



**AUTORITA' PORTUALE**

**Marina di Carrara**

Ente di diritto pubblico - legge 28 gennaio 1994 n. 84

## **LAVORI DI ADEGUAMENTO TECNICO-FUNZIONALE DEL MOLO DI LEVANTE**

***PROGETTO DEFINITIVO***

### **RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA: STUDIO IDROLOGICO - IDRAULICO**

rev.	data	Progettista	Responsabile del Procedimento
	Luglio 2003	Ing. Paolo CONTINI	Ing. Ivano MELITO
		Collaboratori	
		Ing. Alessandro NUNZIATI Ing. Davide SALTARI	

## **INDICE**

1.	PREMESSE	1
2.	STUDIO IDROLOGICO	2
2.1	Stazione pluviometrica	2
2.2	Elaborazioni statistiche	2
2.2.1	<i>Casi critici ordinari</i>	3
2.2.2	<i>Casi critici probabilistici</i>	3
2.2.3	<i>Scelta della Curva di Possibilità Pluviometrica</i>	8

## **1. Premesse**

La presente relazione tecnica specialistica (art. 28 D.P.R. 554/99) riguarda lo studio idrologico-idraulico condotto per definire i parametri progettuali necessari per il calcolo della rete di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche che interesseranno le superfici conseguenti ai lavori di adeguamento tecnico-funzionale del Molo di Levante. Per la realizzazione di detto studio il progettista Ing. Paolo Contini si è avvalso della collaborazione degli ingg. Davide Saltari e Alessandro Nunziati nonché della struttura e tecnici della Società di Servizi di Ingegneria MODIMAR s.r.l..

## **2. Studio idrologico**

Lo studio delle piogge per il dimensionamento della rete scolante è stato limitato all'esame delle cosiddette "precipitazioni intense", con riferimento, cioè, a precipitazioni di notevole intensità e di durata limitata (dell'ordine delle ore o frazioni di ora). Tali precipitazioni sono di particolare interesse nei riguardi del problema del dimensionamento delle opere di allontanamento delle acque di pioggia, essendo, in casi di questo tipo, il tempo di corrivazione delle superfici considerate pari al tempo di pioggia. E' pertanto necessaria la raccolta dei dati forniti dalle stazioni pluviometriche più vicine munite di pluviometro registratore.

Lo studio è stato condotto considerando i dati della stazione più vicina alla zona di interesse. Si ricorda che le piogge brevi ed intense sono caratterizzate da forte concentrazione e scarsissima uniformità con una casuale distribuzione territoriale che necessita uno studio approfondito.

Sulla base delle osservazioni esaminate sono state eseguite oltre alle normali elaborazioni, anche quelle proprie dell'idrologia statistica, al fine di pervenire alla definizione più attendibile dell'evento più gravoso da assumere per il dimensionamento delle condotte di deflusso delle acque meteoriche. Nei paragrafi seguenti sono riportati i dati rilevati e le elaborazioni eseguite.

### **2.1 Stazione pluviometrica**

E' stata considerata la serie dei dati desunti dal pluviometro di Massa nel periodo 1962÷1991, di cui si riporta l'elenco nella seguente tabella 1. I dati sono stati rilevati dagli Annali Idrologici del Servizio Idrografico Nazionale, editi dal ministero dei Lavori Pubblici.

### **2.2 Elaborazioni statistiche**

Sui dati disponibili è stata condotta una doppia serie di elaborazioni. La prima, propria dell'idrologia descrittiva, è relativa alla determinazione dei casi critici ordinari, mentre la seconda, propria dell'idrologia statistica, è basata sulla determinazione dei casi critici probabilistici.

### 2.2.1 *Casi critici ordinari*

Nelle tabb. 2 e 3 sono riportati i valori dei dati riguardanti i due primi casi critici per le citate stazioni pluviometriche. La legge di primo caso critico ha l'espressione

$$h = at^n$$

Il cambiamento di legge è compreso nell'intervallo 30'-1h. Notevole scarto esiste tra i valori del parametro "a" relativo alle varie registrazioni.

Scarti ancora sensibili esistono anche tra i parametri "n". L'assenza di regolarizzazione degli "n" è evidentemente da attribuirsi alla irregolarità degli eventi, circostanza accentuata dalla scarsità dei campioni e dalla esiguità dei dati.

### 2.2.2 *Casi critici probabilistici*

Al fine di pervenire alla valutazione di curve di possibilità climatica si è proceduto all'elaborazione dei dati pluviometrici secondo l'idrologia statistica.

Per ciascun intervallo di durata i dati relativi sono stati elaborati applicando sia la legge di ripartizione di Gumbel che quella di Fuller-Coutagne.

Secondo la legge di Gumbel, la funzione di ripartizione è la seguente:

$$P = e^{-e^{-y}}$$

dove

- P rappresenta la frequenza
- y variabile ridotta, è espressa da  $y = a(x - x_0)$  con a ed  $x_0$  funzioni della media e dello scarto quadratico medio.

La frequenza P è legata al tempo di ritorno T dalla relazione:

$$T = 1/(1 - P)$$

Secondo, invece, la legge di Fuller-Coutagne la funzione di ripartizione è espressa dalla relazione:

$$P = 1 - e^{-p(x - x_0)}$$

mentre la probabilità è legata al periodo di ritorno dalla relazione:

$$P = 1/T$$

I valori così determinati per ciascun tempo di ritorno sono stati riportati su diagramma bilogaritmico ed interpretati con l'espressione:

$$h = aT^n$$

n	ANNO	INTERVALLO DI ORE				
		1	3	6	12	24
1	1951	30.0	43.0	62.0	79.0	119.8
2	1952	65.4	102.4	105.0	126.8	128.2
3	1953	28.0	40.6	53.8	67.0	80.4
4	1954	35.0	58.0	69.0	72.8	77.2
5	1955	42.0	69.4	76.8	92.2	137.0
6	1956	40.0	55.0	79.8	87.2	90.8
7	1957	30.0	50.4	69.0	82.6	97.2
8	1958	16.0	23.0	32.0	37.0	60.6
9	1959	42.0	76.0	86.2	88.0	98.8
10	1960	30.2	72.0	82.8	84.6	97.6
11	1961	29.2	40.0	60.8	64.0	80.8
12	1962	16.4	36.0	48.2	72.2	79.4
13	1963	34.0	57.6	89.6	100.4	101.4
14	1964	40.0	70.2	70.2	70.2	73.8
15	1965	80.0	114.2	115.6	122.8	122.8
16	1966	38.0	59.0	66.8	75.0	78.0
17	1968	40.0	64.0	71.2	100.0	126.2
18	1969	44.0	53.0	64.6	69.6	74.4
19	1970	50.0	65.4	65.4	65.4	90.8
20	1971	18.2	38.0	43.2	48.4	60.6
21	1972	31.4	51.0	57.6	58.6	60.0
22	1973	25.0	34.0	47.0	55.4	68.6
23	1974	19.8	24.0	27.0	42.8	45.2
24	1975	36.0	65.2	81.2	85.6	127.2
25	1976	39.8	41.0	53.4	75.2	99.6
26	1977	40.6	58.0	70.0	80.8	80.8
27	1978	24.8	68.8	93.6	135.2	166.8
28	1979	26.8	30.0	41.8	62.6	97.0
29	1980	30.2	48.2	82.2	116.4	121.4
30	1981	22.2	26.2	37.0	53.4	68.6
31	1982	30.6	34.2	49.6	75.0	96.2
32	1983	32.8	58.2	59.0	62.6	63.0
33	1984	28.2	38.0	42.6	61.2	61.2
34	1985	26.6	32.6	45.2	49.0	67.0
35	1986	20.6	33.2	34.8	44.6	47.0
36	1987	37.2	51.4	71.8	73.2	90.0
37	1988	43.0	78.0	94.8	112.0	112.8
38	1989	35.8	42.5	48.6	81.4	92.2
39	1990	41.2	58.0	64.6	64.6	64.6
40	1991	71.2	113.4	114.8	130.4	164.4
41	1992	30.2	36.4	51.1	71.1	102.9

Tab. 1 - RegISTRAZIONI pluviometriche

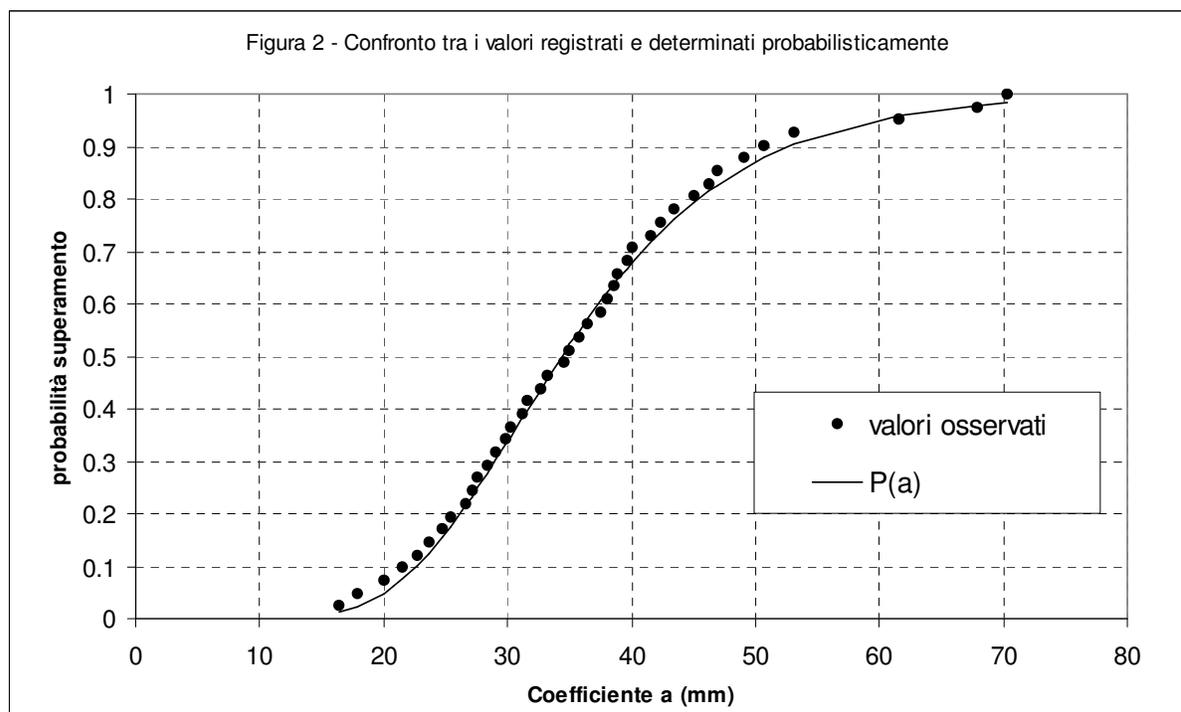
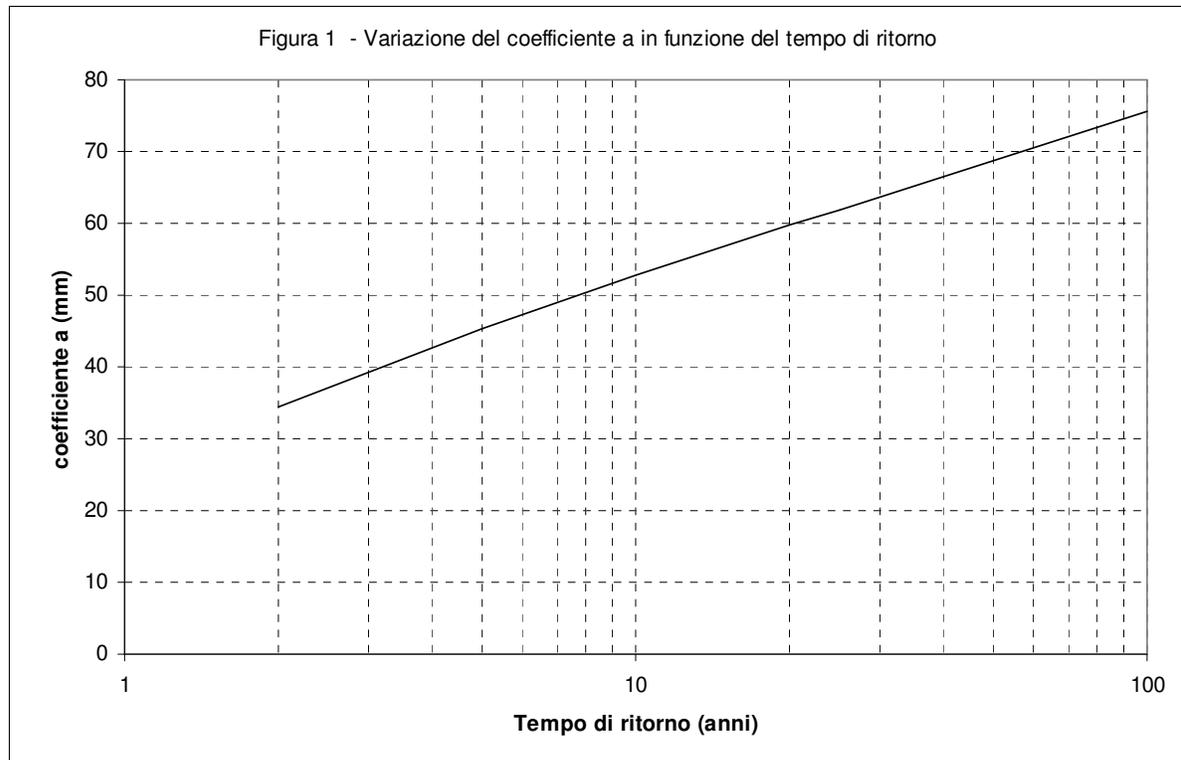
n	Casi critici (mm)				
	1	3	6	12	24
1	80.0	114.2	115.6	135.2	166.8
2	71.2	113.4	114.8	130.4	164.4
3	65.4	102.4	105.0	126.8	137.0
4	50.0	78.0	94.8	122.8	128.2
5	44.0	76.0	93.6	116.4	127.2
6	43.0	72.0	89.6	112.0	126.2
7	42.0	70.2	86.2	100.4	122.8
8	42.0	69.4	82.8	100.0	121.4
9	41.2	68.8	82.2	92.2	119.8
10	40.6	65.4	81.2	88.0	112.8
11	40.0	65.2	79.8	87.2	102.9
12	40.0	64.0	76.8	85.6	101.4
13	40.0	59.0	71.8	84.6	99.6
14	39.8	58.2	71.2	82.6	98.8
15	38.0	58.0	70.2	81.4	97.6
16	37.2	58.0	70.0	80.8	97.2
17	36.0	58.0	69.0	79.0	97.0
18	35.8	57.6	69.0	75.2	96.2
19	35.0	55.0	66.8	75.0	92.2
20	34.0	53.0	65.4	75.0	90.8
21	32.8	51.4	64.6	73.2	90.8
22	31.4	51.0	64.6	72.8	90.0
23	30.6	50.4	62.0	72.2	80.8
24	30.2	48.2	60.8	71.1	80.8
25	30.2	43.0	59.0	70.2	80.4
26	30.2	42.5	57.6	69.6	79.4
27	30.0	41.0	53.8	67.0	78.0
28	30.0	40.6	53.4	65.4	77.2
29	29.2	40.0	51.1	64.6	74.4
30	28.2	38.0	49.6	64.0	73.8
31	28.0	38.0	48.6	62.6	68.6
32	26.8	36.4	48.2	62.6	68.6
33	26.6	36.0	47.0	61.2	67.0
34	25.0	34.2	45.2	58.6	64.6
35	24.8	34.0	43.2	55.4	63.0
36	22.2	33.2	42.6	53.4	61.2
37	20.6	32.6	41.8	49.0	60.6
38	19.8	30.0	37.0	48.4	60.6
39	18.2	26.2	34.8	44.6	60.0
40	16.4	24.0	32.0	42.8	47.0
41	16.0	23.0	27.0	37.0	45.2

Tab. 2 - Determinazione casi critici ordinari (altezze di pioggia)

n	Casi critici (mm/h)				
	1	3	6	12	24
1	80.0	38.1	19.3	11.3	7.0
2	71.2	37.8	19.1	10.9	6.9
3	65.4	34.1	17.5	10.6	5.7
4	50.0	26.0	15.8	10.2	5.3
5	44.0	25.3	15.6	9.7	5.3
6	43.0	24.0	14.9	9.3	5.3
7	42.0	23.4	14.4	8.4	5.1
8	42.0	23.1	13.8	8.3	5.1
9	41.2	22.9	13.7	7.7	5.0
10	40.6	21.8	13.5	7.3	4.7
11	40.0	21.7	13.3	7.3	4.3
12	40.0	21.3	12.8	7.1	4.2
13	40.0	19.7	12.0	7.1	4.2
14	39.8	19.4	11.9	6.9	4.1
15	38.0	19.3	11.7	6.8	4.1
16	37.2	19.3	11.7	6.7	4.1
17	36.0	19.3	11.5	6.6	4.0
18	35.8	19.2	11.5	6.3	4.0
19	35.0	18.3	11.1	6.3	3.8
20	34.0	17.7	10.9	6.3	3.8
21	32.8	17.1	10.8	6.1	3.8
22	31.4	17.0	10.8	6.1	3.8
23	30.6	16.8	10.3	6.0	3.4
24	30.2	16.1	10.1	5.9	3.4
25	30.2	14.3	9.8	5.9	3.4
26	30.2	14.2	9.6	5.8	3.3
27	30.0	13.7	9.0	5.6	3.3
28	30.0	13.5	8.9	5.5	3.2
29	29.2	13.3	8.5	5.4	3.1
30	28.2	12.7	8.3	5.3	3.1
31	28.0	12.7	8.1	5.2	2.9
32	26.8	12.1	8.0	5.2	2.9
33	26.6	12.0	7.8	5.1	2.8
34	25.0	11.4	7.5	4.9	2.7
35	24.8	11.3	7.2	4.6	2.6
36	22.2	11.1	7.1	4.5	2.6
37	20.6	10.9	7.0	4.1	2.5
38	19.8	10.0	6.2	4.0	2.5
39	18.2	8.7	5.8	3.7	2.5
40	16.4	8.0	5.3	3.6	2.0
41	16.0	7.7	4.5	3.1	1.9

Tab. 3 - Determinazione casi critici ordinari (intensità di pioggia)

Nelle figure 1, 2 sono diagrammati rispettivamente i valori del coefficiente  $a$  in funzione del tempo di ritorno e la curva di probabilità di superamento.



### **2. 2 .3      Scelta della Curva di Possibilità Pluviometrica**

L'elaborazione statistica condotta ha consentito di correlare la curva di caso critico al tempo di ritorno. In tal modo è possibile valutare il valore relativo alla curva di possibilità pluviometrica adottata nel progetto e nella relativa verifica della rete di smaltimento delle acque meteoriche.

Si presenta pertanto la possibilità di vagliare diverse soluzioni con diverso grado di probabilità. Evidentemente l'adozione di eventi con elevati tempi di ritorno (cento anni), garantiscono lo smaltimento delle acque anche nel caso di eventi cosiddetti rari. Tale scelta, peraltro comporta costi notevoli delle opere, in parte ingiustificati perché, in concomitanza dei suddetti eventi eccezionali, l'operatività delle aree può venire temporaneamente sospesa.

D'altra parte, l'adozione di eventi a basso periodo di ritorno, pur riducendo sensibilmente il costo delle opere idrauliche, viene a condizionare la funzionalità delle suddette aree in modo sensibile, anche in concomitanza di eventi meteorici non eccezionali. Per tale motivo si è fatto riferiti al tempo di ritorno cinquantennale che presenta i valori dei coefficienti  $a$  ed  $n$  più vicini a quelli individuati dai casi critici ordinari.

Comunque, tutti i metodi di calcolo si basano sull'assunzione che il periodo di ritorno  $T$  delle portate al colmo coincide con quello delle precipitazioni utilizzate nel calcolo. Nel caso di piccole reti di fognature si può supporre che la pioggia critica sia quella di durata pari al tempo massimo di corrivazione, valutato a priori tenendo conto della massima lunghezza di percorso idrico nella rete e delle presumibili velocità a cui vanno aggiunti 5÷10 minuti primi come tempo occorrente all'acqua per raggiungere la fognatura.

Si è ritenuto, pertanto anche sulla base di quanto consigliato dalla letteratura tecnica e dalla esperienza maturata in questo campo, che il tempo di ritorno deve essere largamente sufficiente a garantire lo smaltimento delle acque meteoriche per gli eventi normali e la piena funzionalità del terminale con interruzioni rare e limitate a brevi intervalli.

E' stato quindi assunto a base della progettazione della rete di smaltimento un tempo di ritorno cinquantennale che presenta una curva di caso critico probabilistico i cui valori dei parametri sono  $a=70,37$  ed  $n=0,307$ .

Pertanto, considerando un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione (che rappresenta il tempo di percorrenza delle gocce di pioggia per raggiungere, dal punto di caduta, la canalizzazione) che può essere espresso come:

$$t_c = \Delta t_c + \frac{L}{V}$$

dove  $L/V$  rappresenta il tempo di vettoriamento o tempo di percorrenza entro le canalizzazioni,  $\Delta t_c$  il tempo di ruscellamento pari al tempo massimo impiegato dalle particelle di pioggia per raggiungere la condotta a partire dal punto di caduta, che risulta variabile fra i 5÷15 min.

Nel caso in esame è stato calcolato un tempo di corrivazione pari a 375 s, cioè 0,104 ore, per cui l'altezza di pioggia che si ottiene con i parametri sopra elencati:

$$h = 70,37 \times t^{0,307} = 35 \text{ mm} \quad \text{intervallo 0 - 1 ora}$$

Considerando che per le piogge di durata inferiore all'ora, il valore dell'esponente  $n$  più ricorrente è pari a 0,5 si ha:

$$h = 70,37 \times t^{0,50} = 22,7 \text{ mm}$$

Di conseguenza l'intensità di pioggia che si ottiene è

$$i = \frac{h}{t} = \frac{22,7}{0,104} = 218 \text{ mm/h}$$