



**AGENZIA INTERREGIONALE PER IL FIUME PO**  
**UFFICIO DI CREMONA**

Opere idrauliche di 2<sup>a</sup> Categoria - fiume Po  
(Legge n° 2885 del 18/01/1985)

**LAVORI DI ADEGUAMENTO DELLA CHIAVICA DEL RIGLIO**  
**NEI COMUNI DI CREMONA E SPINADESCO - ex CR-E-781**

**PRIMO STRALCIO FUNZIONALE**  
**PRIMO LOTTO**

**PROGETTO ESECUTIVO**

Tavola (rif. CR-E-781)	Titolo della tavola	Data
1.5	RELAZIONE IDRAULICA	05.07.2011
		Scala

REV.	DATA	DESCRIZIONE MODIFICA
A	15/11/2001	EMISSIONE
B	27/12/2007	EMISSIONE: PRIMO LOTTO - PRIMO STRALCIO
C	15/02/2011	ADEGUAMENTO AL D.M. 14.01.2008 "NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI"
D		

IL PROGETTISTA GENERALE DELL'OPERA E PROGETTISTA STRUTTURALE  
(prof. ing. Raffaele POLUZZI)

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO  
(ing. Luigi MILLE)

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO ESPROPRIATIVO  
(dott.ssa Laura LANDI)

COLLABORATORI DEL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

(ing. Marco LA VEGLIA)

(geom. Fernando ALTABELLO)

(arch. Giuliano BERNI)

<b>1) PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>2) INQUADRAMENTO MORFOLOGICO</b>	<b>5</b>
<b>3) PRECIPITAZIONI DI MASSIMA INTENSITÀ E BREVE DURATA.</b>	<b>7</b>
Tabella 3.1	8
FIG. 1	9
<b>4) CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA NEI COLLETTORI E CANALI A SERVIZIO DI AREE URBANE.</b>	<b>10</b>
4.1) Introduzione.	10
4.2) Modello probabilistico	10
4.3) Adattamento di distribuzioni teoriche a distribuzioni di frequenze campionarie.	11
Tabella 4.1	12
Tabella 4.2	12
4.4) Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica	13
Tabella 4.3	13
FIG 2	14
4.5) Le portate di piena	15
<b>5) LE PRECIPITAZIONI INTENSE DI UNO, DUE, TRE, QUATTRO E CINQUE GIORNI CONSECUTIVI.</b>	<b>16</b>
Tabella 5.1	17
Tabella 5.2	18
Tabella 5.3	19
Tabella 5.4	20
Tabella 5.5	21
Tabella 5.6	22
FIG. 3	23
<b>6) CALCOLO DELLE PORTATE EXTRAURBANE DI PIENA DELLA ROGGIA RIGLIO ALLA CONFLUENZA NEL FIUME PO.</b>	<b>24</b>
Tabella 6.1	25
Tabella 6.2	25
FIG.4	27
<b>7) CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA NELLE SEZIONI DI CHIUSURA DEL RIGLIO.</b>	<b>28</b>
Tabella 7.1	28
Tabella 7.2	29
<b>8) CALCOLO DEI TEMPI DI PERMANENZA DELLE QUOTE IDROMETRICHE DI PIENA IN PO E DELLE CONCOMITANTI PRECIPITAZIONI NEL BACINO DEL RIGLIO.</b>	<b>30</b>
Tabella 8.1	30
Tabella 8.2	34
FIG. 5	39
Tabella 8.3	41
Tabella 8.4	41
Tabella 8.5	42
Tabella 8.6	42
Tabella 8.8	43

<b>9) SIMULAZIONI IDROLOGICHE E VERIFICA DEL SISTEMA IDRAULICO PROPOSTO.</b>	<b>44</b>
Tabella 9.1	46
Tabella 9.2	47
FIG. 6	48
<b>10) CONCLUSIONI</b>	<b>49</b>
Tabella 10.1	49
<b>11) BIBLIOGRAFIA</b>	<b>52</b>

TAV. 1 – BACINO IMBRIFERO COLATORE RIGLIO

TAV. 2 - INQUADRAMENTO MORFOLOGICO FOCE RIGLIO

TAV. 3.1 – 3.4 SEZIONI TRASVERSALI

TAV. 4 – IDROGRAMMI DI PIENA ANNI 1926 - 1985

TAV. 5 – QUOTA DI PIENA E DURATA RELATIVA IN FUNZIONE DEL T.R

TAV. 6 – IDROGRAMMA DI PIENA CON T.R. DI 25 ANNI

## 1) PREMESSA

Nella relazione seguente vengono descritti i risultati delle verifiche idrologiche che sono servite per la ristrutturazione e messa in sicurezza della chiavica recentemente costruita sul colatore Riglio a protezione delle piene del F. Po.

Lo studio idrologico è stato articolato nelle seguenti fasi:

- raccolta dei dati pluviometrici relativi all'area in esame, con riferimento alle precipitazioni di massima intensità e breve durata ;
- calcolo delle portate di piena dei collettori a servizio di aree urbane;
- calcolo delle portate di piena nei canali a servizio di aree extra - urbane;
- calcolo dei tempi di permanenza di elevate quote idrometriche del fiume Po, allo sbocco del Riglio;
- previsione sulle modalità di gestione delle idrovore installate nella chiavica Riglio e potenziamento delle stesse, per regimentare le acque e smaltire portate eccedenti, in caso di piena di Po, del canale di bonifica a monte della stazione di chiusura affinché venga garantito il mantenimento del franco arginale di sicurezza sugli argini di contenimento del canale Riglio

Lo studio del comportamento idraulico del canale Riglio e quindi la stima dei parametri caratteristici delle onde di piena è stato ottenuto partendo dai dati pluviometrici.

Solo recentemente è stata installata una stazione idrometrografica nella stessa chiavica Riglio, ma il limitato periodo di esercizio non ha permesso la raccolta di dati significativi alla stima delle portate di piena del colatore Riglio.

Si deve inoltre precisare che per redigere codesto studio idrologico, si è tenuto presente di quanto già fatto in occasione della costruzione della chiavica, in particolare della relazione idrologica allegata al progetto di completamento funzionale, redatta dall'Ing. Attilio Adami con la collaborazione dell'Ing. Alifracco; lo studio idrologico è stato integrato con i rilievi degli ultimi eventi di piena, che si sono verificati dopo la realizzazione della Chiavica.

## 2) INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

Il bacino di scolo del Riglio occupa un'area di pianura in sinistra idraulica del Fiume Po, dai dati già presenti alla redazione del progetto di costruzione della chiavica sul colatore Riglio, forniti dal Magistrato per il Po, si desume che l'area ha un'estensione di circa 75 kmq; la configurazione del bacino in realtà non è ben definita in quanto vi sono tratti con dubbia destinazione di scolo, a causa della bassa pendenza del terreno, di interventi dell'uomo e della natura stessa del corso d'acqua quale canale di bonifica.

Da un'analisi dettagliata l'estensione areale massima potrebbe arrivare a circa 102 Km<sup>2</sup>.

In ogni caso nel presente studio idrologico si terrà conto del valore indicato dal Magistrato per il Po che è anche supportato dal Consorzio di gestione del canale di bonifica.

La lunghezza massima del bacino è di circa 30,75 Km con una pendenza media dello 0,124 %, mentre l'ultimo tratto presenta invece una pendenza oscillante attorno allo 0,05 %, il canale si getta nel fiume Po a monte di Cremona a circa 3.5 Km dalla città. (vedi TAV.1)

Dai rilievi effettuati in situ, si è potuto constatare che il Riglio è caratterizzato da una portata di fondo scorrelata dagli eventi piovosi.

Tale portata è determinata da scoli di acque usate, di acque sorgive provenienti da fontanili, da acque di scolo delle rogge e dai canali irrigui collegati con i comprensori del fiume Oglio, del fiume Serio e dei Navigli.

Risulta che il sistema delle rogge, nel caso di chiusura delle chiaviche da parte dei consorzi irrigui competenti nella gestione del comprensorio, abbia un tempo di corrivazione da 48 a 72 ore e quindi dia luogo ad una portata di fondo di almeno 2-3 giorni.

Inoltre alcune rogge fungono da scolmatori per i Navigli, nel caso in cui questi non siano in grado di smaltire le acque meteoriche provenienti dal loro bacino di scolo.

Questo tipo di rete idrica induce la presenza di una portata di fondo, che secondo le indicazioni del Consorzio, che gestisce il Canale Riglio, oscilla intorno a valori di  $1 \pm 1.5$  mc/sec.

Le arginature di Riglio da Casina Paola sino a valle si presentano in maniera differente:

- a) da Casina Paola sino alla località " Cavetta " sono difese in terra, propriamente di Riglio;
- b) procedendo a valle, in sponda destra, l'arginatura è costituita dalla stessa arginatura principale del F. Po (argine sinistro)  
Questo sino a Cascina Baracchino; infatti a monte di tale località l'argine del Po si sdoppia presentando due difese, una in froldo, e un'altra, costituente un tratto secondario, che sino a Cascina Baracchino presenta quote di sommità elevate e

praticamente coincidenti . Quote chiaramente dimensionate per mantenere le piene del Po .

- c) in sponda sinistra di Riglio dalla località " Cavetta " alla chiavica di Spinadesco l'arginatura si presenta a quota inferiore a quelle di destra idraulica .  
Un'eventuale sormonto delle arginature in questa zona significherebbe il travaso dei deflussi sulla strada di servizio in destra idraulica del canale navigabile Milano Cremona con possibile coinvolgimento delle piene di Riglio, nel caso di valori volumetrici piuttosto elevati, nelle aree in sinistra dello stesso canale navigabile.
- d) a valle della chiavica di Spinadesco sino all'intersezione delle difese longitudinali del F. Po alla confluenza nello stesso fiume le arginature di Riglio presentano quote di sommità equivalente sulle due sponde.  
Si evidenziano quote superiori a quelle presenti a monte in sponda sinistra di Riglio. Nel complesso l'area invasabile tra le due sponde del Riglio è notevole e potrebbe diventare ancora superiore se si elevasse la quota di sommità a monte della chiavica di Spinadesco in sinistra di Riglio.

Nell'ultimo tratto del corso d'acqua è evidente un intervento di costruzione rappresentato dal Canale Navigabile Milano – Cremona.

L'alveo del Riglio presenta una classica sezione di deflusso con :

- una sezione più ristretta per contenere le piene più frequenti con elevati valori della velocità ( per evitare pure depositi in caso di magre, vi sono infatti discreti apporti di materiali sedimentabili facilmente visibili ) ;
- l'area esondabile in caso di piena o di rigurgito di Po ai lati del canale principale. Queste aree sono coltivate. La sezione di deflusso (dalla sezione di Riglio n° 6 a valle) presenta il canale principale con quote massime prossime ai 38 m s. m.  
L'ultimo tratto di Riglio scorre infine nella golena di Po.

Eventuali piene interne di Riglio dovrebbero così essere trattenute dal volume d'invaso dello stesso canale di bonifica .

L'intervento proposto mira anche a diminuire il rischio di esondabilità dovuto a piene interne.

Le sezioni di Riglio utilizzate per ricostruire il volume invasabile nel tratto sopra descritto sono riportate in seguito ed indicate nella TAV. 2 in scala 1:25.000, mentre la forma geometrica delle stesse è riportata come TAV. 3.1 TAV. 3.2 , TAV. 3.3. TAV. 3.4 ed sono allegate in fondo alla presente relazione.

La Roggia Riglio drena terreni di pianura a debole pendenza.  
Il Riglio scorre probabilmente (ultimi 5 Km) in un'alveo abbandonato di Po.  
Negli ultimi 5 Km del suo percorso le aree drenate sono ubicate praticamente tutte in sinistra idraulica.

### 3) PRECIPITAZIONI DI MASSIMA INTENSITÀ E BREVE DURATA.

In mancanza di rilevazioni idrometriche dirette, per stimare le portate e successivamente determinare i volumi di piena dei canali e corsi d'acqua considerati, è risultato necessario analizzare preventivamente i dati relativi alle precipitazioni di massima intensità e breve durata registrati dal pluviografo ubicato a Cremona, come stazione più rappresentativa dalle aree poste all'interno del bacino del Riglio e oggetto di tempi di corrivazione limitati, in quanto aree urbane e aree agricole piuttosto limitate.

I dati che si riportano nel seguito sono stati forniti dall'Ufficio Idrografico per il Po di Parma.

La stazione di Cremona presenta le seguenti caratteristiche :

- quota sul mare : 45 m s. m.
- tipo di apparecchio : pluviografo
- periodo di funzionamento : dal 1951
- periodo dati utilizzabili : 1951/1991

La stazione di Cremona è particolarmente significativa grazie alla continuità del periodo di funzionamento oltre ad essere prossima al bacino del Riglio.

Inoltre sotto l'aspetto delle precipitazioni intense tutta l'area in oggetto si presenta sufficientemente omogenea.

Per la stazione di Cremona sono stati ricavati e rappresentati nella tabella 3.1 e fig. 1 le massime precipitazioni annuali consecutive di 1 ,3 ,6 ,12 e 24 ore. Tali valori sono stati analizzati tramite analisi statico - probabilistiche di Gumbel traendo conferme di rilievo circa l'adattabilità dei dati al modello probabilistico prescelto.

Sono poi state individuate le rette di possibilità climatica in funzione del tempo di ritorno

Tabella 3.1  
STAZIONE PLUVIOGRAFICA DI CREMONA

Massime precipitazioni annue della durata di :  
1 , 3 , 6 , 12 , 24 ore e 1 giorno consecutivo in mm .

ANNO	1 ORA	3 ORE	6 ORE	12 ORE	24 ORE	1 GIORNO
1951	20.0	38.0	45.6	65.0	98.0	95.0
1952	13.6	17.0	26.8	35.6	53.6	41.2
1953	22.2	34.0	38.0	49.0	83.6	53.0
1954	15.8	21.6	23.4	26.8	32.6	31.2
1955	22.2	26.8	26.8	37.2	46.2	26.4
1956	27.8	40.0	51.4	62.8	67.0	59.0
1957	35.6	35.8	40.0	50.6	73.8	58.0
1958	37.0	58.2	58.2	58.4	58.4	56.6
1959	37.4	45.8	53.6	89.0	89.4	89.4
1960	36.0	50.6	65.0	89.8	91.6	91.6
1961	35.1	39.0	40.6	41.0	51.8	41.2
1962	13.0	20.0	24.0	39.0	45.4	45.0
1963	64.0	80.0	80.0	80.0	80.2	80.2
1964	41.8	46.8	52.4	63.6	69.2	52.4
1965	19.4	29.0	34.0	40.2	55.4	45.8
1966	28.0	41.2	42.8	46.4	81.8	74.8
1967	37.4	39.6	44.4	67.4	73.0	63.0
1968	19.4	28.0	44.6	47.0	50.8	47.0
1969	11.0	22.2	29.4	33.2	51.6	34.8
1970	35.6	38.2	38.6	48.0	64.2	54.2
1971	11.4	16.4	25.0	41.8	48.4	32.2
1972	22.4	24.4	31.4	42.4	54.2	0.0
1973	35.2	39.0	40.2	44.4	44.8	0.0
1974	26.6	26.6	37.4	60.0	81.6	0.0
1975	27.4	36.8	36.8	36.8	46.0	0.0
1976	37.0	41.4	58.8	60.6	70.8	0.0
1977	30.4	60.0	65.8	67.8	69.4	0.0
1978	50.0	56.2	58.2	62.4	70.2	0.0
1979	30.0	83.0	157.8	182.2	198.4	0.0
1980	14.4	24.8	38.4	47.8	59.6	0.0
1981	33.4	36.8	39.6	39.6	49.6	0.0
1982	37.8	39.8	39.8	45.2	59.4	0.0
1986	20.2	21.8	26.8	26.8	19.0	0.0
1987	13.2	29.0	30.4	33.2	54.4	0.0
1988	31.4	35.8	35.8	38.6	40.8	0.0
1989	18.2	25.0	27.0	29.2	29.2	0.0
1990	23.4	40.2	41.8	58.4	67.0	0.0
1991	25.0	36.6	68.8	77.0	80.0	0.0

0.0 = dato non rilevato

\* \* = stazione chiusa

**CREMONA -  
STAZIONE PLUVIOMETRICA -  
MASSIME PRECIPITAZIONI ANNUE**

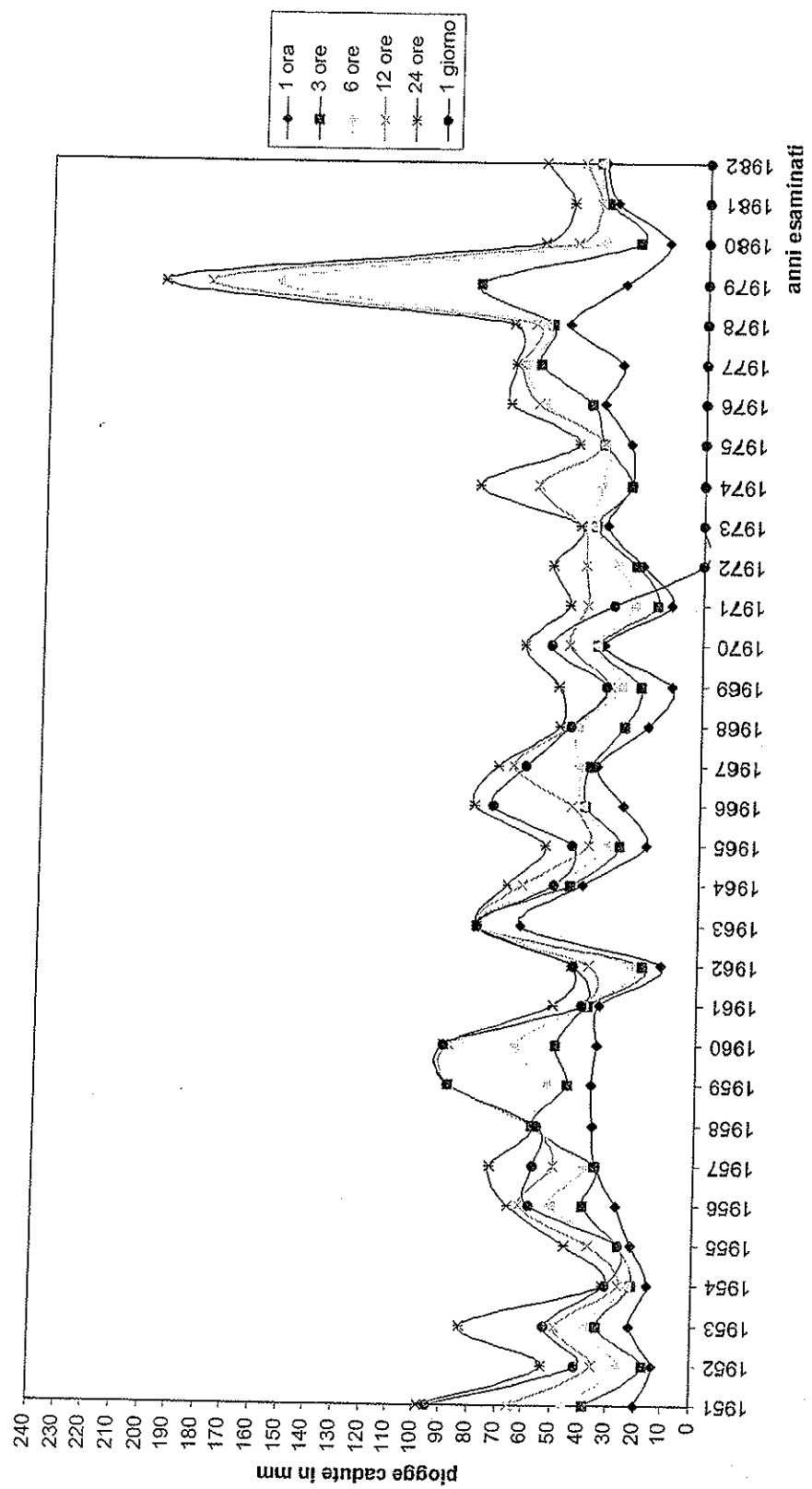


FIG. 1

#### 4) CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA NEI COLLETTORI E CANALI A SERVIZIO DI AREE URBANE .

##### 4.1) Introduzione.

Per stimare le portate dei collettori, dei canali, e dei corsi d'acqua a servizio delle aree urbane sono stati utilizzati i dati pluviometrici a disposizione, poiché non è possibile reperire dati sperimentali, si è giunti ai valori delle portate attraverso i più semplici schemi in uso di simulazione della relazione afflussi - deflussi.

Si sono analizzate le massime precipitazioni annue di 1 , 3 , 6 , 12 , 24, ore consecutive registrate a Cremona nel periodo 1951 – 1982 e riportate più sopra alla tabella 3.1 e fig. 1, in considerazione della relativa uniformità pluviometrica del territorio esaminato, che della posizione centrale del pluviometro di Cremona rispetto all'area considerata.

##### 4.2) Modello probabilistico

Per ognuna della serie di dati è stata eseguita una regolarizzazione secondo Gumbel (metodo dei minimi quadrati ) permettendo così di associare all'altezza di precipitazione considerata la frequenza probabile.

La probabilità di superamento è :

$$F(h) = e^{-e^{-x}}$$

dove x = variabile ridotta è uguale a :

$$x = - \ln ( -\ln F (h) )$$

Il valore che può assumere la precipitazione (h) è uguale a :

$$h = A + Bx$$

dove A e B sono coefficienti da determinare mediante regressione lineare e precisamente :  
A = intersezione con l'asse delle Y della retta che meglio interpola gli N valori costituenti la serie in esame ;  
B = pendenza della suddetta retta.

Al fine della determinazione delle frequenze cumulate, una volta ordinati i valori massimi annuali in ordine crescente, si è associato al valore che occupa il posto i - esimo nella scala crescente, la probabilità:

$$F(h) = \frac{i}{N + 1}$$

Per la distribuzione proposta, il coefficiente di asimmetria (coefficiente di Skewness) è costante ed uguale a 1.136; così come dimostrato da Beard (1974), nell'analisi dei dati si è tenuto conto dei valori estremi poiché è un criterio che conduce i risultati più accurati.

#### 4.3) Adattamento di distribuzioni teoriche a distribuzioni di frequenze campionarie.

Un primo giudizio sull'accettabilità della distribuzione teorica a quella reale è stata effettuata mediante esame visivo basato su cartogrammi probabilistici.

Se i dati individuati da punti sul diagramma, si dispongono intorno alla retta teorica, l'andamento è da ritenere soddisfacente.

A tale proposito risulta significativo, come trasposizione numerica, l'esame del valore del coefficiente di correlazione, valori prossimi all'unità depongono per un buon adattamento dei dati alla retta teorica.

Per una più rigorosa valutazione della bontà dell'adattamento, significava è la stima dei coefficienti di simmetria.

Il criterio di valutazione preferibile ai soliti test classici (del  $\chi^2$  e del t student) è quello basato sulla capacità di riprodurre il coefficiente di asimmetria  $\alpha$  delle massime precipitazioni annuali.

In genere una sottostima del suddetto coefficiente conduce ad una sottostima del valore della grandezza idrologica per tempi di ritorno elevati e viceversa.

Il valore del coefficiente di asimmetria non è noto, ma si ottiene mediante stime delle serie storiche.

La validità del modello è quindi controllata mediante confronto di  $\alpha$  stimato con il valore teorico previsto pari a 1,136.

Per verificare se gli scarti di  $\alpha$  dal valore teorico siano o no significativi, occorre conoscere la media  $M(\alpha)$  e lo scarto quadratico medio  $\sigma(\alpha)$  del coefficiente di asimmetria al variare di N. Non si respinge la distribuzione di Gumbel se, con un livello di significatività del 5%, si ha :

$$|M(\alpha) - \alpha| \leq 2 \sigma(\alpha)$$

$$\alpha = N^{1/2} \times \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \underline{Y})^3}{(\sum_{i=1}^N (Y_i - \underline{Y})^2)^{3/2}}$$

dove :

N = numero dati

Y = valore di i - esimo della grandezza idrologica in esame

$\underline{Y}$  = media dei valori

I valori di  $M(\alpha)$  e  $\sigma(\alpha)$  al variare di N sono stati determinati da Matalas e altri (1975) mediante tecniche di generazione dei dati riportati nel seguito:

Valori di  $M(\alpha)$  e  $\sigma(\alpha)$  per la legge di Gumbel al variare di  $N$   
(dimensione del campione)

N	10	20	30
$M(\alpha)$	0,525	0,740	0,841
$\sigma(\alpha)$	0,626	0,586	0,555

Si sono svolte per ogni serie di dati le elaborazioni di cui sopra e si è ricavata la tabella 4.1

Tabella 4.1

Parametri A, B, coefficiente di correlazione e di asimmetria  $\alpha_3$   
ottenuti dall'elaborazione mediante il modello di Gumbel.

STAZIONE	precipitazione di	A	B	C.C.	$\alpha_3$
CREMONA	1 ora	23.567	10.109	0.973	0.606
	3 ore	29.801	14.832	0.977	0.650
	6 ore	36.483	18.664	0.874	3.126
	12 ore	44.777	21.383	0.878	3.070
	24 ore	55.936	22.077	0.878	3.031

A conclusione delle elaborazioni statistico - probabilistiche, si è potuto determinare, per ognuna delle prefissate durate di pioggia, il tempo di ritorno da associare alle diverse altezze di pioggia, tali valori sono riportati in tabella 4.2

Tabella 4.2

Precipitazioni intense di 1 , 3 , 6 , 12 , 24 ore in funzione del tempo di ritorno

STAZIONE DI	Tempo ritorno (anni)	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
CREMONA	10	46.3	63.2	78.5	92.9	105.6
	25	55.9	98	96.2	113.2	126.5
	50	63	77.2	109.3	128.2	142.1
	100	70.1	87.7	122.3	143.1	157.5
	200	77.1	108.3	135.3	158.0	172.8
	500	86.4	122	152.4	177.6	193.1
	1000	93.4	132.2	165.4	192.5	208.4

I valori del coefficiente di correlazione, che fornisce un indice del grado di adattamento della distribuzione prescelta nei confronti dei dati sperimentali, sono risultati superiori a 0,9 a conferma della buona affidabilità del procedimento proposto.

#### 4.4) Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica

Per le stazioni pluviografiche precedentemente esaminate, dopo aver effettuato la regolarizzazione mediante il modello di Gumbel, si sono calcolate le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica in funzione del tempo di ritorno.

Il procedimento adottato è stato quello usualmente proposto, quello basato sulla regolarizzazione dei dati disposti in un diagramma bilogaritmico mediante regressione lineare. L'espressione della curva segnalatrice in funzione del tempo di ritorno è del tipo :

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

dove :

- h = precipitazione in mm per un determinato tempo di ritorno;
- t = durata della precipitazione in ore;
- a, n = coefficienti delle curve segnalatrici per assegnato tempo di ritorno.

In base alle predette determinazioni, si sono individuate le espressioni delle curve segnalatrici di possibilità climatica, ovverosia i parametri di a ed n.

Assegnata la durata t della pioggia è possibile ricavare l'altezza di pioggia critica h corrispondente ad un prefissato tempo di ritorno **TR** in anni.

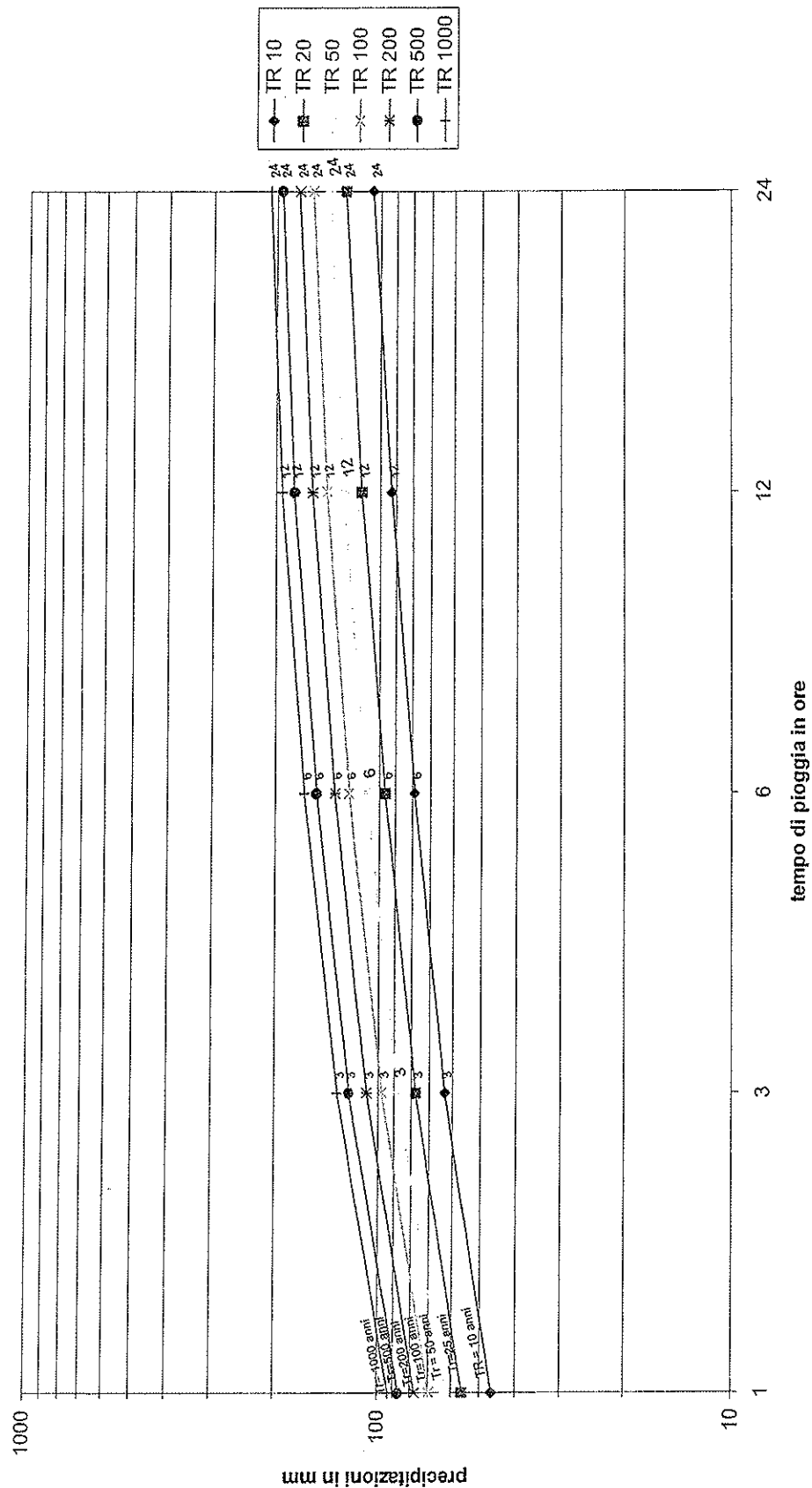
Tabella 4.3  
curve di possibilità climatica a Cremona - parametri.

tempo ritorno	A	n
10	47.2	0.264
25	57.5	0.263
50	65.2	0.262
100	72.7	0.261
200	80.3	0.260
500	90.2	0.260
1000	97.7	0.259

Di questi valori sono state tracciate le curve di possibilità climatica riportate nella fig. 2

Fig. 2

CREMONA RETTE DI POSSIBILITA' CLIMATICA



Assegnata la durata della pioggia  $t_p$ , è così possibile ricavare l'altezza di pioggia critica  $h$ , e la relativa intensità  $I$ , corrispondente ad un prefissato tempo di ritorno per es.  $T_r$  pari a 25 anni.

Per la determinazione delle portate di piena si è impiegato il metodo "razionale", basato sulla formula :

$$Q_p = \frac{\varphi \cdot \Psi \cdot I \cdot A}{360} \text{ m}^3/\text{sec}$$

dove l'intensità di pioggia  $I$  è quella corrispondente ad una durata di pioggia pari al tempo di corrivazione relativo alla sezione considerata ed inteso come somma del tempo di raccolta delle acque nei collettori più il tempo di transito lungo gli stessi.

#### 4.5 ) Le portate di piena

I coefficienti utilizzati nel calcolo sono stati ricavati mediante un confronto con bacini simili o in base a valori suggeriti dalla letteratura tecnica.

La ricostruzione del tipo di copertura e la stima della capacità di assorbimento, effettuata attraverso l'attribuzione di un coefficiente di assorbimento, sono state compiute sulla base dell'analisi delle carte ottenute dai rilievi fotogrammetrici del territorio urbano, consentendo così di ricavare il valore medio per i bacini drenanti le aree urbane.

I valori così ricavati dai coefficienti udometrici sono stati confrontati per campione con quelli desunti mediante l'impiego del metodo del volume di invaso, ottenendo indicazioni sufficientemente concordanti.

Si deve rilevare però che i volumi d'acqua provenienti da aree urbane, pur presentando valori di punta elevati, non hanno mai volumi d'acqua ragguardevoli nel tempo di transito delle piene di Po o dello stesso Riglio.

Nel complesso il bacino del Riglio non presenta significative aree impermeabili a causa di interventi di urbanizzazione diffusa.

In conclusione si formula l'ipotesi di trascurare in termini di portata il contributo delle aree urbane alla luce dei valori elevati del tempo di corrivazione delle aree extraurbane e del limitato volume defluibile da aree urbane che comporta lievi modifiche alle valutazioni successive.

# **5) LE PRECIPITAZIONI INTENSE DI UNO, DUE, TRE, QUATTRO E CINQUE GIORNI CONSECUTIVI.**

Nell'ambito del bacino del T. Riglio e nelle aree limitrofe, sono state individuate le seguenti stazioni per la misura delle precipitazioni :

Stazione	Bacini	Periodo di osservazione	Anni disponibili
Lodi	Adda	Dal 1895	39
Crema	Adda Serio	Dal 1929	31
Codogno	Pianura tra Lambro e Adda	Dal 1883	38
S. Lazzaro Alberoni	Trebbia	Dal 1802	41
Cremona	Pianura tra Oglio e Adda	Dal 1882	39

Fra tutte le stazioni disponibili, si è prescelto la stazione di Cremona, quale più significativa di quelle individuate, alla luce delle indagini riportate nei paragrafi che seguono, relative alla probabilità composta tra dell'evento piene Po e piene Riglio.

Con i procedimenti descritti in precedenza, per ognuna delle serie di dati riportate nelle pagine seguenti come tabelle dalla 5.1 alla 5.6, per ogni stazione si è applicata l'analisi statistico-probabilistica di Gumbel.

Tabella 5.1  
Massime precipitazioni dell'anno per periodi di più giorni consecutivi:  
stazione S.Lazzaro Alberoni

BACINO : TREBBIA	STAZIONE : S. LAZZARO ALBERONI				
	1	2	3	4	5
	mm	Mm	mm	mm	mm
1951	60,4	64,4	68,4	74,9	111,5
1952	44,0	49,5	49,5	49,5	50,8
1953	66,2	100,2	124,8	131,3	139,2
1954	35,5	69,0	69,0	69,0	74,6
1955	33,2	50,0	52,2	54,2	58,2
1956	45,5	56,3	60,3	68,3	72,0
1957	61,5	90,2	96,0	114,0	118,5
1958	54,8	81,4	86,4	92,2	94,4
1959	68,0	76,0	84,4	84,4	84,4
1960	54,6	56,4	59,4	59,4	70,2
1961	40,8	63,6	74,4	76,6	91,4
1962	43,0	46,8	65,0	66,6	84,4
1963	50,2	60,8	62,6	72,4	72,4
1964	47,2	79,6	95,6	100,6	117,2
1965	32,0	44,4	51,8	72,0	88,0
1966	56,4	70,0	71,2	78,2	79,4
1967	58,4	61,0	61,8	62,6	68,2
1968	81,4	81,6	81,6	81,6	81,6
1969	49,0	54,0	65,2	70,6	71,4
1970	65,2	108,0	108,0	108,0	108,0
1971	35,0	47,6	51,4	60,6	60,6
1972	44,8	65,8	65,8	84,0	84,0
1973	76,0	102,8	121,2	121,2	121,2
1974	103,2	137,2	150,8	165,8	166,0
1975	78,8	108,0	143,6	157,0	157,0
1976	52,8	87,6	87,6	105,2	110,6
1977	73,4	108,8	120,0	130,0	130,0
1978	82,0	107,0	139,6	144,6	144,8
1979	101,2	142,0	152,0	173,6	183,0
1980	53,6	66,8	74,2	88,6	91,0
1981	38,2	45,0	51,6	61,8	51,8
1982	56,2	72,6	72,8	77,4	85,2
1983	18,2	25,6	36,6	66,0	96,8
1984	91,4	168,6	170,2	171,0	172,6
1985	40,4	56,4	60,6	94,2	94,4
1986	65,0	77,8	78,4	80,6	87,0
1987	40,8	51,0	60,6	82,0	90,2
1988	63,2	80,0	130,2	133,6	133,6
1989	39,2	59,0	70,2	70,2	70,2
1990	60,2	60,2	73,0	82,6	97,0
1991	61,4	64,4	65,6	78,8	83,8

Tabella 5.2  
Massime precipitazioni dell'anno per periodi di più giorni consecutivi:  
stazione Codogno

BACINO : Pianura fra Lambro e Adda	STAZIONE : CODOGNO				
	1	2	3	4	5
	mm	mm	mm	mm	mm
1951	61,0	119,8	129,2	131,0	131,4
1952	44,0	61,8	68,0	69,4	70,2
1953	116,6	149,0	166,8	177,8	195,6
1954	60,0	60,2	70,8	82,6	86,4
1955	47,0	48,0	55,8	55,8	61,8
1956	47,0	58,8	64,0	75,4	86,0
1957	115,0	151,6	152,2	184,4	187,0
1958	51,8	90,4	108,4	118,4	121,6
1959	75,2	79,6	79,8	91,2	95,2
1960	70,0	70,0	70,0	80,2	84,4
1961	47,2	63,6	80,2	82,6	83,6
1962	32,0	58,0	73,0	73,0	77,0
1963	44,4	65,2	65,4	65,4	65,4
1964	45,0	83,8	94,8	96,0	107,2
1965	71,5	73,5	75,5	87,5	126,5
1966	59,0	82,2	82,4	92,8	97,6
1967	40,8	40,8	50,8	52,4	54,8
1968	-	-	-	-	-
1969	48,8	55,2	57,6	63,0	73,0
1970	59,2	88,2	89,2	89,2	89,2
1971	62,4	64,6	64,6	64,6	67,4
1972	48,0	58,0	66,4	66,4	71,2
1973	48,8	62,0	74,0	89,0	89,0
1974	53,6	60,4	73,6	78,0	81,2
1975	68,8	89,8	110,8	121,0	121,0
1976	52,0	76,2	76,8	95,4	99,0
1977	50,2	78,2	90,2	98,8	98,8
1978	62,0	74,2	109,0	116,4	119,4
1979	-	128,4	133,6	133,6	133,6
1980	70,2	89,8	105,8	106,8	106,8
1981	45,0	56,6	56,6	56,6	56,6
1982	62,6	64,6	65,6	87,4	106,4
1983	-	-	-	-	-
1984	68,6	81,6	82,2	96,6	113,6
1985	-	-	-	-	-
1986	37,0	67,0	67,0	73,4	78,2
1987	33,6	45,8	60,2	82,2	88,4
1988	68,6	102,0	164,6	168,4	168,4
1989	37,0	57,8	57,8	77,0	77,0
1990	61,8	62,0	73,8	73,8	79,0
1991	62,6	65,2	68,6	80,6	87,8

Tabella 5.3  
Massime precipitazioni dell'anno per periodi di più giorni consecutivi:  
stazione Crema

BACINO ADDA	STAZIONE : CREMA				
	1	2	3	4	5
	mm	mm	mm	mm	mm
1951	53,8	80,8	82,6	84,0	85,2
1952	45,4	65,4	66,0	66,2	66,6
1953	103,0	133,6	159,4	236,4	246,6
1954	42,6	52,2	62,6	67,2	73,4
1955	43,0	46,0	50,0	60,8	117,0
1956	53,2	43,6	86,6	97,0	98,8
1957	71,6	95,2	108,6	121,0	125,2
1958	57,0	78,0	92,4	101,8	108,2
1959	46,6	53,4	68,8	79,8	79,8
1960	68,2	69,6	86,6	107,2	112,4
1961	47,4	80,2	80,4	80,4	80,6
1962	52,0	52,0	60,0	70,0	80,0
1963	51,6	51,8	57,2	67,0	81,4
1964	53,0	71,8	72,4	72,4	90,0
1965	51,4	63,2	107,0	116,2	116,2
1966	76,8	114,2	114,4	120,2	159,2
1967	37,0	56,0	62,0	63,0	63,0
1968	85,0	85,0	91,8	91,8	117,0
1969	38,2	76,2	84,4	84,4	84,4
1970	59,8	77,2	83,0	83,0	83,2
1971	38,6	66,4	66,4	66,4	66,4
1972	54,0	73,0	73,0	76,0	81,0
1973	73,0	94,0	104,0	104,0	104,0
1974	35,0	63,0	80,0	91,0	91,0
1975	52,0	86,0	122,0	137,0	137,0
1976	57,0	75,0	84,0	95,0	115,0
1977	81,0	116,0	150,0	174,0	174,0
1978	63,0	63,0	69,0	71,0	73,0
1979	-	-	-	-	-
1980	-	-	-	-	-
1981	-	-	-	-	-
1982	-	-	-	-	-
1983	-	-	-	-	-
1984	-	-	-	-	-
1985	-	-	-	-	-
1986	-	-	-	-	-
1987	59,0	74,0	87,4	87,4	93,8
1988	68,2	91,6	111,8	129,0	129,8
1989	55,6	73,2	74,8	81,0	82,6
1990	-	-	-	-	-
1991	-	-	-	-	-

Tabella 5.4  
Massime precipitazioni dell'anno per periodi di più giorni consecutivi:  
stazione Lodi

BACINO ADDA	STAZIONE : LODI				
	1	2	3	4	5
	mm	mm	mm	mm	mm
1951	69,0	122,0	125,0	126,0	146,5
1952	68,0	78,0	83,0	83,0	89,0
1953	91,0	102,0	117,0	125,5	153,0
1954	47,5	57,0	75,0	81,0	103,5
1955	50,0	55,0	55,0	93,0	98,0
1956	40,0	46,0	62,9	77,1	88,9
1957	75,0	120,0	122,0	152,0	155,0
1958	60,5	76,0	91,5	102,0	114,5
1959	78,2	121,8	156,8	156,8	156,8
1960	55,0	60,0	62,6	71,2	81,4
1961	55,2	60,0	80,0	85,6	85,8
1962	35,8	39,0	55,0	56,0	61,2
1963	47,2	49,0	81,2	101,0	114,8
1964	67,6	68,8	78,8	85,6	102,8
1965	33,8	46,2	51,2	77,8	90,2
1966	71,0	82,0	86,6	94,0	101,6
1967	85,8	87,6	97,8	99,8	100,4
1968	76,2	86,0	86,8	87,8	88,6
1969	37,2	56,4	61,8	81,6	82,6
1970	58,0	72,8	76,8	77,8	77,8
1971	32,6	47,8	47,8	49,6	56,0
1972	57,2	64,0	73,6	78,6	80,6
1973	45,0	66,0	83,6	83,6	87,8
1974	41,0	66,2	89,8	95,2	97,6
1975	65,0	124,6	154,8	164,2	164,8
1976	71,0	90,6	114,2	135,8	139,6
1977	75,0	100,0	140,0	160,0	160,0
1978	40,2	52,4	75,2	92,6	93,0
1979	83,8	118,4	127,8	128,6	128,6
1980	66,0	71,4	76,4	79,4	83,8
1981	48,8	48,8	65,2	66,8	69,0
1982	44,6	56,2	57,0	75,2	87,0
1983	-	-	-	-	-
1984	37,8	52,0	53,6	67,0	91,4
1985	35,3	59,2	63,2	75,7	75,7
1986	-	-	-	-	-
1987	46,0	54,6	54,6	67,6	78,4
1988	74,4	86,8	122,4	137,6	138,4
1989	64,6	64,6	64,6	88,2	88,2
1990	90,6	105,2	106,2	113,4	114,2
1991	42,8	44,4	58,6	62,2	63,2

Tabella 5.5  
Massime precipitazioni dell'anno per periodi di più giorni consecutivi:  
stazione Cremona

BACINO Pianura fra Oglio e Adda	STAZIONE : CREMONA				
	1	2	3	4	5
	mm	mm	mm	Mm	mm
1951	95,0	108,8	116,0	116,6	116,6
1952	41,2	54,4	55,2	55,2	58,2
1953	53,0	94,8	95,2	110,6	124,2
1954	31,2	42,8	50,8	66,8	72,6
1955	26,4	33,6	40,6	55,4	62,6
1956	59,0	62,0	67,2	80,6	85,6
1957	58,0	85,4	91,8	122,4	132,4
1958	56,6	74,0	88,8	104,0	107,6
1959	89,4	96,4	96,4	96,4	96,4
1960	91,6	96,0	96,0	115,4	119,8
1961	41,2	56,8	66,0	71,8	72,8
1962	45,0	60,0	66,8	74,8	84,4
1963	80,2	81,8	84,2	84,2	85,6
1964	52,4	71,0	93,4	99,8	101,8
1965	45,8	69,6	70,2	70,6	71,2
1966	74,8	92,0	92,0	92,6	102,6
1967	63,0	74,2	75,4	75,4	75,8
1968	47,0	71,8	83,0	88,2	88,2
1969	34,8	64,6	70,6	70,6	70,6
1970	54,2	66,2	66,2	66,2	66,2
1971	32,2	51,2	52,8	58,6	59,2
1972	48,2	62,2	69,0	82,8	82,8
1973	44,8	61,6	70,2	70,4	70,4
1974	62,0	83,6	83,6	84,4	93,2
1975	50,2	94,2	115,2	115,2	115,2
1976	63,0	78,6	92,4	105,0	109,2
1977	69,0	69,0	81,0	81,8	82,0
1978	64,8	84,4	123,4	123,4	123,4
1979	196,4	201,2	203,6	204,4	204,4
1980	56,8	69,8	77,0	88,0	91,0
1981	45,8	52,2	67,4	67,4	67,4
1982	-	-	-	-	-
1983	44,4	47,8	51,4	66,4	72,6
1984	-	-	-	-	-
1985	51,8	62,8	65,5	83,1	83,3
1986	26,8	38,0	49,0	61,0	67,6
1987	46,0	54,6	54,6	67,6	78,4
1988	38,6	46,0	62,2	63,8	63,8
1989	26,8	40,2	40,2	44,2	45,2
1990	65,8	72,4	90,0	91,8	91,8
1991	77,0	83,0	83,0	97,2	110,6

Si riportano nel seguito i soli risultati della stazione di Cremona; per tutte le altre stazioni, l'analisi di Gumbel si adatta bene ai dati sperimentali

Tabella 5.6  
Parametri di Gumbel per le precipitazioni intense e consecutive di 1, 2, 3, 4, 5 giorni registrate a Cremona.

Precipitazione	A	B	C
1 giorno	42,250	23,100	0,885
2 giorno	61,600	22,800	0,908
3 giorno	68,520	23,850	0,932
4 giorno	75,810	23,540	0,944
5 giorno	78,770	23,910	0,954

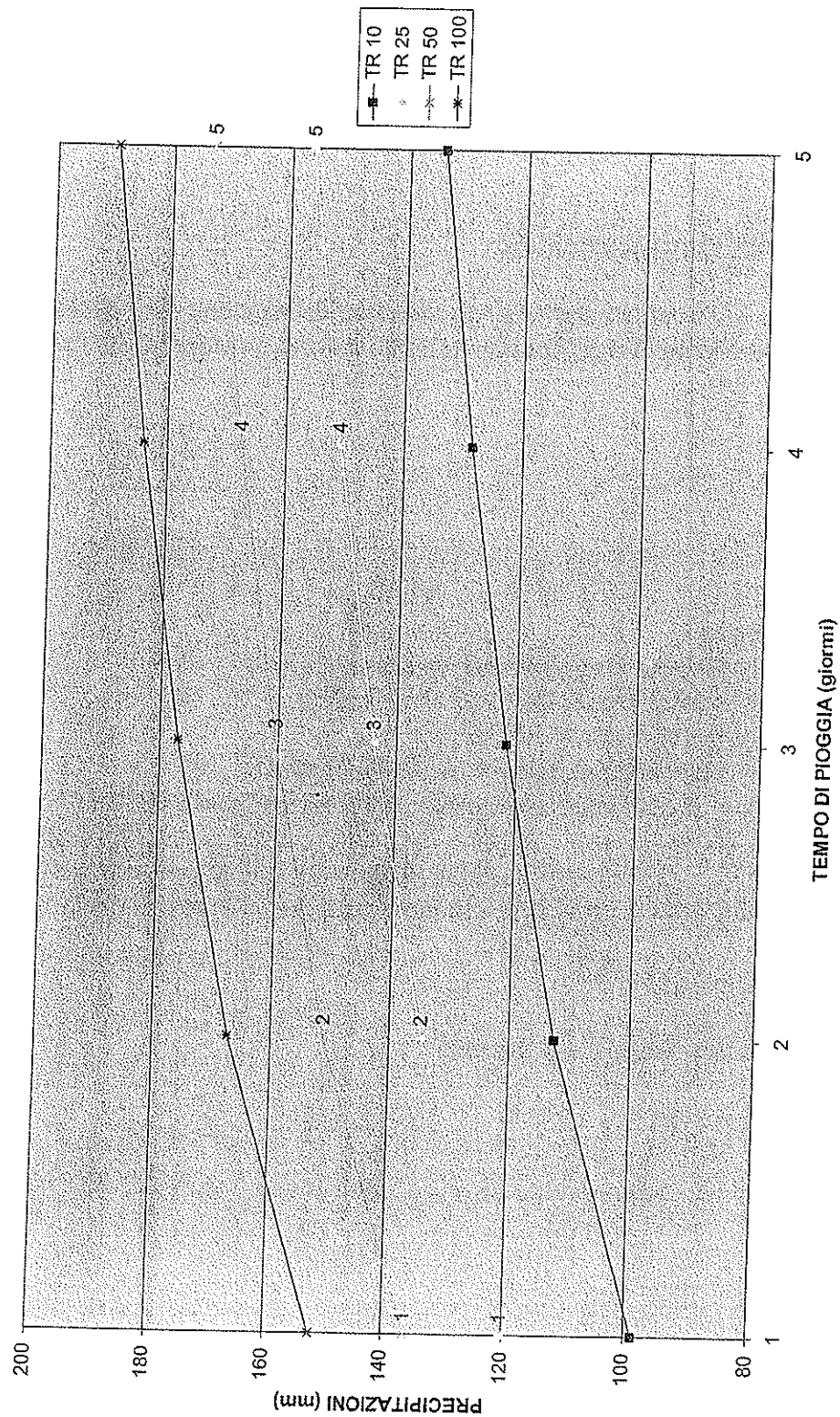
Le rette di possibilità climatica assumono i seguenti parametri in funzione del tempo di ritorno.

Tempo di ritorno ( anni )	A	n	c.c.
10	98.7	0.190	0.999
25	120.3	0.163	0.999
50	136.4	0.148	0.999
100	152.3	0.136	0.999

Dove il tempo è espresso in giorni e la precipitazione in millimetri. Si veda pure la figura 3.

FIG. 3

RETTE DI POSSIBILITA' PLUVIOMETRICA PER 1,2,3,4,5 GIORNI



## 6) CALCOLO DELLE PORTATE EXTRAURBANE DI PIENA DELLA ROGGIA RIGLIO ALLA CONFLUENZA NEL FIUME PO.

Per definire il coefficiente udometrico per il territorio a prevalente uso agricolo della bassa cremonese si è fatto ricorso sia a formule empiriche, che a metodi di comparazione con bacini simili di cui sono noti i dati sperimentali.

### a) Formule empiriche.

I tempi di corrivazione sono stati calcolati per ogni canale ed in corrispondenza delle sezioni più significative mediante la formula proposta dal Pasini :

$$t_c = \lambda \frac{\sqrt[3]{L \times A}}{\sqrt{i}}$$

dove :

$t_c$  = tempo di corrivazione espresso in giorni.

$L$  = lunghezza della zona servita in Km ;

$A$  = area drenata in Km<sup>2</sup> ;

$i$  = pendenza ragguagliata del comprensorio ;

$\lambda$  = coefficiente sperimentale che si assume pari a 0,0045 ;

Per i comprensori di pianura a debolissima pendenza del suolo, in luogo della formula di Pasini si può fare riferimento a quelle del Turazza-Venturi :

$$t_c = 0,315 \sqrt{A}$$

o alla formula del Ventura:

$$t_c = 0,0053 \sqrt{A / i}$$

dove i simboli hanno il solito significato e il tempo di corrivazione è ricavato in giorni.

I coefficienti udometrici sono stati valutati con la formula seguente :

$$u = \frac{0,1157}{t_c} K_1 h \quad [l/s \cdot ha]$$

dove :

u = coefficiente udometrico espresso in l/s • ha ;

t<sub>c</sub> = tempo di corrivazione espresso in giorni ;

K<sub>1</sub> = coefficiente di deflusso, assunto pari a 0,63 ;

h = altezza critica di pioggia , in mm

Il valore utilizzato per il calcolo del coefficiente udometrico è quello desunto dall'analisi statistica dei dati pluviometrici di Cremona svolta mediante la regolarizzazione proposta da Gumbel.

I valori dedotti applicando le formule empiriche vengono riportati nelle tabelle seguenti

Tabella 6.1

Tempo di corrivazione roggia Riglio alla chiusura di bacino con applicazione formule empiriche.

METODO	TEMPO DI CORRIVAZIONE ( giorni )
PASINI	1,69
1° TURAZZA – VENTURA	2,73
2 VENTURA	1,30

Tabella 6.2

Coefficienti udometrici roggia Riglio alla chiusura di bacino con applicazioni formule empiriche e tempi di corrivazione del Pasini.

TR 10 anni	4.70 l/s ha
TR 25 anni	5.65 l/s ha
TR 50 anni	6.36 l/s ha
TR 100 anni	7.05 l/s ha

Non si è tenuto conto dei diversi valori del coefficiente di deflusso proposti dal Pasini in quanto relativi alla “ Grande bonifica Ferrarese”, infatti i due territori non sono omogenei né climaticamente né morfologicamente.

Come tempo di corrivazione, per il bacino in esame, in base ad esperienze, si ritiene più affidabile quello ottenuto con la formula di Ventura e quindi si assume un valore  $t_c$  pari a 1,24 giorni, 29 ore., già utilizzato in studi precedenti alla presente relazione.

b) Comparazione con bacini simili di cui sono noti dati sperimentali di pioggia e portate

I valori ricavati mediante l'applicazione delle formule empiriche d'uso più comune nel dimensionamento dei canali di bonifica sono stati confrontati con quelli, desumibili da studi ed esperienze relativi ad aree limitrofe, aventi caratteristiche morfometriche, agronomiche del tutto simili.

Di particolare interesse è risultato l'esame dei risultati ottenuti dall'Istituto di Idraulica dell'università di Pavia (Brusoni, Cioconi, Moisello, Natale 1981) nello studio idrologico ed idraulico del vicino Comprensorio della Bonificazione Parmigiana- Moglia, nonché con quelli dello studio idrogeologico della Pianura Parmense (Bizzarri, Di Federico, Terzi, Alifracco 1984).

Nei due studi si è ricavato, facendo riferimento ad un tempo di ritorno di 25 anni, due curve  $U$  (l/sec/ha) –  $s$  (ha), che rappresentano il campo di variabilità dei coefficienti udometrici osservati. Alla base dei calcoli di dimensionamento delle opere, si è considerato, per il Riglio, la curva che fornisce i valori meno elevati di  $U$  (figura 4), in quanto si riferisce a bacini meno antropizzati e quindi a più basso indice di impermeabilità, così come si presenta lo stesso Riglio.

Fig.4  
Coefficiente udometrico/superficie Ha TR = 25 anni

## 7) CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA NELLE SEZIONI DI CHIUSURA DEL RIGLIO.

Sulla base dei predetti criteri, si è proceduto alla stima della portata di piena nella sezione di interesse della rete di scolo.

Si deve rilevare come i contributi urbani siano limitati ed influenti in termini di volume, visti anche i valori limitati dei tempi di corrivazione; pertanto si ritiene di trascurare tale entità nel calcolo assumendo come valore totale del bacino extraurbano, l'intero bacino.

I risultati delle verifiche idrologiche, condotte secondo i diversi metodi, evidenziano notevoli differenze, dovute soprattutto alla incertezza nella determinazione dei tempi di corrivazione.

Notevoli differenze si riscontrano inoltre fra i tempi di corrivazione calcolati con formule empiriche.

Si è pertanto fatto riferimento ai dati sperimentali riscontrati nell'indagine sul vicino Comprensorio della Bonificazione Parmigiana - Moglia e nella Pianura Parmense.

Si è invece mostrato in buona concordanza il valore del tempo di corrivazione ricavato con la formula del Ventura (2° formula), e quelli desunti per confronto con valori osservati in bacini idrologicamente simili.

Si sono pertanto assunti a base della progettazione i valori ricavati con la formula del Ventura.

Per quanto attiene ai coefficienti udometrici si è ritenuto di fare affidamento alla curva precedentemente descritta (Fig. 4) e ricavata sperimentalmente.

Tabella 7.1  
Tempi di corrivazione sperimentale nella pianura Parmense Reggiana.

Bacino	Superficie (Ha)	tc (ore)
Burla - Terrieri	5663	1,25
Budrio - Formica	2326	0,39
Naviglio	4426	0,96
Bondeno	9147	1,40
Trasinaro	11139	1,46

Si è ricavato per il bacino del Riglio un coefficiente udometrico pari a 2,8 l/s Ha (TR = 25 anni).

A questo valore corrisponde una portata totale di :

$$Q_c = \frac{2,8 \times 7500}{1000} = 21 \text{ mc/s}$$

Per quanto attiene alla durata della piena, si è fatto riferimento ad una serie di idrogrammi registrati nel comprensorio della Parmigiana - Moglia . Tali valori sono stati confrontati con i rispettivi tempi di corrivazione.

Considerando che gli idrogrammi sopra detti, afferiscono a bacini di bonifica simili sia come morfometria, sia come pedogeologia che clima, si ritiene probante l'analisi.

I dati si riportano nella sottostante tabella:

Tabella 7.2  
Analisi sperimentale sottobacini bonifica Parmigiana – Moglia  
tempo di corrivazione e durata di piena.

Sottobacino	B : tempo di Corrivazione (ore)	A : durata piena (ore)	$\lambda = A/B$
Naviglio	12	48	4,0
Lama	5	26	5,2
Lama	7	33	4,7
Lama	7	30	4,3
Lama	13	50	3,9
Naviglio	17	56	3,3
Naviglio	18	59	3,3
Lama	10	40	4,0
Tresinaro	20	71	3,6
Naviglio	20	65	3,3
Bendeno	17	70	4,1
Tresinaro	22	72	3,3

Per la roggia Riglio si ricava mediante un valore di  $\lambda$  = rapporto durata piena e tempo di corrivazione di circa 3,9.

# **8) CALCOLO DEI TEMPI DI PERMANENZA DELLE QUOTE IDROMETRICHE DI PIENA IN PO E DELLE CONCOMITANTI PRECIPITAZIONI NEL BACINO DEL RIGLIO.**

Per la verifica del funzionamento idraulico del potenziamento proposto per la chiavica con relative idrovore e per la definizione delle più opportune modalità di gestione del sistema idraulico della bassa pianura, è necessario determinare i tempi di permanenza delle piene di Po a valle della chiavica Riglio.

Questo accertamento riveste particolare importanza anche per definire il valore più opportuno della quota idrometrica in Po, in fase di crescita, per il quale intervenire con la chiusura delle paratoie della chiavica Riglio in modo da utilizzare nel migliore modo il volume dell'invaso esistente, confinata fra l'argine destro e l'argine sinistro del Riglio.

Evidentemente, una chiusura anticipata della chiavica, a quote basse in Po, permette di sfruttare al massimo l'invaso disponibile, ma, la prolungata chiusura, accresce i volumi che possono essere apportati a monte della chiavica dalle piene " interne " con più rapido esaurimento della capacità di invaso.

Al contrario, una chiusura ritardata, a quote molto alte in Po, limita la disponibilità di invaso, ma anche i volumi di piena in arrivo al monte.

In base alle sezioni rilevate sono state calcolate le aree in funzione della quota di invaso; tali valori sono stati riprodotti nella seguente tabella 8.1

Tabella 8.1  
Sezioni di Riglio: aree in funzione delle quote assolute

Quota	sez. 8	sez. 7	sez. 6	sez. 5	Sez. 4	sez. 3	sez. 2	sez. 1
37	29,60	36,00	33,24	37,37	34,95	13,84	19,00	64,52
37,5	35,36	43,18	65,80	26,44	41,39	17,12	23,49	95,01
38	73,21	112,00	95,98	110,74	54,15	20,74	28,43	144,15
38,5	80,02	289,67	172,97	176,38	104,36	40,56	33,81	211,60
39	87,26	455,28	229,16	253,19	176,07	73,40	73,84	297,36
39,5	94,91	501,73	286,25	331,31	266,75	107,11	291,01	401,43

La distanza fra le varie sezioni è la seguente:

Sezioni	Distanza ( Km )
1-2	0,702
2-3	0,552
3-4	1,043
4-5	0,074
5-6	0,540
6-7	0,425
7-8	0,495

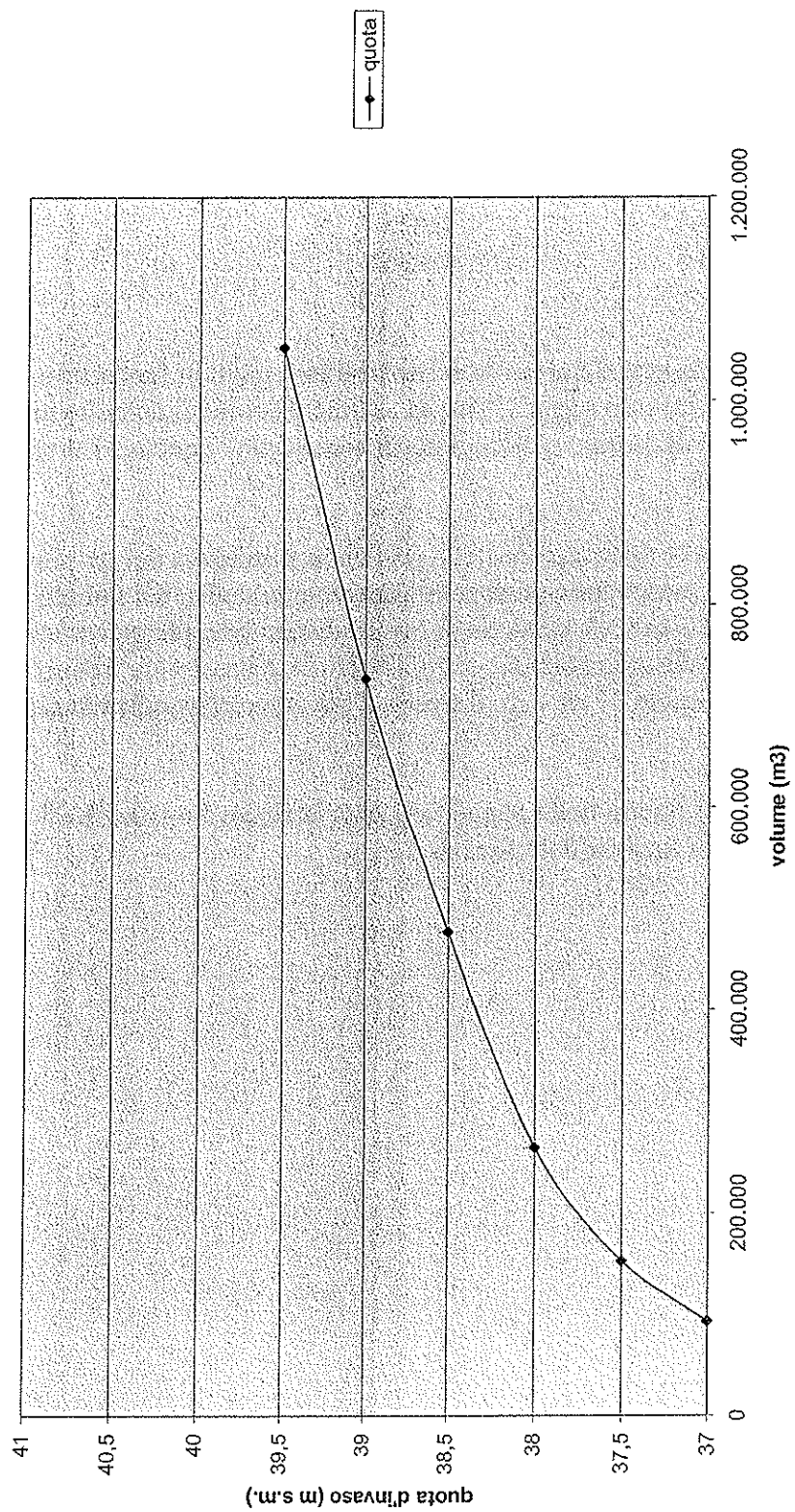
L'esame della curva dei volumi invasabili in funzione della quota idrometrica mostra peraltro che solo sopra 37 m s.m. si può disporre di consistenti volumi d'invaso, dell'ordine di decine di centinaia di migliaia di metri cubi; a quota 37 il volume invasabile risulta di soli 94.000 mc.

In considerazione della posizione altimetrica dei terreni scolati, della necessità di ricorrere eventualmente al sollevamento meccanico dei volumi delle piene " interne " non contenibili entro la capacità di invaso disponibile alla palese evidenza delle quote (c.a. 37 m .s. m .) delle aree golenali entro il Riglio e della elevata frequenza di rigurgiti di Po, si è fissato a quota 37 m. s.m. il livello a cui far corrispondere la chiusura della chiavica.

Si riporta nella pagina seguente la figura 5 dove si ha il volume di invaso della Roggia Riglio in funzione dell'altezza.

Fig. 5

**ROGGIA RIGLIO:**  
volume di invaso in funzione dell'altezza



La stazione idrometrografica, più vicina a foce Riglio, ubicata sul F. Po, è quella di Cremona che presenta i principali dati caratteristici:

*STAZIONE IDROMETROGRAFICA DEL F. PO A CREMONA.*

PRINCIPALI DATI CARATTERISTICI.

- zero idrometrico : 34,27 m s. m .
- minima altezza : - 5.63 m
- massima altezza : + 6.28 m
- pendenza piena ordinaria : 0,215 m/Km
- magra ordinaria : -1,66 m
- piena ordinaria : + 2,50
- bacino sotteso : 50,726 Km<sup>2</sup>
- max portata al colmo : 13,750 mc/s ( 1951 )
- durata portate : a giorni 10 corrisponde 3720 mc/s nel periodo 1971/82
- portata corrispondente ad  $H = 2,00 \text{ m} = 5740 \text{ mc/s}$

PENDENZA DI PIENA RILEVATE DURANTE GLI EVENTI DEL 1926 E 1951

Evento	Pendenza ( m/Km )
1926	0,252
1951	0,238

La limitata distanza intercorrente fra i due luoghi pari a circa 3,4 Km e la limitata pendenza motrice del Po in piena fanno sì che, senza compromettere con approssimazioni troppo grossolane la validità delle successive elaborazioni, in caso di piena di Po si possono identificare le quote idrometriche in corrispondenza della chiavica con quelle contemporanee in Po a Cremona, ridotte di circa 75 cm per tenere in debito conto la pendenza motrice rilevata nel corso delle massime piene e poco variabile (c.a. 0,215 m/Km ).

Considerando che lo zero idrometrico a Cremona è di 34,27 m s .m ., si sono pertanto esaminate le piene con altezza idrometrica  $h = 2,00 \text{ m}$  corrispondenti a 37 m s .m .circa .

La ricerca è stata estesa al periodo di osservazione 1926 - 1985 e riportato nelle tabelle seguenti:

Tabella 8.2

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m		Massima altezza idrometrica ( m )		Precipitazioni verificatesi a Cremona		
					giorno	precipitazione (mm)	
18/05/26		ore 141,6		4,62	14-mag	9	
					15-mag	12	
					16-mag	15	
					17-mag	-	
					18-mag	9	
					19-mag	6	
					20-mag	-	
					21-mag	-	
					Totale	<b>51</b>	

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m		Massima altezza idrometrica ( m )		Precipitazioni verificatesi a Cremona		
					giorno	precipitazione (mm)	
03/11/28		ore 182,4		4,47	30-ott	15	
					31-ott	12	
					01-nov	1	
					02-nov	6	
					03-nov	30	
					04-nov	3	
					05-nov	2	
					06-nov	6	
					Totale	<b>75</b>	

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m		Massima altezza idrometrica ( m )		Precipitazioni verificatesi a Cremona		
					giorno	precipitazione (mm)	
13/11/51		ore 211		+ 5,9	07-nov	1	
					08-nov	28	
					09-nov	20,4	
					10-nov	4,4	
					11-nov	6,4	
					12-nov	16	
					13-nov	6	
					14-nov	-	
					15-nov	-	
					16-nov	-	
					Totale	<b>82,2</b>	

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m		Massima altezza idrometrica ( m )	Precipitazioni verificatesi a Cremona			
Data		ore		giorno	precipitazione (mm)		
23/11/51		124,8	+ 4,80	20-nov		6,8	
				21-nov		-	
				22-nov		-	
				23-nov		0,4	
				24-nov		-	
				25-nov		-	
				Totale		7,2	

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m		Massima altezza idrometrica ( m )	Precipitazioni verificatesi a Cremona			
Data		ore		giorno	precipitazione (mm)		
04/12/59		138,66	+4,02	28-nov		1	
				29-nov		14,2	
				30-nov		8,2	
				01-dic		5,4	
				02-dic		1,6	
				03-dic		0,2	
				04-dic		10,2	
				05-dic		37	
				06-dic		-	
				Totale		77,8	

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m		Massima altezza idrometrica ( m )	Precipitazioni verificatesi a Cremona			
Data		ore		giorno	precipitazione (mm)		
05/11/68		146,88	+ 5,40	03-nov		26	
				04-nov		6,2	
				05-nov		30	
				06-nov		16,8	
				07-nov		0,2	
				08-nov		-	
				Totale		79,2	

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m	Massima altezza idrometrica ( m )	Precipitazioni verificatesi a Cremona		
	ore		giorno	precipitazione (mm)	
22/02/72	96,48	+ 3,06	19-feb	16,4	
			20-feb	2,4	
			21-feb	-	
			22-feb	-	
			23-feb	-	
			Totale	18,8	

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m	Massima altezza idrometrica ( m )	Precipitazioni verificatesi a Cremona		
Data	ore		giorno	precipitazione (mm)	
31/10/76	182,4	+ 4,98	26-ott	3,2	
			26-ott	38,0	
			28-ott	25,4	
			29-ott	6,8	
			30-ott	12,8	
			31-ott	2,0	
			01-nov	-	
			Totale	88,2	

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m	Massima altezza idrometrica ( m )	Precipitazioni verificatesi a Cremona		
Data	ore		giorno	precipitazione (mm)	
12/11/76	37,2	+ 3,95	09-nov	-	
			10-nov	-	
			11-nov	32,8	
			12-nov	0,4	
			13-nov	13,6	
			14-nov	15,4	
			Totale	62,2	
Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m	Massima altezza idrometrica ( m )	Precipitazioni verificatesi a Cremona		
	ore		giorno	precipitazione (mm)	
3/05/77	175,44	+ 3,50	01-mag	1,6	
			02-mag	1,8	
			03-mag	-	
			04-mag	4,6	
			05-mag	13,0	
			Totale	21,0	

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m		Massima altezza idrometrica ( m )		Precipitazioni verificatesi a Cremona		
		ore			giorno	precipitazione (mm)	
07/05/77		100,6		+ 3,97	06-mag		-
					07-mag		-
					08-mag		1,2
					09-mag		0,8
					10-mag		-
					Totale		2,0

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m		Massima altezza idrometrica ( m )		Precipitazioni verificatesi a Cremona		
		ore			giorno	precipitazione (mm)	
31/08/77		119,76		+ 3,99	27-ago		-
					28-ago		22,4
					29-ago		39,8
					30-ago		18,8
					31-ago		0,8
					01-set		-
					Totale		81,8

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m		Massima altezza idrometrica ( m )		Precipitazioni verificatesi a Cremona		
		ore			giorno	precipitazione (mm)	
12/10/77		144,96		+ 5,18	07-ott		0,4
					08-ott		17,0
					09-ott		22,0
					10-ott		0,6
					11-ott		4,8
					12-ott		0,2
					13-ott		-
					Totale		45,0

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m		Massima altezza idrometrica ( m )		Precipitazioni verificatesi a Cremona		
		ore			giorno	precipitazione (mm)	
18/10/79		145,76		+ 4,19	14-ott		0,2
					15-ott		4,2
					16-ott		27,2
					17-ott		0,2
					18-ott		-
					19-ott		-
					20-ott		0,2
					21-ott		-
					Totale		32,0

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m		Massima altezza idrometrica ( m )	Precipitazioni verificatesi a Cremona			
Data		ore		giorno	precipitazione (mm)		
03/04/81		53	+ 3,17	31-mar		15,2	
				01-apr		1,0	
				02-apr		1,0	
				03-apr		-	
				04-apr		-	
				Totale		<b>17,2</b>	

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m		Massima altezza idrometrica ( m )	Precipitazioni verificatesi a Cremona			
Data		ore		giorno	Precipitazione (mm)		
29/09/81		62.88	+ 2.96	27-set		20.8	
				28-set		25.2	
				29-set		21.4	
				01-ott		-	
				02-ott		3.8	
				03-ott		6.0	
				Totale		<b>77.2</b>	

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m		Massima altezza idrometrica ( m )	Precipitazioni verificatesi a Cremona			
Data		ore		giorno	precipitazione (mm)		
18/05/83		43,24		17-magg		1.4	
			+ 2,74	18-magg		-	
				19-magg		-	
				20-magg		-	
				21-magg		-	
				Totale		<b>1.4</b>	

Data	Durata piena con altezza idrometrica superiore a 2,00 m		Massima altezza idrometrica ( m )	Precipitazioni verificatesi a Cremona			
data		ore		giorno	precipitazione (mm)		
16/05/85		41,11		14-magg		4.8	
				15-magg		0.2	
			+ 2,87	16-magg		-	
				17-magg		-	
				18-magg		0.8	
				Totale		<b>= 5.8</b>	

FIG. 5

Dati giornalieri orari idrometro di Cremona – Ottobre 2000



Ricavati i valori di permanenza dei livelli idrici di piena sopra tale valore si è proceduto ad analizzare i dati mediante la regolarizzazione del Fuller che ben si presta all'elaborazione statistica delle grandezze in esame.

Si sono così ottenuti i valori riportati nelle tabelle che seguono e riportati in TAV. 5 L'elevato valore del coefficiente di correlazione depone per l'affidabilità del metodo usato.

Tabella 8.3

ELABORAZIONE DATI IDROLOGICI F. PO A CREMONA

Durata piene con  $h > 2,00$  m (  $z = 37$  m s .m . )

Analisi mediante il metodo di Fuller - Goutagne .

Tempo di ritorno (anni)	Durata della piena	
	Ore	giorni
2	81.3	3.39
10	161.7	6.74
25	212.2	8.84
50	250.7	10.45
100	285.4	11.89

Coefficiente di correlazione = 0.982

Tabella 8.4

ELABORAZIONE DATI IDROLOGICI F. PO A CREMONA

Durata piene con  $h > 3,00$  m (  $z = 38$  m s .m . )

Analisi mediante il metodo di Fuller - Goutagne .

Tempo di ritorno (anni)	Durata della piena	
	Ore	giorni
2	71.5	2.98
10	145.8	6.01
25	188,0	7.84
50	220.0	9.17
100	251.0	10.05

Coefficiente di correlazione = 0.984

Analogamente si è proceduto per  $h > 4,00$  m .  $h > 4,50$  m . e  $h > 5,00$  m

Tabella 8.5  
ELABORAZIONE DATI IDROLOGICI F. PO A CREMONA  
Durata piene con  $h > 4,00$  m (  $z = 39$  m s .m . )  
Analisi mediante il metodo di Fuller - Goutagne .

Tempo di ritorno (anni)	Durata della piena	
	Ore	giorni
2	61.7	2.57
10	125.3	5.22
25	161.5	6.73
50	188.8	7.87
100	216.2	9

Coefficiente di correlazione = 0.993

Tabella 8.6  
ELABORAZIONE DATI IDROLOGICI F. PO A CREMONA .  
Durata piene con  $h > 4,50$  m (  $z = 39,50$  m s .m . )  
Analisi mediante il metodo di Fuller - Goutagne .

Tempo di ritorno (anni)	Durata della piena	
	Ore	giorni
2	42.4	1.77
10	97.1	4.05
25	128.2	5.34
50	151.8	6.33
100	175.3	7.30

Coefficiente di correlazione = 0.995

Il metodo proposto dal Fuller, che è apparso primo in ordine di tempo tra i metodi statistici, offre il vantaggio di considerare un campione di dati in un periodo più esteso. La probabilità di superamento è uguale a :

$$F_1(H) = e^{-x}$$

X ( variabile ridotta ) è uguale :

$$x = - \ln F_1(H)$$

mentre

$$H = A + Bx$$

Dove come al solito A e B sono stimabili tramite regressione lineare. Siano M le osservazioni note e N i casi prescelti, con  $N \leq M$  sono stati considerati i rapporti tra il valore della grandezza  $i$  -esima e il valore medio.

Sono poi state considerate le medie delle massime in armonia con quanto detto da Supino ( Le reti idrauliche 1965 ).

La regolarizzazione è stata poi svolta mediante regressione lineare.

Si sono nello stesso tempo analizzate le precipitazioni registrate a Cremona. Calcolato il valore totale delle precipitazioni ( con piena di Po a quota maggiore di 37 m s.m. ) si è proceduto ad elaborare i dati mediante la regolarizzazione dei dati sperimentali con la curva proposta dal Fuller. (Tab. 8.8)

Il valore del coefficiente di correlazione superiore a 0,86 depone per un'ottima regolarizzazione dei dati sperimentali con la curva proposta da Fuller.

Tabella 8.8

Elaborazione dati inerenti alle precipitazioni totali verificatesi a Cremona in corrispondenza delle piene di Po  
analisi metodo Fuller - Goutagne.

Tempo di ritorno (anni)	Precipitazione (mm)
2	51.5
10	71.5
25	83.0
50	91.6
100	100.2

Coefficiente di corrvazione = 0.862

L'esame dei risultati di queste elaborazioni statistiche dimostra che i tempi di permanenza di piene di Po allo sbocco del Riglio sono molto lunghi ( da tre a dieci giorni ) e che sono conseguentemente elevate le precipitazioni che contemporaneamente possono interessare la rete di scolo interna della bassa pianura ( fino ed oltre 90 mm d'altezza ), senza possibilità di smaltimento delle acque nel recapito finale.

## 9) SIMULAZIONI IDROLOGICHE E VERIFICA DEL SISTEMA IDRAULICO PROPOSTO.

Allo scopo di ottimizzare le scelte progettuali in funzione di una corretta gestione oltre che, per garantire una maggiore sicurezza, relativamente a rischi idraulici, sono state eseguite alcune simulazioni idrologiche.

È stata considerata la durata della permanenza dei livelli idrometrici del Po a Cremona con quote maggiori di 2,00 m e precipitazioni concomitanti con frequenza cumulata secolare.

Nell'ipotesi di cui alla premessa e dalle elaborazioni riportate al cap.8 si ricava :

- durata piena di Po : 270 ore;
- altezza di pioggia sul bacino 100,2 mm;
- coefficiente di deflusso : 0,63 ;
- volume totale affluito : 7.515.000mc;
- volume defluito : 4.734.450 mc;

Il limite superiore d'invaso pari a 39,60 m. s.m.

Si ha pertanto a disposizione, tra le quote 39,50 e 37,00 m s.m., circa 950.000 mc d'invaso (volume invasabile).

Il volume da smaltire delle idrovore è quindi pari a 3.784.450 mc nelle ipotesi di assoluta possibilità di smaltimento a gravità.

La portata media dell'eventuale impianto è quindi pari a 3,89 mc/s.

La condizione più critica si ha quando la chiavica è già stata chiusa e la capacità di invaso è quella corrispondente a quota 37 m s.m.

Facendo riferimento per cautela all'evento venticinquennale, ed ammettendo di poter contare, per la breve durata dell'evento, su un'escursione di livello corrispondente ad un invaso di 950.000 mc, a quota 39,50 m s.m. sarebbe necessario far fronte, rispetto all'afflusso di 2.790.000 mc, (portata al colmo della piena interna di 21,0 mc/s ), al sollevamento di circa 1.840.000 mc; corrispondenti ad una portata media dei gruppi idrovori di quasi 4,33 mc/s

Ipotizzando l'idrogramma di piena , con picco di piena di 21.00 mc/sec e con andamento di cui all'allegato tav.5, si ricava un valore necessario a dimensionare le pompe dell'impianto di sollevamento a 7,2 mc/sec per mantenere i livelli del canale Riglio entro i valori massimi consentiti (quota 39.50 m s.m.)

Nello specifico a tale risultato si è prevenuti ricostruendo l'idrogramma di piena interna venticinquennale.

L'idrogramma di piena è stato ricostruito avendo presente :

- a) la portata al colmo;
- b) il tempo di corrivazione sperimentale su bacini similari;

- c) la durata di piena sperimentale sempre su bacini simili;
- d) la forma dell'onda di piena ricavati da idrogrammi tipici di bacini di bonifica della bassa Reggiana e Parmense, opportunamente parametrizzati.

( Si veda lo studio dell'università degli studi di Pavia – Istituto di idraulica per quanto attiene il Comprensorio della Parmigiana – Moglia ).

Si è proceduto poi all'integrazione dell'equazione:

$$Q_a dt - Q_I dt = dV$$

Dove :

$Q_a$  = portata affluente

$Q_I$  = portata idrovora

$dt$  = tempo infinitesimale

$dV$  = variazione infinitesimale del volume d'invaso

Noto  $Q_a = Q_a(t)$  e  $V = V(h)$  considerando il valore costante di  $Q_I$  o di  $Q_{1/2}$  si sono ricavati i seguenti valori concomitanti ad un evento interno di piena venticinquennale con una durata di piena di  $P_o$  con quota superiore a 37 m s.m. per almeno un tempo di transito di 155 ore (a questo tempo l'invaso ritorna a quota 37 m s.m. ).

Si è ricavato:

- $H_{max}$  : 39.50 m s.m.
- Volume massimo invasato : 862.200 mc
- Evento piena interno : venticinquennale
- Durata quota di  $P_o \geq 37$  m s.m. : 155 ore.
- Tempo di ritorno di 4 : 10 anni circa.

Sarebbe questo oggi il grado massimo proposto di sicurezza .

Si deve però aggiungere che in rapporto al rischio incombente e a danni economici eventualmente causati il grado di sicurezza sembra più che consono.

L'integrazione dell'equazione è stata fatta mediante programma apposito con parametrizzazione della curva  $V = V(H)$  e  $Q_a = Q_a(t)$  e passo temporale variabile al fine di ridurre l'errore a valori limitati ed inferiore ad una predeterminata soglia ( 2 % ad esempio).

Vedi fig. 6

Si deve precisare che non si è tenuto conto del trattenimento sul suolo di un velo idrico ( maggiore invasore ) della diversa distribuzione delle precipitazioni nel bacino del Riglio e tali da non comportare necessariamente piene intense ( vedi dati riportati nella tabella 8.2 ). Appare quindi lecita l'ipotesi di considerare l'invaso quasi al limite del massimo livello possibile per l'ultima ipotesi di simulazione idrologica alla luce dei limiti di tempo di permanenza degli stati idrometrici estremi.

Si deve inoltre aggiungere che la frequenza di tali eventi concomitanti, alla luce dei vari fattori condizionanti il deflusso, appare limitata. Si può ipotizzare un tempo di ritorno elevato, superiore e non di poco a 100 anni.

Tabella 9.1

Sintesi ogni 5 ore della simulazione idrologica con piena interna venticinquennale.

ORE	Portata media affluita	valore medio affluito	portata smaltita	volume smaltito (mc)	V (variazione di volume)	altezza livello (m)
	(mc/sec)	(mc/sec)	(mc/sec)			
0						37,00
5	0,2	3600	1,2	21600	-18000	36,23
10	0,8	18000	1,2	43200	-25200	35,93
15	2,05	54900	2,4	86400	-31500	35,66
20	4,75	140400	6	194400	-54000	34,70
25	11,5	347400	7,2	324000	23400	37,20
30	19	689400	7,2	453600	235800	38,15
35	19,85	1046700	7,2	583200	463500	38,66
40	16,85	1350000	7,2	712800	637200	39,01
45	13,5	1593000	7,2	842400	750600	39,18
50	11	1791000	7,2	972000	819000	39,29
55	9,15	1955700	7,2	1101600	854100	39,34
60	7,65	2093400	7,2	1231200	862200	39,35
65	6,4	2208600	7,2	1360800	847800	39,33
70	5,3	2304000	7,2	1490400	813600	39,28
75	4,45	2384100	7,2	1620000	764100	39,20
80	3,8	2452500	7,2	1749600	702900	39,11
85	3,1	2508300	7,2	1879200	629100	38,99
90	2,5	2553300	7,2	2008800	544500	38,82
95	2	2589300	7,2	2138400	450900	38,64
100	1,55	2617200	7,2	2268000	349200	38,42
105	1,1	2637000	7,2	2397600	239400	38,16
110	0,6	2647800	7,2	2527200	120600	37,77
115	0,2	2651400	7,2	2656800	-5400	36,77
120	0	2651400	0	2656800	-5400	36,77
125	0	2651400	0	2656800	-5400	36,77
130	0	2651400	0	2656800	-5400	36,77
135	0	2651400	0	2656800	-5400	36,77
140	0	2651400	0	2656800	-5400	36,77
145	0	2651400	0	2656800	-5400	36,77
150	0	2651400	0	2656800	-5400	36,77

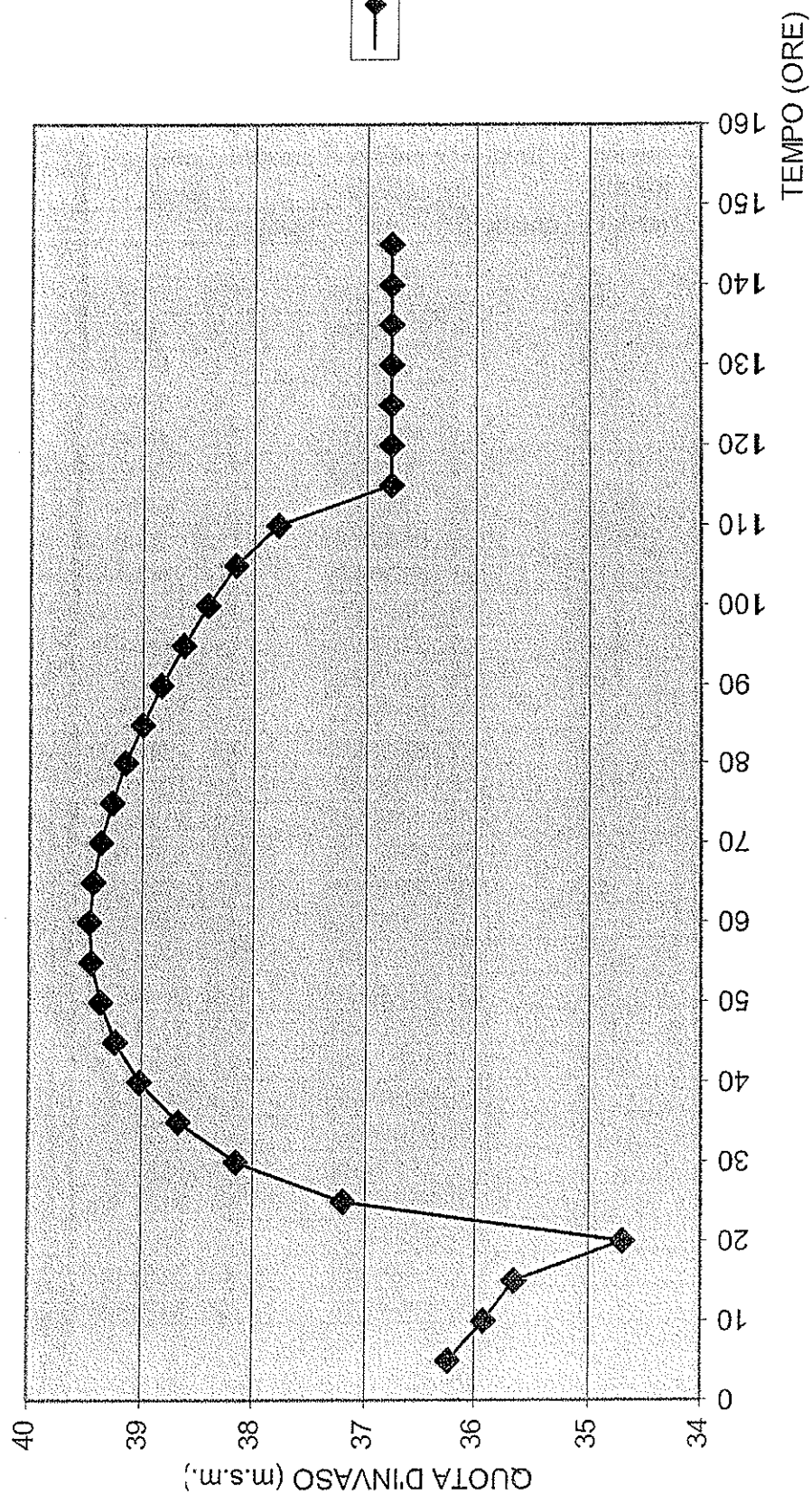
Tabella 9.2

Sintesi ogni 5 ore della simulazione idrologica con piena interna venticinquennale alla quale viene aggiunta la portata di fondo

ORE	portata media affluita	portata di fondo	valore medio affluito	portata smaltita	volume smaltito (mc)	V (variazione di volume)	altezza livello (m)
	(mc/sec)	(mc/sec)	mc	(mc/sec)			
0							37,00
5	0,2	1,5	30600	1,2	21600	9000	37,38
10	0,8	1,5	72000	2,4	64800	7200	37,31
15	2,05	1,5	135900	6	172800	-36900	35,43
20	4,75	1,5	248400	6	280800	-32400	35,62
25	11,5	1,5	482400	7,2	410400	72000	37,60
30	19	1,5	851400	7,2	540000	311400	38,33
35	19,85	1,5	1235700	7,2	669600	566100	38,87
40	16,85	1,5	1566000	7,2	799200	766800	39,21
45	13,5	1,5	1836000	9,6	972000	864000	39,36
50	11	1,5	2061000	9,6	1144800	916200	39,44
55	9,15	1,5	2252700	9,6	1317600	935100	39,47
60	7,65	1,5	2417400	9,6	1490400	927000	39,45
65	6,4	1,5	2559600	9,6	1663200	896400	39,41
70	5,3	1,5	2682000	9,6	1836000	846000	39,33
75	4,45	1,5	2789100	9,6	2008800	780300	39,23
80	3,8	1,5	2884500	9,6	2181600	702900	39,11
85	3,1	1,5	2967300	9,6	2354400	612900	38,96
90	2,5	1,5	3039300	9,6	2527200	512100	38,76
95	2	1,5	3102300	9,6	2700000	402300	38,54
100	1,55	1,5	3157200	9,6	2872800	284400	38,27
105	1,1	1,5	3204000	9,6	3045600	158400	37,97
110	0,6	1,5	3241800	9,6	3218400	23400	37,34
115	0,2	1,5	3272400	9,6	3391200	-118800	31,93
120	0	1,5	3299400	3,6	3456000	-156600	30,32
125	0	1,5	3326400	3,6	3520800	-194400	28,71
130	0	1,5	3353400	2,4	3564000	-210600	28,02
135	0	1,5	3380400	2,4	3607200	-226800	27,33
140	0	1,5	3407400	1,2	3628800	-221400	27,56
145	0	1,5	3434400	1,2	3650400	-216000	27,79
150	0	1,5	3461400	1,2	3672000	-210600	28,02

Fig. 6

ANDAMENTO LIVELLO D'INVASO  
CON MESSA IN FUNZIONE IMPIANTO IDROVORO



## 10) CONCLUSIONI

Le analisi e le verifiche svolte hanno permesso di individuare ( ipotesi di massima sicurezza con tempo di ritorno  $\gg 100$  anni ) in 7,2 / 9.6 mc/s la più conveniente portata per la scelta dei gruppi di sollevamento da installare nell'esistente manufatto idrovoro a foce Riglio, per consentire il corretto funzionamento del tratto terminale dello stesso canale e dei canali tributari anche in caso di piene prolungate del fiume Po e conseguente chiusura della chiavica di progetto, con andamento dei livelli al di sotto del rispetto della quota di franco arginale ( argini di Riglio ) di circa 1,20, ottenuto dalle condizioni della tabella 9.1 e di m 1.30 circa ottenuto dalla tabella 9.2

Si è, infine, verificata :

- nel periodo 1971 -1979 la frequenza di piene del F. Po a Cremona con altezze superiori a 2,00 m s .m . corrispondenti alla quota di chiusura di 37,00 m s .m . Vedere tabelle n°. 9.1 e n°. 9.2 e la seguente tabella 10.1;
- l'evento del 1951 del Po e gli effetti indotti in caso del ripetersi di tale fenomeno.  
Si è ricavato che la frequenza di piene di Po con  $h > 2,00$  m è stata pari a 9 in 8 anni con durate variabili ( con altezze maggiori di 2,00 m ) da 1 a 5 giorni.

Tabella 10.1

Idrometrografo di Cremona ( f. Po )

analisi eventi con altezza  $> 2.00$  m sullo zero idrometrico periodo 1971 – 1981.

	data	Hmax (m)	Durata (giorni)	N° evento critico
dal	20/02/72			
al	23/02/72	3,06	3	9
dal	27/10/76			
al	04/11/76	4,98	9	2
dal	10/11/76			
al	16/11/76	3,95	7	6
dal	02/05/77			
al	09/05/77	3,97	8	8
dal	20/05/77			
al	24/05/77	3,48	5	7
dal	08/10/77			
al	14/10/77	5,18	7	1
dal	31/08/77			
al	02/09/77	3,99	2	4
dal	15/10/79			
al	21/10/79	4,32	7	3
dal	22/09/81			
al	30/09/81	5,41	7	
dal	24/10/82			
al	27/10/81	3.65	4	
dal	17/05/83			
al	19/05/83	3.65	3	

Nell'ipotesi di chiusura della chiavica Riglio, sempre a 37.00 m s.m., nell'ipotesi che si verificasse una piena pari a quella del 1951, il sistema proposto dovrebbe riuscire a sollevare e/o invasare (coefficiente di deflusso pari a 0,63 durata piena di Po 211 ore, precipitazioni interne 80 mm c.a.) un volume di 3.780.000mc. Considerando un invaso fino a quota di estrema sicurezza (39,50 m s.m.) e quindi pari a 950.000 mc si dovrebbe smaltire 3.830.000 mc corrispondenti ad una portata media di 3,73 mc/s., valore questo inferiore ai dati di progetto.

Dalle elaborazioni sopra svolte e frutto di esperienze significative maturate in bacini simili si evince che il sistema idraulico proposto è ampiamente in grado di far fronte al massimo evento sin qui accaduto per quanto concerne la durata delle piene di Po, al di sopra di 2,00 m rispetto all'idrometrografo di Cremona e alle precipitazioni interne nel bacino del Riglio.

Anzi vi è ancora spazio per far fronte ad eventi meno frequenti così come verificato al p.to 9.

Si deve segnalare che rispetto al valore medio di sollevamento (vedi simulazione idrografica p.to 9) di 3,89 mc/s si è adottato, per tener conto della diversa distribuzione della pioggia (più o meno concentrato) un valore di 7,2 mc/s e quindi con un aumento del 54 %. Appare quindi sufficientemente cautelativo il dimensionamento proposto dell'eventuale manufatto idrovoro per consentire il corretto funzionamento del tratto terminale del Riglio anche in caso di piene prolungate del fiume Po e in conseguenza, chiusura della chiavica a foce Riglio.

Questo permetterà di apportare eventuali correttivi nelle fasi successive di completamento del sistema idraulico proposto ottimizzando così le scelte progettuali. Si deve inoltre considerare che nel 1951 (evento di piena estrema) i danni furono alquanto limitati in termini economici con quote intermedie prossime a Spinadesco a circa 40 m s.m. Quota di poco inferiore alla quota della strada principale attraversante il paese. Le notizie attinte in loco hanno confermato tali fatti.

Alla luce di tali esperienze, nella consapevolezza :

- che nel 1951 i danni furono limitati all'esondabilità di aree con destinazione urbanistica poco pregnante (casolari, ecc.) ;
- che allora non vi era il canale navigabile Milano – Cremona e che quindi vi è la possibilità, oggi, di smaltire quote interne al volume di invaso ;
- della difficile contemporaneità di eventi estremi di Po e di precipitazioni concomitanti interne al bacino ;
- del pregio dei terreni in sinistra e destra delle arginature del Riglio ;
- che una corretta gestione della chiavica proposta potrebbe permettere lo scarico di acque interne invasate con funzionamento a battente ;
- che le principali rogge drenate del Riglio sono già dotate di chiaviche onde per cui vi è la possibilità di sfruttare pure altri invasi ;
- che non si hanno valori sperimentali in merito ai coefficienti di deflusso del sistema scolante.

Appare elevato il tempo di ritorno coniugato al sistema idrovoro proposto e sicuramente maggiore a 100 anni.

Si deve peraltro segnalare che qualora si optasse per l'installazione di un impianto idrovoro, l'ordine di grandezza della portata da sollevare è tale che non conviene, visti i costi fissi, fare economie in merito alla potenza del gruppo di sollevamento in termini di portata (c.a 6 mc/s) .

IL TECNICO  
ING. ANTONIO POI

**11) BIBLIOGRAFIA**

- A. ADAMI – G. ALIFRACO “RELAZIONE IDROLOGICA” allegata al “PROGETTO DI COMPLETAMENTO FUNZIONALE” dei lavori di costruzione della nuova chiavica con modellazione idraulica e recupero ambientale nei comuni di Cremona e Spiandesco – Fiume Po – Cremona
- B. BIZZARRI- DI FEDERICO – TERZI -ALIFRACO “ Studio idrogeologico della Pianura Parmense “ 1984
- C. ISTITUTO DI IDRAULICA – UNIVERSITA’ DEGLI STUDI DI PAVIA – Brusoni – Ciponi – Moisello – Natale – “Studio idrologico e idraulico Comprensorio della bonificazione Parmigianan – Moglia” 1981
- D. UFFICIO IDROGRAFICO DEL PO – PARMA “Statistica delle aree dei bacini idrografici”
- E. UFFICIO IDROGRAFICO DEL PO – PARMA “Tabelle delle massime precipitazioni dell’anno per periodi di più giorni consecutivi”,
- F. UFFICIO IDROGRAFICO DEL PO – PARMA “Osservazioni idrometriche giornaliere”
- G. UFFICIO IDROGRAFICO DEL PO – PARMA “Osservazioni pluviometriche giornaliere”