



UNIVERSITÀ DI PARMA

INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE
CORSO MAGISTRALE IN INGEGNERIA IDRAULICA

PROTEZIONE IDRAULICA DEL TERRITORIO QUADERNO ESERCITAZIONI

di:
Gabriele Simonetta
Matr. 288832

Anno accademico 2017 – 2018

Indice

1	Previsione di piena mediante modello idrologico	1
1.1	Presentazione problematica	1
1.2	Modello afflussi-deflussi	1
1.2.1	SCS Curve number	3
1.2.2	Clark unite Hydrograph	4
1.2.3	Modello dinamico dell'onda	5
1.3	Fase di calibrazione	5
1.4	Modello globale	6
1.4.1	Procedura di ottimizzazione	7
1.5	Modello semidistribuito	10
1.5.1	Procedura di ottimizzazione	10
1.5.2	Ricerca miglior parametri	13
1.6	Conclusioni	14
2	Propagazione piena mediante modello idraulico	17
2.1	Inquadramento della problematica	17
2.1.1	HEC-RAS	17
2.2	Taratura parametri	19
2.3	Modellazione con cassa in linea	20
2.4	Modellazione senza cassa in linea	22
	Bibliografia	23
A	Previsione di piena mediante modello idrologico	25
B	Propagazione piena mediante modello idraulico	29

Elenco delle figure

1.1	Piogge lorde registrate nelle stazioni	2
1.2	Epurazione pioggia netta da lorda secondo il metodo SCS-CN . .	3
1.3	Passaggi logici idrogramma unitario istantaneo	4
1.4	Passaggi logici idrogramma unitario istantaneo	5
1.5	Onda di piena registrata alla sezione di chiusura	6
1.6	Finestra di rappresentazione dell'alveo in HEC-HMS	7
1.7	Ricerca miglior CN approssimante l'onda osservata	8
1.8	Ricerca miglior tc approssimante l'onda osservata	9
1.9	Riproduzione onde simulate in HEC-HMS	9
1.10	Finestra di rappresentazione dell'alveo, modello semidistribuito, in HEC-HMS	10
1.11	Onde a confronto variando K	12
1.12	Ottimizzazione parametri	14
1.13	Miglior approssimazione modello globale	15
1.14	Miglior approssimazione modello semi-distribuito	15
2.1	Sezione Ponte Ferrovia	18
2.2	Geometria torrente Parma	18
2.3	Condizioni al contorno	20
2.4	Condizioni al contorno di monte	20
2.5	Altezze idriche simulate	21
2.6	Altezze idriche raggiunte a confronto	22

Elenco delle tabelle

1.1 Variabili bacino	5
1.2 Suddivisione in topoi di aree del bacino afferenti le stazioni	6
1.3 Ricerca miglior CN approssimante l'onda osservata	7
1.4 Ricerca miglior t_c approssimante l'onda osservata	8
1.5 Parametri di primo tentativo e geometria	11
1.6 Calibrazione Curve Number	13
1.7 Calibrazione tempo di corrivazione t_c e costante d'invaso k	13
2.1 Calibrazione coefficiente di Manning	21
A.1 Ottimizzazione Courve Number	26
A.2 Ottimizzazione tempo di corrivazione	27
B.1 Condizioni al contorno di monte	30
B.2 Confronto onde con vari coefficienti di Manning con cassa di laminazione	31
B.3 Confronto onde con vari coefficienti di Manning senza cassa di laminazione	32

1

Previsione di piena mediante modello idrologico

1.1 Presentazione problematica

Con il progredire delle urbanizzazioni, anche a ridosso dei fiumi, e la riduzione delle aree verdi si arriva inevitabilmente ad un incremento di stress sui bacini limitrofi alle città. L'eliminazione delle cause appena descritte risulta essere ormai impossibile, la loro riduzione comporterebbe un freno all'espansione urbanistica, evento anch'esso inesorabile.

È quindi necessario riuscire a determinare come si ridistribuiscono le piogge cadute su un determinato bacino, per riuscire a determinare, poi, come si costituisce il deflusso superficiale e le relative onde di piena.

Per fare ciò vi sono varie vie: la costituzioni di modelli fisici, modelli teorici o modelli numerici. Quest'ultimi hanno trovato, dato l'elevata capacità di calcolo che i calcolatori hanno raggiunto, copiose applicazioni e software per la modellazione.

1.2 Modello afflussi-deflussi

I modelli numerici si basano su due schematizzazioni principali:

- I modelli globali, costituiti da poche variabili ma spesso mal approssimanti i fenomeni, considerano in un unico blocco l'intero bacino *tenendo conto*

1. Previsione di piena mediante modello idrologico

globalmente delle sue caratteristiche medie e considerando sempre una precipitazione $p(t)$ uniformemente distribuita nello spazio (Becciu and Paoletti, 2010, p.247);

- i modelli distribuiti calcolano ogni singola variabile in tutti i punti in cui il bacino è discretizzato costituendo perciò una mole di calcolo che, date le incertezze iniziali, spesso risulta eccessiva e superflua.

Fra le due schematizzazioni bisogna citare anche i modelli semi-distribuiti consistenti nello schematizzare il bacino in una serie di sotto-bacini e su di essi calcolare le possibili variabili specializzandole per ciascuna area ¹. *Tali modelli sono quindi "distribuiti", nel senso che determinano la formazione delle piene separatamente per ogni sottobacino in funzione delle specifiche caratteristiche idrologiche, ma risentono anche della logica "globale", in quanto in ogni sottobacino i processi idrologici vengono simulati appunto con tale tipo di logica (Becciu and Paoletti, 2010, p.247).* I modelli di seguito utilizzati risultano essere quelli globali e quelli semi-distribuiti. Lo scopo di questi modelli è quello di determinare, a partire dalle precipitazioni statisticamente rilevanti, le caratteristiche principali delle onde di piena (portata al colmo, volume della piena e forma dell'idrogramma). Data l'incertezza sulla perfetta determinazione dell'onda uscente risulta necessario affrontare il problema in termini probabilistici, considerando la piena come una variabile casuale. Le precipitazioni risultano l'input del modello e possono essere riportate come un ietogramma sintetico, riassumendo varie precipitazioni gravose in un unico ietogramma, oppure una serie di ietogrammi reali riguardanti un particolare evento come si è effettuato in questa esercitazione figura 1.1.

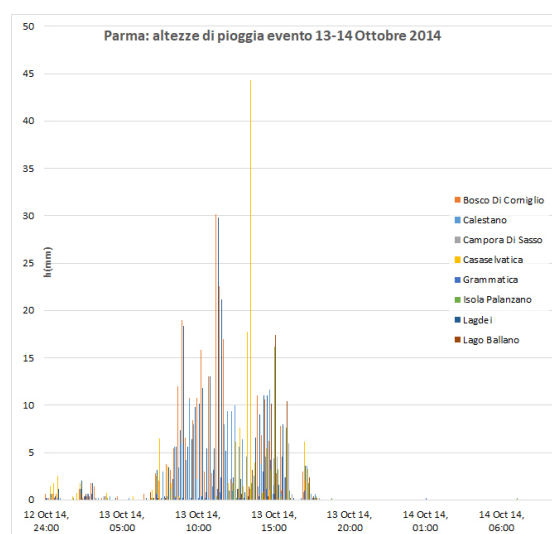


Figura 1.1: Piogge lorde registrate nelle stazioni

¹Come si vedrà per il calcolo del curve number (CN)

1.2.1 SCS Curve number

Il metodo SCS-CN, acronimo di Soil Conservation Service - Curve Number (CN) è un metodo per la separazione dalla pioggia perduta, infiltrata, rispetto alla pioggia netta, cioè quella che darà luogo a deflusso superficiale. In figura 1.2 se ne riporta lo schema concettuale

La formula di tale epurazione è la seguente

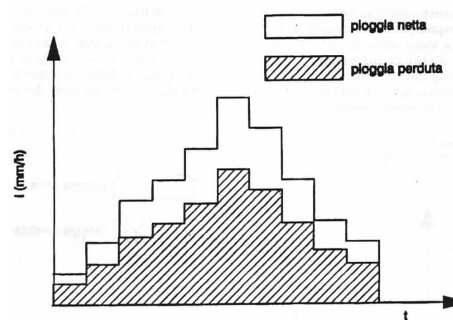


Figura 1.2: Epurazione pioggia netta da lorda secondo il metodo SCS-CN

$$P_{netta} = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (1.1)$$

Ove

- P pioggia lorda;
- I_a descrive vari fenomeni, fra i quali l'intercettazione fogliale e l'accumulo nelle depressioni superficiali. Essendo di difficile taratura risulta conveniente legarlo a S . $I_a = 0.2S$;
- S volume specifico di saturazione, dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo, globalmente rappresentati dal parametro CN

$$S = S_0 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right);$$
- S_0 fattore di scala 254 [mm];

Come riporta (Paola *et al.*, 2016) il metodo SCS-CN non è l'unico metodo a disposizione per determinare la pioggia netta² ma risulta essere quello implementato nel programma di Hec-HMS.

²I risultati delle loro analisi suggeriscono, per una più accurata analisi, di testare anche altri metodi, dati i risultati spesso molto discordanti.

1. Previsione di piena mediante modello idrologico

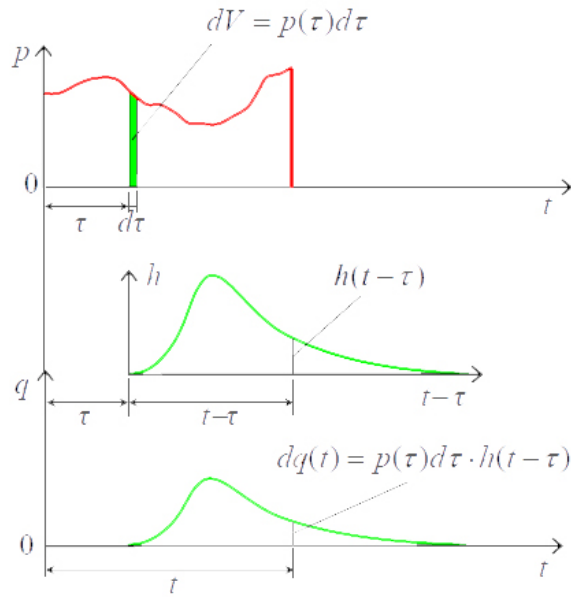


Figura 1.3: Passaggi logici idrogramma unitario istantaneo

1.2.2 Clark unite Hydrograph

Il diagramma unitario istantaneo permette di determinare, note le piogge nette, quali saranno le portate effluenti e il relativo proseguimento temporale. In figura 1.3 si riporta concettualmente l'applicazione dell' IUH= $h(t - \tau)$ (Instant Unit Hydrograph) . Si dimostra che le portate effluenti al sistema risultano essere pari a $q(t) = \int_0^t p(\tau)h(t - \tau)d\tau$.

Nel software viene implementato per dimensionare i *subbasin*, i punti di raccolta delle piogge. Il modello implementato è una combinazione di due idrogrammi sintetici:

- Modello della corrivazione, ritarda i tempi di corrivazione in funzione della grandezza del bacino:

$$h(t) = \begin{cases} \frac{3}{\sqrt{2} \cdot t_c^{3/2}} t^{1/2} & 0 < t/t_c \leq 0.5 \\ \frac{3}{\sqrt{2} \cdot t_c^{3/2}} (t_c - t)^{1/2} & 0.5 < t/t_c \leq 1 \end{cases} \quad (1.2)$$

- Modello dell'invaso, schematizza la portata effluente come un invasore lineare $h(t) = \frac{1}{k} e^{-t/k}$;

Combinati in serie producono l'integrale di convoluzione: $h(t) = \int_0^t \frac{3}{\sqrt{2} \cdot t_c^{3/2}} \tau^{1/2} \frac{1}{k} e^{-t-\tau/k} d\tau$ per il tratto $t < 0.5t_c$.

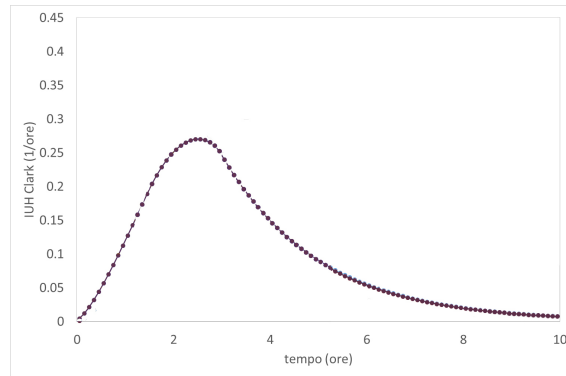


Figura 1.4: Passaggi logici idrogramma unitario istantaneo

Tabella 1.1: Variabili bacino

Area del bacino A_{tot}	333.468 [km^2]
Lunghezza asta principale L	61.895 [km]
Altitudine media del bacino z_{medio}	601.78 [m s.l.m.]
Pendenza media dell'asta principale i	0.028 [-]
Altitudine sezione di chiusura del bacino z_{out}	87 [m s.l.m.]
Tempo di corrvazione (forumla di Giandotti) t_c	9.139 [h]
Costante di invaso k	18.279 [h]
Curve Number CN	70

Effettuando calcoli analoghi per $0.5 < t/t_c \leq 1$ e $t > t_c$ si determina la forma d'onda riportata in figura 1.4

1.2.3 Modello dinamico dell'onda

Per i tronchi di trasferimento fra un *subbasin* e l'altro, definiti *reach*, si è fatto affidamento al *kinematic-wave model*, per approfondire il tema è possibile fare riferimento a (Miller, 1984). Tra i modelli implementati nel software citiamo inoltre Lag, Muskingum e Muskingum-Cunge.

1.3 Fase di calibrazione

Date le variabili in gioco riportate sinteticamente in tabella 1.1 si procede alla loro calibrazione per ottenere un'onda più simile possibile a quella riportata in figura 1.5. Per il calcolo del tempo di corrvazione si è fatto riferimento alla formula di Giandotti (applicabile su questo bacino $170 < A < 70000 \text{ km}^2$), essa permette di calcolare un t_c di primo tentativo pari a: $t_c = \frac{4\sqrt{A_{tot}} + 1.5L}{0.8\sqrt{\zeta}}$ le cui dimensioni di ogni grandezza sono riportate in tabella 1.1 e con $\zeta = z_{medio} - z_{out}$. Si è legata la costante di invaso al tempo di corrvazione tramite moltiplicazio-

1. Previsione di piena mediante modello idrologico

Tabella 1.2: *Suddivisione in topoieti delle aree del bacino afferenti le stazioni*

Nome stazione	Area topoieto [km^2]	Peso [-]
Bosco Di Corniglio	20.595	0.062
Calestano	13.488	0.040
Campora Di Sasso	33.599	0.101
Casaselvatica	13.568	0.041
Grammatica	33.835	0.101
Isola Palanzano	0.943	0.003
Lagdei	20.124	0.060
Lago Ballano	3.609	0.011
Langhirano	58.114	0.174
Marra	38.597	0.116
Musiara Superiore	78.968	0.237
Neviano Arduini	1.103	0.003
Panocchia	16.925	0.051

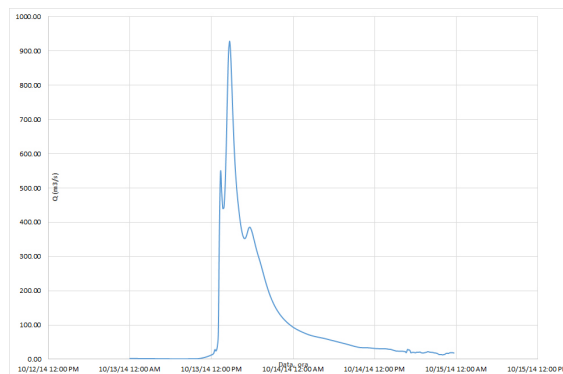


Figura 1.5: *Onda di piena registrata alla sezione di chiusura*

ne per due portando quindi alla formula $k = 2t_c$.

I valori noti riguardano:

- la geometria del bacino e la sua suddivisione in topoieti, in tabella 1.2;
- l’andamento delle piogge su ogni stazione, riportato graficamente in figura 1.1;
- l’onda di piena registrata nella sezione di chiusura cioè alla cassa di espansione sul Parma di cui in figura 1.5 se ne riporta l’andamento;

Questi dati permettono di avere tutti i parametri necessari alla modellazione numerica

1.4 Modello globale

Il modello globale consiste nello schematizzare il bacino in un unico invaso e di esso determinare tutti i parametri sopra citati per avvicinarsi il più possi-

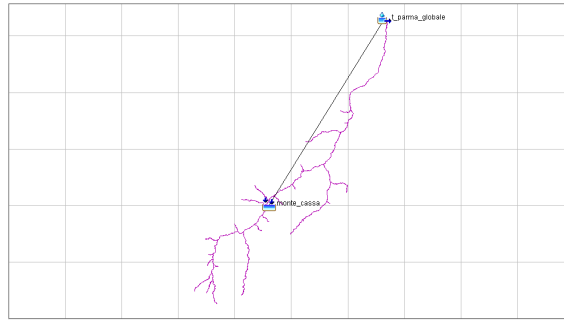


Figura 1.6: Finestra di rappresentazione dell'alveo in HEC-HMS

Tabella 1.3: Ricerca miglior CN approssimante l'onda osservata

CN [—]	V_{oss} [m ³]	V_{det} [m ³]	$V_{oss}-V_{det}$ [m ³]	CN [—]	V_{oss} [m ³]	V_{det} [m ³]	$V_{oss}-V_{det}$ [m ³]
60	50.52	23.25	27.27	80	50.52	51.04	-0.52
70	50.52	31.42	19.1	80.1	50.52	50.83	-0.31
71	50.52	40.86	9.66	80.2	50.52	50.61	-0.09
72	50.52	42.61	7.91	80.25	50.52	50.49	0.03
73	50.52	44.45	6.07	80.3	50.52	50.38	0.14
74	50.52	46.29	4.23	80.5	50.52	49.96	0.56
75	50.52	61.12	-10.6	81	50.52	48.89	1.63
75.5	50.52	60.17	-9.65	82	50.52	46.63	3.89
75.6	50.52	59.95	-9.43	83	50.52	44.51	6.01
75.7	50.52	59.78	-9.26	85	50.52	39.95	10.57
75.8	50.52	59.59	-9.07	86	50.52	55.535	-5.015
76	50.52	59.17	-8.65	87	50.52	55.971	-5.451
77	50.52	57.19	-6.67	88	50.52	56.407	-5.887
78	50.52	55.19	-4.67	89	50.52	56.843	-6.323
79	50.52	53.12	-2.6	90	50.52	27.83	22.69

bile all'onda di riferimento riportata in figura 1.5. In HEC-HMS implementare un semplice bacino di raccolta *sink* e uno d'uscita *subbasin* è di immediata realizzazione, in figura 1.6 se ne può vedere una riproduzione.

1.4.1 Procedura di ottimizzazione

Si è quindi proceduto, partendo dal valore di primo tentativo, a tarare i parametri.

In prima battuta si è fatto variare il curve number così da ottimizzare il volume osservato con quello determinato. In tabella 1.3 viene riportata la tabella di tale ricerca, riportata anche in forma grafica in figura 1.7.

1. Previsione di piena mediante modello idrologico

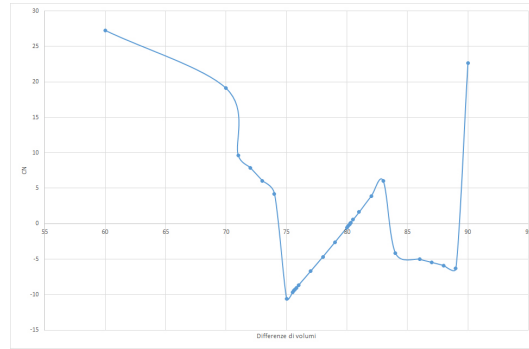


Figura 1.7: Ricerca miglior CN approssimante l'onda osservata

Tabella 1.4: Ricerca miglior t_c approssimante l'onda osservata

k	t_c	F	k	t_c	F
[h]	[h]		[h]	[h]	
1.00	0.50	-0.39	4.8	2.40	0.66
1.8	0.90	0.15	4.81	2.41	0.66
2	1.00	0.25	4.82	2.41	0.66
3.8	1.90	0.63	4.84	2.42	0.66
4	2.00	0.64	4.9	2.45	0.66
4.2	2.10	0.65	5	2.50	0.65
4.4	2.20	0.65	6	3.00	0.62
4.6	2.30	0.66			

Per la determinazione del miglior t_c si è proceduto in modo leggermente diverso. Si è usata la miglior funzione che potesse essere applicata nel caso di piena, cioè che tenesse conto maggiormente dei picchi, e quindi la più adeguata fra quelle in letteratura³ risulta essere la funzione Nash-Sutcliffe:

$$F = 1 - \frac{\sum_1^N (Q_0(i) - Q_s(i))^2}{\sum_1^N (Q_0(i) - \overline{Q_0})^2} \quad (1.3)$$

Ove Q_0 è la portata osservata.

È evidente dalla figura 1.9 che qualsiasi variazione del tempo di corrivazione o del curve number non porti alcun netto avvicinamento alla rappresentazione dell'onda osservata. Tale problematica viene superata con la realizzazione di modelli distribuiti e semi-distribuiti.

³Altri possibili metodi per l'obiettivo richiesto possono essere: Bias e Clabour - Moore.

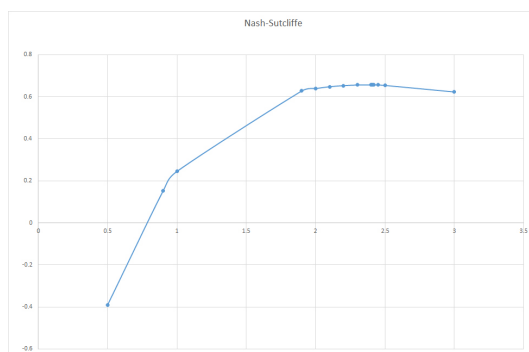


Figura 1.8: Ricerca miglior t_c approssimante l'onda osservata

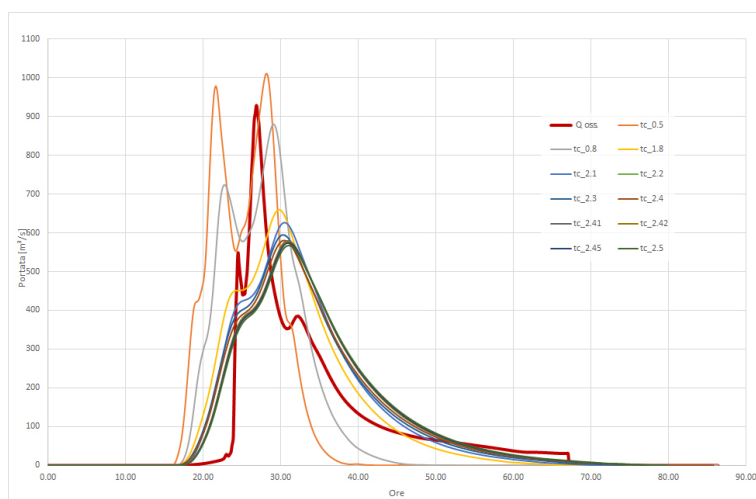


Figura 1.9: Riproduzione onde simulate in HEC-HMS

1.5 Modello semidistribuito

Il modello semi-distribuito consiste nel suddividere il bacino in esame in vari sottobacini e di perfezionare ogni variabile su ciascuno di essi. Costituiti i sottobacini come in figura 1.10 si procede alla calibrazione dei parametri di primo tentativo:

- L'indice CN è un numero adimensionale, compreso tra 0 e 100, funzione della natura del suolo, del tipo di copertura vegetale e delle condizioni di umidità del suolo antecedenti la precipitazione (Maione, 1999, p. 45) da tali osservazioni e considerando anche il risultato della modellazione globale si è ipotizzato un valore di primo tentativo prossimo ad 80 riportato in tabella 1.5;
- Il parametro t_c è stato calcolato per una prima approssimazione con la formula di Kirpich: $t_c = 0.000325L^{0.77} \cdot S^{-0.385}$ i cui valori sono riportati in tabella 1.5;
- Il parametro k è stato considerato in prima battuta pari al doppio di t_c ;

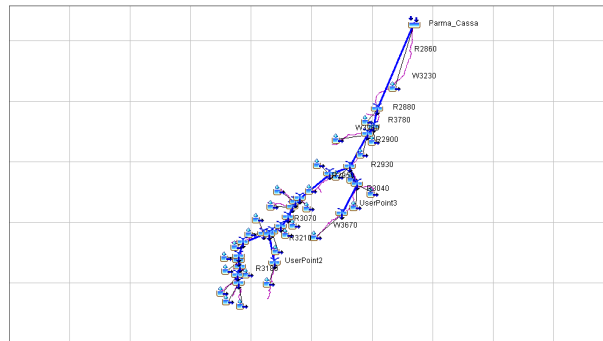


Figura 1.10: Finestra di rappresentazione dell'alveo, modello semidistribuito, in HEC-HMS

1.5.1 Procedura di ottimizzazione

Per ottimizzare i parametri sopra descritti si è proceduto per ciascuno di essi considerando le seguenti relazioni:

$$CN = \alpha CN_0$$

$$t_c = \beta t_{c0}$$

$$k = \gamma t_c$$

Si è quindi ricercato quale combinazione fra i parametri α , β e γ meglio approssimi l'onda osservata. Il parametro γ è stato calibrato dopo l'ottimizzazione

Tabella 1.5: Parametri di primo tentativo e geometria

Subbasin	Area [km ²]	CN ₀	River length [m]	<i>i</i> [-]	<i>t</i> _{c0} [h]	<i>K</i> ₀
W3770	3.537	91.365	1640.400	0.026	0.398	0.795
W3720	15.808	76.246	548.550	0.013	0.222	0.444
W3670	16.577	88.918	2826.125	0.048	0.476	0.953
W3620	19.250	71.019	10983.019	0.057	1.264	2.528
W3590	14.637	65.659	3881.866	0.056	0.570	1.141
W3580	5.569	60.610	2141.444	0.074	0.325	0.649
W3570	7.595	64.687	3914.886	0.107	0.448	0.896
W3540	5.863	83.386	774.693	0.119	0.124	0.247
W3530	8.354	83.636	1507.713	0.094	0.227	0.453
W3510	4.498	87.076	757.769	0.087	0.137	0.274
W3490	13.004	86.773	1937.597	0.087	0.282	0.565
W3450	12.109	87.090	548.550	0.128	0.092	0.185
W3440	4.007	87.306	1253.185	0.128	0.174	0.349
W3710	9.253	83.297	1545.526	0.122	0.208	0.417
W3410	7.769	85.216	1544.460	0.128	0.205	0.409
W3390	15.284	87.828	4158.196	0.074	0.541	1.083
W3370	9.053	87.375	3265.769	0.089	0.419	0.838
W3360	8.795	88.891	1824.049	0.105	0.251	0.503
W3330	13.958	77.514	3763.729	0.048	0.593	1.185
W3660	18.928	84.233	7749.295	0.023	1.362	2.725
W3310	25.934	89.311	895.404	0.013	0.329	0.658
W3300	8.073	90.228	1057.475	0.012	0.375	0.750
W3290	10.127	85.152	2945.900	0.019	0.701	1.401
W3280	5.943	78.640	2945.900	0.012	0.828	1.656
W3270	16.282	82.760	5745.700	0.010	1.482	2.965
W3260	15.992	91.273	5902.582	0.048	0.838	1.676
W3760	15.273	95.866	1801.206	0.021	0.461	0.923
W3230	22.624	88.218	15852.771	0.041	1.913	3.825

1. Previsione di piena mediante modello idrologico

del parametro β fissandolo, come già detto, pari a $\gamma = 2$.

In tabella A.2 ed in tabella A.1 sono riportati i valori provati del tempo di corrvazione e del curve number per ciascun sottobacino, mentre nelle figure 1.11 si riportano i risultati delle simulazioni in HEC-HMS delle onde di piena per ciascun parametro testato.

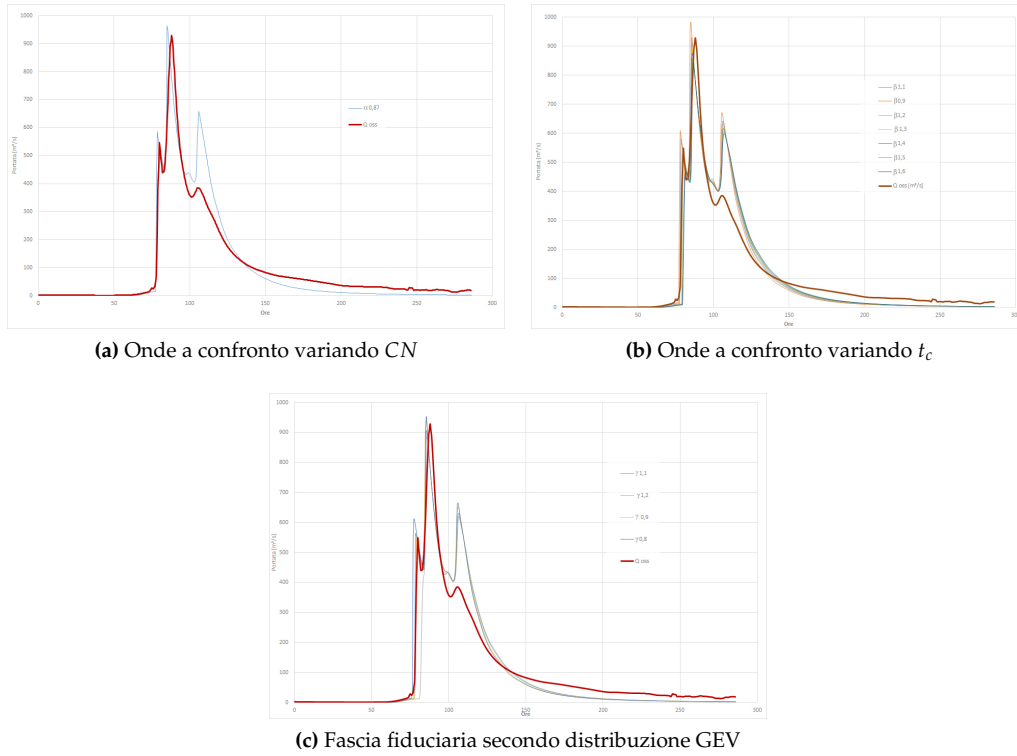


Figura 1.11: Onde a confronto variando K

1.5.2 Ricerca miglior parametri

La ricerca del miglior set di parametri è passata attraverso il calcolo degli scostamenti fra le onde simulate e quella osservata, così da rendere oggettiva la scelta. Per il calcolo del Curve Number si è ricercata l'uguaglianza fra i volumi e se ne è determinato l'errore percentuale, i valori sono riportati in tabella 1.6.

Per la calibrazione del tempo di corrivazione e della costante d'invaso si è

Tabella 1.6: Calibrazione Curve Number

α	V_{oss}	V_{ric}	er
1	50.43	65.79	30.46%
0.9	50.43	52.74	4.58%
0.88	50.43	51.54	2.20%
0.87	50.43	49.67	1.51%
0.5	50.43	16.26	67.76%

sfruttata la funzione obiettivo di Nash - Sutcliffe già riportata nell'equazione (1.3). In tabella 1.7 si riportano i valori di tale funzione.

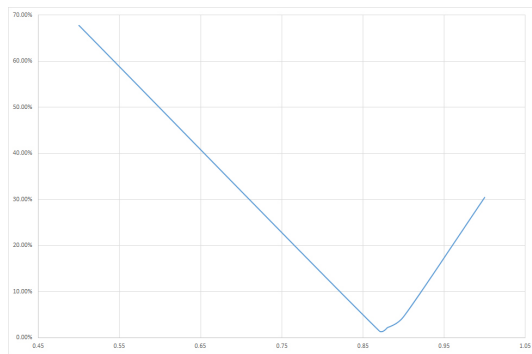
I valori delle tabelle 1.7 e 1.6 sono stati riportati graficamente nelle figure 1.12.

Tabella 1.7: Calibrazione tempo di corrivazione t_c e costante d'invaso k

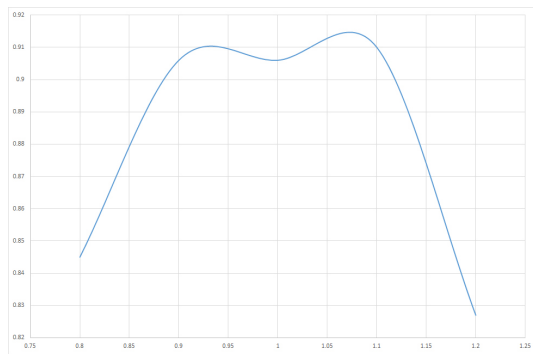
β	Nash - Sutcliffe	γ	Nash - Sutcliffe
0.9	0.859	0.8	0.845
1	0.895	0.9	0.906
1.1	0.906	1	0.906
1.15	0.908	1.1	0.91
1.2	0.908	1.2	0.827
1.3	0.892		
1.4	0.889		
1.5	0.892		
1.6	0.882		

Si nota quindi che i miglior parametri risultano essere: $\alpha = 0.9$, $\beta = 1.15$ e $\gamma = 1.1$. L'onda che se ne ricava è riportata in figura 1.14.

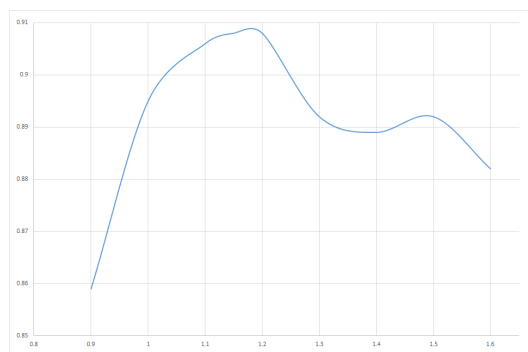
1. Previsione di piena mediante modello idrologico



(a) Ricerca miglior CN approssimante l'onda osservata



(b) Ricerca miglior K approssimante l'onda osservata



(c) Ricerca miglior tc approssimante l'onda osservata

Figura 1.12: Ottimizzazione parametri

1.6 Conclusioni

Le migliori onde dei modelli, globale e semi-distribuito, sono riportate nelle figure 1.13 e 1.14. Si nota un netto miglioramento della ricostruzione dell'onda dal modello globale a quello semidistribuito; in quest'ultimo si nota comunque un discostamento fra le onde, specie nel terzo picco.

Per migliorare maggiormente il secondo modello si potrebbe specializzare ancora di più i parametri α , β e γ ad esempio variandoli in base alla superficie dei bacini sottesi oppure sulla loro distanza rispetto alla sezione di chiusura.

Se così non fosse sufficiente si potrebbe considerare di discretizzazione ancora maggiore dell'intero bacino.

Tali calcoli non sono però oggetto di questa esercitazione, essendo comunque il risultato più che accettabile.

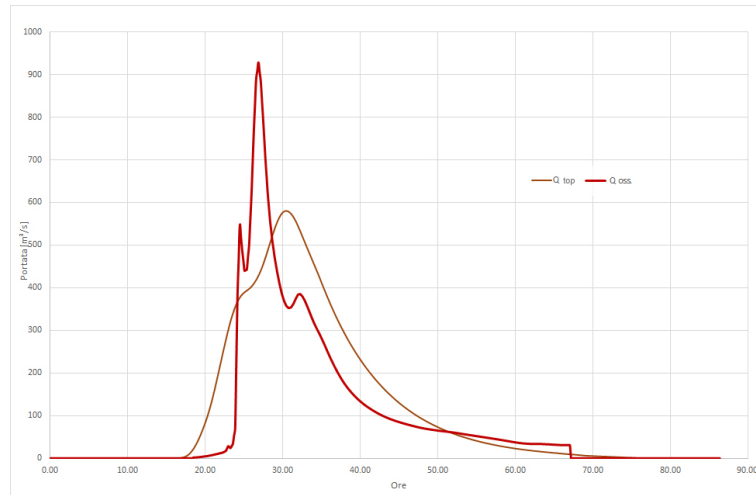


Figura 1.13: *Miglior approssimazione modello globale*

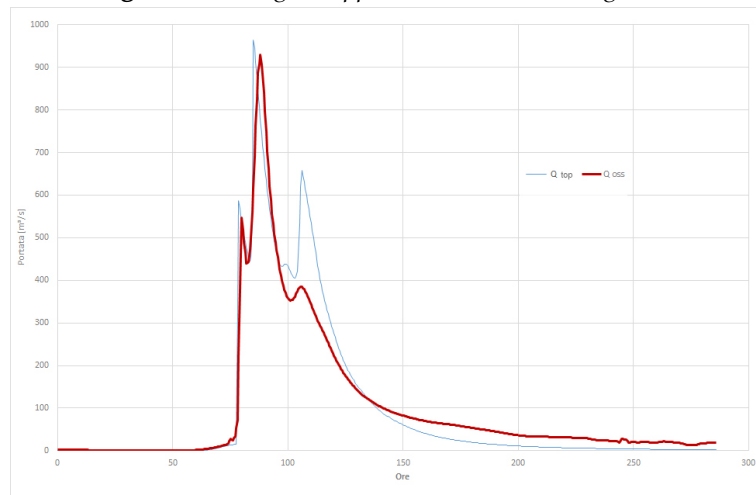


Figura 1.14: *Miglior approssimazione modello semi-distribuito*

2

Propagazione piena mediante modello idraulico

2.1 Inquadramento della problematica

Il torrente Parma risulta di importanza strategica per la gestione delle esondazioni nelle città di Parma e Colorno. Per contrastare questo fenomeno risulta di primaria necessità conoscere l'esatto processo evolutivo della piena e di tararne i relativi parametri così da rendere la previsione di una futura piena più accurata possibile.

2.1.1 HEC-RAS

Con il programma HEC-RAS risulta possibile studiare e conoscere approfonditamente il deflusso di una predeterminata portata all'interno di un alveo e determinare, ad esempio, ove gli argini non siano sufficienti a contenere tale portata.

In questa esercitazione si considera il tratto che va dalla cassa di espansione del Parma fino a valle del ponte della ferrovia appena fuori dalla città, considerando ovviamente l'immissione del Baganza, considerato da valle del Ponte Nuovo.

Geometria

Nella geometria sono state caricate tutte le sezioni richieste al topografo e i sette ponti presenti nel tratto in studio. Ove necessario infittire i dati, si è proceduto

2. Propagazione piena mediante modello idraulico

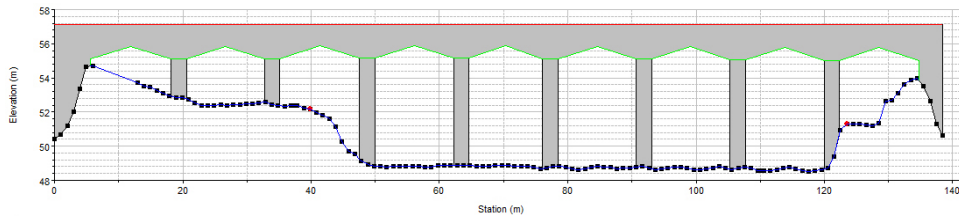


Figura 2.1: Sezione Ponte Ferrovia

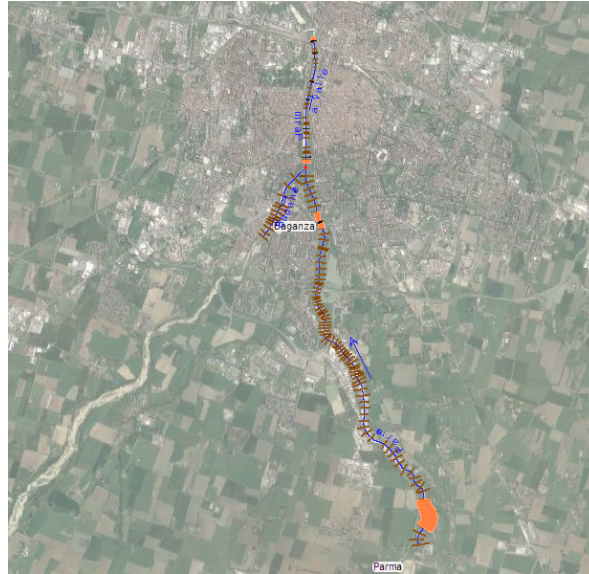


Figura 2.2: Geometria torrente Parma

ad interpolare i dati delle sezioni più vicine. In figura 2.1 si riporta un esempio di sezione del Ponte Ferrovia.

In figura 2.2 si presenta inoltre la completa geometria del torrente Parma implementata per la modellazione numerica.

Propagazione piena

Il modello implementato in Hec-ras è un modello di moto vario basato sulle equazioni di conservazione della massa e del bilancio della quantità di moto sotto le seguenti ipotesi:

- Moto monodimensionale permanente sviluppato lungo l'ascissa curvilinea x coincidente col thalweg, così che la cadente è determinabile con la formula di Chezy $J = \frac{v^2}{\chi^2 R}$;
- Curva delle pressioni idrostatiche, condizione vera nel caso di curvature delle traiettorie piccole;
- Velocità uniforme trasversalmente;

- Piccole pendenze del fondo;

Le due equazioni usate sono di seguito riportate in forma non conservativa:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{A}{B} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{v \partial h}{\partial x} + \frac{v}{B} \left(\frac{\partial A}{\partial x} \right)_{h=cost} = 0 \quad (2.1)$$

Bilancio di massa

$$\frac{\partial v}{g \partial t} + \frac{v \partial v}{g \partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} = (i - J) \quad (2.2)$$

Bilancio della quantità di moto (qm)

Da tali equazioni si determinano i metodi semplificati e quello delle linee caratteristiche. Da quest'ultimo metodo si comprendono le condizioni al contorno necessarie al modello numerico strutturato in Hec-ras. Infatti in caso di corrente lenta risultano necessarie una condizione di monte e una di valle, come riportato dalla figura 2.3. Ipotizzando inoltre la portata transitante costante nel tempo risultano determinate anche le condizioni iniziali.

Il programma Hec-Ras sfrutta il metodo alle differenze finite sviluppato da Preissmann che non richiede condizioni di stabilità. Il modello implementato considera lineari, con certa approssimazione i termini inerziali presenti in

Condizioni al contorno

Nell'ipotesi di corrente lenta, come si evince dalla figura 2.3, risultano necessarie due condizioni di monte, una per ciascun torrente che entra nel modello, e una per la condizione di valle. La condizione di valle è determinata imponendo una pendenza di 0.01 lasciando al software il compito di determinare, nota la sezione, quale sia la portata, tramite l'equazione di Chezy. Le condizioni di monte sono state imposte implementando le portate idriche del torrente Parma e quella che è la portata registrata al di sotto del Ponte Nuovo per il torrente Baganza. Tali portate, esposte in tabella B.1 graficate in figura 2.4, sono state determinate durante l'evento di piena del 13 e del 14 ottobre 2014. Le condizioni iniziali sono rispettate considerando prima della simulazione un moto stazionario con portata costante pari ai primi valori di tabella B.1.

2.2 Taratura parametri

I modelli idraulici, in teoria, non dovrebbero aver necessità alcuna di tarare i parametri data la base fisica che ciascuno di essi presenta. Risulta d'altro canto complicato tarare il parametro riguardante la scabrezza data la vasta area in esame. Esso viene riportato in ogni sezione come il coefficiente di Manning n .

2. Propagazione piena mediante modello idraulico

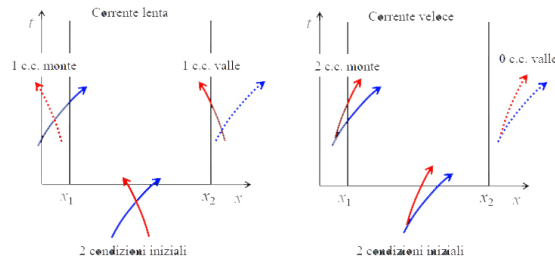


Figura 2.3: Condizioni al contorno

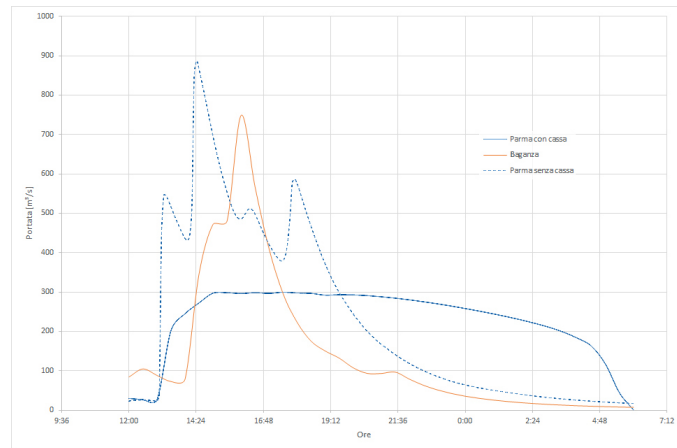


Figura 2.4: Condizioni al contorno di monte

È possibile legare il coefficiente di Manning, come si evince dal lavoro svolto da (Limerinos, 1970), al coefficiente più noto di Chezy necessario al calcolo della portata. Essendo quindi noto l'andamento delle portate nella sezione di Ponte Verdi è possibile confrontare l'onda ricostruita con quella osservata e calibrare correttamente il parametro n . La funzione sfruttata in questo scenario per la calibrazione è stata quella di Clabour - Moore: $F = \frac{\sum_{i=1}^n |Q_0(i) - Q_s(i)|}{\sum_{i=1}^n Q_0(i)}$. La simulazione è stata effettuata considerando la cassa in linea sul Parma (cap. 2.3) e successivamente è stata implementata l'onda in ingresso alla cassa nel programma per apprezzarne le eventuali differenze (cap.2.4).

2.3 Modellazione con cassa in linea

Per tarare il coefficiente di Manning si è ricercato quindi il valore minimo della funzione obiettivo sopra citata, si è fatto variare il coefficiente per tutte le sezioni fra 0.04 e 0.025 notando come in questo range sussiste un minimo. In tabella 2.1 si riportano i risultati delle prove effettuate, riportate in forma completa in tabella B.2 e in forma grafica in figura 2.5.

Tabella 2.1: Calibrazione coefficiente di Manning

n	F
0.025	0.0148
0.03	0.0144
0.033	0.0147
0.035	0.0135
0.04	0.0144

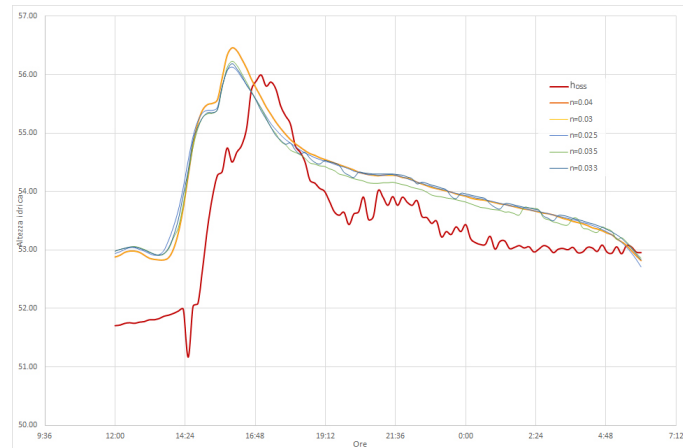


Figura 2.5: Altezze idriche simulate

Si capisce come il valore più prossimo a quello reale risulta essere $n = 0.035$. Per migliorare ancora maggiormente il risultato si potrebbe specializzare per vari tratti del modello il coefficiente di Manning, considerandone ad esempio uno per il tratto del Baganza, uno per il Parma prima della confluenza ed uno a valle di essa. Dato che i tratti coincidono con differenti situazioni in cui si trovano gli alvei, è facile immaginare che sussistono differenze fra l'alveo in città e quello appena fuori di essa.

2.4 Modellazione senza cassa in linea

La modellazione in assenza della cassa è stata implementata per apprezzare come la presenza di essa riduca il colmo della piena. Considerando quindi il medesimo coefficiente di Manning $n = 0.035$ si nota dalla figura 2.6 come l'onda venga ridimensionata e allungata nel tempo: tale fenomeno è classico delle casse d'espansione ed alla base del loro utilizzo. Si apprezza in particolare una riduzione della quota massima di circa 1 metro e di un generale, come detto, appiattimento. I valori dell'onda graficata in figura 2.6 sono riportati insieme alle altre simulazioni in tabella B.3.

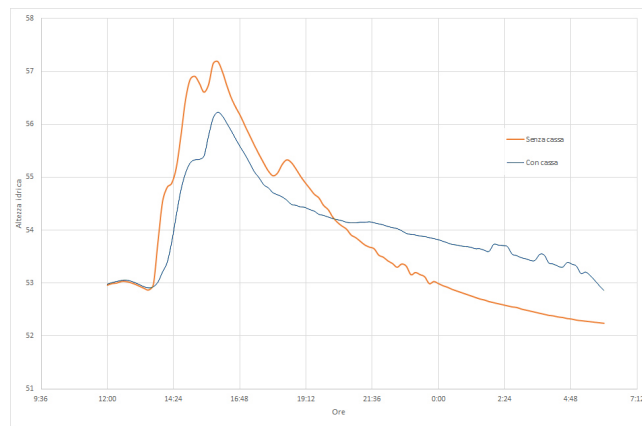


Figura 2.6: Altezze idriche raggiunte a confronto

L'entità del miglioramento risulta modesta, anche se, la cassa sembra offrire un'efficienza intorno al 65%.

Bibliografia

Becciu, G., and A. Paoletti (2010), *Fondamenti di costruzioni idrauliche*, Wolters Kluwer Italia.

Limerinos, J. T. (1970), Determination of the manning coefficient from measured bed roughness in natural channels.

Maione, U. (1999), *Le piene fluviali*, La goliardica.

Miller, J. (1984), *Basic concepts of kinematic-wave models*, USGS Publications Warehouse, <http://pubs.er.usgs.gov/publication/pp1302>.

Paola, F., A. Petroselli, N. Romano, and S. Grimaldi (2016), *Metodi misti di depurazione della pioggia basati sul Curve Number*, Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche.



Previsione di piena mediante modello idrologico

A. Previsione di piena mediante modello idrologico

Tabella A.1: *Ottimizzazione Courve Number*

α	0.9	0.88	0.5	0.87
CN0	CN1	CN2	CN3	CN4
91.365	82.228	82.228	45.682	79.487
76.246	68.622	68.622	38.123	66.334
88.918	80.026	80.026	44.459	77.359
71.019	63.917	63.917	35.509	61.786
65.659	59.094	59.094	32.830	57.124
60.610	54.549	54.549	30.305	52.730
64.687	58.218	58.218	32.343	56.277
83.386	75.047	75.047	41.693	72.546
83.636	75.272	75.272	41.818	72.763
87.076	78.368	78.368	43.538	75.756
86.773	78.096	78.096	43.387	75.493
87.090	78.381	78.381	43.545	75.768
87.306	78.575	78.575	43.653	75.956
83.297	74.967	74.967	41.648	72.468
85.216	76.695	76.695	42.608	74.138
87.828	79.045	79.045	43.914	76.410
87.375	78.637	78.637	43.687	76.016
88.891	80.002	80.002	44.446	77.335
77.514	69.762	69.762	38.757	67.437
84.233	75.810	75.810	42.117	73.283
89.311	80.380	80.380	44.656	77.701
90.228	81.205	81.205	45.114	78.498
85.152	76.637	76.637	42.576	74.082
78.640	70.776	70.776	39.320	68.416
82.760	74.484	74.484	41.380	72.001
91.273	82.145	82.145	45.636	79.407
95.866	86.280	86.280	47.933	83.404
88.218	79.396	79.396	44.109	76.750

Tabella A.2: *Ottimizzazione tempo di corruzione*

β	1.15	0.9	1.2	1.3	1.5	1.6
tc0	tc1	tc2	tc3	tc4	tc5	tc6
0.398	0.457	0.358	0.477	0.517	0.596	0.636
0.222	0.256	0.200	0.267	0.289	0.333	0.356
0.476	0.548	0.429	0.572	0.619	0.715	0.762
1.264	1.453	1.137	1.517	1.643	1.896	2.022
0.570	0.656	0.513	0.684	0.741	0.855	0.912
0.325	0.373	0.292	0.389	0.422	0.487	0.519
0.448	0.515	0.403	0.538	0.583	0.672	0.717
0.124	0.142	0.111	0.148	0.161	0.185	0.198
0.227	0.261	0.204	0.272	0.295	0.340	0.363
0.137	0.158	0.123	0.164	0.178	0.206	0.219
0.282	0.325	0.254	0.339	0.367	0.424	0.452
0.092	0.106	0.083	0.111	0.120	0.138	0.148
0.174	0.200	0.157	0.209	0.227	0.261	0.279
0.208	0.240	0.188	0.250	0.271	0.313	0.334
0.205	0.235	0.184	0.246	0.266	0.307	0.327
0.541	0.623	0.487	0.650	0.704	0.812	0.866
0.419	0.482	0.377	0.503	0.545	0.629	0.671
0.251	0.289	0.226	0.302	0.327	0.377	0.402
0.593	0.682	0.533	0.711	0.770	0.889	0.948
1.362	1.567	1.226	1.635	1.771	2.044	2.180
0.329	0.379	0.296	0.395	0.428	0.494	0.527
0.375	0.431	0.338	0.450	0.488	0.563	0.600
0.701	0.806	0.631	0.841	0.911	1.051	1.121
0.828	0.952	0.745	0.993	1.076	1.242	1.325
1.482	1.705	1.334	1.779	1.927	2.223	2.372
0.838	0.964	0.754	1.006	1.090	1.257	1.341
0.461	0.531	0.415	0.554	0.600	0.692	0.738
1.913	2.200	1.721	2.295	2.486	2.869	3.060

B

Propagazione piena mediante
modello idraulico

B. Propagazione piena mediante modello idraulico

Tabella B.1: *Condizioni al contorno di monte*

Date	Monte della cassa Parma	Valle della cassa Parma	Ponte Nuovo Baganza
10/13/2014 12:00	23.640	29.99	84.32
10/13/2014 12:30	26.250	27.14	104.73
10/13/2014 13:00	23.590	26.07	88.44
10/13/2014 13:30	517.30	202.27	72.92
10/13/2014 14:00	437.33	244.94	78.36
10/13/2014 14:30	867.67	272.37	345.74
10/13/2014 15:00	697.08	297.26	472.03
10/13/2014 15:30	554.54	298.36	480.5
10/13/2014 16:00	486.08	296.21	748.41
10/13/2014 16:30	498.72	298.45	566.52
10/13/2014 17:00	421.73	296.61	409.46
10/13/2014 17:30	380.07	299.75	295.61
10/13/2014 18:00	576.29	297.71	223.1
10/13/2014 18:30	467.28	296.69	175.18
10/13/2014 19:00	372.69	292.23	150.45
10/13/2014 19:30	299.82	293.38	132.32
10/13/2014 20:00	245.55	292.85	107.68
10/13/2014 20:30	200.97	291	93.54
10/13/2014 21:00	168.31	288.17	93.37
10/13/2014 21:30	141.96	284.57	96.81
10/13/2014 22:00	119.44	280.33	79.07
10/13/2014 22:30	101.20	275.53	63.56
10/13/2014 23:00	86.340	270.27	51.68
10/13/2014 23:30	74.070	264.48	42.56
10/14/2014 0:00	64.700	258.22	35.52
10/14/2014 0:30	57.100	251.61	30.1
10/14/2014 1:00	51.120	244.63	25.79
10/14/2014 1:30	45.720	237.24	22.18
10/14/2014 2:00	40.660	229.2	19.17
10/14/2014 2:30	36.190	220.25	16.71
10/14/2014 3:00	32.280	210.34	14.63
10/14/2014 3:30	28.900	198.28	12.88
10/14/2014 4:00	25.930	182.9	11.38
10/14/2014 4:30	23.370	162.51	10.13
10/14/2014 5:00	21.110	116.89	9.06
10/14/2014 5:30	19.150	43.99	8.15
10/14/2014 6:00	17.430	0.71	7.36

Tabella B.2: Confronto onde con vari coefficienti di Manning con cassa di laminazione

Ore	n	0.04		0.03		0.025		0.035		0.033	
	h_{oss}	h_{ric}	$ h_{oss}-h_{ric} $	h_{ric}	$ h_{oss}-h_{ric} $	h_{ric}	$ h_{oss}-h_{ric} $	h_{ric}	$ h_{oss}-h_{ric} $	h_{ric}	$ h_{oss}-h_{ric} $
12:00	51.705	53.07	1.365	52.8	1.095	52.66	0.955	52.94	1.235	52.89	1.185
12:30	51.755	53.2	1.445	52.92	1.165	52.75	0.995	53.07	1.315	53.01	1.255
13:00	51.775	53.2	1.425	52.9	1.125	52.72	0.945	53.05	1.275	52.98	1.205
13:30	51.825	53.04	1.215	52.75	0.925	52.6	0.775	52.9	1.075	52.84	1.015
14:00	51.915	53.03	1.115	52.77	0.855	52.62	0.705	52.92	1.005	53	1.085
14:30	51.165	54.39	3.225	54.14	2.975	53.95	2.785	54.27	3.105	54.24	3.075
15:00	52.705	55.74	3.035	55.29	2.585	55.03	2.325	55.53	2.825	55.37	2.665
15:30	54.275	55.92	1.645	55.43	1.155	55.14	0.865	55.69	1.415	55.6	1.325
16:00	54.505	56.65	2.145	56.14	1.635	55.86	1.355	56.4	1.895	56.26	1.755
16:30	55.085	56.5	1.415	55.93	0.845	55.62	0.535	56.22	1.135	56.09	1.005
17:00	55.995	56.09	0.095	55.54	0.455	55.23	0.765	55.82	0.175	55.71	0.285
17:30	55.755	55.68	0.075	55.17	0.585	54.88	0.875	55.43	0.325	55.33	0.425
18:00	55.155	55.38	0.225	54.9	0.255	54.62	0.535	55.15	0.005	55.06	0.095
18:30	54.505	55.17	0.665	54.71	0.205	54.45	0.055	54.95	0.445	54.86	0.355
19:00	54.055	55.03	0.975	54.58	0.525	54.31	0.255	54.81	0.755	54.72	0.665
19:30	53.655	54.94	1.285	54.5	0.845	54.24	0.585	54.73	1.075	54.64	0.985
20:00	53.435	54.84	1.405	54.41	0.975	54.15	0.715	54.63	1.195	54.55	1.115
20:30	53.905	54.76	0.855	54.32	0.415	54.08	0.175	54.55	0.645	54.46	0.555
21:00	54.015	54.72	0.705	54.29	0.275	54.05	0.035	54.52	0.505	54.43	0.415
21:30	53.915	54.72	0.805	54.3	0.385	54.05	0.135	54.52	0.605	54.43	0.515
22:00	53.815	54.68	0.865	54.27	0.455	54	0.185	54.48	0.665	54.4	0.585
22:30	53.575	54.59	1.015	54.17	0.595	53.92	0.345	54.39	0.815	54.3	0.725
23:00	53.495	54.5	1.005	54.09	0.595	53.84	0.345	54.31	0.815	54.23	0.735
23:30	53.265	54.43	1.165	54.02	0.755	53.77	0.505	54.25	0.985	54.14	0.875
0:00	53.435	54.36	0.925	53.96	0.525	53.71	0.275	54.16	0.725	54.09	0.655
0:30	53.095	54.3	1.205	53.91	0.815	53.66	0.565	54.11	1.015	54.03	0.935
1:00	53.015	54.25	1.235	53.84	0.825	53.6	0.585	54.06	1.045	53.97	0.955
1:30	53.025	54.19	1.165	53.79	0.765	53.55	0.525	54	0.975	53.92	0.895
2:00	53.035	54.13	1.095	53.73	0.695	53.5	0.465	53.94	0.905	53.87	0.835
2:30	53.015	54.08	1.065	53.68	0.665	53.45	0.435	53.89	0.875	53.81	0.795
3:00	52.955	54.01	1.055	53.62	0.665	53.4	0.445	53.83	0.875	53.75	0.795
3:30	53.005	53.95	0.945	53.56	0.555	53.34	0.335	53.77	0.765	53.68	0.675
4:00	52.965	53.87	0.905	53.49	0.525	53.28	0.315	53.69	0.725	53.61	0.645
4:30	52.975	53.78	0.805	53.41	0.435	53.2	0.225	53.61	0.635	53.52	0.545
5:00	52.945	53.66	0.715	53.3	0.355	53.09	0.145	53.5	0.555	53.41	0.465
5:30	53.075	53.48	0.405	53.13	0.055	52.94	0.135	53.31	0.235	53.22	0.145
6:00	52.955	53.16	0.205	52.84	0.115	52.67	0.285	53.01	0.055	52.92	0.035
	F		0.02059		0.01412		0.01098		0.01733		0.01605

Tabella B.3: Confronto onde con vari coefficienti di Manning senza cassa di laminazione

	n	0.04		0.03		0.025		0.035		0.033	
Ore	h_{oss}	h_{tric}	$ h_{oss}-h_{tric} $	h_{tric}	$ h_{oss}-h_{tric} $	h_{tric}	$ h_{oss}-h_{tric} $	h_{tric}	$ h_{oss}-h_{tric} $	h_{tric}	$ h_{oss}-h_{tric} $
12:00	52.97	53.07	1.365	52.8	1.095	52.66	0.955	52.94	1.235	52.89	1.185
12:30	1.265	53.2	1.445	52.92	1.165	52.75	0.995	53.07	1.315	53.01	1.255
13:00	52.95	53.2	1.425	52.9	1.125	52.72	0.945	53.05	1.275	52.98	1.205
13:30	1.245	53.04	1.215	52.75	0.925	52.6	0.775	52.9	1.075	52.84	1.015
14:00	52.93	53.03	1.115	52.77	0.855	52.62	0.705	52.92	1.005	53	1.085
14:30	1.225	54.39	3.225	54.14	2.975	53.95	2.785	54.27	3.105	54.24	3.075
15:00	52.96	55.74	3.035	55.29	2.585	55.03	2.325	55.53	2.825	55.37	2.665
15:30	1.255	55.92	1.645	55.43	1.155	55.14	0.865	55.69	1.415	55.6	1.325
16:00	52.96	56.65	2.145	56.14	1.635	55.86	1.355	56.4	1.895	56.26	1.755
16:30	1.255	56.5	1.415	55.93	0.845	55.62	0.535	56.22	1.135	56.09	1.005
17:00	52.95	56.09	0.095	55.54	0.455	55.23	0.765	55.82	0.175	55.71	0.285
17:30	1.195	55.68	0.075	55.17	0.585	54.88	0.875	55.43	0.325	55.33	0.425
18:00	53.02	55.38	0.225	54.9	0.255	54.62	0.535	55.15	0.005	55.06	0.095
18:30	1.265	55.17	0.665	54.71	0.205	54.45	0.055	54.95	0.445	54.86	0.355
19:00	53.01	55.03	0.975	54.58	0.525	54.31	0.255	54.81	0.755	54.72	0.665
19:30	1.255	54.94	1.285	54.5	0.845	54.24	0.585	54.73	1.075	54.64	0.985
20:00	53.03	54.84	1.405	54.41	0.975	54.15	0.715	54.63	1.195	54.55	1.115
20:30	1.275	54.76	0.855	54.32	0.415	54.08	0.175	54.55	0.645	54.46	0.555
21:00	53.02	54.72	0.705	54.29	0.275	54.05	0.035	54.52	0.505	54.43	0.415
21:30	1.265	54.72	0.805	54.3	0.385	54.05	0.135	54.52	0.605	54.43	0.515
22:00	52.88	54.68	0.865	54.27	0.455	54	0.185	54.48	0.665	54.4	0.585
22:30	1.105	54.59	1.015	54.17	0.595	53.92	0.345	54.39	0.815	54.3	0.725
23:00	52.97	54.5	1.005	54.09	0.595	53.84	0.345	54.31	0.815	54.23	0.735
23:30	1.195	54.43	1.165	54.02	0.755	53.77	0.505	54.25	0.985	54.14	0.875
0:00	52.96	54.36	0.925	53.96	0.525	53.71	0.275	54.16	0.725	54.09	0.655
0:30	1.185	54.3	1.205	53.91	0.815	53.66	0.565	54.11	1.015	54.03	0.935
1:00	52.98	54.25	1.235	53.84	0.825	53.6	0.585	54.06	1.045	53.97	0.955
1:30	1.205	54.19	1.165	53.79	0.765	53.55	0.525	54	0.975	53.92	0.895
2:00	52.97	54.13	1.095	53.73	0.695	53.5	0.465	53.94	0.905	53.87	0.835
2:30	1.195	54.08	1.065	53.68	0.665	53.45	0.435	53.89	0.875	53.81	0.795
3:00	52.81	54.01	1.055	53.62	0.665	53.4	0.445	53.83	0.875	53.75	0.795
3:30	0.985	53.95	0.945	53.56	0.555	53.34	0.335	53.77	0.765	53.68	0.675
4:00	52.87	53.87	0.905	53.49	0.525	53.28	0.315	53.69	0.725	53.61	0.645
4:30	1.045	53.78	0.805	53.41	0.435	53.2	0.225	53.61	0.635	53.52	0.545
5:00	52.88	53.66	0.715	53.3	0.355	53.09	0.145	53.5	0.555	53.41	0.465
5:30	1.055	53.48	0.405	53.13	0.055	52.94	0.135	53.31	0.235	53.22	0.145
6:00	52.87	53.16	0.205	52.84	0.115	52.67	0.285	53.01	0.055	52.92	0.035
	F		0.01781		0.01705		0.01711		0.01704		0.01700

B. Propagazione piena mediante modello idraulico