



AGENZIA INTERREGIONALE  
PER IL FIUME PO

A.I.P.O. ALESSANDRIA

PROGETTAZIONE PRELIMINARE, DEFINITIVA  
ED ESECUTIVA DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE  
DI UN ARGINE IN SINISTRA DEL TORRENTE  
SCRIVIA IN COMUNE DI SERRAVALLE  
SCRIVIA (AL) - LOC. FABBRICONE

AL -E -1768



PROGETTO

<input type="checkbox"/>	PRELIMINARE
<input checked="" type="checkbox"/>	DEFINITIVO
<input type="checkbox"/>	ESECUTIVO



**Studio Telò**

Studio di Ingegneria  
Idraulico Ambientale

Largo 24 Agosto 1942, 33/A - 43100 Parma - Tel. 0521-292795  
studiotelo@studiotelo.it - www.studiotelo.it

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE  
IDROLOGICO-IDRAULICA

N° ELABORATO

D

IL RESPONSABILE DEL PROGETTO

Ing. Riccardo Telò

CONSULENTI

Indagini Geognostiche: Capr. Marco Vannucchi  
Rilievi Topografici: Geom. Franco Martovi  
Studi Ambientali: Ing. Angelo Zani

SCALA

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Carlo M. Condorelli

AGGIORNAMENTI:

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLL.	APPROVATO
0	Nov 2011	EMISSIONE	Ing. Vitali	Ing. Telò	Ing. Telò

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Fase 1: Definizione di un quadro conoscitivo di riferimento morfologico, idrologico ed idraulico .....</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>Fase 2: Verifica idraulica dello stato di fatto.....</b>	<b>4</b>
<b>2.3</b>	<b>Fase 3: Definizione delle soluzioni progettuali .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>INDAGINE TOPOGRAFICA.....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA .....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>DESCRIZIONE GEOMETRICA DEL TORRENTE SCRIVIA AI FINI MODELLISTICI ....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>ANALISI IDRAULICA.....</b>	<b>12</b>
<b>6.1</b>	<b>Le ipotesi del calcolo idraulico.....</b>	<b>12</b>
<b>6.2</b>	<b>Il modello matematico utilizzato.....</b>	<b>13</b>
<b>6.3</b>	<b>Analisi del grado di rischio alla sommersione sia nello stato di fatto che in quello di progetto .....</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>I RISULTATI DELLE ELABORAZIONI OTTENUTE PER IL T.SCRIVIA.....</b>	<b>18</b>
<b>7.1</b>	<b>Simulazioni nello stato di fatto.....</b>	<b>18</b>
<b>7.2</b>	<b>Simulazioni nello stato di progetto .....</b>	<b>21</b>

---

<b>8</b>	<b>VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO CON IL RIO NEGRARO .....</b>	<b>26</b>
<b>8.1</b>	<b>Le ipotesi del calcolo idraulico.....</b>	<b>27</b>
<b>8.2</b>	<b>Risultati delle elaborazioni ottenute.....</b>	<b>29</b>
8.2.1	Simulazioni nello stato di fatto .....	29
8.2.2	Simulazioni nello stato di progetto .....	36
<b>9</b>	<b>VERIFICA AL SIFONAMENTO E INTERAZIONE CON LE ACQUE SOTTERRANEE..</b>	<b>39</b>
<b>9.1</b>	<b>Verifica della sezione 2 .....</b>	<b>42</b>
<b>9.2</b>	<b>Verifica della sezione 1 .....</b>	<b>44</b>
<b>10</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>	<b>46</b>

## 1 PREMESSA

La presente relazione riprende i risultati delle analisi idrologiche ed idrauliche sviluppate nel corso del progetto preliminare e ne approfondisce gli aspetti legati alla progettazione definitiva.

Nel corso della Conferenza di Servizi effettuata per l'esame del Progetto Preliminare, è stata infatti evidenziata la necessità di verificare che il presidio arginale in progetto sul T.Scrivvia non aggravi la condizione di rischio sul Rio Negraro. È stato quindi realizzato in questa fase uno studio idraulico specifico per valutare la compatibilità idraulica delle opere in progetto con i profili di rigurgito del Rio Negraro.

Le analisi idrauliche, già sviluppate a livello di progetto preliminare e approfondite a livello di definitivo, hanno lo scopo di definire i livelli della corrente idrica che si stabiliscono in occasione del transito di portate con assegnato tempo di ritorno che possono sollecitare i corsi d'acqua in oggetto (T. Scrivia, Rio Negraro). I risultati dello studio sono destinati a tradursi nella determinazione dell'altezza del rilevato arginale a protezione dell'abitato di Fabbricone a nord del rio Negraro e dell'argine provvisoriale a protezione delle aree contaminate nella parte più meridionale dell'area oggetto di studio, a sud del rio Negraro. Queste analisi sono state condotte rispettando le prescrizioni ed indicazioni impartite dalle direttive che compongono il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino del fiume Po.

Lo studio idraulico è finalizzato al conseguimento della difesa dal rischio idraulico delle infrastrutture antropiche presenti in sinistra rio Negraro e, provvisoriamente, delle aree contaminate, così come definite dal Politecnico di Torino nel 2009, in destra rio Negraro. Le analisi sono state condotte attraverso un processo multidisciplinare ed hanno approfondito le conoscenze sulle dinamiche idrauliche e quindi ambientali dei corsi d'acqua analizzati, attraverso un processo di modellizzazione ricostruito a partire da un'analisi comparata tra lo scenario progettuale e quello attuale.

I risultati delle modellazioni numeriche, che in questa fase hanno previsto anche l'analisi dei moti di filtrazione attraverso il rilevato arginale, hanno consentito di definire le caratteristiche

dell'intervento di messa in sicurezza idraulica e, quindi, sulla base delle risultanze ottenute, sono state progettate le opere di presidio idraulico e soprattutto è stato analizzato il grado di rischio alla sommersione ed erosione per quelle aree inquinate che saranno poi oggetto di successiva analisi di caratterizzazione.

Nella pagine seguenti si espongono i risultati ottenuti per il tratto di interesse del torrente Scrivia e del rio Negraro.

## 2 ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

Lo studio si è articolato nelle seguenti fasi:

### 2.1 FASE 1: DEFINIZIONE DI UN QUADRO CONOSCITIVO DI RIFERIMENTO MORFOLOGICO, IDROLOGICO ED IDRAULICO

Scopo di questa fase è predisporre uno strumento conoscitivo in grado di valutare le sollecitazioni idrauliche dei corsi d'acqua nei tratti di interesse, intese quali portate di progetto ricavate dal PAI e osservate nella stazione idrometrografa di Serravalle Scrivia, e le condizioni idrauliche al contorno. Dal punto di vista morfologico, si è provveduto ad effettuare una campagna di rilievi topografici sul torrente Scrivia e sul rio Negraro aggiornata al settembre 2010 rilevando i punti maggiormente significativi nel tratto di interesse. In affiancamento a tali dati topografici, si è fatto riferimento al rilievo Laser Scanner fatto realizzare dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nel 2007, che unito al rilievo piano altimetrico, effettuato a terra a cura dell'AIPO, ha permesso la creazione del modello digitale del terreno, che comprende anche delle sezioni trasversali.

### 2.2 FASE 2: VERIFICA IDRAULICA DELLO STATO DI FATTO

Mediante un modello matematico di propagazione degli eventi di piena in condizioni di moto permanente di carattere monodimensionale su fondo non erodibile, sono stati calcolati i principali parametri idraulici di interesse (tiranti idrici e le velocità medie della corrente) raggiunti nelle varie sezioni trasversali per i diversi valori di portate di piena, per entrambi i corsi d'acqua analizzati. L'attività è stata condotta sullo scenario morfologico aggiornato a seguito del rilievo laser scanner e dei rilievi del settembre 2010.

### **2.3 FASE 3: DEFINIZIONE DELLE SOLUZIONI PROGETTUALI**

Mediante sempre l'ausilio dello stesso modello implementato nello stato di fatto, ma stavolta su molteplici varianti progettuali, si è arrivati a definire il posizionamento del rilevato arginale in sponda sinistra del torrente Scrivia e sempre sinistra del rio Negraro. L'obiettivo della progettazione è quello di garantire un adeguato grado di sicurezza idraulica all'abitato di Fabbricone nel comune di Serravalle Scrivia che si verrà a trovare in fascia C solo in seguito alla realizzazione del rilevato arginale, così come definito dal PAI e indicato attraverso il limite di progetto.

Si è infine proceduto alla progettazione di un presidio arginale provvisorio nella parte a sud, di collegamento tra il rilevato del parcheggio autostradale e quello esistente procedendo verso valle, e di una scogliera provvisoria removibile, in modo da proteggere dall'allagamento le aree contaminate identificate.



### 3 INDAGINE TOPOGRAFICA

Riveste importanza strategica il poter disporre di una visione topografica completa, e soprattutto aggiornata, delle aree di possibile esondazione e di intervento di messa in sicurezza. Per tale motivo sono state condotte mirate campagne topografiche. Come già anticipato, nel settembre 2010, sono stati rilevati dal geometra Franco Mantovi i punti maggiormente significativi che si sono incontrati, quali ad esempio le scarpate, l'andamento del rio Negraro e qualche quota di riferimento in punti strategici.

I risultati dei rilievi topografici sono stati incrociati con le informazioni precedentemente ricavate dall'analisi del materiale fornitoci dalle Autorità, quale il rilievo laser scanner e le sezioni realizzate dall'AIPO nel 2004.

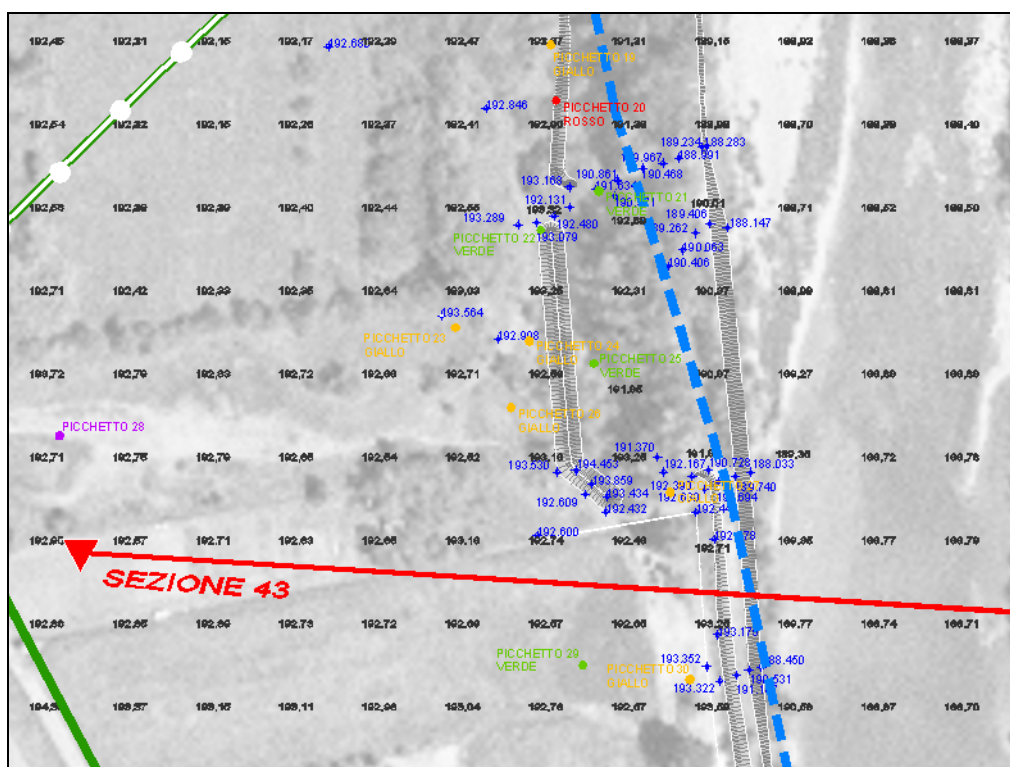


FIGURA 3-1 – DETTAGLIO PLANIMETRIA CON PUNTI DEL RILIEVO DI MANTOVI, PUNTI DEL DTM E UNA DELLE SEZIONI REALIZZATE DA AIPO

## 4 ANALISI IDROLOGICA

Il bacino del torrente Scrivia chiuso a Serravalle Scrivia ha una superficie di 605km<sup>2</sup>, un'altezza massima di 1699m s.l.m. e un'altezza media di 695m s.l.m..

Lo Scrivia è caratterizzato da un regime pluviometrico di tipo sub-litoraneo appenninico con due massimi e due minimi. Il massimo autunnale risulta più elevato di quello primaverile e il minimo estivo più contratto di quello invernale. Le punte autunnali hanno valori medi mensili dell'ordine dei 118 mm, quelle primaverili di circa 79 mm. I minimi estivi hanno valori medi mensili dell'ordine dei 44 mm, quelli invernali di circa 66 mm. Il totale delle precipitazioni medie annue è di circa 900 mm.

Gli eventi alluvionali più significativi che hanno interessato il bacino dello Scrivia negli ultimi 200 anni sono quelli occorsi nel 1970, nel 1977 e nel 1982. In particolare per Serravalle Scrivia è riportato sulle "linee generali per l'assetto idrogeologico":

Sezione	Superficie km <sup>2</sup>	Hmedia m s.m.	Hmin m s.m.	Qmax m <sup>3</sup> /s	qmax m <sup>3</sup> /s.km <sup>2</sup>	Data
Scrivia a Serravalle	605	695	195	1.800	2,98	29/10/45

**TABELLA 4-1 VALORI DELLE PORTATE DI PIENA STORICHE NEL BACINO DELLO SCRIVIA**

*“L’evento del 1970 è sicuramente stato quello più gravoso. Nei giorni 8 e 9 di ottobre si è abbattuto nell’entroterra di Genova un nubifragio di eccezionale intensità che ha provocato ingentissimi danni e numerose vittime. Benché le piogge più intense siano state registrate sul versante ligure, tuttavia anche sull’alto bacino dello Scrivia esse hanno mantenuto valori del tutto fuori della norma. A fronte dei 948 mm di pioggia caduti in 24 ore alla stazione di Bolzaneto, nel bacino del Polcevera (massima intensità mai registrata in Italia e uno dei massimi valori mondiali), nel bacino dello Scrivia furono registrate per lo stesso intervallo di tempo altezze di pioggia notevoli: 500 mm alla Diga Val Noci, 535 mm a Busalla, 732 mm a Monte Cappellino. Tali piogge hanno generato deflussi rilevanti superiori alle massime storiche in 2 delle 4 stazioni funzionanti nel bacino dello Scrivia.”*



Stazione	Portata al colmo 1970	Portata al colmo max storica precedente	
	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	Data
Scrivia a Serravalle	1.650	1.800	29/10/45

**TABELLA 4-2 RAFFRONTO TRA I VALORI DELLE PORTATE DI PIENA STORICHE E LA MASSIMA REGISTRATA DURANTE L'EVENTO DEL 1970**

Si ricorda inoltre lo studio commissionato dalla Provincia di Alessandria a Ecostudio finalizzato alla “definizione delle portate e degli idrogrammi di piena con tempi di ritorno 20, 100, 200 e 500 anni necessari alle successive analisi idrauliche per la definizione delle fasce fluviali” nel tratto da Serravalle fino al confine regionale.

Il Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico stabilisce le direttive sulla piena di progetto, da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica. La Tabella 4-3 indica le portate di progetto per il torrente Scrivia in corrispondenza della sezione di Serravalle Scrivia.

Progr. [km]	Sezione	Denominazione	Superficie [km <sup>2</sup> ]	Q20 [m <sup>3</sup> /s]	Q100 [m <sup>3</sup> /s]	Q200 [m <sup>3</sup> /s]	Q500 [m <sup>3</sup> /s]
52.000	50	Serravalle	605	1530	2000	2300	2600
72.240	25	Tortona	728	1625	2130	2450	2770
95.390	1	Confluenza in Po	1174	1910	2500	2870	3250

**TABELLA 4-3 DIRETTIVA PIENE DI PROGETTO (PAI)**

L'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Piemonte è dotata di una rete di misurazione in tempo reale dei livelli dei principali corsi d'acqua che consente di effettuare un costante monitoraggio dei fiumi piemontesi, incluso il torrente Scrivia, grazie ad una stazione di rilevamento attiva sul territorio del Comune di Serravalle Scrivia. L'impianto è posizionato in Località Cascina Nave (Coordinate geografiche UTM Est: 489070; Coordinate geografiche UTM Nord: 4952616; Superficie del bacino sotteso 619 Km<sup>2</sup>; Quota della stazione: 220 m s.l.m.).

Le portate misurate nello Scrivia, alla stazione sopra menzionata sono i seguenti, estratti sia dal PAI sia dalla Banca Dati Idrologica dell'Arpa Piemonte:

Anno di misura	Portata massima al colmo	Estrapolazione dati da
1931	1100	PAI - Piano di Assetto Idrogeologico
1932	325	
1933	866	
1934	1110	

1935	1110	
1936	355	
1937	956	
1938	495	
1939	615	
1940	1970	
1941	507	
1942	471	
1943	282	
1945	1800	
1952	254	
1953	1430	
1954	584	
1955	237	
1956	387	
1957	457	
1958	353	
1959	407	
1960	753	
1961	404	
1962	626	
1963	626	
1970	1650	
1993	1200	
2001	109	ARPA Piemonte
2002	648	
2003	206	
2004	99.6	
2005	72.7	
2006	185	
2007	125	
2009	541	
2010	425	

TABELLA 4-4 PORTATE AL COLMO MISURATE ALL'IDROMETRO DI SERRAVALLE SCRIVIA

L'elaborazione statistica dei dati di portata rilevati, secondo la procedura doppia esponenziale proposta da Gumbell, ha portato alla definizione dei colmi di portata per TR assegnato, dove il valore al colmo è rappresentata dall'espressione:

$$q = n - \frac{\ln \left( -\ln \left( 1 - \frac{1}{T_R} \right) \right)}{a}$$

dove:

TR = tempo di ritorno

$$n = Y - \bar{Y}_N \cdot S_Y$$

$$a = S_N / S_Y$$

YN = media ridotta:

SN = deviazione standard ridotta

Y = media aritmetica dei valori massimi di portata misurati

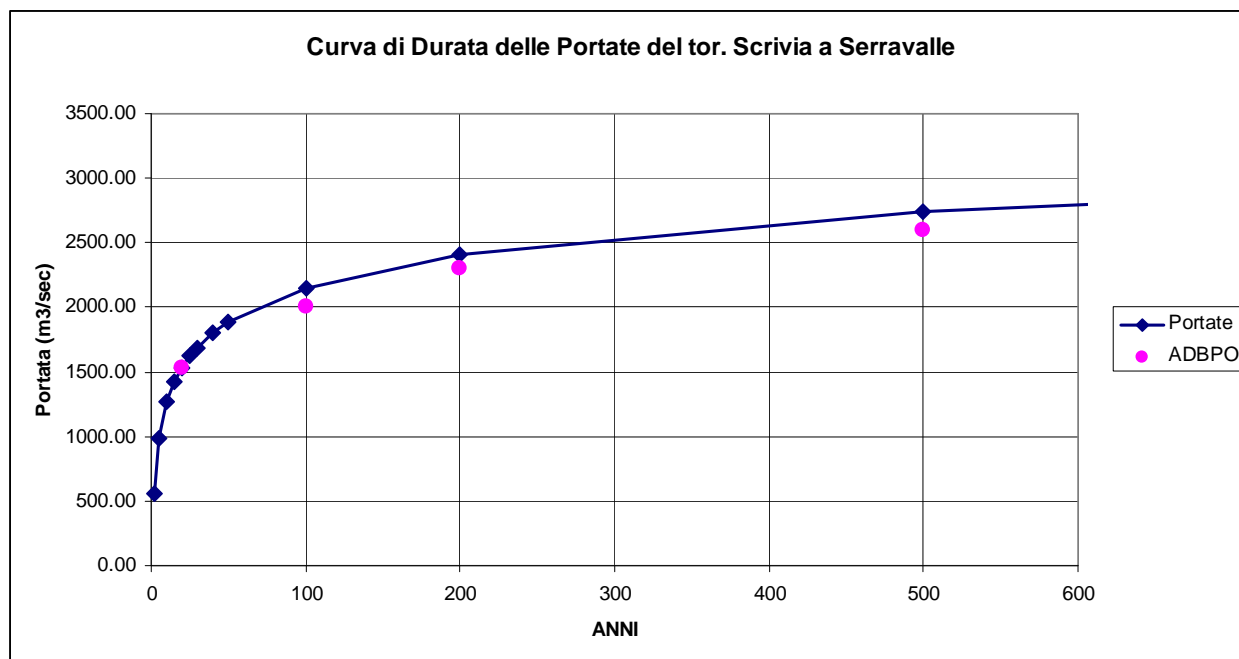
Sy = scarto quadratico medio.

Analizzando i dati della Tabella 4-4 si ottengono le seguenti portate per i vari tempi di ritorno:

TR	Portate Calcolate	Portate da PAI
<i>anni</i>	<i>m<sup>3</sup>/s</i>	<i>m<sup>3</sup>/s</i>
20	1535	1530
100	2150	2000
200	2400	2300
500	2745	2600

TABELLA 4-5 PORTATE CALCOLATE PER I VARI TEMPI DI RITORNO

In definitiva i valori così determinati sono in linea con quelli ricavati dal PAI che espongono valori leggermente più bassi. A favore di sicurezza nelle fasi successive di simulazione idrodinamica si utilizzano i dati calcolati di Tabella 4-5.



## 5 DESCRIZIONE GEOMETRICA DEL TORRENTE SCRIVIA AI FINI MODELLISTICI

Per quanto riguarda l'analisi della morfologia dell'alveo fluviale e dell'andamento piano altimetrico del thalweg, la presente analisi idraulica prende in considerazione il tratto del torrente Scrivia in corrispondenza della località Fabbricone, in particolare dalla sezione 47 (AIPO) immediatamente a monte dell'abitato di Serravalle Scrivia fino alla sezione 38 (AIPO).

Nel grafico seguente si riporta l'andamento del thalweg nel tratto oggetto di studio.

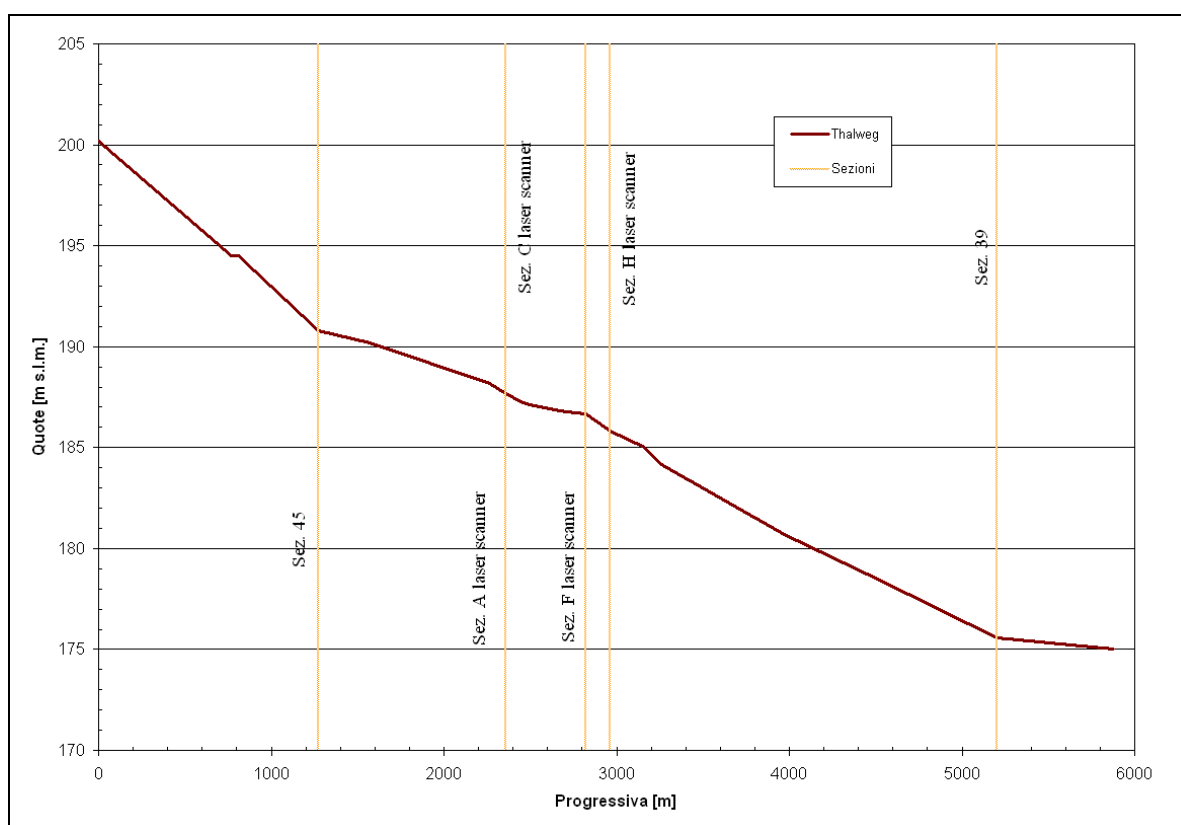


FIGURA 5-1: PROFILO LONGITUDINALE DEL THALWEG DEL T. SCRIVIA OGGETTO DI STUDIO

Il tratto esaminato nel corso della presente indagine è quello del torrente Scrivia in Loc.Fabbricone. In questa zona ci troviamo nella parte di valle del torrente Scrivia dove le pendenze scendono sotto il percento fino a Po; in particolare nel tratto in esame la pendenza media è dello 0,4%.

## 6 ANALISI IDRAULICA

Le analisi idrologiche hanno preliminarmente definito, in funzione del “Tempo di Ritorno”, i valori della portata al colmo nella sezione immediatamente a monte al tratto oggetto di studio (sez.50 del PAI).

Di seguito vengono esposte le risultanze delle simulazioni numeriche, svolte sul tratto del torrente Scrivia a partire da immediatamente a monte dell’abitato di Serravalle Scrivia fino a valle della Località Fabbricone, nelle seguenti configurazioni:

- analisi in moto permanente per diversi valori di portate di piena nello stato di fatto;
- analisi in moto permanente per diversi valori di portate di piena nello stato di progetto.

Le portate implementate nelle modellazioni sono state quelle con T20, 100 e 200 anni pari rispettivamente a 1535, 2150 e 2400 m<sup>3</sup>/s.

Partendo dalla descrizione morfologica del tratto fluviale, le analisi idrauliche della propagazione delle piene di riferimento sono state svolte per mezzo di un modello d’integrazione numerica delle equazioni che descrivono matematicamente il fenomeno. Fra i risultati del modello, oltre ai desiderati livelli idrici massimi, sono indicative anche le velocità della corrente idrica.

### 6.1 LE IPOTESI DEL CALCOLO IDRAULICO

Il calcolo dei massimi livelli di piena procede sulla base delle equazioni classiche dell’idraulica dei moti a pelo libero; in particolare sono integrate numericamente le equazioni differenziali per correnti monodimensionali su alveo prismatico, in condizione di moto permanente. Inoltre, l’ipotesi di monodimensionalità è ampiamente giustificata per la conformazione morfologica dell’alveo esaminato; essa risulta poco corretta solo in corrispondenza di brusche variazioni nella geometria della sezione liquida trasversale, ma in tali circostanze il raffittimento del rilievo geometrico limita le possibili fonti di imprecisione.

La scabrezza dell’alveo è stata espressa attraverso il coefficiente  $c$  di Gauckler-Strickler (trattasi più propriamente di una misura di “liscezza” delle sponde e del fondo): è stato adottato un valore pari a 17 m<sup>1/3</sup>/s. Il valore utilizzato è stato mutuato dall’esperienza e dalla letteratura, ed è analogo a quello utilizzato nell’ambito del PAI (Figura 6-1)

I valori adottati appaiono, peraltro, ragionevolmente cautelativi.

Infine, come condizione di valle è stata imposta l'altezza di moto uniforme, ovvero una pendenza pari allo 0,3%.

Tabella 65: profilo di piena per il fiume Scrivia

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)
050	52.000	205.95	2300	033	65.420	150.03		016	80.120	99.82	
049	52.800	199.31		032	66.250	147.17		015	80.930	97.02	
048	53.610	196.26		031	67.020	144.10		014	81.730	94.59	
047	54.240	195.17		030	67.760	141.27		013	82.390	91.53	
046	54.990	192.56		029	68.600	137.27		012	83.340	87.03	
045	55.790	190.09		028	69.660	133.00		011	84.240	85.79	
044	56.840	187.97		027	70.630	130.57		010	85.210	84.43	
043	56.880	184.18		026	71.430	126.97		009	86.970	83.21	
042	57.680	177.96		025	72.240	122.94	2450	008	86.990	83.19	
041	58.470	176.00		024	72.930	120.23		007	88.520	80.15	
040	59.210	172.83		023	73.640	118.08		006	89.370	78.64	
039	60.210	169.00		022	74.480	114.59		005	90.060	78.26	
038	61.110	165.29		021	75.780	111.98		004	90.810	77.89	
037	61.930	160.97		020	76.890	109.72		003	92.930	75.77	
036	62.850	158.20		019	77.790	108.49		002	93.780	75.04	
035	63.780	155.92		018	78.700	104.69		001	95.390	73.00	2870
034	64.580	152.50		017	79.530	102.13					

FIGURA 6-1: LIVELLI IDROMETRICI DESUNTI DAL PAI

## 6.2 IL MODELLO MATEMATICO UTILIZZATO

Il modello utilizzato per lo studio della propagazione delle onde di piena nei corsi d'acqua analizzati è: "HEC-RAS River Analysis System", elaborato dall'Hydrologic Engineering Center dell' US Army Corps of Engineers degli U.S.A. (versione 3.1.3, del Maggio 2005).

Si tratta di uno strumento d'applicabilità molto ampia, largamente utilizzato presso Enti Pubblici e Privati negli Stati Uniti e in oltre 40 nazioni, ed ormai adottato anche da molti Enti Pubblici Italiani. Il modello è stato progettato per contenere vari moduli di analisi idraulica monodimensionale: analisi di moto permanente, analisi del moto vario, analisi del trasporto solido in letto mobile. Tra le diverse componenti quella utilizzata nel presente studio consiste nell'algoritmo di calcolo idraulico per la determinazione delle variazioni della portata, della velocità, della larghezza del pelo libero della corrente e di altre caratteristiche idrauliche del moto durante la propagazione verso valle della corrente idrica di portata nota, per effetto della capacità di laminazione naturale dell'alveo, della sua



resistenza d'attrito, della presenza di opere interagenti con la corrente (ponti e briglie). Il modello calcola i profili di moto permanente gradualmente vario per corsi d'acqua monodimensionali in regime di corrente lenta, veloce o mista. Il programma è in grado di calcolare e gestire i profili per una rete di canali naturali o artificiali, in un sistema ad albero od a singolo ramo. Le relazioni fondamentali della formulazione matematica sono le equazioni del moto permanente nell'espressione classica dell'equazione monodimensionale dell'energia secondo Manning. Le perdite valutate sono quelle d'attrito (secondo Manning), valutate per le diverse parti della sezione trasversale (canale centrale, sponde laterali, golene e parti di golene), e quelle causate dalla contrazione o espansione delle sezioni (tramite un coefficiente che moltiplica la variazione dell'altezza cinetica). L'equazione della quantità di moto è utilizzata nei punti dove il profilo del pelo libero subisce brusche variazioni ovvero in regime misto nel passaggio da corrente veloce a corrente lenta, oppure in corrispondenza di ponti, traverse e sottopassi o alla confluenza di più rami di una rete.

Il modello richiede, oltre alla geometria generale del corso d'acqua, profili e sezioni trasversali, i dati di portata in ingresso nella prima sezione di monte ed eventualmente in tutte le sezioni dove sono disponibili dati di portata, ed infine le condizioni al contorno dipendenti dal regime di moto della corrente.

L'equazione generale dell'energia è la seguente:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

$Y_1, Y_2$  rappresentano l'altezza idrometrica nella sezione 1 e 2,

$Z_1, Z_2$  la quota del fondo alveo nelle sezioni 1 e 2,

$V_1, V_2$  le velocità medie (portata totale/area bagnata) nelle sezioni 1 e 2,

$\alpha_1, \alpha_2$  i coefficienti di velocità,

$h_e$  la perdita di carico nel tratto 1-2.

La perdita di carico tra due sezioni trasversali è calcolata come somma delle perdite distribuite per attrito e di quelle concentrate per effetto di contrazioni o allargamenti bruschi di sezione secondo l'equazione:

$$h_e = LS_f + C \left( \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} - \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} \right)$$

dove:

L è la distanza pesata, in funzione della portata, tra le due sezioni trasversali 1 e 2,

S<sub>f</sub> la pendenza motrice tra le sezioni 1 e 2,

C il coefficiente di perdita di carico per contrazione o allargamento di sezione.

La pendenza d'attrito S<sub>f</sub> è valutata secondo l'espressione di Manning:

$$S_f = n^2 Q|Q| / (A^2 R^{4/3})$$

dove n è il coefficiente di resistenza di Manning (che vale anche n=1/c con c di Gauckler-Strickler), ed R è il raggio idraulico.

L'equazione differenziale del moto viene integrata per via numerica, attraverso un insieme di fasi iterative che vengono ripetute più volte per affinarne la risoluzione; per la determinazione dei profili è quindi necessario fornire le condizioni iniziali di portata in ingresso e le condizioni al contorno in funzione del regime di moto.

### 6.3 ANALISI DEL GRADO DI RISCHIO ALLA SOMMERSIONE SIA NELLO STATO DI FATTO CHE IN QUELLO DI PROGETTO

Le risultanze degli studi condotti hanno permesso un'analisi del rischio nelle aree oggetto di intervento, e quindi della dinamica di propagazione dei flussi idrici durante la propagazione delle piene per Tr20-100-200 anni. Le aree così allagate sono state ricostruite sulla base delle modellazioni implementate e della topografia a disposizione. Negli stati analizzati la dinamica dell'allagamento si sviluppa nel seguente modo:

- 1) **nello stato di fatto**, l'allagamento inizia subito a valle del parcheggio dell'A7; esso si distribuisce verso nord a ventaglio interessando tutta l'area contaminata. Le velocità della corrente contro la sponda si attestano su valori prossimi a 4-5 m/sec (Tr= 200 anni) e quindi si scaricano sulla stessa tensioni importanti, pregiudizievoli alla sua stabilità, con conseguenti fenomeni di attivazione di processi erosivi. Poco più a valle in corrispondenza della sezione D, il terrazzo presente è colonizzato da specie vegetali autoctone in prevalenza di salix alba, capaci in parte di contenere i processi erosivi ma non di allagamento. Per tale motivo, il flusso continua a deviare verso Ovest unendosi a quello che proviene da monte e prosegue la sua corsa verso Nord

rigurgitando all'interno del rio Negraro. I tiranti idrometrici che si instaurano sono dell'ordine di qualche decimetro a monte (sez. C) fino a raggiungere valori superiori al metro in corrispondenza dei fabbricati dismessi (ex lavanderia sez. E). La situazione peggiora verso valle, oltre al rio Negraro sez F, dove il flusso della corrente invade le aree cortilizie ed abitate del Fabbricone ed i tiranti sempre per la TR=200 anni raggiungono valori fino a 70-80 cm. (vedi Tav.4)

- 2) **nello stato di progetto**, con la presenza dei presidi arginali, la situazione migliora radicalmente. A monte del rio Negraro, la condizione di rischio di allagamento delle aree inquinate viene mitigata, per quanto possibile, da un presidio provvisorio che ne impedisce, in parte, il sormonto. Si tratta di un'opera provvisoria in attesa dei risultati finali del Progetto di Caratterizzazione e quindi di Bonifica. Rimane, tuttavia, il pericolo di cedimento strutturale della sponda sempre sollecitata da tensioni importanti legate alle velocità sopra definite. D'altra parte la situazione di inquinamento presente impone che prima di attivare qualunque opera idraulica permanente, venga redatto apposito Piano di Caratterizzazione, a meno di deroghe, collegialmente condivise e motivate dalla pericolosità dell'area. Verso valle e dopo il rio Negraro la situazione migliora decisamente e l'argine in progetto eseguito questa volta su sito non contaminato, consente di raggiungere un grado di rischio analogo a quello di una fascia C.

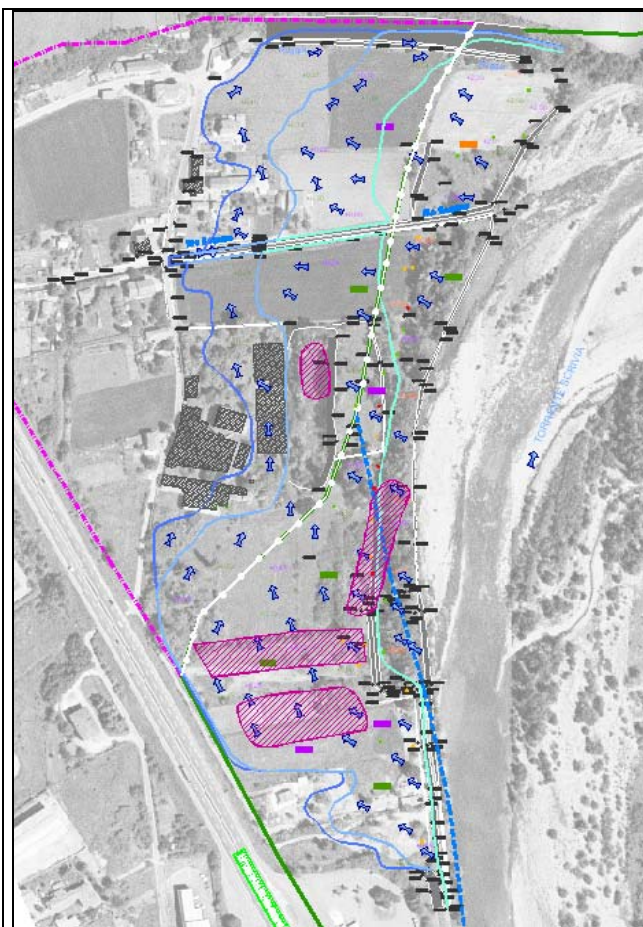


FIGURA 6-2: AREE DI ALLAGAMENTO NELLO STATO DI FATTO PER  
TR20-100-200 ANNI

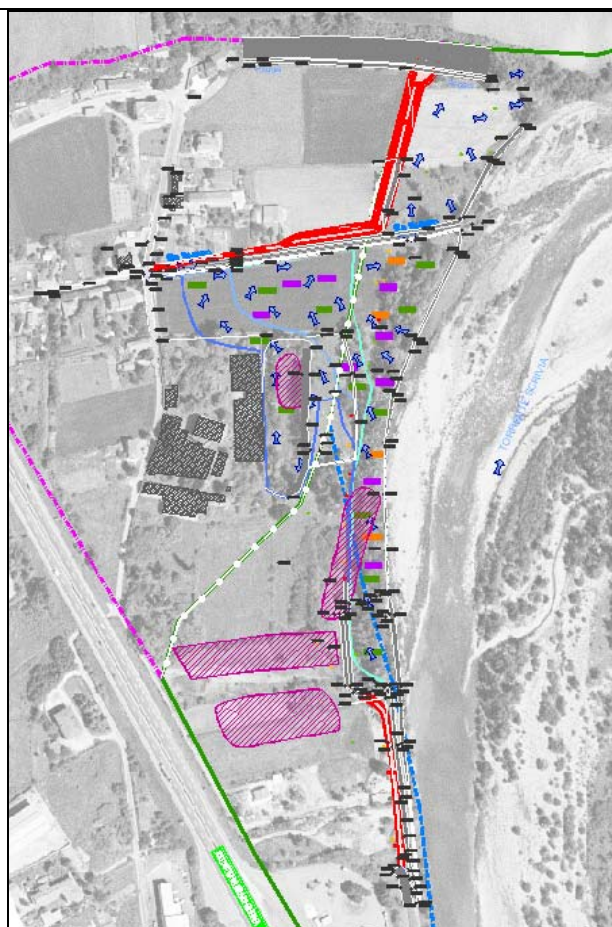


FIGURA 6-3: AREE DI ALLAGAMENTO NELLO STATO DI PROGETTO  
PER TR20-100-200 ANNI

## 7 I RISULTATI DELLE ELABORAZIONI OTTENUTE ( T.SCRIVIA)

### 7.1 SIMULAZIONI NELLO STATO DI FATTO

TABELLA 7-1 LIVELLI IDROMETRICI NELLO STATO DI FATTO (PER LE DIVERSE PORTATE ANALIZZATE)

Sezione Topografica	Progressiva Sezione	Quota del fondo S.F.	Q di progetto	Livelli idrometrici S.F. Q20	Livelli idrometrici S.F. Q100	Livelli idrometrici S.F. Q200
	[m]	[m s.l.m.]	[m <sup>3</sup> /s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Sez.47	0	200.2	2400	204.95	206.07	206.49
15 m monte ponte	766	194.5	2400	201.39	202.77	203.28
1 m monte ponte	781	194.5	2400	201.04	202.45	202.97
Ponte	782	194.5	2400	200.54	201.69	202.09
Ponte	792	194.5	2400	199.39	200.48	200.81
1 m valle ponte	793	194.5	2400	199.27	200.42	200.81
15 m valle ponte	808	194.5	2400	199.47	200.64	201.02
Sez.45	1273	190.8	2400	197.48	198.30	198.58
Sez.44	1573	190.2	2400	196.67	197.39	197.65
Sez. 1 laser scanner	2265	188.2	2400	193.78	194.25	194.41
Sez. A laser scanner	2355	187.7	2400	193.35	193.81	193.95
Sez.43	2460	187.2	2400	192.66	193.22	193.46
Sez. B laser scanner	2496	187.1	2400	192.48	193.01	193.21
Sez. C laser scanner	2556	187	2400	192.18	192.77	193.02
Sez. D laser scanner	2611	186.9	2400	191.92	192.57	192.84
Sez. E laser scanner	2711	186.79	2400	191.54	192.30	192.60
Sez. F laser scanner	2821	186.67	2400	191.23	192.11	192.45
Sez. G laser scanner	2895	186.23	2400	191.09	192.01	192.36
Sez. H laser scanner	2960	185.82	2400	190.99	191.95	192.30
Sez. 4 laser scanner	3160	185	2400	190.50	191.60	191.97
Sez.42	3250	184.22	2400	190.24	191.36	191.75
Sez.41	3970	180.7	2400	187.22	188.23	188.61
Sez.40	4522	178.42	2400	185.55	186.74	187.31
Sez.39	5204	175.57	2400	183.40	184.57	185.07
Sez.38	5879	175	2400	181.31	182.45	182.88



FIGURA 7-1 – ANDAMENTO DEI PROFILI DI RIGURGITO NELLO STATO DI FATTO

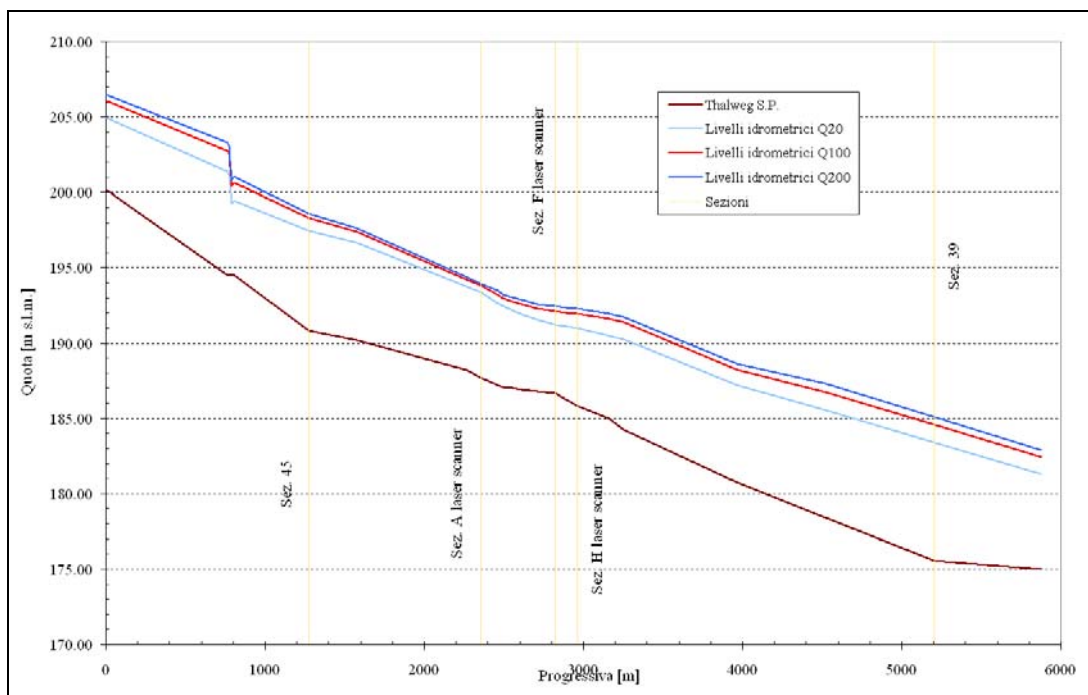


FIGURA 7-2 – PARTICOLARE DEI PROFILI DI RIGURGITO NELLO STATO DI FATTO NEL TRATTO A NORD DEL RIO NEGRARO

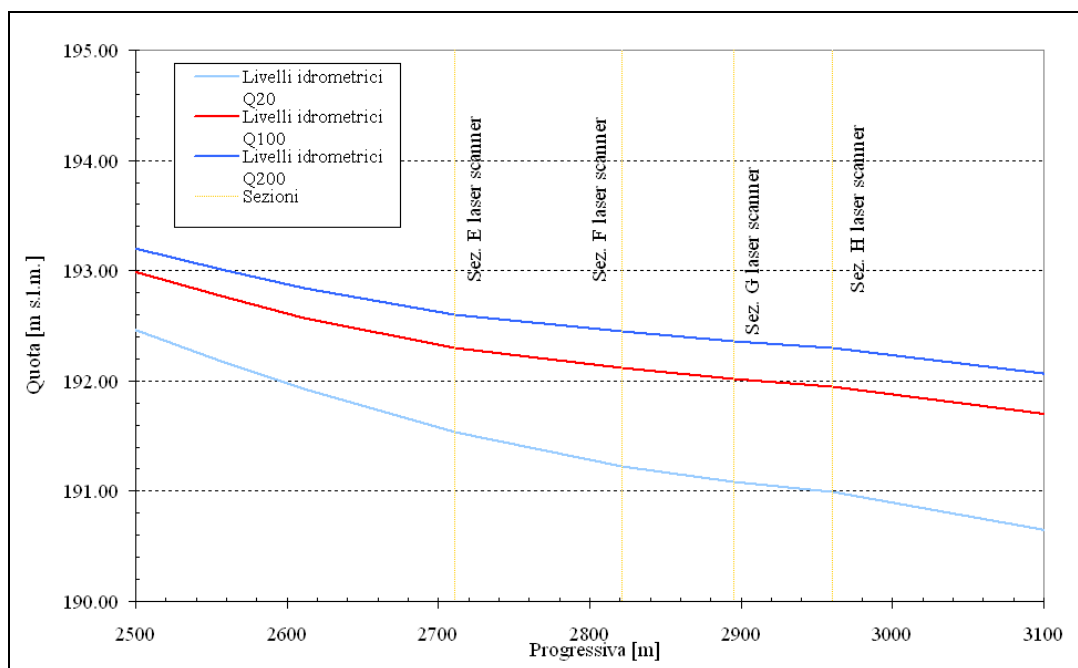
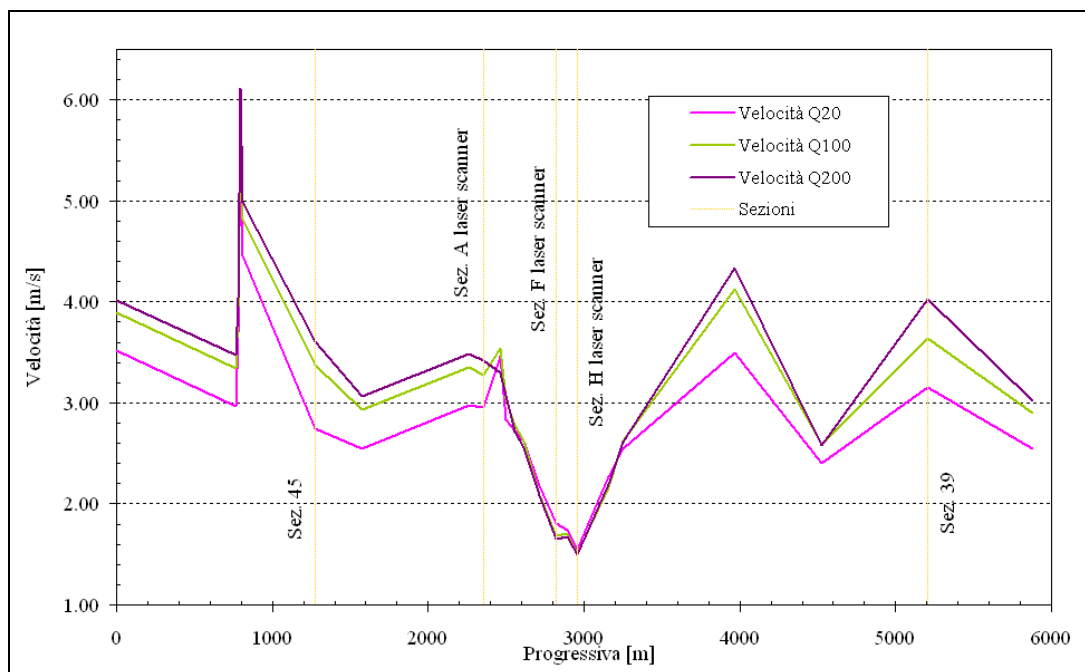




TABELLA 7-2 VELOCITA' MEDIE DELLA CORRENTE NELLO STATO DI FATTO (PER LE DIVERSE PORTATE ANALIZZATE)

Sezione Topografica	Progressiva Sezione	Quota del fondo S.F.	Q di progetto	Velocità S.F. Q20	Velocità S.F. Q100	Velocità S.F. Q200
	[m]	[m s.l.m.]	[m³/s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Sez.47	0	200.20	2400	3.52	3.89	4.01
15 m monte ponte	766	194.50	2400	2.97	3.34	3.47
1 m monte ponte	781	194.50	2400	3.70	3.95	4.04
1 m valle ponte	793	194.50	2400	5.80	6.02	6.11
15 m valle ponte	808	194.50	2400	4.46	4.82	4.99
Sez.45	1273	190.80	2400	2.75	3.38	3.61
Sez.44	1573	190.20	2400	2.55	2.93	3.07
Sez. 1 laser scanner	2265	188.20	2400	2.98	3.35	3.49
Sez. A laser scanner	2355	187.70	2400	2.96	3.27	3.42
Sez.43	2460	187.20	2400	3.46	3.54	3.30
Sez. B laser scanner	2496	187.10	2400	2.83	3.04	3.08
Sez. C laser scanner	2556	187.00	2400	2.72	2.78	2.71
Sez. D laser scanner	2611	186.90	2400	2.62	2.62	2.56
Sez. E laser scanner	2711	186.79	2400	2.18	2.09	2.08
Sez. F laser scanner	2821	186.67	2400	1.81	1.69	1.65
Sez. G laser scanner	2895	186.23	2400	1.74	1.71	1.67
Sez. H laser scanner	2960	185.82	2400	1.55	1.51	1.50
Sez. 4 laser scanner	3160	185.00	2400	2.27	2.16	2.19
Sez.42	3250	184.22	2400	2.55	2.62	2.61
Sez.41	3970	180.70	2400	3.50	4.12	4.33
Sez.40	4522	178.42	2400	2.40	2.59	2.58
Sez.39	5204	175.57	2400	3.15	3.64	4.03
Sez.38	5879	175.00	2400	2.55	2.90	3.02

FIGURA 7-3 – ANDAMENTO DELLE VELOCITA' MEDIE DELLA CORRENTE NELLO STATO DI FATTO



## 7.2 SIMULAZIONI NELLO STATO DI PROGETTO

TABELLA 7-3 LIVELLI IDROMETRICI NELLO STATO DI PROGETTO (PER LE DIVERSE PORTATE ANALIZZATE)

Sezione Topografica	Progressiva Sezione	Quota del fondo S.P.	Q di progetto	Livelli idrometrici S.P. Q20	Livelli idrometrici S.P. Q100	Livelli idrometrici S.P. Q200
	[m]	[m s.l.m.]	[m³/s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Sez.47	0	200.2	2400	204.95	206.07	206.49
15 m monte ponte	766	194.5	2400	201.39	202.77	203.28
1 m monte ponte	781	194.5	2400	201.04	202.45	202.97
Ponte	782	194.5	2400	200.54	201.69	202.09
Ponte	792	194.5	2400	199.39	200.48	200.81
1 m valle ponte	793	194.5	2400	199.27	200.42	200.81
15 m valle ponte	808	194.5	2400	199.47	200.64	201.02
Sez.45	1273	190.8	2400	197.48	198.29	198.57
Sez.44	1573	190.2	2400	196.67	197.38	197.64
Sez. 1 laser scanner	2265	188.2	2400	193.78	194.27	194.43

Sez. A laser scanner	2355	187.7	2400	193.35	193.85	194.00
Sez.43	2460	187.2	2400	192.66	193.22	193.46
Sez. B laser scanner	2496	187.1	2400	192.48	193.01	193.22
Sez. C laser scanner	2556	187	2400	192.18	192.76	193.01
Sez. D laser scanner	2611	186.9	2400	191.92	192.57	192.84
Sez. E laser scanner	2711	186.79	2400	191.53	192.30	192.61
Sez. F laser scanner	2821	186.67	2400	191.23	192.11	192.44
Sez. G laser scanner	2895	186.23	2400	191.09	192.02	192.36
Sez. H laser scanner	2960	185.82	2400	190.99	191.95	192.30
Sez. 4 laser scanner	3160	185	2400	190.50	191.60	191.97
Sez.42	3250	184.22	2400	190.24	191.36	191.75
Sez.41	3970	180.7	2400	187.22	188.23	188.61
Sez.40	4522	178.42	2400	185.55	186.74	187.31
Sez.39	5204	175.57	2400	183.40	184.57	185.07
Sez.38	5879	175	2400	181.31	182.45	182.88

FIGURA 7-4 – ANDAMENTO DEI PROFILI DI RIGURGITO NELLO STATO DI PROGETTO

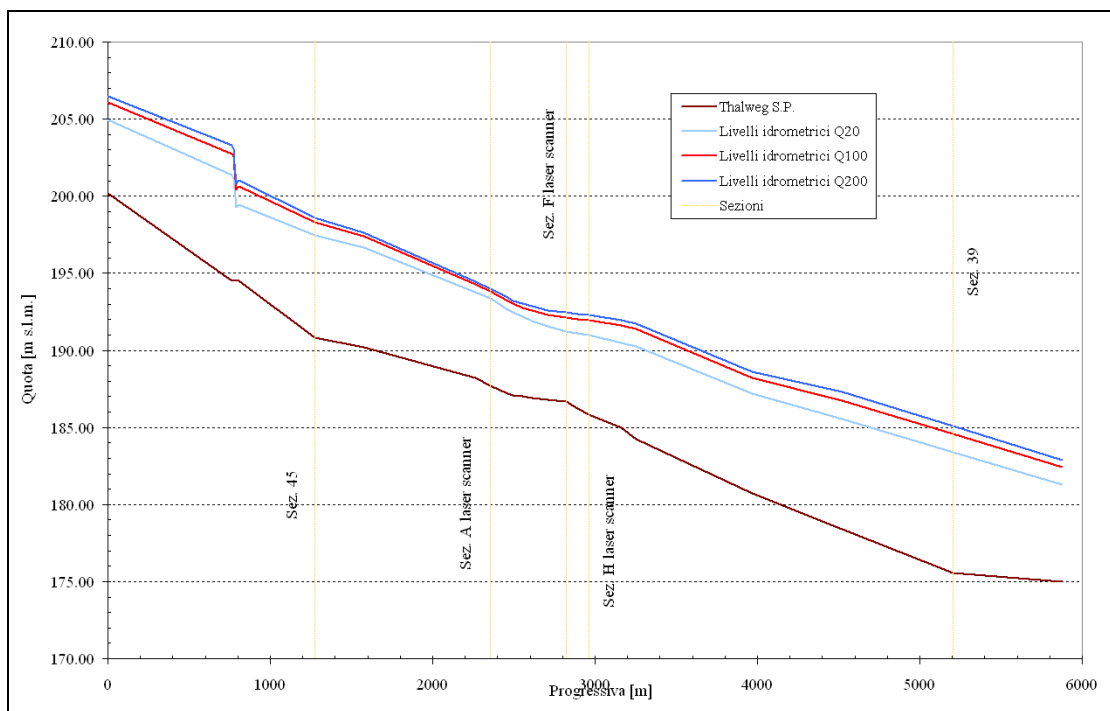


FIGURA 7-5 – PARTICOLARE DEI PROFILI DI RIGURGITO NELLO STATO DI PROGETTO NEL TRATTO A NORD DEL RIO NEGRARO

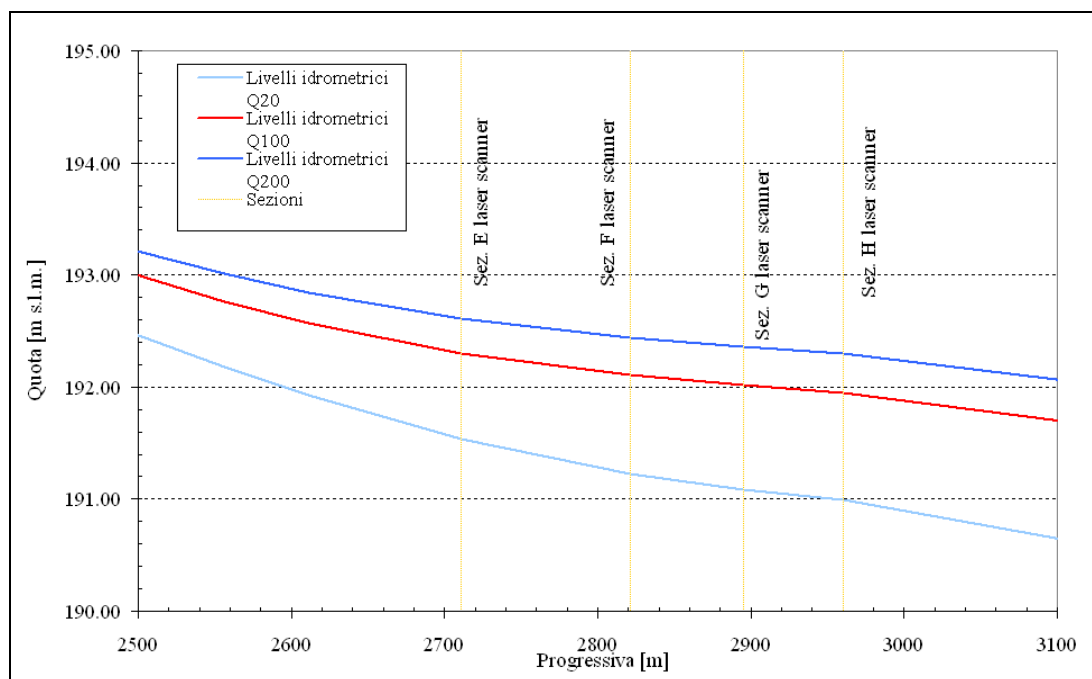
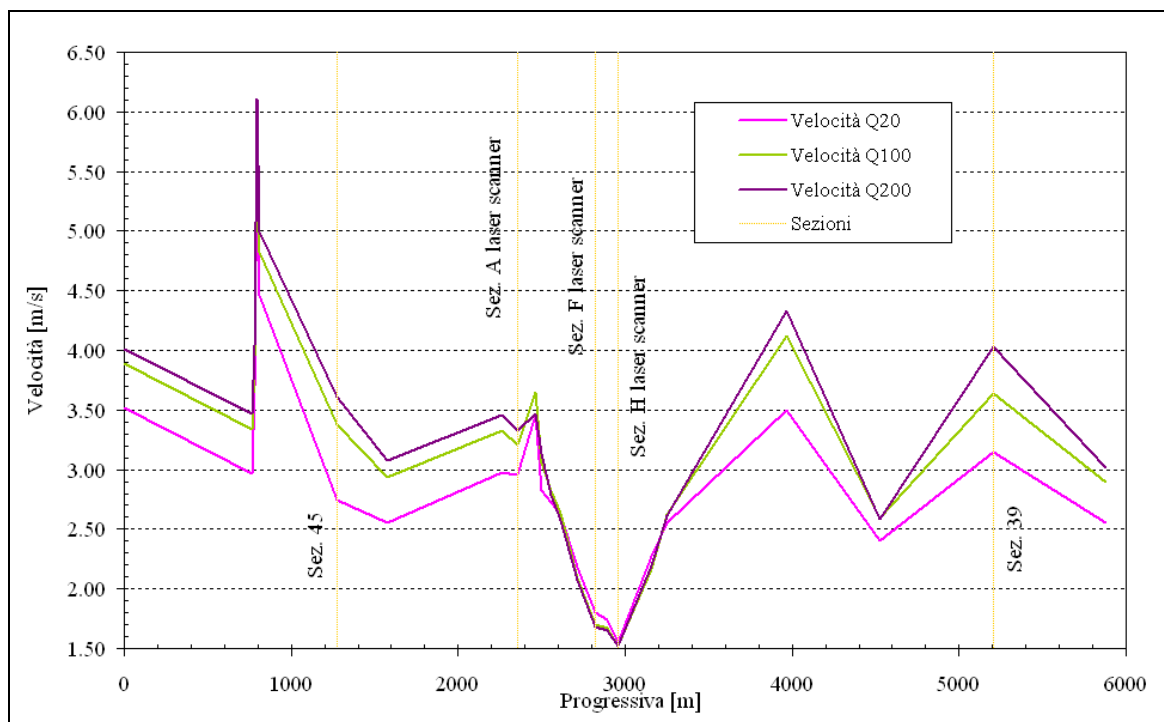


TABELLA 7-4 VELOCITA' MEDIE DELLA CORRENTE NELLO STATO DI PROGETTO (PER LE DIVERSE PORTATE ANALIZZATE)

Sezione Topografica	Progressiva Sezione	Quota del fondo S.P.	Q di progetto	Velocità S.P. Q20	Velocità S.P. Q100	Velocità S.P. Q200
	[m]	[m s.l.m.]	[m³/s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
Sez.47	0	200.20	2400	3.52	3.89	4.01
15 m monte ponte	766	194.50	2400	2.97	3.34	3.47
1 m monte ponte	781	194.50	2400	3.70	3.95	4.04
1 m valle ponte	793	194.50	2400	5.80	6.02	6.11
15 m valle ponte	808	194.50	2400	4.46	4.82	4.99
Sez.45	1273	190.80	2400	2.75	3.38	3.61
Sez.44	1573	190.20	2400	2.55	2.94	3.08
Sez. 1 laser scanner	2265	188.20	2400	2.98	3.33	3.46
Sez. A laser scanner	2355	187.70	2400	2.96	3.21	3.33
Sez.43	2460	187.20	2400	3.46	3.65	3.47
Sez. B laser scanner	2496	187.10	2400	2.83	3.06	3.14
Sez. C laser scanner	2556	187.00	2400	2.72	2.83	2.79
Sez. D laser scanner	2611	186.90	2400	2.62	2.63	2.57
Sez. E laser scanner	2711	186.79	2400	2.18	2.09	2.07
Sez. F laser scanner	2821	186.67	2400	1.80	1.70	1.68
Sez. G laser scanner	2895	186.23	2400	1.74	1.67	1.65
Sez. H laser scanner	2960	185.82	2400	1.55	1.52	1.52
Sez. 4 laser scanner	3160	185.00	2400	2.27	2.16	2.19
Sez.42	3250	184.22	2400	2.55	2.62	2.61
Sez.41	3970	180.70	2400	3.50	4.12	4.33
Sez.40	4522	178.42	2400	2.40	2.59	2.58
Sez.39	5204	175.57	2400	3.15	3.64	4.03
Sez.38	5879	175.00	2400	2.55	2.90	3.02

FIGURA 7-6 – ANDAMENTO DELLE VELOCITA' MEDIE DELLA CORRENTE NELLO STATO DI PROGETTO





## **8 VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO CON IL RIO NEGRARO**

Nel corso della Conferenza di Servizi effettuata per l'esame del Progetto Preliminare, è stata evidenziata la necessità di verificare che il presidio arginale in progetto sul T.Scrivvia non aggravi la condizione di rischio sul Rio Negraro.

È stato quindi realizzato uno studio idraulico specifica per valutare la compatibilità idraulica delle opere in progetto con i profili di rigurgito del Rio Negraro.

Ai fini della modellazione, i dati topografici rilevati ad hoc sul Rio nel tratto a valle del ponte di Via Fabbriche, sono stati integrati, nel tratto di monte, con le sezioni desunte dal "Progetto di sistemazione idraulica del Rio Negraro nel tratto Via Gambarato- Torrente Scrivia", redatto nel 2002 dall'ing. Alberto Desimoni e dal Geom. Giuseppe Roveda dello studio Roveda e Associati S.r.l. per conto del Comune di Serravalle Scrivia. I lavori relativi a questo progetto, che hanno previsto la riprofilatura dell'alveo e l'adeguamento dei tombotti di attraversamento stradale, sono stati ultimati nel 2009.

Il tratto di Rio Negraro analizzato nel presente studio va dalla sez. 4, circa 300 m a monte del sottopasso dell'Autostrada A7, fino allo sbocco nel Torrente Scrivia, per una lunghezza complessiva di circa 800 m.

Al fine di valutare l'influenza dell'opera in progetto sui profili di rigurgito del corso d'acqua, sono state analizzate le seguenti configurazioni:

- analisi in moto permanente per diversi valori di portate di piena nello stato di fatto;
- analisi in moto permanente per diversi valori di portate di piena nello stato di progetto.

Le portate del Rio Negraro implementate nelle modellazioni sono, come impartito nella Conferenza dei Servizi sul Progetto Preliminare, quelle utilizzate nello studio del 2002 a firma dell'ing. Alberto Desimoni e del Geom. Giuseppe Roveda (v. Tab. 8-1).

**TABELLA 8-1 PORTATE RIO NEGRARO UTILIZZATE NELLE VERIFICHE DELLO STUDIO DEL 2002 (TR=200-100-20 ANNI)**

Tratto / contributi	Q <sub>200</sub> Progetto	Q <sub>200</sub> PAI	Q <sub>100</sub> Progetto	Q <sub>100</sub> PAI	Q <sub>20</sub> Progetto	Q <sub>20</sub> PAI
Via Gambarato - imbocco sottopasso A7	33.3	28.3	26.36	25.225	20.37	18.85
Contributo Fosso Sud A7	1.5	1.5	1.2	1.2	1	1
Imbocco sottopasso A7- sbocco sottopasso A7	34.8	29.8	27.56	26.425	21.37	19.85
Contributo Fosso Nord A7	3	3	2.4	2.4	2	2
Sbocco sottopasso A7 - Scrivia	37.8	32.8	29.96	28.825	23.37	21.85

Partendo dalla descrizione morfologica del tratto di corso d'acqua, le analisi idrauliche della propagazione delle piene di riferimento sono state svolte per mezzo del medesimo modello utilizzato per l'analisi sul T.Scrivia (HEC-RAS versione aggiornata.4.1)

### 8.1 LE IPOTESI DEL CALCOLO IDRAULICO

Allo scopo di valutare l'influenza del presidio arginale sui profili del Rio Negraro, la simulazione è stata condotta per diversi valori di portate di piena per il Rio per TR assegnato (200, 100,20 anni) , imponendo come valore idrometrico di valle quello che si ottiene durante la propagazione di piene del torrente Scrivia per diversi valori di TR (200, 100, 50, 20, 10, 5 anni) (v. Tabella 8-2).

**TABELLA 8-2 PORTATE DI PIENA DEL T.SCRIVIA ALLA SEZ. SERRVALLE TR=200-100-50-20-10-5 ANNI**

TR	Portate Calcolate	Portate da PAI
<i>anni</i>	<i>m<sup>3</sup>/s</i>	<i>m<sup>3</sup>/s</i>
5	985	-
10	1265	-
20	1535	1530
50	1883	-
100	2150	2000
200	2400	2300
500	2745	2600

I valori di scabrezza dell'alveo sono stati tarati in base alla conoscenza delle condizioni attuali del corso d'acqua e attraverso un confronto con il modello implementato nel citato studio del 2002 da Roveda e Associati S.r.l.. Sono stati adottati valori variabili tra  $33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  (per il tratto di monte con alveo artificiale in cls) e  $17 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  (tratto di valle).

## 8.2 RISULTATI DELLE ELABORAZIONI OTTENUTE

### 8.2.1 SIMULAZIONI NELLO STATO DI FATTO

TABELLA 8-3 LIVELLI IDROMETRICI RIO NEGRARO (Q20) NELLO STATO DI FATTO PER DIVERSE CONDIZIONE DI VALLE

Sezione	Q di progetto	Livelli idrometrici	Livelli idrometrici	Livelli idrometrici	Livelli idrometrici	Livelli idrometrici	Livelli idrometrici
		Q20Negraro-Q200Scrivia	Q20Negraro-Q100Scrivia	Q20Negraro-Q50Scrivia	Q20Negraro-Q20Scrivia	Q20Negraro-Q10Scrivia	Q20Negraro-Q5Scrivia
	[m³/s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
4	20.37	199.5	199.5	199.5	199.5	199.5	199.5
14	20.37	197.07	197.07	197.07	197.07	197.07	197.07
18	20.37	196.63	196.63	196.63	196.63	196.63	196.63
20	20.37	196.04	196.04	196.04	196.04	196.04	196.04
28	21.37	195.14	195.14	195.14	195.14	195.14	195.14
Monte Ponte A7	21.37	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82	194.82
Valle Ponte A7	21.37	194.43	194.43	194.43	194.43	194.43	194.43
30	21.37	194.28	194.28	194.28	194.28	194.28	194.28
37	23.37	193.95	193.95	193.95	193.95	193.95	193.95
43	23.37	193.73	193.73	193.73	193.73	193.73	193.73
50	23.37	193.29	193.28	193.27	193.27	193.28	193.27
58	23.37	192.8	192.73	192.69	192.69	192.73	192.69
59	23.37	192.69	192.59	192.53	192.53	192.59	192.53
60	23.37	192.64	192.53	192.46	192.46	192.53	192.46
Monte Ponte Via Fabbriche	23.37	192.63	192.53	192.46	192.45	192.45	192.45
Valle Ponte Via Fabbriche	23.37	192.58	192.46	192.38	192.38	192.38	192.38
61	23.37	192.53	192.4	192.29	192.29	192.4	192.29
63	23.37	192.45	192.26	192.06	192.06	192.26	192.06
66	23.37	192.44	192.12	191.52	191.53	192.12	191.52
69	23.37	192.44	192.1	191.36	191.39	192.1	191.36
80	23.37	192.45	192.12	190.57	191.24	192.12	190.57
82	23.37	192.44	192.11	190.45	191.23	192.11	190.45

FIGURA 8-1 – ANDAMENTO DEI PROFILI DI RIGURGITO NELLO STATO DI FATTO (Q20NEGRARO)

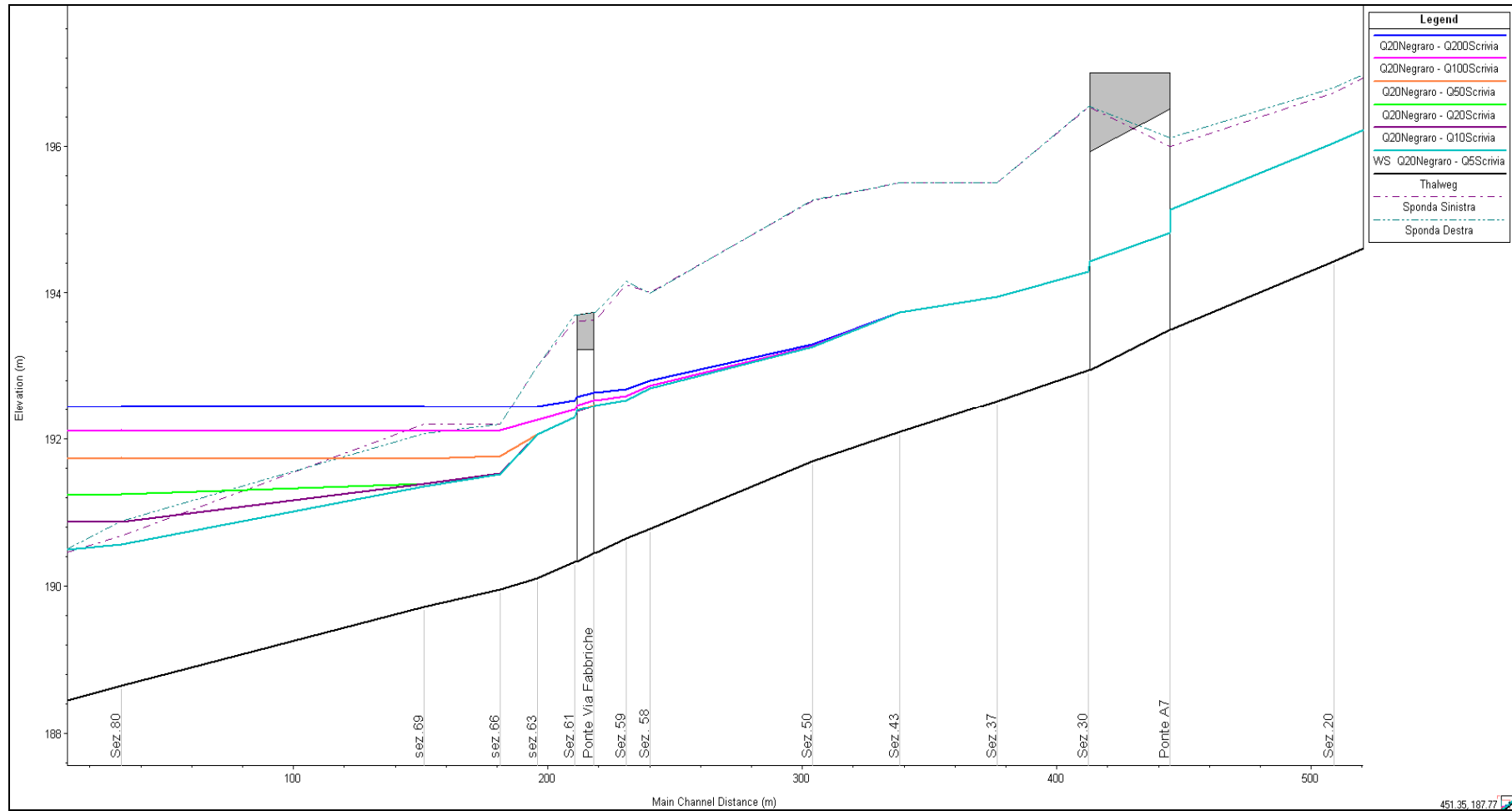


TABELLA 8-4 LIVELLI IDROMETRICI RIO NEGRARO (Q100) NELLO STATO DI FATTO PER LE DIVERSE CONFIGURAZIONI ANALIZZATE

Sezione	Q di progetto	Livelli idrometrici Q100Negraro-Q200Scrvia	Livelli idrometrici Q100Negraro-Q100Scrvia	Livelli idrometrici Q100Negraro-Q50Scrvia	Livelli idrometrici Q100Negraro-Q20Scrvia	Livelli idrometrici Q100Negraro-Q10Scrvia	Livelli idrometrici Q100Negraro-Q5Scrvia
	[m <sup>3</sup> /s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
4	26.36	199.74	199.74	199.74	199.74	199.74	199.74
14	26.36	197.31	197.31	197.31	197.31	197.31	197.31
18	26.36	196.87	196.87	196.87	196.87	196.87	196.87
20	26.36	196.28	196.28	196.28	196.28	196.28	196.28
28	27.56	195.49	195.49	195.49	195.49	195.49	195.49
Monte Ponte A7	27.56	195.1	195.1	195.1	195.1	195.1	195.1
Valle Ponte A7	27.56	194.7	194.7	194.7	194.7	194.7	194.7
30	27.56	194.52	194.52	194.52	194.52	194.52	194.52
37	29.96	194.27	194.27	194.27	194.27	194.27	194.27
43	29.96	194.09	194.09	194.09	194.09	194.09	194.09
50	29.96	193.65	193.64	193.64	193.64	193.64	193.64
58	29.96	193.08	193.06	193.06	193.06	193.06	193.06
59	29.96	192.89	192.87	192.85	192.86	192.87	192.85
60	29.96	192.8	192.78	192.76	192.77	192.78	192.76
Monte Ponte Via Fabbriche	29.96	192.8	192.77	192.75	192.76	192.75	192.75
Valle Ponte Via Fabbriche	29.96	192.71	192.68	192.66	192.67	192.66	192.66
61	29.96	192.6	192.56	192.54	192.55	192.56	192.54
63	29.96	192.46	192.37	192.32	192.34	192.37	192.32
66	29.96	192.44	192.13	191.74	191.69	192.13	191.74
69	29.96	192.45	192.09	191.63	191.49	192.09	191.63
80	29.96	192.45	192.12	190.65	191.26	192.12	190.65
82	29.96	192.44	192.11	190.45	191.23	192.11	190.45



FIGURA 8-2 – ANDAMENTO DEI PROFILI DI RIGURGITO NELLO STATO DI FATTO (Q100NEGRARO)

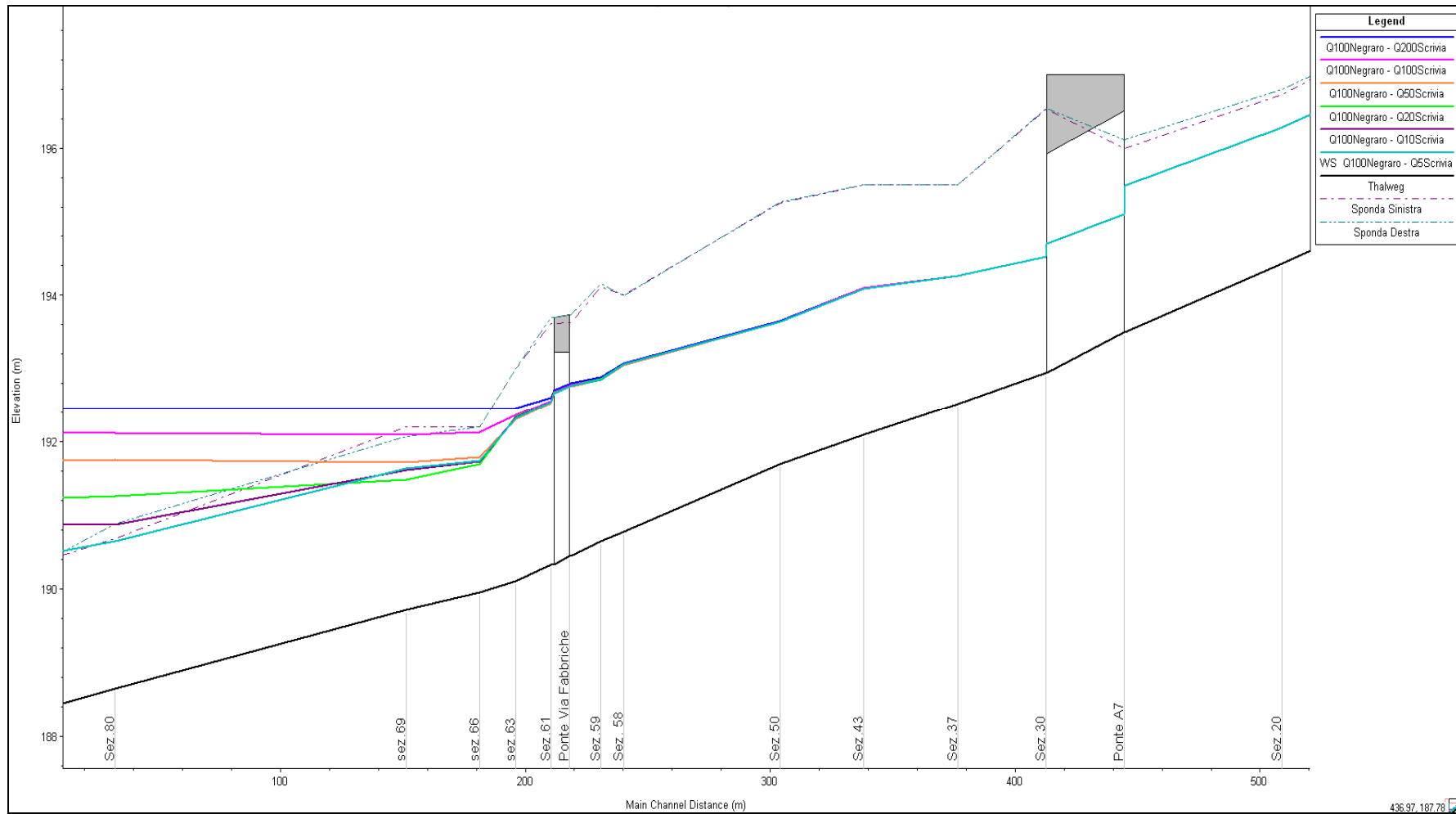
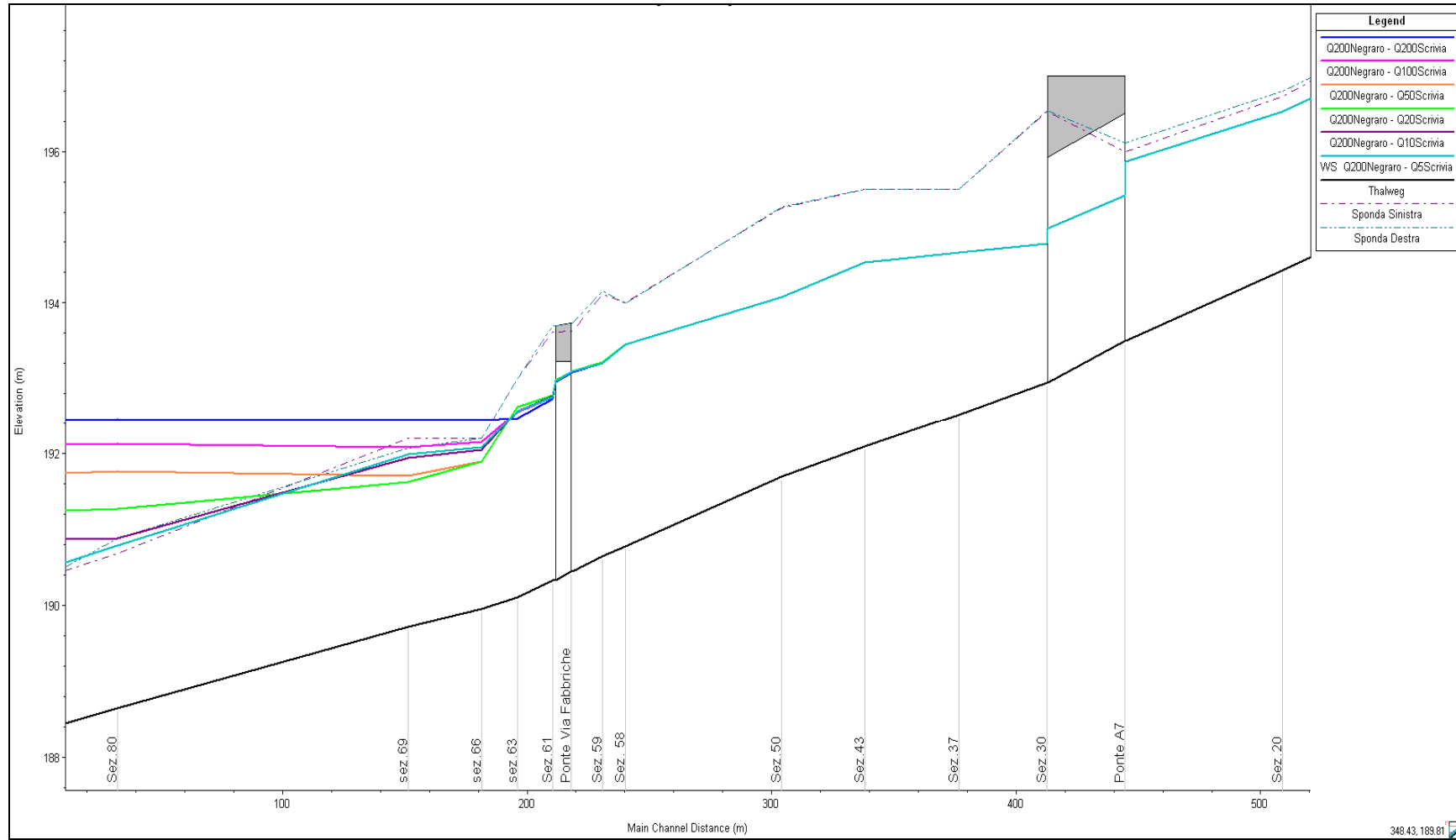


TABELLA 8-5 LIVELLI IDROMETRICI RIO NEGRARO (Q200) NELLO STATO DI FATTO PER LE DIVERSE CONFIGURAZIONI ANALIZZATE

Sezione	Q di progetto	Livelli idrometrici Q200Negraro-Q200Scrvia	Livelli idrometrici Q200Negraro-Q100Scrvia	Livelli idrometrici Q200Negraro-Q50Scrvia	Livelli idrometrici Q200Negraro-Q20Scrvia	Livelli idrometrici Q200Negraro-Q10Scrvia	Livelli idrometrici Q200Negraro-Q5Scrvia
	[m <sup>3</sup> /s]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]
4	33.3	199.98	199.98	199.98	199.98	199.98	199.98
14	33.3	197.55	197.55	197.55	197.55	197.55	197.55
18	33.3	197.11	197.11	197.11	197.11	197.11	197.11
20	33.3	196.52	196.52	196.52	196.52	196.52	196.52
28	34.8	195.87	195.87	195.87	195.87	195.87	195.87
Monte Ponte A7	34.8	195.42	195.42	195.42	195.42	195.42	195.42
Valle Ponte A7	34.8	194.99	194.99	194.99	194.99	194.99	194.99
30	34.8	194.79	194.79	194.79	194.79	194.79	194.79
37	37.8	194.67	194.67	194.67	194.67	194.67	194.67
43	37.8	194.53	194.53	194.53	194.53	194.53	194.53
50	37.8	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07	194.07
58	37.8	193.45	193.45	193.45	193.46	193.45	193.45
59	37.8	193.2	193.2	193.2	193.21	193.2	193.2
60	37.8	193.09	193.09	193.09	193.1	193.09	193.09
Monte Ponte Via Fabbriche	37.8	193.08	193.08	193.08	193.08	193.08	193.08
Valle Ponte Via Fabbriche	37.8	192.96	192.96	192.97	192.97	192.96	192.96
61	37.8	192.74	192.76	192.76	192.78	192.76	192.76
63	37.8	192.47	192.56	192.56	192.62	192.56	192.56
66	37.8	192.45	192.15	192.09	191.89	192.15	192.09
69	37.8	192.45	192.08	191.99	191.62	192.08	191.99
80	37.8	192.46	192.13	190.79	191.27	192.13	190.79
82	37.8	192.44	192.11	190.45	191.23	192.11	190.45

FIGURA 8-3 – ANDAMENTO DEI PROFILI DI RIGURGITO NELLO STATO DI FATTO (Q200NEGRARO)



Dal confronto con i profili di rigurgito ottenuti nello studio precedentemente citato (Roveda e Associati), è emersa una sostanziale convergenza a monte del ponte di Via delle Fabbriche. Si misura un'altezza idrometrica leggermente maggiore rispetto a quelle ricavate nel modello del 2002, probabilmente per valutazioni differenti sui valori di scabrezza.

A valle del ponte di Via delle Fabbriche invece la differenza è sostanziale, in quanto le condizioni di valle imposte nel modello di Roveda e Associati sono quelle ricavate dal PAI che espongono valori idrometrici più alti rispetto a quelli ricavati nel presente studio di circa 2 metri, a parità di portata bisecolare in transito. Con ogni probabilità questa evidente diversità è dovuta ad una sostanziale differenza topografica. All'epoca della redazione delle fasce (2001) la configurazione morfologica del torrente Scrivia veniva descritta in maniera sommaria, poi grazie al DTM fornito dalla stessa Autorità di Bacino (2008) e dai rilievi topografici eseguiti da AIPO (2004) questa lacuna è stata colmata e di riflesso ciò ha permesso di eseguire stime idrauliche più precise.

### 8.2.2 SIMULAZIONI NELLO STATO DI PROGETTO

Nello stato di progetto viene introdotto l'argine in sponda sinistra del Rio Negraro. Di seguito si espongono a confronto i risultati delle diverse simulazione nei casi estremi: Rio Negraro TR= 20 e 200 anni, Torrente Scrivia TR= 20 e 200 anni

**TABELLA 8-6 LIVELLI IDROMETRICI RIO NEGRARO (Q20) A CONFRONTO SF-SP**

Sezione	Livelli idrometrici Q20Negraro-Q200Scrivia (SF)	Livelli idrometrici Q20Negraro-Q200Scrivia (SP)	Differenza (SP-SF)
	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	
4	199.5	199.5	0
14	197.07	197.07	0
18	196.63	196.63	0
20	196.04	196.04	0
28	195.14	195.14	0
Monte Ponte A7	194.82	194.82	0
Valle Ponte A7	194.43	194.43	0
30	194.28	194.28	0
37	193.95	193.95	0
43	193.73	193.73	0
50	193.29	193.3	0.01
58	192.8	192.81	0.01
59	192.69	192.69	0
60	192.64	192.64	0
Monte Ponte Via Fabbriche	192.63	192.63	0
Valle Ponte Via Fabbriche	192.58	192.58	0
61	192.53	192.54	0.01
63	192.45	192.46	0.01
66	192.44	192.45	0.01
69	192.44	192.45	0.01
80	192.45	192.44	-0.01
82	192.44	192.44	0

TABELLA 8-7 LIVELLI IDROMETRICI RIO NEGRARO (Q200) A CONFRONTO SF-SP

Sezione	Livelli idrometrici Q200Negraro- Q20Scrvia (SF)	Livelli idrometrici Q200Negraro- Q20Scrvia (SP)	Differenza (SP- SF)
	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	
4	199.98	199.98	0
14	197.55	197.55	0
18	197.11	197.11	0
20	196.52	196.52	0
28	195.87	195.87	0
<b>Monte Ponte A7</b>	195.42	195.42	0
<b>Valle Ponte A7</b>	194.99	194.99	0
30	194.79	194.79	0
37	194.67	194.67	0
43	194.53	194.53	0
50	194.07	194.07	0
58	193.46	193.46	0
59	193.21	193.21	0
60	193.1	193.1	0
<b>Monte Ponte Via Fabbriche</b>	193.08	193.08	0
<b>Valle Ponte Via Fabbriche</b>	192.97	192.96	-0.01
61	192.78	192.78	0
63	192.62	192.62	0
66	191.89	191.9	0.01
69	191.62	191.69	0.07
80	191.27	191.26	-0.01
82	191.23	191.23	0

TABELLA 8-8 LIVELLI IDROMETRICI RIO NEGRARO (Q200) A CONFRONTO SF-SP

Sezione	Livelli idrometrici Q200Negraro- Q200Scrvia (SF)	Livelli idrometrici Q200Negraro- Q200Scrvia (SP)	Differenza (SP- SF)
	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	
4	199.98	199.98	0
14	197.55	197.55	0
18	197.11	197.11	0
20	196.52	196.52	0
28	195.87	195.87	0
Monte Ponte A7	195.42	195.42	0
Valle Ponte A7	194.99	194.99	0
30	194.79	194.79	0
37	194.67	194.67	0
43	194.53	194.53	0
50	194.07	194.07	0
58	193.45	193.45	0
59	193.2	193.2	0
60	193.09	193.09	0
Monte Ponte Via Fabbriche	193.08	193.08	0
Valle Ponte Via Fabbriche	192.96	192.96	0
61	192.74	192.74	0
63	192.47	192.49	0.02
66	192.45	192.46	0.01
69	192.45	192.46	0.01
80	192.46	192.45	-0.01
82	192.44	192.44	0

Si può notare come la realizzazione dell'argine non comporti aumenti apprezzabili delle altezze idrometriche del Rio in qualunque sezione esaminata.

## 9 VERIFICA AL SIFONAMENTO E INTERAZIONE CON LE ACQUE SOTTERRANEE

Ai fini della verifica della stabilità del rilevato arginale in progetto anche in occasione delle sollecitazioni più critiche, è stato implementato uno studio di filtrazione mediante modellistica numerica agli elementi finiti. Tale analisi consente, da un lato, di verificare il grado di sicurezza dell'opera rispetto a potenziali fenomeni di sifonamento al piede della stessa, e dall'altro di definire i carichi idraulici, le velocità di flusso attraverso l'argine e l'andamento della linea di filtrazione durante la propagazione della piena di Progetto (TR=200 anni).

Per impostare la modellazione in oggetto ci si è riferiti alla Relazione Geologica eseguita da GeoStudi S.r.l..

In particolare, sono state ricavate indicazioni circa la stratigrafia del sedime del presidio idraulico e l'andamento della falda nei terreni interessati dall'analisi di infiltrazione.

Le sezioni 'critiche' dell'argine verificate a sifonamento sono le sezioni 1 e 2 di progetto in quanto maggiormente sollecitate.

Secondo quanto ricavato dalla Relazione Geologica *“il presidio verrà realizzato sui depositi alluvionali quaternari postglaciali del torrente Scrivia costituiti da ghiaie e ghiaie sabbiose ricoperte da uno strato di limo-sabbioso e limo-argilloso con spessore variabile da 0.5 a 1.0 m, verificato anche grazie ai sondaggi con escavatore eseguiti in data 10/02/2011 a scopo di verifica/caratterizzazione preventiva del tracciato arginale”*.

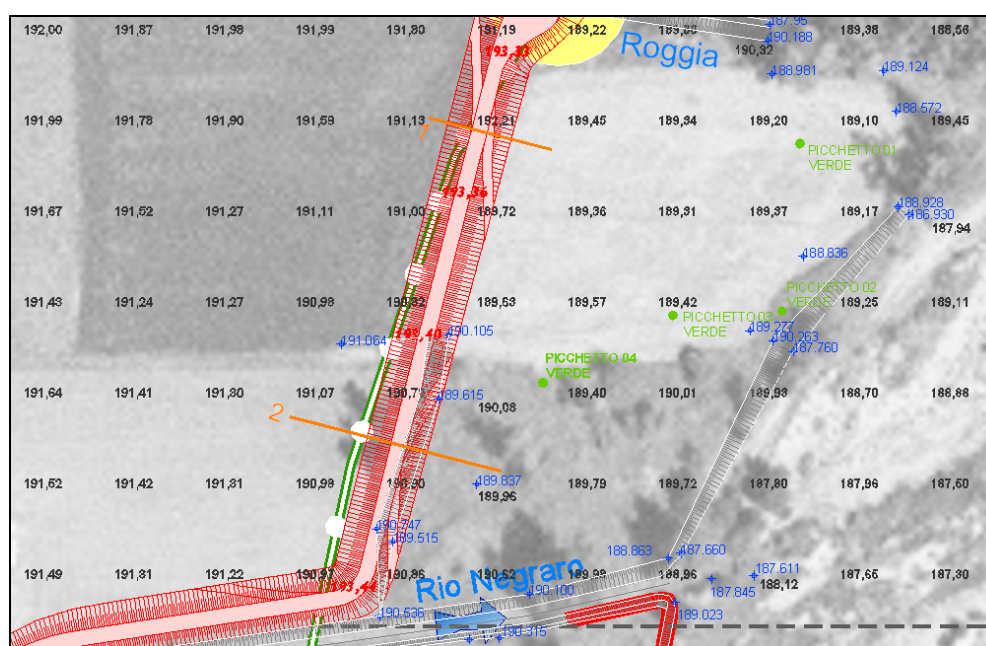
Non avendo a disposizione, in questa fase progettuale, indicazioni puntuali circa la permeabilità dei vari strati di terreno presenti, sono stati usati valori caratteristici da letteratura, confrontabili con i valori determinati per i terreni in corrispondenza dello stabilimento Ex-Ecolibarna dal Piano di Caratterizzazione ARPA del 2006 e dal Piano di caratterizzazione del Politecnico di Torino del 2010 (vedi Relazione Geologica).



TABELLA 9-1 VALORI DI PERMEABILITÀ IN M/SEC

GHIAIA GROSSOLANA	$10^{-1} - 10^{-2}$
SABBIE E GHIAIE	$10^{-2} - 10^{-5}$
SABBIE FINI E LIMI	$10^{-5} - 10^{-9}$
ARGILLE, LIMI GLACIALI	$10^{-9} - 10^{-13}$

FIGURA 9-1 – UBICAZIONE SEZIONI VERIFICATE E SONDAGGI ESPLORATIVI



Per effettuare le simulazioni dei processi di infiltrazione è stato impiegato il modello SEEP/W della Geo-Slope, un software agli elementi finiti per l'analisi della filtrazione e delle spinte dovute alle pressioni nei mezzi porosi, sia in condizioni sature che insature, in modalità permanente o variabili nel tempo.

Come precedentemente illustrato, per la piena di progetto ( $T_r=200$  anni), il Torrente Scrivia raggiunge una quota di 192.33 m.s.m. in corrispondenza della sez.1 dell'argine e la quota di 192.41 m.s.m. in corrispondenza della sez. 2. Le analisi sono quindi state effettuate prendendo in esame questa situazione di progetto in regime stazionario.

La schematizzazione del problema geotecnico è stata effettuata, per le due sezioni verificate, secondo lo schema illustrato nelle figure seguenti, che prevede il corpo arginale delle dimensioni specificate negli elaborati grafici di progetto, poggiante sull'attuale stratigrafia esistente. La sommità arginale, nelle rappresentazioni grafiche, viene impostata un metro sopra la massima quota raggiunta dallo Scrivia nelle due sezioni considerate.

FIGURA 9-2 – SCHEMATIZZAZIONE DELLA CONFIGURAZIONE GEOTECNICA ANALIZZATA PER LA SEZIONE 2

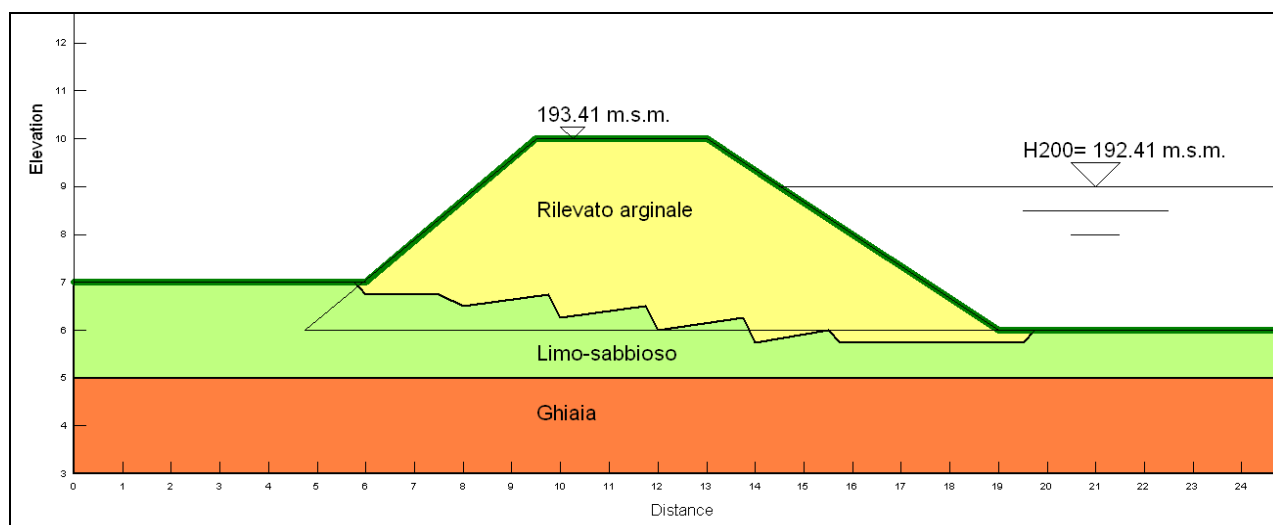
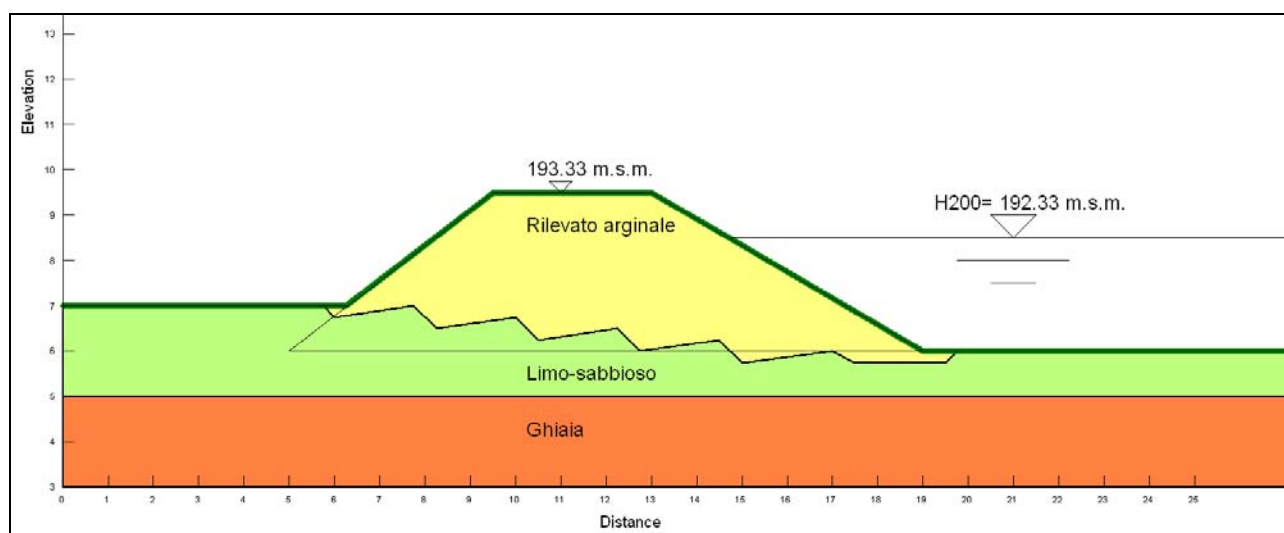


FIGURA 9-3 – SCHEMATIZZAZIONE DELLA CONFIGURAZIONE GEOTECNICA ANALIZZATA PER LA SEZIONE 1



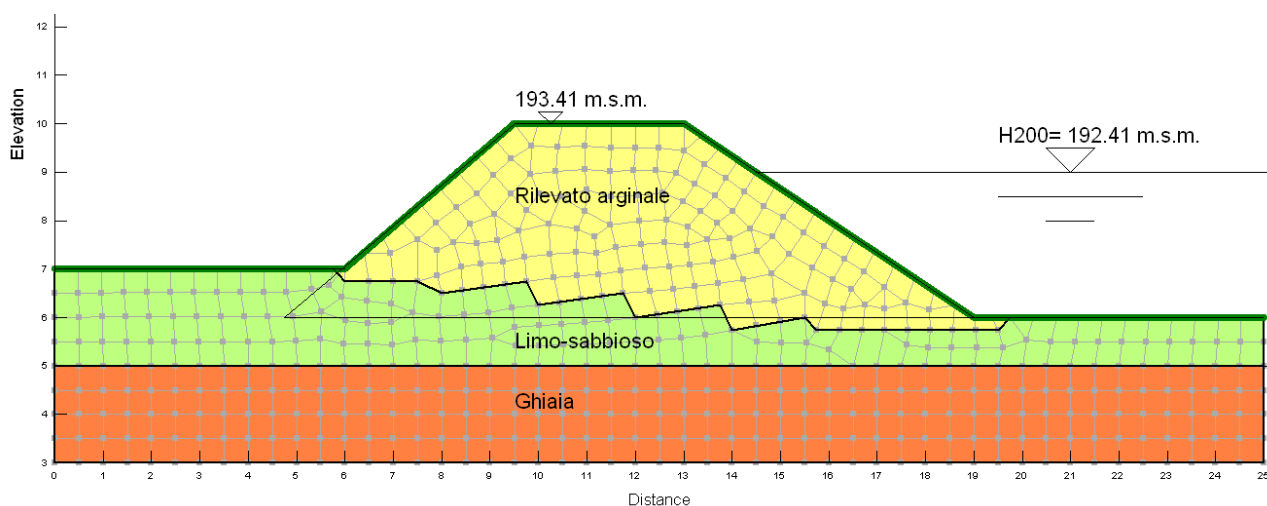
I risultati delle verifiche vengono riportati di seguito per ciascuna delle configurazioni esaminate.

## 9.1 VERIFICA DELLA SEZIONE 2

La sezione 2 è rappresentativa del tratto di maggior altezza fuori terra del rilevato arginale, e costituisce la situazione più gravosa dal punto di vista delle differenze di carico idrostatico tra monte e valle della struttura, con conseguenti maggiori entità dei fenomeni di filtrazione.

A livello modellistico, l'analisi del problema di filtrazione è avvenuta impostando una mesh di calcolo bidimensionale costituita da 540 nodi e da 494 elementi di forma quadrangolare o triangolare, come illustrato in Figura 9-4.

**FIGURA 9-4 – SEZIONE 2 - SCHEMATIZZAZIONE MODELLISTICA DEL RILEVATO ARGINALE E DEL SUBSTRATO CON INDICAZIONE DELLA MESH DI CALCOLO**



Le condizioni al contorno coincidono con la linea piezometrica evidenziata dall'attuale falda freatica, riscontrata nel sito in esame ad una profondità media di circa 187.50 m s.l.m. Successivamente, è stato imposto l'aumento del carico idrostatico a monte dell'argine a causa dell'aumento dei livelli del Torrente Scrivia, riproducendo quanto avviene effettivamente in occasione della piene di riferimento. Le funzioni che legano la permeabilità ed il contenuto volumetrico di acqua in funzione della suzione di matrice del terreno per i vari strati sono state definite basandosi sui risultati delle indagini geologiche e tramite correlazioni con i numerosi dati disponibili in letteratura. Nei grafici seguenti sono illustrati i risultati delle elaborazioni in occasione della piena di progetto bisecolare.

La linea di imbibizione in caso di piena con  $Tr=200$  anni mantiene comunque un franco minimo di 1 m rispetto al piede del rilevato arginale (vedi Figura 9-5).

FIGURA 9-5 – SEZIONE 2 - LIVELLO PIEZOMETRICO E ANDAMENTO LINEE DI FLUSSO PER PIENA DEL T. SCRIVIA TR 200.

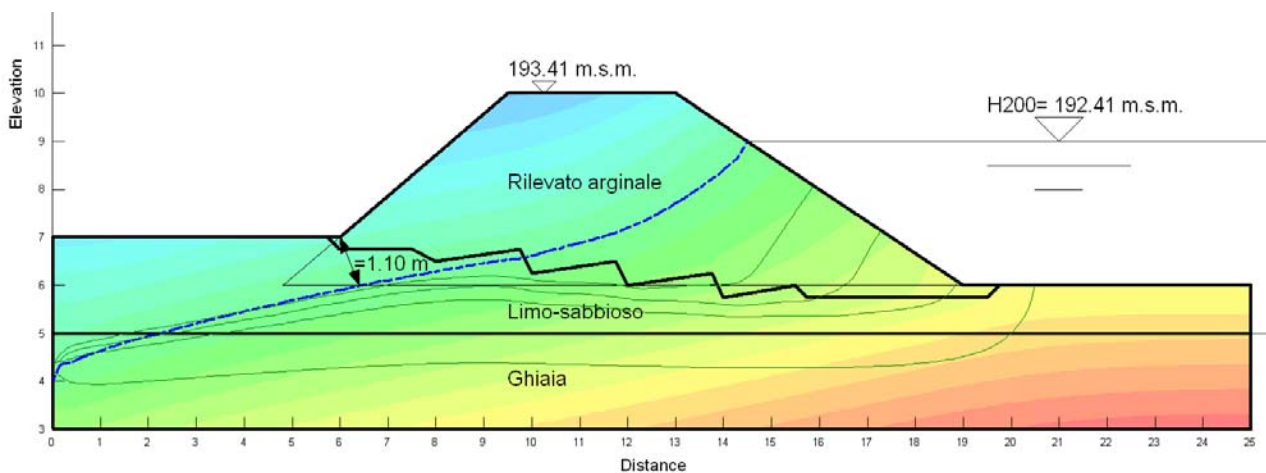
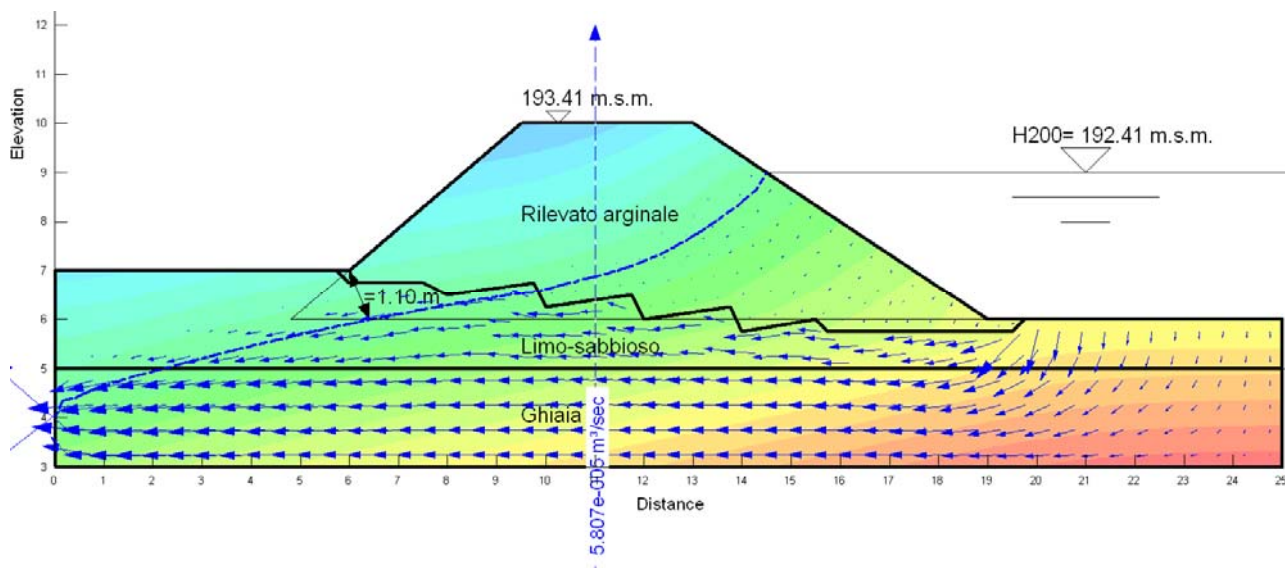


FIGURA 9-6 – SEZIONE 2 - LIVELLO PIEZOMETRICO E DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITÀ DI FILTRAZIONE PER PIENA DEL T. SCRIVIA TR 200.

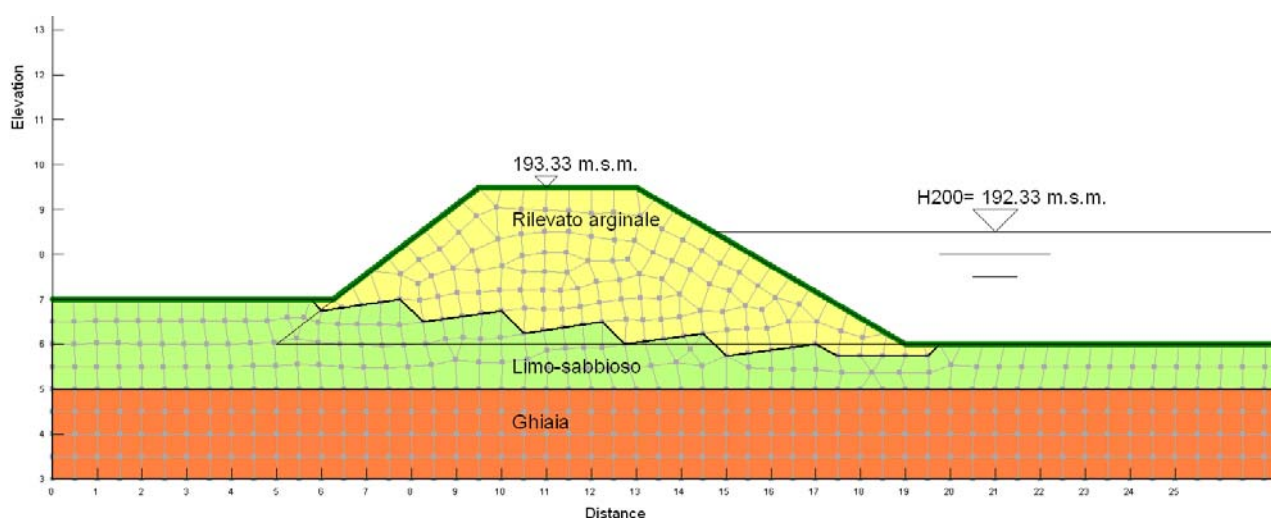


## 9.2 VERIFICA DELLA SEZIONE 1

La sezione 1 differisce dalla sezione 2 solo per quanto riguarda la geometria del problema analizzato, mentre tutti i parametri idraulici dei materiali e le condizioni al contorno rimangono le medesime data la modesta distanza tra le due sezioni..

In questo caso, l'analisi modellistica è avvenuta impostando una mesh di calcolo bidimensionale costituita da 554 nodi e da 504 elementi di forma quadrangolare o triangolare, come illustrato in Figura 9-7.

**FIGURA 9-7 – SEZIONE 1 - SCHEMATIZZAZIONE MODELLISTICA DEL RILEVATO ARGINALE E DEL SUBSTRATO CON INDICAZIONE DELLA MESH DI CALCOLO**



Nei grafici seguenti sono illustrati i risultati delle elaborazioni in occasione della piena di progetto bisecolare.

Anche per la sezione 1 la linea di imbibizione in caso di piena con  $Tr=200$  anni mantiene comunque un franco minimo di 1 m rispetto al piede del rilevato arginale (vedi Figura 9-8).

FIGURA 9-8 – SEZIONE 1 - LIVELLO PIEZOMETRICO E ANDAMENTO LINEE DI FLUSSO PER PIENA DELLO SCRIVIA TR 200.

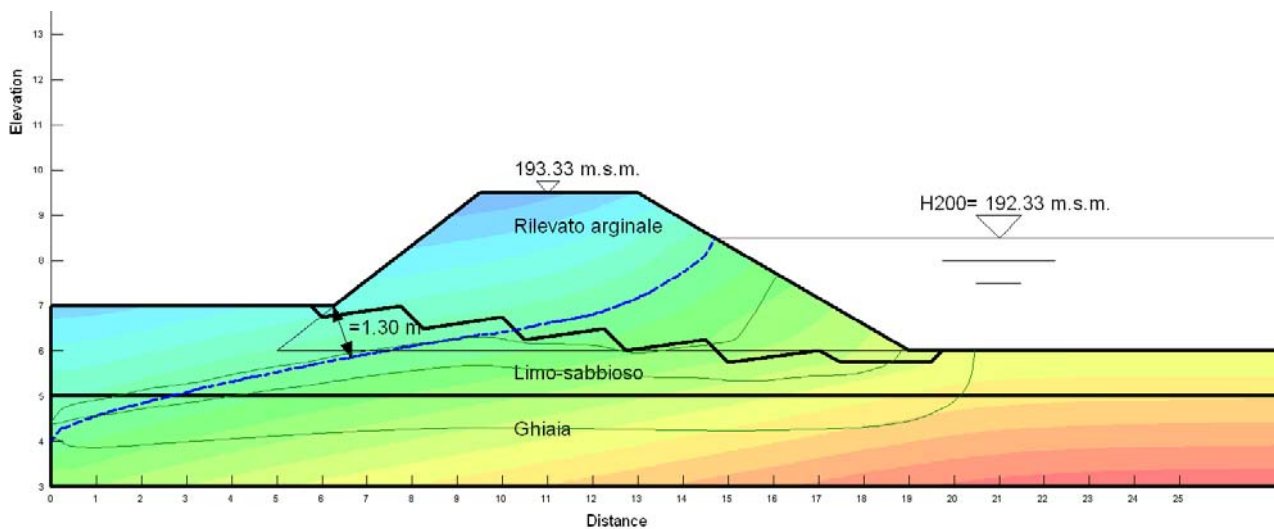
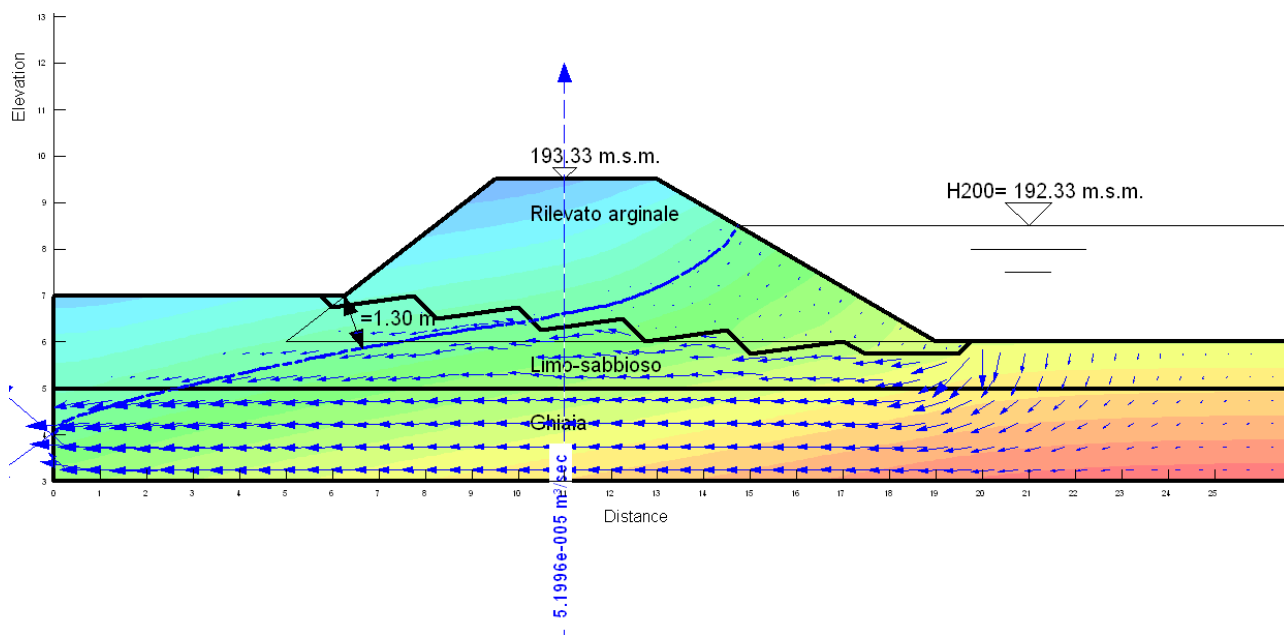


FIGURA 9-9 – SEZIONE 1 - LIVELLO PIEZOMETRICO E DISTRIBUZIONE DELLE VELOCITÀ DI FILTRAZIONE PER PIENA DEL T. SCRIVIA TR 200.





## 10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Gli studi eseguiti a corredo del presente progetto, hanno permesso di giungere alle seguenti conclusioni:

- a) per le abitazioni poste ad est della strada comunale del Fabbricone si riesce a raggiungere un ottimo grado di mitigazione del rischio di allagamento attraverso la realizzazione di un presidio arginale che presenta un franco idraulico di 1,0 metro rispetto l'altezza idrometrica che si instaura durante la propagazione di un onda di piena bisecolare;
- b) per le aree in destra rio Negraro, attraverso la realizzazione di un presidio provvisorio, si riduce il rischio di allagamento fino a valori di TR=200 anni. Si tratta di un presidio che non presuppone nessun tipo di scavo e quindi di asportazione di sostanze contaminanti, si sviluppa per circa 150m collegandosi ai due terrazzi sopraelevati presenti a monte e valle dello stesso;
- c) sempre per le aree in destra rio Negraro, l'abbancamento provvisorio di massi a pezzatura grossolana contro la sponda in frodo, consente di mitigare il grado di rischio all'erosione della sponda stessa durante le piene e quindi consente di evitare il collasso in acqua delle materie poste a tergo di dubbia natura e qualità, come evidenziato dall'indagine macroscopica eseguita nell'ottobre del 2010.