

AUTOSTRADA (A11) : FIRENZE-PISA NORD

AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA DEL TRATTO FIRENZE - PISTOIA

PROGETTO DEFINITIVO

A1 - CORPO AUTOSTRADALE

IDROLOGIA - IDRAULICA

INTERFERENZE IDROGRAFICHE E COMPATIBILITA' IDRAULICA

RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA

Ing. Maurizio Torresi
Ord. Ingg. Milano N. 16492

RESPONSABILE UFFICIO IDR

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Andrea Tanzi
Ord. Ingg. Parma N. 1154


RESPONSABILE AREA DI PROGETTO FIRENZE

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Maurizio Torresi
Ord. Ingg. Milano N. 16492

RESPONSABILE FUNZIONE STP

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO					DATA: MAGGIO 2011	REVISIONE	
	DIRETTORIO		FILE				n.	data
—	codice commessa	N.Prog.	unita'	n. progressivo				
—	11110702	IDR0001	—	—		SCALA: varie		

 spea autostrade	Ingegneria europea	COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO Ing. Luca Scarafia	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	—
			ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	—
CONSULENZA A CURA DI :	—	IL RESPONSABILE UFFICIO/UNITA'	—	—

VISTO DEL COORDINATORE GENERALE SPEA DIREZIONE OPERATIVA PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE LAVORI ASPI Ing. Alberto Selleri	VISTO DEL COMMITTENTE 	VISTO DEL CONCEDENTE 
---	---	--

INDICE

1	PREMESSA	4
2	METODOLOGIE DI ANALISI DI CALCOLO ADOTTATE	6
2.1	Idrologia	6
2.2	Idraulica	8
2.2.1	<i>Verifiche idrauliche sui corsi d'acqua principali e secondari</i>	8
2.2.2	<i>Verifiche idrauliche sui corsi d'acqua minori – metodo U.S.G.S.</i>	11
3	DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO PER I CORSI D'ACQUA MINORI	15
3.1	Pluviometria	15
3.2	Delimitazione dei bacini minori e determinazione delle caratteristiche fisiografiche	15
3.3	Applicazione Metodo Razionale	21
3.3.1	<i>Determinazione del tempo di corrivazione</i>	21
3.3.2	<i>Determinazione del coefficiente di deflusso</i>	27
3.3.3	<i>Determinazione delle portate</i>	28
4	ANALISI IDRAULICA SUI CORSI D'ACQUA PRINCIPALI E SECONDARI	33
4.1	Fosso Reale	33
4.1.1	<i>Schematizzazione del modello geometrico</i>	33
4.1.2	<i>Condizioni al contorno</i>	37
4.1.3	<i>Coefficienti di scabrezza</i>	37
4.1.4	<i>Verifica idraulica dello stato attuale</i>	37
4.1.5	<i>Verifica idraulica dello stato di progetto</i>	42
4.2	Torrente Garille	46
4.2.1	<i>Schematizzazione del modello geometrico</i>	46
4.2.2	<i>Condizioni al contorno</i>	48
4.2.3	<i>Coefficienti di scabrezza</i>	48
4.2.4	<i>Verifica idraulica dello stato attuale</i>	48
4.2.5	<i>Verifica idraulica dello stato di progetto</i>	52
4.3	Torrente Marina	55

4.3.1	<i>Schematizzazione del modello geometrico</i>	55
4.3.2	<i>Condizioni al contorno</i>	57
4.3.3	<i>Coefficienti di scabrezza</i>	58
4.3.4	<i>Verifica idraulica dello stato attuale</i>	58
4.3.5	<i>Verifica idraulica dello stato di progetto</i>	59
4.4	Torrente Marinella	62
4.4.1	<i>Schematizzazione del modello geometrico</i>	62
4.4.2	<i>Condizioni al contorno</i>	64
4.4.3	<i>Coefficienti di scabrezza</i>	65
4.4.4	<i>Verifica idraulica dello stato attuale</i>	65
4.4.5	<i>Verifica idraulica dello stato di progetto</i>	71
4.5	Fiume Bisenzio	75
4.5.1	<i>Schematizzazione del modello geometrico</i>	75
4.5.2	<i>Condizioni al contorno</i>	77
4.5.3	<i>Coefficienti di scabrezza</i>	78
4.5.4	<i>Verifica idraulica dello stato attuale</i>	78
4.5.5	<i>Verifica idraulica dello stato di progetto</i>	83
4.6	Torrente Iolo	87
4.6.1	<i>Schematizzazione del modello geometrico</i>	87
4.6.2	<i>Condizioni al contorno</i>	89
4.6.3	<i>Coefficienti di scabrezza</i>	89
4.6.4	<i>Verifica idraulica dello stato attuale</i>	90
4.6.5	<i>Verifica idraulica dello stato di progetto</i>	93
4.7	Fosso Ficarello	97
4.7.1	<i>Schematizzazione del modello geometrico</i>	97
4.7.2	<i>Condizioni al contorno</i>	98
4.7.3	<i>Coefficienti di scabrezza</i>	99
4.7.4	<i>Verifica idraulica dello stato attuale</i>	99
4.7.5	<i>Verifica idraulica dello stato di progetto</i>	103
4.8	Torrente Bagnolo Bardena	106
4.8.1	<i>Schematizzazione del modello geometrico</i>	106
4.8.2	<i>Condizioni al contorno</i>	108
4.8.3	<i>Coefficienti di scabrezza</i>	108

4.8.4	<i>Verifica idraulica dello stato attuale</i>	109
4.8.5	<i>Verifica idraulica dello stato di progetto</i>	113
4.9	Torrente Calice	117
4.9.1	<i>Schematizzazione del modello geometrico</i>	117
4.9.2	<i>Condizioni al contorno</i>	119
4.9.3	<i>Coefficienti di scabrezza</i>	119
4.9.4	<i>Verifica idraulica dello stato attuale</i>	120
4.9.5	<i>Verifica idraulica dello stato di progetto</i>	124
4.10	Torrente Brana	128
4.10.1	<i>Schematizzazione del modello geometrico</i>	128
4.10.2	<i>Condizioni al contorno</i>	130
4.10.3	<i>Coefficienti di scabrezza</i>	131
4.10.4	<i>Verifica idraulica dello stato attuale</i>	131
4.10.5	<i>Verifica idraulica dello stato di progetto</i>	135
4.11	Torrente Brusigliano	139
4.11.1	<i>Schematizzazione del modello geometrico</i>	139
4.11.2	<i>Condizioni al contorno</i>	145
4.11.3	<i>Coefficienti di scabrezza</i>	146
4.11.4	<i>Verifica idraulica dello stato attuale</i>	147
4.11.5	<i>Verifica idraulica dello stato di progetto</i>	153
5	ANALISI IDRAULICA SUI CORSI D'ACQUA MINORI	157
6	PROGETTO DI RECUPERO DEI VOLUMI SOTTRATTI ALL'ESONDAZIONE	172
6.1	Quadro conoscitivo di base	172
6.1.1	<i>Carta degli interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico nel bacino dell'Arno</i>	173
6.2	Calcolo dei volumi sottratti all'esonazione	174
6.2.1	<i>Tratto Firenze – Pistoia (km 0+621 – 27+390)</i>	174
6.2.2	<i>Tratto Monsummano – Montecatini (km 36+660 – 38+748)</i>	177

1 **PREMESSA**

Nell'ambito della progettazione degli interventi di ampliamento alla terza corsia lungo la direttrice autostradale A11 Firenze-Pisa Nord, nel tratto compreso tra Firenze e Pistoia (dal km 0+621 – al km 27+392), è stato eseguito uno Studio idrologico e idraulico finalizzato all'analisi delle interferenze idrografiche.

I corsi d'acqua oggetto di Studio sono stati classificati come principali, secondari e minori in funzione delle dimensioni delle loro opere di attraversamento e delle superfici dei bacini idrografici sottesi all'A11.

L'obiettivo della presente relazione è quello di verificare idraulicamente che l'ampliamento alla terza corsia dell'A11, non genera un peggioramento delle condizioni di deflusso in piena dei corsi d'acqua rispetto allo stato attuale.

Di seguito si allega l'elenco dei corsi d'acqua principali e secondari, la loro progressiva di intersezione con l'A11 ed i Consorzi di Bonifica su di essi competenti.

Corso d'acqua principale	Progressiva (km)	Consorzio competente
torrente Marina	5+950	Consorzio di Bonifica Area Fiorentina
fiume Bisenzio	8+366	Consorzio di Bonifica Area Fiorentina/Consorzio di Bonifica Ombrone Pistoiese e Bisenzio
fosso Ficarello	17+165	Consorzio di Bonifica Ombrone Pistoiese e Bisenzio
torrente Bagnolo Bardena	17+653	Consorzio di Bonifica Ombrone Pistoiese e Bisenzio
torrente Calice	18+133	Consorzio di Bonifica Ombrone Pistoiese e Bisenzio
torrente Brana	20+860	Consorzio di Bonifica Ombrone Pistoiese e Bisenzio

Corso d'acqua secondario	Progressiva (km)	Consorzio competente
fosso Reale	1+948	Consorzio di Bonifica Area Fiorentina
torrente Garille Nuovo	5+798	Consorzio di Bonifica Area Fiorentina
torrente Marinella	7+208	Consorzio di Bonifica Area Fiorentina
torrente Iolo	15+465	Consorzio di Bonifica Ombrone Pistoiese e Bisenzio
torrente Brusigliano	25+222 - 26+421	Consorzio di Bonifica Ombrone Pistoiese e Bisenzio

Le analisi redatte per il Progetto di ampliamento dell'A11 recepiscono i parametri idrologici ed i valori di portata risultanti dalla Pianificazione Vigente e dagli Studi relativi al rischio idraulico, eseguiti dai Consorzi di Bonifica e dai Comuni competenti sul territorio in cui si sviluppa l'autostrada A11 oggetto di ampliamento; in particolare si sono consultati i seguenti documenti:

- "Rischio idraulico sul territorio comunale di Campi Bisenzio", redatto a cura dell'Università di Pisa;
- "Studio idrologico-idraulico finalizzato alla valutazione del rischio idraulico e alla individuazione degli interventi di sistemazione dei fiumi Brana, Bure e Stella in comune di Pistoia" – Comune di Pistoia - Servizi U.O. Protezione Civile;
- "Messa in sicurezza idraulica del torrente Brusigliano Lotti (1) Area Sub-Urbana, (2) Area a Nord della via Bonellina, (3) Drizzagno e SS.66 (4) Area Industriale, (5) Confluenza Ombrone" – Consorzio di Bonifica Ombrone Pistoiese e Bisenzio;
- "Interventi di sistemazione idraulica del fosso della Badia in Comune di Pistoia ed Agliana" – Consorzio Ombrone Pistoiese e Bisenzio;
- "Seconda tangenziale Ovest di Prato";
- "Studio idrologico e idraulico di alcuni corsi d'acqua nel territorio comunale di Montemurlo" – Provincia di Prato – Comune di Montemurlo.

2 **METODOLOGIE DI ANALISI DI CALCOLO ADOTTATE**

2.1 IDROLOGIA

Per quanto attiene ai corsi d'acqua **principali e secondari**, si sono acquisiti i valori di portata per tempo di ritorno assegnato (25, 50, 100 e 200 anni) dai 2 Consorzi di Bonifica su di essi competenti.

La portata di riferimento da utilizzare nelle verifiche idrauliche è quella a tempo di ritorno 200 anni; tale portata tuttavia per alcuni corsi d'acqua analizzati non è in grado di transitare all'interno dell'alveo canalizzato dagli argini continui presenti in destra e sinistra idraulica, per effetto della sua ridotta capacità di deflusso.

In questi casi pertanto si è assunta quale portata di riferimento quella in grado di transitare in sicurezza (con un franco residuo minimo rispetto alle quote arginali) nel tratto analizzato tramite modellistica numerica. Tale assunzione risulta valida in quanto la portata di esondazione per sormonto arginale allagherebbe le aree golenali adiacenti senza più rientrare in alveo, per effetto della presenza delle opere di contenimento dei livelli a carattere continuo.

Analoga metodologia è stata applicata per i corsi d'acqua per i quali i Consorzi non hanno fornito dati in corrispondenza della sezione di interesse per il presente studio. A tale proposito si precisa che lo scopo principale della presente analisi è soprattutto quello di valutare eventuali differenze, in termini di livelli idrici o velocità di deflusso, determinati dalla situazione di progetto rispetto allo stato di fatto.

La tabella di seguito allegata riporta per ciascuna asta fluviale i valori idrologici di portata per tempo di ritorno assegnato determinati in corrispondenza dell'A11 ed i valori di riferimento utilizzati nelle verifiche idrauliche compatibili con la capacità di portata dei corsi d'acqua considerati.

Corso d'acqua	Q25	Q30	Q50	Q100	Q200	Q riferimento
-	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
fosso Reale	-	-	-	-	-	150.0
torrente Garille	-	27.0- 23.2	-	29.9-26.5	30.6-27.8	30.6-27.8
torrente Marina	-	144.5- 93.8	-	193.1- 159.3	217.8- 156.9	217.8-156.9
torrente Marinella transitorio ante ultimazione cassa espansione Pizzidimonte	-	-	-	-	40.0	40.0
torrente Marinella cassa espansione Pizzidimonte realizzata	-	-	-	-	18.0	18.0
fiume Bisenzio	-	-	-	-	466.0- 465.0	466.0-465.0
torrente Iolo	52.4	-	61.2	71.4	83.1	61.2
fosso Ficarello	-	-	-	-	23.2	6.0
torrente Bagnolo Bardena	54.1	-	63.9	75.2	88.1	42.0
torrente Calice	-	-	-	-	-	144.0
torrente Brana	81.1	-	94.2	107.7	122.9	70.0

Tabella 1 - Valori di portata idrologici (per tempo di ritorno assegnato) e di riferimento utilizzati nelle verifiche idrauliche.

Per quanto attiene ai corsi d'acqua Garille, Marina e Bisenzio le verifiche sono state eseguite in moto vario, per tenere conto dell'effetto di laminazione delle opere di difesa attiva presenti (casse di espansione); i valori di portata della sopra allegata tabella mostrano la riduzione del colmo di piena nel tratto d'asta a cavallo dell'autostrada in ampliamento. Il modello idraulico costruito su ciascuna asta fluviale è coerente e congruente con quello redatto dai Consorzi di Bonifica nell'ambito degli Studi sopraccitati.

Per il torrente Marinella si sono analizzati 2 scenari di piena per rappresentare sia il periodo transitorio precedente al completamento della costruzione della cassa di espansione di Pizzidimonte che quello a cassa realizzata.

Il valore della portata duecentennale sul fosso Ficarello è stato desunto dallo “Studio idrologico e idraulico nel territorio comunale di Montemurlo” citato in precedenza.

Per quanto attiene ai corsi d’acqua **minori** è stato eseguito uno studio idrologico per tempo di ritorno 100 anni a partire dalle precipitazioni intense; in particolare la determinazione della portata centennale di verifica è avvenuta attraverso l’applicazione del “metodo razionale” tramite la formula di Turazza, utilizzando le curve di possibilità pluviometrica di durata sia inferiore che superiore all’ora in funzione della dimensione dei bacini idrografici sottesi all’A11 e quindi dei loro tempi di corrivazione.

2.2 IDRAULICA

La verifica idraulica dei manufatti di attraversamento è avvenuta applicando due diverse metodologie di calcolo:

- per i corsi d’acqua principali e secondari, caratterizzati da bacini di dimensioni maggiori e regimati da opere idrauliche di sistemazione, le analisi idrauliche sono state eseguite tramite l’ausilio di modellistica numerica, utilizzando il codice di calcolo HEC RAS 4.0 secondo schematizzazione idrodinamica monodimensionale in moto stazionario;
- per i corsi d’acqua minori, caratterizzati da bacini idrografici e aste di piccola dimensione (spesso caratterizzate da un alveo non definito), si è adottata la schematizzazione di verifica idrodinamica semplificata proposta dall’ “U.S. Geological Survey”.

2.2.1 Verifiche idrauliche sui corsi d’acqua principali e secondari

2.2.1.1 Esecuzione delle indagini topografiche di rilievo

Le indagini topografiche hanno riguardato un tratto di corso d’acqua significativo ai fini del calcolo idraulico, di estensione e dettaglio sufficiente a rappresentare il deflusso di piena nell’intorno degli attraversamenti A11 in ampliamento.

I rilievi eseguiti rappresentano in modo esaustivo l’assetto idraulico di ciascuna asta fluviale caratterizzando geometricamente:

- le opere di contenimento dei livelli esistenti (argini, muri spondali...),
- i manufatti di attraversamento dell’A11 e quelli delle viabilità minori localizzati a monte ed a valle di essa;
- le opere idrauliche di controllo del fondo alveo (soglie, briglie ...),

– le opere di sistemazione longitudinali presenti in alveo.

2.2.1.2 Costruzione del modello idrodinamico di simulazione

Il calcolo dei profili idrometrici per la portata di riferimento è avvenuto tramite l'utilizzo del modello idrodinamico HEC RAS 4.0 messo a punto dall' U.S. Army Corps of Engineers di cui si riporta una descrizione di dettaglio nell'allegato 1 al presente documento.

Il modello può simulare condizioni idrodinamiche sia in moto vario che in stazionario (permanente); le verifiche idrauliche sono state eseguite secondo una schematizzazione idrodinamica in moto permanente, idraulicamente cautelativa nell'ottica della verifica degli attraversamenti, poiché esclude fenomeni di cappio di piena in quanto le portate ed i livelli si propagano lungo l'asta fasati temporalmente (cioè tra loro coincidenti rispetto alla variabile tempo).

Il modello inoltre analizza condizioni di moto in corrente lenta, condizioni di moto critiche e condizioni di regime misto.

Il codice di calcolo permette di descrivere in maniera dettagliata la geometria delle singole sezioni idrauliche, tenendo conto di scabrezze differenti non solo in diversi tratti del corso d'acqua, ma anche all'interno della stessa sezione (ad esempio per differenziare le zone golenali e il canale principale). Esso consente inoltre di modellizzare l'andamento meandriforme di un corso d'acqua, sia in ambito monodimensionale che QUASI 2D, indicando differenti lunghezze del tratto che separa due sezioni consecutive per la golena in sponda sinistra, la golena in sponda destra ed il canale principale.

Le ipotesi di base che caratterizzano il codice di calcolo sono:

- il moto della corrente è permanente e gradualmente variato;
- il deflusso della corrente è monodimensionale: le componenti della velocità nelle direzioni diverse da quella principale della corrente non vengono considerate; le equazioni utilizzate assumono che il carico totale è lo stesso per tutti i punti appartenenti ad una generica sezione;
- la pendenza del fondo alveo è limitata (inferiore a 1:10);
- la cadente è assunta costante tra due sezioni adiacenti;
- la geometria delle sezioni idrauliche è fissa.

Le sezioni trasversali di rilievo ed i relativi manufatti idraulici e/o di attraversamento presenti sul corso d'acqua sono stati introdotti all'interno del modello di simulazione in modo da poter rappresentare in modo esaustivo il deflusso lungo l'alveo di piena.

2.2.1.3 Condizioni al contorno introdotte nel modello

Le condizioni al contorno assunte per l'esecuzione delle simulazioni idrodinamiche sono le seguenti:

- condizione di monte: portata costante (in quanto la schematizzazione scelta è quella di moto permanente); la portata assunta come riferimento corrisponde alla capacità di deflusso ammissibile in grado di transitare nel corso d'acqua senza produrre esondazioni e con un discreto valore di franco idraulico;
- condizione di valle: scala di deflusso in moto uniforme.

Le simulazioni sono state eseguite nella modalità "mixed" secondo cui il modello determina un profilo idrometrico che tiene conto delle condizioni di moto sia in corrente lenta che veloce, rappresentando in modo corretto l'eventuale risalto idraulico.

2.2.1.4 Resistenze distribuite (scabrezze)

I valori di scabrezza assunti nella simulazione idraulica tengono conto della combinazione di diversi fattori che intervengono nella caratterizzazione delle perdite distribuite, a cui è soggetta la corrente durante un evento di piena. I principali fattori che influenzano la stima della scabrezza possono ricondursi a:

- caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo;
- caratteristiche morfologiche e geometriche quali il grado di sinuosità del tratto d'alveo e brusche variazioni di geometria della sezione;
- uso del suolo e vegetazione presenti nell'alveo di piena.

I rilievi topografici ed i sopralluoghi eseguiti hanno permesso di caratterizzare i corsi d'acqua principali e secondari in termini morfologici e di copertura vegetale presente; successivamente si sono determinati i valori di scabrezza che li caratterizzano facendo riferimento alle indicazioni presenti in letteratura (tabelle denominate 5-5 e 5-6 riportate in "Open-Channel Hydraulics" - V.T. Chow, 1959.)

Le tabelle sopraccitate fissano i valori di scabrezza da assumere per corsi d'acqua naturali ed artificiali derivanti dall'applicazione dell'equazione di Cowen, distinguendoli oltre che per la loro natura anche per le caratteristiche manutentive a cui sono sottoposti e la loro stabilità morfologica.

2.2.2 Verifiche idrauliche sui corsi d'acqua minori – metodo U.S.G.S.

Le verifiche delle opere di attraversamento (tombini circolari e scatolari) dell'A11 localizzate sui corsi d'acqua minori, sono state eseguite utilizzando una schematizzazione idrodinamica di calcolo semplificata, tramite l'applicazione delle formulazioni sperimentali presenti in letteratura, proposte dall' "U.S. Geological Survey" di seguito descritte.

Tali formulazioni si rifanno ad un'indagine sperimentale completa sul comportamento idraulico delle più comuni tipologie di tombini che è stata eseguita dal U.S. Bureau of Standard come riportato da French in più pubblicazioni.

Sulla base di queste esperienze è stato verificato che l'imbocco di un tombino risulta libero qualora il carico idraulico a monte sia inferiore ad un valore critico definito in funzione delle caratteristiche geometriche dell'imbocco del tombino stesso. Nelle applicazioni in oggetto si è considerato un valore del carico di monte (H) pari al massimo a 1.5 volte l'altezza del tombino (d), valore che garantisce condizioni di funzionamento dell'opera ancora adeguate.

Si sono individuati sei differenti tipi di comportamento (Figura 1), schematizzabili nel modo seguente:

- | | | |
|-----|---|--------|
| A. | sbocco sommerso | Tipo 1 |
| B. | sbocco a pelo libero | |
| 1. | carico maggiore del carico critico | |
| a) | tombino idraulicamente lungo | Tipo 2 |
| b) | tombino idraulicamente corto | Tipo 3 |
| 2. | carico inferiore al carico critico | |
| a) | altezza d'acqua di valle maggiore dell'altezza critica (yc) | Tipo |
| b) | altezza d'acqua di valle minore dell'altezza critica (yc) | |
| i) | pendenza < ic (critica) | Tipo 5 |
| ii) | pendenza > ic (critica) | Tipo 6 |

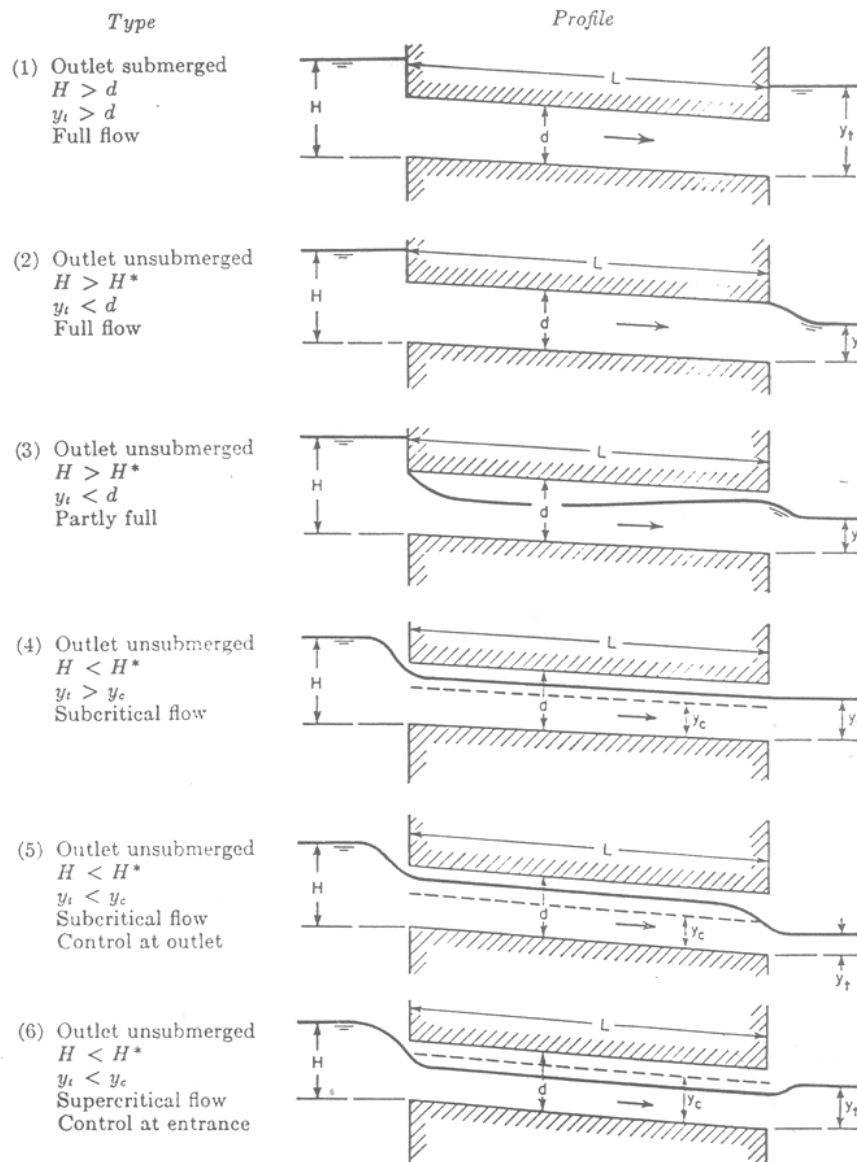


Figura 1 - Situazioni di deflusso attraverso un tombino.

Il metodo sperimentale messo a punto dall' "U.S. Geological Survey" utilizza dei cartogrammi ottenuti da misure sperimentali che consentono di stimare le portate defluibili a pelo libero attraverso un tombino; essi sono riportati nella seguente Figura 2.

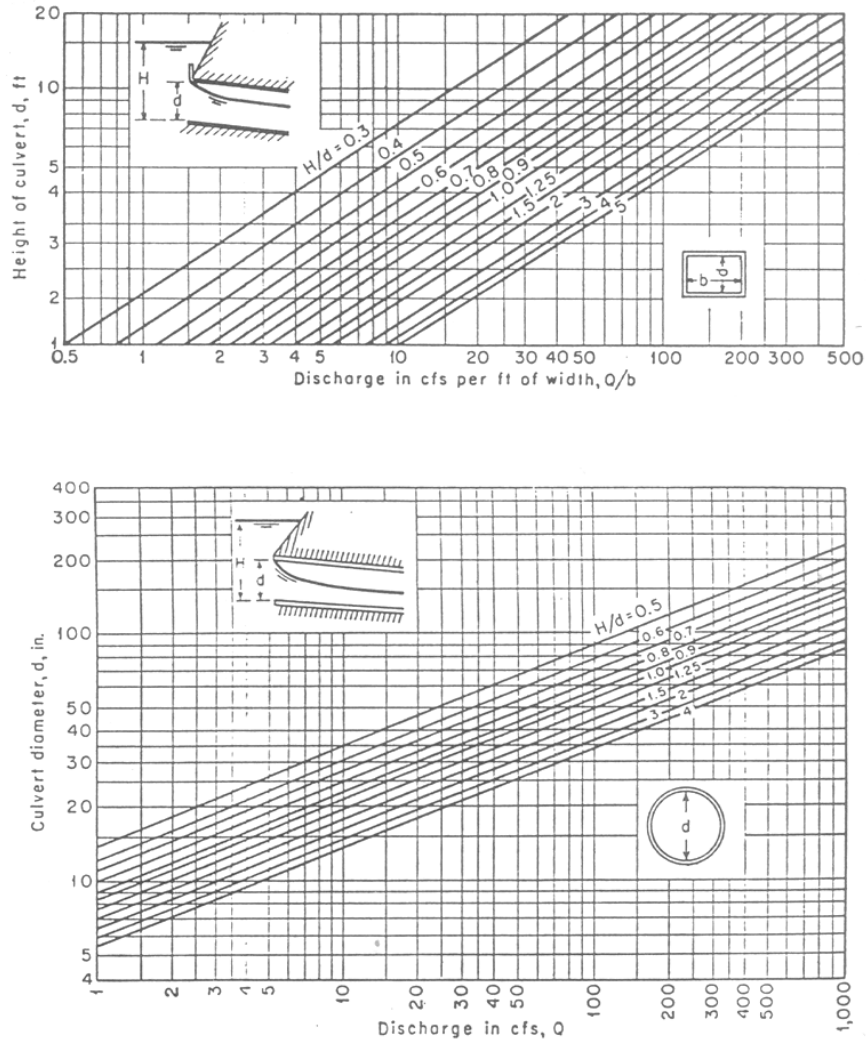


Figura 2 - Cartogrammi per la stima delle portate defluibili a pelo libero attraverso tombini scatoari o circolari con imbocco non raccordato.

Tali grafici, aventi gli assi a scala logaritmica, esprimono il legame tra la portata espressa in *cfs* (piedi cubi al secondo) ed il carico idraulico a monte espresso in *ft* (piedi), in funzione delle dimensioni geometriche di tombini a sezione rettangolare o circolare con imbocco non raccordato, configurazione questa che risulta maggiormente rappresentativa delle situazioni riscontrate.

In particolare esplicitando le espressioni che legano la portata massima al carico totale critico in funzione del rapporto H/d si ottiene che:

- per tombini a sezione rettangolare di larghezza alla base b [m] e altezza h [m];

$$\text{se } H/d = 1 \quad Q = 10^{[(1/0.58 \cdot \log h1) + (0.08/0.58)]} \cdot b$$

$$\text{se } H/d = 1.25 \quad Q = 10^{[(1/0.58 \cdot \log h1) + (0.15/0.58)]} \cdot b$$

$$\text{se } H/d = 1.5 \quad Q = 10^{[(1/0.58 \cdot \log h1) + (0.20/0.58)]} \cdot b$$

- per tombini a sezione circolare: \varnothing [m];

$$\text{se } H/d = 1 \quad Q = 10^{[(1/0.41 \cdot \log \varnothing) + (0.05/0.41)]}$$

$$\text{se } H/d = 1.25 \quad Q = 10^{(2.5 \cdot \log \varnothing + 0.216)}$$

$$\text{se } H/d = 1.5 \quad Q = 10^{(2.5 \cdot \log \varnothing + 0.34)}$$

Note le dimensioni del manufatto e valutato il carico idraulico a monte, attraverso l'utilizzo delle relazioni matematiche esplicitate graficamente nei diagrammi e analiticamente nelle espressioni sopra riportati, è stato possibile determinare la portata massima che può defluire attraverso un tombino a sezione scatolare o circolare.

Nelle verifiche eseguite si è considerato unicamente il campo di valori $H/d \leq 1.5$, in modo da garantire che l'imbocco sia libero; l'effettivo rapporto H/d utilizzato è stato verificato in funzione del dislivello esistente tra intradosso del tombino e piano autostradale, in modo da considerare sempre situazioni che non comportino interessamento della sede autostradale.

La massima portata defluibile attraverso l'opera di attraversamento minore è stata determinata utilizzando i dati di geometria derivanti dai rilievi eseguiti sulle singole opere d'arte ed assumendo le seguenti ipotesi di calcolo:

- imbocco non raccordato (a favore di sicurezza);
- condizioni di manutenzione adeguate;
- d = dimensione verticale del tombino (pari al valore di h o \varnothing a seconda che la sezione sia rettangolare o circolare).

L'opera è considerata adeguata idraulicamente se la massima portata defluibile all'interno del manufatto di attraversamento è superiore od uguale a quella di riferimento calcolata per un tempo di ritorno 100 anni.

3 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO PER I CORSI D'ACQUA MINORI

3.1 PLUVIOMETRIA

La curva di possibilità pluviometrica è stata desunta dagli Studi idrologici ed idraulici (citati in premessa) relativi ai corsi d'acqua ricadenti nel territorio attraversato dall'A11 in ampliamento.

Essa è espressa nella forma $h=a t^n Tr^m$ (Pagliara-Viti, 1990) con t espresso in ore, T_r in anni e h in mm di pioggia.

Nell'applicazione del metodo razionale si sono utilizzati i valori dei coefficienti a, n ed m corrispondenti alle durate sia superiori che inferiori all'ora, imposte pari al tempo di corrivazione di ciascun bacino.

Per durate t superiori all'ora si sono assunti i seguenti coefficienti:

$$a= 24.69; \quad n=0.247; \quad m=0.202.$$

Per durate t inferiori all'ora si sono assunti i seguenti coefficienti:

$$a=25.98; \quad n=0.409, \quad m=0.172.$$

3.2 DELIMITAZIONE DEI BACINI MINORI E DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISIOGRAFICHE

La delimitazione dei bacini idrografici dei corsi d'acqua minori, interferenti con l'autostrada in ampliamento, è stata eseguita sulla base della Cartografia Regionale CTR disponibile, in

scala 1:10000, e verificata con appositi sopralluoghi nei casi di superfici scolanti di piccole dimensioni, dove la sola interpretazione cartografica non risultava sufficientemente precisa.

I parametri morfologici determinati (utili al calcolo dei tempi di corrivazione) sono i seguenti:

- l'area della superficie dei bacini (S) espressa in km²;
- la lunghezza (L) delle aste principali espressa in km;
- la pendenza media (i) delle aste principali espressa in m/m;
- le quote media (Hmed) e minima (Hmin) dei bacini espresse in m s.m.

Nella seguente Tabella 2 si riportano le caratteristiche fisiografiche di interesse relative ai bacini idrografici minori, ciascuno contraddistinto da un codice e da una progressiva chilometrica coincidenti con l'identificazione delle opere idrauliche di attraversamento (numero opera e progressiva autostradale).

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km²)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (m/m)
3	0+721	0.114	36.4	35.9	0.500	0.002
4	0+951	0.179	35.9	35.8	0.500	0.002
6	1+187	0.046	35.8	35.5	0.550	0.001
7	1+352	0.047	35.4	35.1	0.400	0.001
8	1+502	0.035	35.3	35.0	0.300	0.002
9	1+628	0.031	35.3	35.1	0.250	0.002
005_T	svincolo Sesto Fiorentino	1.616	36.9	36.1	1.500	0.002
006_P	svincolo Sesto Fiorentino	0.507	37.5	35.5	1.750	0.002
008_T	svincolo Sesto Fiorentino	0.832	37.5	36.5	2.000	0.002
10	1+740	0.007	35.5	35.0	0.115	0.001
009_T	1+792	3.005	37.1	35.0	2.100	0.005
12	1+910	0.014	35.4	35.0	0.050	0.001
14	1+999	0.037	37.0	36.2	0.510	0.003
16	2+028	0.174	37.0	35.5	1.000	0.003
17	2+303	0.053	36.5	35.5	0.650	0.003
18	2+375	0.312	37.5	36.1	1.500	0.002
19	2+482	0.113	36.3	35.7	0.850	0.001
20	2+619	0.785	35.8	34.8	1.600	0.002

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (m/m)
22	2+731	0.213	35.4	34.4	1.400	0.001
23	2+940	0.146	35.1	35.0	1.100	0.002
24	3+075	0.055	35.0	34.2	0.550	0.003
25	3+230	0.484	35.0	34.1	1.700	0.001
27	3+350	0.491	35.0	34.4	1.900	0.002
28	3+555	0.250	36.0	34.3	1.800	0.002
29	3+706	1.278	39.0	35.2	2.000	0.004
30	3+760	0.006	36.2	35.4	0.167	0.011
31	3+833	0.020	36.2	35.4	0.150	0.010
32	4+052	0.069	36.7	35.7	0.250	0.008
35	4+313	0.256	37.5	36.5	1.000	0.002
38	4+774	0.293	39.0	37.7	1.000	0.003
29T	interconnessione A1-A11	0.024	38.2	37.8	0.200	0.002
39	5+057	0.049	37.9	37.8	0.300	0.002
40	5+353	0.626	41.0	39.5	1.550	0.002
41	5+414	0.036	41.0	39.5	0.500	0.006
43	5+489	0.064	42.0	39.8	0.850	0.005
44	5+708	0.316	45.0	40.9	1.300	0.006
46	5+909	0.965	45.5	42.1	1.837	0.004
48	6+000	0.036	45.3	45.0	0.400	0.001
50	6+282	0.126	45.0	41.5	1.000	0.007
51	6+449	0.152	46.0	41.6	1.100	0.008
52	6+618	0.236	47.0	44.0	1.800	0.003
54	6+843	0.490	47.0	44.5	1.700	0.003
55	7+012	0.615	45.8	44.5	1.650	0.003
58	7+300	0.504	51.0	44.2	1.800	0.008
60	7+523	0.654	48.0	45.0	1.700	0.004
62	8+019	0.447	47.0	46.8	0.850	0.002
64	8+426	1.085	47.3	46.4	2.310	0.002
65	8+522	0.037	47.3	47.0	0.070	0.008
69	8+999	0.055	47.0	45.8	0.300	0.008
70BIS	9+256	0.055	46.8	44.9	0.260	0.008
71	9+387	0.047	46.1	44.7	0.288	0.008

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (m/m)
72	9+626	0.145	45.8	44.5	0.615	0.006
74	9+828	0.053	46.0	44.4	0.350	0.009
76BIS	10+206	0.118	46.0	44.2	0.600	0.006
78	10+516	0.118	46.0	44.0	0.900	0.004
79	10+586	1.476	46.0	44.0	1.700	0.002
80	10+686	0.109	45.0	43.5	1.000	0.008
82	10+949	0.020	44.4	43.7	0.250	0.006
83	11+094	0.102	45.0	43.7	0.550	0.005
84	11+273	0.100	45.0	43.3	0.650	0.005
85	11+421	0.159	45.0	43.3	0.700	0.005
88	11+696	0.960	48.0	42.9	2.100	0.005
90	12+040	0.040	44.3	43.1	0.200	0.005
91	12+160	0.064	44.7	44.0	0.650	0.002
92	12+230	0.215	46.0	42.5	1.500	0.005
93	12+309	0.082	44.0	42.5	0.800	0.004
94	12+509	0.458	47.0	42.7	1.800	0.005
95	12+779	0.141	44.6	43.8	0.550	0.003
97	12+988	2.347	56.0	43.6	3.700	0.007
99	13+190	0.143	44.0	42.4	1.200	0.004
100	13+520	3.915	50.0	41.6	3.500	0.005
102 BIS	13+874	0.037	43.5	42.4	0.300	0.007
104	14+152	0.198	44.5	43.1	0.850	0.003
105	14+411	0.475	46.5	43.4	1.800	0.003
107	14+698	0.315	46.0	43.2	1.600	0.004
108	14+919	0.226	46.0	42.6	1.600	0.004
109	15+134	0.479	44.5	41.4	1.600	0.004
111	15+749	0.149	41.0	40.4	0.800	0.002
112	15+958	0.087	41.0	40.4	0.800	0.002
113	16+027	0.009	40.5	40.4	0.145	0.001
113BIS	16+162	0.009	40.5	40.4	0.173	0.001
114	16+215	0.216	42.0	40.7	1.100	0.002
117	16+504	0.431	42.0	39.9	3.000	0.001
119	16+739	0.031	41.5	40.1	0.220	0.006

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (m/m)
120	16+924	0.076	40.7	39.7	0.500	0.004
122	17+106	0.266	42.1	40.4	1.040	0.003
124	17+291	0.075	42.0	39.7	0.600	0.008
125	17+373	0.049	42.0	39.7	0.550	0.008
126	17+466	0.053	43.0	40.0	0.300	0.006
130	17+811	0.123	43.6	40.2	1.100	0.006
131	17+902	0.697	45.5	40.5	1.600	0.006
132	17+920	0.054	45.5	40.4	0.700	0.008
133	18+047	0.033	42.5	40.6	0.450	0.008
135	18+345	0.021	41.0	40.0	0.231	0.004
136	18+570	0.026	41.0	39.4	0.250	0.004
136BIS	18+677	0.025	40.8	39.8	0.216	0.002
138	18+829	0.037	40.8	39.7	0.256	0.003
139	19+019	0.046	41.4	40.1	0.350	0.003
140	19+109	0.034	41.4	40.4	0.370	0.002
141	19+199	0.017	41.4	40.5	0.346	0.002
142	19+261	0.023	41.4	40.6	0.362	0.002
144	19+370	0.063	41.6	41.0	0.440	0.001
145	19+624	0.130	41.0	40.2	0.458	0.003
146	19+784	0.115	40.7	39.8	0.677	0.002
147	19+900	0.034	40.3	39.7	0.467	0.003
148	20+003	0.169	40.9	40.0	0.996	0.003
150	20+541	0.522	42.2	41.2	1.550	0.002
153	21+039	0.069	42.4	40.8	0.400	0.008
154_a	21+958 (svincolo Pistoia Est)	0.460	44.2	43.8	1.300	0.002
154	21+162	1.295	43.3	41.4	3.100	0.002
155	21+212	0.017	42.0	41.0	0.150	0.007
156	21+400	0.016	42.2	41.4	0.100	0.007
158	21+565	0.076	43.0	42.1	0.350	0.005
159	21+960	0.080	42.8	42.1	0.300	0.005
160	22+146	0.042	43.2	42.6	0.250	0.005
161	22+283	0.067	42.0	41.6	0.350	0.003
163	22+619	0.023	44.0	43.2	0.200	0.008

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (m/m)
164	23+014	0.179	45.3	44.3	0.800	0.003
165	23+296	0.117	45.2	44.3	0.600	0.003
167	23+535	0.096	46.0	45.0	0.450	0.004
168	23+711	0.070	46.5	44.9	0.350	0.009
169	23+909	0.049	46.5	45.5	0.250	0.008
170	24+100	0.045	46.6	45.8	0.250	0.006
171	24+301	0.055	46.8	46.2	0.350	0.003
172	24+434	0.068	47.5	46.2	0.300	0.009
174	24+783	0.082	49.0	47.6	0.300	0.010
175	24+971	1.456	55.0	45.9	3.000	0.006
177	25+108	0.046	50.6	47.7	0.943	0.004
178	25+222	6.744	68.6	47.7	6.300	0.006
179	25+351	0.018	49.5	48.4	0.200	0.007
182	26+421	4.152	71.8	51.1	5.570	0.005
184	26+886	0.034	54.0	53.1	0.750	0.002
185	26+961	0.079	54.0	52.7	0.750	0.004
186	27+069	0.094	54.0	53.4	0.600	0.002
187	27+276	0.075	54.9	54.6	0.500	0.001
113T	svincolo Pistoia	0.069	54.9	54.8	0.450	0.002
260	36+852	0.004	32.0	26.6	0.175	0.090
261	36+971	0.096	52.0	26.2	1.200	0.206
263	37+141	0.050	50.0	25.5	0.250	0.010
264	37+218	0.202	50.6	24.4	1.650	0.136
265	37+412	0.036	24.0	22.6	0.250	0.005
266	37+583	0.007	23.0	22.4	0.140	0.004
268	37+771	0.007	22.4	21.7	0.120	0.006
269	37+943	0.060	22.4	21.3	0.300	0.004

Tabella 2 - Caratteristiche fisiografiche dei bacini idrografici minori chiusi in corrispondenza dell'autostrada A11 in ampliamento.

La perimetrazione dei bacini è riportata sullo specifico elaborato grafico in scala 1:5000.

3.3 APPLICAZIONE METODO RAZIONALE

Il metodo razionale, di correlazione afflussi – deflussi, è basato sull'ipotesi che la portata massima in un bacino, dovuta a precipitazioni di intensità costante nel tempo, si ha per eventi di durata pari al tempo di corrivazione t_c del bacino stesso e si verifica dopo il tempo t_c dall'inizio del fenomeno.

Il calcolo della portata avviene mediante l'applicazione della formula di Turazza:

$$Q = \frac{c * h * S}{3.6 * t_c} \quad \left(\frac{m^3}{s}\right) \quad \text{dove:}$$

S – superficie del bacino (km^2);

c – coefficiente di deflusso valutato in base a considerazioni di tipo generale basate sulla litologia, sull'uso del suolo;

h – altezza massima di precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione del bacino (mm);

t_c – valore del tempo di corrivazione del bacino (ore).

3.3.1 Determinazione del tempo di corrivazione

Si è precedentemente osservata la necessità di valutare il tempo di corrivazione per i bacini interferiti dall'autostrada, al fine di determinare la durata critica dell'evento di pioggia a tempo di ritorno 100 anni da considerare nell'applicazione del metodo razionale.

Il tempo di corrivazione di un bacino è definito come il tempo che la goccia d'acqua caduta sul punto dello spartiacque idraulicamente più lontano impiega per giungere alla sezione di chiusura del bacino.

La determinazione del valore del tempo di corrivazione per i bacini in esame, chiusi in corrispondenza dell'A11, è stata effettuata avvalendosi delle seguenti formule: Giandotti, Ventura e Pasini.

Questi metodi necessitano, come dati di input, dei valori delle caratteristiche morfologiche e fisiografiche dei bacini definiti alla loro rispettiva sezione di chiusura. Le grandezze da considerare sono le seguenti:

- superficie S (km^2);

- altitudine media H_{med} (m s. m.);
- quota della sezione di chiusura H_{min} (m s. m.);
- lunghezza dell'asta principale L (km);
- pendenza media dell'asta principale i (m/m).

Più nel dettaglio le formule utilizzate per il calcolo del tempo di corrivazione espresso in ore, sono le seguenti.

Formula di Giandotti: $tc = \frac{4 \cdot S^{0.5} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{(H_{med} - H_{min})}}$

Formula di Ventura: $tc = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$

Formula di Pasini: $tc = 0.108 \cdot \frac{(S \cdot L)^{1/3}}{\sqrt{i}}$

Le grandezze fisiografiche utilizzate in input sono quelle determinate unitamente alla delimitazione di ciascun bacino idrografico e riportate in Tabella 2.

Viste le dimensioni dei bacini in Studio e delle loro caratteristiche morfologiche si è assunto come tempo di corrivazione di calcolo della portata centennale, il valore risultante dalla media di quelli derivanti dall'applicazione delle formulazioni di Pasini e Ventura.

La formula di Giandotti è utilizzata per bacini di grandi dimensioni ($S > 100 \text{ km}^2$) e se applicata per piccoli bacini fornirebbe valori più elevati rispetto a quelli ottenuti con le espressioni adottate (e quindi poco cautelativi).

I risultanti valori del tempo di corrivazione ottenuti sono riportati in Tabella 3:

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Tc Giandotti (ore)	Tc Ventura (ore)	Tc Pasini (ore)	Tc assunto (ore)
3	0+721	0.114	3.54	0.92	0.89	0.90
4	0+951	0.179	9.65	1.20	1.08	1.14
6	1+187	0.046	3.83	0.82	0.95	0.89
7	1+352	0.047	3.41	0.73	0.76	0.74
8	1+502	0.035	2.57	0.50	0.49	0.50
9	1+628	0.031	3.01	0.56	0.53	0.55
005_T	svincolo Sesto Fiorentino	1.616	10.18	3.62	3.24	3.43

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Tc Giandotti (ore)	Tc Ventura (ore)	Tc Pasini (ore)	Tc assunto (ore)
006_P	svincolo Sesto Fiorentino	0.507	4.84	2.03	2.32	2.17
008_T	svincolo Sesto Fiorentino	0.832	8.31	2.59	2.86	2.73
10	1+740	0.007	0.91	0.34	0.32	0.33
009_T	1+792	3.005	8.74	3.12	2.82	2.97
12	1+910	0.014	1.08	0.47	0.30	0.39
14	1+999	0.037	2.09	0.47	0.56	0.51
16	2+028	0.174	3.23	0.97	1.10	1.03
17	2+303	0.053	2.37	0.52	0.63	0.58
18	2+375	0.312	4.74	1.64	1.93	1.79
19	2+482	0.113	4.23	1.14	1.32	1.23
20	2+619	0.785	7.43	2.52	2.61	2.56
22	2+731	0.213	4.93	1.55	1.91	1.73
23	2+940	0.146	12.56	1.25	1.52	1.38
24	3+075	0.055	2.46	0.55	0.62	0.59
25	3+230	0.484	7.03	2.71	3.10	2.91
27	3+350	0.491	9.12	2.30	2.72	2.51
28	3+555	0.250	4.50	1.46	1.90	1.68
29	3+706	1.278	4.82	2.33	2.40	2.36
30	3+760	0.006	0.79	0.10	0.10	0.17
31	3+833	0.020	1.11	0.18	0.15	0.17
32	4+052	0.069	1.78	0.37	0.31	0.34
35	4+313	0.256	4.50	1.47	1.57	1.52
38	4+774	0.293	4.02	1.35	1.41	1.38
29T	interconnessione A1-A11	0.024	1.82	0.51	0.47	0.49
39	5+057	0.049	5.55	0.72	0.68	0.70
40	5+353	0.626	5.60	2.28	2.43	2.36
41	5+414	0.036	1.51	0.31	0.36	0.33
43	5+489	0.064	1.93	0.45	0.57	0.51
44	5+708	0.316	2.58	0.89	1.00	0.95
46	5+909	0.965	4.53	1.95	2.04	2.00
48	6+000	0.036	3.41	0.69	0.75	0.72
50	6+282	0.126	1.95	0.54	0.65	0.59

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Tc Giandotti (ore)	Tc Ventura (ore)	Tc Pasini (ore)	Tc assunto (ore)
51	6+449	0.152	1.92	0.56	0.67	0.61
52	6+618	0.236	3.34	1.06	1.39	1.23
54	6+843	0.490	4.26	1.65	1.89	1.77
55	7+012	0.615	6.15	1.73	1.88	1.80
58	7+300	0.504	2.66	1.04	1.21	1.12
60	7+523	0.654	4.18	1.73	1.89	1.81
62	8+019	0.447	11.97	2.20	2.02	2.11
64	8+426	1.085	10.06	2.97	3.29	3.13
65	8+522	0.037	2.06	0.27	0.17	0.17
69	8+999	0.055	1.58	0.33	0.31	0.32
70BIS	9+256	0.055	1.21	0.33	0.29	0.31
71	9+387	0.047	1.37	0.31	0.29	0.30
72	9+626	0.145	2.68	0.65	0.65	0.65
74	9+828	0.053	1.43	0.31	0.30	0.30
76BIS	10+206	0.118	2.13	0.56	0.58	0.57
78	10+516	0.118	2.42	0.66	0.77	0.71
79	10+586	1.476	6.55	3.19	3.03	3.11
80	10+686	0.109	2.88	0.48	0.60	0.54
82	10+949	0.020	1.36	0.23	0.24	0.24
83	11+094	0.102	2.32	0.59	0.60	0.60
84	11+273	0.100	2.11	0.55	0.59	0.57
85	11+421	0.159	2.53	0.73	0.74	0.74
88	11+696	0.960	3.93	1.80	1.97	1.88
90	12+040	0.040	1.25	0.36	0.31	0.33
91	12+160	0.064	2.95	0.69	0.80	0.75
92	12+230	0.215	2.74	0.86	1.08	0.97
93	12+309	0.082	2.38	0.59	0.71	0.65
94	12+509	0.458	3.24	1.24	1.46	1.35
95	12+779	0.141	3.21	0.87	0.84	0.86
97	12+988	2.347	4.15	2.38	2.71	2.55
99	13+190	0.143	3.27	0.76	0.95	0.85
100	13+520	3.915	5.68	3.63	3.73	3.68

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Tc Giandotti (ore)	Tc Ventura (ore)	Tc Pasini (ore)	Tc assunto (ore)
102 BIS	13+874	0.037	1.49	0.29	0.29	0.29
104	14+152	0.198	3.26	0.99	1.05	1.02
105	14+411	0.475	3.87	1.49	1.75	1.62
107	14+698	0.315	3.45	1.20	1.44	1.32
108	14+919	0.226	2.92	0.92	1.17	1.05
109	15+134	0.479	3.66	1.41	1.58	1.50
111	15+749	0.149	4.25	1.22	1.32	1.27
112	15+958	0.087	3.75	0.95	1.12	1.03
113	16+027	0.009	2.39	0.39	0.38	0.38
113BIS	16+162	0.009	2.55	0.39	0.40	0.39
114	16+215	0.216	3.77	1.19	1.35	1.27
117	16+504	0.431	6.07	2.21	3.11	2.66
119	16+739	0.031	1.09	0.28	0.26	0.27
120	16+924	0.076	2.35	0.56	0.58	0.57
122	17+106	0.266	3.47	1.16	1.24	1.20
124	17+291	0.075	1.64	0.40	0.44	0.42
125	17+373	0.049	1.41	0.31	0.35	0.33
126	17+466	0.053	0.98	0.38	0.35	0.37
130	17+811	0.123	2.07	0.57	0.71	0.64
131	17+902	0.697	3.22	1.34	1.42	1.38
132	17+920	0.054	1.09	0.33	0.40	0.37
133	18+047	0.033	1.28	0.25	0.29	0.27
135	18+345	0.021	1.15	0.30	0.30	0.30
136	18+570	0.026	1.01	0.32	0.31	0.31
136BIS	18+677	0.025	1.18	0.42	0.40	0.41
138	18+829	0.037	1.36	0.49	0.46	0.47
139	19+019	0.046	1.54	0.53	0.53	0.53
140	19+109	0.034	1.64	0.53	0.57	0.55
141	19+199	0.017	1.40	0.40	0.47	0.43
142	19+261	0.023	1.61	0.49	0.56	0.53
144	19+370	0.063	2.61	0.90	0.92	0.91
145	19+624	0.130	3.00	0.88	0.81	0.85

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Tc Giandotti (ore)	Tc Ventura (ore)	Tc Pasini (ore)	Tc assunto (ore)
146	19+784	0.115	3.13	0.88	0.94	0.91
147	19+900	0.034	2.33	0.46	0.53	0.50
148	20+003	0.169	4.14	0.96	1.09	1.02
150	20+541	0.522	6.45	1.90	2.08	1.99
153	21+039	0.069	1.61	0.37	0.36	0.36
154_a	21+958 (svincolo Pistoia Est)	0.460	9.22	0.61	0.64	0.63
154	21+162	1.295	8.30	3.24	3.84	3.54
155	21+212	0.017	0.93	0.20	0.18	0.19
156	21+400	0.016	0.94	0.19	0.15	0.17
158	21+565	0.076	2.20	0.50	0.46	0.48
159	21+960	0.080	2.42	0.54	0.47	0.50
160	22+146	0.042	1.93	0.38	0.34	0.36
161	22+283	0.067	2.91	0.65	0.61	0.63
163	22+619	0.023	1.25	0.21	0.20	0.20
164	23+014	0.179	3.61	1.08	1.13	1.10
165	23+296	0.117	2.93	0.78	0.80	0.79
167	23+535	0.096	2.40	0.60	0.57	0.58
168	23+711	0.070	1.58	0.35	0.33	0.34
169	23+909	0.049	1.56	0.31	0.27	0.29
170	24+100	0.045	1.73	0.34	0.31	0.32
171	24+301	0.055	2.42	0.52	0.50	0.51
172	24+434	0.068	1.60	0.35	0.31	0.33
174	24+783	0.082	1.67	0.37	0.32	0.35
175	24+971	1.456	3.86	1.97	2.26	2.11
177	25+108	0.046	1.67	0.42	0.58	0.50
178	25+222	6.744	5.42	4.11	4.69	4.40
179	25+351	0.018	0.98	0.20	0.20	0.20
182	26+421	4.152	4.53	3.53	4.19	3.86
184	26+886	0.034	2.45	0.48	0.65	0.56
185	26+961	0.079	2.47	0.60	0.71	0.66
186	27+069	0.094	3.52	0.89	0.95	0.92
187	27+276	0.075	4.34	1.04	1.08	1.06

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Tc Giandotti (ore)	Tc Ventura (ore)	Tc Pasini (ore)	Tc assunto (ore)
113T	svincolo Pistoia	0.069	6.82	0.86	0.88	0.87
260	36+852	0.004	0.28	0.03	0.03	0.17
261	36+971	0.096	0.75	0.09	0.12	0.17
263	37+141	0.050	0.32	0.28	0.25	0.27
264	37+218	0.202	1.04	0.15	0.20	0.18
265	37+412	0.036	1.22	0.33	0.31	0.32
266	37+583	0.007	0.90	0.17	0.17	0.17
268	37+771	0.007	0.74	0.13	0.13	0.17
269	37+943	0.060	1.71	0.52	0.47	0.49

Tabella 3 - Valori del tempo di corrivazione per i bacini minori interferiti dall'autostrada A11 in ampliamento.

3.3.2 Determinazione del coefficiente di deflusso

Il ruolo del tipo di suolo e della copertura vegetale nella formazione del deflusso superficiale per gli stati idrologici di piena, che si identificano con eventi di piovosità intensa, è duplice; riguarda infatti, sia la funzione di trattenuta o intercettazione, sia il controllo del tempo di concentrazione delle portate superficiali.

Per la stima di tali parametri si devono tenere in conto i diversi fattori che influiscono sulla formazione dei deflussi, fra cui la natura dei terreni e la loro copertura vegetale, la capacità di accumulo del bacino l'effetto di laminazione dell'intera rete idrica superficiale, la presenza di zone urbanizzate etc...

La stima del coefficiente di deflusso "c" è estremamente difficile e costituisce il maggiore elemento di incertezza nella valutazione della portata. Il parametro tiene conto in forma implicita di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione tra la portata al colmo e l'intensità media di pioggia; si utilizzano normalmente valori di riferimento, tratti dalla letteratura scientifica, che spesso sono adattabili con difficoltà alle effettive condizioni del bacino in studio.

I bacini in oggetto sono caratterizzati da piccole dimensioni e bassissime pendenze, costituiti per la maggior parte da aree pressoché pianeggianti adiacenti al rilevato

autostradale; al fine di rappresentarne il più possibile queste caratteristiche si sono assunti coefficienti di deflusso variabili da 0.2 a 0.6 in funzione del grado di urbanizzazione presente nel bacino rispetto allo stato naturale o coltivato (0.2 per terreni solo coltivati, 0.3 per presenza sporadica di aree urbanizzate, 0.4-0.5 in caso di presenza apprezzabile rispetto alla superficie complessiva del bacino di aree urbane o industriali, 0.6 per superfici interessate da presenza di aree ad urbanizzazione diffusa). I coefficienti "c" assunti nel calcolo sono elencati in Tabella 4.

3.3.3 Determinazione delle portate

Introducendo nella formula razionale le grandezze determinate nei paragrafi precedenti si ottengono le seguenti portate centennali di riferimento per la verifica delle opere autostradali.

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Tc assunto (ore)	a (mm/h ⁿ)	n (-)	Tr (anni)	m (-)	h100 (mm)	c (-)	Q 100 (m ³ /s)
3	0+721	0.114	0.90	25.98	0.409	100	0.172	55.00	0.6	1.16
4	0+951	0.179	1.14	24.69	0.247	100	0.202	64.67	0.6	1.69
6	1+187	0.046	0.89	25.98	0.409	100	0.172	54.58	0.6	0.47
7	1+352	0.047	0.74	25.98	0.409	100	0.172	50.73	0.6	0.54
8	1+502	0.035	0.50	25.98	0.409	100	0.172	43.04	0.6	0.51
9	1+628	0.031	0.55	25.98	0.409	100	0.172	44.76	0.6	0.42
005_T	svincolo Sesto Fiorentino	1.616	3.43	24.69	0.247	100	0.202	84.86	0.4	4.44
006_P	svincolo Sesto Fiorentino	0.507	2.17	24.69	0.247	100	0.202	75.81	0.4	1.97
008_T	svincolo Sesto Fiorentino	0.832	2.73	24.69	0.247	100	0.202	80.19	0.5	3.40
10	1+740	0.007	0.33	25.98	0.409	100	0.172	36.59	0.5	0.11
009_T	1+792	3.005	2.97	24.69	0.247	100	0.202	81.90	0.5	11.51
12	1+910	0.014	0.39	25.98	0.409	100	0.172	38.98	0.3	0.12
14	1+999	0.037	0.51	25.98	0.409	100	0.172	43.69	0.4	0.35
16	2+028	0.174	1.03	24.69	0.247	100	0.202	63.11	0.3	0.88
17	2+303	0.053	0.58	25.98	0.409	100	0.172	45.80	0.2	0.23
18	2+375	0.312	1.79	24.69	0.247	100	0.202	72.24	0.2	0.70
19	2+482	0.113	1.23	24.69	0.247	100	0.202	65.90	0.2	0.34
20	2+619	0.785	2.56	24.69	0.247	100	0.202	78.97	0.2	1.34
22	2+731	0.213	1.73	24.69	0.247	100	0.202	71.66	0.2	0.49
23	2+940	0.146	1.38	24.69	0.247	100	0.202	67.83	0.2	0.40
24	3+075	0.055	0.59	25.98	0.409	100	0.172	46.19	0.3	0.36

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Tc assunto (ore)	a (mm/h ⁿ)	n (-)	Tr (anni)	m (-)	h100 (mm)	c (-)	Q 100 (m ³ /s)
25	3+230	0.484	2.91	24.69	0.247	100	0.202	81.45	0.3	1.13
27	3+350	0.491	2.51	24.69	0.247	100	0.202	78.58	0.3	1.28
28	3+555	0.250	1.68	24.69	0.247	100	0.202	71.12	0.2	0.59
29	3+706	1.278	2.36	24.69	0.247	100	0.202	77.41	0.2	2.32
30	3+760	0.006	0.17	25.98	0.409	100	0.172	27.59	0.2	0.06
31	3+833	0.020	0.17	25.98	0.409	100	0.172	27.49	0.2	0.18
32	4+052	0.069	0.34	25.98	0.409	100	0.172	37.02	0.2	0.41
35	4+313	0.256	1.52	24.69	0.247	100	0.202	69.38	0.2	0.65
38	4+774	0.293	1.38	24.69	0.247	100	0.202	67.75	0.5	2.00
29T	interconnessione A1-A11	0.024	0.49	25.98	0.409	100	0.172	42.81	0.3	0.17
39	5+057	0.049	0.70	25.98	0.409	100	0.172	49.65	0.3	0.29
40	5+353	0.626	2.36	24.69	0.247	100	0.202	77.35	0.4	2.28
41	5+414	0.036	0.33	25.98	0.409	100	0.172	36.53	0.3	0.33
43	5+489	0.064	0.51	25.98	0.409	100	0.172	43.49	0.3	0.46
44	5+708	0.316	0.95	25.98	0.409	100	0.172	56.14	0.3	1.56
46	5+909	0.965	2.00	25.98	0.409	100	0.172	76.10	0.2	2.04
48	6+000	0.036	0.72	25.98	0.409	100	0.172	50.06	0.2	0.14
50	6+282	0.126	0.59	25.98	0.409	100	0.172	46.35	0.5	1.37
51	6+449	0.152	0.61	25.98	0.409	100	0.172	46.98	0.6	1.94
52	6+618	0.236	1.23	24.69	0.247	100	0.202	65.83	0.6	2.11
54	6+843	0.490	1.77	24.69	0.247	100	0.202	72.08	0.5	2.77
55	7+012	0.615	1.80	24.69	0.247	100	0.202	72.41	0.4	2.74
58	7+300	0.504	1.12	24.69	0.247	100	0.202	64.43	0.4	3.21
60	7+523	0.654	1.81	24.69	0.247	100	0.202	72.47	0.4	2.91
62	8+019	0.447	2.11	24.69	0.247	100	0.202	75.24	0.4	1.77
64	8+426	1.085	3.13	24.69	0.247	100	0.202	82.96	0.6	4.80
65	8+522	0.037	0.17	25.98	0.409	100	0.172	27.79	0.4	0.67
69	8+999	0.055	0.32	25.98	0.409	100	0.172	36.00	0.4	0.69
70BIS	9+256	0.055	0.31	24.69	0.247	100	0.202	46.97	0.4	0.92
71	9+387	0.047	0.30	24.69	0.247	100	0.202	46.42	0.3	0.61
72	9+626	0.145	0.65	24.69	0.247	100	0.202	56.27	0.3	1.05
74	9+828	0.053	0.30	25.98	0.409	100	0.172	35.25	0.3	0.51
76BIS	10+206	0.118	0.57	25.98	0.409	100	0.172	45.60	0.6	1.57

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Tc assunto (ore)	a (mm/h ⁿ)	n (-)	Tr (anni)	m (-)	h100 (mm)	c (-)	Q 100 (m ³ /s)
78	10+516	0.118	0.71	25.98	0.409	100	0.172	49.99	0.6	1.37
79	10+586	1.476	3.11	24.69	0.247	100	0.202	82.82	0.6	6.55
80	10+686	0.109	0.54	25.98	0.409	100	0.172	44.58	0.5	1.25
82	10+949	0.020	0.24	25.98	0.409	100	0.172	31.75	0.5	0.37
83	11+094	0.102	0.60	25.98	0.409	100	0.172	46.50	0.5	1.10
84	11+273	0.100	0.57	25.98	0.409	100	0.172	45.53	0.4	0.89
85	11+421	0.159	0.74	25.98	0.409	100	0.172	50.57	0.4	1.21
88	11+696	0.960	1.88	24.69	0.247	100	0.202	73.19	0.6	6.22
90	12+040	0.040	0.33	25.98	0.409	100	0.172	36.54	0.6	0.73
91	12+160	0.064	0.75	25.98	0.409	100	0.172	50.95	0.6	0.73
92	12+230	0.215	0.97	25.98	0.409	100	0.172	56.68	0.6	2.10
93	12+309	0.082	0.65	25.98	0.409	100	0.172	48.04	0.5	0.84
94	12+509	0.458	1.35	24.69	0.247	100	0.202	67.43	0.5	3.17
95	12+779	0.141	0.86	25.98	0.409	100	0.172	53.86	0.4	0.99
97	12+988	2.347	2.55	24.69	0.247	100	0.202	78.84	0.5	10.09
99	13+190	0.143	0.85	25.98	0.409	100	0.172	53.79	0.5	1.25
100	13+520	3.915	3.68	24.69	0.247	100	0.202	86.36	0.5	12.75
102 BIS	13+874	0.037	0.29	25.98	0.409	100	0.172	34.55	0.5	0.62
104	14+152	0.198	1.02	24.69	0.247	100	0.202	62.92	0.3	1.01
105	14+411	0.475	1.62	24.69	0.247	100	0.202	70.52	0.4	2.29
107	14+698	0.315	1.32	24.69	0.247	100	0.202	67.00	0.4	1.78
108	14+919	0.226	1.05	24.69	0.247	100	0.202	63.32	0.4	1.52
109	15+134	0.479	1.50	24.69	0.247	100	0.202	69.14	0.5	3.07
111	15+749	0.149	1.27	24.69	0.247	100	0.202	66.39	0.5	1.08
112	15+958	0.087	1.03	24.69	0.247	100	0.202	63.09	0.5	0.74
113	16+027	0.009	0.38	25.98	0.409	100	0.172	38.77	0.4	0.11
113BIS	16+162	0.009	0.39	25.98	0.409	100	0.172	39.18	0.4	0.10
114	16+215	0.216	1.27	24.69	0.247	100	0.202	66.42	0.4	1.25
117	16+504	0.431	2.66	24.69	0.247	100	0.202	79.70	0.4	1.43
119	16+739	0.031	0.27	25.98	0.409	100	0.172	33.71	0.4	0.43
120	16+924	0.076	0.57	25.98	0.409	100	0.172	45.50	0.4	0.67
122	17+106	0.266	1.20	24.69	0.247	100	0.202	65.50	0.4	1.61
124	17+291	0.075	0.42	25.98	0.409	100	0.172	40.08	0.3	0.60

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Tc assunto (ore)	a (mm/h ⁿ)	n (-)	Tr (anni)	m (-)	h100 (mm)	c (-)	Q 100 (m ³ /s)
125	17+373	0.049	0.33	25.98	0.409	100	0.172	36.45	0.3	0.45
126	17+466	0.053	0.37	25.98	0.409	100	0.172	37.98	0.3	0.46
130	17+811	0.123	0.64	25.98	0.409	100	0.172	47.78	0.3	0.76
131	17+902	0.697	1.38	24.69	0.247	100	0.202	67.79	0.3	2.85
132	17+920	0.054	0.37	25.98	0.409	100	0.172	38.05	0.4	0.62
133	18+047	0.033	0.27	25.98	0.409	100	0.172	33.63	0.4	0.45
135	18+345	0.021	0.30	25.98	0.409	100	0.172	35.04	0.3	0.21
136	18+570	0.026	0.31	25.98	0.409	100	0.172	35.69	0.3	0.25
136BIS	18+677	0.025	0.41	25.98	0.409	100	0.172	39.89	0.3	0.20
138	18+829	0.037	0.47	25.98	0.409	100	0.172	42.26	0.3	0.28
139	19+019	0.046	0.53	24.69	0.247	100	0.202	53.50	0.4	0.52
140	19+109	0.034	0.55	25.98	0.409	100	0.172	44.88	0.5	0.38
141	19+199	0.017	0.43	25.98	0.409	100	0.172	40.65	0.5	0.22
142	19+261	0.023	0.53	24.69	0.247	100	0.202	53.42	0.5	0.33
144	19+370	0.063	0.91	24.69	0.247	100	0.202	61.14	0.4	0.47
145	19+624	0.130	0.85	24.69	0.247	100	0.202	60.09	0.4	1.03
146	19+784	0.115	0.91	24.69	0.247	100	0.202	61.18	0.5	1.07
147	19+900	0.034	0.50	25.98	0.409	100	0.172	43.13	0.4	0.33
148	20+003	0.169	1.02	24.69	0.247	100	0.202	62.93	0.5	1.45
150	20+541	0.522	1.99	24.69	0.247	100	0.202	74.19	0.5	2.70
153	21+039	0.069	0.36	25.98	0.409	100	0.172	37.95	0.3	0.60
154_a	21+958 (svincolo Pistoia Est)	0.460	0.63	25.98	0.409	100	0.172	47.38	0.3	2.90
154	21+162	1.295	3.54	24.69	0.247	100	0.202	85.51	0.4	3.48
155	21+212	0.017	0.19	25.98	0.409	100	0.172	28.83	0.3	0.22
156	21+400	0.016	0.17	25.98	0.409	100	0.172	27.97	0.3	0.22
158	21+565	0.076	0.48	25.98	0.409	100	0.172	42.52	0.3	0.56
159	21+960	0.080	0.50	25.98	0.409	100	0.172	43.25	0.3	0.58
160	22+146	0.042	0.36	25.98	0.409	100	0.172	37.77	0.3	0.37
161	22+283	0.067	0.63	25.98	0.409	100	0.172	47.40	0.3	0.42
163	22+619	0.023	0.20	25.98	0.409	100	0.172	30.00	0.3	0.28
164	23+014	0.179	1.10	24.69	0.247	100	0.202	64.13	0.3	0.87
165	23+296	0.117	0.79	25.98	0.409	100	0.172	52.13	0.3	0.64
167	23+535	0.096	0.58	25.98	0.409	100	0.172	46.03	0.3	0.63

Codice Bacino	Progressiva (km)	S (km ²)	Tc assunto (ore)	a (mm/h ⁿ)	n (-)	Tr (anni)	m (-)	h100 (mm)	c (-)	Q 100 (m ³ /s)
168	23+711	0.070	0.34	25.98	0.409	100	0.172	36.97	0.3	0.63
169	23+909	0.049	0.29	25.98	0.409	100	0.172	34.70	0.3	0.48
170	24+100	0.045	0.32	25.98	0.409	100	0.172	36.16	0.3	0.42
171	24+301	0.055	0.51	25.98	0.409	100	0.172	43.58	0.4	0.52
172	24+434	0.068	0.33	25.98	0.409	100	0.172	36.42	0.4	0.83
174	24+783	0.082	0.35	25.98	0.409	100	0.172	37.22	0.4	0.97
175	24+971	1.456	2.11	24.69	0.247	100	0.202	75.29	0.5	7.21
177	25+108	0.046	0.50	25.98	0.409	100	0.172	43.25	0.4	0.44
178	25+222	6.744	4.40	24.69	0.247	100	0.202	90.26	0.6	24.77
179	25+351	0.018	0.20	25.98	0.409	100	0.172	29.61	0.3	0.22
182	26+421	4.152	3.86	24.69	0.247	100	0.202	87.36	0.6	16.72
184	26+886	0.034	0.56	25.98	0.409	100	0.172	45.35	0.4	0.30
185	26+961	0.079	0.66	25.98	0.409	100	0.172	48.35	0.3	0.48
186	27+069	0.094	0.92	25.98	0.409	100	0.172	55.48	0.3	0.47
187	27+276	0.075	1.06	24.69	0.247	100	0.202	63.46	0.3	0.38
113T	svincolo Pistoia	0.069	0.87	25.98	0.409	100	0.172	54.15	0.3	0.36
260	36+852	0.004	0.17	25.98	0.409	100	0.172	27.79	0.4	0.07
261	36+971	0.096	0.17	25.98	0.409	100	0.172	27.79	0.4	1.74
263	37+141	0.050	0.27	25.98	0.409	100	0.172	33.40	0.5	0.86
264	37+218	0.202	0.18	25.98	0.409	100	0.172	28.38	0.5	4.44
265	37+412	0.036	0.32	25.98	0.409	100	0.172	35.88	0.5	0.57
266	37+583	0.007	0.17	25.98	0.409	100	0.172	27.79	0.4	0.13
268	37+771	0.007	0.17	25.98	0.409	100	0.172	27.79	0.4	0.12
269	37+943	0.060	0.49	25.98	0.409	100	0.172	42.97	0.4	0.58

Tabella 4 - Portate a tempo di ritorno 100 anni sui corsi d'acqua minori interferiti dalla A11.

Le portate sopra elencate tengono già conto delle confluenze dei singoli bacini elementari, in particolare:

- la portata associata all'opera 009_T è quella risultante dagli apporti dei bacini elementari denominati 3, 4, 6, 7, 8, 9, 006_P, 008_T e 005_T;
- la portata associata all'opera 39 tiene conto dell'apporto del bacino elementare 29_T;
- la portata associata all'opera 164 tiene conto dell'apporto del bacino elementare 165;

- la portata associata all'opera 154_a (svincolo Pistoia Est) tiene conto degli apporti dei bacini elementari 165 e 164;
- la portata associata all'opera 154 tiene conto degli apporti dei bacini elementari 165, 164 e 154_a;
- la portata associata all'opera 187 tiene conto dell'apporto del bacino elementare 113_T;
- la portata del torrente Brusigliano in corrispondenza della opere 182 e 178 tiene conto degli apporti dei bacini elementari 184, 185, 186 e 187;
- la portata associata all'opera 264 tiene conto degli apporti dei bacini elementari 260, 261 e 263.

Le portate di Tabella 4 sono quelle utilizzate successivamente nella verifica idraulica delle opere minori descritte nei paragrafi seguenti.

4 ANALISI IDRAULICA SUI CORSI D'ACQUA PRINCIPALI E SECONDARI

Il presente paragrafo illustra le verifiche idrauliche eseguite, sia per lo stato attuale che per quello di progetto, sui corsi d'acqua principali e secondari tramite l'ausilio di modellistica numerica. I corsi d'acqua sono nel seguito del documento elencati secondo l'ordine della progressiva chilometrica autostradale (crescente dallo svincolo di Sesto Fiorentino a Pistoia) rispetto alla quale presentano interferenza.

4.1 FOSSO REALE

4.1.1 Schematizzazione del modello geometrico

Il fosso Reale interferisce con l'autostrada in ampliamento alla progressiva km 1+948; l'opera esistente è costituita da un ponte ad unica campata di luce netta pari a 15.50 m.

La geometria del corso d'acqua è stata descritta sulla base del rilievo di dettaglio eseguito appositamente per il presente progetto; in particolare il modello geometrico è costituito da

17 sezioni trasversali che rappresentano idrodinamicamente il corso d'acqua per un'estensione di circa 1260.0 m. Il rilievo si estende per una lunghezza di 525.00 m a monte dell'autostrada in ampliamento e per circa 735.0 m a valle. L'alveo del corso d'acqua è limitato in destra e sinistra idraulica da arginature a carattere continuo; sono presenti inoltre opere di difesa spondale in massi sciolti e/o cementati per la stabilità degli argini in frodo.

Nel tratto d'asta analizzato idrodinamicamente si riscontra la presenza di 5 attraversamenti stradali, di cui 3 ubicati a monte dell'A11 ed 1 poco a valle di esso. In particolare a monte sono di interesse per l'analisi in oggetto: il ponte denominato 002 schematizzato tra le sezioni di calcolo 1.4 e 1.6 (ponte a 3 luci con quota minima di intradosso 41.35 m s.m.); il ponte denominato 001 schematizzato tra le sezioni di calcolo 6.4 e 6.6 (ponte a 1 luce da 28.51 m e quota minima di intradosso 40.84 m s.m.); il ponte denominato rampa nord che, vista la vicinanza con il ponte autostradale, è stato schematizzato tra le sezioni di calcolo 9.4 e 9.6 (ponte a 1 luce con le stesse caratteristiche di quello autostradale). A valle si è considerato il ponte denominato 003 schematizzato tra le sezioni di calcolo 10.4 e 10.6 (ponte a 1 luce da circa 30.00 m con quota minima di intradosso 40.56 m s.m.).

Di seguito (Tabella 5) si riporta il profilo longitudinale del modello di simulazione in cui si sono rappresentate le 17 sezioni trasversali utilizzate (oltre a quelle di calcolo sopraccitate inserite per la corretta rappresentazione dei manufatti di attraversamento), caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg), posizione dei manufatti presenti in alveo e quote di sommità delle opere arginali. In Figura 3 si riporta lo stralcio planimetrico del tratto di corso d'acqua oggetto di analisi idraulica con la rappresentazione delle sezioni di rilievo.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	1	0	40.87	41.22	34.80
monte ponte 002	1.4	42	40.85	41.20	35.33
valle ponte 002	1.6	65	40.85	41.20	34.75
	2	79	42.92	40.94	34.72
	3	124	41.54	41.26	34.61

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	4	170	41.51	40.97	34.79
	5	215	41.23	41.17	35.00
	6	255	42.17	41.81	35.18
monte ponte 001	6.4	268	42.17	41.81	35.40
valle ponte 001	6.6	278	41.81	41.81	35.08
	7	324	40.48	41.35	34.52
	8	404	40.48	41.40	34.60
	9	479	41.09	41.01	34.35
monte A11	9.4	495	40.36	40.36	33.98
valle A11	9.6	555	40.36	40.36	33.98
	10	592	40.52	40.07	34.00
monte ponte 003 (uscita corsia Sud)	10.4	606	40.52	40.13	33.91
valle ponte 003 (uscita corsia Sud)	10.6	619	40.48	40.22	33.91
	11	628	40.41	40.20	33.83
	12	681	39.97	40.20	33.37
	13	787	39.78	40.10	33.02
	14	889	39.77	40.06	32.90
	15	1019	39.71	40.05	33.00
	16	1133	39.51	39.96	33.01
	17	1258	39.51	40.07	32.93

Tabella 5 - Profilo longitudinale del modello idraulico del fosso Reale.

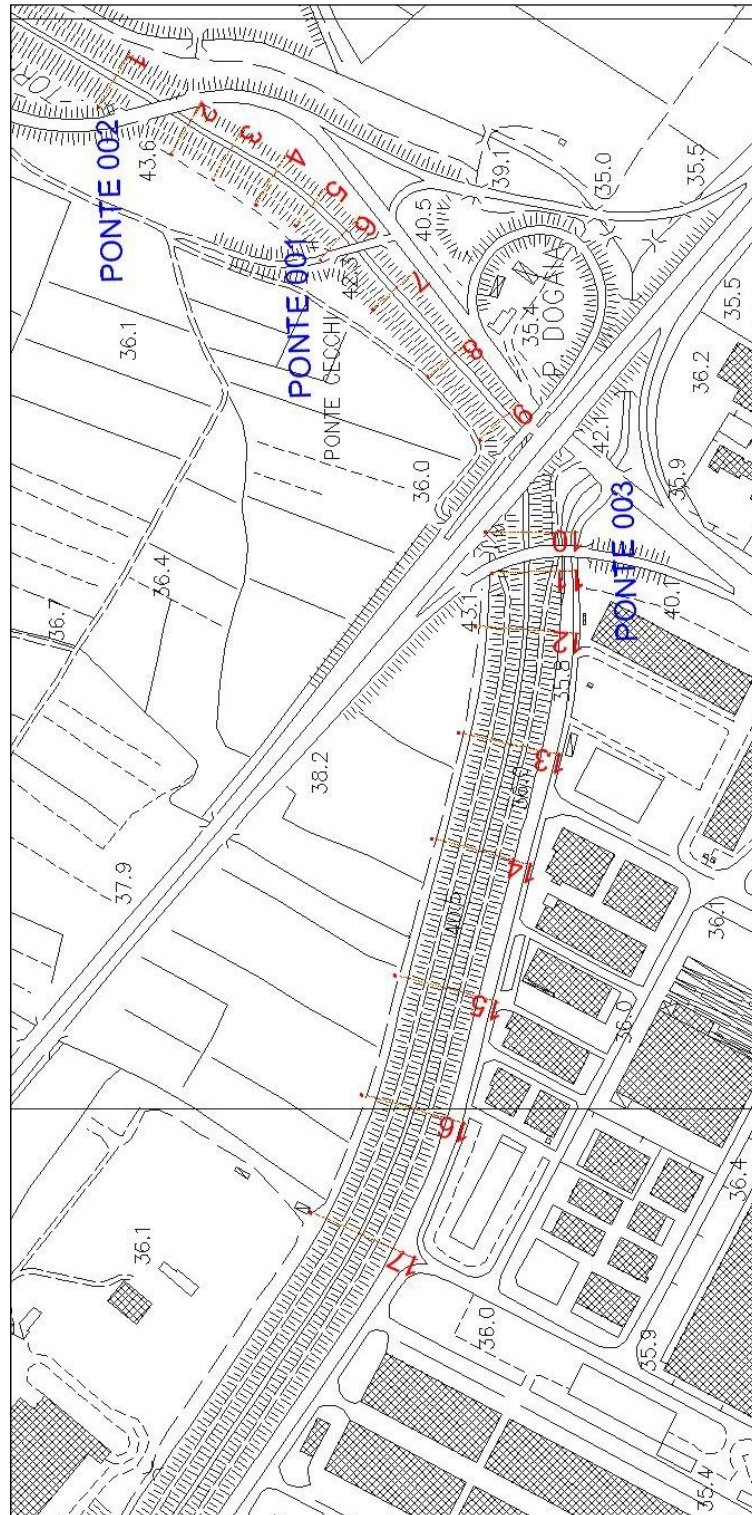


Figura 3 – Stralcio cartografico del tratto di corso d'acqua simulato con la rappresentazione planimetrica delle sezioni di rilievo utilizzate nel modello di simulazione.

4.1.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- idrogramma di piena a portata costante di valore al colmo pari a $150 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in entrata a monte (sez.1); tale valore è stato ottenuto per reiterazioni successive e rappresenta la portata contenuta in condizioni di sicurezza nell'alveo canalizzato del corso d'acqua;
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez. 17) a progressiva 1258.0 m.

4.1.3 Coefficienti di scabrezza

Nella simulazione sono state diversificate le resistenze distribuite da attribuire ai diversi tratti corso d'acqua sulla base:

- della granulometria del fondo alveo,
- della copertura vegetale presente sulle sponde,
- della presenza di opere di sistemazione e/o di rivestimento in alveo.

In particolare si sono utilizzati i seguenti valori di scabrezza :

- nei tratti in terra si è assunto un valore di Strickler variabile da 35 a $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ (0.028 a $0.022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti caratterizzati dalla presenza di copertura vegetale un valore di Strickler variabile da 30 a $35 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ (0.033 a $0.028 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti rivestiti in massi sciolti (difese spondali) un valore di Strickler pari a $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti con rivestimenti in cls (spalle di manufatti di attraversamento) un valore di Strickler pari a $60 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.0167 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

4.1.4 Verifica idraulica dello stato attuale

La portata di riferimento utilizzata nelle verifiche idrauliche è pari a $150 \text{ m}^3/\text{s}$; essa è compatibile con l'assetto idraulico del corso d'acqua in quanto contenuta nelle arginature continue esistenti in condizioni di sicurezza (franco residuo di circa 1.0 m rispetto alle quote arginali).

La portata transita nell'intero tratto di corso d'acqua simulato secondo un moto di corrente lenta con velocità comprese tra valori di 1.98 e 3.05 m/s (valori più elevati si riscontrano solo localmente in corrispondenza del ponte di valle).

Il manufatto di attraversamento esistente della A11 è caratterizzato da una quota minima di intradosso pari a 40.20 m s.m.; la quota idrometrica calcolata nella sezione di monte è pari a 39.21 m s.m. a cui corrisponde un franco idraulico di circa 1.00 m.. Di seguito (Tabella 6) si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare e grafica (Figura 4) rappresentando il profilo idrometrico relativo alla portata di verifica.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)
	1	0	40.87	41.22	150	34.80	39.68	37.97	39.97	0.0005	2.44	68.12	25.58	0.40
monte ponte 002	1.4	42	40.85	41.20	150	35.33	39.67	38.53	39.94	0.0004	2.47	71.30	28.91	0.43
	1.5		Bridge											
valle ponte 002	1.6	65	40.85	41.20	150	34.75	39.60	37.94	39.85	0.0003	2.31	75.52	28.87	0.38
	2	79	42.92	40.94	150	34.72	39.59	37.91	39.84	0.0005	2.26	70.42	25.52	0.39
	3	124	41.54	41.26	150	34.61	39.54	37.99	39.82	0.0005	2.53	76.39	26.23	0.40
	4	170	41.51	40.97	150	34.79	39.50	37.87	39.80	0.0005	2.49	69.48	25.64	0.41
	5	215	41.23	41.17	150	35.00	39.45	38.09	39.77	0.0005	2.63	69.80	26.06	0.43
	6	255	42.17	41.81	150	35.18	39.35	38.30	39.74	0.0007	3.04	66.89	26.17	0.50
monte ponte 001	6.4	268	42.17	41.81	150	35.40	39.38	38.26	39.72	0.0007	2.90	71.58	28.01	0.49
	6.5		Bridge											
valle ponte 001	6.6	278	41.81	41.81	150	35.08	39.39	38.13	39.70	0.0006	2.76	74.57	28.05	0.45
	7	324	40.48	41.35	150	34.52	39.39	37.73	39.67	0.0005	2.39	71.40	26.53	0.40
	8	404	40.48	41.40	150	34.60	39.34	37.66	39.63	0.0005	2.43	70.45	26.22	0.40
	9	479	41.09	41.01	150	34.35	39.21	37.90	39.58	0.0007	2.76	63.67	28.34	0.47
monte A11	9.4	495	40.36	40.36	150	33.98	39.21	37.05	39.42	0.0004	2.40	91.26	22.41	0.35

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)
	9.5		Bridge											
valle A11	9.6	555	40.36	40.36	150	33.98	39.19	36.90	39.34	0.0002	1.98	90.86	22.41	0.29
	10	592	40.52	40.07	150	34.00	39.00	37.66	39.31	0.0005	2.59	65.24	24.78	0.42
monte ponte 003 (uscita corsia Sud)	10.4	606	40.52	40.13	150	33.91	38.98	38.06	39.30	0.0009	2.92	61.17	25.67	0.42
	10.5		Bridge											
valle ponte 003 (uscita corsia Sud)	10.6	619	40.48	40.22	150	33.91	38.54	38.29	39.25	0.0025	4.56	50.47	23.87	0.68
	11	628	40.41	40.20	150	33.83	38.53	37.62	39.00	0.0009	3.19	57.28	23.40	0.54
	12	681	39.97	40.20	150	33.37	38.55	37.41	38.94	0.0007	2.88	62.10	24.74	0.48
	13	787	39.78	40.10	150	33.02	38.51	37.10	38.85	0.0006	2.69	66.97	24.65	0.43
	14	889	39.77	40.06	150	32.90	38.41	37.18	38.78	0.0007	2.82	63.64	24.70	0.46
	15	1019	39.71	40.05	150	33.00	38.37	36.90	38.69	0.0006	2.59	67.47	25.06	0.43
	16	1133	39.51	39.96	150	33.01	38.32	36.68	38.62	0.0005	2.52	69.07	25.31	0.41
	17	1258	39.51	40.07	150	32.93	38.18	36.87	38.54	0.0007	2.78	63.68	25.23	0.46

 Tabella 6 – Simulazione per portata pari a 150 m³/s sul fosso Reale nelle condizioni di stato attuale.

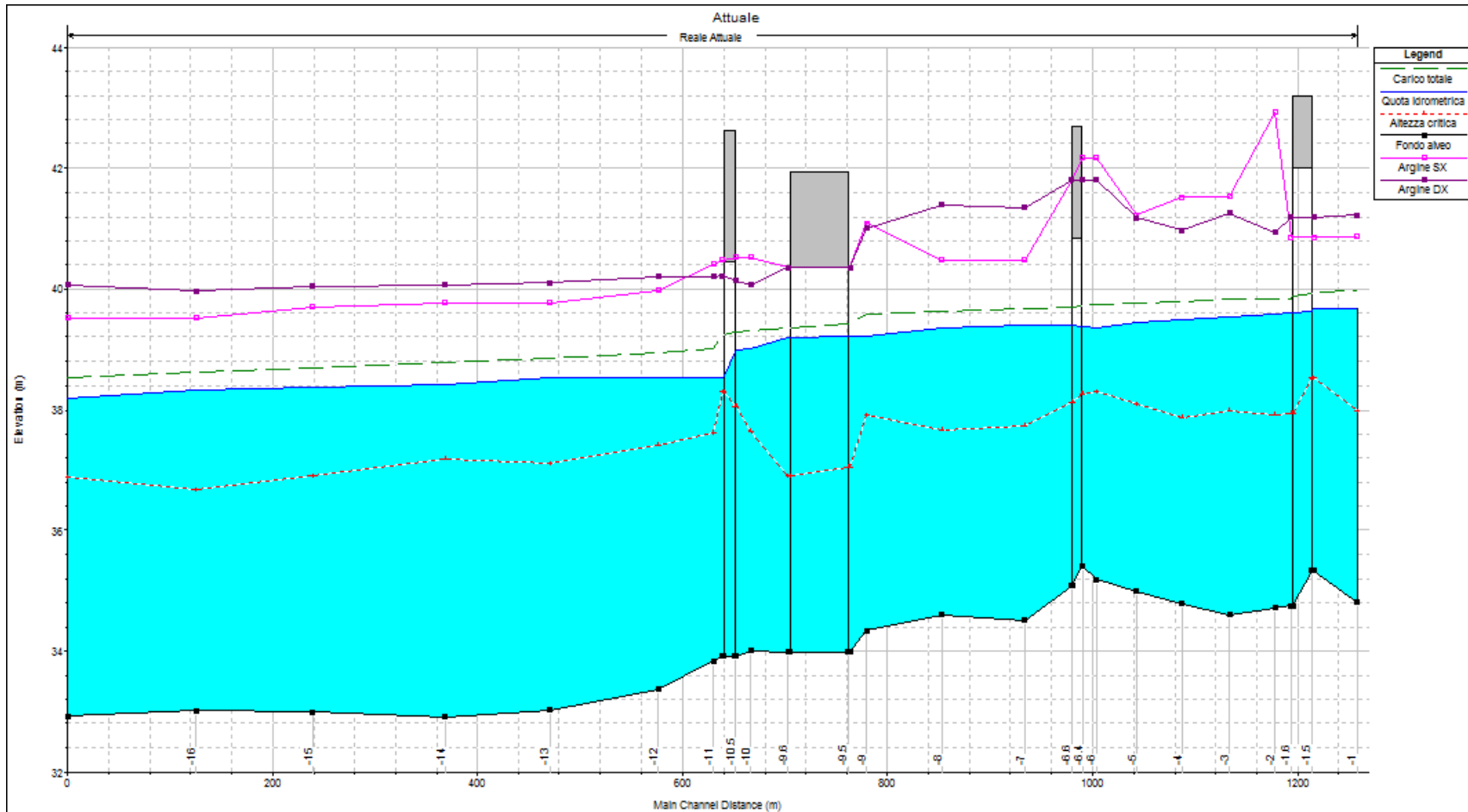


Figura 4 – Profilo idrometrico nelle condizioni di stato attuale sul fosso Reale per portata pari a 150 m³/s.

 spea <small>autostrade</small>	ingegneria europea	AUTOSTRADA (A11) Firenze – Pisa Nord Ampliamento alla terza corsia del Tratto Firenze – Pistoia Progetto Definitivo
--	-------------------------------	--

4.1.5 Verifica idraulica dello stato di progetto

L'intervento previsto riguarda l'ampliamento del ponte autostradale ed il ripristino della sistemazione d'alveo in massi di cava cementati, già presente nel tratto di corso d'acqua in oggetto.

In particolare, il ponte viene ampliato di 5.60 m a monte e 7.53 m a valle per una lunghezza complessiva di circa 50 m, misurata in asse al corso d'acqua (da progr. 508.24 m a progr. 558.47 m); la sistemazione d'alveo è prevista per un tratto di complessivi 79.66 m a cavallo delle 2 opere di attraversamento (autostrada A11 ampliata e ponte rampa nord) e presenta tipologia e configurazione analoghe a quella esistente.

Il ponte autostradale ampliato presenterà quota minima di intradosso a monte di 40.20 m s.m., la stessa già rilevata per il ponte nello stato attuale.

La verifica dello stato di progetto è stata eseguita introducendo nella schematizzazione del modello la nuova configurazione geometrica delle opere sopra descritta; dai risultati ottenuti (si rimanda alla Tabella 7 e alla Figura 5) è possibile affermare che con gli interventi in progetto non si determinano variazioni sulle condizioni di deflusso nel tratto a cavallo del ponte autostradale, sia per quanto riguarda i livelli idrometrici (e quindi i franchi idraulici), sia per le velocità di corrente.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza a carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
	1	0	40.87	41.22	150	34.80	39.68	37.97	39.97	0.0005	2.44	68.12	25.58	0.40	0.00
monte ponte 002	1.4	42	40.85	41.20	150	35.33	39.67	38.53	39.94	0.0004	2.47	71.30	28.91	0.43	0.00
	1.5		Bridge												0.00
valle ponte 002	1.6	65	40.85	41.20	150	34.75	39.60	37.94	39.85	0.0003	2.31	75.52	28.87	0.38	0.00
	2	79	42.92	40.94	150	34.72	39.59	37.91	39.84	0.0005	2.26	70.42	25.52	0.39	0.00
	3	124	41.54	41.26	150	34.61	39.54	37.99	39.82	0.0005	2.53	76.39	26.23	0.40	0.00
	4	170	41.51	40.97	150	34.79	39.50	37.87	39.80	0.0005	2.49	69.48	25.64	0.41	0.00
	5	215	41.23	41.17	150	35.00	39.45	38.09	39.77	0.0005	2.63	69.80	26.06	0.43	0.00
	6	255	42.17	41.81	150	35.18	39.35	38.30	39.74	0.0007	3.04	66.89	26.17	0.50	0.00
monte ponte 001	6.4	268	42.17	41.81	150	35.40	39.38	38.26	39.72	0.0007	2.90	71.58	28.01	0.49	0.00
	6.5		Bridge												0.00
valle ponte 001	6.6	278	41.81	41.81	150	35.08	39.39	38.13	39.70	0.0006	2.76	74.57	28.05	0.45	0.00
	7	324	40.48	41.35	150	34.52	39.39	37.73	39.67	0.0005	2.39	71.40	26.53	0.40	0.00
	8	404	40.48	41.40	150	34.60	39.34	37.66	39.63	0.0005	2.43	70.45	26.22	0.40	0.00
	9	479	41.09	41.01	150	34.35	39.21	37.90	39.58	0.0007	2.76	63.67	28.34	0.47	0.00
monte A11	9.4	493	40.36	40.36	150	34.01	39.20	36.89	39.35	0.0002	1.97	91.44	22.41	0.28	-0.01
	9.5														0.00
valle A11	9.6	558	40.36	40.36	150	33.80	39.19	36.84	39.34	0.0002	1.94	92.55	22.41	0.28	0.00
	10	592	40.52	40.07	150	33.81	39.00	37.66	39.31	0.0005	2.59	65.24	24.78	0.42	0.00
monte ponte 003 (uscita corsia Sud)	10.4	606	40.52	40.13	150	33.82	38.98	38.06	39.30	0.0009	2.92	61.17	25.67	0.42	0.00
	10.5		Bridge												0.00
valle ponte 003 (uscita)	10.6	619	40.48	40.22	150	33.83	38.54	38.29	39.25	0.0025	4.56	50.47	23.87	0.68	0.00

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza a carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
corsia Sud)															
	11	628	40.41	40.20	150	33.83	38.53	37.62	39.00	0.0009	3.19	57.28	23.40	0.54	0.00
	12	681	39.97	40.20	150	33.37	38.55	37.41	38.94	0.0007	2.88	62.10	24.74	0.48	0.00
	13	787	39.78	40.10	150	33.02	38.51	37.10	38.85	0.0006	2.69	66.97	24.65	0.43	0.00
	14	889	39.77	40.06	150	32.90	38.41	37.18	38.78	0.0007	2.82	63.64	24.70	0.46	0.00
	15	1019	39.71	40.05	150	33.00	38.37	36.90	38.69	0.0006	2.59	67.47	25.06	0.43	0.00
	16	1133	39.51	39.96	150	33.01	38.32	36.68	38.62	0.0005	2.52	69.07	25.31	0.41	0.00
	17	1258	39.51	40.07	150	32.93	38.18	36.87	38.54	0.0007	2.78	63.68	25.23	0.46	0.00

Tabella 7 - Simulazione per portata pari a 150 m³/s sul fosso Reale nelle condizioni di progetto.

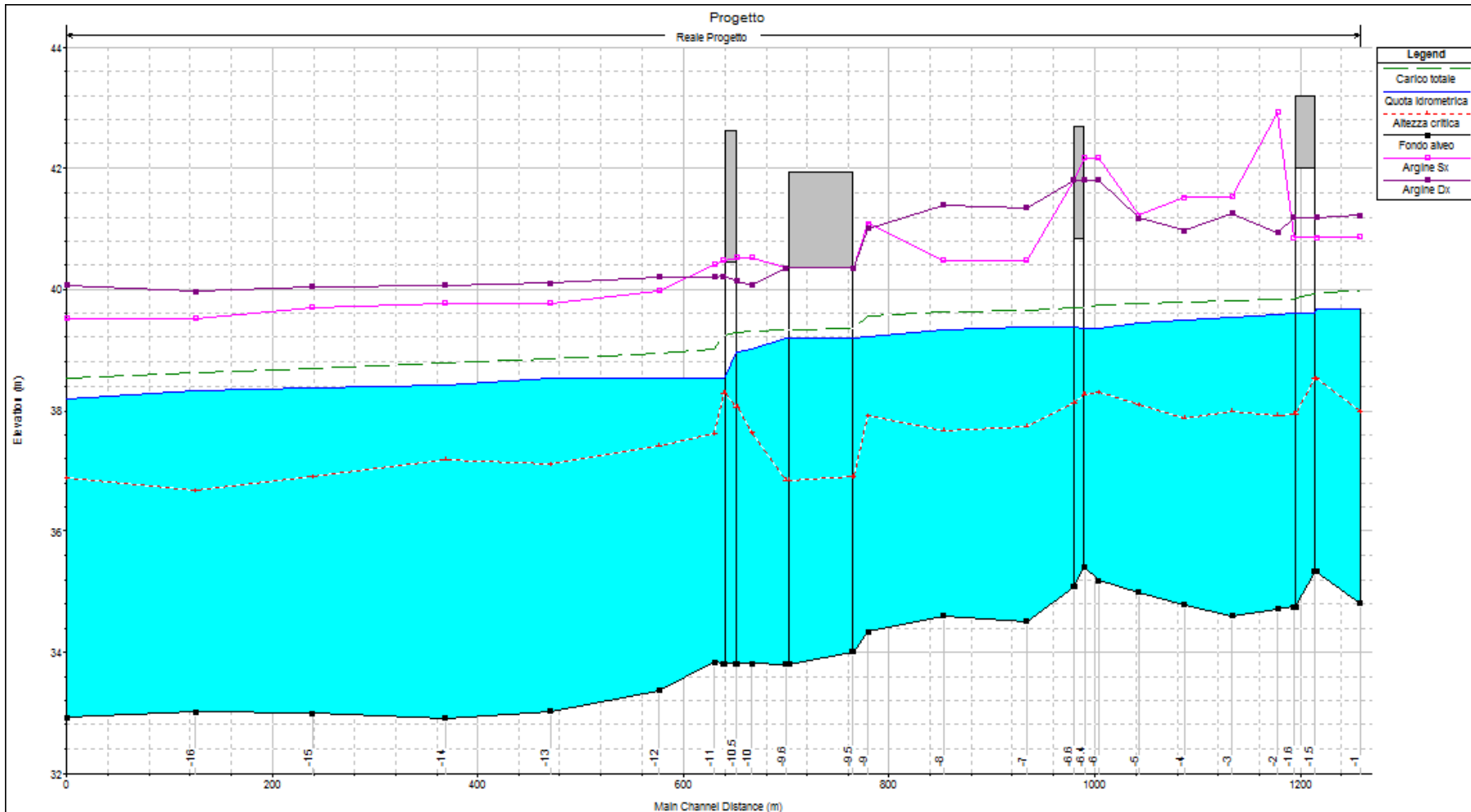


Figura 5 - Profilo idrometrico nelle condizioni di progetto sul fosso Reale per portata pari a 150 m³/s.

4.2 TORRENTE GARILLE

4.2.1 Schematizzazione del modello geometrico

Il torrente Garille è un affluente di sinistra del torrente Marina, in cui confluisce dopo aver attraversato l'autostrada A11 alla progressiva km 5+798.

L'opera esistente è costituita da un ponticello a soletta piana di luce pari a 5.0 m e di altezza di circa 4.0 m.

Il corso d'acqua nel tratto in analisi ha andamento rettilineo, caratterizzato da un alveo molto regolare di geometria trapezia con le due sponde rivestite da lastre in cls. L'alveo del torrente è canalizzato da arginature a carattere continuo in destra e sinistra idraulica.

La geometria del corso d'acqua è rappresentata sulla base del rilievo fatto eseguire dal Consorzio di Bonifica Area Fiorentina, per la redazione dello Studio di aggiornamento al PAI denominato "Rischio idraulico sul territorio comunale di Campi Bisenzio".

Il modello di simulazione eseguito si estende da monte della località Le Carpognane fino alla confluenza nel torrente Marina, coprendo un'estensione d'asta pari a circa 4600 m. Esso rappresenta tutti i manufatti di attraversamento localizzati a monte ed a valle dell'autostrada A11 e contiene al suo interno le opere di laminazione controllata del colmo di piena presenti in località Le Carpognane. In particolare vi sono due casse di espansione fuori linea localizzate in sinistra idraulica del Garille.

Nell'ambito del presente progetto si è rappresentato (in termini di risultati idrodinamici) il tratto di modello che si estende da circa 263.0 m a monte della A11 fino alla confluenza nel fiume Bisenzio per un'estensione complessiva pari a 1342.0 m.

Di seguito (Tabella 8) si riporta il profilo longitudinale del modello di simulazione in cui si sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate, caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg), posizione dei manufatti presenti in alveo e

quote di sommità delle opere arginali. In Figura 6 si riporta lo stralcio planimetrico del tratto di corso d'acqua oggetto di analisi idraulica con la rappresentazione delle sezioni.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX (m s.m.)	Quota argine DX (m s.m.)	Quota fondo alveo (m s.m.)
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	7	0	46.00	45.89	43.41
	6	224	45.40	45.40	42.60
monte A11	5	292	45.57	45.55	42.17
valle A11	4	331	45.57	45.55	42.17
	2.2	435	45.51	45.50	41.85
	2	475	44.81	44.80	41.15

Tabella 8 - Profilo longitudinale del modello idraulico del torrente Garille.



Figura 6 - Stralcio cartografico del tratto di corso d'acqua simulato con la rappresentazione planimetrica delle sezioni di rilievo utilizzate nel modello di simulazione.

Oltre alle sezioni del modello, sono state poi utilizzate le sezioni di rilievo (denominate con la lettera R oltre al numero), per tutte le considerazioni di tipo progettuale nel tratto di corso d'acqua interessato dalle presenti valutazioni.

4.2.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- idrogramma di piena a tempo di ritorno 200 anni in entrata a monte del modello;
- livello idrometrico di piena duecentennale sul torrente Marina in corrispondenza del nodo di confluenza.

4.2.3 Coefficienti di scabrezza

Nella simulazione sono state diversificate le resistenze distribuite da attribuire ai diversi tratti corso d'acqua sulla base:

- della granulometria del fondo alveo,
- della copertura vegetale presente sulle sponde,
- della presenza di opere di sistemazione e/o di rivestimento in alveo.

In particolare si sono utilizzati i seguenti valori di scabrezza :

- nei tratti in terra si è assunto un valore di Strickler variabile da 35 a 45 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.028 a 0.022 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti caratterizzati dalla presenza di copertura vegetale un valore di Strickler variabile da 30 a 35 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.033 a 0.028 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- tratti con rivestimenti in cls (spalle di manufatti di attraversamento, lastre di rivestimento spondale ...) un valore di Strickler pari a 60 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.0167 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning).

4.2.4 Verifica idraulica dello stato attuale

La simulazione a tempo di ritorno 200 anni eseguita sul corso d'acqua considera l'effetto di laminazione della portata esercitato dalle casse di espansione ubicate in località Le Carpognane; i risultati ottenuti in termini di propagazione della portata e dei relativi livelli idrometrici sono coerenti con quelli dello Studio eseguito dal Consorzio di Bonifica Area Fiorentina.

La piena è sempre contenuta all'interno delle arginature esistenti e transita nel tratto (immediatamente a monte ed a valle A11) rappresentato per il presente progetto in corrente lenta con velocità comprese tra valori di 1.4 e 2.8 m/s.

L'attraversamento A11 ha una quota minima di intradosso pari a 45.78 m s.m. a fronte di un livello idrometrico (calcolato nella sezione di monte) di 44.53 m s.m. a cui corrisponde un franco idraulico pari a 1.25 m.

Di seguito (Tabella 9) si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare e grafica (Figura 7) rappresentando il profilo idrometrico relativo alla portata a tempo di ritorno 200 anni.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)
	7	0	46.00	45.89	30.58	43.41	45.27		45.62	0.0035	2.80	13.26	9.52	0.66
	6	224	45.40	45.40	28.62	42.60	44.58		44.85	0.0026	2.49	13.97	9.33	0.56
monte A11	5	292	45.57	45.55	28.61	42.17	44.53	43.60	44.71	0.0014	2.06	17.17	9.78	0.43
	4.9		Bridge											
valle A11	4	331	45.57	45.55	27.87	42.17	44.39		44.59	0.0016	2.15	15.88	9.50	0.46
	2.2	435	45.51	45.50	27.74	41.85	44.27		44.44	0.0012	1.96	17.46	9.60	0.40
	2	475	44.81	44.80	27.83	41.15	44.31		44.40	0.0005	1.43	25.10	11.07	0.26

Tabella 9 - Simulazione per portata Tr 200 anni sul torrente Garille nelle condizioni di stato attuale.

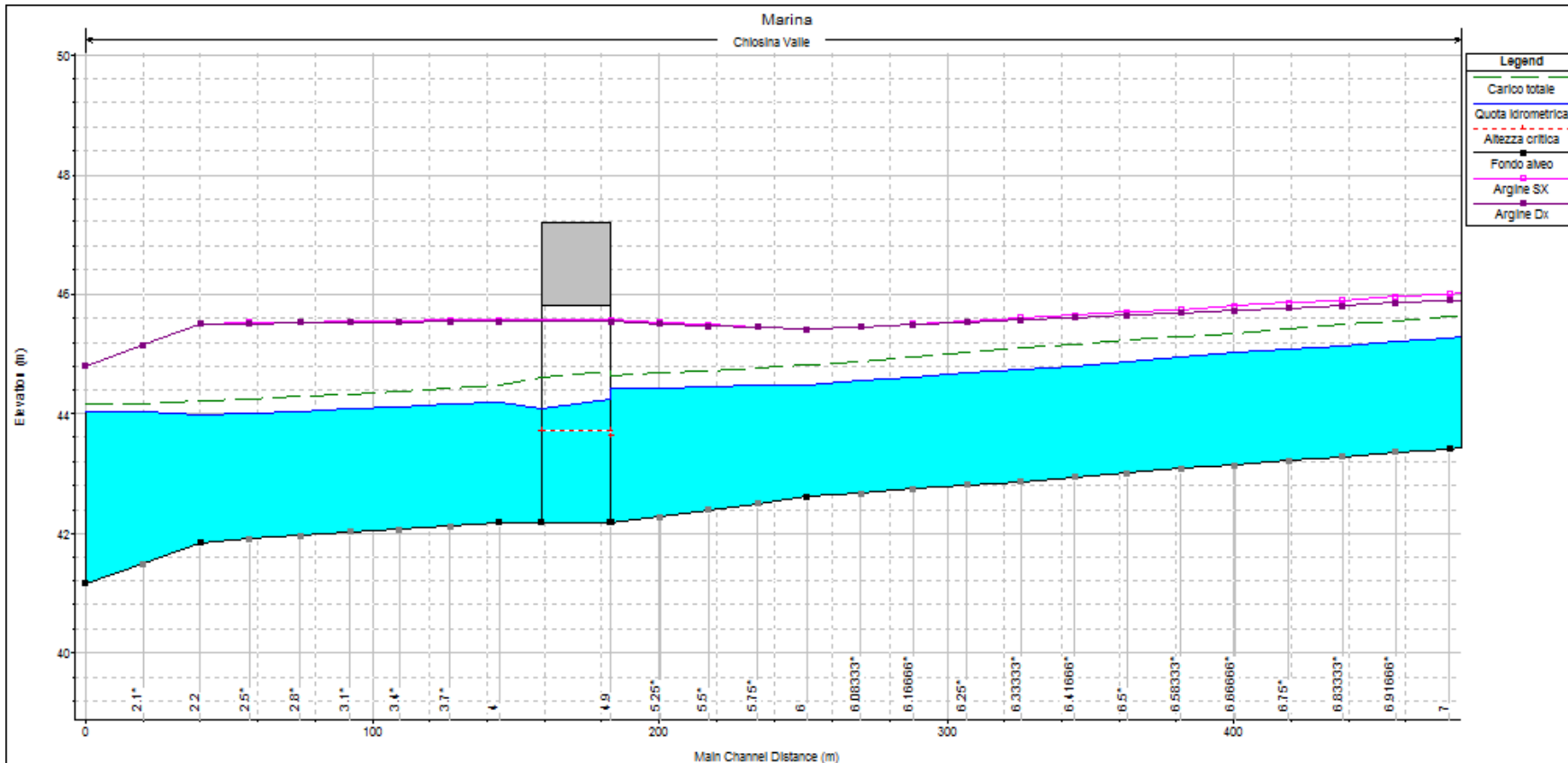


Figura 7 – Profilo idrometrico per portata Tr 200 anni sul torrente Garille nelle condizioni di stato attuale.

4.2.5 Verifica idraulica dello stato di progetto

L'intervento previsto riguarda l'ampliamento del ponte autostradale con la stessa tipologia attuale ed una sistemazione d'alveo in lastre di calcestruzzo nel tratto a cavallo del ponte stesso in modo da ripristinare sulle sponde e sul fondo condizioni di stabilità dell'alveo che presenta una sezione arginata con sponde già rivestite in calcestruzzo e caratterizzate da notevole pendenza (1/1).

In particolare, il ponte viene ampliato su entrambe le carreggiate per una lunghezza complessiva di 33.90 m, misurata in asse al corso d'acqua (da progr. 290.36 a progr. 324.26); la sistemazione d'alveo è prevista per 10.0 m a monte e a valle del ponticello ampliato al fine di ripristinare la tipologia di difesa esistente.

La sistemazione prevista presenta lastre prefabbricate in c.a. fondate su una platea di fondo sempre in c.a.. Si realizzerà una sezione trapezia di larghezza alla base 5.0 m, altezza 3.0 m e pendenza sponde 1/1, in analogia con quella esistente.

Il ponte ampliato presenterà quote di intradosso pari a 45.78 m s.m., uguali a quelle esistenti.

La verifica dello stato di progetto è stata eseguita introducendo nella schematizzazione del modello la nuova configurazione geometrica delle opere sopra descritta; dai risultati ottenuti (Tabella 10 e Figura 8) è possibile affermare che con gli interventi in progetto non si modificano le condizioni di deflusso attuali, trattandosi di un ripristino delle sistemazioni esistenti e non modificando la geometria dell'alveo.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
	7	0	46.00	45.89	30.58	43.41	45.27		45.62	0.0035	2.80	13.26	9.52	0.66	0.00
	6	224	45.40	45.40	28.62	42.60	44.58		44.85	0.0008	2.49	13.97	9.33	0.56	0.00
	3R	250	45.47	45.46	28.62	42.43	44.56		44.83	0.0021	2.28	15.22	9.51	0.50	-
	4R	282	45.55	45.53	28.61	42.22	44.55		44.76	0.0063	2.06	16.76	9.72	0.43	-
monte A11		290	45.57	45.55	28.61	42.17	44.54	43.60	44.72	0.0014	2.06	17.17	9.78	0.43	0.01
	4.9		Bridge												
valle A11	4	331	45.57	45.55	27.87	42.17	44.39		44.59	0.0029	2.15	15.88	9.50	0.46	0.00
	5R	373	45.55	45.53	27.80	42.04	44.31		44.52	0.0017	2.04	16.52	9.54	0.43	-
	2.2	435	45.51	45.50	27.74	41.85	44.27		44.44	0.0012	1.96	17.46	9.60	0.40	0.00
	2	475	44.81	44.80	27.83	41.15	44.31		44.40	0.0005	1.43	25.10	11.07	0.26	0.00

Tabella 10 - Simulazione per portata Tr 200 anni sul torrente Garille nelle condizioni di progetto.

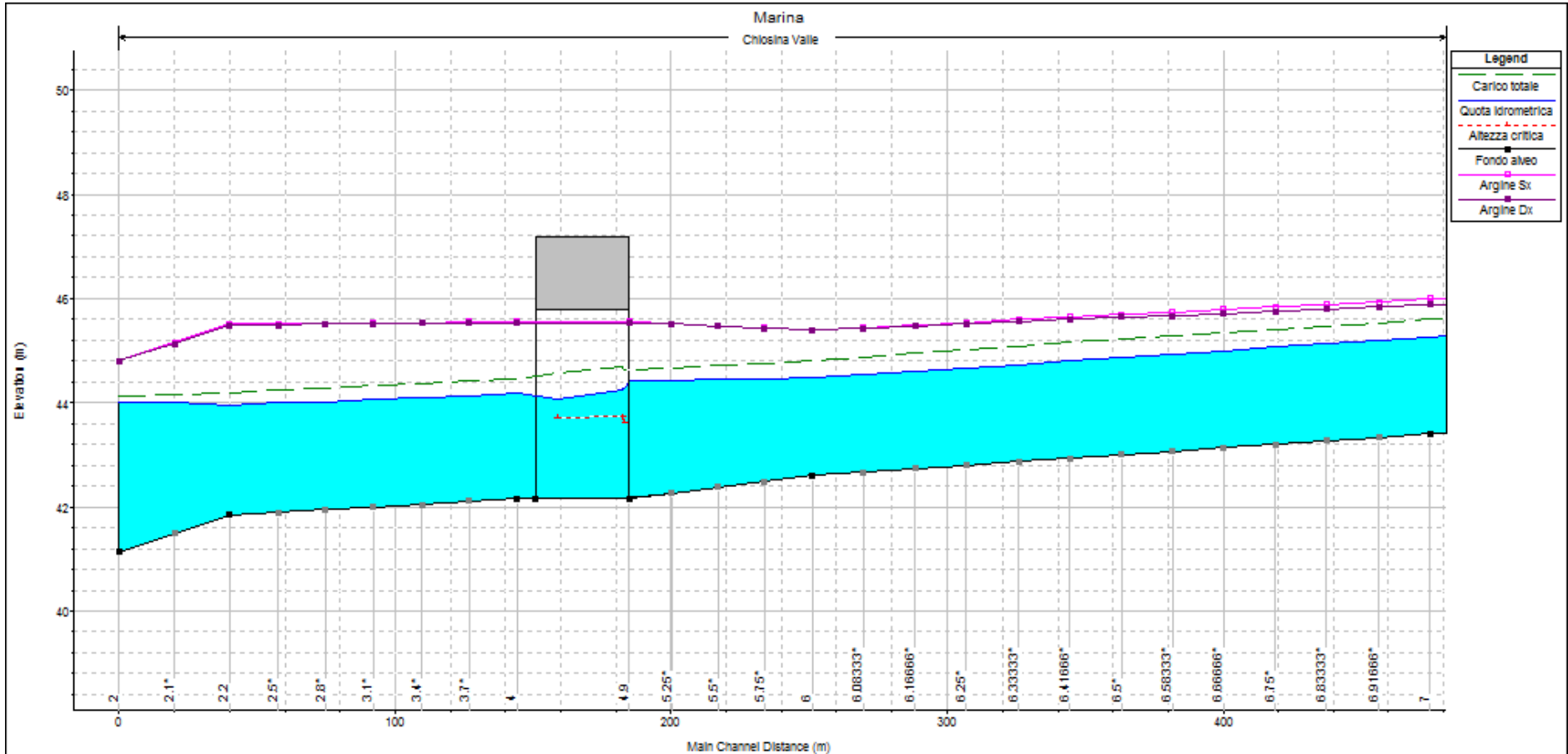


Figura 8 – Profilo idrometrico nelle condizioni di progetto sul torrente Garille per portata Tr 200 anni.

4.3 TORRENTE MARINA

4.3.1 Schematizzazione del modello geometrico

Il torrente Marina interferisce con l'autostrada in ampliamento alla progressiva km 5+950; l'opera esistente è costituita da un ponte che in carreggiata direzione Pisa presenta 2 campate di luce netta pari a 7.0+7.0 m circa mentre in carreggiata direzione Firenze presenta 1 sola campata di luce complessiva pari a circa 16.0 m; la pila ha una larghezza di 1.15 m e ricade all'interno dell'alveo inciso.

Il torrente Marina dopo aver attraversato l'autostrada A11 riceve in sinistra idraulica il torrente Garille; a valle del nodo di confluenza (circa 800 m) il Marina confluisce nel fiume Bisenzio; l'alveo di piena del corso d'acqua è canalizzato da arginature in froldo presenti a carattere continuo sia in destra che in sinistra idraulica. In particolare nel tratto a monte dell'autostrada l'argine destro è costituito da un muro in pietra che difende un'area urbanizzata, l'argine sinistro è protetto al piede da un'opera di difesa continua costituita da un muro in c.a.. A valle dell'A11 l'argine destro è protetto da lastre in cls mentre, l'argine sinistro è costituito da muri in cls che si estendono sino in prossimità della zona di confluenza con il Garille. A monte dell'attraversamento A11 è presente un'opera di controllo del fondo alveo costituita da una soglia di fondo di altezza pari a 0.4 m.

La geometria del corso d'acqua è rappresentata sulla base del rilievo fatto eseguire dal Consorzio di Bonifica Area Fiorentina per la redazione dello Studio di aggiornamento al PAI denominato "Rischio idraulico sul territorio comunale di Campi Bisenzio".

Il modello di simulazione del Marina ha inizio ad una distanza di circa 1050 m a monte della confluenza del rio Le Torri ed è esteso sino alla sua confluenza nel fiume Bisenzio, coprendo una lunghezza d'asta pari a circa 9000 m. Esso rappresenta la geometria di tutti i manufatti di attraversamento localizzati a monte ed a valle dell'autostrada A11 e schematizza le seguenti opere di laminazione:

- 3 casse di espansione localizzate immediatamente a monte della confluenza del rio Le Torri in Marina (2 invasi nell'area compresa tra la sponda sinistra del rio Le Torri e quella destra del Marina; un ulteriore invaso in sinistra del rio Le Torri);
- 2 casse di espansione in sinistra del torrente Marina in località La Gora.

Nell'ambito del presente progetto si è rappresentato il tratto di modello (in termini di risultati idrodinamici) che si estende da circa 265.0 m a monte della A11 fino alla confluenza nel Bisenzio, per un'estensione complessiva pari a circa 1350.0 m.

Di seguito (Tabella 11) si riporta il profilo longitudinale del modello di simulazione in cui si sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate, caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg), posizione dei manufatti presenti in alveo e quote di sommità delle opere arginali. In Figura 9 si riporta lo stralcio planimetrico del tratto di corso d'acqua oggetto di analisi idraulica con la rappresentazione delle sezioni di rilievo.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	18	0	47.79	47.79	42.20
	17	81	47.38	47.38	41.59
monte salto	16.8	120	47.29	47.29	41.55
valle salto	16.6	124	47.28	47.28	41.15
	16	178	47.16	47.16	41.01
monte A11	15.4	259	48.46	48.40	41.07
valle A11	15.3	269	48.46	48.40	41.09
	15	303	45.88	45.88	40.79
	14	350	45.88	45.88	40.34
	13	425	45.88	45.88	40.42
	12	488	47.01	45.40	40.43
	11	546	44.89	44.92	39.98
	10	576	45.23	44.76	39.83
	9	652	46.46	44.33	39.56
	8	748	46.06	44.19	39.29
	7	847	45.58	43.95	38.88
	6	918	45.41	43.97	38.72
	5	1016	44.68	43.79	38.46
	4	1106	44.45	43.59	38.06
	3	1195	44.61	43.46	37.86
	2	1275	43.77	43.16	36.94

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	1	1342	43.76	43.18	37.37

Tabella 11 - Profilo longitudinale del modello idraulico del torrente Marina.

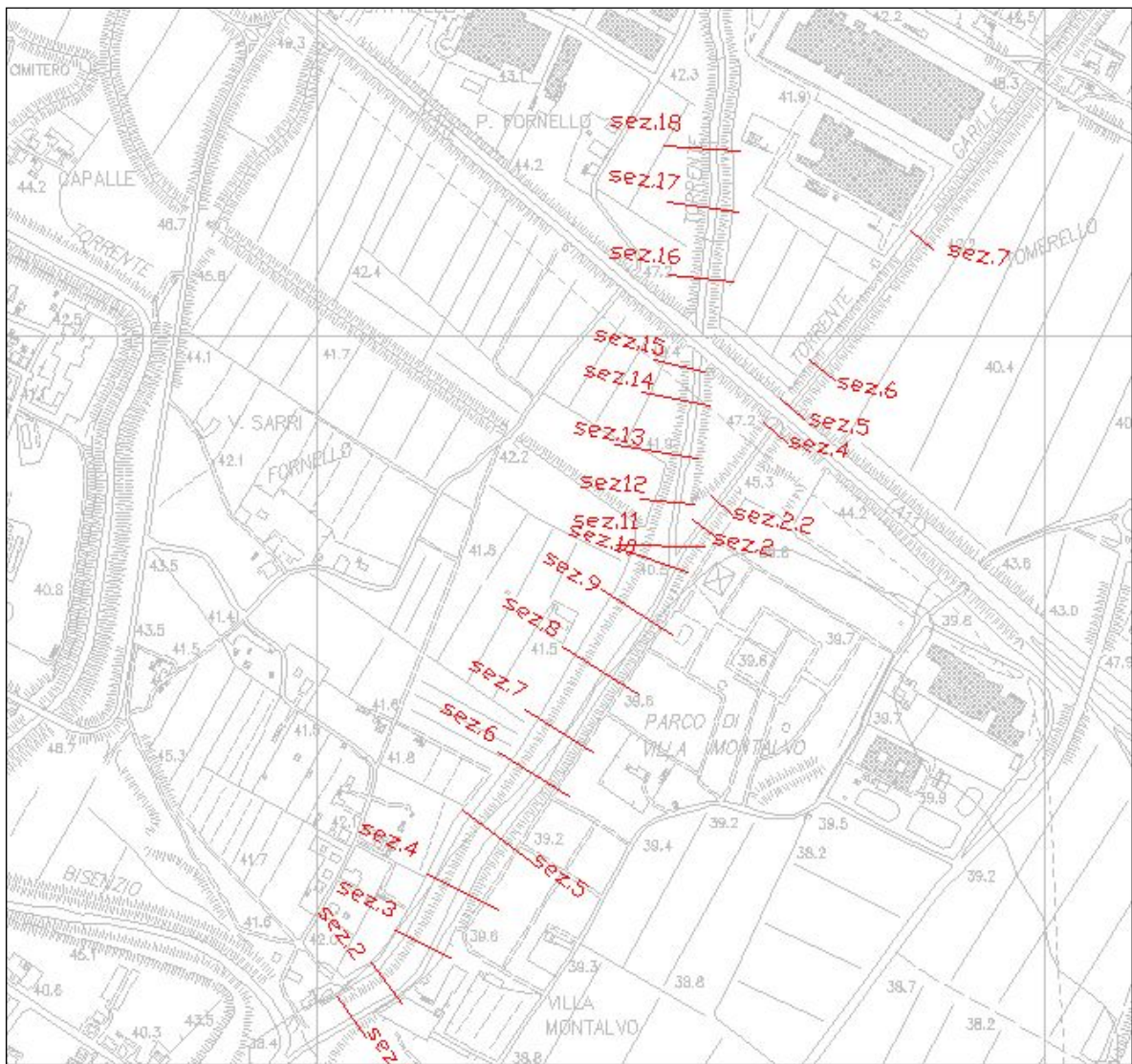


Figura 9 - Stralcio cartografico del tratto di corso d'acqua simulato con la rappresentazione planimetrica delle sezioni di rilievo utilizzate nel modello di simulazione.

4.3.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- idrogramma di piena a tempo di ritorno 200 anni in entrata a monte del modello;
- idrogramma di livello idrometrico di piena duecentennale sul Fiume Bisenzio in corrispondenza del nodo di confluenza.

4.3.3 Coefficienti di scabrezza

Nella simulazione sono state diversificate le resistenze distribuite da attribuire ai diversi tratti corso d'acqua sulla base:

- della granulometria del fondo alveo,
- della copertura vegetale presente sulle sponde,
- della presenza di opere di sistemazione e/o di rivestimento in alveo.

In particolare si sono utilizzati i seguenti valori di scabrezza :

- nei tratti in terra si è assunto un valore di Strickler variabile da 35 a 45 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.028 a 0.022 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti caratterizzati dalla presenza di copertura vegetale un valore di Strickler variabile da 30 a 35 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.033 a 0.028 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- tratti con rivestimenti in cls (spalle di manufatti di attraversamento, muretti spondali) un valore di Strickler pari a 60 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.0167 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning).

4.3.4 Verifica idraulica dello stato attuale

La simulazione a tempo di ritorno 200 anni eseguita sul corso d'acqua considera l'effetto di laminazione della portata esercitato dalle casse di espansione descritte nel paragrafo 4.3.1; i risultati ottenuti in termini di propagazione della portata e dei relativi livelli idrometrici sono coerenti con quelli dello Studio eseguito dal Consorzio di Bonifica Area Fiorentina.

La piena è sempre contenuta all'interno delle arginature esistenti nel tratto a cavallo dell'attraversamento A11; essa defluisce in corrente lenta con velocità comprese tra valori di 1.55 e 4.70 m/s. Soltanto in prossimità della confluenza in Bisenzio (sezione 2) l'argine destro presenta quote prossime ai livelli di piena calcolati.

L'attraversamento A11 ha una quota minima di intradosso pari a 47.00 m s.m. a fronte di un livello idrometrico (calcolato nella sezione di monte) di 44.98 m s.m.; il franco idraulico risulta pari a 2.02 m.

Di seguito (Tabella 12) si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare e grafica (Figura 10) rappresentando il profilo idrometrico relativo alla portata a tempo di ritorno 200 anni.

4.3.5 Verifica idraulica dello stato di progetto

Gli interventi previsti riguardano la ricostruzione del ponte esistente con l'eliminazione della pila in alveo; il nuovo manufatto di attraversamento avrà una luce netta di circa 16.00 m (misurata in retto), analoga alla attuale campata in direzione Firenze.

Per quanto riguarda le opere in alveo si prevede esclusivamente il ripristino e la ricostruzione di quanto esistente nei tratti in cui tali manufatti verranno dissestati o parzialmente demoliti per i lavori di realizzazione del ponte autostradale.

Considerando che l'attuale sezione dell'alveo presenta sponde difese da muri verticali o sub verticali e l'alveo ha larghezza circa equivalente a quella del ponte autostradale, gli interventi in progetto, a meno della rimozione della pila lungo la carreggiata in direzione Pisa, non determinano alcuna variazione sulle condizioni di deflusso in piena.

Si confermano, pertanto, anche per la situazione di progetto, le stesse determinazioni (in termini di velocità o altezza d'acqua) già illustrate per la situazione attuale.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)
	18	0	47.79	47.79	217.80	42.20	46.46		47.37	0.0050	4.34	54.56	19.85	0.69
	17	81	47.38	47.38	217.79	41.59	45.80		46.88	0.0044	4.69	51.41	20.76	0.79
monte salto	16.8	120	47.29	47.29	217.78	41.55	45.87	44.65	46.54	0.0034	3.70	62.87	21.42	0.58
	16.7	Inl Struct												
valle salto	16.6	124	47.28	47.28	217.78	41.15	45.83		46.41	0.0028	3.44	67.28	21.32	0.52
	16	178	47.16	47.16	217.77	41.01	45.28		46.23	0.0034	4.34	53.38	19.22	0.70
monte A11	15.4	259	48.46	48.40	217.77	41.07	44.98	44.11	45.73	0.0045	3.84	56.75	16.08	0.65
	15.35	Bridge												
valle A11	15.3	269	48.46	48.40	217.76	41.09	44.88		45.64	0.0051	3.86	56.37	17.31	0.68
	15	303	45.88	45.88	217.75	40.79	44.78		45.49	0.0034	3.92	64.59	28.04	0.70
	14	350	45.88	45.88	217.76	40.34	44.70		45.34	0.0029	3.70	67.70	27.33	0.62
	13	425	45.88	45.88	217.74	40.42	44.52		45.13	0.0026	3.57	69.31	27.39	0.59
	12	488	47.01	45.40	217.73	40.43	44.31		44.93	0.0032	3.51	64.69	25.81	0.66
	11	546	44.89	44.92	245.55	39.98	44.31		44.47	0.0008	1.80	145.31	55.66	0.33
	10	576	45.23	44.76	245.55	39.83	44.11		44.46	0.0015	2.77	102.67	42.39	0.47
	9	652	46.46	44.33	245.52	39.56	43.84		44.37	0.0020	3.39	88.10	38.32	0.54
	8	748	46.06	44.19	245.38	39.29	43.63		44.16	0.0022	3.50	87.42	35.14	0.56
	7	847	45.58	43.95	245.22	38.88	43.50		43.94	0.0017	3.18	93.73	32.99	0.50
	6	918	45.41	43.97	245.22	38.72	43.46		43.82	0.0014	2.88	102.10	33.45	0.44
	5	1016	44.68	43.79	244.84	38.46	43.31		43.69	0.0013	2.95	98.17	30.20	0.44
	4	1106	44.45	43.59	160.72	38.06	43.23		43.38	0.0005	1.81	101.51	27.69	0.27
	3	1195	44.61	43.46	245.41	37.86	43.34		43.50	0.0005	1.83	147.74	37.93	0.27
	2	1275	43.77	43.16	164.86	36.94	43.18		43.32	0.0004	1.95	114.97	33.07	0.26
	1	1342	43.76	43.18	156.9	37.37	43.15		43.26	0.0003	1.57	115.88	27.98	0.22

Tabella 12 - Simulazione per portata Tr 200 anni sul torrente Marina nelle condizioni di stato attuale.

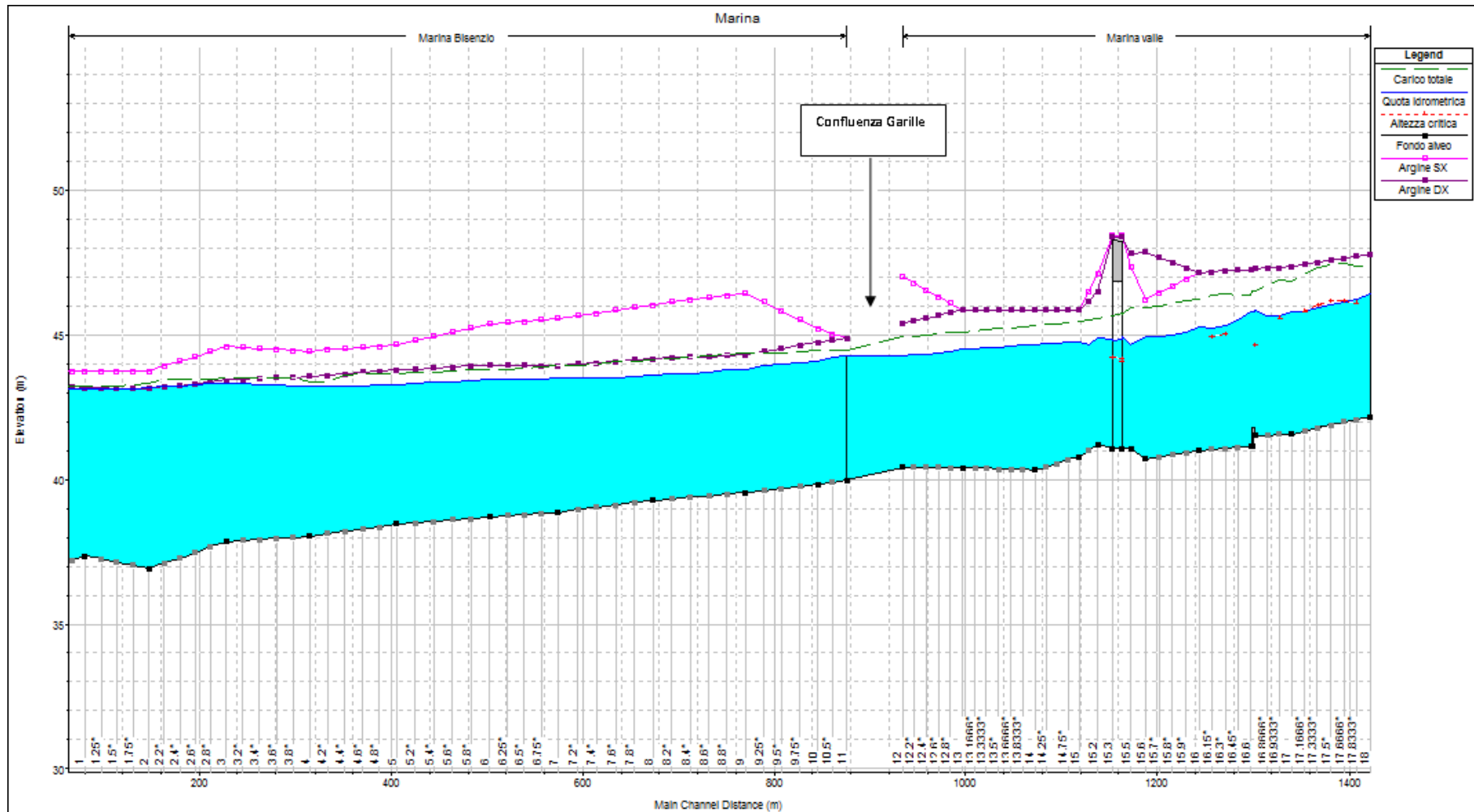


Figura 10 - Profilo idrometrico per portata Tr 200 anni sul torrente Marina nelle condizioni di stato attuale.

4.4 TORRENTE MARINELLA

4.4.1 Schematizzazione del modello geometrico

Il torrente Marinella interferisce con l'autostrada in ampliamento alla progressiva km 7+208; l'opera esistente è costituita da un ponticello a soletta piana di luce pari a 5.50 m.

Il torrente, dopo aver attraversato l'autostrada A11, confluisce nel fiume Bisenzio; l'alveo di piena è canalizzato da arginature in froldo, presenti, a carattere continuo sia in destra che in sinistra idraulica, per tutto il tratto simulato; sono presenti, inoltre, rivestimenti in calcestruzzo, sia del fondo che delle sponde, secondo una sezione trapezia.

A valle della A11, ad una distanza di circa 235.0 m, è presente un attraversamento di una viabilità minore costituito da un ponte ad unica campata di luce pari a circa 15.0 m.

La geometria del corso d'acqua è stata rappresentata sulla base del rilievo fatto eseguire dal Consorzio di Bonifica Area Fiorentina, per la redazione dello Studio di aggiornamento al PAI denominato "Rischio idraulico sul territorio comunale di Campi Bisenzio".

Il modello di simulazione costruito per il Marinella, ha inizio ad una distanza di circa 1900 m a monte della sua intersezione con la A11 e termina in corrispondenza della confluenza in Bisenzio, coprendo un'estensione d'asta pari a circa 2230 m; nella costruzione del modello si è tenuto conto della realizzazione della cassa di espansione in località Pizzidimonte così come previsto nello Studio sopraccitato.

Nell'ambito del presente progetto si è rappresentato il tratto di modello (in termini di risultati idrodinamici) che si estende da circa 380.0 m a monte della A11 fino alla confluenza nel Bisenzio, per un'estensione complessiva pari a circa 668.0 m.

Di seguito (Tabella 13) si riporta il profilo longitudinale del modello di simulazione in cui si sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate, caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg), posizione dei manufatti presenti in alveo e quote di sommità delle opere arginali. In Figura 11 si riporta lo stralcio planimetrico del tratto di corso d'acqua oggetto di analisi idraulica con la rappresentazione delle sezioni.

Oltre alle sezioni del modello, sono state poi utilizzate le sezioni di rilievo (denominate con la lettera R oltre al numero), per tutte le considerazioni di tipo progettuale nel tratto di corso d'acqua interessato dalle presenti valutazioni.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	9.1	0	48.00	47.70	44.70
	8	73	48.50	47.50	44.40
	7	179	49.00	49.00	44.20
	6	292	49.00	49.00	43.90
	5.4	356	46.80	46.90	43.70
monte A11	5.3	369	46.90	47.10	43.60
valle A11	5.2	395	47.10	47.20	43.50
	5.1	409	47.50	47.50	43.40
	4	481	48.00	48.00	43.00
	3	558	48.00	48.00	42.70
	2.4	602	48.00	48.00	42.40
monte ponte	2.3	613			42.30
valle ponte	2.2	622			42.30
	2.1	633	48.00	48.00	42.30
	1	668			42.10

Tabella 13 - Profilo longitudinale del modello idraulico del torrente Marinella.

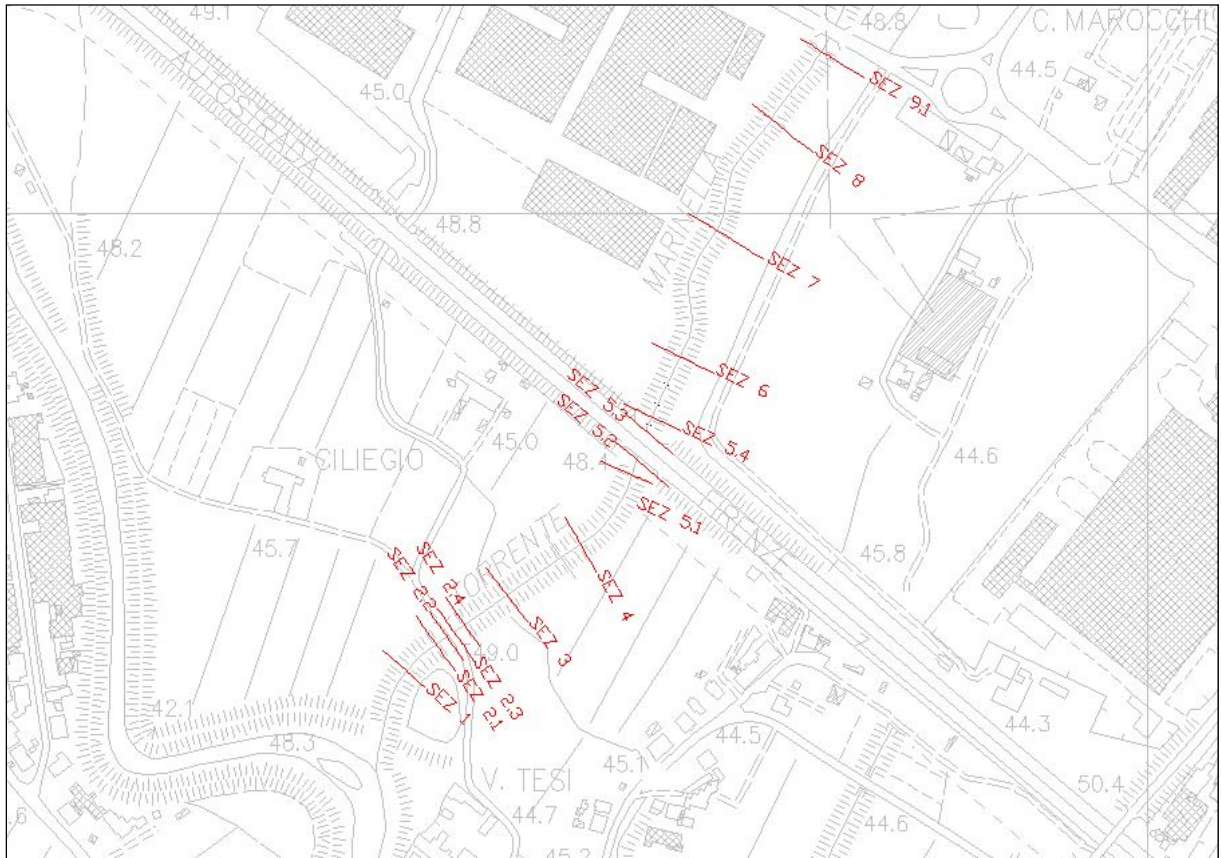


Figura 11 - Stralcio cartografico del tratto di corso d'acqua simulato con la rappresentazione planimetrica delle sezioni di rilievo utilizzate nel modello di simulazione.

4.4.2 Condizioni al contorno

Le simulazioni eseguite rappresentano i seguenti scenari:

1. fase transitoria in cui viene realizzata la cassa di espansione di Pizzidimonte;
2. fase definitiva con la cassa di espansione realizzata.

Per lo scenario 1 si sono introdotte nel modello le seguenti condizioni al contorno:

- portata a tempo di ritorno 200 anni pari a $40 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ entrante nella sezione di monte del modello (sez.9.1);
- livello di piena Tr 200 anni in corrispondenza del nodo di confluenza del Marinella in Bisenzio, (sez.1) a progressiva 668.0 m.

Per lo scenario 2 si sono introdotte nel modello le seguenti condizioni al contorno:

- portata a tempo di ritorno 200 anni pari a $18 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ laminata dalla cassa di espansione, entrante nella sezione di monte del modello (sez.9.1);

- livello di piena Tr 200 anni in corrispondenza del nodo di confluenza del Marinella in Bisenzio, (sez.1) a progressiva 668.0 m.

4.4.3 Coefficienti di scabrezza

Nella simulazione sono state diversificate le resistenze distribuite da attribuire ai diversi tratti corso d'acqua sulla base:

- della granulometria del fondo alveo,
- della copertura vegetale presente sulle sponde,
- della presenza di opere di sistemazione e/o di rivestimento in alveo.

In particolare si sono utilizzati i seguenti valori di scabrezza :

- nei tratti in terra si è assunto un valore di Strickler variabile da 35 a 45 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.028 a 0.022 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti caratterizzati dalla presenza di copertura vegetale un valore di Strickler variabile da 30 a 35 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.033 a 0.028 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- tratti con rivestimenti in cls (spalle di manufatti di attraversamento) un valore di Strickler pari a 60 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.0167 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning).

4.4.4 Verifica idraulica dello stato attuale

La simulazione dello scenario 1 mostra che la piena, di valore al colmo pari a 40 m^3/s , defluisce contenuta dalle arginature esistenti; a monte della A11 il moto avviene in corrente lenta con velocità comprese tra valori di 1.7 e 2.8 m/s; a valle dell'autostrada la corrente defluisce con caratteristiche prossime allo stato critico per effetto dell'incremento della pendenza del fondo alveo; le velocità sono comprese tra valori di 2.95 e 4.05 m/s.

La quota idrometrica a monte dell'attraversamento della A11 è pari a 46.22 m s.m. mentre la quota minima di intradosso è di 46.12 m s.m. per la presenza di una trave ribassata al di sotto dell'impalcato (l'intradosso a valle presenta quota di 47.38 m s.m.); il livello di piena supera di poco l'intradosso di monte provocando un rigurgito a monte di 70÷80 cm; si determina comunque un deflusso a pelo libero attraverso la struttura. I risultati ottenuti sono coerenti con quelli dello Studio eseguito dal Consorzio di Bonifica Area Fiorentina. In tale Studio viene evidenziato inoltre che la portata pari a 40 m^3/s è anche la massima

transitabile attraverso il ponte della ferrovia FI_PO_BO in condizioni di assenza di franco e rimarca la necessità di realizzare l'invaso di laminazione in località Pizzidimonte.

In Tabella 14 si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare ed in Figura 12 grafica, rappresentando il profilo idrometrico relativo alla portata a tempo di ritorno 200 anni nello scenario 1.

La simulazione dello scenario 2 mostra che la piena, di valore al colmo pari a $18 \text{ m}^3/\text{s}$, completamente laminata dalla cassa di Pizzidimonte, defluisce contenuta dalle arginature esistenti; a monte della A11 il moto avviene in corrente lenta con velocità comprese tra valori di 2.03 e 2.41 m/s; a valle dell'autostrada la corrente defluisce con caratteristiche prossime allo stato critico per effetto dell'incremento della pendenza del fondo alveo; le velocità sono comprese tra valori di 2.35 e 3.00 m/s.

La quota idrometrica a monte è in questo caso pari a 45.20 m s.m. a cui corrisponde un franco idraulico rispetto alla minima quota intradosso di monte di 0.92 m.

Il rigurgito indotto dal ponte corrisponde in questo caso a poco più di 20 cm.

In Tabella 15 si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare ed in Figura 13 grafica, rappresentando il profilo idrometrico relativo alla portata a tempo di ritorno 200 anni nello scenario 2.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)
	9.1	0	48.00	47.70	40	44.70	46.73	46.44	47.13	0.0023	2.81	14.25	10.16	0.76
	8	73	48.50	47.50	40	44.40	46.58	46.24	46.96	0.0021	2.73	14.67	10.06	0.72
	7	179	49.00	49.00	40	44.20	46.39	46.00	46.74	0.0019	2.59	15.43	10.56	0.68
	6	292	49.00	49.00	40	43.90	46.28	45.66	46.54	0.0013	2.26	17.69	11.11	0.57
	5.4	356	46.80	46.90	40	43.70	46.23	45.50	46.46	0.0011	2.15	18.57	11.05	0.53
monte A11	5.3	369	46.90	47.10	40	43.60	46.22	45.16	46.36	0.0006	1.70	23.58	12.69	0.40
	5.25		Bridge											
valle A11	5.2	395	47.10	47.20	40	43.50	45.43	45.43	46.27	0.0055	4.05	9.87	5.89	1.00
	5.1	409	47.50	47.50	40	43.40	45.43	45.43	46.07	0.0042	3.54	11.29	8.76	1.00
	4	481	48.00	48.00	40	43.00	45.20	45.04	45.70	0.0031	3.15	12.72	9.35	0.86
	3	558	48.00	48.00	40	42.70	44.78	44.78	45.41	0.0042	3.51	11.39	9.02	1.00
	2.4	602	48.00	48.00	40	42.40	44.64	44.50	45.17	0.0032	3.20	12.48	9.18	0.88
monte ponte	2.3	613			40	42.30	44.61	44.46	45.13	0.0032	3.20	12.50	9.18	0.87
	2.25		Bridge											
valle ponte	2.2	622			40	42.30	44.58	44.33	45.03	0.0026	2.97	13.46	9.52	0.80
	2.1	633	48.00	48.00	40	42.30	44.34	44.34	44.97	0.0042	3.52	11.37	8.91	0.99
	1	668			40	42.10	44.12	44.12	44.78	0.0043	3.57	11.20	8.73	1.01

Tabella 14 - Simulazione dello scenario 1 (portata pari a 40 m³/s) sul torrente Marinella nelle condizioni di stato attuale.

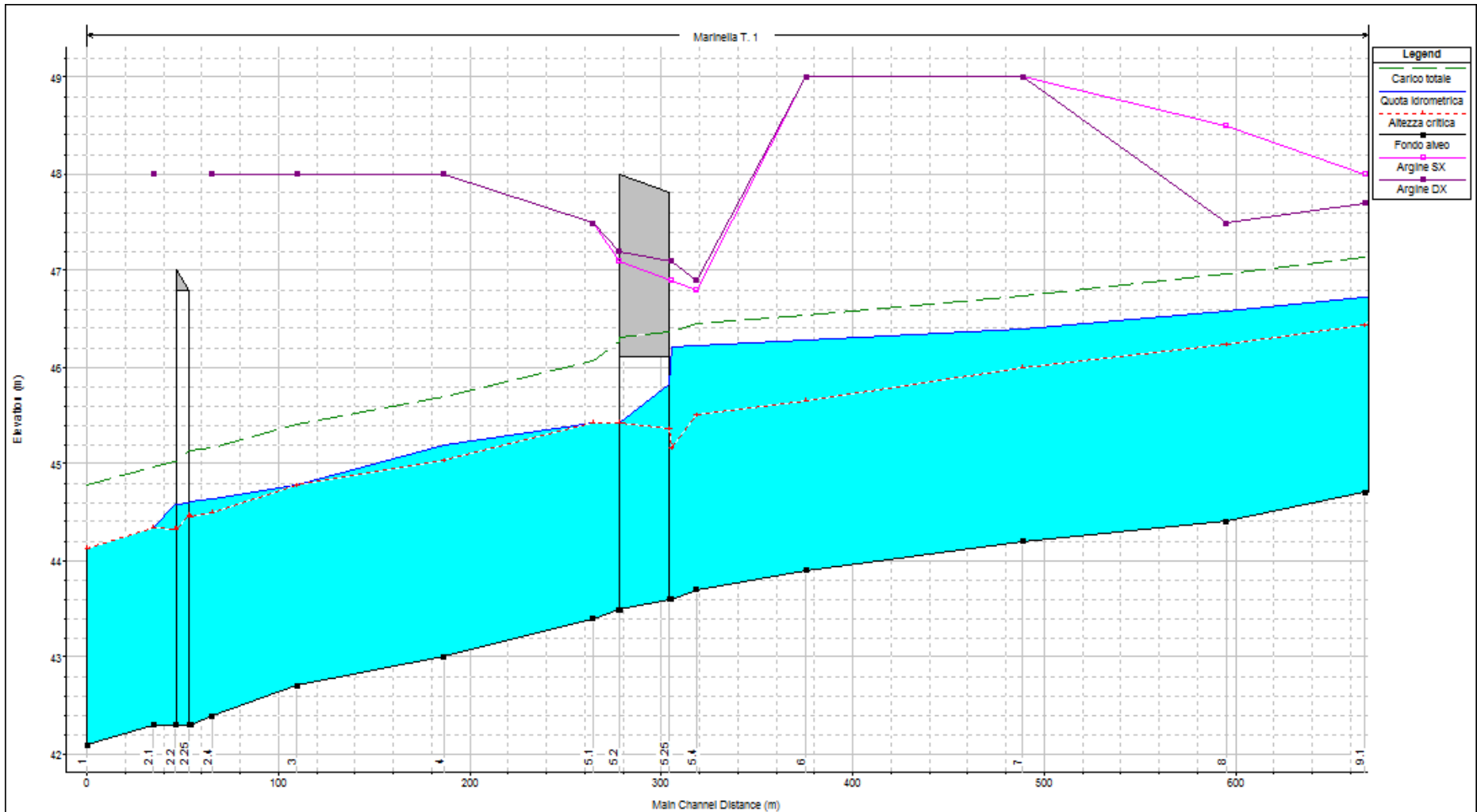


Figura 12 - Profilo idrometrico nello scenario 1 ($Q=40 \text{ m}^3/\text{s}$) sul torrente Marinella nelle condizioni di stato attuale.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)
	9.1	0	48.00	47.70	18	44.70	45.99	45.81	46.28	0.0026	2.36	7.63	7.89	0.77
	8	73	48.50	47.50	18	44.40	45.83	45.59	46.09	0.0023	2.26	7.96	7.82	0.72
	7	179	49.00	49.00	18	44.20	45.53	45.36	45.82	0.0028	2.41	7.48	7.77	0.78
	6	292	49.00	49.00	18	43.90	45.30	45.02	45.54	0.0021	2.17	8.29	8.08	0.68
	5.4	356	46.80	46.90	18	43.70	45.21	44.85	45.42	0.0017	2.03	8.87	8.07	0.62
monte A11	5.3	369	46.90	47.10	18	43.60	45.20	44.58	45.31	0.0008	1.49	12.06	9.90	0.43
	5.25		Bridge											
valle A11	5.2	395	47.10	47.20	18	43.50	44.91	44.70	45.26	0.0031	2.63	6.85	5.64	0.76
	5.1	409	47.50	47.50	18	43.40	44.75	44.75	45.21	0.0047	2.98	6.03	6.65	1.00
	4	481	48.00	48.00	18	43.00	44.52	44.37	44.85	0.0030	2.52	7.15	7.20	0.81
	3	558	48.00	48.00	18	42.70	44.10	44.10	44.55	0.0047	2.96	6.07	6.75	1.00
	2.4	602	48.00	48.00	18	42.40	43.99	43.82	44.31	0.0029	2.51	7.18	7.11	0.80
monte ponte	2.3	613			18	42.30	43.97	43.77	44.28	0.0028	2.47	7.30	7.12	0.78
	2.25		Bridge											
valle ponte	2.2	622			18	42.30	43.88		44.17	0.0025	2.37	7.60	7.31	0.74
	2.1	633	48.00	48.00	18	42.30	43.66	43.66	44.11	0.0047	2.98	6.05	6.72	1.00
	1	668			18	42.10	43.45	43.45	43.91	0.0048	3.00	6.00	6.63	1.01

Tabella 15 - Simulazione dello scenario 2 (portata pari a 18 m³/s) sul torrente Marinella nelle condizioni di stato attuale.

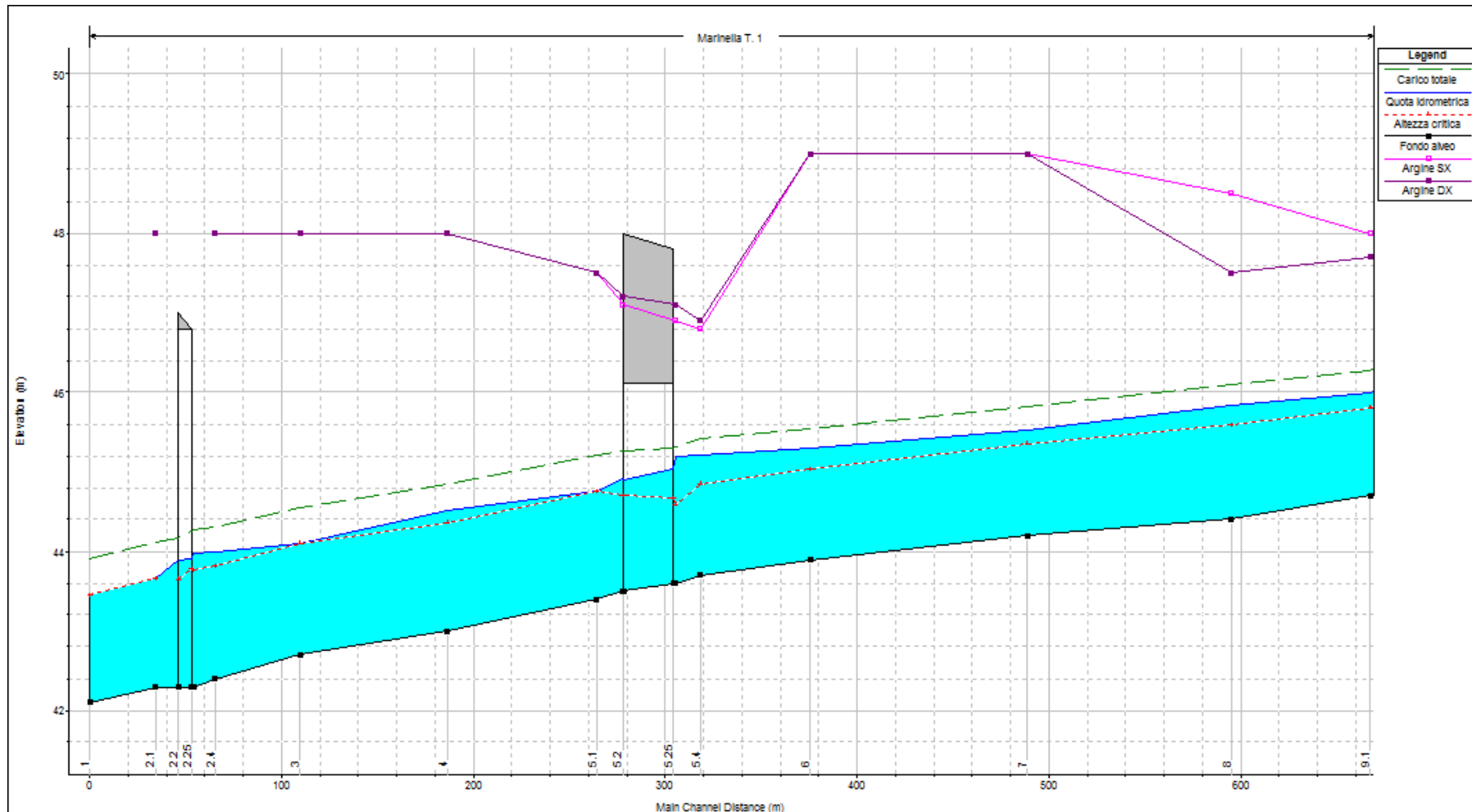


Figura 13 - Profilo idrometrico nello scenario 2 ($Q=18 \text{ m}^3/\text{s}$) sul torrente Marinella nelle condizioni di stato attuale.

4.4.5 Verifica idraulica dello stato di progetto

L'intervento previsto riguarda l'ampliamento del ponte autostradale ed una sistemazione d'alveo in lastre di calcestruzzo nel tratto a cavallo del ponte stesso, in modo da ripristinare sulle sponde e sul fondo condizioni di stabilità dell'alveo che presenta una sezione arginata con sponde caratterizzate da notevole pendenza (1/1).

In particolare, il ponte viene ampliato su entrambe le carreggiate per una lunghezza complessiva di 37.50 m, misurata in asse al corso d'acqua (da progr. 363.55 a progr. 401.05); la sistemazione d'alveo è prevista per un tratto di complessivi 71.95 m a cavallo dell'opera autostradale e presenta le seguenti caratteristiche tipologiche:

- sezioni tipo A e B - rivestimento delle sponde con lastre prefabbricate in c.a. e platea di fondazione, sempre in c.a. gettato in opera, di larghezza da 4.00 m a 5.40 m per il tratto di raccordo; la sezione tipo B, in particolare, presenta inclinazione del rivestimento di sponda variabile per consentire il passaggio tra le sezioni tipo A e C;
- sezione tipo C - muri di sponda in c.a. con inclinazione variabile del paramento a fiume per raccordare la sezione tipo B alle pareti verticali delle spalle del ponticello autostradale; la larghezza del paramento inclinato varia da 0 a 1.0 m in destra e da 0 a 2.0 m in sinistra;
- sezione tipo D - solo platea di fondo in c.a. tra le 2 spalle del ponticello;
- sezione tipo E - di tipologia analoga alla sezione A ma con larghezza di fondo variabile da 5.40 a 3.00 m per consentire un corretto raccordo tra la larghezza del ponticello e la sezione d'alveo esistente a valle.

L'intervento di sistemazione in progetto si configura come il ripristino della tipologia di rivestimento esistente; in particolare si è migliorato il raccordo a monte tra la geometria della sezione esistente e quella del ponticello autostradale; in conseguenza dell'ampliamento della struttura dell'opera autostradale, si rende necessario estendere maggiormente l'intervento di ripristino a monte per garantire un adeguato passaggio alla sezione d'alveo esistente.

Il ponte ampliato presenterà quote di intradosso pari a 47.36 m s.m. a monte e a 47.39 m s.m. a valle.

La verifica dello stato di progetto è stata eseguita introducendo nella schematizzazione del modello la nuova configurazione geometrica delle opere sopra descritta; dai risultati ottenuti (Tabella 16 e Tabella 14) è possibile affermare che con gli interventi in progetto si determina un apprezzabile miglioramento delle condizioni di deflusso su tutto il tratto a monte del ponte autostradale mentre non cambia nulla a valle; la riduzione dei livelli per la piena simulata è localizzata e assume valore massimo di circa 28 cm rispetto allo stato attuale.

Note	Sezione di modello	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
	9.1	0	48.00	47.70	18	44.70	45.99	45.81	46.28	0.0026	2.36	7.63	7.89	0.77	0.00
	8	73	48.50	47.50	18	44.40	45.83	45.59	46.09	0.0023	2.26	7.96	7.82	0.72	0.00
	7	179	49.00	49.00	18	44.20	45.53	45.36	45.82	0.0028	2.41	7.48	7.77	0.78	0.00
	6	292	49.00	49.00	18	43.90	45.28	45.02	45.53	0.0022	2.20	8.17	8.03	0.70	-0.02
		352	47.00	47.00	18	43.71	45.26	44.73	45.41	0.0011	1.75	10.29	8.29	0.50	-
monte A11	4R	363	47.29	47.29	18	43.79	44.91	44.83	45.36	0.0035	2.97	6.06	5.40	0.90	-0.29
	5.25														
valle A11	5R	401	47.29	47.29	18	43.50	44.76	44.54	45.12	0.0034	2.64	6.82	5.40	0.75	-0.15
	5.1	409	47.50	47.50	18	43.41	44.77	44.53	45.06	0.0025	2.38	7.57	6.92	0.73	0.02
	4	481	48.00	48.00	18	43.00	44.52	44.37	44.85	0.0030	2.52	7.15	7.20	0.81	0.00
	3	558	48.00	48.00	18	42.70	44.1	44.10	44.55	0.0047	2.96	6.07	6.75	1.00	0.00
	2.4	602	48.00	48.00	18	42.40	43.99	43.82	44.31	0.0029	2.51	7.18	7.11	0.80	0.00
monte ponte	2.3	613			18	42.30	43.97	43.77	44.28	0.0028	2.47	7.30	7.12	0.78	0.00
	2.25														
valle ponte	2.2	622			18	42.30	43.88		44.17	0.0025	2.37	7.60	7.31	0.74	0.00
	2.1	633	48.00	48.00	18	42.30	43.66	43.66	44.11	0.0047	2.98	6.05	6.72	1.00	0.00
	1	668			18	42.10	43.45	43.45	43.91	0.0048	3.00	6.00	6.63	1.01	0.00

Tabella 16 - Simulazione per portata pari a 18 m³/s sul torrente Marinella nelle condizioni di progetto.

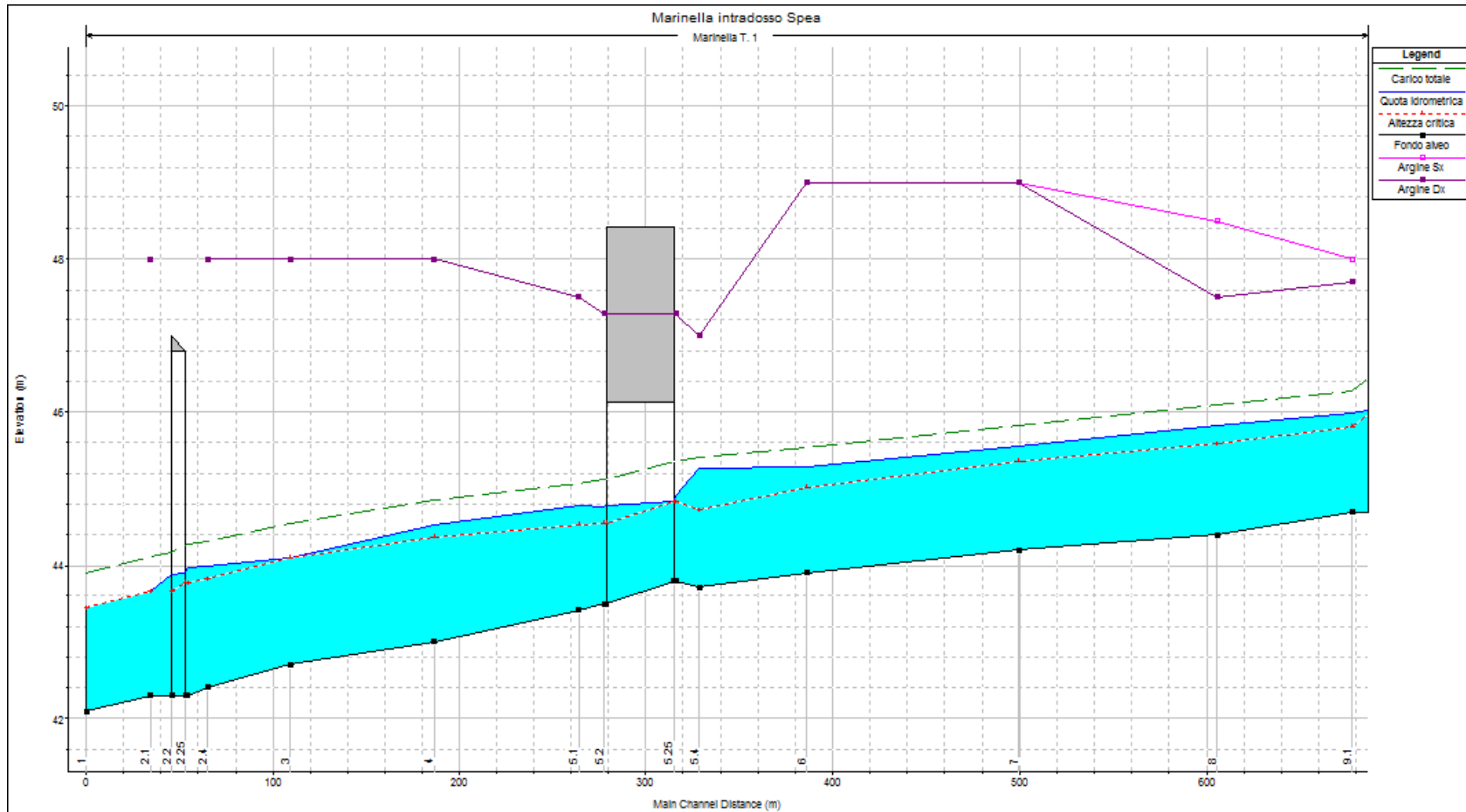


Figura 14 - Profilo idrometrico per portata pari a 18 m³/s sul torrente Marinella nelle condizioni di progetto.

4.5 FIUME BISENZIO

4.5.1 Schematizzazione del modello geometrico

Il fiume Bisenzio interferisce con l'autostrada in ampliamento alla progressiva km 8+366; l'opera esistente è costituita da un ponte ad arco ad unica campata di luce pari a 25.50 m.

Il fiume Bisenzio dopo aver attraversato l'autostrada A11 riceve, in sinistra idraulica, il torrente Marinella ed il torrente Marina, per poi confluire, dopo alcuni chilometri, nel fiume Arno; l'alveo di piena del corso d'acqua è canalizzato dalle arginature in froldo presenti a carattere continuo sia in destra che in sinistra idraulica. In particolare l'argine sinistro, lato fiume, ha un paramento a doppia banca inerbito protetto al piede da un'opera di difesa costituita da un muretto di cls. L'argine destro, a monte dell'A11 ha la stessa tipologia di quello sinistro, a valle invece è protetto da un muro in cls di altezza (misurata rispetto al fondo alveo) pari a circa 4.0 -5.0 m.

La geometria del corso d'acqua, fino alla sua confluenza in Arno, è rappresentata dal rilievo topografico fornito dal Consorzio di Bonifica Area Fiorentina.

Il modello di simulazione del Bisenzio ha inizio in corrispondenza della confluenza del fosso della Vallaccia in sinistra idraulica ed è esteso sino alla sua confluenza nel fiume Arno, coprendo una lunghezza d'asta pari a circa 16 km. Esso contiene la geometria di tutti i manufatti di attraversamento presenti a monte e a valle dell'autostrada A11.

Nell'ambito del presente progetto si è rappresentato il tratto di modello (in termini di risultati idrodinamici) di lunghezza complessiva pari a circa 1930 m di cui 275.0 m a monte dell'autostrada in ampliamento e 1655.0 m a valle.

Di seguito (Tabella 17) si riporta il profilo longitudinale del modello di simulazione in cui si sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate, caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg), posizione dei manufatti presenti in alveo e quote di sommità delle opere arginali. In Figura 15 si riporta lo stralcio planimetrico del tratto di corso d'acqua oggetto di analisi idraulica con la rappresentazione delle sezioni di rilievo.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	192	0	51.49	51.39	42.15
	191	50	50.92	51.31	41.82
monte ponte (SS.126)	188	112	50.88	50.81	41.92
valle ponte (SS.126)	187	130	50.18	50.11	42.11
	185	172	50.11	49.82	41.89
	184	255	49.40	49.72	41.92
monte A11	183	260	50.68	49.58	42.21
valle A11	181	290	50.24	50.65	41.48
	180	300	48.89	49.73	40.38
	179	426	48.49	49.38	41.72
	178	528	48.42	49.58	41.34
	177	631	48.02	49.53	41.40
	176	712	48.53	49.41	41.30
	175	811	47.24	49.42	40.22
	174	913	47.30	49.58	40.90
	173	1022	47.84	49.09	40.26
	172	1128	48.15	48.98	40.79
	171	1208	47.93	48.89	40.45
	170	1313	47.62	48.62	40.09
	169	1448	47.52	48.12	40.29
	168	1555	47.50	48.44	40.59
	167	1668	47.47	48.07	40.41
	166	1683	47.60	47.90	39.77
	165	1695	47.51	48.04	41.02
	164	1757	47.11	47.86	38.90
	163	1838	46.99	47.67	39.51
	162	1931	46.95	47.39	39.35

Tabella 17 - Profilo longitudinale del modello idraulico del fiume Bisenzio

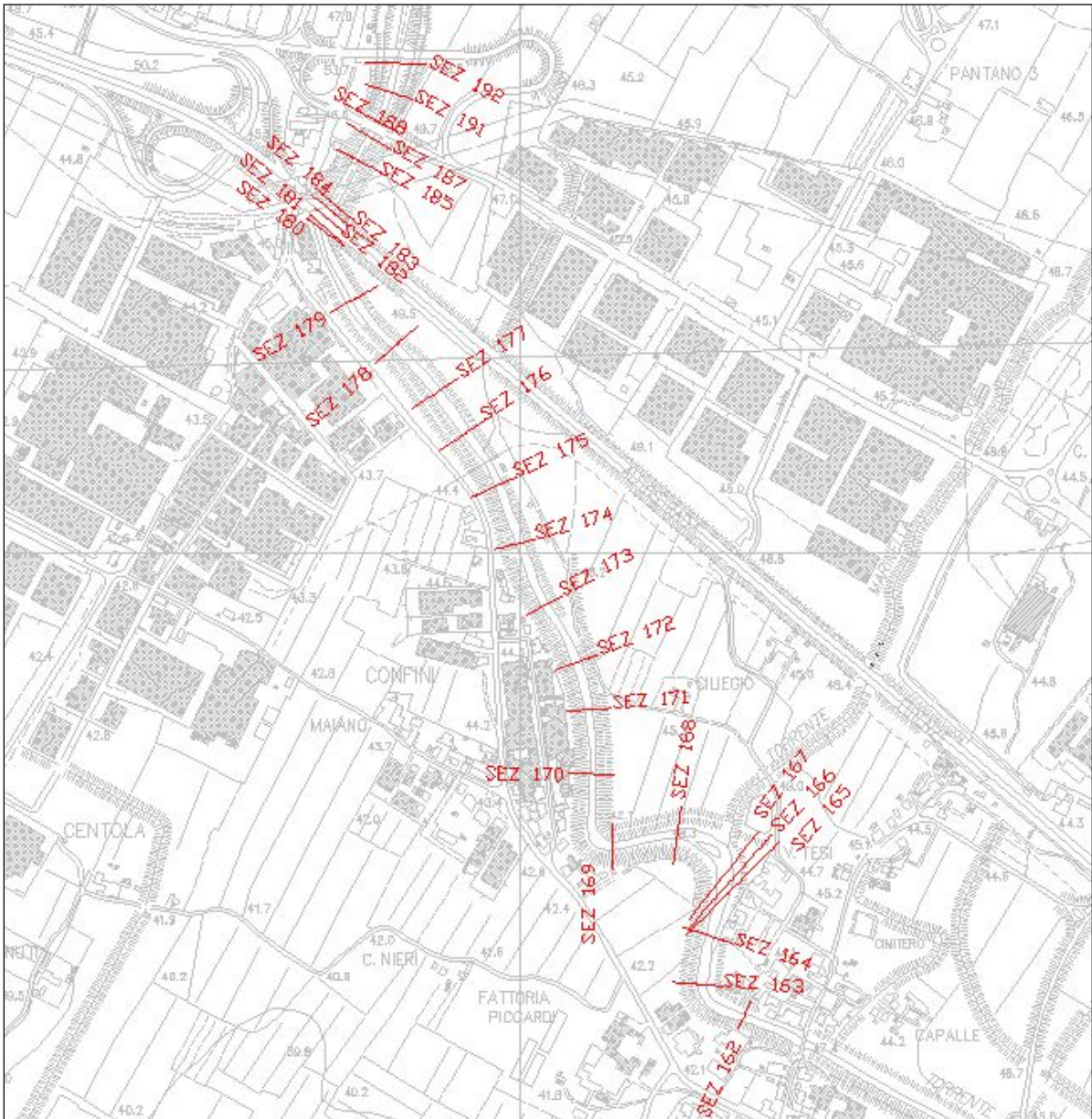


Figura 15 - Stralcio cartografico del tratto di corso d'acqua simulato con la rappresentazione planimetrica delle sezioni di rilievo utilizzate nel modello di simulazione

4.5.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- idrogramma di piena a tempo di ritorno 200 anni pari a circa $466 \text{ m}^3/\text{s}$ in entrata a monte del modello;
- idrogramma di livello idrometrico di piena duecentennale del fiume Arno in corrispondenza del nodo di confluenza.

4.5.3 Coefficienti di scabrezza

Nella simulazione sono state diversificate le resistenze distribuite da attribuire ai diversi tratti corso d'acqua sulla base:

- della granulometria del fondo alveo,
- della copertura vegetale presente sulle sponde,
- della presenza di opere di sistemazione e/o di rivestimento in alveo.

In particolare si sono utilizzati i seguenti valori di scabrezza :

- nei tratti in terra si è assunto un valore di Strickler variabile da 35 a 45 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.028 a 0.022 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti caratterizzati dalla presenza di copertura vegetale un valore di Strickler variabile da 30 a 35 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.033 a 0.028 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- tratti con rivestimenti in cls (spalle di manufatti di attraversamento, muri spondali ...) un valore di Strickler pari a 60 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.0167 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning).

4.5.4 Verifica idraulica dello stato attuale

La simulazione a tempo di ritorno 200 anni eseguita sul corso d'acqua considera gli effetti di vaste aree inondabili (considerate come invasi nel modello) localizzate in corrispondenza della confluenza del Bisenzio in Arno (non rappresentate in termini grafici e di risultati idrodinamici nel presente progetto); i risultati ottenuti, in termini di propagazione della portata e dei relativi livelli idrometrici, sono coerenti con quelli dello Studio eseguito dal Consorzio di Bonifica Area Fiorentina.

La piena è sempre contenuta all'interno delle arginature esistenti nel tratto a cavallo dell'attraversamento A11 ad eccezione delle sez.175 e 174 in cui l'argine sinistro viene sormontato di circa 10 - 30 cm; nella schematizzazione introdotta nel modello gli argini si sono considerati insormontabili dalla piena.

La portata Tr 200 anni defluisce in corrente lenta nell'intero tratto simulato con velocità comprese tra valori di 1.70 e 3.70 m/s; valori più elevati si riscontrano solo localmente in corrispondenza del ponte della S.S. 126.

L'attraversamento A11 ha una quota minima di intradosso (misurata in chiave) pari a 50.00 m s.m. a fronte di un livello idrometrico (calcolato nella sezione di monte) di 48.09 m s.m.; il franco idraulico risulta pari a 1.91 m.

Di seguito (Tabella 18) si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare e grafica (Figura 16), rappresentando il profilo idrometrico relativo alla portata a tempo di ritorno 200 anni.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)
	192	0	51.49	51.39	466.06	42.15	48.72		49.11	0.0012	2.75	169.33	43.67	0.45
	191	50	50.92	51.31	466.06	41.82	48.45		49.03	0.0020	3.36	138.53	34.54	0.54
monte ponte (SS.126)	188	112	50.88	50.81	466.04	41.92	47.85	46.89	48.88	0.0034	4.50	103.54	24.16	0.69
	187.5	Bridge												
valle ponte (SS.126)	187	130	50.18	50.11	466.06	42.11	47.90		48.84	0.0034	4.29	108.59	27.09	0.68
	185	172	50.11	49.82	466.06	41.89	48.25		48.71	0.0016	3.02	154.10	36.95	0.47
	184	255	49.40	49.72	466.06	41.92	48.18		48.59	0.0013	2.83	164.86	41.32	0.45
monte A11	183	260	50.68	49.58	466.06	42.21	48.09	45.74	48.58	0.0021	3.11	149.75	37.46	0.50
	182	Bridge												
valle A11	181	290	50.24	50.65	466.06	41.48	48.32		48.58	0.0008	2.25	206.98	49.80	0.35
	180	300	48.89	49.73	466.06	40.38	48.37		48.57	0.0006	1.99	234.24	60.26	0.32
	179	426	48.49	49.38	466.05	41.72	48.09		48.46	0.0013	2.68	173.71	44.88	0.44
	178	528	48.42	49.58	466.05	41.34	47.97		48.34	0.0011	2.68	173.69	40.00	0.41
	177	631	48.02	49.53	466.06	41.40	47.98		48.24	0.0008	2.28	204.71	47.17	0.35
	176	712	48.53	49.41	466.05	41.30	47.88		48.18	0.0008	2.43	191.40	41.85	0.36
	175	811	47.24	49.42	463.66	40.22	47.55		48.04	0.0021	3.12	148.57	48.10	0.57
	174	913	47.30	49.58	452.15	40.90	47.43		47.86	0.0019	2.94	153.89	47.53	0.52
	173	1022	47.84	49.09	451.55	40.26	47.14		47.66	0.0019	3.21	140.65	35.14	0.51
	172	1128	48.15	48.98	451.47	40.79	47.08		47.50	0.0013	2.85	158.48	38.46	0.45
	171	1208	47.93	48.89	451.13	40.45	46.85		47.37	0.0018	3.20	140.87	35.92	0.52
	170	1313	47.62	48.62	448.43	40.09	46.43		47.13	0.0027	3.70	121.16	32.95	0.62
	169	1448	47.52	48.12	448.15	40.29	46.41		46.85	0.0014	2.92	153.45	38.00	0.46

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)
	168	1555	47.50	48.44	448.43	40.59	46.46		46.72	0.0009	2.25	199.09	50.46	0.36
	167	1668	47.47	48.07	448.29	40.41	46.45		46.63	0.0006	1.88	237.94	66.71	0.32
	166	1683	47.60	47.90	465.06	39.77	46.46		46.61	0.0005	1.72	269.69	77.76	0.30
	165	1695	47.51	48.04	465.06	41.02	46.43		46.61	0.0007	1.87	249.09	76.68	0.33
	164	1757	47.11	47.86	465.05	38.90	46.18		46.56	0.0012	2.71	171.50	40.89	0.42
	163	1838	46.99	47.67	465.06	39.51	46.15		46.47	0.0009	2.50	185.71	43.25	0.39
	162	1931	46.95	47.39	465.05	39.35	45.92		46.36	0.0015	2.95	157.89	36.17	0.45

Tabella 18 - Simulazione per portata Tr 200 anni sul fiume Bisenzio nelle condizioni di stato attuale

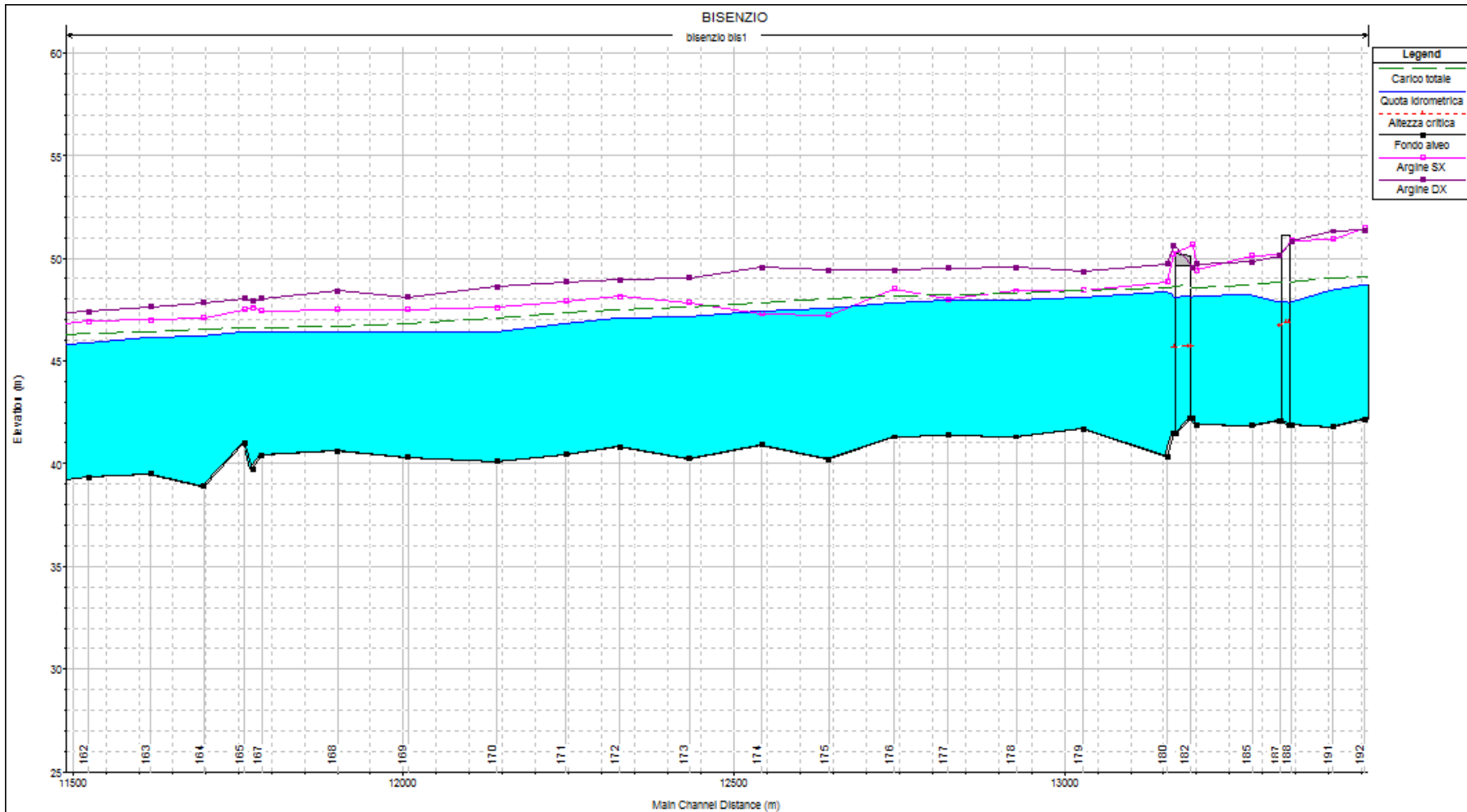


Figura 16 – Profilo idrometrico per portata Tr 200 anni sul fiume Bisenzio nelle condizioni di stato attuale.

4.5.5 Verifica idraulica dello stato di progetto

L'intervento previsto riguarda l'ampliamento del ponte autostradale ed il ripristino della sistemazione d'alveo in massi di cava già presente nel tratto di corso d'acqua in oggetto.

In particolare, il ponte viene ampliato a monte e a valle per una lunghezza complessiva di circa 48 m, misurata in asse al corso d'acqua (da progr. 251.32 m a progr. 299.32 m); la sistemazione d'alveo è prevista per un tratto di complessivi 109 m circa a cavallo dell'opera di attraversamento autostradale e presenta tipologia e configurazione analoghe a quella esistente. In particolare sono previste difese spondali in massi di cava a monte e valle del ponte ampliato (rispettivamente di sviluppo: a monte pari a 30.25 m in sinistra e 25.65 m in destra; a valle pari a 18.47 m in sinistra e 39.90 m in destra) ed una semplice protezione a lato delle fondazioni delle 2 spalle, sempre in massi di cava, per dare continuità all'intervento anche nel tratto d'alveo sottostante l'opera di attraversamento.

Il ponte autostradale ampliato presenterà quota minima di intradosso a monte di 40.20 m s.m., la stessa già rilevata per il ponte nello stato attuale.

La verifica dello stato di progetto è stata eseguita introducendo nella schematizzazione del modello la nuova configurazione geometrica delle opere sopra descritta; dai risultati ottenuti (si rimanda alla Tabella 19 e alla Figura 17) è possibile affermare che con gli interventi in progetto si determina una modesta variazione migliorativa delle condizioni di deflusso nel tratto a cavallo del ponte autostradale, con livelli idrometrici che si riducono fino a un massimo di 8 cm (e quindi franchi idraulici maggiori) a monte del ponte autostradale, mentre le velocità di corrente si mantengono pressoché inalterate (1.80-2.60 m/s).

Questo modesto miglioramento delle condizioni di deflusso sono dovute essenzialmente ad una maggiore regolarità della sezione d'alveo determinata dagli interventi in progetto.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
	192	0	51.49	51.39	465.98	42.15	48.72		49.11	0.0012	2.75	169.29	43.65	0.45	0.00
	191	50	50.92	51.31	465.98	41.82	48.45		49.03	0.0020	3.36	138.49	34.53	0.54	0.00
monte ponte (SS.126)	188	112	50.88	50.81	465.98	41.92	47.82	46.89	48.87	0.0035	4.53	102.90	24.16	0.70	-0.03
	187.5	Bridge													
valle ponte (SS.126)	187	130	50.18	50.11	465.98	42.11	47.84		48.81	0.0043	4.36	106.78	26.88	0.70	-0.06
	185	172	50.11	49.82	465.98	41.89	48.17		48.65	0.0024	3.08	151.17	36.71	0.48	-0.08
	184.1	223	49.40	49.72	465.98	42.50	48.27		48.55	0.0015	2.33	199.89	41.58	0.34	-
monte A11	183	251	50.68	49.58	465.98	42.50	48.09	45.34	48.52	0.0005	2.91	160.09	37.46	0.45	0.00
	182	Bridge													
valle A11	181	299	50.24	50.65	465.98	42.50	48.28		48.52	0.0002	2.14	217.42	49.68	0.33	-0.04
	179.5	332	48.89	49.73	465.98	42.50	48.21		48.51	0.0004	2.42	192.60	58.14	0.42	-
	179	426	48.49	49.38	465.97	41.72	48.07		48.44	0.0012	2.70	172.66	44.79	0.44	-0.02
	178	528	48.42	49.58	465.97	41.34	47.96		48.33	0.0010	2.69	173.20	39.96	0.41	-0.01
	177	631	48.02	49.53	466.06	41.40	47.98		48.24	0.0008	2.28	204.71	47.17	0.35	0.00
	176	712	48.53	49.41	466.05	41.30	47.88		48.18	0.0008	2.43	191.40	41.85	0.36	0.00
	175	811	47.24	49.42	463.66	40.22	47.55		48.04	0.0021	3.12	148.57	48.10	0.57	0.00
	174	913	47.30	49.58	452.15	40.90	47.43		47.86	0.0019	2.94	153.89	47.53	0.52	0.00
	173	1022	47.84	49.09	451.55	40.26	47.14		47.66	0.0019	3.21	140.65	35.14	0.51	0.00
	172	1128	48.15	48.98	451.47	40.79	47.08		47.50	0.0013	2.85	158.48	38.46	0.45	0.00
	171	1208	47.93	48.89	451.13	40.45	46.85		47.37	0.0018	3.20	140.87	35.92	0.52	0.00
	170	1313	47.62	48.62	448.43	40.09	46.43		47.13	0.0027	3.70	121.16	32.95	0.62	0.00

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
	169	1448	47.52	48.12	448.15	40.29	46.41		46.85	0.0014	2.92	153.45	38.00	0.46	0.00
	168	1555	47.50	48.44	448.43	40.59	46.46		46.72	0.0009	2.25	199.09	50.46	0.36	0.00
	167	1668	47.47	48.07	448.29	40.41	46.45		46.63	0.0006	1.88	237.94	66.71	0.32	0.00
	166	1683	47.60	47.90	465.06	39.77	46.46		46.61	0.0005	1.72	269.69	77.76	0.30	0.00
	165	1695	47.51	48.04	465.06	41.02	46.43		46.61	0.0007	1.87	249.09	76.68	0.33	0.00
	164	1757	47.11	47.86	465.05	38.90	46.18		46.56	0.0012	2.71	171.50	40.89	0.42	0.00
	163	1838	46.99	47.67	465.06	39.51	46.15		46.47	0.0009	2.50	185.71	43.25	0.39	0.00
	162	1931	46.95	47.39	465.05	39.35	45.92		46.36	0.0015	2.95	157.89	36.17	0.45	0.00

Tabella 19 - Simulazione per portata Tr 200 anni sul fiume Bisenzio nelle condizioni di progetto.

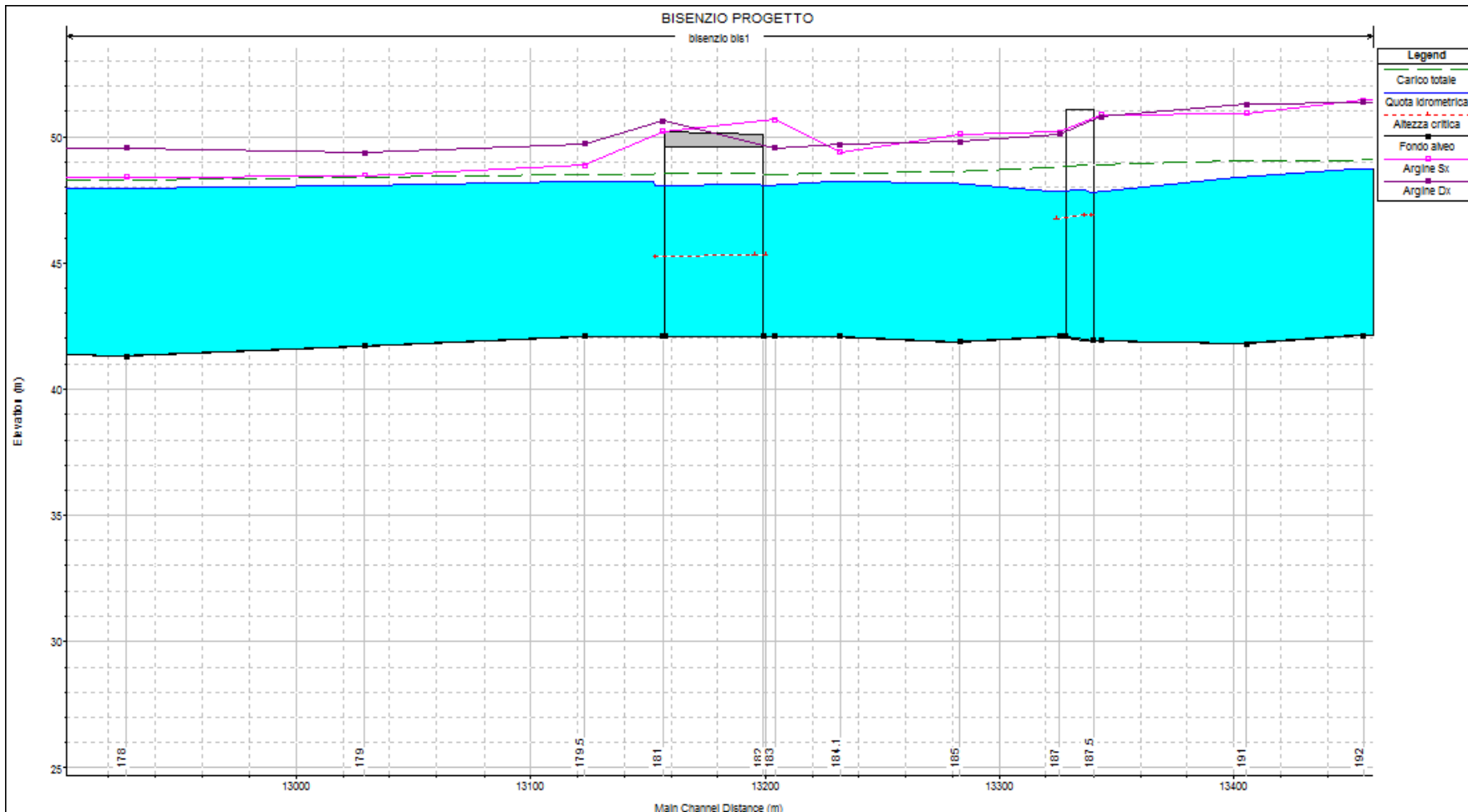


Figura 17 - Profilo idrometrico per portata Tr 200 anni sul fiume Bisenzio nelle condizioni di progetto.

4.6 TORRENTE IOLO

4.6.1 Schematizzazione del modello geometrico

Il torrente Iolo interferisce con l'autostrada in ampliamento alla progressiva km 15+465; l'opera esistente è costituita da un ponte a 3 campate; il corso d'acqua transita nella campata centrale (con pile esterne all'alveo inciso) caratterizzata da una luce netta di 13.40 m. Le 2 campate laterali sono destinate alla viabilità.

Il corso d'acqua nel tratto in esame ha andamento rettilineo, è caratterizzato da un alveo molto regolare con presenza di difese spondali su entrambi i lati: muri in massi sciolti in sponda sinistra, sia a monte che a valle del ponte autostradale, muro in c.a. a sostegno della strada adiacente in destra, a valle dell'attraversamento.

Entrambe le opere spondali svolgono anche una funzione arginale.

La geometria del corso d'acqua è rappresentata dal rilievo di dettaglio eseguito appositamente per il presente progetto; in particolare il modello geometrico è costituito da 12 sezioni trasversali che rappresentano idrodinamicamente il corso d'acqua per un'estensione di 292.0 m di cui circa 106.0 m a monte dell'autostrada e 186.0 m a valle.

Di seguito (Tab. 17) si riporta il profilo longitudinale del modello di simulazione in cui si sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate, caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg), posizione del manufatto presente in alveo e quote di sommità delle opere arginali. In Figura 18 si riporta lo stralcio planimetrico del tratto di corso d'acqua oggetto di analisi idraulica con la rappresentazione delle sezioni di rilievo.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	1	0			40.16
	2	26	44.00		40.27
	3	46	43.77		40.12

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX (m s.m.)	Quota argine DX (m s.m.)	Quota fondo alveo (m s.m.)
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	4	68	43.72	43.47	40.32
monte A11	5	91	43.44	43.43	40.05
valle A11	6	121	43.32	43.42	40.23
	7	148	43.71	43.48	39.81
	8	175	43.64	43.48	40.03
	9	202	43.49	43.49	39.94
	10	225	43.45	43.42	39.58
	11	255	43.54	43.34	40.42
	12	292	43.43	43.21	39.83

Tabella 20 - Profilo longitudinale del modello idraulico sul torrente Iolo.



Figura 18 - Stralcio cartografico del tratto di corso d'acqua simulato con la rappresentazione planimetrica delle sezioni di rilievo utilizzate nel modello di simulazione.

4.6.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- idrogramma di piena a portata costante di valore al colmo pari a $61.2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in entrata a monte (sez.1); tale valore è stato ottenuto per reiterazioni successive e rappresenta la portata contenuta in condizioni di sicurezza (franco residuo 20-30 cm rispetto alle quote arginali) nell'alveo canalizzato del corso d'acqua;
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez. 12) a progressiva 292.0 m.

4.6.3 Coefficienti di scabrezza

Nella simulazione sono state diversificate le resistenze distribuite da attribuire ai diversi tratti corso d'acqua sulla base:

- della granulometria del fondo alveo,
- della copertura vegetale presente sulle sponde,
- della presenza di opere di sistemazione e/o di rivestimento in alveo.

In particolare per la sponda sinistra, difesa per quasi tutto il tratto da opere in massi sciolti, si sono utilizzati i valori di scabrezza costanti:

- nei tratti rivestiti in massi sciolti (muri spondali) si è assunto un valore di Strickler pari a $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning);
- nel tratto di attraversamento autostradale, per la spalla sinistra, si è assunto un valore di Strickler pari a $60 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.0167 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

Per la sponda destra e per l'alveo inciso si sono assunti:

- valori di Strickler variabili da 35 a $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ (0.028 a $0.022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning) nei tratti in terra;
- valori di Strickler variabili da 30 a $35 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ (0.033 a $0.028 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning) nei tratti caratterizzati dalla presenza di copertura vegetale;
- valori di Strickler pari a $60 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.0167 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning) nel tratto di attraversamento della A11 per la spalla destra.

4.6.4 Verifica idraulica dello stato attuale

Il Consorzio di Bonifica Ombrone Pistoiese e Bisenzio ha fornito i valori idrologici delle portate massime al colmo per tempo di ritorno 25, 50, 100 e 200 anni nella sezione di attraversamento della A11; esse sono riportate nella seguente tabella:

Q25	Q50	Q100	Q200
m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s	m ³ /s
52.40	61.20	71.40	83.10

Tabella 21 – Portate di piena idrologiche per tempo di ritorno assegnato nella sezione di attraversamento A11.

La portata utilizzata nelle verifiche idrauliche, pari a 61.2 m³/s, è quella in grado di transitare in condizioni di sicurezza (con un franco residuo di 20-30 cm rispetto alle quote arginali) nel tratto di corso d'acqua simulato senza produrre esondazioni.

Sulla base dei valori sopra riportati si può desumere che la capacità di deflusso compatibile con l'assetto del corso d'acqua corrisponde ad un evento di piena con tempo di ritorno di 50 anni. Tali risultati sono congruenti con quanto determinato dall'Autorità di Bacino del fiume Arno che indica per questo tratto fluviale, a monte dell'A11, una pericolosità elevata e medio elevata in destra idraulica, moderata in sinistra.

La portata sopradescritta defluisce nel tratto di corso d'acqua simulato in condizioni di moto di corrente lenta caratterizzata da velocità di valore compreso tra 1.40 e 2.60 m/s.

Il manufatto di attraversamento esistente della A11 è caratterizzato da una minima quota di intradosso pari a 44.67 m s.m.; per la portata di verifica la quota idrometrica a monte è pari a 43.10 m s.m. a cui corrisponde un franco idraulico di 1.57 m.

Di seguito (Tabella 22) si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare e grafica (Figura 19) rappresentando il profilo idrometrico relativo alla portata di verifica.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)
	1	0			61.2	40.16	43.42	41.91	43.59	0.0005	1.85	33.45	16.20	0.36
	2	26	44.00		61.2	40.27	43.25	42.29	43.56	0.0010	2.45	25.19	11.46	0.51
	3	46	43.77		61.2	40.12	43.26	42.18	43.53	0.0009	2.30	27.12	15.23	0.48
	4	68	43.72	43.47	61.2	40.32	43.21	42.25	43.50	0.0010	2.41	25.47	11.38	0.51
monte A11	5	91	43.44	43.43	61.2	40.05	43.33	41.36	43.44	0.0002	1.42	43.07	13.36	0.25
	5.5		Bridge											
valle A11	6	121	43.32	43.42	61.2	40.23	43.32	41.52	43.43	0.0002	1.48	41.28	13.37	0.27
	7	148	43.71	43.48	61.2	39.81	43.19	41.64	43.41	0.0007	2.07	29.96	10.60	0.37
	8	175	43.64	43.48	61.2	40.03	43.12	41.91	43.39	0.0009	2.28	27.11	10.61	0.43
	9	202	43.49	43.49	61.2	39.94	43.12	41.76	43.35	0.0007	2.15	28.95	10.94	0.40
	10	225	43.45	43.42	61.2	39.58	43.15	41.37	43.32	0.0005	1.82	33.88	11.13	0.32
	11	255	43.54	43.34	61.2	40.42	42.94	42.07	43.28	0.0013	2.59	23.75	10.18	0.52
	12	292	43.43	43.21	61.2	39.83	42.92	41.75	43.23	0.0010	2.47	25.54	10.19	0.46

Tabella 22 – Simulazione per portata pari a 61.2 m³/s sul torrente Iolo nelle condizioni di stato attuale

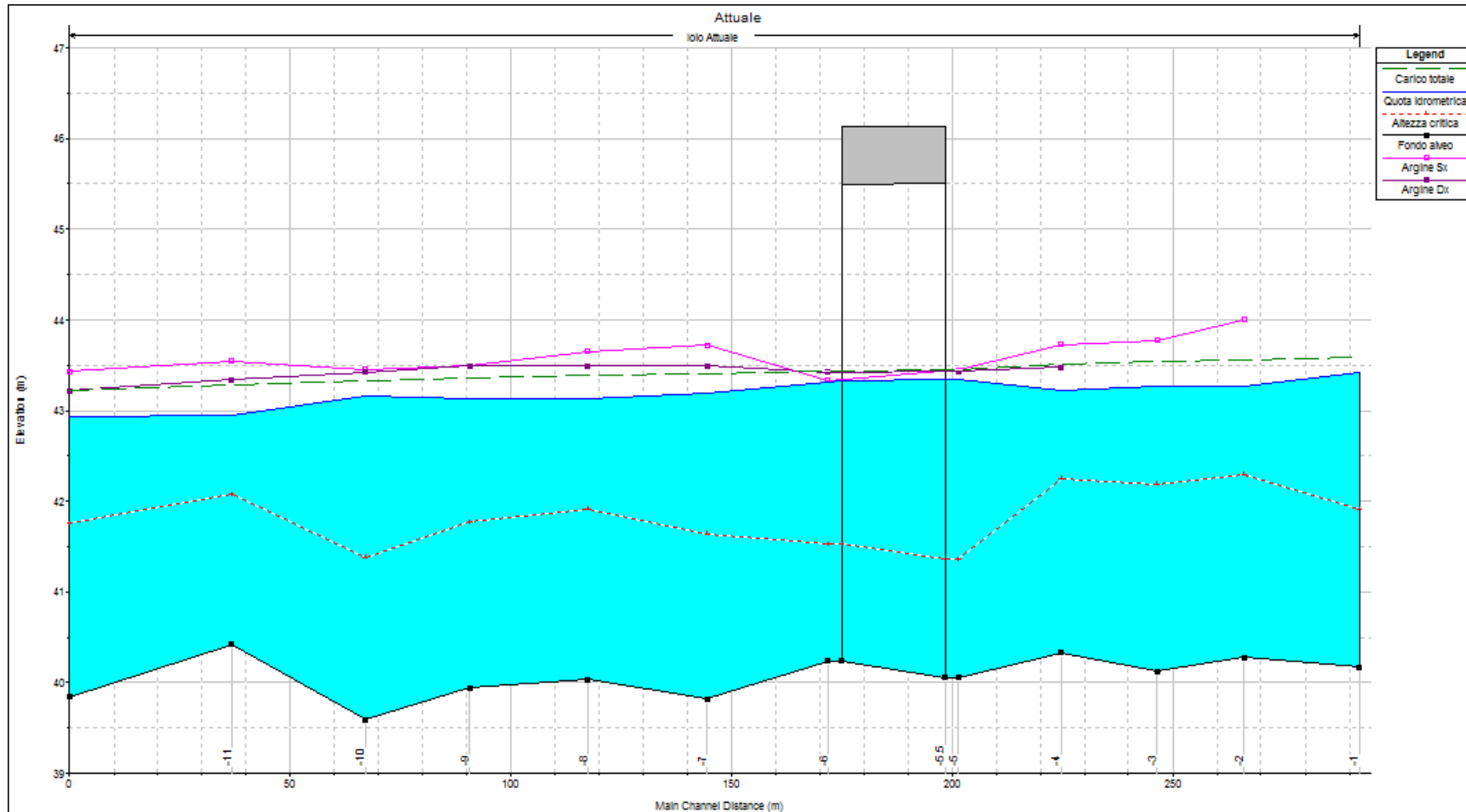


Figura 19 – Profilo idrometrico nelle condizioni di stato attuale sul torrente Iolo per portata di 61.2 m³/s.

4.6.5 Verifica idraulica dello stato di progetto

L'intervento previsto riguarda l'ampliamento del ponte autostradale ed il ripristino della sistemazione d'alveo in massi di cava e muri in c.a., già presente nel tratto di corso d'acqua in oggetto.

In particolare, il ponte viene ampliato di circa 8.20 m a monte e 6.40 m a valle per una lunghezza complessiva di circa 37.80 m, misurata in asse al corso d'acqua (da progr. 86.84 m a progr. 124.65 m); la sistemazione d'alveo è prevista per un tratto di complessivi 60.62 m a cavallo dell'opera di attraversamento autostradale e presenta le seguenti caratteristiche tipologiche (analoghe a quella esistente):

- rivestimento in massi di cava del fondo alveo per l'intero tratto di intervento (L= 60.62 m);
- nuovo muro di sponda in c.a. in destra (L= 14.30 m), a monte dell'attraversamento, e ricostruzione di quello esistente nel tratto a valle (L= 13.82 m) a seguito dei lavori di costruzione del prolungamento del ponte;
- ricostruzione del muro di sponda esistente in sinistra (L= 15.00 m a monte e 14.74 m a valle) con struttura in c.a. rivestita in lastre di pietra.

E' prevista inoltre la demolizione dei manufatti in c.a. presenti ai 4 lati del ponte attuale per raccordare la struttura esistente all'alveo; tali manufatti determinano un significativo restringimento della sezione, immediatamente a monte e valle della struttura del ponte (ben più larga), che non favorisce condizioni di deflusso ottimali. Il raccordo tra la nuova struttura del ponte ed i muri spondali ricostruiti verrà realizzato risvoltando i tratti terminali dei muri stessi, contro le 2 pile, in modo tale da consentire un allargamento della sezione di deflusso di circa 2.00 m rispetto alla situazione attuale.

Nel tratto sottostante il ponte autostradale il rivestimento di fondo in massi, impostato ad una quota variabile da 40.05 a 39.92 m s.m., presenterà sui 2 lati un ringrosso in massi cementati fino a quota 42.07 m s.m. in modo da proteggere le fondazioni delle pile nei tratti di ampliamento del ponte.

Il ponte autostradale ampliato presenterà quota minima di intradosso a monte di 44.70 m s.m., circa la stessa già rilevata per il ponte nello stato attuale (44.67 m s.m.).

La verifica dello stato di progetto è stata eseguita introducendo nella schematizzazione del modello la nuova configurazione geometrica delle opere sopra descritta; dai risultati ottenuti (si rimanda alla Tabella 23 e alla Figura 20) è possibile affermare che con gli interventi in progetto si determina una modesta variazione migliorativa delle condizioni di deflusso nel tratto a cavallo del ponte autostradale, con livelli idrometrici che si riducono di 5-7 cm (e quindi franchi idraulici maggiori) a monte del ponte, mentre le velocità di corrente si mantengono pressoché inalterate (1.80-2.60 m/s).

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
	1	0			61.2	40.16	43.37	41.91	43.55	0.0005	1.88	32.77	15.72	0.37	-0.05
	2	26	44.00		61.2	40.27	43.20	42.29	43.52	0.0011	2.51	24.59	11.30	0.53	-0.05
	3	46	43.77		61.2	40.12	43.21	42.18	43.49	0.0009	2.35	26.33	14.39	0.49	-0.05
	4	68	43.72	43.47	61.2	40.32	43.15	42.25	43.46	0.0011	2.47	24.83	11.22	0.52	-0.06
	4.5	76	43.59	43.45	61.2	40.27	43.20	41.89	43.43	0.0006	2.13	28.69	10.28	0.41	-
monte A11	5	87	43.44	43.43	61.2	40.05	43.27	41.83	43.43	0.0003	1.87	36.27	13.36	0.34	-0.06
	5.5	Bridge													
valle A11	6	124	43.32	43.42	61.2	39.92	43.25	41.72	43.42	0.0003	1.87	36.13	13.37	0.33	-0.07
	6.5	137	43.53	43.45	61.2	39.86	43.25	41.47	43.42	0.0003	1.80	34.07	11.14	0.32	-
	7	148	43.71	43.48	61.2	39.81	43.19	41.64	43.41	0.0007	2.07	29.96	10.60	0.37	0.00
	8	175	43.64	43.48	61.2	40.03	43.12	41.91	43.39	0.0009	2.28	27.11	10.61	0.43	0.00
	9	202	43.49	43.49	61.2	39.94	43.12	41.76	43.35	0.0007	2.15	28.95	10.94	0.40	0.00
	10	225	43.45	43.42	61.2	39.58	43.15	41.37	43.32	0.0005	1.82	33.88	11.13	0.32	0.00
	11	255	43.54	43.34	61.2	40.42	42.94	42.07	43.28	0.0013	2.59	23.75	10.18	0.52	0.00
	12	292	43.43	43.21	61.2	39.83	42.92	41.75	43.23	0.0010	2.47	25.54	10.19	0.46	0.00

Tabella 23 - Simulazione per portata pari a 61.2 m³/s sul torrente Iolo nelle condizioni di progetto.

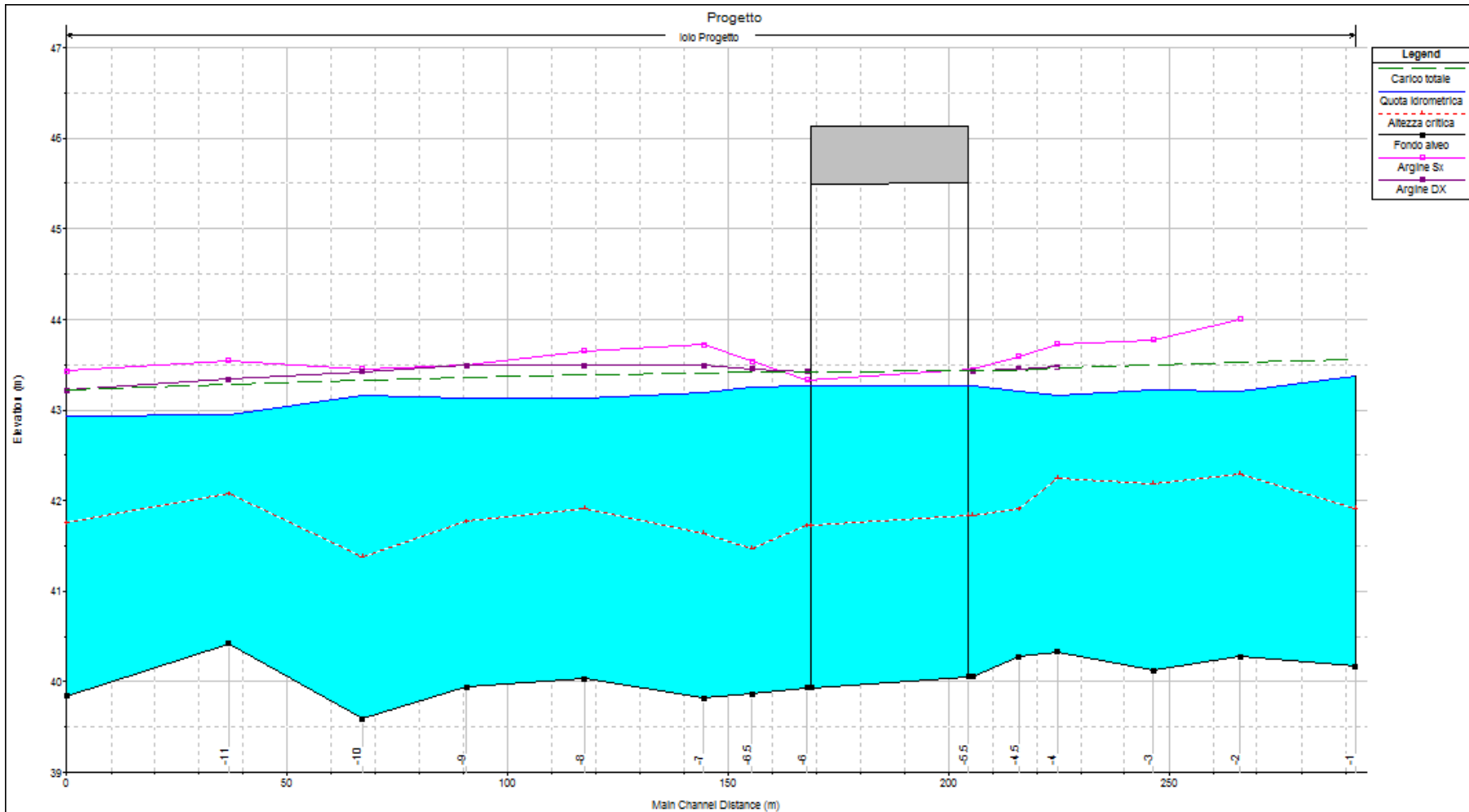


Figura 20 - Profilo idrometrico nelle condizioni di progetto sul torrente lolo per portata di 61.2 m³/s.

4.7 FOSSO FICARELLO

4.7.1 Schematizzazione del modello geometrico

Il fosso Ficarello interferisce con l'autostrada in ampliamento alla progressiva km 17+165; l'opera esistente è costituita da un ponticello ad unica campata di luce netta pari a 4.0 m ed altezza sul fondo alveo di 1.66 m.

Il corso d'acqua nel tratto oggetto di analisi ha andamento rettilineo caratterizzato da una sezione d'alveo molto regolare; è canalizzato da opere arginali a carattere continuo in destra e sinistra idraulica.

La geometria del corso d'acqua è rappresentata dal rilievo di dettaglio eseguito appositamente per il presente progetto; in particolare il modello geometrico è costituito da 12 sezioni trasversali che rappresentano idrodinamicamente il corso d'acqua per un'estensione di 264.0 m di cui circa 96.0 m a monte dell'autostrada e 168.0 m a valle.

A valle della A11 (circa 85 m) è presente un manufatto di attraversamento di una viabilità minore (denominato T31), costituito da un ponticello ad arco in muratura di larghezza alla base pari a 4.6 m e altezza di 2.4 m.

Sono rilevabili tracce di rivestimenti delle sponde in massi e pietrame ed un breve tratto protetto da lastre di calcestruzzo.

Di seguito (Tabella 24) si riporta il profilo longitudinale del modello di simulazione in cui si sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate, caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg), posizione dei manufatti presenti in alveo e quote di sommità delle opere spondali e/o arginali. In Figura 21 si riporta lo stralcio planimetrico del tratto di corso d'acqua oggetto di analisi idraulica con la rappresentazione delle sezioni di rilievo.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	1	0	41.12	41.27	38.95

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	2	25	41.02	41.00	39.02
	3	51	41.02	41.04	39.00
monte A11	4	77	40.95	41.14	39.21
valle A11	5	114	40.62	40.75	39.01
	6	127	40.77	41.02	39.03
	7	143	40.98	41.13	38.91
	8	170	40.82	41.20	38.89
monte T31	9	198	41.78	41.72	38.83
valle T31	10	205	41.78	41.72	38.83
	11	236	40.53	40.71	38.73
	12	264	40.48	40.69	38.71

Tabella 24 - Profilo longitudinale del modello idraulico sul fosso Ficarello

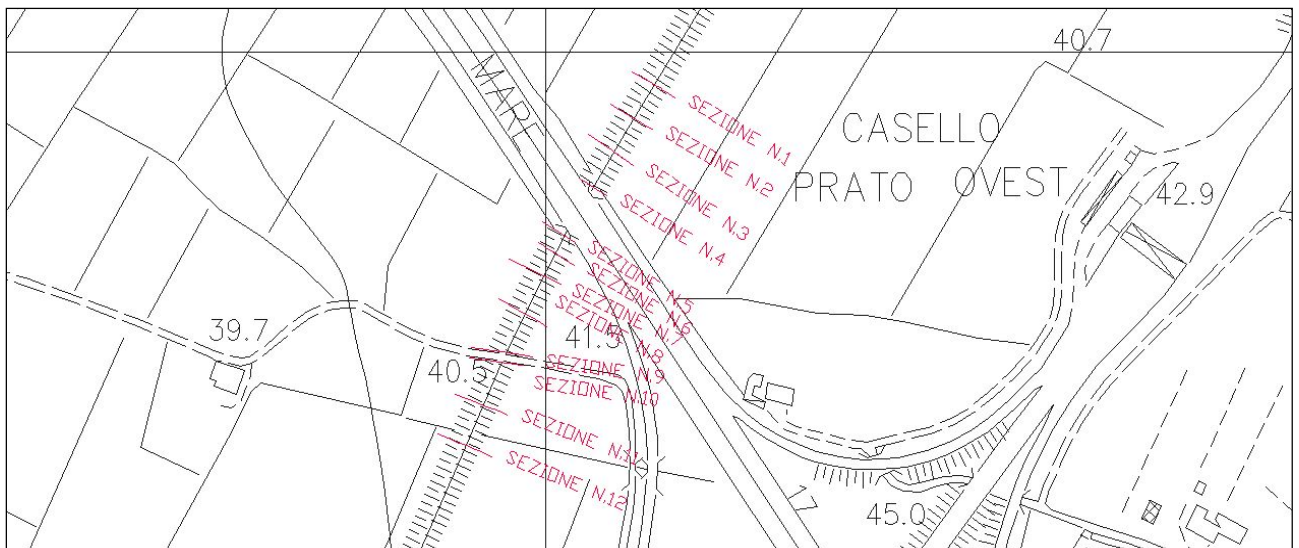


Figura 21 - Stralcio cartografico del tratto di corso d'acqua simulato con rappresentazione delle sezioni di rilievo utilizzate nel modello di simulazione

4.7.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- idrogramma di piena a portata costante di valore al colmo pari a $6.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in entrata a monte (sez.1); tale valore è stato ottenuto per reiterazioni successive e rappresenta la portata contenuta in condizioni di sicurezza (franco residuo di 50-60 cm rispetto alle quote arginali) nell'alveo canalizzato del corso d'acqua;
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez. 12) a progressiva 264.0 m.

4.7.3 Coefficienti di scabrezza

Nella simulazione sono state diversificate le resistenze distribuite da attribuire ai diversi tratti corso d'acqua sulla base:

- della granulometria del fondo alveo,
- della copertura vegetale presente sulle sponde,
- della presenza di opere di sistemazione e/o di rivestimento in alveo.

In particolare si sono utilizzati i seguenti valori di scabrezza :

- nei tratti in terra si è assunto un valore di Strickler variabile da 35 a $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ (0.028 a $0.022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti caratterizzati dalla presenza di copertura vegetale un valore di Strickler variabile da 30 a $35 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ (0.033 a $0.028 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning);
 - nei tratti con rivestimenti in cls (spalle di manufatti di attraversamento) un valore di Strickler pari a $60 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.0167 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

4.7.4 Verifica idraulica dello stato attuale

La portata utilizzata nelle verifiche idrauliche, pari a $6.0 \text{ m}^3/\text{s}$, è quella in grado di transitare in condizioni di sicurezza nel tratto di corso d'acqua simulato senza produrre esondazioni.

I risultati della simulazione dimostrano che la capacità di deflusso in sicurezza del corso d'acqua corrisponde infatti a portate di tempo di ritorno decisamente inferiori ai 200 anni; tali risultati sono in accordo con gli Studi citati in premessa e con quanto determinato dall'Autorità di bacino del fiume Arno che indica per il fosso Ficarello un livello di pericolosità molto elevato a monte dell'A11 ed elevato a valle di essa.

La portata di verifica transita nel corso d'acqua simulato in condizioni di moto di corrente lenta caratterizzata da velocità di valore compreso tra 1.45 e 1.80 m/s.

Il manufatto di attraversamento esistente della A11 è caratterizzato da una quota minima di intradosso pari a 40.66 m s.m.; la quota idrometrica a monte corrispondente alla portata di verifica è pari a 40.21 m s.m. a cui corrisponde un franco idraulico di 0.45 m.

Di seguito (Tabella 25) si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare e grafica (Figura 22), rappresentando il profilo idrometrico relativo alla portata di verifica.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)
	1	0	41.12	41.27	6	38.95	40.36	39.87	40.48	0.0016	1.52	3.94	4.44	0.52
	2	25	41.02	41.00	6	39.02	40.27	39.96	40.43	0.0024	1.75	3.43	4.27	0.62
	3	51	41.02	41.04	6	39.00	40.26	39.84	40.37	0.0013	1.50	4.06	4.82	0.49
monte A11	4	77	40.95	41.14	6	39.21	40.21	39.94	40.33	0.0017	1.58	3.81	5.06	0.58
	4.5		Bridge											
valle A11	5	114	40.62	40.75	6	39.01	40.16	39.85	40.28	0.0016	1.52	3.95	5.16	0.55
	6	127	40.77	41.02	6	39.03	40.09	39.82	40.25	0.0022	1.78	3.37	3.98	0.62
	7	143	40.98	41.13	6	38.91	40.08	39.78	40.21	0.0017	1.61	3.73	4.71	0.58
	8	170	40.82	41.20	6	38.89	40.02	39.75	40.16	0.0018	1.63	3.68	4.82	0.60
monte T31	9	198	41.78	41.72	6	38.83	40.00	39.64	40.11	0.0013	1.46	4.12	4.97	0.51
	9.5		Bridge											
valle T31	10	205	41.78	41.72	6	38.83	39.98	39.64	40.09	0.0014	1.49	4.03	4.92	0.53
	11	236	40.53	40.71	6	38.73	39.89	39.63	40.04	0.0019	1.68	3.57	4.60	0.61
	12	264	40.48	40.69	6	38.71	39.86	39.55	39.98	0.0016	1.56	3.83	4.86	0.56

Tabella 25 - Simulazione per portata pari a 6.0 m³/s sul fosso Ficarello nelle condizioni di stato attuale.

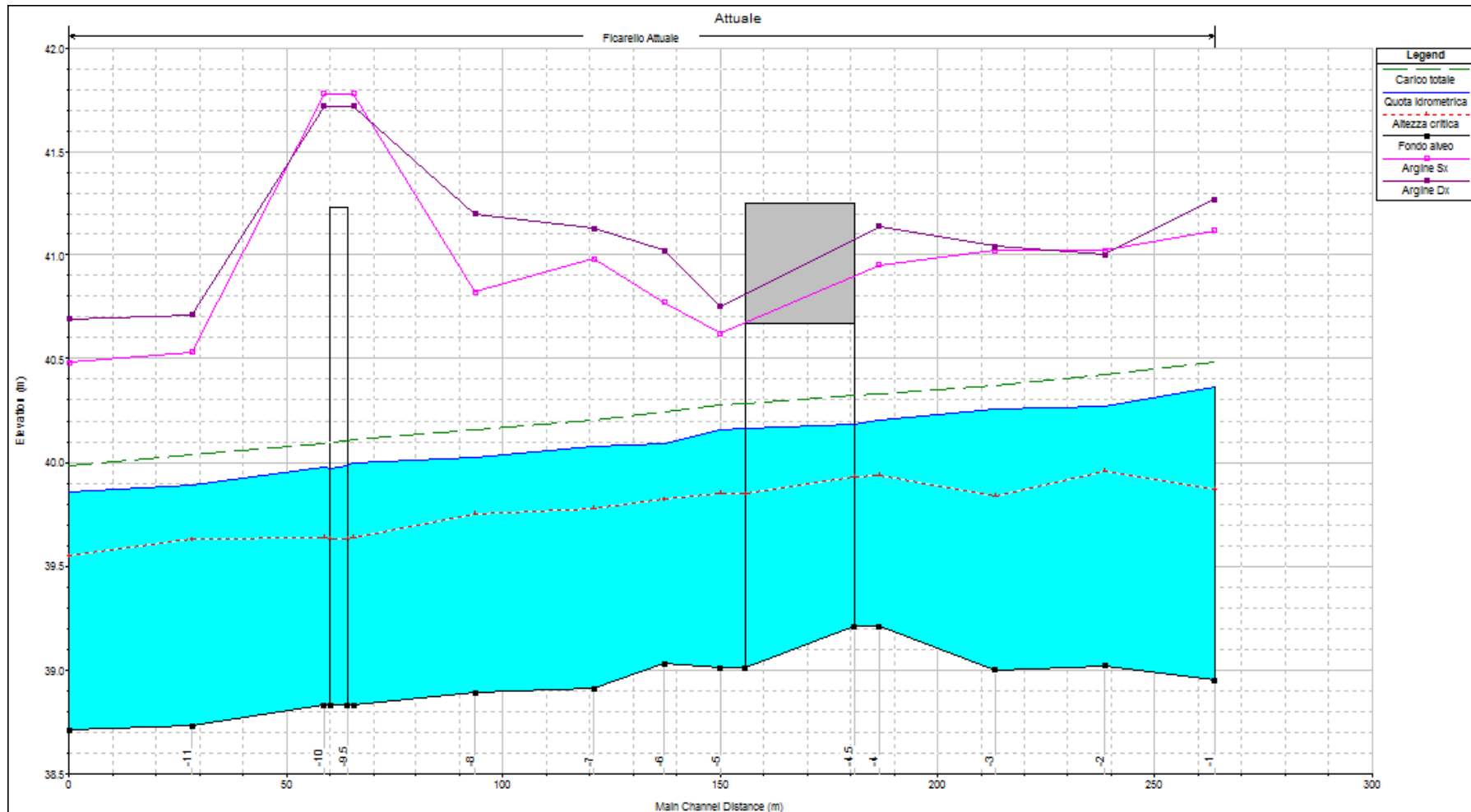


Figura 22 - Profilo idrometrico nelle condizioni di stato attuale sul fosso Ficarello per portata di $6.0 \text{ m}^3/\text{s}$.

4.7.5 Verifica idraulica dello stato di progetto

L'intervento previsto riguarda l'ampliamento del ponticello autostradale ed una sistemazione d'alveo in massi di cava nel tratto a cavallo del ponticello stesso in modo da ripristinare sulle sponde e sul fondo condizioni di stabilità dell'alveo tali da favorire il deflusso in piena. In sostanza si ripristina un rivestimento delle sponde già esistente, sia pure visibile solo parzialmente.

In particolare il ponticello viene ampliato di 8.93 m a monte e di 9.04 m a valle per una lunghezza complessiva di 44.55 m, misurata in asse al corso d'acqua (da progr. 72.81 a progr. 117.36); la sistemazione d'alveo è prevista per un tratto di complessivi 84.55 m a cavallo dell'opera autostradale e presenta le seguenti caratteristiche tipologiche:

- rivestimento in massi di cava della sezione d'alveo con tipologia di forma trapezia con larghezza alla base di 3.0 m, pendenza sponde 2/3 e altezza 1.70 m (fino alla sommità delle sponde arginali esistenti); tale tipologia, denominata sezione tipo A, viene estesa per 20.0 m sia a monte che a valle del ponticello; in prossimità del ponticello, per 5.0 m, è previsto un tratto di raccordo con larghezza di fondo variabile fino a 4.0 m;
- semplice rivestimento di fondo, sempre in massi di cava, nel tratto sottostante il ponticello, per stabilizzarne le fondazioni;
- al di sotto del rivestimento è prevista la realizzazione di un letto di posa in materiale arido costipato e la stesa di un geotessile di caratteristiche adeguate.

Il ponte ampliato presenterà quota minima di intradosso a monte di 40.66 m s.m., la stessa già rilevata per il ponte nello stato attuale.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
	1	0	41.12	41.27	6	38.95	40.33	39.87	40.46	0.0018	1.58	3.79	4.31	0.54	-0.03
	2	25	41.02	41.00	6	39.02	40.21	39.96	40.39	0.0028	1.88	3.19	4.07	0.68	-0.06
	3	51	41.02	41.04	6	39.00	40.20	39.84	40.33	0.0016	1.60	3.76	4.53	0.53	-0.06
	3.5	53	41.01	41.05	6	39.01	40.19	39.67	40.25	0.0005	1.06	5.66	6.55	0.36	
	3.6	68	40.97	41.12	6	39.00	40.20	39.62	40.24	0.0004	0.95	6.29	7.07	0.32	
monte A11		71	40.95	41.14	6	39.00	40.20	39.57	40.24	0.0003	0.86	6.96	7.60	0.29	-0.01
	4.5	Bridge													
valle A11		118	40.70	40.75	6	39.00	40.18	39.57	40.22	0.0003	0.88	6.79	7.53	0.30	0.02
	5.5	122	40.70	40.90	6	38.97	40.17	39.58	40.22	0.0003	0.97	6.20	6.85	0.32	
	6	127	40.77	41.02	6	38.96	40.16	39.62	40.21	0.0003	1.03	5.80	6.62	0.36	0.07
	6.6	137	40.91	41.09	6	38.95	40.16	39.61	40.21	0.0003	1.04	5.75	6.60	0.35	
	7	143	40.98	41.13	6	38.91	40.08	39.78	40.21	0.0017	1.61	3.73	4.71	0.58	0.00
	8	170	40.82	41.20	6	38.89	40.02	39.75	40.16	0.0018	1.63	3.68	4.82	0.60	0.00
monte T31		198	41.78	41.72	6	38.83	40.00	39.64	40.11	0.0013	1.46	4.12	4.97	0.51	0.00
	9.5	Bridge													0.00
valle T31		205	41.78	41.72	6	38.83	39.98	39.64	40.09	0.0014	1.49	4.03	4.92	0.53	0.00
	11	236	40.53	40.71	6	38.73	39.89	39.63	40.04	0.0019	1.68	3.57	4.60	0.61	0.00
	12	264	40.48	40.69	6	38.71	39.86	39.55	39.98	0.0016	1.56	3.83	4.86	0.56	0.00

Tabella 26 - Simulazione per portata pari a 6.0 m³/s sul fosso Ficarello nelle condizioni di progetto.

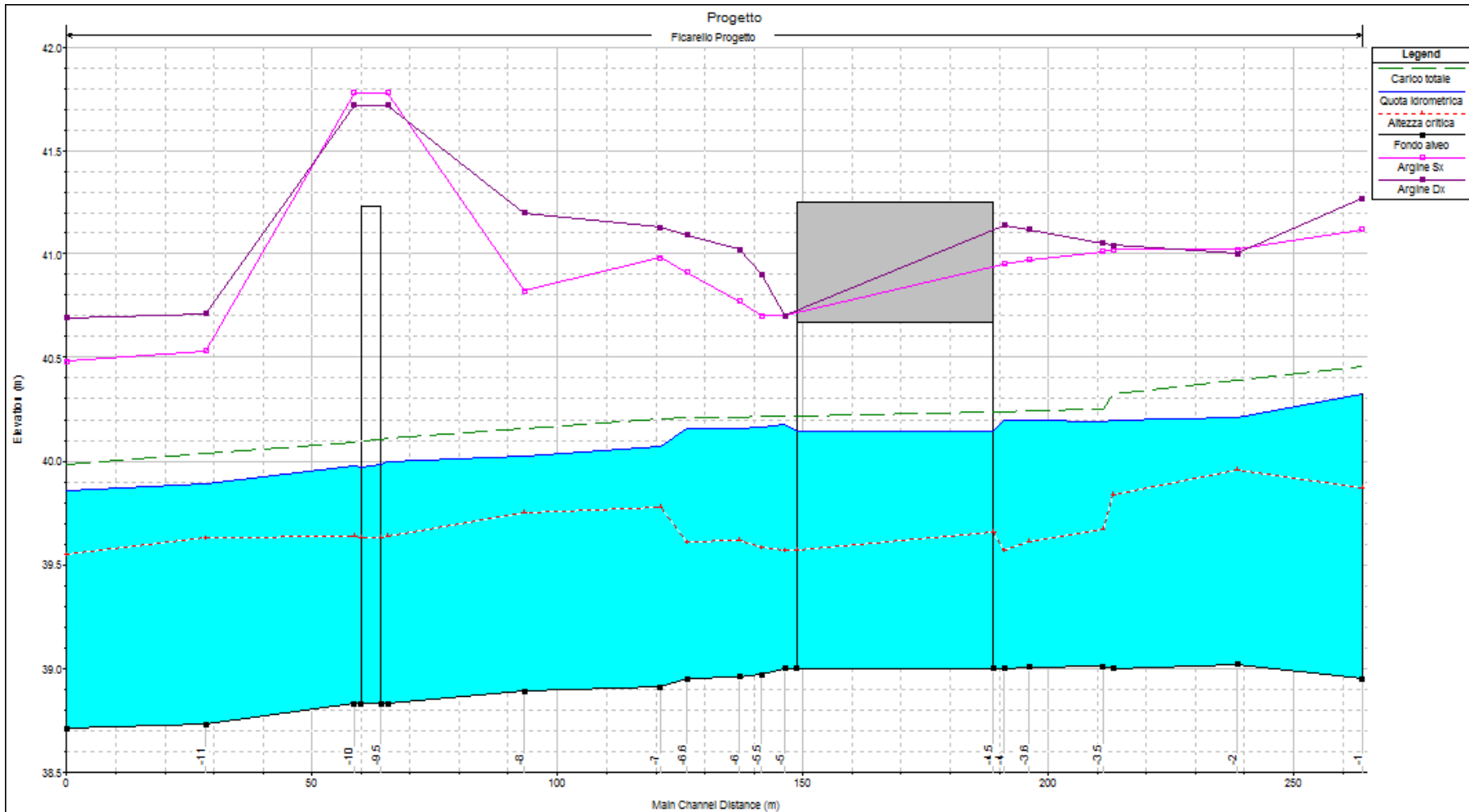


Figura 23 - Profilo idrometrico nelle condizioni di progetto sul fosso Ficarello per portata di 6.0 m³/s.

La verifica dello stato di progetto è stata eseguita introducendo nella schematizzazione del modello la nuova configurazione geometrica delle opere sopra descritte; dai risultati ottenuti (Tabella 26 e Figura 23) è possibile affermare che con gli interventi in progetto si determina una modesta variazione delle condizioni di deflusso (migliorativa nel tratto di monte e lievemente peggiorativa nel tratto di valle) dovuta ad un minimo ampliamento di sezione (più che altro ad una regolarizzazione della sezione); si tratta di effetti molto localizzati che rientrano nei limiti di approssimazione del modello di simulazione.

4.8 TORRENTE BAGNOLO BARDENA

4.8.1 Schematizzazione del modello geometrico

Il torrente Bagnolo interferisce con l'autostrada in ampliamento alla progressiva km 17+653; l'opera esistente è costituita da un ponte a 3 campate di luce complessiva pari a 25.0 m; le 2 pile presenti (larghezza 0.5 m) sono esterne all'alveo inciso del corso d'acqua che attraversa l'A11 nella campata centrale, di luce netta pari a circa 11.5 m.

Il corso d'acqua nel tratto in analisi è canalizzato, ha andamento rettilineo e presenta una sezione di forma trapezia con opere arginali a carattere continuo.

La geometria del corso d'acqua è rappresentata dal rilievo di dettaglio eseguito appositamente per il presente progetto; in particolare il modello geometrico è costituito da 18 sezioni trasversali per un'estensione di 432.0 m di cui circa 275.0 m a monte dell'autostrada e 157.0 m a valle.

Nel tratto sono presenti 2 attraversamenti viari a monte della A11:

- il primo (denominato T40), è localizzato a circa 183.0 m dall'autostrada ed è costituito da un ponte in ferro ad unica campata di luce netta pari a 7.5 m;
- il secondo (denominato P9) localizzato a circa 81 m da essa, costituito da un ponte ad unica campata di luce pari a circa 14.0 m.

Di seguito (Tabella 27) si riporta il profilo longitudinale del modello di simulazione in cui si sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate, caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg), posizione dei manufatti presenti in alveo e

quote di sommità delle opere arginali. In Figura 24 si riporta lo stralcio planimetrico del tratto di corso d'acqua oggetto di analisi idraulica con la rappresentazione delle sezioni di rilievo.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	1	0	44.05	44.02	41.02
	2	29	44.08	44.12	40.99
	3	53	43.85	44.09	40.86
monte T40	4	68	44.17	44.31	40.75
valle T40	5	76	44.17	44.47	40.77
	6	98	44.09	44.52	40.90
	7	115	44.00	44.29	40.87
monte P9	8.1	164	44.07	43.96	40.67
valle P9	8.2	179	44.07	43.96	40.61
	9	197	43.98	43.89	40.58
	10	235	44.06	43.78	40.43
monte A11	11	259	45.75	45.48	40.47
valle A11	12	290	45.27	45.39	40.79
	13	311	43.59	43.70	40.57
	14	330	43.70	43.41	40.43
	15	350	43.65	43.38	40.35
	16	376	43.63	43.34	40.25
	17	404	43.54	43.19	39.96
	18	432	43.44	43.30	40.33

Tabella 27 - Profilo longitudinale del modello idraulico sul torrente Bagnolo.

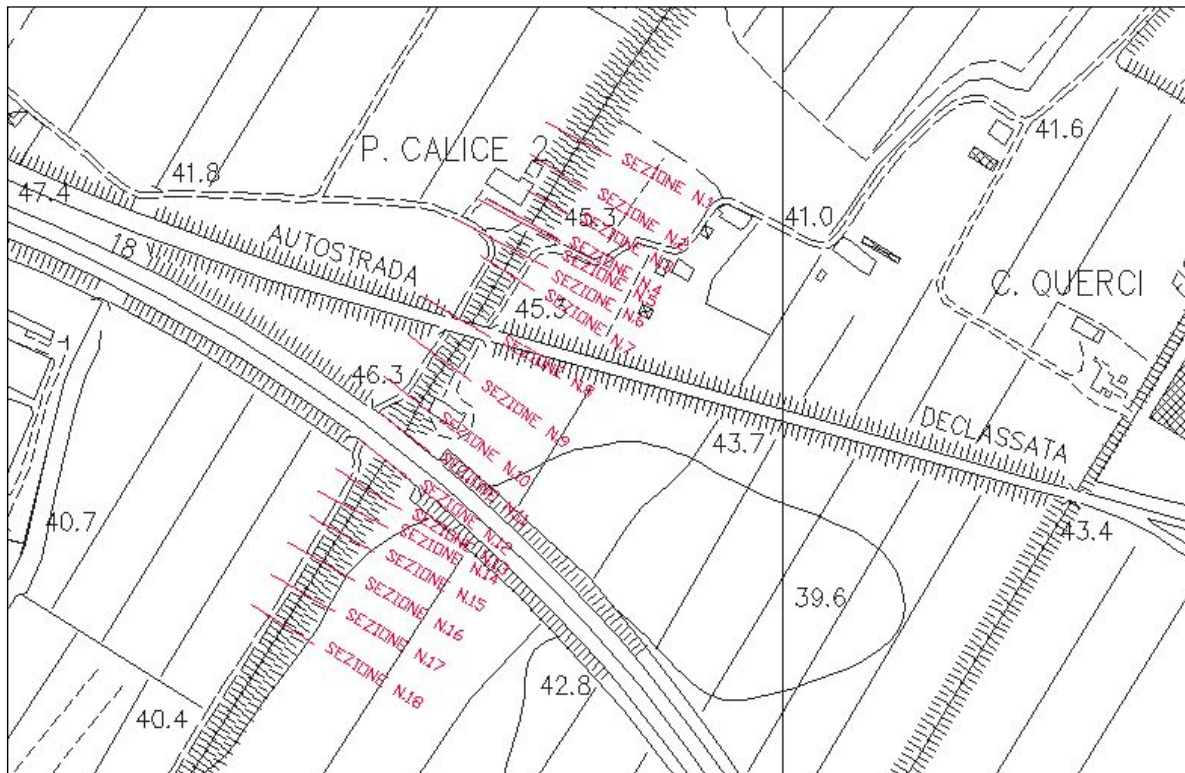


Figura 24 - Stralcio cartografico del tratto di corso d'acqua simulato con la rappresentazione planimetrica delle sezioni di rilievo utilizzate nel modello di simulazione.

4.8.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- idrogramma di piena a portata costante di valore al colmo pari a $42.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in entrata a monte (sez.1); tale valore è stato ottenuto per reiterazioni successive e rappresenta la portata contenuta in condizioni di sicurezza (con un franco residuo di 10-30 cm rispetto alle quote arginali) nell'alveo canalizzato del corso d'acqua;
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez. 18) a progressiva 432.0 m.

4.8.3 Coefficienti di scabrezza

Nella simulazione sono state diversificate le resistenze distribuite da attribuire ai diversi tratti corso d'acqua sulla base:

- della granulometria del fondo alveo,

- della copertura vegetale presente sulle sponde,
- della presenza di opere di sistemazione e/o di rivestimento in alveo.

In particolare si sono utilizzati i seguenti valori di scabrezza :

- nei tratti in terra si è assunto un valore di Strickler variabile da 35 a 45 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.028 a 0.022 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti caratterizzati dalla presenza di copertura vegetale un valore di Strickler variabile da 30 a 35 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.033 a 0.028 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti con rivestimenti in cls (spalle di manufatti di attraversamento) un valore di Strickler pari a 60 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.0167 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning).

4.8.4 Verifica idraulica dello stato attuale

Il Consorzio di Bonifica Ombrone Pistoiese e Bisenzio ha fornito i valori idrologici delle portate massime al colmo per tempo di ritorno 25, 50, 100 e 200 anni nella sezione di attraversamento della A11; esse sono riportate nella seguente tabella:

Q25	Q50	Q100	Q200
m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
54.1	63.9	75.2	88.1

Tabella 28 – Portate di piena idrologiche per tempo di ritorno assegnato nella sezione di attraversamento A11

La portata utilizzata nelle verifiche idrauliche, pari a 42.0 m^3/s , è quella in grado di transitare in condizioni di sicurezza nel tratto di corso d'acqua simulato senza produrre esondazioni.

Il manufatto di attraversamento autostradale presenta un intradosso impalcato a quota decisamente superiore rispetto alle quote della sommità arginale.

Inoltre, nello stato attuale, sia a monte che a valle in corrispondenza dell'inizio e della fine delle 2 pile, si rilevano dei ringrossi di forma tronco-conica in calcestruzzo che riducono la sezione di deflusso del corso d'acqua (sia rispetto alla luce netta del ponte autostradale, sia rispetto alla sezione d'alveo corrente).

Sulla base dei valori sopra riportati si può desumere che la massima capacità di deflusso compatibile con l'assetto del corso d'acqua corrisponde a un evento di piena con tempo di ritorno inferiore a 25 anni. Tali risultati sono in accordo con gli Studi citati in premessa e con quanto determinato dall'Autorità di bacino del fiume Arno che indica per il torrente Bagnolo un livello di pericolosità molto elevato in destra idraulica ed elevato in sinistra, sia a monte che a valle dell'A11.

La portata di verifica transita nel corso d'acqua simulato in condizioni di moto di corrente lenta, caratterizzata da velocità di valore compreso tra 2.0 e 3.5 m/s.

Il manufatto di attraversamento esistente della A11 è caratterizzato da una quota minima di intradosso pari a 45.21 m s.m. a monte e a 44.91 m s.m. a valle; la quota idrometrica a monte è pari a 43.54 m s.m. a cui corrisponde un franco idraulico di 1.67 m.

Di seguito (Tabella 29) si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare e grafica (Figura 25) rappresentando il profilo idrometrico relativo alla portata di verifica.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)
	1	0	44.05	44.02	42	41.02	44.19	43.29	44.19	0.0000	0.28	136.99	54.80	0.06
	2	29	44.08	44.12	42	40.99	43.77	43.22	44.15	0.0018	2.75	15.35	8.75	0.65
	3	53	43.85	44.09	42	40.86	43.78	43.05	44.09	0.0014	2.47	17.03	8.99	0.57
monte T40	4	68	44.17	44.31	42	40.75	43.80	42.91	44.06	0.0010	2.28	18.91	10.62	0.50
	4.5		Bridge											
valle T40	5	76	44.17	44.47	42	40.77	43.80	42.98	44.05	0.0010	2.23	19.60	12.13	0.50
	6	98	44.09	44.52	42	40.90	43.78	42.91	44.02	0.0011	2.19	19.22	10.20	0.51
	7	115	44.00	44.29	42	40.87	43.77	42.87	44.00	0.0009	2.16	19.67	10.61	0.49
monte P9	8.1	164	44.07	43.96	42	40.67	43.71	42.63	43.96	0.0009	2.30	20.11	10.54	0.43
	8.15		Bridge											
valle P9	8.2	179	44.07	43.96	42	40.61	43.70	42.57	43.94	0.0008	2.27	20.32	10.51	0.43
	9	197	43.98	43.89	42	40.58	43.68	42.82	43.92	0.0010	2.24	19.51	10.94	0.50
	10	235	44.06	43.78	42	40.43	43.67	42.69	43.88	0.0009	1.99	21.12	11.23	0.46
monte A11	11	259	45.75	45.48	42	40.47	43.54	42.56	43.84	0.0013	2.43	17.29	7.57	0.51
	11.5		Bridge											
valle A11	12	284.5	45.27	45.39	42	40.79	43.37	42.79	43.78	0.0020	2.85	14.75	7.53	0.65
	13	311	43.59	43.70	42	40.57	43.37	42.62	43.62	0.0011	2.22	18.96	10.94	0.54
	14	330	43.70	43.41	42	40.43	43.30	42.64	43.59	0.0014	2.40	17.51	10.22	0.58
	15	350	43.65	43.38	42	40.35	43.26	42.59	43.56	0.0014	2.43	17.26	9.81	0.59
	16	376	43.63	43.34	42	40.25	43.12	42.64	43.51	0.0020	2.75	15.29	9.23	0.68
	17	404	43.54	43.19	42	39.96	43.08	42.45	43.46	0.0014	2.79	15.94	9.07	0.59
	18	432	43.44	43.30	42	40.33	42.78	42.59	43.39	0.0025	3.54	12.72	8.36	0.80

Tabella 29 - Simulazione per portata pari a 42.0 m³/s sul torrente Bagnolo nelle condizioni di stato attuale.

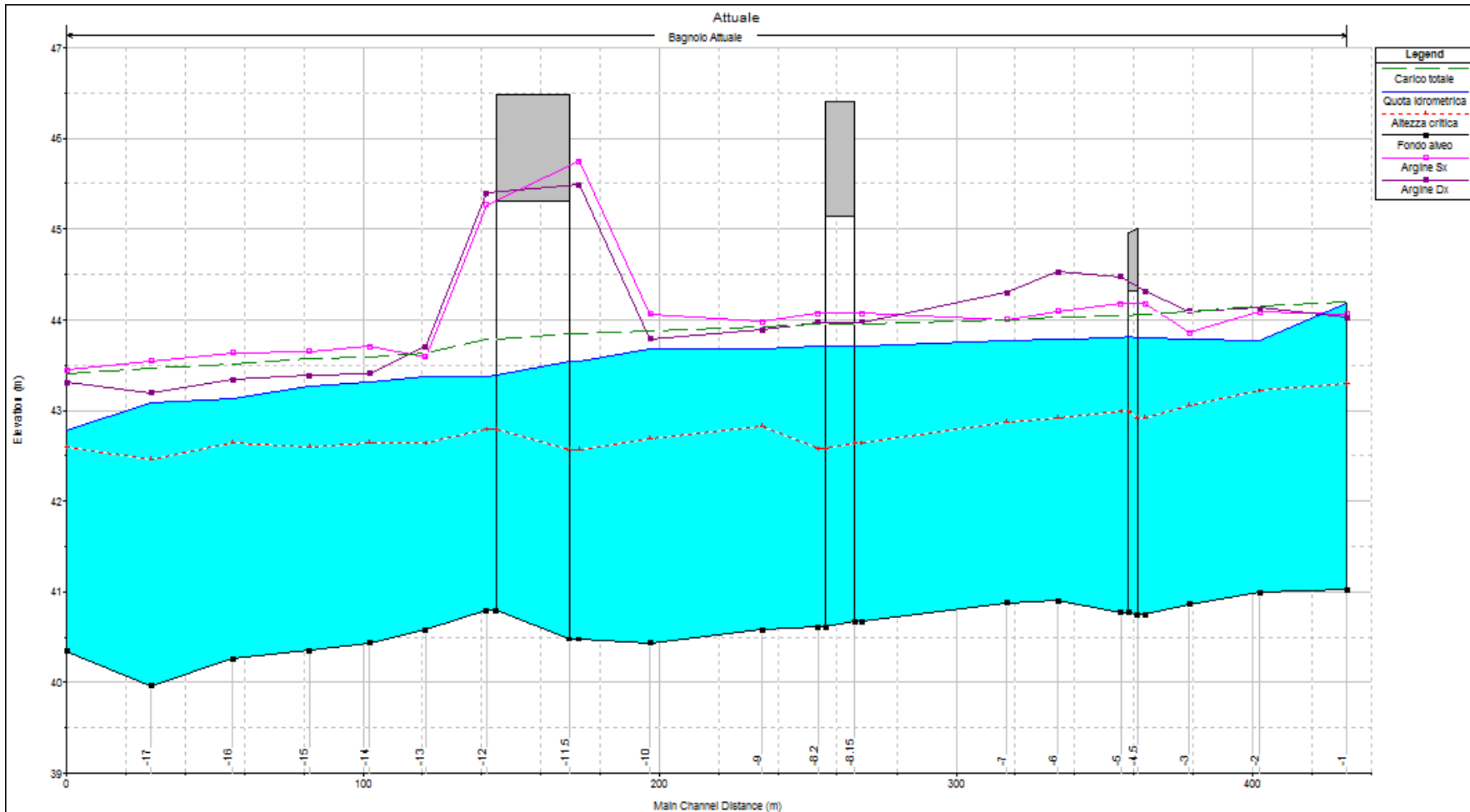



Figura 25 - Profilo idrometrico nelle condizioni di stato attuale sul torrente Bagnolo per portata di 42.0 m³/s.

 spea autostrade	ingegneria europea AUTOSTRADA (A11) Firenze – Pisa Nord Ampliamento alla terza corsia del Tratto Firenze – Pistoia Progetto Definitivo
---	---

4.8.5 Verifica idraulica dello stato di progetto

L'intervento previsto riguarda l'ampliamento del ponte autostradale ed una sistemazione d'alveo in lastre di calcestruzzo nel tratto a cavallo del ponte stesso in modo da ripristinare sulle sponde e sul fondo condizioni di stabilità dell'alveo che presenta una sezione arginata con sponde caratterizzate da notevole pendenza (1/1).

In particolare, il ponte viene completamente ricostruito con campata centrale di luce netta 11.40 m e lunghezza complessiva di 36.85 m, misurata in asse al corso d'acqua (da progr. 254.05 a progr. 290.90); la sistemazione d'alveo è prevista per un tratto di complessivi 105.40 m a cavallo dell'opera autostradale e presenta le seguenti caratteristiche tipologiche:

- sezioni tipo A e B - rivestimento delle sponde con lastre prefabbricate in c.a. e platea di fondazione, sempre in c.a. gettato in opera, di larghezza da 3.0 a 7.0 m per il tratto di raccordo;
- sezione tipo C - solo platea di fondo in c.a. tra le 2 pile;
- sezione tipo D - muri di sponda in c.a. per raccordare la sezione C alle pile del ponte e platea in c.a. di fondo.

Il ponte ampliato presenterà quote di intradosso pari a 46.73 m s.m. a monte e a 44.73 m s.m. a valle.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
	1	0	44.05	44.02	42	41.02	44.12	43.29	44.13	0.0000	0.29	133.63	54.80	0.06	-0.07
	2	29	44.08	44.12	42	40.99	43.64	43.22	44.08	0.0022	2.94	14.28	8.35	0.71	-0.13
	3	53	43.85	44.09	42	40.86	43.66	43.05	44.01	0.0017	2.64	15.94	8.73	0.62	-0.12
monte T40	4	68	44.17	44.31	42	40.75	43.67	42.91	43.97	0.0012	2.43	17.65	10.15	0.54	-0.13
	4.5		Bridge												
valle T40	5	76	44.17	44.47	42	40.77	43.67	42.98	43.96	0.0012	2.39	18.11	11.53	0.55	-0.13
	6	98	44.09	44.52	42	40.90	43.65	42.91	43.93	0.0013	2.35	17.91	9.88	0.56	-0.13
	7	115	44.00	44.29	42	40.87	43.63	42.87	43.90	0.0011	2.31	18.29	10.22	0.53	-0.14
monte P9	8.1	164	44.07	43.96	42	40.67	43.56	42.63	43.85	0.0011	2.46	18.58	10.06	0.48	-0.15
	8.15		Bridge												
valle P9	8.2	179	44.07	43.96	42	40.61	43.55	42.57	43.83	0.0010	2.43	18.77	10.03	0.47	-0.15
	9	197	43.98	43.89	42	40.58	43.51	42.82	43.81	0.0013	2.45	17.71	10.40	0.56	-0.17
	9.5	219	44.02	43.87	42	40.43	43.51	42.56	43.77	0.0010	2.24	18.78	9.48	0.49	-
	10	235	44.06	43.78	42	40.43	43.49	42.56	43.75	0.0011	2.27	18.56	9.65	0.50	-0.18
	10.5	241	44.06	43.78	42	40.43	43.48	42.56	43.75	0.0011	2.27	18.48	9.56	0.51	-
monte A11	11	254	45.75	45.48	42	40.43	43.46	42.56	43.73	0.0012	2.32	18.12	8.98	0.52	-0.08
	11.5		Bridge												
valle A11	12	291	45.27	45.39	42	40.43	43.42	42.53	43.68	0.0011	2.25	18.66	9.48	0.51	0.05
	12.5	302	45.27	45.39	42	40.43	43.34	42.56	43.64	0.0014	2.45	17.17	8.81	0.56	-
	13	311	43.59	43.70	42	40.43	43.32	42.56	43.63	0.0014	2.47	17.00	8.78	0.57	-0.05
	13.5	325	43.59	43.70	42	40.43	43.29	42.56	43.61	0.0015	2.51	16.74	8.71	0.58	-
	14	330	43.70	43.41	42	40.43	43.30	42.64	43.59	0.0014	2.40	17.51	10.22	0.58	0.00
	15	350	43.65	43.38	42	40.35	43.26	42.59	43.56	0.0014	2.43	17.26	9.81	0.59	0.00
	16	376	43.63	43.34	42	40.25	43.12	42.64	43.51	0.0020	2.75	15.29	9.23	0.68	0.00

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
	17	404	43.54	43.19	42	39.96	43.08	42.45	43.46	0.0014	2.79	15.94	9.07	0.59	0.00
	18	432	43.44	43.30	42	40.33	42.78	42.59	43.39	0.0025	3.54	12.72	8.36	0.80	0.00

Tabella 30 - Simulazione per portata pari a 42.0 m³/s sul torrente Bagnolo nelle condizioni di progetto.

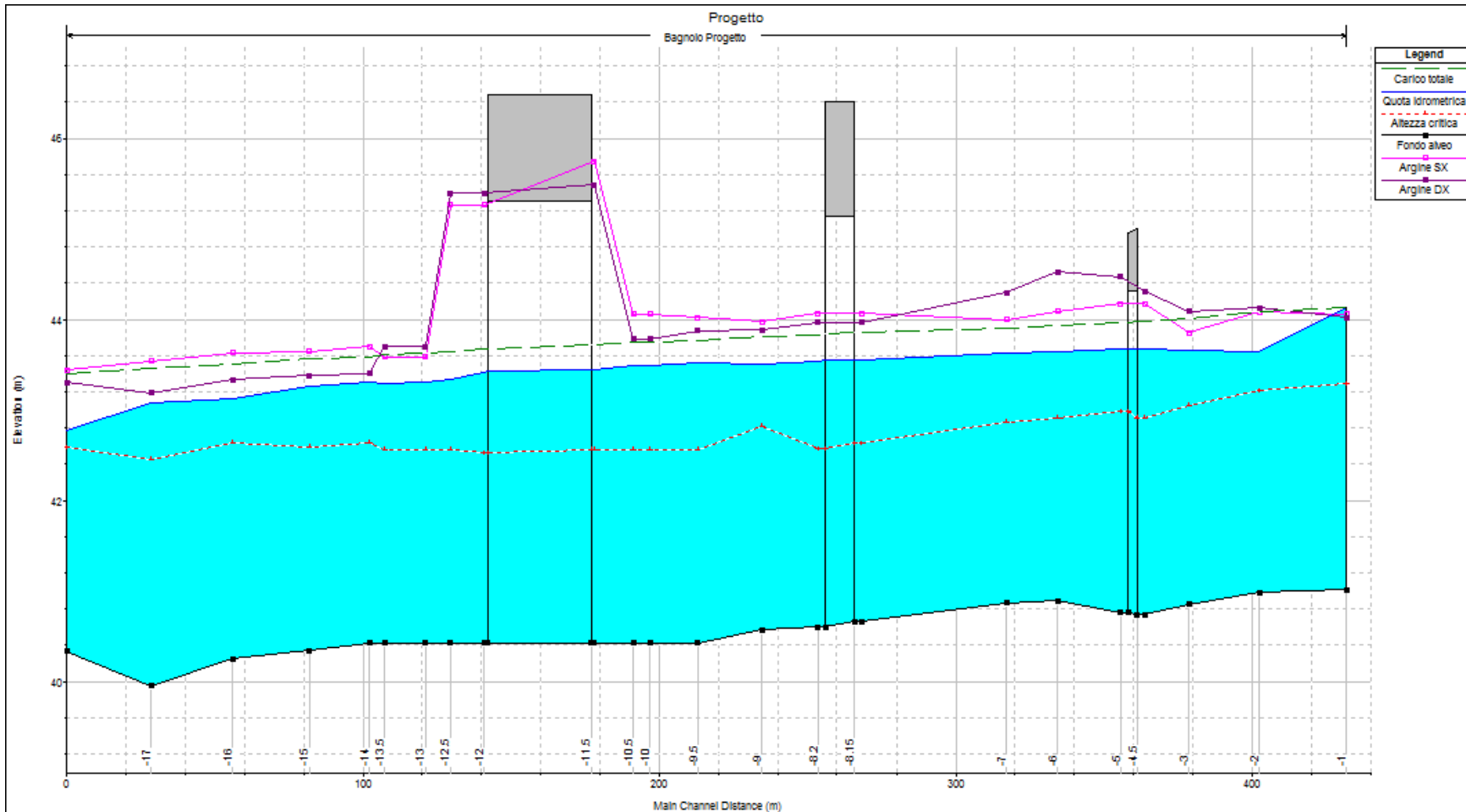


Figura 26 - Profilo idrometrico nelle condizioni di progetto sul torrente Bagnolo per portata di 42.0 m³/s

La verifica dello stato di progetto è stata eseguita introducendo nella schematizzazione del modello la nuova configurazione geometrica delle opere sopra descritta; dai risultati ottenuti (Tabella 30 e Figura 26) è possibile affermare che con gli interventi in progetto si determina un apprezzabile miglioramento delle condizioni di deflusso su tutto il tratto a monte del ponte autostradale mentre non cambia nulla a valle; la riduzione dei livelli per la piena simulata è pari a 10÷17 cm rispetto allo stato attuale.

4.9 TORRENTE CALICE

4.9.1 Schematizzazione del modello geometrico

Il torrente Calice interferisce con l'autostrada in ampliamento alla progressiva km 18+133; l'opera esistente è costituita da un ponte a 3 campate di luce complessiva pari a circa 25.0 m; le 2 pile presenti (larghezza 1.4 m) sono esterne all'alveo inciso del corso d'acqua, che attraversa l'A11 nella campata centrale di luce pari a circa 14.0 m.

Il corso d'acqua ha una sezione di geometria circa trapezia abbastanza regolare ed è canalizzato da opere arginali a carattere continuo in destra e sinistra idraulica.

A valle dell'autostrada A11 è presente in destra idraulica un'opera di difesa in alveo (a protezione del piede del rilevato arginale), costituita da muretti in cls.

La geometria del corso d'acqua è rappresentata dal rilievo di dettaglio eseguito appositamente per il presente progetto; in particolare il modello geometrico è costituito da 21 sezioni trasversali che rappresentano idrodinamicamente il corso d'acqua per un'estensione di 501.0 m. Il rilievo si estende per una lunghezza di circa 207.0 m a monte dell'autostrada in ampliamento e per circa 294.0 m a valle.

Nel tratto si riscontra la presenza di 2 attraversamenti viari a monte della A11:

- il primo (denominato P17) localizzato a circa 154.0 m da essa, costituito da un ponte ad unica campata di luce netta pari a circa 12.0 m;
- il secondo (denominato P15) localizzato a circa 50 m da essa, costituito da un ponte ad unica campata di luce pari a circa 30.0 m, con le due spalle esterne alle opere arginali.

Di seguito (Tabella 31) si riporta il profilo longitudinale del modello di simulazione in cui si sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate, caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg), posizione dei manufatti presenti in alveo e quote di sommità delle opere arginali. In Figura 27 si riporta lo stralcio planimetrico del tratto di corso d'acqua oggetto di analisi idraulica con la rappresentazione delle sezioni di rilievo.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	1	0	45.67	45.15	40.19
	2	22	45.56	45.04	40.16
monte ponte P17	3	39	45.73	45.32	40.14
valle ponte P17	4	47	45.45	45.23	40.02
	5	55	45.49	44.92	40.06
	6	75	45.43	45.11	40.30
	7	93	45.55	45.11	40.23
	8	122	45.36	45.03	40.05
monte ponte P15	9	143	45.10	45.00	40.08
valle ponte P15	10	171	45.22	45.17	40.25
monte ponte A11	11	193	44.90	45.14	39.68
valle ponte A11	12	220	44.66	44.69	40.07
	13	241	44.66	44.55	40.15
	14	266	44.67	44.70	40.06
	15	301	44.86	44.70	39.98
	16	329	44.59	44.74	39.86
	17	359	44.73	44.88	39.93
	18	400	44.49	44.75	39.56
	19	433	44.30	44.29	39.49
	20	465	44.37	44.19	39.41
	21	501	44.27	44.52	39.43

Tabella 31 - Profilo longitudinale del modello idraulico sul torrente Calice

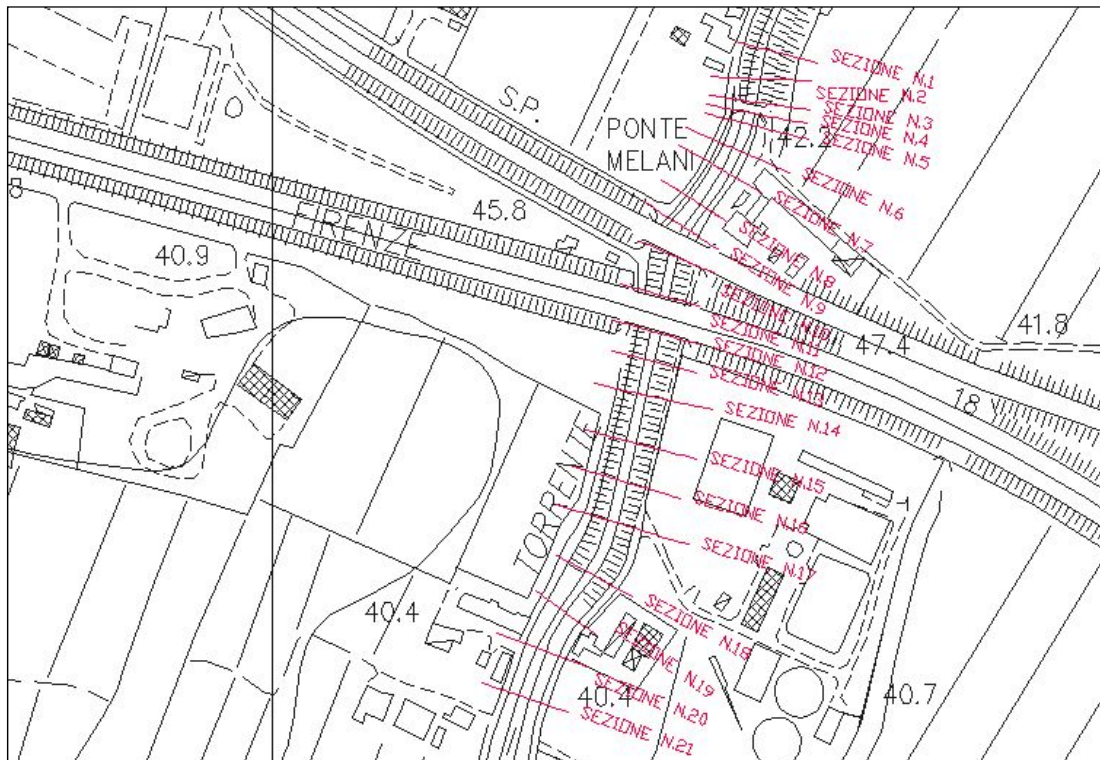


Figura 27 - Stralcio cartografico del tratto di corso d'acqua simulato con la rappresentazione planimetrica delle sezioni di rilievo utilizzate nel modello di simulazione

4.9.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- idrogramma di piena a portata costante di valore al colmo pari a $144.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in entrata a monte (sez.1); tale valore è stato ottenuto per reiterazioni successive e rappresenta la portata contenuta in condizioni di sicurezza (con un franco residuo di 30-40 cm rispetto alle quote arginali) nell'alveo canalizzato del corso d'acqua;
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez. 21) a progressiva 501.0 m.

4.9.3 Coefficienti di scabrezza

Nella simulazione sono state diversificate le resistenze distribuite da attribuire ai diversi tratti corso d'acqua sulla base:

- della granulometria del fondo alveo,
- della copertura vegetale presente sulle sponde,
- della presenza di opere di sistemazione e/o di rivestimento in alveo.

In particolare si sono utilizzati i seguenti valori di scabrezza :

- nei tratti in terra si è assunto un valore di Strickler variabile da 35 a 45 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.028 a 0.022 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti caratterizzati dalla presenza di copertura vegetale un valore di Strickler variabile da 30 a 35 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.033 a 0.028 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti con rivestimenti in cls (spalle di manufatti di attraversamento, opere locali di difesa in alveo..) un valore di Strickler pari a 60 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.0167 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning).

4.9.4 Verifica idraulica dello stato attuale

La portata utilizzata nelle verifiche idrauliche, pari a 144.0 m^3/s , è quella in grado di transitare in condizioni di sicurezza nel tratto di corso d'acqua simulato senza produrre esondazioni.

I risultati della simulazione rendono evidente che l'asta fluviale in analisi non è in grado di trasferire a valle dell'A11 eventi di piena a tempo di ritorno elevato, infatti la capacità di deflusso limite del corso d'acqua corrisponde a portate di tempo di ritorno inferiori a 20 anni; tali risultati sono in accordo con gli Studi citati in premessa e con quanto determinato dall'Autorità di bacino del fiume Arno che indica per il torrente Calice un livello di pericolosità molto elevato in sinistra e medio in destra a monte dell'A11; a valle dell'A11 il livello di pericolosità si mantiene molto elevato sia in destra che in sinistra.

La portata di verifica transita nel corso d'acqua simulato in condizioni di moto di corrente lenta caratterizzata da velocità di valore compreso tra 2.1 e 3.3 m/s.

Il manufatto di attraversamento esistente della A11 è caratterizzato da una quota minima di intradosso pari a 46.09 m s.m. a monte e 45.37 m s.m. a valle; la quota idrometrica a monte è pari a 44.35 m s.m. a cui corrisponde un franco idraulico di 1.74 m.

Di seguito (Tabella 32) si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare e grafica (Figura 28) rappresentando il profilo idrometrico relativo alla portata di verifica.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)
	1	0	45.67	45.15	144	40.19	44.45	42.88	44.85	0.0007	2.84	53.64	17.32	0.45
	2	22	45.56	45.04	144	40.16	44.47	42.86	44.82	0.0006	2.66	57.34	18.75	0.43
monte ponte P17	3	39	45.73	45.32	144	40.14	44.38	42.84	44.80	0.0008	2.89	51.31	15.34	0.47
	3.5		Bridge											
valle ponte P17	4	47	45.45	45.23	144	40.02	44.32	42.77	44.77	0.0009	3.07	50.01	13.66	0.48
	5	55	45.49	44.92	144	40.06	44.35	42.83	44.76	0.0006	2.86	52.22	15.50	0.46
	6	75	45.43	45.11	144	40.30	44.34	42.89	44.74	0.0008	2.82	53.09	17.49	0.47
	7	93	45.55	45.11	144	40.23	44.31	42.94	44.72	0.0007	2.89	52.32	17.53	0.48
	8	122	45.36	45.03	144	40.05	44.28	42.83	44.70	0.0007	2.95	52.94	17.38	0.47
monte ponte P15	9	143	45.10	45.00	144	40.08	44.31	42.72	44.67	0.0006	2.70	56.82	18.73	0.43
	9.5		Bridge											
valle ponte P15	10	171	45.22	45.17	144	40.25	44.31	42.72	44.65	0.0005	2.62	59.14	19.96	0.42
monte A11	11	193	44.90	45.14	144	39.68	44.35	42.46	44.62	0.0005	2.28	63.05	18.26	0.39
	11.5		Bridge											
valle A11	12	220	44.66	44.69	144	40.07	44.19	42.69	44.56	0.0007	2.76	56.72	19.89	0.44
	13	241	44.66	44.55	144	40.15	44.19	42.90	44.54	0.0008	2.59	55.50	19.74	0.49
	14	266	44.67	44.70	144	40.06	44.12	42.84	44.51	0.0006	2.85	55.42	19.82	0.48
	15	301	44.86	44.70	144	39.98	44.15	42.64	44.47	0.0005	2.52	59.34	20.05	0.43
	16	329	44.59	44.74	144	39.86	44.14	42.58	44.46	0.0005	2.51	59.84	20.05	0.42
	17	359	44.73	44.88	144	39.93	44.13	42.39	44.44	0.0005	2.48	61.70	19.89	0.40
	18	400	44.49	44.75	144	39.56	44.18	42.15	44.39	0.0003	2.12	75.88	24.54	0.33
	19	433	44.30	44.29	144	39.49	44.02	42.37	44.37	0.0006	2.68	58.23	19.84	0.43

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)
	20	465	44.37	44.19	144	39.41	43.91	42.43	44.34	0.0007	2.96	51.85	17.27	0.47
	21	501	44.27	44.52	144	39.43	43.75	42.52	44.30	0.0010	3.32	46.24	15.74	0.53

Tabella 32 - Simulazione per portata pari a 144.0 m³/s sul torrente Calice nelle condizioni di stato attuale.

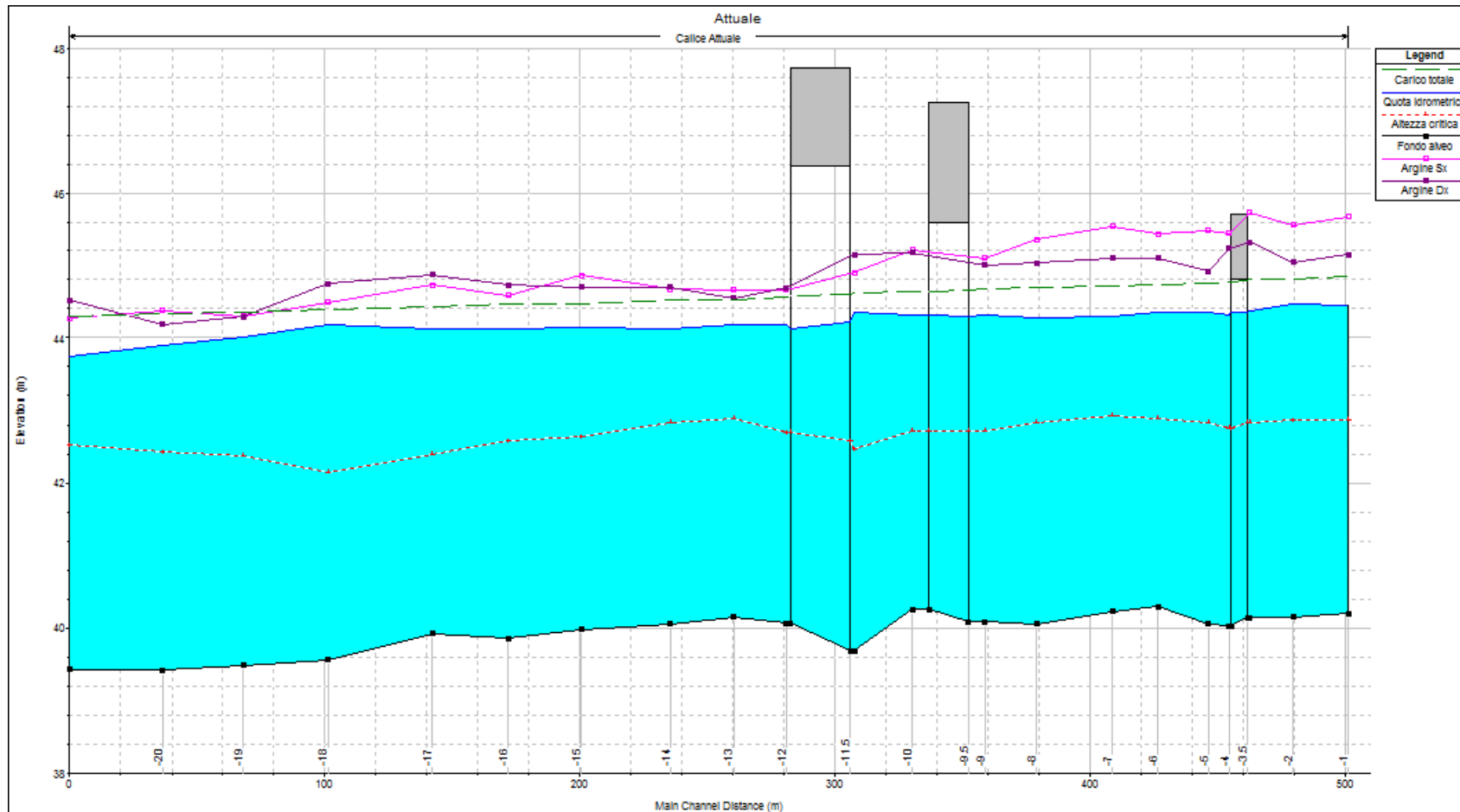


Figura 28 - Profilo idrometrico nelle condizioni di stato attuale sul torrente Calice per portata di 144.0 m³/s

4.9.5 Verifica idraulica dello stato di progetto

L'intervento previsto riguarda l'ampliamento del ponte autostradale ed una sistemazione d'alveo in materassi metallici tipo "Reno" nel tratto a cavallo del ponte stesso in modo da ripristinare sulle sponde e sul fondo condizioni di stabilità dell'alveo a seguito della demolizione dei muretti esistenti, necessaria per la realizzazione degli interventi sul ponte.

In particolare, il ponte viene ampliato su entrambe le carreggiate e verrà ad assumere una lunghezza complessiva di 38.20 m, misurata in asse al coso d'acqua (da progr. 187.50 a progr. 225.70); la sistemazione d'alveo è prevista per un tratto di complessivi 74.20 m a cavallo dell'opera autostradale, secondo una tipologia a sezione trapezia di larghezza alla base pari a 7.0 m, inclinazione sponde 2/3 e altezza 4.0 m. La sezione viene mantenuta costante anche nel tratto sottostante il ponte autostradale, in modo da evitare brusche variazioni della geometria dell'alveo che non favoriscono condizioni di deflusso regolari.

Il ponte ampliato presenterà quote minime di intradosso di 46.25 m s.m. a monte e 45.25 m s.m. a valle.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
	1	0	45.67	45.15	144	40.19	44.43	42.88	44.83	0.0007	2.86	53.34	17.28	0.46	-0.02
	2	22	45.56	45.04	144	40.16	44.45	42.86	44.80	0.0006	2.67	57.02	18.70	0.43	-0.02
monte ponte P17	3	39	45.73	45.32	144	40.14	44.36	42.84	44.78	0.0008	2.91	51.03	15.30	0.47	-0.02
	3.5		Bridge												
valle ponte P17	4	47	45.45	45.23	144	40.02	44.30	42.77	44.76	0.0009	3.09	49.77	13.62	0.49	-0.02
	5	55	45.49	44.92	144	40.06	44.33	42.83	44.74	0.0006	2.87	51.94	15.47	0.47	-0.02
	6	75	45.43	45.11	144	40.30	44.32	42.89	44.72	0.0008	2.83	52.76	17.43	0.47	-0.02
	7	93	45.55	45.11	144	40.23	44.29	42.94	44.71	0.0007	2.91	51.98	17.47	0.49	-0.02
	8	122	45.36	45.03	144	40.05	44.26	42.83	44.69	0.0007	2.96	52.59	17.32	0.47	-0.02
monte ponte P15	9	143	45.10	45.00	144	40.08	44.29	42.72	44.66	0.0006	2.71	56.45	18.68	0.44	-0.02
	9.5		Bridge												
valle ponte P15	10	170	45.22	45.17	144	40.10	44.29	42.94	44.63	0.0006	2.59	55.72	19.65	0.48	-0.02
monte A11	11	193	44.90	45.14	144	40.08	44.28	42.92	44.62	0.0006	2.58	55.84	19.71	0.48	-0.07
	11.5		Bridge												0.00
valle A11	12	220	44.66	44.69	144	40.07	44.19	42.69	44.56	0.0007	2.76	56.72	19.89	0.44	0.00
	13	241	44.66	44.55	144	40.06	44.19	42.90	44.54	0.0008	2.59	55.50	19.74	0.49	0.00
	13.5	244	44.66	44.55	144	40.06	44.17	42.90	44.53	0.0007	2.66	54.30	22.86	0.50	-
	14	266	44.67	44.70	144	40.06	44.12	42.84	44.51	0.0006	2.85	55.42	19.82	0.48	0.00
	15	301	44.86	44.70	144	39.98	44.15	42.64	44.47	0.0005	2.52	59.34	20.05	0.43	0.00
	16	329	44.59	44.74	144	39.86	44.14	42.58	44.46	0.0005	2.51	59.84	20.05	0.42	0.00
	17	359	44.73	44.88	144	39.93	44.13	42.39	44.44	0.0005	2.48	61.70	19.89	0.40	0.00
	18	400	44.49	44.75	144	39.56	44.18	42.15	44.39	0.0003	2.12	75.88	24.54	0.33	0.00
	19	433	44.30	44.29	144	39.49	44.02	42.37	44.37	0.0006	2.68	58.23	19.84	0.43	0.00
	20	465	44.37	44.19	144	39.41	43.91	42.43	44.34	0.0007	2.96	51.85	17.27	0.47	0.00

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
	21	501	44.27	44.52	144	39.43	43.75	42.52	44.30	0.0010	3.32	46.24	15.74	0.53	0.00

Tabella 33 - Simulazione per portata pari a 144.0 m³/s sul torrente Calice nelle condizioni di progetto.

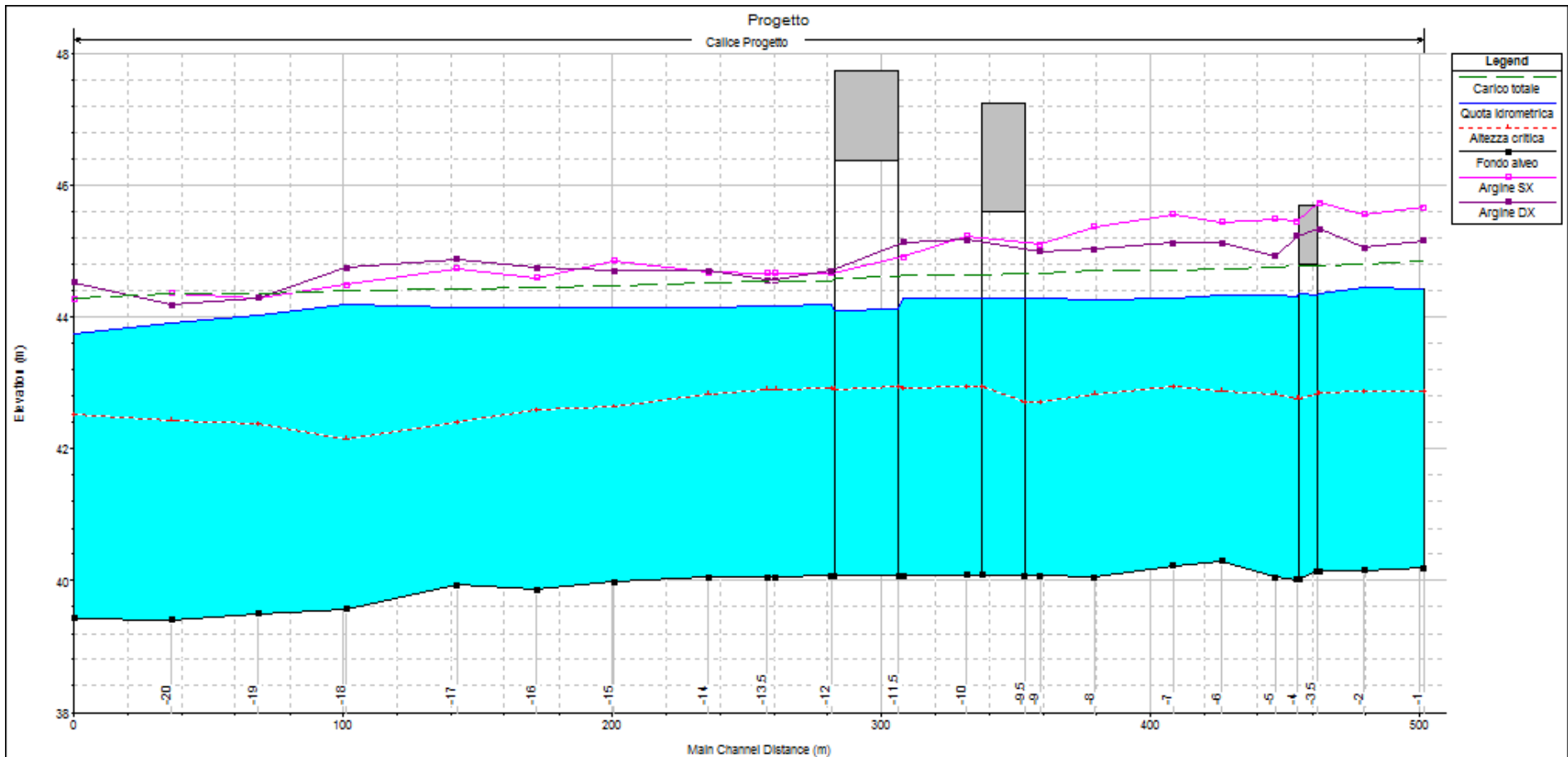


Figura 29 - Profilo idrometrico nelle condizioni di progetto sul torrente Calice per portata di 144.0 m³/s.

La verifica dello stato di progetto è stata eseguita introducendo nella schematizzazione del modello la nuova configurazione geometrica delle opere sopradescritte; dai risultati ottenuti (Tabella 33 e Figura 29) è possibile affermare che con gli interventi previsti si determina una modesta variazione migliorativa delle condizioni di deflusso nel tratto a cavallo del ponte con livelli idrometrici che si riducono fino a un massimo di 7 cm (e quindi franchi idraulici maggiori) a monte del ponte autostradale, mentre le velocità di corrente si mantengono pressochè inalterate (2.1-3.3 m/s).

4.10 TORRENTE BRANA

4.10.1 Schematizzazione del modello geometrico

Il torrente Brana interferisce con l'autostrada in ampliamento alla progressiva km 20+860; l'opera esistente è costituita da un ponticello ad unica campata di luce netta pari a circa 7.35 m.

Il corso d'acqua ha una sezione regolare, sia a monte che a valle dell'attraversamento in ampliamento, di geometria circa trapezia ed è canalizzato da rilevati arginali a carattere continuo in destra e sinistra idraulica.

Sono presenti opere di difesa spondale in massi sciolti a carattere puntuale in sinistra idraulica a monte dell'attraversamento A11 e in destra immediatamente a valle di esso.

In generale, sia a monte che a valle della A11, la sezione d'alveo si presenta in erosione soprattutto nella porzione inferiore delle sponde con smottamenti e piccole frane.

La geometria del corso d'acqua è rappresentata dal rilievo di dettaglio eseguito appositamente per il presente progetto; in particolare il modello geometrico è costituito da 12 sezioni trasversali che rappresentano idrodinamicamente il corso d'acqua per un'estensione di 387.0 m. Il rilievo si estende per una lunghezza di circa 123.0 m a monte dell'autostrada in ampliamento e per circa 264.0 m a valle.

Di seguito (Tabella 34) si riporta il profilo longitudinale del modello di simulazione in cui si sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate, caratterizzandole in termini di

progressiva metrica, quota di fondo (thalweg), posizione dei manufatti presenti in alveo e quote di sommità delle opere arginali. In Figura 30 si riporta lo stralcio planimetrico del tratto di corso d'acqua oggetto di analisi idraulica con la rappresentazione delle sezioni di rilievo.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)
	1	0	43.76	44.11	39.49
	2	35	43.87	44.05	39.30
	3	66	43.80	44.21	39.48
monte A11	4	109	43.84	44.28	39.72
valle A11	5	136	43.53	44.52	39.70
	6	159	43.65	43.79	39.39
	7	182	43.78	43.94	39.13
	8	225	43.68	44.00	39.09
	9	259	43.70	44.02	38.98
	10	294	43.67	43.86	38.90
	11	338	43.49	43.87	39.04
	12	387	43.48	43.92	38.97

Tabella 34 - Profilo longitudinale del modello idraulico sul torrente Brana.

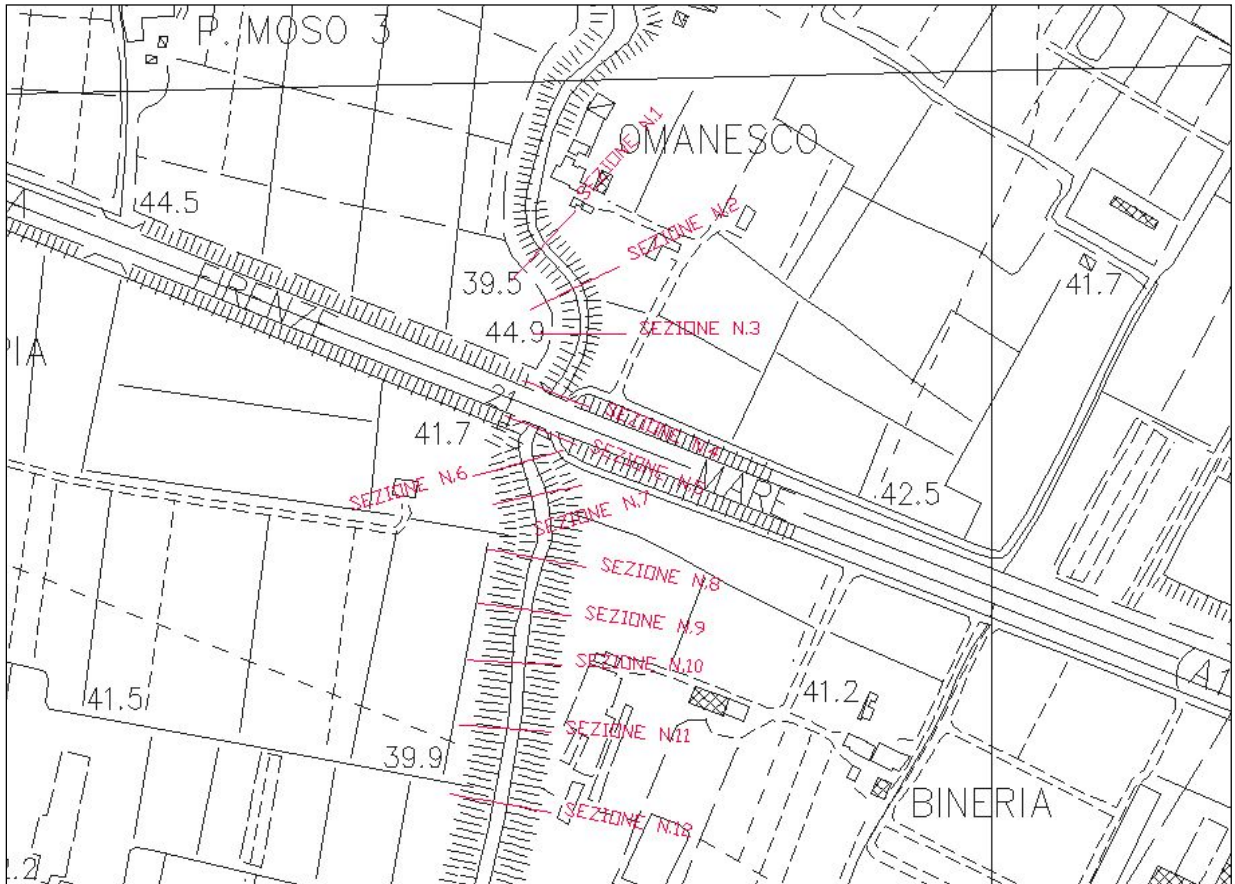


Figura 30 - Stralcio cartografico del tratto di corso d'acqua simulato con la rappresentazione planimetrica delle sezioni di rilievo utilizzate nel modello di simulazione

4.10.2 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- idrogramma di piena a portata costante di valore al colmo pari a $70.0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in entrata a monte (sez.1); tale valore è stato ottenuto per reiterazioni successive e rappresenta la portata contenuta in condizioni di sicurezza (con un franco arginale residuo di 70-80 cm rispetto alle quote arginali) nell'alveo canalizzato del corso d'acqua;
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez. 12) a progressiva 387.0 m.

4.10.3 Coefficienti di scabrezza

Nella simulazione sono state diversificate le resistenze distribuite da attribuire ai diversi tratti corso d'acqua sulla base:

- della granulometria del fondo alveo,
- della copertura vegetale presente sulle sponde,
- della presenza di opere di sistemazione e/o di rivestimento in alveo.

In particolare si sono utilizzati i seguenti valori di scabrezza :

- nei tratti in terra si è assunto un valore di Strickler variabile da 35 a 45 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.028 a 0.022 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti caratterizzati dalla presenza di copertura vegetale un valore di Strickler variabile da 30 a 35 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.033 a 0.028 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti rivestiti in massi sciolti (difese spondali) un valore di Strickler pari a 45 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.022 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti con rivestimenti in cls (spalle di manufatti di attraversamento) un valore di Strickler pari a 60 $m^{1/3} s^{-1}$ (0.0167 $m^{-1/3} s$ secondo l'espressione di Manning).

4.10.4 Verifica idraulica dello stato attuale

Il Consorzio di Bonifica Ombrone Pistoiese e Bisenzio ha fornito i valori idrologici delle portate massime al colmo per tempo di ritorno 25, 50, 100 e 200 anni nella sezione di attraversamento della A11; esse sono riportate nella seguente tabella:

Q25	Q50	Q100	Q200
m^3/s	m^3/s	m^3/s	m^3/s
81.10	94.20	107.70	122.90

Tabella 35 – Portate di piena idrologiche per tempo di ritorno assegnato nella sezione di attraversamento A11

La portata utilizzata nelle verifiche idrauliche, pari a 70.0 m^3/s , è quella in grado di transitare in condizioni di sicurezza nel tratto di corso d'acqua simulato senza produrre esondazioni.

I risultati della simulazione rendono evidente che l'asta fluviale in analisi non è in grado di trasferire a valle dell'A11 eventi di piena a tempo di ritorno elevato, infatti la capacità di

deflusso limite del corso d'acqua corrisponde a portate di tempo di ritorno prossimo a 25 anni; tali risultati sono in accordo con gli Studi citati in premessa e con quanto determinato dall'Autorità di bacino del fiume Arno che indica per il torrente Brana un livello di pericolosità elevato e medio elevato a monte dell'A11; a valle dell'A11 il livello di pericolosità risulta molto elevato.

La portata di verifica transita nel corso d'acqua simulato in condizioni di moto di corrente lenta caratterizzata da velocità di valore compreso tra 1.65 e 3.80 m/s.

Il manufatto di attraversamento esistente della A11 è caratterizzato da una quota minima di intradosso pari a 43.50 m s.m. a monte e 43.19 m s.m. a valle; la quota idrometrica a monte è pari a 42.85 m s.m. a cui corrisponde un franco idraulico di 0.65 m.

Di seguito (Tabella 36) si riportano i risultati della simulazione in forma tabulare e grafica (Figura 31) rappresentando il profilo idrometrico relativo alla portata di verifica.

Come si può notare dal grafico di Figura 31 la presenza del ponte autostradale determina, per la portata assunta a base della verifica, un rigurgito verso monte valutabile in circa 80 cm; tale effetto deriva sostanzialmente dalla brusca variazione della geometria d'alveo che da sezione pressoché trapezia a monte passa ad una sezione rettangolare in corrispondenza dell'attraversamento autostradale.

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza a superfici e libera	Froude
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)
	1	0	43.76	44.11	70	39.49	43.03	41.80	43.21	0.0004	1.97	39.87	18.74	0.36
	2	35	43.87	44.05	70	39.30	43.06	41.12	43.19	0.0002	1.66	47.18	17.65	0.28
	3	66	43.80	44.21	70	39.48	42.95	41.48	43.17	0.0005	2.13	36.14	15.30	0.37
monte A11	4	109	43.84	44.28	70	39.72	42.85	41.90	43.13	0.0007	2.38	29.45	13.81	0.52
	4.5		Bridge											
valle A11	5	136	43.53	44.52	70	39.70	42.04	41.76	42.57	0.0017	3.25	21.55	12.74	0.80
	6	159	43.65	43.79	70	39.39	41.79	41.72	42.52	0.0032	3.78	18.74	12.32	0.92
	7	182	43.78	43.94	70	39.13	42.00	41.47	42.36	0.0015	2.68	26.43	15.59	0.64
	8	225	43.68	44.00	70	39.09	42.00	41.32	42.29	0.0010	2.35	29.98	16.82	0.54
	9	259	43.70	44.02	70	38.98	42.01	41.09	42.24	0.0008	2.11	33.15	16.37	0.47
	10	294	43.67	43.86	70	38.90	41.89	41.27	42.19	0.0012	2.47	28.79	16.15	0.56
	11	338	43.49	43.87	70	39.04	41.78	41.22	42.13	0.0014	2.64	26.85	15.15	0.60
	12	387	43.48	43.92	70	38.97	41.74	41.09	42.06	0.0012	2.53	28.30	15.88	0.56

 Tabella 36 - Simulazione per portata pari a 70.0 m³/s sul torrente Brana nelle condizioni di stato attuale

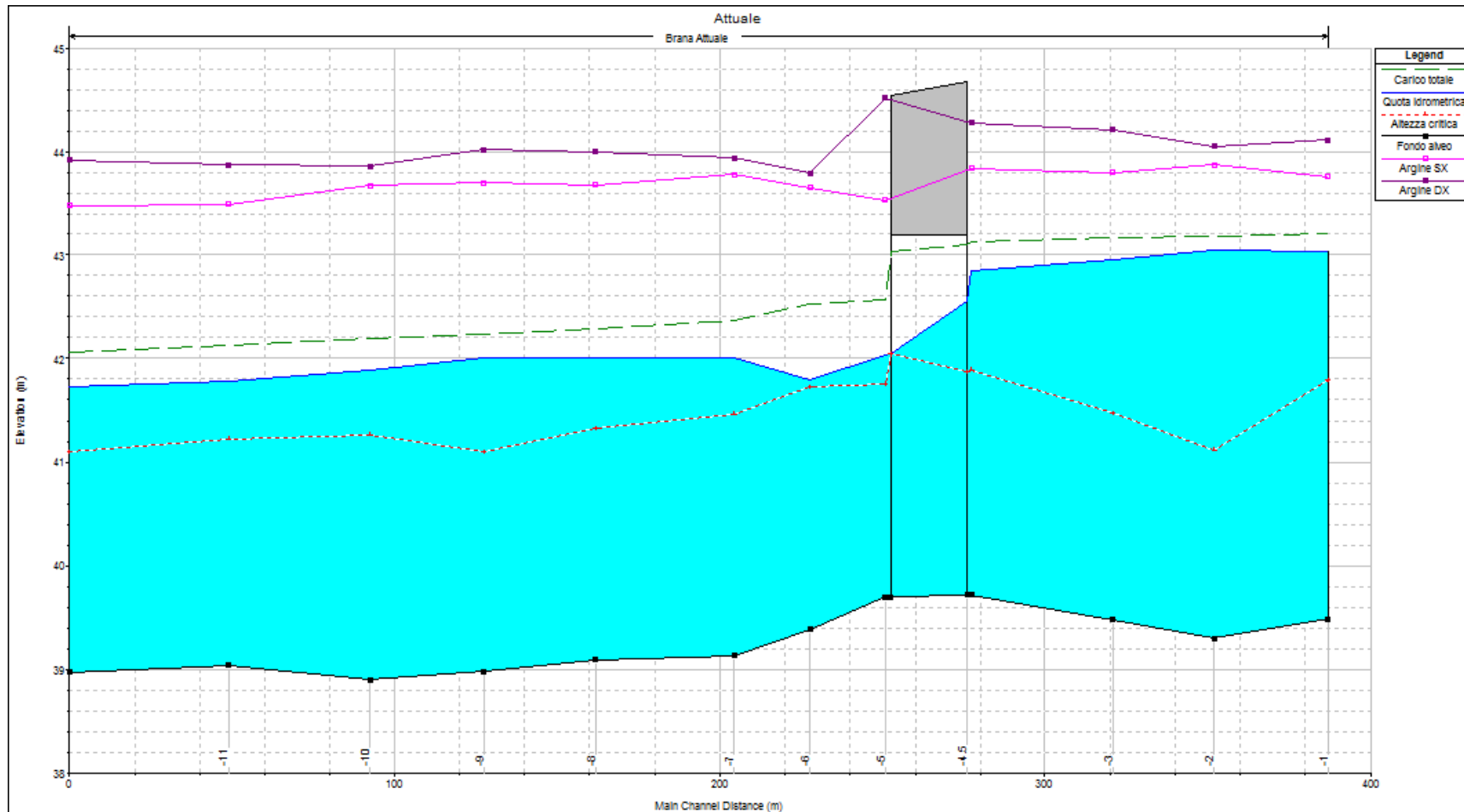


Figura 31 - Profilo idrometrico nelle condizioni di stato attuale sul torrente Brana per portata di 70.0 m³/s.

4.10.5 Verifica idraulica dello stato di progetto


L'intervento previsto riguarda l'ampliamento del ponte autostradale ed una sistemazione d'alveo in materassi e gabbioni metallici nel tratto a cavallo del ponte stesso in modo da ripristinare sulle sponde e sul fondo condizioni di stabilità dell'alveo che favoriscono condizioni di deflusso ottimali.

In particolare il ponte viene ampliato su entrambe le carreggiate e verrà ad assumere una lunghezza complessiva di 35.15 m, misurata in asse al corso d'acqua (da progr. 104.79 a progr. 139.97); la sistemazione d'alveo è prevista per un tratto di complessivi 127.0 m a cavallo dell'opera autostradale e presenta le seguenti caratteristiche tipologiche:

- sezione tipo B (prevista a monte del ponte) - rivestimento di fondo e della sponda destra in materassi metallici tipo "Reno" di spessore 30 cm e difesa di sponda in sinistra in gabbioni metallici; la sezione corrente presenterà larghezza di base 7.10 m, altezza 3.70 m, per uno sviluppo in asse di 37.90; nel tratto di raccordo, esteso per 12.90 m, la larghezza di base varierà da 7.10 a 8.10 m al fine di adattarsi alla sezione naturale;
- sezione tipo C (prevista nel tratto sottostante il ponte autostradale) - rivestimento di fondo in materassi metallici tipo "Reno" di spessore 30 cm su letto di posa in materiale arido costipato e geotessile di grammatura adeguata; lo sviluppo di tale tipologia è di 35.15 m, la larghezza compresa tra 7.10 e 7.35 m;
- sezione tipo A (prevista a valle del ponte) - sezione trapezia in materassi metallici tipo "Reno" di larghezza alla base 7.35 m, altezza 3.70 m e pendenza sponde 2/3, per uno sviluppo, misurato in asse, di 42.53 m (45.65 m in sponda destra e 40.45 m in sinistra).

Il ponte ampliato presenterà quote di intradosso pari a 43.35 m s.m. a monte e 43.42 m s.m. a valle, valori circa corrispondenti a quelli attuali.

La verifica dello stato di progetto è stata eseguita introducendo nella schematizzazione del modello la nuova configurazione geometrica delle opere sopradescritte; dai risultati ottenuti (Tabella 37 e Figura 32) è possibile affermare che con gli interventi previsti si determina un netto miglioramento delle condizioni di deflusso a monte del ponte (dovuto ad un corretto raccordo dell'opera con la sezione d'alveo sistemata) con l'eliminazione quasi totale dell'effetto di rigurgito prima calcolato per lo stato attuale, a fronte di un modesto

 ingegneria europea	AUTOSTRADA (A11) Firenze – Pisa Nord Ampliamento alla terza corsia del Tratto Firenze – Pistoia Progetto Definitivo
---	--

innalzamento del livello idrometrico localizzato a valle (13 cm, che si esauriscono circa 80 m a valle del ponte).

Note	Sezione	Progressiva	Quota argine SX	Quota argine DX	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
	(-)	(m)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m ³ /s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	(-)	(m)
	1	0	43.76	44.11	70	39.49	42.32	41.80	42.69	0.0013	2.77	27.33	16.29	0.59	-0.71
	2	35	43.87	44.05	70	39.30	42.40	41.12	42.61	0.0005	2.10	36.36	15.50	0.39	-0.66
	2.5	56	43.82	44.10	70	39.48	42.34	41.32	42.60	0.0010	2.25	31.05	13.92	0.48	-
	3	66	43.80	44.21	70	39.45	42.24	41.42	42.58	0.0013	2.56	27.38	12.83	0.56	-0.71
	3.5	68	43.80	44.21	70	39.44	42.24	41.41	42.57	0.0013	2.55	27.49	12.84	0.56	-
monte A11	4	105	43.84	44.28	70	39.34	42.22	41.24	42.53	0.0008	2.46	28.51	12.57	0.52	-0.63
	4.5	Bridge													
valle A11	5	140	43.53	44.52	70	39.25	42.09	41.12	42.36	0.0006	2.29	30.56	13.95	0.49	0.05
	7	183	43.78	43.94	70	39.13	42.13	40.97	42.33	0.0006	1.97	35.56	16.35	0.43	0.13
	8	225	43.68	44.00	70	39.09	42.00	41.32	42.29	0.0010	2.35	29.98	16.82	0.54	0.00
	9	259	43.70	44.02	70	38.98	42.01	41.09	42.24	0.0008	2.11	33.15	16.37	0.47	0.00
	10	294	43.67	43.86	70	38.90	41.89	41.27	42.19	0.0012	2.47	28.79	16.15	0.56	0.00
	11	338	43.49	43.87	70	39.04	41.78	41.22	42.13	0.0014	2.64	26.85	15.15	0.60	0.00
	12	387	43.48	43.92	70	38.97	41.74	41.09	42.06	0.0012	2.53	28.30	15.88	0.56	0.00

Tabella 37 - Simulazione per portata pari a 70.0 m³/s sul torrente Brana nelle condizioni di progetto.

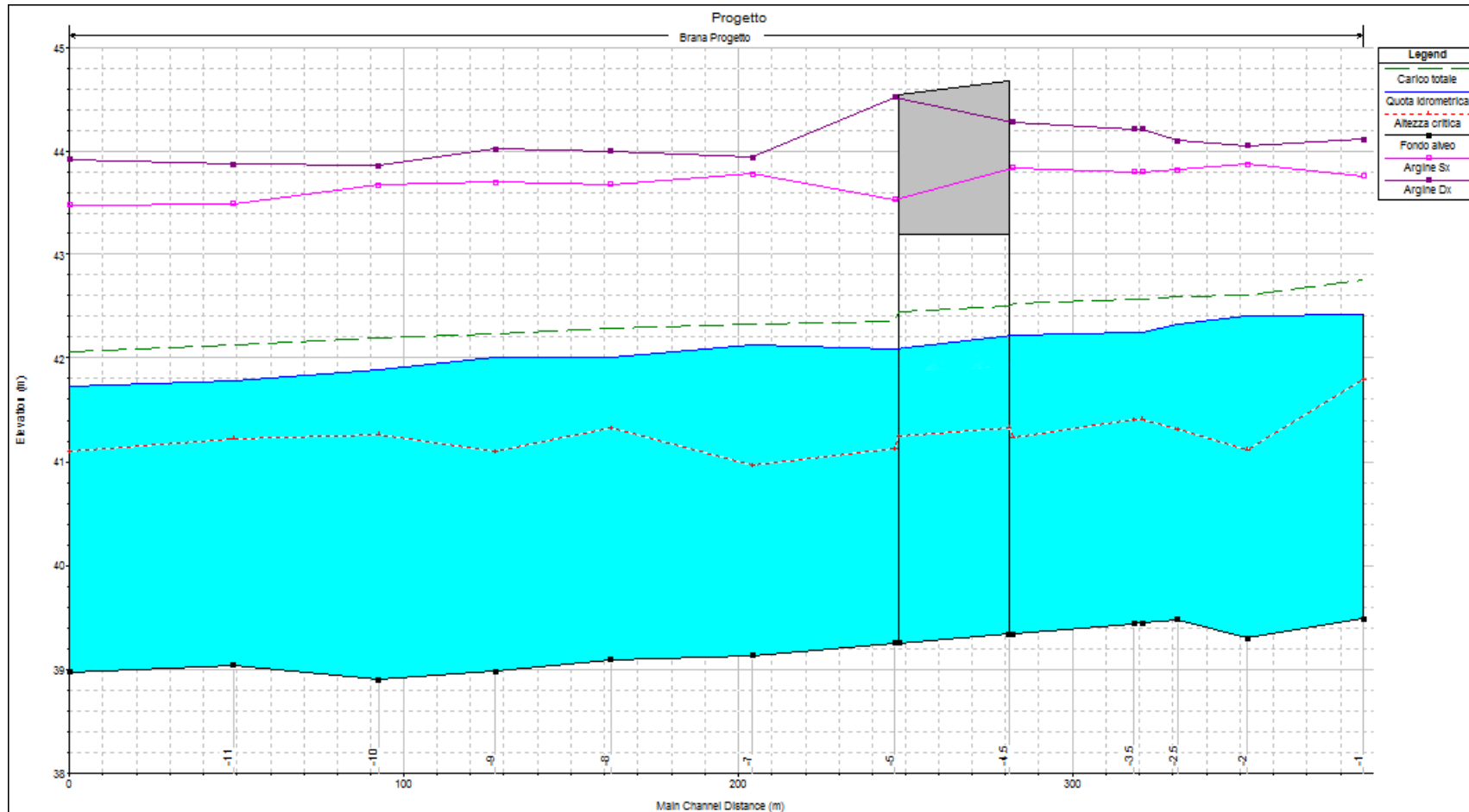


Figura 32 - Profilo idrometrico nelle condizioni di progetto sul torrente Brana per portata di 70.0 m³/s.

4.11 TORRENTE BRUSIGLIANO

Il torrente Brusigliano è stato classificato come corso d'acqua minore, ma in ragione della sua morfologia e del suo andamento planimetrico (sub parallelo all'A11) è stato sottoposto ad analisi modellistica, al fine di determinare l'interferenza idraulica che l'infrastruttura in ampliamento esercita su piene a tempo di ritorno 100 anni.

4.11.1 Schematizzazione del modello geometrico

Il torrente Brusigliano attraversa l'autostrada A11 rispettivamente alle progressive km 25+222 e 26+421; esso nel tratto in analisi scorre con andamento circa parallelo all'autostrada in ampliamento, dapprima lungo la corsia Sud e, dopo aver attraversato l'autostrada al km 25+222, prosegue sviluppandosi parallelamente alla corsia Nord. Infine riattraversa l'A11 alla progressiva 26+421 e, dopo aver percorso alcuni chilometri, confluisce nell'Ombrone Pistoiese.

Gli attraversamenti autostradali sono costituiti da:

- un ponticello ad unica campata di luce pari a 5.0 m alla progressiva km 26+421;
- un ponticello ad arco di larghezza pari a 5.80 m alla progressiva km 25+222.

Nel tratto sono presenti numerosi attraversamenti di viabilità minori; procedendo da monte verso valle nella direzione del corso d'acqua, (da sez. 58 a sez.1) essi possono essere così caratterizzati:

- attraversamenti a monte A11 (km 26+421)
 1. ponticello ad arco a sezione ribassata (denominato P29), di luce pari a 3.0 m e altezza (misurata in chiave) di circa 1.6 m (progr. 665 m circa);
 2. ponticello a soletta piana (denominato P27) di luce pari a circa 5.0 m ed altezza 1.75 m (progr. 747 m circa);
- attraversamenti a valle A11 (km 26+421)
 3. ponticello a soletta piana (denominato T110), di luce pari a 4.9 m e altezza media di 1.8 m (progr. 1206 m circa);
 4. passerella in legno (denominato T109), di altezza media 1.9 m (progr. 1452 m circa);
 5. ponticello ad arco (denominato T108), di luce pari a 5.2 m ed altezza media misurata in chiave di 1.8 m (progr. 1545 m circa);
 6. passerella in cls (denominato T107), di altezza media 1.7 m (progr. 1665 m circa);

7. passerella in legno (denominato T106), di altezza media 1.9 m (progr. 1987 m circa);
8. ponticello a soletta piana (denominato T105), di luce pari a circa 5.0 m e di altezza 1.6 m (progr. 2410 m circa);
9. ponticello a soletta piana (denominato T104), di luce pari a circa 5.2 m e di altezza 1.6 m (progr. 2465 m circa);
- attraversamenti a valle A11 (km 25+222)
10. ponticello a soletta piana (denominato T98), di luce pari a circa 4.2 m e di altezza 1.5 m (progr. 2561 m circa).

Va specificato che gli attraversamenti della viabilità minore (fuori sede A11) sopra elencati sono generalmente inadeguati al transito di piene con tempo di ritorno elevato (in particolare centennali) e determinano rigurgiti a monte favorendo esondazioni delle aree adiacenti. Nel modello, pertanto, per tali attraversamenti, si è inserita la sola sezione di deflusso compresa tra le spalle dell'opera, evitando l'inserimento dell'impalcato.

In tal modo è stato possibile valutare l'effettiva capacità di portata della sezione d'alveo senza condizionarla alla presenza di manufatti che, nel tempo, potrebbero essere ampliati.

Il corso d'acqua a monte del primo attraversamento dell'A11 non presenta opere di contenimento dei livelli (argini) e le aree di piano campagna favoriscono il deflusso di eventuali esondazioni in direzione Sud, a valle rispetto all'autostrada in ampliamento che quindi non presenta interferenza.

Dopo aver attraversato l'A11 il Brusigliano continua ad essere non arginato, salvo brevissimi tratti; le eventuali aree allagabili vanno ad interferire con il rilevato autostradale, che ne costituisce un limite di contenimento in sponda destra.

Sono presenti opere di difesa spondale a carattere locale:

- in corrispondenza del primo attraversamento di monte (P29) in sponda destra;
- nel tratto compreso tra gli attraversamenti T105 e T98 (a cavallo del secondo attraversamento A11), dove la sezione del corso d'acqua diventa rivestita in cls a sezione rettangolare.

Su lunghi tratti la sezione d'alveo naturale presenta segni evidenti di dissesto, con frane e smottamenti delle sponde.

Il modello geometrico che rappresenta idrodinamicamente il torrente Brusigliano è costituito da 58 sezioni trasversali su di uno sviluppo d'asta di circa 2700.0 m.

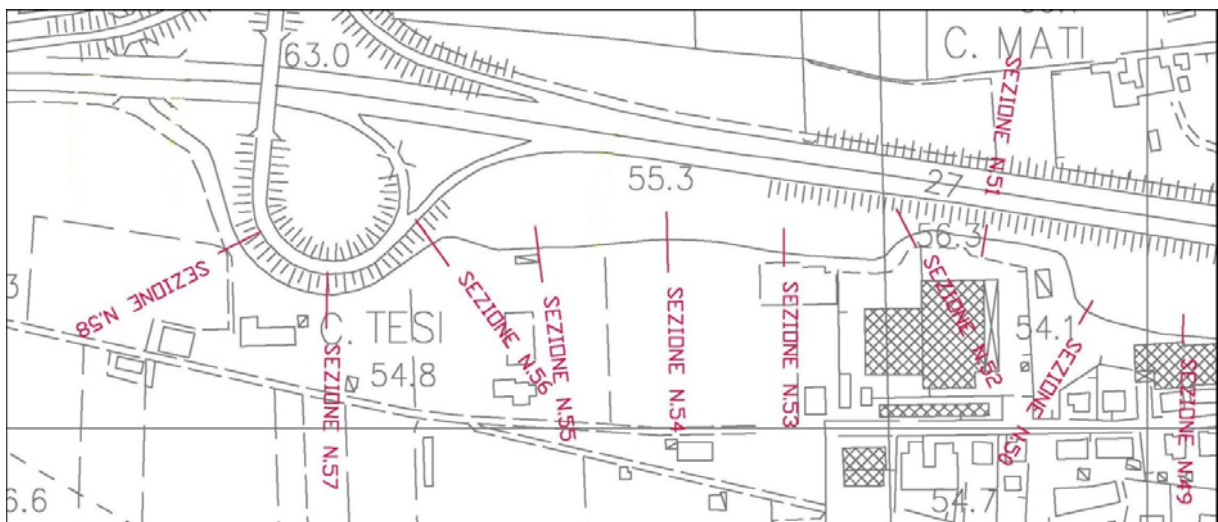
Di seguito (Tabella 38) si riporta il profilo longitudinale del modello di simulazione in cui si sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate, caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg) e posizione dei manufatti presenti in alveo. In Figura 33 si riportano gli stralci planimetrici del tratto di corso d'acqua oggetto di analisi idraulica con la rappresentazione delle sezioni di rilievo.

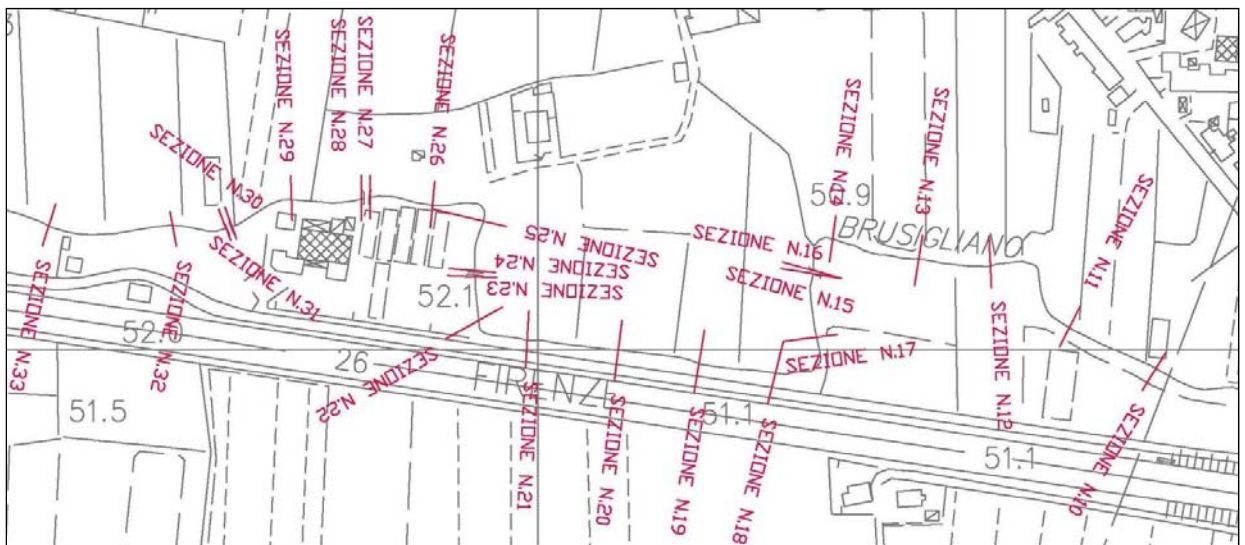
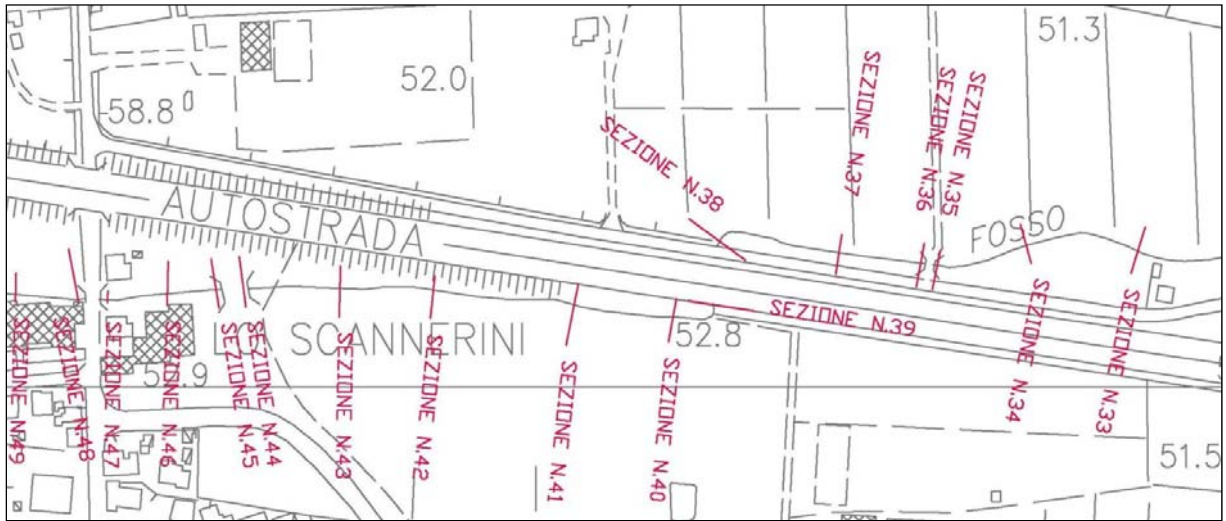
Note	Sezione	Progressiva	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)
	58	0	52.68
	57	63	52.50
	56	135	52.24
	55	200	51.98
	54	278	51.67
	53	348	51.50
	52	429	51.09
	51	474	51.02
	50	559	50.76
	49	619	50.61
monte P29	48	656	50.38
valle P29	47	674	50.46
	46	710	50.33
monte P27	45	739	50.05
valle P27	44	755	50.02
	43	812	49.68
	42	867	49.34
	41	951	49.11
	40	1010	49.02
monte A11 (primo attraversamento P25)	39	1041	48.88
valle A11 (primo attraversamento P25)	38	1078	48.94

Note	Sezione	Progressiva	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)
	37	1152	48.97
monte T110	36	1201	48.72
valle T110	35	1211	48.71
	34	1266	48.63
	33	1335	48.27
	32	1415	47.98
monte T109	31	1450	47.82
valle T109	30	1454	47.64
	29	1497	48.14
monte T108	28	1542	48.20
valle T108	27	1548	48.15
	26	1588	47.94
	25	1629	47.81
monte T107	24	1663	47.71
valle T107	23	1667	47.71
	22	1695	47.67
	21	1733	47.53
	20	1792	47.47
	19	1844	47.39
	18	1893	47.21
	17	1944	47.12
monte T106	16	1986	47.01
valle T106	15	1988	47.14
	14	2017	47.09
	13	2074	47.03
	12	2120	46.93
	11	2198	46.93
	10	2259	46.89
	9	2350	46.89
monte T105	8	2406	46.83
valle T105 monte T104	7	2433	46.76
valle T104	6	2470	46.60

Note	Sezione	Progressiva	Quota fondo alveo
	(-)	(m)	(m s.m.)
monte A11 (secondo attraversamento)	5	2488	46.79
valle A11 (secondo attraversamento)	4.8	2546	46.66
monte T98	4.7	2556	46.64
valle T98	4.5	2566	46.62
	4	2596	46.55
	3	2629	46.18
	2	2655	46.12
	1	2702	46.00

Tabella 38 - Profilo longitudinale del modello idraulico sul torrente Brusigliano.





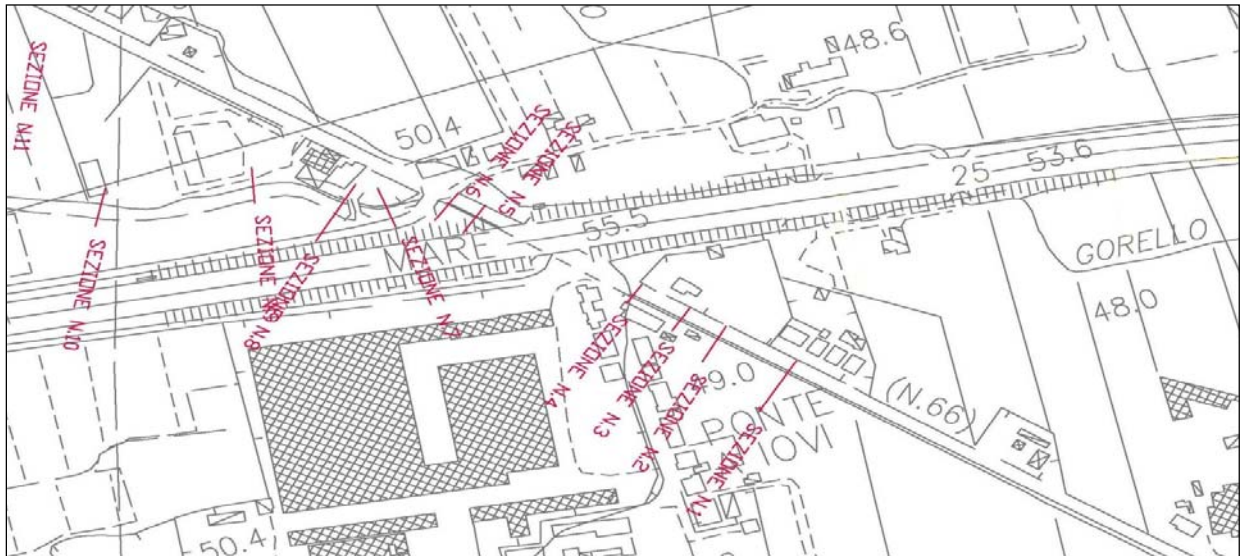


Figura 33 - Stralci cartografici del tratto di corso d'acqua simulato con la rappresentazione planimetrica delle sezioni di rilievo utilizzate nel modello di simulazione.

4.11.2 Condizioni al contorno

La verifica eseguita sul torrente Brusigliano, in accordo con la metodologia ed i criteri utilizzati per le opere minori è quella per una portata con tempo di ritorno 100 anni.

Le condizioni al contorno utilizzate nel modello sono le seguenti:

- idrogramma di piena Tr 100 anni a portata costante di valore al colmo pari a $13.81 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ in entrata a monte (sez.58); tale valore rappresenta il contributo del bacino urbano (tramite recapiti di fognatura bianca) e del bacino residuo a monte dello svincolo;
- portata uniformemente distribuita, crescente tra la sez.58 e la sez.39, a rappresentare il progressivo contributo del bacino complessivo chiuso sul primo attraversamento autostradale, di valore al colmo pari a $16.72 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (si veda la Tabella 4– bacino 182);
- portata uniformemente distribuita, crescente tra la sez.39 e la sez.5, a rappresentare il progressivo contributo del bacino complessivo chiuso sul secondo attraversamento autostradale, di valore al colmo pari a $24.77 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (si veda la Tabella 4– bacino 178);
- scala di deflusso in moto uniforme imposta nella sezione di valle (sez. 1) a progressiva 2702.0 m.

Va specificato che si sono calcolate anche le portate per tempo di ritorno 200 anni in modo da poter eseguire un confronto di coerenza e congruenza con quanto determinato dallo Studio “Messa in sicurezza idraulica del torrente Brusigliano Lotti (1) Area Sub-Urbana, (2) Area a Nord della via Bonellina, (3) Drizzagno e SS.66 (4) Area Industriale, (5) Confluenza Ombrone” – redatto dal Consorzio di Bonifica Ombrone Pistoiese e Bisenzio.

Tale confronto ha mostrato piena coerenza con i risultati del sopraccitato Studio; in particolare:

- a monte dello svincolo di Pistoia (in entrata nel modello alla sez.58) la portata Tr 200 anni calcolata per il presente progetto risulta pari a 15.89 m³/s a fronte di 15.66 m³/s;
- in corrispondenza dell'opera di attraversamento 182 (sez.39, primo attraversamento A11) la portata Tr 200 anni calcolata per il presente progetto risulta pari a 19.23 m³/s a fronte di 19.88 m³/s;
- in corrispondenza dell'opera di attraversamento 178 (sez.5, secondo attraversamento A11) la portata Tr 200 anni calcolata per il presente progetto risulta pari a 28.49 m³/s a fronte di 29.55 m³/s.

4.11.3 Coefficienti di scabrezza

Nella simulazione sono state diversificate le resistenze distribuite da attribuire ai diversi tratti di corso d'acqua sulla base:

- della granulometria del fondo alveo,
- della copertura vegetale presente sulle sponde,
- della presenza di opere di sistemazione e/o di rivestimento in alveo.

In particolare si sono utilizzati i seguenti valori di scabrezza :

- nei tratti in terra si è assunto un valore di Strickler variabile da 35 a 45 m^{1/3} s⁻¹ (0.028 a 0.022 m^{-1/3} s secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti caratterizzati dalla presenza di copertura vegetale un valore di Strickler variabile da 30 a 35 m^{1/3} s⁻¹ (0.033 a 0.028 m^{-1/3} s secondo l'espressione di Manning);
- nei tratti rivestiti in massi sciolti (difese spondali) un valore di Strickler pari a 45 m^{1/3} s⁻¹ (0.022 m^{-1/3} s secondo l'espressione di Manning);

- nei tratti con rivestimenti in cls (spalle di manufatti di attraversamento) un valore di Strickler pari a $60 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0.0167 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

4.11.4 Verifica idraulica dello stato attuale

La simulazione per tempo di ritorno 100 anni nello stato attuale del torrente Brusigliano mostra come la portata di riferimento non sia sempre contenuta in alveo; in particolare:

- nel tratto di asta localizzato a monte del primo attraversamento autostradale (opera 182), si segnalano esondazioni in destra idraulica in corrispondenza delle sez.50 e 49 per effetto del brusco restringimento della sezione d'alveo, indotto dal ponticello ad arco denominato P29;
- nel tratto d'asta compreso tra il primo attraversamento autostradale ubicato tra le sez.39 e 38 (opera 182) ed il secondo ubicato tra le sez.5 e 4.8 (opera 178) si registrano:
 - esondazioni a carattere locale in corrispondenza della sez.37 in destra,
 - tra le sez.32 e 30 in destra e sinistra,
 - tra le sez.26 e 25 in destra e sinistra,
 - e a carattere diffuso tra le sez.20 e 6.

La ridotta capacità di deflusso di quest'ultimo tratto è fortemente condizionata dal restringimento della sezione d'alveo in corrispondenza degli attraversamenti minori presenti, che, come già osservato in precedenza, sono in linea generale, inadeguati.

I risultati ottenuti sono congruenti e coerenti con quelli del sopraccitato Studio, rispetto al quale si è anche eseguito un confronto diretto sui livelli idrometrici, eseguendo le simulazioni per portate a tempo di ritorno di 200 anni.

La piena centennale sul Brusigliano transita secondo un moto in corrente lenta; la simulazione mostra il passaggio in veloce unicamente in corrispondenza del manufatto ad arco denominato P29; in tutto il tratto il moto avviene in corrente lenta con velocità medie comprese tra valori di 0.9 e 2.0 m/s; solo localmente e in prossimità dei ponticelli minori si rilevano valori più elevati (fino a 3.3 m/s) in conseguenza di bruschi restringimenti di sezione.

In particolare si descrive nel seguito il comportamento delle due opere autostradali, di interesse per le presenti valutazioni:

- la prima (opera 182), è costituita da un ponticello di luce pari a 5.0 m con quota minima di intradosso pari a 51.68 m s.m., la quota idrometrica a monte è pari a 51.13 m s.m. a cui corrisponde un franco idraulico di 0.55 m;
- la seconda (opera 178), è costituita da un ponticello ad arco di luce pari a 5.8 m con quota minima di intradosso pari a 52.63 m s.m., la quota idrometrica a monte è pari a 49.17 m s.m. a cui corrisponde un franco idraulico di 3.46 m.

Di seguito si riportano i risultati della simulazione centennale in forma tabulare (Tabella 39) e grafica (Figura 34) rappresentando il profilo idrometrico relativo alla portata di verifica.

A questo riguardo si evidenzia che subito a valle dell'opera autostradale è presente sulla viabilità minore un manufatto scatolare (T98) di altezza ridotta ($h=1.5$ m), che non risulta evidentemente adeguato.

Note	Sezione	Progressiva	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)
	58	0	13.81	52.68	54.51		54.79	0.0030	2.33	5.93	4.87	0.67
	57	63	13.97	52.50	54.31	53.99	54.59	0.0031	2.36	5.92	5.04	0.69
	56	135	14.15	52.24	53.76	53.76	54.26	0.0066	3.13	4.51	4.52	1.00
	55	200	14.32	51.98	53.41		53.63	0.0023	2.05	6.99	6.71	0.64
	54	278	14.51	51.67	53.29		53.46	0.0017	1.85	7.84	6.50	0.54
	53	348	14.69	51.50	53.06		53.31	0.0027	2.22	6.60	5.78	0.66
	52	429	14.89	51.09	52.82		53.09	0.0028	2.28	6.53	5.58	0.67
	51	474	15.01	51.02	52.66		52.95	0.0032	2.38	6.30	6.00	0.74
	50	559	15.22	50.76	52.69		52.78	0.0007	1.39	12.47	12.80	0.36
	49	619	15.37	50.61	52.39	52.39	52.67	0.0034	2.44	7.14	14.39	0.76
monte P29	48	656	15.47	50.38	51.69	51.69	52.20	0.0071	3.18	4.87	4.78	1.01
valle P29	47	674	15.51	50.46	51.59	51.59	52.02	0.0061	2.92	5.31	6.11	1.00
	46	710	15.60	50.33	51.41	51.34	51.77	0.0049	2.68	5.82	6.54	0.91
monte P27	45	739	15.68	50.05	51.42	51.11	51.63	0.0023	2.04	7.69	7.41	0.64
	44.5		Bridge									
valle P27	44	755	15.72	50.02	51.25		51.58	0.0039	2.54	6.19	6.42	0.83
	43	812	15.86	49.68	51.22		51.39	0.0017	1.86	8.53	7.41	0.55
	42	867	16.00	49.34	51.23		51.31	0.0006	1.27	13.51	13.46	0.34
	41	951	16.21	49.11	51.17		51.26	0.0007	1.34	12.08	8.42	0.36
	40	1010	16.36	49.02	51.11		51.22	0.0008	1.44	11.33	7.35	0.37
monte P25 (A11)	39	1041	16.72	48.88	51.13	49.91	51.18	0.0004	1.03	15.89	11.54	0.28
	38.5		Bridge									
valle P25 (A11)	38	1078	16.72	48.94	51.08		51.14	0.0004	1.10	15.56	12.89	0.27
	37	1152	16.72	48.97	51.02		51.11	0.0006	1.29	13.73	14.12	0.32

Note	Sezione	Progressiva	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)
monte T110	36	1201	17.05	48.72	50.89	50.12	51.06	0.0013	1.84	9.44	7.04	0.46
	35.5		Bridge									
valle T110	35	1211	17.12	48.71	50.53	50.39	51.00	0.0051	3.10	5.84	5.38	0.78
	34	1266	17.49	48.63	50.59		50.78	0.0015	1.92	9.24	10.22	0.52
	33	1335	17.95	48.27	50.57	49.60	50.68	0.0008	1.49	12.03	7.26	0.37
	32	1415	18.49	47.98	50.55		50.63	0.0005	1.28	17.28	22.86	0.30
monte T109	31	1450	18.72	47.82	50.51		50.60	0.0007	1.44	15.99	21.96	0.33
valle T109	30	1454	18.75	47.64	50.51		50.60	0.0006	1.42	16.47	21.68	0.30
	29	1497	19.04	48.14	49.93	49.87	50.49	0.0059	3.30	5.76	4.62	0.94
monte T108	28	1542	19.34	48.20	49.94		50.24	0.0027	2.42	7.98	6.46	0.70
valle T108	27	1548	19.38	48.15	49.94		50.22	0.0025	2.35	8.25	6.59	0.67
	26	1588	19.65	47.94	49.96		50.11	0.0014	1.84	14.00	30.63	0.50
	25	1629	19.93	47.81	50.00		50.04	0.0005	1.20	25.60	48.65	0.28
monte T107	24	1663	20.15	47.71	49.69	49.45	49.99	0.0029	2.40	8.52	10.92	0.73
valle T107	23	1667	20.18	47.71	49.74		49.95	0.0017	2.03	9.93	7.32	0.56
	22	1695	20.37	47.67	49.73	49.01	49.90	0.0013	1.86	11.03	9.96	0.47
	21	1733	20.62	47.53	49.70		49.85	0.0010	1.76	13.31	17.81	0.44
	20	1792	21.02	47.47	49.67		49.78	0.0009	1.64	16.30	24.16	0.41
	19	1844	21.37	47.39	49.65		49.73	0.0006	1.39	19.96	29.62	0.34
	18	1893	21.70	47.21	49.65		49.70	0.0003	1.10	26.08	39.76	0.26
	17	1944	22.04	47.12	49.60		49.68	0.0006	1.41	21.28	34.83	0.35
monte T106	16	1986	22.32	47.01	49.58		49.65	0.0007	1.35	22.74	39.38	0.36
valle T106	15	1988	22.34	47.14	49.56		49.64	0.0008	1.49	21.60	39.03	0.36
	14	2017	22.53	47.09	49.55		49.63	0.0005	1.32	20.51	30.04	0.31

Note	Sezione	Progressiva	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude
	(-)	(m)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)
	13	2074	22.92	47.03	49.53		49.60	0.0005	1.23	22.78	33.03	0.32
	12	2120	23.22	46.93	49.48		49.57	0.0008	1.44	20.68	33.45	0.40
	11	2198	23.75	46.93	49.49		49.52	0.0002	0.88	30.68	29.94	0.21
	10	2259	24.16	46.89	49.42		49.50	0.0005	1.33	22.06	28.66	0.31
	9	2350	24.77	46.89	49.35		49.45	0.0006	1.48	19.29	23.77	0.35
monte T105	8	2406	24.77	46.83	49.36	48.34	49.41	0.0004	1.12	28.37	33.74	0.27
valle T105 monte T104	7	2433	24.77	46.76	49.27		49.38	0.0008	1.63	18.84	30.66	0.40
valle T104	6	2470	24.77	46.60	49.27	48.11	49.35	0.0005	1.35	21.45	15.96	0.27
monte A11	5	2488	24.77	46.79	49.17	48.06	49.33	0.0010	1.75	14.16	6.24	0.37
	4.9		Bridge									
valle A11	4.8	2546	24.77	46.66	49.12	47.93	49.27	0.0009	1.69	14.65	6.24	0.35
monte T98	4.7	2556	24.77	46.64	48.84	48.24	49.23	0.0033	2.74	9.05	4.34	0.60
valle T98	4.5	2566	24.77	46.62	48.80	48.22	49.19	0.0034	2.77	8.95	4.33	0.62
	4	2596	24.77	46.55	48.21	48.21	49.00	0.0083	3.92	6.31	4.03	1.00
	3	2629	24.77	46.18	47.96	47.84	48.54	0.0055	3.36	7.37	5.05	0.89
	2	2655	24.77	46.12	48.01	47.63	48.37	0.0030	2.65	9.36	6.04	0.68
	1	2702	24.77	46.00	47.88	47.45	48.20	0.0026	2.50	9.91	6.51	0.65

Tabella 39 - Simulazione per la portata centennale sul torrente Brusigliano nelle condizioni di stato attuale.

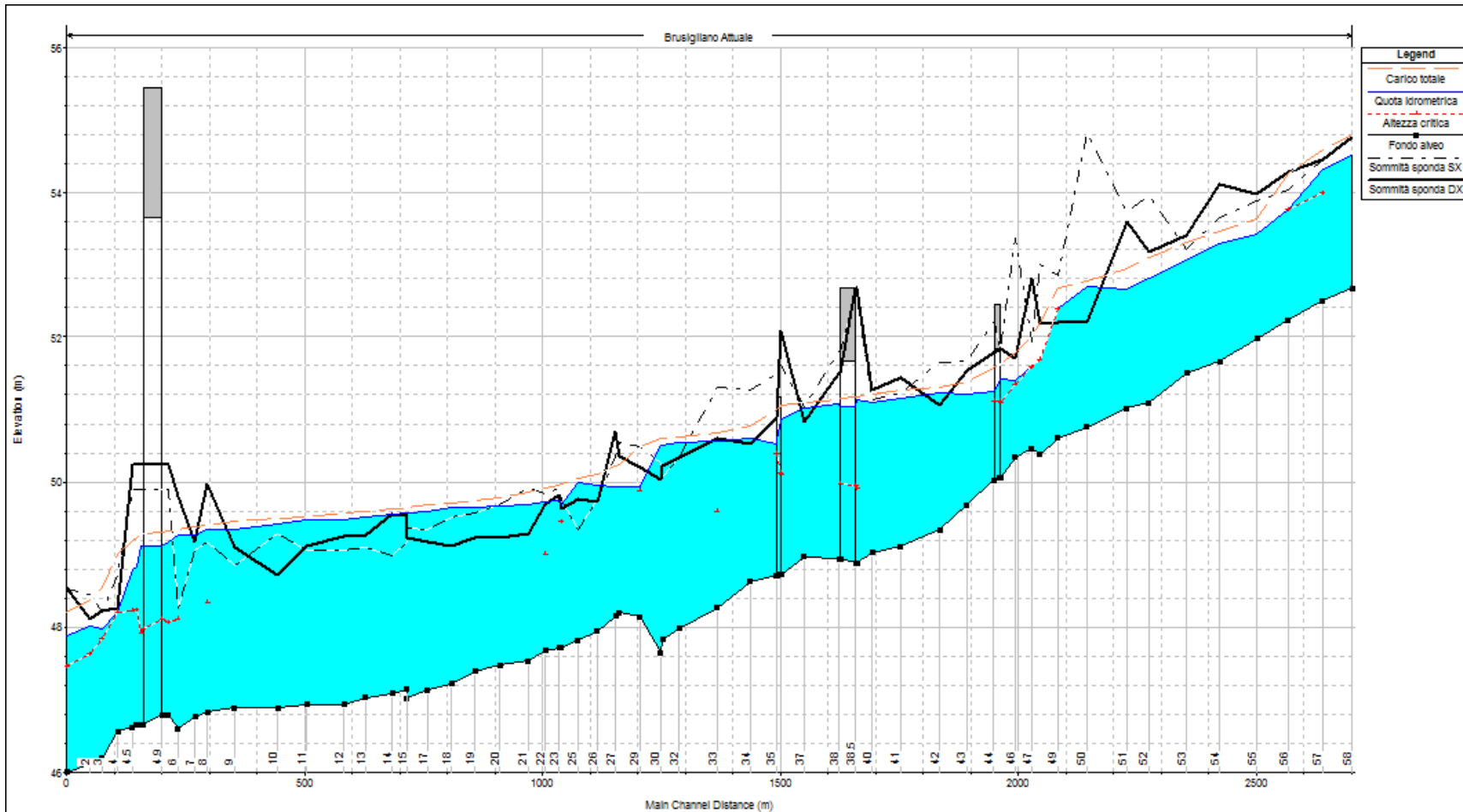


Figura 34 - Profilo idrometrico a tempo di ritorno 100 anni nelle condizioni di stato attuale sul torrente Brusigliano.

4.11.5 Verifica idraulica dello stato di progetto

Nella situazione di progetto, oltre all'adeguamento dei due manufatti autostradali, si rende necessario prevedere la deviazione del fosso in alcuni tratti dove l'attuale impronta del corso d'acqua interferisce con l'adeguamento dell'autostrada alla terza corsia. In particolare si interviene sui seguenti tratti di corso d'acqua:

- tratto 1 da progr. 374.62 a progr. 566.40 (misurati in asse all'alveo di progetto), per complessivi 192.0 m circa (corrispondenti alle progressive autostradali km 27+050 - km 26+890 circa);
- tratto 2A da progr. 787.00 a progr. 1045.61 (inizio nuovo ponticello autostradale ampliato), per complessivi 259.0 m circa (corrispondenti alle progressive autostradali km 26+660 - km 26+421);
- tratto 2B da progr. 1098.80 a progr. 1301.05, per complessivi 202.0 m circa (corrispondenti alle progressive autostradali km 26+421 - km 26+220 circa);
- tratto 3 da progr. 1685.42 a progr. 1938.51, per complessivi 253.0 m circa (corrispondenti alle progressive autostradali km 25+890 - km 25+680 circa).

La tipologia prevista consiste nel rivestimento in massi di cava dell'intera sezione d'alveo, secondo una sezione trapezia di larghezza alla base 4.0 m per il tratto 1 e 5.0 m per i tratti 2 e 3; nel primo caso si prevede inoltre una pendenza di sponda più elevata (1/1) per ragioni di spazio per cui si ritiene necessario cementare i massi.

Note	Sezione	Progressiva	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
(-)	(-)	(m)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
	58	0.00	13.81	52.68	54.51		54.79	0.0030	2.33	5.93	4.87	0.67	0.00
	57	63.00	13.97	52.50	54.31	53.99	54.59	0.0031	2.36	5.92	5.04	0.69	0.00
	56	135.00	14.15	52.24	53.76	53.76	54.26	0.0066	3.13	4.51	4.52	1.00	0.00
	55	200.00	14.32	51.98	53.39		53.61	0.0025	2.10	6.80	6.65	0.66	-0.02
	54	278.00	14.51	51.67	53.25		53.43	0.0018	1.92	7.56	6.42	0.56	-0.04
	53	348.00	14.69	51.50	52.90		53.24	0.0040	2.57	5.71	5.48	0.80	-0.16
II	52.5	374.62	14.69	51.35	52.88		53.03	0.0014	1.74	8.44	7.05	0.51	-
	52	429.58	14.89	51.16	52.72		52.93	0.0021	2.04	7.31	6.25	0.60	-0.10
	51	475.77	15.01	51.01	52.72		52.84	0.0010	1.54	9.74	7.41	0.43	0.06
	50	560.50	15.22	50.72	52.68		52.76	0.0006	1.25	13.05	13.44	0.33	-0.01
FI	49.8	566.40	15.22	50.70	52.68		52.76	0.0006	1.24	13.29	15.51	0.32	-
	49	620.82	15.37	50.61	52.39	52.39	52.67	0.0034	2.44	7.14	14.39	0.76	0.00
monte P29	48	657.82	15.47	50.38	51.69	51.69	52.20	0.0071	3.18	4.87	4.78	1.01	0.00
valle P29	47	675.82	15.51	50.46	51.59	51.59	52.02	0.0061	2.92	5.31	6.11	1.00	0.00
	46	711.82	15.60	50.33	51.40	51.34	51.77	0.0051	2.71	5.76	6.53	0.92	-0.01
monte P27	45	740.82	15.68	50.05	51.41	51.11	51.63	0.0023	2.06	7.62	7.38	0.65	-0.01
	44.5	Bridge											-
valle P27	44	756.82	15.72	50.02	51.12	51.12	51.56	0.0060	2.94	5.35	6.15	1.01	-0.13
II	43.9	787.00	15.72	49.68	51.00		51.15	0.0015	1.71	9.19	8.95	0.54	-
	43	813.91	15.86	49.60	50.97		51.10	0.0014	1.65	9.62	9.10	0.51	-0.25
	42	869.05	16.00	49.44	50.92		51.03	0.0010	1.50	10.65	9.43	0.45	-0.31
	41	952.21	16.21	49.19	50.87		50.95	0.0007	1.28	12.62	10.04	0.37	-0.30
	40	1011.43	16.36	49.01	50.85		50.91	0.0005	1.15	14.25	10.51	0.31	-0.26
monte P25 (A11)	39.8	1045.61	16.44	48.91	50.84	49.84	50.90	0.0004	1.08	15.21	10.78	0.29	-0.29
	38.5	Bridge											-
valle P25 (A11)	37.9	1098.80	16.53	48.91	50.74		50.81	0.0005	1.16	14.21	10.50	0.32	-0.34
sez.38A	37.8	1108.37	16.53	48.90	50.74		50.81	0.0005	1.16	14.27	10.52	0.32	-
sez.37A	37.7	1128.77	16.53	48.88	50.73		50.80	0.0005	1.15	14.39	10.55	0.31	-
	37	1175.53	16.72	48.82	50.71		50.77	0.0005	1.13	14.81	10.67	0.31	-0.31
	36	1225.15	17.05	48.77	50.69	49.73	50.75	0.0005	1.13	15.10	10.75	0.30	-0.20
	35	1235.49	17.12	48.75	50.68		50.75	0.0004	1.12	15.27	10.80	0.30	0.15
	34	1284.32	17.49	48.70	50.66		50.73	0.0004	1.12	15.58	10.89	0.30	0.13
FI	33.9	1301.05	17.49	48.68	50.66		50.72	0.0004	1.11	15.73	10.93	0.30	-
	33	1353.03	17.95	48.27	50.57	49.60	50.68	0.0008	1.49	12.03	7.26	0.37	0.00
	32	1433.03	18.49	47.98	50.55		50.63	0.0005	1.28	17.28	22.86	0.30	0.00
monte T109	31	1468.03	18.72	47.82	50.51		50.60	0.0007	1.44	15.99	21.96	0.33	0.00
valle T109	30	1472.03	18.75	47.64	50.51		50.60	0.0006	1.42	16.47	21.68	0.30	0.00

Note	Sezione	Progressiva	Portata	Quota fondo alveo	Quota idrometrica	Altezza critica	Carico totale	Pendenza carico totale	Velocità	Area deflusso	Larghezza superficie libera	Froude	Confronto con stato attuale
(-)	(-)	(m)	(m3/s)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m s.m.)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	(-)	(m)
	29	1515.03	19.04	48.14	49.92	49.87	50.49	0.0060	3.33	5.72	4.60	0.95	-0.01
monte T108	28	1560.03	19.34	48.20	49.93		50.23	0.0028	2.45	7.90	6.44	0.70	-0.01
valle T108	27	1566.03	19.38	48.15	49.92		50.21	0.0026	2.37	8.17	6.57	0.68	-0.02
	26	1606.03	19.65	47.94	49.93		50.10	0.0015	1.93	13.17	30.63	0.53	-0.03
	25	1647.03	19.93	47.81	49.97		50.03	0.0005	1.25	24.54	48.65	0.30	-0.03
monte T107	24	1681.03	20.15	47.71	49.63	49.45	49.96	0.0035	2.54	7.93	8.18	0.79	-0.06
valle T107	23	1685.42	20.18	47.71	49.68		49.76	0.0006	1.29	15.64	10.90	0.34	-0.06
	22	1714.24	20.37	47.64	49.67		49.74	0.0005	1.25	16.37	14.93	0.33	-0.06
	21	1737.05	20.62	47.59	49.66		49.73	0.0005	1.23	16.85	14.89	0.32	-0.04
	20	1796.65	21.02	47.45	49.64		49.70	0.0004	1.11	21.36	27.70	0.28	-0.03
	19	1849.47	21.37	47.33	49.64		49.68	0.0003	0.99	25.61	31.11	0.24	-0.01
	18	1899.79	21.70	47.21	49.63		49.67	0.0002	0.92	29.51	39.73	0.21	-0.02
	17	1933.51	22.04	47.13	49.63		49.66	0.0002	0.87	31.63	34.83	0.20	0.03
FI	16.5	1938.51	22.04	47.12	49.63		49.66	0.0002	0.86	31.84	34.83	0.20	-
monte T106	16	1975.12	22.32	47.01	49.58		49.65	0.0007	1.35	22.74	39.38	0.36	0.00
valle T106	15	1977.00	22.34	47.14	49.56		49.64	0.0008	1.49	21.52	39.03	0.36	0.00
	14	2006.00	22.53	47.09	49.55		49.63	0.0005	1.32	20.51	30.04	0.31	0.00
	13	2063.00	22.92	47.03	49.53		49.60	0.0005	1.23	22.78	33.03	0.32	0.00
	12	2109.00	23.22	46.93	49.48		49.56	0.0009	1.44	20.58	33.45	0.40	0.00
	11	2187.00	23.75	46.93	49.49		49.52	0.0002	0.88	30.68	29.94	0.21	0.00
	10	2248.00	24.16	46.89	49.42		49.50	0.0005	1.33	21.96	28.66	0.31	0.00
	9	2339.00	24.77	46.89	49.35		49.45	0.0006	1.48	19.29	23.77	0.35	0.00
monte T105	8	2395.00	24.77	46.83	49.36	48.34	49.41	0.0004	1.12	28.37	33.74	0.27	0.00
valle T105 monte T104	7	2422.00	24.77	46.76	49.27		49.38	0.0008	1.63	18.84	30.66	0.40	0.00
valle T104	6	2459.00	24.77	46.60	49.27	48.11	49.34	0.0006	1.35	21.35	15.96	0.27	0.00
monte A11	5	2477.00	24.77	46.79	49.17	48.06	49.33	0.0010	1.75	14.16	6.24	0.37	0.00
	4.9	Bridge											-
valle A11	4.8	2535.00	24.77	46.66	49.12	47.93	49.27	0.0009	1.69	14.65	6.24	0.35	0.00
monte T98	4.7	2545.00	24.77	46.64	48.84	48.24	49.23	0.0033	2.74	9.05	4.34	0.60	0.00
valle T98	4.5	2555.00	24.77	46.62	48.80	48.22	49.19	0.0034	2.77	8.95	4.33	0.62	0.00
	4	2585.00	24.77	46.55	48.21	48.21	49.00	0.0083	3.92	6.31	4.03	1.00	0.00
	3	2618.00	24.77	46.18	47.96	47.84	48.54	0.0055	3.36	7.37	5.05	0.89	0.00
	2	2644.00	24.77	46.12	48.01	47.63	48.37	0.0030	2.65	9.36	6.04	0.68	0.00
	1	2691.00	24.77	46.00	47.88	47.45	48.20	0.0026	2.50	9.91	6.51	0.65	0.00

Tabella 40 - Simulazione per la portata centennale sul torrente Brusigliano nelle condizioni di progetto.

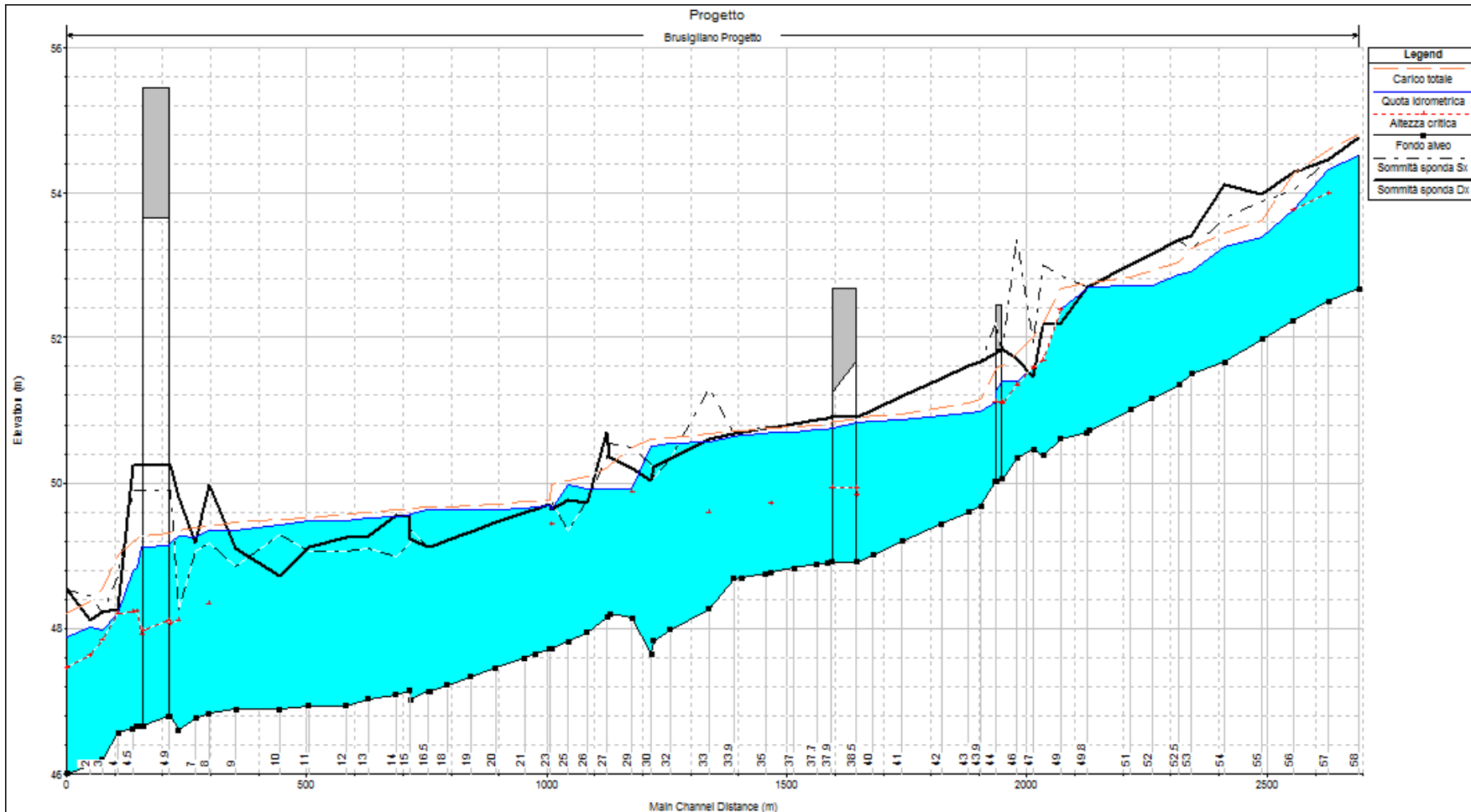


Figura 35 - Profilo idrometrico a tempo di ritorno 100 anni nelle condizioni di progetto sul torrente Brusigliano.

La verifica dello stato di progetto è stata eseguita introducendo nella schematizzazione del modello la nuova configurazione geometrica delle opere sopradescritte ed il nuovo asse del corso d'acqua (modificato in conseguenza delle deviazioni previste); dai risultati ottenuti (Tabella 40 e Figura 35) risulta un sostanziale miglioramento delle condizioni di deflusso con una generalizzata riduzione dei livelli idrometrici, per la portata di riferimento, nei tratti di sistemazione; solo localmente risulta un modesto incremento di livello per effetto della riduzione di sezione, passando dai tratti sistemati (di nuova inalveazione) a quelli naturali.

5 ANALISI IDRAULICA SUI CORSI D'ACQUA MINORI

La verifica sui manufatti di attraversamento interferenti con i corsi d'acqua minori è stata eseguita tramite l'applicazione proposta dall' "U.S. Geological Survey".

L'applicazione del metodo di verifica proposto dall'U.S.G.S richiede la conoscenza geometrica delle opere autostradali.

Di seguito si riportano i dati di identificazione e di misura dimensionale di ciascun manufatto di attraversamento, derivanti dai rilievi eseguiti a corredo del presente progetto (Tabella 41).

In Tabella 42 si riportano i risultati delle verifiche idrauliche delle opere di attraversamento per tempo di ritorno 100 anni.

Dalla Tabella 42 si può evincere che la quasi totalità delle opere sono idraulicamente verificate (in quanto la portata massima transitabile nell'opera è superiore od uguale alla Q_{100}) ; fanno eccezione:

- l'opera N.4 alla progressiva 0+951 in cui la portata centennale è maggiore di $0.44 \text{ m}^3/\text{s}$ rispetto a quella massima smaltibile dal manufatto;
- l'opera N.46 alla progressiva 5+909 in cui la portata centennale è maggiore di $0.79 \text{ m}^3/\text{s}$ rispetto a quella massima smaltibile dal manufatto;
- l'opera 105 alla progressiva 14+411 in cui la portata centennale è maggiore di $1.04 \text{ m}^3/\text{s}$ rispetto a quella massima smaltibile dal manufatto;
- l'opera 107 alla progressiva 14+698 in cui la portata centennale è maggiore di $0.53 \text{ m}^3/\text{s}$ rispetto a quella massima smaltibile dal manufatto;

- l'opera 108 alla progressiva 14+919 in cui la portata centennale è maggiore di $0.27 \text{ m}^3/\text{s}$ rispetto a quella massima smaltibile dal manufatto.

Va specificato che le verifiche sono state eseguite assumendo un valore del carico di monte (H) pari al massimo a 1.5 volte l'altezza del tombino (d): tale assunzione è cautelativa in quanto garantisce condizioni di funzionamento dell'opera ancora adeguate rispetto alle condizioni di sicurezza della sede autostradale.

Q(Tr=100) (m ³ /s)	NUMERO OPERA (-)	PROGRESSIVA (km)	DISLIVELLO (m)	OPERA (-)	FORMA (-)	DIMENSIONI (m)			MATERIALE (-)	P.MIN.FONDO (%)	LUNGHEZZA (m)
						b	h	Φ			
1.16	3	0+721	1.50	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	39.00
1.69	4	0+951	1.20	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	39.43
0.47	6	1+187	0.90	PONTICELLO	A SOLETTA PIANA	1.50	1.00		CLS	0.0%	35.10
0.54	7	1+352	1.02	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	40.44
0.51	8	1+502	1.32	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	43.59
0.42	9	1+628	0.00	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	55.40
4.44	005_T	svincolo Sesto Fiorentino	1.19	TOMBINO	SCATOLARE	3.85	2.88		CLS	0.46%	13.00
1.97	006_P	svincolo Sesto Fiorentino	0.81	TOMBINO	SCATOLARE	3.50	1.58		CLS	0.15%	13.00
3.40	008_T	svincolo Sesto Fiorentino	0.80	TOMBINO	SCATOLARE	3.50	1.68		CLS	0.0%	40.00
0.11	10	1+740	5.00	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	38.30
11.51	009_T	1+792	6.00	PONTICELLO	AD ARCO	2.40	2.00		CLS	0.08%	86.00
0.12	12	1+910	6.00	TOMBINO	SCATOLARE	1.00	1.50		CLS	0.22%	32.50
0.35	14	1+999	8.00	PONTICELLO	AD ARCO	1.00	1.65		CLS	0.0%	32.50
0.88	16	2+028	3.96	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	45.00
0.23	17	2+303	2.00	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	41.00
0.70	18	2+375	1.01	PONTICELLO	A SOLETTA PIANA	2.50	1.60		CLS	0.0%	41.10
0.34	19	2+482	2.07	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	41.30
1.34	20	2+619	1.00	PONTICELLO	A SOLETTA PIANA	3.50	2.00		CLS	0.0%	45.50
0.49	22	2+731	1.80	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	41.20
0.40	23	2+940	2.00	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	35.10
0.36	24	3+075	2.00	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	35.10
1.13	25	3+230	1.01	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	40.84
1.28	27	3+350	1.20	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	41.60
0.59	28	3+555	1.45	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	41.00

Q(Tr=100) (m ³ /s)	NUMERO OPERA (-)	PROGRESSIVA (km)	DISLIVELLO (m)	OPERA (-)	FORMA (-)	DIMENSIONI (m)			MATERIALE (-)	P.MIN.FONDO (%)	LUNGHEZZA (m)
						b	h	Φ			
2.32	29	3+706	0.76	TOMBINO	SCATOLARE	3.00	2.10		CLS	0.0%	41.10
0.06	30	3+760	1.07	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	45.90
0.18	31	3+833	1.12	TOMBINO	SCATOLARE	2.00	1.37		CLS	0.0%	40.40
0.41	32	4+052	1.47	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	105.20
0.65	35	4+313	1.50	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	129.50
2.00	38	4+774	0.71	TOMBINO	SCATOLARE	2.55	1.70		CLS	0.0%	37.60
0.17	29T	interconnessione A1-A11	1.12	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.2%	10.00
0.29	39	5+057	1.43	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.1%	43.20
2.28	40	5+353	0.65	PONTICELLO	A SOLETTA PIANA	4.00	3.90		CLS	0.5%	51.40
0.33	41	5+414	4.00	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	52.40
0.46	43	5+489	3.85	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.7%	50.10
1.56	44	5+708	3.25	PONTICELLO	AD ARCO	3.00	3.22		CLS	0.1%	45.40
2.04	46	5+909	9.00	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	70.00
0.14	48	6+000	7.00	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	57.90
1.37	50	6+282	3.00	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	46.00
1.94	51	6+449	2.53	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	40.40
2.11	52	6+618	0.90	PONTICELLO	A SOLETTA PIANA	2.20	1.90		CLS	0.0%	39.70
2.77	54	6+843	0.87	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	32.30
2.74	55	7+012	2.11	TOMBINO	SCATOLARE	2.00	1.06		CLS	0.0%	36.90
3.21	58	7+300	4.34	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	38.70
2.91	60	7+523	3.20	PONTICELLO	A SOLETTA PIANA	2.00	2.00		CLS	0.0%	43.75
1.77	62	8+019	0.80	PONTICELLO	AD ARCO	4.00	3.40		CLS	0.0%	32.50
4.80	64	8+426	5.00	PONTICELLO	AD ARCO	2.30	3.70		CLS	0.0%	33.50
0.67	65	8+522	5.00	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	37.50
0.69	69	8+999	2.23	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.6%	43.30

Q(Tr=100) (m ³ /s)	NUMERO OPERA (-)	PROGRESSIVA (km)	DISLIVELLO (m)	OPERA (-)	FORMA (-)	DIMENSIONI (m)			MATERIALE (-)	P.MIN.FONDO (%)	LUNGHEZZA (m)
						b	h	Φ			
0.92	70BIS	9+256	2.5	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	39.60
0.61	71	9+387	2.01	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.2%	38.10
1.05	72	9+626	0.85	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.6%	33.80
0.51	74	9+828	1.00	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	37.40
1.57	76BIS	10+206	0.70	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	38.00
1.37	78	10+516	1.03	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.6%	44.50
6.55	79	10+586	1.00	TOMBINO	SCATOLARE	3.00	2.00		CLS	0.5%	41.00
1.25	80	10+686	1.05	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.7%	42.30
0.37	82	10+949	1.55	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.9%	34.60
1.10	83	11+094	1.01	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	44.50
0.89	84	11+273	2.04	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	34.60
1.21	85	11+421	5.00	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	33.20
6.22	88	11+696	6.00	PONTICELLO	AD ARCO	3.00	5.00		CLS	0.0%	33.00
0.73	90	12+040	3.92	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	37.00
0.73	91	12+160	3.20	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	36.10
2.10	92	12+230	0.91	PONTICELLO	A SOLETTA PIANA	16.00	4.73		CLS	0.0%	36.00
0.84	93	12+309	2.30	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	35.90
3.17	94	12+509	2.65	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.1%	38.30
0.99	95	12+779	1.25	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	35.40
10.09	97	12+988	0.60	PONTICELLO	A SOLETTA PIANA	2.00	3.50		CLS	0.0%	34.60
1.25	99	13+190	2.31	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	34.07
12.75	100	13+520	0.60	PONTICELLO	A SOLETTA PIANA	2.00	3.70		CLS	0.0%	34.90
0.62	102 BIS	13+874	1.60	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	36.40
1.01	104	14+152	4.15	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	33.90
2.29	105	14+411	3.17	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	39.80

Q(Tr=100) (m ³ /s)	NUMERO OPERA (-)	PROGRESSIVA (km)	DISLIVELLO (m)	OPERA (-)	FORMA (-)	DIMENSIONI (m)			MATERIALE (-)	P.MIN.FONDO (%)	LUNGHEZZA (m)
						b	h	Φ			
1.78	107	14+698	2.13	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	39.80
1.52	108	14+919	1.33	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	39.70
3.07	109	15+134	1.66	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	34.90
1.08	111	15+749	1.43	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	36.20
0.74	112	15+958	1.03	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	41.40
0.11	113	16+027	0.84	TOMBINO	CIRCOLARE			0.60	CLS	0.0%	34.10
0.10	113BIS	16+162	0.58	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	40.80
1.25	114	16+215	1.27	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	34.80
1.43	117	16+504	1.03	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	40.90
0.43	119	16+739	0.89	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	37.70
0.67	120	16+924	0.80	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	34.60
1.61	122	17+106	1.25	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	39.30
0.60	124	17+291	2.29	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	42.40
0.45	125	17+373	2.91	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	40.30
0.46	126	17+466	4.00	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	37.40
0.76	130	17+811	6.45	TOMBINO	SCATOLARE	1.10	1.10		CLS	0.0%	40.50
2.85	131	17+902	7.00	PONTICELLO	A SOLETTA PIANA	3.50	2.00		CLS	0.0%	45.90
0.62	132	17+920	7.00	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	34.70
0.45	133	18+047	7.00	TOMBINO	CIRCOLARE			1.10	CLS	0.0%	44.30
0.21	135	18+345	4.51	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	37.70
0.25	136	18+570	4.14	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	37.40
0.20	136BIS	18+677	4.00	TOMBINO	SCATOLARE	1.40	1.60		CLS	0.0%	45.50
0.28	138	18+829	2.95	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	40.70
0.52	139	19+019	0.60	TOMBINO	SCATOLARE	2.00	1.82		CLS	0.0%	37.00
0.38	140	19+109	2.02	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	36.60

Q(Tr=100) (m ³ /s)	NUMERO OPERA (-)	PROGRESSIVA (km)	DISLIVELLO (m)	OPERA (-)	FORMA (-)	DIMENSIONI (m)			MATERIALE (-)	P.MIN.FONDO (%)	LUNGHEZZA (m)
						b	h	Φ			
0.22	141	19+199	1.87	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	34.50
0.33	142	19+261	1.72	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	35.20
0.47	144	19+370	0.60	TOMBINO	SCATOLARE	2.00	2.20		CLS	0.0%	36.80
1.03	145	19+624	0.88	PONTICELLO	A SOLETTA PIANA	1.50	1.30		CLS	0.0%	
1.07	146	19+784	0.80	TOMBINO	SCATOLARE	2.00	1.20		CLS	0.0%	35.80
0.33	147	19+900	1.58	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	41.40
1.45	148	20+003	0.70	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	37.60
2.70	150	20+541	0.81	TOMBINO	SCATOLARE	2.00	1.80		CLS	0.0%	36.80
0.60	153	21+039	0.34	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	46.30
3.48	154	21+162	1.25	PONTICELLO	AD ARCO	2.50	2.50		CLS	0.0%	32.80
0.22	155	21+212	3.33	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	39.50
0.22	156	21+400	1.22	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	40.70
0.56	158	21+565	1.29	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	40.10
0.58	159	21+960	1.41	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	39.80
0.37	160	22+146	1.53	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	40.35
0.42	161	22+283	1.45	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	39.10
0.28	163	22+619	1.32	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	35.90
0.87	164	23+014	0.61	PONTICELLO	AD ARCO	2.00	1.30		CLS	0.0%	35.90
0.64	165	23+296	0.88	PONTICELLO	AD ARCO	1.50	1.50		CLS	0.0%	35.90
0.63	167	23+535	0.99	PONTICELLO	AD ARCO	1.50	1.50		CLS	0.0%	36.30
0.63	168	23+711	1.50	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	36.10
0.48	169	23+909	1.16	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	36.50
0.42	170	24+100	1.73	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	36.90
0.52	171	24+301	1.48	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	40.35
0.83	172	24+434	2.07	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	40.50

Q(Tr=100) (m ³ /s)	NUMERO OPERA (-)	PROGRESSIVA (km)	DISLIVELLO (m)	OPERA (-)	FORMA (-)	DIMENSIONI (m)			MATERIALE (-)	P.MIN.FONDO (%)	LUNGHEZZA (m)
						b	h	Φ			
0.97	174	24+783	1.88	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	37.60
7.21	175	24+971	2.07	PONTICELLO	AD ARCO	2.00	1.55		CLS	0.0%	43.70
0.44	177	25+108	6.52	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	47.50
0.22	179	25+351	6.05	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	42.30
0.30	184	26+886	4.00	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	43.84
0.48	185	26+961	2.02	TOMBINO	CIRCOLARE			0.60	CLS	0.0%	49.50
0.47	186	27+069	2.00	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	39.50
0.38	187	27+276	1.32	TOMBINO	CIRCOLARE			1.00	CLS	0.0%	46.00
0.36	113T	svincolo Pistoia	1.18	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	12.00
	260	36+852	0.60	TOMBINO	SCATOLARE	1.00	1.75		CLS	0.0%	35.5
	261	36+971	5.00	TOMBINO	CIRCOLARE			1.20	CLS	0.0%	44.60
	263	37+141	4.50	TOMBINO	CIRCOLARE			1.40	CLS	0.0%	28.30
	264	37+218	3.50	PONTICELLO	A SOLETTA PIANA	2.00	2.40		CLS	0.0%	44.37
	265	37+412	2.00	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	45.00
	266	37+583	1.10	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	40.09
	268	37+771	0.50	TOMBINO	CIRCOLARE			0.80	CLS	0.0%	39.22
	269	37+943	1.00	TOMBINO	CIRCOLARE			1.10	CLS	0.0%	43.50

Tabella 41 - Caratteristiche identificative e geometriche dei manufatti di attraversamento A11 in ampliamento

dove:

Q(Tr=100) [m³/s] portata di verifica a tempo di ritorno 100 anni (determinata in Tabella 4),
 NUMERO OPERA [-] codice identificativo dell'opera (sul cui imbocco si chiude il bacino idrografico del corso d'acqua minore),
 PROGRESSIVA [km] localizzazione opera sul tracciato autostradale,
 DISLIVELLO [m] differenza di quota tra il piano viabile autostradale e l'intradosso dell'opera,
 OPERA [-] tipologia di attraversamento,
 FORMA [-] geometria attraversamento,

b [m] larghezza dell'attraversamento,
 h [m] altezza dell'attraversamento,
 Φ [m] diametro dell'attraversamento,
 P.MIN.FONDO [-] pendenza minima dell'attraversamento,
 LUNGHEZZA [m] lunghezza netta dell'attraversamento.

NUMERO OPERA (-)	PROGRESSIVA (km)	FORMA (-)	DIMENSIONI (m)			(H/d) (-)	Q MAX (m3/s)	Q(Tr=100) (m3/s)
			b	h1	Φ			
3	0+721	C			0.80	1.50	1.25	1.16
4	0+951	C			0.80	1.50	1.25	1.69
6	1+187	R	1.50	1.00		1.50	3.32	0.47
7	1+352	C			1.20	1.50	3.45	0.54
8	1+502	C			1.20	1.50	3.45	0.51
9	1+628	C			1.20	1.00	2.07	0.42
005_T	svincolo Sesto Fiorentino	R	3.85	2.88		1.25	43.27	4.44
006_P	svincolo Sesto Fiorentino	R	3.50	1.58		1.50	17.04	1.97
008_T	svincolo Sesto Fiorentino	R	3.50	1.68		1.25	15.53	3.40
10	1+740	C			1.20	1.50	3.45	0.11
009_T	1+792	A	2.40	1.80		1.50	29.25	11.51
12	1+910	R	1.00	1.50		1.50	4.45	0.12
14	1+999	A	1.00	1.49		1.50	4.37	0.35
16	2+028	C			1.20	1.50	3.45	0.88
17	2+303	C			0.80	1.50	1.25	0.23
18	2+375	R	2.50	1.60		1.50	12.44	0.70
19	2+482	C			0.80	1.50	1.25	0.34
20	2+619	R	3.50	2.00		1.50	25.58	1.34
22	2+731	C			1.00	1.50	2.19	0.49
23	2+940	C			1.00	1.50	2.19	0.40
24	3+075	C			0.80	1.50	1.25	0.36
25	3+230	C			1.00	1.50	2.19	1.13
27	3+350	C			1.00	1.50	2.19	1.28
28	3+555	C			0.80	1.50	1.25	0.59

NUMERO OPERA (-)	PROGRESSIVA (km)	FORMA (-)	DIMENSIONI (m)			(H/d) (-)	Q MAX (m3/s)	Q(Tr=100) (m3/s)
			b	h1	Φ			
29	3+706	R	3.00	2.10		1.25	19.56	2.32
30	3+760	C			0.80	1.50	1.25	0.06
31	3+833	R	2.00	1.37		1.50	7.61	0.18
32	4+052	C			0.80	1.50	1.25	0.41
35	4+313	C			1.00	1.50	2.19	0.65
38	4+774	R	2.55	1.70		1.25	11.55	2.00
29T	interconnessione A1-A11	C			1.20	1.50	3.45	0.17
39	5+057	C			0.80	1.50	1.25	0.29
40	5+353	R	4.00	3.90		1.00	57.42	2.28
41	5+414	C			0.80	1.50	1.25	0.33
43	5+489	C			1.20	1.50	3.45	0.46
44	5+708	A	3.00	2.90		1.50	41.56	1.56
46	5+909	C			0.80	1.50	1.25	2.04
48	6+000	C			1.20	1.50	3.45	0.14
50	6+282	C			1.00	1.50	2.19	1.37
51	6+449	C			1.00	1.50	2.19	1.94
52	6+618	R	2.20	1.90		1.25	12.07	2.11
54	6+843	C			1.20	1.50	3.45	2.77
55	7+012	R	2.00	1.06		1.50	4.89	2.74
58	7+300	C			1.20	1.50	3.45	3.21
60	7+523	R	2.00	2.00		1.50	14.62	2.91
62	8+019	A	4.00	3.06		1.25	49.90	1.77
64	8+426	A	2.30	3.33		1.50	40.49	4.80
65	8+522	C			1.20	1.50	3.45	0.67

NUMERO OPERA (-)	PROGRESSIVA (km)	FORMA (-)	DIMENSIONI (m)			(H/d) (-)	Q MAX (m3/s)	Q(Tr=100) (m3/s)
			b	h1	Φ			
69	8+999	C			1.00	1.50	2.19	0.69
70BIS	9+256	C			1.00	1.50	2.19	0.92
71	9+387	C			0.80	1.50	1.25	0.61
72	9+626	C			0.80	1.50	1.25	1.05
74	9+828	C			0.80	1.50	1.25	0.51
76BIS	10+206	C			1.20	1.50	3.45	1.57
78	10+516	C			1.00	1.50	2.19	1.37
79	10+586	R	3.00	2.00		1.50	21.93	6.55
80	10+686	C			0.80	1.50	1.25	1.25
82	10+949	C			1.00	1.50	2.19	0.37
83	11+094	C			0.80	1.50	1.25	1.10
84	11+273	C			0.80	1.50	1.25	0.89
85	11+421	C			1.00	1.50	2.19	1.21
88	11+696	A	3.00	4.50		1.50	88.75	6.22
90	12+040	C			0.80	1.50	1.25	0.73
91	12+160	C			0.80	1.50	1.25	0.73
92	12+230	R	16.00	4.73		1.00	320.34	2.10
93	12+309	C			1.00	1.50	2.19	0.84
94	12+509	C			1.20	1.50	3.45	3.17
95	12+779	C			1.00	1.50	2.19	0.99
97	12+988	R	2.00	3.50		1.00	23.82	10.09
99	13+190	C			0.80	1.50	1.25	1.25
100	13+520	R	2.00	3.70		1.00	26.22	12.75
102 BIS	13+874	C			0.80	1.50	1.25	0.62

NUMERO OPERA (-)	PROGRESSIVA (km)	FORMA (-)	DIMENSIONI (m)			(H/d) (-)	Q MAX (m3/s)	Q(Tr=100) (m3/s)
			b	h1	Φ			
104	14+152	C			1.00	1.50	2.19	1.01
105	14+411	C			0.80	1.50	1.25	2.29
107	14+698	C			0.80	1.50	1.25	1.78
108	14+919	C			0.80	1.50	1.25	1.52
109	15+134	C			1.20	1.50	3.45	3.07
111	15+749	C			1.00	1.50	2.19	1.08
112	15+958	C			0.80	1.50	1.25	0.74
113	16+027	C			0.60	1.50	0.61	0.11
113BIS	16+162	C			0.80	1.50	1.25	0.10
114	16+215	C			0.80	1.50	1.25	1.25
117	16+504	C			1.20	1.50	3.45	1.43
119	16+739	C			0.80	1.50	1.25	0.43
120	16+924	C			1.00	1.50	2.19	0.67
122	17+106	C			1.00	1.50	2.19	1.61
124	17+291	C			1.00	1.50	2.19	0.60
125	17+373	C			1.00	1.50	2.19	0.45
126	17+466	C			1.20	1.50	3.45	0.46
130	17+811	R	1.10	1.10		1.50	2.87	0.76
131	17+902	R	3.50	2.00		1.50	25.58	2.85
132	17+920	C			1.00	1.50	2.19	0.62
133	18+047	C			1.10	1.50	2.78	0.45
135	18+345	C			1.00	1.50	2.19	0.21
136	18+570	C			0.80	1.50	1.25	0.25
136BIS	18+677	R	1.40	1.60		1.50	6.96	0.20

NUMERO OPERA (-)	PROGRESSIVA (km)	FORMA (-)	DIMENSIONI (m)			(H/d) (-)	Q MAX (m3/s)	Q(Tr=100) (m3/s)
			b	h1	Φ			
138	18+829	C			1.00	1.50	2.19	0.28
139	19+019	R	2.00	1.82		1.25	10.19	0.52
140	19+109	C			1.00	1.50	2.19	0.38
141	19+199	C			1.00	1.50	2.19	0.22
142	19+261	C			1.00	1.50	2.19	0.33
144	19+370	R	2.00	2.20		1.25	14.13	0.47
145	19+624	R	1.50	1.30		1.50	5.22	1.03
146	19+784	R	2.00	1.20		1.50	6.06	1.07
147	19+900	C			1.00	1.50	2.19	0.33
148	20+003	C			1.20	1.50	3.45	1.45
150	20+541	R	2.00	1.80		1.25	9.99	2.70
153	21+039	C			0.80	1.25	0.94	0.60
154	21+162	A	2.50	2.25		1.50	22.39	3.48
155	21+212	C			0.80	1.50	1.25	0.22
156	21+400	C			0.80	1.50	1.25	0.22
158	21+565	C			0.80	1.50	1.25	0.56
159	21+960	C			0.80	1.50	1.25	0.58
160	22+146	C			0.80	1.50	1.25	0.37
161	22+283	C			0.80	1.50	1.25	0.42
163	22+619	C			1.00	1.50	2.19	0.28
164	23+014	A	2.00	1.17		1.50	5.80	0.87
165	23+296	A	1.50	1.35		1.50	5.57	0.64
167	23+535	A	1.50	1.35		1.50	5.57	0.63
168	23+711	C			0.80	1.50	1.25	0.63

NUMERO OPERA (-)	PROGRESSIVA (km)	FORMA (-)	DIMENSIONI (m)			(H/d) (-)	Q MAX (m3/s)	Q(Tr=100) (m3/s)
			b	h1	Φ			
169	23+909	C			0.80	1.50	1.25	0.48
170	24+100	C			0.80	1.50	1.25	0.42
171	24+301	C			0.80	1.50	1.25	0.52
172	24+434	C			1.00	1.50	2.19	0.83
174	24+783	C			1.00	1.50	2.19	0.97
175	24+971	A	2.00	1.40		1.50	7.85	7.21
177	25+108	C			0.80	1.50	1.25	0.44
179	25+351	C			1.00	1.50	2.19	0.22
184	26+886	C			0.80	1.50	1.25	0.30
185	26+961	C			0.60	1.50	0.61	0.48
186	27+069	C			1.00	1.50	2.19	0.47
187	27+276	C			1.00	1.50	2.19	0.38
113T	svincolo Pistoia	C			0.80	1.50	1.25	0.36
260	36+852	R	1.00	1.75		1.25	4.76	0.07
261	36+971	C			1.20	1.50	3.45	1.74
263	37+141	C			1.40	1.50	5.07	0.86
264	37+218	R	2.00	2.40		1.50	20.02	4.44
265	37+412	C			0.80	1.50	1.25	0.57
266	37+583	C			0.80	1.50	1.25	0.13
268	37+771	C			0.80	1.50	1.25	0.12
269	37+943	C			1.10	1.50	2.78	0.58

Tabella 42 - Verifica idraulica delle opere minori tramite il metodo U.S.G.S.

dove :

NUMERO OPERA [-] codice identificativo dell'opera (sul cui imbocco si chiude il bacino idrografico del [m] diametro dell'attraversamento,

PROGRESSIVA [km] corso d'acqua minore),
localizzazione opera sul tracciato autostradale,
FORMA [-] geometria attraversamento: R (rettangolare) C(circolare),
b [m] larghezza dell'attraversamento,
h [m] altezza dell'attraversamento,

H/d[-] rapporto tra il carico totale assunto e la dimensione dell'opera,
Q MAX [m³/s] portata massima transitabile nell'opera di attraversamento,
Q(Tr=100) [m³/s] portata di verifica a tempo di ritorno 100 anni,

6 PROGETTO DI RECUPERO DEI VOLUMI SOTTRATTI ALL'ESONDAZIONE

Nell'ambito della progettazione degli interventi di ampliamento alla terza corsia lungo la direttrice autostradale A11 Firenze-Pisa Nord, nel tratto compreso tra Firenze e Pistoia (dal km 0+621 – al km 27+392), è stato eseguito, secondo le indicazioni dell'Autorità di Bacino del fiume Arno, uno studio relativo al recupero dei volumi sottratti all'esondazione dei corsi d'acqua provocato dall'incremento dell'area pavimentata autostradale.

L'obiettivo della presente relazione è quantificare il volume sottratto all'esondazione dall'ampliamento del corpo autostradale. Il calcolo è stato effettuato considerando un tirante idrico che si instaura nelle aree allagate in caso di piena, determinato in funzione della perimetrazione delle aree interessate da eventi alluvionali significativi e delle aree con differenti gradi di pericolosità definite dall'Autorità di Bacino.

Il tirante idrico ipotizzato è stato verificato compatibilmente con l'andamento altimetrico dell'autostrada, riducendone il valore nei tratti in cui, per la ridotta altezza del rilevato stradale, si sarebbe verificata una tracimazione e quindi l'assenza di volumi invasati.

Dall'applicazione di tale metodologia, esplicitata nel dettaglio nei paragrafi successivi, risulta un volume sottratto all'esondazione dei corsi d'acqua di circa 259.200 m³ per il tratto Firenze-Pistoia e di circa 15.550 m³ per il tratto Monsummano-Montecatini, per un totale di 274.750 m³.

6.1 QUADRO CONOSCITIVO DI BASE

La documentazione impiegata per le analisi di cui in oggetto fanno capo principalmente al "Piano di bacino del fiume Arno", stralcio "Rischio idraulico" emesso dall'Autorità di Bacino del fiume Arno, approvato con DPCM del 5/11/1999 e pubblicato sulla G.U. n. 226 del 22/12/1999.

Tale Piano prevede una serie di vincoli e prescrizioni per la riduzione del rischio idraulico nel Bacino dell'Arno. In data 11 novembre 2004 il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno ha definitivamente adottato il Piano di Bacino, stralcio "Assetto idrogeologico" (PAI). La normativa di piano è entrata in vigore con il D.P.C.M. del 6/05/05.

La cartografia di riferimento per il presente progetto è descritta ai seguenti paragrafi.

6.1.1 Carta degli interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico nel bacino dell'Arno

Redatte dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno, la "Carta degli interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico nel bacino dell'Arno" e la "Carta guida delle aree allagate redatta sulla base degli eventi alluvionali significativi (1966-1999)" sono allegare al Piano di Bacino stralcio "Rischio Idraulico" approvato con DPCM del 5 novembre 1999.

La "carta degli interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico nel bacino dell'Arno" individua le aree soggette a vincolo per la realizzazione di aree per esondazione controllata, casse di espansione ed invasi di laminazione.

In tali aree, in base alle norme di attuazione n. 2-3 del Piano di Bacino suddetto è prevista l'inedificabilità totale; risultano escluse alcune opere tra cui, per quanto di interesse, le infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico riferite a servizi essenziali, purché non concorrano ad incrementare il rischio idraulico e non precludano la possibilità di attuare gli interventi previsti dal piano, previa concertazione tra enti ed Autorità di Bacino.

La "carta guida delle aree allagate redatta sulla base degli eventi alluvionali significativi (1966-1999)" fornisce invece indicazioni di pericolosità idraulica sulla base degli eventi alluvionali significativi, posteriori e comprendenti quello del novembre 1966.

In tali aree, in base alla norma di attuazione n°6 e, fatte salve le norme 2-3, è previsto che le opere che comportano trasformazioni edilizie ed urbanistiche potranno essere realizzate a condizione che venga documentato dal proponente ed accertato dall'autorità amministrativa competente al rilascio dell'autorizzazione il non incremento del rischio idraulico da esse determinabile o che siano individuati gli interventi necessari alle mitigazioni di tale rischio, da realizzarsi contestualmente all'esecuzione delle opere richieste.

6.2 CALCOLO DEI VOLUMI SOTTRATTI ALL'ESONDAZIONE

6.2.1 Tratto Firenze – Pistoia (km 0+621 – 27+390)

Con riferimento alla "carta guida delle aree allagate redatta sulla base degli eventi alluvionali significativi (1966-1999)" sono state identificate 4 categorie principali di aree soggette a inondazioni di differente entità, cui è stato associato un tirante idrico di prima ipotesi:

- Aree a inondazioni frequenti, caratterizzate da un tirante idrico di 0,50 m;
- Aree a inondazioni eccezionali, caratterizzate da un tirante idrico di 1,0 m;
- Aree interessate da inondazioni nel triennio 1991-1993, caratterizzate da un tirante idrico di 1,5 m;
- Aree a inondazioni ricorrenti, caratterizzate da un tirante idrico di 2,0 m.

Le informazioni della suddetta base cartografica sono state confrontate e integrate, specialmente per l'area compresa tra il fiume Bisenzio e il torrente Iolo, con le indicazioni fornite dalla "corografia idraulica con indicazione delle aree di pericolosità".

I tiranti idrici individuati per le differenti aree soggette a inondazioni sono stati quindi confrontati con il profilo altimetrico dell'infrastruttura autostradale. Nei tratti in cui tale battente determinerebbe una tracimazione della sede stradale, e quindi, di fatto, una riduzione dei volumi invasabili per ripristino della continuità idraulica a monte e a valle dell'autostrada, l'altezza d'acqua di progetto è stata ridotta, secondo la seguente scala di valori:

- Aree a inondazioni frequenti ridotte, tirante idrico di 0,3 m;
- Aree a inondazioni eccezionali ridotte, tirante idrico di 0,6 m;
- Aree interessate da inondazioni nel triennio 1991-1993 ridotte, tirante idrico di 0,8 m;
- Aree a inondazioni ricorrenti ridotte, tirante idrico di 1,2 m.

Il tratto autostradale soggetto all'intervento di ampliamento Firenze-Pistoia è stato dunque suddiviso in singole porzioni caratterizzate dai battenti idrici sopra riportati e il volume sottratto all'esondazione è stato calcolato ipotizzando una superficie data dalla larghezza

dell'ampliamento (5,0 m per carreggiata) per la lunghezza del tratto autostradale considerato.

Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati conseguiti.

Carreggiata Ovest (direzione Firenze):

Progr. inizio (m)	Progr. fine (m)	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Superficie (m ²)	Esondazioni	Tirante idrico (m)	Volume (m ³)
621	1200	579	5	2894	ECCEZIONALI RIDOTTE	0,6	1736
1200	1665	465	5	2327	ECCEZIONALI	1	2327
3350	3900	550	5	2750	ECCEZIONALI	1	2750
5130	5800	670	5	3350	ECCEZIONALI	1	3350
5800	6370	570	5	2850	TRIENNIO	1,5	4275
6370	7000	630	5	3150	TRIENNIO RIDOTTE	0,8	2520
7000	8020	1020	5	5100	TRIENNIO	1,5	7650
8020	8350	330	5	1650	ECCEZIONALI	1	1650
8400	9750	1350	5	6750	FREQUENTI	0,5	3375
9750	11015	1265	5	6325	FREQUENTI RIDOTTE	0,3	1898
11015	15475	4460	5	22300	FREQUENTI	0,5	11150
15480	15790	310	5	1550	TRIENNIO	1,5	2325
15790	16000	210	5	1050	ECCEZIONALI	1	1050
16000	16275	275	5	1375	ECCEZIONALI RIDOTTE	0,6	825
16275	16600	325	5	1625	ECCEZIONALI	1	1625
17675	17950	275	5	1375	ECCEZIONALI	1	1375
17950	18120	170	5	850	ECCEZIONALI RIDOTTE	0,6	510
18150	19000	850	5	4250	ECCEZIONALI	1	4250
19000	20650	1650	5	8250	RICORRENTI RIDOTTE	1,2	9900
20650	21350	700	5	3500	RICORRENTI	2	7000
21350	24850	3500	5	17500	RICORRENTI RIDOTTE	1,2	21000
24850	25575	725	5	3625	RICORRENTI	2	7250
25575	26500	925	5	4625	RICORRENTI RIDOTTE	1,2	5550
26500	27075	575	5	2875	RICORRENTI	2	5750
27075	27300	225	5	1125	RICORRENTI RIDOTTE	1,2	1350

112.441

Tabella 43 – Volumi sottratti all'esondazione in carreggiata Ovest.

Carreggiata Est (direzione Pisa):

Progr. inizio (m)	Progr. fine (m)	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Superficie (m ²)	Esondazioni	Tirante idrico (m)	Volume (m ³)
1650	2850	1200	5	6000	ECCEZIONALI	1	6000
3160	3706	546	5	2730	ECCEZIONALI	1	2730
3706	3950	244	5	1220	TRIENNIO RIDOTTE	0,8	976
4610	4760	150	5	750	ECCEZIONALI RIDOTTE	0,6	450
5250	5950	700	5	3500	ECCEZIONALI	1	3500
5950	6600	650	5	3250	TRIENNIO	1,5	4875
6600	6950	350	5	1750	TRIENNIO RIDOTTE	0,8	1400
6950	8000	1050	5	5250	TRIENNIO	1,5	7875
8020	9750	1730	5	8650	ECCEZIONALI	1	8650
9750	10700	950	5	4750	ECCEZIONALI RIDOTTE	0,6	2850
10700	15440	4740	5	23700	ECCEZIONALI	1	23700
15475	16800	1325	5	6625	TRIENNIO	1,5	9938
17050	17625	575	5	2875	TRIENNIO	1,5	4313
17675	18120	445	5	2225	ECCEZIONALI	1	2225
18150	19005	855	5	4275	RICORRENTI	2	8550
19005	20650	1645	5	8225	RICORRENTI RIDOTTE	1,2	9870
20650	21425	775	5	3875	RICORRENTI	2	7750
21425	24825	3400	5	17000	RICORRENTI RIDOTTE	1,2	20400
24825	25575	750	5	3750	RICORRENTI	2	7500
25575	26475	900	5	4500	RICORRENTI RIDOTTE	1,2	5400
26475	27050	575	5	2875	RICORRENTI	2	5750
27050	27393	343	5	1715	RICORRENTI RIDOTTE	1,2	2058

146.759
Tabella 44 - Volumi sottratti all'esondazione in carreggiata Est.

I volumi riconducibili alle differenti aree soggette ad esondazione nel tratto autostradale in progetto sono riassunti nella seguente tabella.

Aree soggette a esondazioni	Tirante idrico (m)	Volume carreggiata Ovest (m ³)	Volume carreggiata Est (m ³)	Volume (m ³)
FREQUENTI	0,5	14525	0	14525
ECCEZIONALI	1	18377	46805	65182
RICORRENTI	2	20000	29550	49550
TRIENNIO	1,5	14250	27000	41250
ECCEZIONALI RIDOTTO	0,6	3071	3300	6371
TRIENNIO RIDOTTO	0,8	2520	2376	4896
FREQUENTI RIDOTTO	0,3	1898	0	1898
RICORRENTI RIDOTTO	1,2	37800	37728	75528
		112.441	146.759	259.200

Tabella 45 - Volumi sottratti all'esondazione.

Il volume sottratto all'esondazione dei corsi d'acqua dall'ampliamento della superficie pavimentata autostradale risulta complessivamente di 259.200 m³, di cui 112.441 m³ determinati dalla carreggiata Ovest e 146.759 m³ dalla carreggiata Est.

6.2.2 Tratto Monsummano – Montecatini (km 36+660 – 38+748)

In assenza di informazioni specifiche relative agli eventi alluvionali significativi, per il tratto in oggetto sono stati assunti i massimi tiranti idrici possibili, compatibilmente con il profilo altimetrico dell'infrastruttura autostradale, secondo la seguente scala di valori: 0,50 m, 1,00 m, 1,50 m e 2,00 m.

In analogia al tratto Firenze-Pistoia, il tratto autostradale soggetto all'intervento di ampliamento Monsummano-Montecatini è stato suddiviso in singole porzioni caratterizzate dai battenti idrici sopra riportati e il volume sottratto all'esondazione è stato calcolato ipotizzando una superficie data dalla larghezza dell'ampliamento (5,0 m per carreggiata) per la lunghezza del tratto autostradale considerato.

Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati conseguiti.

Asse Ovest (direzione Pisa):

Progr. inizio (m)	Progr. fine (m)	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Superficie (m ²)	Tirante idrico (m)	Volume (m ³)
36650	36730	80	5	400	0,5	200
36730	36775	45	6	225	1	225
36775	36850	75	7	375	1,5	562,5
36850	37375	525	8	2625	2	5250
37375	37396	21	9	105	1,5	157,5
37396	37450	54	10	270	1	270
37450	37525	75	11	375	0,5	187,5
37827	37994	167	12	835	0,5	417,5
37994	38030	36	13	180	1	180

7.450

Tabella 46 - Volumi sottratti all'esonazione Asse Ovest.

Asse Est (direzione Firenze):

Progr. inizio (m)	Progr. fine (m)	Lunghezza (m)	Larghezza (m)	Superficie (m ²)	Tirante idrico (m)	Volume (m ³)
36800	36850	50	5	250	1,5	375
36850	36900	50	5	250	0,5	125
36900	37396	496	5	2480	2	4960
37396	37475	79	5	395	1	395
37475	37650	175	5	875	0,5	437,5
37688	37762	74	5	370	0,5	185
37787	38111	324	5	1620	1	1620

8.097

Tabella 47 – Volumi sottratti all'esonazione Asse Est.

Il volume sottratto all'esonazione dei corsi d'acqua dall'ampliamento della superficie pavimentata autostradale risulta complessivamente di quasi 15.550 m³, di cui 7.450 m³ determinati dall'asse Ovest (direzione Pisa) e 8.097 m³ dall'asse Est (direzione Firenze).

ALLEGATO 1**Descrizione del codice di calcolo Hec-Ras**

Il codice di calcolo HEC-RAS dell' U.S. Army Corps of Engineers consente di determinare il profilo idraulico, lungo un determinato tratto fluviale o canale artificiale, in condizioni di moto stazionario e vario.

Possono essere analizzate condizioni di moto in corrente lenta, condizioni di moto critiche e condizioni di regime misto.

Il codice di calcolo permette di descrivere in maniera dettagliata la geometria delle singole sezioni idrauliche, tenendo conto di scabrezze differenti non solo in diversi tratti del corso d'acqua, ma anche all'interno della stessa sezione, ad esempio per differenziare le zone golenali e il canale principale. Esso consente inoltre di modellizzare l'andamento meandriforme di un corso d'acqua, sia in ambito monodimensionale che QUASI 2D, indicando differenti lunghezze del tratto che separa due sezioni adiacenti per la golenale in sponda sinistra, la golenale in sponda destra ed il canale principale.

Le ipotesi di base che caratterizzano il codice di calcolo sono:

- il moto della corrente è permanente e gradualmente variato;
- il deflusso della corrente è monodimensionale: le componenti della velocità nelle direzioni diverse da quella principale della corrente non vengono considerate; le equazioni utilizzate assumono che il carico totale è lo stesso per tutti i punti appartenenti ad una generica sezione;
- la pendenza del fondo alveo è limitata (inferiore a 1:10);
- la cadente è assunta costante tra due sezioni adiacenti;
- la geometria delle sezioni idrauliche è fissa.

Il programma di calcolo opera integrando le equazioni generali del moto secondo il metodo denominato nella letteratura anglosassone "Standard Step Method". Il processo di calcolo si sviluppa a seconda delle caratteristiche della corrente, lenta o veloce, dalla sezione estrema di valle o dalla sezione estrema di monte, dove vengono assegnate dall'utente le condizioni al contorno, e procede verso l'altro estremo.

In corrispondenza dei ponti o di eventuali canali a sezione chiusa, dove i meccanismi caratterizzanti il fenomeno sono più complessi, vengono utilizzati metodi di calcolo specifici.

L'equazione differenziale fondamentale del moto permanente, viene risolta nella seguente forma:

$$H_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = H_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \Delta E \quad (6.1)$$

dove (si veda la Figura 36):

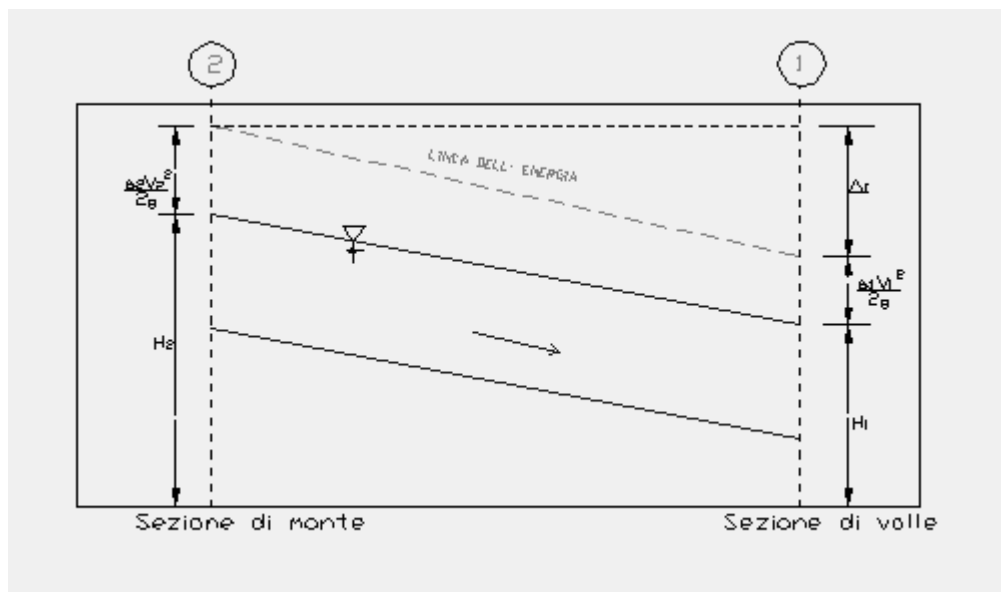


Figura 36: Grandezze presenti nell'equazione dell'energia.

- H_1, H_2 : quote assolute della superficie della corrente alle sezioni 1 e 2;
- v_1, v_2 : velocità medie della corrente (portata totale/area totale bagnata);
- α_1, α_2 : coefficienti di ragguglio della potenza cinetica (coefficienti di Coriolis);
- ΔE : perdita di carico tra le sezioni 2 e 1.

La perdita di carico tra due sezioni è data dalla somma delle perdite distribuite lungo il tratto d'alveo compreso tra le due sezioni e le eventuali perdite dovute alla contrazione o alla

espansione della corrente. L'espressione che permette il calcolo della perdita di carico risulta:

$$\Delta E = L \cdot J + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right| \quad (6.2)$$

dove:

- L : lunghezza del tratto d'alveo in esame;
- J : cadente piezometrica;
- C : coefficiente che tiene conto dei fenomeni di contrazione ed espansione della corrente.

La distanza L tra due successive sezioni viene valutata con la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{gs} Q_{gs} + L_c Q_c + L_{gd} Q_{gd}}{Q_{gs} + Q_c + Q_{gd}} \quad (6.3)$$

dove:

- L_{gs} , L_{gd} , L_c : distanza percorsa dalla corrente rispettivamente in golena sinistra, destra e nel canale principale;
- Q_{gs} , Q_{gd} , Q_c : portate rispettivamente defluite alla sezione terminale in golena sinistra, destra e nel canale principale.

La cadente piezometrica può essere ricavata attraverso la seguente espressione:

$$J = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{k_1 + k_2} \right)^2 \quad (6.4)$$

essendo:

- Q_1 , Q_2 : portata transitata rispettivamente alla sezione 1 e alla sezione 2;
- k_1 , k_2 : capacità di deflusso (conveyance) totale rispettivamente associata alla sezione 1 e alla sezione 2.

La capacità di deflusso è calcolabile attraverso la seguente espressione:

$$k = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad (6.5)$$

essendo:

- n : coefficiente di Manning;
- A : area bagnata;
- R : raggio idraulico.

La capacità di deflusso complessiva di una determinata sezione è data dalla somma delle capacità di deflusso delle due golene e del canale principale. Ciascuna parte con cui si è idealmente suddivisa la sezione idraulica è infatti caratterizzata, una volta noto o ipotizzato il tirante idrico, da una determinata area bagnata e raggio idraulico; da qui la possibilità di applicare la (6.5) per calcolare la capacità di deflusso per la golena in sponda destra, sinistra e per il canale principale.

Il coefficiente di ragguglio della potenza cinetica (coefficiente di Coriolis) viene calcolato attraverso la seguente espressione:

$$\alpha = \left(\frac{k_{gs}^3}{A_{gs}^2} + \frac{k_c^3}{A_c^2} + \frac{k_{gd}^3}{A_{gd}^2} \right) \frac{A_t^2}{k_t^3} \quad (6.6)$$

dove:

- A_t, A_{gs}, A_{gd}, A_c : rispettivamente area totale bagnata della sezione, area bagnata in golena destra, in golena sinistra e nel canale principale;
- k_t, k_{gs}, k_{gd}, k_c : rispettivamente capacità di deflusso della sezione nel suo complesso, per la golena sinistra, la golena destra e per il canale principale.

Il coefficiente C viene introdotto per tenere in conto delle perdite energetiche dovute ai fenomeni di espansione o di contrazione della corrente. Esso viene definito dall'utente, sezione per sezione, in funzione delle caratteristiche del fenomeno di transizione. I valori tipici di tale coefficiente vengono indicati in Figura 37.

 spea <small>autostrade</small> ingegneria europea	AUTOSTRADA (A11) Firenze – Pisa Nord Ampliamento alla terza corsia del Tratto Firenze – Pistoia Progetto Definitivo
---	--

Descrizione	Coefficiente di contrazione	Coefficiente di espansione
Nessuna perdita per contrazione o espansione	0.0	0.0
Transizione graduale	0.1	0.3
Ponti	0.3	0.5
Transizioni molto brusche	0.6	0.8

Figura 37: Valori tipici del coefficiente C.

La risoluzione delle equazioni (6.1) e (6.2) attraverso un procedimento iterativo permette di determinare l'andamento del profilo idrico in moto permanente una volta assegnate le caratteristiche geometriche e fisiche dell'alveo e le condizioni ai limiti del problema.

Il processo di risoluzione è volto essenzialmente ad individuare quel tirante idrico (nella sezione in cui esso non risulta già noto o calcolato in precedenza) che permette di verificare il bilancio energetico, espresso dalla (6.1), a meno di una tolleranza prefissata e ritenuta soddisfacente dall'utente. Per i dettagli di calcolo si rinvia alla documentazione del codice di calcolo.

Nei casi in cui si verifica il passaggio attraverso lo stato critico, l'equazione dell'energia (6.1) non può essere applicata in quanto la transizione tra moto in corrente lenta e moto in corrente veloce e viceversa non rispetta le ipotesi di moto gradualmente variato. Ciò può, ad esempio, verificarsi in seguito a elevati cambi di pendenza o alla presenza di forti restringimenti della sezione idraulica. In questi casi il codice di calcolo permette di risolvere il problema utilizzando o delle formule empiriche oppure l'equazione del momento.

In particolare l'equazione del momento può essere applicata, nel codice di calcolo HEC-RAS in tre differenti situazioni:

- presenza di un risalto idraulico;
- condizioni di deflusso attraverso un ponte senza che si generi un processo di moto in pressione;
- immissione di una corrente in un'altra corrente.

Senza entrare nei particolari, per i quali si rimanda alla letteratura specializzata ed al manuale scientifico del codice di calcolo, è qui il caso solo di riportare l'equazione del momento applicata ad una determinata massa d'acqua compresa tra due sezioni distinte 1 e 2:

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x \quad (6.7)$$

dove (vedi Figura 38):

- P_i : forza legata alla pressione idrostatica agente sulle sezioni 1 e 2;
- W_x : forza peso proiettata nella direzione del moto;
- F_f : forza legata agli attriti;
- Q : portata;
- ρ : densità dell'acqua;
- ΔV_x : variazione di velocità nella direzione del moto.

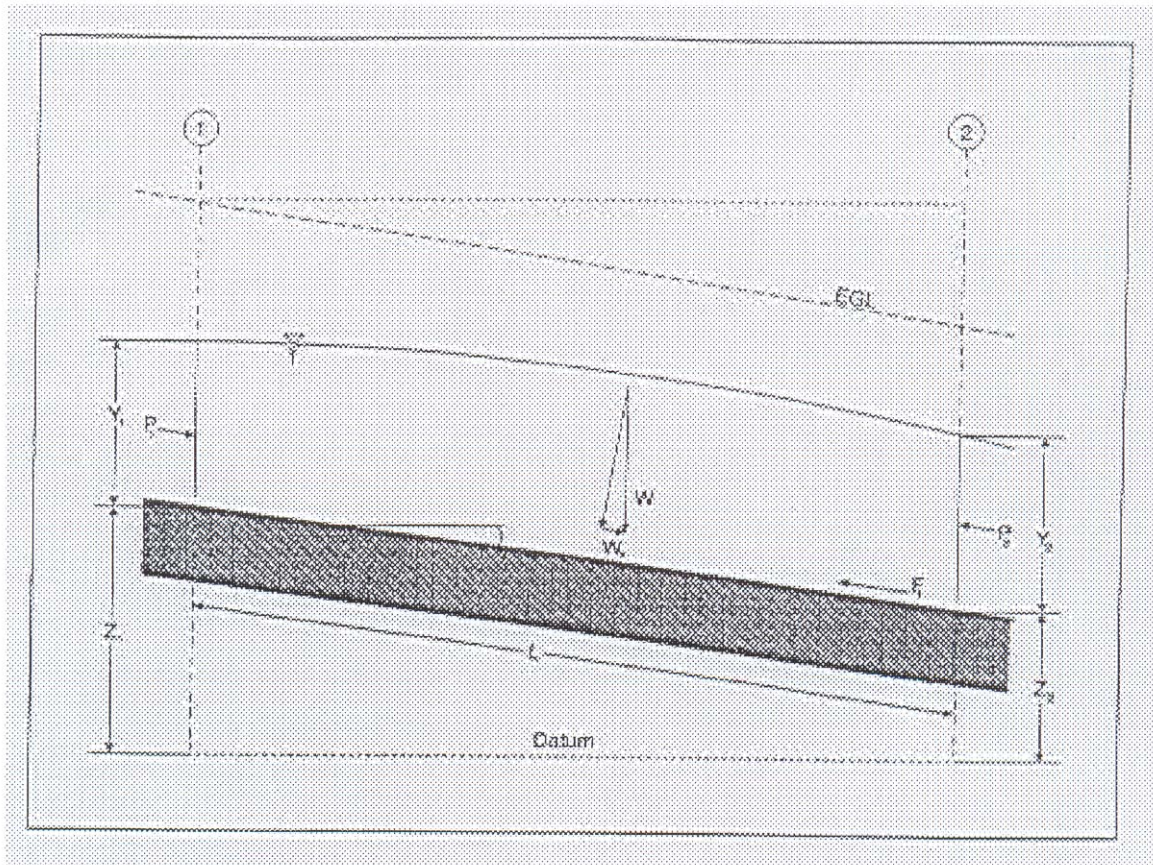


Figura 38: Elementi caratteristici dell'equazione del momento.

In corrispondenza dei ponti, dove i meccanismi caratterizzanti il fenomeno sono più complessi, vengono utilizzati metodi di calcolo specifici. Il codice di calcolo permette di considerare l'intera gamma di condizioni che possono generarsi in un processo di deflusso attraverso un ponte. Tali condizioni sono di seguito riportate:

- la corrente non viene in contatto con l'intradosso del ponte (Low flow);
- la corrente viene in contatto con l'intradosso del ponte (Pressure/Weir flow).

La prima condizione a sua volta prevede i seguenti casi:

- la corrente si mantiene lenta durante l'attraversamento del ponte (Class A low flow);
- la corrente transita attraverso la profondità critica (Class B low flow);
- la corrente si mantiene veloce durante l'attraversamento del ponte (Class C low flow).

La seconda condizione prevede a sua volta i seguenti casi:

- il ponte risulta in pressione (Pressure flow);
- il ponte viene sormontato (Pressure and Weir flow).

Le perdite energetiche caratteristiche del deflusso attraverso la struttura comprendono:

- le perdite che si sviluppano nei tratti immediatamente a monte e a valle del manufatto; tali perdite sono dovute essenzialmente ai processi di contrazione ed espansione della corrente;
- le perdite che si generano proprio nel processo di deflusso attraverso la struttura.

In funzione delle condizioni di deflusso che vengono a crearsi, si applicano metodi di calcolo differenti per valutare le perdite di carico e quindi l'andamento del profilo idraulico nell'intorno della struttura.

Il codice di calcolo permette di risolvere i problemi relativi al deflusso di portata anche attraverso i tombini. La risoluzione di tali problemi si fonda sull'approccio teorico proposto nella letteratura specializzata (cfr. *“Open Channel Hydraulics”*, V.T.Chow).

Il tipo di deflusso attraverso un tombino può essere catalogato come deflusso con sezione di controllo presso l'imbocco (in seguito **“inlet control”**) o con sezione di controllo presso l'uscita (**“outlet control”**).

Nel caso di **“inlet control”** la capacità del tombino dipende dal carico idraulico alla sezione di approccio, dalla geometria della sezione di ingresso, dal tipo di imbocco. La scabrezza del tombino, la sua lunghezza e pendenza, le condizioni idrauliche del ricettore di valle non sono elementi determinanti in grado di influenzare la capacità di deflusso.

Nel caso di **“outlet control”** gli elementi determinanti per fissare la capacità idraulica del tombino sono, oltre a quelli caratteristici del caso precedente, la lunghezza, la pendenza e la scabrezza del tombino e le caratteristiche idrauliche del ricettore di valle.

Il codice di calcolo risolve generalmente il problema calcolando, per la portata fissata dall'utente, il tirante idrico nella sezione di approccio al tombino utilizzando sia le equazioni adatte ai casi di "inlet control" sia quelle per i casi di "outlet control". Si assume quindi che la soluzione è quella cui è associato il massimo tirante idrico.

Nei casi di "inlet control" il tirante idrico a monte del tombino viene calcolato schematizzando il moto della corrente come quello che si genera sotto una paratoia a battente. Nei casi di "outlet control" il tirante idrico a monte del tombino viene calcolato a partire dal tirante idrico alla sezione di sbocco del tombino e considerando le perdite energetiche concentrate e distribuite che si determinano nel processo di deflusso.