



**Comune di San Giustino**  
**Servizio lavori pubblici**  
**Piazza Municipio n°17 06016 - San Giustino (PG)**

Livello di progettazione: **Definitivo**  
**- I stralcio funzionale -**

PROGETTO	<b>Torrente VERTOLA</b> <b>Interventi di messa in sicurezza dell'abitato Zona industriale e Artigianale di San Giustino capoluogo</b>
ELABORATO	<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA</b>
Luglio 2015	



**Idroprogetti s.r.l.**  
**(MANDATARIA)**

Società di Ingegneria  
via Masaccio 60 - 50132 Firenze  
Tel. 055/573274 - Fax.055/5534914  
E.mail: idroprogetti@gmail.com  
Progettista : Ing. Gesualdo Bavecchi

**Società E.A. Group srl**  
**(MANDANTE)**

Via Galleria del Corso n°7 - Terni  
tel. 0744-4066003, fax 0744-401074  
P.IVA 00665020558

**Arch. Monica Marcoaldi**  
**(MANDANTE)**

Via delle Fornaci 77/A, 58019 Porto  
Santo Stefano - Monteargentario (GR),  
tel. 3487937759  
P.IVA 02063460568

**Torrente VERTOLA**  
**Interventi di messa in sicurezza dell'abitato Zona industriale  
e Artigianale di San Giustino capoluogo (PG)**

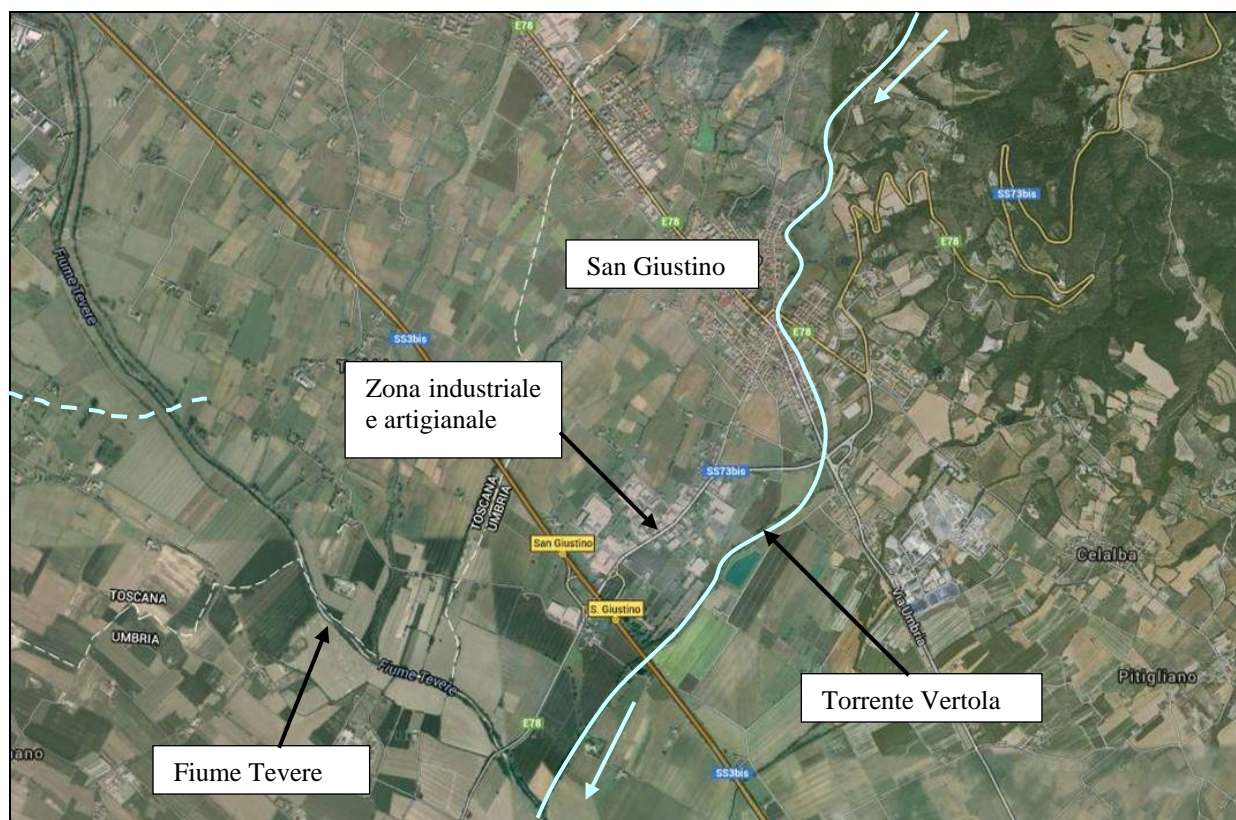
**PROGETTAZIONE DEFINITIVA DEGLI INTERVENTI DI MESSA IN  
SICUREZZA IDRAULICA - I° STRALCIO FUNZIONALE**

**INDICE**

1.	PREMESSA .....	2
2.	QUADRO CONOSCITIVO .....	3
3.	CALCOLO DELLE PORTATE DI VERIFICA.....	5
3.1.	DATI PLUVIOMETRICI .....	6
3.1.1.	CONFRONTO CON DATI PLUVIOMETRICI STUDIO IRPI .....	8
3.2.	MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI .....	10
3.2.1.	IL CALCOLO INDIRETTO DELLE PORTATE DI PIENA.....	10
3.2.2.	IL MODELLO DI NASH. ....	12
3.2.3.	DETERMINAZIONE DELL'I.U.H. MEDIANTE IL CRITERIO DI HORTON-STRAHLER.....	14
3.2.4.	STIMA DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO. ....	18
3.2.5.	VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA.....	20
3.3.	CONFRONTO CON DATI DI PORTATA DELLO STUDIO DELL'IRPI .....	21
4.	LE VERIFICHE IDRAULICHE.....	22
4.1.	IL MODELLO DI MOTO VARIO UTILIZZATO NELLE SIMULAZIONI .....	22
4.2.	EQUAZIONI DI BASE PER LA MODELLAZIONE IN MOTO VARIO .....	22
4.3.	CONDIZIONI AL CONTORNO DEL MODELLO IN MOTO VARIO .....	24
4.4.	CRITERI DI SUDDIVISIONE DELLA SEZIONE.....	25
4.5.	VALUTAZIONE DELLE PERDITE DI CARICO PER ATTRITO.....	25
4.6.	IL MODELLO GEOMETRICO .....	26
4.7.	LE CONDIZIONI AL CONTORNO ADOTTATE.....	27
4.8.	ANALISI DEI RISULTATI ALLO STATO ATTUALE.....	28
5.	INTERVENTI PREVISTI PER LA MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA – I STRALCIO FUNZIONALE.....	31
5.1.	CARATTERISTICHE GENERALI .....	31
5.2.	SOGLIA DI SFIORO .....	33
5.3.	MANUFATTO DI TROPPO PIENO E SCARICO DI FONDO .....	33
5.4.	BRIGLIA TARATA PER L'OTTIMIZZAZIONE DELLA SOGLIA SFIORANTE .....	34
5.5.	ARGINATURA DI CONTENIMENTO.....	35
5.6.	EFFETTO DI LAMINAZIONE.....	35
5.7.	INTERVENTI DI MANUTENZIONE .....	37
6.	CONCLUSIONI .....	38

## 1. PREMESSA

La seguente relazione è stata sviluppata a supporto della progettazione definitiva degli interventi di messa in sicurezza dell'abitato Zona industriale e Artigianale di San Giustino (PG). Il torrente dopo aver attraversato il centro abitato di San Giustino scorre in direzione sud-ovest in prossimità della zona industriale e artigianale per poi immettersi nel fiume Tevere (cfr. immagine seguente).



**Figura 1 – Localizzazione corso d'acqua studiato**

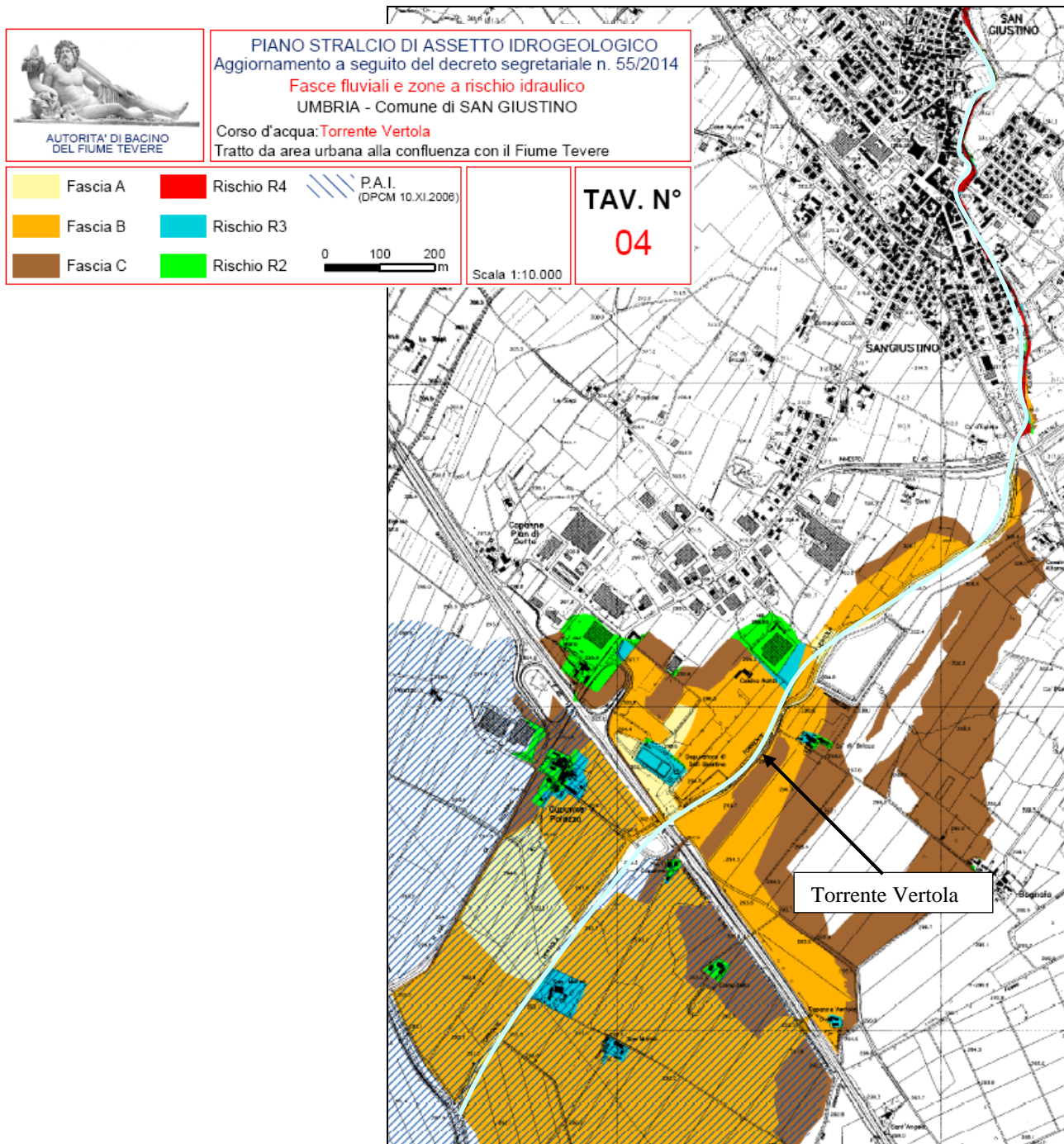
La verifica idraulica svolta in fase preliminare ha permesso di individuare le criticità idrauliche lungo il tratto di corso d'acqua studiato e progettare gli interventi necessari per la messa in sicurezza idraulica della zona industriale e artigianale a sud del centro abitato. In particolare sulla base delle somme ad oggi a disposizione dell'amministrazione, pari a 1,3 milioni di euro, in fase di progetto preliminare è stato previsto il **progetto di un primo stralcio funzionale**, che prevede la realizzazione di una cassa di laminazione in derivazione a monte delle aree soggette attualmente ad esondazione.

Lo stralcio funzionale in oggetto dovrà poi essere integrato in futuro con ulteriori interventi di completamento per la messa in sicurezza idraulica.



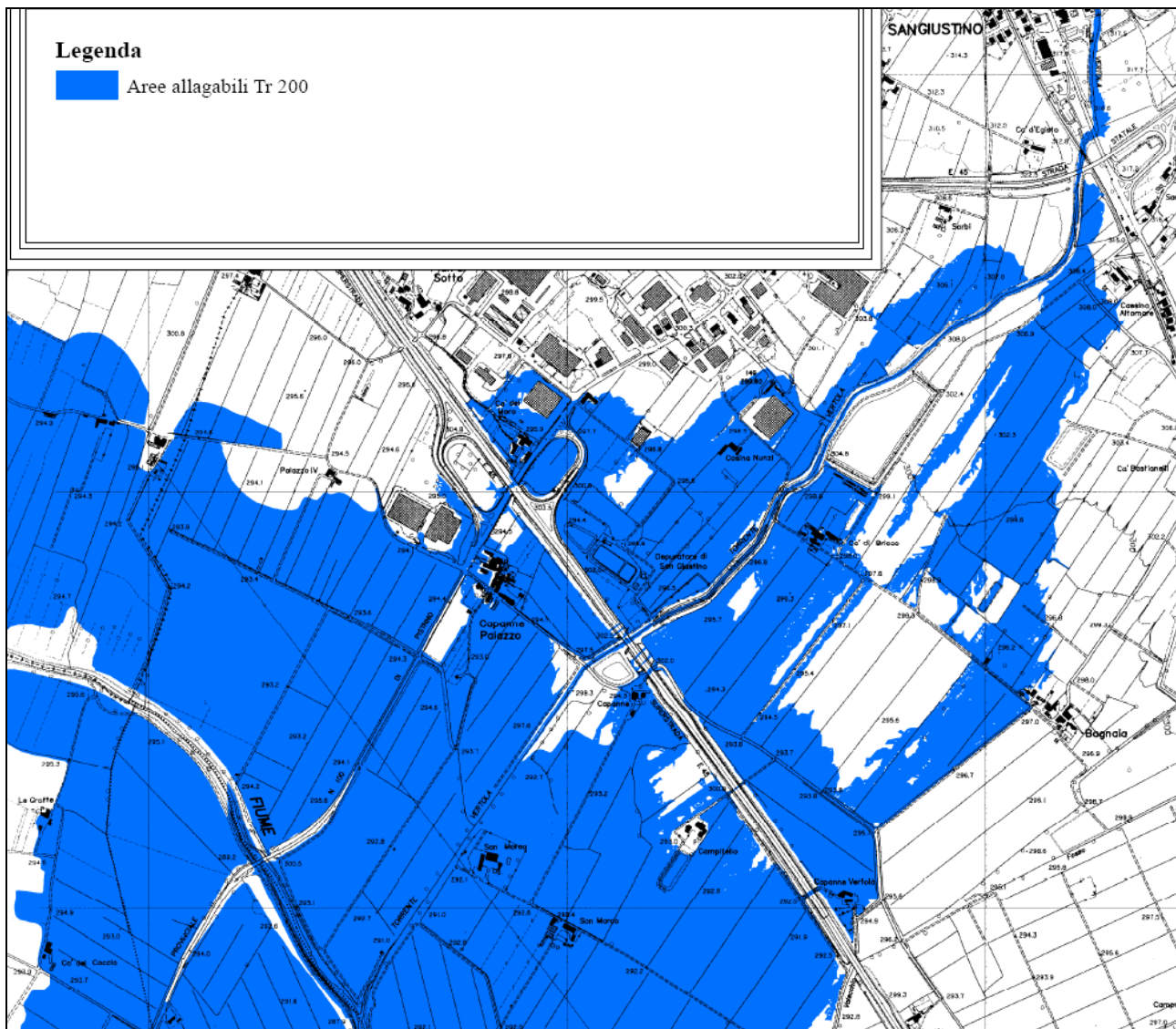
## 2. QUADRO CONOSCITIVO

La zona oggetto degli interventi risulta a rischio esondazione secondo le carte dell'Autorità di Bacino del fiume Tevere, come si vede nel seguente estratto della carta del Piano Stralcio del Rischio Idrogeologico in scala 1:10.000 (aggiornato a seguito del decreto segreteriale n. 55/2014).



**Figura 2 – estratto della carta del rischio idrogeologico in scala 1:10.000 dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere**

Nell'immagine seguente si riporta un estratto relativo all'evento con tempo di ritorno duecentennale dello studio *Redazione delle mappe di allagabilità finalizzata all'individuazione del rischio idraulico del reticolo idrografico del F. Tevere*, svolto dall'IRPI (Istituto ricerche protezione idrogeologica) nel giugno 2012, sulla cui base sono state individuate le fasce fluviali dell'immagine precedente.



**Figura 3 – estratto della mappa delle aree allagabili Tr = 200 anni (Tav. 3 - scala 1:10.000)**

### 3. CALCOLO DELLE PORTATE DI VERIFICA

Per le verifiche idrologiche-idrauliche del torrente Vertola per prima cosa sono state determinate le portate di piena mediante un metodo geomorfologico: tali portate sono state poi utilizzate per le verifiche idrauliche eseguite tramite una modellazione in moto vario.

Le portate sono state calcolate per eventi con tempo di ritorno  $Tr = 50, 200$  e  $500$  anni, sulla base dei quali si distinguono le fasce di assetto idraulico secondo seguente tabella estratta dalla Relazione generale del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del fiume Tevere (adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 114 del 05.04.2006).

Fascia A	Fascia B				Fascia C	
Tr50 dir	Tr 50 Indir.	Tr 50 margin	Tr200 dir	Tr 200 indir	Tr 200 Margin.	Tr 500 dir

**Tabella 1 – fasce di assetto idraulico**

fascia A) aree che possono essere interessate da esondazioni dirette con tempo di ritorno 50 anni;

fascia B) aree che possono essere interessate da esondazioni indirette o marginali con tempo di ritorno 50 anni, esondazioni dirette o indirette con tempo di ritorno 200 anni;

fascia C) aree che possono essere interessate da esondazioni marginali con tempo di ritorno 200 anni o esondazioni dirette con tempo di ritorno 500 anni.

Inoltre per la verifica allo stato di progetto in caso di eventi di minore entità sono state calcolate le portate associate ad un evento con tempo di ritorno ventennale.

Le portate di verifica sono state calcolate mediante il modello idrologico descritto nei paragrafi seguenti.

### 3.1. Dati pluviometrici

La distribuzione nello spazio e nel tempo delle acque meteoriche, pioggia e neve, si presenta con caratteri di particolare disuniformità ed incostanza, nonostante ciò è possibile caratterizzare un fenomeno statistico a partire da:

- la misurazione dei dati;
- l'elaborazione dei dati;
- l'interpretazione statistica.

In particolare è possibile descrivere il fenomeno pluviometrico mediante le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP), ovvero funzioni che mettono in relazione l'altezza di pioggia (h) con il tempo per ciascun tempo (t), in funzione del tempo di ritorno dell'evento, dedotte dall'analisi statistica della serie di dati di pioggia che sono generalmente espresse nel modo seguente:

$$h = a \cdot t^n [1]$$

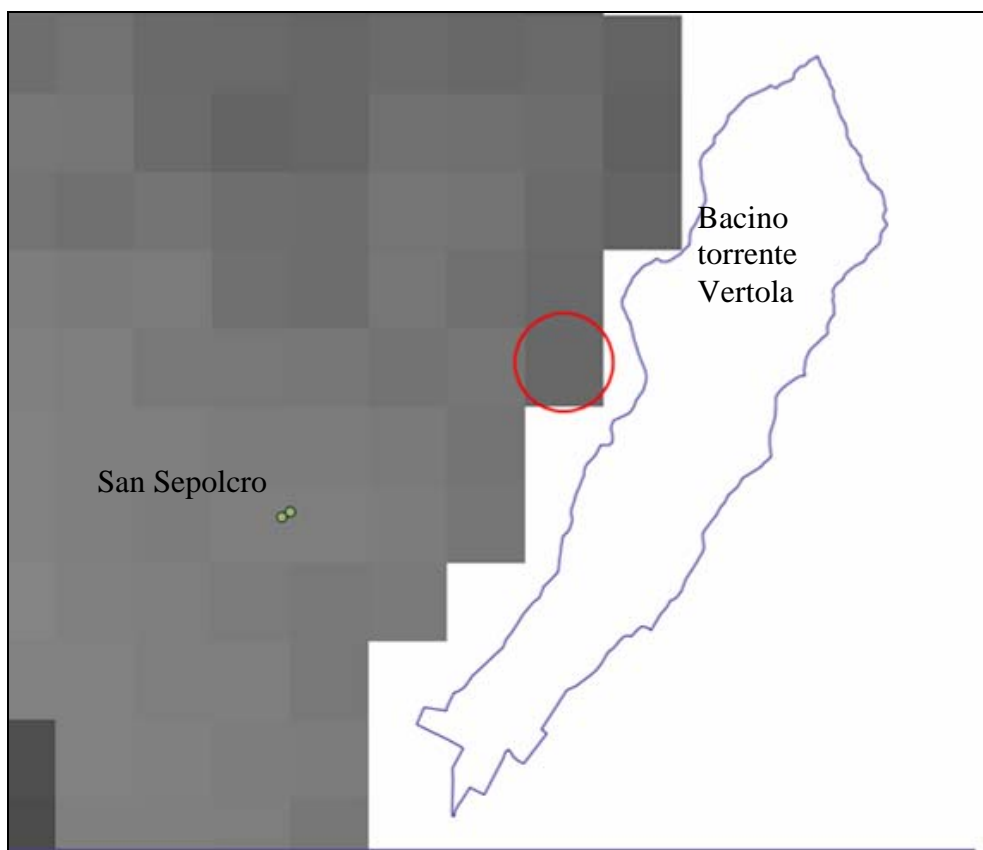
con: h = altezza di pioggia [mm]; t = durata [ore], a e n parametri caratteristici per i tempi di ritorno considerati.

Per l'acquisizione dei parametri a e n è stato fatto riferimento ai valori riportati dal Servizio Idrologico Regionale (SIR) del Centro Funzionale Regionale (CFR) della regione toscana, in quanto il torrente Vertola scorre a solo 2 km dal confine tra l'Umbria e la Toscana.

Nell'ambito dell'accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, al fine di procedere ad un'implementazione e un aggiornamento del quadro conoscitivo idrologico del territorio toscano, il Sistema Idrologico Regionale ha provveduto ad effettuare un aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012 compreso.

Note le altezze di pioggia per durate e tempi di ritorno fissati, attraverso una regressione logaritmica il SIR ha determinato le griglie di 1 km su tutta la regione dei parametri a e n.

Nella figura seguente è riportata la posizione sul territorio del bacino del torrente Vertola rispetto alla suddetta griglia dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica e la localizzazione della cella di 1.00 x 1.00 km adottata per estrapolare i parametri a e n (evidenziata in rosso).



**Figura 4 – bacino del torrente Vertola e griglia dei parametri a e n**

Tra i risultati sono quindi disponibili le cartelle delle coppie di ASCII Grid di a e di n delle LSPP per i diversi tempi di ritorno fissati (2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni).

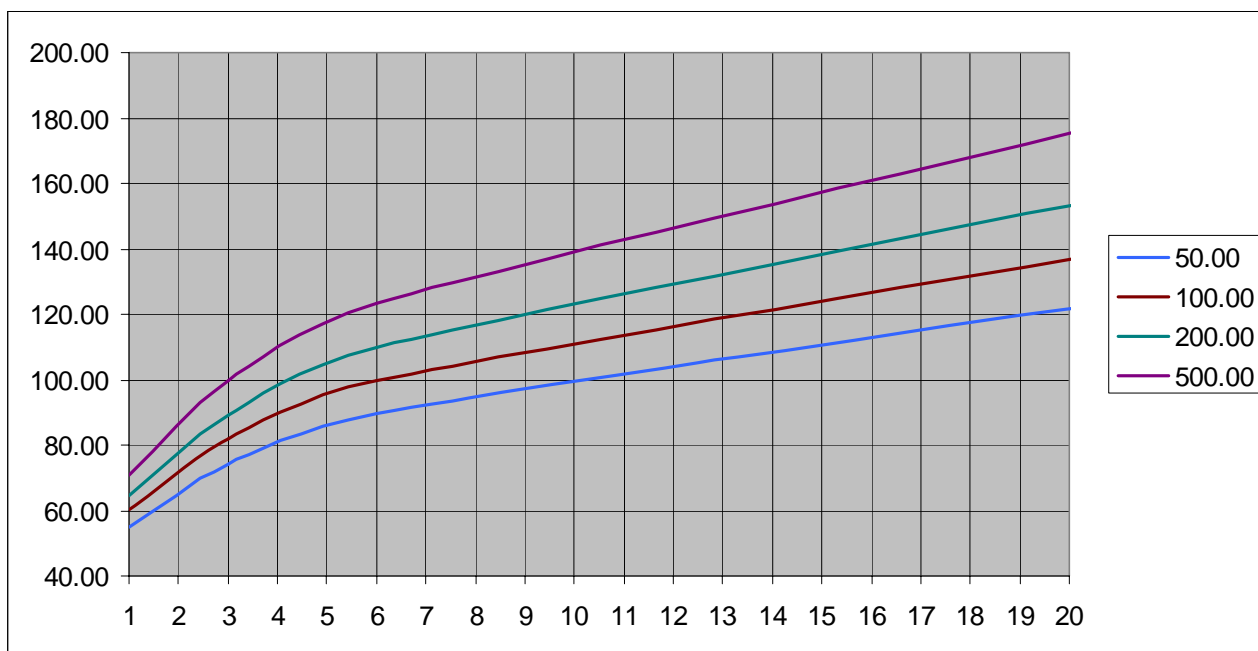
Una volta noti i parametri a e n della LSPP per i tempi di ritorno fissati caratteristici del bacino in esame è possibile calcolare l'altezza di pioggia di durata desiderata.

Di seguito si riporta la tabella con i parametri delle curve di possibilità pluviometrica ricavate per il bacino del torrente Vertola e il grafico delle curve nei tempi di ritorno di maggior interesse:



PARAMETRI DELLA CURVA DI POSSIBILITA' CLIMATICA		
Bacino del torrente Vertola		
Tr (anni)	parametri a e n	
	a	n
2	27.90	0.251
5	36.90	0.252
10	42.86	0.254
20	48.23	0.260
50	55.15	0.271
100	60.07	0.282
200	64.64	0.295
500	70.73	0.311

**Tabella 2 – Parametri della curva di possibilità pluviometrica**

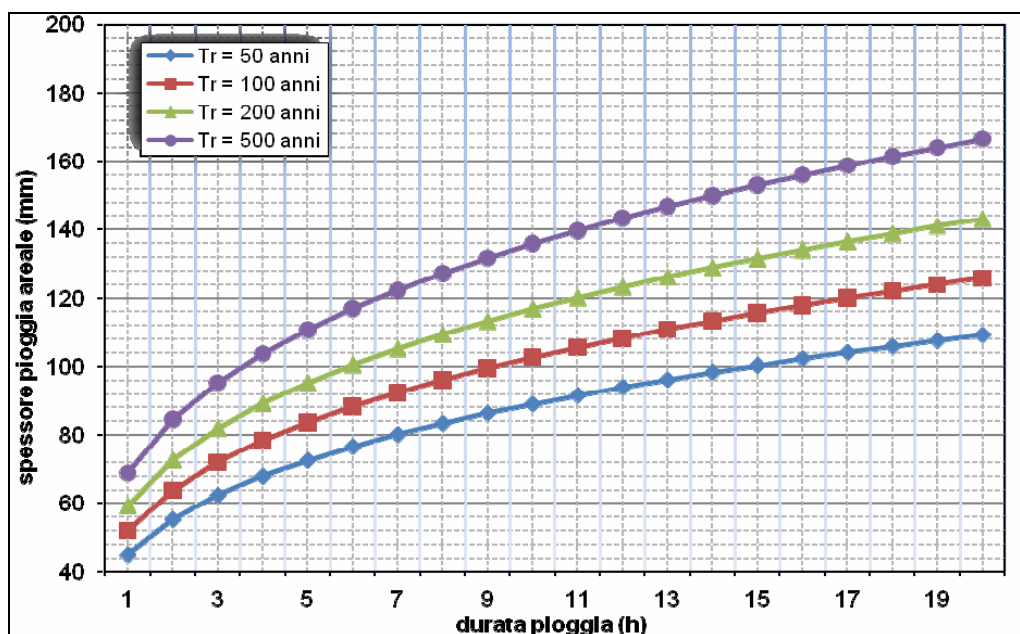


**Figura 5 – LSP per Tr = 50, 100, 200 e 500 anni ottenute con i parametri del SIR regione toscana circa 2 km a nord di San Giustino**

### 3.1.1. Confronto con dati pluviometrici studio IRPI

Nell'immagine seguente si riportano le LSP adottate nello studio *Redazione delle mappe di allagabilità finalizzata all'individuazione del rischio idraulico del reticolo idrografico del F. Tevere*, svolto dall'IRPI (Istituto ricerche protezione idrogeologica) nel giugno 2012.

Nel suddetto studio le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per il bacino del torrente Vertola erano state stimate attraverso la procedura di regionalizzazione sviluppata dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere (ABT, 1995), prendendo come riferimento i dati misurati dal pluviometro di Cerbara, localizzato circa 5 km a sud dell'abitato di San Giustino.



**Figura 6 – LSP per Tr = 50, 100, 200 e 500 anni ottenute dall'elaborazione dati della stazione di Cerbara circa 5 km a sud di San Giustino**

Dal confronto si evince come i due metodi conducano a risultati molto simili : in particolare le altezza di pioggia ottenute con il metodo descritto nel paragrafo precedente risultano lievemente superiori (di circa il 10%) rispetto a quelle ottenute con lo studio svolto dall'IRPI. Pertanto nel presente lavoro sono stati adottati cautelativamente i parametri riportati in Tabella 2.

### **3.2. Modello afflussi-deflussi**

#### **3.2.1. Il calcolo indiretto delle portate di piena.**

I modelli di trasformazione afflussi–deflussi consentono il calcolo, idealmente in ciascun punto del bacino idrografico, della precipitazione netta o efficace e della relativa produzione di deflusso superficiale; tale deflusso  $q(x,t)$  risulterà funzione sia dello spazio che del tempo ed avrà le dimensioni di una portata per unità di area. Obiettivo dei modelli di formazione dell'onda di piena è la determinazione dell'andamento nel tempo  $Q(t)$  della portata nella sezione fluviale di chiusura del bacino in esame, ossia del calcolo dei tempi impiegati dai deflussi  $q(x,t)$  prodotti in ciascun punto  $x$  del bacino per arrivare alla sezione di chiusura. Se il tempo di trasferimento della quantità d'acqua  $q$  dal punto  $x$  generico alla sezione di chiusura fosse istantaneo, l'andamento della portata in tale sezione sarebbe pari all'integrale di  $q$  sull'area, con una stima tanto più errata quanto maggiori sono le dimensioni del bacino.

Immaginando che la quantità  $q(x,t)$  rappresenti il volume “raccolto” dal bacino nell'unità di tempo, all'istante  $x$  e nel punto  $t$ , l'intervallo di tempo necessario perché questa raggiunga la sezione di chiusura (tempo di ritardo) sarà dato dalla somma del tempo necessario per raggiungere il tratto di reticolo idrografico più velocemente raggiungibile dal punto  $x$  e del tempo necessario per arrivare da questo, lungo il reticolo stesso, alla sezione di chiusura. In pratica tale tempo dipenderà dalla distanza topologica del punto  $x$  dalla sezione di chiusura e dalle velocità di scorrimento lungo i versanti ed i canali del reticolo idrografico: mentre le distanze topologiche di ciascun punto sono facilmente determinabili dalla morfologia del punto stesso, le velocità di scorrimento saranno funzione, oltre che della morfologia del bacino e delle caratteristiche idrauliche sia dei versanti che delle aste fluviali, anche delle condizioni di deflusso in ciascun punto a valle del punto  $x$  nonché del valore di  $q$  stesso (Castelli, Preti et al., 1998).

In definitiva soltanto una modellistica di tipo distribuito comprendente anche la descrizione del moto dell'acqua sia sui versanti che nei canali, è in teoria in grado di stimare correttamente questa complessa sequenza di dipendenze.

Esistono però molti modelli semplificati, basati sull'ipotesi di linearità della risposta idrografica, secondo la quale il tempo di ritardo alla sezione di chiusura del deflusso  $q(x, t)$  dipende unicamente dalla posizione  $x$  di origine, che equivale nella pratica ad assumere valori costanti per le velocità dell'acqua nei versanti e sui canali. Nel caso si segua un approccio di tipo integrato per il calcolo dei deflussi superficiali, valutati come valori medi  $q(t)$  sull'intero bacino, l'ipotesi di linearità porta alla formulazione di un modello di formazione dell'onda di piena noto come Modello dell'Idrogramma Istantaneo Unitario (I. U. H.) (Sherman, 1932).

Partendo da un ragionamento di tipo probabilistico e ipotizzando lineare e stazionario il comportamento del sistema bacino idrografico, la risposta  $Q(t)$  ad una sollecitazione meteorica di intensità  $p(t)$  variabile nel tempo, ma supposta uniformemente distribuita sull'area  $A$  dell'intero bacino, è data dall'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = \int_0^t p(\tau)h(t-\tau)d\tau \quad [2]$$

nel quale  $p(t) = i(t) \cdot A$  è la portata d'afflusso meteorico al generico istante  $t$  e la funzione  $h(t)$ , che prende proprio il nome di Idrogramma Istantaneo Unitario, rappresenta la risposta del bacino ad un afflusso meteorico netto di carattere impulsivo, avente cioè volume unitario ma concentrato in un intervallo di tempo infinitesimo.

La caratterizzazione di un modello di formazione della piena basato su tale principio consiste essenzialmente nella determinazione della forma della funzione  $h(t)$ , che viene stimata fissandone la struttura sulla base di considerazioni teoriche di vario genere e stimandone i parametri o per taratura utilizzando – ove esistano – dati sperimentali contemporanei di afflussi sul bacino e deflussi nella sezione di chiusura o, più frequentemente, sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del bacino.

Esistono diversi modelli attualmente utilizzati, fra i quali è stato scelto, per lo studio del bacino in esame, dalle caratteristiche geomorfologiche naturali, il Modello di Nash.



### 3.2.2. Il modello di Nash.

Il modello di Nash, uno fra i più diffusi ed utilizzato nel presente studio, è basato sull'ipotesi che il bacino idrografico si comporti come un insieme di n serbatoi lineari posti in serie.

Partendo dal caso di un singolo serbatoio la legge di svuotamento di un serbatoio lineare stabilisce che il volume invasato  $V(t)$  e la portata in uscita dal serbatoio  $Q(t)$  sono proporzionali secondo la legge:

$$Q(t) = \frac{1}{K} V(t) \quad [3]$$

dove  $K$  è la costante del serbatoio, con le unità di misura di un tempo. Se  $I(t)$  è una generica portata in ingresso al serbatoio, la legge del bilancio di massa può essere scritta come:

$$\frac{dV}{dt} = I(t) - Q(t) = I(t) - \frac{1}{K} V(t) \quad [4]$$

che può essere risolta in  $V(t)$ , e quindi in  $Q(t)$ , note le portate in ingresso  $I(t)$  e la condizione iniziale  $V = V_0$  per  $t=0$ .

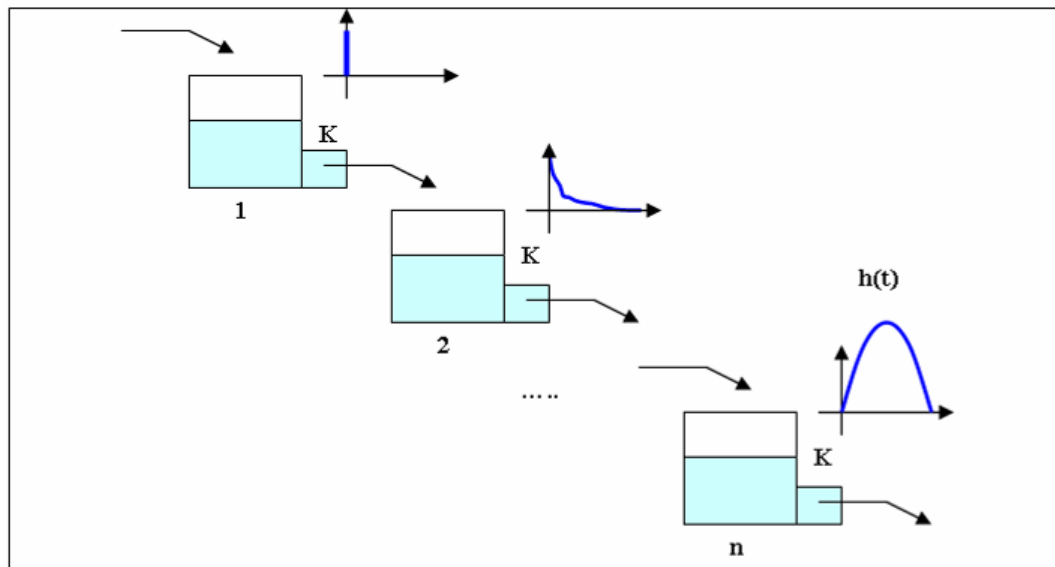
Se la portata in ingresso è una portata unitaria istantanea per unità di area, la soluzione della precedente equazione, assimilando il comportamento del bacino a quello di un serbatoio lineare di costante temporale  $K$ , fornisce:

$$h(t) = \frac{1}{K} e^{-t/K} \quad [5]$$

Tale formula offre un primo semplice modello di idrogramma istantaneo unitario, denominato Modello dell'Invaso, che trova comunque scarsa applicabilità poiché la supposizione che il bacino possa essere considerato come un unico serbatoio appare non realistica.

Se si suppone invece che il bacino si comporti come un insieme di  $n$  serbatoi, ciascuno con uguale tempo caratteristico  $K$ , la portata in uscita da ciascuno di essi,

calcolabile tramite l'equazione [5], andrà a costituire l'ingresso al serbatoio successivo; quindi potrà essere applicata l'equazione [4] al fine di calcolarne la portata in uscita.



**Figura 7 – Schematizzazione del bacino come un insieme di n serbatoi lineari**

Ripetendo tale procedura per ognuno degli n serbatoi, la portata in uscita dall'n-esimo costituirà l'idrogramma istantaneo unitario del bacino alla sua chiusura, rappresentato dalla seguente espressione (Nash, 1959) nota come Idrogramma Istantaneo Unitario di Nash:

$$h(t) = \frac{1}{K} \left( \frac{t}{K} \right)^{n-1} \frac{e^{-t/K}}{\Gamma(n)} \quad [6]$$

dove la funzione  $\Gamma(n)$  rappresenta la distribuzione  $\Gamma$  del parametro n.

La determinazione dei parametri K e n del modello di Nash richiederebbe, come in un qualsiasi modello basato sul concetto di idrogramma istantaneo unitario, la disponibilità di registrazioni di piogge e portate per un certo numero di eventi di piena sul bacino in esame, tramite i quali calibrare i parametri stessi (Castelli, Preti et al., 1998).

### **3.2.3. Determinazione dell'I.U.H. mediante il criterio di Horton-Strahler.**

Utilizzando il concetto di Idrogramma Istantaneo Unitario come distribuzione dei tempi di ritardo alla sezione di chiusura, è possibile determinarne forma e parametri tramite lo studio dettagliato della geomorfologia e dell'idrografia del bacino.

La formulazione di tali modelli richiede che il reticolo idrografico venga identificato e gerarchizzato, ad esempio secondo il criterio di Horton – Strahler, in modo che a ciascun ramo del reticolo venga assegnata una determinata area contribuyente.

Il reticolo idrografico può essere schematizzato come un insieme ramificato di aste, suddivisibili in singoli segmenti fluviali, assegnando una serie ordinata di numeri secondo una scala gerarchica determinata dai seguenti criteri di classificazione:

- Ogni ramo elementare privo di affluenti a monte è un segmento di ordine 1.
- Alla confluenza di due rami dello stesso ordine  $u$  si origina un segmento di ordine  $u+1$  che si sviluppa finché non incontra un altro segmento di ordine maggiore o uguale a  $u+1$ .

In questo modo ogni segmento fluviale viene classificato con un numero che ne rappresenta l'ordine; l'ordine del bacino viene definito come il massimo degli ordini presenti, che corrisponde peraltro all'ordine dell'asta principale.

L'organizzazione della rete idrografica e quindi il suo grado di gerarchizzazione possono essere espressi mediante parametri quantitativi (Horton, 1945; Strahler, 1958).

Rapporto di biforcazione  $R_b$ : esprime il rapporto fra il numero di segmenti fluviali  $N_u$  di un certo ordine  $u$  e il numero  $N_{u+1}$  dei segmenti dell'ordine immediatamente successivo; ossia:

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}} [7]$$

Rapporto di lunghezza  $R_L$ : dato dal rapporto fra la lunghezza media delle aste di un certo ordine  $u$  e quella delle aste dell'ordine inferiore  $u-1$ ; ossia:

$$R_L = \frac{\overline{L_u}}{\overline{L_{u-1}}} \quad [8]$$

Rapporto areale  $R_a$ : dato dal rapporto fra l'aria media dei bacini di un certo ordine  $u$  e quella dei bacini di ordine inferiore  $u-1$ . Perciò in formule matematiche è espresso dalla relazione:

$$R_a = \frac{\overline{A_u}}{\overline{A_{u-1}}} \quad [9]$$

A questo punto risulta possibile enunciare le espressioni utilizzabili per il parametro di forma  $n$  e per il parametro di scala  $K$  dell'I.U.H:

$$n = 3.29 \left( \frac{R_b}{R_a} \right)^{0.78} R_L^{0.07} \quad [10]$$

$$K = 0.70 \left( \frac{R_a}{R_b R_L} \right)^{0.48} \frac{L_\Omega}{v} \quad [11]$$

dove appaiono, oltre ai già definiti parametri, la lunghezza  $L_\Omega$  dell'asta di ordine massimo e il parametro cinematico  $v$  rappresentativo della velocità di propagazione dei deflussi nella rete idrografica. La valutazione di  $K$  quindi richiederebbe anche la stima del parametro cinematico  $v$ , che può essere assunto, pari a quello ricavato in base ad osservazioni sperimentali per bacini aventi caratteristiche morfologiche e altimetriche simili a quelle del bacino in esame.

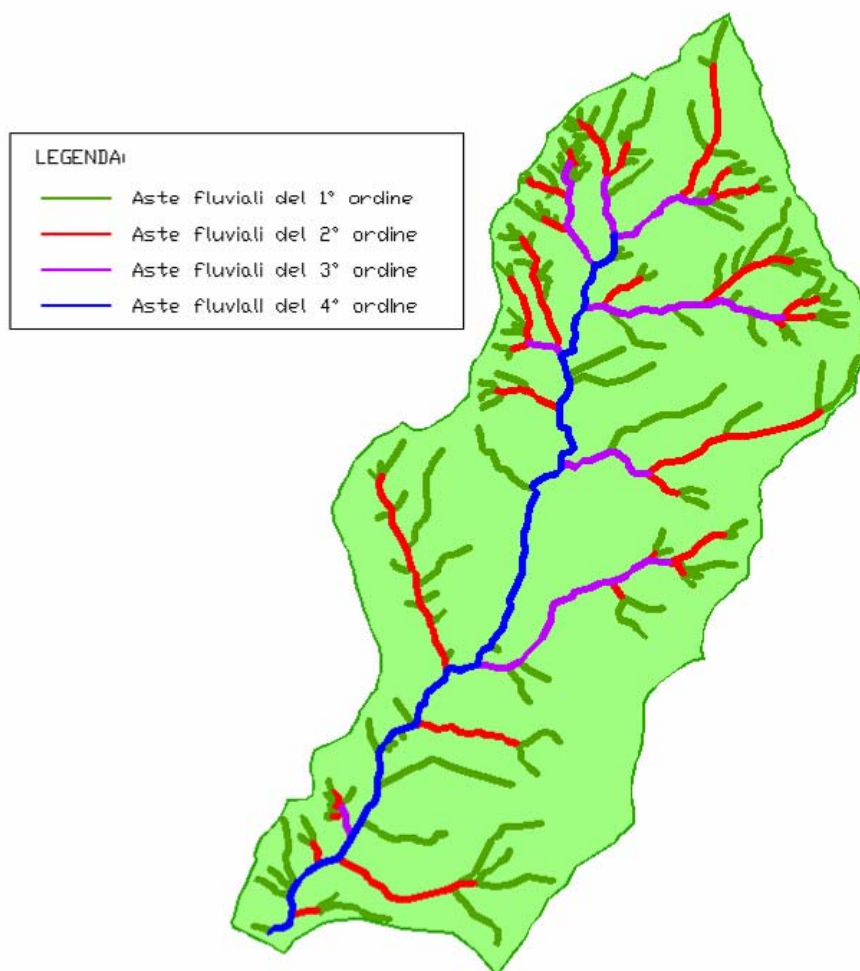
Per quanto concerne il parametro cinematico  $v$ , necessario per il calcolo di  $K$ , la velocità media della corrente è stata valutata utilizzando la seguente formula empirica velocità media:  $v_m = \frac{L_c}{T_p}$  dove  $L_c$  è la lunghezza dell'asta principale,  $T_p$  è stato calcolato tramite la relazione:

$$T_p = 0.416 \left( L_c + \frac{A}{L_b} \right)^{1.06} (H_m - H_c)^{-0.27} \quad [12]$$

Per la valutazione del tempo di corrivazione  $t_c$  sono state utilizzate diverse formule empiriche scartando i valori minimi e massimi da esse ottenute.



Nell'immagine seguente si riporta la suddivisione nei vari ordini delle aste fluviali del torrente Vertola ottenute mediante l'analisi geomorfologica del bacino.



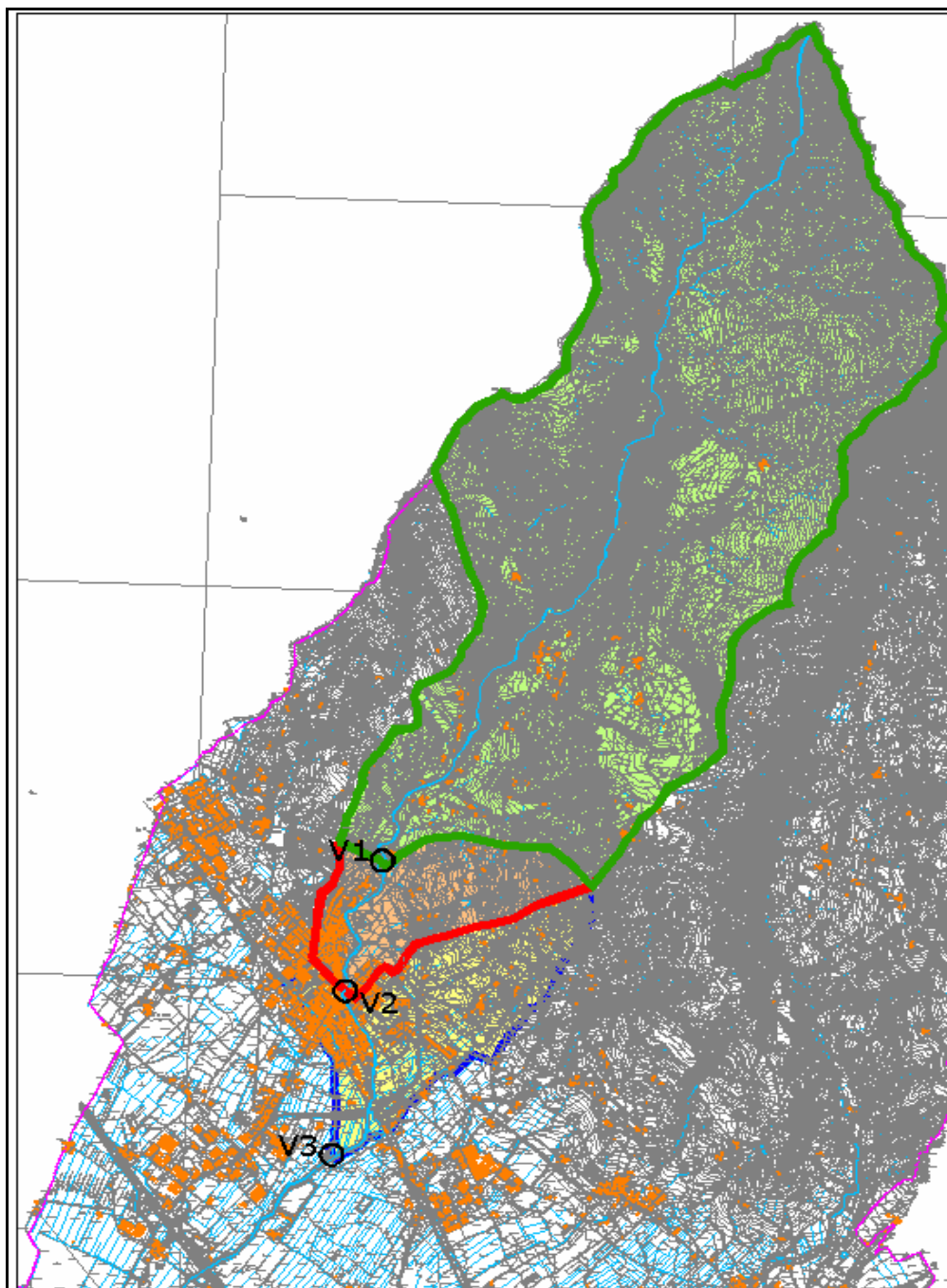
**Figura 8 – Suddivisione del bacino nei vari ordini delle aste fluviali**

Nella seguente tabella si riportano i valori dei rapporti di Horton ottenuti come descritto in precedenza:

Rapporto di Area		Ra	5.65
Rapporto di lunghezza		Rl	2.94
Rapporto di biforcazione		Rb	3.66

**Tabella 3 – Rapporti di Horton**

Dall'immagine seguente, dove si riporta un estratto della tavola del bacino idrografico: si nota che nella presente analisi idrologica sono state individuate 3 sezioni di chiusura del bacino del torrente Vertola, rispettivamente a monte del centro abitato di San Giustino (sez. V1), a metà del centro abitato (attraversamento E78 – Sez. V2) e a valle del centro abitato (sez. V3).



**Figura 9 – estratto tavola bacino idrografico**

Suddividere il bacino con più sezioni di chiusura permette di considerare l'incremento di portata del torrente Vertola nel tratto di studio prossimo al centro abitato.

In particolare si adotterà come input idrologico del modello di verifica, a monte del centro abitato di San Giustino, l'idrogramma ricavato in corrispondenza della sezione di chiusura V1 e sulla base degli idrogrammi calcolati nelle altre 2 sezioni di chiusura saranno ricavati per differenza i contributi da inserire nel tratto compreso tra

la sezione V3 e la V1. In questo modo la portata complessiva inserita nel modello di verifica risulterà corrispondente agli idrogrammi che insistono sul tratto di interesse a valle del centro abitato (idrogrammi sez. V3 – Figura 11).

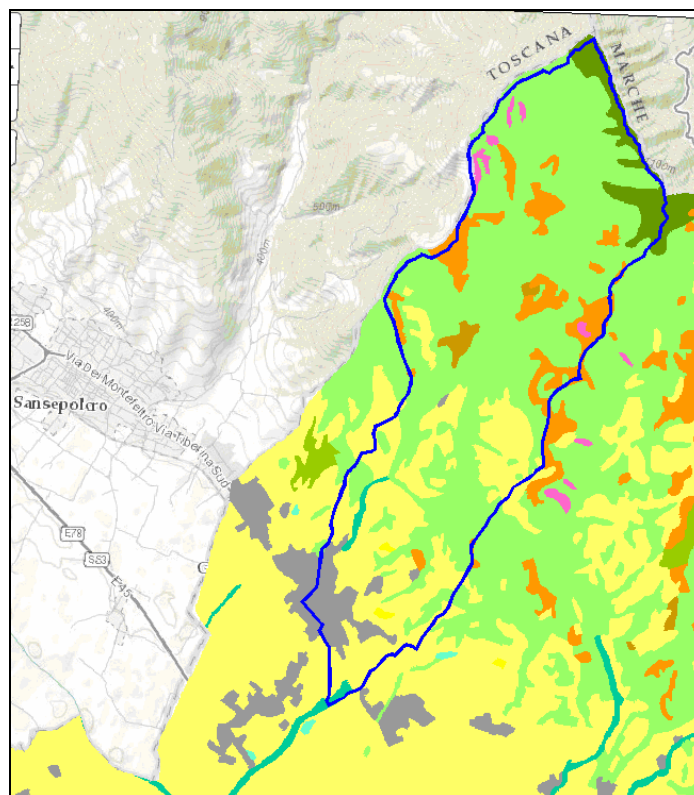
Nella seguente tabella si riportano le superfici dei bacini sottesi dalle suddette sezioni di chiusura:

Sezione di chiusura	Superficie bacino (kmq)
V1	11.6
V2	12.7
V3	14.3

**Tabella 4 – superfici alle diverse sezioni di chiusura**

#### **3.2.4. Stima del coefficiente di deflusso.**

Sulla base della carta geobotanica con le principali classi di utilizzazione del suolo, ricavata dal Servizio Paesaggio, Territorio e Geografia della regione Umbria (cfr. immagine seguente), è stato possibile ricavare il valore del coefficiente di deflusso per il bacino del torrente Vertola, mediante la tabella di conversione di seguito riportata.



**Figura 10 – carta utilizzazione del suolo del bacino del torrente Vertola (in blu)**

Carta geobotanica con principali classi di utilizzazione del suolo	
	Aggruppamenti <u>casmo</u> fitici e <u>came</u> fitici
	Aggruppamenti <u>idro</u> fitici
	<u>Arbusteti</u> collinari e montani
	Aree con vegetazione scarsa o nulla
	Aree urbanizzate
	Boschi di <u>caducifoglie</u> collinari e <u>submontane</u>
	Boschi di <u>caducifoglie</u> montane
	Boschi di <u>caducifoglie</u> planiziali
	Boschi di <u>sclerofille</u> sempreverdi
	Boschi e boscaglie di <u>caducifoglie</u> ripariali
	Brughiere <u>planiziali</u> e collinari
	Campi coltivati ed abbandonati
	Oliveti
	Popolamenti <u>terofitici</u> , praterie umide e <u>torbose</u> ed aggruppamenti <u>elofitici</u>
	Praterie primarie appenniniche
	Praterie secondarie <u>submediterranee</u> , collinari, montane, delle aree di fondovalle e <u>calanchive</u>
	Rimboschimenti a conifere
	Vigneti

**Tabella 5 – legenda carta geobotanica**

STIMA DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO PER IL BACINO DEL TORRENTE VERTOLA			
classi di uso del suolo DESCRIZIONE	coefficiente di deflusso associato	area (kmq)	percentuale area
Aggruppamenti casmoftitici e camofitici	0.70	0.12	0.84%
Arbusteti collinari	0.60	0.14	1.01%
Aree urbanizzate	0.90	0.54	3.73%
Boschi di caducifoglie collinari e submontani	0.50	8.42	58.78%
Boschi di caducifoglie montani	0.50	0.57	3.98%
Boschi ripariali	0.70	0.11	0.77%
Campi coltivati e abbandonati	0.60	3.20	22.36%
Praterie secondarie	0.60	1.18	8.26%
Vigneti	0.50	0.04	0.27%
<b>COEFFICIENTE DI DEFLUSSO MEDIO SEZIONE DI CHIUSURA V3</b>			<b>0.55</b>

**Tabella 6 – Tabella uso suolo**



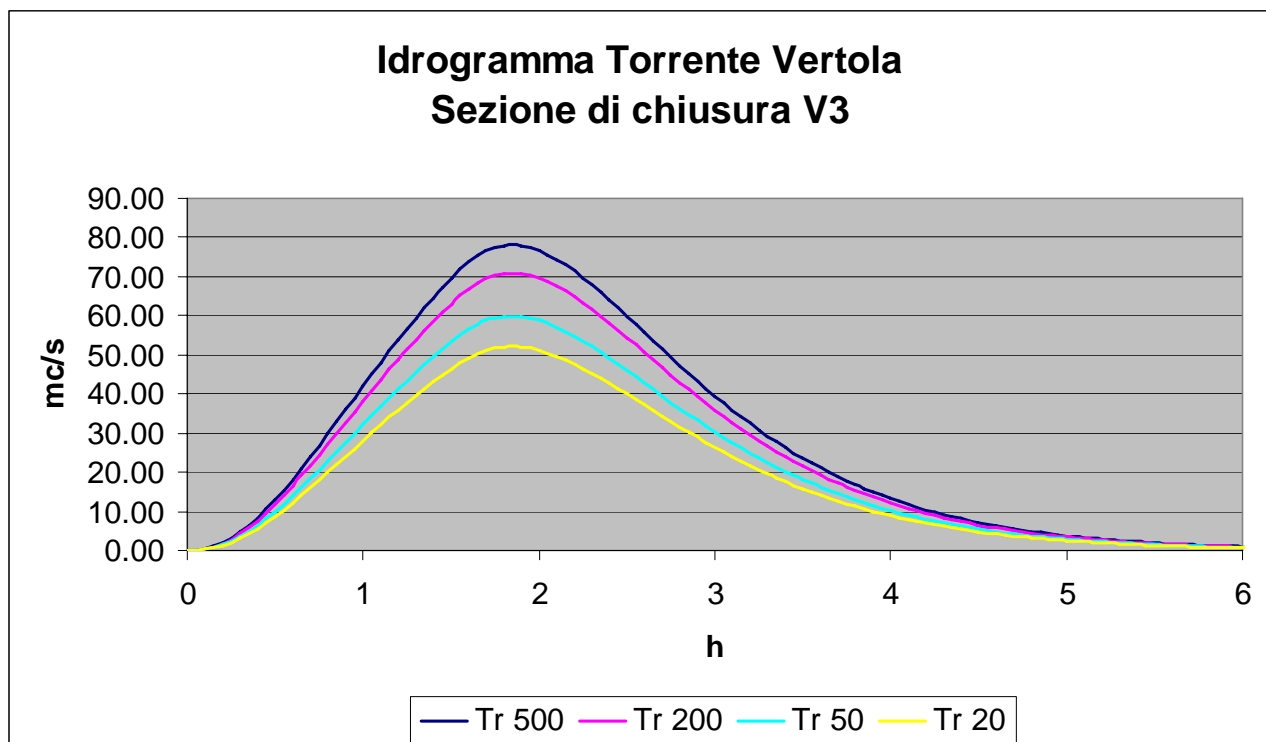
### 3.2.5. Valutazione delle portate di piena.

I risultati per  $Tr=500$ , 200, 50 e 20 anni in termini di portata al colmo alla sezione di chiusura V3 sono riportati nella tabella seguente.

Evento	Portata di verifica (mc/s)
Tr = 20 anni	<b>52.14</b>
Tr = 50 anni	<b>59.91</b>
Tr = 200 anni	<b>70.91</b>
Tr = 500 anni	<b>78.10</b>

**Tabella 7 – picchi della portata di verifica**

Nell'immagine seguente si riportano gli idrogrammi ottenuti come precedentemente descritto:



**Figura 11 – Idrogrammi di piena – sezione di chiusura V3**

### 3.3. Confronto con dati di portata dello studio dell'IRPI

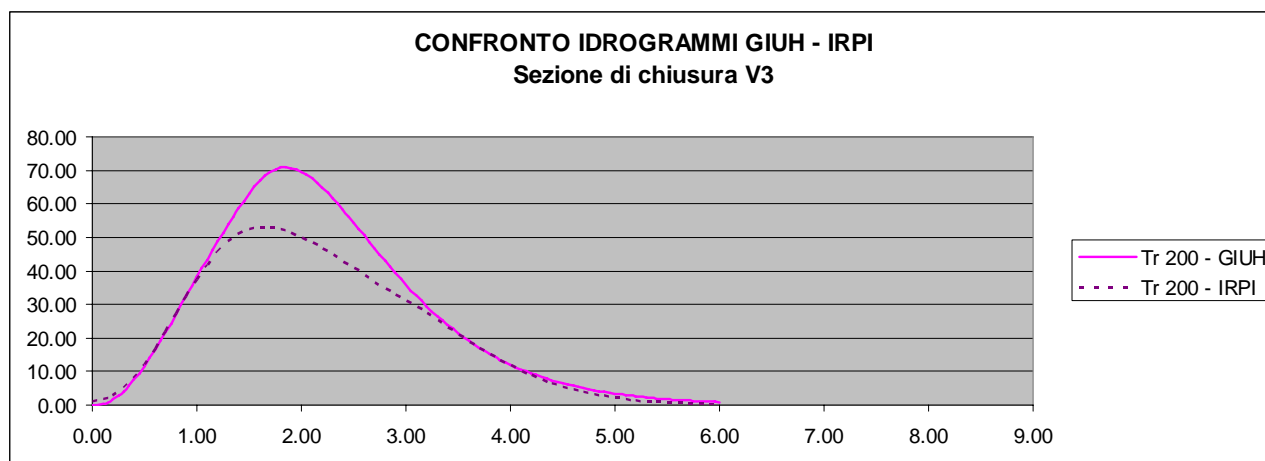
Nel presente paragrafo si pongono a confronto i dati di portata duecentennale, tempo di ritorno adottato per il dimensionamento delle opere di messa in sicurezza, ricavati mediante il modello geomorfologico (GIUH) descritto in precedenza, con quelli adottati nell'ambito dello studio *Redazione delle mappe di allagabilità finalizzata all'individuazione del rischio idraulico del reticolo idrografico del F. Tevere*, svolto dall'IRPI (Istituto ricerche protezione idrogeologica).

Dal confronto si evince come le portate con tempo di ritorno duecentennale ottenute con il GIUH risultino superiori (di circa il 30%) rispetto alle portate dello studio svolto dall'IRPI.

Sezione di chiusura	Picchi idrogramma Tr 200 anni (mc/s)	
Sezione V3	GIUH	70.91 mc/s
Sezione D	IRPI	52.89 mc/s

**Tabella 8 – confronto picchi della portata di verifica duecentennale**

La differenza nei valori di picco della portata è dovuta in parte all'utilizzo di dati di pioggia più aggiornati, che tengono conto degli eventi significativi registrati fino al 2012, e in parte all'adozione di un coefficiente di deflusso leggermente più cautelativo.



**Figura 12 – Confronto Idrogrammi di piena Tr 200 - GIUH - IRPI – sezione di chiusura V3**

Dato che l'obiettivo del presente studio è la progettazione di opere di messa in sicurezza idraulica è stato ritenuto opportuno, nel dimensionamento delle opere, l'utilizzo delle portate maggiori in quanto maggiormente cautelative.

## **4. LE VERIFICHE IDRAULICHE**

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

La modellazione idraulica è stata effettuata attraverso il software Hec-Ras (River Analysis System) versione 4.1 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 casce 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.

### **4.2. Equazioni di base per la modellazione in moto vario**

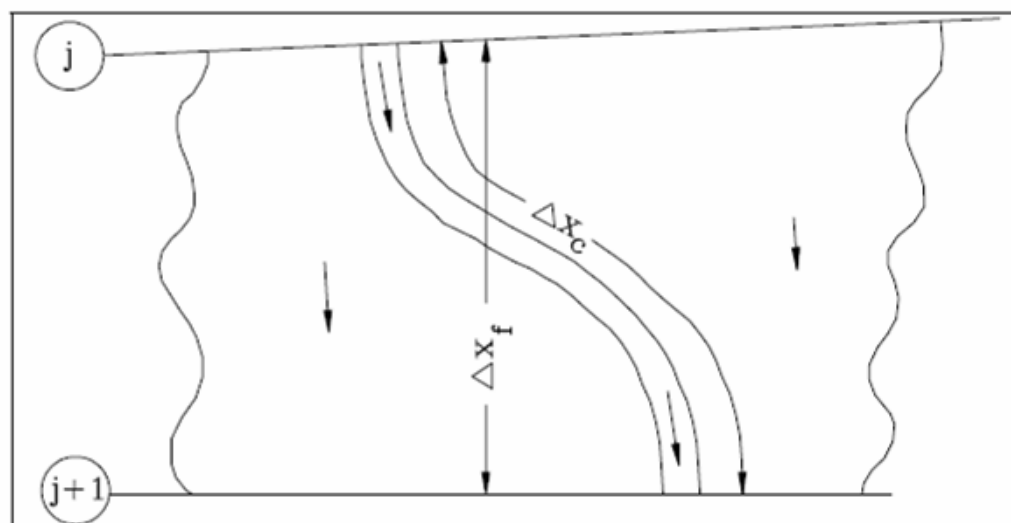
Le leggi fisiche che governano il flusso in un corso d'acqua sono:

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 13 – 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. Poiché 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.

#### 4.3. 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).

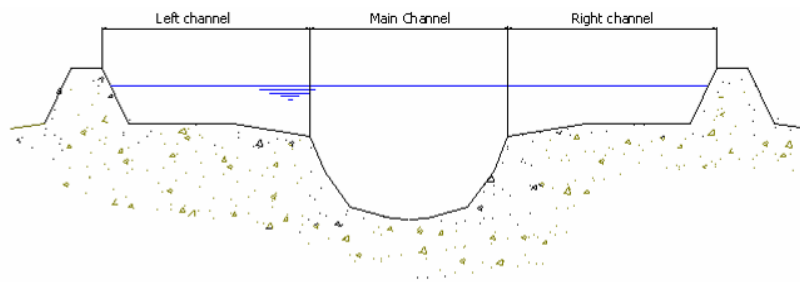
#### 4.4. Criteri di suddivisione della sezione

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 14 – 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) in moto uniforme:

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

$K$  [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.

#### 4.5. 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:

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

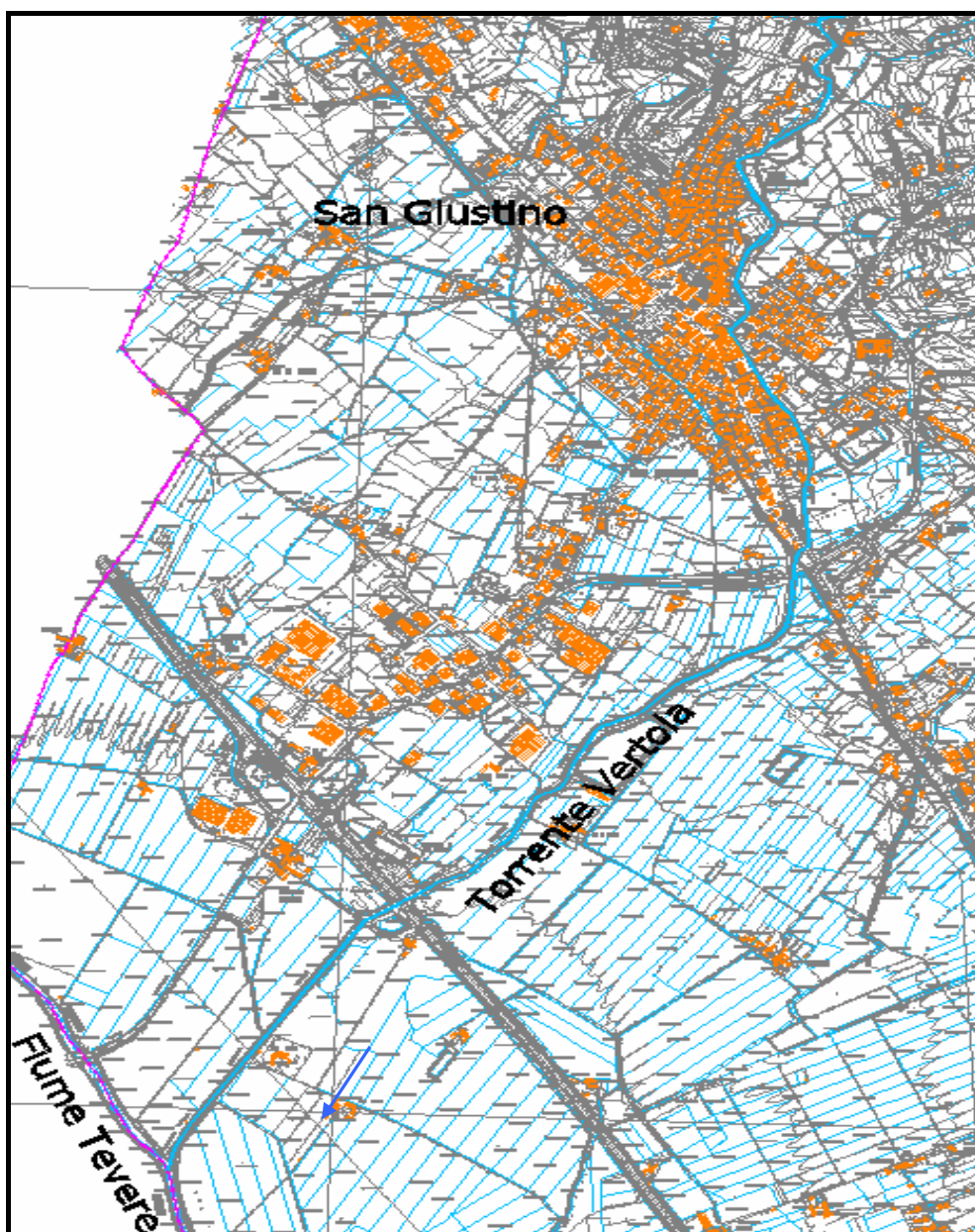
dove  $K_1$ ,  $K_2$  rappresentano le capacità di deflusso totali delle sezioni estreme.



#### 4.6. Il modello geometrico

Il modello geometrico del corso d'acqua oggetto di studio ha inizio immediatamente a monte del centro abitato di San Giustino e termina con la confluenza nel fiume Tevere per una lunghezza complessiva di circa 4.80 km.

La geometria di verifica è stata ottenuta attraverso l'esecuzione di un rilievo topografico con utilizzo di stazione celerimetrica totale e stazione GPS. Tale rilievo ha implementato il rilievo già esistente eseguito per le verifiche idrauliche eseguite dall'IRPI.



**Figura 15 – Tratto del torrente oggetto del modello di verifica**

Nella presente fase progettuale è stato svolto dallo scrivente un ulteriore rilievo di dettaglio dell'area destinata alla cassa di espansione in progetto e delle sezioni dell'alveo in prossimità della cassa stessa, al fine di affinare la modellazione e il dimensionamento delle opere idrauliche.

I coefficienti di scabrezza adottati nella modellazione sono stati stimati in base a:

- i sopralluoghi eseguiti sul corso d'acqua;
- la letteratura esistente in materia di idraulica fluviale (in particolare si fa riferimento al manuale di idraulica fluviale "Open-Channel Hidraulics" di Ven Te Chow, professore ordinario di Ingegneria Idraulica dell'Università dell'Illinois – USA);
- lo studio *Redazione delle mappe di allagabilità finalizzata all'individuazione del rischio idraulico del reticolo idrografico del F. Tevere*, svolto dall'IRPI (Istituto ricerche protezione idrogeologica).

Coefficiente di Manning ( $s/m^{1/3}$ )	
Alveo inciso	0.045
Sponde con folta vegetazione	0.1
Area golenale	0.06
Muri di sponda e briglie	0.025
Tratti protetti da scogliera intasata	0.03
Sponde ripulite in fase di progetto	0.05

**Tabella 9 - Coefficienti di scabrezza adottati nel secondo scenario di verifica**

#### **4.7. Le condizioni al contorno adottate**

Come condizione di monte del modello sono stati inseriti gli idrogrammi di piena calcolati in precedenza e come condizione di valle è stata assunta la condizione adottata nell'ambito dello studio *Redazione delle mappe di allagabilità finalizzata all'individuazione del rischio idraulico del reticolo idrografico del F. Tevere*.

Alla confluenza con il Fiume Tevere è stata applicata la norma riportata al Capitolo 1, Fase C dell'Allegato "Procedura per la definizione delle fasce fluviali e delle zone di rischio" dell'Autorità di Bacino del Tevere (ABT). Pertanto, la condizione di valle è rappresentata da un idrogramma di livello costante, fornito dallo studio del Piano Assetto Idrogeologico (PAI) dell'ABT, prendendo come riferimento il livello

idrico relativo alla piena con Tr immediatamente inferiore. Per la piena con Tr=50 anni è stato assunto il livello corrispondente allo stesso tempo di ritorno, adottato cautelativamente anche ne caso di evento ventennale.

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

Dalla modellazione eseguita allo stato attuale si evidenzia che le maggiori criticità sono localizzate nel tratto a valle della linea ferroviaria. In questo tratto il torrente risulta arginato e in gran parte addirittura pensile: i volumi d'acqua che sormontano gli argini pertanto scorrono sul piano di campagna andando ad allagare in particolare l'area industriale e artigianale presente in destra idraulica.

Dai sopralluoghi effettuati e dai rilievi eseguiti si è constatato come i rilevati arginali risultano abbondantemente vegetati: questo comporta sia una notevole difficoltà per la loro manutenzione e controllo sia un aumento della resistenza al transito delle piene.



**Figura 16 – Foto esemplificative dello stato di vegetazione presente nelle arginature nel tratto a valle della linea ferroviaria**



Di seguito si riportano in sintesi i risultati (da monte verso valle) ottenuti con le verifiche allo stato attuale effettuate in moto vario per eventi con tempo di ritorno 200 anni, che corrisponde al tempo di ritorno adottato allo stato di progetto per il dimensionamento delle opere di messa in sicurezza.

Nella tavola 3 – Planimetria Localizzazione Sezioni di Verifica sono indicati i fronti di esondazione che risultano dal modello idraulico.

- **Tratto di monte (sez. 44- sez. 29):** la piena duecentennale risulta contenuta in alveo, anche i due attraversamenti presenti nel tratto (ponte via Garibaldi e ponte Anconetana) risultano verificati con franchi di sicurezza rispetto all'intradosso ampiamente superiori ad 1 m.
- **Tratto sez. 28- sez. 25:** l'attraversamento di via De Amicis risulta in pressione e a causa del rigurgito indotto a monte si verifica il sormonto seppur con battenti modesti del ciglio di sponda in sinistra idraulica. L'acqua in esubero transita sul piano di campagna per poi rientrare in alveo in prossimità dell'attraversamento stesso.
- **Tratto sez. 24- sez. 20:** in questa zona si verificano franchi di sicurezza prossimi allo zero in destra idraulica dove si alternano tratti protetti da muretti di contenimento a tratti privi di protezione (ciglio di sponda alla stessa quota del piano di campagna). Relativamente alla sponda sinistra non sono presenti opere di protezione e la piena duecentennale sormonta il ciglio di sponda, andando ad interessare una fascia parzialmente edificata prossima al corso d'acqua, per poi rientrare in alveo per le naturali pendenze del piano di campagna. La passerella di via Mazzini (sez. 21) risulta sormontata da oltre 50 cm di acqua con transito dei volumi in esubero sul piano di campagna prevalentemente in sinistra idraulica.
- **Tratto sez. 19 - sez. 16:** si verifica sormonto del ciglio di sponda sia in destra che in sinistra idraulica, andando ad interessare una fascia agricola prossima al corso d'acqua, per poi rientrare in alveo per le naturali pendenze del piano di campagna a monte del ponte di via Umbra.

- **Tratto sez. 16 - sez. 14:** nel tratto compreso tra il ponte di via Umbra e il ponte della linea ferroviaria il torrente risulta contenuto all'interno dei cigli di sponda in alveo seppur con franchi di sicurezza minima.
- **Tratto sez. 13 - sez. 12:** nel tratto compreso tra il ponte ferroviario e il viadotto della SS 73bis – E68 il torrente esonda leggermente in destra idraulica.
- **Tratto sez. 11 - sez. 07:** nel tratto compreso tra il viadotto della SS 73bis – E68 e quello della superstrada E45 il torrente sormonta gli argini in destra e sinistra idraulica; i volumi in esubero in destra idraulica allagano la zona industriale ed artigianale.
- **Tratto sez. 06 - sez. 01:** nel tratto compreso tra il viadotto della superstrada E45 e la confluenza nel fiume Tevere il torrente risulta quasi ovunque contenuto con franchi prossimi allo zero, in alcune sezioni si verifica il sormonto della sommità arginale seppur con battenti minimi. L'attraversamento della strada vicinale Capanne Selci (sez. 4.5) risulta sufficiente al transito della portata laminata dalle esondazioni che si verificano nel tratto a monte.

A causa delle esondazioni suddette la portata massima in grado di giungere allo stato attuale alla confluenza nel fiume Tevere risulta pari a circa 17 mc/s, valore che conferma quanto ottenuto nell'ambito dello studio *Redazione delle mappe di allagabilità finalizzata all'individuazione del rischio idraulico del reticolo idrografico del F. Tevere*.

## **5. INTERVENTI PREVISTI PER LA MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA – I° STRALCIO FUNZIONALE**

### **5.1. Caratteristiche generali**

Sulla base delle criticità individuate dall'analisi effettuata allo stato attuale è stata progettata in via definitiva la prima opera di mitigazione del rischio idraulico realizzabile con le somme a disposizione dell'amministrazione (1.3 milioni di euro).

Il **dimensionamento delle opere di progetto** è stato effettuato mediante il modello di verifica in moto vario considerando lo **scenario di piena con tempo di ritorno duecentennale** (come previsto dall'Art. 33 delle Norme tecniche di attuazione del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, piano adottato dal Comitato Istituzionale il 18 luglio 2012 con del. n. 125).

In questo I° stralcio funzionale si prevede la realizzazione di una Cassa di laminazione (denominata vasca A nel progetto preliminare complessivo) in derivazione, localizzata in destra idraulica a valle del viadotto della S.S. n°73 bis (cfr. planimetria di progetto allegata).

Le casse di espansione in derivazione sono caratterizzate dalla presenza di una soglia tracimabile laterale, che funge da manufatto di alimentazione del volume di invaso a disposizione e il loro funzionamento è riconducibile a uno stramazzo laterale.

A seconda del battente nell'invaso rispetto alla quota della soglia di sfioro si possono instaurare due tipi di funzionamento:

- stramazzo non rigurgitato: la quota della soglia è superiore al livello di invaso.
- stramazzo rigurgitato: la quota della soglia è inferiore al livello di invaso.

Oltre alla soglia sfiorante, che regola le portate in entrata alla cassa, le casse di espansione in derivazione sono caratterizzate dalla presenza di una soglia di troppo pieno e da uno scarico "di fondo": il primo manufatto ha lo scopo di garantire il non sormonto delle arginature della cassa : oltre un certo livello la cassa non può riempirsi. Lo scarico ha lo scopo di svuotare, dopo il passaggio delle portate di piena la cassa di espansione stessa, facendo defluire lentamente i volumi accumulati nello stesso



Vertola. Inoltre in alcuni casi viene realizzata una briglia tarata immediatamente a valle dello sfioratore per ottimizzare il funzionamento della soglia di sfioro stessa.

Nelle immagini seguenti si riporta una localizzazione della cassa prevista, si rimanda alla tavola allegata per un maggior dettaglio.

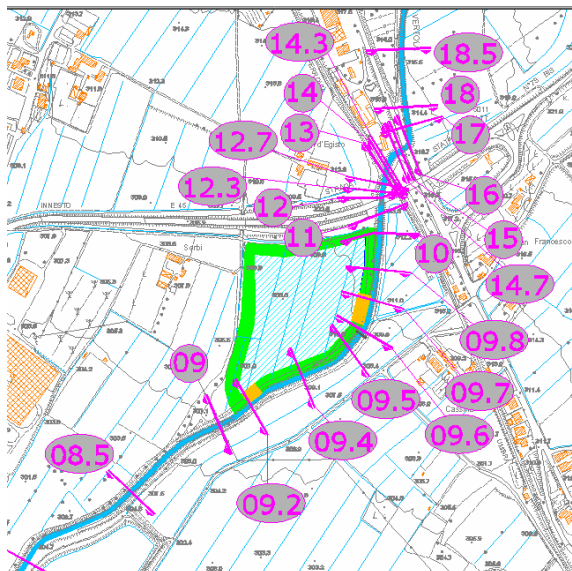


Foto 1



Foto 2

**Figura 17 – Estratto planimetria di progetto e fotografie dell'area destinata alla vasca di compenso scattate rispettivamente dal viadotto della S.S. n°73 bis (foto 1 – inverno 2015) e dall'argine del t. Vertola (foto 2- estate 2015)**

L'area individuata ha una superficie di circa 40'000 mq ed è delimitata a nord dalla S.S. n°73 bis e a sud ed ad est dal tratto del torrente compreso tra la sezione 11 e la sezione 09. Il piano di campagna ha quote degradanti da nord verso sud, da quota pari a circa 310 m s.l.m. fino a 307 m s.l.m.

Di seguito si riporta una descrizione sintetica delle opere previste per la realizzazione della cassa di espansione, si rimanda alle tavole allegata per un maggior dettaglio.

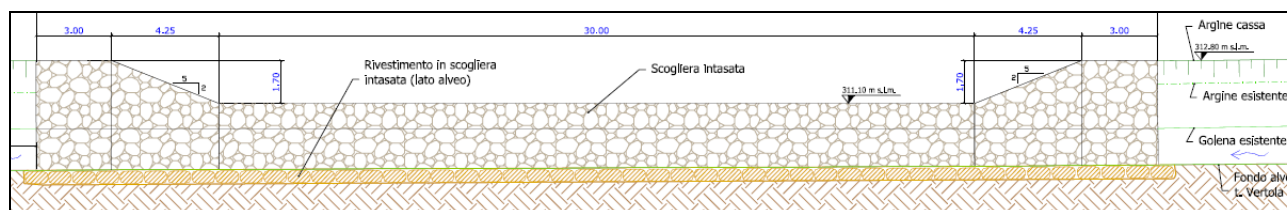
## 5.2. Soglia di sfioro

Si prevede la realizzazione di una soglia di innesco della cassa di espansione sul torrente Vertola localizzata circa 150 m a valle del viadotto della S.S. n°73 bis.

La soglia verrà realizzata in scogliera intasata ed avrà lunghezza di 30 m a quota di sfioro 311.10 m s.l.m. A valle della soglia di sfioro si prevede di porre in opera una protezione in scogliera sul piano di campagna interno all'area di esondazione, per scongiurare fenomeni erosivi in seguito all'entrata in funzione della soglia stessa.

Inoltre si prevede di proteggere in scogliera intasata anche l'alveo e la sponda sinistra del tratto prossimo alla soglia, sempre al fine di evitare l'innestarsi di processi erosivi e conseguenti problemi di stabilità del manufatto stesso.

Nell'immagine seguente si riporta un prospetto della soglia lato alveo estratto della tavola dei particolari costruttivi allegata:



**Figura 18 – Estratto prospetto soglia di sfioro lato alveo**

## 5.3. Manufatto di troppo pieno e scarico di fondo

Si prevede la realizzazione di una soglia di troppo pieno in scogliera intasata localizzata circa 230 m a valle della soglia di sfioro.

La soglia è dimensionata per entrare in funzione in caso di eventi che comportino battenti in cassa superiori alla duecentennale, pertanto si prevede a quota di sfioro pari a 311.80 m s.l.m.

Al piede del manufatto di troppo pieno si prevede di posizionare lo scarico di fondo della cassa di espansione, costituito da un tubo (diam. 1000 mm), dotato di valvola antiriflusso di tipo clapet, al fine di impedire il deflusso attraverso lo scarico in direzione verso la cassa. Lo scarico permette il completo svuotamento dell'area di laminazione in seguito ad evento duecentennale in circa 12 ore.





### 5.5. Arginatura di contenimento

Si prevede la realizzazione di un'arginatura di contenimento della area destinata alla cassa a quota di sommità arginale pari a 312.80 m s.l.m., in modo da garantire un franco di oltre 1 m sulla quota di massimo invaso duecentennale pari a 311.79 m s.l.m.

I rilevati, realizzati con terra proveniente da cava di prestito, avranno larghezza in sommità di 4 metri al fine di garantire il transito dei mezzi di manutenzione.

L'arginatura, il cui colmo è fissato a 312.80 m s.l.m., avrà un'altezza massima pari a circa 4.0 m nel tratto parallelo alla S.S. 73 bis e altezza massima di circa 5.50 metri nel tratto ad ovest. In questo ultimo tratto, dove il nuovo rilevato arginale ha un'altezza rispetto al piano di campagna compresa tra 4 m e 6 m si prevede di lasciare una pista di larghezza pari a 3 m al piede del rilevato per facilitare gli interventi di manutenzione. Inoltre si prevede la realizzazione di ricarico dell'argine esistente in destra idraulica del torrente Vertola nel tratto sez. 11 – sez. 09. Nel tratto tra la sez. 11 e la soglia di sfioro la quota del ricarico arginale diminuisce da quota 314 m s.l.m. alla quota dell'argine della vasca (312.80 m s.l.m.) al fine di garantire un franco di sicurezza minimo di 1 m rispetto al massimo battente in alveo. Nel tratto di torrente Vertola prossimo alla vasca di laminazione si prevede un intervento di taglio e sfalcio della vegetazione presente sulle sponde.

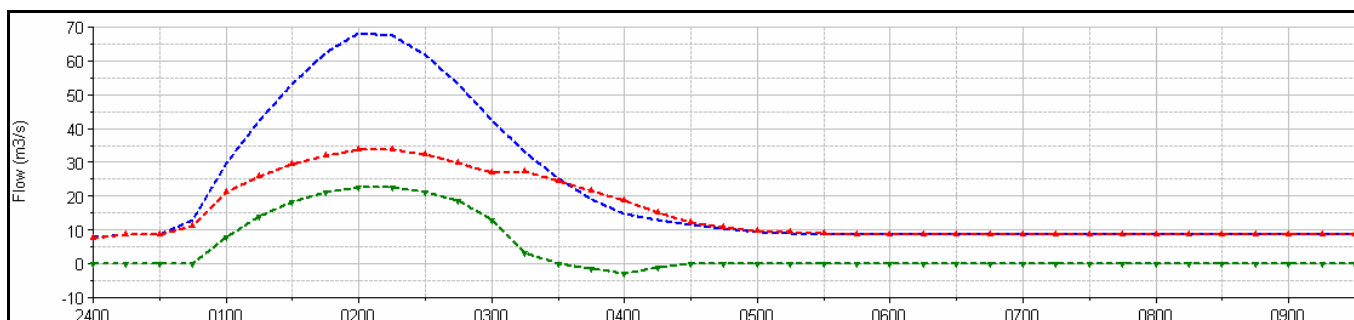
Si prevede di inerbire i paramenti arginali e la sommità al fine di migliorarne l'inserimento nell'ambiente e soprattutto evitare fenomeni di erosione per ruscellamento.

### 5.6. Effetto di laminazione

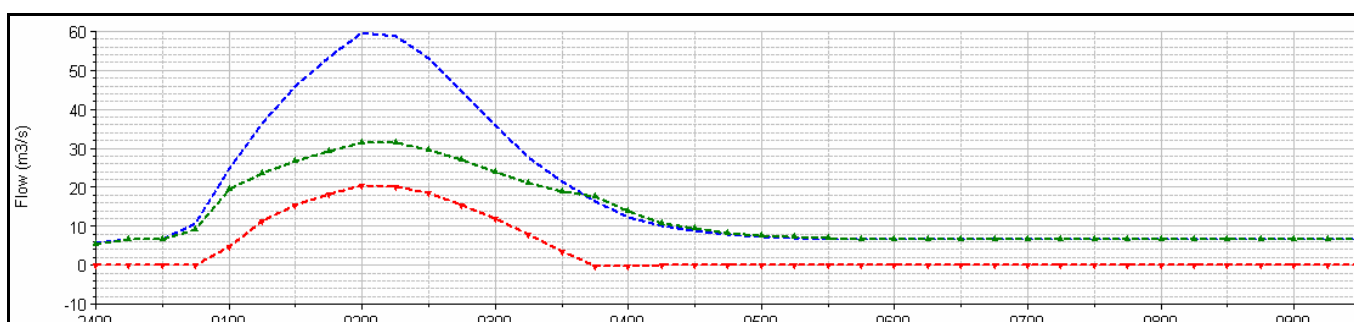
Di seguito si riporta un tabella riassuntiva dei volumi e battenti e l'andamento delle portate di piena in prossimità della cassa di laminazione nella cassa nei tempi di ritorno analizzati (200, 50 e 20 anni). Si rimanda agli allegati idraulici per un maggior dettaglio.

<b>Tempo di ritorno</b>	<b>Massimo battente in cassa ( m s.l.m.)</b>	<b>Massimo volume (mc)</b>
200 anni	311.79	113'000
50 anni	311.47	100'000
20 anni	310.96	84'000

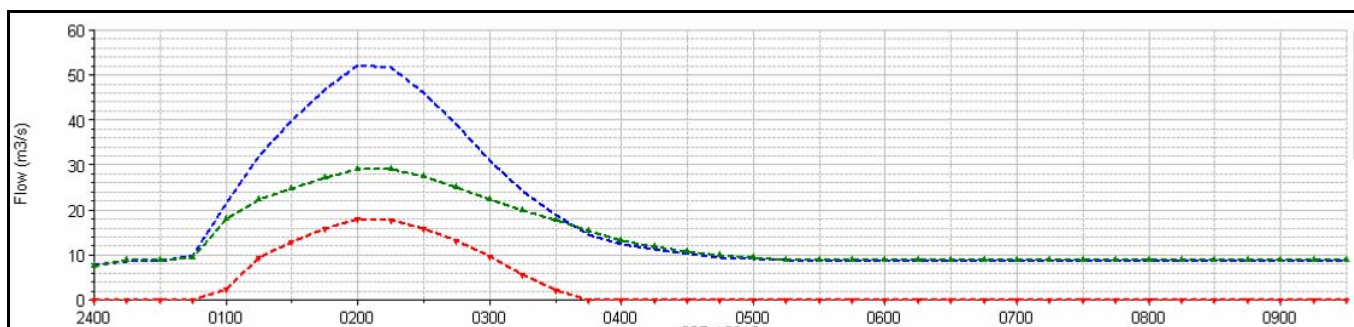
**Tabella 10 – Battenti e volumi in cassa**



**Figura 21 – Tr 200 anni - Andamento della portata di piena in prossimità della cassa di laminazione – idrogramma a monte della soglia di sfioro (blu), idrogramma a valle della soglia di sfioro (rosso), idrogramma in ingresso in cassa (verde)**



**Figura 22 – Tr 50 anni - Andamento della portata di piena in prossimità della cassa di laminazione – idrogramma a monte della soglia di sfioro (blu), idrogramma a valle della soglia di sfioro (rosso), idrogramma in ingresso in cassa (verde)**



**Figura 23 – Tr 20 anni - Andamento della portata di piena in prossimità della cassa di laminazione – idrogramma a monte della soglia di sfioro (blu), idrogramma a valle della soglia di sfioro (rosso), idrogramma in ingresso in cassa (verde)**

L'intervento previsto in questo I° stralcio funzionale permette la mitigazione del rischio idraulico dell'area industriale-artigianale di San Giustino, garantendo una riduzione in termini di volumi in esubero complessivi nel tratto di torrente compreso tra il viadotto della S.S 73 BIS (sez. 11) e la superstrada E45 (sez. 07) pari a circa il 30% nel caso di evento con tempo di ritorno duecentennale e di circa il 40% nel caso di eventi con tempo di ritorno cinquantennale e ventennale.

L'intervento previsto permette quindi una buona mitigazione del rischio, soprattutto per eventi con tempo di ritorno più bassi, ma è insufficiente alla completa messa in sicurezza del tratto esaminato.

**Pertanto l'intervento qui descritto in futuro dovrà essere integrato con ulteriori interventi al fine di garantire la completa messa in sicurezza idraulica del tratto di torrente esaminato**, come risulta dal progetto preliminare complessivo che prevede un fabbisogno complessivo pari a 9.450.000 €.

## **5.7. Interventi di manutenzione**

Il complesso di opere idrauliche illustrato nella presente relazione è stato pensato con la finalità di garantire che tutti i processi di invaso e di svaso simulati si realizzino in completo automatismo.

È tuttavia opportuno prevedere una serie di piccoli interventi di manutenzione programmata, mentre alcuni interventi di manutenzione straordinaria saranno prevedibili in occasione di eventi che determinino l'allagamento delle zone di invaso.

### **1) Manutenzione ordinaria**

ARGINI: si prevedono interventi periodici di manutenzione sulle opere arginali (pulizia dei paramenti dalla vegetazione, eventuali riprese di quote ecc.);

SOGLIA SFIORANTE: l'area della soglia sfiorante, nonché il tratto di sponda ad essa prospiciente dovranno essere oggetto di periodica pulizia per l'eliminazione di vegetazione alta o di corpi estranei che potrebbero condizionare il deflusso sulla soglia verso l'area di invaso.

### **2) Manutenzione straordinaria**

A seguito degli eventi di piena che determinino l'alluvionamento delle aree di espansione si prevedono piccoli interventi di ripristino. In particolare:

ZONE DI INVASO: si dovrà provvedere alla pulizia delle aree alluvionate a uso non strettamente agricolo (viabilità campestre ecc.);

MANUFATTI IDRAULICI: si prevede la pulizia delle sezioni dei manufatti dal materiale flottante eventualmente intercettato durante l'evento.



## 6. CONCLUSIONI

La seguente relazione è stata sviluppata a supporto della progettazione definitiva degli interventi necessari per la messa in sicurezza idraulica dell'abitato Zona industriale e Artigianale di San Giustino (PG). In particolare sulla base delle somme a disposizione dell'amministrazione (1,3 milioni di euro) in questa fase si prevede il **progetto di un primo stralcio funzionale di interventi di mitigazione del rischio idraulico**.

La zona di interesse, localizzata in destra idraulica del torrente a valle della linea ferroviaria, risulta a rischio esondazione secondo le carte dell'Autorità di Bacino del fiume Tevere, realizzate sulla base dello studio *Redazione delle mappe di allagabilità finalizzata all'individuazione del rischio idraulico del reticolo idrografico del F. Tevere*, svolto dall'IRPI (Istituto ricerche protezione idrogeologica) nel giugno 2012.

Sulla base dei dati pluviometrici mediante un modello afflussi/deflussi (GIUH) sono stati calcolati gli idrogrammi di piena con i quali è stato implementato il modello di verifica in moto vario mediante il software Hec-Ras 4.1.

Dalla modellazione eseguita allo stato attuale sull'asta del torrente Vertola, analizzato da monte del centro abitato di San Giustino fino alla confluenza nel fiume Tevere, si evidenzia che le maggiori criticità sono localizzate nel tratto a valle della linea ferroviaria.

In questo tratto il torrente risulta arginato e in gran parte addirittura pensile: i volumi d'acqua che sormontano gli argini pertanto scorrono sul piano di campagna, andando ad allagare in particolare l'area industriale e artigianale presente in destra idraulica.

Sulla base delle criticità individuate dall'analisi effettuata allo stato attuale è stata dimensionata la prima opera di mitigazione del rischio idraulico realizzabile con le somme a disposizione dell'amministrazione.

Si prevede quindi in questo primo stralcio funzionale di realizzare una cassa di compenso in derivazione localizzata in destra idraulica a valle del viadotto della S.S. n°73 bis.

L'opera descritta nella presente relazione permette una buona mitigazione del rischio idraulico nell'area industriale e artigianale, garantendo una diminuzione di oltre il 30% dei volumi complessivi in esubero nel tratto a valle del viadotto della S.S. n°73 bis. **Per la completa messa in sicurezza idraulica del torrente Vertola saranno necessari ulteriori interventi, per un importo complessivo di circa 9.450.000 €.**

Il progettista:

Ing. Gesualdo Bavecchi