

## AUTOSTRADA (A1): MILANO-NAPOLI

### AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA NEL TRATTO INCISA - VALDARNO

#### LOTTO 2

## PROGETTO ESECUTIVO

### DG - DOCUMENTAZIONE GENERALE

#### IDROLOGIA E IDRAULICA Parte generale

#### Relazione idrologica

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO

Ing. Paolo De Paoli  
Ord. Ingg. Pavia N. 1739

Responsabile Idrologia e Idraulica

IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE  
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Paola Castiglioni  
Ord. Ingg. Varese N. 2725

IL DIRETTORE TECNICO

Ing. Orlando Mazza  
Ord. Ingg. Pavia N. 1496

Progettazione Infrastrutture

#### CODICE IDENTIFICATIVO

RIFERIMENTO PROGETTO		RIFERIMENTO DIRETTORIO					RIFERIMENTO ELABORATO				ORDINATORE
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	-
119941	LL02	PE	DG	IDR	GE000	00000	R	IDR	0330	-1	SCALA -

 <small>Gruppo Autostrade per l'Italia</small>	PROJECT MANAGER:	SUPPORTO SPECIALISTICO:	REVISIONE	
	Ing. Paola Castiglioni Ord. Ingg. Varese N. 2725		n.	data
			0	LUGLIO 2020
			1	APRILE 2021
REDATTO:		VERIFICATO:		

VISTO DEL COMMITTENTE



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO  
Ing. Furio Cruciani

VISTO DEL CONCEDENTE



**Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti**  
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE  
STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

## Sommario

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE ED IDROLOGICHE GENERALI .....</b>	<b>3</b>
2.1	IDROGRAFIA.....	3
2.2	IDROLOGIA .....	3
2.2.1	Analisi delle piogge .....	4
2.2.2	Dati pluviometrici.....	4
2.2.3	Determinazione delle curve di possibilità climatica.....	5
2.2.4	Metodo Razionale e tempo di corrivazione di Ventura.....	8
2.3	DATI DI PORTATA PER I BACINI PRINCIPALI.....	10
2.4	PORTATE DI PIENA DI PROGETTO .....	10
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO NORMATIVO.....</b>	<b>12</b>
3.1	NORMATIVA NAZIONALE.....	12
3.2	NORMATIVA REGIONALE .....	15
3.2.1	Corsi d'acqua classificati ai sensi della Delibera C.R.T. n. 12/2000.....	17
3.2.2	Riduzione dell'impermeabilizzazione .....	18
3.2.3	Recupero dei volumi tolti all'esondazione .....	18
3.2.4	Fasce PGRA.....	18
<b>4</b>	<b>VERIFICA IDRAULICA DELLE INTERFERENZE CON I CORSI D'ACQUA .....</b>	<b>20</b>
4.1	PORTATE DI PROGETTO E METODOLOGIA IDRAULICA .....	20
4.2	DIMENSIONAMENTO DELLE PROTEZIONI.....	20
4.2.1	Metodo delle tensioni di trascinamento.....	21
4.3	ANALISI DELLE VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE.....	22
4.3.1	Opera 2089 – Tombino circolare tipo Finsider DN1980.....	24
4.3.2	Opera 2090 – Tombino circolare tipo Finsider DN1520.....	24
4.3.3	Opera 2092 – Tombino circolare in calcestruzzo DN1000.....	25
4.3.4	Opera 2093 – Tombino circolare in calcestruzzo DN1000.....	25
4.3.5	Opera 2094 – Ponte sul Torrente Resco.....	25
4.3.6	Opera 2098 - Tombino circolare in calcestruzzo DN1000 e nuovo scatolare .....	26
4.3.7	Opera 2102 – Ponte sul Torrente Faella.....	26
4.3.8	Opera 2111 – Tombino circolare tipo Finsider DN2130/Scatolare .....	27
4.3.9	Opera 2112 – Tombino circolare tipo Finsider DN1520/Scatolare .....	27
4.3.10	Opera 2113 – Tombino circolare tipo Finsider DN1520/Scatolare .....	27
4.3.11	Opera 2114 – Tombino circolare tipo Finsider DN2130/Scatolare .....	28
4.3.12	Opera 2115 – Tombino circolare tipo Finsider DN1520/Scatolare .....	28
4.3.13	Opera 2116 – Tombino circolare tipo Finsider DN1520/Scatolare .....	28
4.3.14	Opera 2118 – Tombino scatolare 2.8x3 m.....	29
4.3.15	Opera 2123 – Ponte sul Borro Riofi delle Cave.....	29
4.3.16	Opera 2130 – Ponte sul Borro delle Ville .....	30
4.3.17	Opera 2132 – Tombino circolare in calcestruzzo DN1000.....	31
4.3.18	Opera 2138 e 2138 bis– Tombino circolare in calcestruzzo DN1000 e nuovo scatolare .....	31
4.3.19	Opera 2140 – Tombino circolare in calcestruzzo DN1400.....	31
4.3.20	Opera 2141 – Ponte sul Torrente Ciuffenna.....	31
<b>5</b>	<b>COMPATIBILITÀ CON IL FIUME ARNO .....</b>	<b>33</b>
<b>6</b>	<b>MESSA IN SICUREZZA DELL'AUTOSTRADA .....</b>	<b>36</b>
<b>7</b>	<b>INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO .....</b>	<b>37</b>
<b>8</b>	<b>CALCOLO DEI VOLUMI TOLTI ALL'ESONDAZIONE.....</b>	<b>38</b>
<b>9</b>	<b>PROTEZIONE DEL RILEVATO AUTOSTRADALE .....</b>	<b>40</b>

## 1 Premessa

La presente relazione idrologico-idraulica fa parte del progetto esecutivo dell'ampliamento alla terza corsia dell'Autostrada Milano – Napoli nel tratto Incisa – Valdarno (Lotto 2).

Il progetto esecutivo sotto gli aspetti idrografici, idrologici ed idraulici é stato articolato secondo i seguenti argomenti principali:

- analisi del sistema fisico territoriale mediante la caratterizzazione dei bacini, del regime delle precipitazioni e dei deflussi, in termini statistico probabilistici;
- caratterizzazione della vulnerabilità del territorio con riferimento ai vincoli di tipo idraulico, censiti e catalogati dagli Enti preposti (Regione, Province, Autorità di bacino del fiume Arno, Consorzi di bonifica);
- individuazione delle interferenze idrografiche e verifica idraulica degli attraversamenti autostradali;
- progettazione degli interventi da attuarsi.

Per l'esame del regime delle precipitazioni e dei deflussi, l'ambito territoriale di riferimento si estende all'intero bacino idrografico sotteso alla sezione di chiusura (fiume, torrente, fosso, canale) in corrispondenza dell'attraversamento autostradale.

## 2 Caratteristiche idrografiche ed idrologiche generali

Lo studio idrologico è stato condotto sia a livello tipologico (idrografia), descrivendo le caratteristiche morfologiche dei bacini e dei corsi d'acqua, che attraverso l'analisi delle precipitazioni e dei deflussi (idrologia).

### 2.1 Idrografia

Il reticolo idrografico facente capo all'area oggetto di studio è stato caratterizzato attraverso le due tipologie fondamentali di drenaggio: dendritico e parallelo.

La tipologia di drenaggio definisce lo sviluppo della rete a livello strutturale. I due tipi principali sono stati scelti in base alla bibliografia esistente.

Il tipo dendritico, di forma arborescente sviluppatosi uniformemente in ogni direzione, con un canale principale che si suddivide in rami via via meno importanti procedendo verso monte, è molto comune e per lo più associato ad aree a litologia uniforme. Esso è formato da un elevato numero di piccoli corsi d'acqua che si uniscono l'un l'altro, generalmente con angolo acuto, andando a formare il corso d'acqua principale.

Il tipo parallelo caratterizza aree a strati geologici uniformemente inclinati. Tale forma è spesso tipica di situazioni embrionali di drenaggio in cui il fattore tempo non ha ancora permesso lo sviluppo di reti più complesse. Tale forma è però anche caratteristica da reti fortemente antropizzate.

I reticoli idrografici possono presentare caratteristiche che si collocano tra quelle precedentemente descritte le quali rappresentano le estreme tipologie generate da identici fattori genetici, in situazioni geologiche ordinarie. In questi casi vengono denominati sub dendritici e sub paralleli.

Nel tratto Incisa – Valdarno viene descritto un solo bacino principale interessato dall'intervento di progetto, ovvero quello caratterizzato dalla maggiore superficie (A) sottesa in corrispondenza dell'opera di attraversamento (non si reputa utile un'analoga caratterizzazione di tipo idrografico dei bacini di estensione minore).

### 2.2 Idrologia

La caratterizzazione della rete idrografica riportante le interferenze con l'autostrada è riportata nella Corografia Idrografica.

La verifica idrologica è stata realizzata per individuare:

- gli eventi meteorici critici per i bacini idrografici interessati;
- le portate di piena aventi determinata ricorrenza statistica.

Il tracciato, ricadendo in parte nella provincia di Firenze e in parte nella provincia di Arezzo, con il suo sviluppo di circa 20 km, si articola interamente nella Valle dell'Arno nelle immediate vicinanze del fiume stesso.

Vengono ad essere interessati solo corsi d'acqua naturali.

Le interferenze idrauliche presentano inoltre una casistica estremamente articolata in termini di dimensione dei bacini idrografici di volta in volta interessati.

Nella seguente sintesi della trattazione idrologica vengono esaminate le specifiche problematiche relative alle condizioni climatiche incontrate.

Per la definizione delle principali caratteristiche idrologiche dei corsi d'acqua e dei bacini idrografici sottesi (area, lunghezza dell'asta principale, quota di riferimento, ecc..) è stata utilizzata la cartografia 1:10.000. Per i corsi d'acqua di dimensioni modeste, si è invece utilizzata una cartografia di maggior dettaglio.

La numerazione di ciascun attraversamento riportata nella presente trattazione è riferita a tali elaborati.

### 2.2.1 Analisi delle piogge

Di seguito è descritta l'analisi delle piogge che è stata utilizzata per il calcolo delle portate dei corsi d'acqua minori. Per i corsi d'acqua principali vengono invece adottate le onde di piena fornite dal SIR della Regione Toscana.

I dati utilizzati per l'analisi delle precipitazioni sono stati estratti dagli annuali idrologici pubblicati dal Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (SIMI) aggiornati con i dati non pubblicati relativi al periodo dal 1986 al 1993, reperiti presso gli uffici del medesimo Ente.

### 2.2.2 Dati pluviometrici

L'analisi idrologica è stata effettuata definendo il regime delle piogge di breve durata e notevole intensità, considerando durate inferiori all'ora e comprese tra 1 e 24 ore.

L'acquisizione dei dati pluviometrici si è limitata quindi a considerare le stazioni dotate di pluviometro registratore che permettono di individuare le precipitazioni di massima intensità e breve durata (Annali Idrologici, Parte I, Tabelle III e V).

Per lo studio idrologico eseguito in progettazione definitiva, erano state analizzate inizialmente tre stazioni pluviografiche gestite dal Servizio Idrografico e Mareografico - Sezione di Pisa - dotate di strumento registratore, adiacenti all'area in esame.

Nella tabella 2.1 si riportano le caratteristiche delle tre stazioni pluviografiche di interesse.

La serie storica esaminata comprende 61 anni, dal 1951 al 2014. La mancanza di registrazioni relative a durate inferiori all'ora, per gli anni precedenti al 1951, non ha reso possibile un'ulteriore estensione della serie.

Tabella 2.1: Stazioni pluviografiche considerate in progettazione definitiva

<b>Cod. stazione</b>	<b>Stazione</b>	<b>Comune</b>	<b>Lat.</b>	<b>Long.</b>	<b>Quota (m slm)</b>	<b>Bacino</b>
TOS10001080	Firenze (Idrografico)	Firenze	43.783	11.256	50.00	Arno
TOS10001090	Firenze (Ximeniano)	Firenze	43.776	11.256	48.00	Arno
TOS01001141	Antella	Bagno a Ripoli	43.730	11.330	170.00	Arno

In progettazione esecutiva, è stata invece considerata una nuova stazione, Renacci (Fattoria), che ricade all'interno del comune di S.Giovanni Valdarno (Tabella 2.2).

Tale stazione, oltre ad essere da un punto di vista geografico più idonea rispetto alle precedenti, presenta valori di pioggia più elevati, che garantiscono verifiche idrauliche più a favore di sicurezza rispetto alle precedenti svolte in progettazione definitiva.

Tabella 2.2: Stazione pluviografica considerata in progettazione esecutiva

Cod. stazione	Stazione	Comune	Lat.	Long.	Quota (m slm)	Bacino
TOS10000870	Renacci (Fattoria)	S.Giovanni Val.	43.591	11.526	210.00	Arno

### 2.2.3 Determinazione delle curve di possibilità climatica

Le elaborazioni condotte sui dati raccolti sono state finalizzate all'individuazione, per ogni stazione, della curva di possibilità climatica o pluviometrica, esprimibile con la relazione:

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

in cui l'altezza di pioggia (in mm) è legata alla durata (in ore) tramite i parametri a e n, ricavati dalla serie di dati mediante elaborazione statistica.

Nello studio idrologico è stata utilizzata la distribuzione di probabilità asintotica di Gumbel per le altezze di pioggia.

Questa elaborazione è stata applicata a tutte le stazioni analizzate, con riferimento ai tempi di ritorno di 10, 25, 50, 100, 200 e 500 anni.

A ciascuna stazione pluviografica e per ciascun tempo di ritorno risulta pertanto associata una curva di possibilità climatica per eventi di pioggia di durata da 0 a 24 ore.

Si riportano di seguito i dati storici della stazione Renacci (Fattoria) TOS010000870 che sono di tipo discontinuo e vanno dal 1951 al 2014 per un totale di 61 anni di dati archiviati.

Tabella 2.3: storico Renacci (Fattoria) delle intensità di pioggia e casi critici dal 1951 al 2014

Anno	Durata (h)					Casi Critici Tot=61	Durata (h)				
	1	3	6	12	24		1	3	6	12	24
1948	40.0	52.8	52.8	71.6	73.8	1	80.0	143.0	145.2	155.0	227.0
1949	31.0	41.0	44.8	62.4	70.4	2	45.8	76.4	102.4	145.2	145.6
1950	15.0	31.2	40.0	43.4	43.4	3	45.6	74.0	102.0	106.4	124.0
1951	18.0	31.6	47.4	47.6	47.6	4	41.8	68.6	80.8	96.0	109.6
1952	12.0	24.0	28.6	31.4	31.4	5	41.2	67.0	77.6	89.4	90.0
1953	30.2	30.2	30.2	34.8	38.4	6	40.0	60.0	75.4	86.0	89.8
1954	27.0	45.2	45.2	45.2	45.2	7	39.8	53.4	69.8	80.7	87.1
1955	22.4	28.0	34.2	37.4	41.2	8	37.0	53.0	61.7	79.0	83.2
1956	12.0	20.0	31.6	36.6	52.4	9	36.0	52.8	56.6	71.6	79.2
1957	15.0	21.0	26.6	36.0	36.6	10	35.0	47.4	55.8	69.8	77.0
1958	18.4	20.0	28.0	50.6	57.0	11	33.2	45.2	52.8	62.4	73.8
1963	20.2	24.6	42.8	50.8	60.0	12	33.0	45.2	51.2	62.4	70.4
1964	35.0	76.4	102.4	106.4	109.6	13	31.4	42.2	50.6	62.0	69.8
1965	80.0	143.0	145.2	145.2	145.6	14	31.0	41.0	47.4	60.2	66.4
1966	36.0	74.0	102.0	155.0	227.0	15	30.4	40.0	46.2	57.1	65.2
1967	16.0	26.4	33.6	40.0	43.8	16	30.3	39.3	46.0	56.0	64.8
1968	21.6	28.2	38.0	38.4	38.4	17	30.2	39.2	45.9	55.0	63.8
1969	33.0	60.0	75.4	86.0	89.8	18	27.4	39.0	45.2	54.4	61.6
1970	19.0	22.6	23.2	26.4	30.6	19	27.0	38.8	45.0	54.4	60.0
1971	16.2	22.6	32.8	33.0	36.0	20	26.8	38.2	44.8	54.2	58.6
1972	18.4	20.0	24.8	31.6	47.8	21	26.6	37.2	43.8	53.2	58.2
1973	41.2	53.0	55.8	56.0	56.0	22	24.6	36.6	43.6	53.0	57.4
1974	18.8	26.4	34.8	44.8	57.4	23	23.4	35.2	42.8	50.8	57.4
1975	22.0	27.0	36.0	44.0	51.4	24	23.2	34.2	42.0	50.8	57.2
1976	23.2	33.0	40.8	50.8	64.8	25	23.2	34.0	40.8	50.6	57.0
1977	19.0	21.6	29.0	33.2	33.2	26	22.4	33.0	40.0	48.6	56.0
1978	13.6	18.8	24.0	38.8	44.4	27	22.4	31.6	40.0	47.6	54.8
1979	18.8	34.0	46.2	54.4	54.8	28	22.4	31.2	39.2	47.4	53.4
1980	20.0	38.8	43.6	54.4	61.6	29	22.2	31.2	39.0	47.0	53.2
1981	30.4	37.2	51.2	54.2	66.4	30	22.0	30.8	38.4	46.0	53.0
1982	22.0	39.0	39.0	40.0	51.4	31	22.0	30.2	38.0	45.2	52.6
1983	17.4	22.0	26.2	36.2	52.6	32	21.6	28.2	36.6	44.8	52.4
1984	22.4	31.2	31.2	31.4	33.6	33	21.0	28.0	36.0	44.2	51.4
1985	12.0	17.2	18.6	33.0	53.0	34	20.2	27.2	34.8	44.0	51.4
1986	19.8	25.0	29.8	41.2	58.6	35	20.0	27.0	34.2	43.4	51.2
1987	24.6	39.2	39.2	62.4	77.0	36	19.8	26.6	33.6	41.4	51.0
1988	13.4	18.6	18.8	35.0	35.4	37	19.0	26.4	32.8	41.2	50.8
1989	30.3	35.2	45.9	57.1	65.2	38	19.0	26.4	32.2	40.0	50.0
1992	33.2	47.4	56.6	96.0	124.0	39	18.8	26.0	31.6	40.0	49.6
1993	45.6	67.0	80.8	89.4	90.0	40	18.8	25.0	31.6	40.0	49.2
1994	41.8	45.2	46.0	46.0	46.0	41	18.4	24.8	31.2	38.8	47.8
1995	16.8	21.6	30.4	48.6	57.4	42	18.4	24.6	30.4	38.4	47.6
1996	22.4	36.6	42.0	47.4	58.2	43	18.0	24.2	30.2	38.2	46.0
1997	15.2	24.2	30.2	44.2	50.0	44	17.4	24.0	30.2	37.4	45.2
1998	21.0	24.8	27.9	38.2	50.8	45	16.8	23.6	29.8	37.0	44.6
1999	14.8	26.6	38.4	41.4	41.8	46	16.8	22.6	29.0	36.6	44.4
2000	22.2	39.3	61.7	80.7	87.1	47	16.2	22.6	28.6	36.2	43.8
2001	26.6	27.2	31.6	47.0	51.2	48	16.0	22.0	28.0	36.0	43.4
2002	23.2	26.0	27.2	37.0	49.2	49	15.4	21.6	27.9	35.0	41.8
2003	6.4	10.0	14.4	20.4	28.6	50	15.2	21.6	27.2	34.8	41.2
2004	39.8	40.0	40.0	40.0	51.0	51	15.0	21.0	26.6	33.2	38.4
2005	27.4	34.2	36.6	55.0	57.2	52	15.0	20.0	26.2	33.2	38.4
2006	15.4	23.6	32.2	62.0	83.2	53	14.8	20.0	24.8	33.0	36.6
2007	14.0	18.4	21.2	33.2	44.6	54	14.0	20.0	24.0	33.0	36.0
2008	37.0	38.2	43.8	60.2	63.8	55	13.6	19.0	23.2	31.8	35.4
2009	16.8	19.0	22.8	27.2	32.0	56	13.4	18.8	22.8	31.6	33.6
2010	31.4	53.4	77.6	79.0	79.2	57	12.0	18.6	21.2	31.4	33.2
2011	23.4	30.8	45.0	53.0	53.4	58	12.0	18.4	18.8	31.4	32.0
2012	45.8	68.6	69.8	69.8	69.8	59	12.0	17.2	18.8	27.2	31.4
2013	26.8	42.2	50.6	53.2	53.2	60	7.6	13.4	18.6	26.4	30.6
2014	7.6	13.4	18.8	31.8	49.6	61	6.4	10.0	14.4	20.4	28.6

Tabella 2.4: distribuzione di Gumbel: parametri “a” in funzione del tempo di ritorno

Tr (anni)	P(a)	a (mm/h)
2	0,5000	24,40
3	0,6667	29,64
5	0,8000	35,47
10	0,9000	42,80
15	0,9333	46,94
20	0,9500	49,83
25	0,9600	52,06
30	0,9667	53,88
35	0,9714	55,41
40	0,9750	56,73
45	0,9778	57,89
50	0,9800	58,93
60	0,9833	60,73
70	0,9857	62,25
80	0,9875	63,56
90	0,9889	64,72
100	0,9900	65,75
150	0,9933	69,73
200	0,9950	72,55
300	0,9967	76,51
400	0,9975	79,33
500	0,9980	81,51
1000	0,9990	88,29

Dalla regolarizzazione dei minimi quadrati per piogge di durata superiore all’ora, si ottiene un valore costante di “n” pari a 0.2936.

Poiché per piogge di breve durata (inferiori a 1 ora) la curva di probabilità pluviometrica restituisce dei valori di “n” che sono lontani da quelli reali, si è fatto riferimento ai rapporti tra le altezze di pioggia di durate inferiori all’ora rispetto a quelle di durata oraria, valori dedotti dal Manuale di progettazione – Sistemi di fognatura – Hoepli che si riferiscono ad un campione di 17 anni di osservazione. (Calenda et al.): si ottiene per  $h < 1$  ora un parametro “n” pari a 0.4499.

Nella tabella seguente si riportano, perciò i parametri “a” ed “n” delle curve di possibilità pluviometrica adottati per ciascun tempo di ritorno.

Tabella 2.5: Curve di possibilità pluviometrica Renacci (Fattoria)

t	n	a					
		Tr = 10 anni	Tr = 25 anni	Tr = 50 anni	Tr = 100 anni	Tr = 200 anni	Tr = 500 anni
< 1 ora	<b>0.4499</b>	<b>42.80</b>	<b>52.06</b>	<b>58.93</b>	<b>65.75</b>	<b>72.55</b>	<b>81.51</b>
> 1 ora	<b>0.2936</b>	<b>42.80</b>	<b>52.06</b>	<b>58.93</b>	<b>65.75</b>	<b>72.55</b>	<b>81.51</b>

Per la valutazione della portata di piena si è utilizzata la formula razionale utilizzando un tempo di corrivazione calcolato tramite la relazione di Ventura. Questa risulta infatti particolarmente indicata per bacini di piccole dimensioni con estensione intorno al chilometro quadrato.

Per confronto è stato calcolato il tempo di corrivazione con la formula di Pasini che ha dato risultati molto simili.

In generale, però, si è assunto un valore minimo del tempo di corrivazione dei bacini naturali pari a 15 minuti; tempi inferiori infatti risulterebbero poco rappresentativi della situazione reale.

### 2.2.4 Metodo Razionale e tempo di corrivazione di Ventura

Il metodo razionale è un procedimento particolarmente semplice ed efficace per calcolare la portata al colmo di piena Q con un tempo di ritorno T assegnato alla sezione di chiusura di un bacino.

Il metodo si fonda sull'utilizzo della curva di possibilità climatica della pioggia ragguagliata e sulle seguenti ipotesi:

- la portata al colmo di piena Q con assegnato tempo di ritorno è la maggiore, tra le portate al colmo di tutti gli eventi di piena a intensità costante ricavati dalla curva di possibilità climatica con tempo di ritorno T;
- a parità di tempo di ritorno, la portata al colmo maggiore è prodotta dall'evento la cui durata è identica al tempo di corrivazione;
- la portata al colmo dell'evento di piena causato da una precipitazione ragguagliata rappresentata da un ietogramma a intensità costante di durata  $t_c$  è proporzionale al prodotto fra l'intensità di pioggia ragguagliata  $i_r$  e l'area del bacino A.

La portata al colmo sarà quindi data dalla relazione:

$$Q = \frac{\phi \cdot i(t_c, T) \cdot A}{3.6}$$

Dove:

- $i$  è l'intensità di pioggia, calcolata tramite la curva di possibilità climatica, che è funzione del tempo di corrivazione  $t_c$  e del tempo di ritorno T;
- A è la superficie del bacino in Km<sup>2</sup>;

- $f$  è il coefficiente di deflusso che tiene conto delle caratteristiche geomorfologiche del bacino; nel caso in esame è stato posto pari a 0.6 tenendo conto delle dimensioni ridotte dei bacini e della forte pendenza.

Per quanto riguarda il tempo di corrivazione è stato scelto di utilizzare la formula di Ventura data la scarsa estensione dei bacini considerati.

$$t_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$$

Dove:

- $A$  è la superficie del bacino
- $i_m$  è la pendenza media del corso d'acqua principale

Di seguito si riportano le caratteristiche dei bacini in esame ed il relativo tempo di corrivazione calcolato secondo la formulazione sopra esposta.

**Tabella 2.9: Caratteristiche dei corsi d'acqua minori**

Num. opera	Tipologia	Corso d'acqua	$H_{max}$	$H_{min}$	L (m)	A	$i_m$	$t_c$
			<i>m s.l.m.</i>	<i>m s.l.m.</i>	<i>m</i>	<i>Km<sup>2</sup></i>	<i>m/m</i>	<i>ore</i>
2089	Finsider DN2000	Compluvio	231.70	125.07	1944.98	0.47	0.05	0.37
2090	Finsider DN1520	Compluvio	151.70	123.35	426.00	0.06	0.07	0.25
2092	DN1000	Compluvio	151.70	123.90	366.50	0.07	0.08	0.25
2093	DN1000	Compluvio	124.60	123.14	214.80	0.02	0.01	0.25
2098	DN1000	Compluvio	126.00	123.57	823.29	0.26	0.00	1.19
2111	Finsider DN2130/Valle scatolare	Compluvio	173.70	128.00	935.30	0.23	0.05	0.28
2112	Finsider DN1520/Valle scatolare	Compluvio	155.60	127.80	861.66	0.20	0.03	0.32
2113	Finsider DN1520/Valle scatolare	Compluvio	175.00	128.00	812.05	0.17	0.06	0.25
2114	Finsider DN2130/Valle scatolare	Compluvio	221.40	127.96	908.30	0.19	0.10	0.25
2115	Finsider DN1520/Valle scatolare	Compluvio	221.40	129.48	594.00	0.17	0.15	0.25
2116	Finsider DN1520/Valle scatolare	Compluvio	220.00	129.89	603.35	0.10	0.15	0.25
2118	Scatolare	Compluvio	226.20	130.20	779.73	0.32	0.12	0.25
2132	DN1000	Compluvio	187.30	133.45	450.00	0.07	0.12	0.25
2138	DN1000	Compluvio	204.00	136.85	496.00	0.16	0.14	0.25
2140	DN1400	Compluvio	204.00	137.11	541.00	0.16	0.12	0.25

Tutte le opere ricadenti nella zona nella quale verrà realizzata la cassa di espansione di Pizziconi non sono state modellate idraulicamente, sebbene le opere siano prolungate con una sezione analoga a quella esistente. Questo perché le acque di questi corsi d'acqua andranno a finire all'interno della cassa e da qui nel Faella senza passare più nei tombini.

Nella tabella, su alcune opere è riportata una doppia sezione. Questo perché questi tombini sono nella zona nella quale l'autostrada è stata costruita in parte sull'argine antecedente. All'epoca sotto l'argine era stata lasciata la vecchia opera (tombino scatolare solitamente molto alto e stretto) mentre il suo prolungamento verso monte era stato realizzato con un Finsider. Lo scatolare di valle costituisce sempre un restringimento causando quindi un forte rigurgito a monte. Per questo motivo, si è quindi

deciso di demolire tutti i tombini sotto l'argine e sostituirli con tombini Finsider di diametro uguale a quello presente sotto il rilevato autostradale.

### **2.3 Dati di portata per i bacini principali**

Per i bacini idrografici dei principali corsi d'acqua interferenti con le opere in progetto sulla A1 nel tratto Incisa – Valdarno, i valori delle portate di piena sono stati forniti direttamente dalla Regione Toscana. Detti dati consistono in idrogrammi di piena per differenti tempi di ritorno (500, 200, 100, 30 e 10 anni) e diversa durata dell'evento critico considerato (50 minuti, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24 e 36 ore). Per la scelta del valore di picco da assumere nelle progettazioni, si è fatto riferimento al tempo di ritorno di progetto e alla durata che massimizza il picco di piena, indipendentemente dal calcolo del tempo di corrivazione caratteristico del bacino.

Tabella 2.10: Portate di picco dei corsi d'acqua principali

Corso d'acqua	Tr 10	Tr 30	Tr 100	Tr 200	Tr500
Resco	125.0	187.5	264.8	310.4	371.6
Faella	80.1	112.3	151.5	175.1	207.1
Riofi	113.4	163.1	224.0	260.0	308.7
Ville	45.0	60.8	78.8	89.5	104.6
Ciuffenna	97.6	144.4	228.9	291.9	396.1

### **2.4 Portate di piena di progetto**

Nella tabella 2.11 sono riepilogati i valori delle portate di piena di progetto.

Per i bacini di maggior estensione, si sono presi i valori di portata relativi alla sezione di immissione nel Fiume Arno.

Per ciascun attraversamento è riportato un numero progressivo e la codifica dell'opera esistente. Gli attraversamenti sono stati individuati nelle "Planimetrie localizzazione interventi".

La tabella riporta il nome del corso d'acqua interessato, la superficie del bacino idrografico sotteso (A) e le portate di progetto.

I dati delle portate di piena sono utilizzati in fase di progettazione per la verifica degli attraversamenti e per la progettazione delle eventuali sistemazioni idrauliche.

La portata del Fiume Arno è stata desunta dal modello bidimensionale messo a punto dall'Autorità di Bacino Arno.

**Tabella 2.11: Portate di piena di progetto**

N°	N° opera	PK	Tipologia	Corso d'acqua	A	t <sub>c</sub>	Q <sub>200</sub> AdB	Q <sub>200</sub> Metodo Razionale
		<i>Km</i>			<i>Km<sup>2</sup></i>		<i>m<sup>3</sup>/s</i>	<i>m<sup>3</sup>/s</i>
20	2089	323+970.53	Finsider DN2000		0.466	0.37		9.72
21	2090	324+162.96	Finsider DN1520		0.056	0.25		1.46
22	2092	324+444.70	DN1000		0.073	0.25		1.90
23	2093	324+670.97	DN1000		0.022	0.25		0.57
24	2094	324+865.86	Ponte	Torrente Resco	52.51		310.40	
25	2098	325+623.44	DN1000		0.26	1.19		2.76
26	2102	326+360.25	Ponte	Torrente Faella	21.63		175.10	
27	2111	328+758.91	Finsider DN2130/Valle scatolare		0.229	0.28		5.63
28	2112	329+034.67	Finsider DN1520/Valle scatolare		0.203	0.32		4.59
29	2113	329+336.81	Finsider DN1520/Valle scatolare		0.172	0.25		4.45
30	2114	329+494.51	Finsider DN2130/Valle scatolare		0.194	0.25		5.03
31	2115	329+958.08	Finsider DN1520/Valle scatolare		0.173	0.25		4.49
32	2116	330+166.26	Finsider DN1520/Valle scatolare		0.095	0.25		2.47
33	2118	330+645.86	Scatolare		0.321	0.25		8.32
34	2123	331+618.90	Ponte	Borro di Riofi delle Cave	41.29		260.00	
35	2130	332+920.71	Scatolare	Borro delle Ville	8.62		89.50	
36	2132	333+287.58	DN1000		0.07	0.25		1.89
37	2138	334+671.23	DN1000		0.16	0.25		4.22(*)
38	2139	334+814.55	DN1000		0.06	0.25		1.56
39	2140	335+029.20	DN1400		0.16	0.25		4.10
40	2141	335+225.98	Ponte	Torrente Ciuffenna	63.93		291.86	

(\*) contributo del bacino naturale, aggiungendo il deflusso derivante dal sistema di drenaggio della frana di Poggilupi si ottiene una portata pari a 5.18 mc/s

### 3 Inquadramento normativo

In questo capitolo vengono descritti i principali riferimenti normativi e gli strumenti di pianificazione e di tutela presenti sul territorio, a scala nazionale, regionale e provinciale, al fine di fornire un quadro esaustivo della normativa vigente nel campo idrologico-idraulico, ambientale e di difesa del suolo, in modo da verificare la compatibilità degli interventi previsti con le prescrizioni dei suddetti strumenti di legge.

#### 3.1 Normativa nazionale

Di seguito vengono riportate le principali leggi nazionali in materia ambientale e di difesa del suolo, accompagnate da un breve stralcio descrittivo.

##### RD 25/07/1904 n° 523

Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie.

##### Regio Decreto Legislativo 30/12/1923, n° 3267

Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani.

La legge introduce il vincolo idrogeologico.

##### DPR 15/01/1972 n° 8

Trasferimento alle Regioni a statuto ordinario delle funzioni amministrative statali in materia di urbanistica e di viabilità, acquedotti e lavori pubblici di interesse regionale e dei relativi personali ed uffici.

##### L. 64/74

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

##### L. 319/76 (Legge Merli)

Norme per la tutela delle acque dall'inquinamento.

La legge sancisce l'obbligo per le Regioni di elaborare il Piano di risanamento delle acque.

##### DPR 24/7/1977 n° 616

Trasferimento delle funzioni statali alle Regioni

##### L. 431/85 (Legge Galasso)

Conversione in legge con modificazioni del decreto legge 27 giugno 1985, n. 312 concernente disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale.

L. 183/89

Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo.

Scopo della legge è la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi (art. 1 comma 1).

Vengono inoltre individuate le attività di pianificazione, di programmazione e di attuazione (art. 3); vengono istituiti il Comitato Nazionale per la difesa del suolo (art. 6) e l'Autorità di Bacino (art. 12).

Vengono individuati i bacini idrografici di rilievo nazionale, interregionale e regionale (artt. 13, 14, 15, 16) e date le prime indicazioni per la redazione dei Piani di Bacino (artt. 17, 18, 19).

L. 142/90

Ordinamento delle autonomie locali.

DL 04-12-1993 n° 496

Disposizioni urgenti sulla riorganizzazione dei controlli ambientali e istituzione della Agenzia nazionale per la protezione dell'ambiente. (Convertito con modificazioni dalla L. 61/94).

L. 36/94 (Legge Galli)

Disposizioni in materia di risorse idriche.

DPR 14/4/94

Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale ed interregionale, di cui alla legge 18 maggio 1989, N. 183.

DPR 18/7/95

Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei Piani di Bacino.

DPCM 4/3/96

Disposizioni in materia di risorse idriche (direttive di attuazione della Legge Galli).

Decreto Legislativo 31/3/1998, n° 112

Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59

DPCM 29/9/98

Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1989, N. 180.

Il decreto indica i criteri di individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico (punto 2) e gli indirizzi per la definizione delle norme di salvaguardia (punto 3).

L. 267/98 (Legge Sarno)

Conversione in legge del DL 180/98 recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella Regione Campania.

La legge impone alle Autorità di Bacino nazionali e interregionali la redazione dei Piani Stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico e le misure di prevenzione per le aree a rischio (art. 1).

DL 152/99

Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole.

DL 258/00

Disposizioni correttive e integrative del DL 152/99.

L. 365/00 (Legge Soverato)

Conversione in legge del DL 279/00 recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile, nonché a favore delle zone della Regione Calabria danneggiate dalle calamità di settembre e ottobre 2000.

La legge individua gli interventi per le aree a rischio idrogeologico e in materia di protezione civile (art. 1); individua la procedura per l'adozione dei progetti di Piano Stralcio (art. 1-bis); prevede un'attività straordinaria di polizia idraulica e di controllo sul territorio (art. 2).

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152

Tale decreto ha riorganizzato le Autorità di bacino introducendo i distretti idrografici. Disciplina, in attuazione della legge 15 dicembre 2004, n. 308, la difesa del suolo e la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque dall'inquinamento e la gestione delle risorse idriche. Modifica ed integra il DL 152/99.

Si riportano inoltre gli estremi di alcune leggi riguardanti la progettazione e la verifica dei ponti stradali:

L. 532/1904

Testo unico sulle opere idrauliche. Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo dei ponti stradali

D. Min. LL.PP 4 maggio 1990

Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo dei ponti stradali.

*“Quando il ponte interessa un corso d'acqua naturale o artificiale, il progetto dovrà essere corredato da una relazione riguardante i problemi idrologici, idrografici ed idraulici relativi alle scelte progettuali, alla costruzione e all'esercizio del ponte.*

*L'ampiezza e l'approfondimento della relazione e delle indagini che ne costituiscono la base saranno commisurati all'importanza del problema e al grado di elaborazione del progetto.*

*Una cura particolare è da dedicare, in ogni caso, al problema delle escavazioni dell'alveo ed alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle.*

*La trattazione dei citati problemi dovrà avvenire nel rispetto del testo unico 25 luglio 1904, n. 523 e successivi aggiornamenti.” (Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo dei ponti stradali – par. 2.4)*

D. Min. LL.PP. 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni

Il Capitolo 5 di tale DM è relativo ai ponti e tratta della “Compatibilità idraulica” con le opere d'arte.

Circolare n. 617 del 02/02/2009 Min. LL.PP.

### **3.2 Normativa regionale**

Come visto, l'area di interesse ricade interamente all'interno dei confini amministrativi della Regione Toscana.

Si riporta una breve sintesi del quadro normativo vigente in materia di vincoli idraulici sul territorio.

Il quadro legislativo storico è costituito dal T.U. sulle OO.PP. di cui al R.D. 25/7/1904 n.523 in cui le opere idrauliche sono il centro di tutto il sistema di difesa idraulica e vengono divise in cinque categorie. Nel tempo sono state modificate le varie competenze idrauliche dei vari organismi (Provveditorato alle OO.PP. per la Toscana, Ufficio Regionale Tutela del Territorio, Provincia, Consorzi di Bonifica) all'interno di tale classificazione, che non viene riportata nel presente studio, la Regione Toscana con delibera in data 13 dicembre 1993 ha sospeso temporaneamente le trasformazioni di destinazione d'uso e le costruzioni su aree interessate da inondazioni o ristagni nel 1991 - 1992 - 1993, ai sensi dell'art.6 della L.R. 31/12/1984, n° 74 prevedendosi in una seconda fase (Del. C.R. n° 90 dell'8 marzo 1994) la sospensione del rilascio di autorizzazioni e concessioni edilizie in prossimità dei corsi d'acqua.

Successivamente con la Delibera 21/6/1994, n° 230 “Provvedimenti sul rischio idraulico” ed aggiornata con delibera C.R.T. n.12/2000, il Consiglio Regionale della Toscana ha definito fasce proporzionali alla larghezza dei corsi d'acqua nelle quali è sospesa l'edificazione, chiedendo ai singoli Comuni di esprimersi dopo opportune indagini al fine di mitigare con fasce definite da un punto di vista più consona, geomorfologico - storico, penalizzazioni indotte da un criterio puramente geometrico.

L'**Autorità di Bacino del fiume Arno** ha redatto il “**Piano di Bacino del Fiume Arno stralcio Rischio idraulico**” approvato con DPCM del 5 novembre 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 (che verranno analizzati nei successivi paragrafi).

In data 11 novembre 2004 il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino ha definitivamente adottato il Piano di bacino del Fiume Arno, Stralcio Assetto Idrogeologico (P.A.I.). La normativa è entrata in vigore con D.P.C.M. del 6 maggio 2005 "Approvazione del Piano di Bacino del Fiume Arno, stralcio assetto idrogeologico" pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 230 del 3/10/2005.

Nelle aree P.I.4, P.I.3, P.F.4, P.F.3 così come individuate nella cartografia di Piano si applicano le misure di salvaguardia riportate negli articoli 8-9-10 e 11 della delibera del Comitato Istituzionale n. 85 dell'11 novembre 2004 e della delibera del Comitato Istituzionale n. 187 del 15 febbraio 2005.

#### Legge Regionale n. 79/2012

Nuova disciplina in materia di Consorzi di Bonifica. Modifica alla L.R. 69/2008 e alla L.R. 91/1998. Abrogazione della L.R. 34/1997.

Con Delibera n. 101 del 21/12/2016 il Consiglio Regionale ha approvato il secondo aggiornamento del reticolo idrografico e di gestione, previsto dalla normativa regionale ai fini della difesa del suolo e della manutenzione dei corsi d'acqua da parte dei Consorzi di Bonifica.

#### Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale

Il 17 febbraio 2017 entra in vigore il decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n. 294 del 25 ottobre 2016 (pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 27 del 2 febbraio 2017) in materia di **Autorità di bacino distrettuali**.

Tale decreto, ai sensi dell'art. 63 comma 3 del d.lgs. 152/2006, dà avvio alla riforma distrettuale ed è finalizzato a disciplinare le modalità e i criteri per il trasferimento del personale e delle risorse strumentali e finanziarie dalle vecchie Autorità di bacino alla nuova Autorità distrettuale.

Dal 17 febbraio 2017 risultano soppresse, per espressa disposizione di legge (rif. art. 51 comma 4 della legge n. 221/2015), tutte le Autorità di bacino di cui alla legge 183/1989 e quindi anche l'Autorità di bacino del fiume Arno, sostituita dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

A tal riguardo, il decreto ministeriale all'art. 12 contiene importanti disposizioni, volte a garantire la continuità delle funzioni tecniche e amministrative delle soppresse Autorità di bacino, nelle more del completamento della riforma e del perfezionamento del d.p.c.m., previsto all'art. 63 comma 4 del d.lgs. 152/2006, con il quale si darà l'avvio operativo ai nuovi enti.

Il nuovo impianto organizzativo che scaturisce dalla legge n. 221/2015 e dal decreto n. 294 razionalizza e semplifica le competenze del settore, con l'esercizio da parte di un solo ente – l'Autorità di bacino distrettuale – delle funzioni di predisposizione del Piano di bacino distrettuale e dei relativi stralci, tra cui il **Piano di Gestione delle Acque** e il **Piano di Gestione del Rischio Alluvioni**, a livello di distretto idrografico.

#### Legge Regionale n. 41/2018

Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n.49. Modifiche alla L.R. 80/2015 e L.R.65/2014. abroga la legge regionale 21 maggio 2012, nr. 21 (Disposizioni urgenti in materia di difesa dal rischio idraulico e tutela dei corsi d'acqua).

### **3.2.1 Corsi d'acqua classificati ai sensi della Delibera C.R.T. n. 12/2000**

La Delibera C.R.T. n.12/2000, approvazione del Piano di Indirizzo Territoriale, aggiorna la Delibera 230/94 e definisce le zone soggette a prescrizioni e vincoli per la riduzione del rischio idraulico in base ad un elenco di corsi d'acqua definito nella medesima delibera.

Con riferimento a tali corsi d'acqua vengono definiti i limiti territoriali su cui si applicano le varie prescrizioni. In particolare vengono definiti gli ambiti territoriali di tipo A, con prescrizioni e vincoli relativi alla progettazione di nuove opere, e di tipo B, con prescrizioni e vincoli relativi alla formazione di strumenti urbanistici.

L'ambito di tipo A a sua volta si suddivide in A1 ed A2.

L'ambito A1 è definito di assoluta protezione del corso d'acqua entro la distanza di 10 m, misurata dal ciglio del fosso o comunque dal piede esterno arginale nel caso di alveo pensile; sono fatte salve le opere idrauliche, di attraversamento del corso d'acqua, gli interventi trasversali di captazione e restituzione delle acque, nonché gli adeguamenti di infrastrutture esistenti senza avanzamento verso il corso d'acqua, a condizione che si attuino le precauzioni necessarie per la riduzione del rischio idraulico relativamente alla natura dell'intervento ed al contesto territoriale e si consenta comunque il miglioramento dell'accessibilità al corso d'acqua.

L'ambito A2, da applicarsi ai corsi d'acqua classificati ed aventi larghezza superiore a 10 m (misurata a partire dal piede esterno degli argini oppure, ove mancanti, fra i cigli di sponda), corrisponde alle fasce immediatamente esterne all'ambito A1 che hanno larghezza pari a quella del corso d'acqua, con un massimo di 100 m. In tale ambito sono ammessi interventi a condizione che venga contestualmente documentata l'assenza delle condizioni di rischio legate a fenomeni di esondazione e ristagno ovvero si approvino gli interventi necessari per la riduzione del rischio idraulico.

L'ambito B comprende le aree potenzialmente inondabili in prossimità dei corsi d'acqua. Tale ambito corrisponde alle aree a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a due metri sopra il piede esterno d'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda. Il limite esterno di tale ambito è determinato dai punti di incontro delle perpendicolari all'asse del corso d'acqua con il terreno alla quota altimetrica come sopra individuata e non potrà comunque superare la distanza di metri lineari 300 dal piede esterno dell'argine o dal ciglio di sponda.

Le previsioni urbanistiche in tale ambito potranno essere approvate purché si effettui sul corso d'acqua interessato una specifica indagine idrologico-idraulica al fine di individuare l'eventuale presenza del rischio idraulico valutato sulla base della piena con tempo di ritorno duecentennale. In presenza di rischio idraulico così definito dovranno essere individuati nello strumento urbanistico gli interventi di regimazione idraulica nonché le aree da destinare alla localizzazione degli stessi per preservare le nuove previsioni ed i centri abitati vicini.

I corsi d'acqua naturali interessati dal tracciato autostradale e classificati dalla normativa sul rischio idraulico (la sigla di riferimento è riportata tra parentesi) sono:

- Torrente Faella (FI 2595 AR)
- Torrente Resco (FI 2783 AR)
- Borro delle Volpaie (AR 504)
- Borro Riofi delle Cave (AR 434)
- Borro delle Ville (AR 505)

### 3.2.2 Riduzione dell'impermeabilizzazione

La Delibera Regionale CRT 12/2000 prescrive alcune linee guida per la riduzione dell'impermeabilizzazione superficiale relativamente ai progetti per la realizzazione delle sistemazioni esterne, dei parcheggi e delle viabilità, che dovranno essere fatti privilegiando sistemazioni superficiali che consentano la ritenzione temporanea delle acque e diversificando per quanto possibile il loro scarico in fognatura.

L'impermeabilizzazione di superfici la cui destinazione d'uso è agricola, o assimilabile all'agricola, modifica il regime dei deflussi del reticolo idrografico determinando in generale un aumento dei picchi di portata. La compensazione di tale effetto, per evitare che la progressiva impermeabilizzazione del territorio determini situazioni di crisi idraulica sui canali progettati per scenari differenti, impone l'adozione, nella fase di progetto dei nuovi interventi edilizi ed infrastrutturali, di criteri di "autocontenimento" dei deflussi.

Il calcolo del volume di compenso per l'aumento di impermeabilizzazione è riportato nella relazione relativa al sistema di drenaggio autostradale.

### 3.2.3 Recupero dei volumi tolti all'esondazione

Al fine di non incrementare il rischio delle zone interessate dall'ampliamento dell'autostrada, si è previsto il recupero dei volumi tolti all'esondazione. Il calcolo è stato fatto riportando sulle sezioni autostradali i livelli idrici duecentennali forniti dal Genio Civile Valdarno Superiore. Per ulteriori dettagli si rimanda al capitolo relativo.

### 3.2.4 Fasce PGRA

Le fasce del PGRA sono state emesse dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale e suddividono il territorio in funzione della probabilità di accadimento di fenomeni alluvionali:

- P1 alluvioni rare (bassa probabilità di accadimento): tempo di ritorno superiore a 200 anni.
- P2 alluvioni poco frequenti (media probabilità di accadimento): tempo di ritorno compreso tra 30 e 200 anni.
- P3 alluvioni frequenti (elevata probabilità di accadimento): tempo di ritorno fino a 30 anni.

Negli elaborati grafici sono state riportate le Fasce del PGRA più aggiornate al momento della stesura della relazione (ottobre 2017) e cioè quelle datate 14 marzo 2017.

## 4 VERIFICA IDRAULICA DELLE INTERFERENZE CON I CORSI D'ACQUA

Le interferenze relative all'intervento in progetto dell'autostrada con la rete idrografica, sono state individuate sulle tavole allegate al progetto (**Planimetrie localizzazioni interventi**). I corsi d'acqua interessati risultano tutti compresi nel bacino idrografico del fiume Arno.

Nelle Tavole suddette sono indicati il codice dell'attraversamento, come da codifica Autostradale (es. OP. 2092) e la tipologia di attraversamento.

### 4.1 Portate di progetto e metodologia idraulica

La verifica delle interferenze stradali è stata effettuata in base alle portate indicate nella Tab. 2.11 "portate di Piena", dove sono riportati anche la rispettiva codifica e l'eventuale nome del corso d'acqua.

Lo studio idraulico effettuato sui corsi d'acqua naturali è finalizzato a:

- dimensionare la sezione di attraversamento del corso d'acqua nel caso di nuovo intervento;
- verificare la sezione di attraversamento del corso d'acqua nel caso di prolungamento del manufatto esistente;
- individuare la necessità di eventuali deviazioni dell'alveo del corso d'acqua, anche in fase provvisoria.

Tutte le verifiche idrauliche sono state effettuate in moto permanente con il software Hec-Ras 5.0.4. Si riportano in allegato i profili, le sezioni e i dati numerici relativi a tutte le verifiche effettuate.

### 4.2 Dimensionamento delle protezioni

In corrispondenza degli imbocchi e degli sbocchi delle opere idrauliche prolungate, si sono previste delle sistemazioni per evitare che s'instaurino fenomeni di erosione localizzata dovuti alla velocizzazione della corrente.

Tranne nei casi in cui l'imbocco o lo sbocco dell'opera avviene in un tratto di corso d'acqua già rivestito in calcestruzzo, si sono realizzate le sistemazioni idrauliche cercando di utilizzare le soluzioni meno impattanti dal punto di vista ambientale e paesaggistico e che rispondano alle disposizioni contenute nella D.P.C.R. n° 155 del 20 maggio 1997 nonché nel P.A.I. dell'Autorità di Bacino del fiume Arno. Questo è stato possibile attraverso l'utilizzo di scogliere di massi intasati in cls, in modo da aumentarne la stabilità, di pezzatura comunque sufficiente per resistere alla spinta della corrente.

Tale tipologia di intervento è stato previsto anche per il lungo tratto di sponda d'argine del Fiume Arno, che una volta rimaneggiato per l'ampliamento della piattaforma autostradale o per l'adeguamento della strada arginale, necessita di una protezione del nuovo rilevato in modo da resistere ad eventuali piene dell'Arno che a quelle quote vedono battenti piuttosto limitati dell'acqua e velocità molto basse.

Di seguito si riporta la descrizione della metodologia adottata per il dimensionamento dei massi delle scogliere.

### 4.2.1 Metodo delle tensioni di trascinamento

Ove siano stati previsti massi sciolti, il calcolo della resistenza all'erosione di una sezione viene eseguita calcolando la velocità della corrente e gli sforzi tangenziali prodotti dalla corrente e controllando se il materiale che costituisce il letto del fiume può resistere senza subire danni permanenti.

Ai fini della valutazione degli effetti antierosivi è necessario che lo sforzo tangenziale effettivo prodotto dalla corrente su ciascun punto della sezione sia minore dello sforzo tangenziale massimo agente sulla superficie del canale. Il metodo delle tensioni di trascinamento asserisce che se lo sforzo tangenziale effettivo è maggiore dello sforzo tangenziale massimo tollerabile dalla superficie, avviene un trasporto dinamico delle sostanze colloidali e successivamente del materiale più grossolano. L'erosione crea instabilità su un tratto di corso d'acqua e successivamente progredisce interessando aree più estese. Gli sforzi tangenziali effettivi vengono calcolati utilizzando i criteri idraulici convenzionali. Gli sforzi tangenziali massimi tollerabili dipendono dal tipo di protezione e dalla loro resistenza alla corrente.

Lo *sforzo tangenziale effettivo agente* su ogni punto della superficie del canale viene calcolato usando la seguente formula:

$$\tau_b = k_1 k_2 \gamma_w y_i i_{fiume}$$

dove:

- $k_1$  coefficiente di curvatura (maggiore di 1 solamente per punti situati su tratti pendenti esterni di argini curvi). In questo caso i valori suggeriti vengono riportati nella tabella 4.1;
- $k_2$  coefficiente angolare che è pari ad 1 per punti situati su superfici orizzontali e a 0.75 per superfici inclinate;
- $\gamma_w$  peso specifico dell'acqua (10 kN/m<sup>3</sup>);
- $y_i$  livello dell'acqua nel punto considerato;
- $i_{fiume}$  pendenza dell'alveo lungo il tratto preso in esame.

Nel coefficiente  $k_1$  viene considerato un incremento di sforzo tangenziale sulla sponda esterna di un tratto in curva come conseguenza dell'accelerazione centrifuga. I valori del coefficiente  $k_1$  sono riportati nella letteratura e dipendono dalla curvatura e dalla larghezza del corso d'acqua.

Tabella 4.1: coefficienti di curvatura  $k_1$

Raggio di curvatura / Larghezza superficie libera	$k_1$ (coefficiente di curvatura)
8.0	1.2
6.0	1.4
4.5	1.6
3.2	1.8
2.0	2.0

La massima resistenza agli sforzi di taglio dell'opera in pietrame sciolto viene espressa in funzione del parametro di Shields:

$$\tau_c = K_s C^* (\gamma_s - \gamma_w) d_m$$

dove:

$C^*$  coefficiente di Shields (0.047);

$\gamma_s$  peso specifico delle rocce di riempimento (26 kN/m<sup>3</sup>);

$\gamma_w$  peso specifico dell'acqua (10 kN/m<sup>3</sup>);

$d_m$  diametro medio delle rocce di riempimento;

$K_s \left( 1 - \frac{\sin^2 \theta}{\sin^2 \varphi} \right)^{0.5}$  con  $\theta$  angolo di inclinazione delle sponde e  $\varphi$  angolo di attrito dei massi posto pari a 50°□.

Quando gli argini hanno una pendenza superiore ai 35° ( $\theta > 35^\circ$ ) si ha una limitazione nell'utilizzo del coefficiente  $K_s$ . In questo caso il fattore di riduzione viene considerato costante e pari a 0.45.

Affinché sia verificata la non trascinabilità dei massi sciolti, basterebbe che la forza resistente sia maggiore di quella agente. Si è però preferito dare un coefficiente di sicurezza del 30% imponendo che il rapporto  $\tau_c / \tau_b$  (detto di seguito fattore di sicurezza) debba essere maggiore di 1.3.

### 4.3 Analisi delle verifiche idrauliche in moto permanente

Le verifiche sono state effettuate mediante analisi in moto permanente con il software Hec-Ras (versione 4.0) sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Corps of Engineers.

Le condizioni al contorno utilizzate sono le seguenti:

- *Portata di progetto.*
- *Condizione di deflusso a valle* corrispondente all'altezza di moto uniforme calcolata sulla base dei rilievi effettuati in funzione della pendenza media dei singoli corsi d'acqua (solo nel caso di soglie e o traverse è stata utilizzata come condizione di valle l'altezza critica). Per i corsi d'acqua principali è stata considerata come condizione di valle il livello di piena trentennale del fiume Arno. Detti livelli sono stati forniti dalla Regione Toscana – Genio Civile Valdarno Superiore per il tempo di ritorno di 30 e 200 anni. Per le opere minori (tombini circolari in cls oppure tipo Finsider) non è stata considerata questa condizione di valle, in quanto questi sono adibiti esclusivamente al deflusso del reticolo minore e degli impluvi. Per queste opere il livello trentennale dell'Arno è sempre superiore alla quota sommitale dei tombini, quindi causa in tutti i casi un funzionamento in pressione delle opere. Si riporta una tabella contenente i livelli dell'Arno utilizzati come condizione di valle.

Tabella 4.2: Livelli dell'Arno assunti come condizione di valle

Corso d'acqua	Livello Arno Tr 30 anni
Torrente Resco	123.97
Torrente Faella	125.15
Borro di Riofi delle Cave	130.64
Borro delle Ville	133.20
Torrente Ciuffenna	136.45

- *Condizione di deflusso a monte* corrispondente all'altezza critica; questa condizione risulta sempre cautelativa, in quanto il programma la utilizza solamente quando è in corrente veloce, mentre in corrente lenta il livello di monte è calcolato in base a quanto avviene nelle sezioni di valle; in condizione di corrente veloce, imponendo questa condizione, si è a favore di sicurezza in quanto il livello di altezza critica è maggiore di quello di corrente veloce.
- Tranne quando diversamente indicato, è stato utilizzato un valore di *scabrezza* (parametro di Manning) per l'alveo pari a 0.035 (fondo in terra con presenza di erba, corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia), come ricavato da bibliografia. Per la zona fuori alveo, la scabrezza è stata posta pari a 0.045.

I corsi d'acqua verificati e le portate di progetto sono indicati nella tabella 2.11.

La simulazione del comportamento idraulico dei corsi d'acqua in studio, nelle vicinanze dell'attraversamento autostradale, implica la realizzazione di rilievi topografici per un tratto di lunghezza significativa, in funzione delle caratteristiche morfologiche dell'alveo (dimensioni, pendenza, grado di naturalità, tortuosità, ecc...), della tipologia dell'opera viaria principale (viadotto o tombino) e della eventuale presenza di altri manufatti di attraversamento minori (tombini e sottopassi di strade secondarie o di rampe autostradali) posti a breve distanza dal manufatto dell'A1, che abbiano una qualche influenza sul deflusso idrico (passaggio in pressione con conseguente rigurgito verso monte).

Sono state quindi condotte diverse campagne di rilievi topografici finalizzate all'acquisizione dei dati necessari alla modellazione idraulica dei corsi d'acqua d'interesse.

Per ciascun corso d'acqua oggetto di verifica in moto permanente si dispone quindi di:

- uno stralcio planimetrico georeferenziato in coordinate rettilinee, dell'area di interesse, in scala 1:1.000;
- sezioni trasversali del corso d'acqua, in numero variabile da un minimo di 6 ad un massimo di 25, in funzione della lunghezza e della tortuosità del corso d'acqua;
- la traccia planimetrica georeferenziata delle sezioni rilevate;
- il rilievo, corredato da documentazione fotografica, del manufatto di attraversamento autostradale.

In particolare, oltre al rilievo della sezione dell'alveo in corrispondenza del manufatto, sono stati rilevati gli elementi planimetrici ed altimetrici necessari a consentire di schematizzare la struttura (dimensione e forma delle pile e/o delle spalle, quota dei punti significativi di intradosso ed estradosso dell'impalcato...). Laddove non è stato possibile effettuare un rilievo delle sezioni trasversali queste sono state desunte dal celerimetrico in scala 1:1.000.

Le verifiche idrauliche sono state effettuate sia per i corsi d'acqua di maggior interesse, che per quelli minori sia nelle condizioni ante che post operam.

I tombini sono stati schematizzati come "culvert" ponendo il parametro di scabrezza di Manning pari a 0.015 per i tombini in CLS e a 0.024 per quelli in metallo corrugato tipo Finsider. Dove necessario si sono studiate anche le fasi provvisoriale; in questo caso la simulazione fa riferimento alla portata con tempo di ritorno di 10 anni.

Di seguito si riporta, per ogni interferenza, una sintetica descrizione delle verifiche effettuate. Il dettaglio delle simulazioni (profili, sezioni e dati in forma tabellare) sono riportati in allegato.

#### **4.3.1 Opera 2089 – Tombino circolare tipo Finsider DN1980**

Il tombino autostradale esistente è stato prolungato in accordo con il nuovo rilevato in progetto. Il deflusso della portata con tempo di ritorno 200 anni avviene con un franco di appena 5 cm rispetto al cielo del tombino non sviluppando comunque criticità per l'opera autostradale e il territorio circostante. Il deflusso della portata di progetto provoca anche l'allagamento parziale del sottovia accanto al quale collega due strade bianche, che possono essere considerate impraticabili durante un evento di piena. Il franco all'interno del sottovia, rispetto al cielo dello stesso, risulta comunque pari a 1.47 m.

#### **4.3.2 Opera 2090 – Tombino circolare tipo Finsider DN1520**

In fase di progetto definitivo, il tombino autostradale esistente veniva prolungato in accordo con il nuovo rilevato in progetto. Il deflusso della portata con tempo di ritorno 200 anni avveniva con un franco pari a 0.63 m rispetto al cielo del tombino non sviluppando criticità per l'opera autostradale e il territorio circostante.

In fase di progettazione esecutiva, tuttavia, la presenza della deviazione di una viabilità minore che invade quasi totalmente il letto del torrente in uscita, ha causato profonde modifiche allo sviluppo del prolungamento dell'opera rispetto a quanto già visto nel PD.

Oltre al prolungamento di monte e di valle rispetto al nuovo rilevato autostradale, in prossimità dello sbocco previsto nel PD, il nuovo tombino vede la presenza di un pozzetto che crea un angolo di 90°; da qui il tombino viaggia per circa 180m fra la viabilità minore e l'autostrada con opportuni pozzetti d'ispezione posti ogni 50m, per poi girare nuovamente di 90° (stavolta verso sinistra), così da sottopassare la VI e sversare le acque nell'area alluvionale appena a monte del letto dell'Arno.

Tale tombino, verificato con le medesime portate, non sviluppa criticità.

### **4.3.3 Opera 2092 – Tombino circolare in calcestruzzo DN1000**

Il tombino autostradale esistente con la portata di progetto avente tempo di ritorno 200 anni presenta un funzionamento in pressione che comunque non comporta il sormonto dell'autostrada. Il franco tra il piano viabile e il livello dell'acqua, pari a 2.51 m, è tale da non mettere a rischio gli utenti autostradali. Non vengono quindi proposti altri interventi.

### **4.3.4 Opera 2093 – Tombino circolare in calcestruzzo DN1000**

Il tombino autostradale esistente è stato prolungato in accordo con il nuovo rilevato in progetto. Il deflusso della portata con tempo di ritorno 200 anni avviene con un franco pari a circa 0.60 m rispetto al cielo del tombino non sviluppando criticità per l'opera autostradale e il territorio circostante.

### **4.3.5 Opera 2094 – Ponte sul Torrente Resco**

Il progetto prevede la demolizione della struttura esistente e la ricostruzione dell'impalcato di tipologia mista acciaio-calcestruzzo di larghezza maggiorata rispetto alla situazione attuale. Si prevede inoltre la costruzione di 4 spalle nuove in affiancamento alle spalle esistenti e la costruzione di 4 nuove pile collegate in corrispondenza del pulvino con le pile esistenti. Essendo il torrente Resco oggetto di una serie di interventi per ridurre il rischio idraulico nei territori che attraversa, è stato considerato come stato di fatto la presenza di questa sistemazione del torrente, dato che è già in fase di realizzazione. Il deflusso della portata duecentennale avviene con un franco pari a 4.21 m rispetto all'intradosso del ponte come accade nella situazione ante operam. L'adeguamento del ponte quindi non peggiora le condizioni di deflusso attuali, rimanendo in sicurezza idraulica rispetto alla portata di progetto. Proprio con riferimento alla messa in sicurezza dei territori circostanti e della viabilità di servizio presente lungo il Resco e Arno, nell'ambito della progettazione della cassa Pizziconi era prevista la chiusura idraulica rispetto alla cella idrometrica duecentennale dell'Arno alla confluenza con il T. Resco. Tale opera, costituita da un muro parallelo al torrente, è progettata e realizzata nell'ambito dei lavori di ampliamento della piattaforma, ma dal punto di vista idraulico non influisce minimamente sulle condizioni di deflusso del Resco.

Per il nuovo alveo del torrente Resco è prevista la regolarizzazione della geometria e della pendenza: la nuova sezione del fosso sarà infatti di tipo trapezoidale e sarà previsto un rivestimento con strato di massi cementati dello spessore di 50cm.

In fase di cantierizzazione, per il Torrente Resco è prevista la chiusura completa del tratto di alveo oggetto di lavori. Verrà realizzato lo scavo per la rimodellazione dell'alveo naturale, quindi la posa di un collettore in PEad DN1200 sul fondo del canale; poi verranno realizzate dune di sbarramento a monte e a valle per la protezione dell'area soggetta a cantiere.

Poiché, per problemi di spazio, date le modeste dimensioni del corpo idrico, non è stato possibile eseguire la parzializzazione del corso d'acqua, questo verrà completamente tombato in via

provvisoria: la cui scelta di utilizzare un DN1200 non deriva da calcoli di dimensionamento legati alle portate del corpo idrico, bensì dalle dimensioni dell'alveo stesso e dall'impossibilità di ospitare collettori più grandi che non siano d'ostacolo alle operazioni stesse di cantiere all'interno dell'alveo. Per limitare il rischio di superamento della tura di monte da parte della piena del fiume, tutte le operazioni saranno eseguite con il corpo idrico in secca. Per tutelare la sicurezza delle maestranze all'interno dell'area di cantiere, a monte della tura verrà collocato un misuratore di livello tarato per inviare un segnale di allarme in occasione degli eventi di piena che possono provocare la tracimazione della tura di monte.

Per le verifiche idrauliche Ante e Post Operam eseguite in Hec-Ras, si rimanda agli allegati della relazione.

Per le caratteristiche costruttive si rimanda agli elaborati grafici.

#### **4.3.6 Opera 2098 - Tombino circolare in calcestruzzo DN1000 e nuovo scatolare**

Il tombino autostradale esistente non è sufficiente al deflusso della portata calcolata con tempo di ritorno 200 anni. Tale situazione è dovuta in parte al rigurgito prodotto dall'insufficienza idraulica del ponticello posto al di sotto dell'argine esistente che risulta in parte interrato. La prevista ripulitura del fondo del corso d'acqua in corrispondenza del ponticello migliora il deflusso sebbene non risolve il problema.

Per tale motivo il tombino esistente sarà dismesso e ne sarà realizzato uno nuovo, di sezione rettangolare sufficiente al transito della portata di progetto con adeguato franco. Il nuovo scatolare, 2.20x2.00, sarà ortogonale alla piattaforma, sbocco in corrispondenza dell'attuale e imbocco spostato verso sud.

Il transito della portata di progetto avviene con un tirante interno di 1.16 m e franco residuo pari a 0.24 m.

#### **4.3.7 Opera 2102 – Ponte sul Torrente Faella**

Il progetto prevede il prolungamento sia a monte che a valle del ponte esistente sul torrente Faella. Il ponte attuale è costituito da travi prefabbricate e viene prolungato con la stessa metodologia. Le spalle non vengono riposizionate e non vengono aggiunte ulteriori pile. L'ingombro all'interno dell'alveo rimane quindi il medesimo che nello stato ante operam.

Allo stato attuale, il torrente Faella è oggetto di una serie di interventi per ridurre il rischio idraulico nei territori che attraversa, tramite la realizzazione della cassa di espansione Pizziconi, alimentata anche dal Fiume Arno tramite opportuna opera di presa a monte del Torrente Faella.

Per il nuovo alveo del torrente Faella non sono previste lavorazioni di ampliamento che coinvolgono l'alveo in quanto gli ampliamenti in carreggiata nord e sud vengono effettuati esternamente all'alveo esistente. Pertanto non sono state sviluppate verifiche ante e post operam anche in considerazione

del fatto che il deflusso della portata duecentennale avviene con un franco di quasi 2 m rispetto all'intradosso del ponte autostradale.

In fase di cantierizzazione, per il Torrente Faella è prevista la chiusura completa del tratto di alveo eventualmente oggetto anche solo temporaneo, di passaggio di mezzi per le lavorazioni. È stata pertanto prevista la posa di un collettore in PEad DN1200 sul fondo del canale e la realizzazione di dune di sbarramento a monte e a valle per la protezione dell'area soggetta a cantiere.

Poiché, per problemi di spazio, date le modeste dimensioni del corpo idrico, non è stato possibile eseguire la parzializzazione del corso d'acqua, questo verrà completamente tombato in via provvisoria: la cui scelta di utilizzare un DN1200 non deriva da calcoli di dimensionamento legati alle portate del corpo idrico, bensì dalle dimensioni dell'alveo stesso e dall'impossibilità di ospitare collettori più grandi che non siano d'ostacolo ad eventuali operazioni stesse di cantiere all'interno dell'alveo. Per limitare il rischio di superamento della tura di monte da parte della piena del fiume, tutte le operazioni saranno eseguite con il corpo idrico in secca. Per tutelare la sicurezza delle maestranze all'interno dell'area di cantiere, a monte della tura verrà collocato un misuratore di livello tarato per inviare un segnale di allarme in occasione degli eventi di piena che possono provocare la tracimazione della tura di monte.

#### **4.3.8 Opera 2111 – Tombino circolare tipo Finsider DN2130/Scatolare**

Il tombino è composto da due parti, una circolare di tipo Finsider e un'altra di tipo scatolare, derivante dal vecchio tombino realizzato al di sotto dell'argine, poiché l'autostrada è stata costruita in parte sopra l'argine esistente. Il tombino verrà prolungato in accordo con il rilevato autostradale di progetto. Il deflusso della portata con tempo di ritorno 200 anni avviene con un franco pari a 78 cm rispetto al cielo del tombino non sviluppando criticità per l'opera autostradale e il territorio circostante.

#### **4.3.9 Opera 2112 – Tombino circolare tipo Finsider DN1520/Scatolare**

Il tombino composto da due parti, una circolare di tipo Finsider e un'altra di tipo scatolare, derivante dal vecchio tombino realizzato al di sotto dell'argine poiché l'autostrada è stata costruita in parte sopra l'argine esistente. Il tombino verrà prolungato in accordo con il rilevato autostradale di progetto.

Il deflusso della portata con tempo di ritorno 200 anni presenta un funzionamento in pressione all'imbocco che comunque non comporta il sormonto dell'autostrada. Il franco tra il piano viabile e il livello dell'acqua, pari a 1.87 m, è tale da non mettere a rischio gli utenti autostradali. Il deflusso all'interno del tombino avviene invece a pelo libero. Non vengono quindi proposti altri interventi.

#### **4.3.10 Opera 2113 – Tombino circolare tipo Finsider DN1520/Scatolare**

Il tombino è composto da due parti, una circolare di tipo Finsider e un'altra di tipo scatolare, derivante dal vecchio tombino realizzato al di sotto dell'argine poiché l'autostrada è stata costruita in parte sopra

l'argine esistente. Il tombino verrà prolungato in accordo con il rilevato autostradale di progetto e inoltre la parte scatolare verrà demolita e sostituita con un tombino circolare delle stesse dimensioni dell'esistente. Il deflusso della portata con tempo di ritorno 200 anni presenta, per un breve tratto, un funzionamento in pressione che comunque non comporta il sormonto dell'autostrada. Il franco tra il piano viabile e il livello dell'acqua, pari a 1.93 m, è tale da non mettere a rischio gli utenti autostradali. Non vengono quindi proposti altri interventi.

#### **4.3.11 Opera 2114 – Tombino circolare tipo Finsider DN2130/Scatolare**

Il tombino è composto da due parti, una circolare di tipo Finsider e un'altra di tipo scatolare, derivante dal vecchio tombino realizzato al di sotto dell'argine poiché l'autostrada è stata costruita in parte sopra l'argine esistente. Il tombino verrà prolungato in accordo con il rilevato autostradale di progetto e inoltre la parte scatolare verrà demolita e sostituita con un tombino circolare delle stesse dimensioni dell'esistente. Il deflusso della portata con tempo di ritorno 200 anni avviene con un franco pari a 0.30 m rispetto al cielo del tombino non sviluppando criticità per l'opera autostradale e il territorio circostante.

#### **4.3.12 Opera 2115 – Tombino circolare tipo Finsider DN1520/Scatolare**

Anche il tombino in esame presenta la stessa geometria del precedente. Il tombino autostradale esistente non è sufficiente al deflusso della portata di progetto con tempo di ritorno 200 anni. Il tombino risulta quasi completamente in pressione. Il franco tra il piano viabile e il livello dell'acqua è pari a 2.16 m.

#### **4.3.13 Opera 2116 – Tombino circolare tipo Finsider DN1520/Scatolare**

Il tombino è composto da due parti, una circolare di tipo Finsider e un'altra di tipo scatolare, derivante dal vecchio tombino realizzato al di sotto dell'argine poiché l'autostrada è stata costruita in parte sopra l'argine esistente. Il tombino verrà prolungato in accordo con il rilevato autostradale di progetto e inoltre la parte scatolare verrà demolita e sostituita con un tombino circolare delle stesse dimensioni dell'esistente. Il deflusso della portata con tempo di ritorno 200 anni avviene con un franco pari a 0.50 m rispetto al cielo del tombino non sviluppando criticità per l'opera autostradale e il territorio circostante.

#### **4.3.14 Opera 2118 – Tombino scatolare 2.8x3 m**

Il tombino autostradale esistente è stato prolungato in accordo con il nuovo rilevato in progetto. Il deflusso della portata con tempo di ritorno 200 anni avviene con un franco pari a 72 cm rispetto al cielo del tombino non sviluppando criticità per l'opera autostradale e il territorio circostante.

#### **4.3.15 Opera 2123 – Ponte sul Borro Riofi delle Cave**

Il progetto prevede il prolungamento sia a monte che a valle del ponte esistente sul Borro Riofi delle Cave. Il ponte attuale è costituito da travi prefabbricate e viene prolungato con la stessa metodologia. Le spalle non vengono riposizionate e non vengono aggiunte ulteriori pile. L'ingombro all'interno dell'alveo rimane quindi il medesimo che nello stato ante operam. Il deflusso della portata duecentennale avviene con un franco compreso fra 1.60m (monte) e 1.90m (valle) rispetto all'intradosso del ponte come accade nella situazione ante operam. L'adeguamento del ponte quindi non peggiora le condizioni di deflusso attuali, rimanendo in sicurezza idraulica rispetto alla portata di progetto.

Per il nuovo alveo del Borro Riofi è prevista la regolarizzazione della geometria e della pendenza: la nuova sezione del fosso sarà infatti di tipo trapezoidale e sarà previsto un rivestimento con strato di massi cementati dello spessore di 50cm.

In fase di cantierizzazione, per il Borro Riofi è prevista la chiusura completa del tratto di alveo oggetto di lavori. Verrà realizzato lo scavo per la rimodellazione dell'alveo naturale, quindi la posa di un collettore in PEad DN1200 sul fondo del canale; poi verranno realizzate dune di sbarramento a monte e a valle per la protezione dell'area soggetta a cantiere. Poiché, per problemi di spazio, date le modeste dimensioni del corpo idrico, non è stato possibile eseguire la parzializzazione del corso d'acqua, questo verrà completamente tombato in via provvisoria: la cui scelta di utilizzare un DN1200 non deriva da calcoli di dimensionamento legati alle portate del corpo idrico, bensì dalle dimensioni dell'alveo stesso e dall'impossibilità di ospitare collettori più grandi che non siano d'ostacolo alle operazioni stesse di cantiere all'interno dell'alveo. Per limitare il rischio di superamento della tura di monte da parte della piena del fiume, tutte le operazioni saranno eseguite con il corpo idrico in secca. Per tutelare la sicurezza delle maestranze all'interno dell'area di cantiere, a monte della tura verrà collocato un misuratore di livello tarato per inviare un segnale di allarme in occasione degli eventi di piena che possono provocare la tracimazione della tura di monte.

Per le verifiche idrauliche Ante e Post Operam eseguite in Hec-Ras, si rimanda agli allegati della relazione.

Per le caratteristiche costruttive si rimanda agli elaborati grafici.

#### 4.3.16 Opera 2130 – Ponte sul Borro delle Ville

Il progetto prevede un limitato prolungamento del ponte esistente sul borro delle Ville solo in carreggiata sud in quanto la piattaforma autostradale è stata oggetto di ampliamento in fase di realizzazione dei lavori della linea A.V. costruita nella zona adiacente all'autostrada. Allo stato attuale, ed al termine dei lavori di ampliamento del tratto in progetto, il deflusso della portata duecentennale avviene con un franco minimo pari a circa 3 m sul piano viabile.

Poiché il corso d'acqua defluisce all'interno di un canale in c.a. parallelo alla strada che sottopassa l'autostrada a mezzo di uno scatolare, e poiché il suddetto canale risulta pieno di detriti che ne hanno riempito quasi totalmente il letto, per migliorare la criticità idraulica del sottopasso si è deciso di ripulire il canale fino al fondo ed ampliare lo scatolare, sollevando la soletta di 1.25 m rispetto a quella esistente.

Le nuove verifiche effettuate considerando l'intervento, migliorano notevolmente la situazione; il rifacimento del tombino sotto il vecchio sedime della SS69 e l'arginatura del Borro delle Ville anche a monte del tombamento autostradale permetterebbero il mantenimento all'asciutto del sottovia stradale in affiancamento. In effetti, a fronte di un franco nullo nella configurazione ante operam, si ottiene un franco residuo di circa 1.35 m rispetto all'intradosso rialzato nella sezione di monte dell'autostrada. L'intervento si limita alla sede dell'autostrada e pertanto il ponte affiancato a monte, vecchio sedime della strada statale, continuerà ad avere deflusso rigurgitato, facendo esondare le acque sulla viabilità parallela, qualora non realizzato un argine di contenimento, che esula dal presente progetto.

In fase di cantierizzazione, per il Borro delle Ville è prevista la chiusura completa del tratto di alveo oggetto di lavori. Verrà realizzato lo scavo per il rimodellamento dell'alveo naturale, quindi la posa di un collettore in PEad DN1200 sul fondo del canale; poi verranno realizzate dune di sbarramento a monte e a valle per la protezione dell'area soggetta a cantiere.

Poiché, per problemi di spazio, date le modeste dimensioni del corpo idrico, non è stato possibile eseguire la parzializzazione del corso d'acqua, questo verrà completamente tombato in via provvisoria: la cui scelta di utilizzare un DN1200 non deriva da calcoli di dimensionamento legati alle portate del corpo idrico, bensì dalle dimensioni dell'alveo stesso e dall'impossibilità di ospitare collettori più grandi che non siano d'ostacolo alle operazioni stesse di cantiere all'interno dell'alveo. Per limitare il rischio di superamento della tura di monte da parte della piena del fiume, tutte le operazioni saranno eseguite con il corpo idrico in secca. Per tutelare la sicurezza delle maestranze all'interno dell'area di cantiere, a monte della tura verrà collocato un misuratore di livello tarato per inviare un segnale di allarme in occasione degli eventi di piena che possono provocare la tracimazione della tura di monte.

Per le verifiche idrauliche Ante e Post Operam eseguite in Hec-Ras, si rimanda agli allegati della relazione.

Per le caratteristiche costruttive si rimanda agli elaborati grafici.

#### **4.3.17 Opera 2132 – Tombino circolare in calcestruzzo DN1000**

Il tombino autostradale esistente viene prolungato sia a monte che a valle in accordo con il nuovo rilevato di progetto. Il deflusso della portata di progetto avente tempo di ritorno 200 anni presenta un funzionamento in pressione che comunque non comporta il sormonto dell'autostrada che presenta un franco di 4.38 m rispetto al livello idrico prodotto dal rigurgito. Non vengono quindi proposti altri interventi. Nella realtà i deflussi in arrivo al tombino autostradale sono pari alla capacità del tombino di monte sotto il sedime della SS69, pertanto il tombino autostradale è in grado di far defluire le acque in arrivo allo stesso.

#### **4.3.18 Opera 2138 e 2138 bis– Tombino circolare in calcestruzzo DN1000 e nuovo scatolare**

Il tombino autostradale esistente non è sufficiente al deflusso della portata di progetto con tempo di ritorno 200 anni.

Inoltre il drenaggio della zona denominata "Frana Poggilupi" in fase esecutiva verrà deviato nel fosso a monte della SP in quanto l'ampiamiento autostradale andrebbe a ricoprire la zona dell'attuale condotta, e relativi pozzetti di ispezione, che scarica le acque verso nord fino al viadotto Poggilupi. La deviazione avverrà verso sud fino all'attraversamento opera 2138; come intervento si prevede pertanto di realizzare un raddoppio dell'opera.

L'opera viene affiancata da un nuovo tombino scatolare, di luce interna 2,00x1,00m, che verrà realizzato a fasi alterne, chiudendo parzialmente le corsie dell'autostrada.

I tombini sono stati verificati con la nuova portata di progetto: il valore considerato prende in considerazione sia il contributo del bacino naturale che il contributo della frana Poggilupi come riportato nel progetto di sistemazione dell'area.

E il passaggio della piena duecentennale risulta verificato a pelo libero mantenendo un franco di circa 25cm all'imbocco.

#### **4.3.19 Opera 2140 – Tombino circolare in calcestruzzo DN1400**

Il tombino autostradale esistente viene prolungato sia a monte che a valle in accordo con il nuovo rilevato di progetto. Il deflusso della portata di progetto avente tempo di ritorno 200 anni presenta un funzionamento in pressione che comunque non comporta il sormonto dell'autostrada che presenta un franco di 1.31 m rispetto al livello idrico prodotto dal rigurgito. Non vengono quindi proposti altri interventi.

#### **4.3.20 Opera 2141 – Ponte sul Torrente Ciuffenna**

Il progetto prevede il prolungamento sia a monte che a valle del ponte esistente sul torrente Ciuffenna. Il ponte attuale è costituito da travi prefabbricate e viene prolungato con la stessa metodologia. Le spalle non vengono riposizionate e non vengono aggiunte ulteriori pile. L'ingombro all'interno dell'alveo rimane quindi il medesimo che nello stato ante operam. Il deflusso della portata

duecentennale avviene con un franco pari a circa 1.50m rispetto all'intradosso del ponte come accade nella situazione ante operam, in corrispondenza dei fornici laterali.

Per il nuovo alveo del torrente Ciuffenna è prevista la regolarizzazione della geometria e della pendenza: la nuova sezione del fosso sarà infatti di tipo trapezoidale e sarà previsto un rivestimento con strato di massi cementati dello spessore di 50cm.

In fase di cantierizzazione, per il Torrente Ciuffenna è prevista la chiusura completa del tratto di alveo oggetto di lavori. Verrà realizzato lo scavo per la rimodellazione dell'alveo naturale, quindi la posa di un collettore in PEad DN1200 sul fondo del canale; poi verranno realizzate dune di sbarramento a monte e a valle per la protezione dell'area soggetta a cantiere.

Poiché, per problemi di spazio, date le modeste dimensioni del corpo idrico, non è stato possibile eseguire la parzializzazione del corso d'acqua, questo verrà completamente tombato in via provvisoria: la cui scelta di utilizzare un DN1200 non deriva da calcoli di dimensionamento legati alle portate del corpo idrico, bensì dalle dimensioni dell'alveo stesso e dall'impossibilità di ospitare collettori più grandi che non siano d'ostacolo alle operazioni stesse di cantiere all'interno dell'alveo. Per limitare il rischio di superamento della tura di monte da parte della piena del fiume, tutte le operazioni saranno eseguite con il corpo idrico in secca. Per tutelare la sicurezza delle maestranze all'interno dell'area di cantiere, a monte della tura verrà collocato un misuratore di livello tarato per inviare un segnale di allarme in occasione degli eventi di piena che possono provocare la tracimazione della tura di monte.

Per le verifiche idrauliche Ante e Post Operam eseguite in Hec-Ras, si rimanda agli allegati della relazione.

Per le caratteristiche costruttive si rimanda agli elaborati grafici.

## 5 Compatibilità con il Fiume Arno

Per dimostrare la compatibilità del progetto autostradale dal punto di vista dell'invarianza idraulica, si è realizzato un modello in moto permanente dell'Arno nel tratto in cui l'Autostrada si mantiene parallela al fiume (da Pk 323+000 a fine intervento).

Per realizzare tale simulazione sono state rilevate 93 sezioni d'alveo ognuna avente lunghezza pari a circa 180 m. Il tratto di fiume analizzato ha uno sviluppo di poco superiore ai 13 km.

La portata è stata considerata costante su tutto il tratto e posta pari a 2552.3 mc/s. Tale valore è stato fornito dal Genio Civile Valdarno Superiore come riferimento per un tempo di ritorno duecentennale ed è relativo al colmo di piena dell'evento di durata pari a 18 ore in corrispondenza della sezione 863 del loro modello che coincide con la sezione di monte del tratto analizzato in questo progetto.

Come condizione al contorno si è posta a monte cautelativamente l'altezza critica (tale condizione viene utilizzata dal programma solamente nel caso in cui la corrente sia veloce), mentre a valle si è posto il livello idrico duecentennale relativo alla sezione 798.5 del modello del Genio Civile (123.64 m slm).

In corrispondenza di 55 sezioni del modello sono stati inseriti come "livelli osservati" (OWS) quelli duecentennali dell'AdB, in modo da poterli rappresentare graficamente nell'output del programma sia nel profilo che nelle sezioni. Di seguito si riporta la tabella contenente tali livelli.

Sezione ASPI	Sezione Genio Civile	OWS (m slm)	Sezione ASPI	Sezione Genio Civile	OWS (m slm)	Sezione ASPI	Sezione Genio Civile	OWS (m slm)			
93	ASEZ-001	Sez. 863	138.73	61	ASEZ-033		30	ASEZ-064			
92	ASEZ-002			60	ASEZ-034	Sez. 842.3	133.56	29	ASEZ-065	Sez. 820.1	126.67
91	ASEZ-003			59	ASEZ-035	Sez. 842.2	133.47	28	ASEZ-066		
90	ASEZ-004	Sez. 862	138.53	58	ASEZ-036	Sez. 842	133.23	27	ASEZ-067	Sez. 819	126.60
89	ASEZ-005			57	ASEZ-037	Sez. 841	132.98	26	ASEZ-068	Sez. 817	126.48
88	ASEZ-006			56	ASEZ-038	Sez. 840	131.70	25	ASEZ-069	Sez. 816	126.33
87	ASEZ-007	Sez. 861	138.11	55	ASEZ-039	Sez. 838	131.63	24	ASEZ-070		
86	ASEZ-008			54	ASEZ-040	Sez. 837.3	131.19	23	ASEZ-071	Sez. 815	125.93
85	ASEZ-009			53	ASEZ-041	Sez. 837	130.76	22	ASEZ-072		
84	ASEZ-010	Sez. 860	137.89	52	ASEZ-042	Sez. 836	130.44	21	ASEZ-073		
83	ASEZ-011			51	ASEZ-043	Sez. 835	130.30	20	ASEZ-074	Sez. 814	125.72
82	ASEZ-012	Sez. 859	137.71	50	ASEZ-044	Sez. 834	130.00	19	ASEZ-075	Sez. 813	125.58
81	ASEZ-013			49	ASEZ-045	Sez. 833	129.81	18	ASEZ-076	Sez. 809	125.16
80	ASEZ-014			48	ASEZ-046			17	ASEZ-077	Sez. 808	125.10
79	ASEZ-015	Sez. 858	137.15	47	ASEZ-047	Sez. 832	129.52	16	ASEZ-078		
78	ASEZ-016			46	ASEZ-048			15	ASEZ-079	Sez. 807	124.76
77	ASEZ-017			45	ASEZ-049	Sez. 831	129.28	14	ASEZ-080		
76	ASEZ-018			44	ASEZ-050	Sez. 830	129.06	13	ASEZ-081	Sez. 806	124.64
75	ASEZ-019	Sez. 857	136.65	43	ASEZ-051	Sez. 829	128.90	12	ASEZ-082	Sez. 805	124.47
74	ASEZ-020			42	ASEZ-052			11	ASEZ-083		
73	ASEZ-021			41	ASEZ-053	Sez. 828	128.62	10	ASEZ-084	Sez. 804	124.33
72	ASEZ-022	Sez. 855	136.28	40	ASEZ-054	Sez. 827	128.31	9	ASEZ-085	Sez. 802	124.20
71	ASEZ-023	Sez. 854	135.74	39	ASEZ-055	Sez. 826	128.03	8	ASEZ-086	Sez. 801	124.09
70	ASEZ-024			38	ASEZ-056	Sez. 825	127.85	7	ASEZ-087	Sez. 800	124.00
69	ASEZ-025	Sez. 853	135.35	37	ASEZ-057			6	ASEZ-088	Sez. 799.3	123.92
68	ASEZ-026	Sez. 852	135.13	36	ASEZ-058	Sez. 824	127.59	5	ASEZ-089	Sez. 799.1	123.91
67	ASEZ-027	Sez. 850	134.67	35	ASEZ-059			4	ASEZ-090	Sez. 799.05	123.86
66	ASEZ-028	Sez. 846	134.62	34	ASEZ-060	Sez. 823	127.32	3	ASEZ-091		
65	ASEZ-029	Sez. 845	134.47	33	ASEZ-061	Sez. 822	127.18	2	ASEZ-092	Sez. 799	123.76
64	ASEZ-030	Sez. 844	134.14	32	ASEZ-062	Sez. 821	127.06	1	ASEZ-093	Sez. 798.5	123.64
62	ASEZ-032	Sez. 843	133.96	31	ASEZ-063						

La taratura della simulazione ante operam è stata fatta cercando di ottenere livelli il più possibile vicini a quelli “osservati” variando il parametro di scabrezza di manning per tratti omogenei. Nelle tabelle seguenti si riportano i valori della scabrezza utilizzati ed il confronto tra livelli ottenuti (Liv. A.O.) ed “osservati”.

Sezione	n #1	n #2	n #3	Sezione	n #1	n #2	n #3	Sezione	n #1	n #2	n #3
93 ASEZ-001	0.045	0.035	0.045	61 ASEZ-033	0.045	0.030	0.045	30 ASEZ-064	0.045	0.040	0.045
92 ASEZ-002	0.045	0.035	0.045	60 ASEZ-034	0.045	0.030	0.045	29 ASEZ-065	0.040	0.035	0.040
91 ASEZ-003	0.045	0.035	0.045	59 ASEZ-035	0.045	0.030	0.045	28 ASEZ-066	0.040	0.035	0.040
90 ASEZ-004	0.045	0.035	0.045	58 ASEZ-036	0.045	0.030	0.045	27 ASEZ-067	0.040	0.035	0.040
89 ASEZ-005	0.045	0.035	0.045	57 ASEZ-037	0.075	0.075	0.075	26 ASEZ-068	0.040	0.035	0.040
88 ASEZ-006	0.045	0.040	0.045	56 ASEZ-038	0.040	0.025	0.040	25 ASEZ-069	0.040	0.035	0.040
87 ASEZ-007	0.045	0.040	0.045	55 ASEZ-039	0.040	0.025	0.040	24 ASEZ-070	0.040	0.035	0.040
86 ASEZ-008	0.045	0.040	0.045	54 ASEZ-040	0.060	0.060	0.060	23 ASEZ-071	0.040	0.035	0.040
85 ASEZ-009	0.045	0.040	0.045	53 ASEZ-041	0.060	0.060	0.060	22 ASEZ-072	0.040	0.035	0.040
84 ASEZ-010	0.045	0.040	0.045	52 ASEZ-042	0.047	0.047	0.047	21 ASEZ-073	0.040	0.035	0.040
83 ASEZ-011	0.045	0.040	0.045	51 ASEZ-043	0.047	0.047	0.047	20 ASEZ-074	0.040	0.035	0.040
82 ASEZ-012	0.045	0.040	0.045	50 ASEZ-044	0.045	0.040	0.045	19 ASEZ-075	0.120	0.120	0.120
81 ASEZ-013	0.045	0.040	0.045	49 ASEZ-045	0.045	0.040	0.045	18 ASEZ-076	0.080	0.080	0.080
80 ASEZ-014	0.045	0.035	0.045	48 ASEZ-046	0.045	0.040	0.045	17 ASEZ-077	0.045	0.040	0.045
79 ASEZ-015	0.045	0.035	0.045	47 ASEZ-047	0.045	0.040	0.045	16 ASEZ-078	0.045	0.040	0.045
78 ASEZ-016	0.045	0.035	0.045	46 ASEZ-048	0.045	0.040	0.045	15 ASEZ-079	0.045	0.040	0.045
77 ASEZ-017	0.045	0.035	0.045	45 ASEZ-049	0.045	0.040	0.045	14 ASEZ-080	0.045	0.040	0.045
76 ASEZ-018	0.045	0.030	0.045	44 ASEZ-050	0.045	0.040	0.045	13 ASEZ-081	0.045	0.040	0.045
75 ASEZ-019	0.045	0.030	0.045	43 ASEZ-051	0.047	0.047	0.047	12 ASEZ-082	0.045	0.040	0.045
74 ASEZ-020	0.045	0.030	0.045	42 ASEZ-052	0.047	0.047	0.047	11 ASEZ-083	0.045	0.040	0.045
73 ASEZ-021	0.045	0.030	0.045	41 ASEZ-053	0.047	0.047	0.047	10 ASEZ-084	0.045	0.040	0.045
72 ASEZ-022	0.100	0.100	0.100	40 ASEZ-054	0.045	0.040	0.045	9 ASEZ-085	0.045	0.040	0.045
71 ASEZ-023	0.045	0.035	0.045	39 ASEZ-055	0.045	0.040	0.045	8 ASEZ-086	0.045	0.040	0.045
70 ASEZ-024	0.045	0.035	0.045	38 ASEZ-056	0.045	0.040	0.045	7 ASEZ-087	0.045	0.040	0.045
69 ASEZ-025	0.045	0.035	0.045	37 ASEZ-057	0.050	0.050	0.050	6 ASEZ-088	0.045	0.040	0.045
68 ASEZ-026	0.045	0.035	0.045	36 ASEZ-058	0.050	0.050	0.050	5 ASEZ-089	0.045	0.040	0.045
67 ASEZ-027	0.045	0.030	0.045	35 ASEZ-059	0.050	0.050	0.050	4 ASEZ-090	0.045	0.040	0.045
66 ASEZ-028	0.045	0.030	0.045	34 ASEZ-060	0.050	0.050	0.050	3 ASEZ-091	0.045	0.040	0.045
65 ASEZ-029	0.045	0.035	0.045	33 ASEZ-061	0.050	0.050	0.050	2 ASEZ-092	0.045	0.040	0.045
64 ASEZ-030	0.045	0.035	0.045	32 ASEZ-062	0.045	0.040	0.045	1 ASEZ-093	0.045	0.040	0.045
62 ASEZ-032	0.045	0.035	0.045	31 ASEZ-063	0.045	0.040	0.045				

Sezione	Liv. A.O.	OWS	Δ	Sezione	Liv. A.O.	OWS	Δ	Sezione	Liv. A.O.	OWS	Δ
	(m slm)	(m slm)	(m)		(m slm)	(m slm)	(m)		(m slm)	(m slm)	(m)
93 ASEZ-001	138.80	138.73	0.07	61 ASEZ-033	133.61			30 ASEZ-064	126.81		
92 ASEZ-002	138.76			60 ASEZ-034	133.54	133.56	-0.02	29 ASEZ-065	126.71	126.67	0.04
91 ASEZ-003	138.64			59 ASEZ-035	133.51	133.47	0.04	28 ASEZ-066	126.64		
90 ASEZ-004	138.55	138.53	0.02	58 ASEZ-036	133.30	133.23	0.07	27 ASEZ-067	126.55	126.60	-0.05
89 ASEZ-005	138.39			57 ASEZ-037	132.82	132.98	-0.16	26 ASEZ-068	126.44	126.48	-0.04
88 ASEZ-006	138.31			56 ASEZ-038	131.87	131.70	0.17	25 ASEZ-069	126.33	126.33	0.00
87 ASEZ-007	138.15	138.11	0.04	55 ASEZ-039	131.62	131.63	-0.01	24 ASEZ-070	126.24		
86 ASEZ-008	138.12			54 ASEZ-040	131.08	131.19	-0.11	23 ASEZ-071	126.09	125.93	0.16
85 ASEZ-009	138.02			53 ASEZ-041	130.83	130.76	0.07	22 ASEZ-072	125.96		
84 ASEZ-010	137.86	137.89	-0.03	52 ASEZ-042	130.49	130.44	0.05	21 ASEZ-073	125.94		
83 ASEZ-011	137.66			51 ASEZ-043	130.21	130.30	-0.09	20 ASEZ-074	125.84	125.72	0.12
82 ASEZ-012	137.64	137.71	-0.07	50 ASEZ-044	130.05	130.00	0.05	19 ASEZ-075	125.48	125.58	-0.10
81 ASEZ-013	137.39			49 ASEZ-045	129.84	129.81	0.03	18 ASEZ-076	125.29	125.16	0.13
80 ASEZ-014	137.27			48 ASEZ-046	129.68			17 ASEZ-077	125.12	125.10	0.02
79 ASEZ-015	137.16	137.15	0.01	47 ASEZ-047	129.56	129.52	0.04	16 ASEZ-078	124.94		
78 ASEZ-016	136.98			46 ASEZ-048	129.36			15 ASEZ-079	124.81	124.76	0.05
77 ASEZ-017	136.73			45 ASEZ-049	129.23	129.28	-0.05	14 ASEZ-080	124.71		
76 ASEZ-018	136.67			44 ASEZ-050	129.05	129.06	-0.01	13 ASEZ-081	124.56	124.64	-0.08
75 ASEZ-019	136.72	136.65	0.07	43 ASEZ-051	128.93	128.90	0.03	12 ASEZ-082	124.51	124.47	0.04
74 ASEZ-020	136.56			42 ASEZ-052	128.66			11 ASEZ-083	124.40		
73 ASEZ-021	136.39			41 ASEZ-053	128.53	128.62	-0.09	10 ASEZ-084	124.31	124.33	-0.02
72 ASEZ-022	136.09	136.28	-0.19	40 ASEZ-054	128.29	128.31	-0.02	9 ASEZ-085	124.18	124.20	-0.02
71 ASEZ-023	135.68	135.74	-0.06	39 ASEZ-055	128.14	128.03	0.11	8 ASEZ-086	123.98	124.09	-0.11
70 ASEZ-024	135.60			38 ASEZ-056	127.94	127.85	0.09	7 ASEZ-087	123.89	124.00	-0.11
69 ASEZ-025	135.37	135.35	0.02	37 ASEZ-057	127.72			6 ASEZ-088	123.94	123.92	0.02
68 ASEZ-026	134.97	135.13	-0.16	36 ASEZ-058	127.50	127.59	-0.09	5 ASEZ-089	123.92	123.91	0.01
67 ASEZ-027	134.78	134.67	0.11	35 ASEZ-059	127.41			4 ASEZ-090	123.77	123.86	-0.09
66 ASEZ-028	134.78	134.62	0.16	34 ASEZ-060	127.32	127.32	0.00	3 ASEZ-091	123.70		
65 ASEZ-029	134.39	134.47	-0.08	33 ASEZ-061	127.16	127.18	-0.02	2 ASEZ-092	123.67	123.76	-0.09
64 ASEZ-030	134.09	134.14	-0.05	32 ASEZ-062	126.98	127.06	-0.08	1 ASEZ-093	123.64	123.64	0.00
62 ASEZ-032	133.97	133.96	0.01	31 ASEZ-063	126.87						

La differenza tra i livelli forniti dal Genio Civile e quelli ottenuti con la nuova modellazione idraulica è sempre contenuta al disotto dei 20 cm.

Una volta tarato il modello, si è realizzata la simulazione relativa alla situazione post operam. Il modello è stato fatto considerando la nuova ipotesi progettuale.

Le sezioni sono state modificate in destra idraulica del fiume inserendovi l'ampliamento autostradale. In particolare i tratti modificati vanno dalla sezione ASEZ-003 alla sezione ASEZ-013 e dalla sezione ASEZ-044 alla sezione ASEZ-067. Nelle sezioni presenti negli allegati grafici relativi alla condizione post operam viene rappresentato il confronto tra la situazione ante e post operam. Di seguito si riporta la tabella di confronto tra i livelli ante e post operam.

Sezione	Liv. A.O.	Liv. P.O.	Δ	Sezione	Liv. A.O.	Liv. P.O.	Δ	Sezione	Liv. A.O.	Liv. P.O.	Δ
	(m slm)	(m slm)	(m)		(m slm)	(m slm)	(m)		(m slm)	(m slm)	(m)
93 ASEZ-001	138.80	138.80	0.00	61 ASEZ-033	133.61	133.61	0.00	30 ASEZ-064	126.81	126.81	0.00
92 ASEZ-002	138.76	138.77	0.01	60 ASEZ-034	133.54	133.54	0.00	29 ASEZ-065	126.71	126.71	0.00
91 ASEZ-003	138.64	138.64	0.00	59 ASEZ-035	133.51	133.51	0.00	28 ASEZ-066	126.64	126.64	0.00
90 ASEZ-004	138.55	138.55	0.00	58 ASEZ-036	133.30	133.30	0.00	27 ASEZ-067	126.55	126.55	0.00
89 ASEZ-005	138.39	138.39	0.00	57 ASEZ-037	132.82	132.82	0.00	26 ASEZ-068	126.44	126.44	0.00
88 ASEZ-006	138.31	138.31	0.00	56 ASEZ-038	131.87	131.87	0.00	25 ASEZ-069	126.33	126.33	0.00
87 ASEZ-007	138.15	138.15	0.00	55 ASEZ-039	131.62	131.62	0.00	24 ASEZ-070	126.24	126.24	0.00
86 ASEZ-008	138.12	138.12	0.00	54 ASEZ-040	131.08	131.08	0.00	23 ASEZ-071	126.09	126.09	0.00
85 ASEZ-009	138.02	138.02	0.00	53 ASEZ-041	130.83	130.83	0.00	22 ASEZ-072	125.96	125.96	0.00
84 ASEZ-010	137.86	137.86	0.00	52 ASEZ-042	130.49	130.49	0.00	21 ASEZ-073	125.94	125.94	0.00
83 ASEZ-011	137.66	137.66	0.00	51 ASEZ-043	130.21	130.21	0.00	20 ASEZ-074	125.84	125.84	0.00
82 ASEZ-012	137.64	137.63	-0.01	50 ASEZ-044	130.05	130.05	0.00	19 ASEZ-075	125.48	125.48	0.00
81 ASEZ-013	137.39	137.39	0.00	49 ASEZ-045	129.84	129.84	0.00	18 ASEZ-076	125.29	125.29	0.00
80 ASEZ-014	137.27	137.27	0.00	48 ASEZ-046	129.68	129.68	0.00	17 ASEZ-077	125.12	125.12	0.00
79 ASEZ-015	137.16	137.16	0.00	47 ASEZ-047	129.56	129.56	0.00	16 ASEZ-078	124.94	124.94	0.00
78 ASEZ-016	136.98	136.98	0.00	46 ASEZ-048	129.36	129.36	0.00	15 ASEZ-079	124.81	124.81	0.00
77 ASEZ-017	136.73	136.73	0.00	45 ASEZ-049	129.23	129.23	0.00	14 ASEZ-080	124.71	124.71	0.00
76 ASEZ-018	136.67	136.67	0.00	44 ASEZ-050	129.05	129.05	0.00	13 ASEZ-081	124.56	124.56	0.00
75 ASEZ-019	136.72	136.72	0.00	43 ASEZ-051	128.93	128.93	0.00	12 ASEZ-082	124.51	124.51	0.00
74 ASEZ-020	136.56	136.56	0.00	42 ASEZ-052	128.66	128.66	0.00	11 ASEZ-083	124.40	124.40	0.00
73 ASEZ-021	136.39	136.39	0.00	41 ASEZ-053	128.53	128.53	0.00	10 ASEZ-084	124.31	124.31	0.00
72 ASEZ-022	136.09	136.09	0.00	40 ASEZ-054	128.29	128.29	0.00	9 ASEZ-085	124.18	124.18	0.00
71 ASEZ-023	135.68	135.68	0.00	39 ASEZ-055	128.14	128.14	0.00	8 ASEZ-086	123.98	123.98	0.00
70 ASEZ-024	135.60	135.60	0.00	38 ASEZ-056	127.94	127.94	0.00	7 ASEZ-087	123.89	123.89	0.00
69 ASEZ-025	135.37	135.37	0.00	37 ASEZ-057	127.72	127.72	0.00	6 ASEZ-088	123.94	123.94	0.00
68 ASEZ-026	134.97	134.97	0.00	36 ASEZ-058	127.50	127.50	0.00	5 ASEZ-089	123.92	123.92	0.00
67 ASEZ-027	134.78	134.78	0.00	35 ASEZ-059	127.41	127.41	0.00	4 ASEZ-090	123.77	123.77	0.00
66 ASEZ-028	134.78	134.78	0.00	34 ASEZ-060	127.32	127.32	0.00	3 ASEZ-091	123.70	123.70	0.00
65 ASEZ-029	134.39	134.39	0.00	33 ASEZ-061	127.16	127.16	0.00	2 ASEZ-092	123.67	123.67	0.00
64 ASEZ-030	134.09	134.09	0.00	32 ASEZ-062	126.98	126.98	0.00	1 ASEZ-093	123.64	123.64	0.00
62 ASEZ-032	133.97	133.97	0.00	31 ASEZ-063	126.87	126.87	0.00				

Come si vede la variazione dei livelli è sempre nulla a parte nelle sezioni ASEZ-002 e ASEZ-012 nelle quali la differenza è pari ad 1 cm.

Si può quindi concludere che il progetto di ampliamento dell'autostrada non genera variazioni sui livelli idrici dell'Arno.

## 6 Messa in sicurezza dell'autostrada

Nella fase progettuale precedente, relativa all'aggiornamento del progetto definitivo per la Conferenza dei Servizi, in accordo con gli Enti, era stata utilizzata la modellazione idraulica messa a punto dal Genio Civile Valdarno Superiore.

In particolare, l'Ente sopracitato aveva fornito le tracce planimetriche delle sezioni idrauliche del Fiume Arno e i contorni delle celle (storage area) utilizzate nella modellazione idraulica semi-bidimensionale, che era stata eseguita in moto vario.

L'evento di riferimento era quello avente tempo di ritorno pari a 200 anni e durata pari a 18 ore. Per ogni sezione e per ogni cella era infine stato fornito il livello idrico massimo raggiunto durante l'intera simulazione.

Il modello sopra descritto è andato perciò a sostituire, anche in fase di progettazione esecutiva, quello messo a punto dall'AdB Arno ed utilizzato per la stesura degli elaborati integrativi consegnati durante la fase di VIA del precedente progetto definitivo.

In base alla mappatura delle aree esondabili fornita dall'AdB Arno ed ai livelli idrici ad esse associati, infatti, si riscontrava che per un breve tratto (a cavallo del ponte dell'Alta Velocità) e con un battente di pochi centimetri il ciglio autostradale di entrambe le carreggiate si trovava al di sotto del livello idrico calcolato con tempo di ritorno 200 anni. E perciò si era deciso di realizzare un argine a protezione dell'autostrada su entrambe le carreggiate.

A seguito dell'utilizzo dei nuovi dati forniti dagli Enti, è stato dimostrato che in questa zona i livelli idrici si sono notevolmente abbassati a causa dell'affinamento della modellazione. In particolare, nella zona lato monte nel vecchio modello era presente una sola cella mentre nel nuovo è stata suddivisa in tre celle separate.

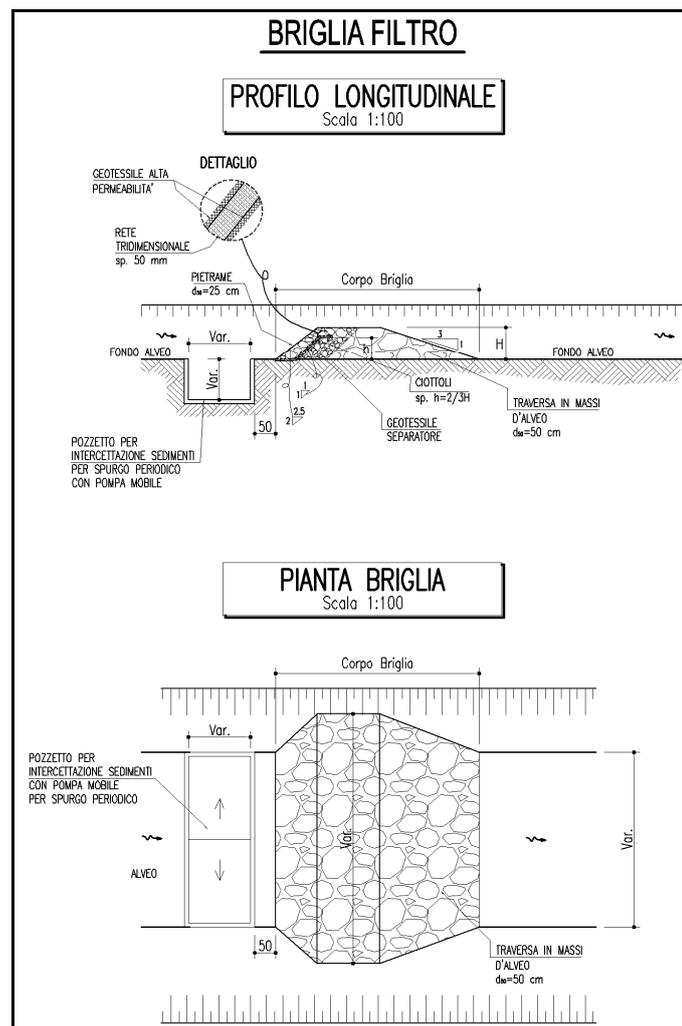
Riportando i nuovi livelli idrici sulle sezioni stradali si è quindi visto che il tratto a cavallo dell'intersezione con la linea dell'Alta Velocità è in sicurezza idraulica e pertanto gli argini previsti nel vecchio progetto sono stati eliminati.

Si è inoltre visto che l'autostrada è sempre in sicurezza idraulica rispetto ai livelli idrici forniti dal Genio Civile, come si può vedere dalle sezioni trasversali utilizzate per il calcolo dei volumi tolti all'esondazione (paragrafo 8).

## 7 Interventi di mitigazione del trasporto solido

Nelle aree di cantiere e di rimodellamento morfologico dovrà essere prevista la regimazione delle acque tramite opportuni fossi in terra. In testa all'intervento si dovrà realizzare un sistema di fossi in grado di allontanare le acque provenienti dalle zone non interessate ai lavori e portarle a recapito senza trattamenti. A valle dell'intervento e, nel caso questo fosse esteso, anche in mezzo, si dovrà realizzare un altro sistema di fossi le cui acque dovranno essere trattate prima del recapito. Per queste acque per effettuare un controllo quantitativo sul materiale trasportato dalla corrente, dovranno essere posizionate opportune briglie filtro prima del recapito nel reticolo idrografico naturale. Queste permetteranno la sedimentazione del materiale solido trasportato dalla corrente prima dello scarico, non andando ad incrementare il trasporto solido dei corsi d'acqua naturali. Le briglie filtro saranno della tipologia indicata nella figura seguente.

Per garantire il funzionamento dei suddetti manufatti è essenziale prevedere una rimozione del materiale depositato con cadenza mensile. Inoltre, in caso di eventi di pioggia eccezionali, deve essere comunque effettuata la rimozione del materiale depositato appena terminato l'evento significativo.



## 8 Calcolo dei volumi tolti all'esonazione

Il calcolo dei volumi tolti all'esonazione a causa dell'ampliamento dell'autostrada è stato fatto riportando sulle sezioni stradali i livelli idrici duecentennali forniti dal Genio Civile. Il volume totale è quindi stato calcolato come la sommatoria dell'area occupata dall'ampliamento e sottratta dal livello duecentennale moltiplicata per la semidistanza con le sezioni di monte e di valle.

I livelli idrici utilizzati sono quelli relativi alle sezioni dell'Arno nei tratti nei quali l'autostrada è stata realizzata sull'argine, mentre nei tratti nei quali ci si allontana dal fiume, vengono utilizzati i livelli idrici delle celle.

Nel calcolo dei volumi sottratti all'esonazione non è stato considerato il tratto lato Arno compreso tra il Resco ed il Faella in quanto questo verrà protetto dall'argine presente nel progetto della Cassa Pizziconi; per lo stesso motivo, non viene calcolato il volume tolto all'esonazione lato monte nella zona in cui verrà realizzata tale cassa di espansione.

Nelle tabelle seguenti si riportano i tratti nei quali sono stati calcolati i volumi, con i rispettivi volumi sottratti all'Arno:

Ovest (lato Arno)			
Pk inizio	Pk fine	Volume [mc]	Area PGRA
323+800	323+930	1810	V1-049b
323+930	324+925	10120	V1-049a
324+925	327+432	3517	V1-047c
327+432	330+500	1854	Arno
330+500	330+975	0	V1-021b
330+975	331+600	617	V1-021a
331+600	331+900	252	V1-041
331+900	332+900	571	V1-015c
332+900	333+500	0	V1-015b
333+500	334+100	0	V1-015a
334+100	334+380	4315	Arno
TOTALE		23056	

Est (lato monte)			
Pk inizio	Pk fine	Volume [mc]	Area PGRA
323+800	323+930	415	V1-031b
323+930	324+890	9881	V1-031a
324+890	325+450	2825	V1-027
325+450	326+350	2555	V1-047b
326+350	327+430	48	V1-045b
327+430	328+670	2079	V1-025a
328+670	329+725	2470	V1-023a
329+725	330+500	274	V1-043a
330+500	331+600	0	V1-019c
331+600	332+050	0	V1-019b
332+050	333+125	0	V1-017
333+125	334+380	0	V1-013
334+380	335+375	5400	V1-011c
335+375	335+710	1585	V1-009c
TOTALE		27532	

Il volume sottratto all'esondazione lato ovest risulta essere pari a 23056 m<sup>3</sup>, mentre quello lato est risulta essere pari a 27532 m<sup>3</sup>. Il volume totale da recuperare è quindi di **50588 m<sup>3</sup>**.

A tale volume va poi sommato quello dovuto all'incremento dell'impermeabilizzazione (già riportato all'interno della relazione relativa al sistema di drenaggio autostradale) che è pari a **4630 m<sup>3</sup>**.

Si propone di recuperare l'intero volume pari a **55218 m<sup>3</sup>** all'interno di una Cassa di espansione sul T. Cesto, la cui progettazione segue un iter separato dal progetto di ampliamento autostradale, nel quale però sono inserite le somme a disposizione per la progettazione e la realizzazione delle opere.

Il dettaglio delle sezioni utilizzate è contenuto nell'elaborato 119941-LL02-PE-DG-IDR-GE000-00000-R-IDR-0345-0.

## 9 Protezione del rilevato autostradale

Nei tratti in cui l'autostrada viene allargata lato Arno e si è in prossimità del Fiume, è stata prevista una protezione del rilevato autostradale in modo da evitare che possa essere scalzato durante un evento di piena a causa delle forti velocità parallele al rilevato stesso.

I tratti protetti sono cinque:

- il primo ed il secondo tratto partono alla progressiva 326+369, subito dopo il Faella (il tratto tra il Resco ed il Faella verrà protetto dall'argine presente all'interno del progetto della Cassa di espansione Pizziconi, in fase realizzativa), e terminano alla progressiva 327+570 con un'interruzione tra le progressive 326+968, termine del primo tratto, e 327+110, inizio del secondo; in questo tratto, di lunghezza pari a 945 m, è prevista la deviazione della strada di manutenzione posta in testa all'argine dell'Arno e la scogliera verrà realizzata sul suo rilevato;
- il terzo tratto, tra le progressive 328+340 e 328+449, la scogliera è posta a protezione del piede del nuovo rilevato della strada arginale di manutenzione;
- il quarto tratto va dalla progressiva 329+118 e termina in corrispondenza della progressiva 330+512, dove l'autostrada si allontana dal fiume. Anche qui la massicciata verrà messa a protezione del rilevato della strada di manutenzione che verrà spostata per un tratto di lunghezza pari a 1400 m circa;
- il quinto tratto, di sviluppo pari a 500 m circa, va dalla progressiva 335+224 (subito dopo l'opera sul Torrente Ciuffenna) e termina a fine lotto con una parte che prosegue oltre lungo l'adeguamento della rampa di uscita della carreggiata sud allo svincolo di Valdarno.

La protezione del rilevato verrà fatta stendendo al posto dello strato di terreno vegetale una massicciata in massi di spessore pari a 30 cm; al disotto di questo verrà steso un geotessile filtro per evitare che la terra al disotto del materasso possa essere asportata dalla corrente. I massi ed il geotessile verranno ammorsati all'interno del terreno antistante il rilevato e verranno portati fino ad una quota di 50 cm superiore al livello duecentennale dell'Arno ricavato dal modello messo a punto dal Genio Civile.

Il dimensionamento dei massi di scogliera è avvenuto in applicazione del metodo teorico riportato al §4.2.1. Per facilità di realizzazione della scogliera è stato eseguito un unico dimensionamento valido per tutti i tratti considerati, assumendo nel calcolo parametri conservativi che garantiscano la tenuta e la durabilità della scogliera stessa in tutti i tratti.

La scogliera si trova a quote alte della sezione d'alveo e pertanto l'altezza idrica agente ( $y_i$ ) assunta nel calcolo è pari a 1.90 m, riferita alla sezione 0.48 del tratto 4. La pendenza del fiume ( $i_{fiume}$ ) è stata posta pari a 0.2%.

Inoltre, i coefficienti  $k_1$  e  $k_2$  sono stati posti rispettivamente pari a 1 (tratto rettilineo) e 0.75 (sponda inclinata).

Dalle assunzioni di cui sopra e considerando massi di diametro minimo 0.20 m (peso pari a 11 kg) si ottiene un coefficiente di sicurezza pari a 3.64.

Pertanto è stata prevista una scogliera di spessore 0.30 m con massi di roccia non degradabile sana e compatta di peso pari a 11/50 kg.