

REGIONE
TOSCANA



CITTA' METROPOLITANA
DI FIRENZE



PROVINCIA
DI PISA



COMUNE DI
CASTELFIORENTINO



COMUNE DI
EMPOLI



COMUNE DI
GAMBASSI TERME



COMUNE DI
SAN MINIATO

Commissario regionale SRT 429 "di Val d'Elsa"

Opere di completamento della variante SRT 429 "di Val d'Elsa" tratto Empoli - Castelfiorentino Progetto esecutivo Opere relative al rio Grassellino e Rio Casino Lotto VI

ELABORATO

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA RIO GRASSELLINO

Giugno 2016

Commissario regionale SRT 429: Ing. Alessandro Annunziati

Responsabile unico del procedimento: Ing. Alessandro Annunziati

Progettista: Ing. Alessandro Annunziati

Verifiche idrologiche - idrauliche: Ing. Gesualdo Bavecchi

Via dei Mandorli 29 - 50069 Sieci - Pontassieve (Firenze) - Tel. 055 0512470

Cell. 338 5621533 - Fax 055 5534914 - Email: gesualdo.bavecchi@gmail.com - P.iva 02282790480

**OPERE DI COMPLETAMENTO DELLA VARIANTE
SRT 429 "DI VAL D'ELSA" TRATTO EMPOLI-CASTELFIORENTINO**

OPERE RELATIVE AL RIO GRASSELLINO E RIO CASINO

**RELAZIONE TECNICA IDROLOGICA -IDRAULICA
RIO GRASSELLINO**

INDICE

1. PREMESSA	2
2. CALCOLO DELLE PORTATE DI VERIFICA	3
2.1. Dati pluviometrici.....	4
2.2. Modello afflussi-deflussi.....	5
2.2.1. Il calcolo indiretto delle portate di piena.....	5
2.2.2. Il modello di Nash.....	7
2.2.3. Determinazione dell'I.U.H. mediante il criterio di Horton-Strahler.....	9
2.2.4. Valutazione delle portate di piena.....	12
2.3. Confronto con dati di portata	16
3. LE VERIFICHE IDRAULICHE	17
3.1. Il modello di moto vario utilizzato nelle simulazioni	17
3.2. Equazioni di base per la modellazione in moto vario	17
3.3. Condizioni al contorno del modello in moto vario	19
3.4. Criteri di suddivisione della sezione	19
3.5. Valutazione delle perdite di carico per attrito	20
3.6. Il modello geometrico	21
3.7. Le condizioni al contorno adottate	22
3.8. Analisi dei risultati allo stato attuale.....	23
4. INTERVENTI DI PROGETTO	25
4.1. Cassa di laminazione	26
4.1.1. Soglia di sfioro	27
4.1.2. Manufatto di troppo pieno e scarico di fondo.....	27
4.1.3. Briglia tarata per l'ottimizzazione della soglia sfiorante.....	28
4.1.4. Area di invaso e rilevati arginali	29
4.1.5. Effetto di laminazione	30
4.1.6. Verifiche idrauliche con l'eventuale sistemazione del fosso nel tratto di monte (II° stralcio) 32	
4.2. Attraversamenti di progetto	32
4.2.1. Attraversamento strada sterrata a monte della cassa di laminazione	32
4.2.2. Attraversamento via Sanminiatense	33
4.2.3. Attraversamento rampa di accesso alla variante.....	33
4.2.4. Attraversamento strada sterrata a valle della rampa	34
4.3. Intervento di risagomatura.....	34
4.4. Interventi di manutenzione	35
5. CONCLUSIONI.....	36

1. PREMESSA

La presente relazione è stata redatta di supporto al progetto esecutivo delle opere finalizzate al mitigazione del rischio idraulico del rio del Grassellino nell'ambito delle Opere di completamento della **Variante SRT 429 "di Val d'Elsa"** - tratto Empoli-Castelfiorentino.

In particolare sul rio del Grassellino, che intercetta il tracciato stradale e colletta i deflussi della fascia in destra Elsa in comune di Empoli, è prevista la realizzazione di una cassa di laminazione immediatamente a monte della S.S. n°429 esistente come mostrato nella figura successiva.

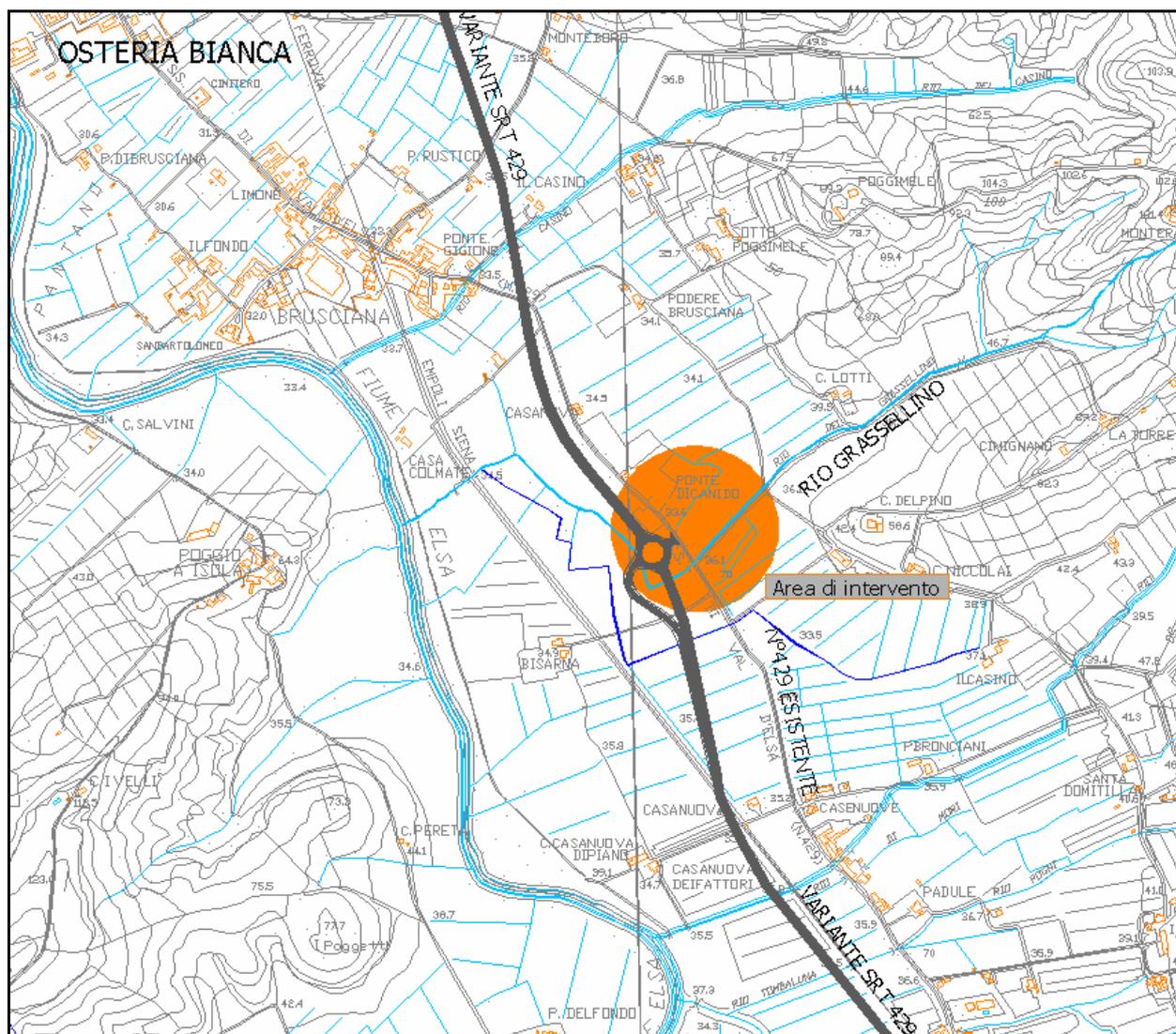


Figura 1 – Estratto corografia per l'inquadramento dell'area di interesse

Nella seguente relazione vengono inoltre illustrati gli approfondimenti di natura idrologica e idraulica di dettaglio, necessari all'ottimizzazione dell'intervento di progetto previsto sul rio Grassellino, al fine di aggiornare lo *Studio di compatibilità idraulica* elaborato nel 2012 e già autorizzato dal *Circondario Empolese Valdelsa (prot. N° 6776 del 26 Marzo 2012 e successiva integrazione prot. N° 19462 del 22 Ottobre 2012)*.

Le presenti verifiche idrologiche-idrauliche si compongono in sintesi dei seguenti step:

- analisi idrologica al fine di ricavare gli idrogrammi di piena, da inserire come input del modello di verifica in moto vario, sulla base dei parametri delle curve di possibilità pluviometriche aggiornate dalla Regione Toscana , con studio pubblicato nel marzo 2014 (*"Analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme"*);
- implementazione di un modello di verifica in moto vario del rio Grassellino sia dello stato attuale che di progetto;
- dimensionamento delle opere idrauliche necessarie all'ottimizzazione della cassa di laminazione e dei nuovi attraversamenti.

2. CALCOLO DELLE PORTATE DI VERIFICA

Per le verifiche idrologiche-idrauliche del rio Grassellino sono state determinate le portate di piena mediante un metodo geomorfologico (tipo GIUH) : tali portate sono state poi utilizzate per le verifiche idrauliche eseguite tramite una modellazione in moto vario.

Le portate di verifica, calcolate per eventi con tempo di ritorno $Tr = 200, 100$ e 30 anni al fine di dimensionare le opere di progetto, sono state ricavate mediante il modello idrologico descritto nei paragrafi seguenti.

2.1. 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. 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.

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, 30, 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 Rio Grassellino e il grafico delle curve nei tempi di ritorno di maggior interesse:

PARAMETRI DELLA CURVA DI POSSIBILITA' CLIMATICA		
Bacino del rio Grassellino		
Tr (anni)	parametri a e n	
	a	n
2	22.80	0.225
5	32.16	0.222
10	38.85	0.232
20	45.76	0.246
30	49.84	0.253
100	62.15	0.271
200	69.35	0.279
500	79.10	0.286

Tabella 1 – Parametri della curva di possibilità pluviometrica

2.2. Modello afflussi-deflussi

2.2.1. 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.

2.2.2. 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:

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

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:

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

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:

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

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.

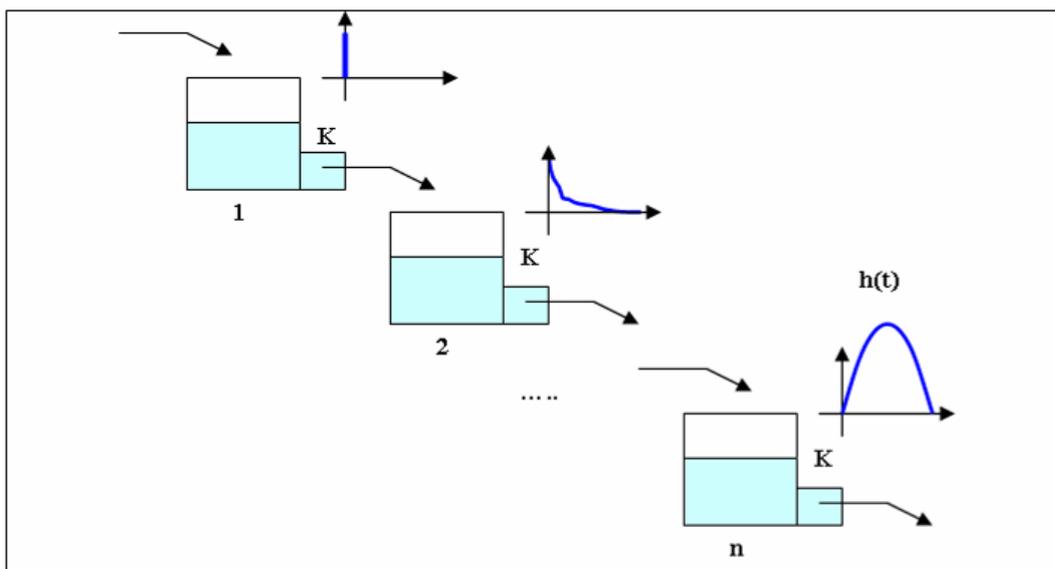


Figura 2 – Schematizzazione del bacino come un insieme di n serbatoi lineari

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:

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

dove la funzione $\Gamma^{(n)}$ rappresenta la distribuzione Γ 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).

2.2.3. 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 contribuente.

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:

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

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

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

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:

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

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_Ω 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.

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

Rapporto di Area	Ra	4.55
Rapporto di lunghezza	Rl	2.16
Rapporto di biforcazione	Rb	3.00

Tabella 2 – Rapporti di Horton

Nell'immagine seguente si riporta un estratto della tavola del bacino idrografico, in azzurro viene evidenziato il bacino sotteso dall'area destinata alla cassa di laminazione, mentre in arancione si evidenzia il bacino di acque basse che raccoglie i vari fossi di drenaggio dell'area in sinistra idraulica e si immette nel rio Grassetino immediatamente a monte dell'attraversamento della linea ferroviaria.

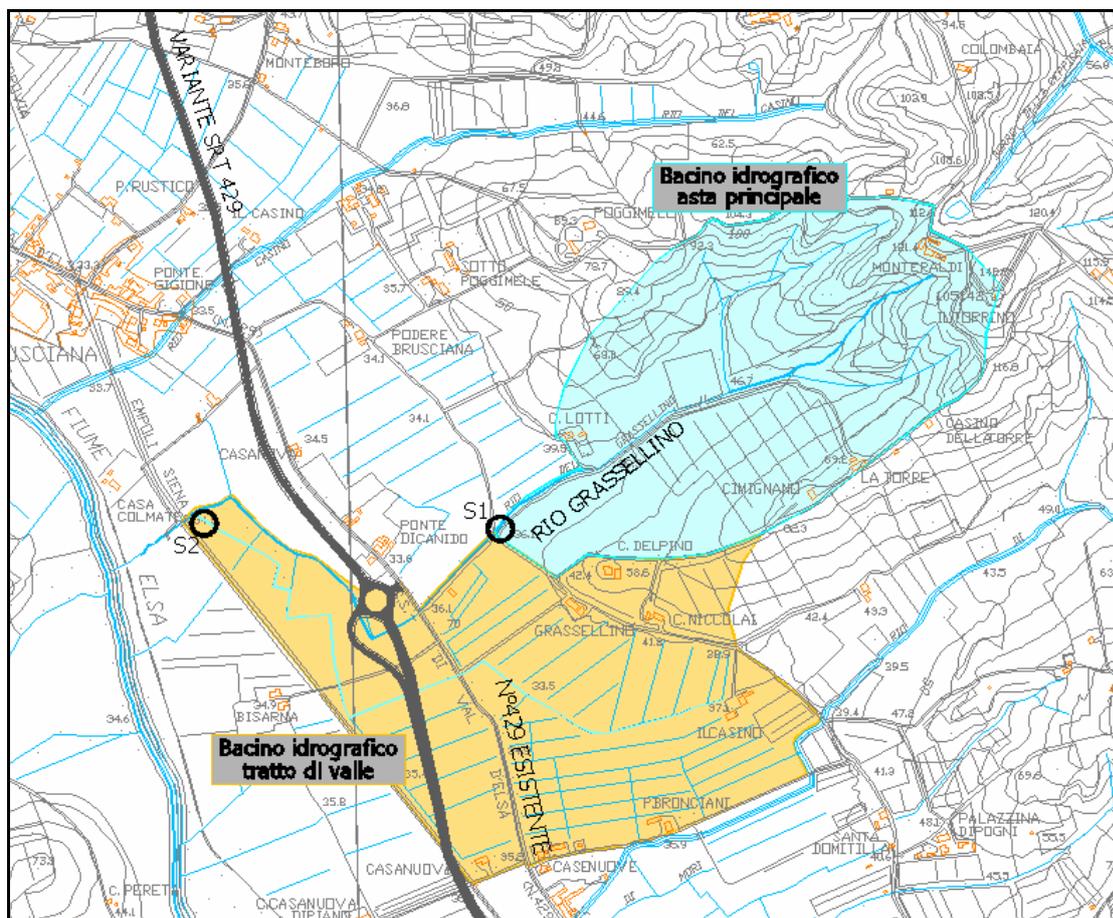


Figura 3 – estratto tavola bacino idrografico

I due bacini hanno superficie comparabile per una superficie complessiva di quasi 1.2 kmq.

2.2.4. Valutazione delle portate di piena.

I risultati per $Tr=200$, 100 e 30 anni in termini di portata al colmo del bacino di monte (superficie 0.54 kmq), assumendo come sezione di chiusura la cassa di laminazione e un coefficiente di deflusso globale pari a 0.7, sono riportati nella tabella seguente.

Evento	Portata di verifica (mc/s)
Tr = 200 anni	8.41
Tr = 100 anni	7.59
Tr = 30 anni	6.19

Tabella 3 – picco della portata di verifica

Al fine di verificare il massimo impegno della cassa di laminazione sono stati ricavati con la metodologia descritta anche gli idrogrammi associati a tempi di pioggia maggiori e più precisamente pari a un tempo di pioggia di 1, 2, 3 e 4 ore.

Inoltre è stato calcolato l'idrogramma di piena anche per un tempo di pioggia di 12 ore, per il quale la piena sul rio è molto ridotta ma che corrisponde ad un evento critico sul fiume Elsa e che quindi implica una condizione di valle di paratoia chiusa con conseguente rigurgito a monte.

Relativamente agli eventi con tempo di ritorno centennale e trentennale sono state svolte le verifiche allo stato di progetto negli scenari più significativi: $T_{p\text{critico}}$, $T_p=3$ ore (che come vedremo in seguito massimizza i battenti in cassa) e $T_p=12$ ore.

Nelle immagini seguenti si riportano gli idrogrammi ottenuti come precedentemente descritto:

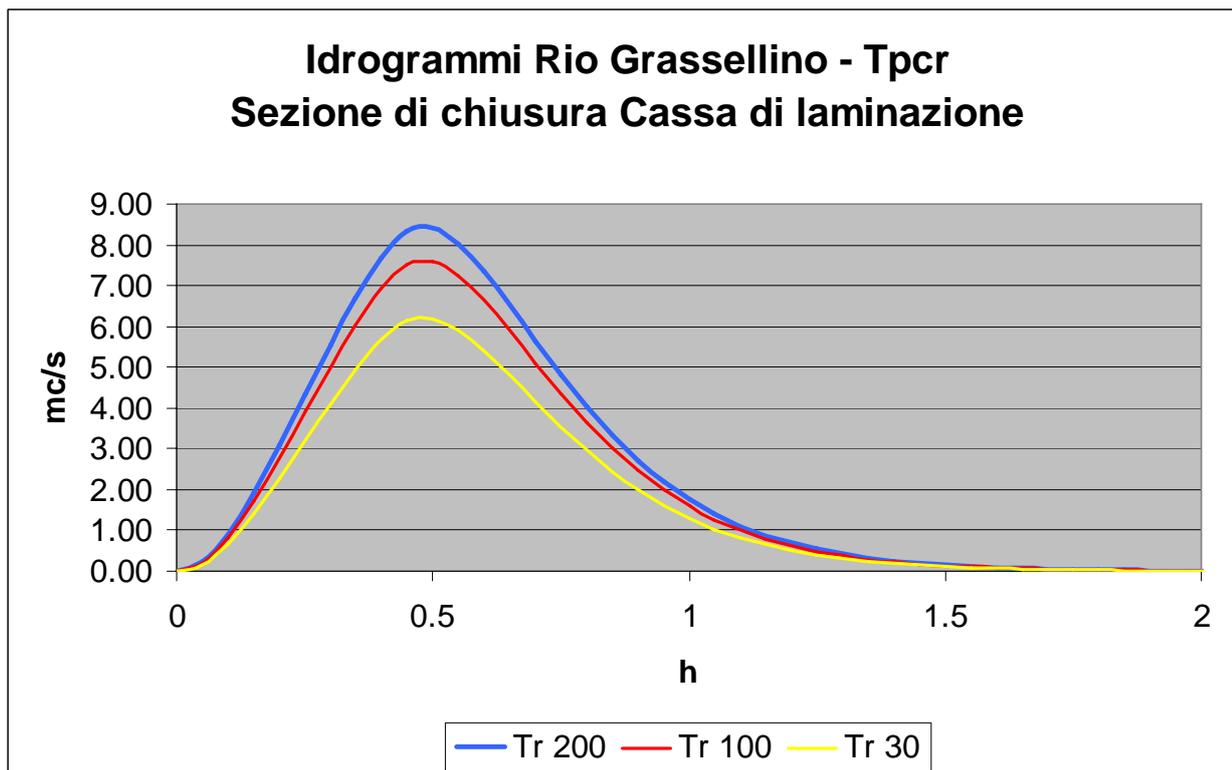


Figura 4 – Idrogrammi di piena – sezione di chiusura cassa di laminazione - T_{pcr}

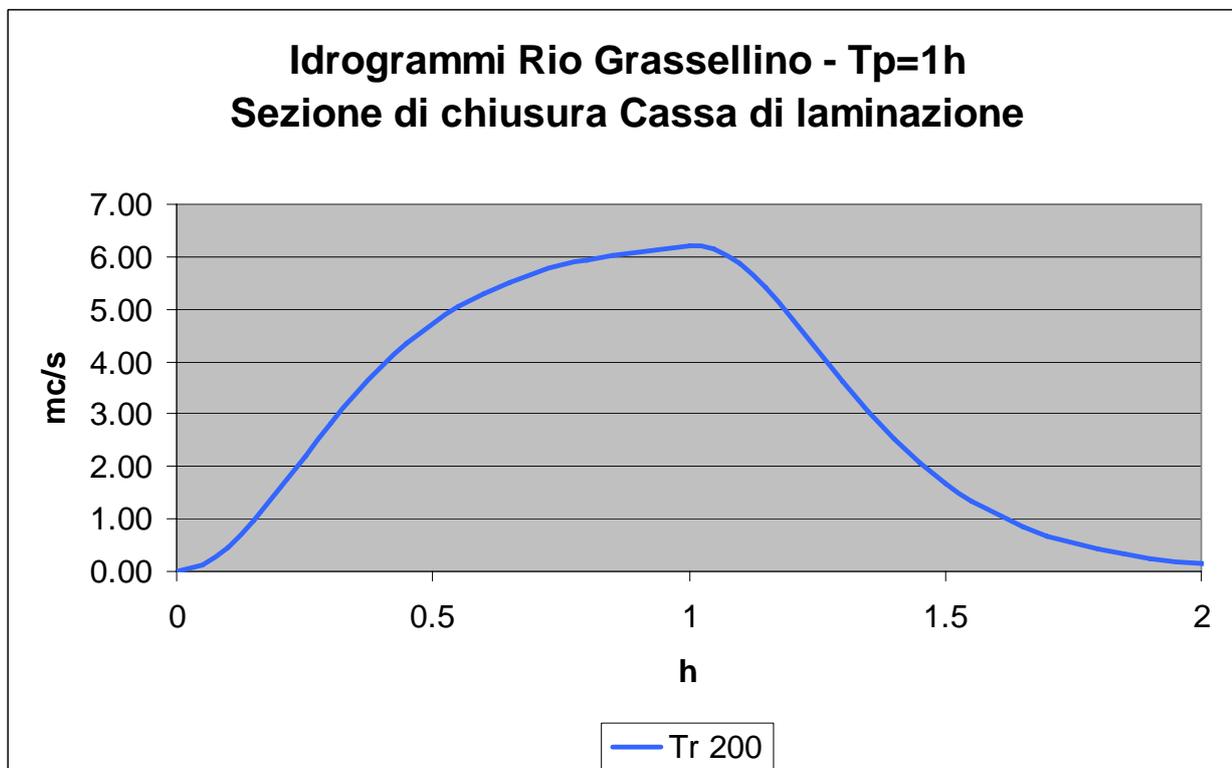


Figura 5 – Idrogrammi di piena – sezione di chiusura cassa di laminazione – T_p1h

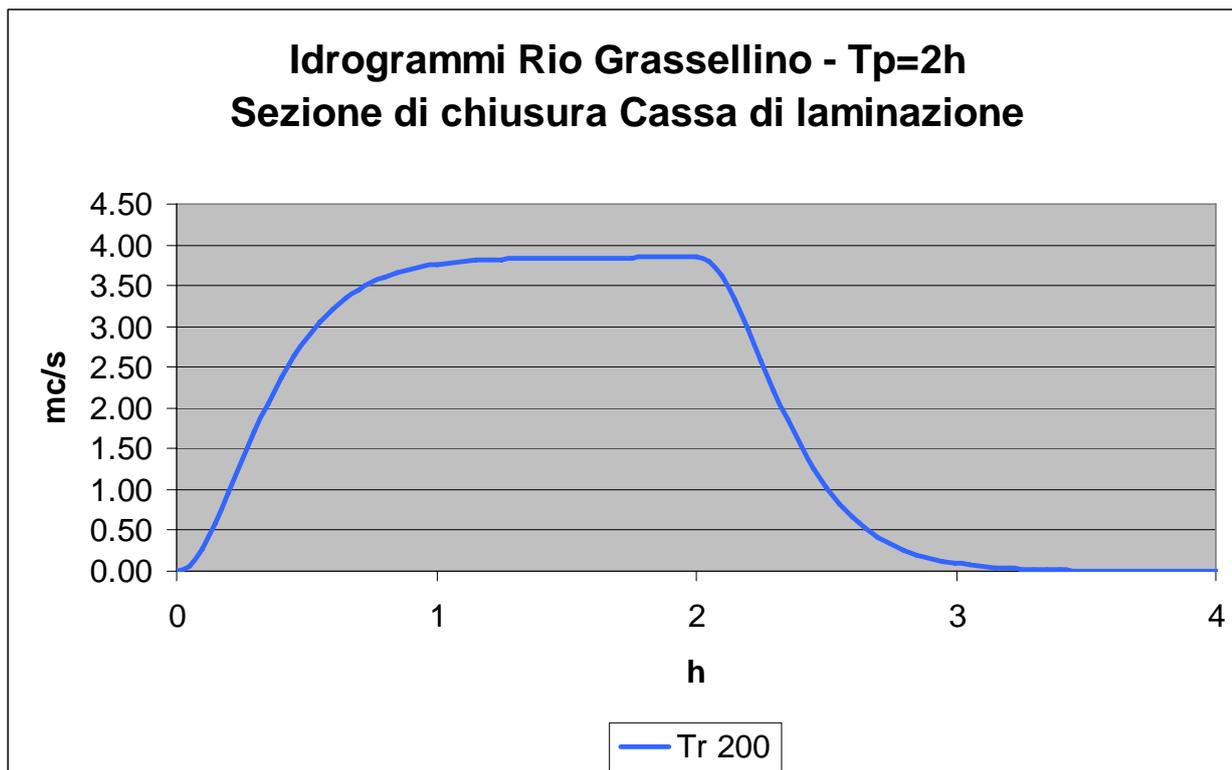


Figura 6 – Idrogrammi di piena – sezione di chiusura cassa di laminazione – T_p2h

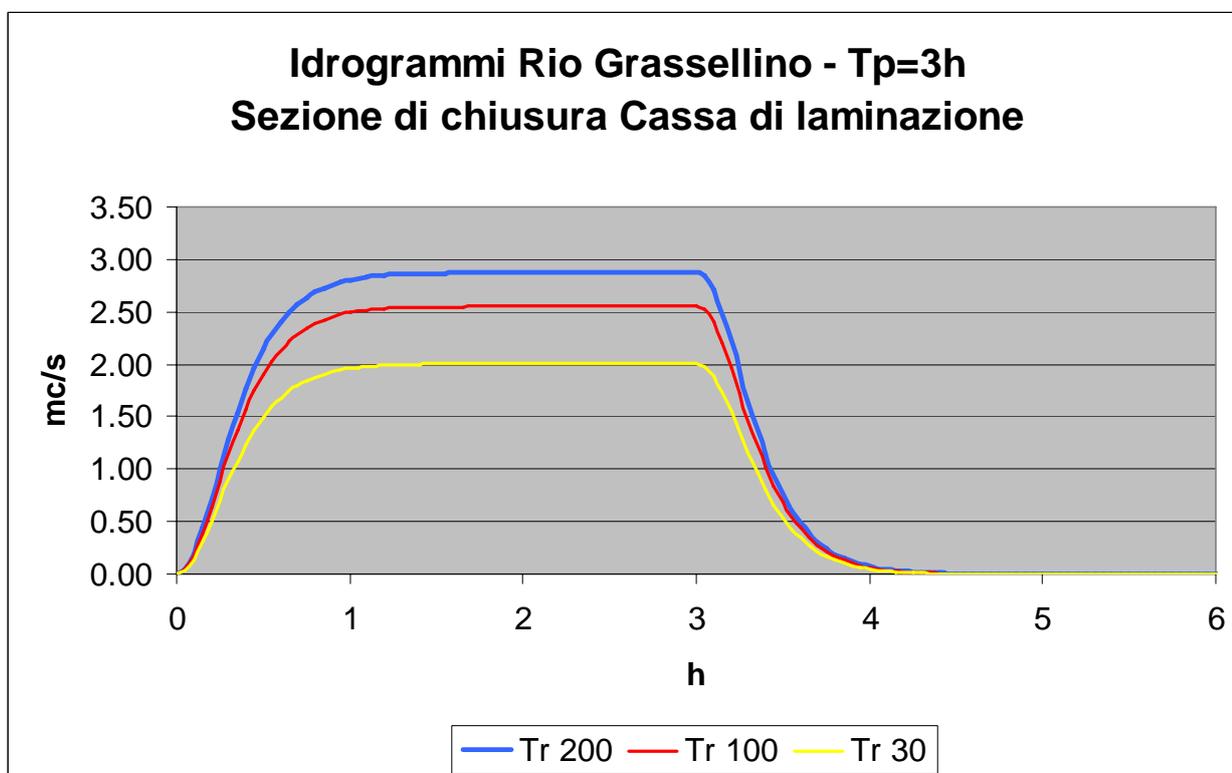


Figura 7 – Idrogrammi di piena – sezione di chiusura cassa di laminazione – T_p3h

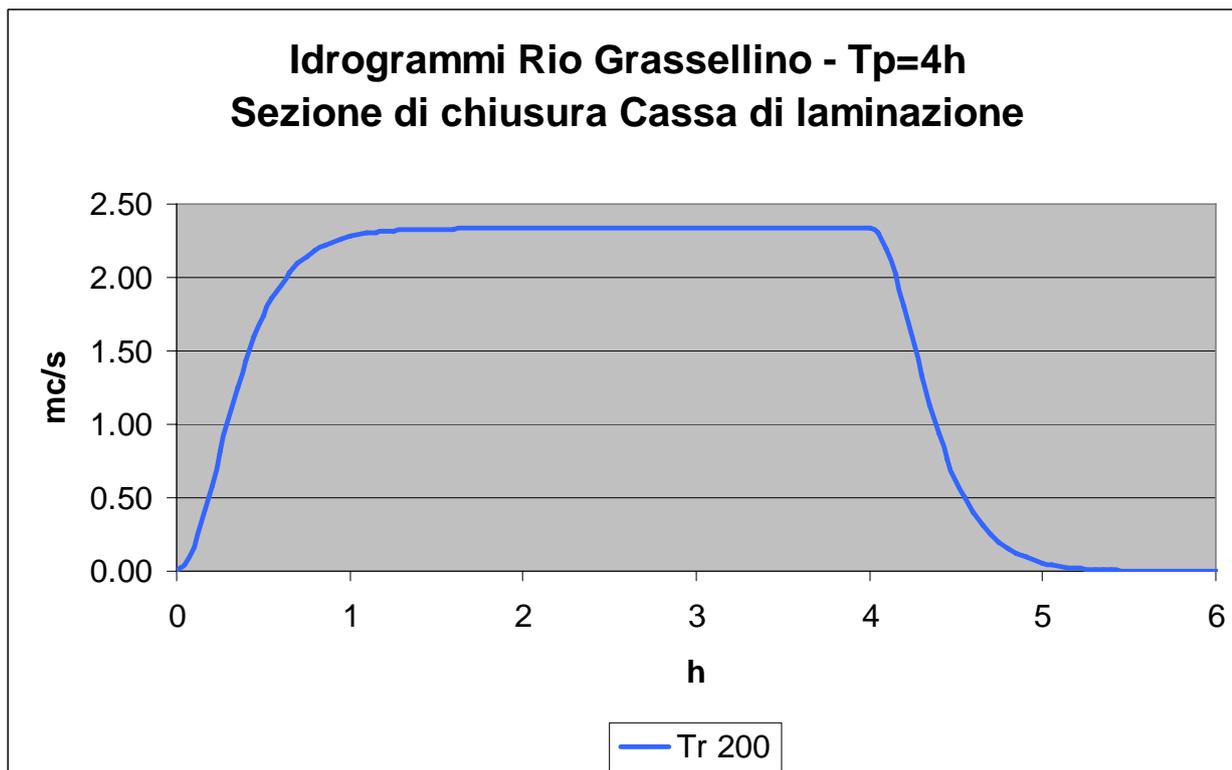


Figura 8 – Idrogrammi di piena – sezione di chiusura cassa di laminazione – Tp4h

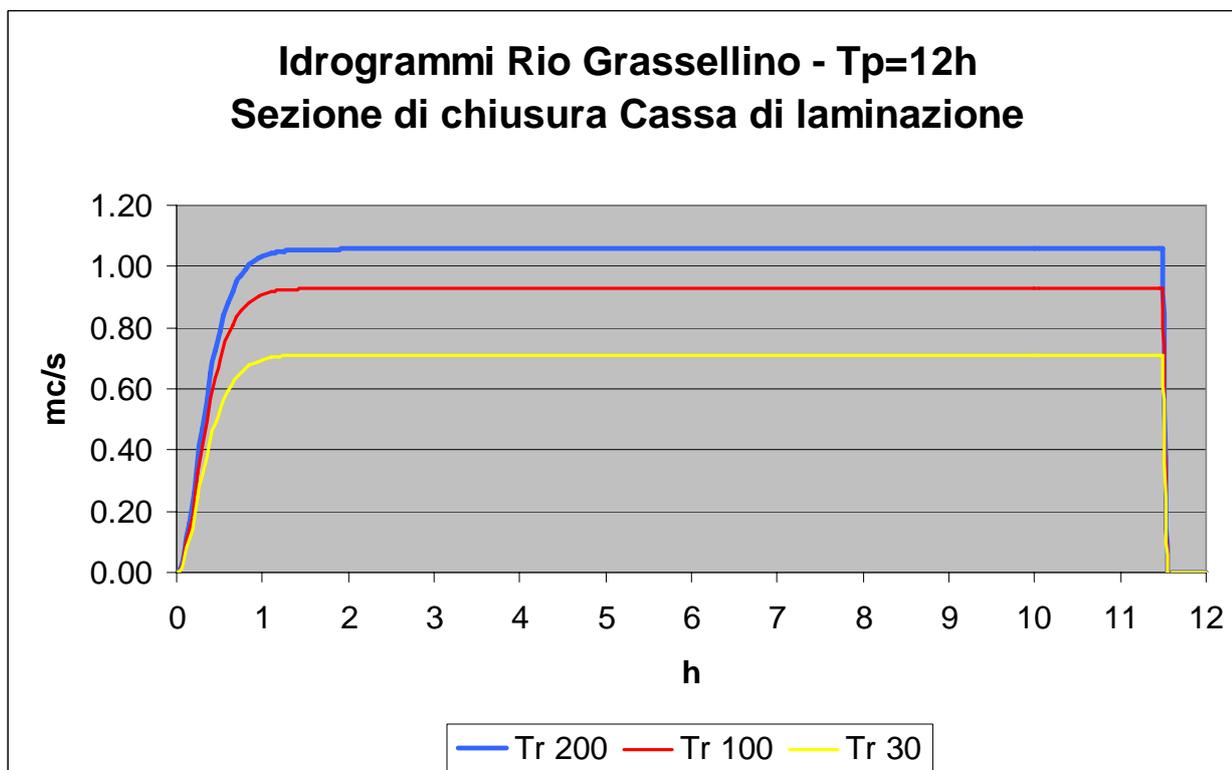


Figura 9 – Idrogrammi di piena – sezione di chiusura cassa di laminazione – Tp12h

Relativamente al bacino di pianura è stato calcolato il tempo di corrivazione con le formule caratteristiche dei bacini con basse pendenze ottenendo i seguenti valori:

Formula adottata	Tempo di corrivazione (h)
Ventura	5.81
Pasini	5.59
Ongaro	4.19

Cautelativamente è stato scelto di adottare il valore minore, ottenuto con la formula di Ongaro, e calcolare il contributo del bacino di pianura con il metodo cinematico. Assumendo per il bacino di pianura un valore del coefficiente di deflusso pari a 0.5 si ottengono picchi di portata pari a 2.02 mc/s (Tr200 anni), 1.79 mc/s (Tr100 anni) e 1.40 mc/s (TR30 anni). **Tali valore sono stati inseriti cautelativamente come input costanti.**

2.3. Confronto con dati di portata

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 di compatibilità idraulica* elaborato nel 2012 e già autorizzato dal Circondario Empolese Valdelsa (prot. N° 6776 del 26 Marzo 2012 e successiva integrazione prot. N° 19462 del 22 Ottobre 2012).

Dal confronto si evince come le portate con tempo di ritorno duecentennale ottenute con il GIUH risultino superiori (di circa il 20%) rispetto ai picchi riportati nello *Studio di compatibilità idraulica* redatto nel 2012.

Picchi idrogramma a monte della cassa di laminazione Tr 200 anni (mc/s)	
GIUH	8.41 mc/s
Studio compatibilità idraulica 2012	7.00 mc/s

Tabella 4 – confronto picchi della portata di verifica duecentennale

Anche relativamente al bacino di pianura la presente analisi fornisce valori cautelativi rispetto a quanto elaborato nel 2012.

Picchi idrogramma bacino di pianura Tr 200 anni (mc/s)	
Q - aggiornamento 2016	2.02 mc/s
Nota compatibilità idraulica	1.20 mc/s

Tabella 5 – confronto picchi della portata di verifica duecentennale

3. LE VERIFICHE IDRAULICHE

3.1. 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 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.

3.2. 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 %.

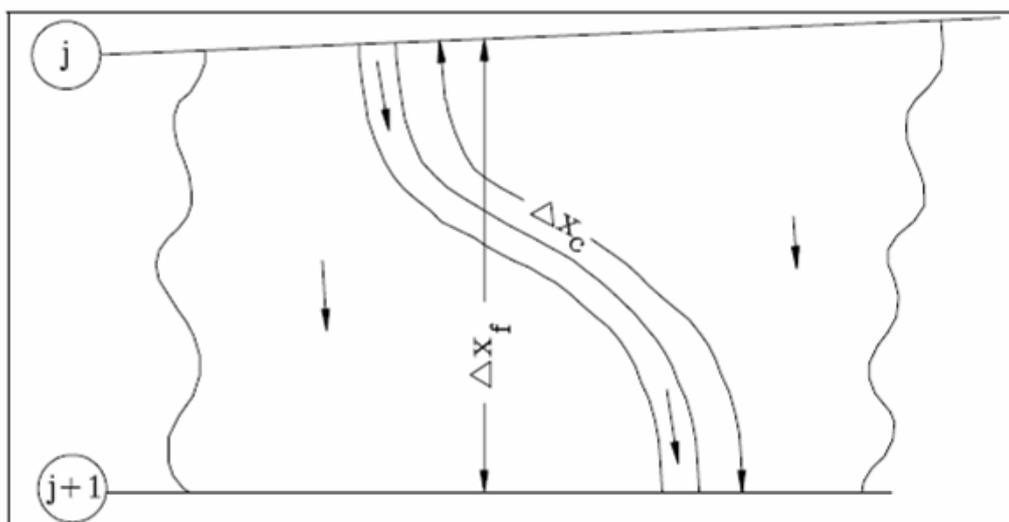


Figura 10 – Portata nel canale e nelle aree golenali

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.

3.3. 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 ΔQ e Δz 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).

3.4. 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)

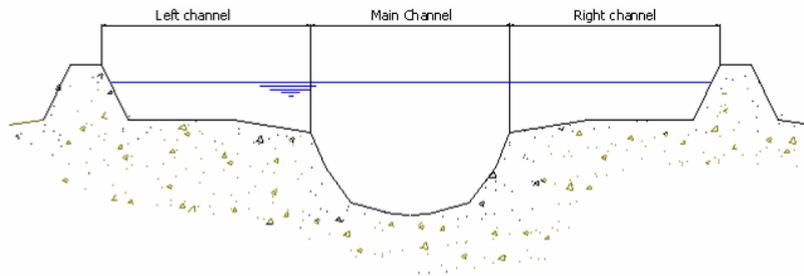


Figura 11 – Schema fondamentale di suddivisione in sottosezioni

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 [m³/s] = capacità di deflusso nell'ambito;

n [s/m^{1/3}] = scabrezza di Manning;

r [m] = raggio idraulico dell'ambito;

a [m²] = area della sezione bagnata dell'ambito.

3.5. 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.

3.6. Il modello geometrico

Il modello geometrico del corso d'acqua oggetto di studio ha inizio circa 200 m a monte dell'attraversamento della strada che collega il podere Brusiana con la località C. del Pino e termina con la confluenza nel fiume Elsa per una lunghezza complessiva di quasi 1.20 km.

La geometria di verifica è stata ottenuta attraverso l'esecuzione di un rilievo topografico di oltre 32 sezioni eseguito nell'autunno 2015, oltre ad essere fatti successivamente ai rilievi topografici sopralluoghi finalizzati alla verifica dello stato attuale delle aree destinate alla localizzazione delle opere e delle sezioni di deflusso del fosso di studio.

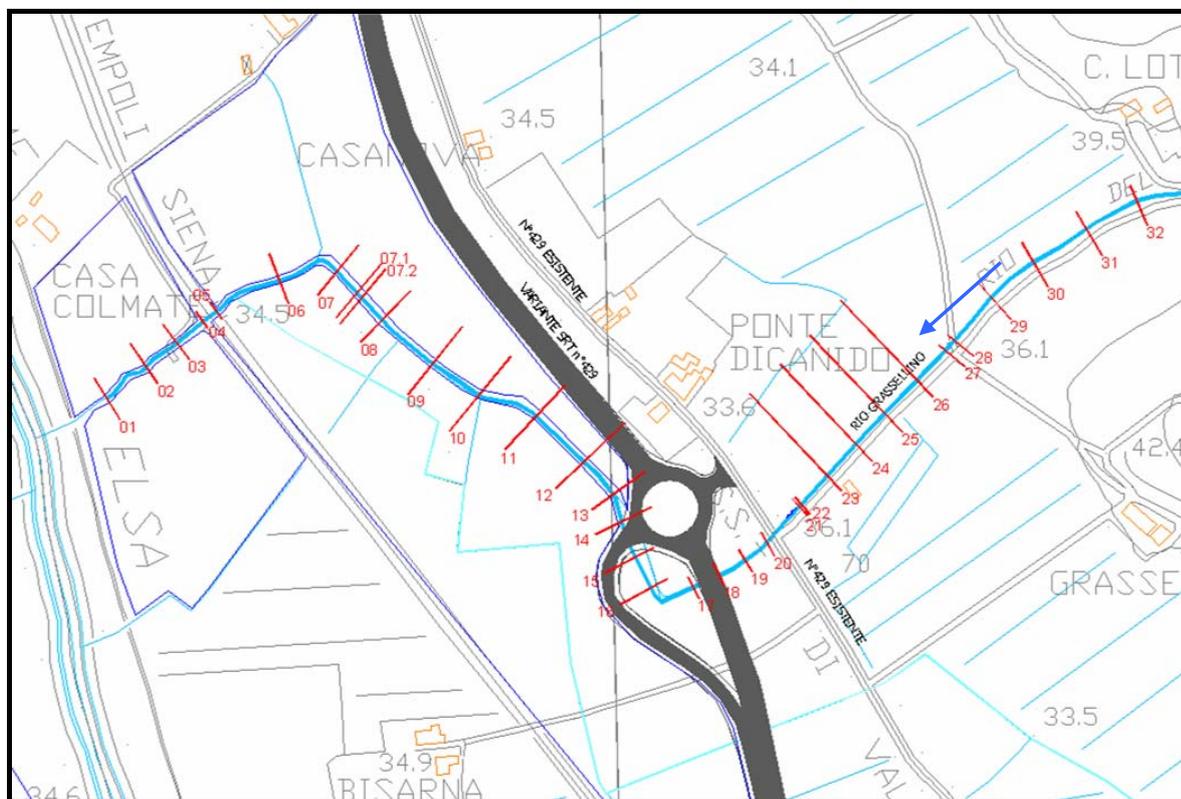


Figura 12 – Tratto del torrente oggetto del modello di verifica

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).

Coefficiente di Manning ($s/m^{1/3}$)	
Alveo inciso	0.03
Area golenale	0.035
Muri di sponda e tratti rivestiti	0.025
Attraversamenti in scatolari/tubi	0.022

Tabella 6 - Coefficienti di scabrezza adottati nel modello di verifica

3.7. 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 stato assunta la condizione di pendenza di moto uniforme ricavata dal profilo (*normal depth*).

Come detto in precedenza nel caso di evento pluviometrico che comporta una piena sul fiume Elsa ($T_p=12h$), dato che la paratoia alla confluenza risulterebbe chiusa, è stato assunto come condizione di valle un battente costante pari a 33.00 m s.l.m., che corrisponde alla quota dei cigli di sponda a valle della linea ferroviaria.

3.8. Analisi dei risultati allo stato attuale

Gli scenari di verifica del modello in moto vario, allo stato attuale, sono:

Verifiche idrauliche Stato Attuale – Scenario TP critico	
Sezione S1	8.41 mc/s
Sezione S2	2.02 mc/s

Portate modello moto vario Tr 200 anni – Tp critico

Verifiche idrauliche Stato Attuale – Scenario TP 1 ora	
Sezione S1	6.20 mc/s
Sezione S2	2.02 mc/s

Portate modello moto vario Tr 200 anni – Tp 1 ora

Verifiche idrauliche Stato Attuale – Scenario TP 2 ore	
Sezione S1	3.85 mc/s
Sezione S2	2.02 mc/s

Portate modello moto vario Tr 200 anni – Tp 2 ore

Verifiche idrauliche Stato Attuale – Scenario TP 3 ore	
Sezione S1	2.87 mc/s
Sezione S2	2.02 mc/s

Portate modello moto vario Tr 200 anni – Tp 3 ore

Verifiche idrauliche Stato Attuale – Scenario TP 4 ore	
Sezione S1	2.33 mc/s
Sezione S2	2.02 mc/s

Portate modello moto vario – Tp 4 ore

Verifiche idrauliche Stato Attuale Tr 200 anni – Scenario TP 12 ore	
Sezione S1	1.06 mc/s
Sezione S2	2.02 mc/s

Portate modello moto vario Tr 200 anni – Tp 12 ore

Dalla modellazione eseguita si evidenzia che nelle condizioni attuali le sezioni del rio Grassellino non riescono a contenere la portata duecentennale e inoltre l'attuale attraversamento della S.S. n°429 esistente non è in grado di far transitare la portata in arrivo. Tale risultato conferma quanto riportato nel suddetto *Studio di compatibilità idraulica*.

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.

Per un maggior dettaglio si rimanda agli allegati idraulici e alla tavola 3 - Planimetria stato attuale dove sono riportati i fronti di esondazione e le relative aree allagabili.

- **Tratto di monte (sez. 31 - sez. 28):** si verifica esondazione in destra idraulica di oltre il 50% della portata in arrivo a monte dell'attraversamento localizzato alla sezione 27.5. I volumi in esubero scorrono sul piano di campagna in direzione nord - ovest fino a raggiungere la S.S. n°429 esistente e di variante.
- **Tratto a monte della S.S n° 429 esistente (sez. 27 - sez. 22):** si verifica esondazione in destra e sinistra idraulica. I volumi in esubero in destra idraulica vanno a sommarsi a quanto esondato a monte con interesse della viabilità vecchia e nuova.

A causa delle esondazioni suddette **la portata massima in grado di giungere allo stato attuale l'attraversamento della S.S. n°429 esistente risulta pari a circa 1.55 mc/s.**

- **Attraversamento della S.S n° 429 esistente:** l'attraversamento della S.S. 429 risulta in pressione nonostante la ridotta portata in arrivo (1.55 mc/s);

- **Attraversamento del variante SRT n° 429: il nuovo attraversamento di recente realizzazione risulta in pressione nonostante la ridotta portata in arrivo.**
- **Tratto compreso tra il tracciato della variante e il rilevato della linea ferroviaria (sez. 17- sez. 05):** la portata risulta quasi completamente contenuta in alveo a meno di una ridotta esondazione in sinistra idraulica.
- **Tratto a valle del rilevato ferroviario (sez. 05 - sez. 01):** la portata risulta contenuta.

4. INTERVENTI DI PROGETTO

Sulla base delle criticità individuate dall'analisi effettuata allo stato attuale, sono stati progettati in via esecutiva una serie di interventi atti a garantire la mitigazione del rischio idraulico delle infrastrutture presenti, senza generare aggravio a valle rispetto allo stato attuale.

Il dimensionamento delle opere di progetto è stato effettuato mediante il modello di verifica in moto vario considerando gli scenari di piena verificati per lo stato attuale. Inoltre, come detto in precedenza, nello scenario di progetto sono state svolte le verifiche anche per eventi con tempo di ritorno centennale e trentennale, limitatamente agli scenari più significativi: $T_{p\text{critico}}$, $T_p=3$ ore (che come vedremo in seguito massimizza i battenti in cassa) e $T_p=12$ ore.

In particolare sono stati progettati i seguenti interventi (cfr. planimetria di progetto allegata):

1. Realizzazione di una cassa di laminazione in derivazione, localizzata in destra idraulica a monte della S.S. 429 esistente.
2. Demolizione attraversamento esistente della strada sterrata immediatamente a monte dell'area destinata a cassa di laminazione e realizzazione nuovo attraversamento di dimensioni 2m x 2m.
3. Demolizione attraversamento esistente della S.S. 429 e realizzazione nuovo attraversamento di dimensioni 1.5m x 1.5m ;

4. Risagomatura del tratto a valle del rilevato della variante (tratto sez.17 - sez.12) e contestuale demolizione della briglia esistente immediatamente a valle dell'attraversamento della variante.
5. Realizzazione nuovo attraversamento in corrispondenza della rampa di accesso alla variante (sez. 14.5), di dimensioni 1.5m x 2.0m;
6. Demolizione attraversamento esistente della strada sterrata immediatamente a valle della rampa suddetta (sez. 12.15) e realizzazione nuovo attraversamento di dimensioni 1.5m x 2.0m.

4.1. Cassa di laminazione

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 rio Grasselino.

Inoltre nel caso in esame si prevede la realizzazione di una briglia tarata immediatamente a valle dello sfioratore per ottimizzare il funzionamento della soglia di sfioro stessa.

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

4.1.1. Soglia di sfioro

Si prevede la realizzazione di una soglia di innesco della cassa di espansione sul rio Grasseellino localizzata circa 200 m a monte dell'attraversamento della S.S. 429 esistente.

La soglia verrà realizzata in **scogliera intasata** ed avrà lunghezza di 10 m a quota di sfioro 35.30 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:

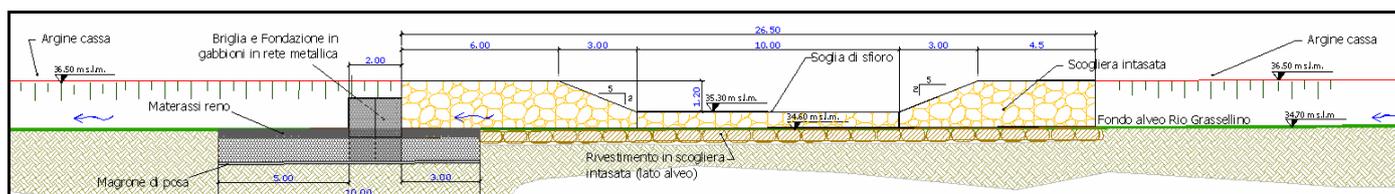


Figura 13 – Estratto prospetto soglia di sfioro lato alveo

4.1.2. Manufatto di troppo pieno e scarico di fondo

Si prevede la realizzazione di una soglia di troppo pieno in scogliera intasata localizzata circa 50 m a monte dell'attraversamento della S.S. 429 esistente.

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 35.50 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. 600 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.

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

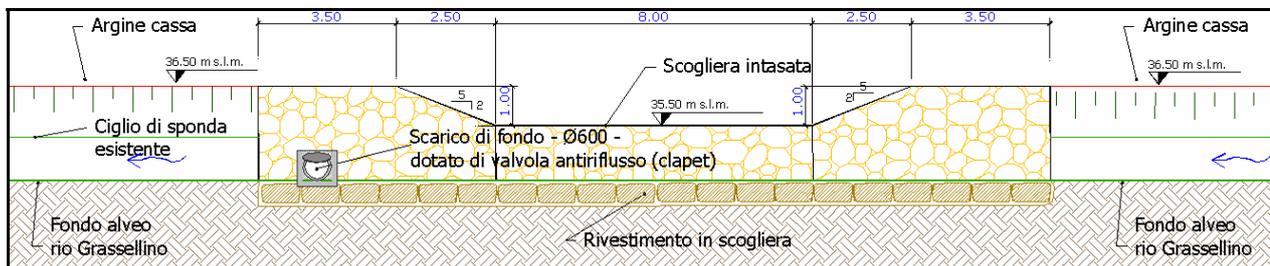


Figura 14 – Estratto prospetto soglia di troppo pieno e scarico di fondo lato alveo

4.1.3. Briglia tarata per l'ottimizzazione della soglia sfiorante

Si prevede la realizzazione di una briglia per l'ottimizzazione della soglia di sfioro localizzata immediatamente a valle della soglia stessa.

La briglia consiste nel restringimento della sezione dell'alveo mediante una struttura in gabbioni in rete metallica. Al centro della sezione si prevede di lasciare una gaveta di larghezza pari ad 0.50 m alla quota di fondo alveo, in questo modo si permette il transito invariato delle portate di magra e non si introducono discontinuità della linea di thalweg.

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

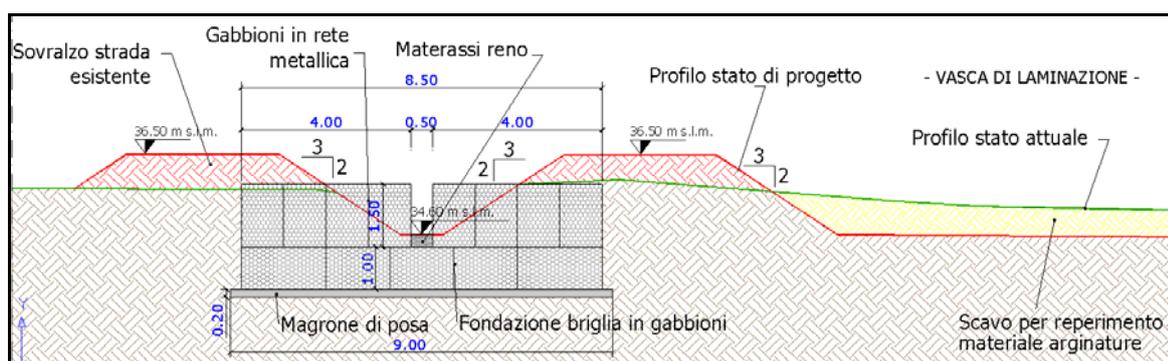


Figura 15 – Estratto prospetto briglia

4.1.4. Area di invaso e rilevati arginali

L'area individuata ha una superficie di circa 15'000 mq, il piano di campagna ha quota degradante dal rio verso nord-ovest da circa 35.00 m s.l.m fino a circa 34.00 m s.l.m.

Il piano campagna in destra in corrispondenza della cassa verrà conformato con pendenza tale da sgrondare verso il rio. I materiali risultanti dalla realizzazione della superficie sgrondante verso il rio potranno essere utilizzati per la realizzazione degli argini della cassa, previa analisi di laboratorio per verificarne la qualità. La quota parte di materiale necessario per il completamento delle arginature verrà fornito da cava di prestito.

Nell'immagine seguente si riporta a titolo esemplificativo dell'intervento la sezione dello stato sovrapposto attuale (in magenta) e progetto (in nero) in corrispondenza della cassa.

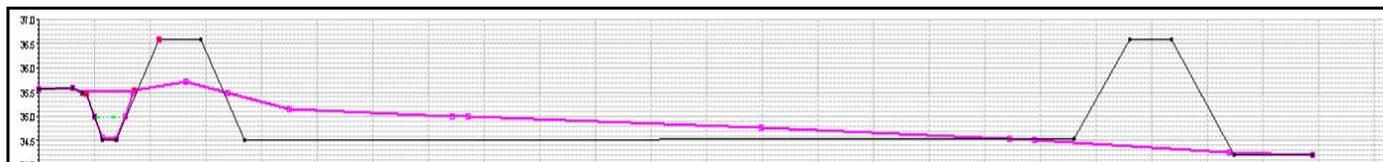


Figura 16 – sezione stato sovrapposto in corrispondenza della cassa

Come riportato nella tavola dei particolari costruttivi il coronamento dell'argine della cassa sarà a quota 36.50 m s.l.m. al fine di garantire un metro di franco sulla quota di massimo invaso duecentennale pari a 35.44 m s.l.m.

I rilevati, realizzati in parte con terra proveniente dagli interventi di risagomatura e in parte con terra proveniente da cava di prestito, avranno larghezza in sommità di 3.0 metri al fine di garantire il transito dei mezzi di manutenzione, e pendenza delle sponde pari a 2 su 3.

Il nuovo rilevato arginale verrà inerbito con idrosemina sulla sommità e sulle scarpate al fine di migliorarne l'inserimento nell'ambiente e soprattutto evitare fenomeni di erosione per ruscellamento.

Si prevede inoltre un lieve rialzamento ($h_{max}=1$ m) della strada esistente in sinistra idraulica, al fine di garantire un opportuno franco di sicurezza.

4.1.5. Effetto di laminazione

Di seguito si riporta un tabella riassuntiva dei volumi e dei battenti in cassa nei vari tempi di pioggia analizzati (Tp critico, 1 ora, 2 ore, 3 ore, 4 ore e 12 ore) per l'evento duecentennale e Tp critico, 3 ore e 12 ore per eventi centennale e trentennale. Si rimanda agli allegati idraulici per un maggior dettaglio.

Tempo di pioggia	Tempo di ritorno	Massimo battente in cassa (m s.l.m.)	Massimo volume (mc)
Tp critico	200 anni	34.81	9'530
Tp critico	100 anni	34.79	9'150
Tp critico	30 anni	34.71	8'120
1 ora	200 anni	35.09	13'380
2 ore	200 anni	35.40	17'600
3 ore	200 anni	35.44	18'120
3 ore	100 anni	35.27	15'770
3 ore	30 anni	34.98	11'890
4 ore	200 anni	35.41	17'770
12 ore	200 anni	35.00	12'140
12 ore	100 anni	34.88	10'490
12 ore	30 anni	34.70	8'010

Tabella 7 – Battenti e volumi in cassa

Nelle immagini seguenti si riporta l'effetto di laminazione delle portate di piena duecentennali, centennali e trentennali associate ad un tempo di pioggia di 3 ore che massimizza i volumi invasati.

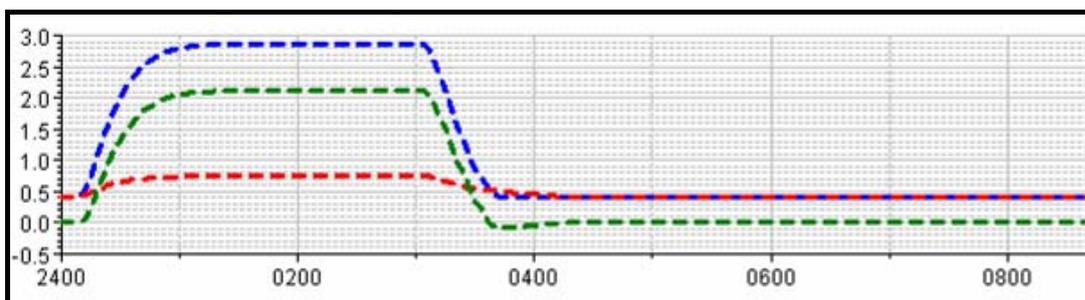


Figura 17 – Tr 200 anni – Effetto di laminazione della cassa di laminazione – idrogramma a monte della soglia di sfioro (blu), idrogramma a valle della soglia di sfioro (rosso), idrogramma in ingresso in cassa (verde)

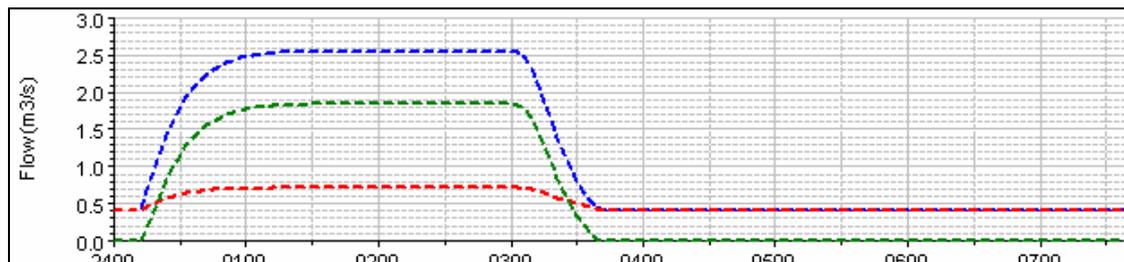


Figura 18 – Tr 100 anni – Effetto di laminazione della cassa di laminazione – idrogramma a monte della soglia di sfioro (blu), idrogramma a valle della soglia di sfioro (rosso), idrogramma in ingresso in cassa (verde)

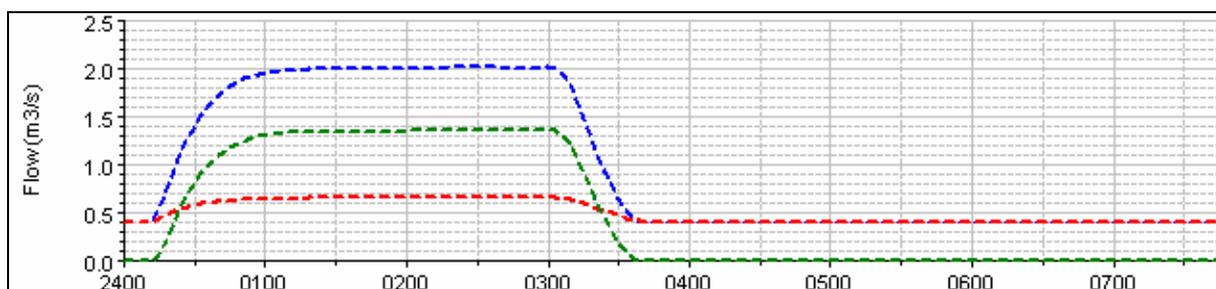


Figura 19 – Tr 30 anni – Effetto di laminazione della cassa di laminazione – idrogramma a monte della soglia di sfioro (blu), idrogramma a valle della soglia di sfioro (rosso), idrogramma in ingresso in cassa (verde)

La realizzazione della cassa permette una buona mitigazione delle esondazioni in destra idraulica del rio e soprattutto permette l'adeguamento di alcuni attraversamenti (descritti nei paragrafi seguenti) senza comportare aggravio in termini di portata trasmessa a valle. In particolare a valle dello scarico di fondo la portata massima duecentennale allo stato di progetto risulta inferiore a 1.40 mc/s, mentre come detto in precedenza la portata allo stato attuale è pari circa a 1.55 mc/s; si rimanda agli allegati idraulici per un maggior dettaglio.

4.1.6. Verifiche idrauliche con l'eventuale sistemazione del fosso nel tratto di monte (II° stralcio)

E' stata eseguita anche la verifica idraulica, nello scenario con $Tr=200$ anni, ipotizzando la sistemazione delle sezioni fluviali nel tratto di monte del rio, al fine di contenere le esondazioni residue. Come si evince dagli allegati idraulici allegati, il dimensionamento della cassa di laminazione è idoneo anche nel caso di convogliamento di tutta la portata idrologica verso valle.

4.2. Attraversamenti di progetto

4.2.1. Attraversamento strada sterrata a monte della cassa di laminazione

Si prevede di demolire l'attraversamento agricolo esistente immediatamente a monte della zona destinata a cassa di espansione (foto accanto) e sostituirlo con uno scatolare di dimensioni 2.00 m x 2.00 m (cfr. tavola particolari costruttivi).

L'attraversamento così dimensionato è in grado di far transitare la portata duecentennale con un franco di sicurezza di circa 1 m.



Figura 20 – Attraversamento agricolo esistente (foto da valle)

L'intervento permette quasi di dimezzare i volumi che esondano in destra idraulica a monte dell'attraversamento stesso rispetto allo stato attuale.

4.2.2. Attraversamento via Sanminiatese

Si prevede di demolire l'attraversamento esistente della S.S. 429 via Sanminiatese (foto seguenti) e sostituirlo con uno scatolare di dimensioni 1.60 m x 1.60 m (cfr. tavola particolari costruttivi).



Figura 21 – Foto attraversamento via Sanminiatese esistente da monte (a sinistra) e da valle (a destra)

L'attraversamento così dimensionato, contestualmente all'intervento di risagomatura descritto in seguito, è in grado di far transitare la portata duecentennale con un franco di sicurezza pari ad 1 m.

Il nuovo attraversamento avrà inizio più a valle rispetto all'imbocco del tubo attuale, per una lunghezza complessiva del manufatto allo stato di progetto di 20 m, rispetto quasi 40 m del tratto tombato esistente, agevolando notevolmente la sua manutenzione.

4.2.3. Attraversamento rampa di accesso alla variante.

Si prevede di realizzare l'attraversamento della rampa di accesso alla variante (in corrispondenza della sezione 14.5 del modello) mediante uno scatolare di dimensioni 1.70 m x 2.20 m (cfr. tavola particolari costruttivi).

L'attraversamento così dimensionato è in grado di far transitare la portata duecentennale con un franco di sicurezza superiore a 1 m.

4.2.4. Attraversamento strada sterrata a valle della rampa

Si prevede di demolire l'attraversamento agricolo esistente immediatamente a monte della zona destinata a cassa di espansione (foto accanto) e sostituirlo con uno scatolare di dimensioni 1.70 m x 2.20 m (cfr. tavola particolari costruttivi).

L'attraversamento così dimensionato è in grado di far transitare la portata duecentennale con un franco di sicurezza di oltre 1 m.



Figura 22 – Attraversamento agricolo esistente (foto da monte)

4.3. Intervento di risagomatura

Si prevede di effettuare un intervento risagomatura nel tratto a valle dell'attraversamento della Sanminiatese (tratto sez. 20 - sez. 12) e contestualmente di demolire le briglie esistenti in corrispondenza della sezione 17 e della sezione 18.

L'intervento permette di ridurre i battenti in corrispondenza dell'attraversamento della Sanminiatese e di garantire il funzionamento non in pressione dell'attraversamento della variante, con franchi di sicurezza di quasi 0.5 m, poiché comporta un notevole abbassamento dei battenti a valle dello stesso (vedi allegati idraulici). Inoltre la demolizione delle briglie a monte e a valle dell'attraversamento della variante impedisce allo stesso di interrarsi e ne permette una più facile e adeguata manutenzione.

4.4. 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.

Particolare attenzione dovrà essere rivolta alla manutenzione della briglia tarata prevista immediatamente a valle della soglia di sfioro per garantirne la luce progettata e il conseguente corretto funzionamento della soglia stessa.

Inoltre, date le ridotte pendenze del tratto in esame, si dovrà porre particolare accuratezza nella manutenzione degli attraversamenti, soprattutto in corrispondenza di quello esistente della variante che presenta franchi di sicurezza minori.

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.

5. CONCLUSIONI

La seguente relazione è stata redatta al fine di approfondire le verifiche idrauliche già precedentemente eseguite, attraverso una modellazione in moto vario. Gli interventi dimensionati sul Rio Grassellino hanno lo scopo di mitigare il rischio idraulico per eventi con $T_r=200$ anni, garantendo il deflusso delle portate previste sui manufatti della Variante alla S.S. 429 che interferiscono con lo stesso corso d'acqua.

Le opere idrauliche di mitigazione, oltre a diminuire notevolmente il rischio idraulico nelle aree di influenza del Rio Grassellino, non determinano aggravio idraulico a valle dell'intervento, e garantiscono sufficienti franchi di sicurezza sia nei manufatti esistenti che in quelli previsti.

In previsione di un'ulteriore sistemazione del fosso, nel tratto di monte, ove comunque rimangono dei fenomeni di esondazione (seppur notevolmente ridotti rispetto allo stato attuale), le opere idrauliche che si vanno a realizzare garantiscono un adeguato smaltimento delle portate in arrivo.

Il Progettista :
Dott. Ing. Gesualdo Bavecchi