

REGIONE  
PIEMONTE



Comune di  
**NOVI LIGURE**



PROVINCIA DI  
ALESSANDRIA



**ELAH DUFOUR S.P.A.**  
VIA SERRAVALLE, 73 NOVI LIGURE

Lavoro:

Verifica idraulica del Rio Gazzo

Descrizione:

tavola:

1

scala:

data:

Giugno 2016

file:

Progettazione Architettonica/Urbanistica:

ANSELMO associati  
Via Vittorio Emanuele, 14  
10023 - Chieri (TO)  
tel./fax 011-9415835  
info@anselmoassociati.it

note:

Il Committente:

collaboratori:





## **Sommario**

1	PREMESSA.....	1
2	IL TERRITORIO E IL CORSO D’ACQUA IN OGGETTO .....	3
3	DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO.....	3
4	GEOMETRIA DI RILIEVO .....	6
5	LA MODELLAZIONE IDRAULICA .....	6
5.1	Portate di riferimento .....	8
5.2	Condizioni al contorno.....	8
5.3	Scabrezza.....	8
6	RISULTATI.....	8
7	CONCLUSIONI.....	12
8	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA .....	13
9	ALLEGATI .....	22
10	ELENCO ELABORATI.....	22
	APPENDICE - A – Profilo .....	23
	APPENDICE - B - Modellazione idraulica.....	27
	APPENDICE - C - Sezioni trasversali .....	33
	APPENDICE - D - Descrizione dello schema di calcolo adottato dal modello numerico Hec-Ras attivato in moto permanente (verifiche idrauliche) .....	35
	APPENDICE - E – Studio idraulico con tempo di ritorno di 500 anni .....	41





## **1 PREMESSA**

La verifica in oggetto, allestita per conto della Novi S.p.a., prende in considerazione il Rio Gazzo nel tronco a monte del concentrico di Novi Ligure e ne determina la capacità di convogliamento ed il comportamento in condizioni di piena di riferimento. Inoltre, sulla base della topografia disponibile, vengono individuate le aree inondabili (Ee ed Eb) ai sensi del PAI.

L'indagine trae vantaggio dagli studi preesistenti:

- CONSORZIO DI BONIFICA DEL BACINO DELLO SCRIVIA (1991): Canale di versore del Rio Gazzo – Manufatto di presa dal Rio Gazzo;
- COMUNE DI NOVI LIGURE (2006; 2010), Verifiche di compatibilità idraulica etc. – Allegato 03 – Verifiche idrauliche, a firma dott. geol. D. Fossati;
- NOVIPRAGA S.R.L. (2015-a): Parco Commerciale di Serravalle - Retail Park etc. - Elaborato 16 - Verifiche idrauliche acque meteoriche, a firma ing. A. Desimoni;
- NOVIPRAGA S.R.L. (2015-b): Parco Commerciale di Serravalle - Retail Park etc. - Chiarimenti in merito alle verifiche idrauliche acque meteoriche, a firma ing. A. Desimoni;
- PROVINCIA DI ALESSANDRIA (2015): Studio idrogeologico ed idraulico sugli effetti generati sul reticolo idrografico interferente con la SP 35-ter dalle precipitazioni eccezionali dei mesi di ottobre e novembre 2014 – Relazione idrologica e idraulica – Elaborato IDR001 a firma AI Studio, Torino;
- NOVI ELAH DUFOUR S.p.a. (2016): Alluvione 13/10/2014 – Relazione tecnica, a firma arch. Riccardo Bergaglio.

L'indagine è finalizzata a verificare la capacità di convogliamento del Rio Gazzo con particolare riferimento alla determinazione delle aree inondabili connesse con le eventuali insufficienze in termini di capacità di convogliamento dell'alveo.

L'indagine non ha preso in esame le condizioni di raccolta e convogliamento nelle canalizzazioni esistenti delle acque di ruscellamento dal versante collinare. Tuttavia, al Rio Gazzo sono state attribuite le portate determinate nell'ambito degli studi per la variante al PRGC (Comune di Tortona, 2006; 2010) prendendo in considerazione i bacini idrografici sottesi dai manufatti di attraversamento descritti nel SICOD allegato alla citata variante. Pertanto, il Rio Gazzo è stato verificato a fronte delle portate teoriche, quindi cautelative rispetto al funzionamento reale del bacino idrografico. In realtà, il corpo stradale della S.P. 35, che corre poco discosto dal piede del versante, intercetta le portate ruscellanti nel proprio fosso di guardia e, di tratto in tratto, le convoglia verso il Rio Gazzo attraverso i tombini sottopassanti la carreggiata con modalità dipendenti dal grado di efficienza dei singoli manufatti.

L'insufficiente capacità di convogliamento del fosso e dei tombini sono all'origine degli effetti dell'evento piovoso del 13 ottobre 2014 (NOVI ELAH DUFOUR, 2016). Le caratteristiche dell'evento sono state descritte nella relazione allestita per conto della PROVINCIA DI ALESSANDRIA (2015). Il bacino del Rio Gazzo si colloca al margine settentrionale dell'isola di massima

intensità di precipitazione allungata da Sud-Ovest a Nord-Est ossia da Lavagnina a Gavi ed Arquata dove le piogge cumulate del 9-13 ottobre hanno superato i 450 mm con massimo a Gavi di 424 nel giorno 13.

A Novi Ligure il pluviometro ha segnato 96 mm nel giorno 13 e 99 mm per tutta la durata dell'evento dal 9 al 13 ottobre. In base alle elaborazioni riferite nello studio allestito per conto della PROVINCIA DI ALESSANDRIA (2015), la precipitazione di Novi Ligure, nell'ambito delle elaborazioni fornite dal PAI, avrebbe un tempo di ritorno inferiore a 20 anni per tutte le durate. Il citato studio non riporta i valori numerici delle precipitazioni orarie, ma presenta il diagramma comparativo riportato nella Figura 1-1.

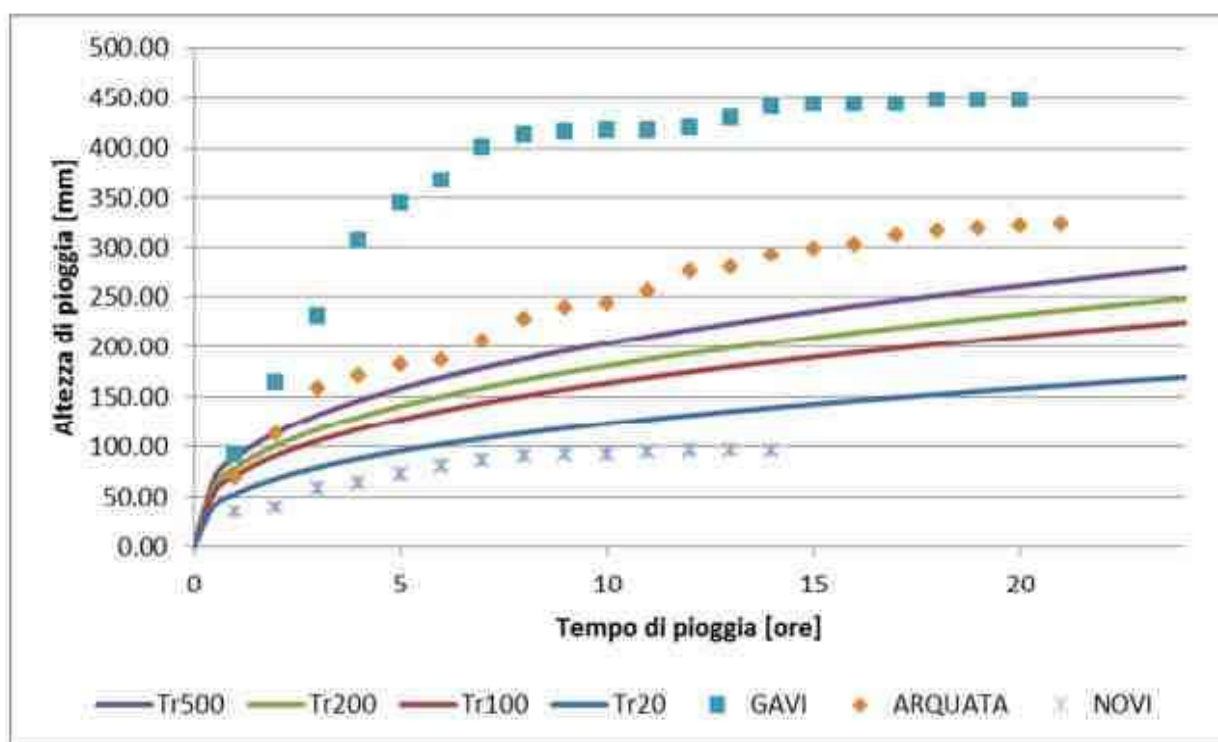


Figura 15 – Evento 9-13 Ottobre: confronto piogge rilevate con curve di possibilità pluviometriche PAI

Figura 1-1 – Andamento della precipitazione oraria cumulata alle stazioni interessate dall'evento del 9-13 novembre 2014 (da PROVINCIA DI ALESSANDRIA, 2015; pag. 21)

Lo studio citato (pag. 17) formula l'ipotesi che il pluviometro di Novi Ligure, collocato a Nord Est del concentrico <sup>(1)</sup> presso l'impianto di depurazione, abbia registrato una precipitazione modesta, a fronte di quella di Gavi e Arquata Scrivia, forse per "una anomalia o una sua parziale ombra pluviometrica". Certamente il pluviometro in parola si trova a più di 5 km del versante all'origine degli inconvenienti osservati.

<sup>1)</sup> Coordinate UTM 480884,4959362

## **2 IL TERRITORIO E IL CORSO D'ACQUA IN OGGETTO**

Il territorio attraversato dal tronco di interesse del Rio Gazzo è illustrato nell'Allegato 1 che presenta la ripresa aerea del 30.08.2015 (da GoogleEarth™).

Il Rio Gazzo trae origine dal versante settentrionale del rilievo al confine tra il comune di Novi Ligure e Serravalle Scrivia, in un settore fortemente antropizzato dalle realizzazioni che hanno portato alla realizzazione del parco commerciale e dei suoi ampliamenti verso occidente.

Il percorso del rio è schematizzato nell'Allegato 2 con traccia indicativa del percorso nell'impluvio naturale segnalato sulla cartografia. L'originaria rete idrografica è stata completamente alterata dalla realizzazione della nuova viabilità.

L'alveo, ancorché non inciso, acquista continuità a valle della S.P. 35 e, raggiunta la trincea ferroviaria, si orienta verso occidente dopo aver raccolto le acque convogliate nel fosso di guardia della ferrovia. Dopo la realizzazione del parco commerciale, il fosso di guardia convoglia le acque meteoriche che si raccolgono sull'area urbanizzata, oggetto delle citate relazioni prodotte per conto della Novipraga s.r.l.

Il tronco di interesse è stato chiuso con una sezione ubicata nel tratto a monte dell'attraversamento ferroviario, immediatamente a valle del quale il rio Gazzo entra nella tombatura che percorre il concentrico di Novi.

Merita segnalare l'anomalia che caratterizza il bacino idrografico del corso d'acqua in oggetto, che ha una forma grosso modo rettangolare con il lato lungo orientato in direzione Est-Ovest. Il corso d'acqua percorre il bacino in un settore compreso fra la S.P. 35 e la ferrovia, che si sviluppa dapprima in trincea, poi in rilevato. La detta S.P. 35 corre al piede del versante collinare su cui si originano i deflussi, ma su cui non sono presenti segmenti significativi di rete idrografica. Le forme del rilievo sono percepibili dalla rappresentazione fornita dal DTM 5x5 m della Regione Piemonte riprodotto nell'Allegato 3.

Dal momento che il Rio Gazzo attraversa la porzione settentrionale del concentrico di Novi Ligure in una sezione interrata, la portata in arrivo all'intubamento è controllata per mezzo di uno sfioratore laterale progettato dal Consorzio di bonifica nel 1991. L'alveo è sbarrato da una parete trasversale dotata di gaveta. La parete reca una apertura sul fondo controllata da una paratoia piana, che permette di convogliare portate note a valle del manufatto.

La bocca laterale (Figura 8-12) immette, tramite un salto sagomato a profilo Creager, in un alveo secondario, dapprima coperto, che sottopassa la ferrovia e prosegue verso Nord nel settore di territorio indagato per conto della PROVINCIA DI ALESSANDRIA (2015). Dal momento che la documentazione reperita riguarda solo lo scaricatore, ma non il manufatto inserito nell'alveo, la modellazione ha preso in esame solo la parete ortogonale dotata di gaveta e apertura di fondo.

## **3 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO**

Lo studio redatto per conto della Provincia riguarda il settore di territorio a Nord della S.P. 35, che non interferisce con il tronco di Rio Gazzo oggetto di questa verifica.

Lo studio prodotto dalla Novipraga s.r.l. (NOVIPRAGA, 2015-a) fornisce le portate che, nel settore di testata del bacino, vengono raccolte sulle aree urbanizzate. Lo studio è corredato da una memoria di chiarimento (NOVIPRAGA, 2015-b) che precisa le ripartizione delle portate a partire dalla aree scolanti previste dal progetto del parco commerciale.

Il documento fornisce lo schema illustrato nella Figura 3-1 delle aree alla formazione della piena in corrispondenza del manufatto di attraversamento costituente la sezione del tronco oggetto della verifica (qui segnato come sezione A0) riprodotto nella foto di Figura 8-4.

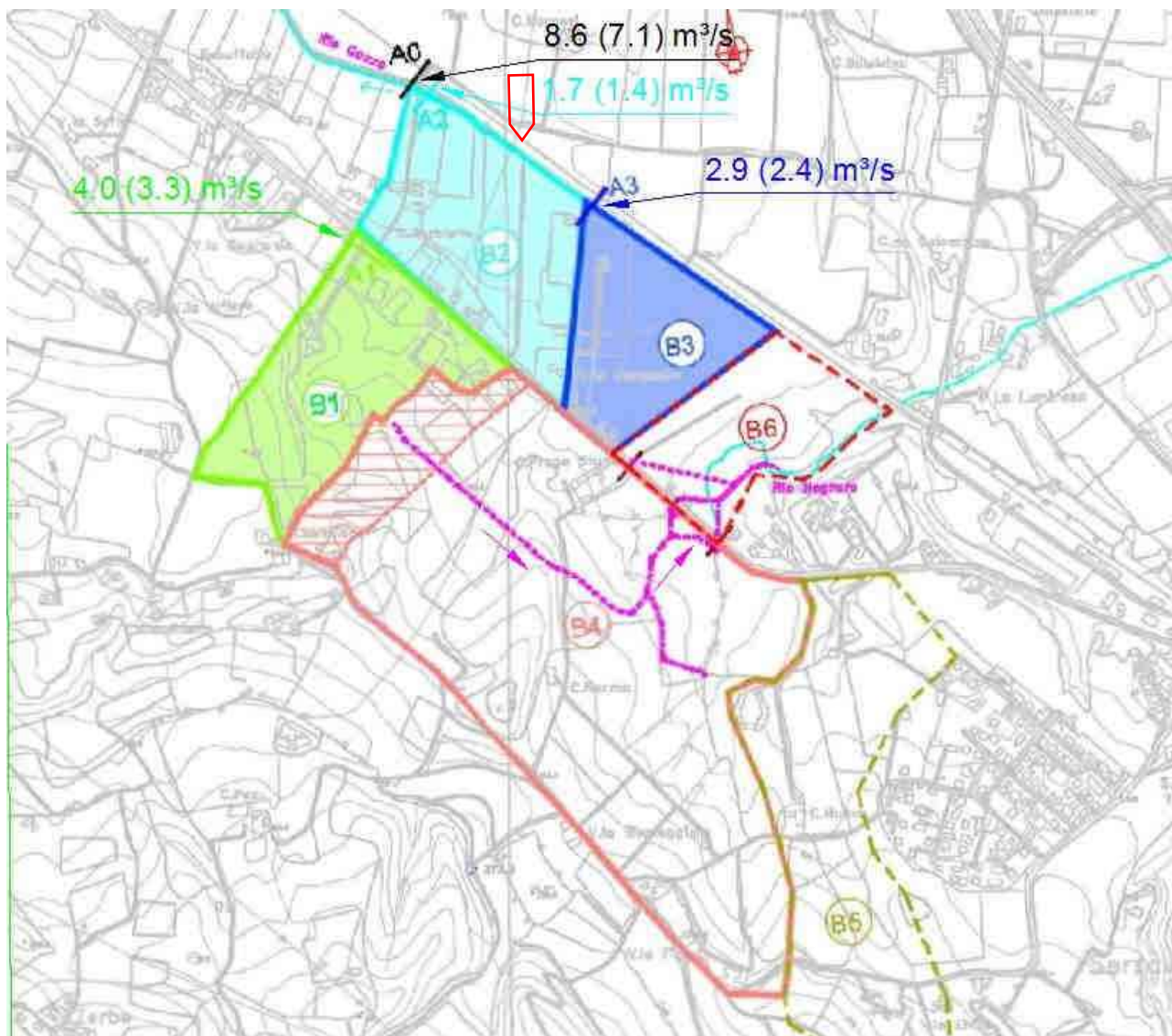


Figura 3-1 – Aree contribuenti del settore di testata del bacino (da NOVIPRAGA srl, 2015-b). La freccia rossa indica la direzione di ripresa della foto di Figura 8-1.

Le portate sono state assegnate tenendo conto:

- della relazione di accompagnamento del SICOD approvato nell'ambito delle indagini per la variante al PRGC di Novi Ligure (COMUNE DI NOVI LIGURE, 2006; 2014) che fornisce le portate per il bacino idrografico naturale sotteso da ciascun manufatto di

attraversamento. La relazione non cita le portate prodotte sulla superficie urbanizzata del parco commerciale, che sono convogliate nel fosso di gronda della ferrovia e che pervengono al Rio Gazzo a monte del manufatto di attraversamento denominato GAZ01;

- della citata memoria (NOVIPRAGA, 2015-a) per la portata generata alla testata del bacino, con le precisazioni contenute nella successiva memoria di precisazione (NOVIPRAGA, 2015-b).

Per l'indagine in oggetto, le portate di interesse sono riferite all'evento con tempo medio di ritorno di 50 e 200 anni, utili per la delimitazione delle aree Ee ed Eb ai sensi del PAI.

La memoria di precisazione spiega che l'urbanizzazione in progetto prevede la distribuzione delle portate illustrata nella Figura 3-1 da cui si deduce che una porzione del bacino sotteso dalla sezione GAZ01 in naturalità viene dirottata, a seguito delle urbanizzazioni, verso il Rio Negraro (porzione della superficie B4 tratteggiata nella Figura 3-1) (NOVIPRAGA, 2015-b).

Pertanto, alla testata del Rio Gazzo afferiscono le seguenti portate duecentennali, indicando tra parentesi le portate cinquantennali <sup>(2)</sup>, con riferimento alla Figura 3-1 ed all'Allegato 4:

- dal settore B3: 2.9 m<sup>3</sup>/s a (2.40 m<sup>3</sup>/s) monte della sezione 230 del modello (Allegato 4);
- dal settore B2: 1.68 m<sup>3</sup>/s (1.38 m<sup>3</sup>/s) a monte della sezione 190 (GAZ01 secondo il SICOD);
- dal settore B1: 4.02 m<sup>3</sup>/s (3.28 m<sup>3</sup>/s) alla sezione 178 del modello.

Quindi, a valle della sezione 178, si applicano gli incrementi di portata dedotti da quanto reperito nella relazione al SICOD.

---

<sup>2)</sup> La relazione della Novipraga (2015-a) non contiene i valori delle portate cinquantennali, che però sono state ricavate applicando la relazione utilizzata per la determinazione della portata

$$Q = \frac{0.277 \cdot \psi \cdot \gamma \cdot p}{\lambda \cdot T_c} \cdot A, \text{ introducendo le piogge } p \text{ con 50 anni di tempo medio di ritorno relative}$$

alla cella PAI CP123, il coefficiente di deflusso  $\psi$  del bacino, il rapporto fra portata al colmo e quella media durante l'evento di piena  $\gamma$  pari a 6, il rapporto fra la durata ed il tempo di corrivazione  $\lambda$  pari a 4, il tempo di corrivazione  $T_c$  e la superficie del bacino  $A$ .

Bacino	Area (A) [km <sup>2</sup> ]	Tempo di corrivazione (Tc) [h]	$\psi$	Precipitazione [mm]	Portata Tr50anni Q [m <sup>3</sup> /s]
A1	0.116	0.586	0.3	53.9	2.94
At1+At2	0.012	0.560	0.704	53.0	0.34
B1 (A1+At1+At2)	0.179				3.28
B2	0.170	1.72	0.419	80.1	1.38
B3	0.122	1.29	0.841	72.0	2.40

Tabella 3-1 – Portate di riferimento (da SICOD)

Manufatto SICOD	Area sottesa (km <sup>2</sup> )	Sezione modello	Portata con tempo di ritorno 200 (50) anni (m <sup>3</sup> /s)	Incremento (m <sup>3</sup> /s)	Portata introdotta nel modello (m <sup>3</sup> /s)
		178			8.6 (7.1)
GAZ02	0.72	140	11.5 (7.9)	1.9 (1.3)	10.5 (8.4)
GAZ03	1.71	82	20.1 (13.8)	8.6 (5.9)	19.1 (14.3)
GAZ04	2.15	52	23.1 (16)	3.0 (2.2)	22.1 (16.5)
GAZ05	2.20	32	23.5 (16.2)	0.4 (0.2)	22.5 (16.7)

#### 4 GEOMETRIA DI RILIEVO

La modellazione si fonda sul rilievo topografico di dettaglio di alcune sezioni nel tratto di Rio Gazzo considerato per una lunghezza complessiva di circa 3100 m. Più precisamente, il rilievo è stato effettuato per sezioni ortogonali all'asse del corso d'acqua a partire da valle della Praga Holding fino al tronco a monte del ponte ferroviario immediatamente a monte dell'imbocco della tombinatura nell'abitato di Novi Ligure.

Le sezioni rilevate facevano riferimento alla fascia di terreno adiacente al rio, quindi sono state estese implementandole con le informazioni estrapolate dal DTM della Regione Piemonte con maglia 5 m per le aree del piano campagna.

Le sezioni sono state trasferite nel codice di calcolo Hec-Ras.

L'usuale convenzione di tracciamento delle stesse è da sinistra verso destra (spalle a monte, sguardo a valle). La numerazione è crescente da valle verso monte, ovvero in senso contrario alla corrente.

#### 5 LA MODELLAZIONE IDRAULICA

La modellazione idraulica è stata condotta utilizzando il codice di calcolo Hec-Ras (per maggiori informazioni sull'algoritmo utilizzato si rimanda all'APPENDICE - D).

La posizione delle sezioni sono riportate nell'APPENDICE - A.

La geometria prodotta riproduce lo stato attuale (di fatto).

Sono stati implementati gli attraversamenti che si trovano lungo il tratto di corso d'acqua indagato, simulandoli come "Bridges" (ponti) e lo scolmatore presente in prossimità della stazione del gas. Quest'ultimo manufatto è stato rappresentato inserendo nel modello uno sfioratore laterale "Lateral structure" munita di paratoia in sponda destra, interagente con un manufatto ortogonale al rio "Inline structure" con reciproca paratoia, che regola le portate affluenti nel rio verso valle.

Il manufatto è costituito da una briglia con gáveta trapezia dotata di apertura sul fondo controllata da paratoia rettangolare motorizzata (Figura 8-12). La paratoia limita il deflusso verso valle mantenendo la portata nelle condizioni ordinarie; in caso di piena, si innesca l'accesso al canale scaricatore mediante una soglia a profilo tipo Creager e relativo manufatto dissipatore. Le dimensioni del canale scaricatore non sono state acquisite.

Il tronco d'alveo a monte ed a valle della briglia è sagomato a sezione trapezia e rivestito in calcestruzzo. A valle della briglia, la sezione è attraversata da uno scatolare rettangolare contenente il condotto di un oleodotto. A valle di questo, l'alveo assume forma rettangolare essendo delimitato da muri in calcestruzzo per un tratto di 8.0 m circa. Quindi, la porzione superiore della sezione è sbarrata da un secondo manufatto di attraversamento di un oleodotto. In assenza di disegni e in presenza di acqua stagnante (Figura 8-14), le dimensioni dei manufatti sono state rilevate alla meglio, soprattutto per quanto ne riguarda l'estensione verticale e quindi la luce che rimane libera sul fondo tenendo conto dello spesso deposito limoso ivi presente.

La complessità del sistema di manufatti sopra descritto, la non reperibilità di disegni di progetto e l'assenza di rilievi topografici di dettaglio del tronco d'alveo e dei manufatti compresi nella proprietà privata posta a ridosso del rilevato della circonvallazione rende impossibile una corretta modellazione degli effetti, che sono pertanto stati riportati in carta sulla base di quanto osservato in occasione dell'evento dell'ottobre 2014. Una esauriente modellazione è probabilmente possibile solo con codice di calcolo bidimensionale in grado di definire il campo di inondazione. Fatta eccezione del breve tronco in cui ricadono i manufatti sopra descritti, i risultati proposti sono comunque attendibili in quanto:

- a) il manufatto di attraversamento indicato come GAZ03 determina un rigurgito che risulta indipendente dalle condizioni a valle. La modellazione proposta riproduce le condizioni osservate in ottobre 2014 (modesto allagamento del piano terra dell'edificio residenziale in sponda destra);
- b) il manufatto di attraversamento della circonvallazione (indicato come GAZ04) risulta adeguato al convogliamento della portata di riferimento senza rigurgito significativo verso monte.

Nell'ambito della modellazione, al fine di dettagliare i tronchi di maggiore interesse compresi fra due sezioni consecutive sono state aggiunte nuove sezioni tramite la funzione interpolazione. Tale funzione utilizza le informazioni spaziali delle due sezioni estreme e traccia nuove sezioni con passo definito dell'utente mediante il collegamento dei punti omologhi delle sezioni estreme.

Nelle sezioni in cui si verificano tracimazioni dell'acqua sul piano campagna sono stati inseriti degli *"Ineffective flow areas"* in corrispondenza dei cigli sponda, per simulare la presenza di acqua con moto caratterizzato da velocità quasi nulla all'esterno dell'alveo vero e proprio.

### 5.1 Portate di riferimento

Le portate al colmo della piena di riferimento colmo sono state indicate nel paragrafo §3 e nella relativa Tabella 3-1.

Si limita la verifica alle portate con tempo di ritorno di 50 e 200 anni e non anche la portata con tempo di ritorno 500 anni. L'area inondabile con pericolosità media/moderata (Em), che si attribuisce all'evento "catastrofico" e solo in assenza di informazioni si ritiene conseguente alla portata con 500 anni di tempo di ritorno, è strettamente legata alla morfologia dei luoghi e pertanto se ne rimanda la delimitazione all'indagine geologica.

### 5.2 Condizioni al contorno

Nella modellazione si è assunto, in base ai dati del rilievo, che:

- a) a monte del ramo principale, la pendenza del fondo dell'alveo sia dello 0.85%;
- b) a valle del ramo principale, la pendenza del fondo alveo sia dello 0.85%;
- c) a monte del ramo scolmatore, la pendenza del fondo alveo sia prossimo allo 0.00%;
- d) a valle del ramo principale, la pendenza del fondo alveo sia del 2.00%.

Tali pendenze, propriamente appartenenti alla linea dell'energia, sono attribuite al fondo nell'ipotesi di moto uniforme gradualmente variato.

Per quanto riguarda l'apertura delle paratoie, si è fissato che:

- la paratoia di controllo dello stramazzone laterale sia a 1.35 m dal fondo,
- la paratoia che sbarra il manufatto ortogonale sia sollevata di 0.20 m.

Il calcolo è stato attivato imponendo la condizione di moto "mixed" (mista), in quanto si presume che la corrente in alcune sezioni possa transitare attraverso lo stato critico.

### 5.3 Scabrezza

La scabrezza è stata determinata seguendo le indicazioni delle tabelle riportate nei manuali tecnici e su quanto riportato dallo studio di riferimento, assegnando rispettivamente a:

- a) alveo naturale  $n = 0.050 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ ;
- b) sponde  $n = 0.050 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ ;
- c) piano campagna  $n = 0.050 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ ;
- d) rivestimento in cls  $n = 0.025 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ .

## 6 RISULTATI

Il profilo del Rio Gazzo è riportato nell'APPENDICE - A.

I risultati della simulazione sono indicati nella tabella riportata nell'APPENDICE - B.

Le sezioni del modello idraulico sono riportate nell'APPENDICE - C.

A partire dalla sezione più a monte (denominata 190), la presenza dell'attraversamento GAZ01 determina un innalzamento dei livelli dei peli liberi di piena a monte del manufatto con conseguenti quote dei battenti idrici che superano la quota dell'estradosso del ponticello. La piena è contenuta in sponda destra del muretto in cls, realizzato appositamente allo scopo, sul ciglio dell'alveo in cemento.

**ANSELMO associati**

Via Vittorio Emanuele, 14 - 10023 Chieri (TO) - tel./fax 011-9415835

e-mail: [info@anselmoassociati.it](mailto:info@anselmoassociati.it) – pec: [virgilio.anselmo@ingpec.eu](mailto:virgilio.anselmo@ingpec.eu) – [www.anselmoassociati.it](http://www.anselmoassociati.it)



Non è stato possibile recuperare informazioni circa le modalità secondo cui si è verificato l'allagamento della sede ferroviaria, con conseguente interruzione del servizio nel corso dell'evento del giorno 13 ottobre 2014.

Nel tratto compreso fra l'attraversamento GAZ01 e GAZ02, la modellazione segnala la tracimazione oltre la sponda destra delle due piene di riferimento, che si riversano nella trincea della ferrovia. In questo caso le quote dei peli liberi indicate non sono corrette, in quanto il modello non tiene conto della riduzione di portata determinata dalla tracimazione in destra e, quindi, l'area bagnata risulta essere maggiore, incidendo anche sulla posizione del limite estremo sinistro del pelo libero. In altre parole il modello determina un allagamento maggiore sul piano campagna oltre la sponda sinistra rispetto a quanto potrebbe accadere in realtà. In tali casi, la determinazione corretta può essere ottenuta solo con un codice di calcolo bidimensionale; data la scarsa rilevanza dell'estensione dell'allagamento in sponda sinistra, si ritiene adeguato il risultato ottenuto. Piuttosto, il problema appare particolarmente serio per la ferrovia.

Non si rilevano criticità idrauliche legate al convogliamento nella tombinatura GAZ02, poiché le dimensioni della tombatura sottostante al piazzale risultano essere adeguate alle portate di riferimento.

Fra la sezione 120 e la seguente 110, si verifica l'inondazione del piano campagna in sinistra, dove si verifica un maggior allagamento in corrispondenza del muro di cinta della Novi Elah Dufour s.p.a. laddove si trova un fossato rivestito in cemento che convoglia l'acqua verso l'alveo.

In corrispondenza dello stabilimento in argomento (sezioni fra la 110 e 100), la piena duecentennale non è contenuta in alveo causando l'allagamento oltre la sponda sinistra, ma viene contenuta dal muro di cinta. Le condizioni di convogliamento potrebbero essere decisamente migliorate se si provvedesse alla periodica rimozione dei materiali vegetali che ingombrano la sezione (Figura 8-9).

Invece, in prossimità della fine dell'area edificata, si verifica anche l'allagamento in destra da parte sia della piena duecentennale che di quella cinquantennale.

Nel successivo tratto compreso fra le sezioni 100 e 90 l'allagamento in destra si riduce a mano a mano che si procede verso valle, fino al completo convogliamento in alveo delle piene di riferimento in corrispondenza della sezione 90.

Proseguendo lungo la direzione della corrente si arriva all'attraversamento GAZ03. La piena cinquantennale e duecentennale non vengono convogliate nel fornice della struttura, ed il relativo pelo libero si trova ad una quota superiore a quella del piano stradale. Pertanto a monte del manufatto la stessa piena genera un allagamento del piano campagna in destra che interessa in parte le costruzioni esistenti oltre la sponda.

Immediatamente a valle dell'attraversamento si trova il manufatto scolmatore. Il setto ortogonale in alveo munito di paratoia motorizzata genera il carico necessario a far defluire

una parte della portata nello scaricatore laterale. Questo tratto ha il fondo e le sponde rivestite in calcestruzzo. Il manufatto risulta ragionevolmente in grado di intercettare portate dell'ordine di 6-8 m<sup>3</sup>/s in concomitanza delle piene di riferimento. Il risultato (Figura 6-2 e Figura 6-3) non può essere preso in piena considerazione in quanto la modellazione allestita, per difetto di informazioni, non ha potuto tener conto delle condizioni al contorno del ramo scolmatore. Infatti, solo il profilo del manufatto di intercettazione è stato reperito presso l'ufficio tecnico comunale (Figura 6-1).

Come detto precedentemente, gli attraversamenti degli oleodotti ed i manufatti a valle del manufatto scaricatore (Figura 8-14) non possono essere modellati correttamente. In ogni caso, queste strutture costituiscono un ostacolo al deflusso della piena di progetto, comportando l'allagamento sia in destra che in sinistra del piano campagna interessando l'adiacente stazione del gas.

Più a valle in corrispondenza dell'attraversamento GAZ04, la piena cinquantennale risulta essere convogliata senza criticità nel fornice, mentre quella duecentennale provoca l'inondazione delle aree a monte del manufatto in destra.

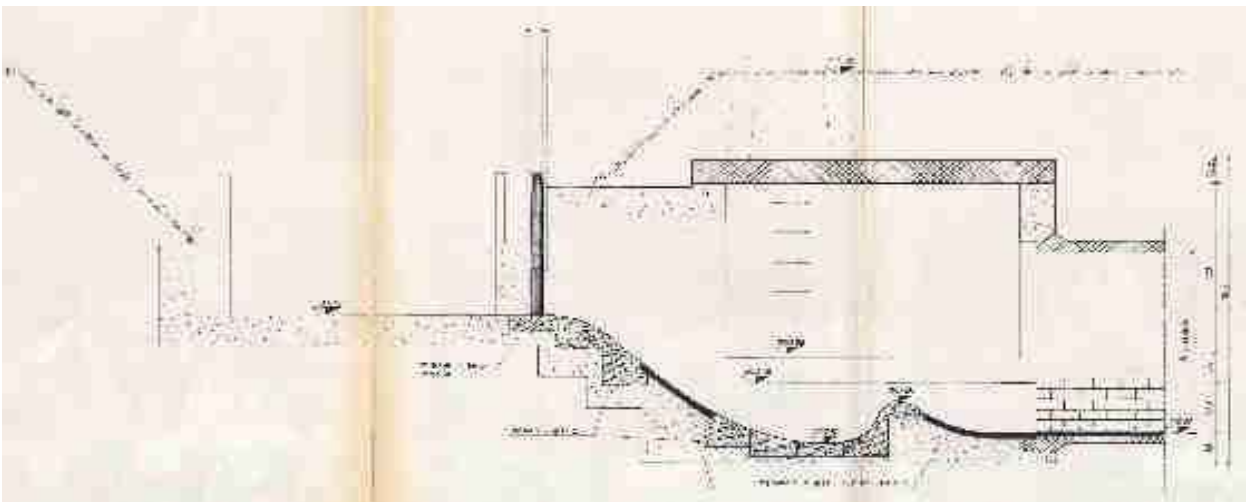


Figura 6-1 – Tavola grafica che rappresenta il manufatto di intercettazione della portata da deviare nello scaricatore (CONSORZIO DI BONIFICA DELLO SCRIVIA, 1991).

River:	Gazzo	Profile:	Tr50	Gate Group:	Gate #1
Reach:	Novi	RS:	55	Plan:	att_apr2016
Plan: att_apr2016 Gazzo Novi RS: 55 Gate Group: Gate #1 Profile: Tr50					
E.G. US. (m)	211.87	Weir Sta US. (m)	0.00		
W.S. US. (m)	211.83	Weir Sta DS. (m)	2.10		
E.G. DS. (m)	211.86	Min El Weir Flow (m)	211.82		
W.S. DS. (m)	211.86	W/ Top Width (m)	2.10		
Q US. (m3/s)	14.30	Weir Max Depth (m)	0.04		
Q Leaving Total (m3/s)	10.60	Weir Avg Depth (m)	0.02		
Q DS. (m3/s)	3.83	Weir Flow Area (m2)	0.05		
Perc Q Leaving	73.24	Weir Coef (m <sup>1/2</sup> )	1.099		
Q Weir (m3/s)	0.01	Weir Submerg	0.00		
Q Gates (m3/s)	10.60	Q Gate Group (m3/s)	10.60		
Q Culv (m3/s)	0.00	Gate Open Ht (m)	1.35		
Q Lat RC (m3/s)		Gate #Open	1		
		Gate Area (m2)	2.34		
Q Breach (m3/s)		Gate Submerg	0.66		
Breach Avg Velocity (m/s)		Gate Invert (m)	208.93		
Breach Flow Area (m2)		Gate Weir Coef			

Figura 6-2 – Risultati dello scolmatore laterale relativi alla piena cinquantennale.

River:	Gazzo	Profile:	Tr200	Gate Group:	Gate #1
Reach:	Novi	RS:	55	Plan:	att_apr2016
Plan: att_apr2016 Gazzo Novi RS: 55 Gate Group: Gate #1 Profile: Tr200					
E.G. US. (m)	212.04	Weir Sta US. (m)	0.00		
W.S. US. (m)	211.98	Weir Sta DS. (m)	2.10		
E.G. DS. (m)	212.03	Min El Weir Flow (m)	211.82		
W.S. DS. (m)	212.02	W/ Top Width (m)	2.10		
Q US. (m3/s)	19.10	Weir Max Depth (m)	0.20		
Q Leaving Total (m3/s)	11.06	Weir Avg Depth (m)	0.18		
Q DS. (m3/s)	8.18	Weir Flow Area (m2)	0.38		
Perc Q Leaving	57.18	Weir Coef (m <sup>1/2</sup> )	1.099		
Q Weir (m3/s)	0.18	Weir Submerg	0.00		
Q Gates (m3/s)	10.88	Q Gate Group (m3/s)	10.88		
Q Culv (m3/s)	0.00	Gate Open Ht (m)	1.35		
Q Lat RC (m3/s)		Gate #Open	1		
		Gate Area (m2)	2.34		
Q Breach (m3/s)		Gate Submerg	0.64		
Breach Avg Velocity (m/s)		Gate Invert (m)	208.93		
Breach Flow Area (m2)		Gate Weir Coef			

Figura 6-3 – Risultati dello scolmatore laterale relativi alla piena duecentennale.

L'ultimo tronco, dal manufatto GAZ04 fino all'imbocco della tombinatura sotto l'abitato di Novi Ligure, non presenta particolari criticità idrauliche <sup>(3)</sup>, in quanto l'alveo si presenta largo ed incassato rispetto al circostante piano campagna.

Anche il ponte stradale GAZ05 non ha problemi a convogliare le portate di progetto, poiché presenta un manufatto di attraversamento adeguato allo scopo. A monte dell'attraversamento tuttavia, le sezioni risultano insufficienti al contenimento della piena duecentennale. Secondo le informazioni raccolte, gli edifici, in corrispondenza del cui manufatto a cavallo dell'alveo non è stato possibile effettuare il rilievo, sono stati allagati.

## **7 CONCLUSIONI**

La verifica è stata condotta, come detto in premessa, sul tronco di Rio Gazzo compreso fra il primo manufatto di attraversamento in corrispondenza della località Cascina Barbelotta e il tronco a ridosso del ponte ferroviario a ridosso del concentrico di Novi Ligure.

Scopo dell'analisi è la verifica della capacità di convogliamento al fine di determinare le aree a diversa pericolosità ai sensi del PAI.

L'analisi è stata condotta con codice di calcolo commerciale (Hec-Ras) in moto permanente a partire dalle portate di riferimento contenute in un elaborato approvato nell'ambito della procedura per la variante al PRGC di Novi Ligure.

La modellazione è stata mirata a indagare la capacità di convogliamento nel settore d'alveo di specifico interesse della Elah-Dufour. L'eventuale estensione dell'indagine al tronco compreso fra il manufatto scolmatore e la circonvallazione richiede l'approfondimento delle condizioni topografiche nell'intorno e della geometria dello scolmatore stesso.

---

<sup>3)</sup> Al momento, non è stato preso in esame il manufatto realizzato a cavallo del Rio Gazzo in un edificio privato posto poco a monte della circonvallazione, in quanto proprietà privata ai fini dell'accesso.



## **8 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



Figura 8-1 – La debole incisione attraverso il piano campagna che materializza l’attuale tronco iniziale del Rio Gazzo a valle della S.P. 35, che si intravede sullo sfondo. (foto 2063-20160213\_123609)



Figura 8-2 – Incisione più marcata e arginature di protezione che attraversano il terreno compreso fra S.P. 35 (corrente a tergo delle case all’orizzonte) e il canale di gronda della trincea ferroviaria. (foto 2063-20160213\_125248)





Figura 8-3 – Vista verso monte del Rio Gazzo a monte dell'attraversamento GAZ01. Il tratto è incanalato entro sponde in cls. Si vede il muretto realizzato dalle ferrovie in sponda destra per contenere le piene. (foto: 2063- 20160213\_121150)



Figura 8-4 - Attraversamento GAZ01 visto da monte. Si vede il risvolto del muretto in destra tale da formare una sorta di parapetto sull'attraversamento. (foto: 2063- 20160213\_121212).





Figura 8-5 Forte restringimento di alveo fra le sezioni 160 e 140 a causa dell'ampliamento della sede stradale a spese del corso d'acqua. (foto 2063-20160213\_132439)



Figura 8-6 - Fra le sezioni 160 e 140 l'ampliamento della sede stradale è avvenuta a spese del corso d'acqua. (foto 2063-20160213\_132444)





Figura 8-7 – Vista dall’alto e verso valle del tratto tombato attraversante il piazzale dello stabilimento fra la sezione 130 e la sezione 120. (foto 2063- 20160213\_132635)



Figura 8-8 – Fosso proveniente dalla S.P. 35 confluyente nel Rio Gazzo lungo il lato orientale della recinzione dell’area Elah-Dufour-Novì. (foto 2063- 20160213\_133546)





Figura 8-9 – Vista verso valle dell'alveo del Rio Gazzo che si sviluppa lungo la recinzione Nord dell'area Elah-Dufour-Novì tra le sezioni 110 e 100. (foto 2063- 20160213\_133621)

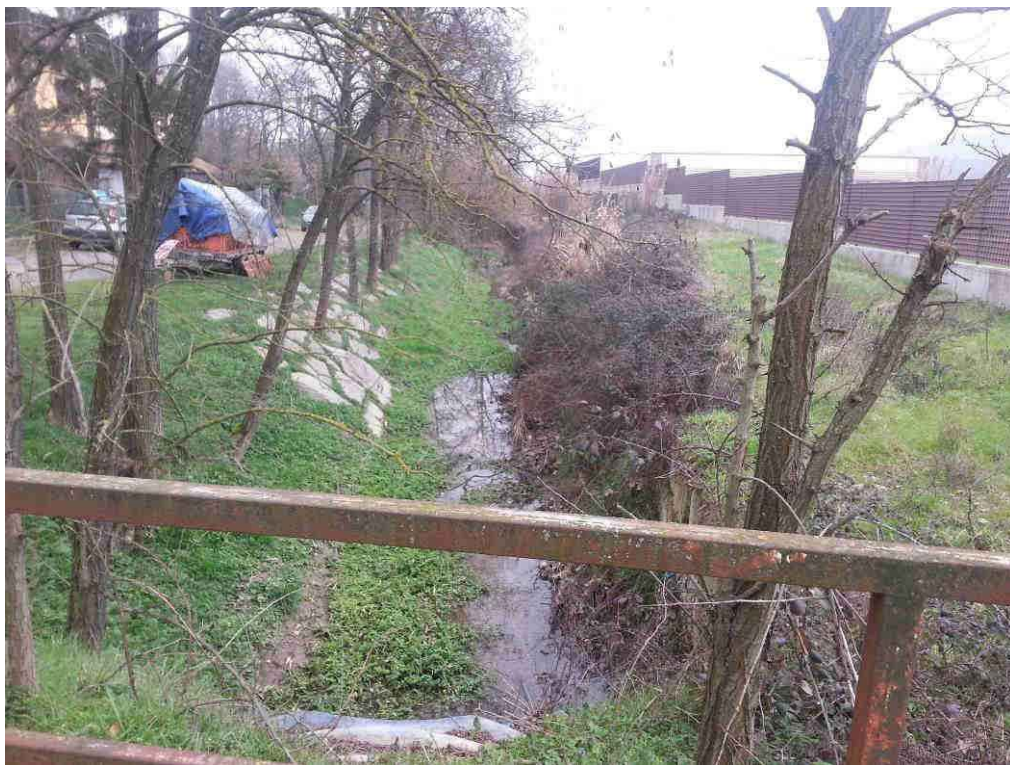


Figura 8-10 – Vista verso monte dell'alveo del Rio Gazzo dalla sezione 80 in corrispondenza del manufatto di attraversamento costituito da fornici in lamiera ondulata. (foto 2063- 20160213\_134917)





Figura 8-11 – Manufatto di attraversamento GAZ03 alla sezione 80, visto dalla sponda sinistra. (foto 2063-20160213\_134933)



Figura 8-12 – Manufatto di controllo alla sezione 70. Il Rio Gazzo defluisce da destra a sinistra della foto. L'alveo è sbarrato dalla struttura trasversale foggata a gaveta e recante un'apertura sul fondo controllata da paratoia piana (non visibile dietro al cespuglio). La portata in arrivo viene decurtata della portata richiamata dallo scaricatore attraverso l'apertura controllata dalla paratoia che immette nel canale scaricatore. (foto 2063- 20160213\_135010)

**ANSELMO associati**

Via Vittorio Emanuele, 14 - 10023 Chieri (TO) - tel./fax 011-9415835

e-mail: [info@anselmoassociati.it](mailto:info@anselmoassociati.it) – pec: [virgilio.anselmo@ingpec.eu](mailto:virgilio.anselmo@ingpec.eu) – [www.anselmoassociati.it](http://www.anselmoassociati.it)





Figura 8-13 – Vista verso valle dell'alveo del Rio Gazzo, a valle del manufatto di attraversamento. (foto 2063- 20160213\_135319)



Figura 8-14 – Vista verso monte dallo stesso punto di ripresa della figura precedente. La freccia in secondo piano indica la ringhiera della passerella corrente sulla gaveta illustrata nella Figura 8-12. Al centro della foto il manufatto di attraversamento di un oleodotto (foto 2063-20160213\_135324)





Figura 8-15 - Sezione di uscita del condotto sottopassante il ramo di S.P. 35 realizzato per la circonvallazione. (foto 2063- 20160213\_135906)



Figura 8-16 – Vista verso valle dell'alveo alla sezione 30. (foto 2063-20160213\_140248)





Figura 8-17 – Manufatto di attraversamento ad arco in mattoni. (foto 2063-20160213\_140323)



Figura 8-18 – Ponte della ferrovia oltre il quale il Rio Gazzo entra nella tombatura con cui attraversa la porzione settentrionale del concentrico di Novi Ligure. (foto 2063-20160213\_141552)

## **9 ALLEGATI**

Allegato 1 – Copertura aerea del settore di territorio di interesse

Allegato 2 – Corografia

Allegato 3 – Cartografia derivata dal DTM della Regione Piemonte

Allegato 4 – Sezioni trasversali utilizzate per il modello in moto permanente

Allegato 5 – Aree inondabili

Allegato 6 – Rilievo topografico RPS (Novi Ligure)

## **10 ELENCO ELABORATI**

Elaborato 1 – Relazione

Elaborato 2 – Sezioni da rilievo topografico RPS (Novi Ligure)

## APPENDICE - A – PROFILO

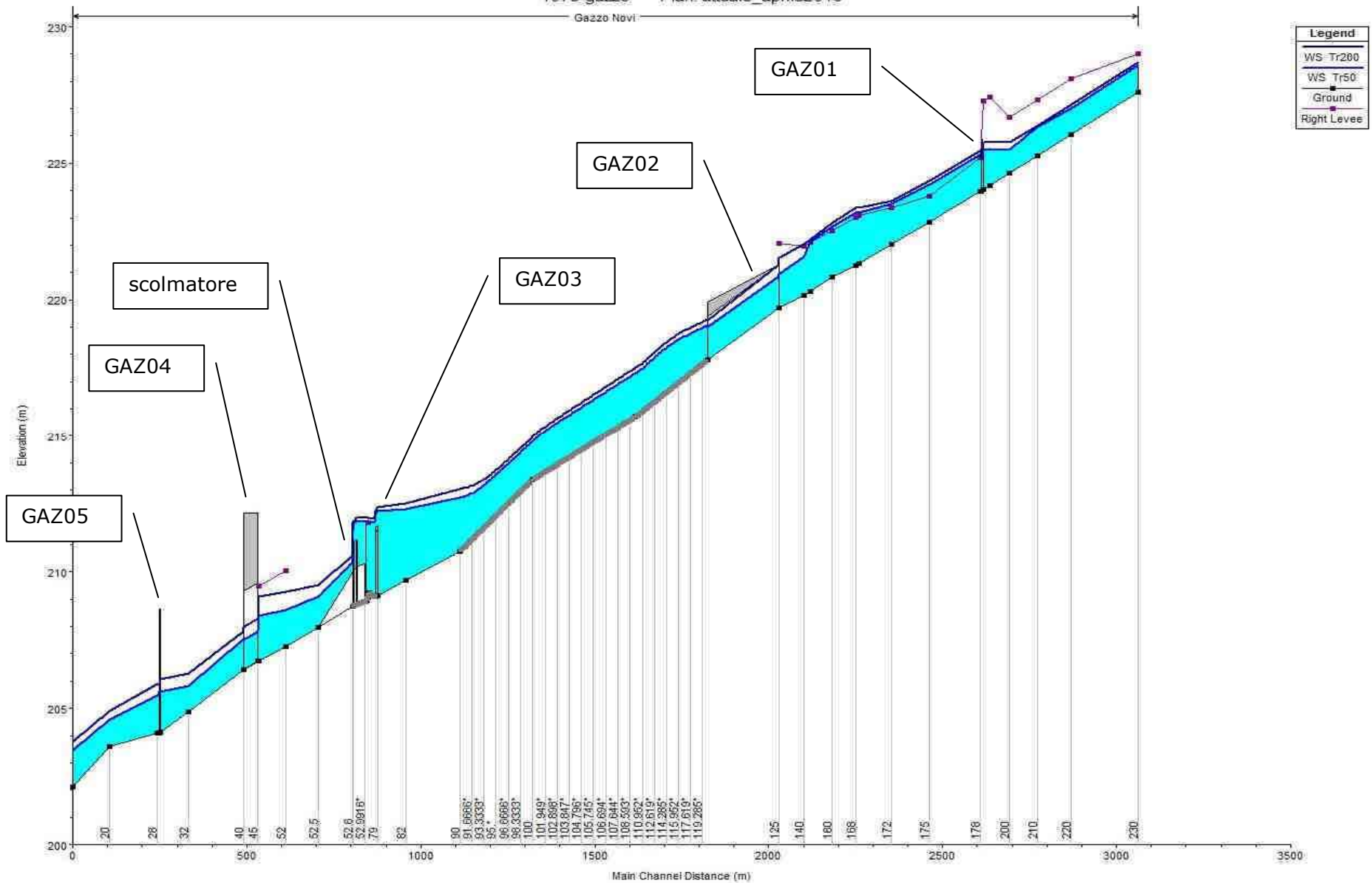
Si riporta il profilo del Rio Gazzo con l'indicazione della posizione delle sezioni inserite nel modello idraulico.

Il profilo del terreno fornito dal codice di calcolo rappresenta il luogo dei punti più depressi delle sezioni.

La linea blu rappresenta il pelo libero della piena cinquantennale, mentre quella blu scura della piena duecentennale.









## APPENDICE - B - MODELLAZIONE IDRAULICA

Si ricorda che le colonne della tabella indicano:

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

River Station	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
230	Tr50	2.4	227.6	228.59	228.38	228.78	0.0078	1.94	1.24	1.5	0.68
230	Tr200	2.9	227.6	228.7	228.48	228.92	0.008058	2.05	1.41	12.47	0.7
220	Tr50	2.4	226.04	227.01	226.82	227.21	0.008313	1.99	1.21	1.49	0.7
220	Tr200	2.9	226.04	227.15	226.92	227.36	0.007922	2.04	1.42	47.26	0.69
210	Tr50	2.4	225.28	226.32	226.06	226.49	0.006876	1.83	1.31	18.7	0.65
210	Tr200	2.9	225.28	226.38	226.16	226.59	0.008213	2.07	1.4	57.52	0.7
200	Tr50	2.4	224.63	225.49	225.41	225.76	0.012049	2.29	1.05	1.43	0.86
200	Tr200	2.9	224.63	225.76	225.51	225.96	0.007236	1.98	1.46	28.02	0.66
190	Tr50	3.78	224.19	225.51	224.86	225.57	0.001228	1.1	3.45	3.08	0.33

### **ANSELMO associati**

Via Vittorio Emanuele, 14 - 10023 Chieri (TO) - tel./fax 011-9415835

e-mail: [info@anselmoassociati.it](mailto:info@anselmoassociati.it) – pec: [virgilio.anselmo@ingpec.eu](mailto:virgilio.anselmo@ingpec.eu) – [www.anselmoassociati.it](http://www.anselmoassociati.it)

*Novi S.p.a. – Novi Ligure (AL)*  
*Verifica idraulica del Rio Gazzo*

River Station	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
190	Tr200	4.6	224.19	225.77	224.94	225.83	0.000986	1.07	4.49	16.16	0.3
180	Tr50	3.78	224.03	225.5	224.7	225.55	0.000868	0.97	3.92	3.72	0.28
180	Tr200	4.6	224.03	225.76	224.78	225.81	0.000675	0.94	5.47	49.39	0.25
179	Bridge										
178	Tr50	7.06	223.98	225.32	224.97	225.54	0.00816	2.17	3.76	50.21	0.6
178	Tr200	8.6	223.98	225.47	225.1	225.72	0.00824	2.34	4.26	67.22	0.62
175	Tr50	7.06	222.86	224.2	223.85	224.4	0.007329	2.06	3.92	78.19	0.57
175	Tr200	8.6	222.86	224.37	223.97	224.59	0.007132	2.2	4.48	93.04	0.58
172	Tr50	7.06	222.02	223.51	223.01	223.69	0.005605	1.94	4.23	95.41	0.51
172	Tr200	8.6	222.02	223.63	223.15	223.85	0.00629	2.16	4.63	98.6	0.55
170	Tr50	7.06	221.32	223.21	222.63	223.29	0.002989	1.49	6.8	77.4	0.36
170	Tr200	8.6	221.32	223.37	222.77	223.45	0.00263	1.48	8.21	96.57	0.35
168	Tr50	7.06	221.27	223.19	222.58	223.26	0.002677	1.43	7.08	81.23	0.34
168	Tr200	8.6	221.27	223.36	222.71	223.42	0.002374	1.43	8.51	100.63	0.33
160	Tr50	7.06	220.84	222.67	222.15	222.86	0.019909	1.9	3.71	26.15	0.45
160	Tr200	8.6	220.84	222.82	222.3	223.04	0.021171	2.07	4.13	54.32	0.47
150	Tr50	7.06	220.32	222.15	221.71	222.3	0.005073	2.12	5.19	26.88	0.5
150	Tr200	8.6	220.32	222.22	221.85	222.4	0.005985	2.37	5.63	33.47	0.55
140	Tr50	8.4	220.17	221.57	221.55	222.07	0.019925	3.5	3.11	3.38	0.95
140	Tr200	10.5	220.17	222.03	222.03	222.26	0.007728	2.64	6.98	28.56	0.62

**ANSELMO associati**

Via Vittorio Emanuele, 14 - 10023 Chieri (TO) - tel./fax 011-9415835

e-mail: [info@anselmoassociati.it](mailto:info@anselmoassociati.it) – pec: [virgilio.anselmo@ingpec.eu](mailto:virgilio.anselmo@ingpec.eu) – [www.anselmoassociati.it](http://www.anselmoassociati.it)

*Novi S.p.a. – Novi Ligure (AL)*  
*Verifica idraulica del Rio Gazzo*

River Station	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
130	Tr50	8.4	219.71	220.93	220.59	221.12	0.008083	1.99	4.56	4.38	0.59
130	Tr200	10.5	219.71	221.54	220.72	221.66	0.00296	1.59	7.39	4.86	0.38
125	Bridge										
120	Tr50	8.4	217.79	219.06	218.56	219.16	0.005955	1.49	6.05	5.85	0.42
120	Tr200	10.5	217.79	219.26	218.68	219.37	0.005618	1.55	7.28	6.28	0.41
110	Tr50	8.4	215.71	217.32	216.94	217.57	0.007944	2.44	4.38	4.72	0.62
110	Tr200	10.5	215.71	217.52	217.12	217.81	0.007917	2.64	5.28	43.76	0.63
109	Tr50	8.4	215.71	217.31	216.94	217.56	0.008172	2.46	4.34	3.82	0.62
109	Tr200	10.5	215.71	217.5	217.11	217.8	0.008205	2.67	5.2	16.17	0.64
101	Tr50	8.4	213.39	214.82	214.63	215.07	0.010971	2.59	4.25	41.27	0.7
101	Tr200	10.5	213.39	214.98	214.77	215.26	0.010909	2.77	4.97	44.31	0.71
100	Tr50	8.4	213.39	214.8	214.63	215.06	0.011858	2.66	4.14	40.84	0.73
100	Tr200	10.5	213.39	214.95	214.77	215.25	0.011924	2.86	4.83	43.51	0.74
90	Tr50	8.4	210.75	212.71	212.15	212.84	0.004616	1.94	6.12	5.6	0.45
90	Tr200	10.5	210.75	213.04	212.3	213.15	0.003391	1.85	8.08	9.95	0.4
82	Tr50	14.3	209.68	212.3	211.09	212.42	0.002041	1.64	10.18	22.93	0.33
82	Tr200	19.1	209.68	212.5	211.34	212.68	0.002768	2.01	11.11	38.01	0.39
80	Tr50	14.3	209.13	212.22	210.54	212.3	0.00107	1.33	12.75	51.03	0.25
80	Tr200	19.1	209.13	212.37	210.79	212.5	0.001576	1.67	13.56	60.09	0.3
79	Bridge										

**ANSELMO associati**

Via Vittorio Emanuele, 14 - 10023 Chieri (TO) - tel./fax 011-9415835

e-mail: [info@anselmoassociati.it](mailto:info@anselmoassociati.it) – pec: [virgilio.anselmo@ingpec.eu](mailto:virgilio.anselmo@ingpec.eu) – [www.anselmoassociati.it](http://www.anselmoassociati.it)

Novi S.p.a. – Novi Ligure (AL)  
Verifica idraulica del Rio Gazzo

River Station	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
78	Tr50	14.3	209.08	211.81	210.49	211.92	0.001715	1.55	10.93	33.96	0.31
78	Tr200	19.1	209.08	211.94	210.74	212.11	0.002543	1.95	11.61	40.42	0.38
70	Tr50	14.3	209.22	211.82	210.38	211.88	0.000997	1.17	15.78	9.85	0.24
70	Tr200	19.1	209.22	211.96	210.59	212.06	0.001715	1.59	17.49	19.51	0.31
60	Tr50	14.3	209.07	211.83	210.31	211.87	0.000286	0.93	16.41	26.09	0.21
60	Tr200	19.1	209.07	211.98	210.52	212.04	0.000378	1.12	21.26	82.59	0.25
58	Tr50	14.3	208.97	211.83	210.21	211.87	0.000259	0.9	16.97	26.17	0.2
58	Tr200	19.1	208.97	211.98	210.43	212.04	0.000346	1.09	21.85	82.7	0.24
56	Tr50	14.3	208.93	211.83	210.17	211.87	0.00025	0.89	17.19	26.2	0.2
56	Tr200	19.1	208.93	211.98	210.39	212.04	0.000335	1.08	22.07	82.75	0.23
55		Lat Struct									
54	Tr50	3.83	208.93	211.86	209.5	211.86	0.000017	0.23	17.88	28.06	0.05
54	Tr200	8.18	208.93	212.02	209.83	212.03	0.000058	0.45	23.33	85.74	0.1
53.5		Inl Struct									
52.5	Tr50	3.83	207.97	209.08	208.75	209.14	0.004817	1.45	3.79	6.2	0.45
52.5	Tr200	8.18	207.97	209.53	209.06	209.61	0.00427	1.73	7.06	8.42	0.45
52	Tr50	6.03	207.27	208.61	208.23	208.69	0.004829	1.66	5.34	7.34	0.46
52	Tr200	11.18	207.27	209.26	208.53	209.32	0.002357	1.52	11.2	10.59	0.35
50	Tr50	6.03	206.74	208.39	207.68	208.44	0.002004	1.23	5.86	8.86	0.31
50	Tr200	11.18	206.74	209.08	208	209.16	0.001654	1.42	9.05	15.07	0.3

**ANSELMO associati**

Via Vittorio Emanuele, 14 - 10023 Chieri (TO) - tel./fax 011-9415835

e-mail: [info@anselmoassociati.it](mailto:info@anselmoassociati.it) – pec: [virgilio.anselmo@ingpec.eu](mailto:virgilio.anselmo@ingpec.eu) – [www.anselmoassociati.it](http://www.anselmoassociati.it)

Novi S.p.a. – Novi Ligure (AL)  
Verifica idraulica del Rio Gazzo

River Station	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
45		Culvert									
40	Tr50	6.03	206.4	207.53		207.77	0.01035	2.21	2.9	2.76	0.66
40	Tr200	11.18	206.4	207.83	207.7	208.35	0.016264	3.23	3.74	2.86	0.86
32	Tr50	6.23	204.88	205.82		205.99	0.011872	1.98	3.63	5.49	0.67
32	Tr200	11.58	204.88	206.27		206.47	0.008275	2.18	6.46	6.94	0.6
30	Tr50	6.23	204.12	205.59	204.89	205.64	0.001902	1.09	7.03	7.21	0.29
30	Tr200	11.58	204.12	206.07	205.21	206.14	0.002008	1.36	10.74	8.94	0.31
29		Culvert									
28	Tr50	6.23	204.09	205.46	204.86	205.52	0.002531	1.2	6.33	6.88	0.33
28	Tr200	11.58	204.09	205.88	205.18	205.97	0.002913	1.54	9.41	8.35	0.37
20	Tr50	6.23	203.58	204.6	204.51	204.79	0.016209	2.56	3.48	6.07	0.81
20	Tr200	11.58	203.58	204.9	204.81	205.16	0.016342	3.06	5.56	7.64	0.85
10	Tr50	6.23	202.12	203.45	203.1	203.54	0.008502	1.35	4.72	7.33	0.53
10	Tr200	11.58	202.12	203.76	203.43	203.9	0.008504	1.74	7.12	8.22	0.56



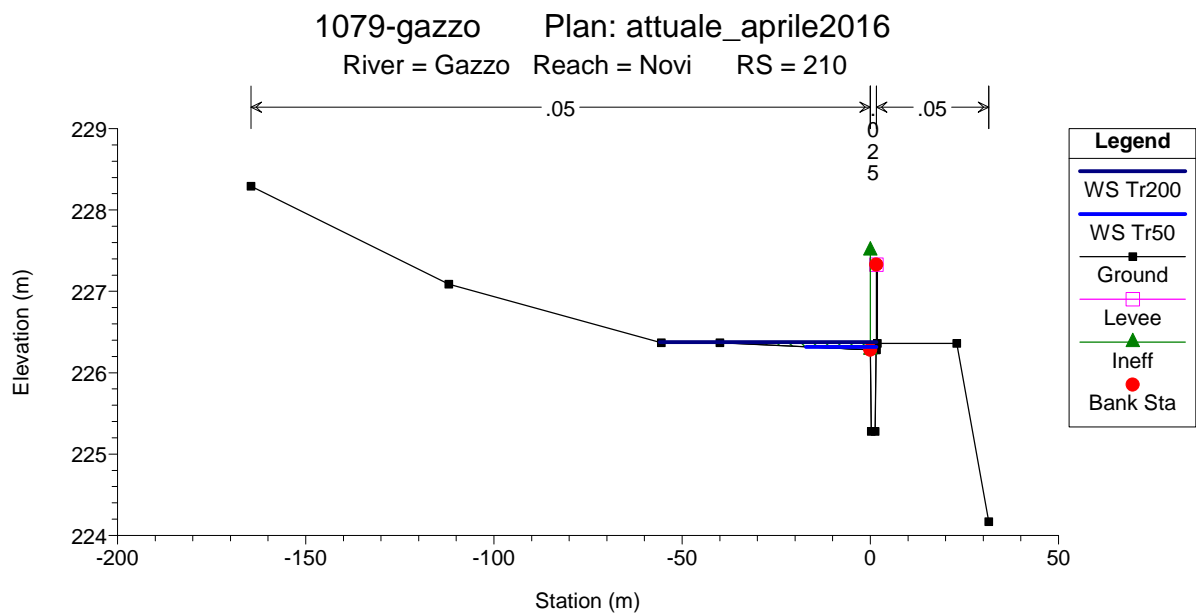
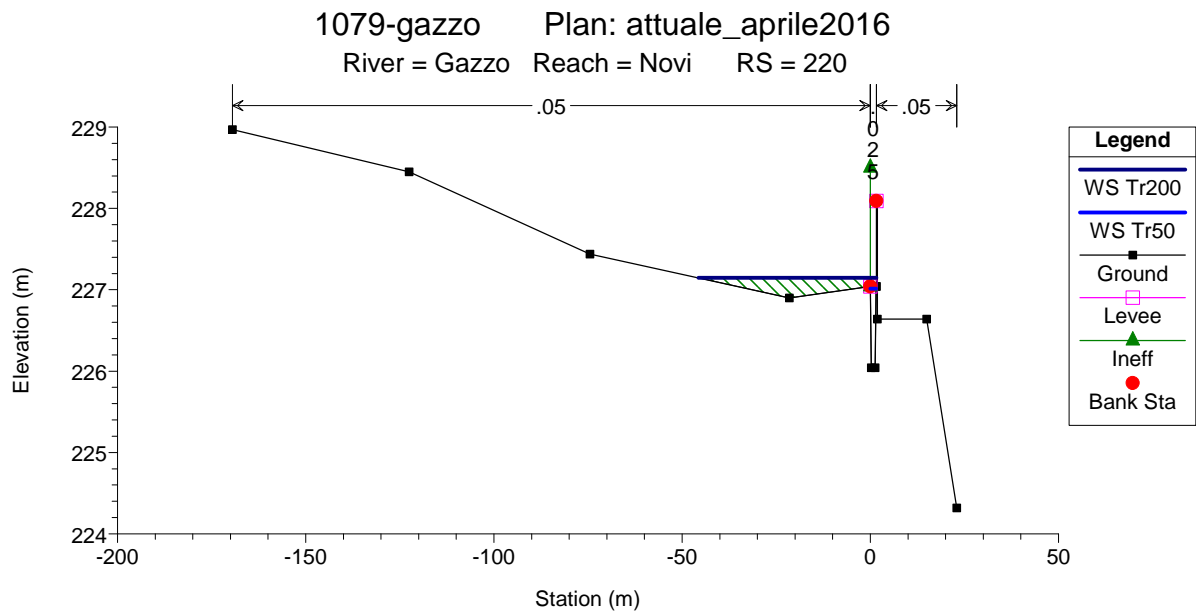
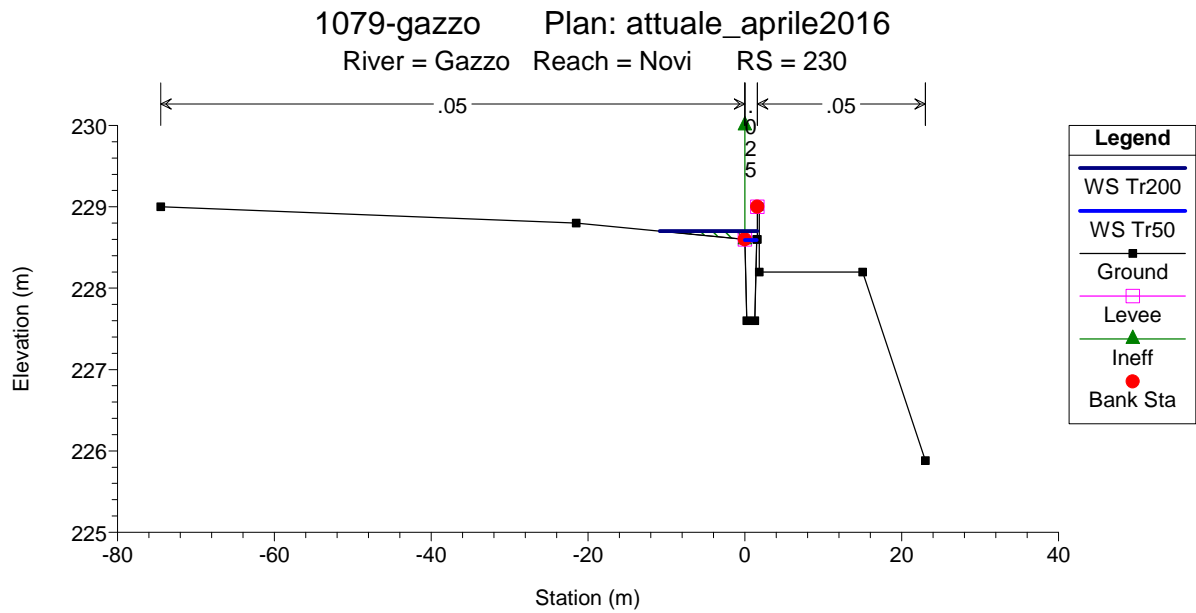


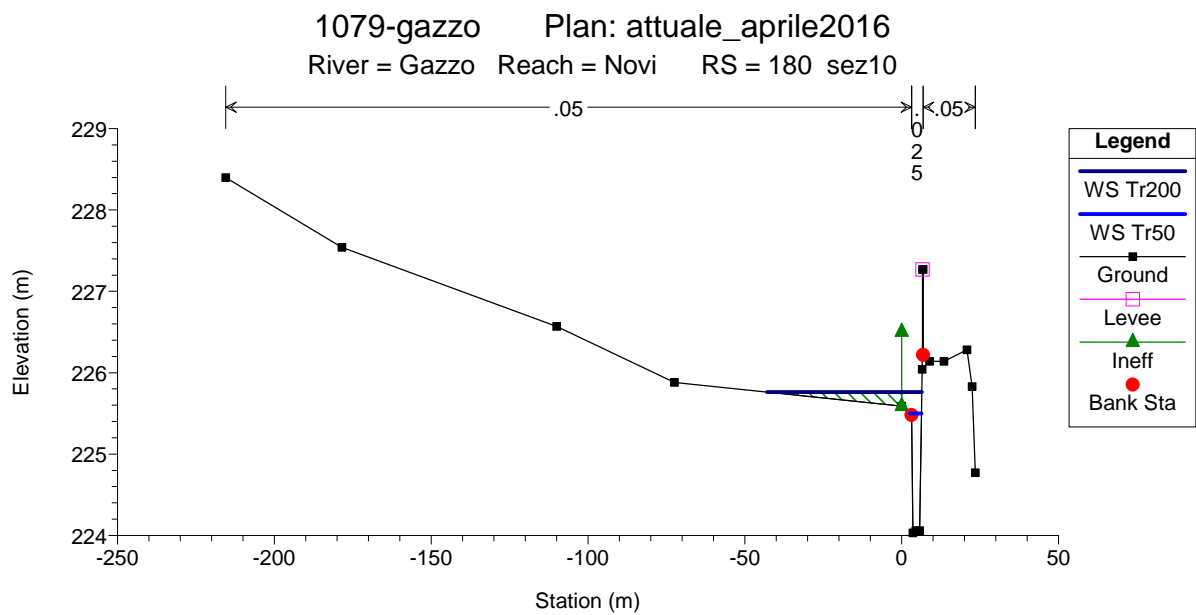
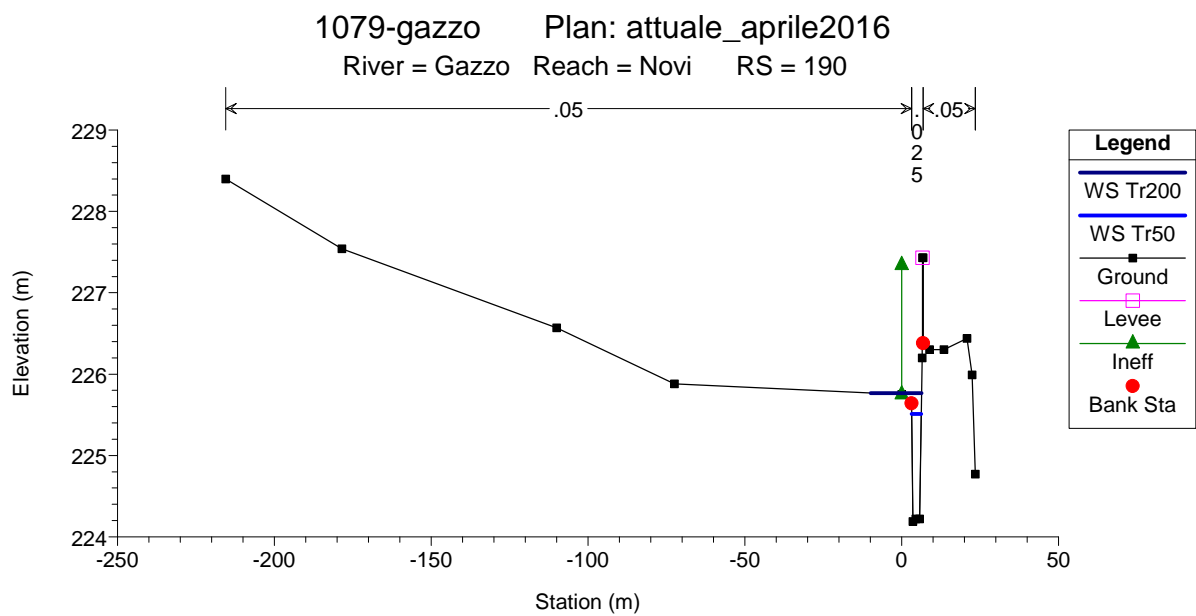
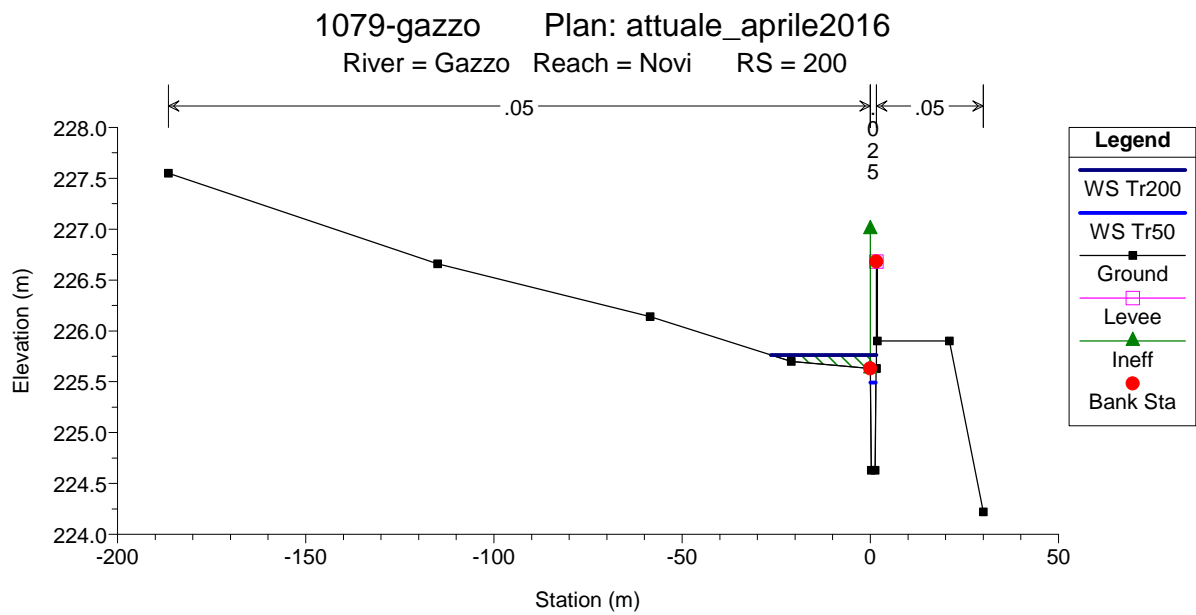
## APPENDICE - C - SEZIONI TRASVERSALI

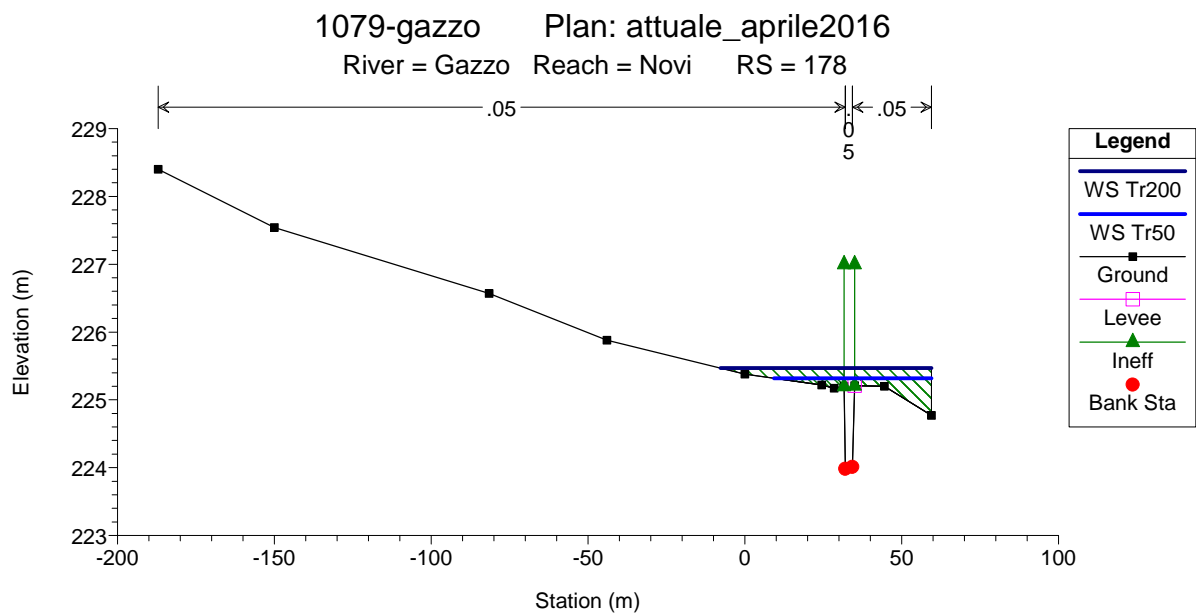
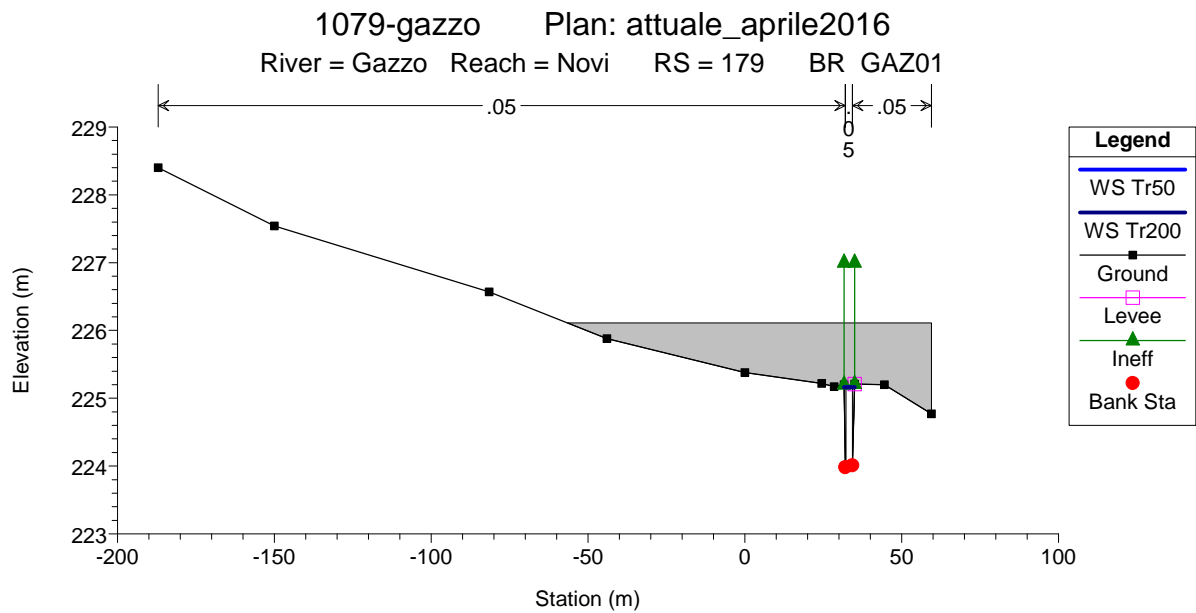
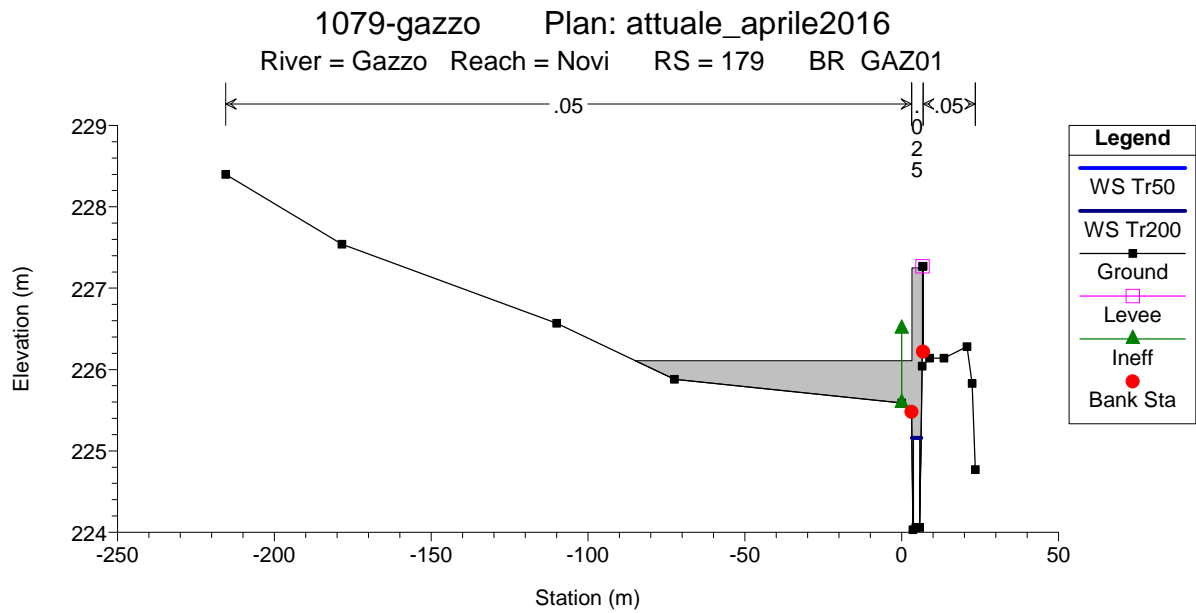
I grafici seguenti mostrano le sezioni trasversali del modello idraulico.

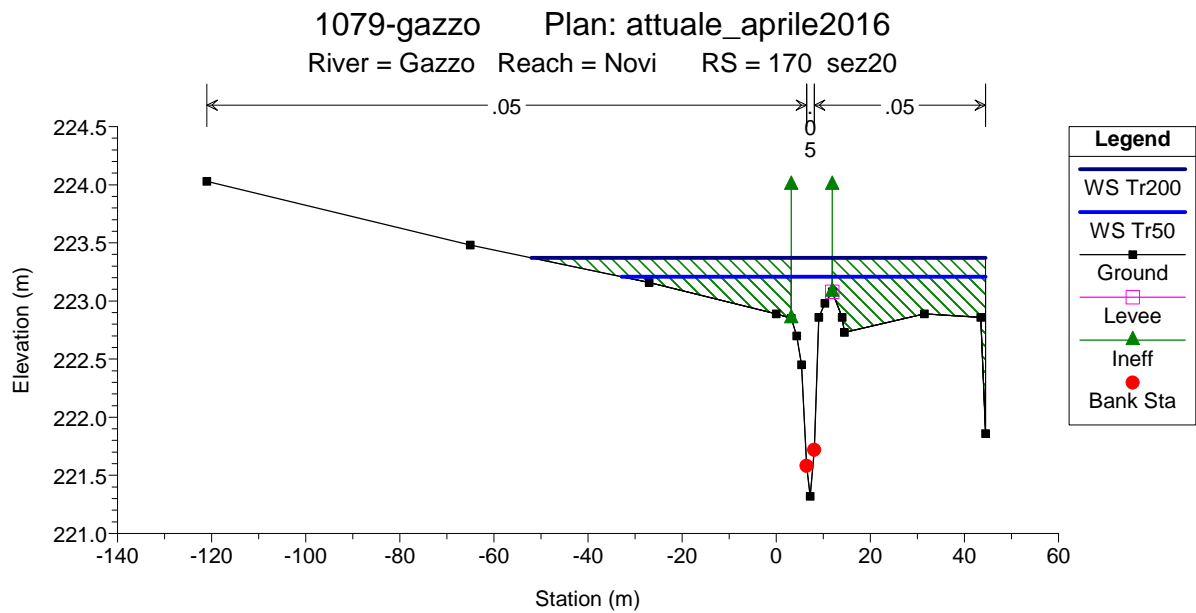
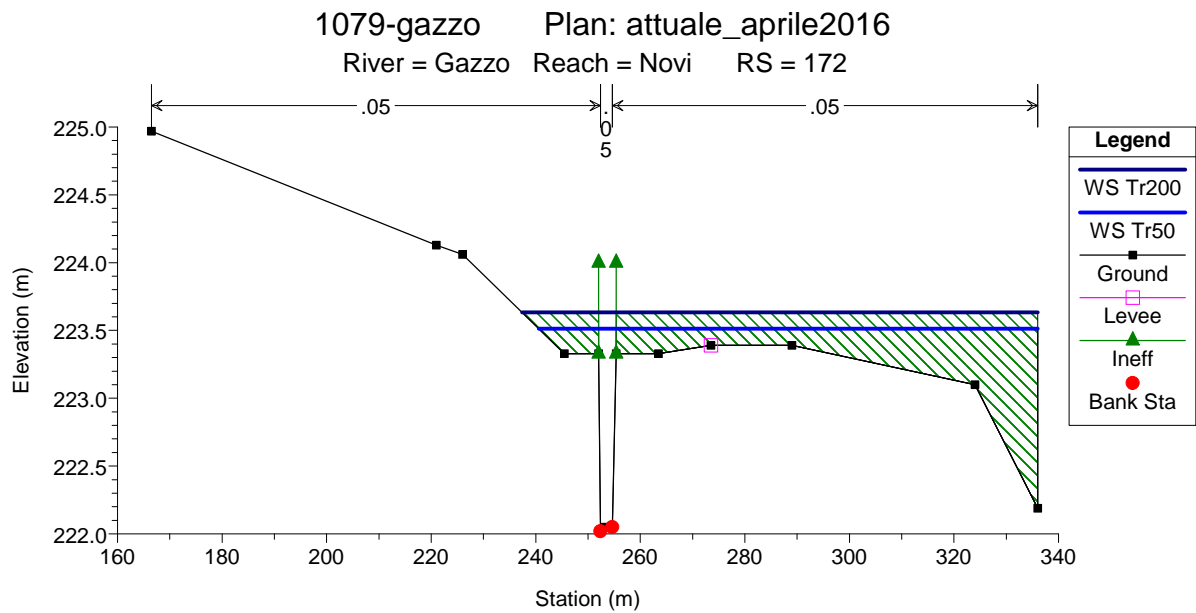
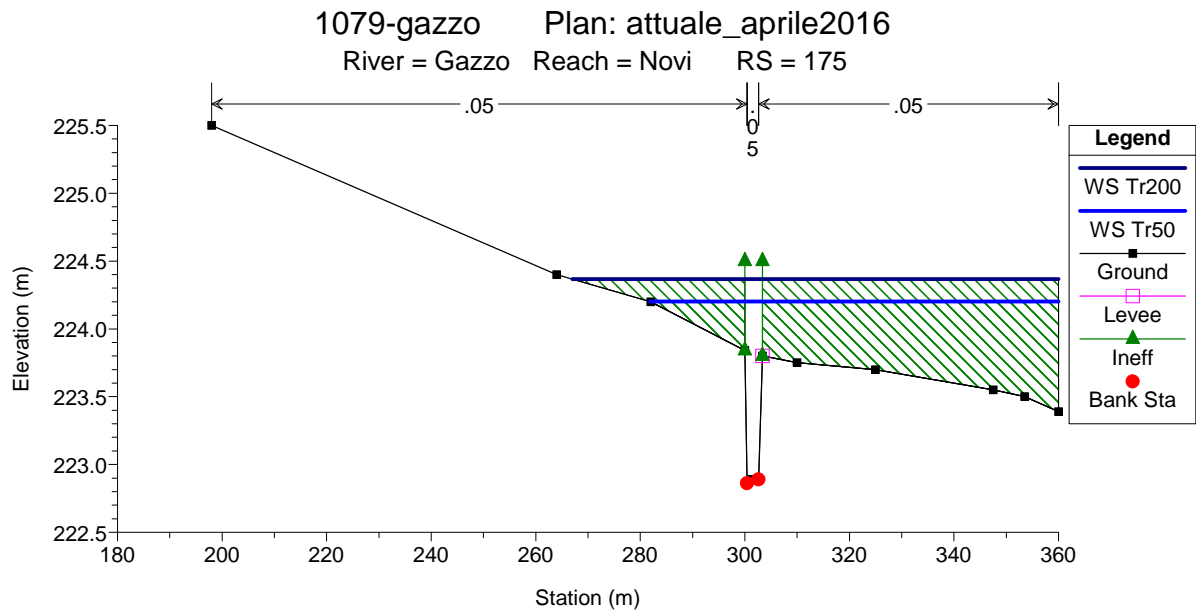
La linea blu scura rappresenta il pelo libero della piena duecentennale, mentre la linea blu quello della piena cinquantennale.

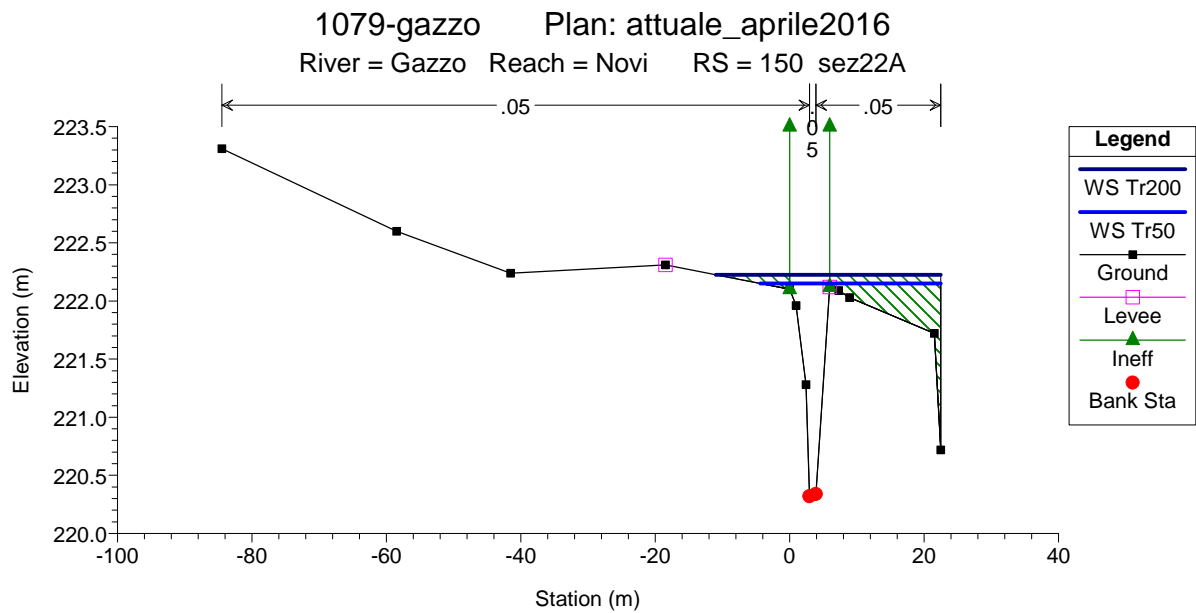
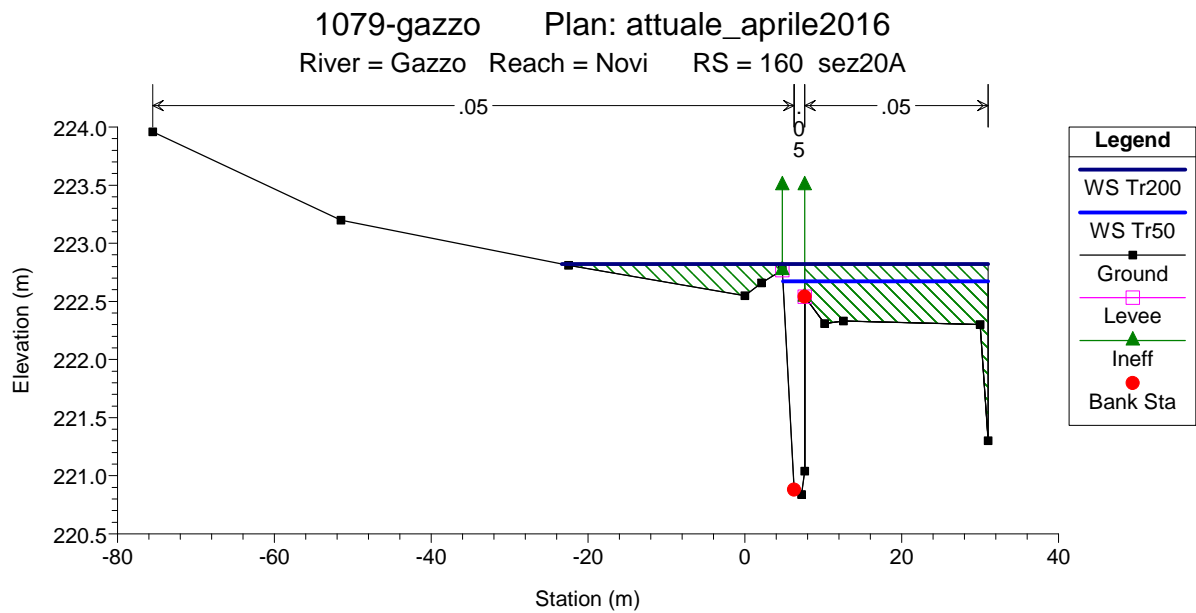
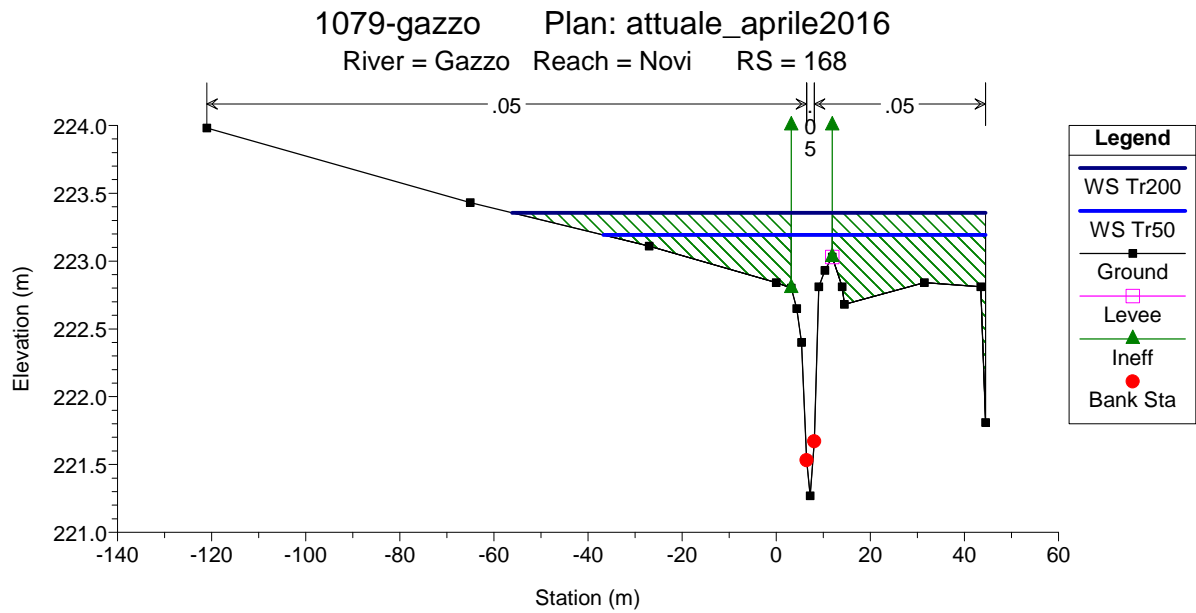


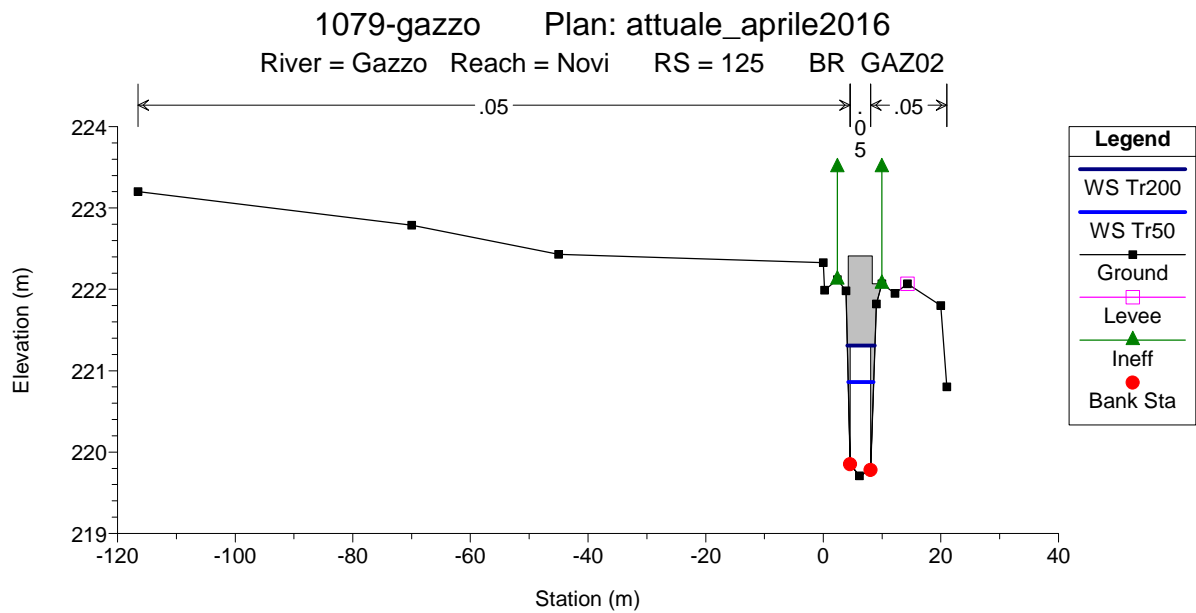
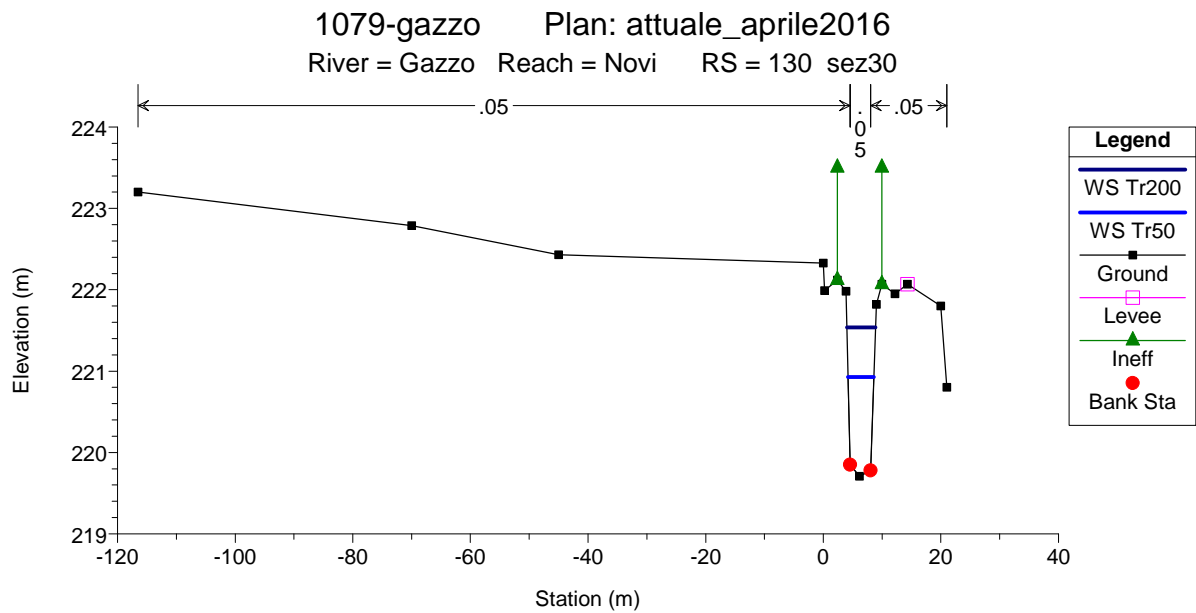
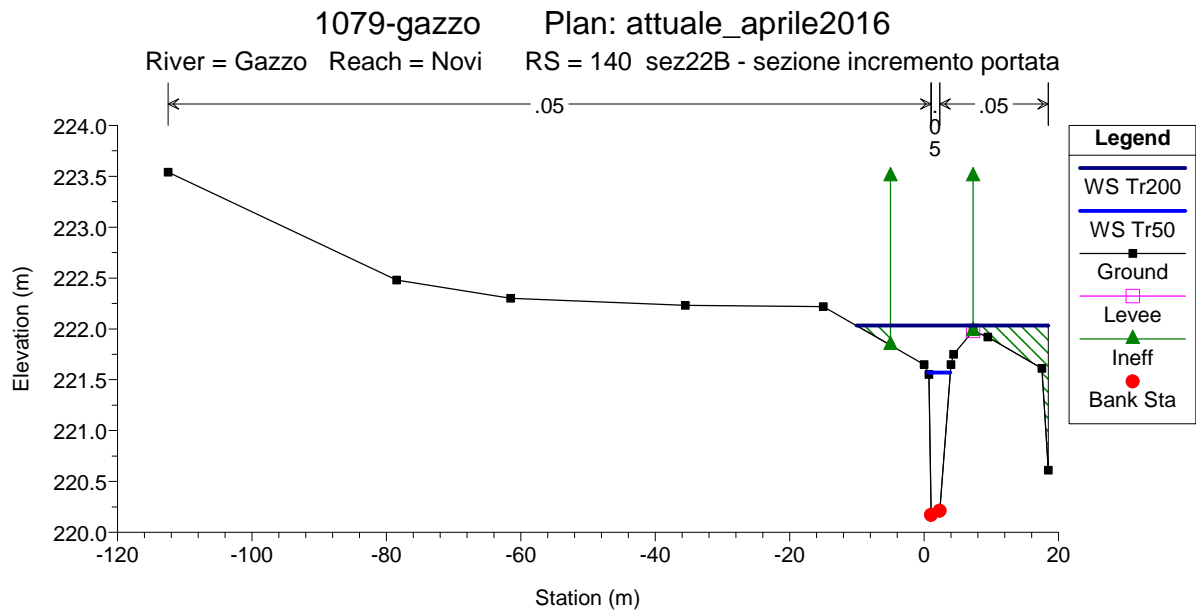




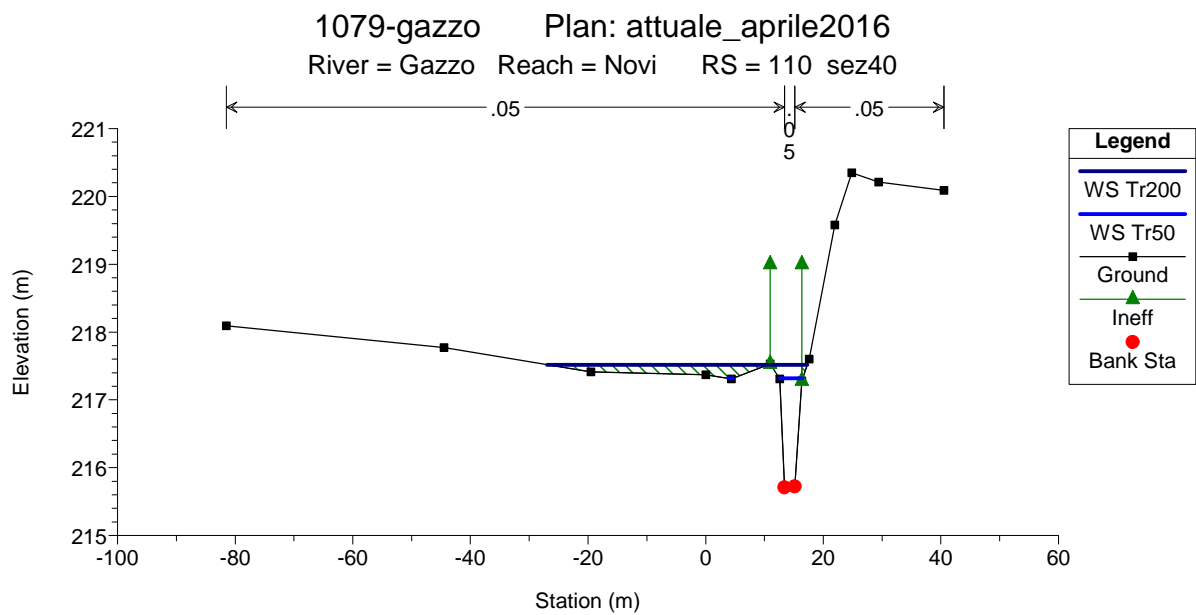
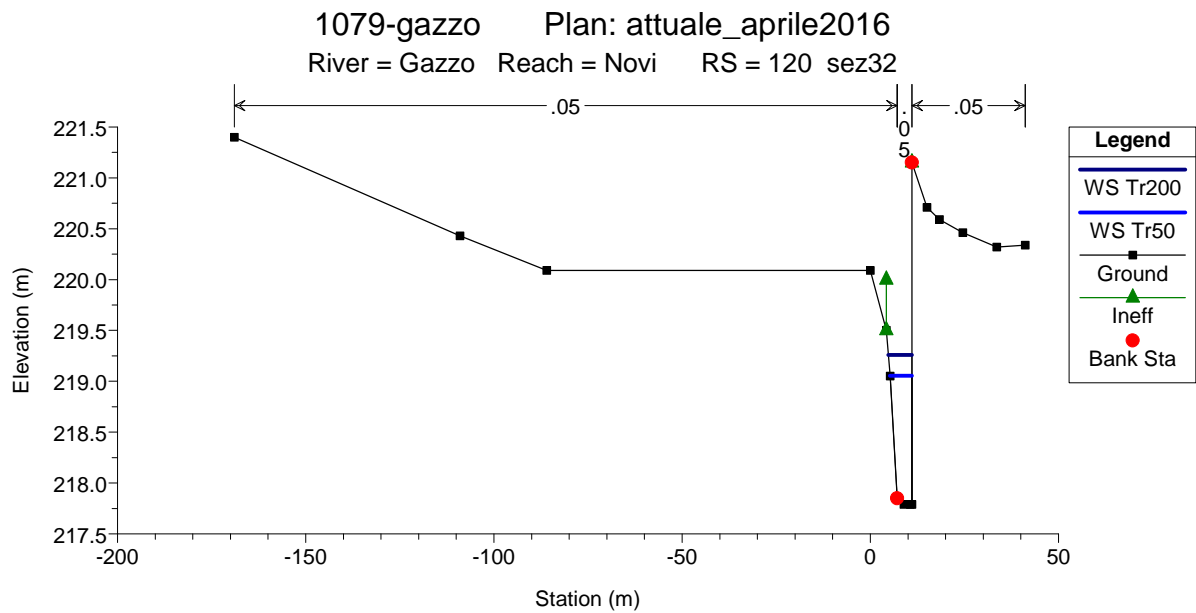
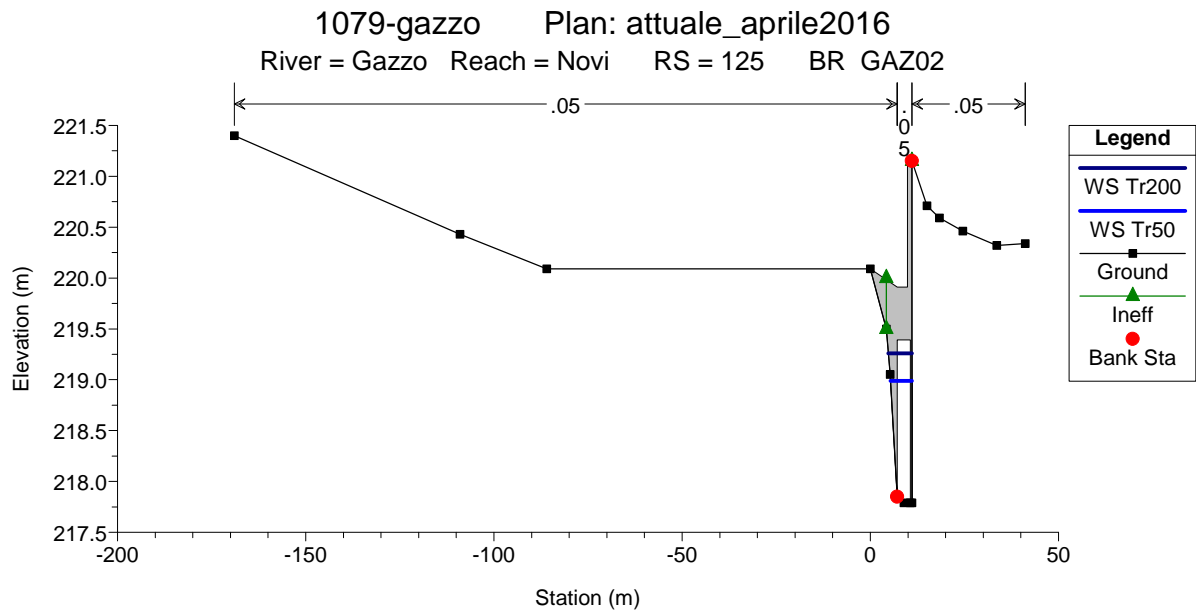


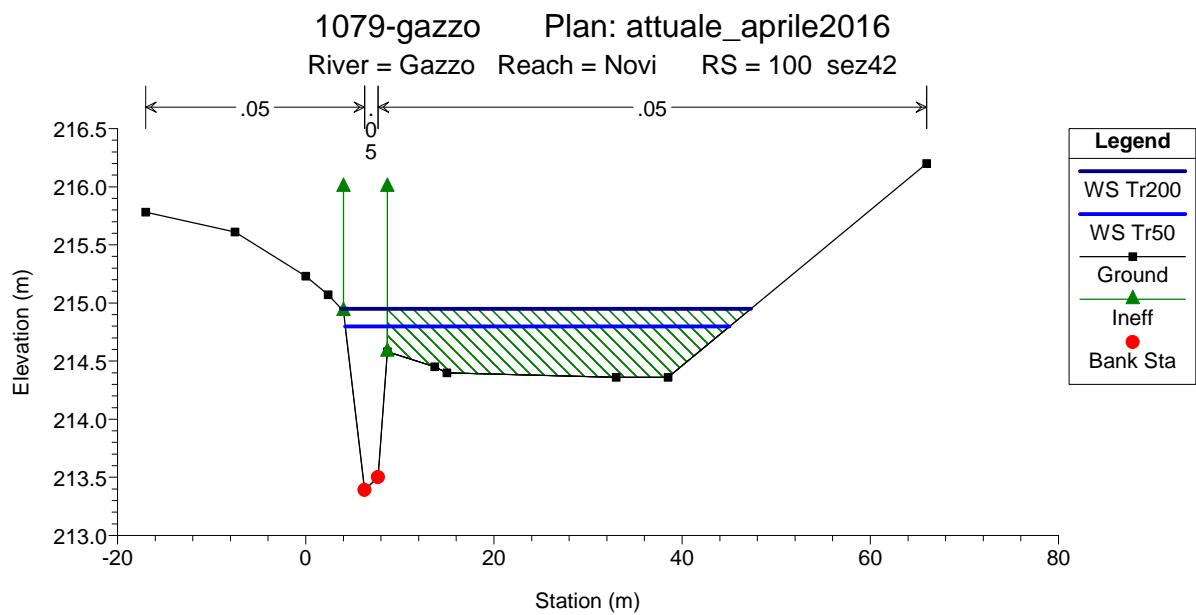
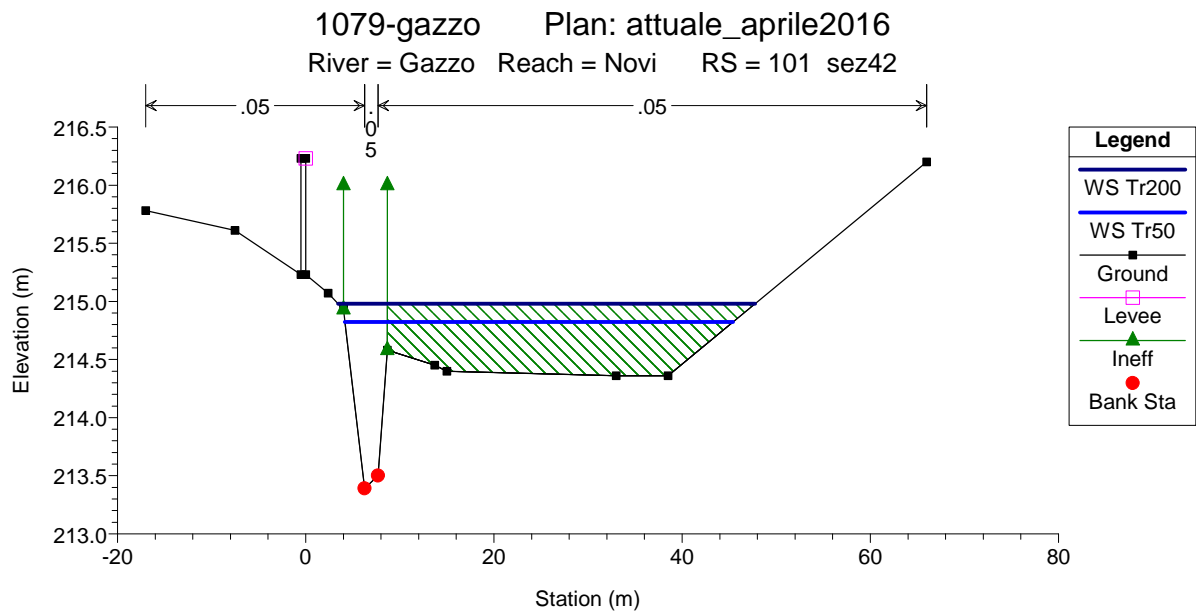
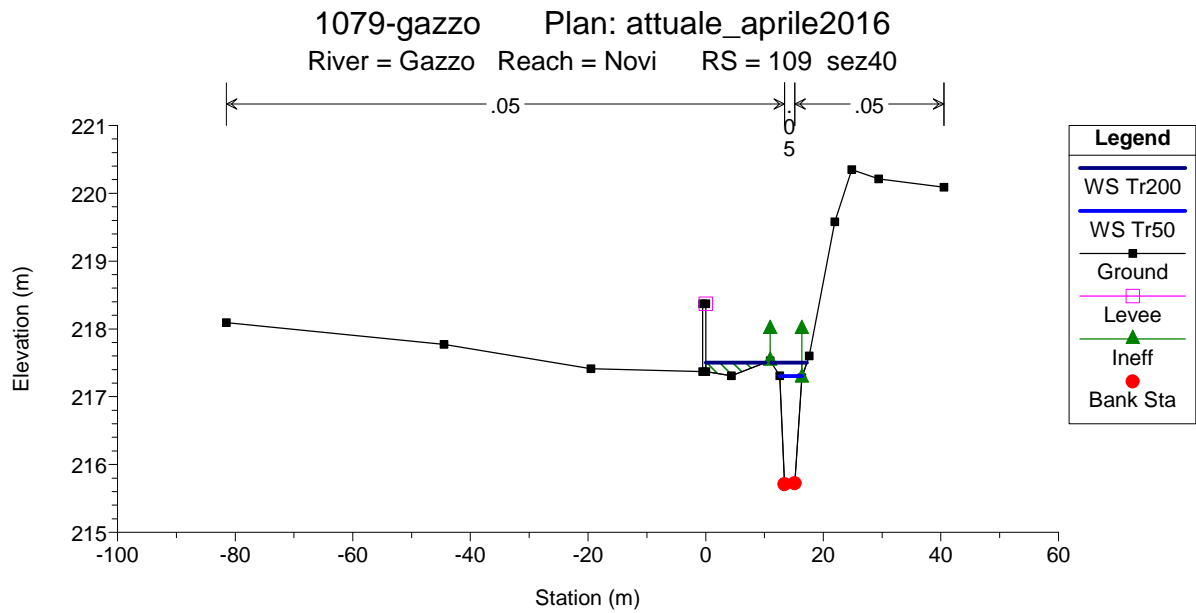


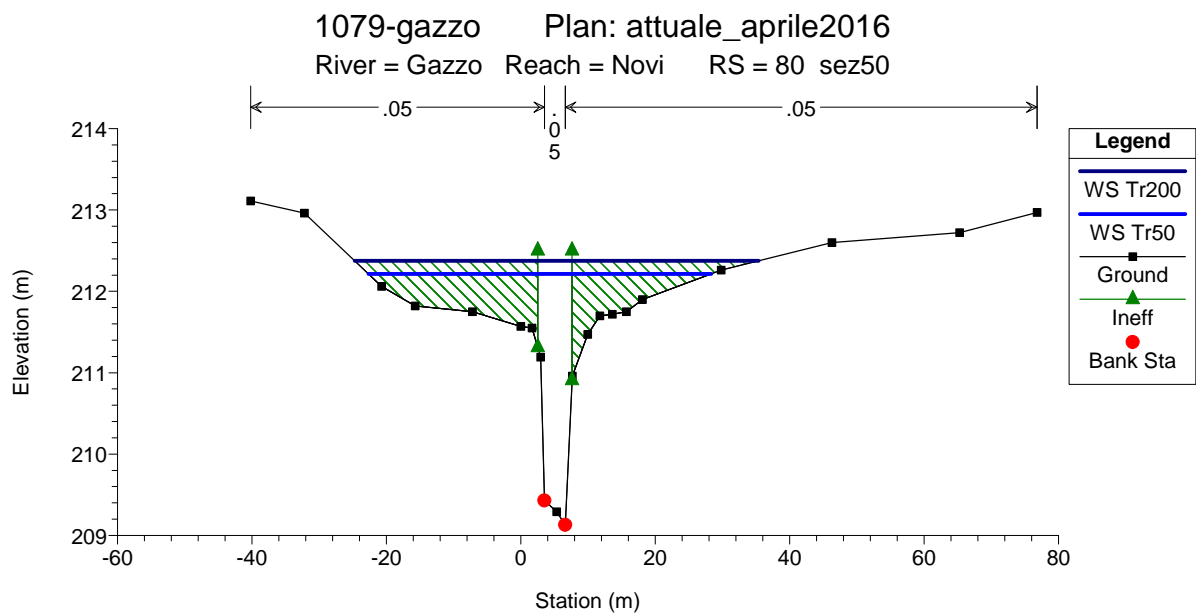
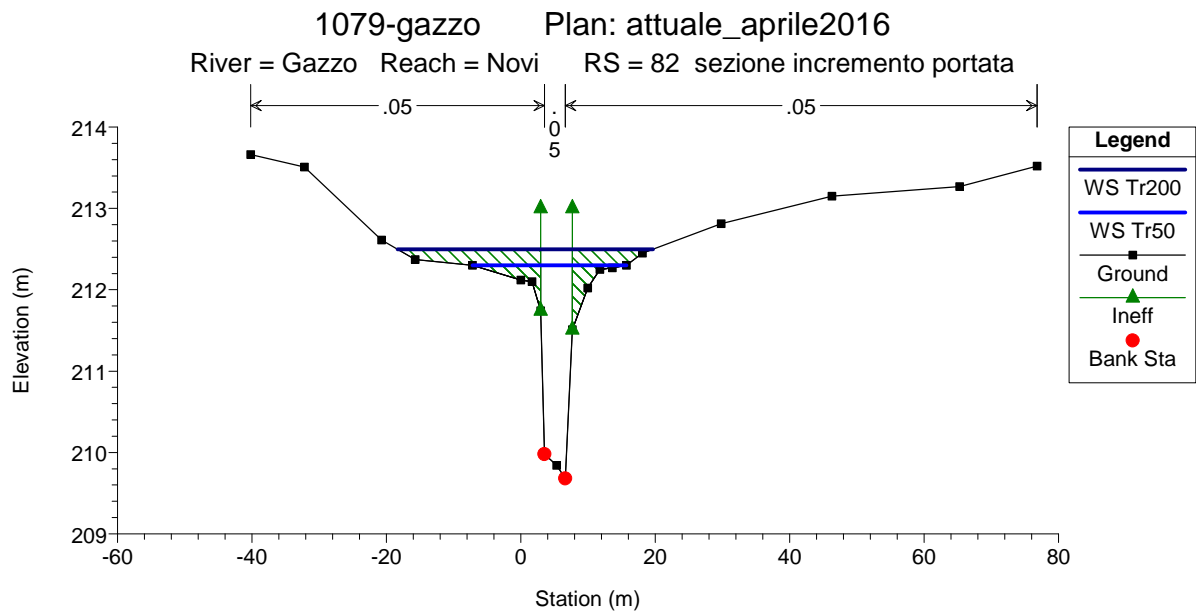
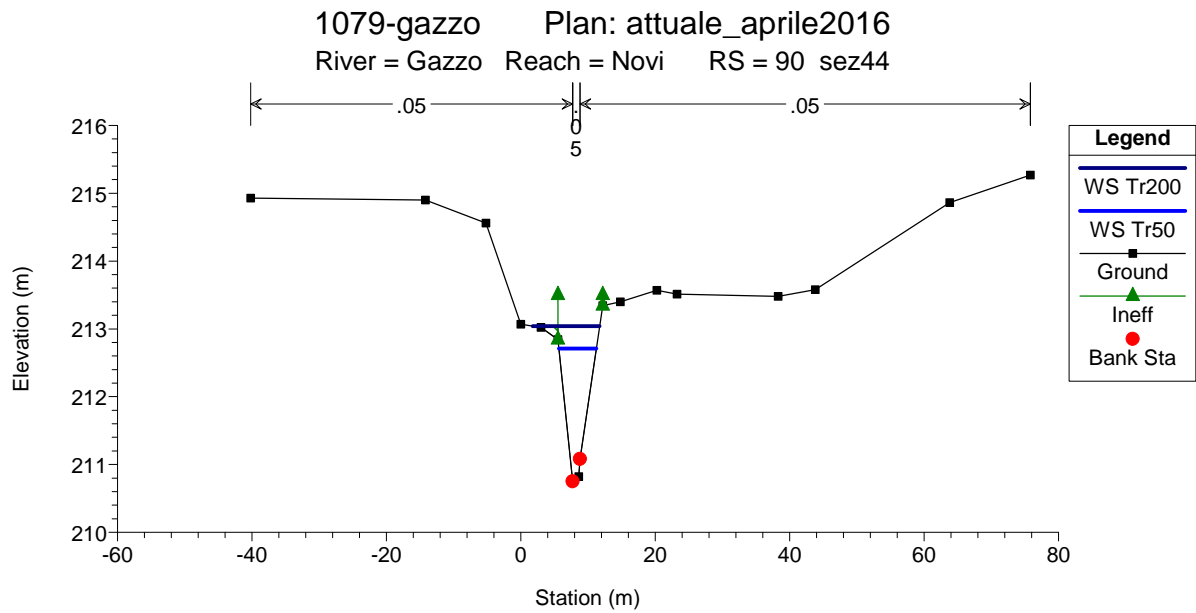


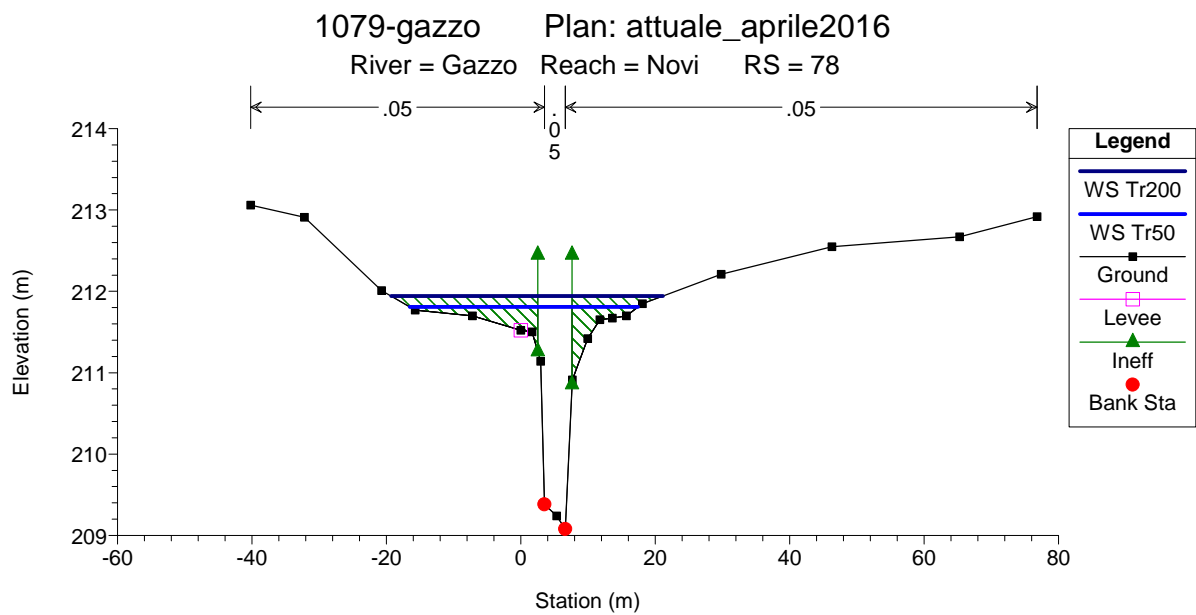
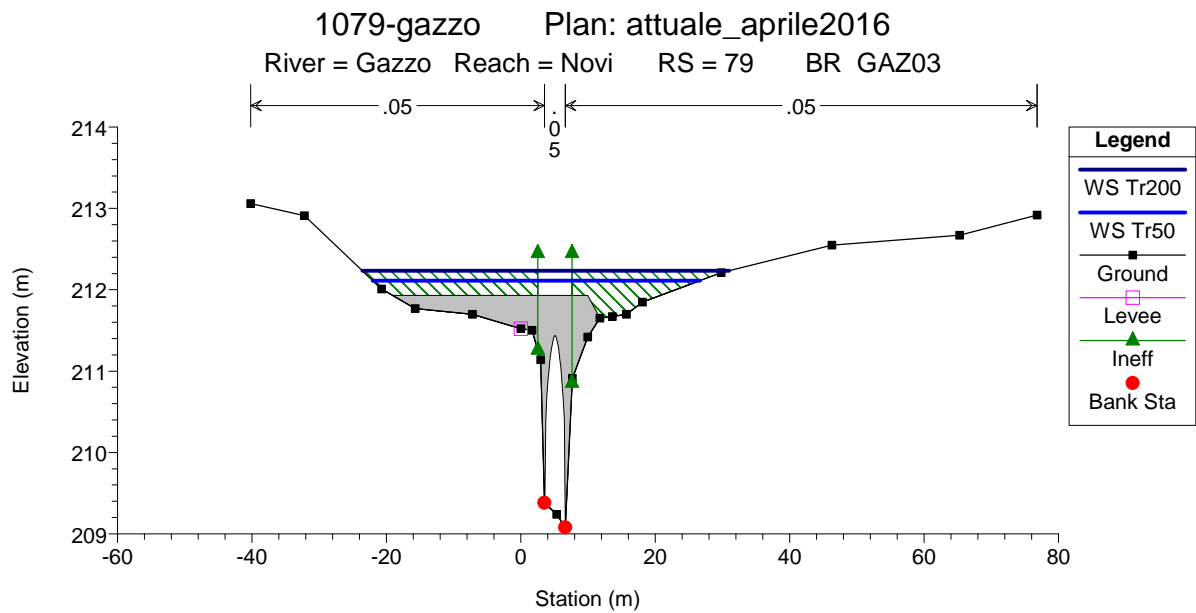
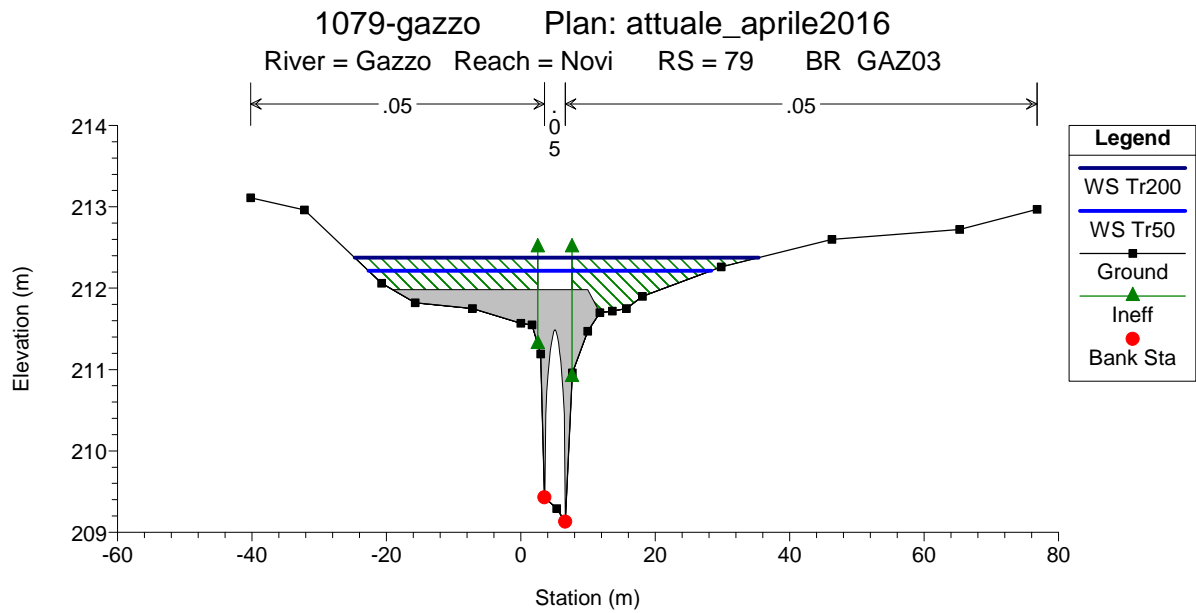


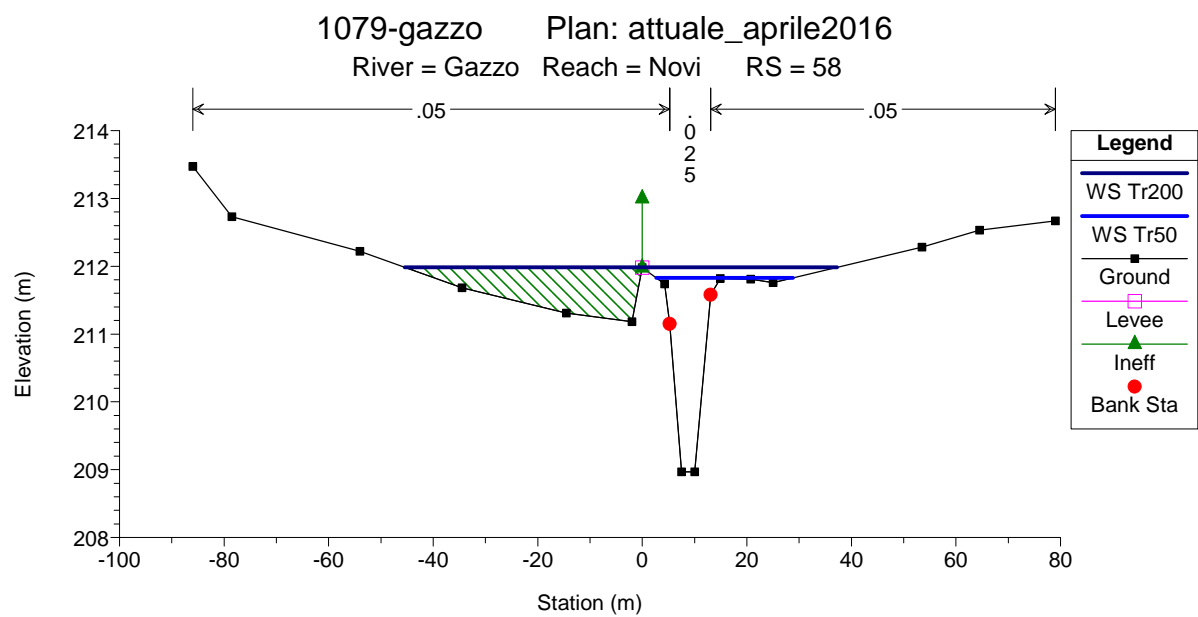
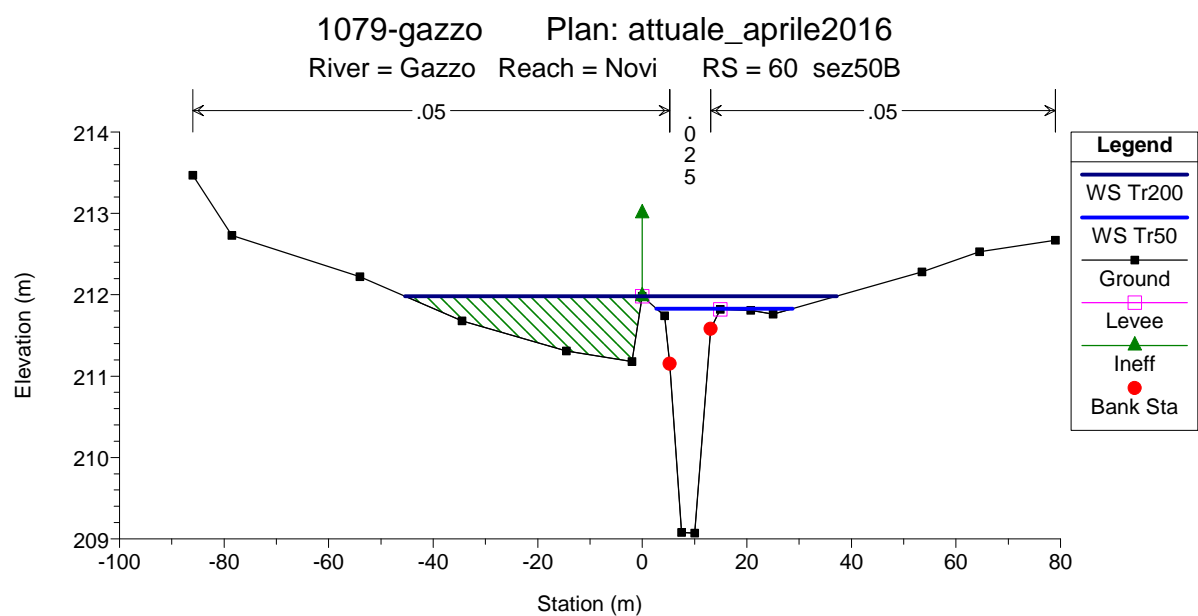
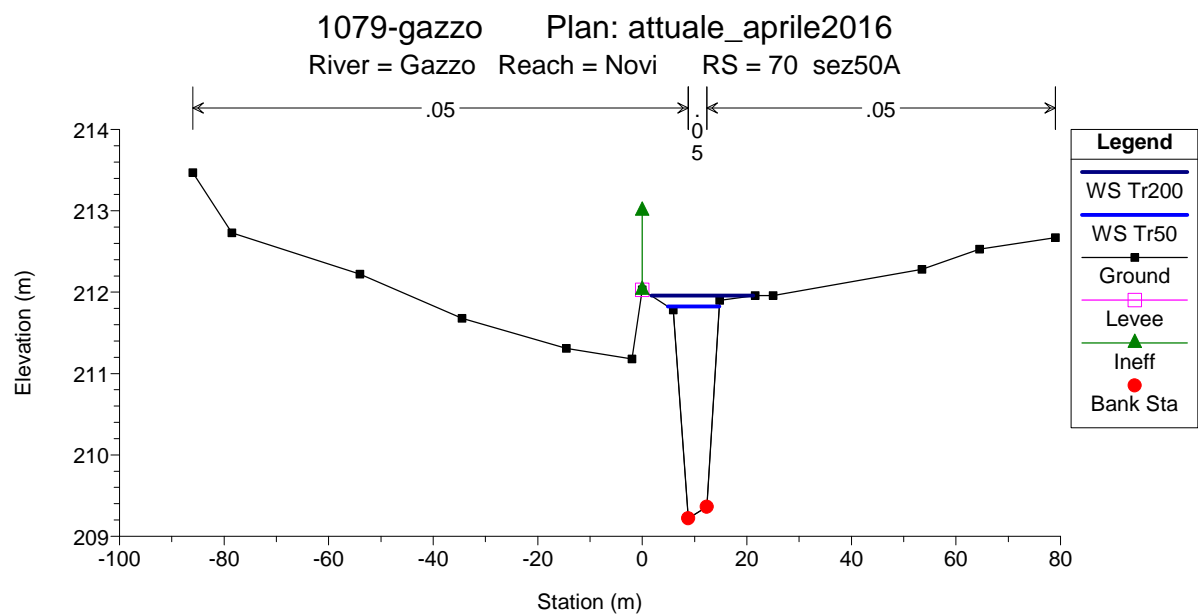


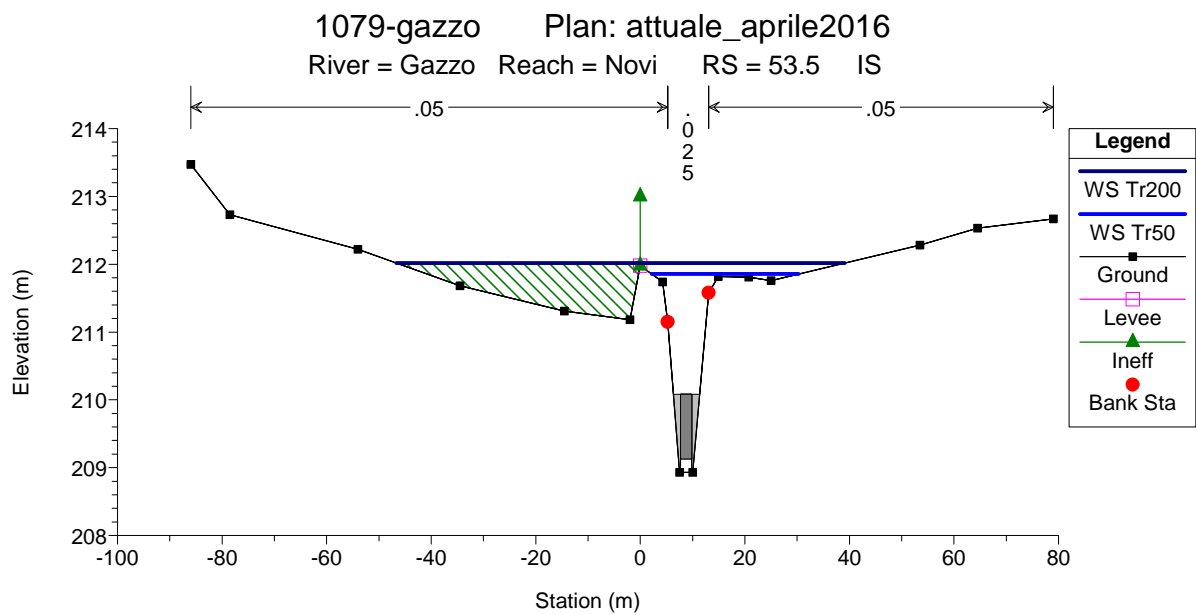
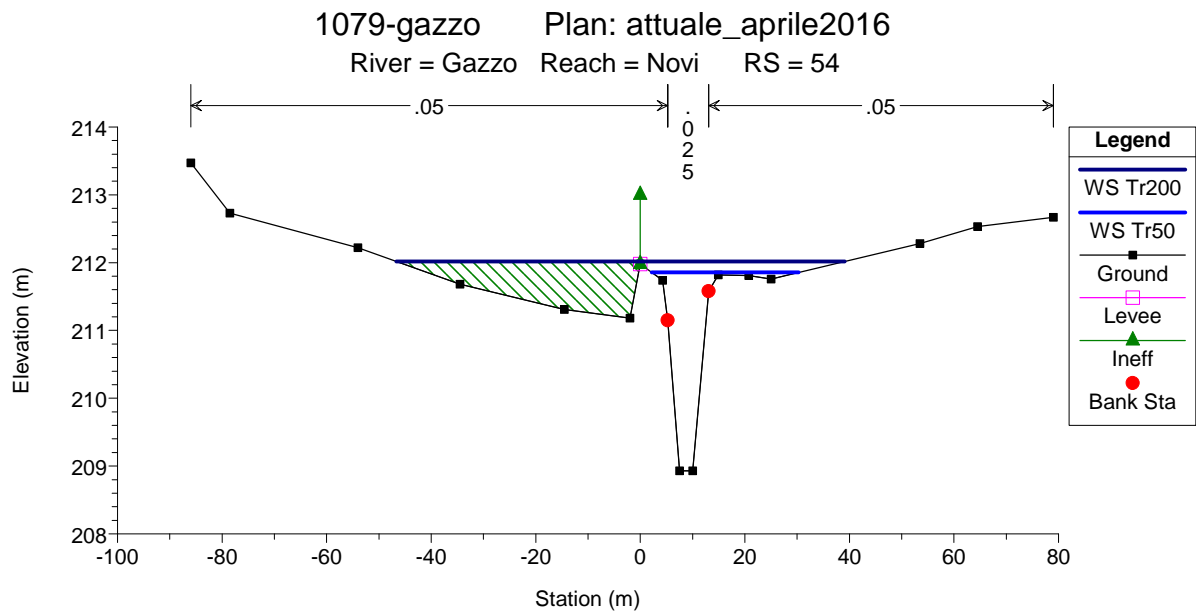
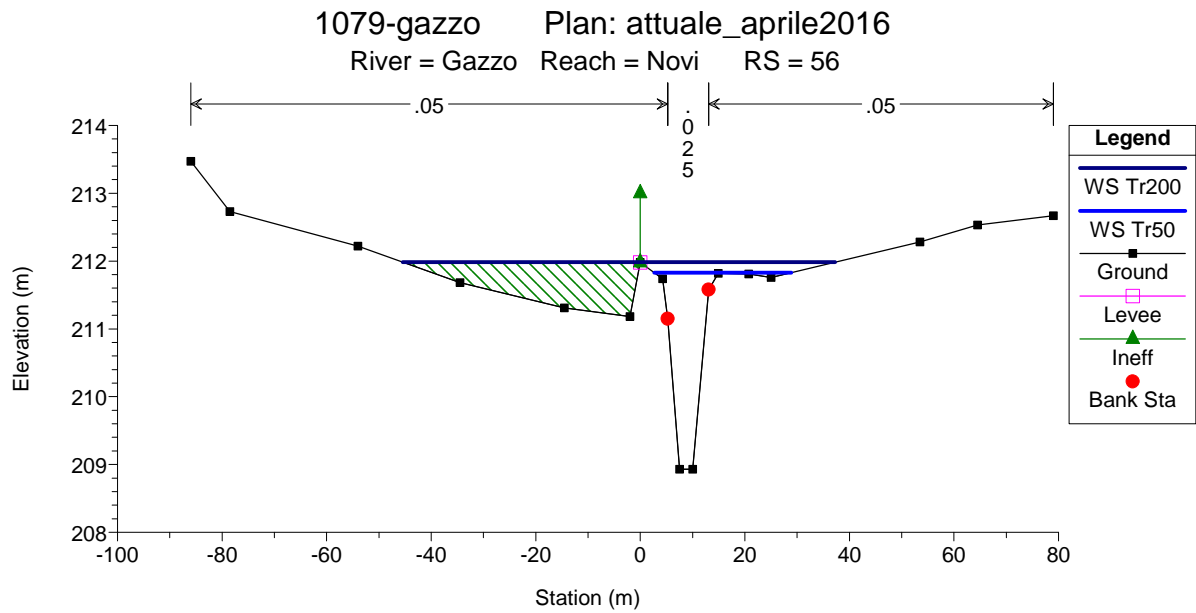


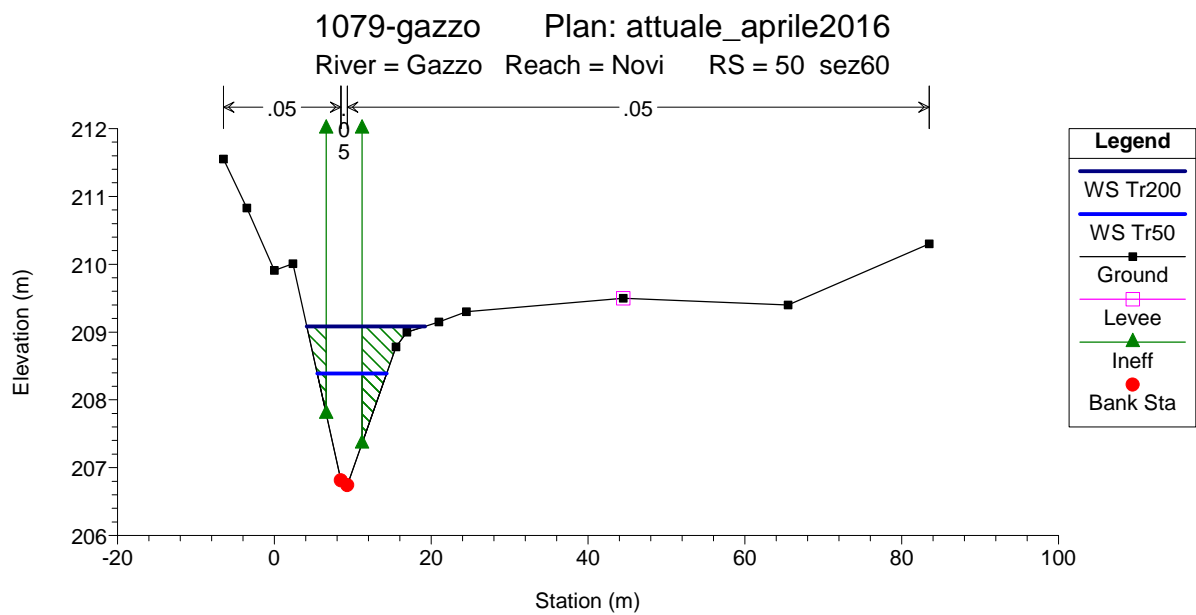
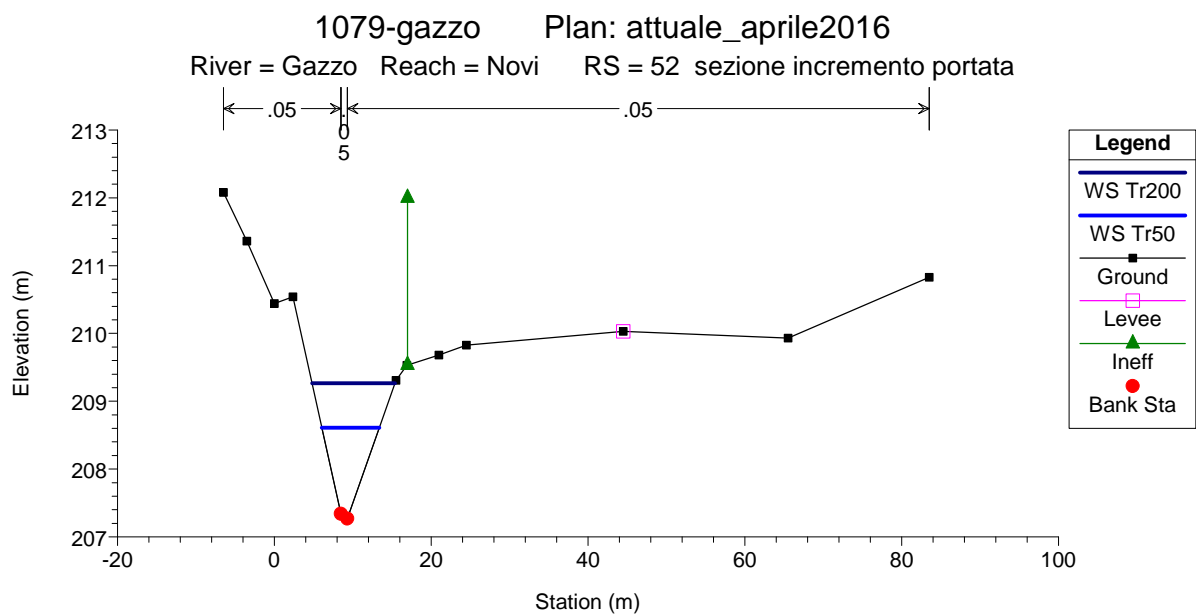
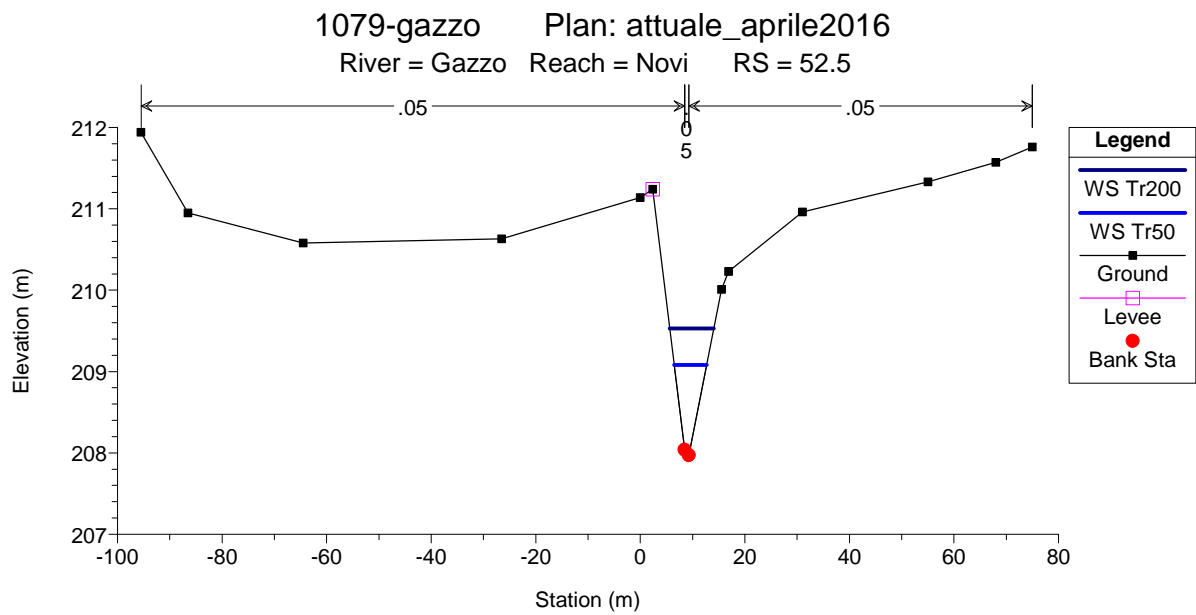


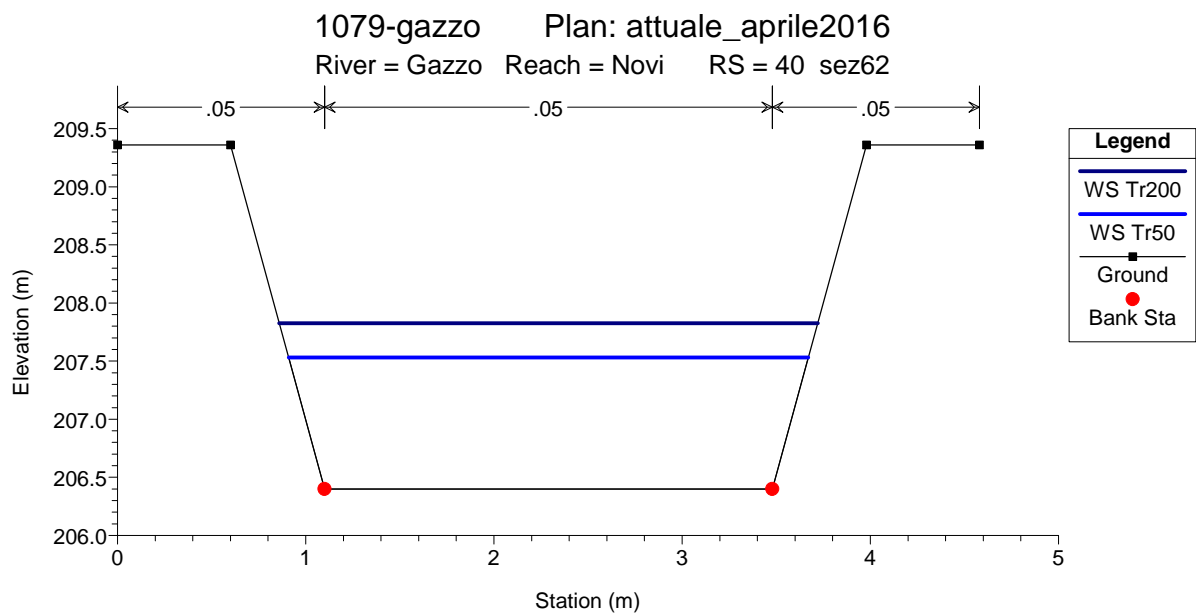
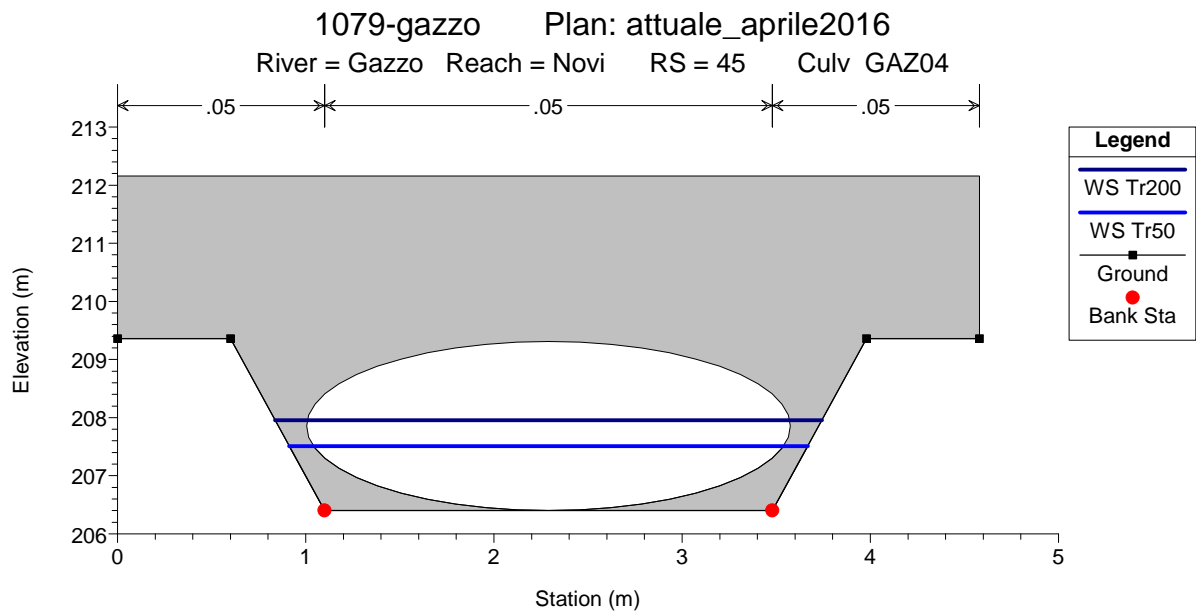
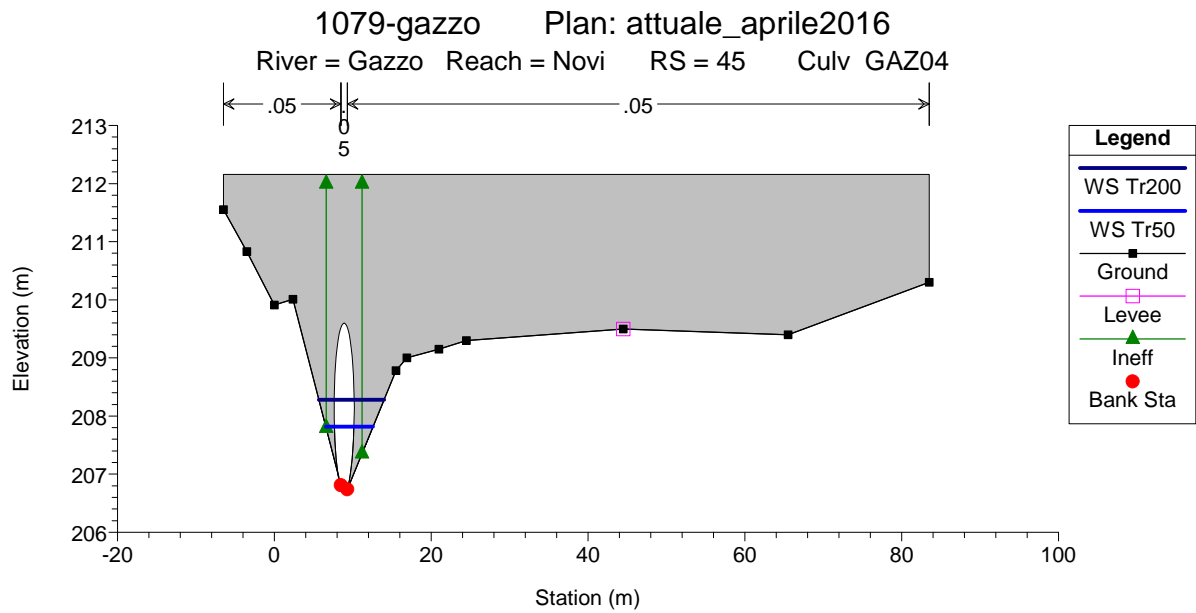




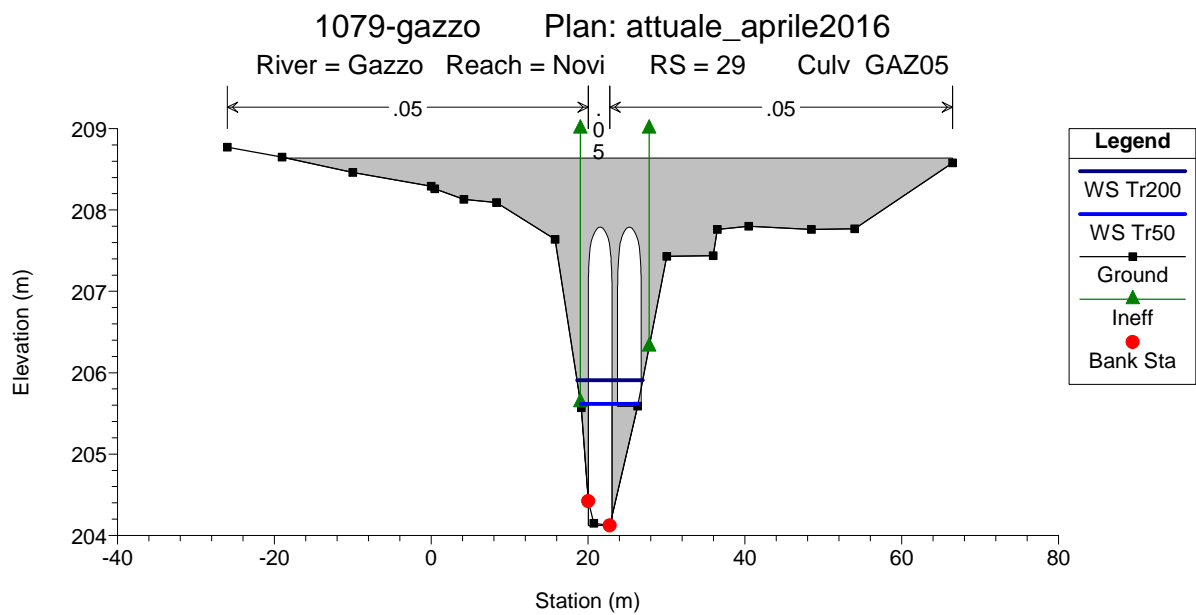
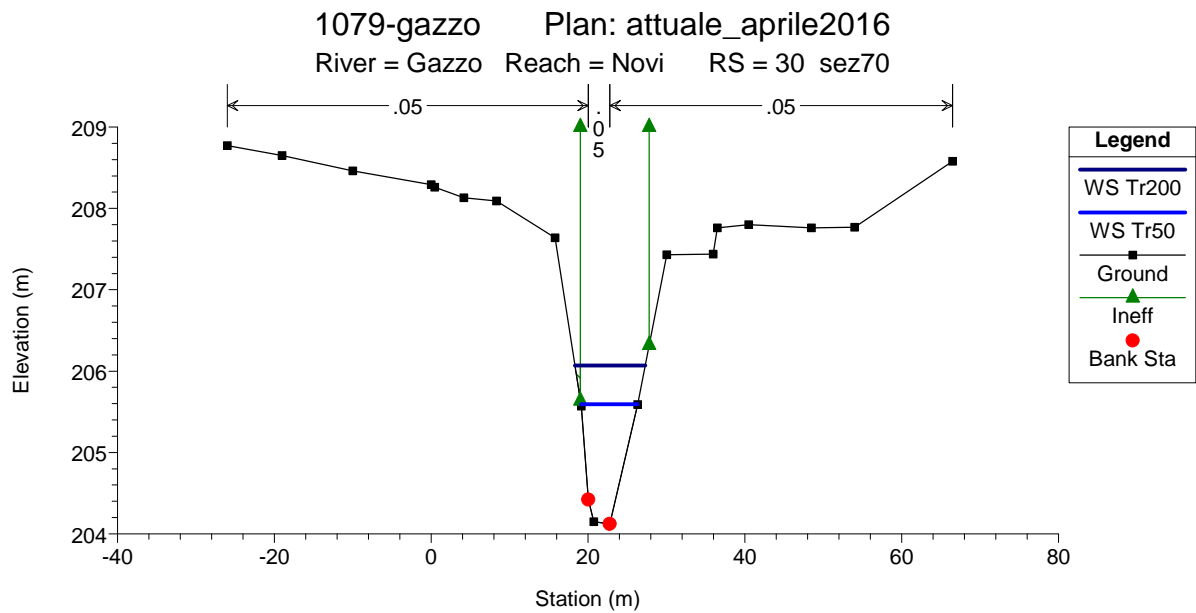
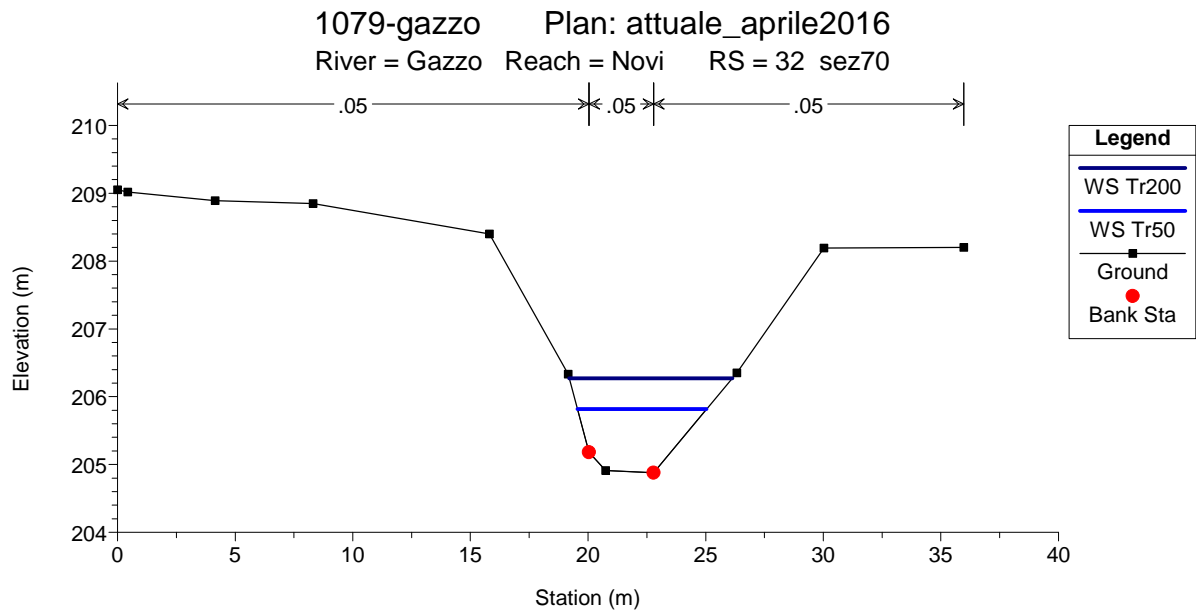


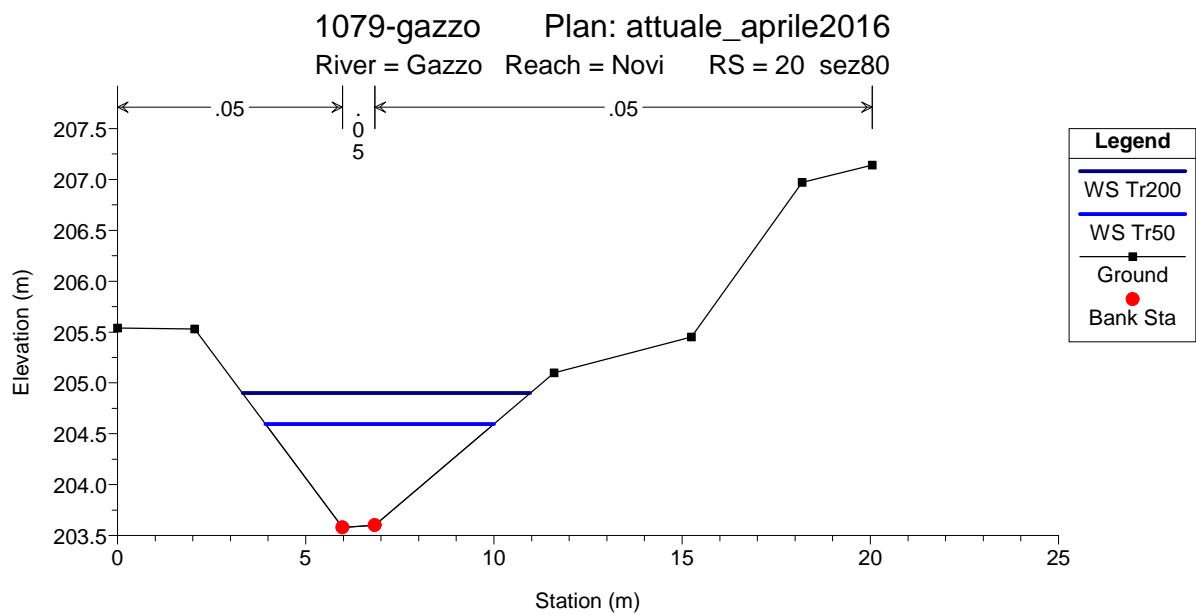
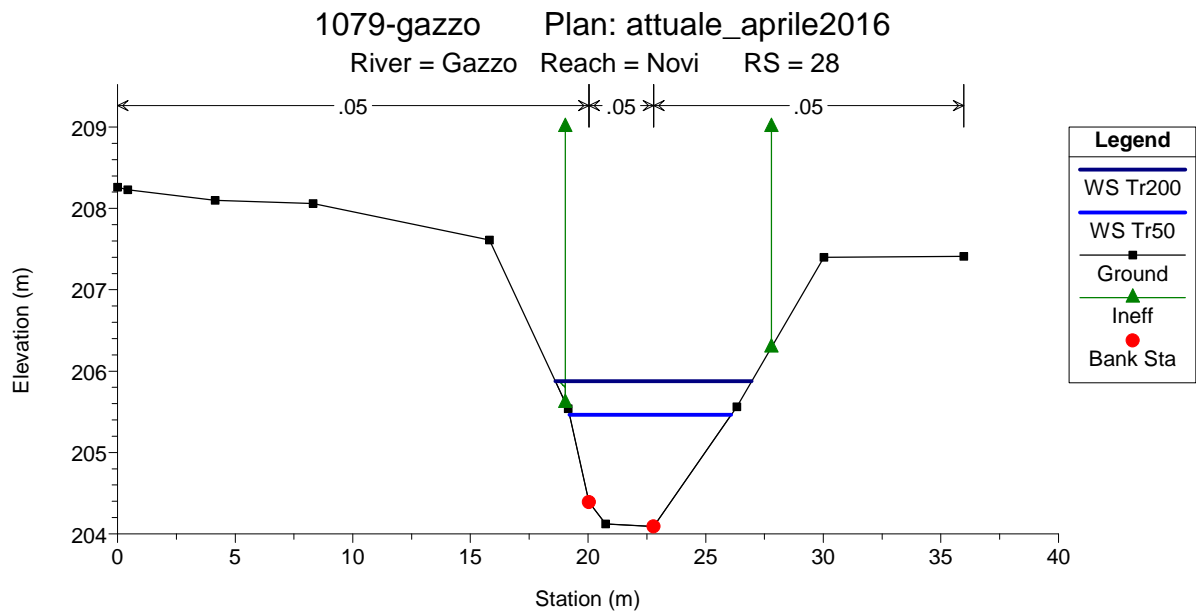
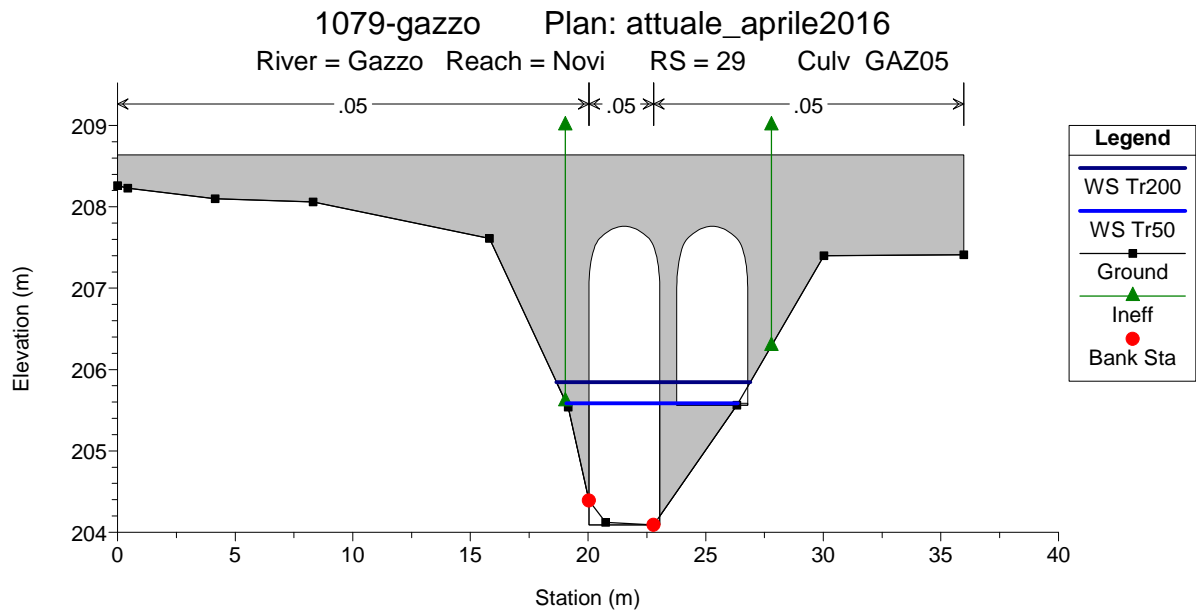




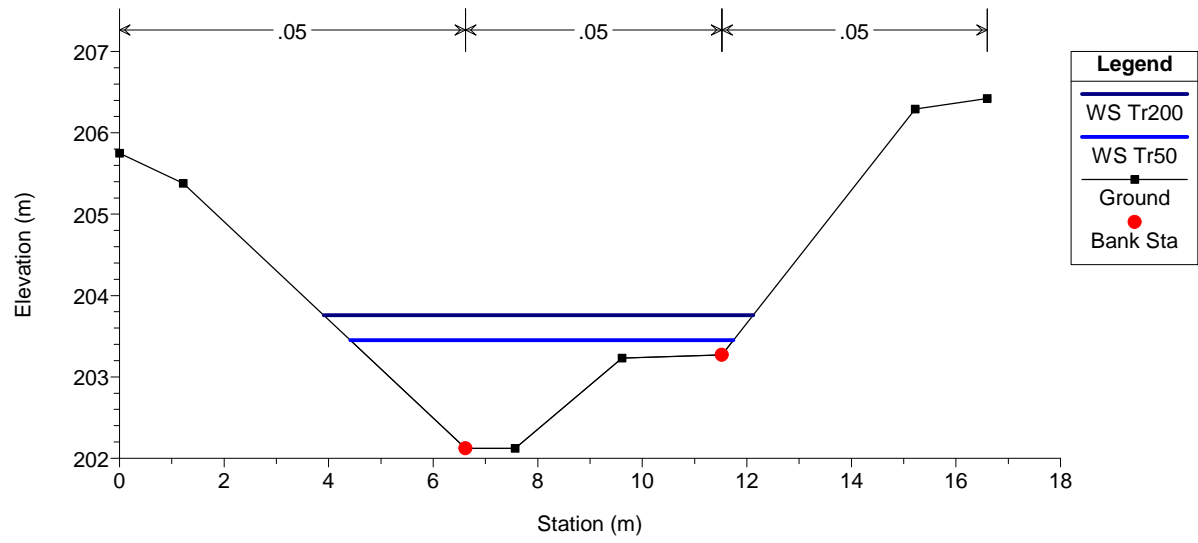








1079-gazzo      Plan: attuale\_aprile2016  
River = Gazzo    Reach = Novi    RS = 10   sez90





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

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

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

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

### D.1 Informazioni generali

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

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

dove:

- y profondità della corrente nella sezione (m);
- z quota del fondo (m);
- V velocità media della corrente nella sezione (portata totale/area totale);
- $\alpha$  coefficiente di Coriolis che tiene conto della forma della sezione;
- g accelerazione di gravità (9.81 m/s<sup>2</sup>);
- $h_e$  perdita di energia (m).

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

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



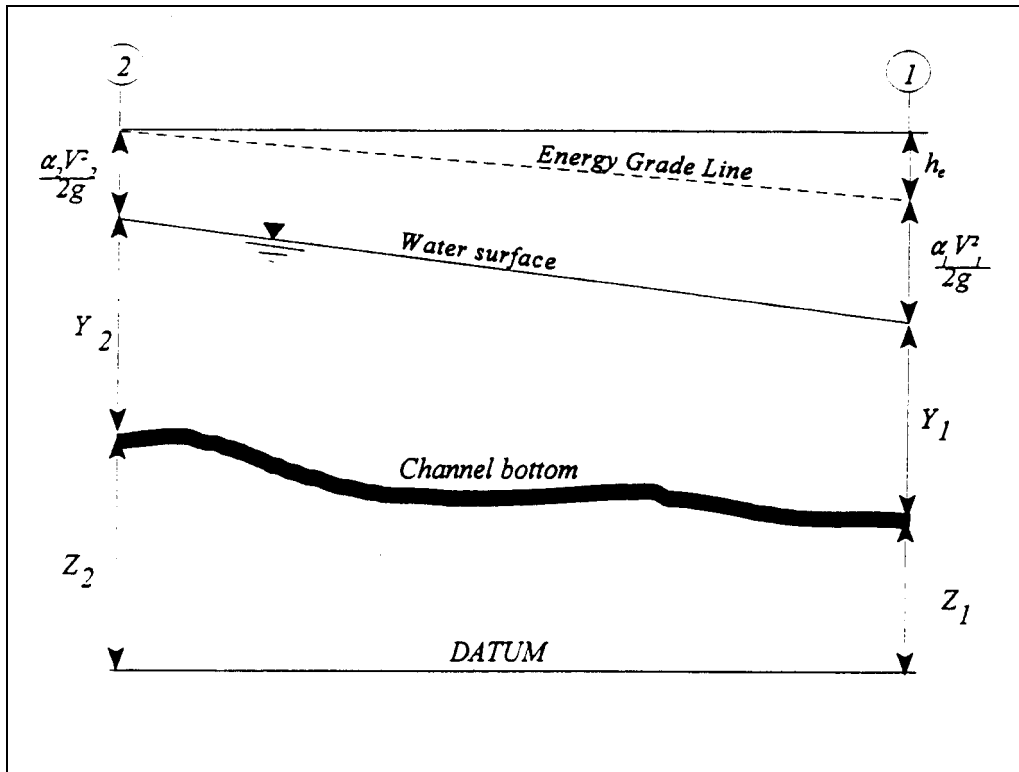


Figura E 1. Rappresentazione dei termini dell'equazione dell'energia (da HEC, 1997)

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

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

essendo:

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

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

dove i simboli  $L$ , con il proprio pedice, indicano le distanze dei rispettivi settori in cui è stata divisa ciascuna sezione e i simboli  $Q$  le portate defluenti in ciascuna porzione delle due sezioni (in  $m^3/s$ );

$S_f$  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 Tabella 10-1 (i valori standard sono evidenziati in corsivo).

## D.2 Parzializzazione delle sezioni

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

Tabella 10-1. Coefficienti di contrazione ed espansione tra sezioni.

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

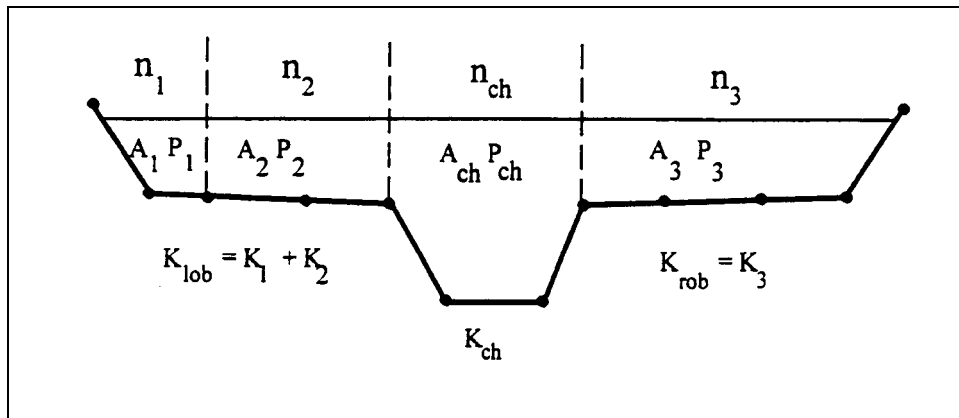


Figura E 2. Suddivisione di una sezione trasversale in settori con scabrezza uniforme (da HEC, 1997).

## D.3 Determinazione della portata

La portata in ciascun settore è calcolata dalla formula:

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

secondo la scrittura tradizionale nella letteratura idraulica anglosassone per cui:

K capacità di convogliamento di ciascun settore ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

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

A area bagnata del settore di area ( $\text{m}^2$ );

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.

#### D.4 Manufatti di attraversamento

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

- $b$  luce totale delle aperture del ponte;
- $B$  larghezza totale dell'alveo.

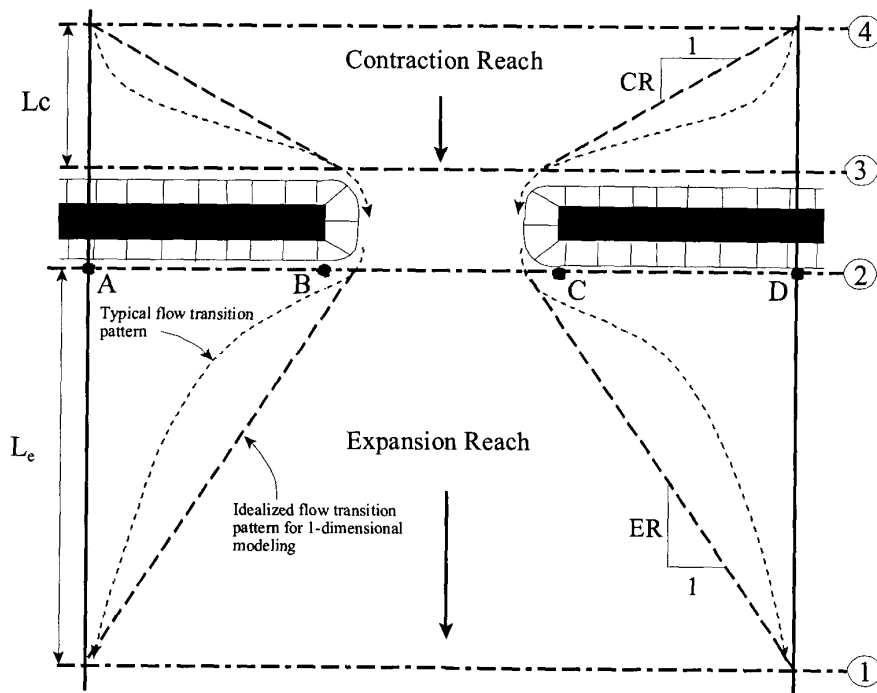


Figura E 3. Schema per l'assegnazione delle sezioni trasversali descrittive di un'opera di attraversamento (da HEC, 1995).

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

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

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

In codice Hec-Ras distingue due situazioni:

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

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

#### D.4.1 Condizioni di convogliamento identificate come *low flow*

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

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

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

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

#### D.4.2 Condizioni di convogliamento identificate come *high flow*

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

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



## APPENDICE - E – STUDIO IDRAULICO CON TEMPO DI RITORNO DI 500 ANNI

Si procede con la verifica del convogliamento dell'evento di piena del Rio Gazzo corrispondente al tempo di ritorno medio pari a 500 anni e della relativa area inondabile.

### E.1 Determinazione delle portate di riferimento

Nel Capitolo 3 è descritto il procedimento con il quale sono state determinate le portate di piena di progetto relative al tempo di ritorno di 50 e 200 anni. In Tabella 10-2 si estraggono tali valori di portata già citati in Tabella 3-1. La tabella indica anche il manufatto SICOD di riferimento, l'area sottesa del bacino e la sezione del modello idraulico dove sono state calcolate le portate.

Tabella 10-2 – Portate di piena di progetto con tempo di ritorno medio pari a 50 e 200 anni. Si riportano, inoltre, le portate con Tr500 calcolate.

Manufatto SICOD	Area sottesa [km <sup>2</sup> ]	Sezione modello	Portata [m <sup>3</sup> /s]		
			Tr50	Tr200	Tr500
		230	2.4	2.9	3.2
		190	3.8	4.6	5.1
	0.47	178	7.1	8.6	9.6
GAZ02	0.72	140	8.4	10.5	11.9
GAZ03	1.71	82	14.3	19.1	22.3
GAZ04	2.15	52	16.5	22.1	25.8
GAZ05	2.20	32	16.7	22.5	26.3

In questa sede si intende determinare la portata relativa ad un tempo di ritorno di 500 anni. Si applica la distribuzione doppio-esponenziale a 2 parametri nota come distribuzione di Gumbel, essendo note le portate relative al Tr50 e Tr200 anni. Nell'ultima colonna di Tabella 10-2 si riportano i valori di portata con Tr500 anni individuati.

### E.2 Modellazione idraulica

La modellazione idraulica viene condotta sempre con il codice di calcolo Hec-Ras<sup>®</sup> e con la stessa geometria, condizioni al contorno e scabrezza della modellazione precedente relativa al Tr50 e Tr200.

### *E.3 Risultati*

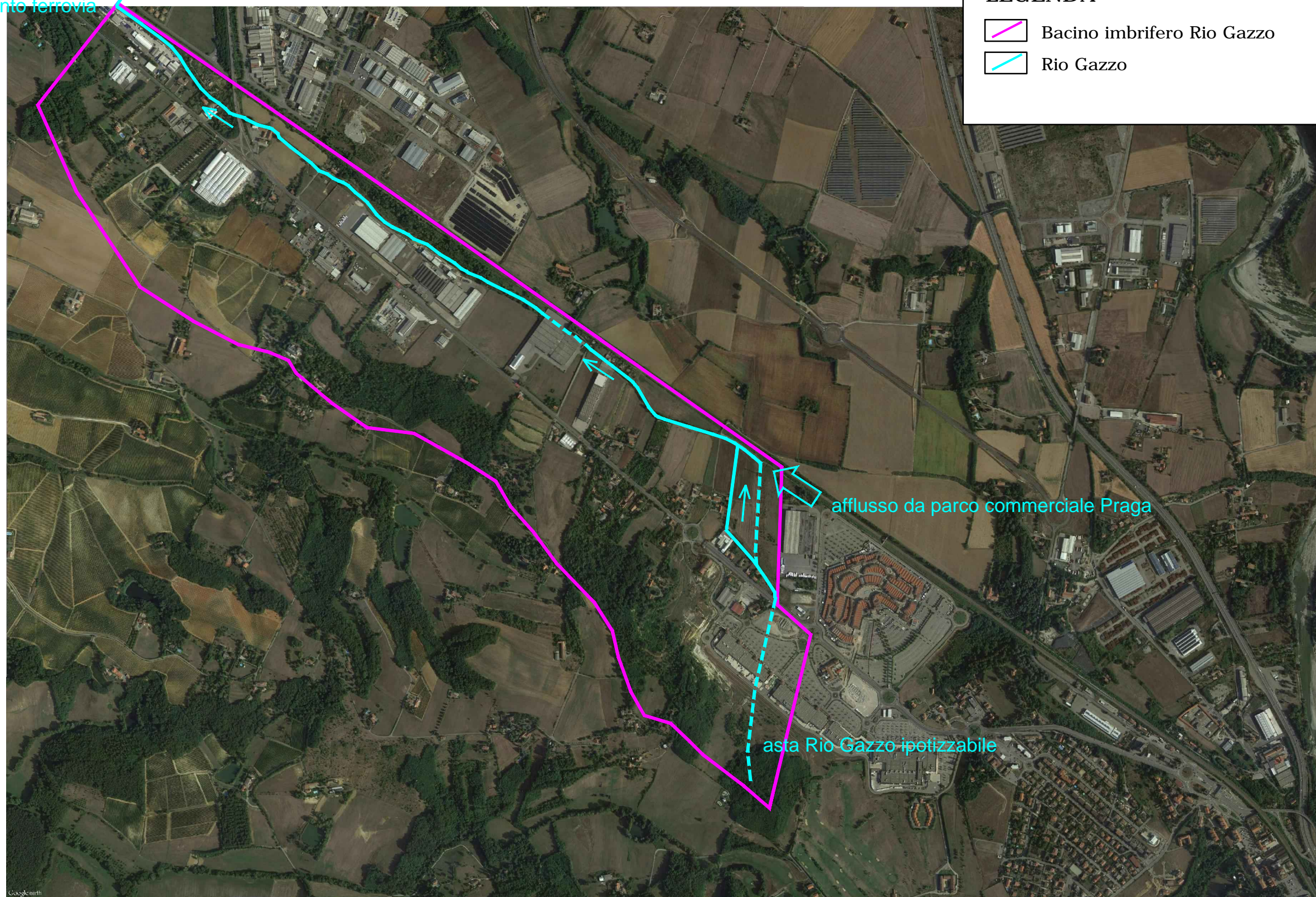
I risultati del Tr500 anni mostrano, ovviamente, un incremento dei livelli di piena rispetto al Tr200 anni, senza aggravare in maniera considerevole le criticità idrauliche già evidenziate in precedenza.

La rappresentazione delle aree inondabili Em è riportata nell'Allegato 5 e denota l'incremento delle superfici interessate dall'allagamento riferito al Tr500 anni rispetto a quelli con tempi di ritorno inferiori, senza tuttavia aggravare significativamente il pericolo idraulico.



Si ricorda che il processo di allagamento attivato dal Rio Gazzo comprende lo sversamento oltre il ciglio destro del terrazzo ai danni della sottostante trincea ferroviaria. Il tratto interessato dallo sversamento è segnalato nell'allegato grafico e corrisponde al tronco di alveo ristretto fra le sezioni 160 e 140.



attraversamento ferrovia



## LEGENDA

-  Bacino imbrifero Rio Gazzo
-  Rio Gazzo

afflusso da parco commerciale Praga

asta Rio Gazzo ipotizzabile













