



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE

PIANO STRAORDINARIO PER LA MITIGAZIONE DEL
RISCHIO IDROGEOLOGICO

Art. 2, comma 240, Legge 23 dicembre 2009, n. 191

REGIONE
TOSCANA



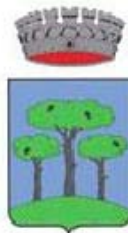
**ACCORDO DI PROGRAMMA MATTM-REGIONE TOSCANA
3 NOVEMBRE 2010**



COMMISSARIO STRAORDINARIO DELEGATO
DPCM 10 DICEMBRE 2010

INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA TORRENTE MASSELLONE A
DIFESA DELL'ABITATO

Stralcio Funzionale - Intervento 52, 1° e 2° Lotto
Ordinanza 29 novembre 2012, n. 19



COMUNE DI GAIOLE IN CHIANTI

INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA IDRAULICA
TORRENTE MASSELLONE A DIFESA DELL'ABITATO

Stralcio Funzionale - Intervento 52, 1° e 2° Lotto

PROGETTO ESECUTIVO

CUP F52J12000210002 e F52D12000250002

PROGETTISTI: Ing. Giacomo Gazzini



AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE
PER LA QUALITÀ CERTIFICATO DA DNV
= UNI EN ISO 9001:2008 =

Via Cardinal Latino, 20
50126 Firenze
Tel/Fax 055 65 87 050
e-mail info@studiohydrogeo.it

HydroGeo

Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

Studio Tecnico Associato Ingg. G. Gazzini, T. Staiano

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
Geom. Nadia Anichini

Relazione Idrologica Idraulica

Prot.	Data: OTTOBRE 2013	Scala:	File:	Aggiornamenti: Rev A
-------	-----------------------	--------	-------	-------------------------

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	ANALISI IDROLOGICA.....	3
3	VERIFICHE IDRAULICHE	4
3.1	ANALISI IDRAULICA STATO ATTUALE	4
3.1.1	<i>Caratterizzazione geometrica del tratto fluviale</i>	<i>4</i>
3.1.2	<i>Analisi delle condizioni al contorno e scelta dei parametri del modello.....</i>	<i>5</i>
3.1.3	<i>Verifiche idrauliche e analisi dei risultati</i>	<i>5</i>
3.2	ANALISI IDRAULICA STATO DI PROGETTO	8
3.2.1	<i>Descrizione degli interventi di sistemazione idraulica.....</i>	<i>8</i>
3.2.2	<i>Analisi delle condizioni al contorno e scelta dei parametri del modello.....</i>	<i>9</i>
3.2.3	<i>Verifiche idrauliche e analisi dei risultati</i>	<i>9</i>
	APPENDICE 1. MODELLISTICA IDROLOGICA.....	12
	APPENDICE 2. MODELLISTICA IDRAULICA.....	16

1 Premessa

Con Accordo di programma tra il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare e la Regione Toscana del 3 novembre 2010, sono individuati gli interventi urgenti e prioritari per la mitigazione del rischio idrogeologico.

Nell'Allegato 1 al sopra citato Accordo di programma, si riporta, tra quelli da realizzare in Toscana, nel centro abitato del capoluogo del comune di Gaiole in Chianti (SI), l'Intervento di messa in sicurezza idraulica del Borro Grande a difesa dell'abitato (stralcio funzionale), dell'importo presunto di 1.800.000,00 euro, individuato dal Commissario straordinario delegato col n. 53 e l'Intervento di messa in sicurezza idraulica del T. Massellone a difesa dell'abitato (stralcio funzionale), dell'importo presunto di 600.000,00 euro, articolato dal Commissario straordinario delegato in due lotti di 208.000,00 euro e di 392.000,00 euro, individuati rispettivamente con i numeri 52a e 52b.

Con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 10 dicembre 2010, il Prof. Ing. Pier Gino Megale è nominato Commissario straordinario delegato per il sollecito espletamento delle procedure relative alla realizzazione degli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico, da effettuare nel territorio della Regione Toscana ed individuati nell'allegato 1 al suddetto accordo di programma.

Con Ordinanza 29 novembre 2012 il Commissario Straordinario delegato all'attuazione del suddetto accordo ha disposto di affidare per avvalimento al Comune di Gaiole in Chianti la progettazione e l'esecuzione dei lavori sul Borro Grande, nominando Responsabile del Procedimento la Geom. Nadia Anichini nella sua qualità di Responsabile Lavori Pubblici del Comune di Gaiole in Chianti.

Sulla base dei progetti preliminari predisposti dall'Ufficio Tecnico Comunale, a seguito dei necessari approfondimenti, è stato accertato come l'importo di € 1.800.000,00 consenta di realizzare gli interventi di messa in sicurezza sul Borro Grande (53) e sul torrente Massellone (52 a e 52b).

Con Decreto 23 gennaio 2013 n.107 il Commissario Straordinario Delegato, ha approvato i progetti preliminari predisposti dall'Ufficio Tecnico Comunale.

Con Determinazione n. 52 del 07/02/2013 il Responsabile del Servizio Lavori Pubblici, nonché Responsabile del Procedimento, Geom. Nadia Anichini, ha incaricato lo scrivente Studio Hydrogeo Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio, della progettazione definitiva, esecutiva e del Coordinamento per la Sicurezza in Fase di Progettazione per l'Intervento di messa in sicurezza idraulica del Borro Grande a difesa dell'abitato (stralcio funzionale), individuato dal Commissario straordinario delegato col n. 53 e l'Intervento di messa in sicurezza idraulica del T. Massellone a difesa dell'abitato (stralcio funzionale), individuati rispettivamente con i numeri 52a e 52b.

La presente relazione riguarda lo studio idrologico-idraulico del Torrente Massellone allo Stato Attuale ed allo Stato di Progetto, relativamente all'Intervento di messa in sicurezza idraulica del T. Massellone a difesa dell'abitato (stralcio funzionale), individuati rispettivamente con i numeri 52a e 52b.

2 Analisi idrologica

La determinazione dell' idrogramma di piena non può prescindere dai parametri, ormai generalmente utilizzati e condivisi, della procedura di regionalizzazione delle portate di piena (ALTO). Tale procedura parte dalla teoria dell'idrogramma istantaneo unitario geomorfologico, le cui linee principali sono riportate in "Appendice 1. Modellistica idrologica".

Si riportano di seguito una sintesi dei parametri utilizzati per il calcolo degli eventi idrologici di progetto con ALTO2000 ed in particolare in Tabella 2-1 si riportano i parametri del modello idrologico, mentre in Tabella 2-2 sono riportati i parametri della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica.

A (kmq)	la (mm)	Ks (mm/h)	n	k
7.22	18.83	2.72	2.55	0.32

TABELLA 2-1: PARAMETRI DEL MODELLO IDROLOGICO DI ALTO2000

a1	n1	m1	a	N	M
26.41	0.33	0.15	25.19	0.27	0.20

TABELLA 2-2: PARAMETRI DELLA CURVA SEGNALETRICE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.

Gli idrogrammi di piena sono stati dunque calcolati con il modello di Nash, considerando un evento di pioggia uniformemente distribuito su tutto il bacino, di durata tale da massimizzare il colmo dell'onda di piena ($d_c \cong t_c$), utilizzando quali valori della curva di possibilità pluviometrica quelli regionalizzati, riportati in Tabella 2-2.

Nella tabella seguente è riportato il valore del colmo di piena calcolato alla sezione di chiusura scelta, per l'evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.

Corso d'acqua	Durata evento critico [h]	Q200 [mc/s]
TORRENTE MASSELLONE	1.37	65.11

TABELLA 2-3: VALORI DI PORTATA AL COLMO DI PIENA PER EVENTO CON TR 200 ANNI

In Figura 2-1 si riporta inoltre l'idrogramma risultante, utilizzato nelle successive verifiche idrauliche.

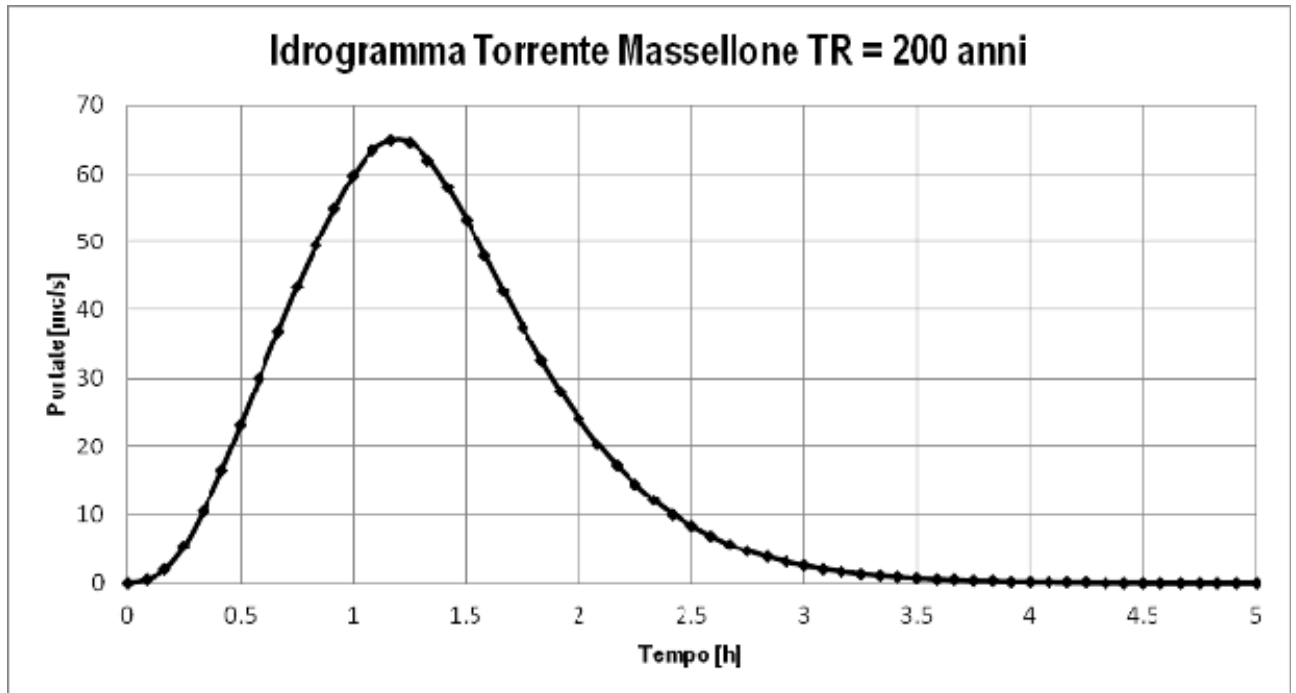


FIGURA 2-1: IDROGRAMMA DI PIENA DEL TORRENTE MASSELLONE

3 Verifiche idrauliche

3.1 Analisi Idraulica Stato Attuale

Il modello idraulico è stato sviluppato per il tratto in esame attraverso l'utilizzo del software Hec Ras 4.1.0.

Le fasi operative per l'implementazione della modellistica idraulica sono:

1. Caratterizzazione geometrica;
2. Analisi delle condizioni al contorno e scelta dei parametri del modello;
3. Verifiche idrauliche e analisi dei risultati.

3.1.1 Caratterizzazione geometrica del tratto fluviale

Il modello idraulico del Torrente Massellone è stato realizzato a partire dai dati dei rilievi effettuati in data 19 e 26 febbraio 2013. Il tratto oggetto di studio ha una lunghezza complessiva di circa 470 m e va da valle dell'attraversamento sul bivio per accedere a Via Ricasoli fino alla confluenza con il Borro Grande.

Il tratto oggetto di sistemazione idraulica presente invece una lunghezza di circa 370 m in quanto inizia a valle dell'attraversamento presso via Ricasoli (Ponte "Ex Cantine Ricasoli") e termina alla confluenza con il Borro Grande.

A partire dal rilievo, sono state ricostruite complessivamente 52 sezioni fluviali e 3 attraversamenti fluviali, come riportato nell'elaborato L40001P02D002_A. La pendenza media del tratto allo stato attuale è di circa l'1.6 %. Per i dettagli sul modello idraulico del Torrente Massellone si rimanda anche all'elaborato L40001P02D002_A.

3.1.2 *Analisi delle condizioni al contorno e scelta dei parametri del modello*

I parametri in ingresso alla modellistica idraulica, oltre agli input idrologici, sono costituiti essenzialmente da tre tipologie di parametri:

- *scabrezza*, parametro di resistenza al moto per la valutazione delle perdite di carico distribuite;
- *coefficienti di espansione/contrazione*, necessari per la valutazione di perdite di carico effettivo indotte da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti;
- *condizioni al contorno*.

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi effettuati è stato possibile associare, ad ogni sezione fluviale, il coefficiente di scabrezza secondo Manning più appropriato, che è risultato pari a $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$.

I valori utilizzati per i coefficienti di contrazione ed espansione sono stati ricavati dalla letteratura disponibile.

Come condizione al contorno di monte è stato utilizzato l'idrogramma delle portate del Torrente Massellone calcolato nell'analisi idrologica, mentre come condizione di valle, è stato impostato l'idrogramma dei livelli del Borro Grande alla sezione 00001__10.

3.1.3 *Verifiche idrauliche e analisi dei risultati*

Definiti i parametri idraulici per il tratto di interesse e la schematizzazione degli input idrologici, è possibile passare all'implementazione delle procedure necessarie alla verifica delle condizioni di deflusso idraulico nell'area di studio.

Si riportano di seguito (Tabella 3.1) i risultati sintetici delle verifiche effettuate. Nelle tabelle sono rappresentati i valori calcolati nelle singole sezioni in corrispondenza del massimo livello idrometrico.

Legenda

Sezione		codifica sezione fluviale	E.G. Elev	[m slm]	carico totale
River Sta		codice HEC della sezione	E.G. Slope	[m/m]	perdita di carico totale
Q total	[mc/s]	portata al colmo	Vel Chnl	[m/s]	velocità media nella sezione
Min Ch El	[m slm]	quota assoluta del fondo alveo	Flow Area	[mq]	area sezione liquida in alveo
W.S. Elev	[m slm]	carico piezometrico	Top Width	[m]	larghezza sul pelo libero della sezione
Crit. W.S.	[m slm]	altezza d'acqua critica	Froude		numero di Froude

HEC-RAS Risultati TR200											
Sezione	River Sta	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
00917__13	52	64.67	346.98	348.8	349.12	350.04	0.009619	4.92	13.13	9.99	1.37
00914__13	51	64.55	346.18	348.52	348.6	349.39	0.006297	4.13	15.63	10.56	1.08
00910PB13	50	64.45	345.63	348.12	347.84	348.93	0.002632	3.31	19.45	8.32	0.69
00910PC13	49	71.45	345.63	348.03	347.97	348.97	0.015428	4.28	16.68	8.11	0.95
00909__13	48	71.32	345.51	347.91	347.91	348.92	0.014883	4.44	16.08	7.93	0.99
00907__13	47	70.37	344.87	347.6	347.58	348.5	0.01337	4.2	16.75	9.09	0.99
00906__13	46	70.22	344.86	347.44		348.25	0.011227	3.98	17.62	9.42	0.93
00905__13	45	69.11	344.67	347.30	347.25	348.12	0.011915	4.01	17.23	9.86	0.97
00904__13	44	68.43	344.67	347.19	347.33	348.19	0.016364	4.43	15.43	9.48	1.11
00902__13	43	67.93	344.59	346.99	346.96	347.78	0.011921	3.94	17.23	10.35	0.97
00901__13	42	67.2	344.53	346.92		347.64	0.010397	3.74	17.98	10.66	0.92
00899__13	41	66.6	344.43	346.66	346.68	347.44	0.013063	3.93	16.96	11.13	1.02
00898__13	40	66.4	344.39	346.52	346.62	347.42	0.015279	4.19	15.83	10.49	1.09
00897__13	39	66.37	344.06	346.42	346.51	347.33	0.015193	4.24	15.67	10.04	1.08
00896a_13	38	66.24	344.03	346.36	346.5	347.33	0.016421	4.36	15.2	9.83	1.12
00896b_13	37	66.22	344.01	346.29	346.44	347.26	0.017396	4.36	15.17	10.21	1.14
00895a_13	36	66	343.88	346.06	346.3	347.16	0.020548	4.65	14.19	9.96	1.24
00895b_13	35	65.91	343.76	345.97	346.1	346.91	0.016936	4.3	15.33	10.25	1.12
00894a_13	34	65.9	343.74	345.9	346.18	347.06	0.022077	4.77	13.82	9.65	1.27
00894b_13	33	65.81	343.3	345.8	345.85	346.68	0.015159	4.16	15.82	9.79	1.04
00893a_13	32	65.81	343.21	345.76	345.8	346.63	0.014964	4.13	15.93	9.71	1.03
00893b_13	31	65.79	343.19	345.7	345.65	346.49	0.012931	3.95	16.65	9.57	0.96
00893c_13	30	65.66	343.01	345.67	345.6	346.42	0.01198	3.84	17.08	10.18	0.95
00892a_13	29	65.62	342.89	345.6	345.59	346.43	0.014	4.06	16.18	9.5	0.99
00892b_13	28	65.94	342.63	345.54		346.26	0.010293	3.77	17.48	9.2	0.87
00891a_13	27	65.91	342.88	345.49	345.56	346.39	0.014759	4.2	15.69	9.66	1.05
00891b_13	26	65.39	342.94	345.45	345.51	346.34	0.015048	4.18	15.65	9.62	1.05
00890a_13	25	65.32	342.79	345.36	345.35	346.16	0.01349	3.95	16.53	10.1	0.99
00890b_13	24	65.2	342.66	345.3	345.35	346.18	0.01523	4.15	15.7	9.65	1.04
00890c_13	23	64.91	342.24	345.22	345.29	346.12	0.016048	4.2	15.46	9.48	1.05
00889a_13	22	64.77	342.36	345.19	345.3	346.11	0.016975	4.24	15.29	10	1.09
00889b_13	21	64.45	342.38	345.15	345.15	345.94	0.013329	3.93	16.39	10.31	1
00889c_13	20	64.1	342.51	345.12	345.07	345.84	0.011992	3.76	17.04	10.81	0.96
00888a_13	19	66.58	342.3	345.1		345.66	0.008165	3.3	20.19	12.26	0.82
00888b_13	18	65.75	342.04	345.19		345.59	0.005395	2.8	23.51	13.04	0.66
00887a_13	17	64.71	342.15	345.05		345.56	0.00849	3.19	20.31	12.99	0.81
00887b_13	16	64.88	342.15	345.17		345.51	0.004991	2.58	25.1	15.65	0.65
00887c_13	15	65.16	342.24	345.24		345.5	0.00359	2.28	28.62	17.07	0.56
00887d_13	14	65.07	342.35	345.04		345.51	0.007823	3.04	21.39	14.77	0.81
00886a_13	13	65.35	342.32	344.91		345.56	0.010098	3.58	18.26	11.52	0.91
00886b_13	12	65.39	342.13	344.86	344.84	345.6	0.012075	3.81	17.14	11.14	0.98
00886c_13	11	65.34	342.22	344.84		345.51	0.010441	3.62	18.06	11.46	0.92
00885PB13	10	65.36	342.2	344.74	344.61	345.45	0.010156	3.74	17.49	10.01	0.9
00885PC13	9	65.32	341.95	344.37		344.94	0.008138	3.32	19.68	11.94	0.83
00883__13	8	65.28	341.66	344.21	344.59	345.6	0.026227	5.23	12.49	7.68	1.31
00882__13	7	65.25	341.66	343.98	344.41	345.45	0.028435	5.38	12.14	7.53	1.35
00880a_13	6	65.14	341.2	343.42	343.45	344.27	0.013977	4.07	15.99	9.9	1.02
00880b_13	5	65.14	341.2	343.41	343.43	344.26	0.013526	4.09	15.95	9.98	1.02
00876__13	4	26	340.29	343.35		343.44	0.001235	1.31	19.86	11.31	0.32
00875__13	3	25.45	340.03	343.37		343.43	0.000773	1.09	23.45	12.45	0.25
00873__13	2	25.38	339.54	343.37		343.42	0.000531	0.91	27.81	14.33	0.21
00870__13	1	57.95	339.45	342.19	341.76	342.57	0.005622	2.71	21.35	13.34	0.68

TABELLA 3-1: RISULTATI DELLA SIMULAZIONE IDRAULICA DELLO STATO ATTUALE DEL TORRENTE MASSELLONE (TR 200 ANNI)

Il torrente Massellone, come si ricava dall'analisi idraulica implementata, presenta un profilo di fondo alveo molto irregolare, segnato da erosioni e depositi localizzati, che creano un profilo di corrente liquida che comporta franchi ridotti in tutte le sezioni e sormonto nel tratto di valle. Inoltre a valle del ponte di Via Buonarroti, è presente in destra idraulica un movimento franoso per un tratto di circa 20 m che necessita di un intervento di sistemazione per il consolidamento della sponda.



FIGURA 3-1: MOVIMENTO FRANOSO IN DESTRA IDRAULICA

3.2 Analisi Idraulica Stato di Progetto

Come per lo Stato Attuale, anche per lo Stato di Progetto del Borro Grande le verifiche sono state effettuate implementando un modello di moto vario attraverso l'utilizzo del software Hec Ras 4.1.0.

3.2.1 Descrizione degli interventi di sistemazione idraulica

La sistemazione idraulica del Torrente Massellone si articola nei seguenti interventi (vedi elaborati L40001P02D003_A e L40001P02D005_A):

- risagomatura della sezione con larghezza del fondo pari a 3.80 m dalla sezione 00907__13 alla sezione 00896b__13 e 3.50 m dalla 00895a__13 fino alla sezione finale 00870__13;
- regolarizzazione della pendenza del fondo imposta pari all' 1.0 % nel tratto a monte dell'attraversamento di Via Buonarroti (Sezione 00885PB13) con la realizzazione di un salto di fondo di 70 cm tra le sezioni 00893BB13 e 00893BC13. Nel tratto di valle dalla sezione 00885PC13 alla sezione 00880BB13, per circa 45 m, la pendenza di progetto è pari a 1.5 % mentre nella parte finale torna l' 1.0 % come nel tratto di monte. Nel tratto di valle sono presenti due salti di fondo: il primo tra le sezioni 00880BB13 e 00880BC13 di 40 cm ed il secondo tra la 00876BB13 e la 00876BC13 di altezza pari a 30 cm;
- protezione in scogliera di pietrame del fondo alveo per tutto il tratto d'intervento, in analogia con gli interventi già realizzati a monte;
- protezione di sponda in scogliera di pietrame nel tratto iniziale che va dalla sezione 00907__13 alla 00899__13;
- protezione in scogliera al piede in destra mentre in sinistra protezione in scogliera del piede di sponda con rivestimento in geostuoia e rinverdimento spondale nel tratto compreso dalla sezione 00898__13 alla 00895a__13;
- protezione al piede in scogliera di entrambe le sponde con rivestimento in geostuoia e rinverdimento spondale in sinistra nel tratto a valle dalla sezione 00890a__13 fino alla sezione 00889c__13;
- protezione al piede in scogliera di entrambe le sponde con rivestimento in geostuoia e rinverdimento di entrambe le sponde nel tratto a valle dalla sezione 00889c__13 fino alla sezione 00885PC13;
- realizzazione di muro in scogliera (H=1.50 m) al fine di consolidare il movimento franoso che interessa la sponda in destra idraulica nel tratto che va dalla sezione 00883__13 e si conclude in corrispondenza della fine del muro in scogliera attuale in sinistra idraulica. In tale tratto si procederà anche con un rivestimento in geostuoia ed il rinverdimento della parte alta della sponda in destra idraulica ;
- in sinistra idraulica del tratto sopracitato, verrà realizzato una protezione al piede in scogliera fino alla sezione 00882__13 e da lì un rivestimento della parte bassa della sponda in corrispondenza del muro in scogliera attuale;
- nel tratto finale la sistemazione prevede una protezione in scogliera al piede di entrambe le sponde con rivestimento in geostuoia e rinverdimento spondale;

3.2.2 *Analisi delle condizioni al contorno e scelta dei parametri del modello*

Per ciò che attiene ai coefficienti di scabrezza da associare alle singole sezioni fluviali, attraverso il confronto con i parametri riportati in letteratura ed il supporto dei sopralluoghi effettuati è stato possibile associare, ad ogni sezione fluviale, il coefficiente di scabrezza secondo Manning più appropriato, che è risultato pari a $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$ per tratti con sponde e/o fondo naturale e $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$ per tratti con rivestimento in scogliera.

I valori utilizzati per i coefficienti di contrazione ed espansione sono stati ricavati dalla letteratura disponibile.

Come condizione al contorno di monte è stato utilizzato l'idrogramma delle portate del Torrente Massellone calcolato nell'analisi idrologica, mentre come condizione di valle, è stato impostato l'idrogramma dei livelli del Borro Grande alla sezione 00001__10.

3.2.3 *Verifiche idrauliche e analisi dei risultati*

E' stata effettuata una simulazione in moto vario con la portata con tempo di ritorno TR 200 anni, i cui risultati sono riportati nella seguente Tabella 3-2.

Si riportano di seguito i risultati sintetici delle verifiche effettuate. Nelle tabelle sono rappresentati i valori calcolati nelle singole sezioni in corrispondenza del massimo livello idrometrico.

HEC-RAS Risultati TR200											
Sezione	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
00917_13	52	64.69	346.98	348.71	349.11	350.14	0.011995	5.29	12.23	9.99	1.53
00914_13	51	64.69	346.18	348.33	348.61	349.48	0.009754	4.76	13.58	10.52	1.34
00910PB13	50.7	64.69	345.63	348.13	347.84	348.82	0.003754	3.75	17.24	8.12	0.82
00910PC13	50.6	64.69	345.63	348.04	347.84	348.77	0.018975	4.46	14.51	8.06	1.06
00909_13	50.5	64.69	345.51	347.62	347.77	348.75	0.019149	4.71	13.74	7.78	1.13
00907_13	50	64.68	344.87	347.24	347.25	348.12	0.014551	4.17	15.51	8.86	1.01
00906_13	49	64.68	344.73	347.03	347.11	347.97	0.015344	4.3	15.03	8.93	1.06
00905_13	48	64.68	344.61	346.84	346.97	347.81	0.016352	4.35	14.88	9.49	1.11
00904_13	47	64.68	344.53	346.72	346.93	347.8	0.01482	4.6	14.06	9.38	1.2
00902_13	46	64.68	344.4	346.5	346.78	347.68	0.016684	4.8	13.46	9.23	1.27
00901_13	45	64.68	344.32	346.4	346.65	347.53	0.011229	4.71	13.73	9.62	1.26
00899_13	44	64.68	344.09	346.13	346.42	347.3	0.012263	4.79	13.51	9.91	1.31
00898_13	43	64.68	344	346.01	346.36	347.32	0.013839	5.07	12.76	9.23	1.38
00897_13	42	64.67	343.93	345.91	346.27	347.24	0.013677	5.1	12.69	8.84	1.36
00896a_13	41	64.68	343.9	345.86	346.26	347.25	0.014735	5.22	12.4	8.85	1.41
00896b_13	40	64.68	343.85	345.8	346.17	347.14	0.014375	5.13	12.61	9.02	1.39
00895a_13	39	64.67	343.73	345.61	346.06	347.09	0.016781	5.39	11.99	9.09	1.5
00895b_13	38	64.67	343.68	345.53	345.99	347.03	0.017232	5.42	11.93	9.08	1.51
00894a_13	37	64.67	343.64	345.46	346.06	347.33	0.022685	6.07	10.65	8.28	1.71
00894b_13	36	64.66	343.59	345.32	345.98	347.45	0.027334	6.47	10	8.1	1.86
00893BB13	35	64.66	343.57	345.25	345.95	347.47	0.029882	6.6	9.8	8.42	1.95
00893BC13	34	64.66	342.87	345.23	345.51	346.44	0.012866	4.87	13.27	8.66	1.26
00893b_13	33	64.66	342.83	345.19	345.33	346.2	0.009546	4.45	14.52	8.87	1.11
00893c_13	32	64.65	342.79	345.16	345.23	346.07	0.008199	4.22	15.3	9.49	1.06
00892a_13	31	64.64	342.77	345.11	345.26	346.15	0.009552	4.52	14.29	8.75	1.13
00892b_13	30	64.64	342.69	345.06	345.19	346.09	0.009141	4.48	14.43	8.63	1.11
00891a_13	29	64.63	342.65	345.03	345.22	346.1	0.010012	4.59	14.09	8.82	1.16
00891b_13	28	64.63	342.63	345	345.21	346.11	0.010407	4.66	13.87	8.64	1.17
00890a_13	27	64.62	342.57	344.94	345.04	345.88	0.008528	4.28	15.09	9.35	1.08
00890b_13	26	64.62	342.52	344.91	345.01	345.87	0.008757	4.35	14.87	9.14	1.09
00890c_13	25	64.56	342.47	344.86	344.95	345.79	0.008406	4.28	15.1	9.31	1.07
00889a_13	24	64.55	342.45	344.85	344.96	345.8	0.008652	4.32	14.95	9.36	1.09
00889b_13	23	64.53	342.42	344.82	344.93	345.75	0.008563	4.26	15.16	9.73	1.09
00889c_13	22	64.52	342.4	344.8	344.84	345.63	0.00755	4.02	16.04	10.4	1.03
00888a_13	21	64.49	342.35	344.77	344.72	345.46	0.006111	3.68	17.51	11.53	0.95
00888b_13	20	64.47	342.31	344.77		345.41	0.005739	3.53	18.24	12.36	0.93
00887a_13	19	64.25	342.27	344.78		345.36	0.005398	3.37	19.08	13.43	0.9
00887b_13	18	63.74	342.22	344.74	344.69	345.37	0.006091	3.51	18.15	13.32	0.96
00887c_13	17	64.57	342.19	344.77		345.23	0.003966	2.99	21.61	14.91	0.79
00887d_13	16	67.91	342.16	344.69	344.72	345.42	0.00708	3.78	17.96	13.04	1.03
00886a_13	15	67.62	342.14	344.68	344.7	345.49	0.006968	4	16.9	10.69	1.02
00886b_13	14	67.1	342.11	344.66	344.7	345.51	0.007337	4.09	16.42	10.34	1.03
00886c_13	13	66.56	342.08	344.64	344.64	345.43	0.007003	3.94	16.87	10.73	1
00885PB13	12	65.28	342	344.59	344.47	345.32	0.00576	3.79	17.23	9.73	0.91
00885PC13	11	65.14	341.75	343.97	344.01	344.77	0.00706	3.95	16.49	10.94	1.03
00883_13	10	65.06	341.6	343.84	344.42	345.63	0.020379	5.92	10.99	6.64	1.47
00882_13	9	65	341.48	343.65	344.37	345.72	0.025039	6.37	10.2	6.44	1.62
00880a_13	8	64.78	341.09	343.16	343.46	344.38	0.013261	4.9	13.22	9.04	1.29
00880BB13	7	64.78	341.07	343.14	343.52	344.51	0.01559	5.18	12.49	8.98	1.4
00880BC13	6	64.78	340.67	343.13	343.36	344.25	0.012214	4.7	13.78	8.96	1.21
00876BB13	5	64.72	340.35	342.69	343.11	344.09	0.015508	5.24	12.36	8.68	1.4
00876BC13	4	64.71	340.05	342.68	342.98	343.89	0.012967	4.87	13.29	8.63	1.25
00875_13	3	64.7	339.93	342.56	342.7	343.53	0.009354	4.37	14.82	9.37	1.11
00873_13	2	64.62	339.72	342.37	342.44	343.24	0.008361	4.11	15.7	10.27	1.06
00870_13	1	58.49	339.45	342.19	342	342.73	0.005071	3.25	18.01	12.02	0.85

TABELLA 3-2: RISULTATI DELLA SIMULAZIONE IDRAULICA DELLO STATO DI PROGETTO DEL TORRENTE MASSELLONE (TR 200 ANNI)

L'intervento così progettato, è in grado di garantire l'affrancamento rispetto al transito della portata con Tr 200 anni in tutto il tratto di intervento, con un adeguato franco di sicurezza.

In tutto il tratto di intervento il franco di sicurezza minimo è di circa 70 cm e in media è pari a circa 1.00 m. Nel tratto terminale, in alcune sezioni si ottengono anche franchi superiori ad 1.00 m, fino ad arrivare a 1.70 m circa..

Anche in corrispondenza degli attraversamenti fluviali si osserva un abbassamento del livello idrometrico ed in particolare:

- attraversamento presso via Ricasoli (Ponte "Ex Cantine Ricasoli") - riduzione del battente idraulico di circa 0.27 m sia a monte che a valle dell'opera;
- attraversamento di Via Buonarroti - riduzione del battente idraulico di circa 0.15 m a monte dell'opera e di circa 0.40 m a valle.

Appendice 1. Modellistica idrologica

La modellistica idrologica per la determinazione dell'idrogramma di piena in una o più sezioni fluviali di un bacino idrografico deve significativamente rappresentare tutte le fasi che si hanno a partire dalla distribuzione delle piogge insistenti sul bacino, fino alla valutazione dell'onda di piena.

La trasformazione da pioggia al suolo a portata nella sezione di chiusura avviene secondo una cascata di processi. L'ingresso principale al modello è costituito da una serie di misurazioni di pioggia, di tipo puntuale (registrazioni pluviometriche) sull'area d'interesse, che dovranno essere, in generale, interpolate per ottenere l'andamento delle precipitazioni lorde al suolo nello spazio e nel tempo, in termini di afflussi per unità di area. La quota parte di tali precipitazioni che andrà in scorrimento superficiale, detta anche precipitazione efficace (netta), viene valutata con un opportuno *modello di trasformazione afflussi-deflussi*, per la stima della produzione di deflusso idealmente in ciascun punto del bacino, avente la dimensione di una portata per unità di area. Infine, il processo di concentrazione dei deflussi nel reticolo idrografico e di trasferimento lungo questo fino alla sezione di chiusura verrà rappresentato tramite un opportuno *modello di formazione dell'onda di piena*.

La metodologia alla base degli studi effettuati mira ad un'agevole caratterizzazione degli eventi in termini di tempi di ritorno; conseguenza diretta, la possibilità di definire i livelli di rischio in funzione della probabilità di accadimento. Ciò si ottiene facilmente attraverso una procedura semplificata di generazione di eventi sintetici, che si basa sulle seguenti ipotesi:

- eventi meteorici sintetici uniformemente distribuiti sul bacino;
- isofrequenza fra evento meteorico e portata in alveo (T_r evento di pioggia = T_r idrogramma di piena).

La determinazione degli idrogrammi di piena non può prescindere dai parametri, ormai generalmente utilizzati e condivisi, della procedura di *Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana*. Tale procedura parte dalla teoria dell'*Idrogramma Istantaneo Unitario (Instantaneous Unit Hydrograph, IUH)* dove i parametri in gioco sono stati ricavati dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino, ottenendo così un *Idrogramma Istantaneo Unitario Geomorfologico* di cui vengono riportate di seguito le linee principali. Il modello di formazione dell'onda di piena adottato è quello proposto da Nash.

L'input meteorico è rappresentato da uno "*ietogramma sintetico ad intensità costante*" con il quale si assume che l'intensità di precipitazione sia costante durante l'intera evoluzione del fenomeno e pari al valor medio fornito dalle curve di possibilità climatica (o pluviometrica, di seguito *CPP*) illustrate in seguito. Tale ietogramma consente la determinazione della portata al colmo di assegnato tempo di ritorno sulla base del metodo dell'*evento critico*, individuando la durata di pioggia efficace che massimizza il valore al colmo dell'onda di piena fornita dal modello di trasformazione afflussi - deflussi.

Le *CPP* consentono di rappresentare il regime delle piogge di breve durata e forte intensità in una certa zona. Per la loro determinazione è necessaria un'analisi delle serie pluviometriche disponibili dalla rete di telemisura presente sul territorio a partire dall'esame dei topoi, o reticoli di Thiessen. Dall'analisi statistica delle precipitazioni estreme, assumendo sia distribuzione Gumbel che TCEV, si perviene appunto alla determinazione delle *CPP*, che stabiliscono un legame tra le altezze di pioggia e la durata dell'evento piovoso, in funzione della probabilità di accadimento dell'evento stesso.

Il valore della pioggia lorda deve essere depurato delle perdite. La trasformazione afflussi-deflussi adottata prevede l'adozione di un "approccio asintotico a soglia" che richiede la stima di due parametri: la *perdita iniziale*, schematizzata introducendo un *volume unitario di perdita iniziale* (indicato con *la*) che il terreno

assorbe completamente durante i primi istanti di precipitazione (dall'inizio dell'evento $t=0$ all'istante $t=t_a$) e la perdita per infiltrazione nel suolo durante l'evento, schematizzata con una *infiltrazione cumulata costante a saturazione* (indicata con K_s).

$$\begin{cases} I_a(t) = I_a(0) + \int_0^{t_a} (P(\tau) - K_s) d\tau \\ P_n(t) = 0 \end{cases} \quad \text{per } t < t_a$$

$$\begin{cases} I_a(t) = I_a \\ P_n(t) = P(t) - K_s \end{cases} \quad \text{per } t \geq t_a$$

dove:

$P(t)$ intensità di precipitazione lorda sul bacino [mm/h];

$P_n(t)$ intensità di precipitazione netta sul bacino [mm/h];

$I_a(t)$ volume unitario di perdita iniziale all'istante t dell'evento [mm];

$I_a = I_a(t_a)$ volume di perdita iniziale per unità di area [mm];

K_s velocità di infiltrazione a saturazione [mm/h].

I valori di I_a e K_s , nel lavoro di regionalizzazione, sono calcolati in funzione dell'uso del suolo e dalla geologia dei bacini, resi indipendenti dalle dimensioni del bacino idrografico.

Osservando sperimentalmente le piogge intense è possibile affermare che, all'interno di una certa area, l'intensità di precipitazione durante l'evento piovoso varia da punto a punto, anche in maniera sensibile, e questa variazione è tanto maggiore quanto maggiore è l'estensione dell'area considerata. Per questo alla precipitazione lorda, calcolata rispetto alla sezione di calcolo, è stato applicato un coefficiente di ragguglio dipendente dall'area del bacino e dalla durata dell'evento, in linea con la trattazione riportata nella Regionalizzazione delle Portate di Piena della Regione Toscana, secondo la seguente formulazione:

$$K_r = 1 - \exp(-\alpha t^\beta) + \exp(-\alpha t^\beta - \gamma A)$$

dove t è la durata dell'evento, A è l'area del bacino sotteso e α , β , γ sono parametri dipendenti dal bacino considerato.

L'*Idrogramma Istantaneo Unitario* rappresenta l'idrogramma di piena causato da un evento impulsivo di pioggia di volume unitario e durata tendente a zero. Ipotizzando un comportamento del sistema bacino idrografico lineare e stazionario, la risposta $Q(t)$ ad una sollecitazione meteorica di intensità $p(t)$, supposta costante su tutti i punti del bacino (approccio di tipo integrato), è data dall'integrale di convoluzione fra idrogramma di pioggia efficace e IUH:

$$Q(t) = \int_0^t U(\tau) p(t - \tau) d\tau$$

dove:

$Q(t)$ è la portata defluente;

$p(t) = A i(t)$, con A area del bacino e $i(t)$ intensità di pioggia netta raggugliata sul bacino;

$U(t)$ è l'idrogramma unitario

$$\begin{cases} U(0) = 1 \\ U(t > 0) = 0 \end{cases} \quad \int_0^\infty U(t) dt = 1$$

La caratterizzazione di un modello di formazione della piena basato su tale principio consiste quindi essenzialmente nella determinazione della forma della funzione $U(t)$, che può essere stimata fissandone la struttura sulla base di considerazioni teoriche, e stimandone i parametri o per taratura, utilizzando dati sperimentali contemporanei di afflussi sul bacino e deflussi nella sezione di chiusura, o sulla base di caratteristiche geomorfologiche del bacino. Uno dei più diffusi modelli concettuali utilizzati per determinare la

forma della funzione $U(t)$ è quello basato sull'ipotesi che il bacino idrografico si comporti come un insieme di n serbatoi lineari disposti in serie. L'espressione dell'idrogramma istantaneo unitario che ne deriva per un singolo serbatoio lineare è:

$$U(t) = \frac{1}{k} \cdot e^{-\frac{t}{k}}$$

dove k è la costante del serbatoio che rappresenta il tempo caratteristico di svuotamento del serbatoio.

Supponendo che il bacino si comporti come una serie di n serbatoi, ciascuno con uguale tempo caratteristico k , la portata in uscita dall'intero bacino come risposta ad un input impulsivo distribuito sul bacino rappresenterà l'idrogramma istantaneo unitario del bacino alla sua chiusura, nota come *Idrogramma Istantaneo Unitario di Nash*:

$$U(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{(n-1)} e^{-\left(\frac{t}{k}\right)}$$

dove la funzione $\Gamma(n)=(n-1)!$.

Il momento di primo ordine dell'IUH rispetto all'origine viene detto *tempo di ritardo (lag) Tl* ed è dato da:

$$Tl = \int_0^{\infty} U(t)tdt$$

In questo schema il tempo di ritardo è dato dal prodotto nk (pari proprio alla media dell'idrogramma unitario). I parametri n, k dell'IUH di Nash sono stati ricavati sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del reticolo idrografico, mediante le seguenti espressioni:

$$n = 3.29(Rb/Ra)^{0.78} Rl^{0.07}$$

$$k = 0.7(Ra/(Rb \cdot Rl))^{0.48} Lc/v$$

in unità congruenti, dove:

R_b = rapporto di biforcazione;

R_l = rapporto di lunghezza;

R_a = rapporto di area;

L_c = lunghezza del canale principale (dalla sorgente alla sezione di interesse);

v = fattore cinematico legato alla velocità della piena ("media spazio-temporale di scorrimento dell'acqua o di propagazione dell'onda di piena").

I parametri geomorfologici sopra elencati permettono di rappresentare lo sviluppo della rete idrografica mediante una descrizione gerarchica e possono quindi essere calcolati, una volta ordinato il reticolo idrografico secondo il metodo di gerarchizzazione e classificazione geomorfologica di Horton e Strahler.

La gerarchizzazione di una rete idrografica si esegue attribuendo un ordine a ciascun segmento fluviale; un'asta che non nasce dalla confluenza di altre due è di primo ordine; un'asta di ordine n e un'asta di ordine $n-1$ congiungendosi danno origine a un'asta di ordine n ; due aste di ordine n congiungendosi danno origine a un'asta di ordine $n+1$. Per ogni bacino idrografico esiste una relazione fra il numero dei rami fluviali aventi un certo ordine e l'ordine stesso: in genere, il valore del primo diminuisce all'aumentare del secondo.

L'organizzazione della rete idrografica e quindi il suo grado di gerarchizzazione possono essere espressi mediante parametri quantitativi che definiscono la geometria del reticolo idrografico e il suo grado di organizzazione gerarchica. Il parametro di base è il rapporto di biforcazione R_b , che esprime il rapporto fra il numero di segmenti fluviali di un certo ordine ed il numero dei segmenti dell'ordine immediatamente successivo. Considerando invece la lunghezza media delle aste di un certo ordine si ottiene il rapporto fra le lunghezze, R_l . Analogamente, si definisce anche il rapporto fra le aree, R_a .

I tre parametri appena descritti vengono determinati sulla base delle seguenti relazioni:

$$N_u = R_b^{\omega-u}$$

$$\bar{L}_u = \bar{L}_1 R_l^{u-1}$$

$$\bar{A}_u = \bar{A}_1 R_a^{u-1}$$

dove

ω è l'ordine massimo del reticolo;

N_u il numero delle aste di ordine u , con $u=1, 2, 3\dots$;

\bar{L}_u la lunghezza media delle aste di ordine u , con $u=1, 2, 3\dots$;

\bar{A}_u l'area media sottesa da aste di ordine u , con $u=1, 2, 3\dots$

Lo studio di Regionalizzazione delle Portate di Piena, attraverso la taratura sistematica dei dati relativi ad eventi registrati nei 42 bacini strumentati dal Servizio Idrografico, ha fornito una relazione fra i valori di Tl ed i parametri geomorfologici:

$$Tl = 0.42 \left(\frac{Rb}{Ra} \right)^{0.3} Rl^{-0.41} \frac{Lmc}{A^{0.075}} \quad [h]$$

dove A è l'area del bacino espressa in [kmq] e L_{mc} la lunghezza del reticolo in [km], calcolata come cumulata delle lunghezze medie per i vari ordini gerarchici.

Appendice 2. Modellistica idraulica

La *modellistica idraulica di moto vario* consente di trasformare le portate, associate agli eventi di piena definiti nella fase di modellazione idrologica, in livelli idrometrici nelle sezioni fluviali. Nel caso in cui l'alveo inciso e le aree golenali risultino insufficienti al transito dell'onda di piena, la modellistica adottata deve consentire la stima dei volumi tracimati, utile alla definizione del livello di *rischio idraulico* nei territori interessati dalle esondazioni del corso d'acqua.

Per la trasformazione delle portate in livelli viene utilizzato il software *HEC-RAS 4.0 (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System)*, prodotto e reso disponibile gratuitamente dall'USACE (*United States Army Corps of Engineering*).

Nella simulazione di moto vario il software utilizza il motore di calcolo UNET (Unsteady NETwork model), che risolve le equazioni complete di De S. Venant, discretizzando le equazioni nel dominio spazio-temporale mediante uno schema di risoluzione implicito alle differenze finite. La soluzione viene definita solo nei punti di discretizzazione e non con continuità su tutto il dominio. Tali punti sono rappresentati dalle sezioni trasversali (discretizzazione spaziale) e dalla scansione temporale utilizzata nella rappresentazione dei fenomeni (discretizzazione temporale). Il grado di risoluzione che si ottiene deriva quindi dalla densità delle sezioni rilevate e dal passo temporale adottato.

Si ipotizza che il moto sia *gradualmente variato*, ovvero che, in corrispondenza di ciascuna sezione, vi sia una distribuzione idrostatica delle pressioni. In prossimità di singolarità, dove il moto diventa rapidamente variato (improvvisi variazioni spaziali, ponti, etc.), il programma utilizza in automatico, invece dell'equazione dell'energia, l'equazione dell'equilibrio delle spinte o altre equazioni empiriche.

Si ricorda che le *equazioni di De S. Venant* descrivono il flusso non stazionario monodimensionale delle correnti a superficie libera e vengono utilizzate per descrivere i fenomeni di trasferimento e laminazione dell'onda di piena. Si riportano rispettivamente l'equazione di continuità per fluidi incomprimibili e l'equazione del moto per le correnti gradualmente variate,

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q(x) = 0$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{1}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J$$

in cui:

A è l' area della sezione liquida [m²];

Q la portata [m³/s];

$q(x)$ la portata laterale (positiva se entrante) [m²/s];

H il carico totale della corrente [m];

g l'accelerazione di gravità [m/s²];

U la velocità media della corrente [m/s];

J le perdite di carico effettivo per unità di lunghezza;

x l'ascissa corrente lungo l'alveo [m];

t il tempo [s].

La soluzione delle equazioni di moto monodimensionale gradualmente variato presenta talvolta problemi di stabilità, specialmente in presenza di passaggi da corrente lenta a veloce e viceversa. I principali fattori che contribuiscono all'instabilità della soluzione sono:

- brusche variazioni delle caratteristiche delle sezioni;
- brusche variazioni di pendenza longitudinale;

- caratteristica dell'onda di piena;
- opere come argini, soglie sfioranti, luci a battente, sfioratori che provochino variazioni brusche nella geometria dell'alveo o delle condizioni del moto.

La prima equazione ha subito per questo ulteriori affinamenti al fine di rendere le soluzioni più stabili. In particolare, si vanno ad aggiungere opportune equazioni per la stima delle dissipazioni energetiche, sia di carattere concentrato che distribuito. Assumendo la gradualità spazio-temporale del fenomeno, la perdita di carico effettiva distribuita può essere stimata con un'equazione analoga a quella adottata per il moto uniforme:

$$J = \frac{U|U|}{gC^2 R}$$

ove, oltre ai simboli già noti, R è il raggio idraulico e C il coefficiente di resistenza esprimibile nella forma:

$$C = \frac{KsR^{\frac{1}{6}}}{\sqrt{g}}$$

ove $Ks [m^{\frac{1}{3}}s^{-1}]$ è il coefficiente dimensionale di Gauckler-Strickler.

Per includere nel modello gli effetti dissipativi indotti da variazioni di sezione, quali allargamenti o restringimenti, si valutano le perdite di carico effettivo addizionali, ΔH , mediante la formula:

$$\Delta H = \frac{Q^2}{2g} \xi \Delta (\alpha / A^2)$$

ove α è il coefficiente di ragguglio della energia cinetica e ξ può assumere valori compresi tra 0.1 e 0.8 maggiori nel caso di allargamento della sezione e minori nel caso di restringimento.

I dati da inserire per la costruzione del modello idraulico in HEC-RAS sono: i dati geometrici relativi alle sezioni trasversali ed alle eventuali strutture aggiuntive (ponti, traverse, sfioratori). Per ogni sezione devono essere immessi inoltre i valori del *coefficiente di scabrezza di Manning*, per il calcolo delle perdite energetiche distribuite, e dei *coefficienti di contrazione/espansione* per quelle concentrate, definiti sulla base di sopralluoghi e confronti diretti con i valori riportati in letteratura. Dall'attendibilità di questi dati dipende maggiormente il grado di risoluzione della simulazione.

Al fine di implementare le simulazioni idrauliche, devono essere definite le *condizioni al contorno* (Boundary Conditions), di monte e di valle, del sistema esaminato. La condizione al contorno di *monte* è nota dalla modellazione idrologica; il software HEC-RAS consente di inserire:

- un idrogramma delle portate;
- un idrogramma dei livelli idrometrici;
- una condizione mista costituita dall'andamento temporale di livelli e portate.

Come condizione al contorno di *valle* possono essere inserite, oltre alle tre precedenti:

- una scala di deflusso;
- un'altezza di moto uniforme.

Una stima accettabile della condizione di valle può essere ricavata attraverso la modellistica idraulica in moto permanente; scelto un set di portate significativo ed avendo a disposizione ulteriori sezioni a valle del tratto di studio, è possibile implementare un modello in moto permanente che consenta di definire, seppure in condizioni stazionarie, la relazione livelli-portate in alveo per la sezione di interesse.

Infine l'implementazione del codice di calcolo necessita della conoscenza delle *condizioni iniziali* del sistema, in termini di portata liquida, mediante le quali il programma avvia la simulazione in moto vario.

Una volta parametrizzato l'intero tronco fluviale di interesse, si può passare all'implementazione delle procedure necessarie alla perimetrazione delle aree allagate.

La schematizzazione dei processi di propagazione dell'idrogramma di piena comunemente adottata è quella *quasi-bidimensionale*, del tipo proposto da Cunge; ad un modello idraulico non stazionario, è associata una rappresentazione "a celle d'accumulo" delle *Aree di Potenziale Esondazione, APE*, adiacenti al corso d'acqua.

Si definiscono APE tutte quelle aree potenzialmente soggette a fenomeni esondativi, per le quali risulta prevalente il processo di invaso rispetto a quello di trasporto. La caratterizzazione geometrica delle APE si attua secondo i seguenti criteri:

- individuazione delle aree di potenziale esondazione su base cartografica;
- suddivisione delle aree di potenziale esondazione in celle elementari;
- caratterizzazione morfologica delle aree di potenziale esondazione, mediante una legge di riempimento volumi-quote d'inondazione $V = V(H)$;
- definizione delle connessioni idrauliche alveo-cella e cella-cella, attraverso le quali avviene il trasferimento dei volumi trascinati, secondo la legge di stramazzo.

Dal punto di vista strettamente numerico, l'associazione allo schema di moto vario di una rappresentazione a celle di accumulo, comporta lo studio di fenomeni non stazionari di propagazione ed accumulo attraverso la sola legge di invaso:

$$A_{ck} \frac{\partial h_k}{\partial t} = \sum_i Q_{ki} (h_k, h_i)$$

ove A_{ck} e h_k rappresentano rispettivamente l'area e il livello idrico della cella k-esima, h_i il livello idrico nella generica cella i-esima circostante, e Q_{ki} la portata scambiata con detta cella.

Per ogni tempo di ritorno, vengono quindi simulati i processi di propagazione dell'onda di piena, ottenendo un output nei punti della discretizzazione spazio-temporale adottata. Dall'analisi dei battenti idraulici emersi dalla verifica idraulica di moto vario si evidenziano le sezioni fluviali insufficienti ed i volumi di esondazione; dalla caratterizzazione morfologica delle aree adiacenti il corso d'acqua, è possibile simulare il comportamento idraulico dei volumi esondati. In particolare essi potranno essere di transito o di ristagno.