



# **RECUPERO DI BACINI DI EX CAVA IN DESTRA IDRAULICA DEL FIUME MARECCHIA, CON FUNZIONE DI STOCCAGGIO PER SOCCORSO E DISTRIBUZIONE IRRIGUA SULLA BASSA VALMARECCHIA, LAMINAZIONE DELLE PIENE ED USO AMBIENTALE**

Codice Intervento: "PNRR-M2C4-I4.1-A1-3"

## **PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

Importo Progetto € 15.000.000,00

C.U.P. I61B20001260001



**SF RI**

**RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA  
SIMULAZIONE IDRAULICA SULL'EFFETTO DI LAMINAZIONE DEI LAGHI**

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Andrea Cicchetti

PROGETTISTA

Ing. Marco Donati

Visto per verifica

IL PRESIDENTE

Stefano Francia

Codice Progetto	Revisioni	Descrizione	data
T1RN-01/2022	0	PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA	25/01/2022

**Recupero dei bacini di ex cava in destra idraulica del Fiume  
Marecchia con funzione di stoccaggio per soccorso e  
distribuzione irrigua sulla bassa Valmarecchia, laminazione delle  
piene ed uso ambientale nei comuni di Rimini, Santarcangelo di  
Romagna e Verucchio (RN)**

## **RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA**

## Indice

1	Premessa .....	3
2	Bacino idrografico del fiume Marecchia.....	4
3	Determinazione delle onde di piena .....	6
4	Geometria.....	9
4.1	Area 2D .....	9
4.2	Strutture.....	10
4.2.1	Ponte SP49 (via Trasversale Marecchia).....	11
4.2.2	Sfioratore lago Santarini .....	12
4.2.3	Sfioratore lago Azzurro .....	13
4.2.4	Sfioratore lago In.Cal System .....	14
5	Scabrezza Manning .....	15
6	Condizioni al contorno .....	17
7	Risultati delle simulazioni .....	18
7.1	TR = 20 anni .....	18
7.1.1	Stato di fatto .....	18
7.1.2	Stato di progetto .....	19
7.2	TR = 50 anni .....	21
7.2.1	Stato di fatto .....	21
7.2.2	Stato di progetto .....	21
7.3	TR = 200 anni .....	24
7.3.1	Stato di fatto .....	24
7.3.2	Stato di progetto .....	24
7.4	Riepilogo risultati .....	31
8	Conclusioni .....	33
9	Bibliografia .....	34
	APPENDICE A – Traccia planimetrica della sezione longitudinale.....	35

Appendice A – Traccia planimetrica della sezione longitudinale

## 1 Premessa

Nella presente Relazione idrologica-idraulica si sono fatte ipotesi di massima riguardo la possibilità di realizzare tre sfioratori in sponda destra del fiume Marecchia, in corrispondenza dei laghi Santarini, Azzurro e In.Cal System, in modo da valutare l'effetto della loro possibile utilizzazione anche come invasi di laminazione delle piene, relativamente al progetto di "Recupero dei bacini di ex cava in destra idraulica del Fiume Marecchia con funzione di stoccaggio per soccorso e distribuzione irrigua sulla bassa Valmarecchia, laminazione delle piene ed uso ambientale nei comuni di Rimini e Santarcangelo di Romagna (RN)".

La forma e le dimensioni degli sfioratori sono stati definiti esclusivamente per valutare preliminarmente il massimo effetto di laminazione idraulica ottenibile, perciò la loro realizzabilità dovrà essere valutata in una fase successiva; l'efficienza di laminazione risultante dalle simulazioni riportate nella presente relazione è da ritenersi come limite superiore per successive fasi di progettazione.

Il costo delle opere di progetto finalizzate alla laminazione (sfioratori) non sono state incluse nella stima dei costi del presente progetto.

Al fine di valutare il possibile effetto di laminazione delle piene da parte dei laghi è stata svolta una serie di simulazioni bidimensionali in moto non stazionario, tramite il software di calcolo HEC-RAS 5.0.7.

## 2 Bacino idrografico del fiume Marecchia

L'identificazione e la generazione grafica del bacino è stata effettuata sulla base del modello digitale del terreno (DEM) a maglia 20×20m fornito dal Geoportale Nazionale (MATTM)<sup>[1]</sup> tramite i software QGIS<sup>[2]</sup> e SAGA<sup>[3]</sup>; partendo da questo DEM20, a seguito del pre-processamento tramite il codice di calcolo “fillsinks” (SAGA), è stato possibile determinare il reticolo idrografico principale dei bacini tramite il codice “strahlerorder” (SAGA) ed è stato inoltre possibile risalire ai bacini sottesi nei vari punti di intersezione tra metanodotto e corpi idrici grazie al codice “upslope area – deterministic 8” (SAGA); il risultato così ottenuto è stato infine validato sulla base delle osservazioni delle linee di livello e degli elementi contenuti nella CTR della Regione Emilia-Romagna.

In Figura 1 si riporta l'idrografia del bacino del fiume Marecchia con sezione di chiusura posta a valle del lago In.Cal System minore.

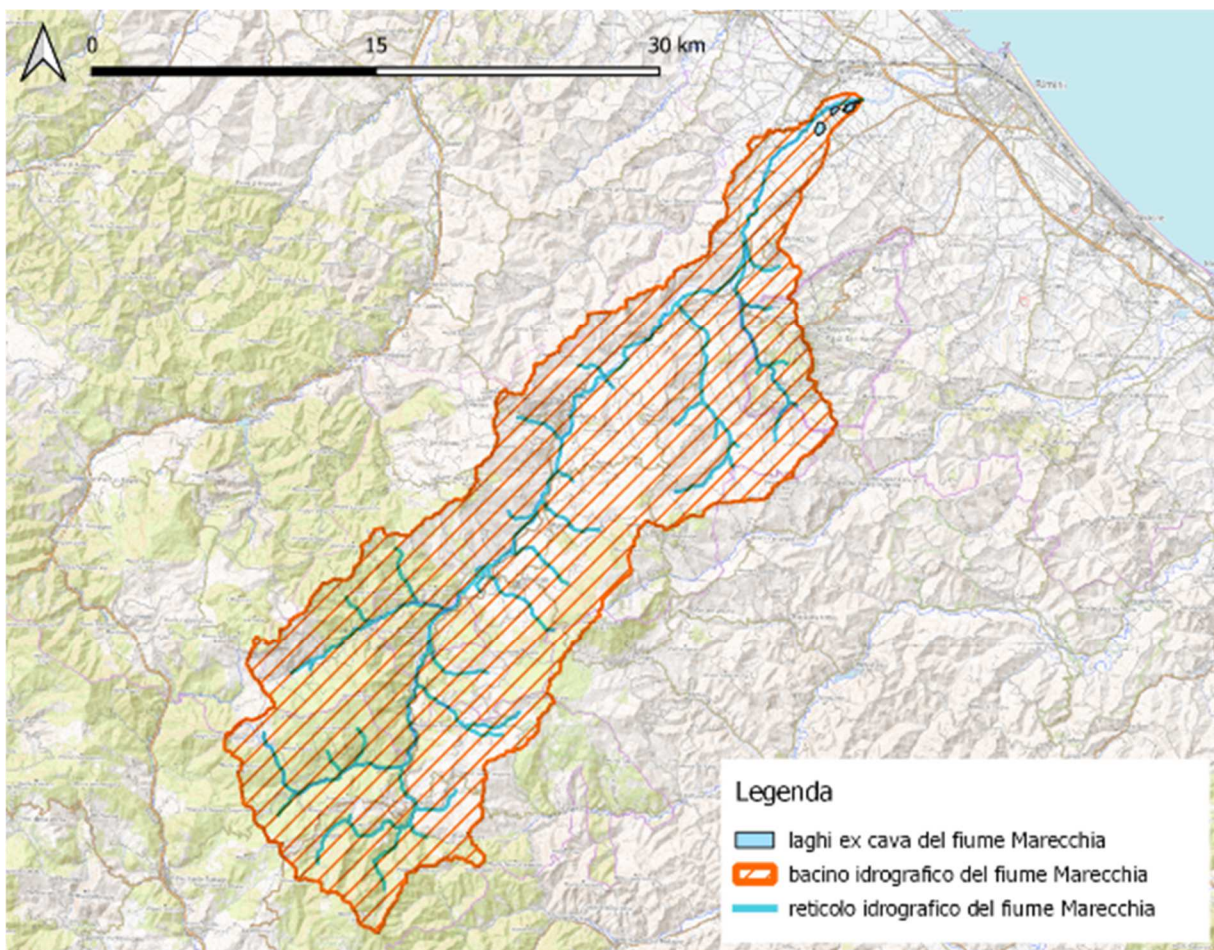


Figura 1: Idrografia del bacino del fiume Marecchia per la sezione di chiusura in corrispondenza della sezione a valle dei laghi oggetto di studio

<sup>1</sup> Catalogo WCS, Geoportale Nazionale, MATTM, [http://wms.pcn.minambiente.it/wcs/dtm\\_20m](http://wms.pcn.minambiente.it/wcs/dtm_20m)

<sup>2</sup> QGIS Development Team, 2019. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

<sup>3</sup> Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Böhner, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015.

Dal bacino idrografico sotteso dalla sezione di chiusura d'interesse sono state ricavate tramite l'algoritmo "zonalstatisticsfb" le caratteristiche geomorfologiche (superficie, quota massima, media e minima e lunghezza dell'asta principale), riportate in Tabella 1.

<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>	<b>494,5</b>
<b>Quota massima [m s.m.]</b>	1435,15
<b>Quota media [m s.m.]</b>	593,35
<b>Quota sezione di chiusura [m s.m.]</b>	33,24
<b>Lunghezza asta principale [km]</b>	9,16

*Tabella 1: geomorfologia del bacino del fiume Marecchia per la sezione di chiusura di Santarcangelo*



### 3 Determinazione delle onde di piena

Le onde di piena sono state determinate sulla base delle informazioni contenute nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico per il bacino Marecchia-Conca (AdB-MC, 2004), nel seguito PAI.

Nel Pai, le portate al colmo di piena sono valutate in base alla metodologia di regionalizzazione VA.PI. modificata (GNDCI-CNR, 1995-98), con riferimento al metodo probabilistico TCEV (Two Component Extreme Value); nella tabella seguente si riportano i valori di tempo di corrivazione e di portata al colmo per i tempi di ritorno di 20, 50 e 200 anni per la sezione di chiusura di Santarcangelo di Romagna:

Sezione di chiusura	Codice sotto-bacino	Tc (*) (ore)	Q20 (m <sup>3</sup> /s)	Q50 (m <sup>3</sup> /s)	Q200 (m <sup>3</sup> /s)
Santarcangelo di Romagna	B27.10	7.8	739	930	1220

Note:  
(\*) il tempo di corrivazione Tc è stato calcolato nel PAI come media tra i valori ottenuti dalla formulazione di Giandotti (valida per grandi bacini) e la formulazione Kirpick (valida per bacini piccoli)

Tabella 2: Valori di portata al colmo per i tempi di ritorno 20, 50 e 200 anni per le sezioni di chiusura di ponte Verucchio e di Santarcangelo di Romagna per il fiume Marecchia

Per la generazione delle onde di piena, dapprima il PAI determina il volume associato alle piene di assegnata durata D e tempo di ritorno TR utilizzando un metodo afflussi-deflussi sulla base delle informazioni pluviometriche. Nella seguente tabella si riportano i valori dei volumi di piena per i tempi di ritorno di 20, 50 e 200 anni per le durate pari al tempo di corrivazione Tc e a due volte il tempo di corrivazione (2Tc):

Sezione di chiusura	Volume di piena [milioni di m <sup>3</sup> ]					
	TR=20		T=50		TR=200	
	D = Tc	D = 2 Tc	D = Tc	D = 2 Tc	D = Tc	D = 2 Tc
Ponte Verucchio	13,29	21,61	16,83	27,34	21,95	35,68
Santarcangelo di Romagna	15,04	24,12	18,99	30,40	24,75	39,61

Tabella 3: Volumi di piena espressi in **milioni di m<sup>3</sup>** per tempi di ritorno di 20, 50 e 200 anni e per le durate pari a Tc e 2Tc

Per determinare le onde di piena  $Q(t)_{TR}$  da inserire nella simulazione idraulica è stata scelta la forma Gamma, data da:

$$Q(t)_{TR} = Q_{base} + (Q_{TR} - Q_{base}) \cdot \left( \frac{e}{k_T \cdot (a_T - 1)} \cdot t \right)^{a_T - 1} \cdot \exp\left(-\frac{t}{k_T}\right)$$

dove:

- $t$  è il tempo trascorso dall'inizio dell'evento di pioggia [s];
- $Q_{base}$  è la portata di base dell'idrogramma [m<sup>3</sup>/s], posta pari al 10% della portata al colmo;
- $Q_{TR}$  è la portata al colmo di piena per il tempo di ritorno TR [m<sup>3</sup>/s];
- $a_T$  è il parametro di forma della funzione Gamma;
- $k_T$  è il parametro di posizione del picco della funzione Gamma

Il parametro  $k_T$  è stato ottenuto imponendo la posizione del colmo di piena in corrispondenza del tempo di corrivazione  $T_c$ .

Il parametri  $a_T$  è stato ottenuto minimizzando la seguente funzione obbiettivo:

$$f_o = \sum_i w_i \cdot (Q_{D_i,TR} - \hat{Q}_{D_i,TR})^2$$

dove:

- $w_i$  è il peso associato alla durata  $D_i$  in modo da ottenere errori ridotti per le portate medie corrispondenti alle durate  $D=Tc$  e  $D=2Tc$ , imponendo i pesi riportati in Tabella 4;
- $\hat{Q}_{D_i,TR}$  è la massima portata media su alla durata  $D_i$ , con tempo di ritorno TR, determinata dall'idrogramma Gamma  $Q(t)_{TR}$

D [ore]	Tc=7,8	2Tc=15,6
$w_i$	0,5	0,5

Tabella 4: pesi associati alle varie durate

In Tabella 5 si riportano i parametri  $k_T$  e  $a_T$  ottimizzati per le curve Gamma, la cui forma è riportata in Figura 2.

Fiume	TR=20 anni		TR=50 anni		TR=200 anni	
	$k_T$	$a_T$	$k_T$	$a_T$	$k_T$	$a_T$
Marecchia	1,198	7,12	1,198	7,12	1,198	6,98

Tabella 5: parametri  $k_T$  e  $a_T$  ottimali relativi all'onda gamma, per i vari tempi di ritorno e le varie sezioni

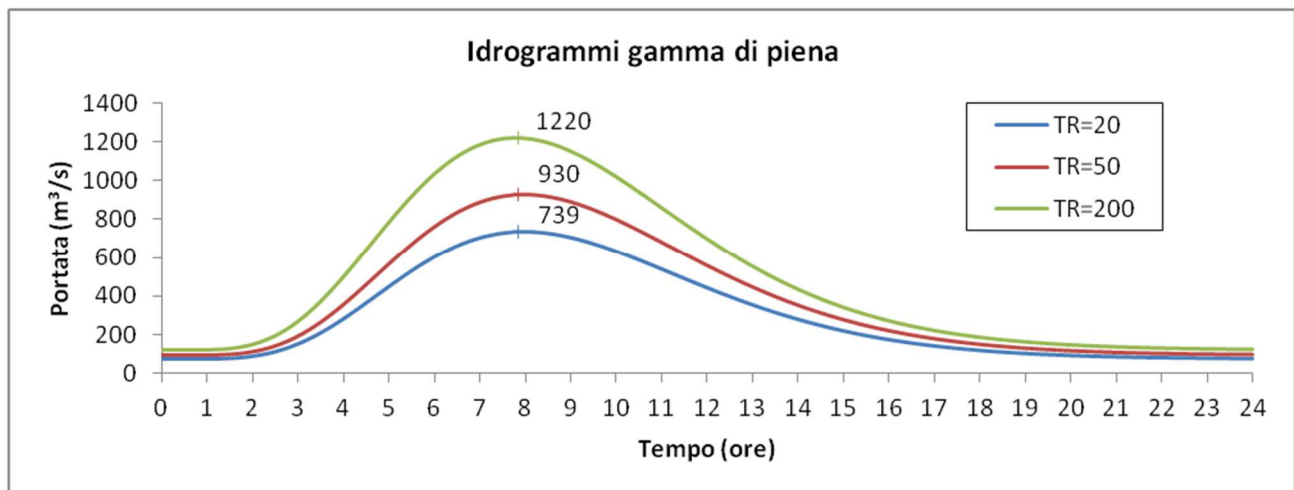


Figura 2: Idrogrammi delle onde Gamma per il fiume Marecchia, per i tempi di ritorno 20, 50 e 200 anni alla sezione di chiusura d'interesse

In Figura 3, relativamente ai tempi di ritorno e alla sezione di chiusura considerata, si riportano gli errori residui tra i volumi di piena sottratti dagli idrogrammi Gamma sulle durate  $D$  ( $\hat{V}_{D,TR}$ ) e quelli regionalizzati dal PAI ( $V_{D,TR}$ ):

$$\% ERR = \frac{V_{D,TR} - \hat{V}_{D,TR}}{V_{D,TR}} \times 100\%$$



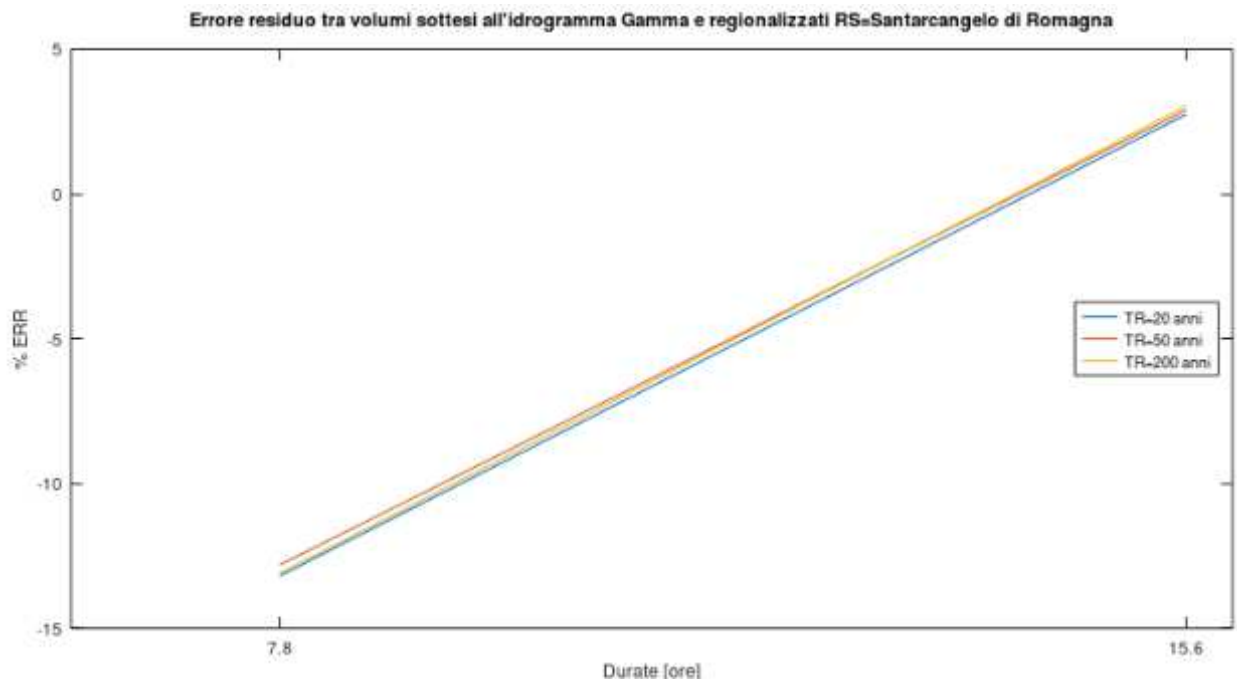


Figura 3: Errori percentuali per le varie durate e i tempi di ritorno, sezione di chiusura Santarcangelo di Romagna

Volume di piena [milioni di m³]					
TR=20 anni		T=50 anni		TR=200 anni	
D = Tc	D = 2 Tc	D = Tc	D = 2 Tc	D = Tc	D = 2 Tc
17,0	23,5	21,4	29,5	28,0	38,4

Tabella 6: volumi, in milioni di m³, massimi sottesi dall'idrogramma di piena gamma per le durate D=Tc e D=2Tc, e i vari tempi di ritorno

La portata minima di simulazione è stata posta pari al 10% della portata al colmo, per ogni tempo di ritorno.

## 4 Geometria

### 4.1 Area 2D

La geometria del modello bidimensionale si basa su un DEM 1x1 m ottenuto accoppiando il DEM 5x5 m fornito dalla Regione Emilia-Romagna, rappresentativo della geometria dell'alveo, delle golene e del territorio limitrofo del fiume Marecchia, con il DEM 1x1 m ottenuto dai rilievi dei laghi ex cava del Marecchia, oggetto di studio.

L'area di calcolo bidimensionale ha una maglia 10x10 m, raffittita e rinforzata fino a 5 m lungo il perimetro dell'alveo del Marecchia e dei laghi, e fino a 1 m in corrispondenza delle strutture idrauliche (soglia del ponte di via Trasversale Marecchia, sfioratori associati al lago Santarini, Azzurro e In.Cal System).

Complessivamente, il tratto di fiume Marecchia modellato ha lunghezza di circa 6 km.



Legenda:  **perimetro area 2D**  **laghi**

Figura 4: Perimetrazione dell'area 2D di calcolo usata nella simulazione, con indicazione del perimetro dei laghi in nero

## 4.2 Strutture

Di seguito si riporta il dettaglio delle strutture inserite nel modello attraverso l'elemento "2D flow area connection". Il ponte SP49 è stato inserito sia nello stato di fatto che in quello di progetto, mentre gli sfioratori a servizio dei laghi sono stati inseriti solo nei modelli dello stato di progetto; la geometria degli sfioratori è di tipo trapezoidale, con pendenza delle sponde di 1/20 (5%), le quote degli sfioratori sono state ottimizzate per laminare la piena con tempo di ritorno di 200 anni.

La forma e le dimensioni degli sfioratori sono di prima ipotesi, esenti da considerazioni costruttive esecutive<sup>[4]</sup>, al solo fine di determinare il massimo grado di laminazione ottenibile dal sistema.



Figura 5: rappresentazione in azzurro degli sfioratori a servizio dei laghi

<sup>4</sup> Gli scolmatori risulterebbero interferenti con la pista ciclabile e con il canale dei Mulini, situaati in destra idraulica al fiume Marecchia, e tale aspetto è stato sopasseduto in questa fase

#### 4.2.1 Ponte SP49 (via Trasversale Marecchia)

<b>Quota di sommità [m s.m.]</b>	47,50
<b>Quota intradosso [m s.m.]</b>	45,50
<b>Quota soglia di base [m s.m.]</b>	38,50
<b>Ampiezza luci pilastri [m]</b>	35,00
<b>Spessore pilastri [m]</b>	2,00
<b>Spessore ponte [m]</b>	35,00
<b>Coefficiente di sfioro</b>	1,66
<b>Coefficiente di perdita in ingresso</b>	0,5
<b>Coefficiente di perdita in uscita</b>	1,0
<b>Scabrezza manning parte inferiore e superiore [s/m<sup>1/3</sup>]</b>	0,013

Tabella 7: geometria e parametri idraulici per il ponte SP49

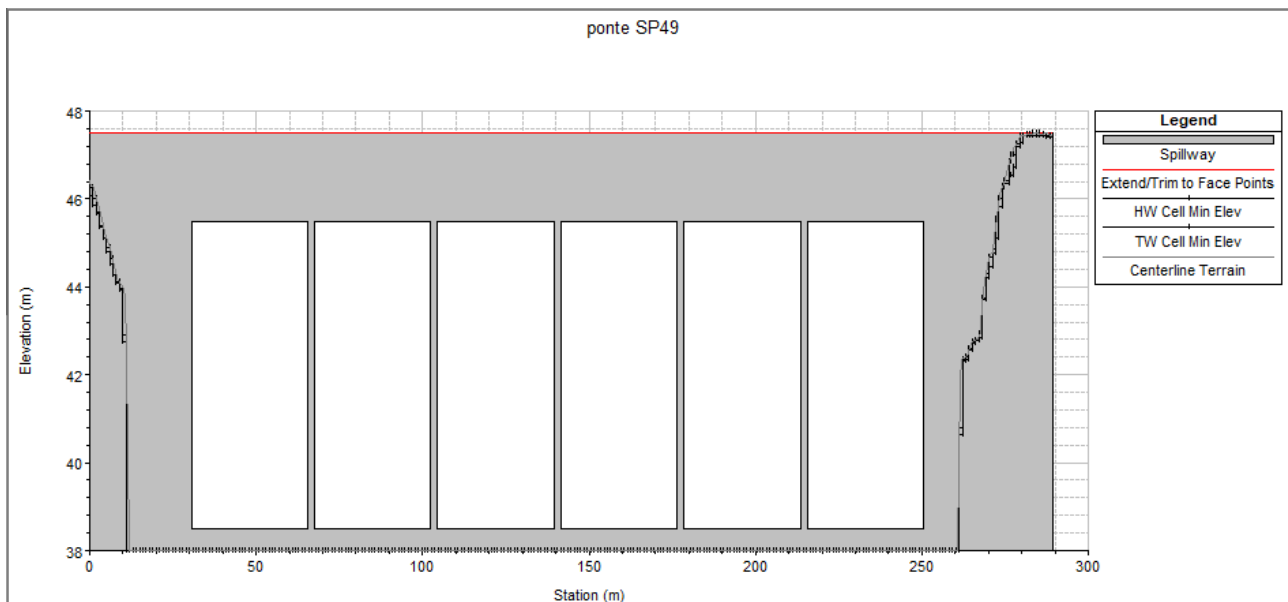


Figura 6: ponte di via Trasversale Marecchia SP49

#### 4.2.2 Sfiatore lago Santarini

Quota di monte [m s.m.]	50,60
Quota di valle [m s.m.]	48,50
Quota minima sfioro [m s.m.]	44,50
Quota max – Quota min [m]	3,50
Pendenza delle sponde	1/20 = 5%
Lunghezza di sfioro su fondo [m]	60
Lunghezza di sfioro in sommità [m]	200
Spessore in pianta [m]	206
Coefficiente di sfioro	1,1

Tabella 8: caratteristiche dello sfioratore associato al lago Santarini

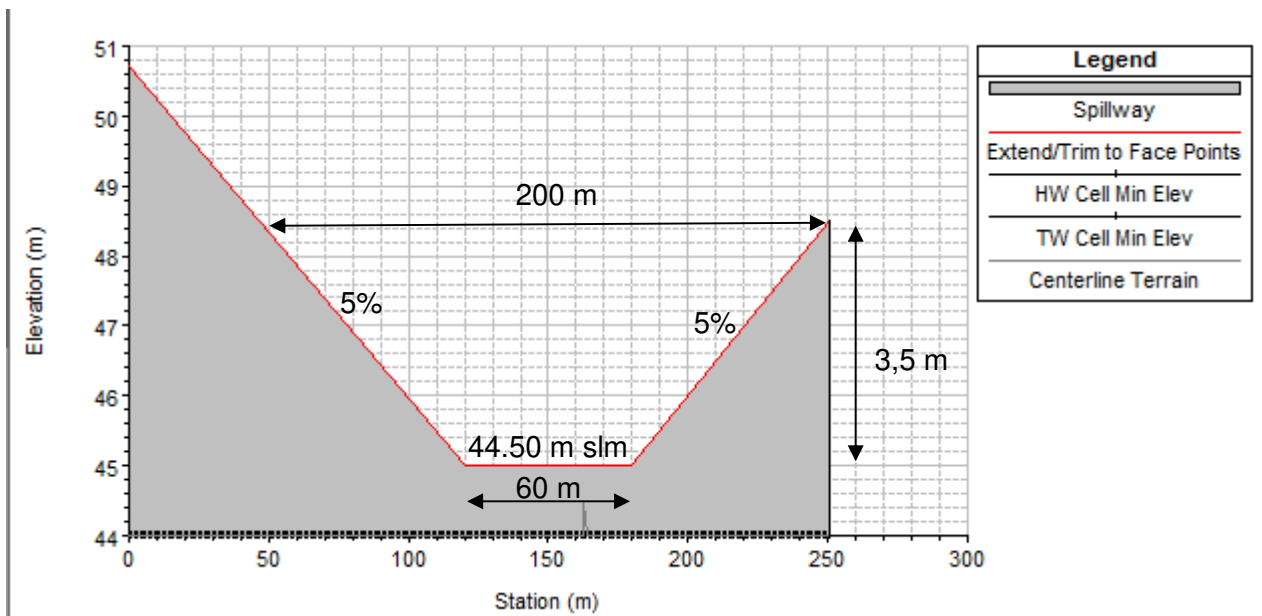


Figura 7: geometria dello sfioratore a servizio del lago Santarini

### 4.2.3 Sfiatore lago Azzurro

Quota di monte [m s.m.]	41,00
Quota di valle [m s.m.]	40,00
Quota minima sfioro [m s.m.]	38,00
Quota max – Quota min [m]	2,00
Pendenza delle sponde	1/20 = 5%
Lunghezza di sfioro su fondo [m]	100
Lunghezza di sfioro in sommità [m]	180
Spessore in pianta [m]	70
Coefficiente di sfioro	1,1

Tabella 9: caratteristiche dello sfioratore associato al lago Azzurro

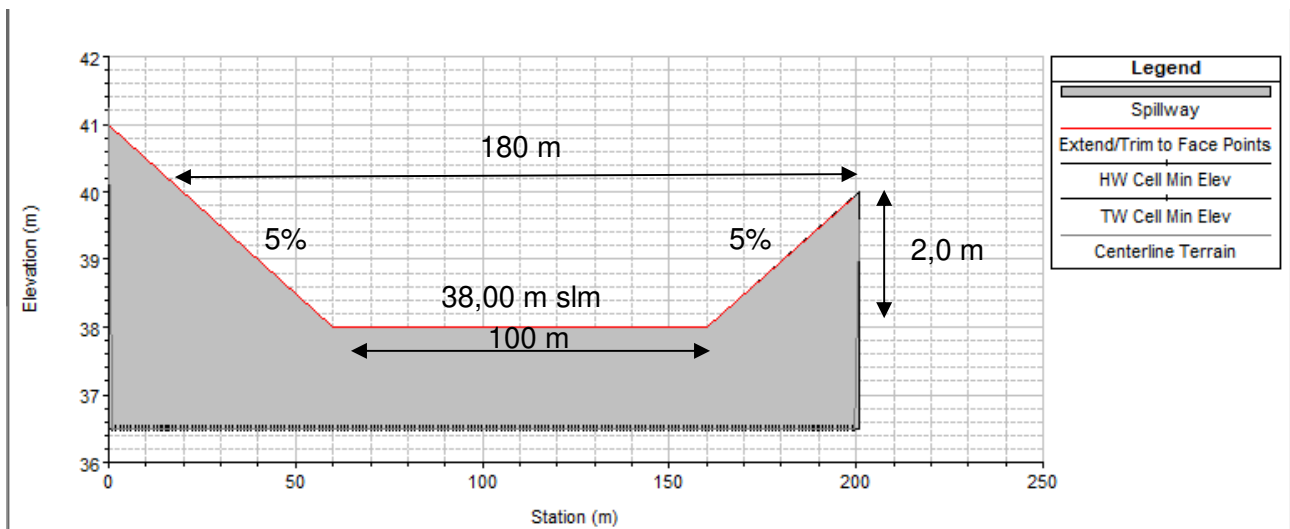


Figura 8: geometria dello sfioratore a servizio del lago Azzurro



#### 4.2.4 Sfiatore lago In.Cal System

Quota di monte [m s.m.]	36,70
Quota di valle [m s.m.]	36,00
Quota minima sfioro [m s.m.]	32,00
Quota max – Quota min [m]	4,00
Pendenza delle sponde	1/20 = 5%
Lunghezza di sfioro su fondo [m]	27
Lunghezza di sfioro in sommità [m]	185
Spessore in pianta [m]	100
Coefficiente di sfioro	1,1

Tabella 10: caratteristiche dello sfioratore associato al lago In.Cal System

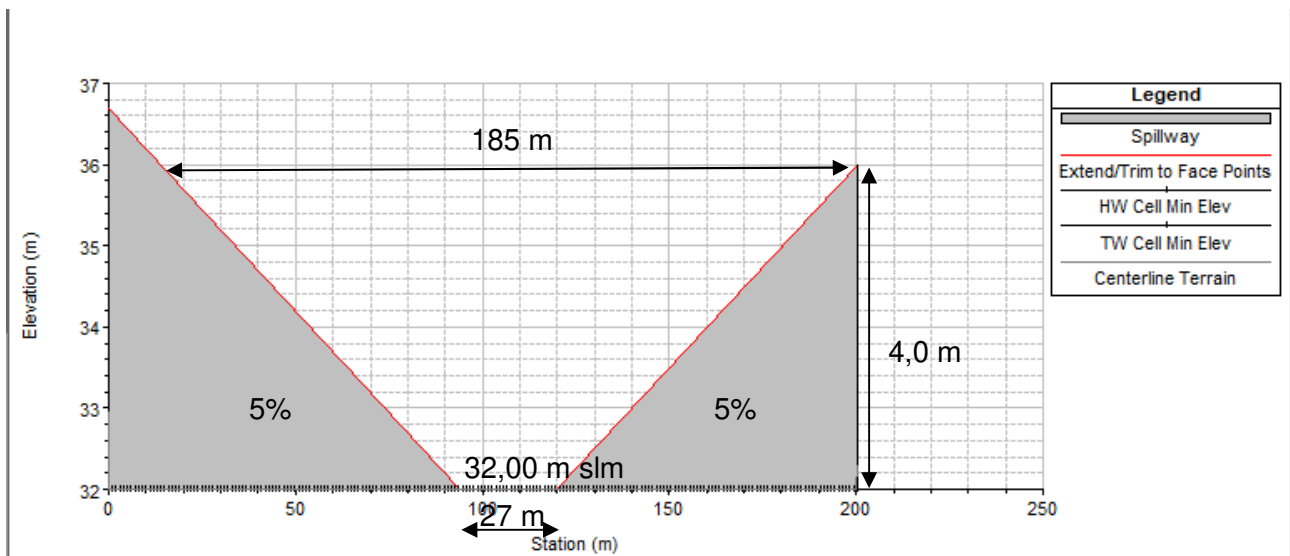


Figura 9: geometria dello sfioratore a servizio del lago In.Cal System

## 5 Scabrezza Manning

Per quanto riguarda la definizione delle aree associate ai valori di scabrezza Manning  $n$ , si è fatto riferimento allo shapefile dell'uso del suolo 2017 (edizione 2020) sviluppato dalla Regione Emilia-Romagna<sup>5</sup>, associando le varie classi di uso del suolo a valori di scabrezza Manning in relazione alle indicazioni di letteratura (Chow, 1959).

Nella tabella di seguito si riporta il dettaglio della corrispondenza tra classi di uso del suolo e valori di scabrezza Manning.

Uso del suolo	Riferimento Manning (Chow, 1959)	Valore Manning [s/m <sup>1/3</sup> ]
<b>Alvei di fiumi e torrenti con vegetazione scarsa</b>	1.d	0,045
<b>Alvei di fiumi e torrenti con vegetazione abbondante</b>	1.h	0,100
<b>Prati</b>	3.a.2	0,035
<b>Seminativi semplici irrigui</b>		
<b>Zone umide interne</b>		
<b>Vigneti</b>		
<b>Sistemi colturali e particellari complessi</b>		
<b>Oliveti</b>		
<b>Frutteti</b>		
<b>Colture temporanee associate a colture permanenti</b>		
<b>Colture orticole</b>	3.d.4	0,100
<b>Vegetazione arbustiva e arborea in evoluzione</b>		
<b>Boschi a prevalenza di salici e pioppi</b>		
<b>Rimboschimenti recenti</b>	3.a.1	0,030
<b>Aree estrattive attive</b>		
<b>Aree estrattive inattive</b>		
<b>Bacini artificiali</b>	3.d.5	0,120
<b>Altre categorie di uso del suolo</b>		

Tabella 11: associazione valori di scabrezza Manning alle zone a diverso uso del suolo nell'area 2D di simulazione

<sup>5</sup> Servizio Statistica, SIG. 2020. *Coperture vettoriali uso del suolo di dettaglio 2017*. s.l. : Regione Emilia-Romagna, 2020. Raggruppamenti omogenei tipologie di uso del suolo di dettaglio 2017, scala di riferimento 1:10.000. Area minima 0,16 ha, dimensione minima lineare 7 m. Realizzato mediante l'utilizzo di ortofoto TeA a colori (RGB) e all'infrarosso.

Pag. 16 di 35

## 6 Condizioni al contorno

Come condizione al contorno di valle è stata imposta il raggiungimento dell'altezza di moto uniforme, unica per la sezione trasversale, relativamente a una pendenza di fondo alveo pari a 0,0056. A monte è stata posta un'inclinazione della linea dei carichi totali pari a 0,0048.

## 7 Risultati delle simulazioni

Nello stato di fatto, i tre laghi principali Santarini, Azzurro, In.Cal System non vengono interessati dall'acqua per TR=200 anni o inferiore, mentre il lago In.Cal System minore viene allagato anche per TR=20 anni. Nello stato di progetto tutti i laghi invasano acqua già per TR=20 anni.

Nei sottoparagrafi di seguito si riportano i risultati per i tre tempi di ritorno 20, 50 e 200 anni, per lo stato di fatto e per lo stato di progetto, in termini di:

- idrogramma di piena nella sezione di monte e di valle del tratto modellato;
- confronto del pelo libero nella sezione trasversale di valle tra stato di fatto e stato di progetto;
- profilo longitudinale di fiume Marecchia (lungo la traccia riportata planimetricamente in Appendice A);
- relativamente al tempo di ritorno 200 anni, confronto aree planimetriche allagate tra stato di fatto e di progetto;
- relativamente al tempo di ritorno 200 anni, linee di flusso e entità delle velocità in corrispondenza degli sfioratori laterali nell'istante temporale corrispondente al massimo invaso di ciascun lago.

### 7.1 TR = 20 anni

#### 7.1.1 Stato di fatto

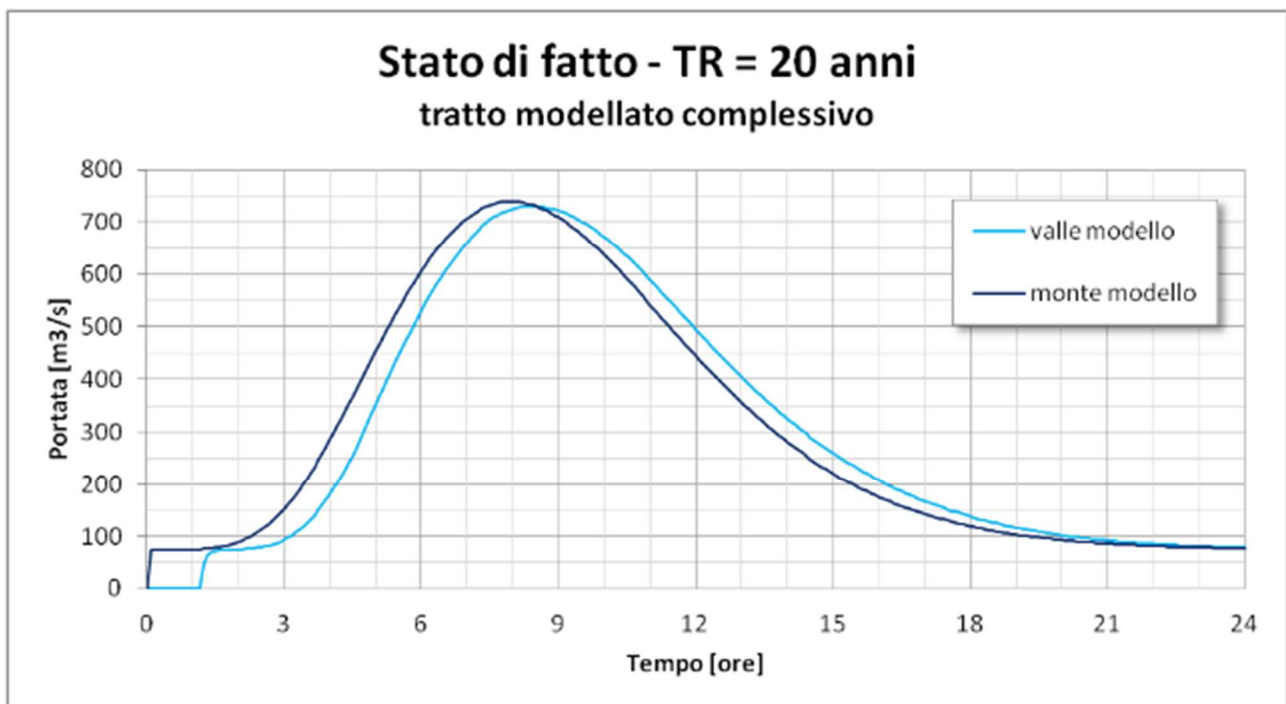


Figura 11: Idrogramma relativo alla sezione di monte e di valle relativamente a tutto il tratto modellato, per lo stato di fatto, per TR=20 anni

### 7.1.2 Stato di progetto

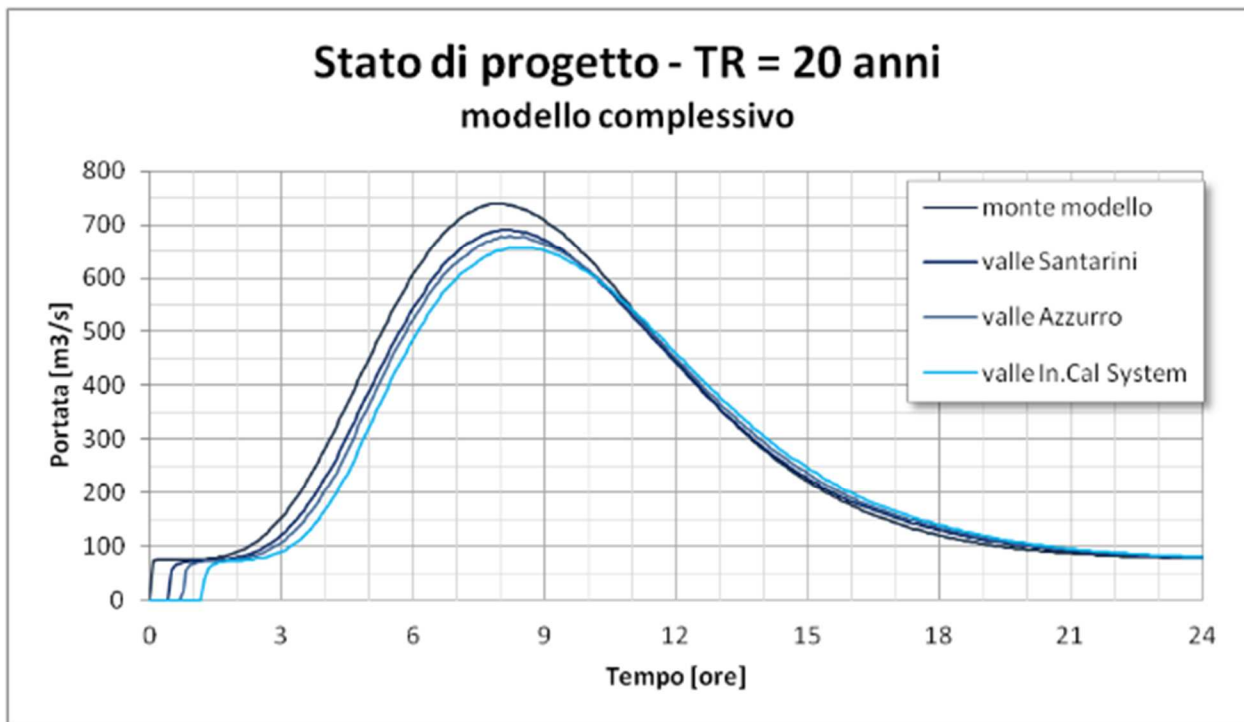


Figura 12: Idrogramma relativo alla sezione di monte e di vale relativamente a tutto il tratto modellato, per lo stato di progetto, con evidenziati i vari passaggi intermedi dovuti all'influenza dei laghi, per TR=20anni

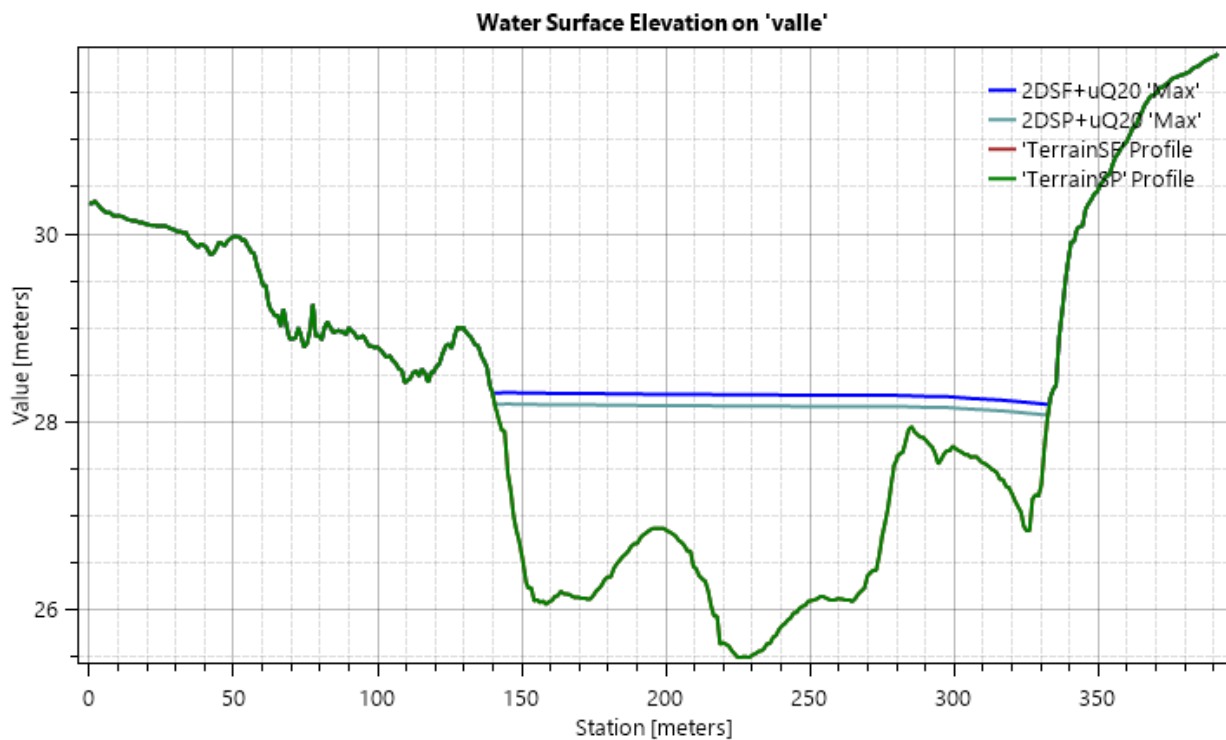


Figura 13: Livello idrico massimo nella sezione di valle al tratto modellato per stato di progetto (2DSP) e stato di fatto (2DSF), TR=20anni



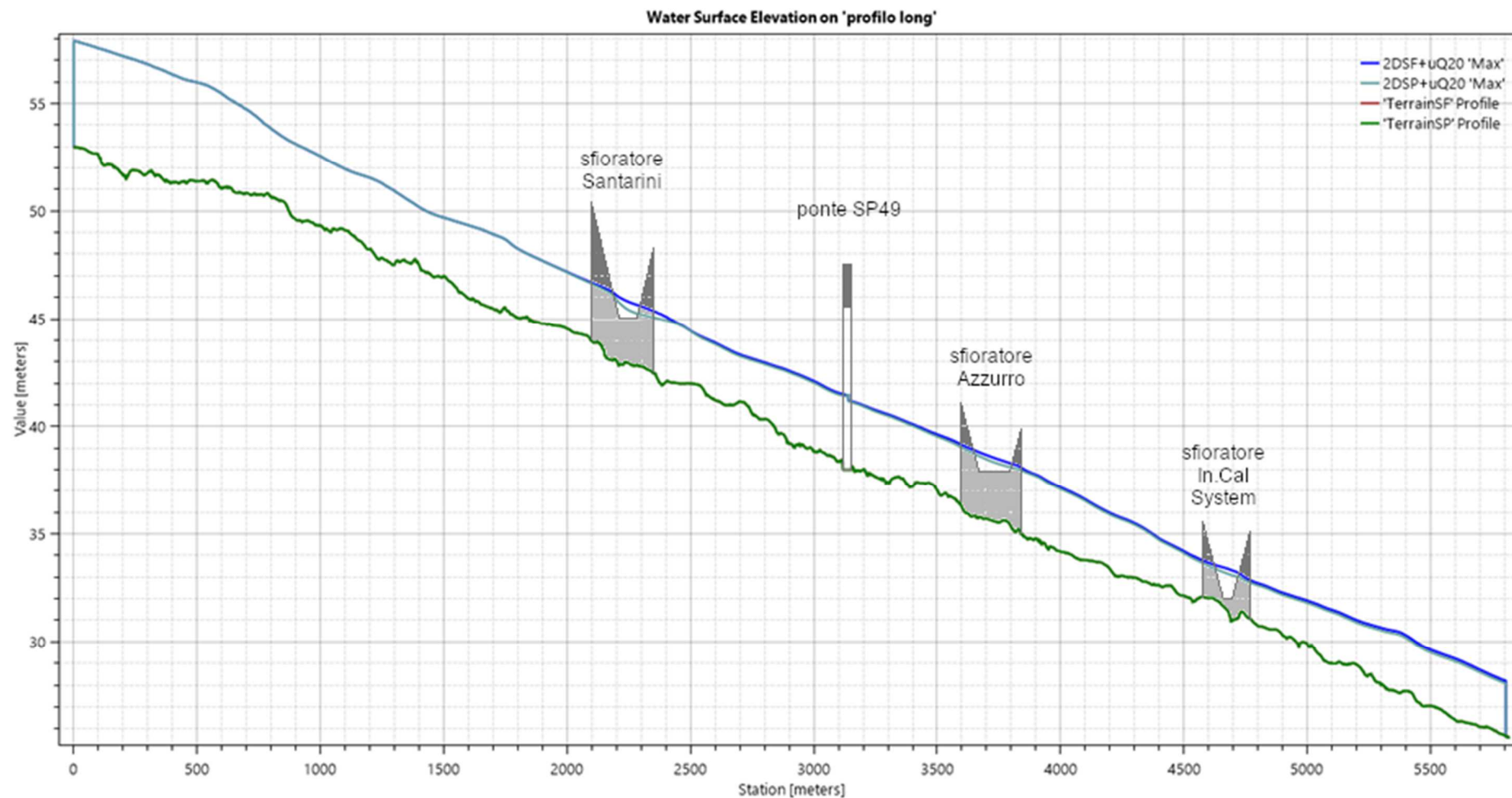


Figura 14: profilo longitudinale del tratto di fiume modellato (la cui traccia planimetrica è riportata in Appendice A) con andamento dei tiranti idrici per lo stato di fatto (2DSF) e di progetto (2DSP), TR=20 anni

## 7.2 TR = 50 anni

### 7.2.1 Stato di fatto

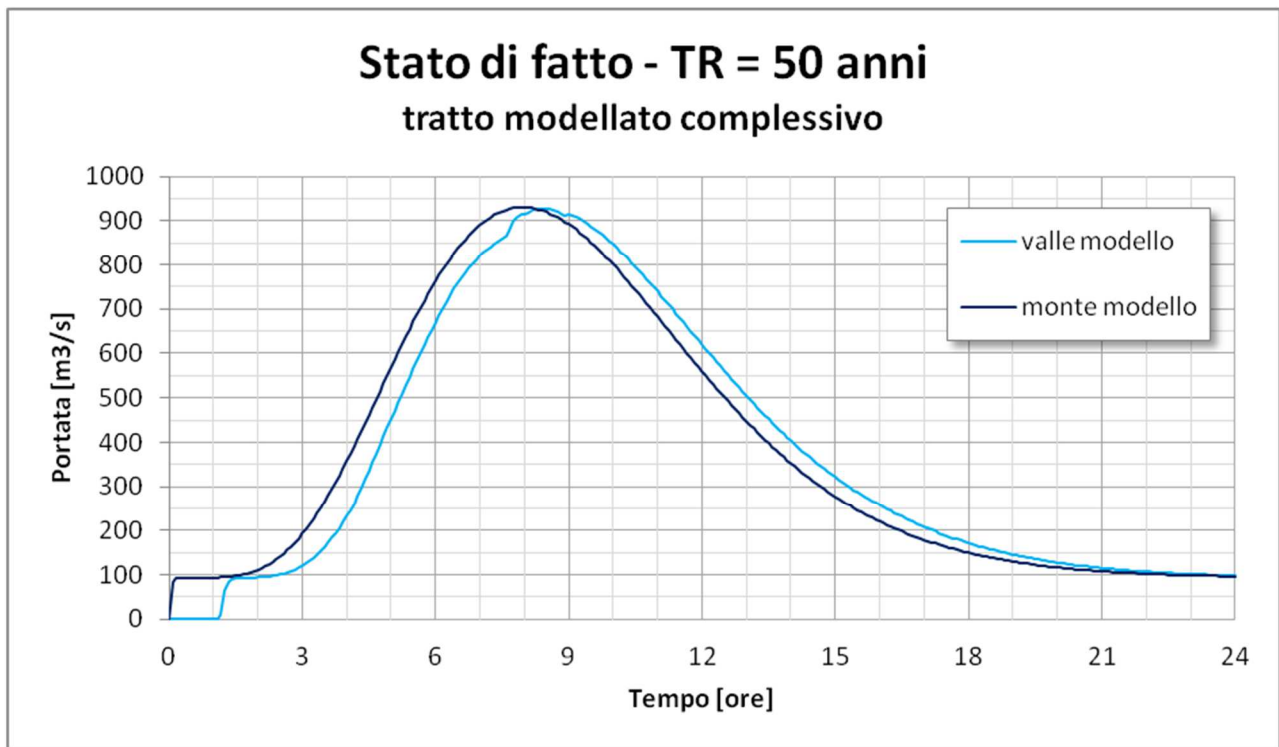


Figura 15: Idrogramma relativo alla sezione di monte e di vale relativamente a tutto il tratto modellato, per lo stato di fatto e TR=50anni

### 7.2.2 Stato di progetto

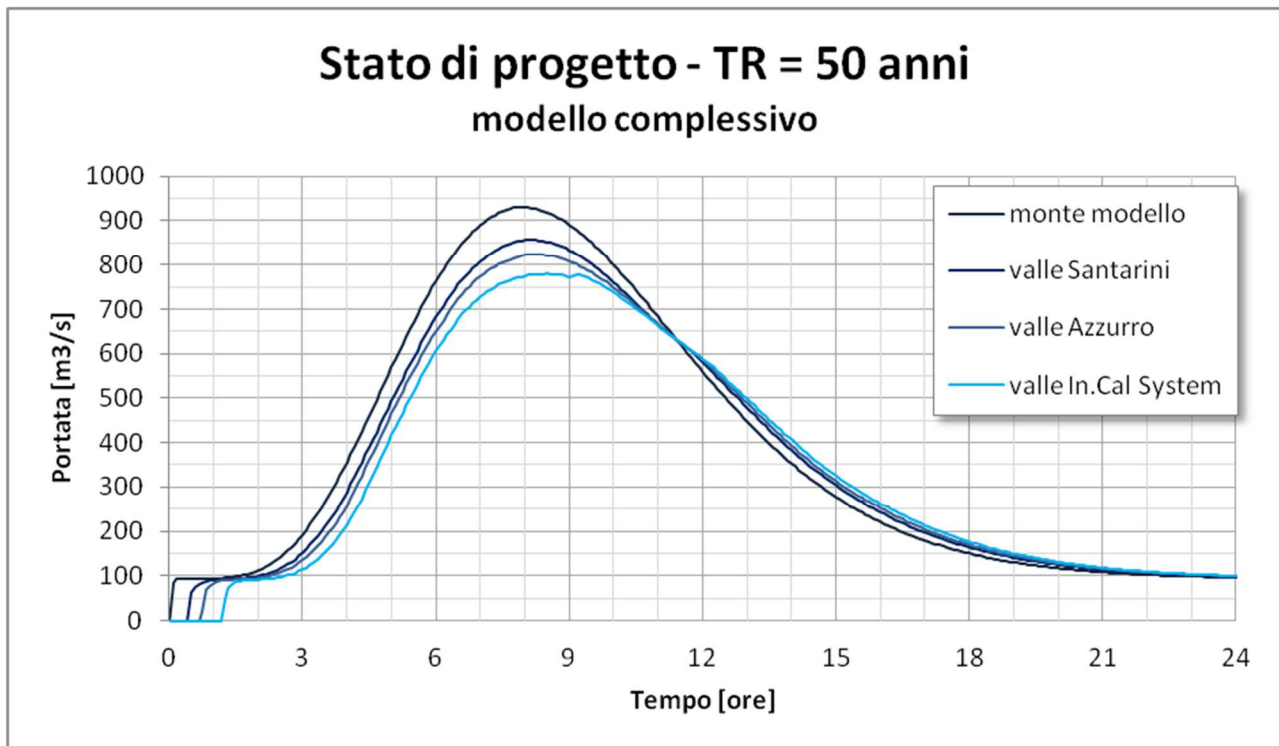


Figura 34: Idrogramma relativo alla sezione di monte e di vale relativamente a tutto il tratto modellato, per lo stato di progetto, con evidenziati i vari passaggi intermedi dovuti all'influenza dei laghi, per TR=50anni

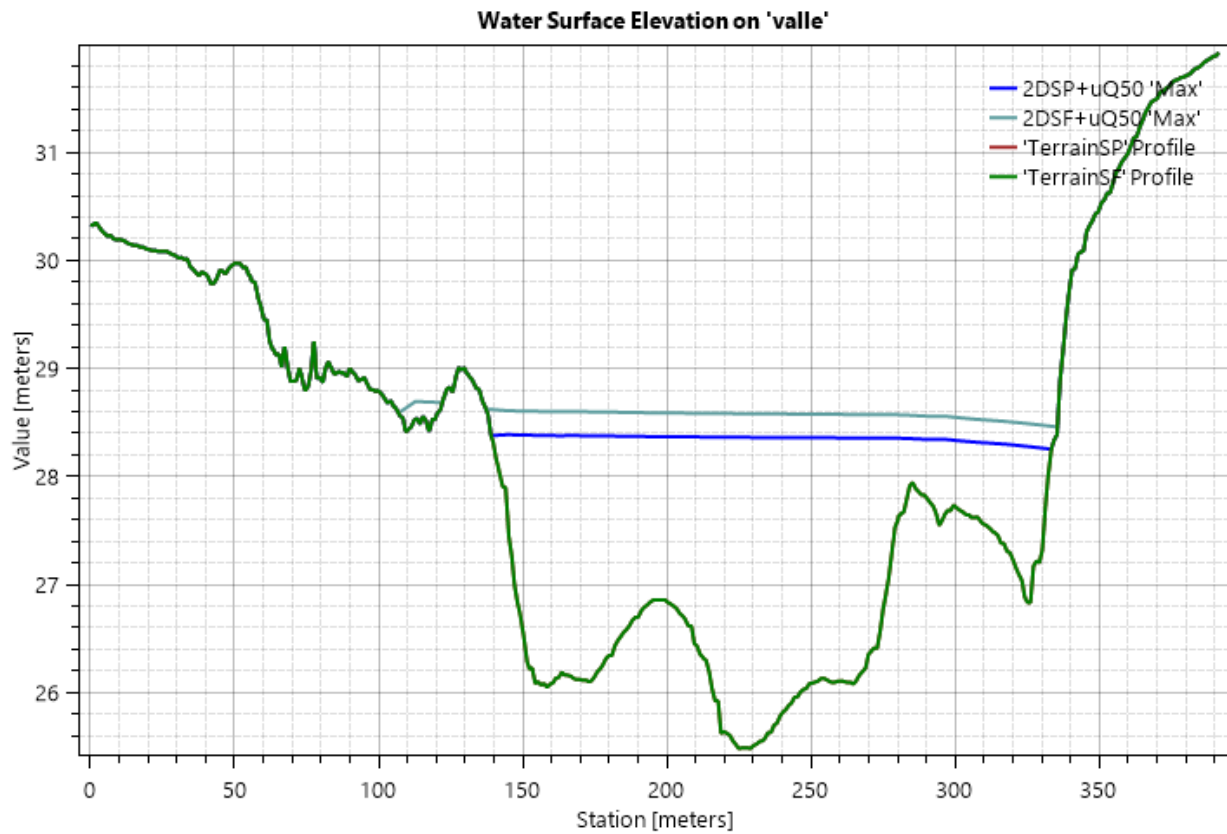


Figura 16: Livello idrico massimo nella sezione di valle al tratto modellato per stato di fatto (2DSF) e di progetto (2DSP),  $TR=50$ anni

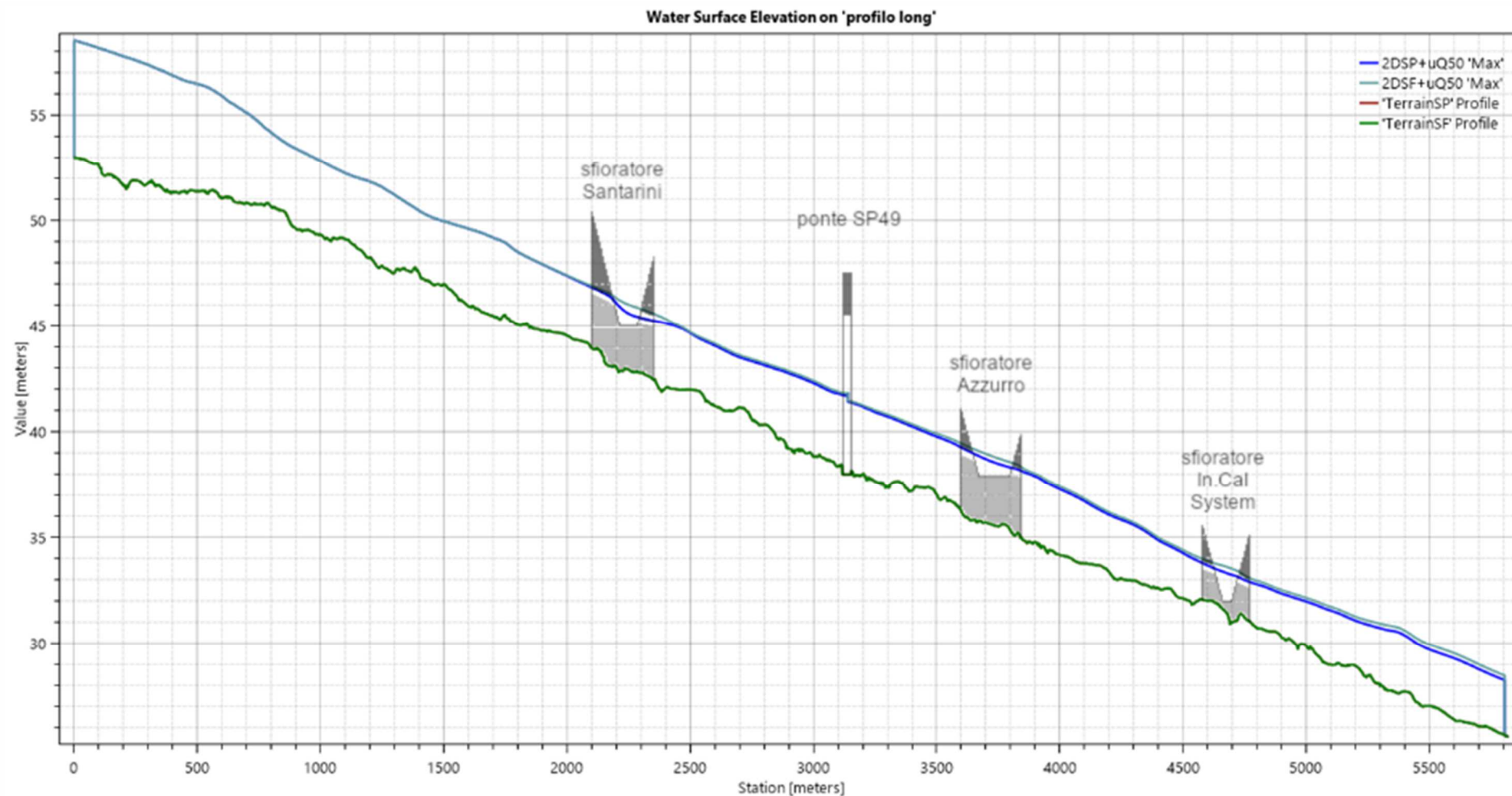


Figura 17: profilo longitudinale del tratto di fiume modellato (la cui traccia planimetrica è riportata in Appendice A) con andamento dei tiranti idrici per lo stato di fatto (2DSF) e di progetto (2DSP), TR=50anni

## 7.3 TR = 200 anni

### 7.3.1 Stato di fatto

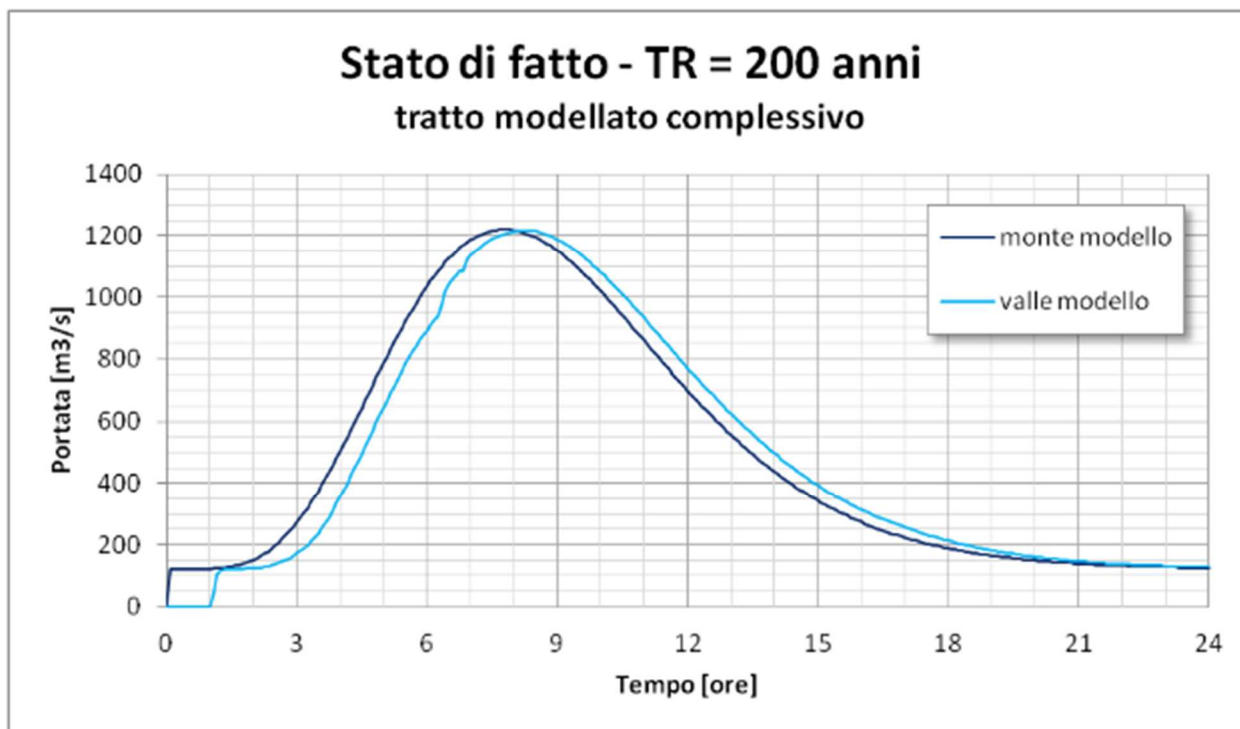


Figura 18: Idrogramma relativo alla sezione di monte e di vale relativamente a tutto il tratto modellato, per lo stato di fatto e TR=200 anni

### 7.3.2 Stato di progetto

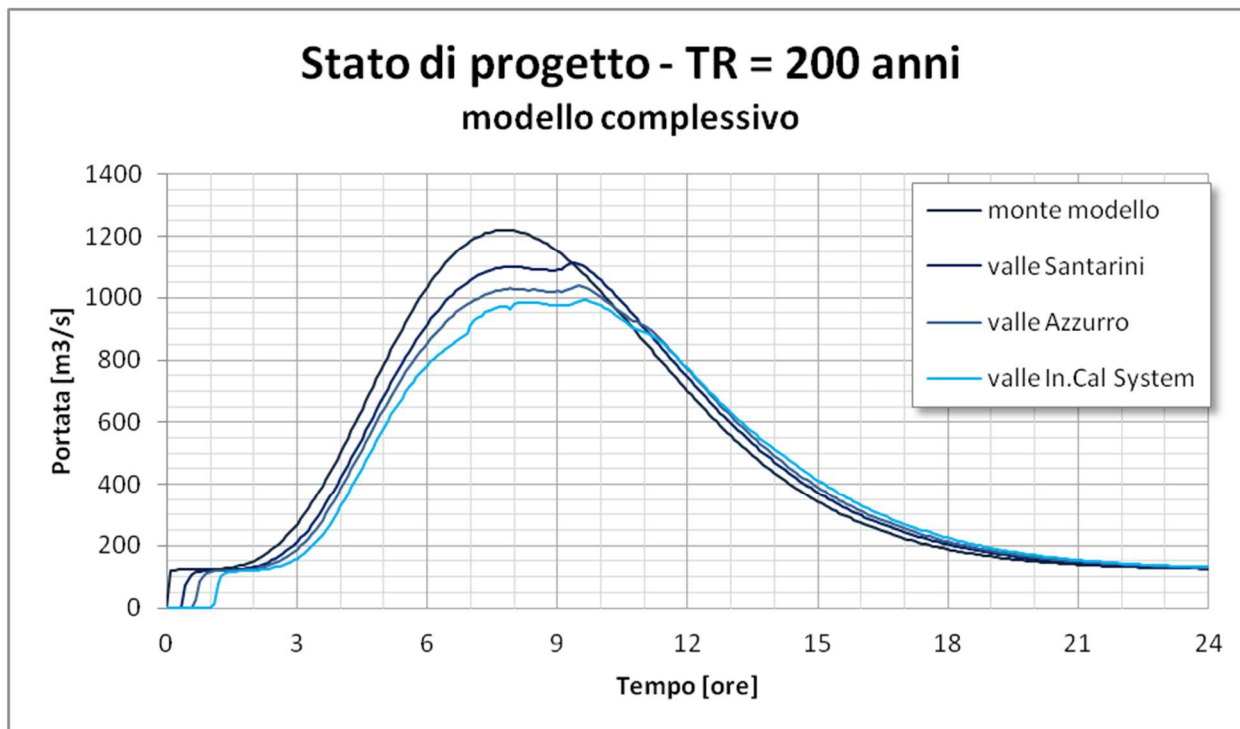


Figura 19: Idrogramma relativo alla sezione di monte e di vale relativamente a tutto il tratto modellato, per lo stato di progetto, con evidenziati i vari passaggi intermedi dovuti all'influenza dei laghi, per TR=200 anni

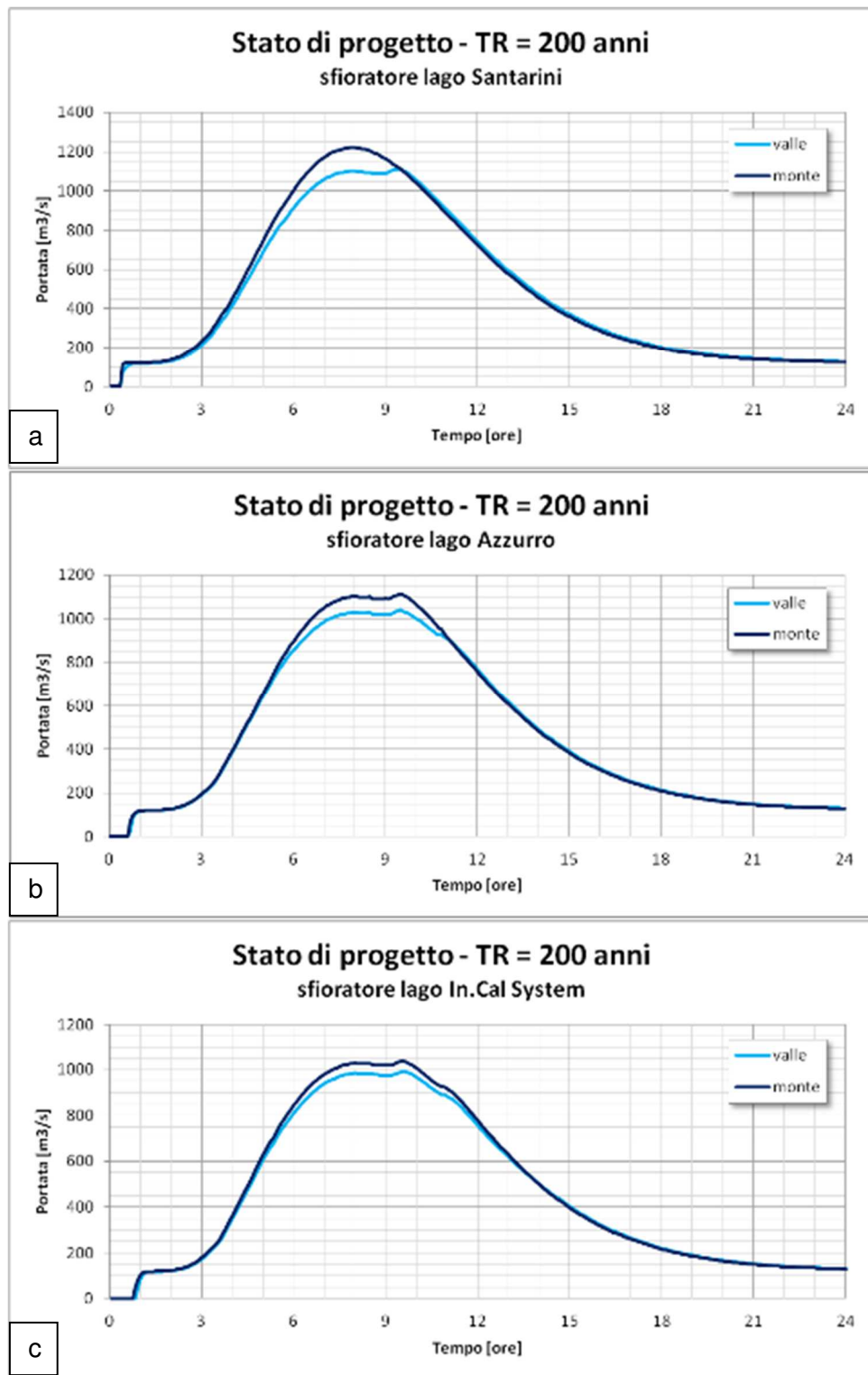


Figura 20: dettaglio degli effetti sulla laminazione dell'onda di piena in ingresso per TR=200 anni, relativi agli sfioratori associati al lago Santarini (a), Azzurro (b) e In.Cal System (c)



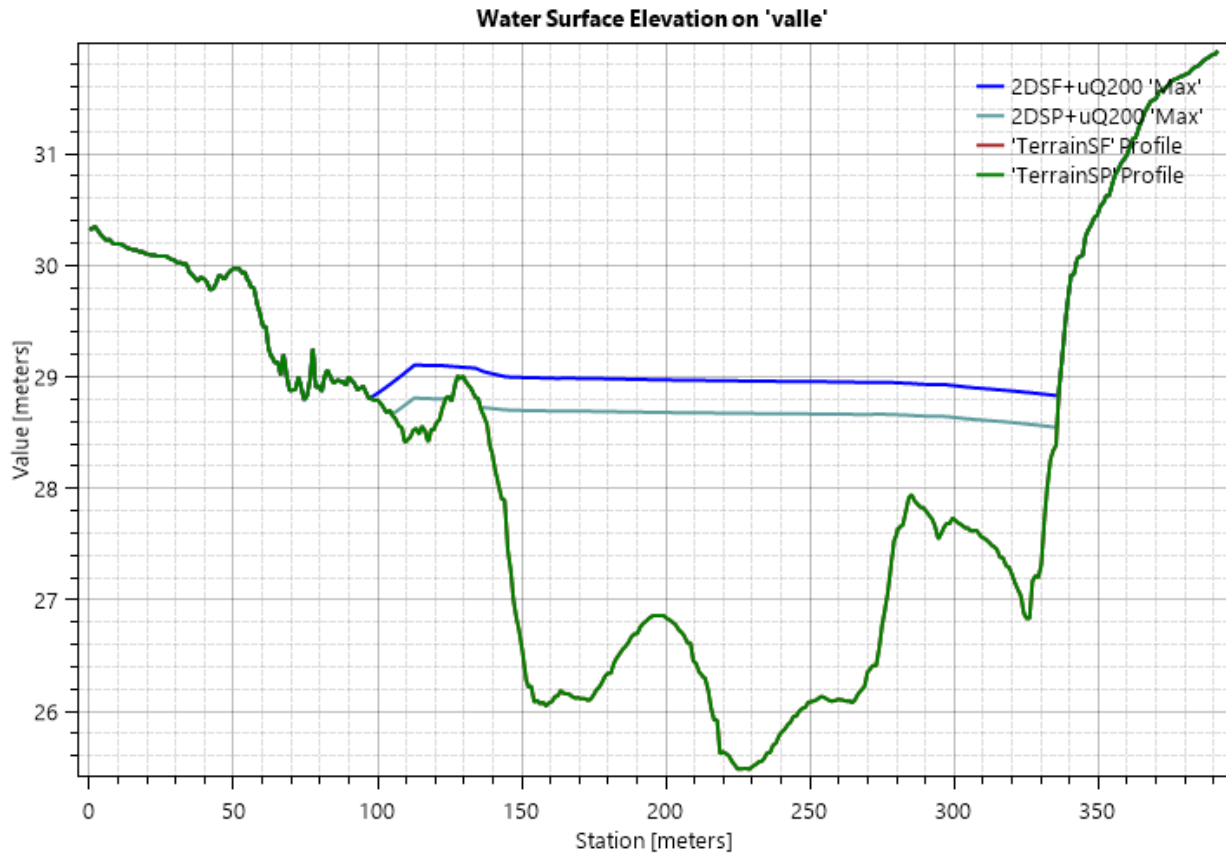


Figura 21: Livello idrico massimo nella sezione di valle al tratto modellato per stato di progetto (2DSP) e di fatto (2DSF), TR=200 anni

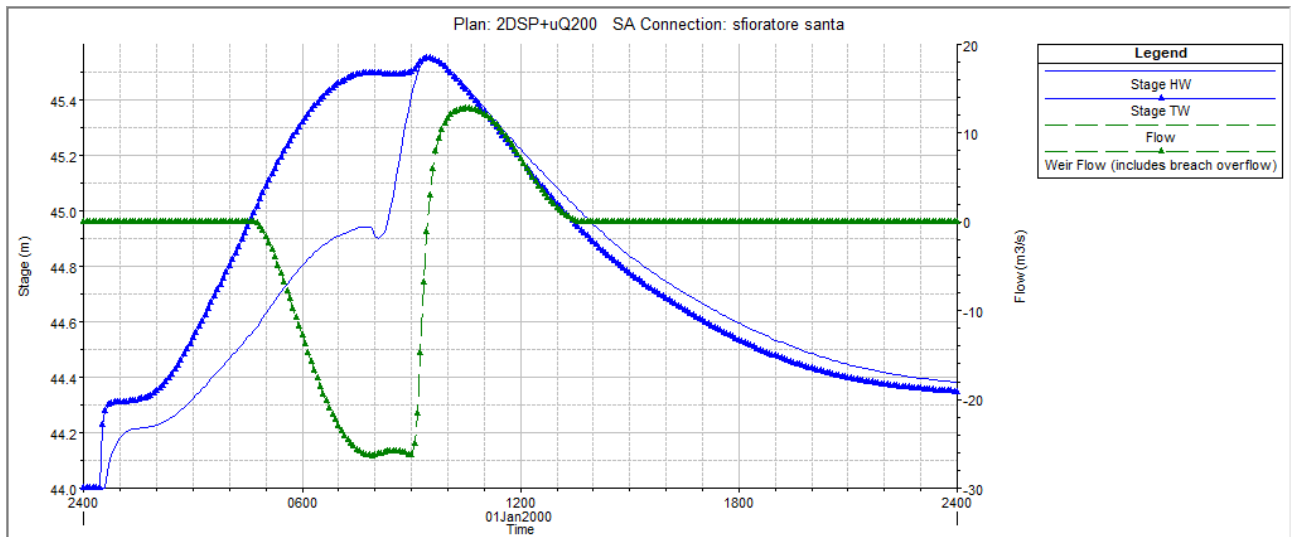


Figura 22: Andamento nel tempo del tirante lato fiume (stage TW), lato lago (stage HW) e portata (Flow) transitante attraverso lo sfioratore a servizio del lago Santarini, stato di progetto, TR=200anni

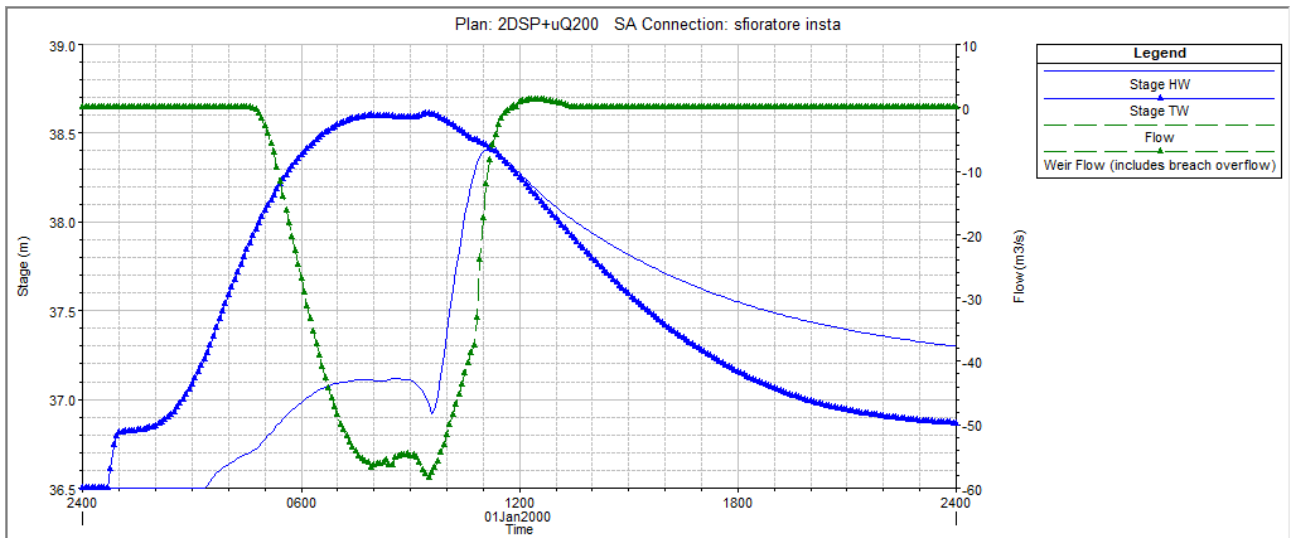


Figura 23: Andamento nel tempo del tirante lato fiume (stage TW), lato lago (stage HW) e portata (Flow) transitante attraverso lo sfioratore a servizio del lago Azzurro, stato di progetto, TR=200anni

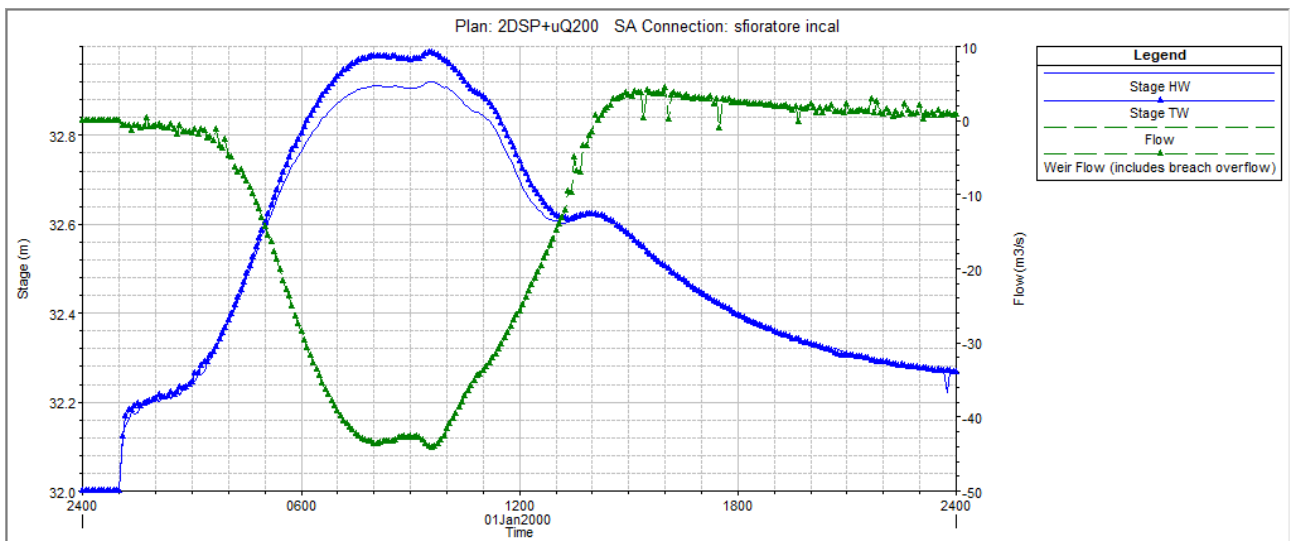


Figura 24: Andamento nel tempo del tirante lato fiume (stage TW), lato lago (stage HW) e portata (Flow) transitante attraverso lo sfioratore a servizio del lago In.Cal System, stato di progetto, TR=200anni

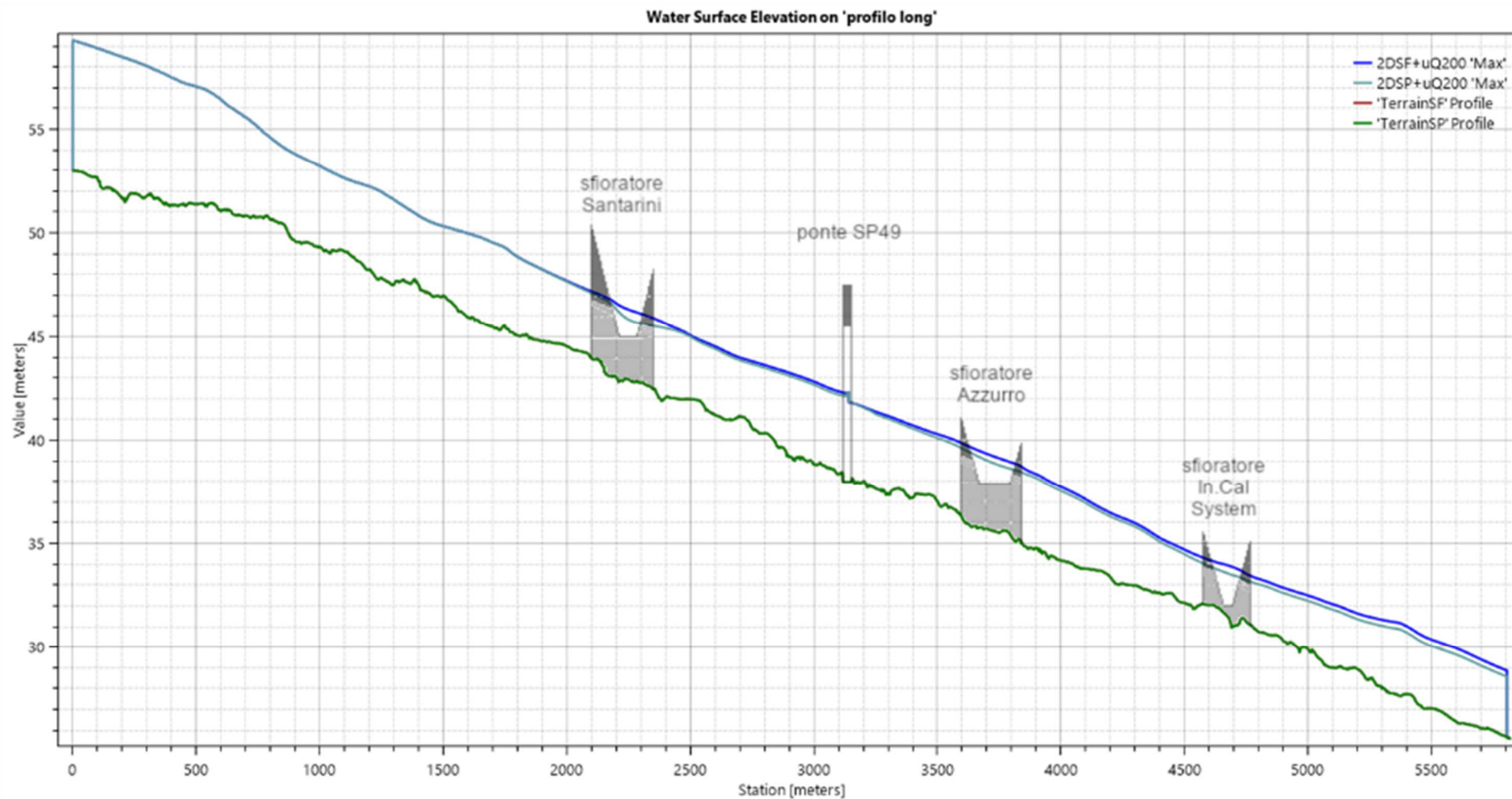


Figura 25: : profilo longitudinale del tratto di fiume modellato (la cui traccia planimetrica è riportata in Appendice A) con andamento dei tiranti idrici per lo stato di fatto (2DSF) e di progetto (2DSP), TR=200anni

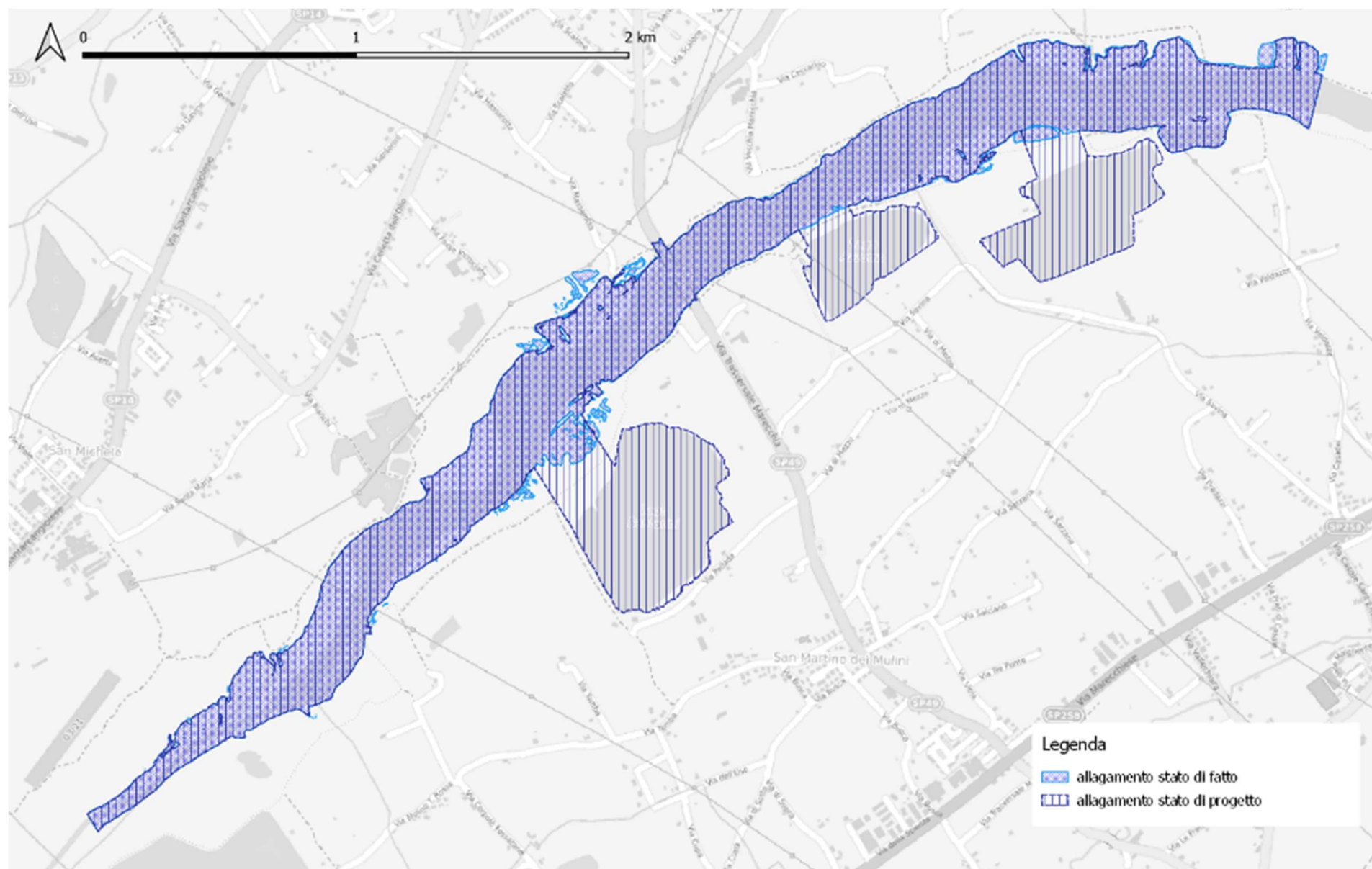


Figura 26: aree allagate per TR=200 anni, nello stato di fatto e di progetto, relativamente al tratto modellato



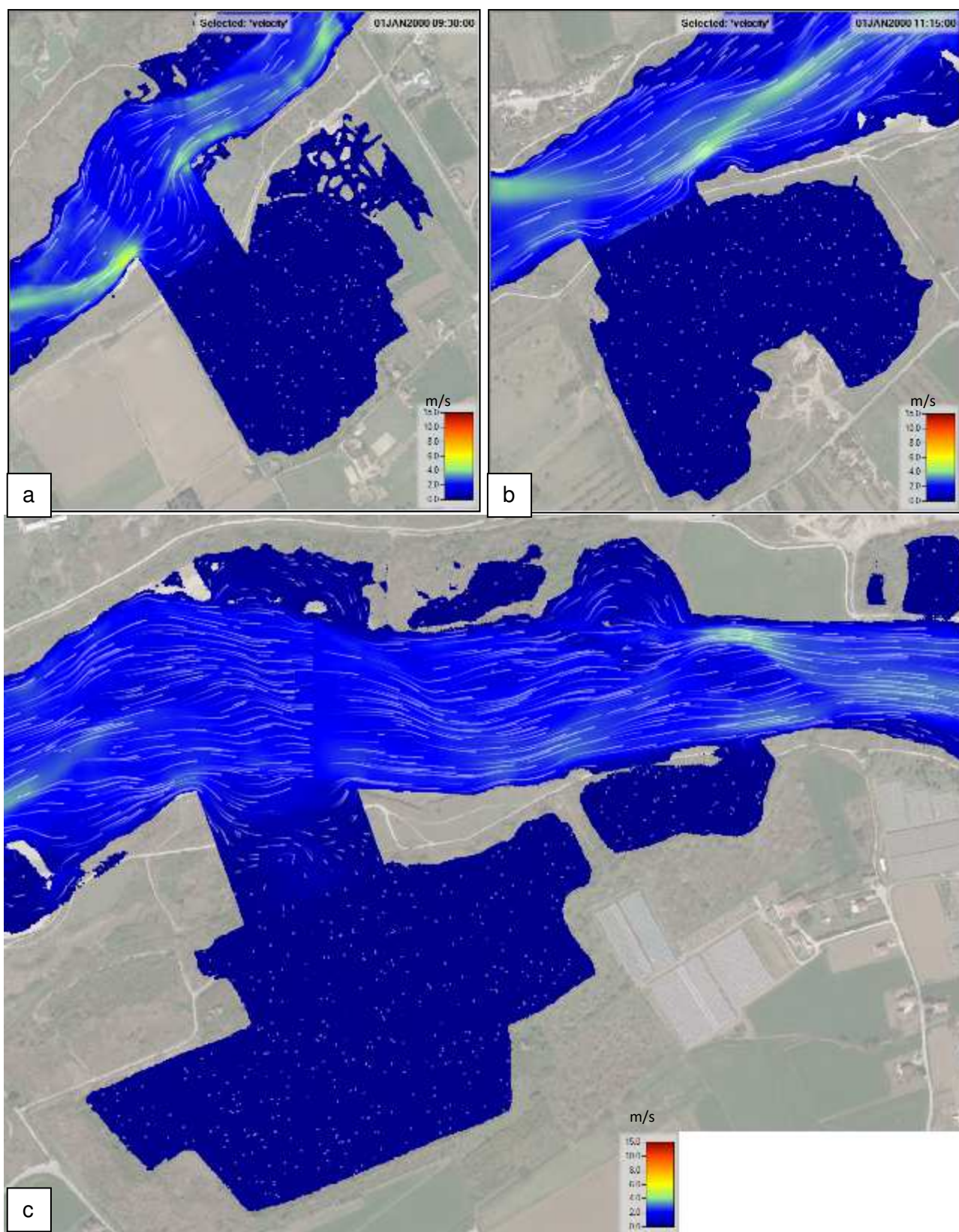


Figura 27: Rappresentazione grafica della velocità della corrente per tre istanti temporali, relativi al massimo invaso dei tre laghi (a – Santarini; b – Azzurro; c – In.Cal System e In.Cal System minore) con indicazione delle linee di deflusso

## 7.4 Riepilogo risultati

Grandezze		TR = 20 anni		TR = 50 anni		TR = 200 anni	
		SdF	SdP	SdF	SdP	SdF	SdP
<b>Portata al colmo [m³/s]</b>	di monte	739		930		1220	
	di valle	730	657	927	779	1217	992
<b>Riduzione portata al colmo</b>	[m³/s]	9	82	3	150	3	228
	[%]	1,2 %	11,1 %	0,4 %	16,2 %	0,2 %	18,7 %
<b>Volume di piena [milioni di m³]</b>	di monte	26,08		32,82		42,70	
	di valle	25,66	23,85	32,27	29,81	42,06	38,73
<b>Riduzione volume di piena</b>	[milioni di m³]	0,43	2,23	0,55	3,02	0,64	3,97
	[%]	1,6 %	8,6 %	1,7 %	9,2 %	1,5 %	9,3 %
<b>Massimo tirante nella sezione di valle</b>	[m]	2,80	2,67	3,09	2,87	3,47	3,18
	[m slm]	28,29	28,16	28,58	28,36	28,96	28,67
<b>Riduzione del tirante nello SdP rispetto a SdF nella sezione di valle</b>	[m]	0,13		0,22		0,29	

Tabella 12: Portate al colmo di piena, riduzione delle portate, volumi di piena e riduzione dei volumi per laminazione nell'intero tratto modellato, per TR=20, 50 e 200 anni, in riferimento allo stato di fatto e di progetto.

Grandezze	Sfioratore lago		Tempo di ritorno		
			20 anni	50 anni	200 anni
<b>Portata al colmo [m<sup>3</sup>/s]</b>	Santarini	di monte	739	930	1220
		di valle	690	856	1112
	Azzurro	di monte	690	856	1112
		di valle	678	824	1039
	In.Cal System	di monte	677	823	1037
		di valle	660	796	993
<b>Riduzione portata al colmo</b>	Santarini	[m <sup>3</sup> /s]	49	74	108
		[%]	6,6 %	7,9 %	8,9 %
	Azzurro	[m <sup>3</sup> /s]	12	33	73
		[%]	1,8 %	3,8 %	6,5 %
	In.Cal System	[m <sup>3</sup> /s]	18	27	44
		[%]	2,6%	3,3 %	4,3 %
<b>Volume di piena [milioni di m<sup>3</sup>]</b>	Santarini	di monte	25,98	32,70	42,54
		di valle	24,71	31,38	41,22
	Azzurro	di monte	24,63	31,30	41,12
		di valle	24,43	30,76	40,05
	In.Cal System	di monte	24,38	30,70	39,98
		di valle	24,94	30,00	38,95
<b>Riduzione volume di piena</b>	Santarini	[milioni di m <sup>3</sup> ]	1,28	1,31	1,33
		[%]	4,9 %	4,0 %	3,1 %
	Azzurro	[milioni di m <sup>3</sup> ]	0,20	0,54	1,06
		[%]	0,8 %	1,7 %	2,6 %
	In.Cal System	[milioni di m <sup>3</sup> ]	0,45	0,70	1,03
		[%]	1,8 %	2,3 %	2,6%
<b>Tirante massimo sullo sfioratore</b>	Santarini	[m]	0,09	0,26	0,55
		[m s.m.]	45,09	45,26	45,55
	Azzurro	[m]	0,11	0,33	0,61
		[m s.m.]	38,11	38,33	38,61
	In.Cal System	[m]	0,66	0,79	0,99
		[m s.m.]	32,66	32,79	32,99

Tabella 13: Dettaglio della riduzione delle portate al colmo, dei volumi transitanti in alveo e dei tiranti, per i tre sfioratori dei rispettivi tre laghi Santarini, Azzurro e In.Cal System,



## 8 Conclusioni

Nella presente relazione si sono valutati i possibili effetti di laminazione della predisposizione di sfioratori laterali associati ai tre laghi di ex-cava Santarini, Azzurro e In.Cal System. Tenendo conto che la forma e le dimensioni degli sfioratori sono di prima ipotesi, esenti da considerazioni costruttive esecutive, al solo fine di determinare il massimo grado di laminazione ottenibile dal sistema.

Gli sfioratori relativi ai laghi Santarini, Azzurro e In.Cal System sono stati definiti a sezione trapezia, con larghezza di fondo rispettivamente di 60 m, 100 m e 32 m, larghezza in sommità di 200 m, 180 m, 185 m e spessore in pianta (tale da collegare idraulicamente i laghi al fiume Marecchia) di 206 m, 70 m, 100 m.

Eseguendo sei simulazioni, due per ogni tempo di ritorno considerato (20, 50 e 200 anni), relative allo stato di fatto e di progetto, è stato possibile stimare che per tempo di ritorno 200 anni si ha un significativo abbassamento del picco di piena riscontrato nel tratto modellato, pari a circa 230 m<sup>3</sup>/s (19% di efficienza), di molto maggiore di quello ottenuto nello stato di fatto (pari a 3 m<sup>3</sup>/s); cosa analoga avviene per tempi di ritorno inferiori, per cui, per 20 e 50 anni si ha rispettivamente un abbattimento di 82 m<sup>3</sup>/s (11%) e 150 m<sup>3</sup>/s (16%).

## 9 Bibliografia

AdB-MC. (2004). *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico - Relazione*. Autorità interregionale di Bacino Marecchia-Conca, Regione Emilia-Romagna, Regione Marche, Regione Toscana.

Chow, V. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill.

## APPENDICE A – Traccia planimetrica della sezione longitudinale

