



# Comune di Fucecchio

## Città Metropolitana di Firenze

Sindaco  
Alessio Spinelli

Assessore all'Urbanistica  
Alessio Sabatini

Responsabile del Procedimento  
Arch. Marco Occhipinti

Garante della Comunicazione  
Geom. Teodoro Epifanio

Gruppo di progettazione  
(Coordinatore progetto) Arch. Antonio Comuniello  
Arch. Andrea Colli Franzone  
Arch. Donatella Varallo

Indagini geologico-tecniche  
*Studio associato Geoprogetti - Consulenze geologiche*  
Geol. Francesca Franchi  
Geol. Emilio Pistilli

Approfondimenti idrogeologico-idraulici  
*Studio di ingegneria idraulica e ambiente*  
Ing. Gesualdo Bavecchi

Indagini sul territorio rurale  
*Studio associato franchimartinelliagronomi - Associazione professionale*  
Agr. Guido Franchi  
Agr. Federico Martinelli

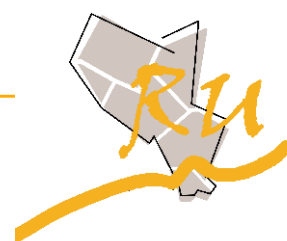
Valutazione Ambientale Strategica e Studio di Incidenza  
*Società D.R.E.A.M. Italia Soc. Coop.*  
(Coordinatore) Geol. Leonardo Moretti

Aspetti socioeconomici  
*Alfamark - comunicazione e marketing*  
Dott. Alessio Falorni

## Relazione idrologica-idraulica

C.4

ADOZIONE con Del.C.C. n.16 del 07/04/2014  
APPROVAZIONE con Del.C.C. n.22 del 14/05/2015



## INDICE

1.	<b>PREMESSA</b> .....	2
2.	<b>STUDI IDROLOGICI-IDRAULICI DI RIFERIMENTO</b> .....	4
2.1.	Studio sul fiume Arno .....	4
2.2.	Materiale fornito dal Consorzio di Bonifica Padule di Fucecchio .....	5
2.3.	Altro materiale a disposizione.....	5
2.4.	La perimetrazione P.A.I. attuale.....	6
3.	<b>ANALISI IDROLOGICA</b> .....	7
3.1.	Gli scenari idrologici considerati .....	7
3.2.	I tempi di ritorno di interesse .....	9
3.3.	Metodologia adottata per il calcolo degli idrogrammi di input .....	10
3.3.1.	Scenario A1 .....	10
3.3.2.	Scenario A2.....	12
3.3.3.	Scenario A3.....	12
3.3.4.	Scenario B.....	15
3.3.5.	Scenario C.....	16
3.3.6.	Scenario D.....	17
3.4.	La condizione al contorno di valle.....	20
4.	<b>STUDIO IDRAULICO DELLO STATO ATTUALE</b> .....	21
4.1.	Modellazione idraulica attraverso il software Hec-ras 4.0 .....	21
4.1.1.	Il modello di moto vario utilizzato nelle simulazioni .....	21
4.1.2.	Equazioni di base per la modellazione in moto vario.....	22
4.1.3.	Condizioni al contorno del modello in moto vario.....	23
4.1.4.	Condizioni iniziali del modello in moto vario.....	24
4.1.5.	Criteri di suddivisione della sezione .....	24
4.1.6.	Valutazione delle perdite di carico per attrito.....	25
4.1.7.	Storage areas (aree di laminazione) .....	25
4.1.8.	Lateral weir (sfioratore laterale).....	25
4.2.	I rilievi utilizzati .....	26
4.3.	La schematizzazione geometrica del reticolo costituito dal canale Usciana, il torrente Vincio, il Rio di Fucecchio e le celle che risentono dell'esonazioni dell'Arno.....	26
4.3.1.	I coefficienti di scabrezza.....	30
4.3.2.	I coefficienti di espansione e contrazione .....	30
4.3.3.	Curve di invaso relative alle celle di fondovalle .....	31
4.4.	Schematizzazione geometrica Rio Vallebuia .....	35
4.4.1.	I coefficienti di scabrezza.....	37
4.4.2.	I coefficienti di espansione e contrazione .....	37
4.4.3.	Curve di invaso relative alle celle di fondovalle .....	38
4.5.	Schematizzazione geometrica Rio Macone.....	39
4.5.1.	I coefficienti di scabrezza.....	42
4.5.2.	I coefficienti di espansione e contrazione .....	42
4.5.3.	Curve di invaso relative alle celle di fondovalle .....	43
4.6.	Analisi dei risultati allo stato attuale .....	44
4.6.1.	Scenario A1 – condizioni critiche sul Rio di Fucecchio e sul canale Maestro.....	44
4.6.2.	Scenario A2 – condizioni critiche sul rio di Vallebuia.....	45
4.6.3.	Scenario A3 – condizioni critiche sul rio Macone.....	45
4.6.4.	Scenari C e D.....	46
4.7.	Considerazioni sulla presenza del argine circondariale di Ponte a Cappiano.....	49
5.	<b>DETERMINAZIONE DELLE AREE ALLAGABILI E DELLE CARTE DI PERICOLOSITÀ</b> .....	50
5.1.	Metodologia per la definizione della cartografia delle aree allagabili e della pericolosità idraulica .....	50
5.2.	Confronto tra i modelli sviluppati e il P.A.I. vigente .....	53
6.	<b>LIMITI DELLO STUDIO E CONSIDERAZIONI FINALI</b> .....	53

## **1. PREMESSA**

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Fucecchio (FI), è stato redatto il presente studio idrologico-idraulico di supporto alla Variante Generale del Piano Strutturale e del Regolamento Urbanistico del comune stesso.

Tale studio è alla base anche della proposta di modifica e aggiornamento del Piano di Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno relativamente al territorio comunale di Fucecchio.

Obiettivo del presente studio è pertanto individuare le aree allagabili interne la territorio comunale nei diversi tempi di ritorno, in modo da ottenere le classi di pericolosità idraulica sia secondo la classificazione propria del P.S.<sup>1</sup> che secondo le classi di pericolosità del PAI.

Il sistema idraulico del comune di Fucecchio è caratterizzato dalla presenza del fiume Arno che scorre in direzione est → ovest nella zona più a sud del comune, dal canale Usciana che ha inizio nel cratere palustre del Padule di Fucecchio e attraversa il territorio comunale parallelamente all'Arno e da una serie di affluenti del canale stesso, tra i quali i principali sono il torrente Vincio, che scorre prevalentemente all'interno del territorio comunale di Cerreto Guidi e nel suo tratto terminale lungo il confine comunale, e il rio di Fucecchio che scorre nel tratto di monte in direzione ortogonale al canale Usciana e parallelamente ad esso nel suo tratto di valle (cfr. immagine seguente).

Oltre ai suddetti corsi d'acqua, in accordo con i tecnici del Genio Civile di Firenze, sono stati inseriti nel presente studio anche il Rio Vallebuia e il Rio Macone, che rientrano tra i corsi d'acqua dell'elenco del PIT e sono prossimi a centri abitati (cfr. immagine seguente).

Al fine di ottenere il perimetro delle aree allagabili del territorio comunale sono stati presi in considerazione anche i contributi nelle celle d'esondazione dovuti all'Arno, al fine di considerare l'eventuale contemporaneità di eventi di piena sia nel fiume Arno che nel reticolo minore.

---

<sup>1</sup> In ottemperanza al Decreto del Presidente della Giunta Regionale 25 Ottobre 2011, n. 53/R – Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche, pubblicato il 2.11.2011 sul Bollettino Ufficiale della Regione Toscana – N. 51.

Le verifiche idrauliche sviluppate a supporto della variante al Piano Strutturale del comune di Fucecchio interessano quindi i seguenti corsi d'acqua:

Corso d'acqua	Posizione
01 Fiume Arno	
02 Canale Usciana	Destra idraulica del fiume Arno
03 Rio di Fucecchio	Sinistra idraulica canale Usciana
04 Torrente Vincio	Sinistra idraulica canale Usciana
05 Rio Vallebuia	Sinistra idraulica canale Maestro
06 Rio Macone	Sinistra idraulica fiume Arno

Tabella 1 – Corsi d'acqua esaminati e loro posizione rispetto al corso d'acqua in cui confluiscono

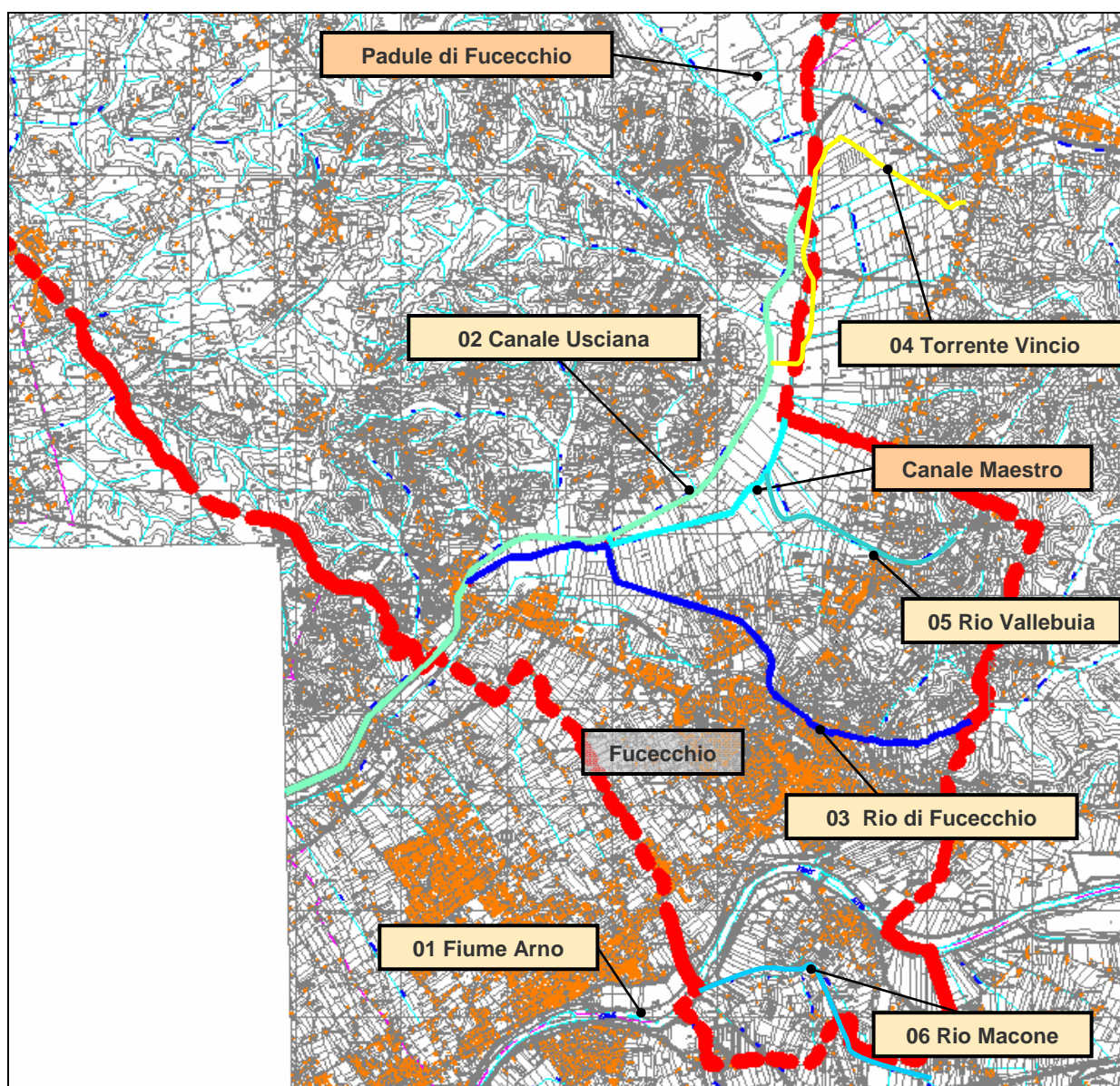


Figura 1 – Il sistema idrografico del comune di Fucecchio - con individuati i corsi d'acqua principali e il confine comunale (rosso).

Nel corso del seguente studio è stato quindi realizzato un modello unico comprensivo dell'asta del canale Usciana, del torrente Vincio (nel suo tratto terminale), del Rio di Fucecchio e, relativamente agli scenari critici per il fiume Arno, degli idrogrammi di sfioro dagli argini dell'Arno nelle celle d'esondazione limitrofe.

Relativamente al Rio Vallebuia e al Rio Macone sono stati implementati dei modelli idraulici a parte in quanto i tempi di pioggia critici di questi rii sono notevolmente inferiori rispetto agli eventi critici del reticolo in cui si immettono.

## **2. STUDI IDROLOGICI-IDRAULICI DI RIFERIMENTO**

### **2.1. Studio sul fiume Arno**

Come modello di riferimento per le condizioni indotte dall'Arno sono stati utilizzati i risultati del modello implementato nell'ambito del progetto SIMI 2004 dall'Autorità di Bacino del fiume Arno. In particolare è stato fatto riferimento agli idrogrammi di sfioro dall'Arno nelle celle limitrofe forniti dall'Autorità di Bacino stessa relativamente al tratto tra la sezione n°356 e la sezione n°276, che corrisponde al tratto compreso tra la confluenza del fiume Elsa e il canale scolmatore.

Il tracciato dell'Arno che risulta interno al comune di Fucecchio è in realtà limitato tra la sezione n°343 e la sezione n°328, tuttavia gli idrogrammi di sfioro sono stati considerati su un tratto molto più esteso al fine di descrivere al meglio le dinamiche di esondazione che si instaurano. In particolare il piano di campagna in destra idraulica dell'Arno, in corrispondenza dei comuni Castelfranco di Sotto, Santa Croce sull'Arno e Fucecchio, risulta pianeggiante e senza rilevati stradali o arginali in grado di interrompere fenomeni di esondazione e separare idraulicamente le celle, pertanto risulta necessario considerare il contributo dell'Arno anche alle celle dei comuni limitrofi al fine di definire i massimi battenti nelle aree che interessano il comune di Fucecchio.

I volumi d'acqua dovuti all'esondazioni dell'Arno in destra idraulica che allagano il territorio comunale di Fucecchio, vanno ad unirsi e ad interagire con l'acqua tracimata dal canale Usciana, di conseguenza i suddetti idrogrammi di sfioro dall'Arno sono stati inseriti nel modello con la geometria di verifica del canale Usciana, del torrente Vincio e del Rio di Fucecchio relativamente agli scenari con tempo di pioggia 24 e 36 ore (scenario C e D - cfr. paragrafi seguenti).



## **2.2. Materiale fornito dal Consorzio di Bonifica Padule di Fucecchio**

Il consorzio di Bonifica Padule di Fucecchio ha fornito allo scrivente il seguente materiale:

- *Studio di area vasta per l'attuazione delle previsioni del piano di Bacino del fiume Arno – stralcio rischio idraulico (D.P.C.M. 5/1/99) – sul bacino dell'Usciana e per interventi di salvaguardia del sistema idrico afferente al Padule di Fucecchio,*
- *Idrogrammi di piena del Canale Usciana, del rio di Fucecchio, del torrente Vincio, del Rio Vallebuia e del canale Maestro per diversi tempi di pioggia estratti dal software PIENE.*
- *Progetto di riprofilatura e realizzazione di una briglia a valle di Ponte a Cappiano - Interventi di manutenzione straordinaria di un tratto del canale Usciana – Maggio 2004*

In particolare dallo studio di Area Vasta sono stati estrapolati i seguenti dati:

- i picchi di portata nelle sezioni di monte nei diversi tempi di ritorno, che tengono conto dell'effetto di laminazione del Padule di Fucecchio per quanto riguarda il canale Usciana e della cassa di espansione esistente nel tratto di monte relativamente al rio di Fucecchio,
- i battenti massimi nella sezione del canale Usciana utilizzata come sezione conclusiva del modello,
- le sezioni dell'alveo del canale Usciana, del torrente Vincio e del Rio di Fucecchio in formato PDF.

Sulla base delle sezioni riportate nel progetto di riprofilatura e realizzazione di una briglia a valle di Ponte a Cappiano sono state ricavate le sezioni del canale Usciana in questo tratto e le dimensioni della briglia.

## **2.3. Altro materiale a disposizione**

Il consorzio di Bonifica della Val d'Era ha fornito allo scrivente il seguente materiale inerente al Rio Macone:

*Studio idrologico e idraulico del Rio Macone e dei Rii Affluenti: Cava Destra, Ribecco, San Bartolomeo, interventi per il contenimento delle portate di piena duecentennali – progetto preliminare (2006) - Consorzio di Bonifica della Val d'Era – San Miniato (PI)*

## 2.4. La perimetrazione P.A.I. attuale

In questo paragrafo si riporta un estratto a livello informativo della perimetrazione redatta a supporto del Piano di Assetto Idrogeologico dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno (livello di dettaglio – scala 1:10'000).

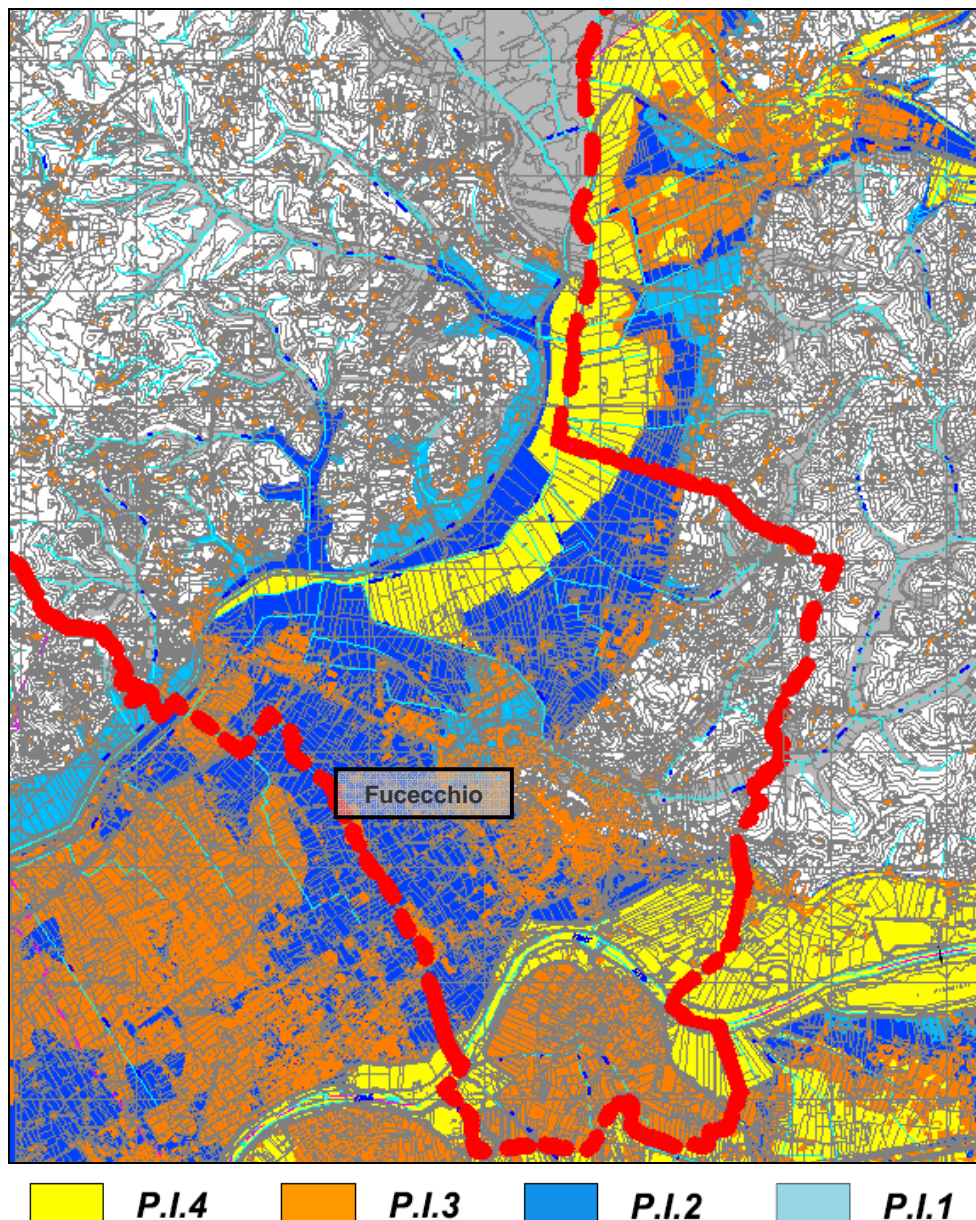


Figura 2 – Estratto carta pericolosità idraulica PAI con evidenziato il confine comunale (rosso)

### **3. ANALISI IDROLOGICA**

#### **3.1. Gli scenari idrologici considerati**

Le finalità dello studio hanno comportato la necessità di caratterizzare diversi scenari dal punto di vista idrologico dei vari tronchi di interesse del reticolo in studio, al fine di valutare le capacità di deflusso attuali e le volumetrie massime esondate.

Gli scenari idrologici considerati nel modello sono stati scelti con l'intento di realizzare condizioni di evento critico per ogni tratto compreso. In particolare sono stati individuati quattro scenari di verifica:

- A) il primo scenario è relativo alle condizioni di deflusso maggiormente critico per i corsi d'acqua minori (Rio di Fucecchio, Canale Maestro, Rio Vallebuia e Rio Macone) – tempi di pioggia inferiori a 3 h;
- B) il secondo scenario è relativo alle condizioni di deflusso maggiormente critico per il torrente Vinci – tempo di pioggia pari a circa 4 h;
- C) il terzo scenario si riferisce invece alle condizioni critiche del fiume Arno, che si attesta su un tempo di pioggia pari a 24 ore;
- D) il quarto scenario si riferisce invece alle condizioni critiche per il Canale Usciana al ponte della S.P. di Massarella, che si attesta su un tempo di pioggia pari a 36 ore, a causa dell'effetto di laminazione e di ritardo del picco generato dal cratere palustre del Padule di Fucecchio.

Lo scenario A è inoltre ripartito in 3 scenari:

- Scenario A1: tempo di pioggia critico sul Rio di Fucecchio e sul Canale Maestro,
- Scenario A2: tempo di pioggia critico sul Rio Vallebuia,
- Scenario A3: tempo di pioggia critico sul Rio Macone.

Come accennato in precedenza il Rio Vallebuia e il Rio Macone sono stati analizzati con modelli idraulici indipendenti; mentre il Rio di Fucecchio, il Torrente Vinci, il Canale Usciana e i contributi del Canale Maestro e dell'Arno sono stati modellati con una geometria unica.

In questa geometria unica il contributo del canale Maestro, affluente di sinistra del canale Usciana, è stato inserito come input idrologico alla cella d'esonazione VI\_017\_1 nei diversi tempi di pioggia; la confluenza del canale Maestro nel canale Usciana è regolata dalla presenza di una portella dotata di valvola di non ritorno e



pertanto, in caso di battenti elevati sull'Usciana, le portate raccolte dal bacino del canale Maestro non potendo defluire per gravità nel canale Usciana ristagnano nella cella.

Per quanto riguarda lo scenario di tipo A1 – condizioni critiche sul Rio di Fucecchio ( $T_p=2.7$  h) e sul Canale Maestro ( $T_p=2.15$  h) - gli idrogrammi di piena sono stati desunti dal software PIENE; in particolare relativamente al Rio di Fucecchio è stato tenuto conto dell'effetto di laminazione della cassa di laminazione esistente a monte del tratto esaminato, così come meglio specificato nei paragrafi seguenti. Per gli idrogrammi del canale Usciana e del Torrente Vincio è stato assunto il tempo di pioggia di 3h.

Per quanto riguarda lo scenario di tipo A2 – condizioni critiche sul Rio Vallebuia ( $T_p=1.5$  h) - le condizioni al contorno di monte sono costituite dagli idrogrammi di piena desunti dal software PIENE. Come detto in precedenza il Rio Vallebuia è stato studiato con un modello indipendente, infatti lo studio si concentra sul tratto del corso d'acqua prossimo al centro abitato, in particolare le aree urbanizzate in prossimità dell'attraversamento della S.S. 436, localizzato circa 1.5 km a monte della confluenza del Rio Vallebuia nel canale Maestro.

Comunque per tempi di pioggia maggiori (scenari A1, B, C e D) il contributo del Rio Vallebuia alla cella V1\_017\_1 non è stato trascurato, infatti rientra all'interno del contributo più ampio del Canale Maestro nel quale confluisce.

Per quanto riguarda lo scenario di tipo A3 – condizioni critiche sul Rio Macone ( $T_p=1$  h) - le condizioni al contorno di monte sono costituite dagli idrogrammi di piena desunti dal modello geomorfologico (GIUH) descritto in seguito. I contributi del bacino di pianura attraversato dal rio e dei suoi vari affluenti sono stati calcolati mediante il metodo del volume d'invaso in analogia a quanto riportato nello *Studio idrologico e idraulico del Rio Macone e dei Rii Affluenti: Cava Destra, Ribecco, San Bartolomeo, interventi per il contenimento delle portate di piena duecentennali – progetto preliminare (2006) - Consorzio di Bonifica della Val d'Era – San Miniato (PI)*.

Il Rio Macone è stato studiato con un modello indipendente, infatti confluendo direttamente in Arno le condizioni critiche del corso d'acqua ricettore si attestano su tempi di pioggia molto superiori al tempo di pioggia critico del rio. Inoltre la sua confluenza in Arno è regolata tramite una cateratta e di conseguenza in caso di eventi critici in Arno la portella risulta chiusa e i due corsi d'acqua sono quindi idraulicamente separati.

Per quanto riguarda lo scenario di tipo B – condizioni critiche sul Torrente Vincio ( $T_p=3.9$ h), le condizioni al contorno di monte, sono costituite dagli idrogrammi di piena desunti dal software PIENE, relativamente agli altri corsi d'acqua è stato assunto il tempo di pioggia di 4h.

Per quanto riguarda gli scenari di tipo C e D, sono state svolte una serie di verifiche preliminari al fine di individuare il tempo di pioggia che massimizza le portate in corrispondenza del ponte della S.P. di Massarella, immediatamente a valle del cratere palustre. In particolare sono stati considerati come idrogrammi di input del Padule di Fucecchio gli idrogrammi forniti dal consorzio di bonifica associati a differenti tempi di pioggia.

Dalle verifiche preliminari è stato individuato in 36h il tempo di pioggia che massimizza la portata e i battenti nel canale dell'Usciana al ponte della S.P. di Massarella e nelle celle limitrofe a valle del Padule di Fucecchio indipendentemente dal contributo dell'Arno; dato però che il massimo contributo dell'Arno alle stesse celle si verifica per un tempo di pioggia pari a 24h è risultato necessario sviluppare le modellazioni per entrambi i tempi di pioggia (scenario C=24 h e scenario D= 36 h).

La pericolosità idraulica del territorio sarà valutata dalla combinazione dei vari scenari (A, B, C e D), inserendo la pericolosità maggiore tra quelle da essi determinate.

La scelta della condizioni al contorno sarà esplicitata nel dettaglio nei paragrafi seguenti.

### **3.2. I tempi di ritorno di interesse**

Per quanto riguarda i tempi di ritorno di interesse si fa riferimento al Decreto del Presidente della Giunta Regionale 25 Ottobre 2011, n. 53/R, per cui sono necessari gli studi idraulici per:

- Tr=200 anni e Tr=30 anni al fine di eseguire la classificazione di pericolosità idraulica per il Piano Strutturale;

Inoltre per la proposta di modifica al Piano di Assetto Idrogeologico sono state eseguite le verifiche idrauliche anche per Tr=100 anni.

### 3.3. Metodologia adottata per il calcolo degli idrogrammi di input

Come accennato in precedenza i dati idrologici utilizzati per l'implementazione dei modelli idraulici del Rio Vallebuia e del reticolo costituito dal canale Usciana, dal torrente Vincio e dal Rio di Fucecchio e il contributo del canale Maestro sono stati forniti dal Consorzio di bonifica del Padule di Fucecchio. In particolare in accordo con i tecnici del consorzio è stata adottata la metodologia qui descritta (si rimanda agli allegati idrologici per la rappresentazione degli idrogrammi di piena adottati - in calce alla presente relazione).

#### 3.3.1. Scenario A1

##### fiume Arno

- in questo scenario il fiume Arno risulta contenuto e pertanto il modello è stato limitato solamente al reticolo costituito dal canale Usciana, dal torrente Vincio, dal rio Vallebuia e dal rio di Fucecchio e alle celle attigue.

##### canale Usciana

- in questo scenario sono stati adottati gli idrogrammi corrispondenti al tempo di pioggia di 3 ore forniti dal Consorzio di Bonifica.

##### torrente Vincio

- in questo scenario sono stati adottati gli idrogrammi corrispondenti al tempo di pioggia di 3 ore forniti dal Consorzio di Bonifica.

##### canale Maestro

- sono stati inseriti gli idrogrammi di piena associati al tempo di pioggia critico (pari a 2.15 h) forniti dal Consorzio di Bonifica, assumendo come sezione di chiusura la confluenza nel canale Usciana, in modo da considerare al suo interno anche il contributo del Rio Vallebuia.

##### rio di Fucecchio

- sono stati estratti dal software PIENE gli idrogrammi di piena nei tre tempi di ritorno;

- dalle tabelle dello studio di area vasta sono stati ricavati i picchi di portata nella sezione di monte nei diversi tempi di ritorno, che tengono conto dell'effetto di laminazione della cassa di espansione esistente nel tratto di monte del rio stesso (cfr. tabella seguente);

Rio Fucecchio			
	TR 200 anni	TR 100 anni	TR 30 anni
Q sez. RF_1005a	50.62 mc/s	41.18 mc/s	27.63 mc/s

Tabella 2 – picchi di portata a valle della cassa di espansione del Rio di Fucecchio

- sulla base dei picchi sopra riportati sono stati tagliati gli idrogrammi estratti dal software PIENE ottenendo i seguenti idrogrammi, che sono stati inseriti come condizione di monte del modello:

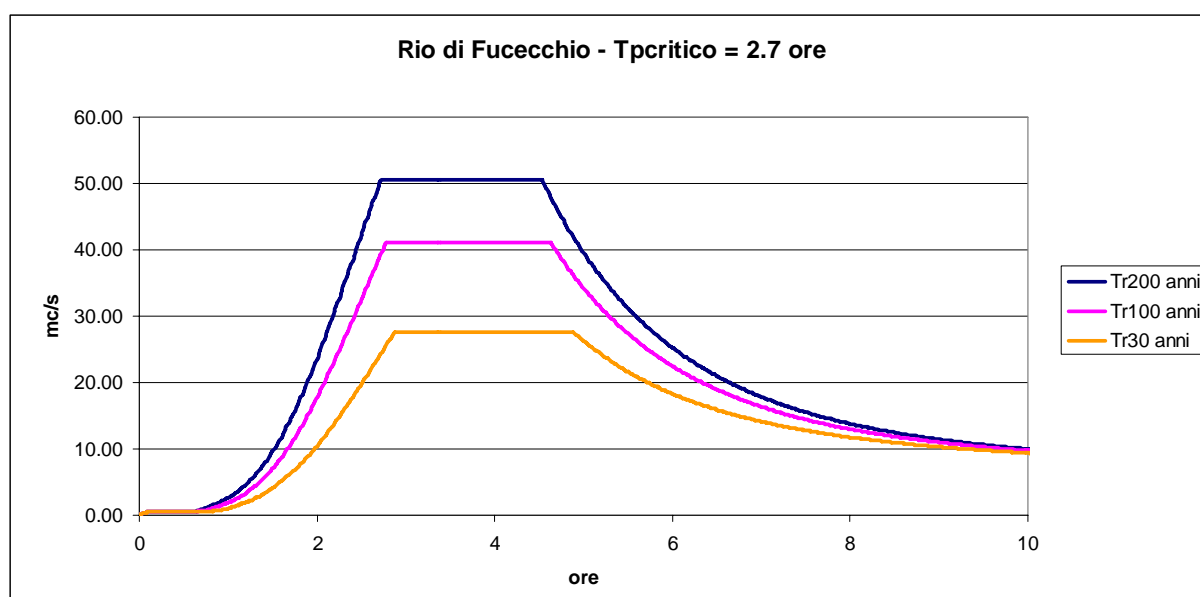


Figura 3 – Idrogrammi di input del Rio di Fucecchio (scenario A1)

- inoltre sempre dalle tabelle dello studio di area vasta sono stati estrapolati i picchi del Rio Valpisana, affluente destro del Rio di Fucecchio immediatamente a monte del centro abitato; gli idrogrammi di questo affluente sono stati ricavati riducendo a tali picchi mediante un multiplier gli idrogrammi del Rio di Fucecchio ottenuti dal software PIENE.



### 3.3.2. Scenario A2

Come condizione di monte del Rio Vallebuia sono stati inseriti gli idrogrammi di piena associati al tempo di pioggia critico del rio stesso (pari a 1.5 h ) forniti dal consorzio di bonifica considerando come sezione di chiusura l'attraversamento della S.S. 436.

### 3.3.3. Scenario A3

Come condizione di monte del Rio Macone sono stati inseriti gli idrogrammi di piena associati al tempo di pioggia critico del rio stesso calcolati mediante un modello geomorfologico (GIUH), in analogia a quanto riportato nello *Studio idrologico e idraulico del Rio Macone e dei Rii Affluenti: Cava Destra, Ribecco, San Bartolomeo, interventi per il contenimento delle portate di piena duecentennali – progetto preliminare (2006) - Consorzio di Bonifica della Val d'Era – San Miniato (PI)*; di seguito si descrive in sintesi il metodo adottato.

Dall'analisi statistica dei dati pluviometrici registrati in un arco di 58 anni dalla stazione pluviometrica di Empoli sono stati ricavati i parametri caratteristici della curva di possibilità pluviometrica, che per un evento duecentennale risultano rispettivamente  $\alpha$ : 74.4 e  $\nu$ : 0.19.

Considerando che per il bacino collinare del Rio Macone ( $A=0.46$  kmq) si ricava, mediante la formula di Giandotti, un tempo critico pari a 0.85 h, dall'equazione  $h = \alpha * t^\nu$  si ottengono le seguenti altezze di pioggia:

Evento	Precipitazioni attese (mm)
Tr=200 anni	72.1
Tr=100 anni	65.4
Tr=30 anni	54.3

Tabella 3 – Precipitazioni attese per i diversi tempi di ritorno

Mediante l'analisi geomorfologica del bacino con il metodo di Horton sono stati ricavati i seguenti idrogrammi di piena:

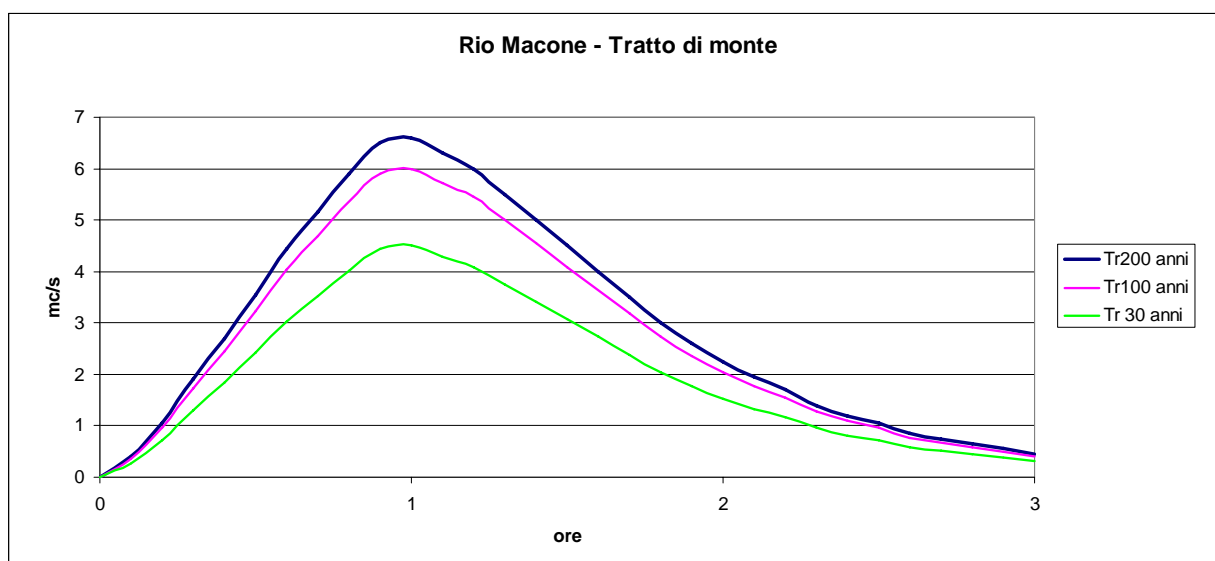


Figura 4 – Idrogrammi di input del Rio Macone (scenario A3)

Il modello AITo non è in grado di calcolare gli idrogrammi di piena del Rio Macone, ma è altresì in grado di calcolare gli idrogrammi del Rio San Bartolomeo che confluisce in Arno pochi metri a valle dell'immissione del Rio Macone, pertanto è possibile effettuare un confronto tra i coefficienti udometrici dei due corsi d'acqua al fine di avvalorare il metodo geomorfologico adottato.

Dal confronto tra il coefficiente udometrico ( $mc/s \cdot kmq$ ) del Rio Macone ottenuto mediante GIUH e il coefficiente udometrico del Rio San Bartolomeo ottenuto mediante AITo si evince come i valori siano paragonabili:

Coefficiente Udometrico ( $mc/s \cdot kmq$ ) – Tr = 200 anni	
Rio Macone - GIUH	Rio San Barolomeo - AITo
14.4	11.0

Tabella 4 – confronto coeff. udometrico GIUH - AITo

I contributi del bacino di pianura attraversato dal rio e dei suoi vari affluenti sono stati calcolati mediante il metodo del volume d'invaso sempre in analogia a quanto riportato nello *Studio idrologico e idraulico realizzato dal Consorzio di Bonifica della Val D'Era*, in modo da non comportare discordanze con gli eventuali step successivi della progettazione di tali opere.

Nell'immagine seguente si riporta il contributo complessivo del tratto di pianura compreso tra l'attraversamento della S.G.C. Fi-Pi-Li e la confluenza del Rio Cavasonno:

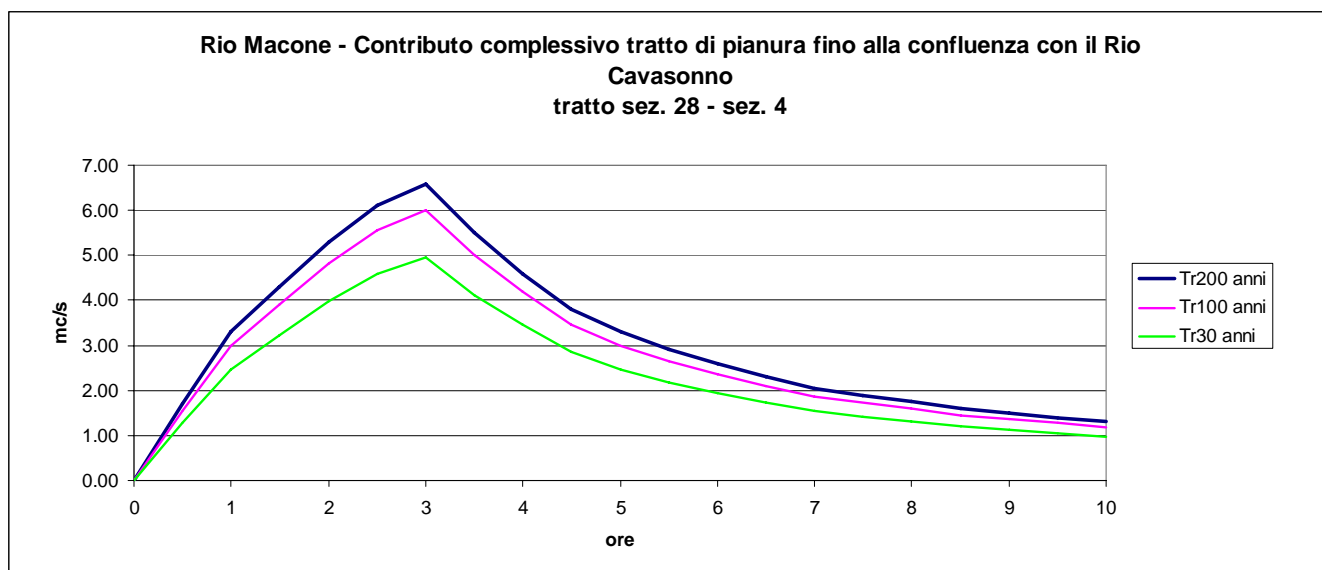


Figura 5 – Idrogrammi di piena del tratto di pianura compreso tra la Fi-Pi-Li e l'immissione del Rio Cavasonno

I suddetti idrogrammi sono stati ripartiti nei vari contributi dei sotto bacini interni a questo tratto in funzione dei seguenti picchi:

PICCHI di PIENA	Tr200 - mc/s
Sotto bacino sotteso dal tratto sez. 28-18	3.05
Sotto bacino rio Ribecco (immissione alla sez. 18)	1.36
Sotto bacino sotteso dal tratto sez. 17-7	2.18

Tabella 5 – picchi di portata Tr=200 anni tratto di pianura del Rio Macone

In corrispondenza della sez. 4 è stato inoltre inserito il contributo del rio Cavasonno, che, dato che la portata del rio è regolata da una portella di derivazione dal Rio San Bartolomeo, è stato assunto costante e pari ai seguenti valori, sempre in analogia a quanto riportato nello *Studio idrologico e idraulico realizzato dal Consorzio di Bonifica della Val D'Era*:

Tr200 anni	Tr100 anni	Tr30 anni
1.71	1.69	1.66

Tabella 6 – contributo di portata del Rio Cavasonno

### 3.3.4. Scenario B

#### fiume Arno

- in questo scenario il fiume Arno risulta contenuto e pertanto il modello è stato limitato solamente al reticolo costituito dal canale Usciana, dal torrente Vincio e dal rio di Fucecchio e alle celle attigue.

#### canale Usciana

- in questo scenario sono stati adottati gli idrogrammi corrispondenti al tempo di pioggia di 4 ore forniti dal Consorzio di Bonifica.

#### torrente Vincio

- in questo scenario sono stati adottati gli idrogrammi corrispondenti al tempo di pioggia di critico pari a 3.9 ore forniti dal Consorzio di Bonifica.

#### canale Maestro

- sono stati inseriti gli idrogrammi di piena associati al tempo di pioggia di 4 ore forniti dal Consorzio di Bonifica, assumendo come sezione di chiusura la confluenza nel canale Usciana, in modo da considerare al suo interno anche il contributo del Rio Vallebuia.

#### rio di Fucecchio

- sono stati estratti dal software PIENE gli idrogrammi di piena nei tre tempi di ritorno;
- analogamente allo scenario A, dalle tabelle dello studio di area vasta sono stati ricavati i picchi di portata nella sezione di monte nei diversi tempi di ritorno, che tengono conto dell'effetto di laminazione della cassa di espansione esistente nel tratto di monte del rio stesso;
- sulla base dei picchi sono stati tagliati gli idrogrammi estratti dal software PIENE ottenendo gli idrogrammi che sono stati inseriti come condizione di monte del modello;
- inoltre applicando agli idrogrammi del Rio di Fucecchio i multiplier calcolati nello scenario A sono stati ricavati gli idrogrammi del Rio Valpisana, affluente destro del Rio di Fucecchio immediatamente a monte del centro abitato.



3.3.5. *Scenario C*

*fiume Arno*

- come descritto nel paragrafo relativo agli studi svolti sul fiume Arno, sono stati adottati gli idrogrammi di sfioro dall'Arno nel tratto compreso tra la sezione n°356 e la sezione n°276 forniti dall'Autorità di Bacino del fiume Arno;

*canale Usciana*

- relativamente al canale Usciana sono stati estratti dal software PIENE gli idrogrammi di piena (per  $T_p=24h$ ) a monte della confluenza del torrente Vincio per i vari tempi di ritorno e sono stati inseriti nella sezione di monte del canale, situata all'interno del cratere palustre del Padule di Fucecchio;

*torrente Vincio*

- in questo scenario sono stati adottati gli idrogrammi corrispondenti al tempo di pioggia di 24 ore forniti dal Consorzio di Bonifica;

*canale Maestro*

- sono stati inseriti gli idrogrammi di piena associati al tempo di pioggia di 24 ore forniti dal Consorzio di Bonifica, assumendo come sezione di chiusura la confluenza nel canale Usciana, in modo da considerare al suo interno anche il contributo del Rio Vallebuia.

*rio di Fucecchio*

- in questo scenario sono stati adottati gli idrogrammi corrispondenti al tempo di pioggia di 24 ore forniti dal Consorzio di Bonifica;
- inoltre applicando agli idrogrammi del Rio di Fucecchio i multiplier calcolati nello scenario A sono stati ricavati gli idrogrammi del Rio Valpisana, affluente destro del Rio di Fucecchio immediatamente a monte del centro abitato.

rio Macone

- in questo scenario la cateratta che regola la confluenza nell'Arno è sicuramente chiusa, pertanto la portata di input nel rio si accumula nel volume disponibile nell'alveo del rio stesso ed eventualmente nelle celle d'esondazione prossime al tratto di valle. Sono stati inseriti come input di monte gli idrogrammi corrispondenti al tempo di pioggia di 24 ore con valori di picco costanti, assunti in analogia a quanto riportato nella relazione tecnica redatta nell'ambito dello *Studio idrologico e idraulico del Rio Macone e dei Rii Affluenti: Cava Destra, Ribecco, San Bartolomeo, interventi per il contenimento delle portate di piena duecentennali – progetto preliminare (2006) - Consorzio di Bonifica della Val d'Era – San Miniato (PI)*.

Tr200 anni	Tr100 anni	Tr30 anni
0.7	0.64	0.52

Tabella 7 – valori massimi di portata del rio Macone per Tp24h

3.3.6. Scenario D

fiume Arno

- come descritto nel paragrafo relativo agli studi svolti sul fiume Arno, sono stati adottati gli idrogrammi di sfioro dall'Arno nel tratto compreso tra la sezione n°356 e la sezione n°276 forniti dall'Autorità di Bacino del fiume Arno;

canale Usciana

- sono stati estratti dal software PIENE gli idrogrammi di piena (per Tp=36h) a monte della confluenza del torrente Vincio per i vari tempi di ritorno e sono stati inseriti nella sezione di monte del canale, situata all'interno del cratere palustre del Padule di Fucecchio;
- dallo studio di Area Vasta sono stati estrapolati i picchi di portata in corrispondenza del ponte della S.P. di Massarella (sez. US\_0025) nei diversi tempi di ritorno, che tengono conto dell'effetto di laminazione del Padule di Fucecchio, riportati nella seguente tabella:

Canale Usciana			
	TR 200 anni	TR 100 anni	TR 30 anni
Q sez. US_0025	144.74 mc/s	128.00 mc/s	107.94 mc/s

Tabella 8 – picchi di portata a valle del cratere palustre del padule estratti dalle tabelle dello studio di area vasta

- l'effetto di laminazione del cratere palustre è stato simulato sulla base delle condizioni geometriche evinte dalla cartografia a disposizione e calibrato in funzione dei picchi sopra riportati in corrispondenza della S.P. di Massarella; dalle modellazioni eseguite si ottengono i seguenti idrogrammi in uscita dal Padule:

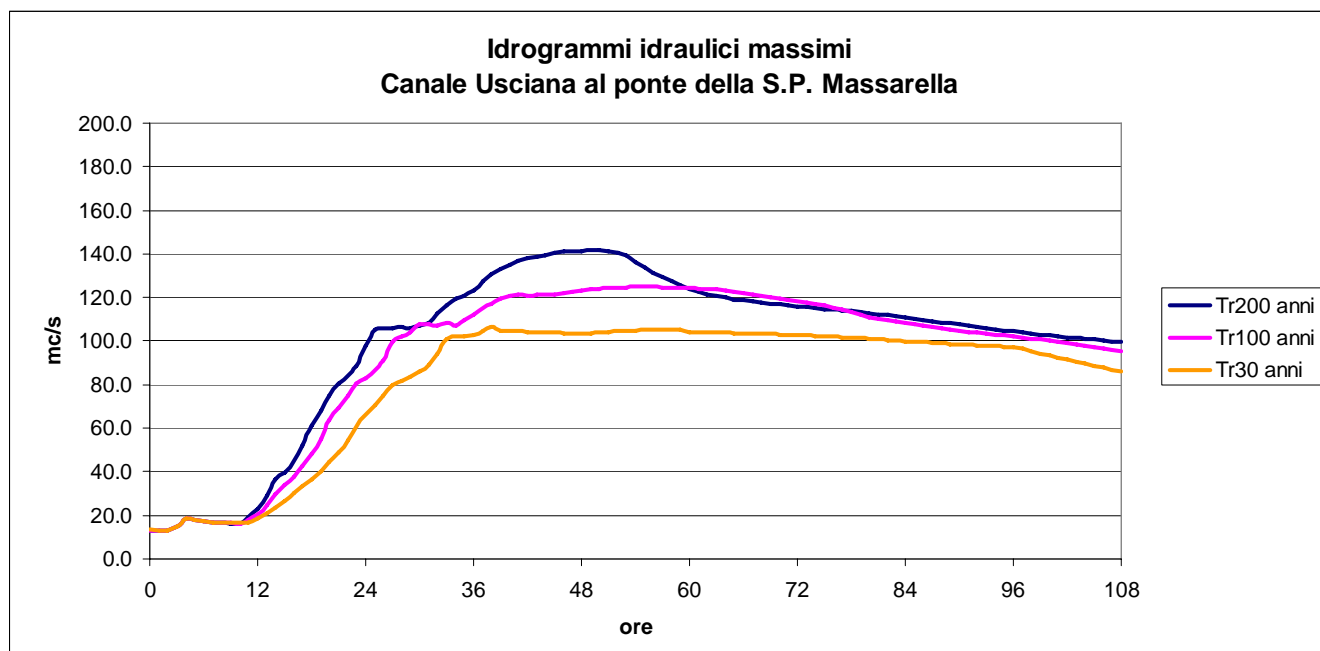


Figura 6 – Idrogrammi idraulici a valle del cratere palustre

torrente Vincio

- in questo scenario sono stati adottati gli idrogrammi corrispondenti al tempo di pioggia di 36 ore forniti dal Consorzio di Bonifica;

canale Maestro

- sono stati inseriti gli idrogrammi di piena associati al tempo di pioggia di 36 ore forniti dal Consorzio di Bonifica, assumendo come sezione di chiusura la confluenza nel canale Usciana, in modo da considerare al suo interno anche il contributo del Rio Vallebuia;

rio di Fucecchio

- in questo scenario sono stati adottati gli idrogrammi corrispondenti al tempo di pioggia di 36 ore forniti dal Consorzio di Bonifica;

- inoltre applicando agli idrogrammi del Rio di Fucecchio i multiplier calcolati nello scenario A sono stati ricavati gli idrogrammi del Rio Valpisana, affluente destro del Rio di Fucecchio immediatamente a monte del centro abitato.

rio Macone

- in questo scenario la cateratta che regola la confluenza nell'Arno è sicuramente chiusa, pertanto la portata di input nel rio si accumula nel volume disponibile nell'alveo del rio stesso ed eventualmente nelle celle d'esondazione prossime al tratto di valle. I valori di portata per la verifica del rio Macone in tale scenario, pari a 0.5 mc/s per un evento duecentennale, sono stati ricavati applicando un fattore di riduzione di 0.7 ai picchi per  $T_p=24h$  (fattore di riduzione ottenuto per il Rio Vallebuia tra i picchi associati ad un tempo di pioggia di 24 h e 36h).



### 3.4. La condizione al contorno di valle

Per quanto riguarda la condizione di valle del modello costituito dal Canale Usciana, dal Torrente Vincio e dal Rio di Fucecchio, ovvero in corrispondenza della sezione US\_0190 del canale Usciana, sono state adottate le seguenti condizioni:

- **Scenario A1 e B:** condizione di pendenza di moto uniforme (normal depth) ricavata dal profilo e pari a 0.02%.
- **Scenari C e D:** sono stati imposti i battenti massimi nella sezione US\_0190 riportati nelle tabelle dello studio di area vasta.

Relativamente al canale Usciana è importante notare che confluisce nell'Arno solo durante normali condizioni di deflusso, mentre in caso di eventi di piena significativi entra in funzione lo scolmatore, di conseguenza dato il tipo di analisi in corso è legittimo considerare i due corsi d'acqua scollegati in termini di aste fluviali.

Per quanto riguarda la condizione di valle del modello del Rio Vallebuia (scenario A2) è stata adottata la condizione di pendenza di moto uniforme (normal depth) ricavata dal profilo e pari a 0.3%.

Relativamente al modello del Rio Macone nello scenario A3, in analogia a quanto utilizzato nello *Studio idrologico e idraulico del Consorzio di Bonifica della Val d'Era*, è stata adottata la condizione di corrente critica, in quanto si assume che l'Arno per tempi di pioggia intorno ad 1 h abbia battenti molto ridotti. Nell'ipotesi di evento di piena nell'Arno è stato adottato l'idrogramma dei battenti alla sezione dell'Arno 329 associato ad un tempo di pioggia di 24h, che implica ovviamente la chiusura della cateratta.

#### **4. STUDIO IDRAULICO DELLO STATO ATTUALE**

Le verifiche idrauliche sono state eseguite in moto vario attraverso il software Hec-ras 4.0 su un modello unico dei corsi d'acqua in esame, fatta eccezione per il Rio Vallebuia e il Rio Macone che sono stati studiati a parte.

In particolare come detto in precedenza negli scenari C e D è stato considerato un modello unico comprendente il canale Usciana, il tratto terminale del torrente Vincio e il Rio di Fucecchio e i contributi all'esondazioni del fiume Arno nelle celle del tratto tra la sezione n° 343 e la n° 327; mentre per lo scenario A1 e B il modello geometrico è stato ridotto per semplicità ai soli canale Usciana, torrente Vincio e Rio di Fucecchio e alle celle interne al comune di Fucecchio.

Le verifiche idrologiche-idrauliche sono state redatte interamente in ottemperanza al Decreto del Presidente della Giunta Regionale 25 Ottobre 2011, n. 53/R – Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche, pubblicato il 2.11.2011 sul Bollettino Ufficiale della Regione Toscana – N. 51.

##### **4.1. Modellazione idraulica attraverso il software Hec-ras 4.0**

###### *4.1.1. Il modello di moto vario utilizzato nelle simulazioni*

La modellazione idraulica è stata effettuata attraverso il software Hec-Ras (River Analysis System) versione 4.0 sviluppata dall' U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center.

Le modellazioni idrauliche sono state eseguite in moto vario. Di seguito si riportano alcune delle caratteristiche di base del modello in moto vario.

Il sistema di equazioni implementato in Hec-ras per le simulazioni in moto vario è capace di ricostruire i profili idraulici attraverso una rete di canali aperti.

Le equazioni del solutore in moto vario sono state adattate dal modello UNET del Dr. Robert L. Barkau (Barkau, 1992 and HEC, 1997). I calcoli idraulici per sezioni, ponti, culvert e altre strutture idrauliche che sono stati sviluppati nel modulo in moto permanente sono stati incorporati nel modulo in moto vario. Inoltre, la componente in moto vario ha la capacità di modellare aree/casse di espansione e le connessioni idrauliche tra alveo e casse e tra cassa e cassa.

Vengono di seguito descritte brevemente le principali caratteristiche del programma di calcolo automatico impiegato per la determinazione del profilo della corrente a pelo libero.

#### 4.1.2. Equazioni di base per la modellazione in moto vario

Le leggi fisiche che governano il flusso in un corso d'acqua sono:

1. il principio di conservazione della massa (Legge di continuità);
2. il principio di conservazione del momento.

Queste leggi sono espresse matematicamente nella forma di equazioni alle differenze finite.

Il modello risolve il problema dell'individuazione del livello del pelo libero della corrente in un'assegnata sezione, nelle seguenti ipotesi:

- il flusso è monodimensionale;
- le pendenze del fondo sono inferiori al 10 %.

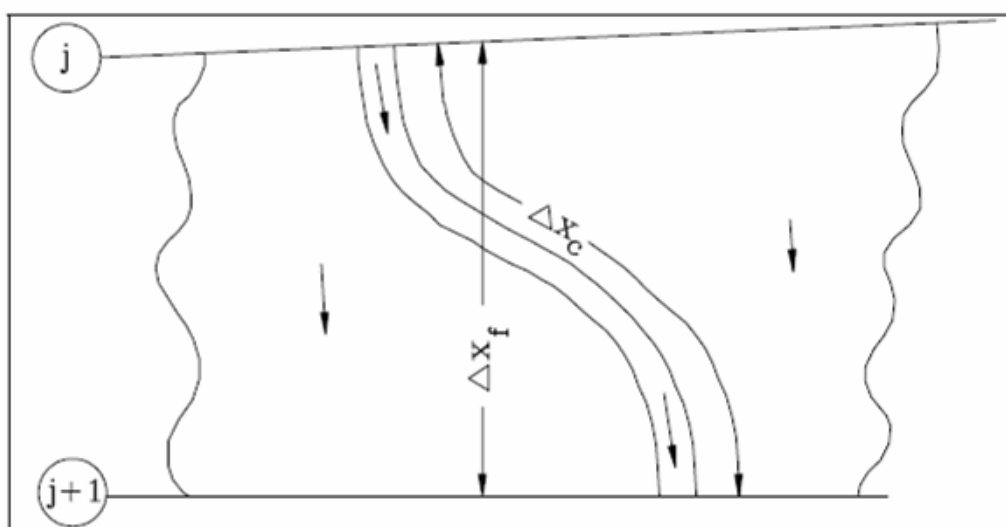


Figura 7 – Portata nel canale e nelle aree golenali

Nella figura precedente sono rappresentate le caratteristiche bidimensionali dell'interazione tra il canale e il flusso all'interno delle aree golenali. Quando il livello nel canale si alza l'acqua si sposta lateralmente via dal canale, inondando le aree allagabili e riempiendo eventuali casse di espansione. Quando l'altezza d'acqua aumenta, le aree golenali iniziano a convogliare l'acqua verso valle generalmente seguendo un percorso più corto rispetto a quello del canale principale, soprattutto in caso di corsi d'acqua naturali. Quando infine decresce il livello nel fiume, l'acqua rientra nel canale principale e si ha in esso un aumento di portata. Poichè la direzione principale

del flusso è orientata lungo il canale, questo flusso bidimensionale può spesso essere accuratamente approssimato con una rappresentazione monodimensionale.

Le aree di esondazione possono essere ben modellate con casse di espansione che scambiano portata con il canale. Il flusso nelle aree golenali può essere ben approssimato come il flusso attraverso un canale separato.

Il problema del rapporto tra alveo e aree allagabili si può risolvere in differenti modi a seconda del tipo di corso d'acqua studiato, in relazione alle sue dimensioni, alla presenza di arginature e alla presenza di aree confinate (ad esempio da argini e infrastrutture) che possono essere modellate con casse di espansione.

#### *4.1.3. Condizioni al contorno del modello in moto vario*

Per ogni tratto fluviale si considerano  $N$  nodi di calcolo, che generano  $N-1$  tratti di calcolo. Per questi tratti si possono scrivere  $2N-2$  equazioni alle differenze finite. Poiché ci sono  $2N$  incognite (e cioè  $\Delta Q$  e  $\Delta z$  per ogni nodo), sono necessarie 2 ulteriori equazioni. Queste equazioni sono fornite dalle condizioni al contorno per ogni tratto fluviale, che nel caso di corrente subcritica (lenta) sono necessarie a monte e a valle del tratto, mentre per corrente supercritica (veloce) sono richieste solo a monte del tratto.

Condizioni al contorno di monte: a monte del tratto fluviale la condizione al contorno è costituita dall'idrogramma di piena di ciascun torrente.

Condizioni al contorno di valle: a valle del tratto fluviale possono essere specificate 4 tipi di condizioni al contorno:

- *un idrogramma dei livelli di piena* (usato quando il fiume sfocia in un mare governato dalle fluttuazioni di marea o in un lago o serbatoio, o fiume del quale è nota l'altezza d'acqua nel tempo);
- *un idrogramma delle portate di piena* (utile se si è in possesso di dati registrati di un evento di piena e si vuole calibrare il modello);
- *la curva di deflusso per una certa sezione* (utile per descrivere cascate naturali o sfioratori delle dighe, da utilizzare con cautela e possibilmente molto a valle rispetto all'area di studio in modo che i livelli del pelo libero nell'area di studio non ne vengano troppo influenzati);
- *l'altezza di moto uniforme proveniente dall'equazione di Manning* (poiché negli alvei naturali non sussistono le condizioni di moto uniforme è necessario spostare a valle dell'area di studio la condizione al contorno in modo da non avere influenze di questo dato sui livelli nelle sezioni di interesse).



#### 4.1.4. Condizioni iniziali del modello in moto vario

Oltre alle condizioni al contorno, devono essere inserite come input delle condizioni iniziali, cioè quelle presenti all'inizio della simulazione: in generale si è ipotizzato che le aree di laminazione fossero vuote all'inizio della simulazione, inserendo quindi come livello d'acqua nelle varie *storage areas* il livello minimo.

#### 4.1.5. Criteri di suddivisione della sezione

La sezione idraulica del corso d'acqua viene rappresentata geometricamente per punti. All'interno di essa si distinguono in generale tre zone che, adottando la terminologia inglese, indichiamo con:

*main channel* = M.CHA. (canale principale)

*left overbank* = LO (golena sinistra)

*right overbank* = RO (golena destra)

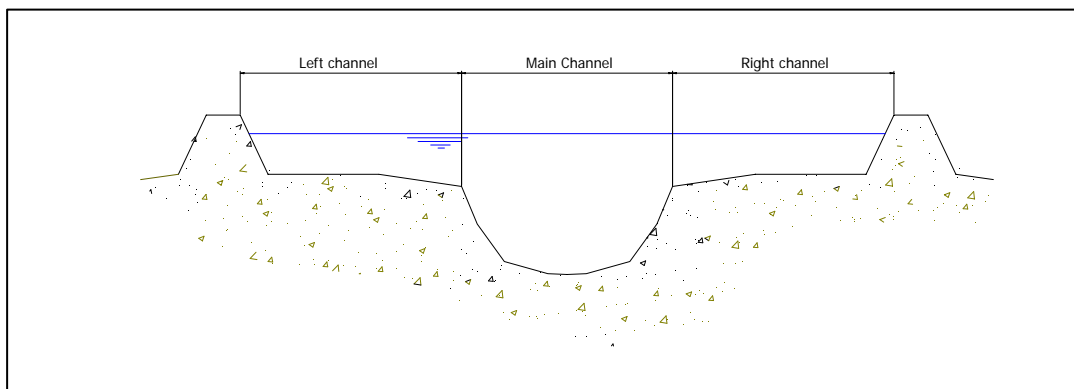


Figura 8 – Schema fondamentale di suddivisione in sottosezioni

In ciascun ambito (ma è possibile in generale assegnare differenti scabrezze ad ogni segmento della sezione) vengono definite le scabrezze del fondo, che poi vengono composte al fine di generare una scabrezza equivalente valida per l'intera sezione.

Per ciascuna sottosezione si determina la capacità di deflusso (portata per unità di pendenza<sup>1/2</sup>) in moto uniforme:

$$K = \frac{ar^{\frac{2}{3}}}{n}$$

dove:

$K$  [m<sup>3</sup>/s] = capacità di deflusso nell'ambito;

$n$ [s/m <sup>1/3</sup> ]	= scabrezza di Manning;
$r$ [m]	= raggio idraulico dell'ambito;
$a$ [m <sup>2</sup> ]	= area della sezione bagnata dell'ambito.

#### 4.1.6. Valutazione delle perdite di carico per attrito

Le perdite di carico per attrito sono calcolate attraverso la formula  $L\bar{S}_f$  dove,  $\bar{S}_f$  è la pendenza d'attrito media, pesata, del tratto, secondo la seguente formula:

$$\bar{S}_f = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

dove  $K_1$ ,  $K_2$  rappresentano le capacità di deflusso totali delle sezioni estreme.

#### 4.1.7. Storage areas (aree di laminazione)

L'opzione *storage areas* permette di inserire nella geometria un'area di laminazione, che tipicamente è un volume dove si accumula l'acqua deviata dal corso d'acqua principale. Le *storage areas* possono essere connesse a un corso d'acqua attraverso un *lateral weir*, oppure ad un'altra *storage areas* tramite l'elemento *storage areas connection*.

Per descrivere l'area di laminazione è necessario inserire l'area e l'altezza minima in caso di invasi prismatici, oppure la curva dei volumi, che fornisce ad ogni assegnato livello d'acqua nell'area di laminazione il relativo volume di invaso.

Nei vari modelli realizzati le curve d'invaso sono state desunte sulla base della cartografia disponibile (scala 1:10'000 o scala 1:2'000, ad esclusione delle aree di invaso di fondovalle per le quali sono stati utilizzati i dati del progetto delle casse di espansione).

#### 4.1.8. Lateral weir (sfioratore laterale)

L'opzione *lateral weir* permette di inserire nella geometria la connessione tra l'alveo e l'area/cassa di laminazione. E' possibile inserire diverse tipologie di sfioratori laterali, sia a soglia fissa, che a soglia mobile.

#### **4.2. I rilievi utilizzati**

La schematizzazione geometrica dei corsi d'acqua canale Usciana, torrente Vincio e Rio di Fucecchio è stata basata su una serie di rilievi planoaltimetrici delle sezioni fluviali in parte forniti dal consorzio di bonifica, e integrati con una campagna di rilievo eseguita a supporto della variante al Piano Strutturale; mentre relativamente al rio Vallebuia e al rio Macone sono stati effettuati dallo scrivente dei rilievi di dettaglio per il presente studio.

Canale Usciana	Rilievo fornito dal Consorzio di Bonifica - integrato
Rio di Fucecchio	Rilievo fornito dal Consorzio di Bonifica - integrato
Torrente Vincio	Rilievo fornito dal Consorzio di Bonifica
Rio Vallebuia	Rilievo effettuato nel settembre 2013
Rio Macone	Rilievo effettuato nel settembre 2013

**Tabella 9 – Fonte del rilievo dei corsi d'acqua esaminati**

#### **4.3. La schematizzazione geometrica del reticolo costituito dal canale Usciana, il torrente Vincio, il Rio di Fucecchio e le celle che risentono dell'esondazioni dell'Arno**

Relativamente al modello unico del canale Usciana, del Rio di Fucecchio e del Torrente Vincio sono stati analizzati i seguenti tratti:

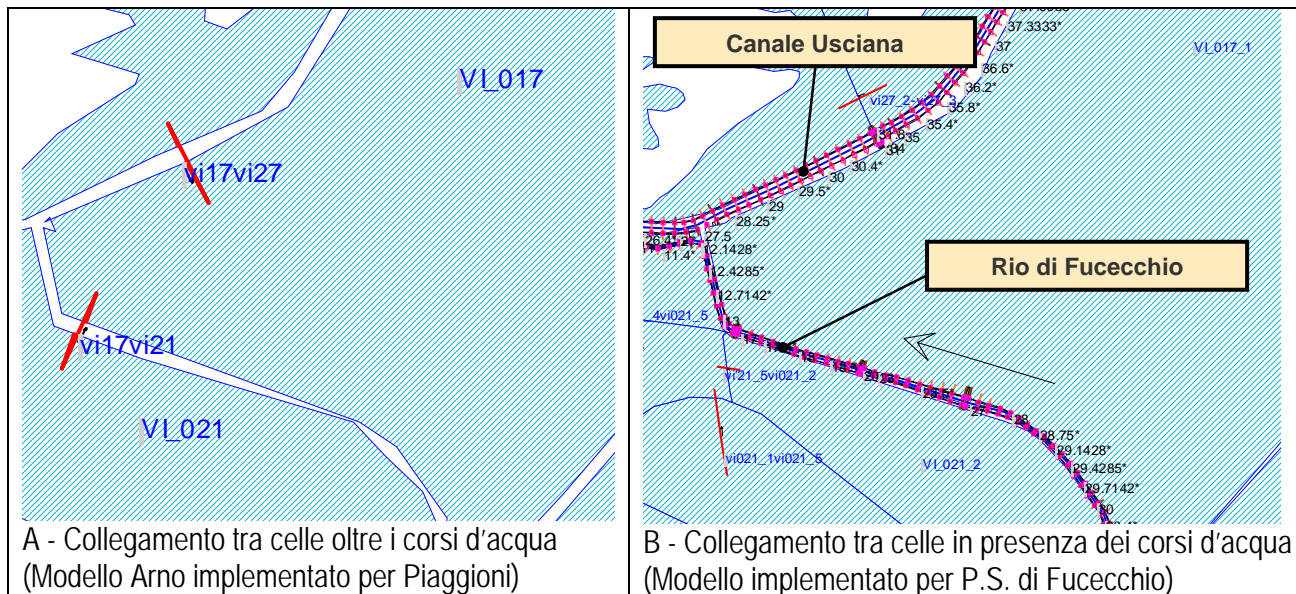
- Il canale Usciana è stato modellato per una lunghezza complessiva di circa 10 km, a partire da un primo tratto di circa 2km interno al cratere palustre del padule di Fucecchio, ausiliario alla modellazione dell'effetto di laminazione del padule stesso, fino alla sezione conclusiva di valle (US\_0190) localizzata circa 1.3 km a valle del confine comunale tra Fucecchio e Santa Croce sull'Arno; per un totale di 59 sezioni comprensive di quelle in corrispondenza degli attraversamenti.
- Il Rio di Fucecchio è stato studiato per una lunghezza di circa 5.5 km, a partire dalla sezione RF\_1005 localizzata circa 700 m a monte della confluenza del Rio Valpisana, fino alla confluenza nel canale Usciana; per un totale di 77 sezioni comprensive di quelle in corrispondenza degli attraversamenti.
- Il torrente Vincio è stato modellato per una lunghezza di circa 1.3 km a partire da circa 400 m a monte dell'attraversamento della S.P. 111. Del tratto studiato solo gli ultimi 300 metri sono completamente interni al territorio comunale di Fucecchio mentre il km restante scorre lungo il confine con il territorio comunale di Cerreto Guidi.

Nella schematizzazione geometrica è stato tenuto conto del fatto che la confluenza del torrente Vincio nel canale Usciana è regolata dalla presenza di una portella, che è stata modellata mediante l'inserimento di una *lateral structure* di connessione tra i due corsi d'acqua dotata di un clapet che impedisce il rigurgito di acqua dal canale Usciana.

Anologo tipo di connessione è stato inserito nel modello anche tra la cella VI\_017\_1 e il canale Usciana in corrispondenza dell'immissione del canale Maestro per simulare il funzionamento della portella esistente.

Relativamente al fiume Arno a livello idrologico sono stati inseriti gli idrogrammi di sfioro nelle celle prossime al tratto tra la sezione n° 356 e n° 327, dal punto di vista geometrico tali celle sono state modellate nel seguente modo:

- curve d'invaso delle celle di accumulo ricadenti nel territorio comunale di San Miniato e di Fucecchio ricavate elaborando i dati LIDAR (Llgh Detection And Ranging) forniti dalla regione toscana;
- curve d'invaso delle celle degli altri comuni limitrofi fornite dall'Autorità di Bacino del fiume Arno;
- ulteriori modifiche della geometria delle celle al fine di dettagliare al meglio le dinamiche di esondazione interne al territorio comunale di Fucecchio descritte di seguito:
  - ripartizione della cella VI\_027 in cinque celle (VI\_027\_1, VI\_027\_2, e VI\_027\_3) per tenere conto di due rilevati stradali esistenti che dividono la cella;
  - ripartizione della cella VI\_017 in due celle (VI\_017\_1 e VI\_017\_2) per tenere conto del rilevato esistente immediatamente a sud della confluenza del torrente Vincio;
  - ripartizione della cella VI\_021 in cinque celle (VI\_021\_1, VI\_021\_2, VI\_021\_3, VI\_021\_4 e VI\_021\_5) per tenere conto dei rilevati stradali esistenti che dividono la cella;
  - inserimento della cella VI\_015\_1 in sinistra idraulica del rio di Fucecchio;
  - dato che nel modello implementato nell'ambito del progetto della cassa di espansione di Piaggioni era presente solo il fiume Arno, il sormonto del canale Usciana e del Rio di Fucecchio era simulato mediante delle soglie di collegamento tra le celle presenti a sinistra e destra dei corsi d'acqua (immagine A seguente), mentre nell'attuale modello unico sono state sostituite le connessioni tra 2 celle con l'asta fluviale esistente, collegata a sua volta alle celle mediante lateral structures (immagine B seguente):



**Figura 9 – Schema esemplificativo della modifica del collegamento tra le celle in presenza di corsi d'acqua studiati**

- inserimento della cella rappresentativa del cratere palustre del Padule di Fucecchio;
- modifica di alcune soglie di collegamento tra le celle sulla base delle informazioni ricavabili dal LIDAR.

Nell'immagine seguente si riporta lo schema geometrico adottato nelle verifiche idrauliche:

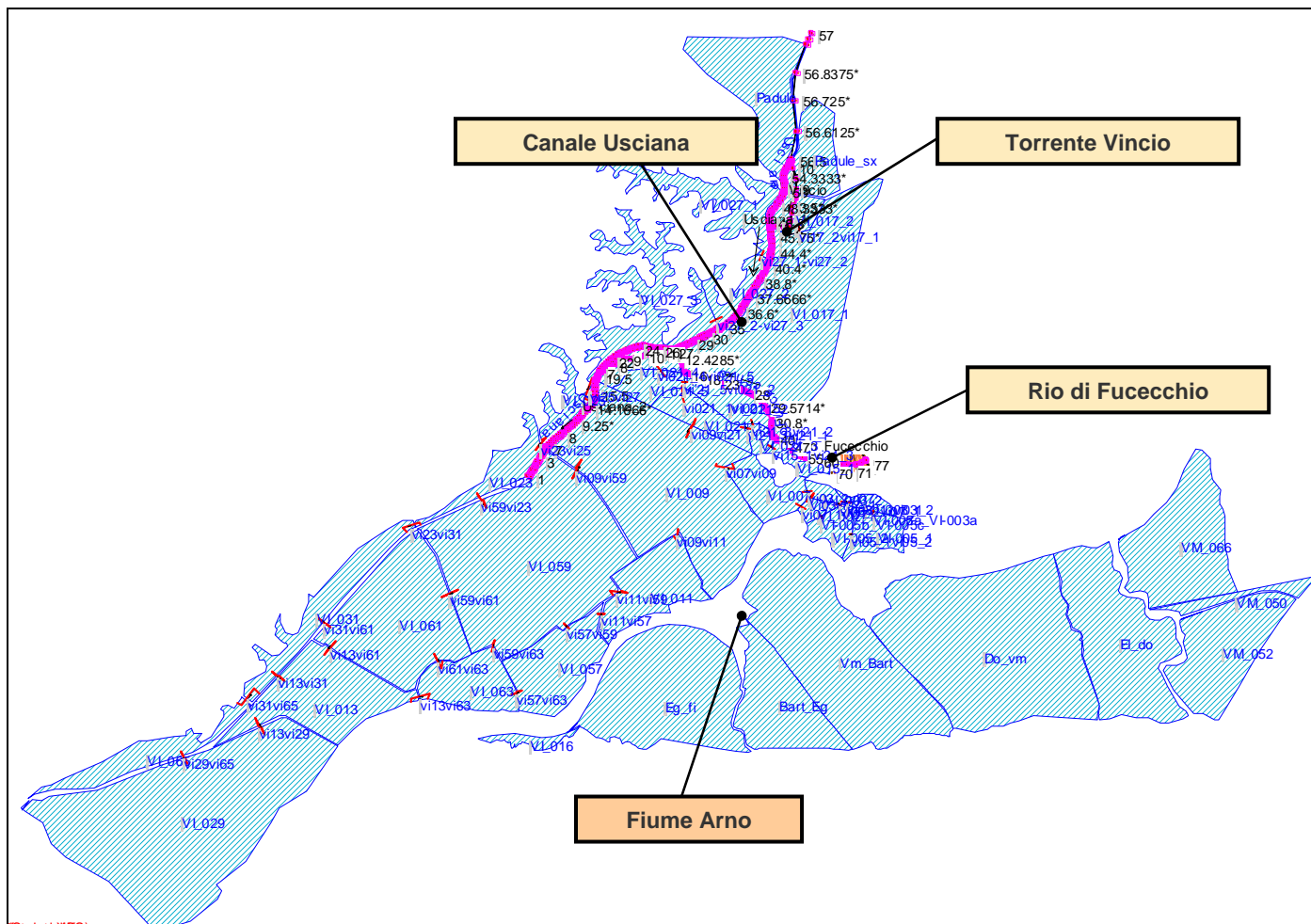


Figura 10 – Schema geometria modello di verifica

Altre informazioni essenziali per lo studio (stato di conservazione dell'alveo, stima dei parametri di resistenza al moto, individuazioni di situazioni locali di interesse quali ad esempio collegamenti tra celle ecc.) sono state acquisite attraverso sopralluoghi e rilievi in sito. Nel caso in cui i corsi d'acqua fossero già stati analizzati nel corso di studi precedenti sono stati mantenuti i parametri caratteristici individuati nelle verifiche pregresse.

#### 4.3.1. *I coefficienti di scabrezza*

Il coefficiente di scabrezza utilizzato nella modellazione è stato adottato in base a quello riportato nella relazione dello studio Area Vasta:

<b>Corso d'acqua</b>	<b>Coeff. Manning</b>
Alveo Canale Usciana	0.028
Alveo Rio di Fucecchio	0.033
Alveo Torrente Vincio	0.033

Tabella 10 – Coefficienti di scabrezza adottati

#### 4.3.2. *I coefficienti di espansione e contrazione*

Analogamente al coefficiente di scabrezza anche i coefficienti di espansione e contrazione sono stati assunti in base a quanto adottato nell'ambito dello studio di Area Vasta:

<b>Tipo di sezioni di deflusso</b>	<b>Coeff. di contrazione</b>	<b>Coeff. di espansione</b>
In condizioni normali	0.1	0.2
In prossimità degli attraversamenti	0.3	0.5

Tabella 11 – Coefficienti di contrazione ed espansione adottati



4.3.3. Curve di invaso relative alle celle di fondovalle

Nelle seguenti tabelle si riportano le curve di invaso relative alle celle di fondovalle del comune di Fucecchio ricavate attraverso il LIDAR ed utilizzate per il presente studio:

Cella Vm_Bart		Cella Bart_Eg	
quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)
17	0	17.5	0
17.5	0.01	18	0.01
18	0.1	18.5	0.02
18.5	0.4	19	0.6
19	3.3	19.5	4.6
19.5	87.9	20	94.4
20	840.2	20.5	346.9
20.5	2261.4	21	694.5
21	4021.5	21.5	1165.1
21.5	6051.4	22	1769.4
22	8224.5	22.5	2493.7
22.5	10542.3	23	3299.7
23	12957.7	23.5	4175.5
23.5	15439.5	24	5104.5
24	17981.4	24.5	6076.4
24.5	20581.7	25	7070.8
25	23244.8		

Tabella 12 – Curve di invaso celle di esondazione in sinistra idraulica dell'Arno ricavate attraverso il Lidar che interessano il territorio comunale di Fucecchio.

Cella VI-003_b		Cella VI-003_a		Cella VI-005_b		Cella VI-007		Cella VI-005_a	
quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)
20	0	20	0	15	0	15	0	16	0
20.5	0	20.5	0.02	15.5	0.08	15.5	0.18	16.5	0.3
21	0.04	21	0.18	16	0.17	16	0.65	17	1.37
21.5	30.045	21.5	8.39	16.5	0.73	16.5	1.93	17.5	6.96
22	77.8	22	28.85	17	3.21	17	5.02	18	18.28
22.5	135.36	22.5	57.86	17.5	13	17.5	31.96	18.5	35.04
23	201.54	23	92.23	18	33.3	18	119.8	19	55.5
23.5	284.52	23.5	134.74	18.5	58.33	18.5	293.93	19.5	79.44
24	371.94	24	183.85	19	85.7	19	536.44	20	104.94
24.5	462.32	24.5	240.69	19.5	114.94	19.5	812.61	20.5	132.31
25	555.69	25	308.03	20	145.85	20	1112.07	21	162.98
				20.5	178.65	20.5	1425.37	21.5	201.41
				21	215.88	21	1750.91	22	259.57
				21.5	269.73	21.5	2096.7	22.5	322.18
				22	476.51	22	2464.47	23	387.45
				22.5	831.45	22.5	2846.51	23.5	456.65
				23	1223.23	23	3240.53	24	534.52
				23.5	1631.31	23.5	3646.39	24.5	616.35
				24	2056.27	24	4065.3	25	698.23
						24.5	4489.85	25.5	780.11
						25	4919.11	26	861.99
						25.5	5353.91		
						26	5792.64		

Tabella 13 – Curve di invaso celle di esondazione in destra idraulica dell’Arno ricavate attraverso il Lidar che interessano il territorio comunale di Fucecchio.

Cella VI-009		Cella VI-015_1		Cella VI-017_1		Cella VI-017_2		Cella VI-021_1		Cella VI-021_2	
quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)
12	0	17.5	0	12	0	12	0	13.5	0	13.5	0
12.5	0.38	18	0.03	12.5	2.51	12.5	0.3	14	0.43	14	0.18
13	5.64	18.5	0.42	13	122.77	13	18.7	14.5	3.35	14.5	23.57
13.5	17.06	19	2.75	13.5	541.83	13.5	125.5	15	17.17	15	93.3
14	40.43	19.5	10.98	14	1428.07	14	291.42	15.5	55.49	15.5	209.83
14.5	252.81	20	28.54	14.5	2557.6	14.5	494.8	16	190.12	16	368.45
15	1053.84	20.5	58.43	15	3823.91	15	706.9	16.5	414.57	16.5	576.03
15.5	2422.68	21	106.45	15.5	5385.1	15.5	922.7	17	695.92	17	850.48
16	4226.66	21.5	161.66	16	7366.81	16	1141.7	17.5	1003.69	17.5	1159.3
16.5	6419.76	22	226.82	16.5	9698.44	16.5	1362.1	18	1330.85	18	1476.46
17	8907.79	22.5	307.79	17	12264.84	17	1582.8	18.5	1672.2	18.5	1821.62
17.5	11657.92	23	396.99	17.5	14977.51	17.5	1803.4	19	2023.83	19	2168.35
18	14637.67	23.5	492.02	18	17799.5	18	2024	19.5	2384.74	19.5	2515.75
18.5	17765.95	24	590.89	18.5	20691.31	18.5	2244.6	20	2755.78	20	2863.45
19	20937.8	24.5	693.93	19	23616.59	19	2465.2				
19.5	24122.03	25	803.77	19.5	26572.8	19.5	2685.8				
20	27319.49			20	29549.9	20	2906.4				
20.5	30523.51			20.5	32542.87	20.5	3127				
21	33739.52			21	35550.42	21	3347.6				
21.5	36965.55			21.5	38572.27	21.5	3568.2				
22	40201.88			22	41607.75	22	3788.8				
22.5	43448.7			22.5	44656.08	22.5	4009.4				
23	46706.26			23	47716.55	23	4230				
23.5	49975.64			23.5	50788.5	23.5	4450.6				
24	53256.78			24	53871.73	24	4671.2				
24.5	56549.48			24.5	56966.07	24.5	4891.8				
25	59853.67			25	60071.34	25	5112.4				
25.5	63169.34			25.5	63187.38	25.5	5333				

Tabella 14 – Curve di invaso celle di esondazione in destra idraulica dell'Arno ricavate attraverso il Lidar che interessano il territorio comunale di Fucecchio.

Cella VI-021_3		Cella VI-021_4		Cella VI-021_5		Cella VI-025		Cella VI-027_1		Cella VI-027_2		Cella VI-027_3	
quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)
16	0	11.5	0	13	0	12	0	11.5	0	11.5	0	11.5	0
16.5	0.02	12	0.02	13.5	0.08	12.5	0.01	12	0	12	0.02	12	2.25
17	0.34	12.5	0.68	14	26.02	13	0.13	12.5	0	12.5	0.36	12.5	7.38
17.5	12.23	13	3.99	14.5	90.95	13.5	0.92	13	0	13	1.09	13	14.63
18	55.78	13.5	14.99	15	170.71	14	4.66	13.5	0.56	13.5	2.7	13.5	24.67
18.5	110.17	14	59.32	15.5	288.02	14.5	16.83	14	6.96	14	6.19	14	38.21
19	171.69	14.5	247.95	16	482.86	15	53.94	14.5	28.83	14.5	21.94	14.5	67.23
19.5	239.13	15	475.97	16.5	709.23	15.5	121.63	15	75.07	15	74.97	15	186.28
20	311.13	15.5	716.61	17	939.76	16	214.57	15.5	169.33	15.5	159.49	15.5	391.74
		16	967.12	17.5	1172.47	16.5	330.15	16	304.88	16	257.62	16	668.67
		16.5	1229.27	18	1407.27	17	463.22	16.5	484.17	16.5	374.44	16.5	1025.54
		17	1584.6	18.5	1672.24	17.5	610.28	17	718.99	17	511.51	17	1450.76
		17.5	1939.93	19	1937.22	18	766.63	17.5	1000.64	17.5	663.87	17.5	1940.14
		18	2295.25	19.5	2202.19	18.5	931.74	18	1320.03	18	827.58	18	2486.3
		18.5	2650.58	20	2467.16	19	1104.31	18.5	1675.62	18.5	1001.34	18.5	3082.48
		19	3005.91			19.5	1283.72	19	2063.41	19	1184.42	19	3727.46
		19.5	3361.24			20	1473.26	19.5	2484.32	19.5	1375.85	19.5	4418.87
		20	3716.57			20.5	1670.85	20	2937.37	20	1574.83	20	5152.41
						21	1876.2						
						21.5	2090.97						
						22	2313.8						
						22.5	2545.25						
						23	2785						
						23.5	3031.83						
						24	3283.59						
						24.5	3538.94						
						25	3797.23						
						25.5	4057.82						
						26	4320.25						

Tabella 15 – Curve di invaso celle di esondazione in destra idraulica dell’Arno ricavate attraverso il Lidar che interessano il territorio comunale di Fucecchio.

#### **4.4. Schematizzazione geometrica Rio Vallebuia**

Relativamente al modello del Rio Vallebuia è stato analizzato un tratto di circa 1.1 km di lunghezza, di cui circa 800 m a monte dell'attraversamento della S.S. 436; il tratto di studio termina circa 1.5 km a monte della confluenza del Rio Vallebuia nel canale Maestro. Il corso d'acqua nel tratto analizzato risulta parzialmente arginato da piccoli rilevati di qualche decina di cm superiori alle quote del piano di campagna circostante.

Per ottenere un maggior dettaglio delle dinamiche di esondazione del tratto a monte della S.S. sono state individuate le seguenti 4 celle di esondazione:

- Va\_SX\_16-9: Cella in sinistra idraulica tratto sez. 16-9;
- Va\_DX\_16-9: Cella in destra idraulica tratto sez. 16-9;
- Va\_SX\_9-6: Cella in sinistra idraulica tratto sez. 9-6;
- Va\_DX\_9-6: Cella in destra idraulica tratto sez. 9-6.

Il tratto a valle dell'attraversamento della S.S. 436 è invece collegato tramite due lateral structures alla cella VI\_017\_1.

Nell'immagine seguente si riporta lo schema geometrico adottato nelle verifiche idrauliche:

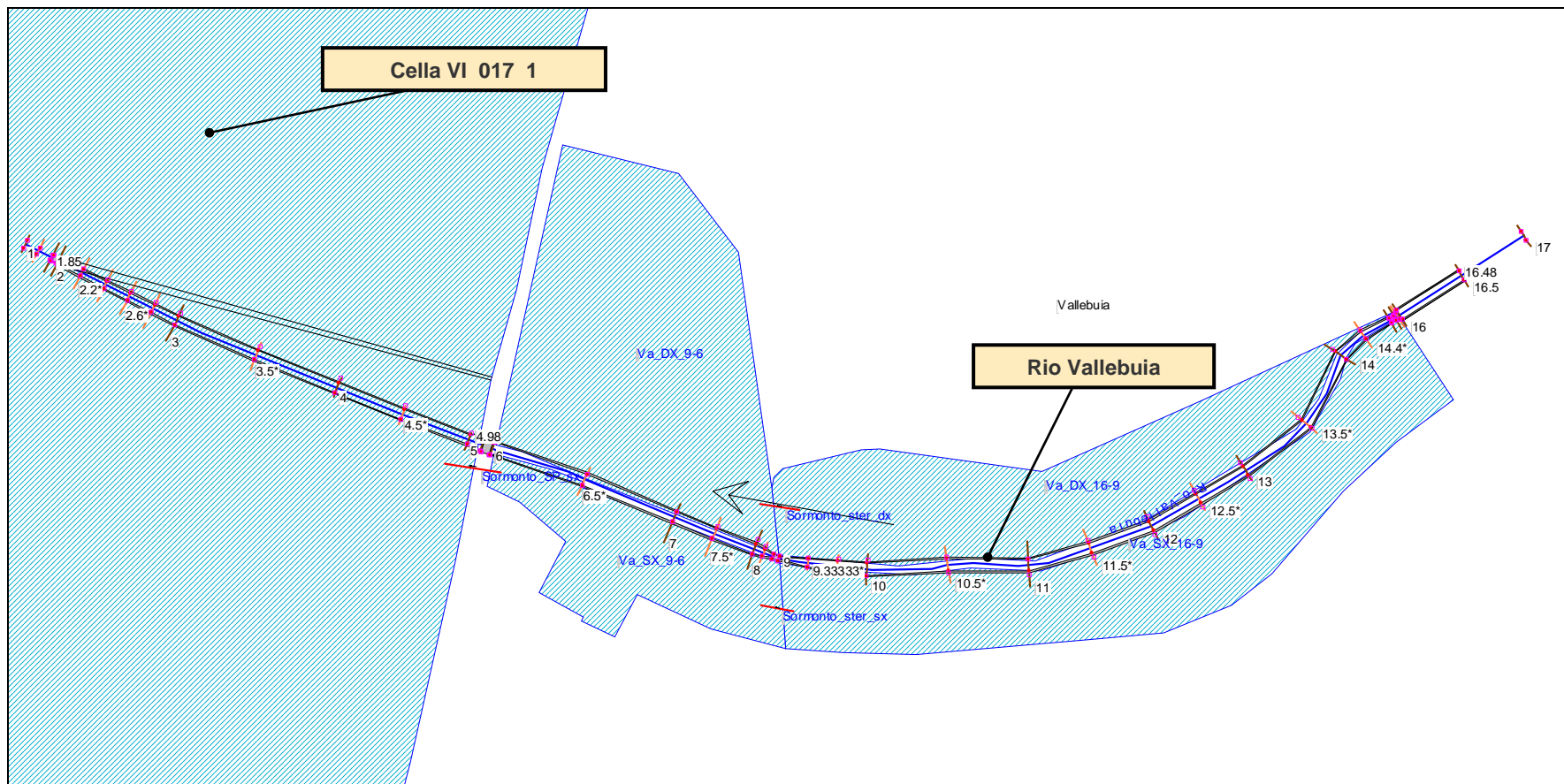


Figura 11 – Schema geometria modello di verifica

Altre informazioni essenziali per lo studio (stato di conservazione dell'alveo, stima dei parametri di resistenza al moto, individuazioni di situazioni locali di interesse quali ad esempio collegamenti tra celle ecc.) sono state acquisite attraverso sopralluoghi e rilievi in sito.

In particolare durante la fase di rilievo sono state individuate alcune immissioni del reticolo minore e inserite nella geometria di verifica poiché possono essere rigurgitate con conseguente allagamento del piano di campagna, tra le quali solo quella immediatamente a monte del ponte della S.S. 436 è regolata dalla presenza di un clapet.

#### *4.4.1. I coefficienti di scabrezza*

Il coefficiente di scabrezza adottato nella modellazione è stato adottato in analogia al modello del Rio di Fucecchio:

<b>Corso d'acqua</b>	<b>Coeff. Manning</b>
Alveo Rio Vallebuia	0.033

**Tabella 16 – Coefficiente di scabrezza adottato**

#### *4.4.2. I coefficienti di espansione e contrazione*

Analogamente al coefficiente di scabrezza anche i coefficienti di espansione e contrazione sono stati assunti in analogia al modello del Rio di Fucecchio:

<b>Tipo di sezioni di deflusso</b>	<b>Coeff. di contrazione</b>	<b>Coeff. di espansione</b>
In condizioni normali	0.1	0.2
In prossimità degli attraversamenti	0.3	0.5

**Tabella 17 – Coefficienti di contrazione ed espansione adottati**



4.4.3. Curve di invaso relative alle celle di fondovalle

Nelle seguenti tabelle si riportano le curve di invaso relative alle celle di fondovalle del comune di Fucecchio ricavate attraverso il LIDAR ed utilizzate per il presente studio:

Cella Va_SX_16-9		Cella Va_DX_16-9		Cella Va_SX_9-6		Cella Va_DX_9-6	
quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)
18.5	0	18	0	17.5	0	16.5	0
19	2.03	18.5	0.55	18	0.19	17	0.14
19.5	8.58	19	4.55	18.5	3.34	17.5	1.95
20	18.33	19.5	11.82	19	8.57	18	9.37
20.5	30.62	20	21.6	19.5	14.52	18.5	20.96
21	44.89	20.5	34.23	20	20.85	19	35.26
		21	48.39			19.5	51.59
						20	68.8

Tabella 18 – Curve di invaso celle di esondazione del modello del Rio Vallebuia nel tratto a monte della S.S. ricavate attraverso il Lidar

#### **4.5. Schematizzazione geometrica Rio Macone**

Relativamente al modello del Rio Macone è stato analizzato un tratto di circa 3.9 km di lunghezza, di cui circa la metà di monte rientra nel territorio comunale di San Miniato; il tratto fuori comune risulta comunque di interesse per il presente studio in quanto in questo tratto sono presenti numerosi attraversamenti di dimensioni ridotte tali da laminare le portate che proseguono a valle verso il territorio di Fucecchio.

Il tratto esaminato non risulta nel complesso arginato, pertanto le eventuali esondazioni tendono a allagare il piano di campagna prossimo al rio per poi rientrare in alveo.

Per ottenere un maggior dettaglio delle dinamiche di esondazione del tratto oggetto di verifica sono state individuate le seguenti 11 celle di esondazione che interessano il territorio comunale di Fucecchio:

- Mac\_SX\_3-1: Cella in sinistra idraulica tratto sez. 3-1;
- Mac\_DX\_3-1: Cella in destra idraulica tratto sez. 3-1;
- Mac\_SX\_6-3: Cella in sinistra idraulica tratto sez. 6-3;
- Mac\_DX\_6-3: Cella in destra idraulica tratto sez. 6-3;
- Mac\_SX\_8-7: Cella in sinistra idraulica tratto sez. 8-7;
- Mac\_DX\_8-7: Cella in destra idraulica tratto sez. 8-7;
- Mac\_SX\_12-8: Cella in sinistra idraulica tratto sez. 12-8;
- Mac\_DX\_12-8: Cella in destra idraulica tratto sez. 12-8;
- Mac\_SX\_17-12: Cella in sinistra idraulica tratto sez. 17-12;
- Mac\_DX\_19-12: Cella in destra idraulica tratto sez. 19-12;

Nel tratto di monte, che ricade nel territorio comunale di San Miniato, sono state inserite le seguenti celle:

- Mac\_SX\_19-18: cella in sinistra idraulica tratto sez. 19-18;
- Mac\_20-19: cella immediatamente a valle dell'attraversamento della linea ferroviaria
- Mac\_27-21: cella compresa tra l'attraversamento della Fi-Pi-Li e quello della linea ferroviaria
- Mac\_DX\_monte\_28: cella a monte dell'attraversamento della Fi-Pi-Li.

La confluenza in Arno è regolata mediante una portella che è stata inserita nel modello di verifica mediante una inline structure in modo da simulare il funzionamento della cateratta, che risulta quindi chiusa quando il battente in Arno supera quello nel Rio Macone.

La suddivisione nelle varie celle sopraelencate ha significato per eventi che non comportano esondazioni dall'Arno, ovvero eventi con tempo di pioggia critico del rio Macone (scenario A3) e eventi che comportano la chiusura della cateratta ma senza esondazioni dirette dall'Arno nella cella Vm\_Bart, ovvero solamente per l'evento trentennale negli scenari C e D (24h e 36h). Mentre negli scenari C e D con tempo di ritorno duecentennale e centennale tutta l'area di valle del rio Macone, che rientra nella cella denominata Vm\_Bart, risulta allagata con battenti ben superiori ai piccoli rilevati che separano le celle sopraelencate e data l'elevata quantità di volumi in gioco non ha senso adottare un modello con celle di dimensione così ridotte e di conseguenza si fa riferimento alla macro-cella Vm\_Bart. In questo caso come vedremo in seguito i volumi sottesi agli idrogrammi di piena del rio Macone sono stati semplicemente sommati ai volumi esondati dall'Arno nella cella Vm\_Bart.

Nell'immagine seguente si riporta lo schema geometrico adottato nelle verifiche idrauliche:

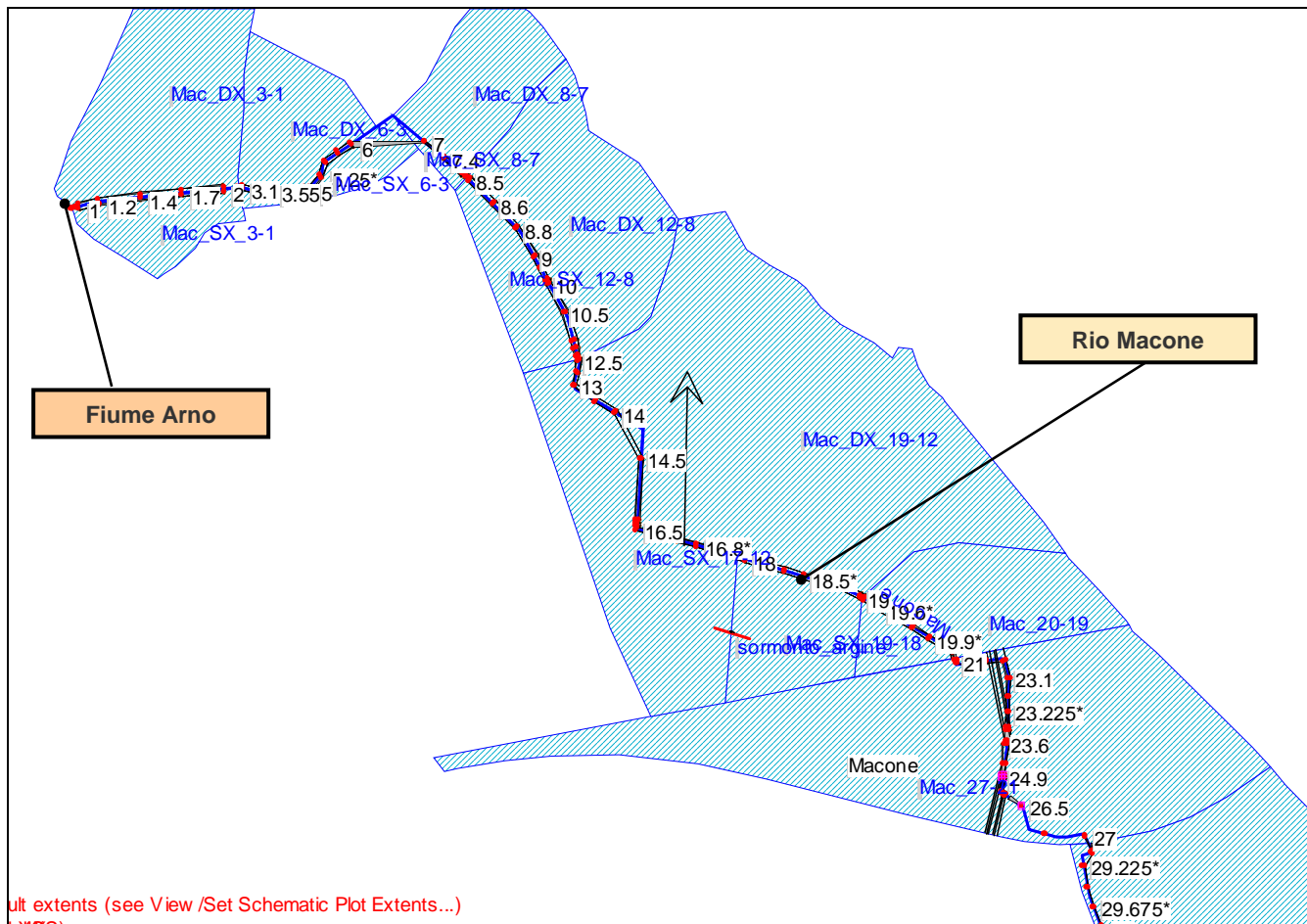


Figura 12 – Schema geometria modello di verifica

Altre informazioni essenziali per lo studio (stato di conservazione dell'alveo, stima dei parametri di resistenza al moto, individuazioni di situazioni locali di interesse quali ad esempio collegamenti tra celle ecc.) sono state acquisite attraverso sopralluoghi e rilievi in sito.

#### 4.5.1. *I coefficienti di scabrezza*

Il coefficiente di scabrezza adottato nella modellazione è stato adottato in analogia al modello del Rio di Fucecchio:

<b>Corso d'acqua</b>	<b>Coeff. Manning</b>
Alveo Rio Macone	0.033

Tabella 19 – Coefficiente di scabrezza adottato

#### 4.5.2. *I coefficienti di espansione e contrazione*

Analogamente al coefficiente di scabrezza anche i coefficienti di espansione e contrazione sono stati assunti in analogia al modello del Rio di Fucecchio:

<b>Tipo di sezioni di deflusso</b>	<b>Coeff. di contrazione</b>	<b>Coeff. di espansione</b>
In condizioni normali	0.1	0.2
In prossimità degli attraversamenti	0.3	0.5

Tabella 20 – Coefficienti di contrazione ed espansione adottati

4.5.3. Curve di invaso relative alle celle di fondovalle

Nelle seguenti tabelle si riportano le curve di invaso relative alle celle di fondovalle relative al Rio Macone interne al comune di Fucecchio ricavate attraverso il LIDAR ed utilizzate per il presente studio:

Cella Mac_SX_3-1		Cella Mac_DX_3-1		Cella Mac_SX_6-3		Cella Mac_DX_6-3		Cella Mac_SX_8-7	
quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)
19.5	0	19.5	0	19.5	0	19.5	0	19.5	0
20	9.78	20	54.5	20	10	20	28.96	20	2.25
20.5	32.51	20.5	156.5	20.5	24.03	20.5	69.31	20.5	4.84
21	56.66	21	261.4	21	38.78	21	110.39	21	7.75
21.5	82.47	21.5	366.82	21.5	53.97	21.5	153.58	21.5	10.81
22	108.49	22	472.48	22	69.48	22	196.78	22	13.86

Cella Mac_DX_8-7		Cella Mac_SX_12-8		Cella Mac_DX_12-8		Cella Mac_SX_17-12		Cella Mac_SX_19-18		Cella Mac_DX_19-12	
quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)	quota	volume (1000 mc)
19.5	0	19.5	0	19.5	0	19	0	19	0	19	0
20	12.6	20	28.75	20	78.82	19.5	14.57	19.5	18.08	19.5	22.39
20.5	56.13	20.5	56.41	20.5	164.98	20	92.37	20	54.94	20	205.46
21	102.53	21	84.88	21	254.47	20.5	183.09	20.5	94.13	20.5	460.88
21.5	151.66	21.5	114.88	21.5	345.32	21	277.76	21	133.66	21	733.41
22	200.79	22	144.88	22	437.35	21.5	374.32	21.5	173.39	21.5	1011.35
						22	472.52	22	213.38	22	1293.43

Tabella 21 – Curve di invaso celle di esondazione del modello del Rio Macone ricavate attraverso il Lidar che interessano il territorio comunale di Fucecchio.

#### **4.6. Analisi dei risultati allo stato attuale**

Di seguito si descrivono brevemente le criticità riscontrate nell'analisi dello stato attuale nei vari scenari di verifica, per maggiori dettagli si rimanda alla tavola, alla tabella dei battenti massimi e alle verifiche idrauliche allegate.

##### *4.6.1. Scenario A1 – condizioni critiche sul Rio di Fucecchio e sul canale Maestro*

Nello scenario A1 si riscontrano criticità lungo il tratto cittadino del rio di Fucecchio e in prossimità delle confluenze nel canale Usciana del Rio di Fucecchio e del Canale Maestro. Tuttavia relativamente all'esondazioni nelle aree di fondo valle prossime al canale Usciana, le condizioni critiche in termini di battenti si verificano negli scenari di verifica C e D, ovvero quelli critici per il canale Usciana, esposti più avanti. In questo paragrafo si descrivono quindi brevemente solo le criticità relative al tratto di monte del Rio di Fucecchio.

##### Esondazioni per Tr200 anni e Tr100 anni:

- Esondazioni sia in destra che in sinistra idraulica nel tratto a monte del ponte della S.P. Pisana per Fucecchio (sez. 1035) con transito verso valle e rientro in alveo.
- Insufficienza della luce idraulica del ponte di via Umberto Giordano (sez. RF\_1045) con conseguente esondazione in particolare in sinistra idraulica. I volumi che tracimano in sinistra idraulica scorrono verso valle andando ad interessare gran parte del centro abitato di Fucecchio (cella VI\_015\_1). Nel caso di evento duecentennale i volumi in esubero arrivano ad oltrepassare Viale Bonaparte con conseguente allagamento anche di parte della cella denominata VI\_021\_3.
- Nel tratto cittadino (RF\_1045 – RF\_1130) la piena transita con franchi prossimi allo zero, a monte del ponte di via Sotto le Vigne si verifica una lieve esondazione in destra idraulica.
- In prossimità della sez. RF\_1140 si verifica sormonto dell'argine destro.



Esondazioni per Tr30 anni:

- Esondazioni sia in destra che in sinistra idraulica nel tratto a monte del ponte della S.P. Pisana per Fucecchio (sez. 1035) con transito verso valle e rientro in alveo.
- A valle del ponte della S.P. Pisana per Fucecchio la portata trentennale risulta contenuta in alveo, ad eccezione del tratto terminale che scorre parallelamente al canale Usciana, dove comunque i massimi battenti si verificano per gli altri scenari di verifica C e D.

*4.6.2. Scenario A2 – condizioni critiche sul rio di Vallebuia*

Lungo il rio di Vallebuia nel tratto a monte dell'attraversamento di via Pistoiese si verificano lievi esondazioni in destra idraulica ed esondazioni più consistenti in sinistra idraulica, dove si riscontrano criticità anche per eventi con tempo di ritorno trentennale. Le esondazioni sono causate dal rigurgito generato dalla presenza dei manufatti di attraversamento, dall'insufficienza di alcune sezioni di deflusso e dal rigurgito attraverso i canali di scolo del reticolo minore.

In particolar i volumi in esubero in sinistra idraulica tracimano in prossimità delle sezioni Va\_013 e Va\_012 e proseguono verso valle andando ad inondare via Vallebuia con conseguente allagamento anche dei garage seminterrati disposti lungo la strada.

A valle di via Pistoiese il rio di Vallebuia risulta contenuto nel primo tratto (sez. Va\_05 - Va\_04), mentre in prossimità dell'attraversamento localizzato alla sez. Va\_02 si verifica il sormonto del manufatto, ma si tratta comunque di una zona di fondo valle non antropizzata e che negli scenari C e D risulta allagata con battenti maggiori dal rigurgito del canale Usciana.

*4.6.3. Scenario A3 – condizioni critiche sul rio Macone*

Nel tratto del rio Macone interno al territorio comunale di Fucecchio, ovvero quello a valle della sezione M15, non si verificano esondazioni, in quanto la portata che raggiunge il tratto di interesse è laminata dalle esondazioni che si verificano nel tratto di monte (comune di San Miniato).

#### 4.6.4. Scenari C e D

Come detto in precedenza per un tempo di pioggia di 24h e 36h è stato costruito un modello di verifica che oltre ad analizzare il canale Usciana, il rio di Fucecchio e il torrente Vincio tiene conto degli idrogrammi forniti dall'Autorità di Bacino relativi alle esondazioni dall'Arno (dati del modello SIMI 2004).

Il tracciato dell'Arno che risulta interno al comune di Fucecchio è limitato al tratto tra la sezione n°343 e la sezione n°328, tuttavia gli idrogrammi di sfioro dall'Arno in destra idraulica sono stati considerati su un tratto molto più esteso poiché il piano di campagna, in corrispondenza dei comuni Castelfranco di Sotto, Santa Croce sull'Arno e Fucecchio, risulta pianeggiante e senza rilevati stradali o arginali in grado di interrompere fenomeni di esondazione e separare idraulicamente le celle, pertanto il contributo dell'Arno anche alle celle dei comuni limitrofi influisce nei massimi battenti nelle aree che interessano il comune di Fucecchio.

Pertanto le aree allagate in questo scenario derivano da una commistione dei volumi tracimati dall'Arno in destra idraulica tra la sezione n°346 (al confine tra il comune di Cerreto Guidi e Fucecchio) e il canale scolmatore con quelli tracimati dal reticolo minore ed in particolar modo dal canale Usciana.

#### Esondazioni per Tr200 anni e Tr100 anni:

Relativamente alla porzione di territorio comunale situata in sinistra idraulica dell'Arno i volumi d'acqua cumulati nelle celle Vm\_Bart e Bart\_Eg, oltre al minimo contributo dovuto al Rio Macone, derivano dall'esondazioni dirette dell'Arno nel tratto tra la sez. n°343 e la sez. n°328, in questo caso non è necessario considerare le esondazioni nelle aree limitrofe essendo le celle idraulicamente separate da quelle dei comuni adiacenti.

A differenza della situazione in sinistra idraulica dell'Arno, la dinamica di esondazione che si instaura in destra idraulica all'interno del territorio comunale è piuttosto complicata, infatti è generata dai seguenti fattori:

- esondazione dall'Arno nel tratto tra le sezioni n°343 e la sez. n°332 nelle celle VI\_003a, VI\_003b, VI\_005a e VI\_005b, con transito attraverso la cella VI\_007 fino alla cella VI\_009;
- l'area in destra idraulica dell'Arno in prossimità delle sez. n° 333 e 332 non è stata analizzata nel modello SIMI 2004, bensì considerata come area golenale, pertanto in questa zona si assume il battente duecentennale riportato per la sez. n°332 dal sito dell'Autorità di Bacino del fiume Arno pari a 24.54 m s.l.m.;

- contributo alla cella VI\_009 da ovest a causa delle esondazioni dell'Arno nei territori comunali a valle di Fucecchio e del transito verso est dei volumi in esubero;
- sormonto della vecchia strada provinciale Pisana per Fucecchio con passaggio di volumi d'acqua dalla cella VI\_009 alla cella VI\_021\_1;
- sormonto della strada provinciale Pisana per Fucecchio con passaggio di volumi d'acqua dalla cella VI\_021\_1 alla cella VI\_021\_5 e alla cella VI\_021\_4;
- rigurgito del canale Usciana attraverso il rio di Fucecchio all'interno delle cella VI\_021\_4 con relativa commistione con le acque esondate dall'Arno, in questa zona dato che il rio di Fucecchio non è arginato il contributo dell'Arno influisce quindi sul battente di valle del rio stesso e di conseguenza sui battenti dell'Usciana in prossimità della confluenza del rio di Fucecchio, inducendo nel canale una condizione quasi rigurgitata con velocità all'interno del canale Usciana molto ridotte;
- esondazioni dal canale Usciana nel tratto compreso tra il ponte della S.P. 111 e il ponte di via di Burello sia in destra che in sinistra idraulica nelle celle rispettivamente VI\_027\_1 e VI\_027\_2 in destra e VI\_017\_2 e VI\_017\_1 in sinistra;
- esondazioni dal canale Usciana in destra idraulica nella cella VI\_027\_3;
- ristagno dei volumi in arrivo dal canale Maestro all'interno della cella VI\_017\_1 poiché il battente nella sezione di confluenza nell'Usciana è tale da mantenere chiuso il clapet, i volumi in arrivo si vanno a sommare a quanto tracimato dall'Usciana nel tratto a monte del ponte di via di Burello;

#### Esondazioni per Tr30 anni:

Relativamente alla porzione di territorio situata in sinistra idraulica dell'Arno non si verifica esondazione in questo scenario, infatti gli sfiori dall'Arno sono nulli e la ridotta portata in arrivo dal rio Macone risulta, relativamente al comune di Fucecchio, contenuta all'interno dell'alveo.

Per quanto concerne la parte in destra idraulica dell'Arno in questo scenario i volumi tracimati dall'Arno non arrivano a mischiarsi con quelli in esubero dal canale Usciana come invece avviene per eventi centennali e duecentennali. Infatti le esondazioni dall'Arno sono limitate alla cella VI\_005\_b oltre ad una piccola aliquota che esonda a valle di Fucecchio e che transita verso est in direzione della cella VI\_009, tuttavia tale contributo è molto ridotto e si limita al rigurgito all'interno dei fossi di drenaggio, in particolare nell'antifosso dell'Usciana.

Relativamente al reticolo costituito dal canale Usciana, il rio di Fucecchio e il canale Maestro si riscontrano invece le seguenti criticità:

- rigurgito del canale Usciana attraverso il rio di Fucecchio all'interno delle celle VI\_021\_4 e VI\_021\_5;
- esondazioni dal canale Usciana nel tratto compreso tra il ponte della S.P. 111 e il ponte di via di Burello sia in destra che in sinistra idraulica nelle celle rispettivamente VI\_027\_1 e VI\_027\_2 in destra e VI\_017\_2 e VI\_017\_1 in sinistra;
- ristagno dei volumi in arrivo dal canale Maestro all'interno della cella VI\_017\_1 poiché il battente nella sezione di confluenza nell'Usciana è tale da mantenere chiuso il clapet, i volumi in arrivo si vanno a sommare a quanto tracimato dall'Usciana nel tratto a monte del ponte di via di Burello.

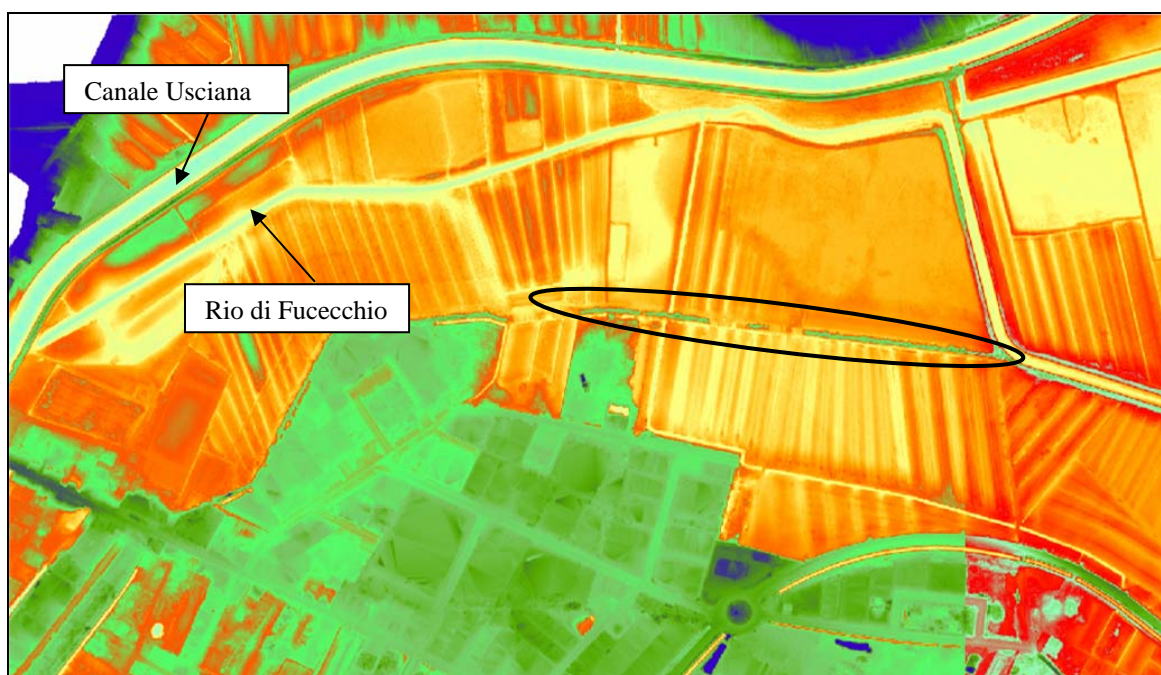
Ovviamente in tutti e tre gli eventi descritti tutto il cratere del padule di Fucecchio, ovvero a monte del ponte sull'Usciana della S.P. 111 risulta allagato.

È importante notare che nelle tre celle in destra idraulica del canale Usciana (celle VI\_027) confluiscono altrettanti corsi d'acqua minori che non rientrano nel PIT e non interessano particolarmente i centri abitati e quindi, in accordo con gli enti coinvolti, non sono stati inclusi nel presente studio. Pertanto le pericolosità qui ottenute in dette aree derivano dalle sole esondazioni riscontrate nel canale Usciana e un eventuale analisi puntuale necessiterebbe di uno studio idraulico specifico sul corso d'acqua minore affluente dell'Usciana.

#### 4.7. Considerazioni sulla presenza del argine circondariale di Ponte a Cappiano

In prossimità della confluenza del rio di Fucecchio nel canale Usciana è stato riscontrato dai sopralluoghi effettuati e mediante l'ausilio del LIDAR la presenza di un argine circondariale in cattivo stato di manutenzione.

Nell'immagine seguente, dove è evidenziato all'interno dell'ellissi l'argine suddetto, si possono notare i tratti di rilevato rimasti integri (in verde) e le zone dove l'argine risulta quasi inesistente (in arancione).



**Figura 13 – Estratto del DTM del comune di Fucecchio ricavato mediante LIDAR con evidenziato l'argine circondariale di Ponte a Cappiano**

## **5. DETERMINAZIONE DELLE AREE ALLAGABILI E DELLE CARTE DI PERICOLOSITÀ**

### **5.1. Metodologia per la definizione della cartografia delle aree allagabili e della pericolosità idraulica**

La definizione delle aree allagabili è stata effettuata considerando l'iniluppo dei massimi livelli ottenuti nei diversi scenari (A, B, C e D). Si verifica che, ad esclusione delle celle prossime al tratto di monte del Rio di Fucecchio e del Rio Vallebuia dove lo scenario che comporta i battenti massimi corrisponde al tempo di pioggia critico dei rii stessi, il massimo battente nelle celle di fondovalle è relativo allo scenario C a sud-ovest della S.P. Pisana per Fucecchio a causa delle esondazioni dirette dall'Arno e allo scenario D nelle aree a nord-est della stessa viabilità, a causa del contributo del canale Usciana.

Relativamente al Rio Macone, come detto in precedenza, non si verificano esondazioni all'interno del territorio comunale di Fucecchio nel caso di evento con tempo di pioggia critico proprio del rio stesso (scenario A3) e nel caso di eventi trentennali con tempi di pioggia 24h e 36h (scenari C e D – Tr30 anni) quando il volume in arrivo risulta contenuto in alveo.

Nel caso di eventi con tempo di ritorno duecento e cento anni e tempo di pioggia critico per l'Arno (scenari C e D – Tr200 e 100 anni) nell'area dove scorre il rio Macone (cella Vm\_Bart) si verifica esondazione dall'Arno con volumi in gioco notevolmente superiori rispetto all'apporto del rio Macone. In questi scenari è stata trascurata l'aliquota di volume che è possibile invasare all'interno dell'alveo del rio stesso e si è scelto di sommare il volume sotteso all'idrogramma di input di ogni scenario ai volumi esondati dall'Arno.

Nella tabella successiva sono evidenziati il set di livelli massimi raggiunti nelle celle di esondazione interne al confine comunale di Fucecchio per i vari tempi di ritorno e per i vari tempi di pioggia e si individuano i valori maggiori, rispettivamente in blu i livelli massimi relativi a Tr=200 anni, in rosso per Tr=100 anni e in verde per Tr=30 anni.

Codice CELLA	LIVELLI MASSIMI RAGGIUNTI NELLE CELLE DI FONDOVALLE (m s.l.m.) – modello scenari A1, B, C e D											
	SCENARIO A - $T_p = 3 h$			SCENARIO B - $T_p = 4 h$			SCENARIO C - $T_p = 24 h$			SCENARIO D $T_p = 36 h$		
	Tr200	Tr100	Tr30	Tr200	Tr100	Tr30	Tr200	Tr100	Tr30	Tr200	Tr100	Tr30
Vm_Bart	\	\	\	\	\	\	21.11	20.44	vuota	21.19	20.35	vuota
Bart_Eg	\	\	\	\	\	\	20.31	19.95	vuota	20.36	19.83	vuota
VI-005_b	\	\	\	\	\	\	23.8	23.61	22.97	23.82	23.6	22.72
VI_003_a	\	\	\	\	\	\	23.8	23.61	vuota	23.81	23.6	vuota
VI_003_b	\	\	\	\	\	\	23.8	23.61	vuota	23.82	23.6	vuota
VI_005_a	\	\	\	\	\	\	23.8	23.61	vuota	23.81	23.6	vuota
VI_007	\	\	\	\	\	\	17.3	17.13	vuota	17.32	17.13	vuota
VI_009	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	16.24	16.07	14.11	16.28	16.11	vuota
VI_015_1	18.85	18.71	vuota	18.85	18.74	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota
VI_017_1	13.89	13.8	13.68	14.02	13.91	13.76	16.02	15.68	14.21	16.13	15.81	14.41
VI_017_2	15	14.9	14.69	15.2	15.04	14.84	15.97	15.68	15.47	16.11	15.78	15.51
VI_021_1	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	16.13	15.95	vuota	16.2	15.99	vuota
VI_021_2	14.03	vuota	vuota	14.11	vuota	vuota	16.13	15.95	vuota	16.2	15.99	vuota
VI_021_3	17.42	vuota	vuota	17.43	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota
VI_021_4	14.51	14.39	14.09	14.59	14.45	14.11	16.12	15.95	14.66	16.2	15.99	14.68
VI_021_5	14.51	14.39	14.09	14.59	14.45	14.11	16.13	15.95	14.66	16.2	15.99	14.68
VI_025	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota
VI_027_1	vuota	vuota	vuota	15.2	13.06	vuota	15.98	15.68	15.46	16.11	15.78	15.5
VI_027_2	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	16.02	15.68	14.41	16.13	15.81	15.25
VI_027_3	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	vuota	16.08	15.69	vuota	16.18	15.83	vuota

LEGENDA		
max Tr200	max Tr100	max Tr30
\ = cella non presente nello scenario		

Tabella 22 – livelli massimi raggiunti nelle celle di fondovalle negli scenari A1, B, C e D

	<b>LIVELLI MASSIMI RAGGIUNTI NELLE CELLE (m s.l.m.) – modello Rio Vallebuia</b>		
	<i>SCENARIO A2 - <math>T_p = 1.5 h</math></i>		
<b>Codice CELLA</b>	Tr200	Tr100	Tr30
Va_DX_16-9	18.38	18.34	18.29
Va_DX_9-6	17.47	17.12	vuota
Va_SX_16-9	19.11	18.98	18.78
Va_SX_9-6	19.11	18.91	18.16
VI_017_1 (*)	12.62	12.59	12.53

(\*) cella di fondovalle comune al modello complessivo descritto in precedenza

**Tabella 23 – livelli massimi raggiunti nelle celle di fondovalle nello scenario A2**



## **5.2. Confronto tra i modelli sviluppati e il P.A.I. vigente**

Dal confronto tra la perimetrazione delle pericolosità idraulica che deriva dal presente lavoro e quella del P.A.I. vigente si evince una complessiva corrispondenza in termini di aree allagabili, con alcune locali modifiche dovute alla differente impostazione geometrica. Infatti le verifiche idrauliche sviluppate in questo studio permettono di raggiungere un livello di dettaglio maggiore rispetto al P.A.I. vigente sia in termini di corsi d'acqua analizzati che per il passaggio dalla scala cartografica 1:10'000 e 1:25'000 (P.A.I.) alla scala di maggior dettaglio Lidar e 1:2'000.

## **6. LIMITI DELLO STUDIO E CONSIDERAZIONI FINALI**

I risultati esposti nel presente studio sono vincolati alla sussistenza delle attuali condizioni e assetti del reticolo idrografico idraulicamente rilevante rispetto alle previsioni contenute nel regolamento urbanistico. Eventuali future modifiche di tali assetti, ovvero la modifica del quadro conoscitivo indotto da futuri eventi meteorologici estremi, imporranno adeguate revisioni dei risultati e delle prescrizioni qui contenute.

Tali prescrizioni dovranno essere valutate e aggiornate in relazione anche alla futura evoluzione del processo di espansione edilizia, alla eventuale approvazione di varianti al regolamento urbanistico, a variazioni significative dell'assetto dell'uso del suolo o delle reti idrauliche naturali o artificiali interferenti con le aree di previsione urbanistica qui analizzate.

In particolare relativamente alle aree interessate dall'esondazione del fiume Arno sarò necessario valutare le eventuali deperimetrazioni delle aree in pericolosità idraulica che potranno seguire la messa in funzione della cassa di espansione di Piaggioni, ad oggi in fase di realizzazione.

I risultati in termini di aree allagabili e cartografia della pericolosità idraulica, sono inoltre conseguenti all'impostazione metodologica derivante dalle linee guida per la valutazione della pericolosità idraulica di cui al Decreto del Presidente della Giunta Regionale 25 Ottobre 2011, n. 53/R – Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche, pubblicato il 2.11.2011 sul Bollettino Ufficiale della Regione Toscana – N. 51.

Il tecnico incaricato:

Dott. Ing. Gesualdo Bavecchi

Allegato 1

Tabella con l'involuppo dei massimi battenti  
nelle celle di esondazione considerate per i vari tempi di ritorno

Involuppo dei massimi valori dei livelli (m s.l.m.)			
Codice CELLA	H200	H100	H30
<i>Battenti ottenuti sulla base degli idrogrammi di sfioro dall'Arno - SIMI 2004</i>			
Vm_Bart	21.19	20.44	vuota
Bart_Eg	20.36	19.95	vuota
<i>Modello canale Usciana, rio di Fucecchio, torrente Vincio e sfiori da Arno</i>			
VI-005_b	23.82	23.61	22.97
VI_003_a	23.81	23.61	vuota
VI_003_b	23.82	23.61	vuota
VI_005_a	23.81	23.61	vuota
VI_007	17.32	17.13	vuota
VI_009	16.28	16.11	14.11
VI_015_1	18.85	18.74	vuota
VI_017_1	16.13	15.81	14.41
VI_017_2	16.11	15.78	15.51
VI_021_1	16.2	15.99	vuota
VI_021_2	16.2	15.99	vuota
VI_021_3	17.43	vuota	vuota
VI_021_4	16.2	15.99	14.68
VI_021_5	16.2	15.99	14.68
VI_025	vuota	vuota	vuota
VI_027_1	16.11	15.78	15.5
VI_027_2	16.13	15.81	15.25
VI_027_3	16.18	15.83	vuota
<i>Modello rio di Vallebuia</i>			
Va_DX_16-9	18.38	18.34	18.29
Va_DX_9-6	17.47	17.12	vuota
Va_SX_16-9	19.11	18.98	18.78
Va_SX_9-6	19.11	18.91	18.16

# Allegati Idrologici

## IDROGRAMMI DI PIENA

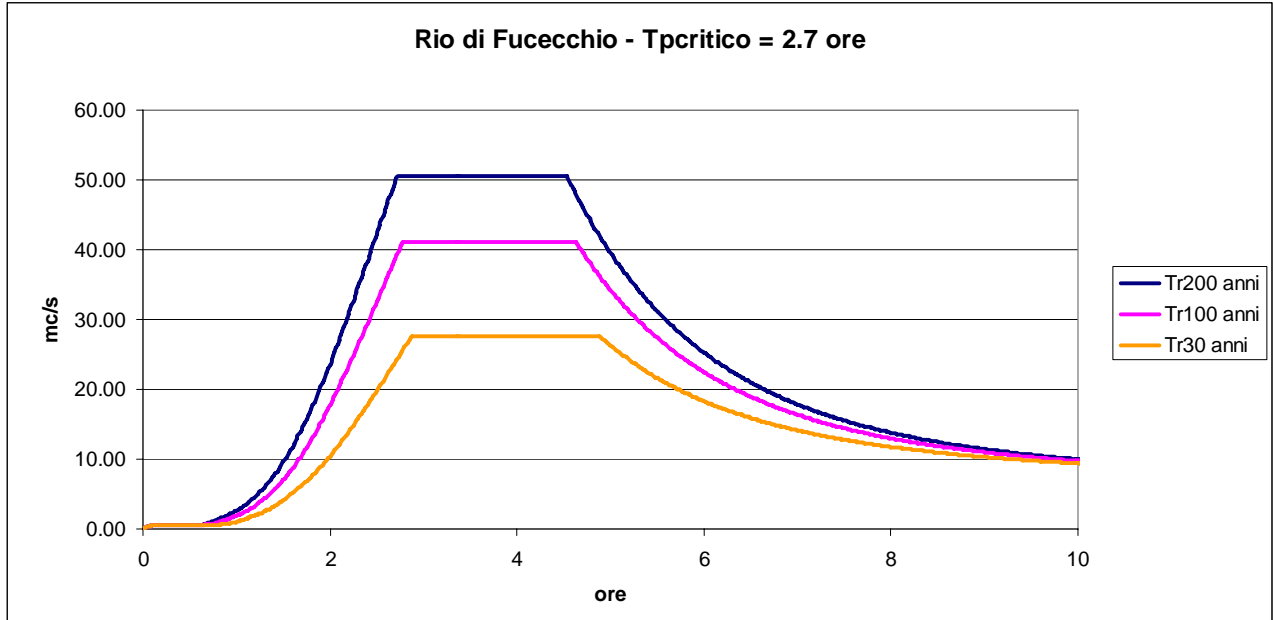
- **Scenario A (tempo di pioggia critico corsi d'acqua minori)**
  - **Scenario A1 - tempo di pioggia critico Rio di Fucecchio e Canale Maestro**
  - **Scenario A2 - tempo di pioggia critico Rio Vallebuia**
  - **Scenario A3 - tempo di pioggia critico Rio Macone**
  
- **Scenario B (tempo di pioggia = 4 ore)**
- **Scenario C (tempo di pioggia = 24 ore)**
- **Scenario D (tempo di pioggia = 36 ore)**

## INDICE

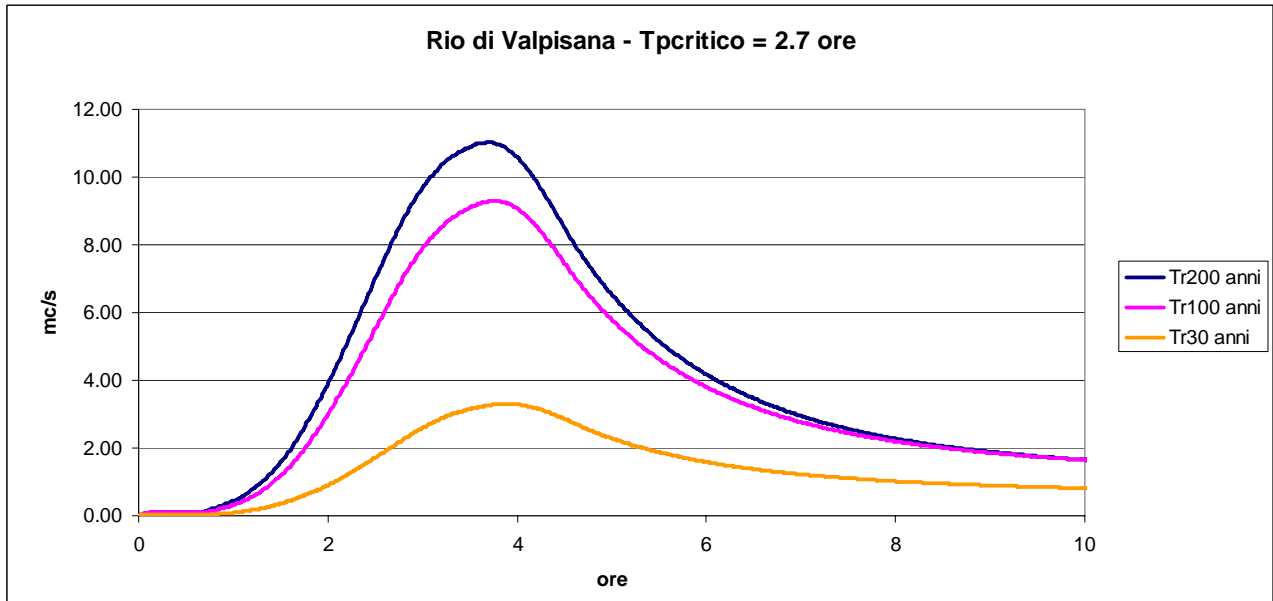
01.1	Scenario A1.....	2
01.2	Scenario A2.....	5
01.3	Scenario A3.....	5
02	Scenario B.....	7
03	Scenario C.....	10
04	Scenario D.....	13

## 01.1 Scenario A1

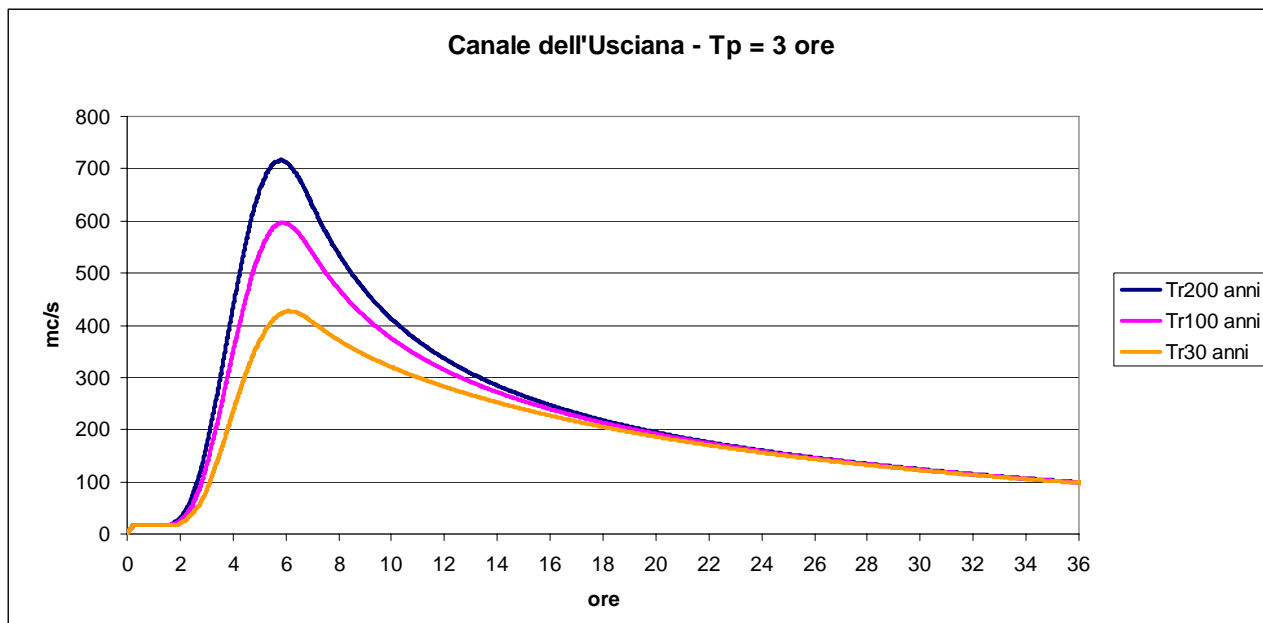
### Rio di Fucecchio



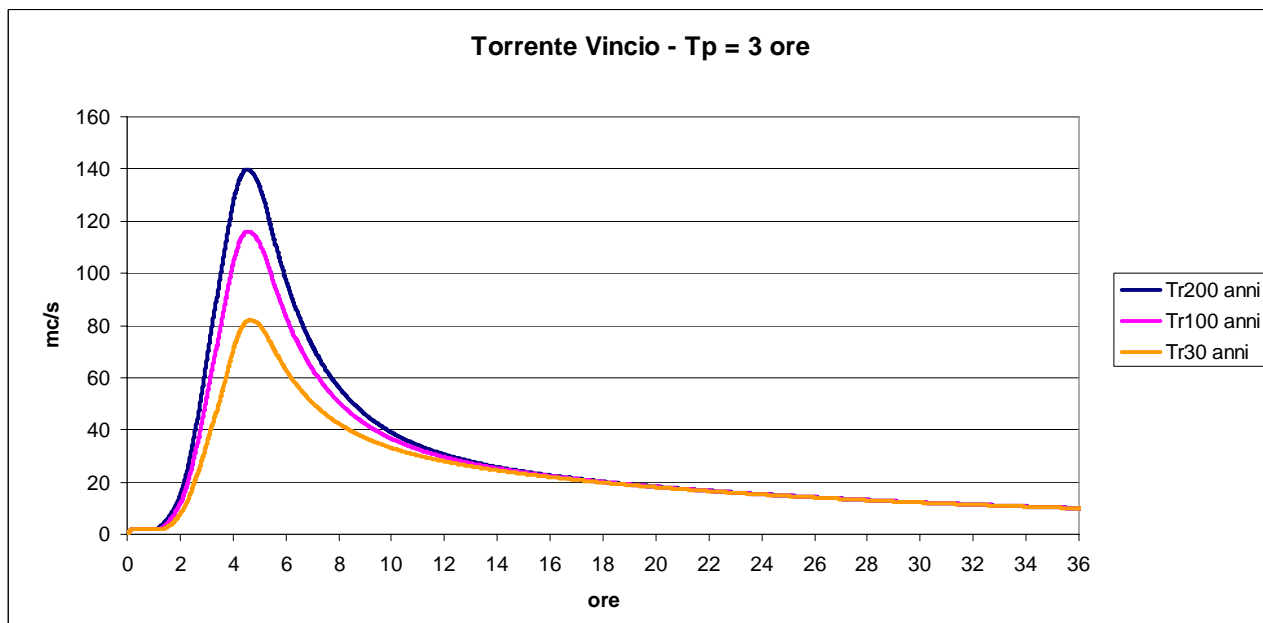
### Rio di Valpisana



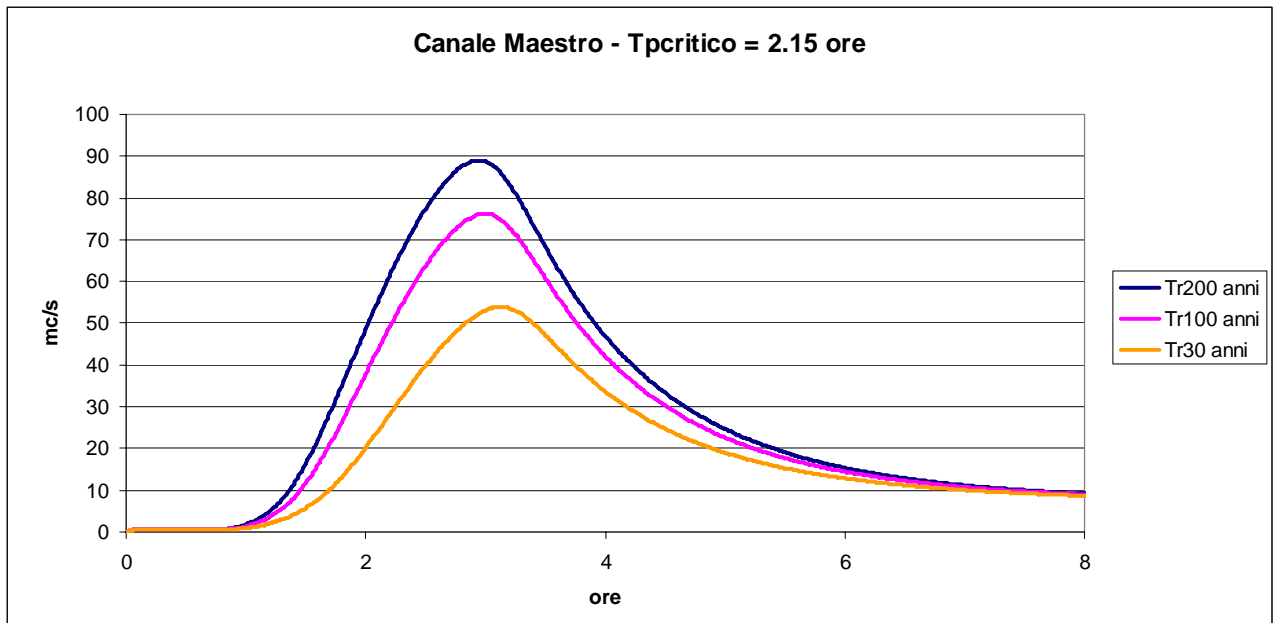
### Canale Usciana monte



### Torrente Vincio

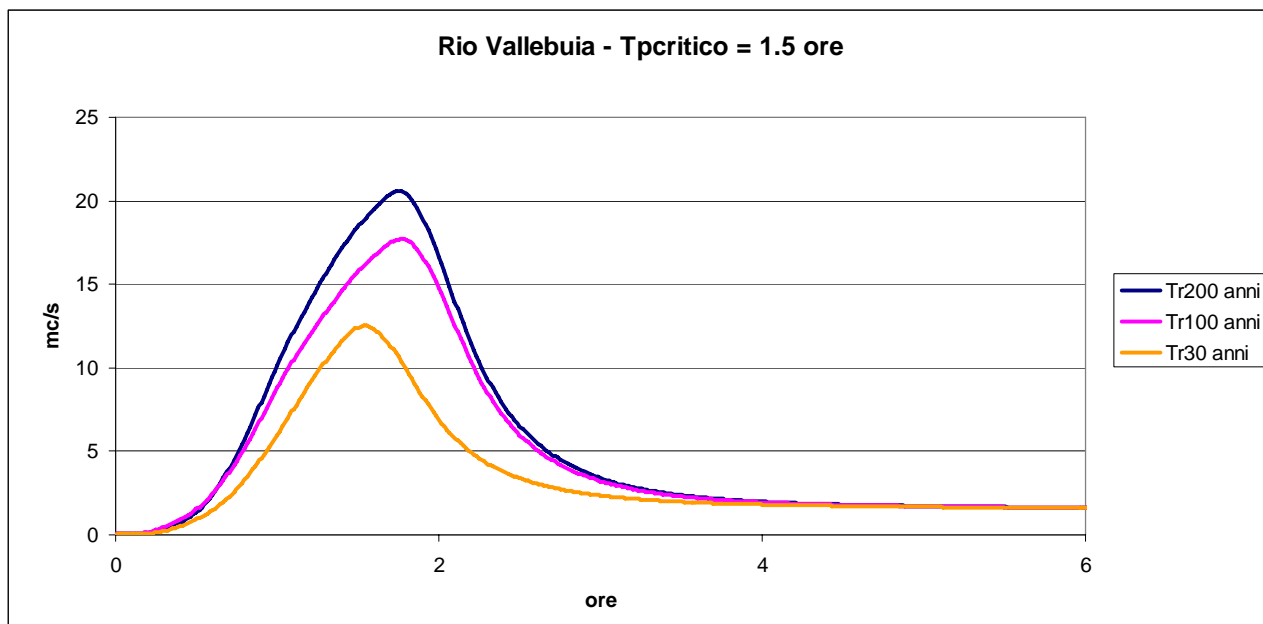


## Canale Maestro



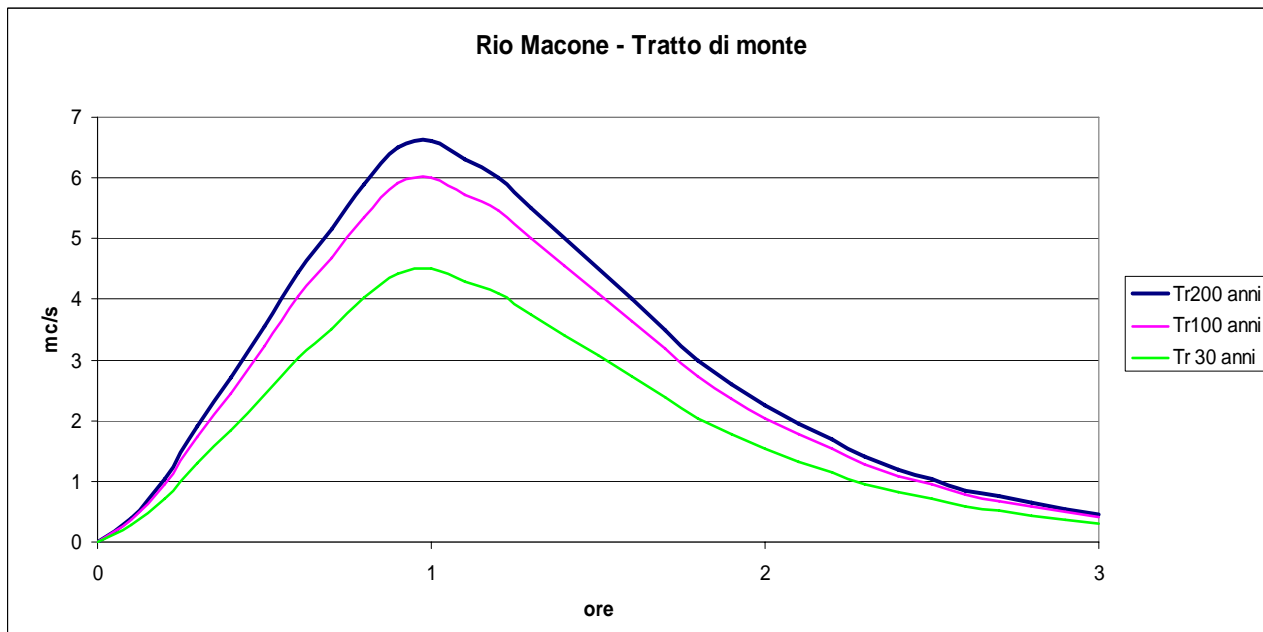
## 01.2 Scenario A2

### Rio Vallebuia



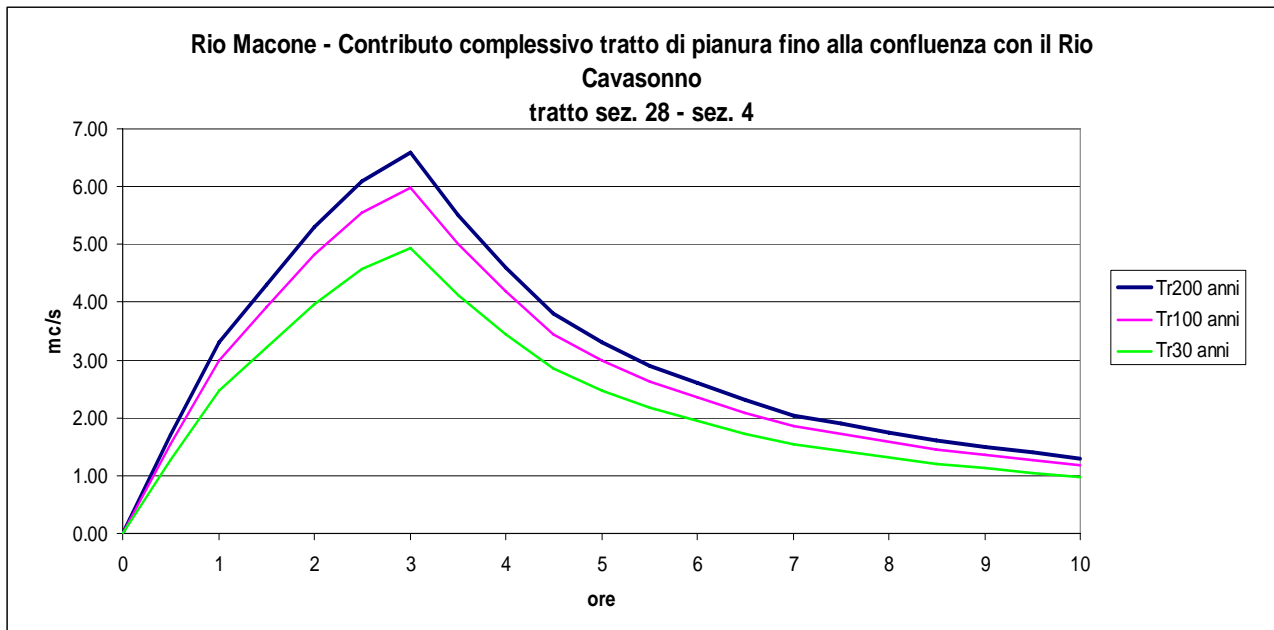
## 01.3 Scenario A3

### Rio Macone – input di monte



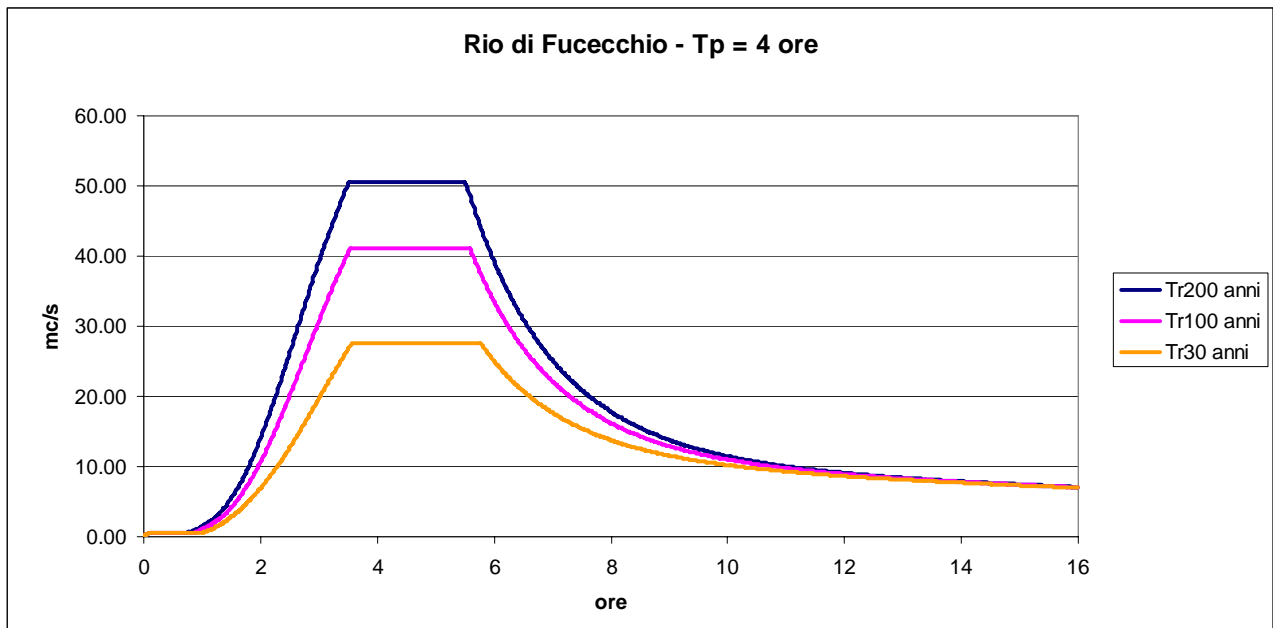


## Rio Macone – tratto di pianura

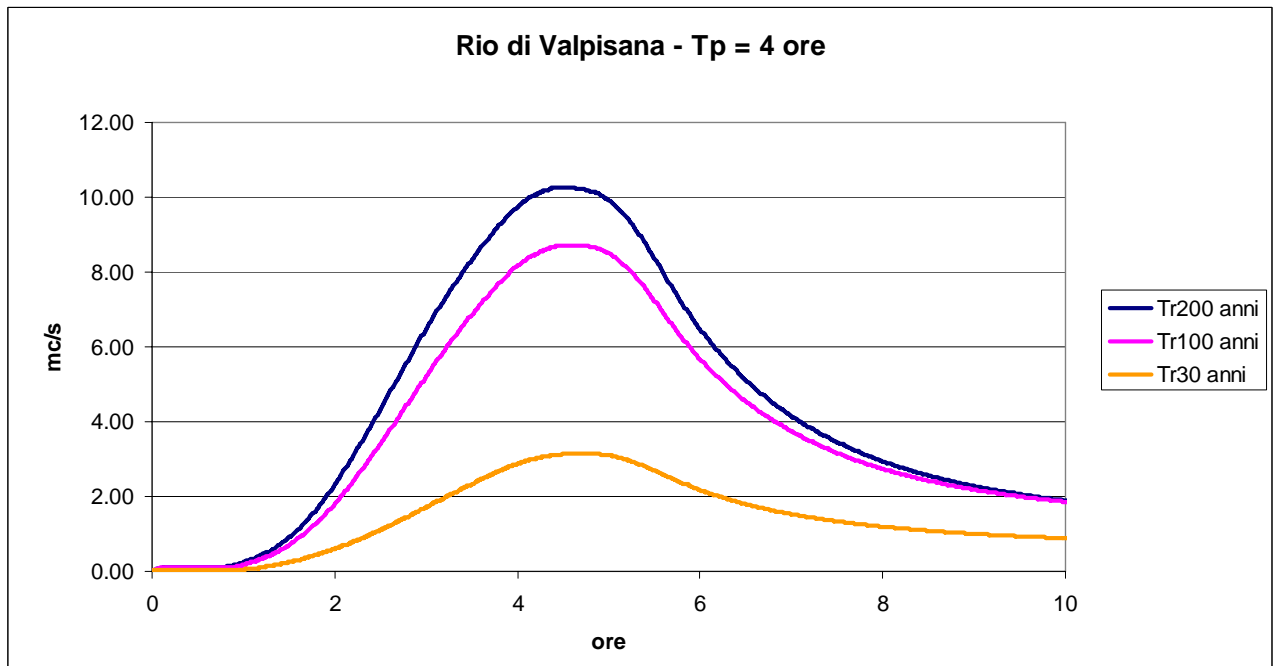


## 02 Scenario B

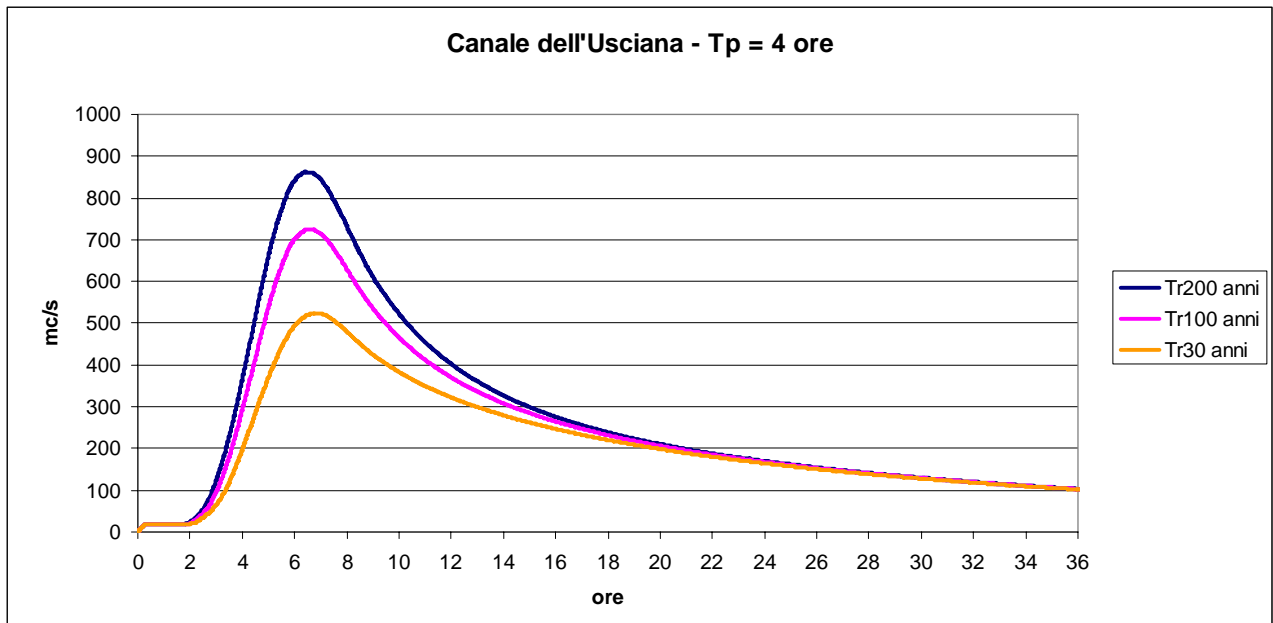
### Rio di Fucecchio



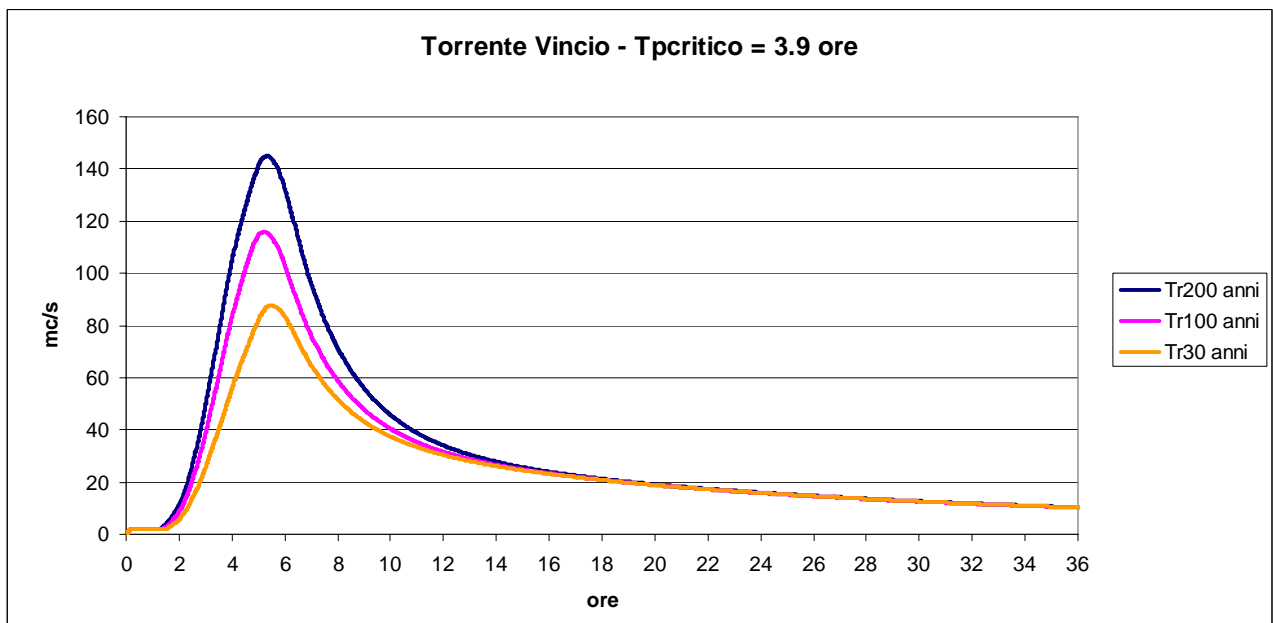
### Rio di Valpisana



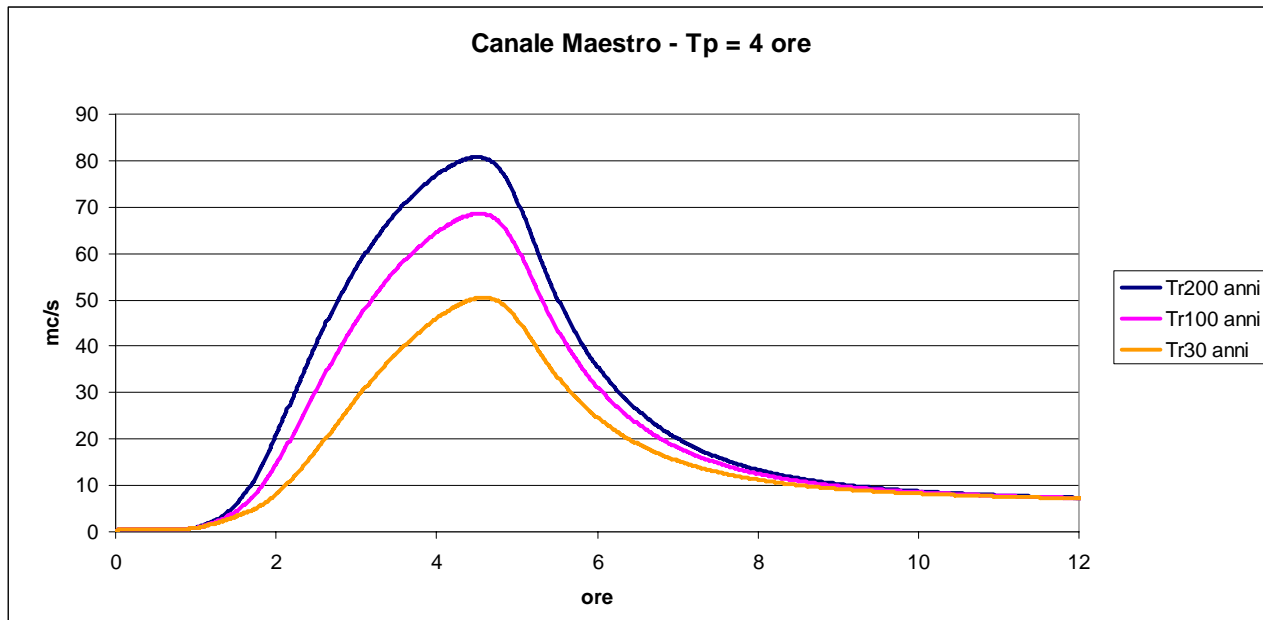
## Usciana monte



## Torrente Vinci

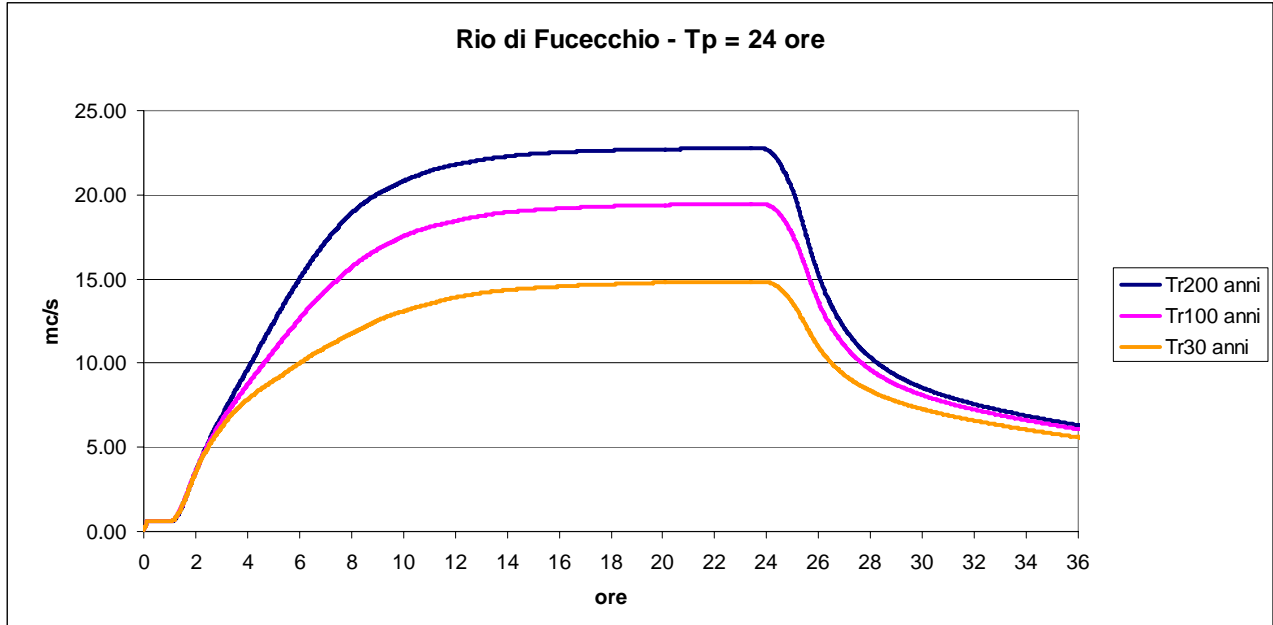


## Canale Maestro

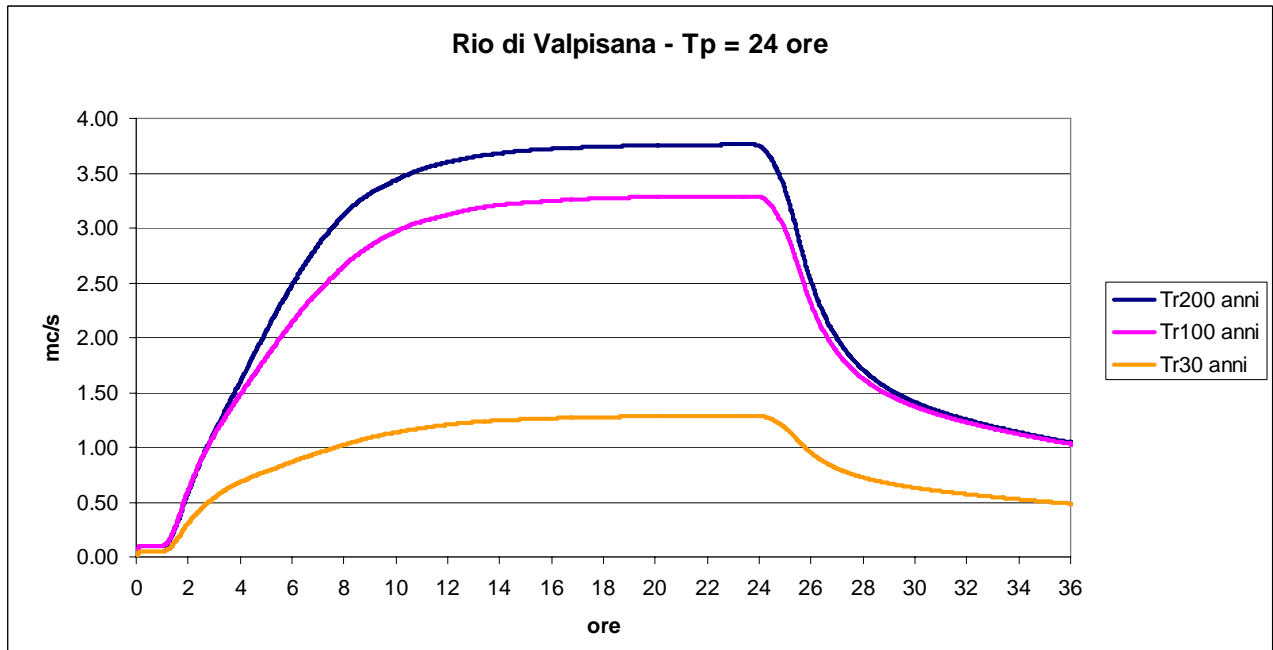


### 03 Scenario C

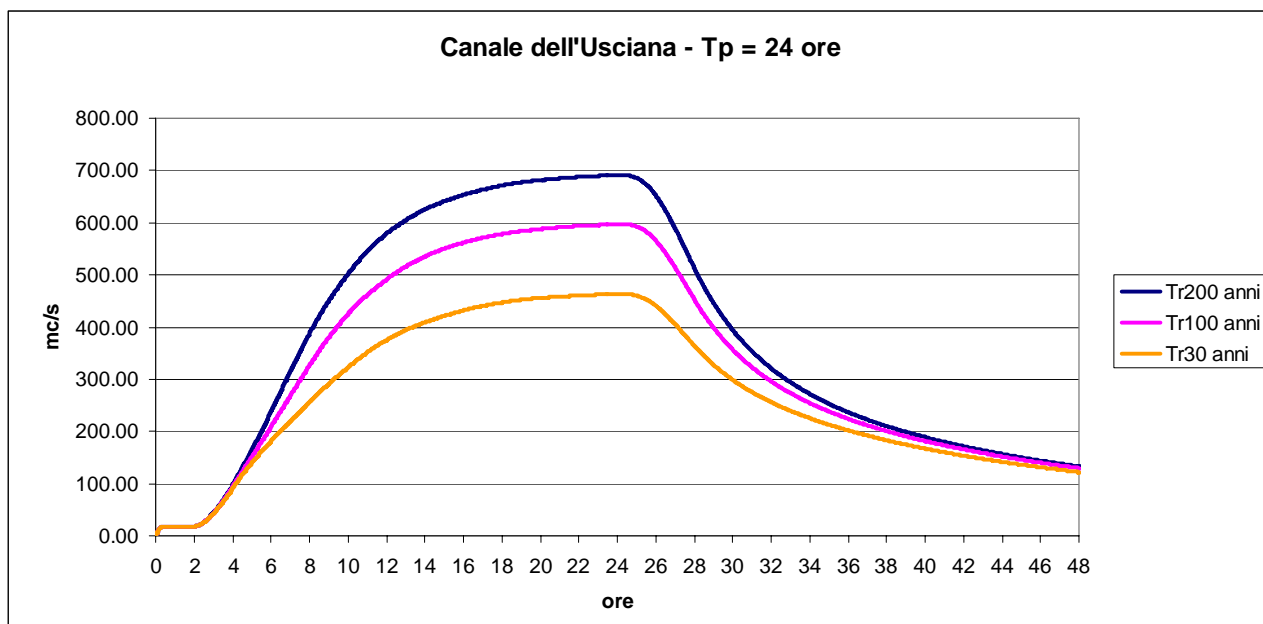
#### Rio di Fucecchio



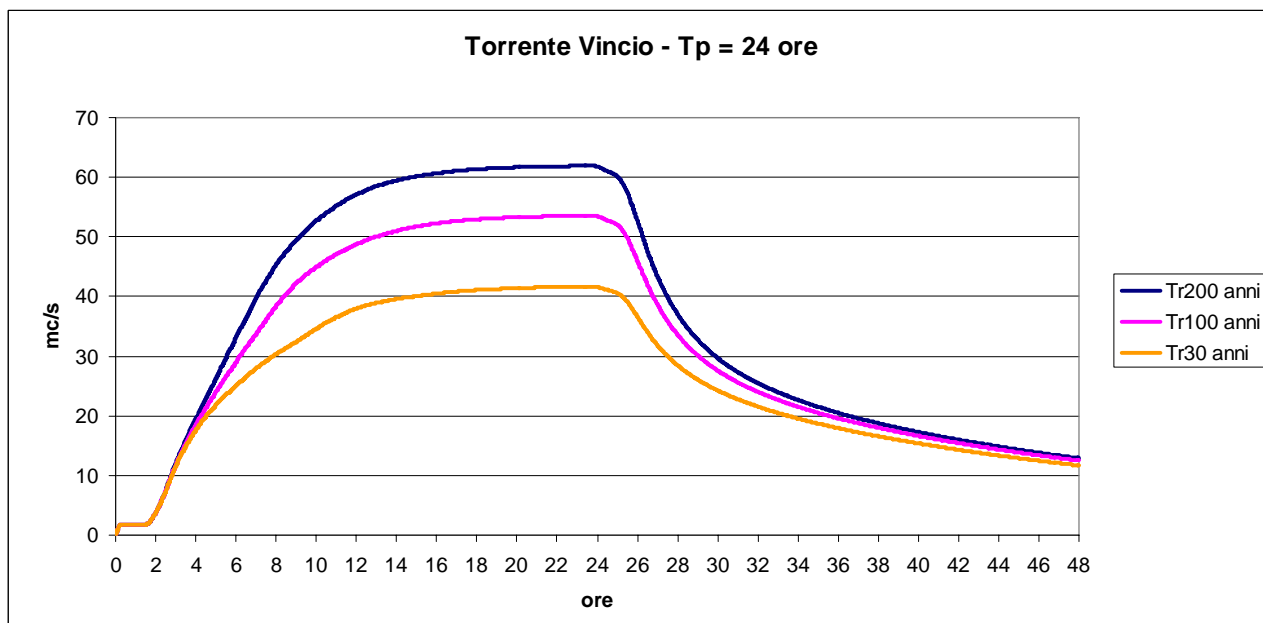
#### Rio di Valpisana



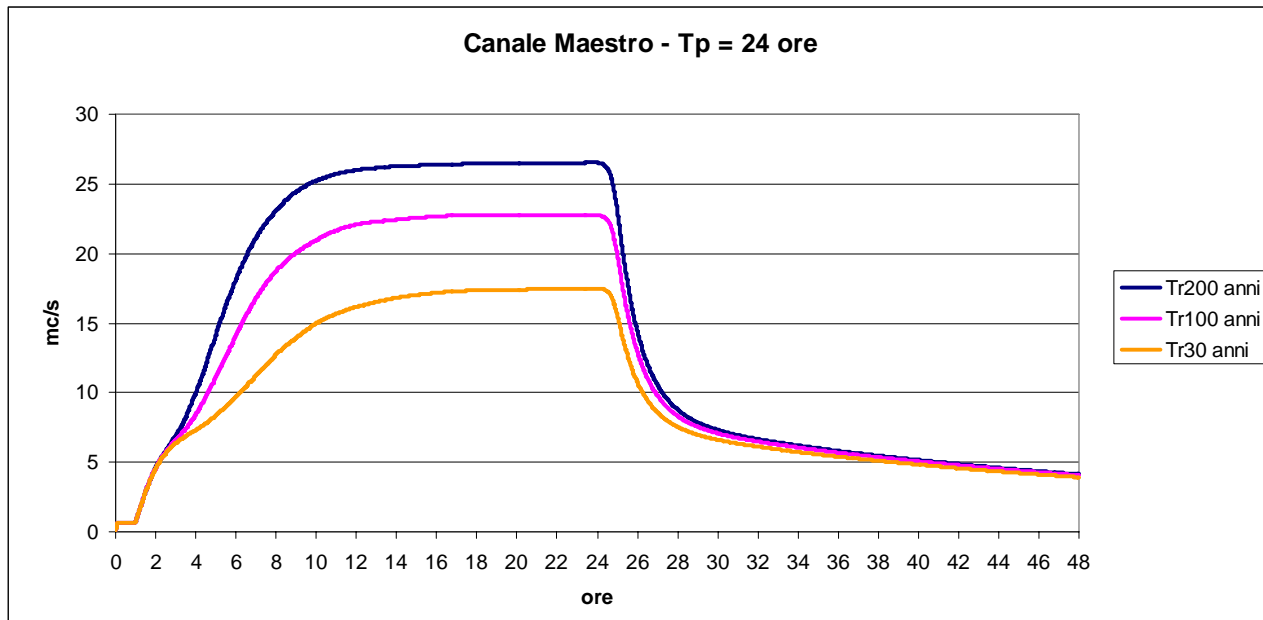
### Usciana monte



### Torrente Vincio

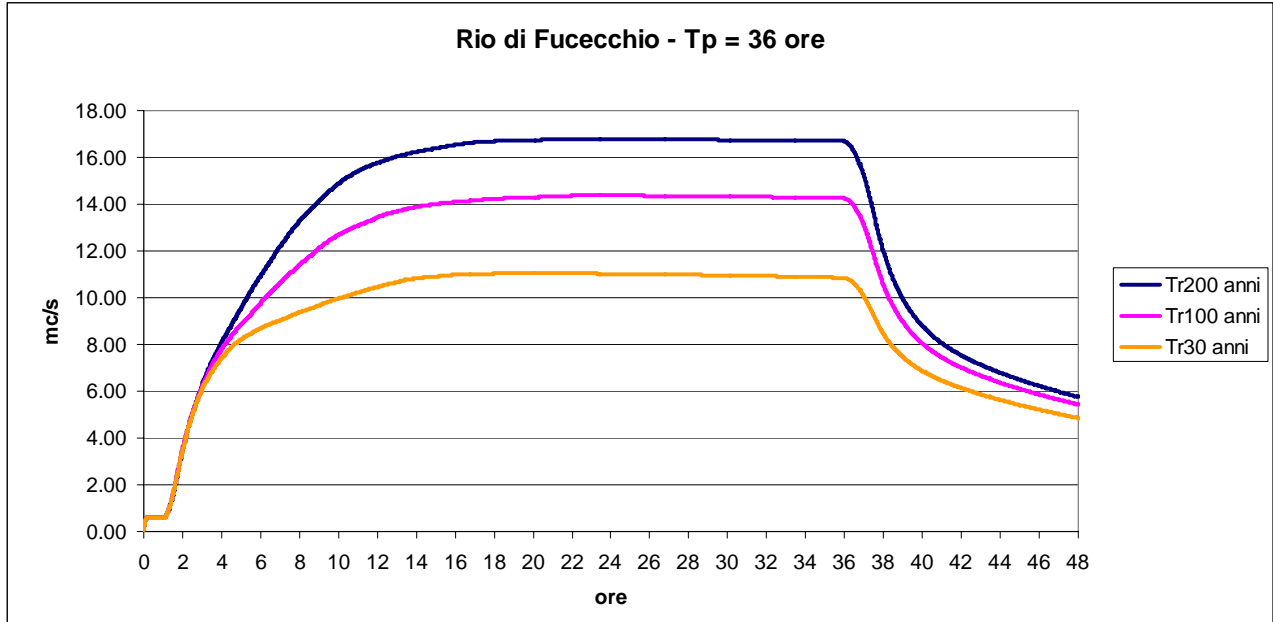


## Canale Maestro

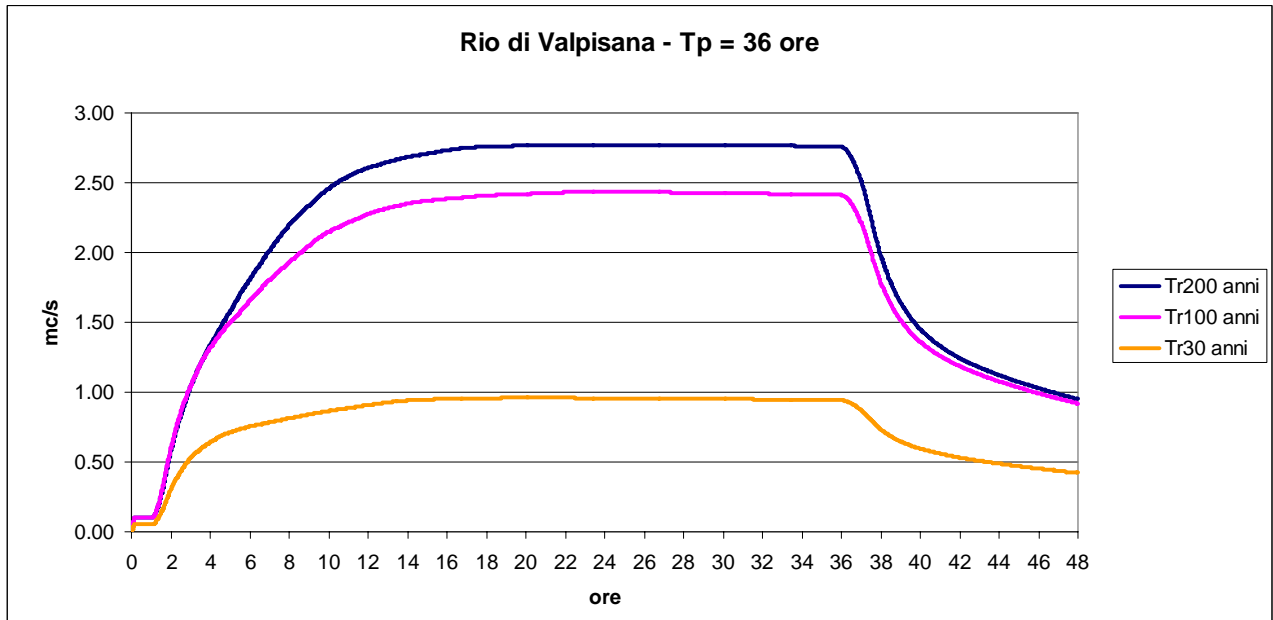


## 04 Scenario D

### Rio di Fucecchio

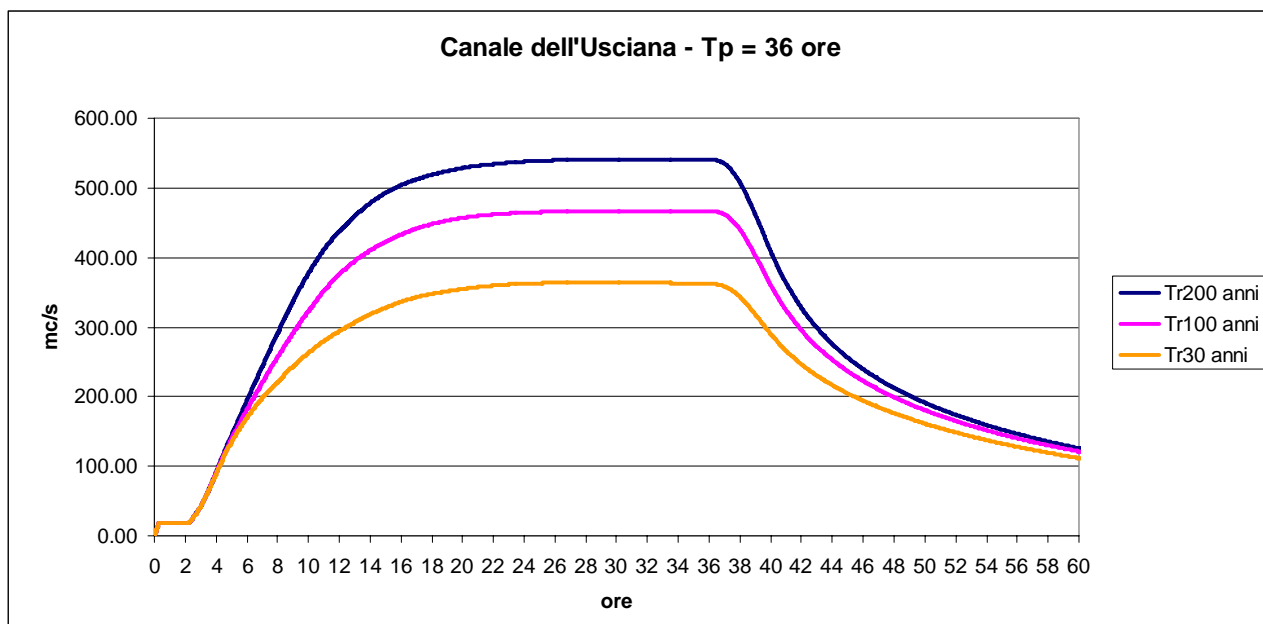


### Rio di Valpisana

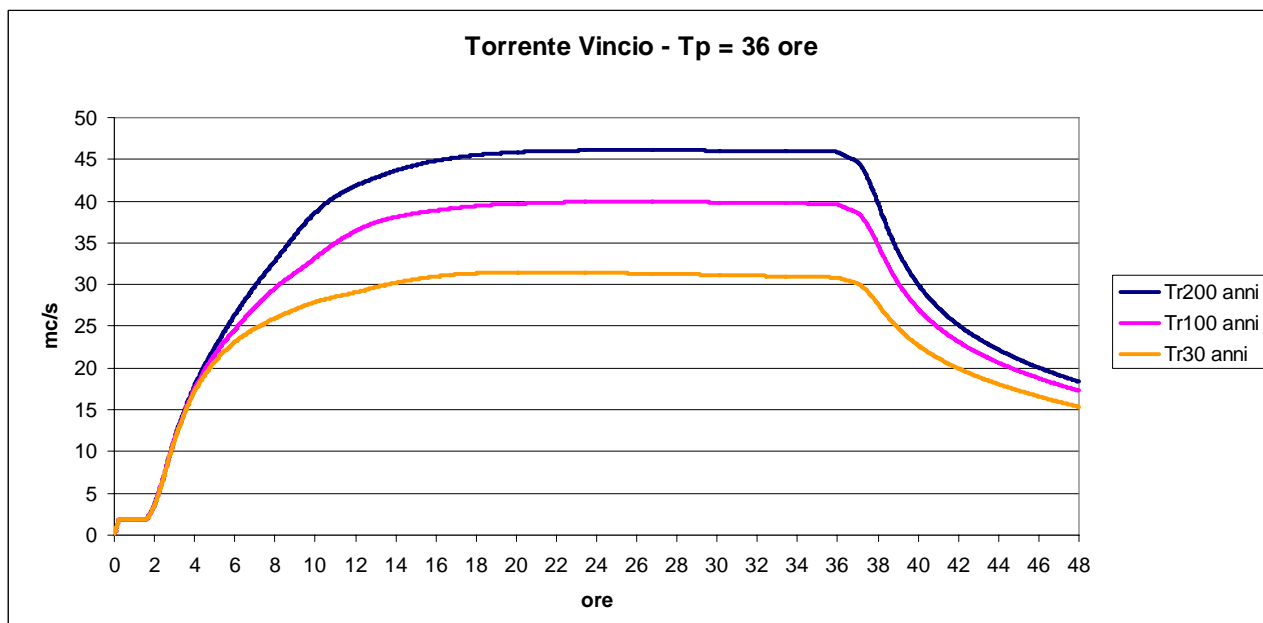




## Usciana monte



## Torrente Vincio



## Canale Maestro

