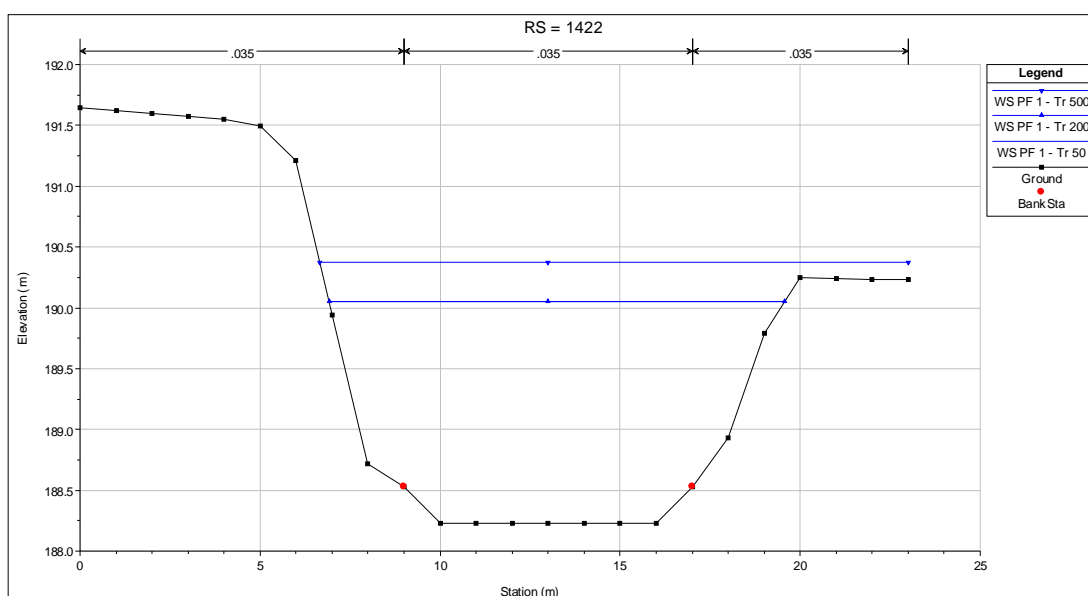
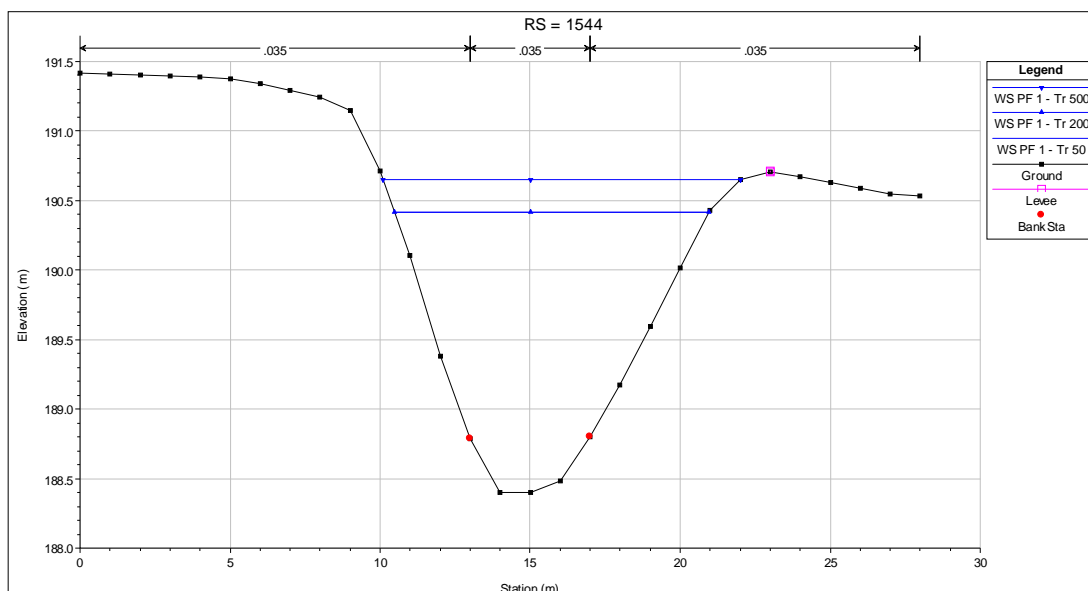
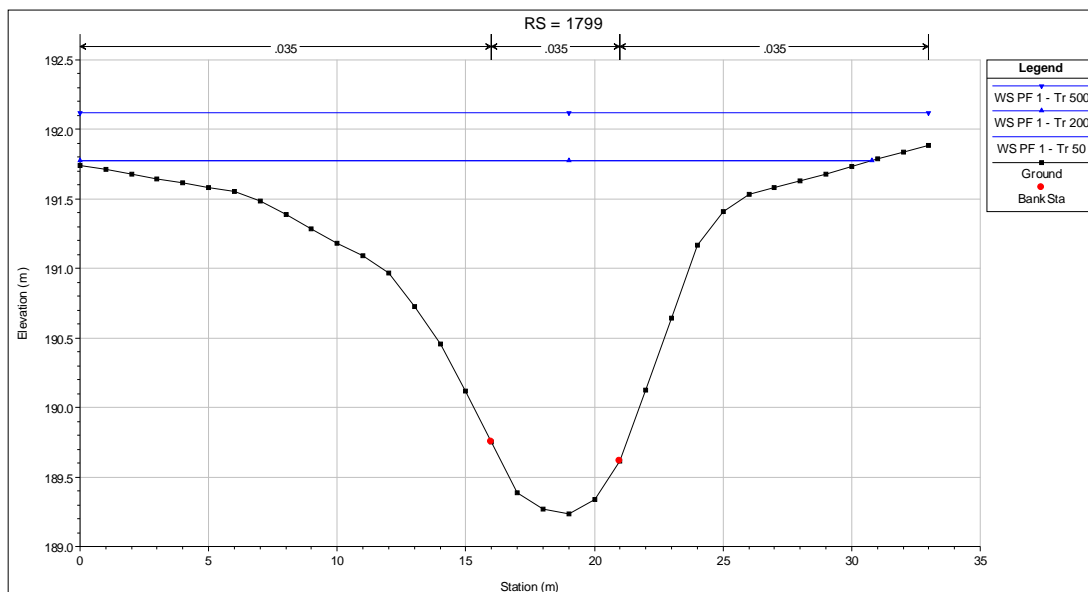
COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



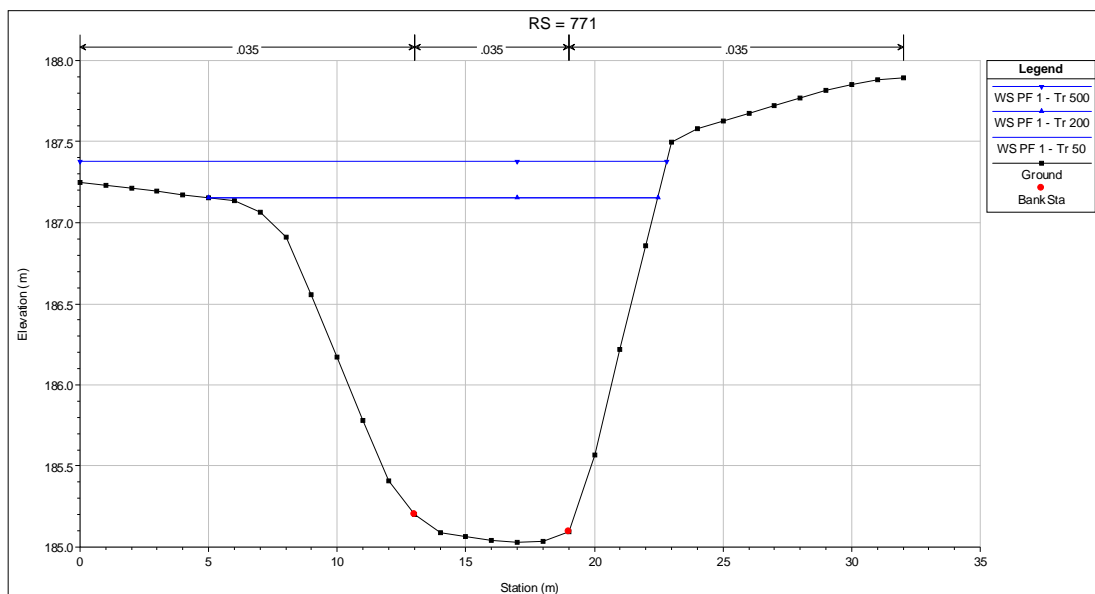
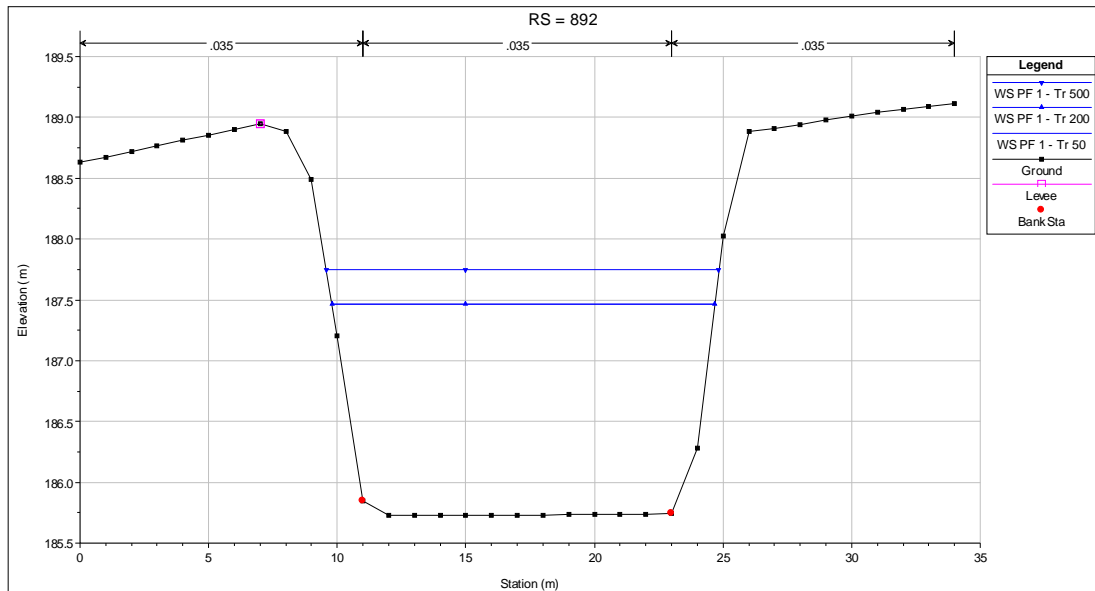
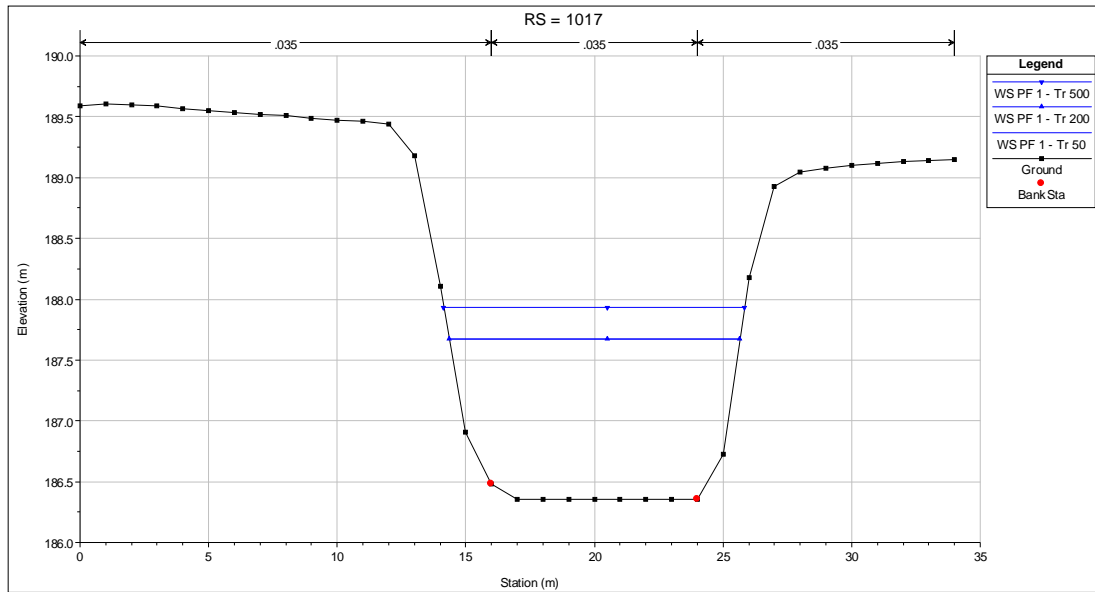
COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



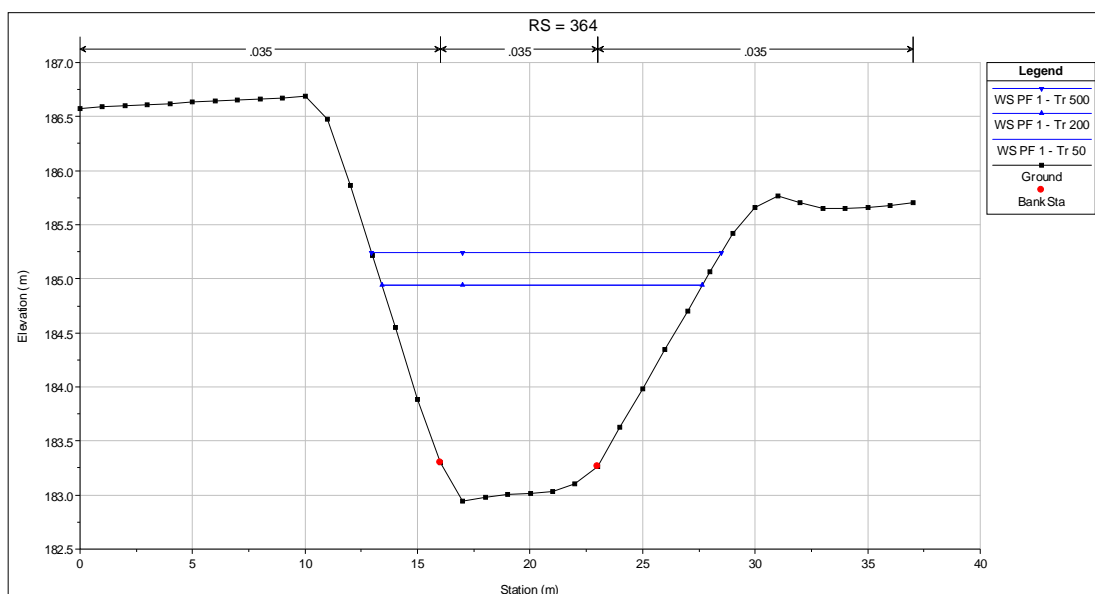
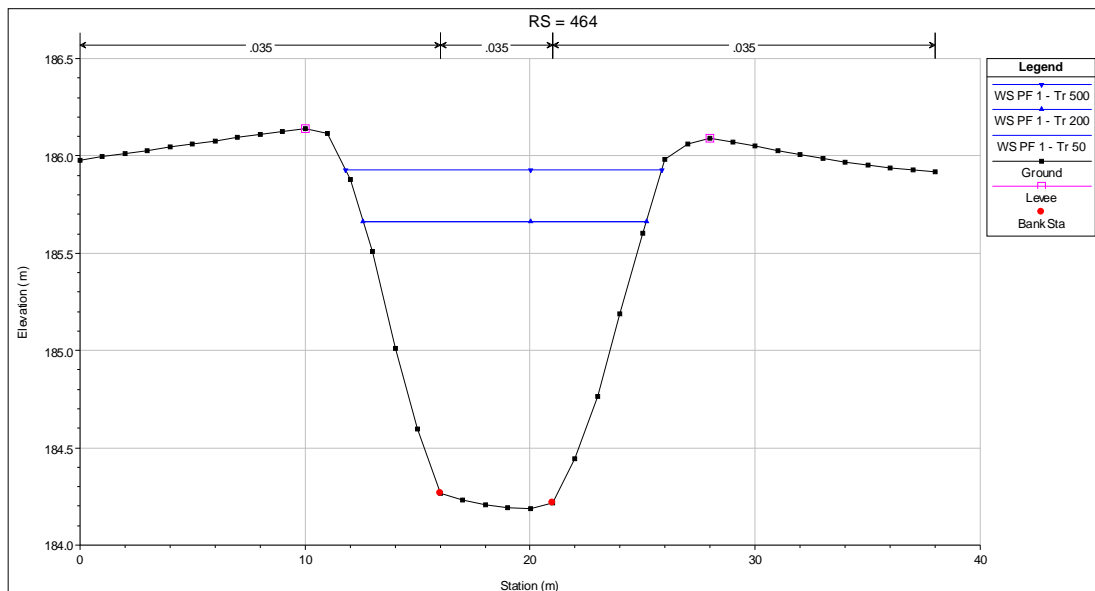
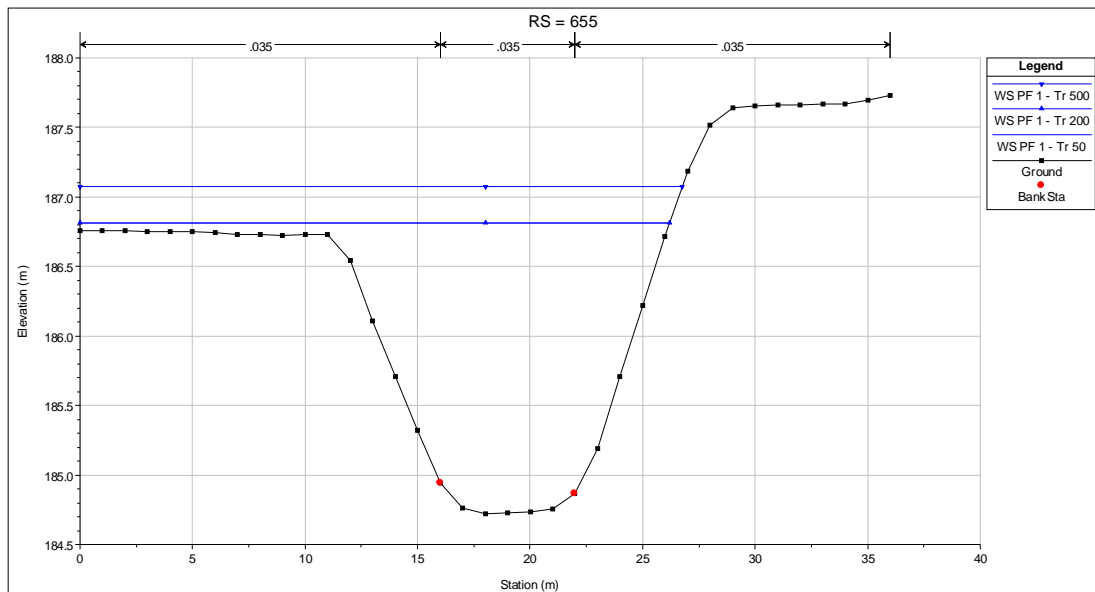
COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



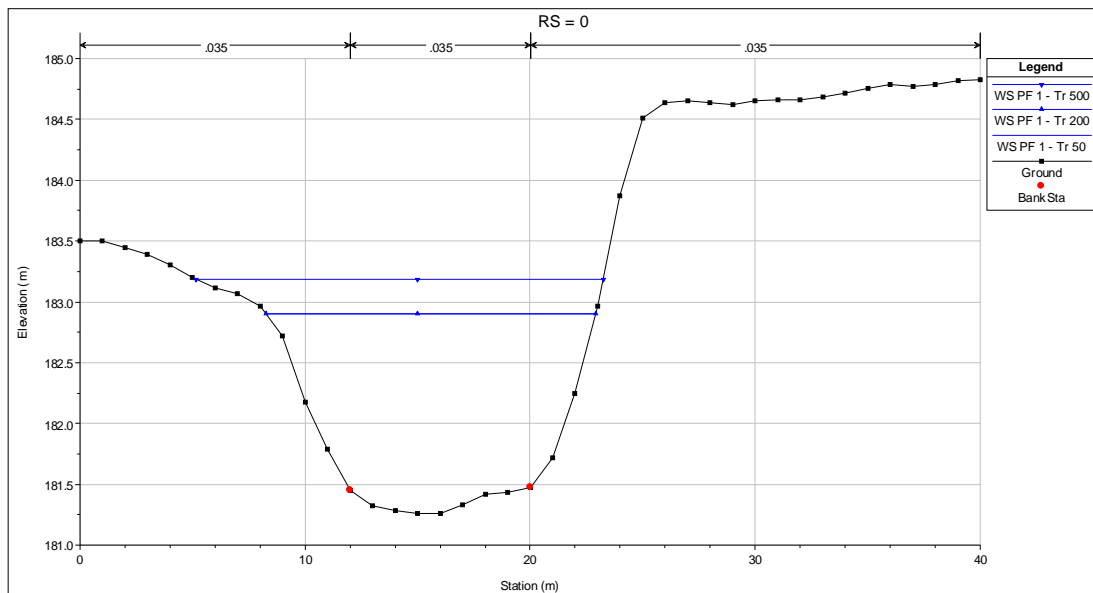
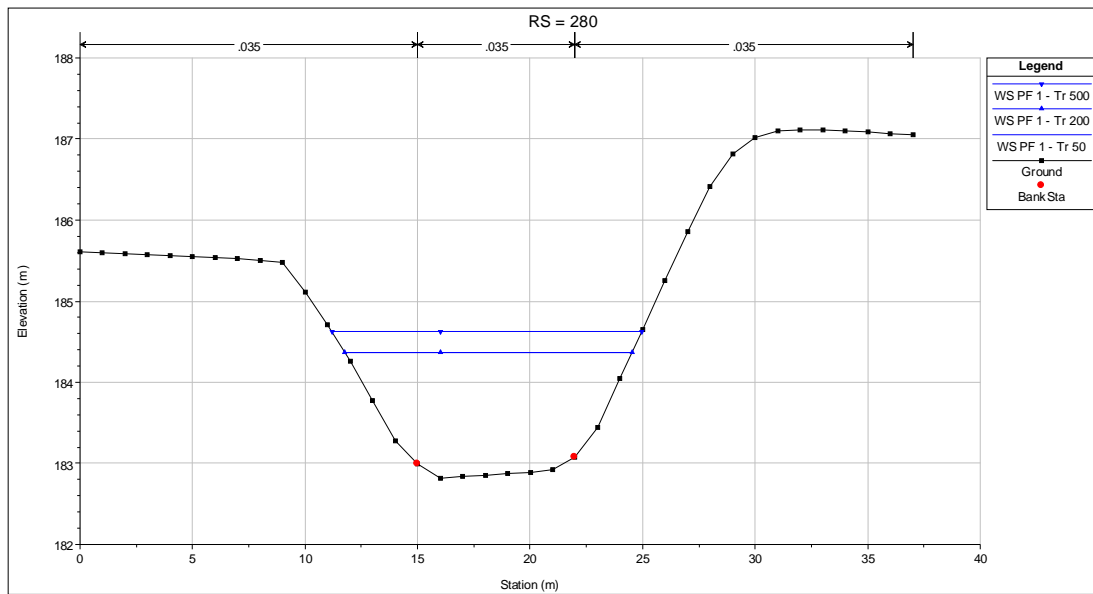
COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

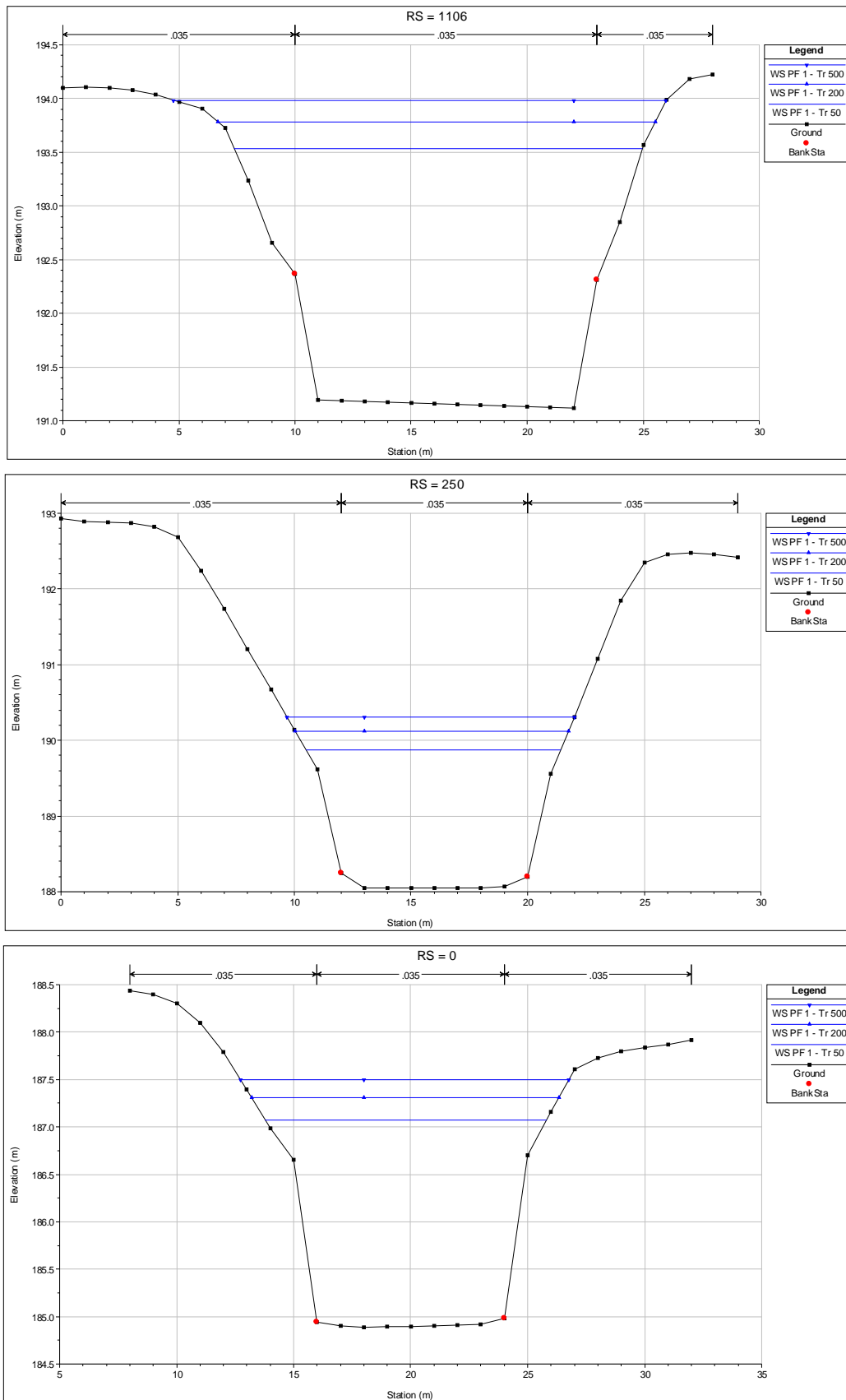


COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

Sezioni del canale scolmatore



APPENDICE - D. CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO PER IL RIO SAN GIOVANNI (MALONETTO)

Lo schema delle portate per il Rio San Giovanni è stato calcolato come segue:

- 1) I valori di portata del Rio San Giovanni (Malonetto) sono stati calcolati con modellazione afflussi-deflussi con sezione di chiusura posta in corrispondenza del nodo idraulico "Prati magri" (riferimenti in Figura 2-24).
- 2) I valori di portata della Bealera 2 (riferimenti in Figura 2-24) sono stati calcolati con riferimento alla capacità di convogliamento delle luci attraversate a monte della confluenza.

La modellazione idrologica afflussi-deflussi è stata effettuata mediante impiego del codice di calcolo Hec-1 attivato secondo i criteri del metodo SCS secondo quanto previsto dalle Norme di Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI - Allegato 7). Il modello è alimentato con uno ietogramma di durata crescente fino a trovare la condizione che produce il valore massimo della portata al colmo.

D.1 Delimitazione del bacino idrografico

La delimitazione del bacino idrografico è stata effettuata mediante i seguenti criteri:

- Esame della morfologia con riferimento al prodotto cartografico CTR ed al modello digitale del terreno realizzato dalla Regione Piemonte (2009-2011) mediante l'impiego di laser-scanner aviotrasportato (tolleranza altimetrica media di ± 0.30 m e ± 0.60 m per le aree boscate).
- Esame delle direzioni di flusso elaborate in ambiente WMS® mediante il codice Topaz in riferimento al LiDAR della Regione Piemonte 5 x 5 m).
- Esame delle interferenze antropiche in grado di influenzare fortemente la direzione e la modalità di trasferimento del ruscellamento superficiale.

I parametri morfometrici del Rio San Giovanni (Malonetto) sono i seguenti (Figura D- 1):

| | |
|--------------------------------|----------------------|
| Area sottesa | 20.5 km ² |
| Lunghezza dell'asta principale | 20.05 km |
| Altitudine max | 365 m slm |
| Altitudine min | 190 m slm |
| Altitudine media | 258 m slm |
| Pendenza media dei versanti | 0.037 m/m |
| Pendenza media dell'asta | 0.08 m/m |

Il bacino così delimitato è stato successivamente suddiviso in sottobacini elementari al fine di dettagliare il calcolo della modellazione afflussi – deflussi.

D.2 Pluviometria e precipitazioni di riferimento

La previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto viene effettuata tramite la relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno. La curva di probabilità pluviometrica è espressa dalla seguente:

$$h(t) = a(t)^n$$

in cui h è l'altezza di pioggia (in mm), t la durata della pioggia (in ore), i parametri a e n dipendono dallo specifico tempo di ritorno considerato.

Viene utilizzata l'analisi statistica delle osservazioni pluviometriche proposta nella Direttiva 2 del PAI (2001) che fornisce, sulla base delle elaborazioni puntuali, una interpretazione della

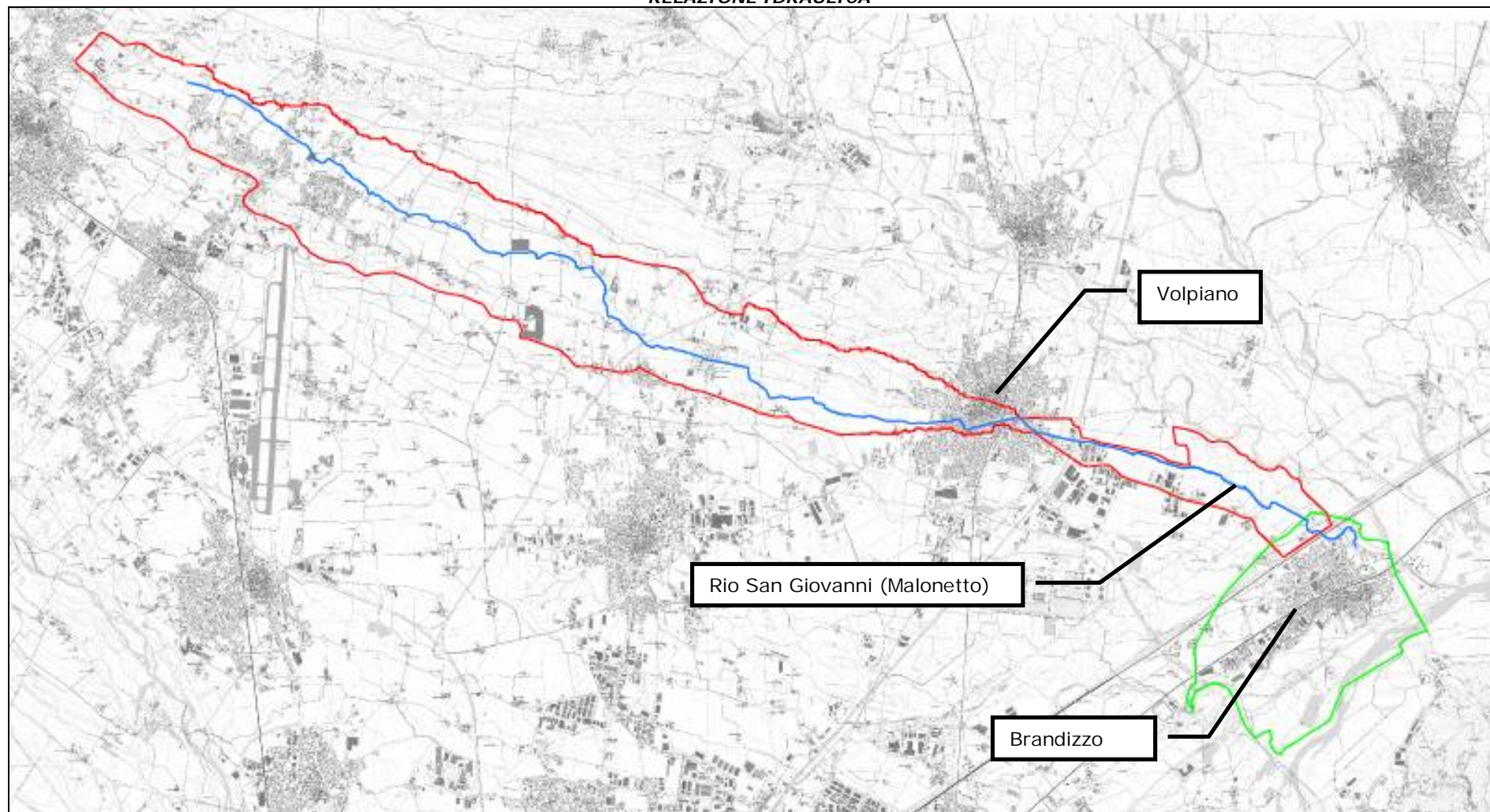


Figura D- 1. Rappresentazione del bacino idrografico del Rio San Giovanni (Malonetto).

variabilità spaziale dei parametri pluviometrici con il metodo del kriging dei parametri a ed n delle linee segnalatrici, discretizzate in base ad un reticolo di 2 Km di lato.

Ai fini della determinazione dell'altezza di pioggia, nell'ipotesi che i coefficienti pluviometrici possano ritenersi come valori medi dell'intero bacino, è stata impiegata al cella AX 97 posta in posizione grossomodo baricentrica, a cui sono attribuiti i seguenti coefficienti:

$$h [Tr 5] = 35.58 t^{0.328} \text{ (valore interpolato)}$$

$$h [Tr 10] = 42.0 t^{0.326} \text{ (valore interpolato)}$$

$$h [Tr 20] = 48.15 t^{0.325}$$

$$h [Tr 50] = 56.11 t^{0.320} \text{ (valore interpolato)}$$

$$h [Tr 100] = 62.08 t^{0.317}$$

$$h [Tr 200] = 68.06 t^{0.315}$$

$$h [Tr 500] = 75.93 t^{0.313}$$

I criteri impiegati per l'elaborazione delle piogge sono riportati in. Gli ietogrammi di progetto sono riportati in Figura D- 2.

La durata di pioggia critica è stata determinata alimentando il modello afflussi-deflussi con ietogrammi di durata crescente fino ad individuare il massimo valore di portata al colmo che, in condizione di imbibizione media del suolo è stata individuata in 8h.

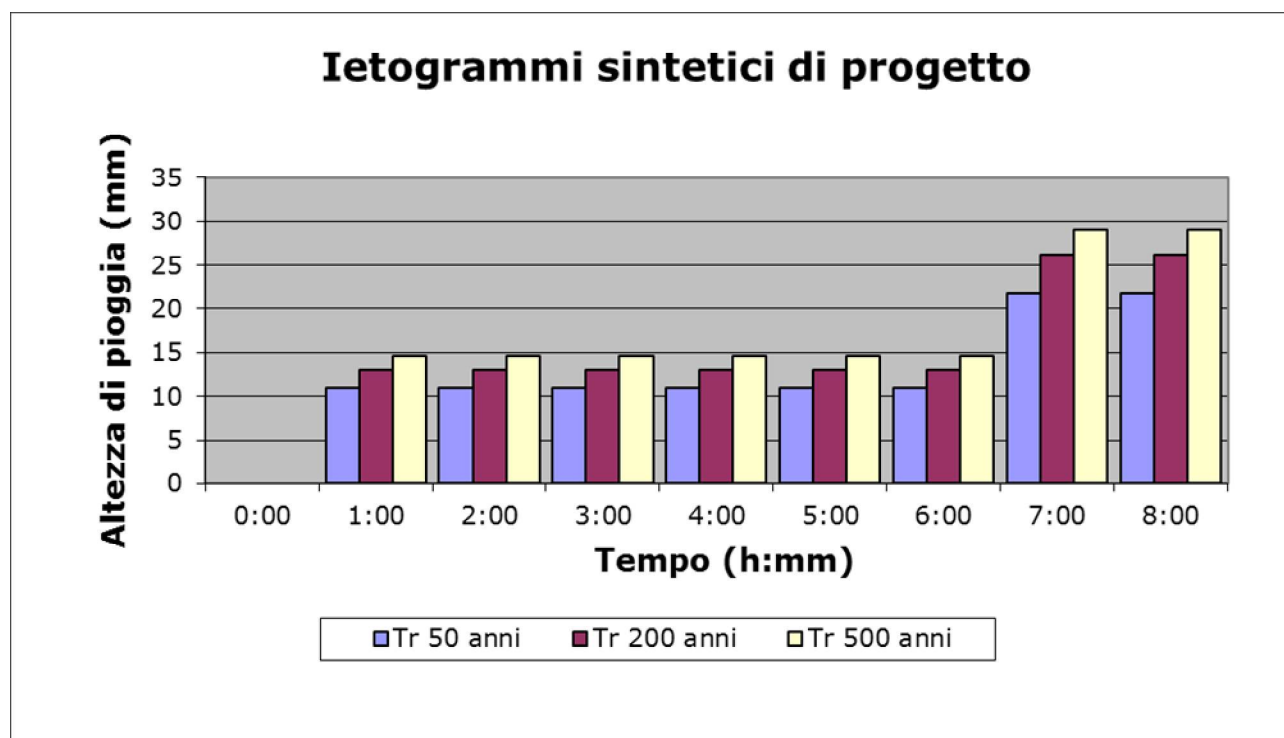


Figura D- 2. Ietogrammi sintetici di progetto impiegati per le verifiche idrauliche riferiti ad una durata di pioggia critica pari a 8 h (tr 50 anni: altezza di pioggia totale pari a 109.1 mm, tr 200 anni: altezza di pioggia totale pari a 131.0 mm, tr 500 anni: altezza di pioggia totale pari a 145.6 mm).

D.3 Caratteristiche geopedologiche e vegetazionali del bacino

Viene impiegato il metodo SCS (Soil Conservation Service) che sintetizza le caratteristiche idrologiche di un bacino attraverso un unico parametro CN (Curve Number) che definisce la relazione precipitazione-volume di deflusso. Il CN rappresenta dunque l'attitudine di una

porzione di territorio di produrre deflusso e può essere calcolato in modo indiretto sulla base delle caratteristiche geopedologiche e vegetazionali del bacino stesso.

Al fine della determinazione del CN è stata ipotizzata la condizione di stato di imbibizione medio (AMC-II). Tale condizione è stata posta assumendo l'ipotesi che in bacini collinari e di pianura di ridotta estensione, in cui la fusione della neve non produce effetti rilevanti, l'esaurimento della piena avviene in tempi medio – brevi (nell'intervallo di alcune ore e non di giorni) ritenendo pertanto che gli eventi di riferimento si verifichino in condizioni pressoché indisturbate.

L'assegnazione del valore di CN è avvenuta mediante l'incrocio fra l'informazione relativa alla copertura ed uso del suolo (vedi Figura D- 3) e quella relativa al tipo idrologico di suolo (vedi Figura D- 4). Tale operazione è effettuata in ambiente GIS una volta resi disponibili la delimitazione del bacino, la carta del tipo idrologico del suolo e la carta dell'uso del suolo.

I dati richiesti sono stati ottenuti dalle seguenti fonti:

- I dati riferiti alla copertura ed all'uso del suolo sono stati ricavati dalla cartografia tematica (Carta forestale e degli altri usi del territorio desunti dai PFT) distribuita dalla Regione Piemonte in ambiente ArcView (in formato shapefile) ⁽¹⁹⁾.
- Il comportamento idrologico del suolo (determinato dal tipo idrologico), in assenza di cartografia specifica, è stato dedotto dalle informazioni ricavabili dalla Carta del Drenaggio pubblicata da IPLA e disponibile in rete in formato .shp per l'intero ambito regionale alla scala 1:50000. La legenda della carta descrive sette classi di drenaggio decrescenti da "rapido" a "impedito". A ciascuna classe è stato attribuito un tipo idrologico di suolo secondo la classificazione SCS (da A a D, in senso decrescente di drenaggio). L'associazione proposta risulta pertanto dalla Tabella D- 1, che riporta anche i valori di velocità di infiltrazione secondo SCS (DODSON, 1995; pag. 5-10). Le elaborazioni delle informazioni sono state effettuate in ambiente GIS e identificano il suolo, nel perimetro del bacino in esame, prevalentemente come tipo C.

Tabella D- 1. Attribuzione del tipo idrologico di suolo (secondo SCS) alle classi di drenaggio.

| Classe (IPLA) | Drenaggio | Tipo idrologico | Velocità di infiltrazione (mm/ora) |
|---------------|----------------------|-----------------|------------------------------------|
| 0 | Suoli di fondovalle | A | 7.5÷11.25 |
| 1 | Rapido | B | 3.75÷7.5 |
| 2 | Moderatamente rapido | B | |
| 3 | Buono | C | 1.25÷3.75 |
| 4 | Mediocre | C | |
| 5 | Lento | D | 0.00÷1.25 |
| 6 | Molto lento | D | |
| 7 | Impedito | D | |

A seguito delle ipotesi assunte e delle elaborazioni effettuate mediante il codice di calcolo WMS è possibile esprimere il seguente valore medio: CN medio 78.6, riferito ad AMC-II.

⁽¹⁹⁾ La cartografia è stata redatta nell'ambito della redazione dei Piani Forestali Territoriali dall'IPLA nel corso di una campagna di acquisizione e restituzione dati (1996-2005). Il dato è stato acquisito e restituito alla scala 1:10 000 mediante scansione e vettorializzazione dei dati sulla base della CTR regionale e verifica sul campo.

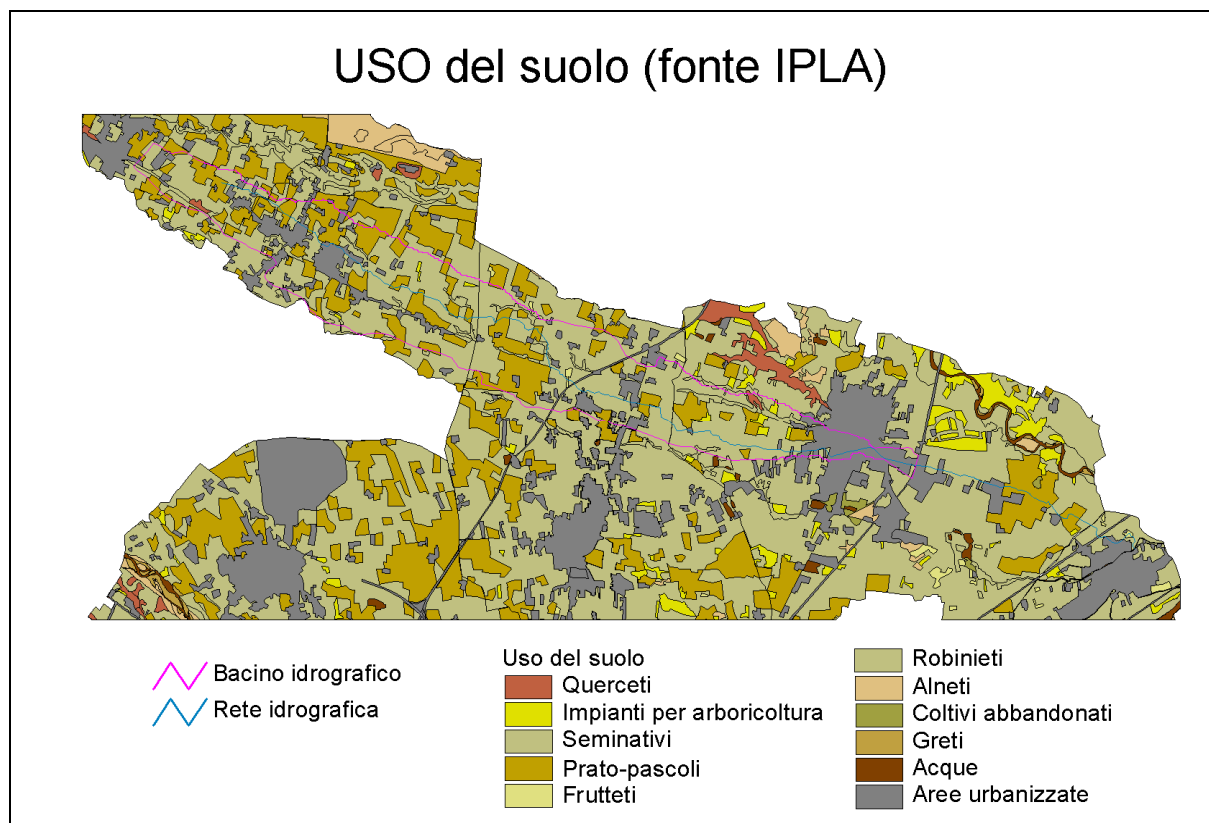


Figura D- 3. Estratto della carta dell'uso del suolo attuale per il bacino idrografico del Rio Vallone Riera, distribuita da IPLA - Regione Piemonte (scala di acquisizione 1: 10 000).

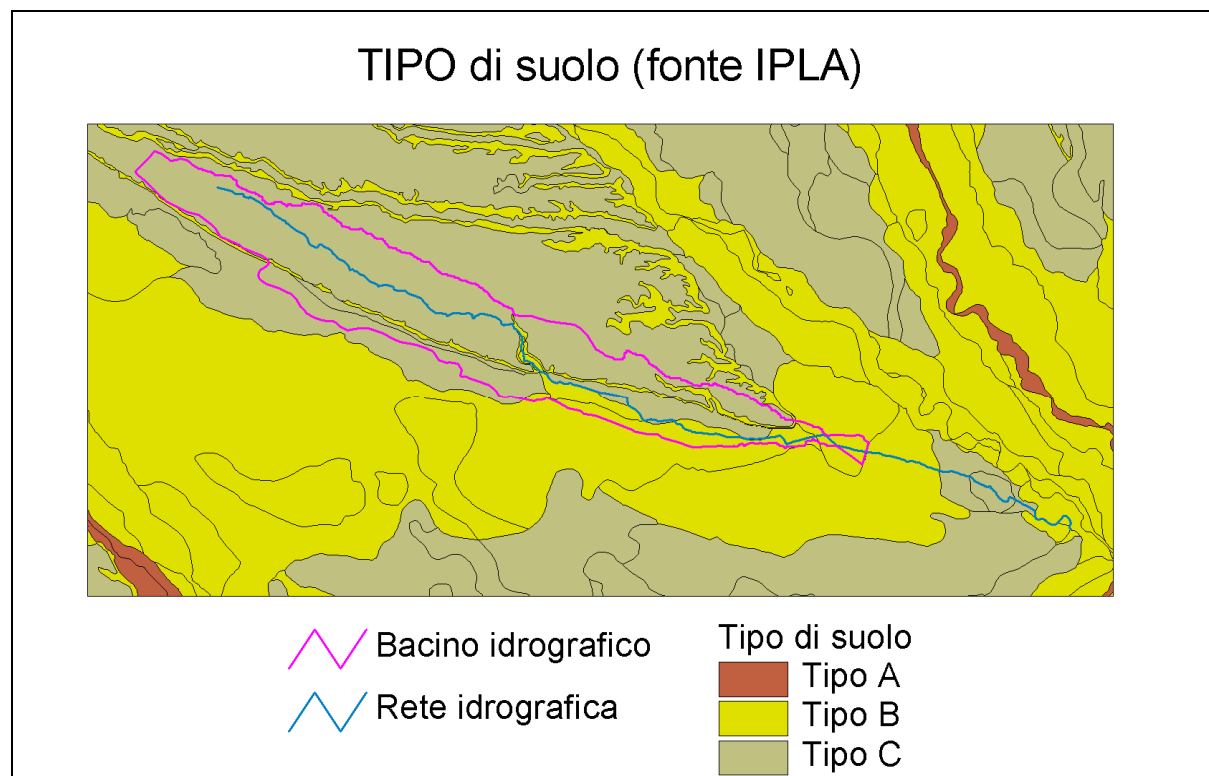
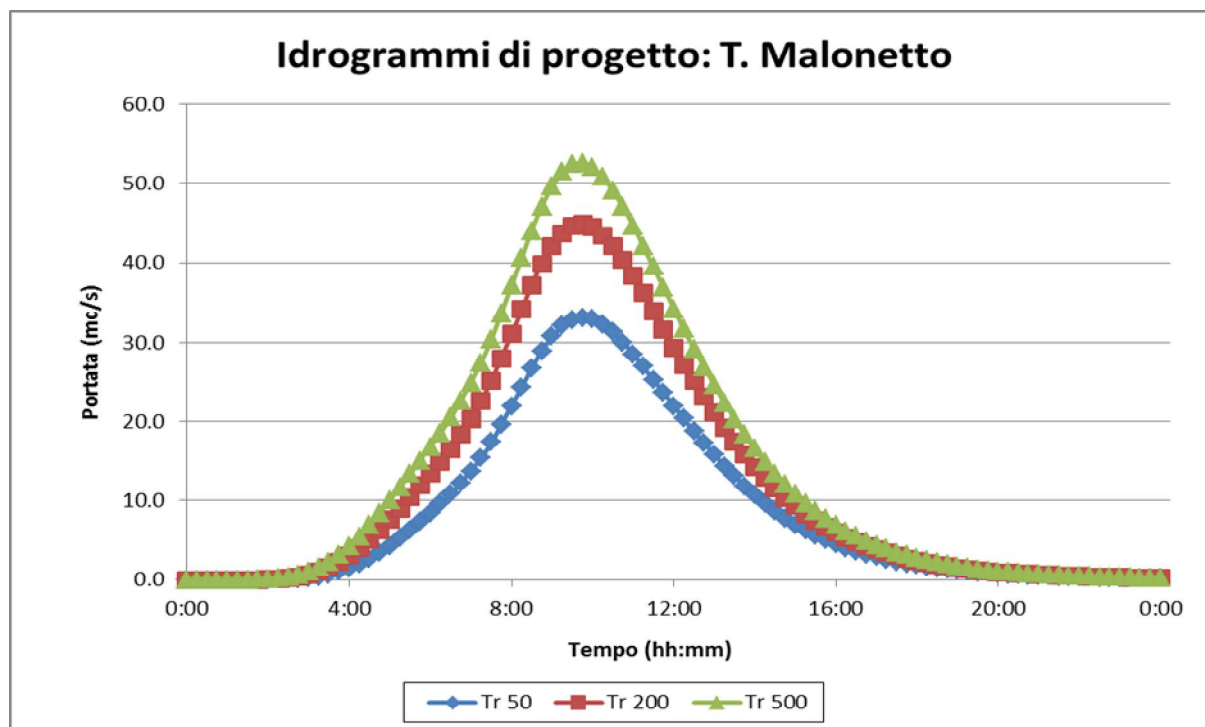


Figura D- 4. Carta del tipo idrologico di suolo (secondo la classificazione proposta dal S.C.S.) derivante dall'incrocio di informazioni reperite dalla Carta del Drenaggio distribuita da IPLA.

I valori di portata, sotto forma di idrogrammi, sono riportati nella figura successiva.



D.4 Valutazione della capacità di convogliamento delle luci attraversate a monte della confluenza (Bealera 2)

- In corrispondenza di Loc. Cascina Pantalina si rinviene un fosso irriguo collegato alla rete idrografica di interesse. Il collegamento avviene a valle di un attraversamento costituito da un condotto in calcestruzzo Ø 800 mm (Figura D- 5), la cui capacità di convogliamento, valutata in moto uniforme, è pari a:

$$Q = A \times \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times j^{\frac{1}{2}} = 0.47 \times \frac{1}{0.03} \times 0.24^{\frac{2}{3}} \times 0.01^{\frac{1}{2}} = 0.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Nelle vicinanze si rinviene un ulteriore fosso irriguo collegato alla rete idrografica di interesse. Il collegamento avviene a valle di un attraversamento costituito da uno scatolare avente luce 3 x 1.2 (base x altezza, vedi Figura D- 6), la cui capacità di convogliamento, valutata in moto uniforme, è pari a:

$$Q = A \times \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times j^{\frac{1}{2}} = (1.2 \times 3) \times \frac{1}{0.04} \times 0.67^{\frac{2}{3}} \times 0.01^{\frac{1}{2}} = 6.9 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Il massimo valore di portata convogliabile da tali luci risulta pari a $0.6 + 6.9 = \mathbf{7.5 \text{ m}^3/\text{s}}$



Figura D- 5. Attraversamento costituito da un condotto in calcestruzzo Ø 800 mm (vista da monte verso valle) in grado di convogliare fino a 0.6 m³/s.



Figura D- 6. Attraversamento costituito da uno scatolare 3x1.2 (vista da valle) in grado di convogliare fino a 7 m³/s circa.

APPENDICE - E. RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICO HEC-RAS: RIO SAN GIOVANNI (MALONETTO)

Di seguito si riportano i risultati della modellazione idraulica. I risultati, riferiti agli eventi con tr 20, 200 e 500 anni, sono costituiti da:

- tabulato di uscita del codice di calcolo in cui vengono esplicitate le grandezze idrauliche;
- rappresentazione delle sezioni idrauliche. Si precisa che, qualora la portata di riferimento non sia contenuta all'interno delle sponde, il livello idrometrico restituito dal modello idraulico 1D non è indicativo della quota effettivamente raggiunta dall'acqua. Tale quota potrà essere dedotta dai risultati del modello 2D, che si presta a descrivere al meglio le situazioni reali (in cui la corrente si adagia al terreno, torna indietro a colmare depressioni o ristagna), in quanto consente di calcolare il livello idrometrico in funzione della morfologia del terreno e delle situazioni di moto locali e, di conseguenza, di individuare il campo di inondazione (dettagli in APPENDICE - A).

Si evidenzia quanto segue:

- La corografia delle sezioni è riportata in Elaborato AT5 - 2.
- L'identificativo delle sezioni è stato assegnato assumendo la progressiva chilometrica (espressa in metri) a partire dall'ultima sezione di valle del modello (sez. 0). La distanza tra le sezioni è pertanto ricavabile per differenza tra gli identificativi delle sezioni.
- Nella rappresentazione delle sezioni (viste da monte verso valle) le altezze sono esaltate rispetto alle distanze, pertanto i dislivelli appaiono accentuati.

Al fine di rendere più leggibile la tabella seguente si specifica che:

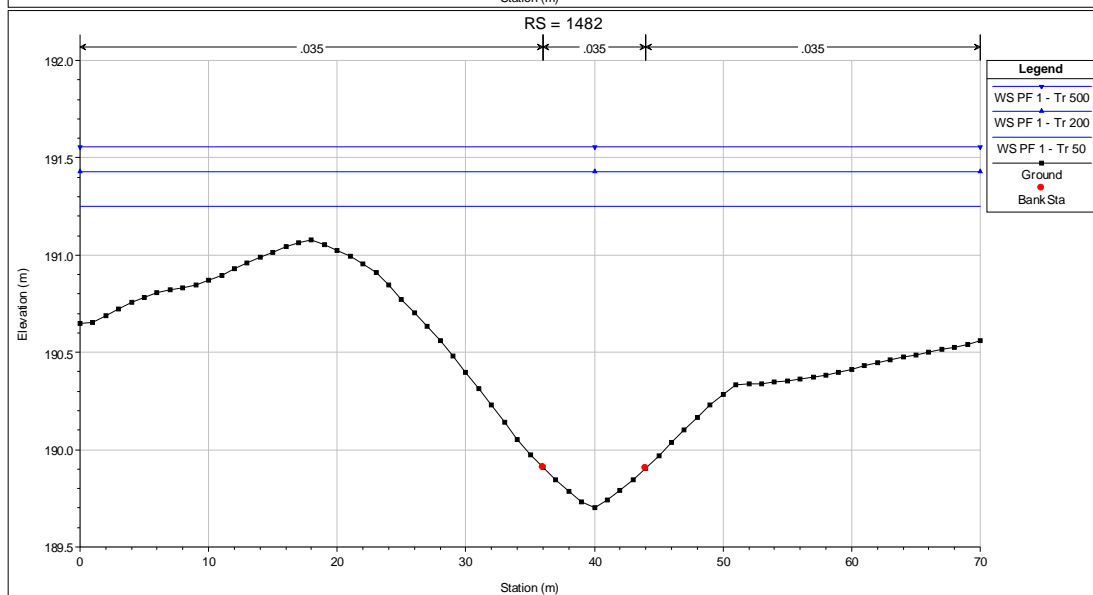
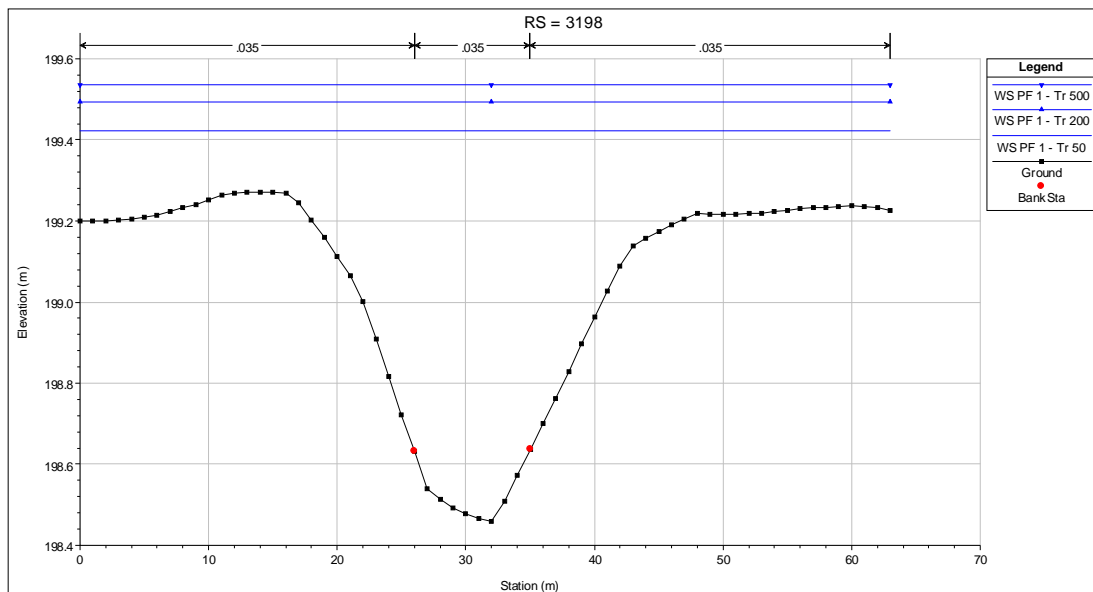
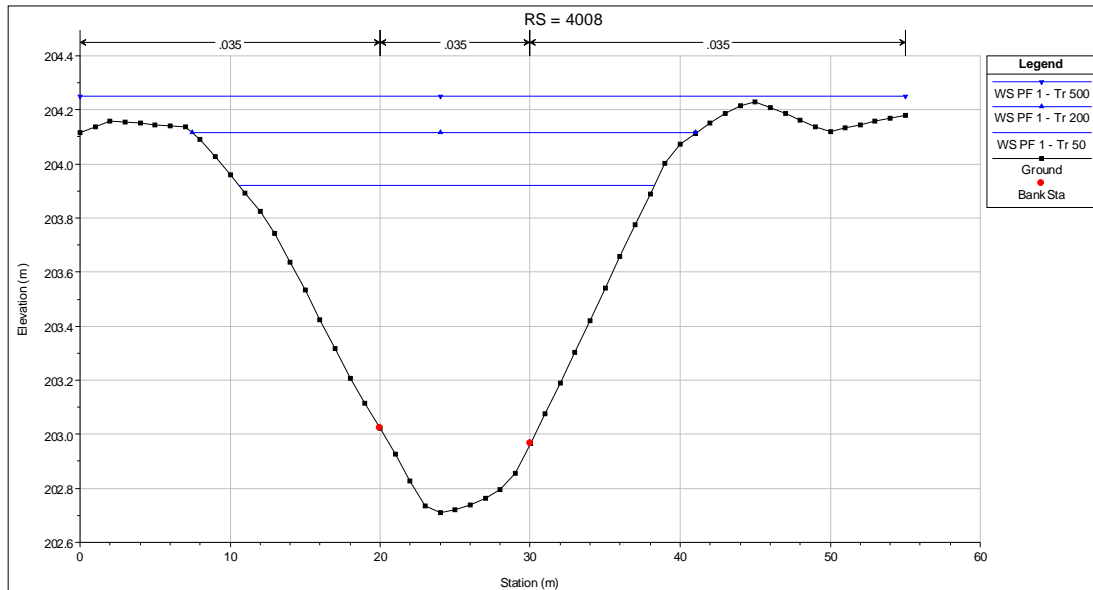
| | |
|--------------|---|
| River Sta | : numero sezione (crescente da valle verso monte) |
| Plan | : condizione di riferimento |
| Min Ch El | : quota minima del fondo |
| W.S. Elev. | : quota del pelo libero |
| Crit- W.S. | : quota del pelo libero allo stato critico |
| E.G. Elev. | : quota della 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) |

COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

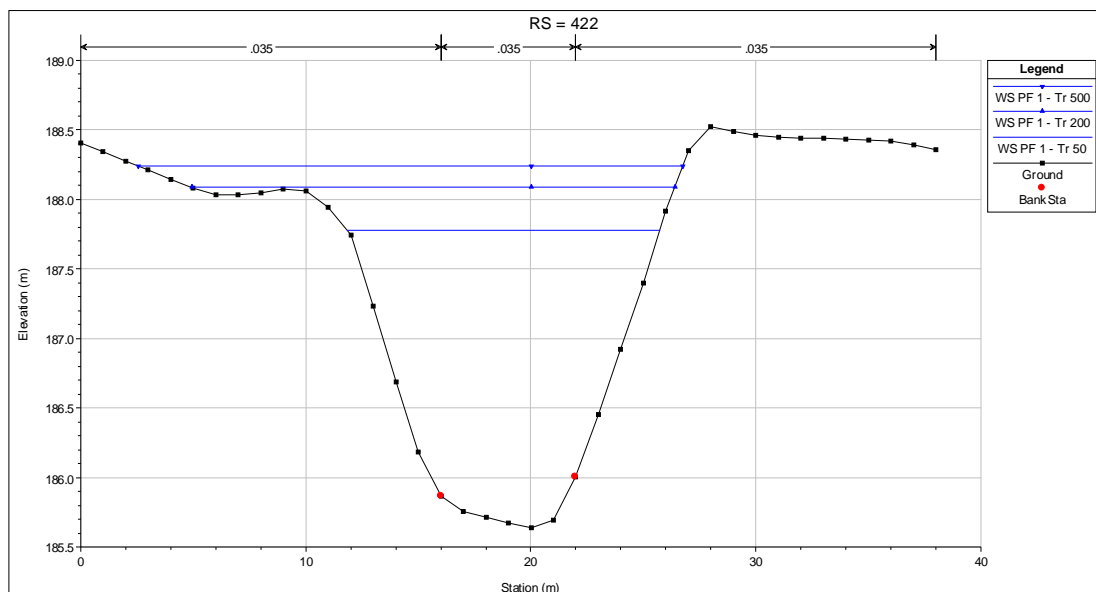
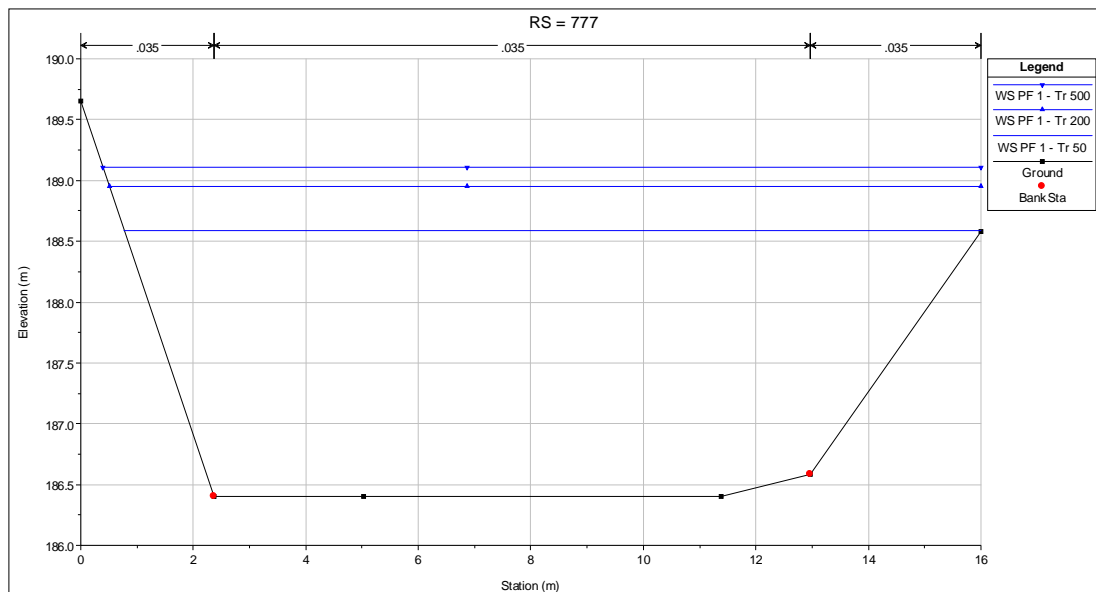
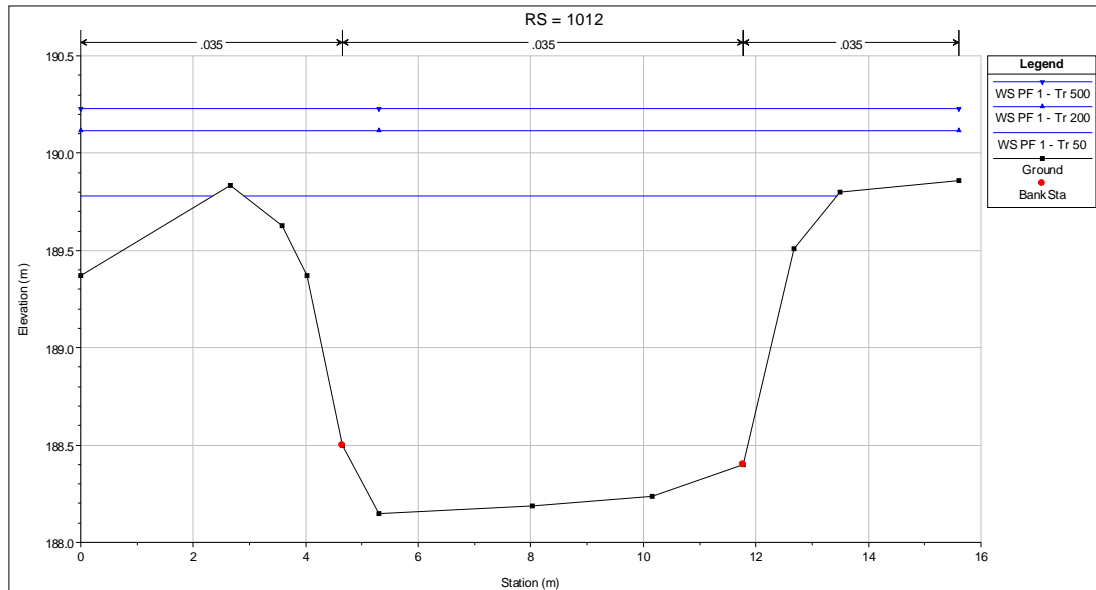
Tabella E- 1. Tabella dei risultati del modello 1D in moto permanente attivato per eventi con tr 20, 200 e 500 anni per il Rio San Giovanni (Malonetto).

| HEC-RAS Rio San Giovanni (Malonetto) | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|--------|
| River Sta | Plan | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude |
| 4008 | Tr 50 | 33.1 | 202.71 | 203.92 | 203.74 | 204.11 | 0.004812 | 2.13 | 19.18 | 27.69 | 0.64 |
| 4008 | Tr 200 | 44.9 | 202.71 | 204.12 | 203.9 | 204.32 | 0.004579 | 2.31 | 25.05 | 33.57 | 0.64 |
| 4008 | Tr 500 | 52.6 | 202.71 | 204.25 | 203.99 | 204.47 | 0.004532 | 2.45 | 31.47 | 55 | 0.65 |
| 3198 | Tr 50 | 33.1 | 198.46 | 199.42 | 199.42 | 199.57 | 0.006546 | 2.16 | 23.62 | 63 | 0.73 |
| 3198 | Tr 200 | 44.9 | 198.46 | 199.49 | 199.49 | 199.68 | 0.00737 | 2.41 | 28.09 | 63 | 0.78 |
| 3198 | Tr 500 | 52.6 | 198.46 | 199.54 | 199.54 | 199.74 | 0.007806 | 2.55 | 30.69 | 63 | 0.81 |
| 1482 | Tr 50 | 33.1 | 189.7 | 191.25 | | 191.27 | 0.000567 | 0.87 | 54.04 | 70 | 0.23 |
| 1482 | Tr 200 | 44.9 | 189.7 | 191.43 | | 191.46 | 0.00055 | 0.93 | 66.65 | 70 | 0.23 |
| 1482 | Tr 500 | 52.6 | 189.7 | 191.56 | | 191.58 | 0.000512 | 0.94 | 75.46 | 70 | 0.23 |
| 1012 | Tr 50 | 42.5 | 188.15 | 189.78 | 189.78 | 190.41 | 0.009135 | 3.62 | 13.07 | 12.88 | 0.93 |
| 1012 | Tr 200 | 54.6 | 188.15 | 190.11 | 190.11 | 190.7 | 0.00686 | 3.58 | 18.18 | 15.61 | 0.83 |
| 1012 | Tr 500 | 62.5 | 188.15 | 190.23 | 190.23 | 190.86 | 0.006994 | 3.76 | 19.98 | 15.61 | 0.85 |
| 777 | Tr 50 | 42.5 | 186.4 | 188.59 | | 188.72 | 0.001212 | 1.67 | 27.87 | 15.23 | 0.36 |
| 777 | Tr 200 | 54.6 | 186.4 | 188.95 | | 189.1 | 0.001162 | 1.81 | 33.36 | 15.49 | 0.36 |
| 777 | Tr 500 | 62.5 | 186.4 | 189.11 | | 189.28 | 0.001223 | 1.93 | 35.86 | 15.61 | 0.38 |
| 422 | Tr 50 | 42.5 | 185.64 | 187.78 | | 188.05 | 0.003151 | 2.56 | 19.83 | 13.89 | 0.57 |
| 422 | Tr 200 | 54.6 | 185.64 | 188.09 | | 188.43 | 0.003333 | 2.9 | 24.68 | 21.44 | 0.6 |
| 422 | Tr 500 | 62.5 | 185.64 | 188.24 | | 188.6 | 0.003258 | 2.99 | 28.22 | 24.2 | 0.6 |
| 197 | Tr 50 | 42.5 | 184.5 | 187.1 | | 187.39 | 0.002772 | 2.83 | 20.58 | 13.48 | 0.56 |
| 197 | Tr 200 | 54.6 | 184.5 | 187.52 | | 187.8 | 0.002265 | 2.83 | 26.3 | 13.75 | 0.52 |
| 197 | Tr 500 | 62.5 | 184.5 | 187.6 | | 187.93 | 0.00265 | 3.11 | 27.34 | 13.75 | 0.57 |
| 0 | Tr 50 | 42.5 | 184.2 | 186.3 | 185.98 | 186.69 | 0.0045 | 3.08 | 17.09 | 12.9 | 0.69 |
| 0 | Tr 200 | 54.6 | 184.2 | 186.69 | 186.24 | 187.17 | 0.004502 | 3.46 | 25.22 | 41 | 0.71 |
| 0 | Tr 500 | 62.5 | 184.2 | 186.77 | 186.39 | 187.25 | 0.004507 | 3.54 | 28.79 | 41 | 0.71 |

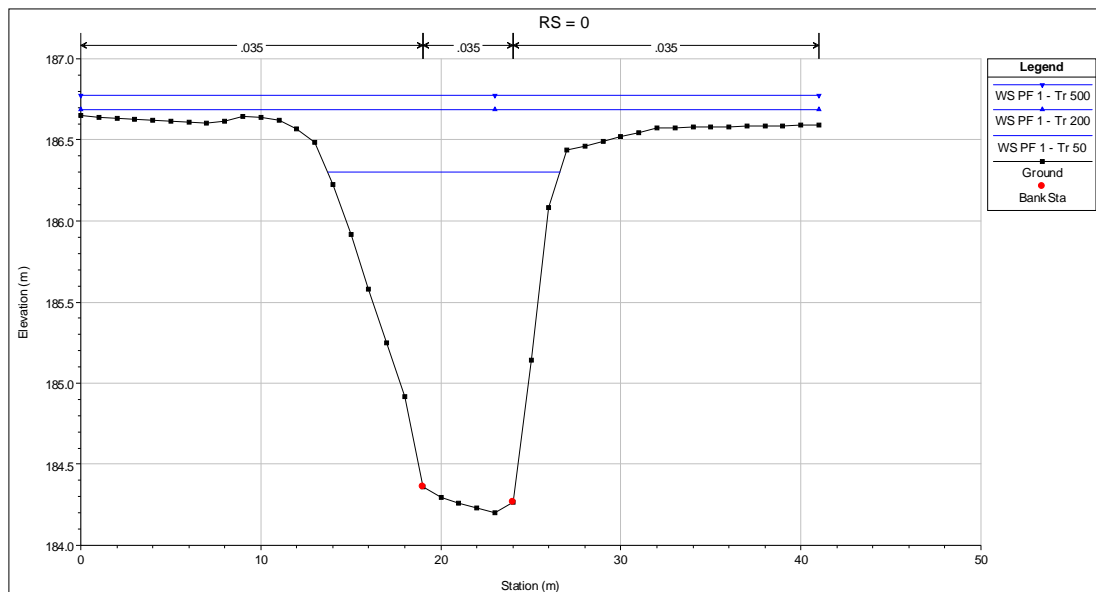
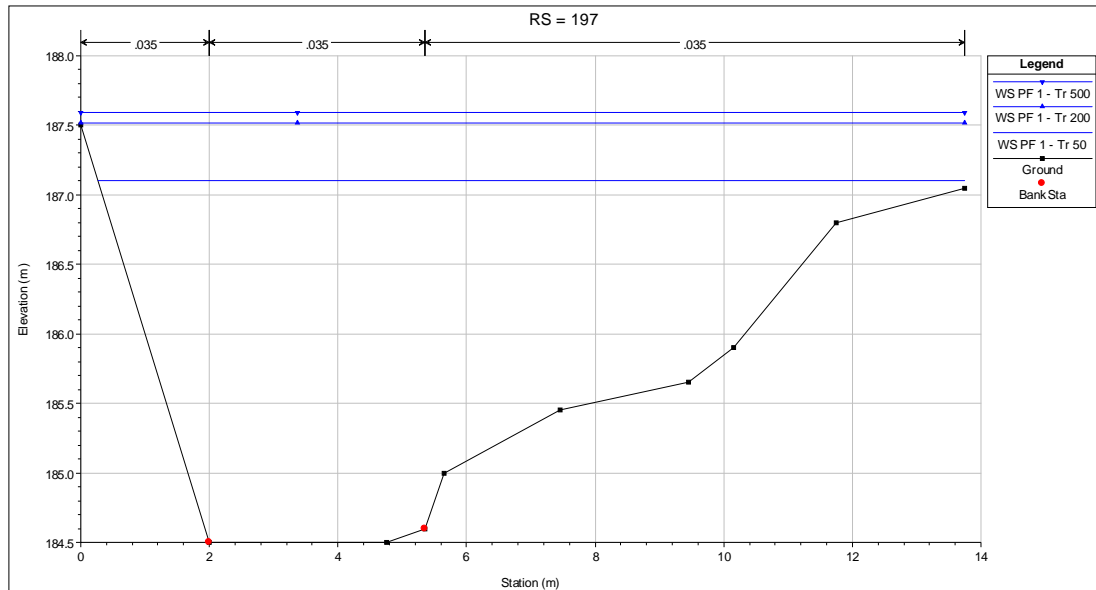
COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



APPENDICE - F . RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICO HEC-RAS: BEALERA NUOVA (GORA DEL MOLINO)

Di seguito si riportano i risultati della modellazione idraulica. I risultati, riferiti agli eventi con tr 20, 200 e 500 anni, sono costituiti da:

- tabulato di uscita del codice di calcolo in cui vengono esplicitate le grandezze idrauliche;
- rappresentazione delle sezioni idrauliche. Si precisa che, qualora la portata di riferimento non sia contenuta all'interno delle sponde, il livello idrometrico restituito dal modello idraulico 1D non è indicativo della quota effettivamente raggiunta dall'acqua. Tale quota potrà essere dedotta dai risultati del modello 2D, che si presta a descrivere al meglio le situazioni reali (in cui la corrente si adagia al terreno, torna indietro a colmare depressioni o ristagna), in quanto consente di calcolare il livello idrometrico in funzione della morfologia del terreno e delle situazioni di moto locali e, di conseguenza, di individuare il campo di inondazione (dettagli in APPENDICE - A).

Si evidenzia quanto segue:

- La corografia delle sezioni è riportata in Elaborato AT5 - 2.
- L'identificativo delle sezioni è stato assegnato assumendo la progressiva chilometrica (espressa in metri) a partire dall'ultima sezione di valle del modello (sez. 0). La distanza tra le sezioni è pertanto ricavabile per differenza tra gli identificativi delle sezioni.
- Nella rappresentazione delle sezioni (viste da monte verso valle) le altezze sono esaltate rispetto alle distanze, pertanto i dislivelli appaiono accentuati.

Al fine di rendere più leggibile la tabella seguente si specifica che:

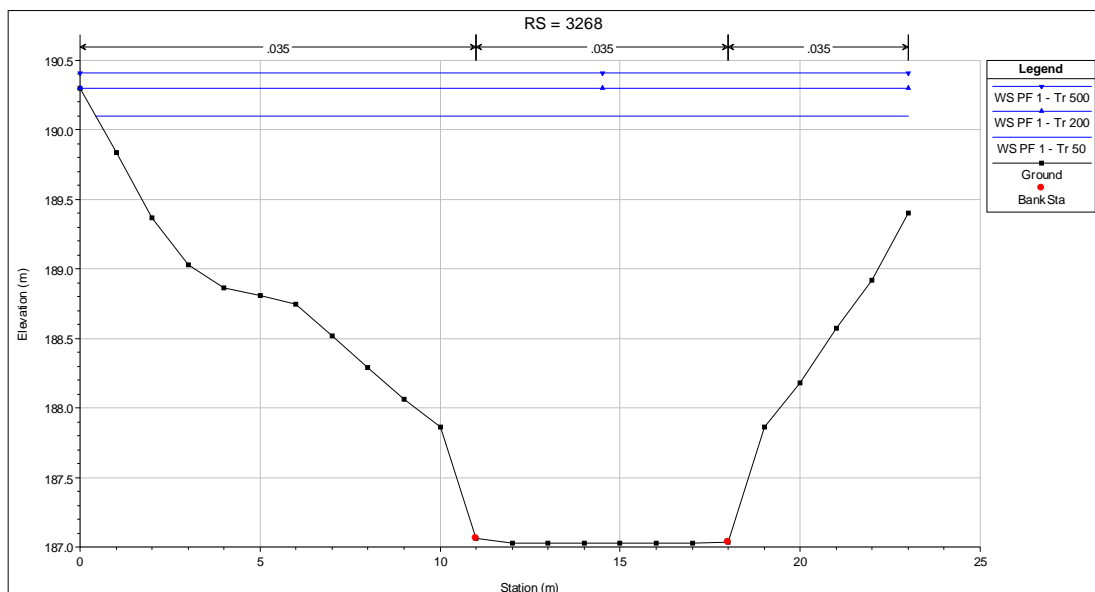
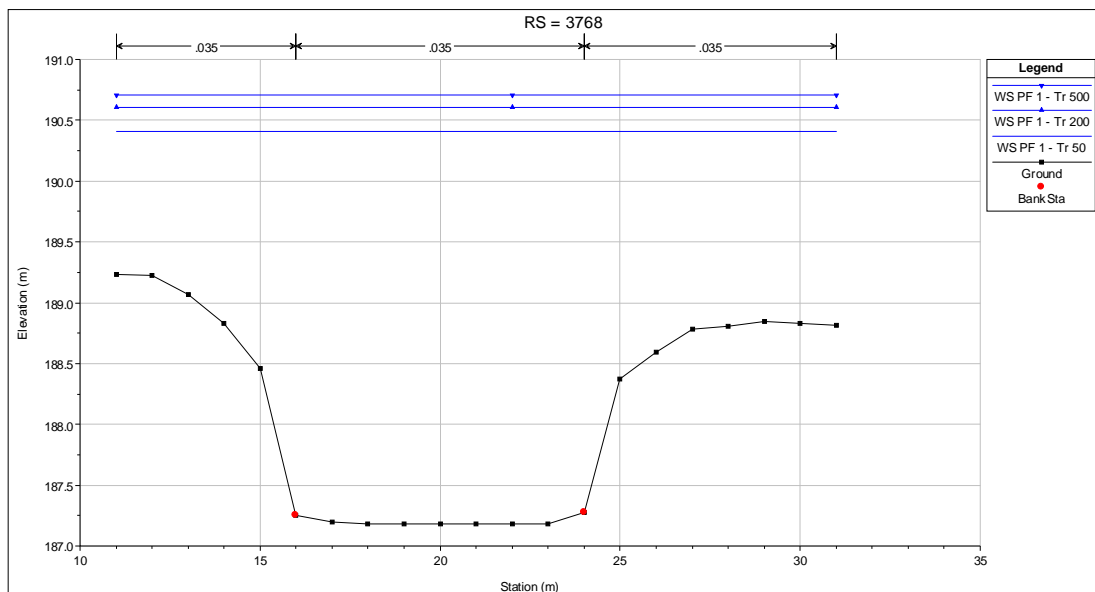
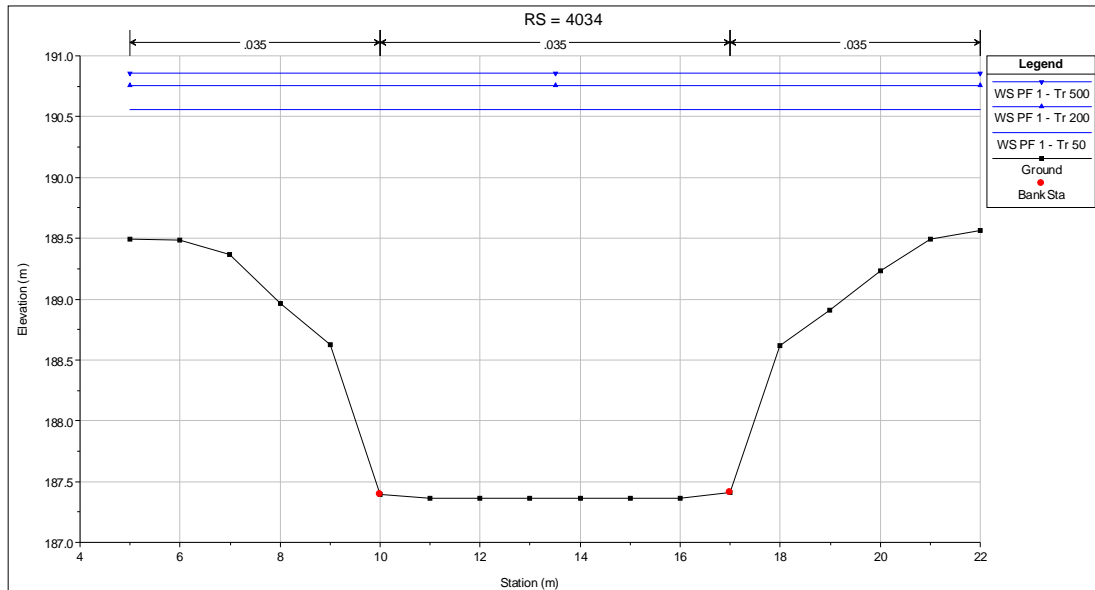
| | |
|--------------|---|
| River Sta | : numero sezione (crescente da valle verso monte) |
| Plan | : condizione di riferimento |
| Min Ch El | : quota minima del fondo |
| W.S. Elev. | : quota del pelo libero |
| Crit- W.S. | : quota del pelo libero allo stato critico |
| E.G. Elev. | : quota della 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) |

COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

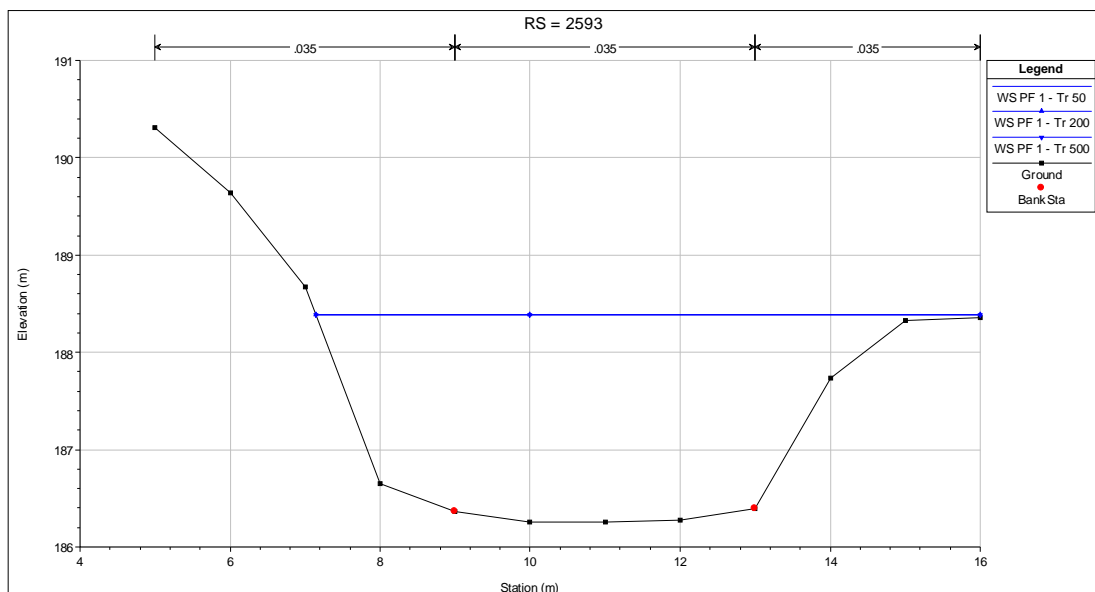
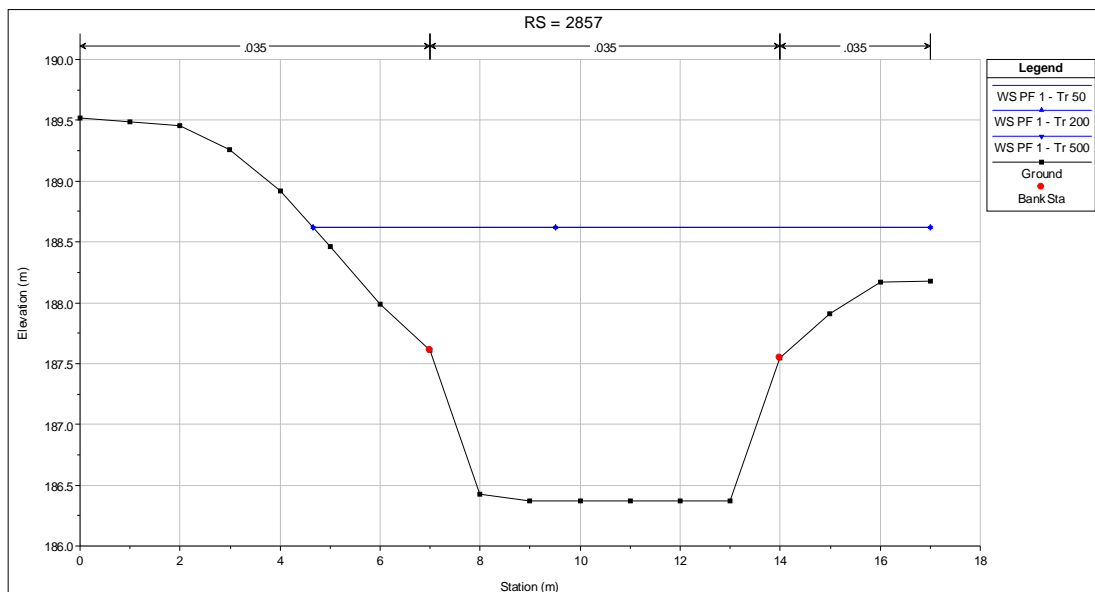
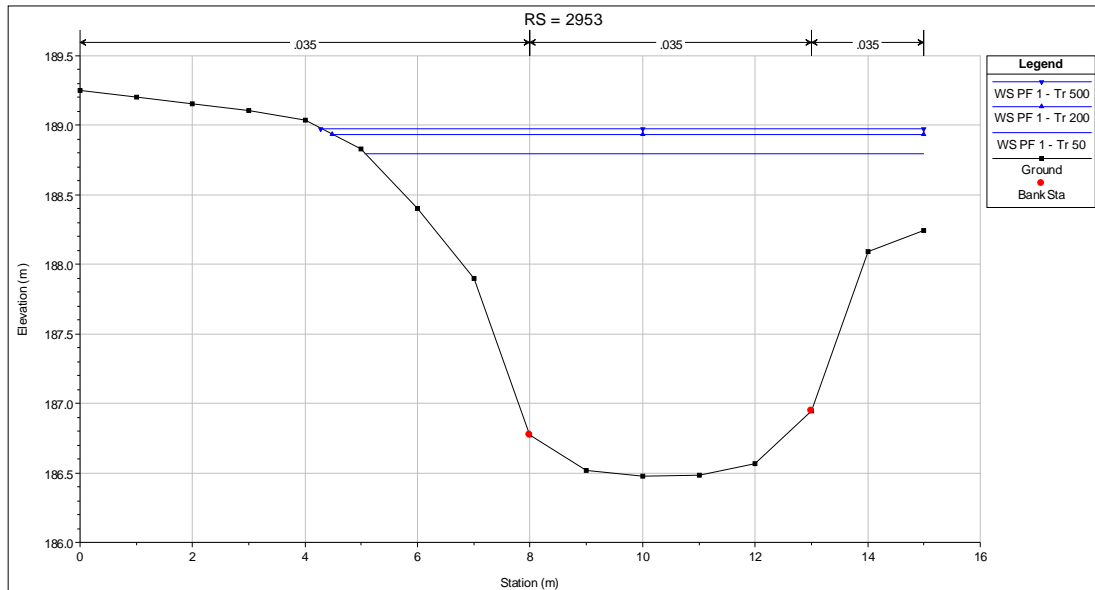
Tabella F- 1. Tabella dei risultati del modello 1D in moto permanente attivato per eventi con tr 20, 200 e 500 anni per la Bealera Nuova (Gora del Molino).

| HEC-RAS Bealera Nuova (Gora del Molino) | | | | | | | | | | | |
|---|--------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|--------|
| River Sta | Plan | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude |
| 4034 | Tr 50 | 55 | 187.36 | 190.56 | | 190.69 | 0.000843 | 1.8 | 38.32 | 17 | 0.32 |
| 4034 | Tr 200 | 62 | 187.36 | 190.75 | | 190.89 | 0.000847 | 1.87 | 41.57 | 17 | 0.33 |
| 4034 | Tr 500 | 66 | 187.36 | 190.86 | | 191.01 | 0.000847 | 1.91 | 43.4 | 17 | 0.33 |
| 3768 | Tr 50 | 55 | 187.18 | 190.41 | | 190.5 | 0.000565 | 1.48 | 46.55 | 20 | 0.26 |
| 3768 | Tr 200 | 62 | 187.18 | 190.6 | | 190.7 | 0.000569 | 1.54 | 50.4 | 20 | 0.27 |
| 3768 | Tr 500 | 66 | 187.18 | 190.71 | | 190.81 | 0.000569 | 1.58 | 52.58 | 20 | 0.27 |
| 3268 | Tr 50 | 55 | 187.03 | 190.1 | | 190.19 | 0.000666 | 1.56 | 45.29 | 22.57 | 0.28 |
| 3268 | Tr 200 | 62 | 187.03 | 190.3 | | 190.39 | 0.000645 | 1.6 | 49.83 | 23 | 0.28 |
| 3268 | Tr 500 | 66 | 187.03 | 190.41 | | 190.51 | 0.000628 | 1.61 | 52.47 | 23 | 0.28 |
| 2953 | Tr 50 | 55 | 186.48 | 188.8 | 188.8 | 189.61 | 0.007878 | 4.25 | 15.3 | 9.93 | 0.91 |
| 2953 | Tr 200 | 62 | 186.48 | 188.93 | 188.93 | 189.82 | 0.007996 | 4.46 | 16.69 | 10.51 | 0.93 |
| 2953 | Tr 500 | 66 | 186.48 | 188.98 | 188.98 | 189.94 | 0.008457 | 4.64 | 17.14 | 10.72 | 0.96 |
| 2857 | Tr 50 | 15 | 186.37 | 188.62 | | 188.66 | 0.000505 | 0.95 | 17.63 | 12.34 | 0.21 |
| 2857 | Tr 200 | 15 | 186.37 | 188.62 | | 188.66 | 0.000505 | 0.95 | 17.63 | 12.34 | 0.21 |
| 2857 | Tr 500 | 15 | 186.37 | 188.62 | | 188.66 | 0.000505 | 0.95 | 17.63 | 12.34 | 0.21 |
| 2593 | Tr 50 | 15 | 186.26 | 188.39 | | 188.48 | 0.000942 | 1.43 | 12.73 | 8.86 | 0.32 |
| 2593 | Tr 200 | 15 | 186.26 | 188.39 | | 188.48 | 0.000942 | 1.43 | 12.73 | 8.86 | 0.32 |
| 2593 | Tr 500 | 15 | 186.26 | 188.39 | | 188.48 | 0.000942 | 1.43 | 12.73 | 8.86 | 0.32 |
| 2364 | Tr 50 | 15 | 185.93 | 188.24 | | 188.29 | 0.000633 | 1.14 | 15.6 | 10.37 | 0.25 |
| 2364 | Tr 200 | 15 | 185.93 | 188.24 | | 188.29 | 0.000633 | 1.14 | 15.6 | 10.37 | 0.25 |
| 2364 | Tr 500 | 15 | 185.93 | 188.24 | | 188.29 | 0.000633 | 1.14 | 15.6 | 10.37 | 0.25 |
| 1750 | Tr 50 | 15 | 185.66 | 186.78 | 186.78 | 187.21 | 0.013595 | 2.89 | 5.23 | 6.49 | 0.99 |
| 1750 | Tr 200 | 15 | 185.66 | 186.78 | 186.78 | 187.21 | 0.013595 | 2.89 | 5.23 | 6.49 | 0.99 |
| 1750 | Tr 500 | 15 | 185.66 | 186.78 | 186.78 | 187.21 | 0.013595 | 2.89 | 5.23 | 6.49 | 0.99 |
| 1379 | Tr 50 | 15 | 182.95 | 184.59 | | 184.76 | 0.002682 | 1.87 | 8.69 | 7.57 | 0.48 |
| 1379 | Tr 200 | 15 | 182.95 | 184.59 | | 184.76 | 0.002682 | 1.87 | 8.69 | 7.57 | 0.48 |
| 1379 | Tr 500 | 15 | 182.95 | 184.59 | | 184.76 | 0.002682 | 1.87 | 8.69 | 7.57 | 0.48 |
| 1185 | Tr 50 | 15 | 182.44 | 183.96 | | 184.17 | 0.003564 | 2.04 | 8.02 | 8.56 | 0.55 |
| 1185 | Tr 200 | 15 | 182.44 | 183.96 | | 184.17 | 0.003564 | 2.04 | 8.02 | 8.56 | 0.55 |
| 1185 | Tr 500 | 15 | 182.44 | 183.96 | | 184.17 | 0.003564 | 2.04 | 8.02 | 8.56 | 0.55 |
| 978 | Tr 50 | 15 | 181.36 | 183.37 | | 183.51 | 0.002661 | 1.65 | 9.15 | 6.48 | 0.43 |
| 978 | Tr 200 | 15 | 181.36 | 183.37 | | 183.51 | 0.002661 | 1.65 | 9.15 | 6.48 | 0.43 |
| 978 | Tr 500 | 15 | 181.36 | 183.37 | | 183.51 | 0.002661 | 1.65 | 9.15 | 6.48 | 0.43 |
| 667 | Tr 50 | 15 | 179.96 | 181.84 | | 181.99 | 0.001988 | 1.73 | 9.33 | 6.7 | 0.43 |
| 667 | Tr 200 | 15 | 179.96 | 181.84 | | 181.99 | 0.001988 | 1.73 | 9.33 | 6.7 | 0.43 |
| 667 | Tr 500 | 15 | 179.96 | 181.84 | | 181.99 | 0.001988 | 1.73 | 9.33 | 6.7 | 0.43 |
| 376 | Tr 50 | 15 | 179.79 | 181.32 | | 181.43 | 0.001798 | 1.45 | 11.03 | 10.1 | 0.39 |
| 376 | Tr 200 | 15 | 179.79 | 181.32 | | 181.43 | 0.001798 | 1.45 | 11.03 | 10.1 | 0.39 |
| 376 | Tr 500 | 15 | 179.79 | 181.32 | | 181.43 | 0.001798 | 1.45 | 11.03 | 10.1 | 0.39 |
| 0 | Tr 50 | 15 | 179.11 | 180.6 | 180 | 180.71 | 0.002004 | 1.5 | 10.61 | 9.92 | 0.41 |
| 0 | Tr 200 | 15 | 179.11 | 180.6 | 180 | 180.71 | 0.002004 | 1.5 | 10.61 | 9.92 | 0.41 |
| 0 | Tr 500 | 15 | 179.11 | 180.6 | 180 | 180.71 | 0.002004 | 1.5 | 10.61 | 9.92 | 0.41 |

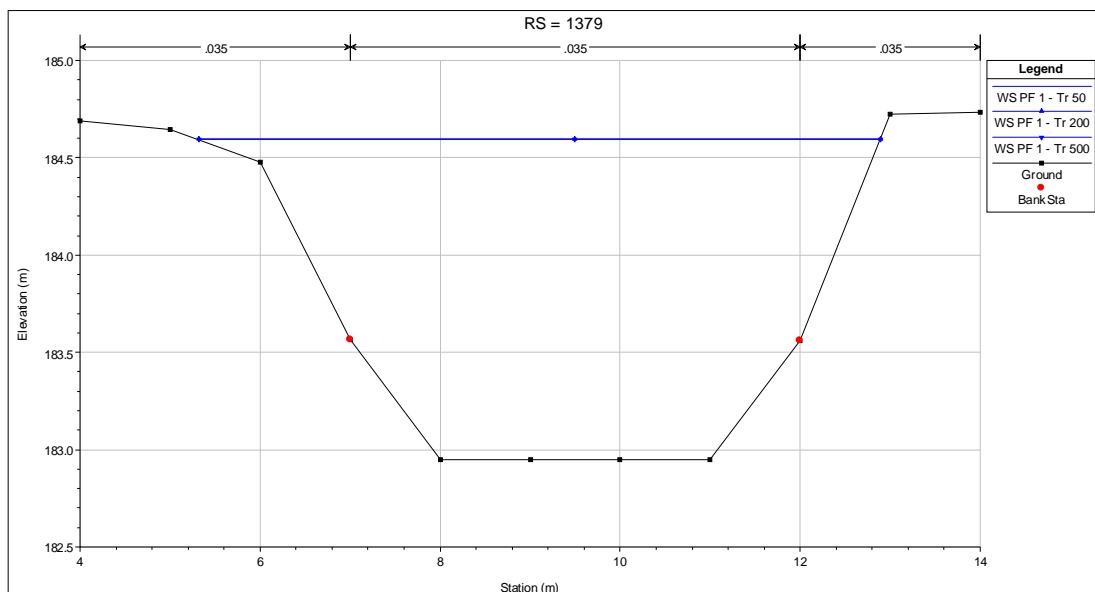
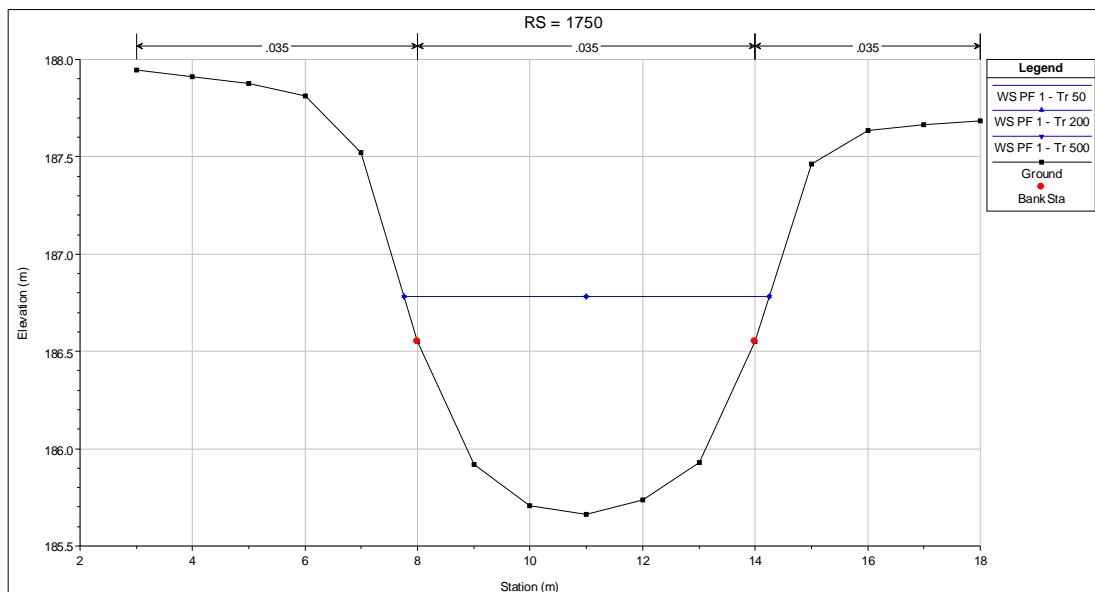
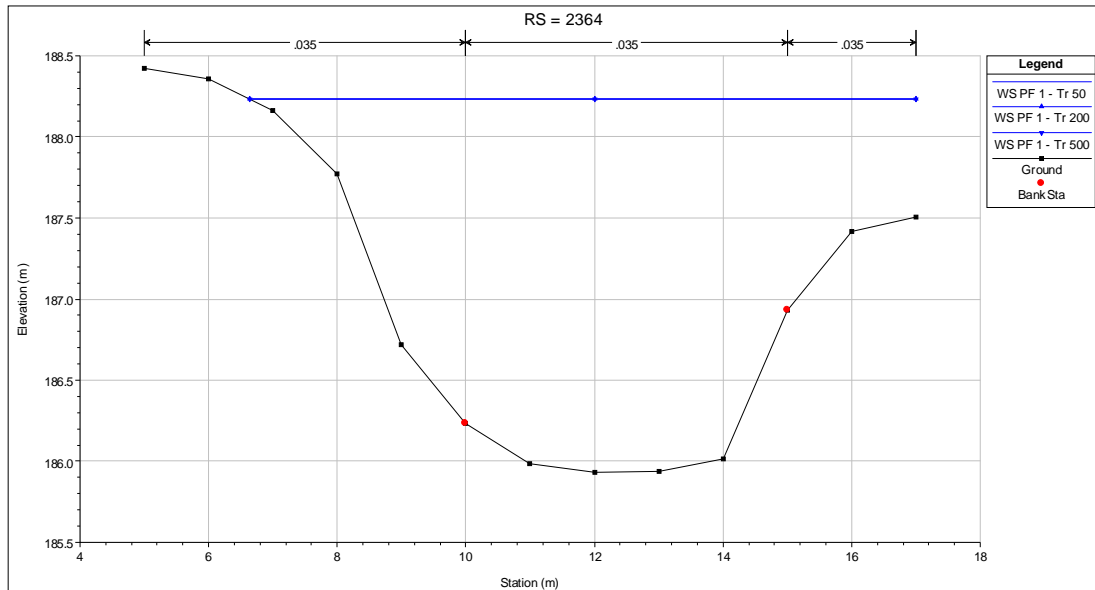
COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



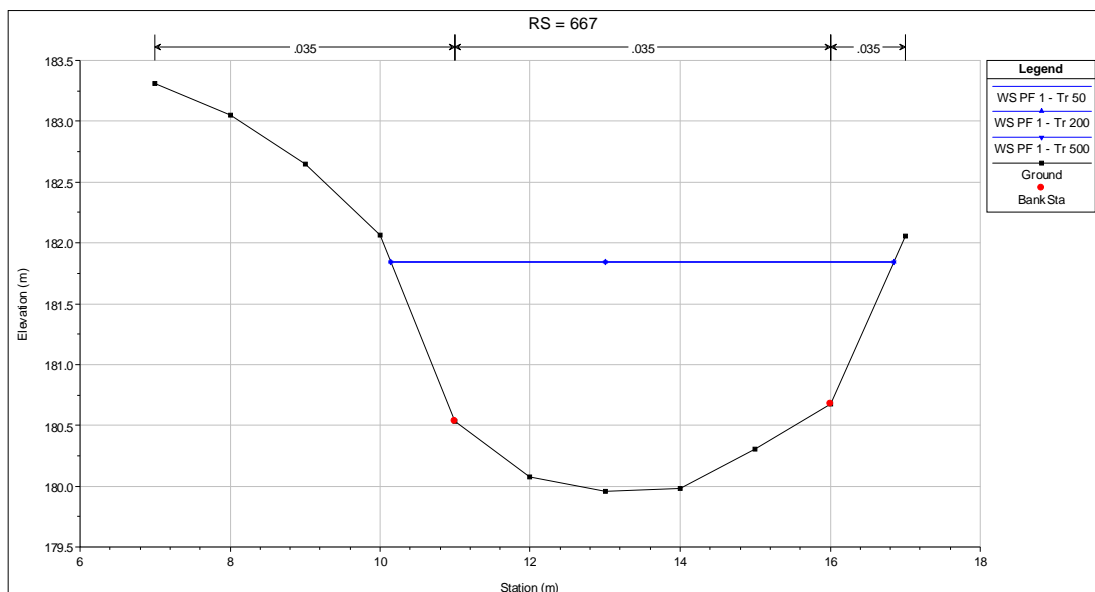
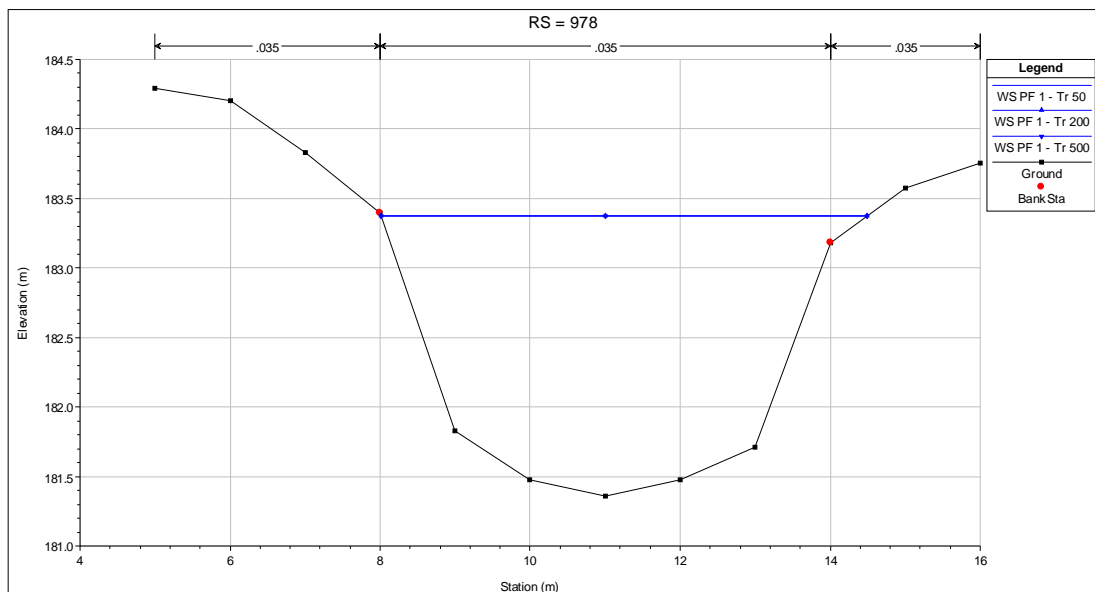
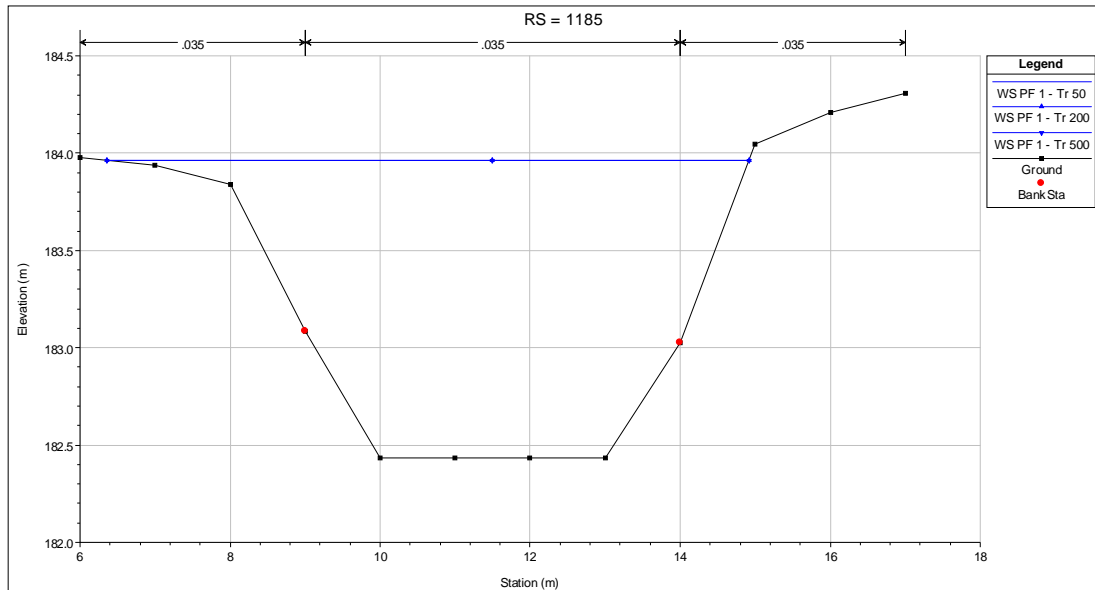
COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



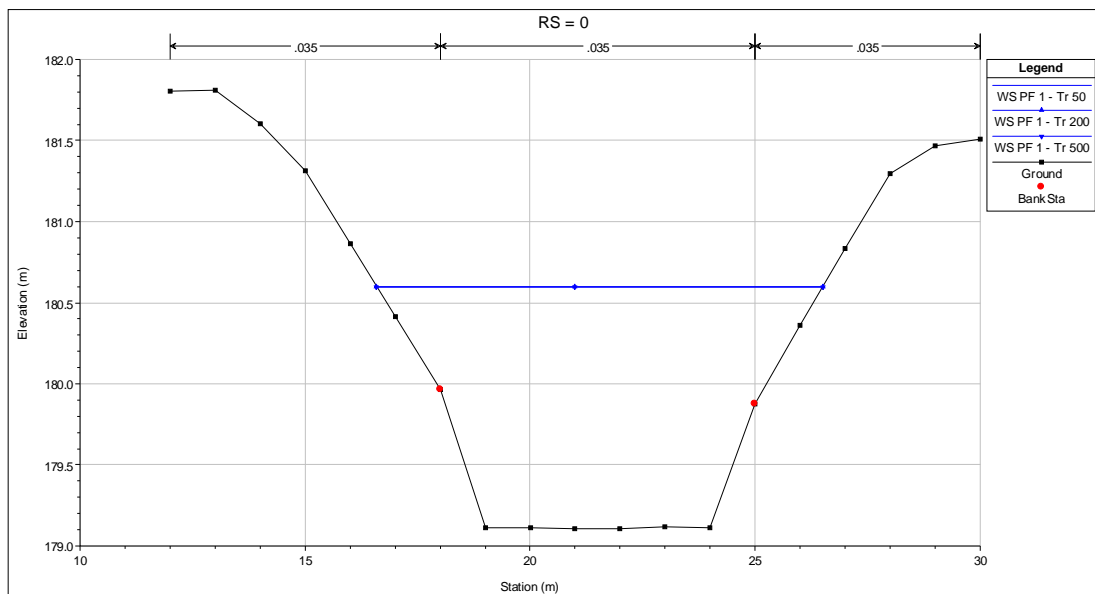
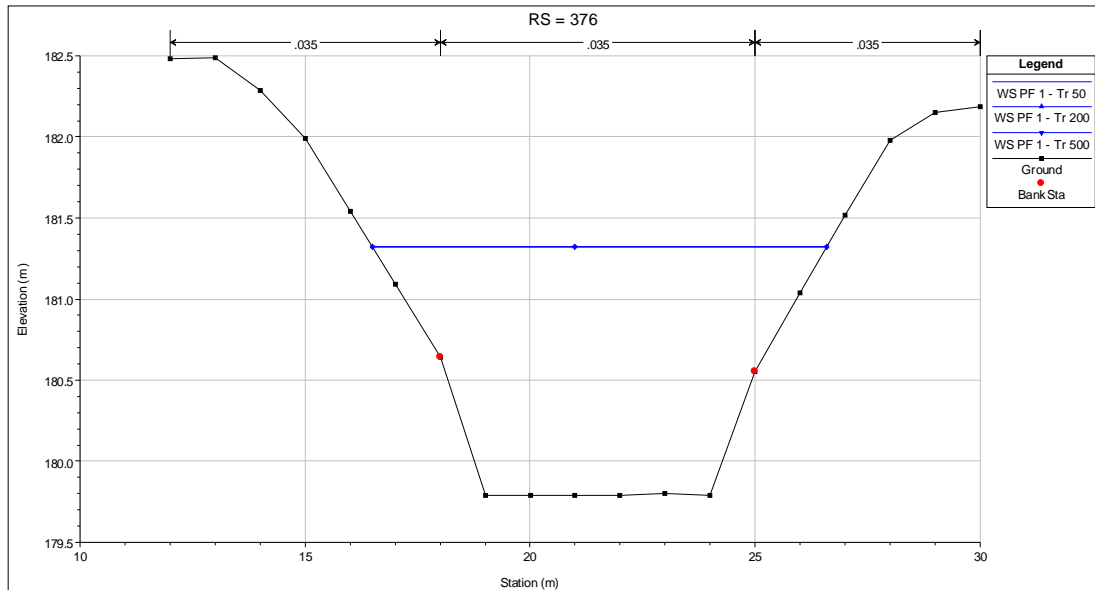
COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



APPENDICE - G. RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICO HEC-RAS: T. STURELLA

Di seguito si riportano i risultati della modellazione idraulica. I risultati, riferiti agli eventi con tr 20, 200 e 500 anni, sono costituiti da:

- tabulato di uscita del codice di calcolo in cui vengono esplicitate le grandezze idrauliche;
- rappresentazione delle sezioni idrauliche. Si precisa che, qualora la portata di riferimento non sia contenuta all'interno delle sponde, il livello idrometrico restituito dal modello idraulico 1D non è indicativo della quota effettivamente raggiunta dall'acqua. Tale quota potrà essere dedotta dai risultati del modello 2D, che si presta a descrivere al meglio le situazioni reali (in cui la corrente si adagia al terreno, torna indietro a colmare depressioni o ristagna), in quanto consente di calcolare il livello idrometrico in funzione della morfologia del terreno e delle situazioni di moto locali e, di conseguenza, di individuare il campo di inondazione (dettagli in APPENDICE - A).

Si evidenzia quanto segue:

- La corografia delle sezioni è riportata in Elaborato AT5 - 2.
- L'identificativo delle sezioni è stato assegnato assumendo la progressiva chilometrica (espressa in metri) a partire dall'ultima sezione di valle del modello (sez. 0). La distanza tra le sezioni è pertanto ricavabile per differenza tra gli identificativi delle sezioni.
- Nella rappresentazione delle sezioni (viste da monte verso valle) le altezze sono esaltate rispetto alle distanze, pertanto i dislivelli appaiono accentuati.

Al fine di rendere più leggibile la tabella seguente si specifica che:

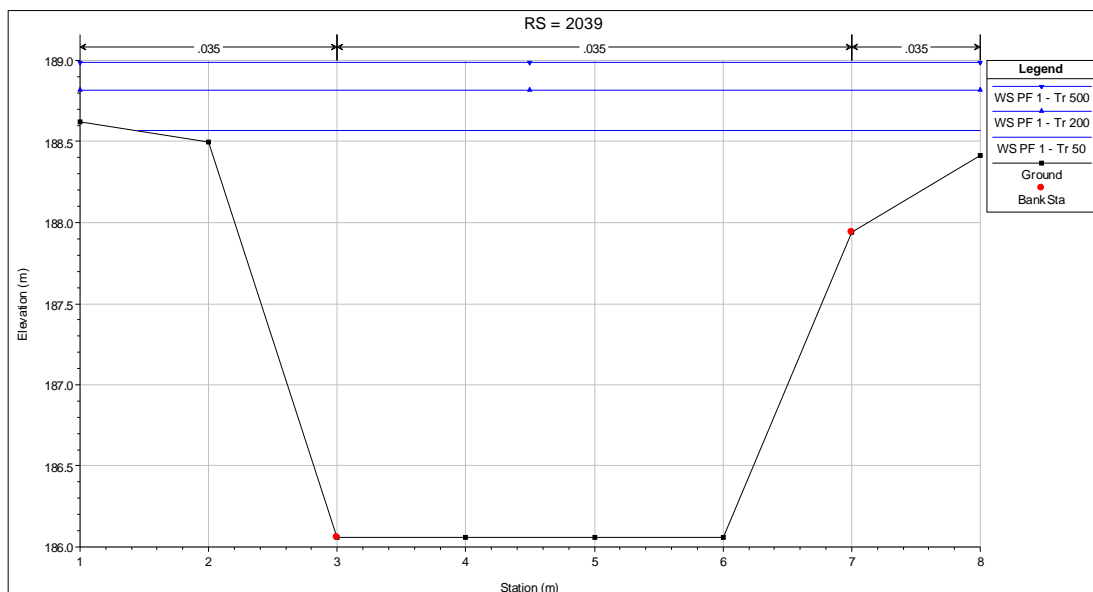
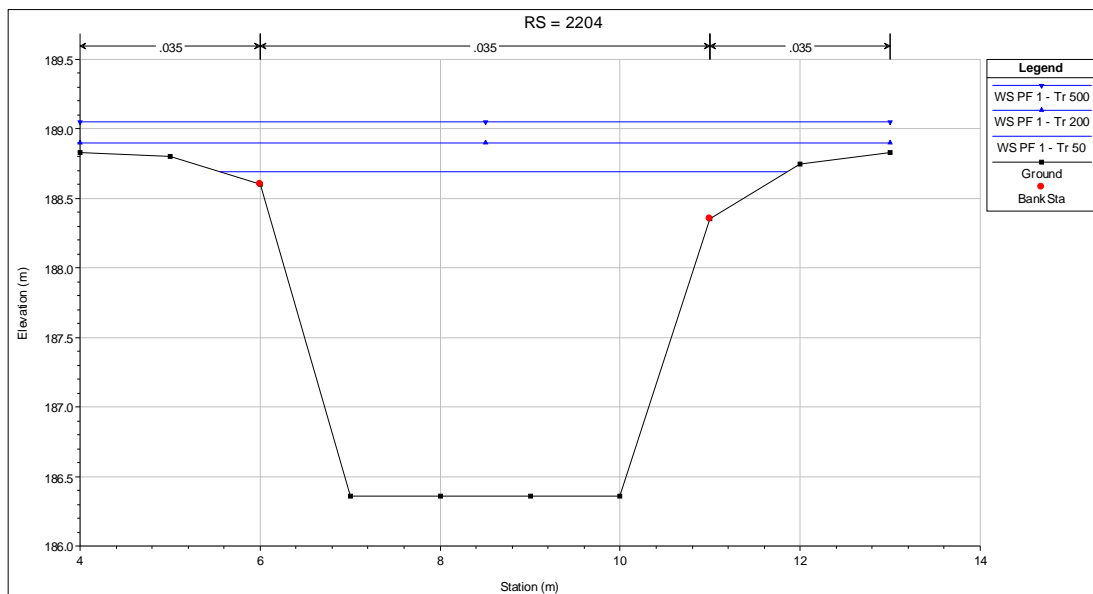
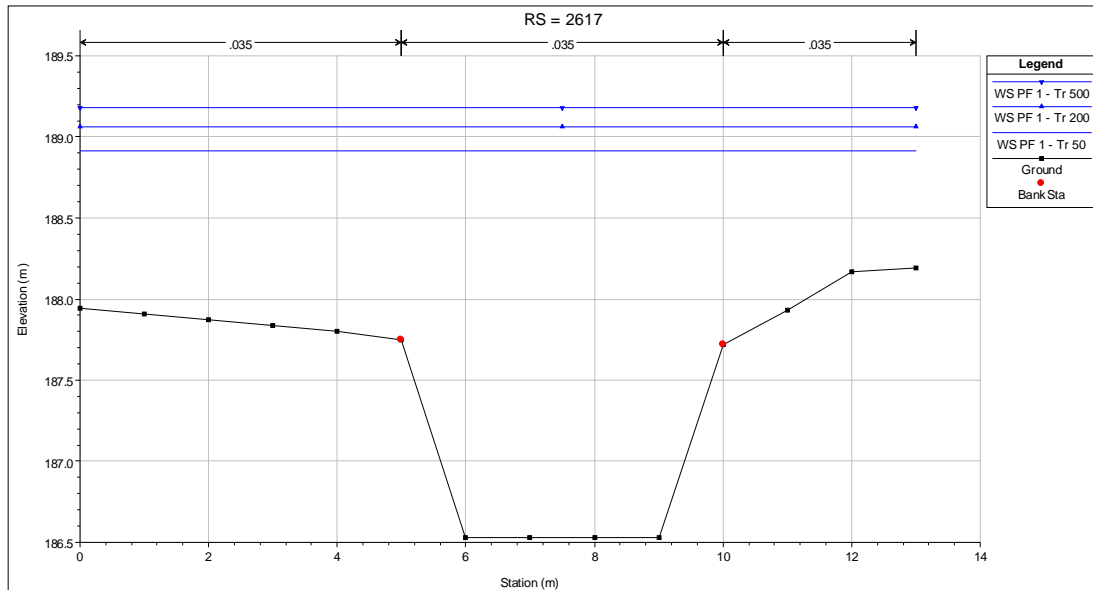
| | |
|--------------|---|
| River Sta | : numero sezione (crescente da valle verso monte) |
| Plan | : condizione di riferimento |
| Min Ch El | : quota minima del fondo |
| W.S. Elev. | : quota del pelo libero |
| Crit- W.S. | : quota del pelo libero allo stato critico |
| E.G. Elev. | : quota della 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) |

COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

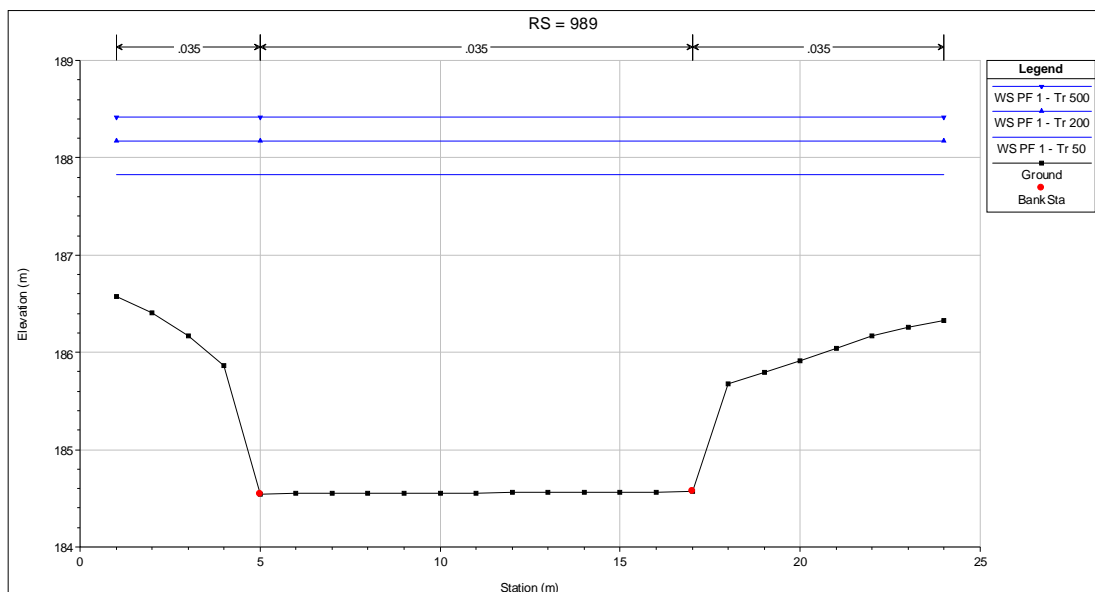
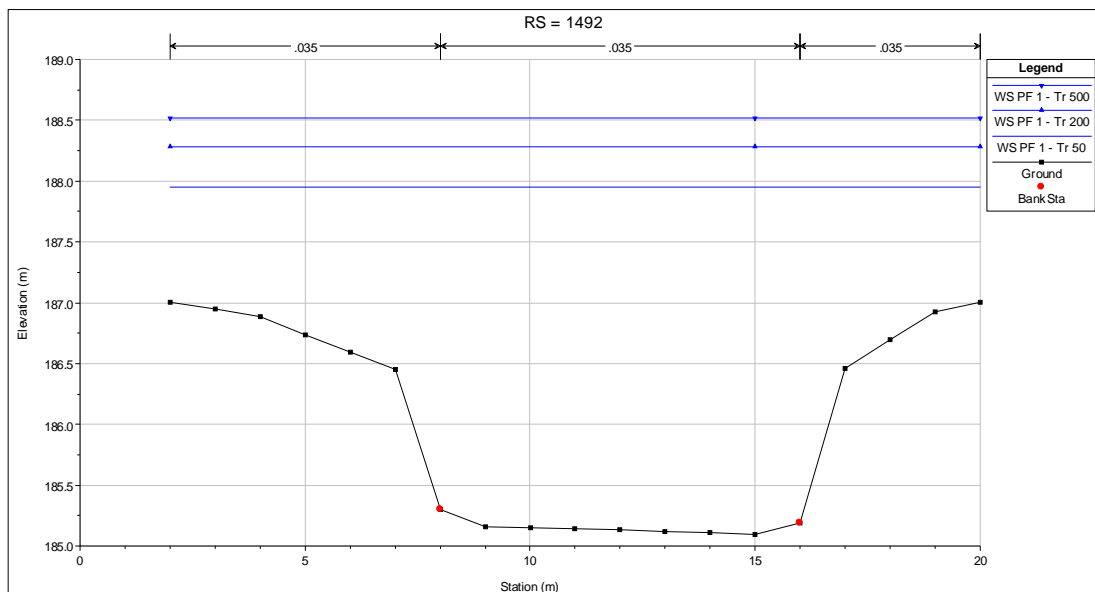
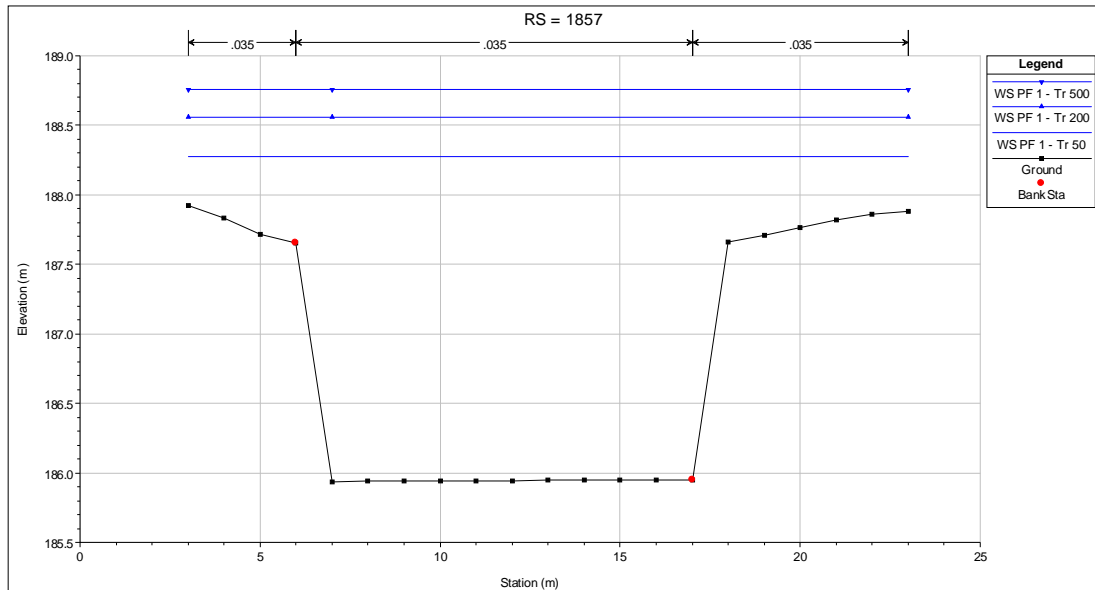
Tabella G- 1. Tabella dei risultati del modello 1D in moto permanente attivato per eventi con tr 20, 200 e 500 anni per il T. Sturella.

| HEC-RAS T. Sturella | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|--------|
| River Sta | Plan | Q Total | Min Ch El | W.S. Elev | Crit W.S. | E.G. Elev | E.G. Slope | Vel Chnl | Flow Area | Top Width | Froude |
| 2617 | Tr 50 | 10 | 186.53 | 188.91 | | 188.93 | 0.000241 | 0.64 | 18.67 | 13 | 0.14 |
| 2617 | Tr 200 | 10 | 186.53 | 189.06 | | 189.08 | 0.00018 | 0.58 | 20.62 | 13 | 0.12 |
| 2617 | Tr 500 | 10 | 186.53 | 189.18 | | 189.19 | 0.000145 | 0.54 | 22.18 | 13 | 0.11 |
| 2204 | Tr 50 | 10 | 186.36 | 188.69 | | 188.75 | 0.001004 | 1.04 | 9.69 | 6.29 | 0.24 |
| 2204 | Tr 200 | 10 | 186.36 | 188.9 | | 188.94 | 0.00069 | 0.93 | 11.31 | 9 | 0.2 |
| 2204 | Tr 500 | 10 | 186.36 | 189.05 | | 189.09 | 0.000522 | 0.85 | 12.7 | 9 | 0.18 |
| 2039 | Tr 50 | 10 | 186.06 | 188.57 | | 188.62 | 0.000608 | 1.03 | 10.78 | 6.55 | 0.22 |
| 2039 | Tr 200 | 10 | 186.06 | 188.82 | | 188.85 | 0.000411 | 0.91 | 12.51 | 7 | 0.18 |
| 2039 | Tr 500 | 10 | 186.06 | 188.99 | | 189.02 | 0.00032 | 0.84 | 13.72 | 7 | 0.16 |
| 1857 | Tr 50 | 45 | 185.94 | 188.27 | | 188.41 | 0.001302 | 1.67 | 30.18 | 20 | 0.36 |
| 1857 | Tr 200 | 52 | 185.94 | 188.56 | | 188.68 | 0.001086 | 1.65 | 35.81 | 20 | 0.33 |
| 1857 | Tr 500 | 56 | 185.94 | 188.76 | | 188.87 | 0.000933 | 1.61 | 39.81 | 20 | 0.31 |
| 1492 | Tr 50 | 45 | 185.09 | 187.95 | | 188.05 | 0.000725 | 1.53 | 36.02 | 18 | 0.29 |
| 1492 | Tr 200 | 52 | 185.09 | 188.28 | | 188.38 | 0.000619 | 1.52 | 42 | 18 | 0.27 |
| 1492 | Tr 500 | 56 | 185.09 | 188.52 | | 188.61 | 0.000541 | 1.49 | 46.26 | 18 | 0.26 |
| 989 | Tr 50 | 45 | 184.55 | 187.83 | | 187.86 | 0.000197 | 0.88 | 60 | 23 | 0.16 |
| 989 | Tr 200 | 52 | 184.55 | 188.17 | | 188.21 | 0.00018 | 0.9 | 67.99 | 23 | 0.15 |
| 989 | Tr 500 | 56 | 184.55 | 188.42 | | 188.46 | 0.000164 | 0.9 | 73.73 | 23 | 0.15 |
| 898 | Tr 50 | 107 | 184.4 | 187.63 | | 187.8 | 0.001012 | 1.98 | 64.01 | 26.86 | 0.35 |
| 898 | Tr 200 | 127 | 184.4 | 187.97 | | 188.15 | 0.000977 | 2.08 | 73.06 | 27 | 0.35 |
| 898 | Tr 500 | 142 | 184.4 | 188.21 | | 188.4 | 0.00095 | 2.14 | 79.56 | 27 | 0.35 |
| 678 | Tr 50 | 107 | 183.56 | 187.19 | | 187.5 | 0.001747 | 2.81 | 48.56 | 19 | 0.47 |
| 678 | Tr 200 | 127 | 183.56 | 187.51 | | 187.85 | 0.001744 | 2.97 | 54.68 | 19 | 0.48 |
| 678 | Tr 500 | 142 | 183.56 | 187.74 | | 188.1 | 0.001743 | 3.09 | 59.04 | 19 | 0.48 |
| 509 | Tr 50 | 107 | 183.13 | 186.35 | | 187.02 | 0.004278 | 4.06 | 33.4 | 15 | 0.72 |
| 509 | Tr 200 | 127 | 183.13 | 186.61 | | 187.36 | 0.004416 | 4.35 | 37.27 | 15 | 0.75 |
| 509 | Tr 500 | 142 | 183.13 | 186.79 | | 187.61 | 0.004511 | 4.54 | 40 | 15 | 0.76 |
| 318 | Tr 50 | 107 | 182.45 | 185.57 | | 186.21 | 0.004093 | 3.88 | 34.21 | 17.61 | 0.7 |
| 318 | Tr 200 | 127 | 182.45 | 185.86 | | 186.54 | 0.003987 | 4.06 | 39.34 | 18.43 | 0.7 |
| 318 | Tr 500 | 142 | 182.45 | 186.06 | | 186.78 | 0.003898 | 4.18 | 43.23 | 19.21 | 0.7 |
| 0 | Tr 50 | 107 | 181.16 | 184.73 | 183.89 | 185.14 | 0.0025 | 3.04 | 41.02 | 18.37 | 0.54 |
| 0 | Tr 200 | 127 | 181.16 | 185.03 | 184.14 | 185.48 | 0.002502 | 3.22 | 46.66 | 19.67 | 0.55 |
| 0 | Tr 500 | 142 | 181.16 | 185.24 | 184.33 | 185.73 | 0.0025 | 3.35 | 51.07 | 21.29 | 0.55 |

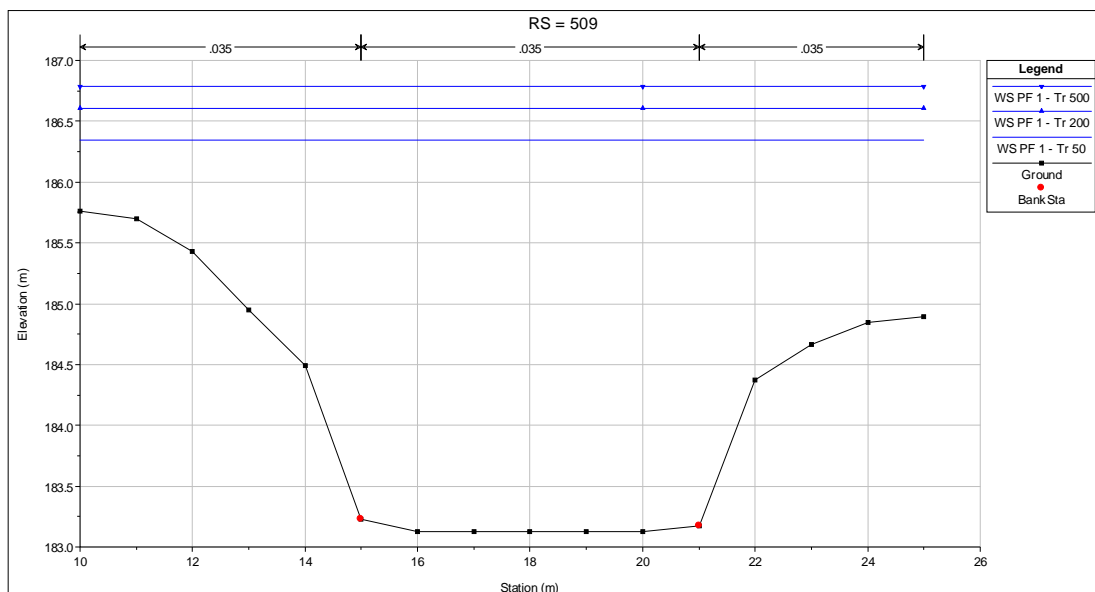
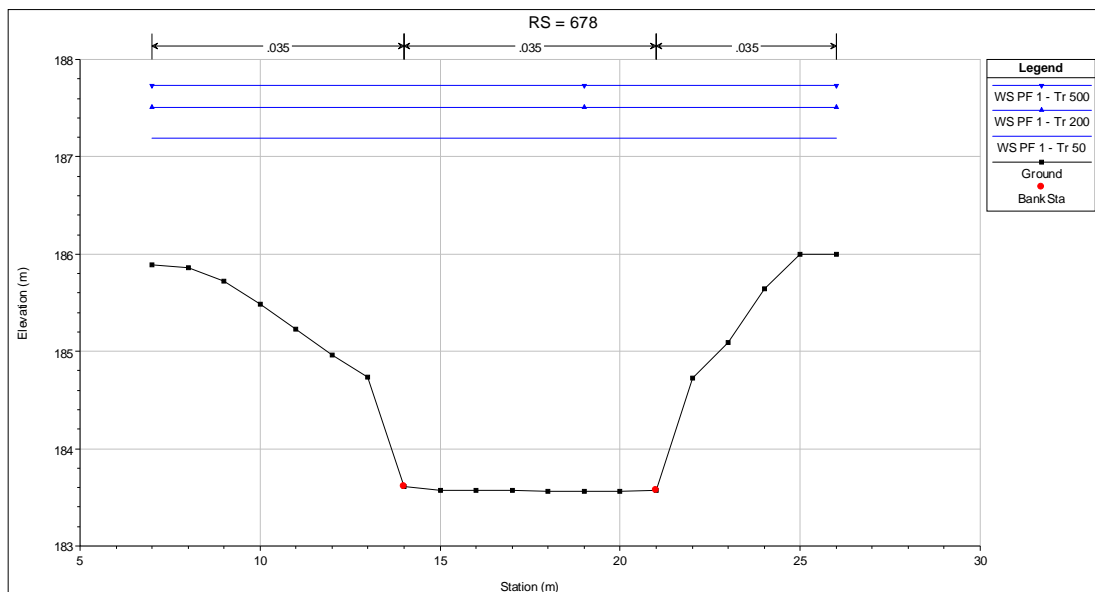
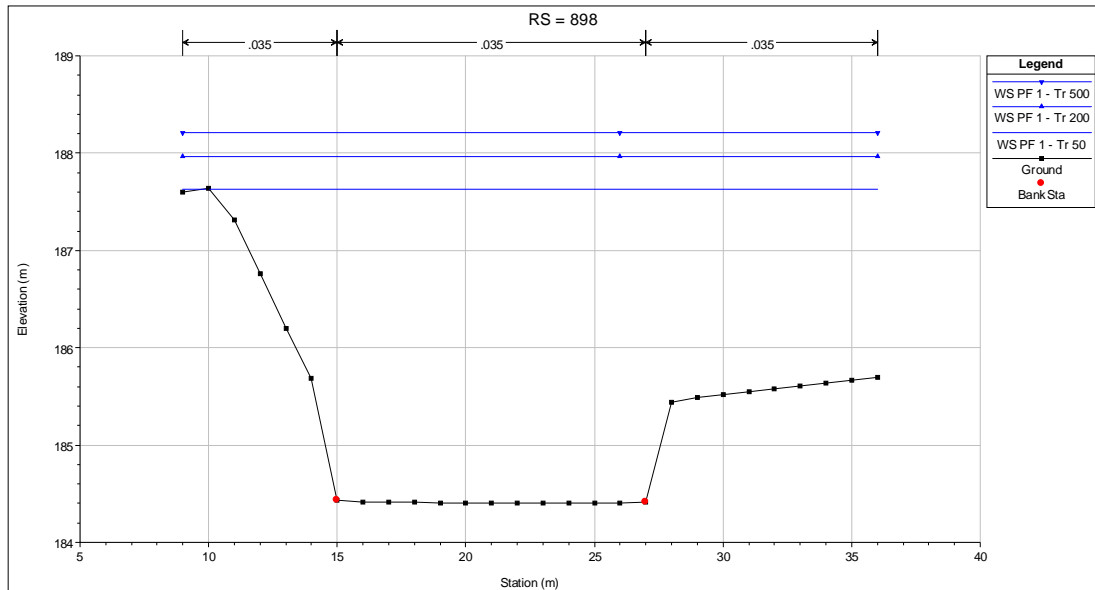
COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA



COMUNE DI BRANDIZZO
VARIANTE GENERALE del Piano Regolatore Generale Comunale - Proposta Tecnica di Progetto Preliminare
RELAZIONE IDRAULICA

