

Regione Piemonte

Provincia di Torino



## COMUNITA' MONTANA DEL PINEROLESE

### PIANO REGOLATORE GENERALE INTERCOMUNALE

VARIANTE STRUTTURALE DI ADEGUAMENTO AL P.A.I.  
redatta ai sensi della L.R. 1/2007

SUB AREA: BASSA VAL CHISONE

COMUNE: PRAMOLLO



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

COMMITTENTE

### RELAZIONE IDRAULICA

Elaborato	Scala	Elaborazione indagini idrauliche (maggio 2012)
<b>3.16</b>	—	Elaborazione integrazioni geomorfologiche e idrauliche (Gennaio 2015)
CODICE: 13009-C134-2		<b>PROGETTO DEFINITIVO</b> Approvato con Decreto del Commissario Straordinario della C. n. 55 del 18/12/2014
REVISIONE	DATA	<i>EDes Ingegneri Associati</i> <b>Dott. Ing. Bartolomeo VISCONTI</b> <b>Dott. Ing. Luca GATTIGLIA</b>
		 <b>Collaborazione:</b> <b>Dott. Geol. Sara CASTAGNA</b>
		 
		<small>EDes Ingegneri Associati P.IVA 10759750010 Corso Peschiera 191, 10141 Torino Tel. +39 011.0262900 Fax. +39 011.0262902 www.edesconsulting.eu edes@edesconsulting.eu</small>

REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI TORINO

COMUNITA' MONTANA  
VALLI CHISONE GERMANASCA PELLICE  
PINEROLESE PEDEMONTANO

VERIFICHE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA DA EFFETTUARSI AI  
SENSI DELL'ART. 18 COMMA 2 DELLA DELIBERAZIONE N. 1/99  
DELL'AUTORITA' DI BACINO PER I COMUNI INSERITI NELLE CLASSI  
DI RISCHIO R2

**BASSA VAL CHISONE**

COMUNE DI PRAMOLLO

**RELAZIONE IDRAULICA**

Indice:

1	PREMESSA.....	1
2	METODOLOGIA DI STUDIO .....	1
3	STUDIO IDROLOGICO.....	2
3.1	INQUADRAMENTO GENERALE DELLE AREE OGGETTO DI STUDIO .....	2
3.2	METODOLOGIA E CRITERI D'ELABORAZIONE .....	2
3.3	DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA .....	3
3.3.1.1	Definizione dei valori di portata con il metodo razionale .....	6
3.3.2.1	La scelta delle precipitazioni di riferimento.....	9
3.3.2.2	La definizione dei sottobacini e dei loro parametri. ....	11
3.3.2.3	La valutazione della sottrazione per infiltrazione.....	11
3.3.2.4	Descrizione del modello di calcolo .....	14
3.3.2.5	Portate del modello Afflussi deflussi.....	16
4	STUDIO IDRAULICO .....	20
4.1	L'ASSETTO GEOMETRICO DELL'ALVEO E CARATTERE GENERALE DEI CORSI D'ACQUA .....	20
4.2	METODO DI CALCOLO IN MOTO PERMANENTE .....	20
4.3	LE CONDIZIONI AL CONTORNO .....	21
4.4	COEFFICIENTE DI SCABREZZA .....	21
4.5	VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO POTENZIALE .....	21
4.6	LE VERIFICHE IN MOTO UNIFORME .....	22
5	ANALISI DEGLI INVASI .....	22
6	ANALISI DEI RISULTATI .....	22
6.1	TABELLE RIASSUNTIVE DEI FRANCHI IDRAULICI.....	24

## 1 PREMESSA

Il presente studio ha per oggetto la verifica di compatibilità idraulica e idrogeologica delle previsioni degli strumenti urbanistici in vigore con le condizioni di dissesto presenti o potenziali rilevate nella cartografia di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Legge 10 maggio 1999, n° 183, art. 17 comma 6 ter), relativamente alle aste dei rii nella porzione urbanizzata del territorio del Comune di Pramollo .

Lo scopo dello studio è fornire all'Amministrazione un quadro delle condizioni di pericolosità idraulica ed idrogeologica delle aree limitrofe alle aste in esame, al fine di verificare e dove possibile definire in maggiore dettaglio le condizioni di criticità individuate nel PAI; infatti le cartografie allegata al citato Piano riportano una indicazione simbolica di pericolosità connessa con le aree oggetto di studio, senza definire in dettaglio, data la scala di restituzione del Piano stesso (1:25.000), una perimetrazione delle aree direttamente interessate dai fenomeni di dissesto.

Allegata al presente studio viene pertanto fornita una cartografia in scala 1:5.000 con l'individuazione delle aree esondabili e dei punti critici dal punto di vista idraulico, redatta sulla base delle risultanze degli studi idrologici ed idraulici e delle verifiche di dettaglio in sito utilizzando la medesima simbologia del PAI. In Particolare metodologia di lavoro, grafie e codici fanno riferimento a quanto indicato negli indirizzi per l'attuazione del PAI nel settore urbanistico DGR del 15/7/2002 n° 45-6656 e relativi allegati.

## 2 METODOLOGIA DI STUDIO

Lo studio è stato condotto secondo la seguente metodologia:

Acquisizione dei rilievi topografici a terra: Sono state rilevate o acquisite sezioni trasversali nell'area in esame per quanto riguarda il reticolo di deflusso presente nel territorio comunale ed oggetto del presente studio. Sono state quindi rilevate le aste dei principali rii di versante e del reticolo minore in considerazione delle priorità legate alla definizione del rischio. In particolare nel rilievo delle problematiche esistenti sul territorio si sono tenuti in conto l'importanza dal punto di vista urbanistico, la gravità del dissesto, l'importanza idrologica delle superfici drenate. Per quanto riguarda l'ubicazione delle sezioni rilevate, indicata nella tavola grafica 3, è stata effettuata in modo da garantire l'acquisizione dei dati geometrici necessari alla modellizzazione idraulica dei fenomeni. Sono stati infine rilevati tutti i manufatti di attraversamento esistenti lungo le aste esaminate per censire in dettaglio l'iterazione dei deflussi con la rete viaria presente sul territorio.

Studio idrologico dei corsi d'acqua in esame, al fine di determinare i valori delle portate al colmo, con riferimento ai valori corrispondenti a tempi di ritorno 100, 200 e 500 anni.

Studio idraulico dei rii esteso ai tratti rilevati, oppure localizzato al manufatto. E' stato realizzato mediante il codice HEC-RAS che consente il calcolo del profilo idraulico in moto permanente e la determinazione dei livelli idrometrici nelle diverse ipotesi di calcolo oltre che valutazioni relative al trasporto solido. Per la verifica puntuale di alcuni manufatti ove non sia presente la necessità di descrivere la geometria in maniera più approfondita si sono utilizzate delle formulazioni di moto uniforme.

Lo studio idraulico dell'asta del Torrente Chisone e dei rii laterali ha inoltre tenuto conto della base conoscitiva fornita dal "Piano di Bacino del Torrente Chisone", redatto su incarico della Comunità Montana Valli Chisone e Germanasca su finanziamento della Provincia di Torino.

Perimetrazione (ove possibile) delle aree esondabili e definizione delle criticità puntuali sulla base dei risultati numerici del modello Hec Ras, delle verifiche di moto uniforme effettuate, di considerazioni morfologiche e della valutazioni relative al trasporto solido.

Individuazione delle aree a maggior pericolosità, sulla base dei risultati numerici delle verifiche effettuate, di considerazioni morfologiche e della valutazioni effettuate in seguito a verifiche di dettaglio in loco delle situazioni a maggior criticità.

Classificazione dei dissesti ai sensi del DGR 15/7/2002 n°45-6656.

### **3 STUDIO IDROLOGICO**

#### **3.1 INQUADRAMENTO GENERALE DELLE AREE OGGETTO DI STUDIO**

L'area in esame oggetto di studio è drenata dall'asta principale del torrente Chisone, Il territorio comunale comunque risultando a monte del territorio di San Germano non comprende tratti del suddetto torrente. Il territorio comunale di Pramollo risulta incluso nel bacino del Rio di Risagliardo che risulta l'affluente di Chisone secondo per importanza dopo il Germanasca in sponda destra per la Bassa Valle Chisone. L'estensione del bacino risulta di ben 25 km<sup>2</sup>. Gli Altri rii classificati e censiti fanno comunque parte del reticolo del Risagliardo.

I rii presenti sono stati classificati principalmente per la loro iterazione con la rete viaria che interseca il rio. In totale i bacini studiati risultano 12. i manufatti classificati e studiati risultano invece 20.

#### **3.2 METODOLOGIA E CRITERI D'ELABORAZIONE**

La determinazione della portata di massima piena di un corso d'acqua in una assegnata sezione richiede di conoscere l'esatto bilancio idrologico del bacino imbrifero sotteso, tenendo conto di un periodo di tempo generalmente molto breve (alcune ore o al massimo pochi giorni) e di una serie di condizioni iniziali ed al contorno numerose e talvolta di difficile determinazione.

Tale bilancio dovrebbe essere valutato per tutti i fenomeni di piena prevedibili, nell'ipotesi di conoscere a priori la distribuzione e l'intensità dei deflussi.

Date le difficoltà intrinseche ad effettuare un rigoroso bilancio idrologico sono state definite da tempo delle metodologie sufficientemente attendibili per determinare dei valori di portata di riferimento utili per i dimensionamenti idraulici delle opere o le verifiche da effettuare.

In sostanza, la mancanza d'osservazioni dirette di portata nel bacino considerato rende indispensabile il ricorso a metodi indiretti per la valutazione delle portate di progetto. I metodi d'uso corrente sono riconducibili a tre gruppi:

formule «regionali» che permettono di calcolare la portata per regressione utilizzando parametri morfometrici e climatici;

metodi deterministici che individuano la portata in funzione della precipitazione d'assegnata durata e probabilità (per esempio, il metodo razionale);

modelli concettuali «afflussi-deflussi» per la determinazione dell'idrogramma conseguente ad assegnate precipitazioni in funzione di parametri morfometrici del bacino, di dati sulla copertura vegetale e sulle caratteristiche del suolo.

Nel seguito si è fatto riferimento ai secondi due metodi indicati, poiché consentono valutazioni più accurate, consone con gli scopi del presente studio; il primo metodo infatti consente, tramite l'utilizzo di formule empiriche o derivate da correlazioni, comunque piuttosto semplificate, di stimare il valore di portata in una data sezione di chiusura a partire da pochi parametri, e risultano attendibili per valutazioni di massima, sia pur piuttosto grezze.

Lo scopo finale dell'indagine idrologica prevede di fornire portate d'assegnata probabilità alla sezione di chiusura dei sottobacini.

Pertanto la metodologia adottata per la valutazione della portata di massima piena nelle sezioni in esame prevede l'elaborazione dei dati disponibili mediante l'impiego di metodi concettualmente diversi tra loro. Tale scelta è dettata dal fine di stimare il valore di massima piena dal confronto critico dei risultati ottenuti.

### **3.3 DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA**

Per la determinazione delle portate di massima piena, come detto, si sono utilizzati alcuni diversi metodi di calcolo e successivamente si è operata la scelta in base al raffronto critico dei risultati ottenuti.

I metodi presi in considerazione nel presente studio sono i seguenti:

Elaborazioni di tipo deterministico effettuate secondo il metodo razionale a partire dalle curve di possibilità pluviometrica proposte dal Piano Stralcio per L'Assetto Idrogeologico (PAI) – Indirizzi per l'attuazione del PAI nel settore urbanistico- ALLEGATO 1 Direttiva sulla piena di progetto da assumere per la progettazione e le verifiche di compatibilità idraulica. (Regione Piemonte 2002)

Modello fisico afflussi/deflussi Hec Hms (Hydrologic Engineering Center – U.S. Army Corp).

Ancora prima di entrare nei dettagli di ogni singolo metodo occorre precisare che i tempi di ritorno scelti sono 100, 200 e 500 anni.

Sono stati considerati questi tre valori poiché al primo fanno riferimento un gran numero di formulazioni empiriche nonché la tabella 7.16 del PS45 redatto dall'Autorità di Bacino come valore di portata di riferimento per valutare la non interferenza o la messa in sicurezza delle infrastrutture primarie; il secondo è il valore di riferimento per il tracciamento della fascia B utilizzato nel Piano Stralcio Fasce Fluviali, redatto dall'Autorità di Bacino stessa, e indicato quale valore di calcolo per la verifica e la messa in sicurezza di centri abitati e infrastrutture di rilevante importanza; il terzo è infine un valore di riferimento tipico in caso di opere che richiedono un massimo livello di protezione per le quali una rottura, o un non corretto funzionamento comporti seri rischi di vite umane (ad esempio le dighe).

### 3.3.1 METODO RAZIONALE

Come indicato in precedenza nel presente paragrafo si procede alla valutazione della portata di piena con tempo di ritorno di 100, 200, 500 anni con riferimento alle curve di possibilità pluviometrica proposte dalla suddetta Direttiva sulla piena di progetto.

Ai fini dell'individuazione dei parametri progettuali di assetto idrogeologico ed idraulico si è fatto riferimento alle curve di possibilità climatica della Tabella 1 della Direttiva. La stazione più vicina alle aree in esame risulta certamente la stazione di San Germano alla quale si è fatto riferimento.

La curva di possibilità climatica assume la forma seguente:

$$h = a \cdot t^n$$

dove:

h = rappresenta l'altezza di precipitazione espressa in mm

t = rappresenta la durata della precipitazione espressa in ore

a ed n = rappresentano parametri corrispondenti alle caratteristiche pluviometriche.

per la suddetta stazione i precedenti parametri assumono i seguenti valori con riferimento ai tempi di ritorno indicati:

TR (anni)	a	n
100	70.82	0.367
200	78.13	0.363
500	87.75	0.359

Sulla base delle curve individuate, la determinazione della portata mediante l'adozione del modello cinematico o di corrivazione, prevede la determinazione del tempo di corrivazione per quanto attiene la modellazione della trasformazione degli afflussi meteorici nel fenomeno di formazione della piena. Tale modello infatti individua come durata critica della precipitazione quella corrispondente ad un tempo pari a quello di corrivazione.

La letteratura fornisce alcune formulazioni per il calcolo del tempo di corrivazione  $t_c$ ; per bacini con caratteristiche analoghe a quelle in esame, in termini di estensione e altitudine, si ritiene particolarmente adatta la formulazione proposta da Giandotti:

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{(H - h)}} \text{ (ore)}$$

Dove:

- S = rappresenta l'estensione del bacino (Km<sup>2</sup>)  
 L = rappresenta la lunghezza dell'asta principale (km)  
 H = rappresenta l'altitudine media del bacino imbrifero sotteso, (m.s.m).  
 h = rappresenta la quota della sezione considerata (m.s.m).

Il calcolo della portata di piena deriva dalla seguente formulazione:

$$Q_{max} = C \cdot h \cdot S/3.6 t_c$$

dove:

- c = coefficiente di deflusso  
 h = altezza di pioggia per un tempo t = t<sub>c</sub>  
 S = superficie del bacino in Km<sup>2</sup>

I valori di intensità pluviometrica calcolati per la precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione ed i conseguenti valori di portata vengono pertanto riportati nelle seguenti tabelle relative ai bacini considerati: Le sigle BSGE N° fa nno riferimento alla tavola di definizione dei sottobacini ed alla corografia. Nel seguito si riassumono inoltre le principali caratteristiche geometriche dei bacini in esame che sono state utilizzate per gli scopi idrologici dello studio.

Al fondo della tabella sono riportate inoltre le caratteristiche dei bacini che derivano dalla somma di più sottobacini. I coefficienti di deflusso adottati risultano mediamente pari a 0.5 in considerazione cautelativa relativa alla copertura presente e all'estensione più limitata dei sottobacini presenti.

SIGLA BACINO	Lunghezze aste principali (km)	Superficie (km <sup>2</sup> )	Quota media (msm)	Quota sezione di chiusura (msm)	Tempo di corrivazione (ore)
PRA 01	1.8	0.56	990	630	0.38
PRA 02	3.2	2.14	1170	630	0.57
PRA 03	2.3	0.66	1430	1160	0.51
PRA 04	2.3	0.92	950	671	0.55
PRA 05	0.6	0.13	960	780	0.22
PRA 06	1.5	0.23	1270	1020	0.33
PRA 07	2.2	0.61	1370	1020	0.43
PRA 08	1.5	0.65	1450	1040	0.34
PRA 09	3.0	4.21	1350	825	0.69
PRA 10	4.5	10.6	1150	671	1.13
PRA 11	1.7	0.59	950	590	0.37
PRA 12	0.8	0.26	900	770	0.36
PRA3+2	3.5	2.8	1231	630	0.61
PRA3-1	3.5	3.36	1191	630	0.66

<b>SIGLA BACINO</b>	<b>Lunghezze aste principali (km)</b>	<b>Superficie (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Quota media (msm)</b>	<b>Quota sezione di chiusura (msm)</b>	<b>Tempo di corrivazione (ore)</b>
PRA6+7	2.2	0.84	1343	1020	0.48
PRA5-7	2.7	0.97	1291	780	0.44
PRA8+9	3.0	4.86	1363	825	0.72
PRA5-9	3.2	5.83	1351	780	0.75
PRA4-9	4.1	6.75	1297	671	0.82
PRA4-10	4.5	17.35	1207	671	1.27
PRA1-10	5.2	20.71	1204	600	1.32

### 3.3.1.1 DEFINIZIONE DEI VALORI DI PORTATA CON IL METODO RAZIONALE

Tempo di ritorno 100 anni

<b>SIGLA BACINO</b>	<b>Precipitazione per <math>T_p=T_c</math> (mm)</b>	<b>Intensità per <math>T_p=T_c</math> (mm/h)</b>	<b>Portata di massima piena m<sup>3</sup>/s</b>
PRA 01	50	131	10.2
PRA 02	58	101	30.0
PRA 03	55	109	10.0
PRA 04	57	103	13.2
PRA 05	40	187	3.4
PRA 06	47	144	4.6
PRA 07	52	122	10.3
PRA 08	48	140	12.7
PRA 09	62	89	52.3
PRA 10	74	66	96.4
PRA 11	49	132	10.8
PRA 12	48	136	4.9
PRA3+2	59	97	37.8
PRA3-1	61	92	42.9
PRA6+7	54	113	13.1
PRA5-7	53	118	15.9
PRA8+9	63	88	59.1
PRA5-9	64	85	68.5
PRA4-9	66	80	75.1
PRA4-10	77	61	147.0
PRA1-10	78	59	171.0



Tempo di ritorno 200 anni

<b>SIGLA BACINO</b>	<b>Precipitazione per <math>T_p=T_c</math> (mm)</b>	<b>Intensità per <math>T_p=T_c</math> (mm/h)</b>	<b>Portata di massima piena <math>m^3/s</math></b>
PRA 01	55	145	11.3
PRA 02	64	112	33.2
PRA 03	61	120	11.0
PRA 04	63	114	14.6
PRA 05	45	208	3.8
PRA 06	52	159	5.1
PRA 07	57	135	11.4
PRA 08	53	155	14.0
PRA 09	68	99	57.8
PRA 10	82	72	106.3
PRA 11	55	146	12.0
PRA 12	54	151	5.5
PRA3+2	65	107	41.8
PRA3-1	67	102	47.4
PRA6+7	60	125	14.5
PRA5-7	58	131	17.6
PRA8+9	69	97	65.3
PRA5-9	71	93	75.7
PRA4-9	73	88	82.9
PRA4-10	85	67	162.0
PRA1-10	86	65	188.4

Tempo di ritorno 500 anni

<b>SIGLA BACINO</b>	<b>Precipitazione per <math>T_p=T_c</math> (mm)</b>	<b>Intensità per <math>T_p=T_c</math> (mm/h)</b>	<b>Portata di massima piena m<sup>3</sup>/s</b>
PRA 01	62	163	12.7
PRA 02	72	126	37.4
PRA 03	69	135	12.4
PRA 04	71	129	16.5
PRA 05	51	235	4.2
PRA 06	59	180	5.7
PRA 07	65	152	12.9
PRA 08	60	175	15.8
PRA 09	77	111	65.0
PRA 10	92	81	119.4
PRA 11	62	165	13.5
PRA 12	61	170	6.2
PRA3+2	73	121	47.0
PRA3-1	76	114	53.3
PRA6+7	67	140	16.4
PRA5-7	66	147	19.9
PRA8+9	78	109	73.4
PRA5-9	79	105	85.1
PRA4-9	82	99	93.2
PRA4-10	95	75	181.8
PRA1-10	97	73	211.4

### 3.3.2 MODELLO AFFLUSSI – DEFLUSSI

Il modello afflussi deflussi utilizzato è HEC HMS – sviluppato da U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. Si tratta di un modello idrologico che consente di simulare l'idrogramma di deflusso di un bacino in risposta ad un afflusso meteorico sufficientemente intenso. La simulazione della piena è effettuata sintetizzando le risposte idrografiche di unità areali del bacino o sottobacini a caratteristiche fisiche e meteorologiche omogenee. Per ciascuno dei sottobacini vengono modellizzate tre componenti schematiche.

- simulazione del sistema idrografico
- simulazione del deflusso superficiale
- simulazione della propagazione

E' intuitivo constatare che quanto più la suddivisione del bacino è vincolata all'ipotesi di omogeneità, tanto maggiore è il numero di sottobacini da considerare, il grado di approssimazione del modello è dunque, sotto questo aspetto, dipendente dalle scelte effettuate dall'utente.

I tre procedimenti di calcolo sopra introdotti, richiedono la conoscenza preliminare di numerosi parametri relativi al bacino, in particolare se non si dispongono di misure dirette di afflussi e deflussi sono necessari i parametri geomorfologici e le estensioni dei sottobacini, le condizioni di imbibizione e le caratteristiche di permeabilità dei suoli, la forma le lunghezze e le caratteristiche dei tratti fluviali o di vaso considerati per la propagazione. Per il calcolo della portata è infine necessaria la definizione delle precipitazioni di riferimento.

Naturalmente nel caso in esame la scelta dei parametri successivamente dettagliata, è effettuata con lo scopo di stimare il valore di piena al colmo, a partire da valori di precipitazione prefissati; pertanto le assunzioni dei parametri stessi saranno sufficientemente cautelative. Diversa la situazione nel caso in cui lo scopo della modellazione fosse la simulazione di un evento reale di piena. Nel seguito vedremo pertanto dettagliatamente esplicitate tali scelte

### 3.3.2.1 LA SCELTA DELLE PRECIPITAZIONI DI RIFERIMENTO

Circa le precipitazioni da assumere alla base del calcolo della portata di progetto si sono assunte di base le curve di possibilità pluviometrica proposte dal Piano Stralcio per L'Assetto Idrogeologico (PAI) –Indirizzi per l'attuazione del PAI nel settore urbanistico- ALLEGATO 1 Direttiva sulla piena di progetto da assumere per la progettazione e le verifiche di compatibilità idraulica. (Regione Piemonte 2002). Tali curve possono essere valutate per vari tempi di pioggia e sulla base d'utilizzo del modello afflussi-deflussi, di cui si tratterà di seguito, si è individuata, secondo un metodo di approssimazione successive, la durata di pioggia critica per i bacini in esame; tale durata è risultata pari a 4 ore, tale durata è stata trovata confrontando i valori relativi ai tempi di corrivazione pari a 2,4,6,8 ore Il tempo individuato risulta molto diverso dal tempo di corrivazione in quanto per la modellazione afflussi deflussi risulta molto importante la modalità di infiltrazione delle precipitazioni e la saturazione del suolo che non viene considerata attraverso il metodo razionale. In tabella sono riportate le altezze di pioggia calcolate per i vari tempi di pioggia di interesse:

<b>CURVE DI POSSIBILITA' CLIMATICA DI San Germano</b>			
<b>tempi di pioggia (ore)</b>	<b>TR=100 (mm)</b>	<b>TR=200 (mm)</b>	<b>TR=500 (mm)</b>
2	91.33	100.48	112.54
4	117.79	129.23	144.34
6	136.69	149.72	166.96
8	151.91	166.20	185.12

Tali valori sono riferibili al "centro di pioggia"; in presenza di areali estesi, occorre operare un abbattimento di tali valori per tener conto della diversa distribuzione della pioggia in funzione dell'area interessata dalla precipitazione stessa, tale abbattimento non è stato operato nel caso

in esame a favore di sicurezza ed in considerazione dell'estensione ridotta dei bacini considerati.

La curva di probabilità pluviometrica per assegnato tempo medio di ritorno TR contiene una parte dell'informazione necessaria per l'analisi pluviometrica, ma richiede di stabilire a priori la distribuzione temporale dell'intensità di pioggia. L'informazione ricavata dall'equazione della curva segnalatrice di possibilità pluviometrica  $h=at^n$  può essere completata dalla scelta della forma della distribuzione temporale degli afflussi. E' noto, infatti, che la distribuzione degli afflussi costituisce un fattore rilevante per la determinazione dei valori di portata al colmo nelle reti drenanti sia artificiali sia naturali.

In un'indagine sulla caratterizzazione empirica degli eventi di pioggia (Ferrari, 1994) sono state fornite informazioni sulle forme dello ietogramma di progetto attraverso l'analisi di registrazioni relative a circa 17 mila eventi di pioggia sul territorio italiano, divisi per gruppi di durata totale e ridotti in forma normalizzata rispetto ai valori totali d'altezza e durata. Divisa la durata dell'evento in quattro, sono stati ricavati per ogni quarto di durata della precipitazione i valori percentuali d'altezza aventi assegnata frequenza nell'ambito del campione disponibile. Successivamente sono stati ricostruiti nubifragi di progetto aventi stessa durata ed altezza di pioggia, ma aventi differente posizione temporale dello scroscio (vale a dire una diversa distribuzione dell'intensità di pioggia). Dall'esperienza delle conseguenze di numerosi eventi gravosi e dai risultati di semplici modelli afflussi-deflussi, si è ricavata la prova che la distribuzione d'intensità che prevede il massimo scroscio nell'ambito dell'ultimo quarto della durata dell'evento rappresenta la distribuzione maggiormente cautelativa. E' intuitivo, infatti, osservare che, in tali condizioni, indipendentemente dalle condizioni antecedenti di contenuto idrico del suolo, la rete idrografica è già interessata dalle precipitazioni iniziali allorché si verifica l'apporto finale caratterizzato da maggiore intensità; le precipitazioni dei primi tre quarti della durata dell'evento avranno colmato le capacità d'invaso e soddisfatto le sottrazioni iniziali per infiltrazione.

Dalla suddetta curva di possibilità pluviometrica sono stati dedotti gli ietogrammi di progetto riferiti proprio ad uno scroscio di maggiore intensità al termine dell'evento. L'altezza di pioggia (mm) è dedotta quale percentuale della precipitazione totale in funzione della durata di pioggia. Si adotta pertanto il criterio per cui il rapporto della precipitazione nell'ultimo quarto rispetto al totale risulta il 55%. Per tempi di pioggia superiori alle 3 ore, per tempi inferiori o uguali tale percentuale risulta invece del 50%.

I dati relativi agli ietogrammi derivati sono pertanto riportati nella seguente tabella in funzione dei tempi di ritorno e di pioggia di interesse.

Tempo di pioggia (ore)	Durata dell'ultimo quarto (ore)	Valore di precipitazione (mm) da attribuire per i primi $\frac{3}{4}$ dell'evento			Valore di precipitazione (mm) da attribuire per l'ultimo quarto dell'evento		
		TR=100 (mm)	TR=200 (mm)	TR=500 (mm)	TR=100 (mm)	TR=200 (mm)	TR=500 (mm)
2.00	0.5	45.67	50.24	56.27	45.67	50.24	56.27
4.00	1	64.79	71.08	79.39	53.01	58.15	64.95
6.00	1.5	75.18	82.35	91.83	61.51	67.38	75.13
8.00	2	83.55	91.41	101.82	68.36	74.79	83.30

### 3.3.2.2 LA DEFINIZIONE DEI SOTTOBACINI E DEI LORO PARAMETRI.

L'intero bacino viene diviso in sottobacini sulla base di una ripartizione uniforme dell'area totale, tenendo conto degli spartiacque interni del bacino maggiore e dell'uniformità di ogni singolo sottobacino, il numero di sottobacini scelto appare un buon compromesso tra la necessità di aderire quanto più possibile alla realtà fisica del reticolo fluviale rispetto alla rapidità di elaborazione, alla qualità dei dati disponibili ed al grado di approssimazione richiesto dal calcolo. Le dimensioni areali dei sottobacini scelte inoltre permettono l'applicazione della formulazione di Giandotti per la stima dei tempi di corrivazione di questi. Occorre ricordare infine che le distribuzioni di pioggia calcolate in precedenza sono state attribuite uniformemente a tutti i sottobacini.

Le caratteristiche morfologiche e geometriche principali di ogni sottobacino sono state definite nel paragrafo relativo al calcolo delle portate con il metodo razionale.

Per ogni tratto del reticolo idrografico modellizzato occorre definire delle sezioni caratterizzanti affinché il modello possa calcolare la propagazione dell'onda di piena.

Le sezioni di deflusso caratteristiche per ciascun sottobacino sono desunte dai rilievi topografici attualmente a disposizione; negli altri casi a partire da sopralluoghi lungo l'asta e integrati con l'utilizzo della cartografia a disposizione; si è definita tratto per tratto una sezione media di deflusso a tutta larghezza in modo da simulare compiutamente durante il processo di propagazione dell'onda di piena anche il fenomeno dell'esondazione dall'alveo inciso. Occorre precisare che in considerazione della dimensione delle sezioni, delle pendenze in gioco che sono comunque rilevanti, l'assenza di invasi naturali o ampie golene, il fenomeno della laminazione risulta piuttosto limitato, come è possibile constatare nei tabulati di calcolo.

### 3.3.2.3 LA VALUTAZIONE DELLA SOTTRAZIONE PER INFILTRAZIONE

La valutazione della sottrazione per infiltrazione nei singoli sottobacini è stata effettuata in base al metodo noto come SCS, in funzione del tipo di suolo, di copertura e in funzione delle precipitazioni antecedenti. Il parametro che sintetizza le caratteristiche del suolo prende il nome di CN.

Il metodo assume che, nel corso di un evento, il volume del deflusso superficiale per unità di superficie  $R$  sia proporzionale a quello della precipitazione  $P$  depurato della perdita iniziale per assorbimento del suolo  $P_a$ . Il rapporto è assunto pari a quello esistente fra infiltrazione  $I$  e un volume  $S$  che caratterizza la massima ritenzione potenziale del terreno. La relazione diventa

pertanto  $\frac{R}{P - P_a} = \frac{I}{S}$  che, tenendo conto dell'equazione della conservazione della massa

esprimibile con  $I = P - P_a - R$  permette di giungere alla relazione  $R = \frac{(P - P_a)^2}{P - P_a + S}$  la quale mostra il volume del ruscellamento in funzione di quello della precipitazione e di due parametri caratteristici del suolo: la capacità d'assorbimento iniziale e la massima ritenzione potenziale.

La massima ritenzione potenziale dipende quindi dalla natura del suolo e dalla copertura, il cui effetto combinato è rappresentato dal parametro adimensionale CN.

Il metodo SCS distingue quattro gruppi di suolo in base al loro comportamento idrologico, che è sommariamente e qualitativamente descritto nella seguente tabella (Boss & Ass., 1995).

Gruppo	Deflusso potenziale	Descrizione
A	Basso 7,5–11,25 mm/ora	Suoli con elevata velocità d'infiltrazione anche quando completamente inumiditi, consistenti principalmente in sabbie profonde da bene a fortemente drenate, loess potente o silt.
B	Da basso a moderato 3,75 – 7,5 mm/ora	Suoli con moderata velocità d'infiltrazione anche quando completamente inumiditi e consistenti in suoli moderatamente profondi, ben drenati e con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana. Il gruppo comprende il loess poco spesso e le marne sabbiose.
C	da moderato a alto 1,25 – 3,75 mm/ora	Suoli con bassa velocità di infiltrazione quando completamente inumiditi consistenti principalmente in suoli con uno strato che impedisce il movimento dell'acqua verso il basso o suoli con tessitura da fine a moderatamente fine. Tale gruppo comprende molte marne argillose, marne sabbiose poco spesse, suoli con scarso contenuto organico, e suoli usualmente ad alto contenuto di argilla.
D	alto 0,0 – 1,25 mm/ora	Suoli con molto bassa velocità di infiltrazione quando completamente inumiditi consistenti principalmente in suoli argillosi con elevato potenziale di rigonfiamento, suoli con falda superficiale permanente, suoli con strati di argilla in superficie, suoli sottili sopra strati impermeabili, alcuni suoli salificati.

In base alle indicazioni della tabella, sono stati ascritti al tipo di suolo della classe B tutti i sottobacini considerati.

Si assume che il valore di CN possa variare in funzione delle condizioni iniziali di imbibimento del terreno quantificate mediante l'entità delle precipitazioni cadute nei cinque giorni precedenti l'evento; si definisce in tal modo la classe AMC (Antecedent soil Moisture Condizion).

Classe AMC	Pioggia totale nei 5 giorni antecedenti l'evento	
	Stagione di riposo vegetativo	Stagione di crescita vegetativa
I	< 13 mm	< 36 mm
II	13 ÷ 28 mm	36 ÷ 53 mm
III	> 28 mm	> 53 mm

Apposite tabelle forniscono i valori di CN per la classe AMC-II e si può passare dall'una all'altra classe mediante le relazioni:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013 CN_{II}} \quad CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057 CN_{II}}$$

In base ai valori indicati da Ranzi & Rosso (FLEA, 1994), sono stati selezionati i seguenti valori di CN per suolo attribuito al tipo idrologico A e in condizioni AMC-II.

<b>Suolo tipo B</b>	<b>AMC II</b>
Bosco	60
Prati-coltivi	67
Zona impermeabile	100
Zona nuda	79
Zona urbana	82

Per ciascun sottobacino, i valori di CN sono stati calcolati come valore medio ponderato in funzione dell'area di ciascun tipo di copertura presente (zone impermeabili escluse e conteggiate a parte); tale suddivisione è stata effettuata in base all'analisi della cartografia disponibile; si è considerata nei calcoli solo la condizione di AMCII, in quanto ritenuta più aderente alla situazione reale sia per quanto riguarda la natura e le dimensioni del bacino, sia per quanto concerne la distribuzione temporale delle piogge in un tempo antecedente eventi caratterizzati da tali tempi di ritorno.

La tabella riassuntiva seguente riporta le condizioni di suolo idrologico tipo, i valori di CN calcolati e le percentuali d'uso del suolo per tutti i sottobacini nelle già citate condizioni AMC-II.

<b>bacino</b>	<b>bosco %</b>	<b>prato coltivo %</b>	<b>zona urbana %</b>	<b>zona impermeabile %</b>	<b>Numero di CN</b>
PRA 01	65%	30%	0%	5%	62.2
PRA 02	60%	35%	0%	5%	61.8
PRA 03	48%	42%	0%	10%	62.6
PRA 04	70%	25%	0%	5%	61.8
PRA 05	70%	25%	0%	5%	61.8
PRA 06	48%	42%	0%	10%	63.3
PRA 07	48%	42%	0%	10%	63.3
PRA 08	48%	42%	0%	10%	63.3
PRA 09	48%	42%	0%	10%	63.3
PRA 10	48%	42%	0%	10%	63.3
PRA 11	65%	30%	0%	5%	62.2
PRA 12	70%	25%	0%	5%	61.8
PRA 01	65%	30%	0%	5%	62.2
PRA 02	60%	35%	0%	5%	61.8
PRA 03	48%	42%	0%	10%	62.6
PRA 04	70%	25%	0%	5%	61.8
PRA 05	70%	25%	0%	5%	61.8

Un altro parametro indispensabile al calcolo della portata di progetto è il TL; per TL s'intende il tempo di concentrazione della portata alla sezione di chiusura.

Quel tempo che intercorre cioè tra il baricentro del pluviogramma di precipitazione efficace ed il picco di piena. Tale tempo può essere determinato con la formula di Mockus che tuttavia essendo d'origine anglosassone mal si adatta ai nostri complessi bacini montani; di conseguenza il valore di TL può essere agevolmente determinato mediante la relazione di natura semiempirica :

$$TL = 0,6 \cdot TC$$

### **3.3.2.4 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO**

In più sedi e da diversi anni è stato sottolineato che la definizione delle portate di riferimento trova i primi ostacoli nel ridotto numero di stazioni idrometrografiche nei bacini medio-piccoli; le citate carenze di stazioni di misura hanno fortemente condizionato la taratura di modelli idrologici. Nell'ambito del calcolo delle portate come detto è stato qui utilizzato il noto modello HEC HMS (U.S. Army Corps of Engineers). Le capacità del modello Hec comunemente utilizzate sono:

Calcolo della distribuzione delle precipitazioni su un bacino per eventi da cinque minuti a dieci giorni di durata.

Calcolo della portata schematizzando il processo d'infiltrazione nel terreno;

Generazione dell'idrogramma completo ad ogni sezione di chiusura dei sottobacini;

Calcolo degli effetti di laminazione e invaso lungo i corsi d'acqua ed in determinati siti entro il bacino.

Si segnala per completezza che tale modello comporta alcune semplificazioni e limitazioni, che consistono essenzialmente nella limitazione a studiare un evento singolo, nell'analisi del solo moto permanente, nell'impiego di una forma semplificata delle equazioni del moto donde lo spiccato carattere monodirezionale.

L'applicazione pratica del modello al caso in esame si è sviluppata nelle seguenti fasi:

Suddivisione in sottobacini dell'area in esame con misurazione e calcolo dei diversi parametri morfometrici;

Studio dell'uso del suolo nell'ambito di ciascun sottobacino ai fini dell'assegnazione del valore di perdita per infiltrazione;

Applicazione degli idrogrammi di progetto;

Applicazione di un eventuale coefficiente di abbattimento dell'altezza di pioggia, in base all'estensione dell'area in esame e alla durata della stessa; (nel caso in esame le estensioni dei bacini non prevedono tale coefficiente).

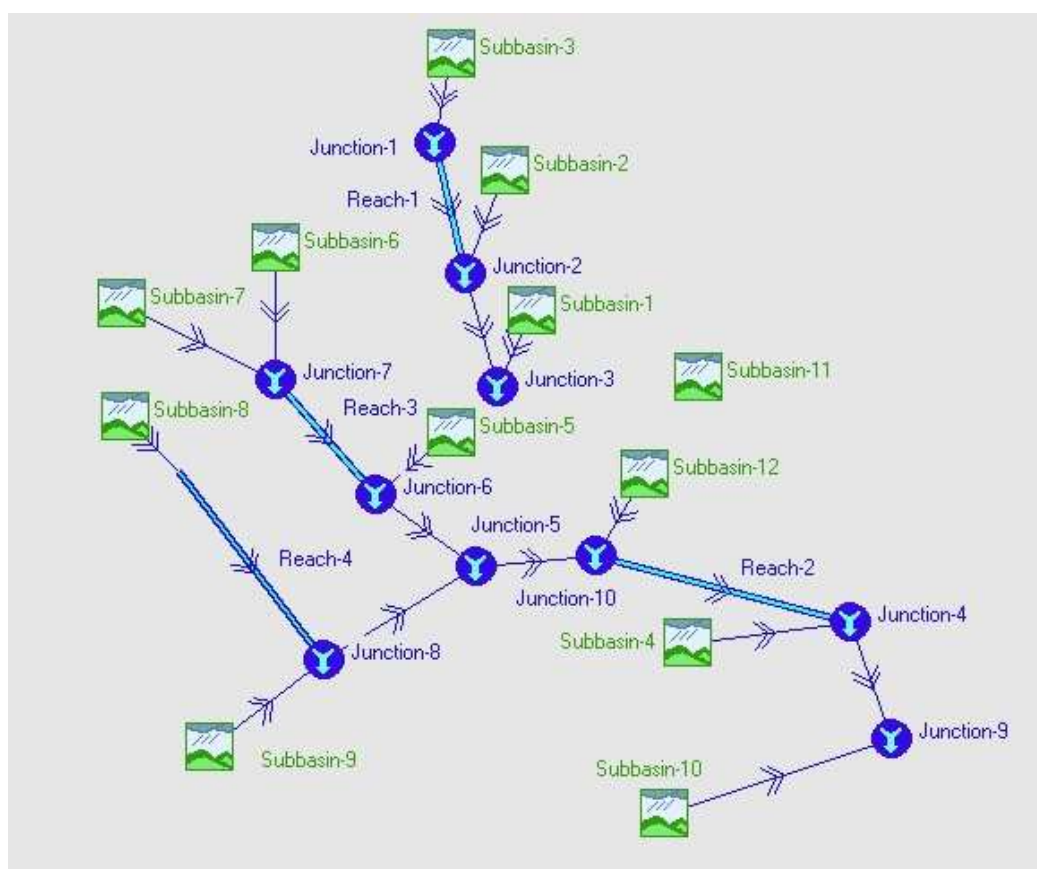
Simulazione della sezione bagnata interessante i tratti di alveo nei singoli sottobacini.

Calcolo della portata di progetto e dei relativi idrogrammi alla chiusura di ogni sottobacino.



Il codice di calcolo HEC HMS fornisce una valutazione delle portate di progetto valida dal punto di vista idrologico, ossia in dipendenza dei caratteri morfometrici dei bacini in esame e delle caratteristiche pluviometriche. Si deve ritenere, a questo proposito, che lo ietogramma di progetto adottato sia cautelativo in quanto più gravoso dell'ipotesi, tipica del metodo razionale, d'uniforme intensità di precipitazione per tutta la durata della pioggia. La procedura è pertanto da ritenersi affidabile, a fronte dei metodi disponibili.

La rete idraulica utilizzata dal modello di calcolo completa delle gerarchie dei sottobacini viene individuata nell'elaborato n° 2 del presente studio. Nel seguito si riporta una schematizzazione concettuale della simulazione effettuata.



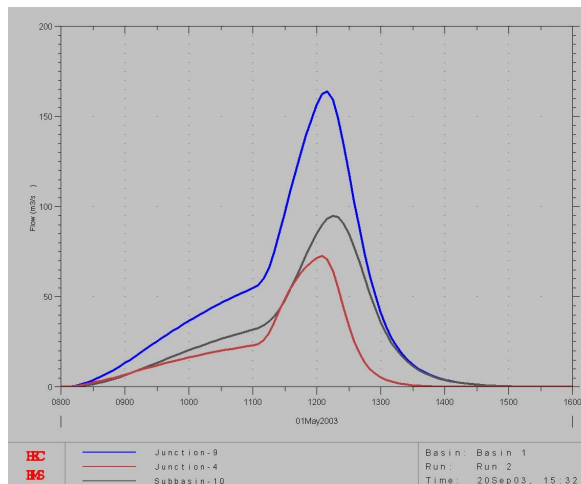
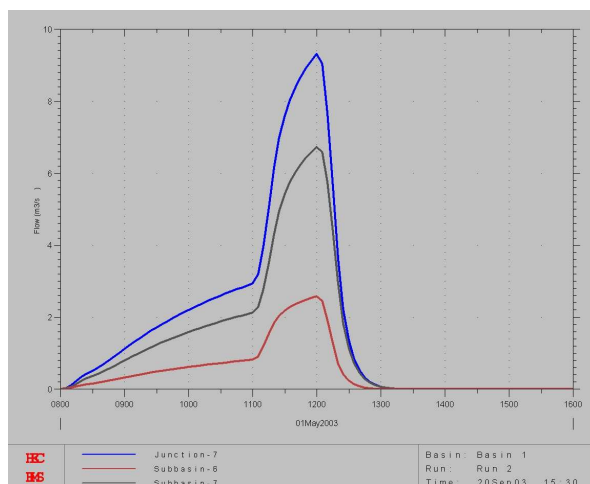
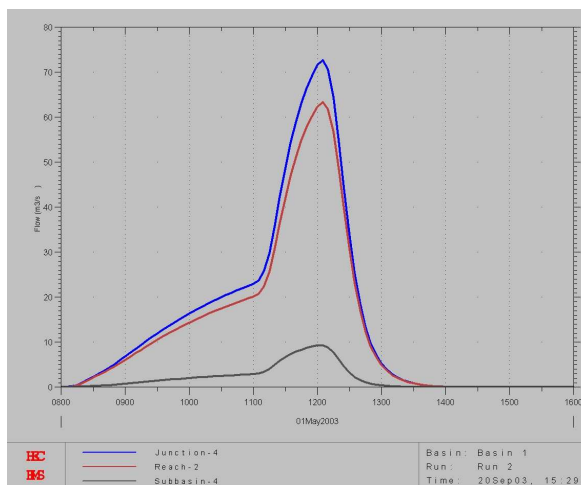
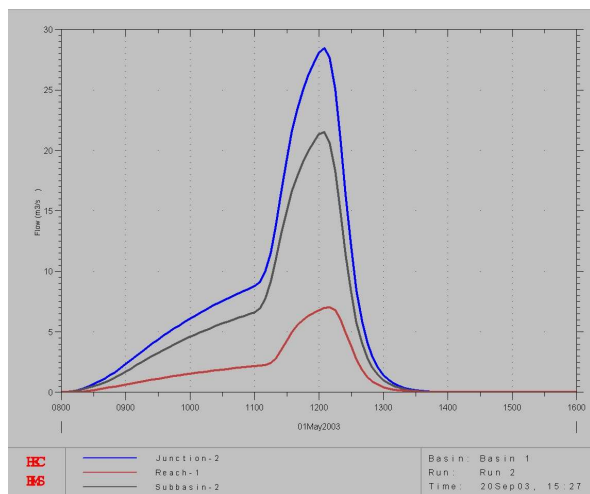
In conclusione il modello HEC HMS fornisce gli idrogrammi completi sia dei sottobacini che dell'intero bacino di interesse, nelle seguenti tabelle si riportano i valori di portata in corrispondenza del picco di piena in funzione del tempo di pioggia scelto e del tempo di ritorno relativi alle sezioni di chiusura di interesse per le successive verifiche idrauliche.

Con riferimento alla precedente immagine si ha:

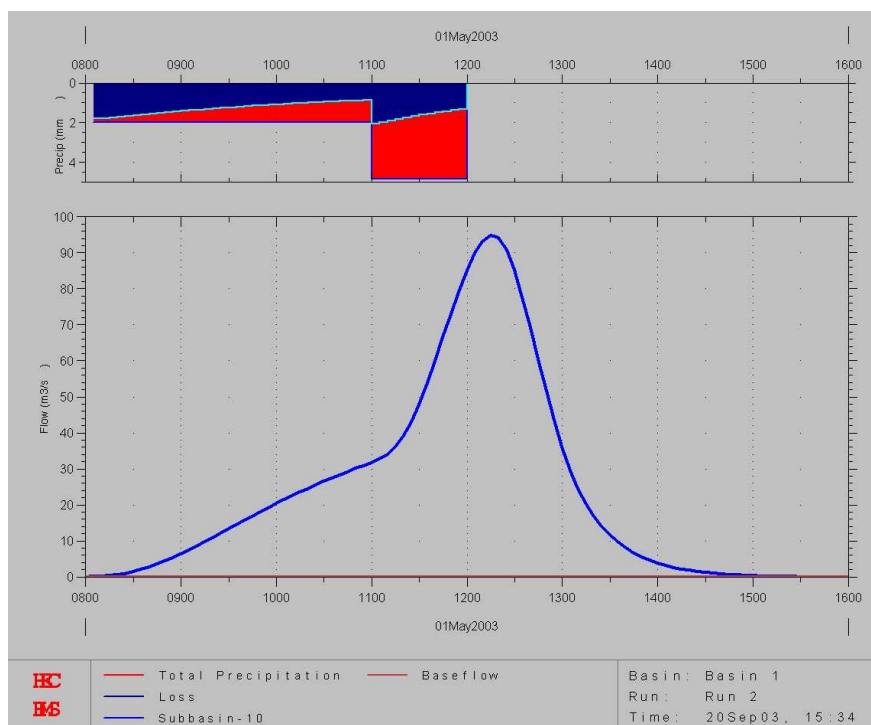
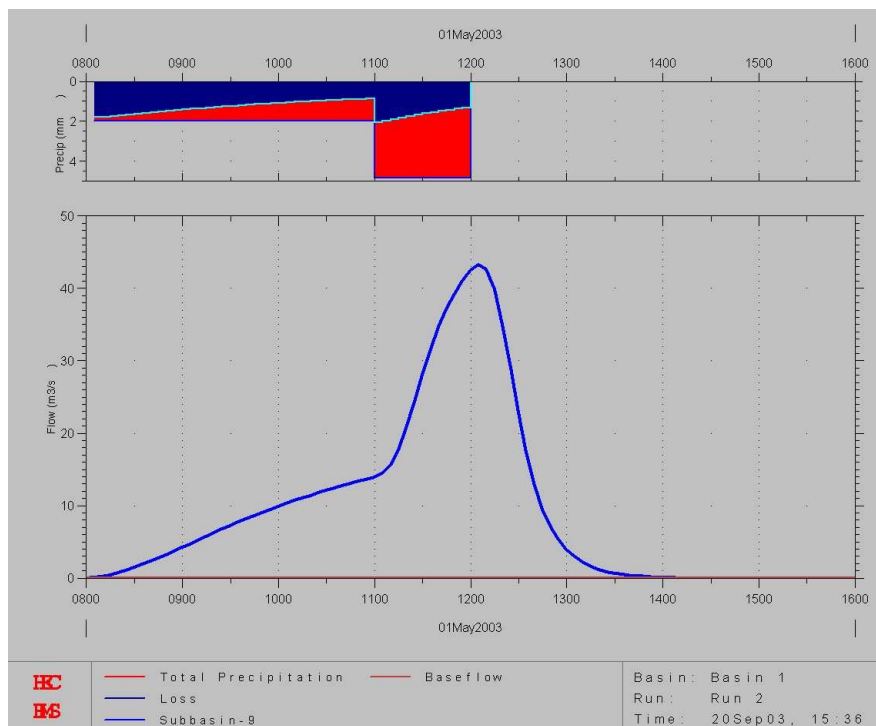
### 3.3.2.5 PORTATE DEL MODELLO AFFLUSSI DEFLUSSI

(subbasin n°= BPRA N°)

<b>Sigle Bacini</b>	<b>tr 100 anni</b>	<b>tr 200 anni</b>	<b>tr 500 anni</b>
Subbasin-3	6.2	7.0	8.2
Junction-1	6.2	7.0	8.2
Reach-1	6.2	7.0	8.2
Subbasin-2	18.7	21.5	25.2
Junction-2	24.8	28.4	33.3
Subbasin-1	5.2	5.9	7.0
Junction-3	29.9	34.2	40.1
Subbasin-8	6.4	7.3	8.5
Reach-4	6.3	7.2	8.4
Subbasin-9	37.9	43.3	50.5
Junction-8	44.2	50.4	58.9
Subbasin-7	5.9	6.7	7.8
Subbasin-6	2.3	2.6	3.0
Junction-7	8.2	9.3	10.8
Reach-3	8.1	9.2	10.8
Subbasin-5	1.2	1.4	1.7
Junction-6	9.3	10.6	12.4
Junction-5	53.3	60.8	70.9
Subbasin-12	2.4	2.8	3.2
Junction-10	55.7	63.5	74.0
Reach-2	55.5	63.3	73.9
Subbasin-4	8.1	9.3	10.9
Junction-4	63.6	72.6	84.8
Subbasin-10	82.8	94.7	110.8
Junction-9	143.4	163.8	191.3
Subbasin-11	5.5	6.3	7.4



Nelle precedenti immagini sono riportati gli andamenti temporali delle portate in ingresso ed in uscita ai principali nodi (Junction) dove gli idrogrammi in uscita dai sottobacini o dai rami (reach) di propagazione vengono sommati. Nel seguito un esempio per il bacino 3 di precipitazione con perdite iniziali pari a 7 mm e di idrogramma di piena conseguentemente prodotto. (tempo di ritorno di riferimento 200 anni).



### 3.3.3 ADOZIONE DEI VALORI DI PORTATA PER LE SUCCESSIVE VERIFICHE

Il valore finale delle portate utilizzate per lo studio si assume mediando ed interpretando tutti i valori calcolati in precedenza con i diversi metodi proposti: Nel seguito si riporta per chiarezza una tabella riassuntiva dei valori adottati in sede di verifica: Si segnala che i risultati relativi al modello afflussi deflussi sono inferiori a quelli calcolati con il metodo razionale soprattutto quelli relativi ai piccoli bacini. Pertanto risultando i secondi in generale più cautelativi risulteranno quelli adottati.

<b>SIGLA BACINO</b>	<b>Portata (m<sup>3</sup>/s) per tempo di ritorno 100 anni</b>	<b>Portata (m<sup>3</sup>/s) per tempo di ritorno 200 anni</b>	<b>Portata (m<sup>3</sup>/s) per tempo di ritorno 500 anni</b>
PRA 01	10.2	11.3	12.7
PRA 02	30.0	33.2	37.4
PRA 03	10.0	11.0	12.4
PRA 04	13.2	14.6	16.5
PRA 05	3.4	3.8	4.2
PRA 06	4.6	5.1	5.7
PRA 07	10.3	11.4	12.9
PRA 08	12.7	14.0	15.8
PRA 09	52.3	57.8	65.0
PRA 10	96.4	106.3	119.4
PRA 11	10.8	12.0	13.5
PRA 12	4.9	5.5	6.2
PRA3+2	37.8	41.8	47.0
PRA3-1	42.9	47.4	53.3
PRA6+7	13.1	14.5	16.4
PRA5-7	15.9	17.6	19.9
PRA8+9	59.1	65.3	73.4
PRA5-9	68.5	75.7	85.1
PRA4-9	75.1	82.9	93.2
PRA4-10	147.0	162.0	181.8
PRA1-10	171.0	188.4	211.4

## 4 STUDIO IDRAULICO

### 4.1 L'ASSETTO GEOMETRICO DELL'ALVEO E CARATTERE GENERALE DEI CORSI D'ACQUA

Lo studio dei rii del comune ha comportato la definizione dei manufatti oggetto di studio e di quei tratti di corso d'acqua che necessitano di una completa modellazione, nel caso in esame e con riferimento alla planimetria dei nodi critici (tavola 3) si osserva che ogni manufatto è stato siglato con la sigla MPRA n°.

### 4.2 METODO DI CALCOLO IN MOTO PERMANENTE

Il problema idraulico consiste nel calcolo del profilo liquido corrispondente all'assegnata portata di piena. Lo schema di calcolo adottato è quello del moto permanente, che consente di considerare la variazione graduale delle sezioni d'alveo e la presenza di manufatti, restringimenti e rapide variazioni di sezione.

La determinazione del profilo di moto permanente è realizzata utilizzando il codice HECRAS "River Analysis System" Versione 3.1.1 (U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center).

Il calcolo del profilo idraulico della corrente avviene in condizioni di moto unidimensionale gradualmente vario a portata costante, mediante la risoluzione delle equazioni di bilancio energetico; il codice applicato consente anche di calcolare rapide variazioni di profilo (dovute alla presenza d'ostacoli al deflusso, restringimenti di sezione, passaggio di stato di una corrente). Le elaborazioni relative ai rii in esame sono riportate in allegato al termine della relazione. il significato dei dati riportati nelle tabelle risulta il seguente:

River Sta = codice della sezione d'elaborazione. La numerazione procede in ordine decrescente da monte a valle. Per il posizionamento delle sezioni si può far riferimento alla tavola di ubicazione delle sezioni oltre che ai tabulati allegati.

Qtotal	=	portata di calcolo
Min Ch El	=	quota di fondo alveo
W.S. Elev.	=	altezza idrometrica calcolata
E.G. Slope	=	pendenza motrice
Vel Chnl	=	velocità di deflusso
Froude # Chl	=	numero di Froude della corrente
Area	=	sezione interessata dal deflusso
Top Width	=	larghezza pelo libero in sommità
Lenght Chnl	=	distanza tra le sezioni

#### 4.3 LE CONDIZIONI AL CONTORNO

Le ipotesi di calcolo (comuni a tutte le elaborazioni effettuate) relative alle condizioni al contorno introdotte nei modelli di simulazione numerica di moto permanente sono le seguenti: portate al colmo costanti in tutti i tratti studiati sulla base dei valori adottati ed in corrispondenza ai tempi di ritorno indicati.

altezze idrometriche utilizzate come condizioni iniziali nelle sezioni a monte ed a valle calcolate in condizioni di moto uniforme indisturbato.

#### 4.4 COEFFICIENTE DI SCABREZZA

In condizioni di rilievo e cautelativamente anche in condizioni di progetto, il coefficiente di scabrezza ( $n$  di Manning) risulta variabile tra alveo e sponda: in alveo e posto pari a  $0.04 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$  corrispondente ad una  $c$  di Strickler di  $25 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$  che nella già citata direttiva sui criteri di compatibilità idraulica corrisponde ad una condizione di corso d'acqua minore con fondo alveo in prevalenza di ghiaia e ciottoli vegetazione erbacea ed alveo con irregolarità.

Sulle sponde, in golena o paleo alvei (quando presenti) si ha una  $n$  di Manning pari a  $0,05 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$  corrispondente ad una  $c$  di Strickler di  $20 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ .

Le scelte effettuate appaiono le più rispondenti alle varie situazioni riscontrate. Per il Torrente Chisone la simulazione risulta certamente cautelativa in termini di scabrezza.

#### 4.5 VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO POTENZIALE

La valutazione del possibile apporto in termini di trasporto solido di corsi d'acqua a carattere torrentizio alpino, quali quelli oggetto di studio, risulta di estrema complessità, sia per il gran numero di parametri in gioco e per l'estrema difficoltà a darne una corretta valutazione, sia per il carattere discontinuo dei fenomeni, legati a processi di monte e alle condizioni dei bacini tributari; nel presente studio pertanto si è tralasciata una trattazione teorica di tali fenomeni, valida ai fini accademici ma di difficile applicabilità nella pratica.

Tuttavia, con riferimento alle indicazioni fornite dalla Regione Piemonte a seguito degli eventi alluvionali del settembre 1993 e del novembre 1994, valide per i corsi d'acqua minori, i livelli calcolati vanno incrementati di un termine pari ad  $1/3$  del tirante idrometrico, riservando in pratica al trasporto solido una quota di sezione pari ad  $1/3$  della sezione necessaria per il deflusso della portata idrologica. Per la definizione delle considerazioni finali sui risultati ottenuti si è quindi tenuto conto qualitativamente dei reali livelli idraulici di riferimento. Tale assunzione, pur grezza nella sua applicazione, consente di effettuare alcune considerazioni nella pratica, altrimenti difficilmente realizzabili.

## 4.6 LE VERIFICHE IN MOTO UNIFORME

Le verifiche in moto uniforme si faccia riferimento alla seguente formulazione proposta da Chezy.

$$u = X \cdot \sqrt{(Rm \cdot if)}$$

ovvero:

$$Q = u \cdot \Omega = X \cdot \Omega \cdot \sqrt{(Rm \cdot if)}$$

dove:

u = è la velocità in m/s;

$\Omega$  = è la sezione di deflusso in m<sup>2</sup>

Rm = è il raggio idraulico in m

If = è la pendenza della sezione considerata

X = C Rm<sup>1/6</sup> adottando la scabrezza di Strickler C (m<sup>1/3</sup> s<sup>-1</sup>)

Le sezioni hanno di volta in volta forma rettangolare, trapezia o circolare per i tratti intubati e pertanto verranno nel seguito fornite per ciascuno dei manufatti interessati le scale di deflusso sulla base delle quali è possibile desumere se il manufatto sia in grado di smaltire le portate di progetto.

## 5 ANALISI DEGLI INVASI

Il territorio comunale insiste sostanzialmente sulla vallata del Risagliardo sul quale non vi sono invasi artificiali che possano costituire un rischio in caso di rottura dello sbarramento.

## 6 ANALISI DEI RISULTATI

Le analisi idrauliche effettuate hanno consentito di individuare le maggiori criticità idraulica lungo i Rii minori e sul Torrente Risagliardo per quanto compreso nel territorio comunale; nella tavola grafica allegata sono riportate le aree potenzialmente esondabili e la classificazione relativa al dissesto secondo la simbologia del PAI; sono indicate inoltre le principali direzioni di esondazione e segnalati i manufatti interferenti con i deflussi calcolati.

Il lavoro svolto è da intendersi a supporto degli studi geologici in corso da parte del Dott. Zanella e propedeutici alla redazione della "Carta di Sintesi della pericolosità urbanistica"; a tal fine i risultati dello studio idraulico realizzato sono stati interpretati ed integrati alla luce degli studi geomorfologici redatti.

In sintesi i risultati emergenti dalle valutazioni effettuate sono i seguenti:



L'intensità del dissesto è stata valutata in considerazione dello stato complessivo dei bacini in esame, degli interventi di protezione e lo stato di questi, della pendenza dell'asta e delle portate adottate.

Si è dunque assegnato, all'intera rete idrografica minore del territorio di Pramollo un dissesto lineare molto elevato in considerazione soprattutto del contesto montano e delle pendenze elevate, sebbene i bacini, in generale, presentino una buona copertura e che spesso lo scorrimento avviene direttamente su roccia con ridotto trasporto solido.

Tale considerazione vale per l'intera rete idrografica ed in particolare per il rivo Risagliardo che scorre a fondo valle e rappresenta il collettore dell'intera rete di drenaggio delle acque superficiali.

Dall'analisi delle verifiche idrauliche effettuate sugli attraversamenti si individuano inoltre alcune aree caratterizzate da un dissesto areale a pericolosità medio moderata e nello specifico:

- a monte della loc. Tornini superiore. L'impluvio minore che sovrasta l'abitato risulta a tratti poco inciso e può dunque verificarsi una situazione di dissesto areale dovuto al ruscellamento delle acque in un'area più vasta dell'incisione principale.
- In corrispondenza della confluenza tra il rio Lussie e il rio dei Beux nell'abitato di Rue, la presenza di due attraversamenti che risultano insufficienti dalle verifiche effettuate può realizzarsi, in caso di repentina ostruzione di uno di questi, un'area di dissesto dovuta alla tracimazione delle acque oltre all'attraversamento
- Immediatamente a monte della località Costabella si ravvisa la presenza di un impluvio minore il quale non ha sbocco in un'incisione preferenziale dall'abitato in poi, durante eventi piovosi particolarmente intensi e localizzati può realizzarsi un'area di dissesto in corrispondenza dell'intersezione tra l'impluvio e la viabilità minore.

In generale, per quanto riguarda i manufatti censiti, si osserva che le problematiche idrauliche riscontrate sono generalmente localizzate ai soli manufatti che risultano attraversamenti dovuti alla viabilità.

Per una parte di manufatti si tratta di semplice assenza di franco adeguato in condizioni di massima piena, si ritiene che in tal caso possano verificarsi problemi di natura idraulica solo in condizioni di forte trasporto, anche flottante, che possa ostruire la luce di passaggio. Tale considerazione risulta tanto più valida quanto più il manufatto sia collocato in zone boscate o a forte pendenza.

Considerazioni relative al trasporto solido in condizioni di debris flow esulano dalle successive considerazioni di carattere prettamente idraulico con trasporto solido di natura ordinaria.

Non vi sono elevati carichi antropici, il maggiore si ha sul Rio di Risagliardo a Rue (sede comunale); in corrispondenza della confluenza dei rivi Beux, Lussie e Risagliardo.

Sulla base delle verifiche effettuate si intende comunque segnalare quei manufatti specifici ove le sezioni analizzate non contengono le portate di massima piena in considerazione soprattutto dell'altezza delle sponde e delle ridotte dimensioni degli stessi o dell'insufficienza delle tubazioni. Sui 20 manufatti analizzati si ritiene di segnalare i manufatti MPRA 03 08 09.

MPRA 08 e 09 sono delle viabilità secondarie e certamente in corrispondenza dei due manufatti si generano condizioni di inaccessibilità localizzate in condizioni di massima piena.

Nel caso di MPRA 03 tale manufatto è ubicato in zona abitata e può generare condizioni di rischio esondativo localizzato alle abitazioni presenti nei pressi.

## 6.1 TABELLE RIASSUNTIVE DEI FRANCHI IDRAULICI

Sulla base delle precedenti considerazioni sul trasporto solido e secondo la vigente normativa quale la direttiva "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B"; si richiede che il franco minimo tra quota di massima piena di progetto (comprensiva del trasporto solido) e quota d'intradosso del ponte sia pari a 0,5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque non inferiore a 1,00 m.

L'altezza cinetica della corrente è pari a:

$$h_{cin} = \alpha \cdot \frac{V^2}{2g}$$

dove:

V = velocità media della corrente m/s (valore desunto dalle tabelle allegate)

$\alpha$  = coefficiente di ragguglio per tenere conto della non uniforme distribuzione della velocità nella sezione; a favore di sicurezza si assume  $\alpha = 1,2$ .

La quota di intradosso è stata definita dal rilievo e compare a seconda delle tabelle o in quote assolute oppure relative considerata a 0 la quota di fondo. Per i ponti ad arco si definisce una altezza equivalente di intradosso definita sul compenso delle aree tra sezione ad arco e rettangolare.

Per ciascuno dei manufatti definiti nella tavola delle criticità si riportano pertanto le seguenti tabelle riassuntive

Per quanto riguarda le tubazioni non si è considerato il sovrizzo di 1/3 dei livelli ma un incremento di 1/3 del riempimento per il trasporto solido. In ogni caso le tubazioni non possono ritenersi verificate come gli attraversamenti (ovvero con franco di almeno 1 m) trattandosi quasi sempre di diametri piuttosto ridotti. Di conseguenza il franco non nullo sul riempimento accettabile per tali tubazioni non è garanzia di verifica positiva. Per tubazioni di grosso diametro il franco viene calcolato con lo stesso accorgimento utilizzato per i ponti ad arco.

### MPRA01

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
590	0.96	1.28	1.00	3.28	2.00
590	1.00	1.33	1.00	3.28	1.95
590	1.14	1.52	1.07	3.28	1.76

**MPRA02**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
630	0.93	1.24	1.57	2.90	1.66
630	1.00	1.33	1.70	2.90	1.57
630	1.08	1.44	1.83	2.90	1.46

**MPRA03**

quota di fondo (msm)	livello m	riempimento h/D	riempimento accettabile (m)	Franco esistente sul riempimento accettabile (m)
455	H>D	100%	80%	-
455	H>D	100%	80%	-
455	H>D	100%	80%	-

**MPRA04**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
630	0.86	1.12	1.40	2.70	1.58
630	0.93	1.21	1.48	2.70	1.49
630	0.99	1.29	1.62	2.70	1.41

**MPRA05**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
630	0.84	1.12	1.43	2.80	1.68
630	0.89	1.18	1.52	2.80	1.62
630	0.97	1.29	1.66	2.80	1.51

**MPRA06**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
630	1.00	1.33	1.58	1.50	0.17
630	1.08	1.44	1.70	1.50	0.06
630	1.17	1.56	1.83	1.50	-0.06

**MPRA07**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
671	1.70	2.26	3.17	3.50	1.24
671	1.83	2.43	3.39	3.50	1.07
671	1.98	2.63	3.64	3.50	0.87

**MPRA08**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
0	LIV > H MAN.	LIV > H MAN.	1.00	1.20	-
0	LIV > H MAN.	LIV > H MAN.	1.00	1.20	-
0	LIV > H MAN.	LIV > H MAN.	1.00	1.20	-

**MPRA09**

quota di fondo (msm)	livello m	riempimento h/D	riempimento accettabile (m)	Franco esistente sul riempimento accettabile (m)
0	H>D	100%	80%	-
0	H>D	100%	80%	-
0	H>D	100%	80%	-

**MPRA10**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
825	1.50	2.00	2.19	2.30	0.31
825	1.60	2.13	2.30	2.30	0.17
825	1.72	2.29	2.46	2.30	0.01

**MPRA11**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
780	0.59	0.78	1.00	2.30	1.52
780	0.63	0.84	1.00	2.30	1.46
780	0.68	0.90	1.05	2.30	1.40

**MPRA12**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
770	0.55	0.73	1.00	2.00	1.27
770	0.59	0.78	1.00	2.00	1.22
770	0.67	0.89	1.00	2.00	1.11

**MPRA13**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
770	0.74	0.98	1.00	2.64	1.66
770	0.81	1.08	1.00	2.64	1.56
770	0.86	1.14	1.00	2.64	1.50

**MPRA14**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
1020	0.40	0.53	1.00	2.30	1.77
1020	0.43	0.57	1.00	2.30	1.73
1020	0.47	0.63	1.00	2.30	1.67

**MPRA15**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
1020	0.76	1.01	1.00	3.50	2.49
1020	0.82	1.09	1.00	3.50	2.41
1020	0.89	1.18	1.02	3.50	2.32

**MPRA16**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
1040	0.51	0.68	1.00	5.00	4.32
1040	0.54	0.72	1.00	5.00	4.28
1040	0.58	0.77	1.00	5.00	4.23

**MPRA17**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
1040	0.52	0.69	1.00	4.50	3.81
1040	0.56	0.74	1.00	4.50	3.76
1040	0.60	0.80	1.00	4.50	3.70

**MPRA18**

quota di fondo (msm)	livello m	riempimento h/D	Riempimento % maggiorato per trasporto solido	riempimento accettabile (m)	Franco esistente sul riempimento accettabile (m)
1020	0.97	65%	0.86	80%	-6%
1020	1.01	68%	0.90	80%	-10%
1020	1.05	70%	0.93	80%	-13%

**MPRA19**

quota di fondo (msm)	Livello Idrometrico (m)	Livello comprensivo del Trasporto solido (m)	Franco richiesto (m)	Quota intradosso (msm)	Franco esistente (m)
1020	0.45	0.60	1.00	3.80	3.20
1020	0.48	0.64	1.00	3.80	3.16
1020	0.51	0.68	1.00	3.80	3.12

**MPRA20**

quota di fondo (msm)	livello m	riempimento h/D	riempimento accettabile (m)	Franco esistente sul riempimento accettabile (m)
0	H>D	100%	80%	-
0	H>D	100%	80%	-
0	H>D	100%	80%	-

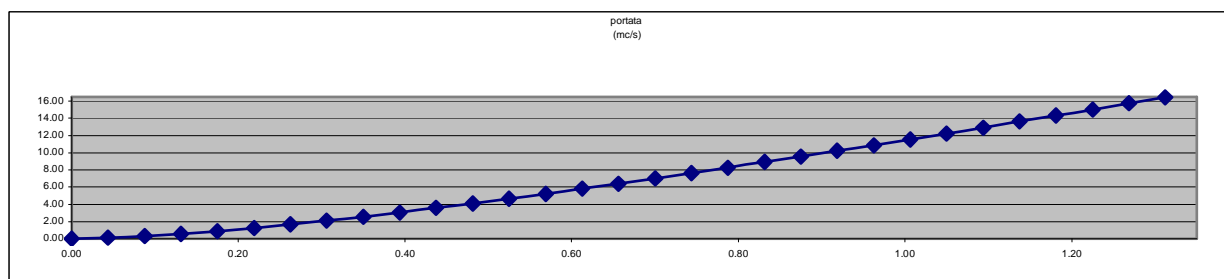
## SCALE DI DEFLUSSO IN MOTO UNIFORME



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione arco - trapezia MPRA01**

Larghezza fondo alveo (m)	2	raggio di curvatura arco (m)	1.05
Larghezza alla base arco (corda) (m)	2.1	angolo al centro (rad)	3.04
altezza da fondo alveo a base arco (m)	2.5	superficie libera totale (m <sup>2</sup> )	6.75
Saetta (h arco) (m)	1	perimetro totale (m)	10.20
Pendenza (m/m)	0.05	altezza equivalente impalcato dal fondo (m)	3.28
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40	altezza totale da fondo alveo a chiave (m)	3.50
		scarpa delle sponde (dy/dx)	25.00

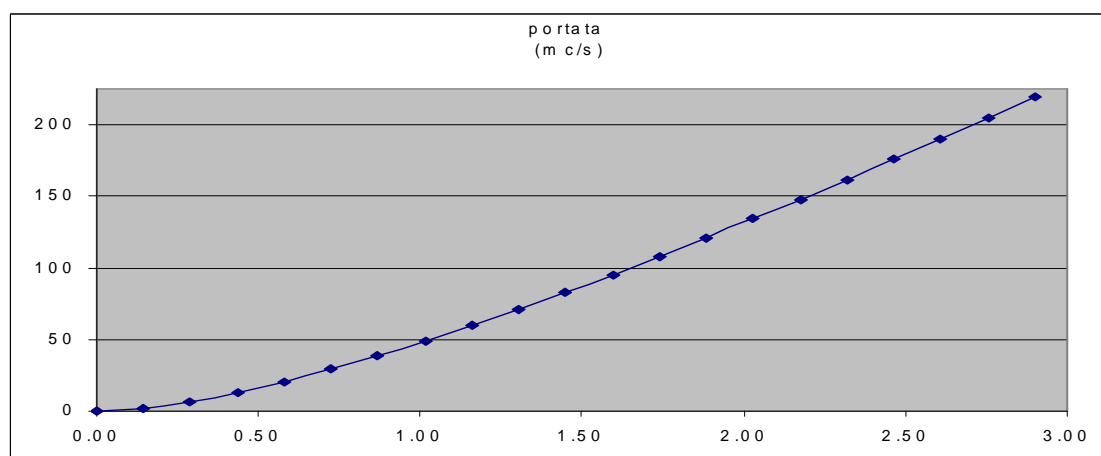
livello (m)	riempimento (l/h)	Larghezza pelo Libero (m)	superficie bagnata (mq)	perimetro bagnato (m)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.00	0%	2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
0.04	1%	2.00	0.09	2.09	0.04	1.08	0.09
0.09	3%	2.00	0.18	2.18	0.08	1.67	0.29
0.13	4%	2.01	0.26	2.26	0.12	2.13	0.56
0.18	5%	2.01	0.35	2.35	0.15	2.52	0.88
0.22	6%	2.01	0.44	2.44	0.18	2.85	1.25
0.26	8%	2.01	0.53	2.53	0.21	3.14	1.66
0.31	9%	2.01	0.61	2.61	0.24	3.41	2.09
0.35	10%	2.01	0.70	2.70	0.26	3.65	2.56
0.39	11%	2.02	0.79	2.79	0.28	3.86	3.05
0.44	13%	2.02	0.88	2.88	0.31	4.06	3.57
0.48	14%	2.02	0.97	2.96	0.33	4.24	4.10
0.53	15%	2.02	1.06	3.05	0.35	4.41	4.65
0.57	16%	2.02	1.14	3.14	0.36	4.56	5.22
0.61	18%	2.02	1.23	3.23	0.38	4.71	5.81
0.66	19%	2.03	1.32	3.31	0.40	4.85	6.40
0.70	20%	2.03	1.41	3.40	0.41	4.97	7.01
0.74	21%	2.03	1.50	3.49	0.43	5.09	7.63
0.79	23%	2.03	1.59	3.58	0.44	5.21	8.26
0.83	24%	2.03	1.68	3.66	0.46	5.31	8.90
0.88	25%	2.04	1.77	3.75	0.47	5.41	9.55
0.92	26%	2.04	1.85	3.84	0.48	5.51	10.21
0.96	28%	2.04	1.94	3.93	0.50	5.60	10.88
1.01	29%	2.04	2.03	4.01	0.51	5.68	11.55
1.05	30%	2.04	2.12	4.10	0.52	5.77	12.23
1.09	31%	2.04	2.21	4.19	0.53	5.84	12.92
1.14	33%	2.05	2.30	4.28	0.54	5.92	13.62
1.18	34%	2.05	2.39	4.36	0.55	5.99	14.32
1.23	35%	2.05	2.48	4.45	0.56	6.06	15.02
1.27	36%	2.05	2.57	4.54	0.57	6.12	15.73
1.31	38%	2.05	2.66	4.63	0.57	6.18	16.45



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione rettangolare MPRA02**

Larghezza del fondo (m)	6.40
Pendenza (m/m)	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Altezza massima dal fondo	2.90

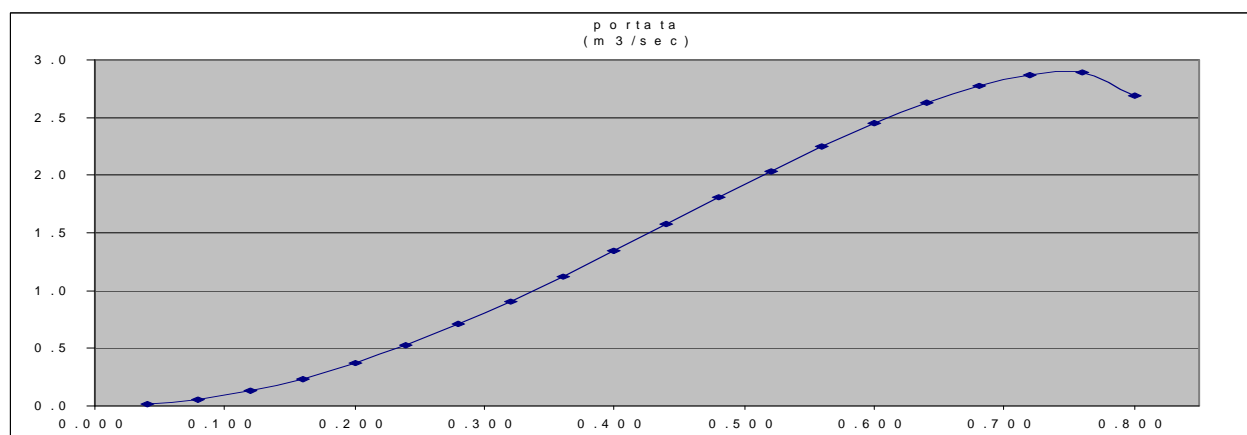
livello (m)	superficie bagnata (mq)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0
0.15	0.93	0.14	2.40	2
0.29	1.86	0.27	3.70	7
0.44	2.78	0.38	4.72	13
0.58	3.71	0.49	5.57	21
0.73	4.64	0.59	6.30	29
0.87	5.57	0.68	6.94	39
1.02	6.50	0.77	7.52	49
1.16	7.42	0.85	8.03	60
1.31	8.35	0.93	8.50	71
1.45	9.28	1.00	8.93	83
1.60	10.21	1.06	9.32	95
1.74	11.14	1.13	9.69	108
1.89	12.06	1.19	10.02	121
2.03	12.99	1.24	10.33	134
2.18	13.92	1.29	10.63	148
2.32	14.85	1.34	10.90	162
2.47	15.78	1.39	11.15	176
2.61	16.70	1.44	11.39	190
2.76	17.63	1.48	11.62	205
2.90	18.56	1.52	11.83	220



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione circolare MPRA03**

diametro esterno (mm)		
diametro interno (m)	=	0.8
pendenza (m/m)	=	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> /s)	=	70

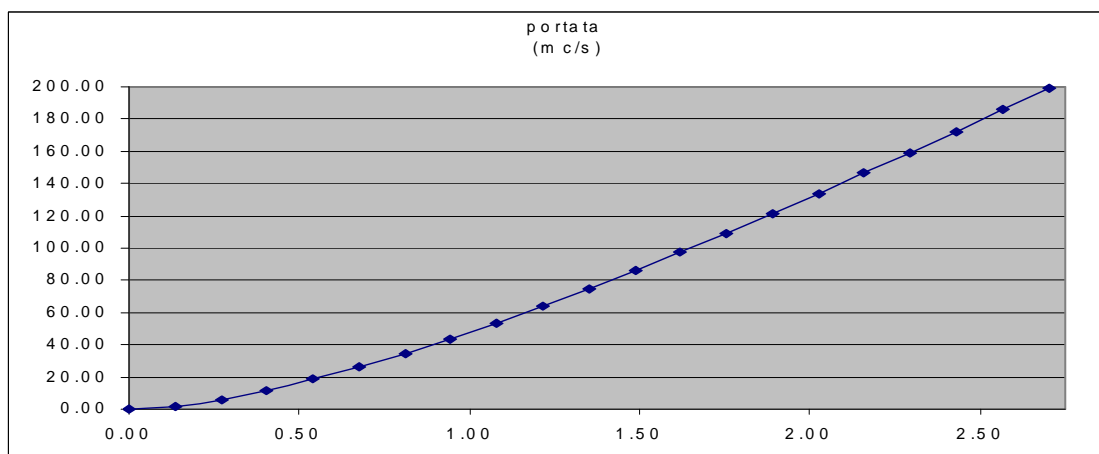
livello (m)	h/D	sup (mq)	perimetro bagnato (m)	r idr (m)	velocità (m/s)	portata (m3/sec)
0.040	0.05	0.01	0.36	0.03	1.38	0.0
0.080	0.1	0.03	0.51	0.05	2.15	0.1
0.120	0.15	0.05	0.64	0.07	2.77	0.1
0.160	0.2	0.07	0.74	0.10	3.29	0.2
0.200	0.25	0.10	0.84	0.12	3.75	0.4
0.240	0.3	0.13	0.93	0.14	4.15	0.5
0.280	0.35	0.16	1.01	0.15	4.51	0.7
0.320	0.4	0.19	1.10	0.17	4.83	0.9
0.360	0.45	0.22	1.18	0.19	5.11	1.1
0.400	0.5	0.25	1.26	0.20	5.35	1.3
0.440	0.55	0.28	1.34	0.21	5.56	1.6
0.480	0.6	0.31	1.42	0.22	5.74	1.8
0.520	0.65	0.35	1.50	0.23	5.88	2.0
0.560	0.700	0.376	1.586	0.237	5.994	2.3
0.600	0.75	0.40	1.68	0.24	6.07	2.5
0.640	0.8	0.43	1.77	0.24	6.10	2.6
0.680	0.85	0.46	1.88	0.24	6.09	2.8
0.720	0.9	0.48	2.00	0.24	6.02	2.9
0.760	0.95	0.49	2.15	0.23	5.86	2.9
0.800	1	0.50	2.51	0.20	5.35	2.7



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione rettangolare MPRA04**

Larghezza del fondo (m)	6.40
Pendenza (m/m)	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Altezza massima dal fondo	2.70

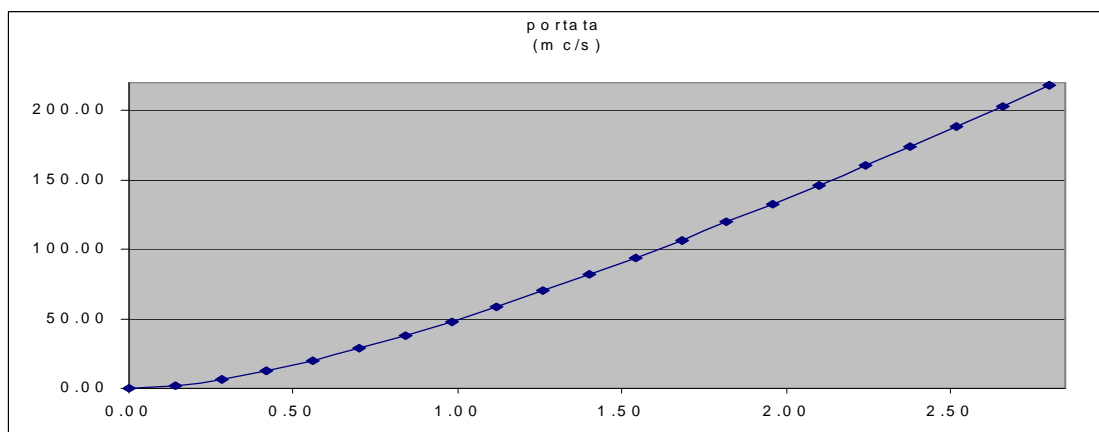
livello (m)	superficie bagnata (mq)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.14	0.86	0.13	2.29	1.98
0.27	1.73	0.25	3.54	6.12
0.41	2.59	0.36	4.52	11.72
0.54	3.46	0.46	5.35	18.47
0.68	4.32	0.56	6.06	26.17
0.81	5.18	0.65	6.69	34.66
0.95	6.05	0.73	7.25	43.84
1.08	6.91	0.81	7.76	53.61
1.22	7.78	0.88	8.22	63.90
1.35	8.64	0.95	8.64	74.65
1.49	9.50	1.01	9.03	85.81
1.62	10.37	1.08	9.39	97.35
1.76	11.23	1.13	9.72	109.21
1.89	12.10	1.19	10.03	121.37
2.03	12.96	1.24	10.32	133.81
2.16	13.82	1.29	10.60	146.49
2.30	14.69	1.34	10.85	159.40
2.43	15.55	1.38	11.09	172.52
2.57	16.42	1.42	11.32	185.83
2.70	17.28	1.46	11.53	199.31



**ala di deflusso in moto uniforme  
 sezione rettangolare MPRA05**

Larghezza del fondo (m)	6.60
Pendenza (m/m)	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Altezza massima dal fondo	2.80

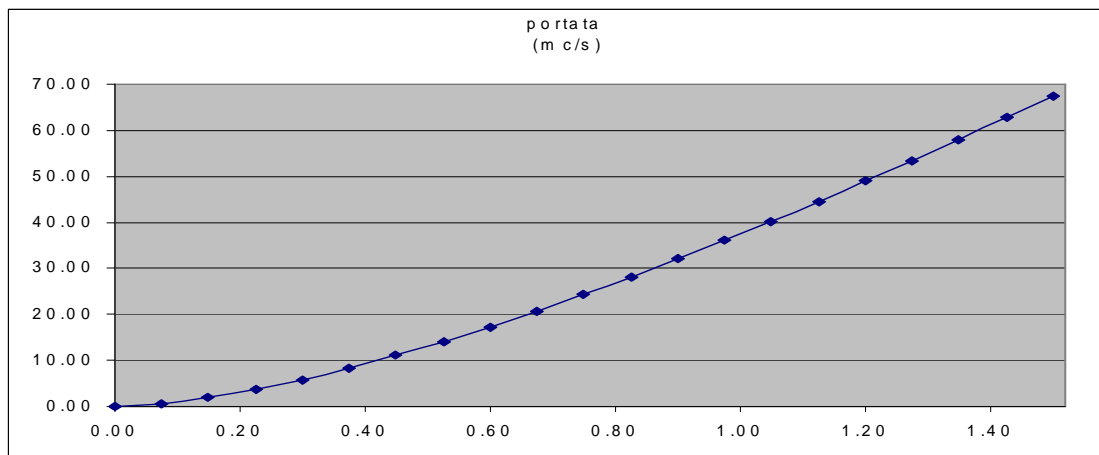
livello (m)	superficie bagnata (mq)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.14	0.92	0.13	2.35	2.17
0.28	1.85	0.26	3.63	6.70
0.42	2.77	0.37	4.63	12.84
0.56	3.70	0.48	5.47	20.23
0.70	4.62	0.58	6.20	28.66
0.84	5.54	0.67	6.85	37.95
0.98	6.47	0.76	7.42	47.99
1.12	7.39	0.84	7.94	58.68
1.26	8.32	0.91	8.41	69.94
1.40	9.24	0.98	8.84	81.70
1.54	10.16	1.05	9.24	93.92
1.68	11.09	1.11	9.61	106.53
1.82	12.01	1.17	9.95	119.50
1.96	12.94	1.23	10.27	132.80
2.10	13.86	1.28	10.56	146.40
2.24	14.78	1.33	10.84	160.26
2.38	15.71	1.38	11.10	174.38
2.52	16.63	1.43	11.35	188.72
2.66	17.56	1.47	11.58	203.27
2.80	18.48	1.51	11.80	218.01



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione rettangolare MPRA06**

Larghezza del fondo (m)	5.20
Pendenza (m/m)	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Altezza massima dal fondo	1.50

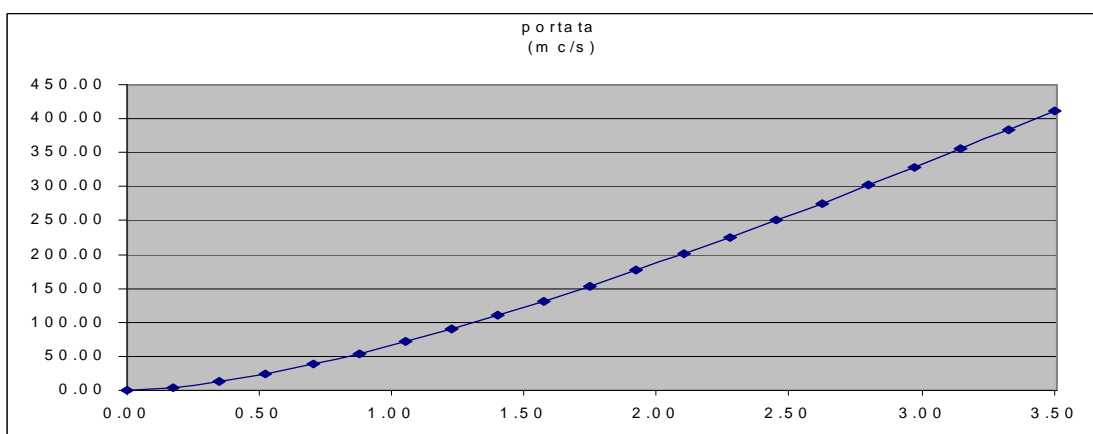
livello (m)	superficie bagnata (mq)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.08	0.39	0.07	1.56	0.61
0.15	0.78	0.14	2.43	1.90
0.23	1.17	0.21	3.13	3.66
0.30	1.56	0.27	3.73	5.81
0.38	1.95	0.33	4.25	8.29
0.45	2.34	0.38	4.72	11.05
0.53	2.73	0.44	5.15	14.06
0.60	3.12	0.49	5.54	17.29
0.68	3.51	0.54	5.90	20.71
0.75	3.90	0.58	6.24	24.32
0.83	4.29	0.63	6.55	28.09
0.90	4.68	0.67	6.84	32.01
0.98	5.07	0.71	7.11	36.06
1.05	5.46	0.75	7.37	40.24
1.13	5.85	0.79	7.61	44.53
1.20	6.24	0.82	7.84	48.94
1.28	6.63	0.86	8.06	53.44
1.35	7.02	0.89	8.27	58.03
1.43	7.41	0.92	8.46	62.72
1.50	7.80	0.95	8.65	67.48



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione rettangolare MPRA07**

Larghezza del fondo (m)	8.50
Pendenza (m/m)	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Altezza massima dal fondo	3.50

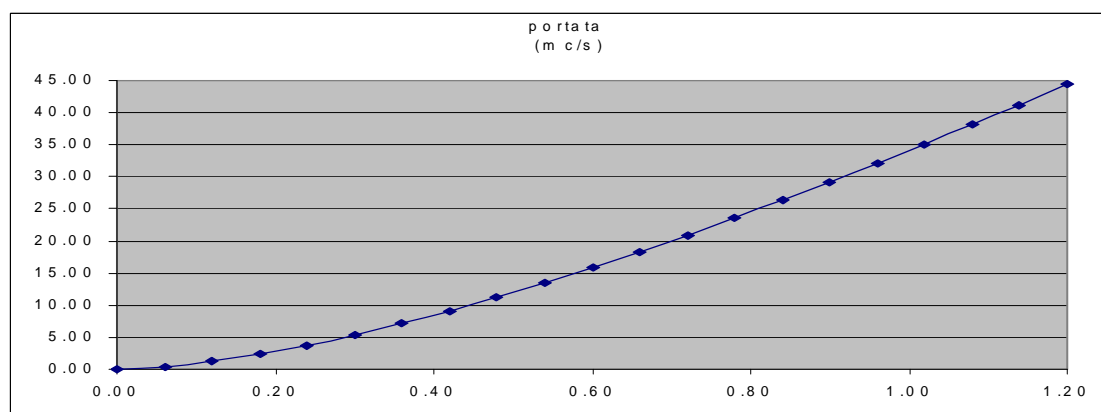
livello (m)	superficie bagnata (mq)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.18	1.49	0.17	2.72	4.05
0.35	2.98	0.32	4.21	12.54
0.53	4.46	0.47	5.39	24.03
0.70	5.95	0.60	6.37	37.90
0.88	7.44	0.73	7.22	53.72
1.05	8.93	0.84	7.98	71.18
1.23	10.41	0.95	8.65	90.06
1.40	11.90	1.05	9.26	110.17
1.58	13.39	1.15	9.81	131.37
1.75	14.88	1.24	10.32	153.53
1.93	16.36	1.32	10.79	176.54
2.10	17.85	1.41	11.22	200.33
2.28	19.34	1.48	11.63	224.80
2.45	20.83	1.55	12.00	249.91
2.63	22.31	1.62	12.35	275.59
2.80	23.80	1.69	12.68	301.78
2.98	25.29	1.75	12.99	328.46
3.15	26.78	1.81	13.28	355.57
3.33	28.26	1.87	13.55	383.08
3.50	29.75	1.92	13.81	410.96



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione rettangolare MPRA08**

Larghezza del fondo (m)	4.80
Pendenza (m/m)	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s-1)	40
Altezza massima dal fondo	1.20

livello (m)	superficie bagnata (mq)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.06	0.29	0.06	1.35	0.39
0.12	0.58	0.11	2.11	1.21
0.18	0.86	0.17	2.72	2.35
0.24	1.15	0.22	3.24	3.73
0.30	1.44	0.27	3.71	5.34
0.36	1.73	0.31	4.12	7.13
0.42	2.02	0.36	4.50	9.08
0.48	2.30	0.40	4.86	11.19
0.54	2.59	0.44	5.18	13.43
0.60	2.88	0.48	5.48	15.79
0.66	3.17	0.52	5.77	18.27
0.72	3.46	0.55	6.03	20.85
0.78	3.74	0.59	6.28	23.52
0.84	4.03	0.62	6.52	26.28
0.90	4.32	0.65	6.74	29.13
0.96	4.61	0.69	6.96	32.05
1.02	4.90	0.72	7.16	35.04
1.08	5.18	0.74	7.35	38.10
1.14	5.47	0.77	7.53	41.22
1.20	5.76	0.80	7.71	44.40

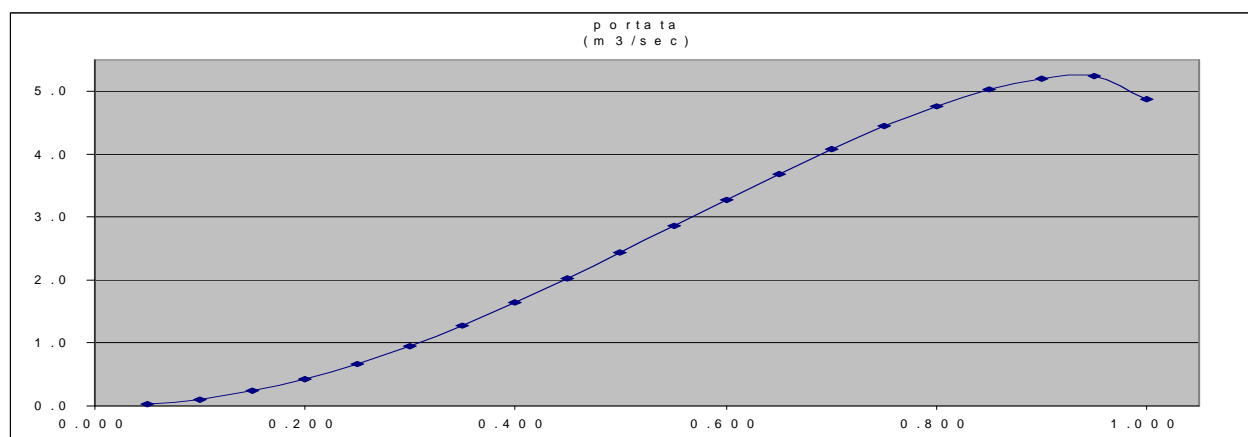




**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione circolare MPRA09**

diametro esterno (mm)		
diametro interno (m)	=	1
pendenza (m/m)	=	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> /s)	=	70

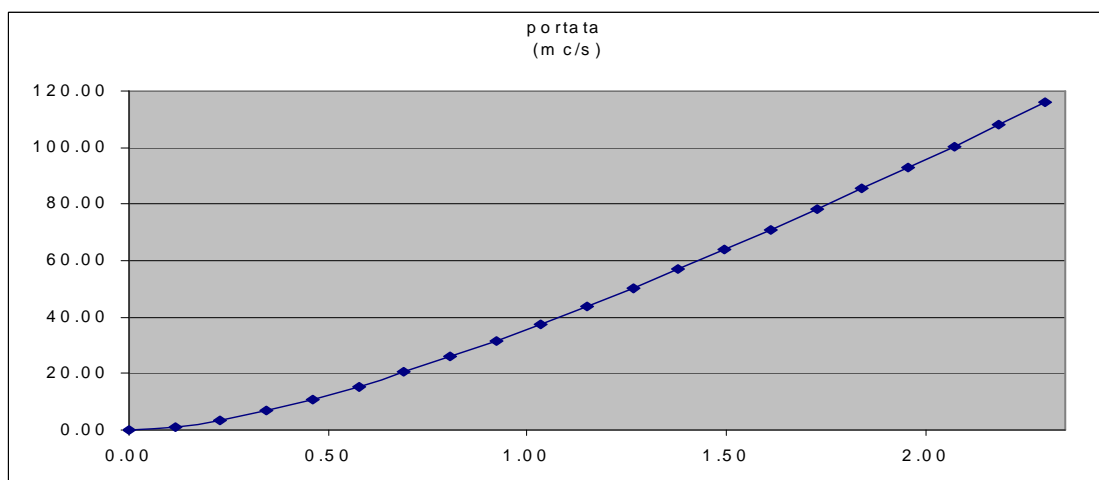
livello (m)	h/D	sup (mq)	perimetro bagnato (m)	r idr (m)	velocità (m/s)	portata (m3/sec)
0.050	0.05	0.01	0.45	0.03	1.60	0.0
0.100	0.1	0.04	0.64	0.06	2.49	0.1
0.150	0.15	0.07	0.80	0.09	3.21	0.2
0.200	0.2	0.11	0.93	0.12	3.82	0.4
0.250	0.25	0.15	1.05	0.15	4.35	0.7
0.300	0.3	0.20	1.16	0.17	4.82	1.0
0.350	0.35	0.24	1.27	0.19	5.24	1.3
0.400	0.4	0.29	1.37	0.21	5.60	1.6
0.450	0.45	0.34	1.47	0.23	5.93	2.0
0.500	0.5	0.39	1.57	0.25	6.21	2.4
0.550	0.55	0.44	1.67	0.26	6.46	2.9
0.600	0.6	0.49	1.77	0.28	6.66	3.3
0.650	0.65	0.54	1.88	0.29	6.83	3.7
0.700	0.700	0.587	1.982	0.296	6.956	4.1
0.750	0.75	0.63	2.09	0.30	7.04	4.4
0.800	0.8	0.67	2.21	0.30	7.08	4.8
0.850	0.85	0.71	2.35	0.30	7.07	5.0
0.900	0.9	0.74	2.50	0.30	6.98	5.2
0.950	0.95	0.77	2.69	0.29	6.80	5.2
1.000	1	0.79	3.14	0.25	6.21	4.9



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione rettangolare MPRA11**

Larghezza del fondo (m)	5.00
Pendenza (m/m)	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Altezza massima dal fondo	2.30

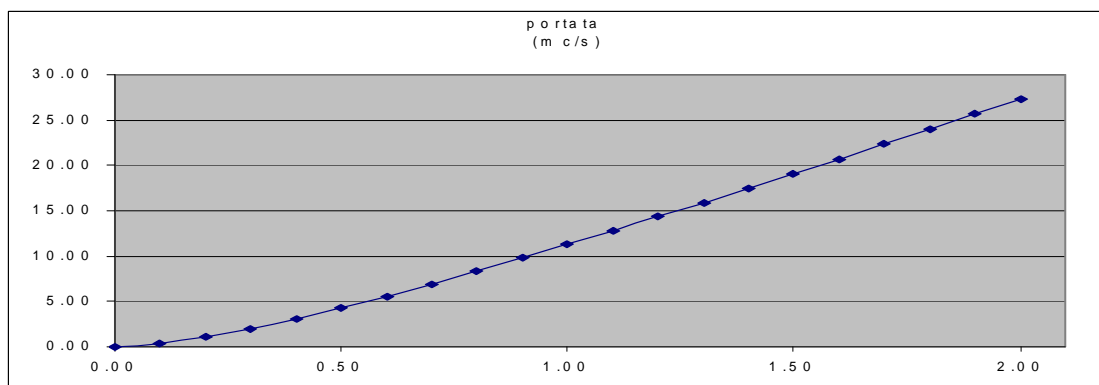
livello (m)	superficie bagnata (mq)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.12	0.58	0.11	2.05	1.18
0.23	1.15	0.21	3.17	3.64
0.35	1.73	0.30	4.04	6.96
0.46	2.30	0.39	4.76	10.95
0.58	2.88	0.47	5.39	15.49
0.69	3.45	0.54	5.94	20.48
0.81	4.03	0.61	6.43	25.86
0.92	4.60	0.67	6.87	31.58
1.04	5.18	0.73	7.26	37.59
1.15	5.75	0.79	7.63	43.86
1.27	6.33	0.84	7.96	50.36
1.38	6.90	0.89	8.27	57.07
1.50	7.48	0.94	8.56	63.95
1.61	8.05	0.98	8.82	71.01
1.73	8.63	1.02	9.07	78.21
1.84	9.20	1.06	9.30	85.54
1.96	9.78	1.10	9.51	93.00
2.07	10.35	1.13	9.72	100.57
2.19	10.93	1.17	9.91	108.25
2.30	11.50	1.20	10.09	116.02



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione rettangolare MPRA12**

Larghezza del fondo (m)	2.00
Pendenza (m/m)	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Altezza massima dal fondo	2.00

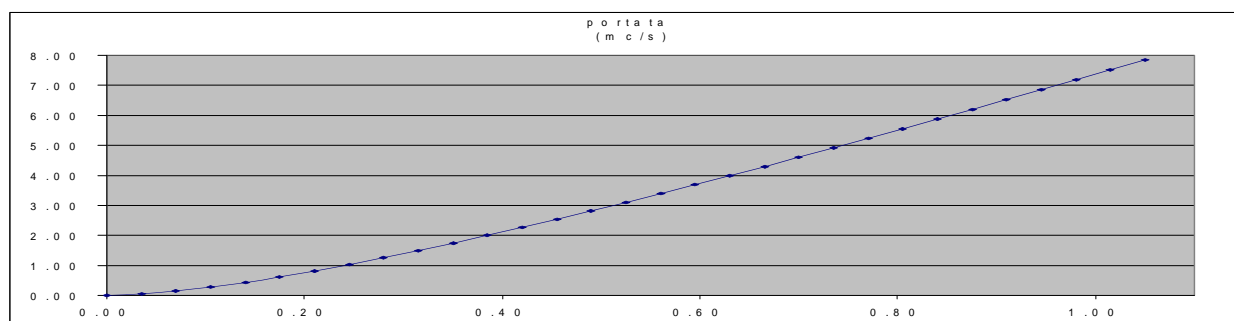
livello (m)	superficie bagnata (mq)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.10	0.20	0.09	1.81	0.36
0.20	0.40	0.17	2.71	1.08
0.30	0.60	0.23	3.37	2.02
0.40	0.80	0.29	3.88	3.10
0.50	1.00	0.33	4.30	4.30
0.60	1.20	0.38	4.65	5.58
0.70	1.40	0.41	4.95	6.93
0.80	1.60	0.44	5.21	8.33
0.90	1.80	0.47	5.44	9.78
1.00	2.00	0.50	5.63	11.27
1.10	2.20	0.52	5.81	12.79
1.20	2.40	0.55	5.97	14.33
1.30	2.60	0.57	6.11	15.90
1.40	2.80	0.58	6.24	17.48
1.50	3.00	0.60	6.36	19.09
1.60	3.20	0.62	6.47	20.71
1.70	3.40	0.63	6.57	22.34
1.80	3.60	0.64	6.66	23.98
1.90	3.80	0.66	6.75	25.64
2.00	4.00	0.67	6.83	27.30



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione arco - trapezia MPRA13**

Larghezza fondo alveo (m)	1.45	raggio di curvatura arco (m)	0.75
Larghezza alla base arco (corda) (m)	1.5	angolo al centro (rad)	3.00
altezza da fondo alveo a base arco (m)	2.1	superficie libera totale (m <sup>2</sup> )	3.91
Saetta (h arco) (m)	0.7	perimetro totale (m)	7.91
Pendenza (m/m)	0.05	altezza equivalente impalcato dal fondo (m)	2.64
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s-1)	40	altezza totale da fondo alveo a chiave (m)	2.80
		scarpa delle sponde (dy/dx )	42.00

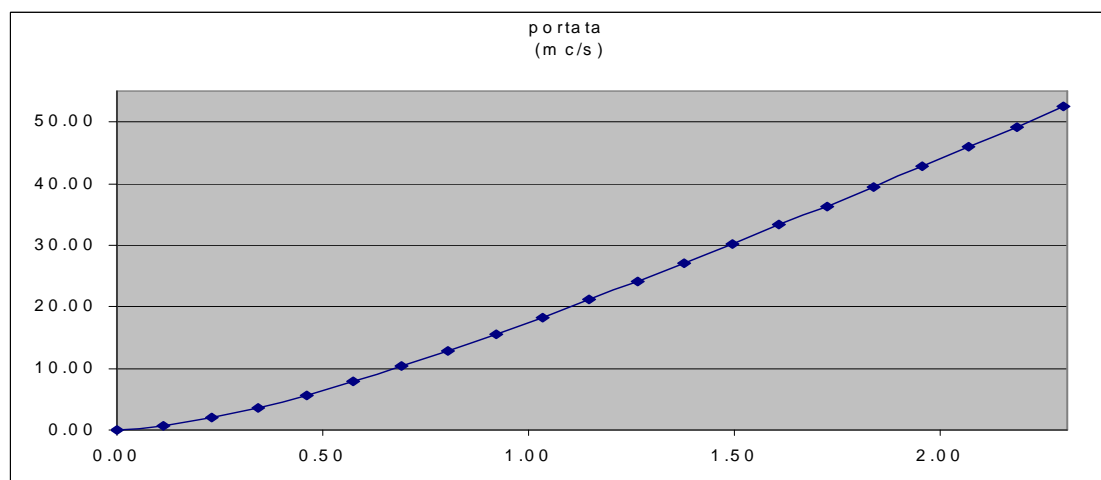
livello (m)	riempimento (l/h)	Larghezza pelo Libero (m)	superficie bagnata (mq)	perimetro bagnato (m)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.00	0%	1.45	0.00	1.45	0.00	0.00	0.00
0.04	1%	1.45	0.05	1.52	0.03	0.93	0.05
0.07	3%	1.45	0.10	1.59	0.06	1.43	0.15
0.11	4%	1.45	0.15	1.66	0.09	1.82	0.28
0.14	5%	1.45	0.20	1.73	0.12	2.15	0.44
0.18	6%	1.45	0.25	1.80	0.14	2.43	0.62
0.21	8%	1.46	0.31	1.87	0.16	2.67	0.81
0.25	9%	1.46	0.36	1.94	0.18	2.89	1.03
0.28	10%	1.46	0.41	2.01	0.20	3.08	1.25
0.32	11%	1.46	0.46	2.08	0.22	3.26	1.49
0.35	13%	1.46	0.51	2.15	0.24	3.42	1.74
0.39	14%	1.46	0.56	2.22	0.25	3.57	2.00
0.42	15%	1.46	0.61	2.29	0.27	3.71	2.27
0.46	16%	1.46	0.66	2.36	0.28	3.83	2.54
0.49	18%	1.46	0.71	2.43	0.29	3.95	2.82
0.53	19%	1.46	0.76	2.50	0.31	4.06	3.10
0.56	20%	1.46	0.82	2.57	0.32	4.16	3.39
0.60	21%	1.46	0.87	2.64	0.33	4.26	3.69
0.63	23%	1.47	0.92	2.71	0.34	4.35	3.99
0.67	24%	1.47	0.97	2.78	0.35	4.43	4.30
0.70	25%	1.47	1.02	2.85	0.36	4.51	4.61
0.74	26%	1.47	1.07	2.92	0.37	4.59	4.92
0.77	28%	1.47	1.12	2.99	0.38	4.66	5.23
0.81	29%	1.47	1.17	3.06	0.38	4.73	5.55
0.84	30%	1.47	1.23	3.13	0.39	4.79	5.87
0.88	31%	1.47	1.28	3.20	0.40	4.85	6.20
0.91	33%	1.47	1.33	3.27	0.41	4.91	6.52
0.95	34%	1.47	1.38	3.34	0.41	4.96	6.85
0.98	35%	1.47	1.43	3.41	0.42	5.02	7.19
1.02	36%	1.47	1.48	3.48	0.43	5.07	7.52
1.05	38%	1.48	1.54	3.55	0.43	5.12	7.86



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione rettangolare MPRA14**

Larghezza del fondo (m)	2.80
Pendenza (m/m)	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Altezza massima dal fondo	2.30

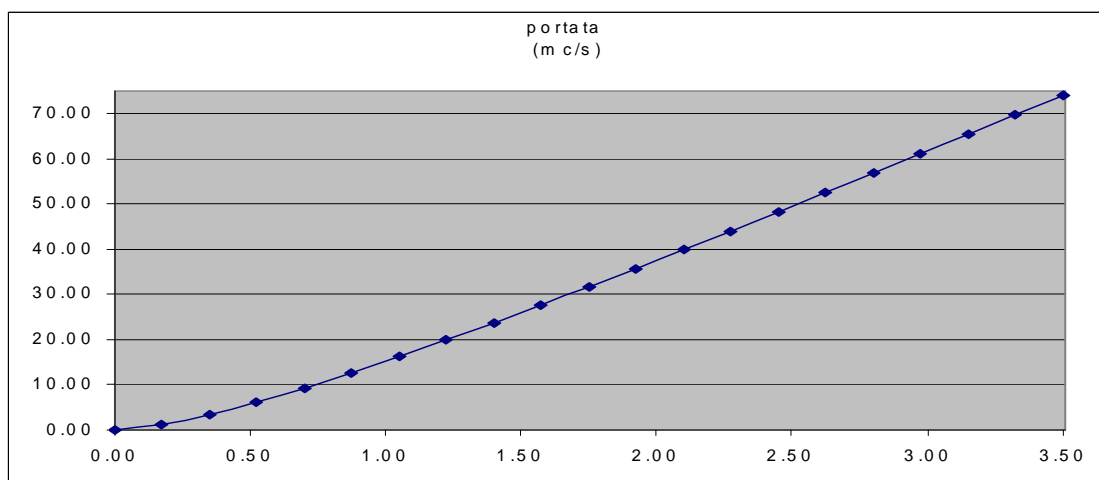
livello (m)	superficie bagnata (mq)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.12	0.32	0.11	2.01	0.65
0.23	0.64	0.20	3.03	1.95
0.35	0.97	0.28	3.80	3.67
0.46	1.29	0.35	4.41	5.68
0.58	1.61	0.41	4.92	7.92
0.69	1.93	0.46	5.35	10.33
0.81	2.25	0.51	5.72	12.89
0.92	2.58	0.56	6.04	15.56
1.04	2.90	0.60	6.33	18.34
1.15	3.22	0.63	6.58	21.20
1.27	3.54	0.66	6.81	24.13
1.38	3.86	0.69	7.02	27.12
1.50	4.19	0.72	7.20	30.16
1.61	4.51	0.75	7.38	33.25
1.73	4.83	0.77	7.53	36.38
1.84	5.15	0.80	7.68	39.55
1.96	5.47	0.82	7.81	42.75
2.07	5.80	0.84	7.93	45.97
2.19	6.12	0.85	8.05	49.23
2.30	6.44	0.87	8.15	52.50



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione rettangolare MPRA15**

Larghezza del fondo (m)	2.50
Pendenza (m/m)	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Altezza massima dal fondo	3.50

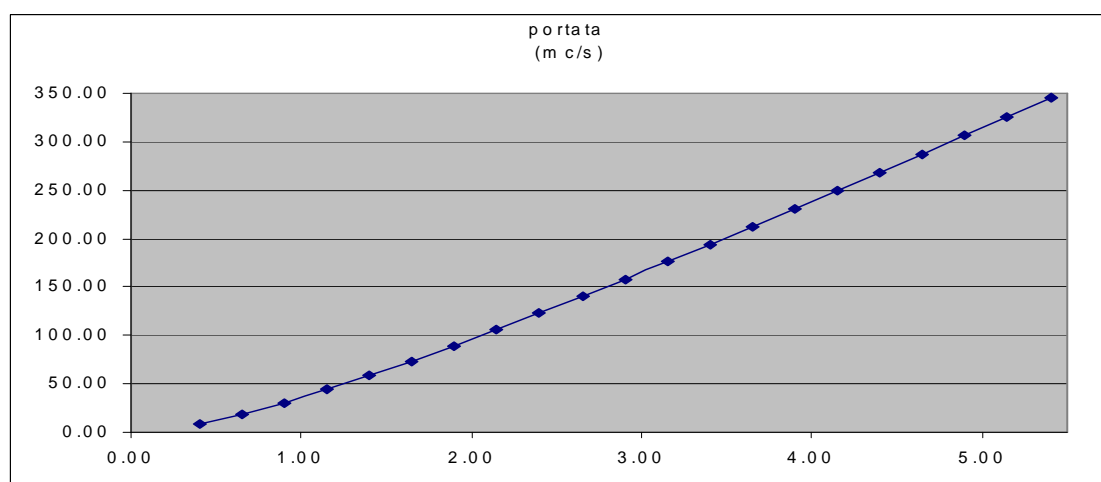
livello (m)	superficie bagnata (mq)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.18	0.44	0.15	2.56	1.12
0.35	0.88	0.27	3.77	3.30
0.53	1.31	0.37	4.61	6.05
0.70	1.75	0.45	5.24	9.17
0.88	2.19	0.51	5.74	12.57
1.05	2.63	0.57	6.15	16.15
1.23	3.06	0.62	6.49	19.89
1.40	3.50	0.66	6.78	23.74
1.58	3.94	0.70	7.03	27.68
1.75	4.38	0.73	7.25	31.70
1.93	4.81	0.76	7.43	35.78
2.10	5.25	0.78	7.60	39.91
2.28	5.69	0.81	7.75	44.08
2.45	6.13	0.83	7.88	48.29
2.63	6.56	0.85	8.01	52.54
2.80	7.00	0.86	8.11	56.80
2.98	7.44	0.88	8.21	61.10
3.15	7.88	0.89	8.31	65.41
3.33	8.31	0.91	8.39	69.74
3.50	8.75	0.92	8.47	74.09



**sezione rettangolare MPRA16**

Larghezza del fondo (m)	5.00
Pendenza (m/m)	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Altezza massima dal fondo	5.00

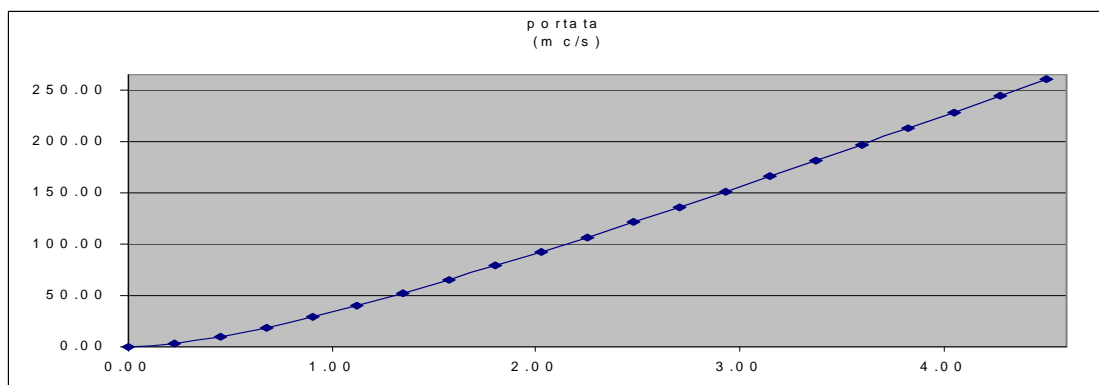
livello (m)	superficie bagnata (mq)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.40	2.00	0.34	4.40	8.80
0.65	3.25	0.52	5.75	18.70
0.90	4.50	0.66	6.79	30.57
1.15	5.75	0.79	7.63	43.86
1.40	7.00	0.90	8.32	58.25
1.65	8.25	0.99	8.91	73.49
1.90	9.50	1.08	9.41	89.42
2.15	10.75	1.16	9.85	105.90
2.40	12.00	1.22	10.24	122.85
2.65	13.25	1.29	10.58	140.18
2.90	14.50	1.34	10.89	157.84
3.15	15.75	1.39	11.16	175.78
3.40	17.00	1.44	11.41	193.96
3.65	18.25	1.48	11.64	212.35
3.90	19.50	1.52	11.84	230.92
4.15	20.75	1.56	12.03	249.66
4.40	22.00	1.59	12.21	268.53
4.65	23.25	1.63	12.37	287.54
4.90	24.50	1.66	12.52	306.65
5.15	25.75	1.68	12.66	325.87
5.40	27.00	1.71	12.78	345.18



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione rettangolare MPRA17**

Larghezza del fondo (m)	4.80
Pendenza (m/m)	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Altezza massima dal fondo	4.50

livello (m)	superficie bagnata (mq)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.23	1.08	0.21	3.12	3.37
0.45	2.16	0.38	4.68	10.12
0.68	3.24	0.53	5.83	18.90
0.90	4.32	0.65	6.74	29.13
1.13	5.40	0.77	7.49	40.43
1.35	6.48	0.86	8.11	52.58
1.58	7.56	0.95	8.65	65.39
1.80	8.64	1.03	9.11	78.74
2.03	9.72	1.10	9.52	92.55
2.25	10.80	1.16	9.88	106.72
2.48	11.88	1.22	10.20	121.22
2.70	12.96	1.27	10.49	135.98
2.93	14.04	1.32	10.75	150.98
3.15	15.12	1.36	10.99	166.18
3.38	16.20	1.40	11.21	181.56
3.60	17.28	1.44	11.41	197.09
3.83	18.36	1.47	11.59	212.76
4.05	19.44	1.51	11.76	228.55
4.28	20.52	1.54	11.91	244.45
4.50	21.60	1.57	12.06	260.44

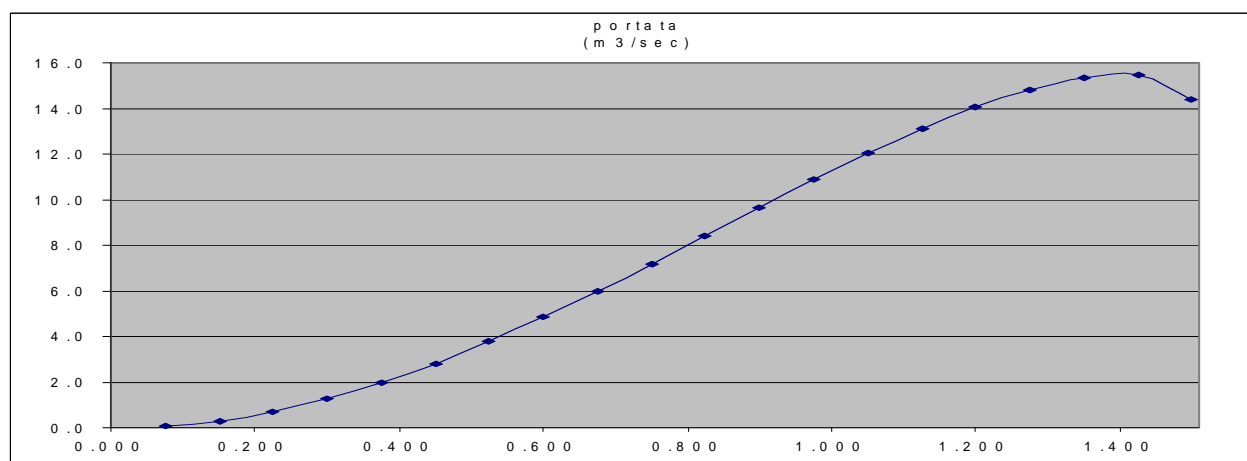




**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione circolare MPRA18**

diametro esterno (mm)		
diametro interno (m)	=	1.5
pendenza (m/m)	=	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> /s)	=	70

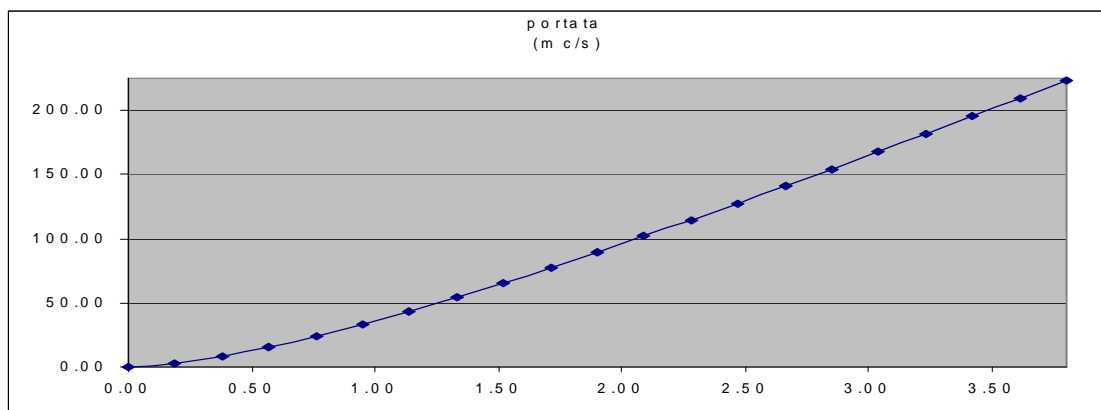
livello (m)	h/D	sup (mq)	perimetro bagnato (m)	r idr (m)	velocità (m/s)	portata (m3/sec)
0.075	0.05	0.03	0.68	0.05	2.09	0.1
0.150	0.1	0.09	0.97	0.10	3.27	0.3
0.225	0.15	0.17	1.19	0.14	4.21	0.7
0.300	0.2	0.25	1.39	0.18	5.01	1.3
0.375	0.25	0.35	1.57	0.22	5.70	2.0
0.450	0.3	0.45	1.74	0.26	6.32	2.8
0.525	0.35	0.55	1.90	0.29	6.86	3.8
0.600	0.4	0.66	2.05	0.32	7.34	4.8
0.675	0.45	0.77	2.21	0.35	7.77	6.0
0.750	0.5	0.88	2.36	0.38	8.14	7.2
0.825	0.55	1.00	2.51	0.40	8.46	8.4
0.900	0.6	1.11	2.66	0.42	8.73	9.7
0.975	0.65	1.22	2.81	0.43	8.95	10.9
1.050	0.700	1.321	2.973	0.444	9.115	12.0
1.125	0.75	1.42	3.14	0.45	9.23	13.1
1.200	0.8	1.52	3.32	0.46	9.28	14.1
1.275	0.85	1.60	3.52	0.45	9.26	14.8
1.350	0.9	1.68	3.75	0.45	9.15	15.3
1.425	0.95	1.73	4.04	0.43	8.91	15.5
1.500	1	1.77	4.71	0.38	8.14	14.4



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione rettangolare MPRA19**

Larghezza del fondo (m)	5.00
Pendenza (m/m)	0.05
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> )	40
Altezza massima dal fondo	3.80

livello (m)	superficie bagnata (mq)	raggio idraulico (m)	velocità (m/s)	portata (mc/s)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.19	0.95	0.18	2.82	2.67
0.38	1.90	0.33	4.27	8.11
0.57	2.85	0.46	5.36	15.28
0.76	3.80	0.58	6.24	23.71
0.95	4.75	0.69	6.97	33.12
1.14	5.70	0.78	7.60	43.31
1.33	6.65	0.87	8.14	54.13
1.52	7.60	0.95	8.61	65.47
1.71	8.55	1.02	9.04	77.26
1.90	9.50	1.08	9.41	89.42
2.09	10.45	1.14	9.75	101.90
2.28	11.40	1.19	10.06	114.66
2.47	12.35	1.24	10.34	127.66
2.66	13.30	1.29	10.59	140.88
2.85	14.25	1.33	10.83	154.28
3.04	15.20	1.37	11.04	167.85
3.23	16.15	1.41	11.24	181.57
3.42	17.10	1.44	11.43	195.42
3.61	18.05	1.48	11.60	209.39
3.80	19.00	1.51	11.76	223.47



**Scala di deflusso in moto uniforme  
 sezione circolare MPRA20**

diametro esterno (mm)		
diametro interno (m)	=	0.8
pendenza (m/m)	=	0.03
C di Strickler (m <sup>1/3</sup> /s)	=	70

livello (m)	h/D	sup (mq)	perimetro bagnato (m)	r idr (m)	velocità (m/s)	portata (m3/sec)
0.040	0.05	0.01	0.36	0.03	1.07	0.0
0.080	0.1	0.03	0.51	0.05	1.66	0.0
0.120	0.15	0.05	0.64	0.07	2.14	0.1
0.160	0.2	0.07	0.74	0.10	2.55	0.2
0.200	0.25	0.10	0.84	0.12	2.91	0.3
0.240	0.3	0.13	0.93	0.14	3.22	0.4
0.280	0.35	0.16	1.01	0.15	3.50	0.5
0.320	0.4	0.19	1.10	0.17	3.74	0.7
0.360	0.45	0.22	1.18	0.19	3.96	0.9
0.400	0.5	0.25	1.26	0.20	4.15	1.0
0.440	0.55	0.28	1.34	0.21	4.31	1.2
0.480	0.6	0.31	1.42	0.22	4.45	1.4
0.520	0.65	0.35	1.50	0.23	4.56	1.6
0.560	0.700	0.376	1.586	0.237	4.643	1.7
0.600	0.75	0.40	1.68	0.24	4.70	1.9
0.640	0.8	0.43	1.77	0.24	4.73	2.0
0.680	0.85	0.46	1.88	0.24	4.72	2.1
0.720	0.9	0.48	2.00	0.24	4.66	2.2
0.760	0.95	0.49	2.15	0.23	4.54	2.2
0.800	1	0.50	2.51	0.20	4.15	2.1

