

Corso di Idrologia A.A. 2011-2012

Piogge intense



Antonino Cancelliere

Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale

Università di Catania

Elaborazione delle piogge intense

Obiettivi:

1. Determinazione delle piogge di progetto (input per la stima indiretta delle piene di progetto)
2. Analisi della eccezionalità di eventi storici

Fonti di informazione:

Annali Idrologici parte I

- Tabella III - Massimi annuali delle piogge di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore
- Tabella V - Precipitazioni di notevole intensità e breve durata (< 1 ora)

Elaborazione delle piogge intense

Tabella III - Precipitazioni di massima intensità registrate ai pluviografi

Anno 1995

BACINO E STAZIONE	INTERVALLO DI ORE														
	1			3			6			12			24		
	mm	Inizio		mm	Inizio		mm	Inizio		mm	Inizio		mm	Inizio	
	giorno	mese	giorno	mese	giorno	mese	giorno	mese	giorno	mese	giorno	mese	giorno	mese	
SIMETO															
VITALONE	44.4	17	ago.	48.8	17	ago.	48.8	17	ago.	48.8	17	ago.	48.8	17	ago.
TROINA	35.6	31	lug.	61.0	31	lug.	61.0	31	lug.	61.0	31	lug.	61.0	31	lug.
MALETTO	57.0	13	ago.	101.0	13	ago.	109.0	13	ago.	110.4	13	ago.	117.6	13	ago.
BRONTE	87.8	13	ago.	95.4	13	ago.	95.6	13	ago.	98.0	13	ago.	100.6	13	ago.
NICOSIA	35.0	24	set.	50.0	24	set.	63.0	24	set.	70.0	24	set.	70.8	24	set.
GAGLIANO CASTELFERRATO	54.2	31	lug.	56.4	31	lug.	56.4	31	lug.	56.4	31	lug.	56.4	31	lug.
RAGALNA	24.6	14	lug.	24.6	14	lug.	24.8	30	nov.	25.6	30	nov.	30.4	23	feb.
CENTURIPPE	15.4	31	lug.	16.4	6	dic.	16.6	6	dic.	19.6	6	dic.	23.2	24	nov.
PATERNO'	14.4	30	nov.	29.4	30	nov.	35.0	30	nov.	38.2	30	nov.	38.2	30	nov.
LEONFORTE	41.6	31	lug.	43.4	31	lug.	43.4	31	lug.	43.6	24	nov.	57.8	24	nov.
DIGA NICOLETTI	41.2	22	ott.	50.0	22	ott.	51.0	22	ott.	51.0	22	ott.	56.4	24	nov.
VALGUARNERA	15.2	31	ott.	24.6	24	nov.	39.6	24	nov.	56.0	24	nov.	63.6	24	nov.
CATENANUOVA	23.2	9	dic.	24.6	9	dic.	28.2	9	dic.	36.0	9	dic.	38.0	9	dic.
RADDUSA	55.4	31	lug.	56.0	31	lug.	56.0	31	lug.	56.0	31	lug.	56.0	31	lug.
DIGA DON STURZO	41.0	31	lug.	53.4	31	lug.	53.6	31	lug.	53.6	31	lug.	53.8	31	lug.
AIDONE	36.6	15	lug.	41.8	13	mar.	52.0	24	nov.	74.8	24	nov.	82.2	24	nov.
MIRABELLA IMBACCARI	23.0	13	ago.	34.0	31	ott.	42.0	31	ott.	52.2	24	nov.	54.0	24	nov.
CALTAGIRONE	35.4	25	ago.	35.4	25	ago.	35.4	25	ago.	36.8	25	ago.	39.0	24	nov.
MINEO	23.0	25	ago.	23.0	25	ago.	23.0	25	ago.	29.8	24	nov.	33.2	24	nov.
Bacini minori fra SIMETO e ALCANTARA															
LINGUAGLOSSA	66.2	13	mar.	128.8	13	mar.	155.6	13	mar.	221.0	13	mar.	224.6	13	mar.
ACIREALE	105.0	13	mar.	183.0	13	mar.	215.0	13	mar.	253.6	13	mar.	253.6	13	mar.

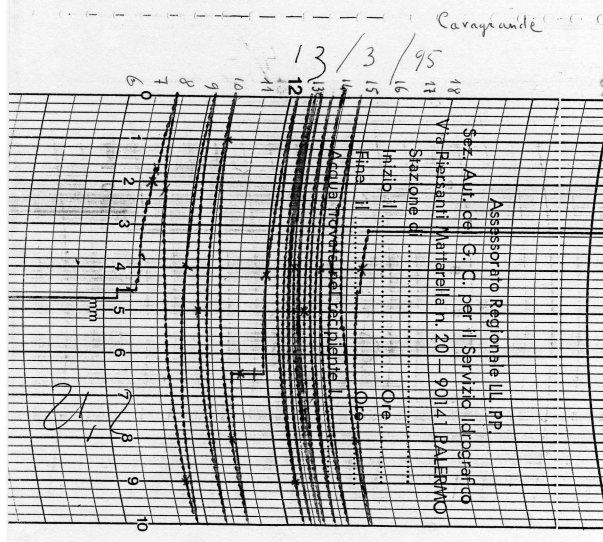
Elaborazione delle piogge intense

Tabella V - Precipitazioni di notevole intensità e breve durata registrate ai pluviografi

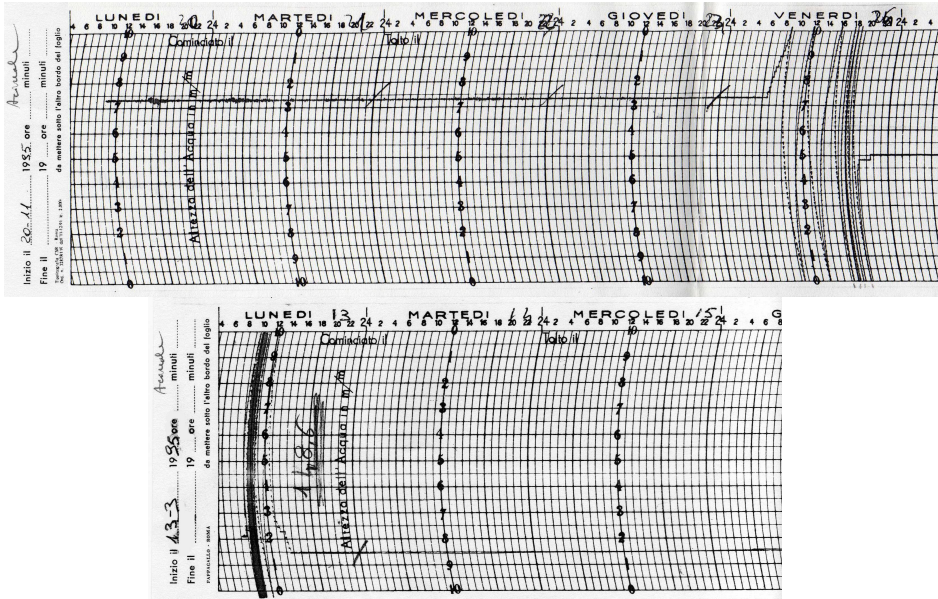
Anno 1995

BACINO E STAZIONE	Giorno e mese	Durata ore e minuti	Quantità di precipita- zione mm	BACINO E STAZIONE	Giorno e mese	Durata ore e minuti	Quantità di precipita- zione mm	
MANIACI	13 Ago.	0.50	49.8	Bacini minori fra FIUMEDINISI e CAPO PELORO				
VITALONE	17 Ago.	0.40	36.6					
TROINA	31 Lug.	0.20	15.6					
MALETTO	27 Mag.	0.30	29.0					
BRONTE	13 Ago.	0.30	40.0					
NICOSIA	24 Set.	0.30	26.0		CAMARO (Caserma Forestale)	30 Giu.	0.30	19.0
GAGLIANO CASTELFERRATO	31 Lug.	0.30	32.6		MESSINA (Osservatorio)	14 Ago.	0.30	22.0
RAGALNA	14 Lug.	0.30	24.6		MESSINA (Ist. Geofisico)	14 Ago.	0.30	20.0
CENTURIPPE	31 Lug.	0.20	12.6		GANZIRRI	5 Nov.	0.30	14.0
PATERNO'	28 Giu.	0.30	13.4		ALI' TERME	13 Nov.	0.30	36.0
LEONFORTE	31 Lug.	0.45	37.4					
DIGA NICOLETTI	31 Lug.	0.20	15.0					
VALGUARNERA	2 Mag.	0.20	10.6					
CATENANUOVA	9 Dic.	0.30	18.0		ISOLA DI SALINA			
RADDUSA	31 Lug.	0.20	33.4	S. MARINA SALINA	6 Set.	0.30	20.4	
DIGA DON STURZO	13 Ago.	0.30	28.6					
AIDONE	15 Lug.	0.40	33.6					
MIRABELLA IMBACCARI	13 Ago.	0.30	23.0					
CALTAGIRONE	25 Ago.	0.30	35.2	ISOLA DI LINOSA				
MINEO	25 Ago.	0.30	23.0	LINOSA	27 Set.	0.30	44.0	
Bacini minori fra SIMETO e ALCANTARA								
LINGUAGLOSSA	13 Mar.	0.30	40.0					
ACIREALE	13 Mar.	1.00	105.0					

Elaborazione delle piogge intense



Elaborazione delle piogge intense



Le curve di possibilità pluviometrica

Metodologia originaria (senza analisi probabilistica)

- Serie dei massimi annuali delle altezze di pioggia di varia durata osservate in n anni

Ad es. nel 1952 disponibili 18 anni di osservazioni (1929-50)

Anno	Intervallo di ore				
	1	3	6	12	24
1929	21,0	43,0	48,0	59,7	63,7
1930	40,0	70,0	104,7	125,7	132,2
1931	60,0	107,7	147,0	183,0	210,5
1932	21,0	40,0	70,2	72,4	72,4
1933	61,4	114,4	135,6	142,8	150,4
1937	32,0	32,2	39,2	59,2	87,2
1938	34,0	44,2	44,8	68,4	91,6
1939	55,8	127,4	190,0	213,0	217,0
1940	83,0	97,8	101,0	101,4	115,2
1941	44,0	86,8	143,2	159,2	167,2
1943	28,4	43,6	68,8	109,8	141,0
1944	21,6	33,6	51,6	80,0	100,8

Anno	Intervallo di ore				
	1	3	6	12	24
1945	29,4	69,4	119,6	187,4	217,4
1946	52,0	144,4	175,4	241,2	274,0
1947	30,4	39,6	55,4	78,6	86,0
1948	55,8	89,6	100,6	127,4	127,4
1949	41,4	71,6	77,4	91,2	94,8
1950	47,4	61,8	65,4	73,4	87,8

Le curve di possibilità pluviometrica

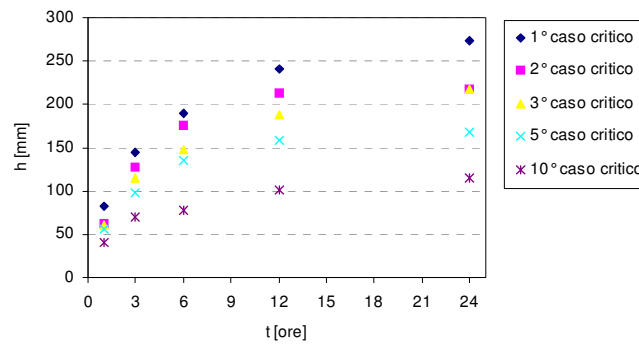
- Ordinamento dei valori in ordine decrescente

	Intervallo di ore				
	1	3	6	12	24
1	83,0	144,4	190,0	241,2	274,0
2	61,4	127,4	175,4	213,0	217,4
3	60,0	114,4	147,0	187,4	217,0
4	55,8	107,7	143,2	183,0	210,5
5	55,8	97,8	135,6	159,2	167,2
6	52,0	89,6	119,6	142,8	150,4
7	47,4	86,8	104,7	127,4	141,0
8	44,0	71,6	101,0	125,7	132,2
9	41,4	70,0	100,6	109,8	127,4
10	40,0	69,4	77,4	101,4	115,2
11	34,0	61,8	70,2	91,2	100,8
12	32,0	44,2	68,8	80,0	94,8

	Intervallo di ore				
	1	3	6	12	24
13	30,4	43,6	65,4	78,6	91,6
14	29,4	43,0	55,4	73,4	87,8
15	28,4	40,0	51,6	72,4	87,2
16	21,6	39,6	48,0	68,4	86,0
17	21,0	33,6	44,8	59,7	72,4
18	21,0	32,2	39,2	59,2	63,7

Le curve di possibilità pluviometrica

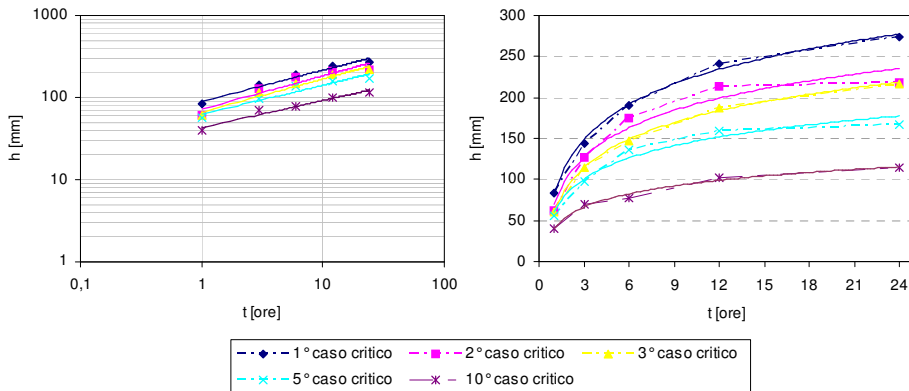
- Su un diagramma h, t si riportano i punti del 1° caso critico, 2° caso critico, ecc, che rappresentano la frequenza empirica della h che è stata raggiunta o superata $k=1, 2, \dots$ volte in n anni



Le curve di possibilità pluviometrica

- Si interpolano le spezzate dei casi critici mediante equazioni, generalmente monomie, del tipo $h=at^n$

Regressione lineare $\ln(h) = \ln(a) + n \ln(t)$



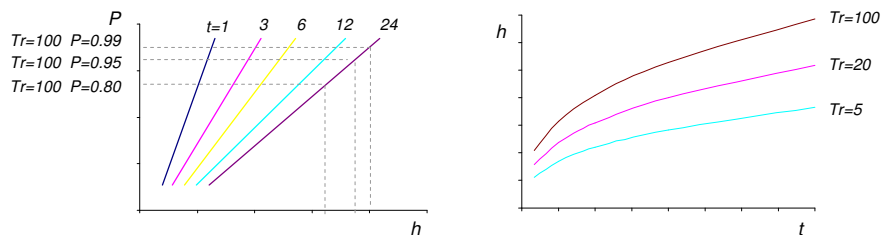
Limiti della metodologia proposta

- La frequenza su un campione di dimensione (in genere) limitata sottostima o sovrastima la probabilità dell'evento
- Nuovi dati possono modificare sostanzialmente le curve dei casi critici
- La forma monomia della relazione $h=f(t)$ è semplice da determinare ma non sempre interpola in modo soddisfacente

Relazioni altezze di pioggia - durata - probabilità

(Curve di probabilità pluviometrica)

- Non si determina direttamente la relazione $h-t$ per fissato caso critico
- Si adotta una distribuzione di probabilità alla serie delle frequenze cumulate delle altezze di ciascuna durata
- Per fissata probabilità (o tempo di ritorno) si calcolano le altezze di pioggia
- Si costruisce la curva interpolare per ciascun tempo di ritorno



Leggi di distribuzione adottate

- Log-normale a due parametri

$$f_x(x) = \frac{1}{x\sigma_x\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln(x) - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right]$$

- Gumbel

$$f_x(x) = \alpha \exp\{-\alpha(x-u) - \exp[-\alpha(x-u)]\}$$

- Pearson di tipo III

$$f_x(x) = \lambda^\beta (x-\xi)^{\beta-1} \cdot \frac{\exp[-\lambda(x-\xi)]}{\Gamma(\beta)}$$

- GEV (Generalized extreme-values)

$$F_x(x) = P = \exp\left\{-\left[1 - \frac{\beta(x-u)}{\alpha}\right]^{1/\beta}\right\}$$

Applicazione leggi di distribuzione

- Serie completa dei massimi annuali delle altezze di pioggia di varia durata (1929-2000)

Anno	Intervallo [ore]				
	1	3	6	12	24
1929	21,0	43,0	48,0	59,7	63,7
1930	40,0	70,0	104,7	125,7	132,2
1931	60,0	107,7	147,0	183,0	210,5
1932	21,0	40,0	70,2	72,4	72,4
1933	61,4	114,4	135,6	142,8	150,4
1937	32,0	32,2	39,2	59,2	87,2
1938	34,0	44,2	44,8	68,4	91,6
1939	55,8	127,4	190,0	213,0	217,0
1940	83,0	97,8	101,0	101,4	115,2
1941	44,0	86,8	143,2	159,2	167,2
1943	28,4	43,6	68,8	109,8	141,0
1944	21,6	33,6	51,6	80,0	100,8
1945	29,4	69,4	119,6	167,4	217,4
1946	52,0	144,4	175,4	241,2	274,0
1947	30,4	39,6	55,4	78,6	86,0
1948	55,8	89,6	100,6	127,4	127,4
1949	41,4	71,6	77,4	91,2	94,8
1950	47,4	61,8	65,4	73,4	87,8
1951	37,4	82,4	124,4	177,6	231,8
1952	21,6	30,8	46,6	65,2	67,4
1953	47,2	62,8	92,2	100,8	135,8
1954	38,8	60,6	74,4	86,2	102,6
1956	62,2	66,2	66,4	72,2	79,4
1957	35,2	58,6	76,0	114,0	125,2
1958	82,0	108,4	109,0	109,0	153,4
1959	50,8	64,4	84,0	137,4	139,0
1960	31,4	41,6	56,8	77,4	103,6
1961	32,8	36,2	39,8	51,2	52,4
1962	45,4	66,8	66,8	105,8	105,8
1963	30,0	55,2	79,4	90,4	94,2
1964	23,6	44,4	100,2	146,0	175,8

Anno	Intervallo [ore]				
	1	3	6	12	24
1965	50,2	100,8	155,8	192,8	208,6
1966	32,2	36,6	60,6	98,6	112,6
1967	33,4	43,2	60,4	83,8	87,2
1968	17,8	32,4	43,0	59,2	63,8
1969	25,8	40,2	46,4	83,0	113,0
1970	74,6	85,6	85,8	85,8	85,8
1971	27,2	42,8	53,4	54,2	66,2
1972	31,2	41,8	53,0	55,8	98,6
1974	19,2	26,4	45,2	48,8	54,6
1975	47,2	76,2	81,6	89,0	91,2
1976	40,4	57,0	63,6	80,0	99,6
1977	16,8	20,0	26,0	38,6	41,8
1979	55,2	56,4	69,6	87,2	148,0
1981	13,0	17,0	33,0	52,0	70,8
1983	73,8	100,4	125,0	131,8	137,8
1984	40,1	96,6	114,2	258,3	276,6
1986	36,4	61,2	67,6	69,4	98,4
1987	32,0	38,6	46,2	58,8	62,8
1988	27,4	53,0	93,0	154,0	179,6
1989	22,8	23,2	37,2	54,6	81,0
1990	34,0	69,0	92,0	120,6	168,2
1991	36,0	44,4	48,4	58,8	65,0
1992	32,0	41,0	66,0	101,8	117,2
1993	41,6	65,4	91,6	133,4	192,0
1994	47,4	105,0	135,0	141,0	225,2
1995	105,0	163,0	215,0	253,6	253,6
1996	44,6	47,4	58,0	67,0	85,4
1997	90,0	106,8	121,4	233,4	300,4
1998	22,0	39,0	50,0	85,0	98,2
1999	24,8	40,0	75,0	115,0	179,0
2000	35,4	60,0	83,4	84,4	90,0

Applicazione leggi di distribuzione

- Ordinamento dei valori in ordine decrescente

	Intervallo [ore]				
	1	3	6	12	24
1	105,0	183,0	215,0	258,3	300,4
2	90,0	144,4	190,0	253,6	276,8
3	83,0	127,4	175,4	241,2	274,0
4	82,0	114,4	155,8	233,4	253,6
5	74,6	108,4	147,0	213,0	231,8
6	73,8	107,7	143,2	192,8	225,2
7	62,2	106,8	135,6	187,4	217,4
8	61,4	105,0	135,0	183,0	217,0
9	60,0	100,8	125,0	177,6	210,5
10	55,8	100,4	124,4	159,2	208,6
11	55,8	97,8	121,4	154,0	192,0
12	55,2	96,6	119,6	146,0	179,6
13	52,0	89,6	114,2	142,8	179,0
14	50,8	86,8	109,0	141,0	175,8
15	50,2	85,6	104,7	137,4	168,2
16	47,4	82,4	101,0	133,4	167,2
17	47,4	76,2	100,6	131,8	153,4
18	47,2	71,6	100,2	127,4	150,4
19	47,2	70,0	93,0	125,7	148,0
20	45,4	69,4	92,2	120,6	141,0
21	44,6	69,0	92,0	115,0	139,0
22	44,0	66,8	91,6	114,0	137,8
23	41,6	66,2	85,8	109,8	135,8
24	41,4	65,4	84,0	109,0	132,2
25	40,4	64,4	83,4	105,8	127,4
26	40,1	62,8	81,6	101,8	125,2
27	40,0	61,8	79,4	101,4	117,2
28	38,8	61,2	77,4	100,8	115,2
29	37,4	60,6	76,0	98,6	113,0
30	36,4	60,0	75,0	91,2	112,6
31	36,0	58,6	74,4	90,4	105,8

	Intervallo [ore]				
	1	3	6	12	24
32	35,4	57,0	70,2	89,0	103,6
33	35,2	56,4	69,6	87,2	102,6
34	34,0	55,2	68,8	86,2	100,8
35	34,0	53,0	67,6	85,8	99,6
36	33,4	47,4	66,8	85,0	98,6
37	32,8	44,4	66,4	84,4	98,4
38	32,2	44,4	66,0	83,8	98,2
39	32,0	44,2	65,4	83,0	94,8
40	32,0	43,6	63,6	80,0	94,2
41	32,0	43,2	60,6	80,0	91,6
42	31,4	43,0	60,4	78,6	91,2
43	31,2	42,8	58,0	77,4	90,0
44	30,4	41,8	56,8	73,4	87,8
45	30,0	41,6	55,4	72,4	87,2
46	29,4	41,0	53,4	72,2	87,2
47	28,4	40,2	53,0	69,4	86,0
48	27,4	40,0	51,6	68,4	85,8
49	27,2	40,0	50,0	67,0	85,4
50	25,8	39,6	48,4	65,2	81,0
51	24,8	39,0	48,0	59,7	79,4
52	23,6	38,6	46,6	59,2	72,4
53	22,8	36,6	46,4	59,2	70,8
54	22,0	36,2	46,2	58,8	67,4
55	21,6	33,6	45,2	58,8	66,2
56	21,6	32,4	44,8	55,8	65,0
57	21,0	32,2	43,0	54,6	63,8
58	21,0	30,8	39,8	54,2	63,7
59	19,2	26,4	39,2	52,0	62,8
60	17,8	23,2	37,2	51,2	54,6
61	16,8	20,0	33,0	48,8	52,4
62	13,0	17,0	26,0	38,6	41,8

Applicazione leggi di distribuzione

Distribuzione di Gumbel

- Funzione di ripartizione: $F_x(x) = P = \exp\{-\exp[-\alpha(x-u)]\}$
- Parametri statistici col metodo dei momenti:

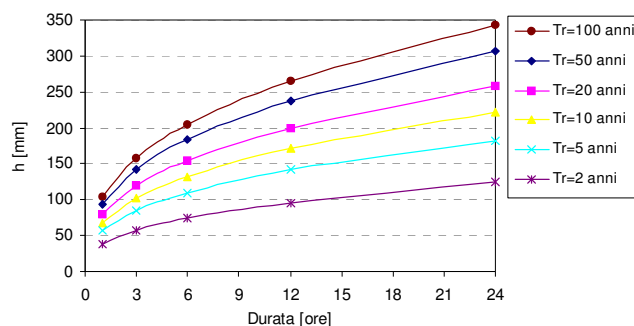
$$\alpha = \frac{1,283}{\sigma_x}; \quad u = \mu_x - 0,45\sigma_x \quad h = u - \frac{1}{\alpha} \ln[-\ln(P)]$$

- Verifica della bontà di adattamento mediante test statistici (ad es. Kolmogorov)
- Valutazione delle $h_{t,T}$

Tr [anni]	$h_{t,T}$ [mm] per durata [ore]				
	1	3	6	12	24
2	37,65	58,35	76,50	99,80	118,18
5	54,31	86,79	111,84	147,43	172,66
10	65,34	105,61	135,23	178,97	208,72
20	75,93	123,67	157,68	209,22	243,32
50	89,62	147,04	186,73	248,39	288,10
100	99,89	164,56	208,50	277,73	321,66

Applicazione leggi di distribuzione

Distribuzione di Gumbel



Stazione	Parametri	Tr 2 anni	Tr 5 anni	Tr 10 anni	Tr 20 anni	Tr 50 anni	Tr 100 anni
Acireale	a	38,63	56,32	68,03	79,26	93,80	104,69
	n	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37

Applicazione leggi di distribuzione

Distribuzione GEV

- Parametri statistici col metodo dei momenti:

$$\beta = 0.27924 - 0.33984 \gamma + 0.10085 \gamma^2 - 0.01654 \gamma^3 + 0.00141 \gamma^4 - 0.00005 \gamma^5$$

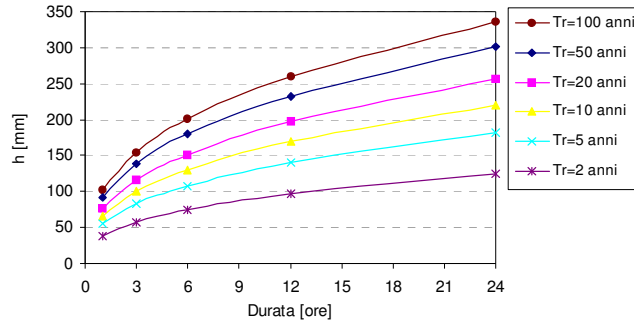
$$\alpha = \frac{\sigma|\beta|}{\{\Gamma(1+2\beta) - \Gamma^2(1+\beta)\}^{1/2}} \quad u = \mu + \left(\frac{\alpha}{\beta}\right) [\Gamma(1+\beta) - 1]$$

- Valutazione delle $h_{t,T}$ $h = u + \frac{\alpha}{\beta} \{1 - [-\ln(P)]^\beta\}$

Tr [anni]	$h_{t,T}$ [mm] per durata [ore]				
	1	3	6	12	24
2	37.47	58.33	77.59	99.37	118.57
5	53.76	85.13	106.53	147.22	174.80
10	64.80	103.24	125.89	179.33	211.33
20	75.60	120.90	144.59	210.44	245.88
50	89.87	144.17	169.01	251.19	289.87
100	100.79	161.92	187.46	282.07	322.31

Applicazione leggi di distribuzione

Distribuzione GEV



Stazione	Parametri	Tr 2 anni	Tr 5 anni	Tr 10 anni	Tr 20 anni	Tr 50 anni	Tr 100 anni
Acireale	a	38.57	54.91	66.05	76.99	91.51	102.67
	n	0.37	0.38	0.38	0.38	0.38	0.37

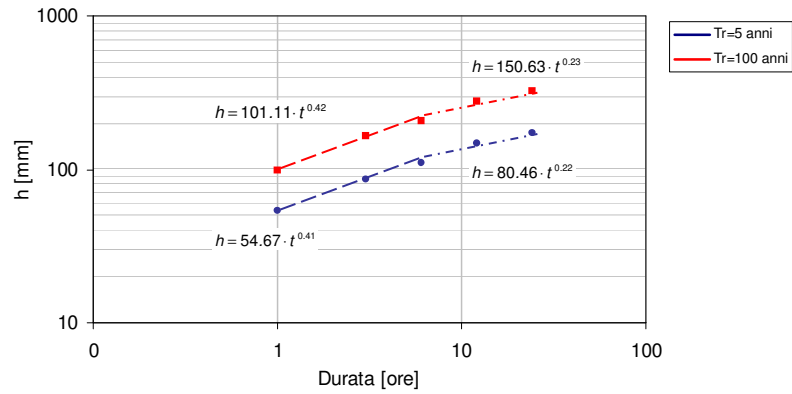
Stima delle piogge intense di durata inferiore a 1 ora

- Necessaria per reti di drenaggio con tempi di corrivazione molto brevi
- Difficoltà dovute alla scarsa disponibilità di serie complete di massimi annuali
- Procedure adottabili:
 1. Adattamento di due diverse relazioni $h-t$ nell'intervallo 1-24 ore, una relativa alle durate (6)-12-24 ore e l'altra per 1-3-(6) ore da estrapolare inferiormente

Equazioni adottate per l'estrapolazione

$$\begin{aligned}
 h &= at^n & h &= \frac{at}{b+t} & h &= a(1 - e^{-bt}) \\
 h &= \frac{at}{(1+bt)^n} & h &= \frac{at}{(b+t)^n} & h &= \frac{at}{b+t^n}
 \end{aligned}$$

Stima delle piogge intense di durata inferiore a 1 ora



Stima delle piogge intense di durata inferiore a 1 ora

- Procedure adottabili:

2. Uso di rapporti fissi $\frac{h(\text{durata} < 1 \text{ ora})}{h(1 \text{ ora})}$ indipendenti da Tr

$$r_{max} = \frac{h_{max}(t < 1 \text{ ora})}{h_{max}(1 \text{ ora})} \quad \bar{r}_{max} = \frac{\bar{h}_{max}(t < 1 \text{ ora})}{\bar{h}_{max}(1 \text{ ora})}$$

- Dati sperimentali:

t [minuti]	r_{max}		
	5	15	30
Milano	0.304	0.568	0.700
Firenze	0.481	0.673	0.898

t [minuti]	\bar{r}_{max}		
	5	15	30
Roma	0.278	0.537	0.758
Milano	0.322	0.601	0.811
Firenze	0.431	0.618	0.858

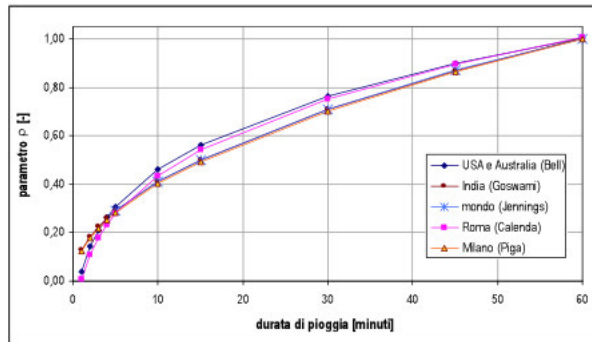
Stima delle piogge intense di durata inferiore a 1 ora

3. Rapporti in funzione di T_r

$$\frac{h_{T_r}(t < 1 \text{ ora})}{h_{T_r}(1 \text{ ora})} = 0,54t^{0,22} - 0,50 \quad \text{Formula di Bell (per Australia, USA)}$$

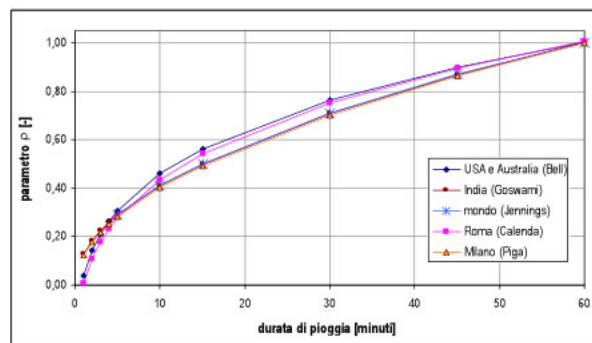
$$\frac{h_{T_r}(t < 1 \text{ ora})}{h_{T_r}(1 \text{ ora})} = 0,208t^{0,336} \quad \text{Formula di Ferreri e Ferro (per la Sicilia)} \quad t \text{ in minuti}$$

4. Involuppo delle massime osservazioni nel mondo



$$\rho(t) = \frac{h_T(t)}{h_T(1)} = 1,015 \cdot t^{-4,33} \quad t \text{ in ore} < 1$$

Stima delle piogge intense di durata inferiore a 1 ora



$$h_T(t) = \rho(t)h_T(1) = h_T(1) \cdot 1,015 \cdot t^{-4,33} \quad t \text{ in ore}$$

Stima delle piogge intense di durata inferiore a 1 ora

- Procedure adottabili (Modica e Rossi, 1987)

3. Determinazione delle $h_{t,T}$ per $t < 1$ ora in funzione del parametro "a" della relazione (per $t \leq 1$ ora) modificando l'esponente n in n'

Stima di equazioni regionali $h_{t,T} = f(a_T)$ del tipo $h_{t,T} = C(T,t) \cdot a_T^{D(T,t)}$ dalle piogge di durata 0.33 e 0.50 ore rilevate in 30 stazioni della Sicilia

