

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. COORDINAMENTO NO CAPTIVE E INGEGNERIA DI SISTEMA

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA DI 2° FASE

NUOVA FERMATA AV DI FOGGIA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione Idrologica

SCALA:

-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I A 8 Q	0 1	R	1 0	R I	I D 0 0 0 1	0 0 1	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione per revisione richiesta	M.Ventura 	Febbraio 2021	M.Ventura 	Febbraio 2021	M.D'ayino 	Febbraio 2021	L. Berardi Febbraio 2021

File:

n. Elab.:

INDICE

1.	PREMESSA	2
2.	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	2
2.1	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO IN RELAZIONE ALL'IDROGRAFIA SUPERFICIALE	2
3.	ANALISI PLUVIOMETRICA.....	4
3.1	GENERALITÀ	4
4.	PROGETTO VAPI.....	5
4.1	MODELLO PROBABILISTICO TCEV.....	5
4.2	STIMA REGIONALE DEI PARAMETRI CON I MASSIMI GIORNALIERI.....	7
4.3	DETERMINAZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA METODO VAPI.....	10
5.	ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI.....	11
5.1	ELABORAZIONE STATISTICA	13
5.2	SCELTA DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....	18
5.3	DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA PER EVENTI INFERIORI ALL'ORA.....	19

1. PREMESSA

Il presente studio idrologico è parte integrante del Progetto di Fattibilità del raddoppio della linea Foggia- Bari; l'intervento in disamina consiste nella costruzione della Fermata AV al km 4+286 della linea storica con realizzazione banchine per Binario Pari nonché con relativo parcheggio con capienza 300 posti;

Nel presente documento si espongono le indagini sviluppate, le metodologie applicate ed i risultati dello studio idrologico finalizzati a:

- caratterizzazione pluviometrica della zona interessata dall'area di progetto; a seguito della definizione dei parametri di pioggia che descrivono le curve di possibilità pluviometrica (CPP);
- stima delle portate di progetto tramite le quali si dimensioneranno e verificheranno, con i criteri di sicurezza idraulica definiti dagli strumenti normativi vigenti, sia gli elementi idraulici appartenenti alla rete di drenaggio stradale, interna ed esterna, sia le opere di risoluzione delle interferenze del reticolo idraulico esistente con il tracciato di progetto.

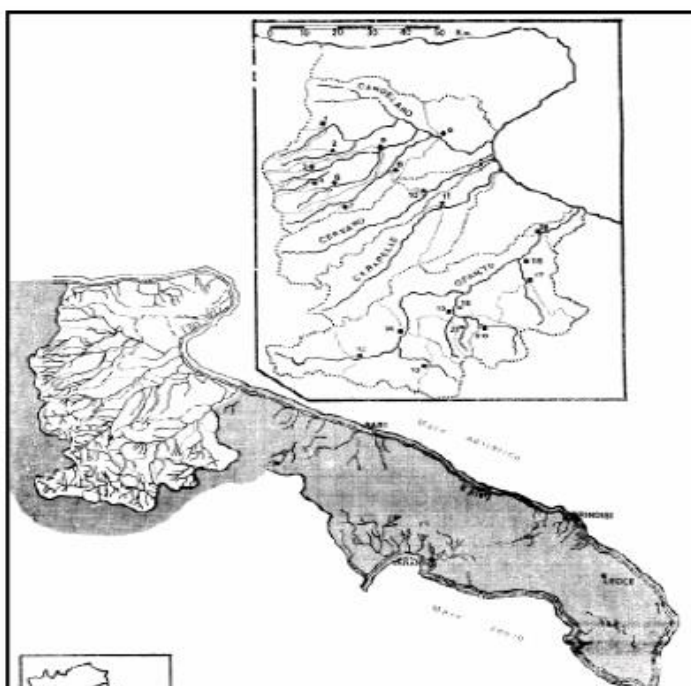
2. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

2.1 Descrizione del tracciato in relazione all'idrografia superficiale

L'infrastruttura ferroviaria in progetto si sviluppa lungo la direttrice Foggia-Bari andando a costituire una nuova fermata. Il principale bacino idrografico adiacente all'infrastruttura in studio è quello del Torrente Cervaro di cui il canale San Lorenzo, corpo idrico più vicino, fa parte.

Come detto, il reticolo idrografico superficiale del territorio pugliese è scarsamente sviluppato, a causa della natura fondamentalmente calcarea dei terreni, tranne che nella zona pedegarganica e del Tavoliere, dove una minore permeabilità consente la formazione di diversi corsi d'acqua. Caratterizzati da regime torrentizio, essi hanno origine nella parte nord-occidentale della regione, ai confini con il Molise, la Campania e la Basilicata, e sviluppano il loro corso prevalentemente nel Tavoliere. I bacini principali della Puglia settentrionale sono quelli dei fiumi Ofanto, Carapelle, Cervaro, Candelaro, nonché i bacini minori del Gargano. I limiti dei bacini suddetti sono

rappresentati nella figura successiva, dove è riportata anche l'ubicazione delle stazioni idrometrografiche. Il regime dei deflussi è principalmente condizionato da quello degli afflussi, data la mancanza di forti precipitazioni nevose e di apporti glaciali.



Il torrente Cervaro con un bacino idrografico sotteso di circa 666 km², nasce dal monte Le Felci (853 m di quota) presso Monteleone di Puglia, si immette in provincia di Avellino e rientra in quella di Foggia fra Panni e Montaguto; incanalato nell'ultimo tratto, prende il nome di canale Cervaro Nuovo e sfocia, dopo circa 80 km di percorso, nel golfo di Manfredonia, mentre due rami si immettono nelle vasche di colmata del Cervaro. Costeggiato, da Radogna a Stradola, dalla SS 90, riceve a sinistra il torrente Lavella e il torrente Sannoro, a destra il torrente Bilerà. I sottobacini del 1° ordine sono, da Nord a Sud, per il Cervaro: Torrente Sannoro, Torrente Lavella, Torrente Avella, Torrente Iazzano, Torrente Bilerà, Fosso Valle dell'Angelo, Fosso Pozzo Vitolo. Dal punto di vista morfologico l'alto corso d'acqua, che attraversa la zona montuosa del subappennino, si presenta abbastanza inciso, caratterizzato da versanti acclivi e scarpate ben definite.

Il basso corso, che scorre nella piana alluvionale, assume invece un andamento meandriforme, mentre il tratto di foce si presenta interamente canalizzato tra argini artificiali. L'analisi dei dati idrometrografici (rilevabili per il torrente Cervaro alla stazione di Incoronata) evidenzia anche per

questo corso d'acqua un regime torrentizio. L'assetto idraulico del territorio è caratterizzato dalla presenza di una serie di infrastrutture viarie, che intersecano in più punti l'asta principale: nel tratto più a monte, la linea ferroviaria Foggia-Benevento e la S.S.90; nelle aree più a valle la S.S.655, linea ferroviaria Foggia-Bari, e la SS16. Nel caso in studio il corpo idrico più vicino all'infrastruttura in progetto è il Canale San Lorenzo che allo stato attuale interseca la linea ferroviaria Foggia-Bari, e la SS16.

3. ANALISI PLUVIOMETRICA

3.1 Generalità

Lo studio delle piogge avviene utilizzando metodologie statistiche, basate su misure delle altezze di precipitazione realmente osservate.

La rappresentazione di un evento pluviometrico di una certa durata τ , viene effettuata mediante una curva, detta curva segnalatrice di possibilità pluviometrica o climatica, caratterizzata generalmente dalla seguente espressione:

$$h = at^n$$

nella quale h rappresenta l'altezza di precipitazione caduta nell'intervallo di tempo t ; a ed n sono dei coefficienti determinati statisticamente.

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica (CCP) associate ai diversi tempi di ritorno T_r , nella presente applicazione vengono analizzati e confrontati i risultati ottenuti dall'applicazione di due distinte metodologie.

1. Progetto VAPI Puglia, con riferimento a indagini effettuate nella modellazione dei dati pluviometrici ed idrometrici della regione, contenute nel Rapporto Regionale pubblicato, Valutazione delle Piene in Puglia [Copertino e Fiorentino, 1994], metodo di riferimento della Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Puglia;
2. Analisi statistica dei massimi annui giornalieri della pioggia per le durate di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore registrati al pluviografo di Foggia Osservatorio.

Le verifiche idrauliche vengono cautelativamente condotte con riferimento ai risultati più cautelativi in esito al confronto tra i due metodi.

4. PROGETTO VAPI

Il progetto VAPI è sviluppato a cura del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR (Copertino e Fiorentino 1994), conformemente al DPCM del 29.09.1998 e alla Relazione di Piano allegata al PAI approvato con delibera n.39 del 30/11/2005. Nel VAPI l'analisi idrologica è basata sulla legge di distribuzione statistica TCEV (two components extreme value). (Rossi et al. 1984); la peculiarità di questo modello è quella di riuscire a considerare anche gli estremi idrologici, che sono di fatto gli eventi che inducono un livello di pericolosità più elevato, riconducendosi al prodotto di due funzioni di distribuzione di probabilità tipo Gumbel, una che riproduce l'andamento degli eventi ordinari e l'altra che riproduce l'andamento degli eventi eccezionali.

4.1 Modello Probabilistico TCEV

La legge di distribuzione probabilistica utilizzata nel PAI per la variabile casuale h_t , massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata oraria o suboraria t , è la *Two Component Extreme Value (TCEV)*, secondo cui i valori estremi di una grandezza idrologica provengono da due diverse popolazioni: una degli eventi normali e un'altra degli eventi eccezionali (outliers), legati a differenti fenomeni meteorologici.

Tale distribuzione ha la caratteristica di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche, con presenza di alcuni valori molto elevati, di cui difficilmente le distribuzioni usuali (log-normale, Gumbel, Fréchet, ecc.) riescono a rendere conto.

La funzione di distribuzione di probabilità della h_t è funzione di 4 parametri: Λ_1 , θ_1 , Λ_2 e θ_2 , che esprimono il numero medio annuo di eventi indipendenti superiori a una soglia delle due popolazioni (Λ_1 e Λ_2) e il loro valore medio (θ_1 e θ_2) con Λ_1 , θ_1 relativi ad una componente base contenente i valori medi e bassi e Λ_2 , θ_2 relativi ad una componente straordinaria contenente i valori più elevati.

Se si pone $\theta_* = \theta_2 / \theta_1$ e $\Lambda_* = \Lambda_2 / \Lambda_1^{1/\theta_*}$, si può considerare la quaterna di parametri Λ_* , θ_* , Λ_1 e θ_1 . La funzione di distribuzione di probabilità della variabile casuale $x = h_t$ (massimo annuale della pioggia di durata t) è espressa come segue:

$$F_X(X) = \exp \left(- \Lambda_1 \exp^{-\frac{x}{\theta_1}} - \Lambda_2 \exp^{-\frac{x}{\theta_2}} \right)$$

Si può dimostrare che il coefficiente d'asimmetria $\zeta(h_t)$ dipende soltanto dai parametri Λ_* e θ_* , il coefficiente di variazione $\gamma(h_t)$ dipende dai parametri Λ_* , θ_* e Λ_1 .

4.2 Stima regionale dei parametri con i massimi giornalieri

Con regionalizzazione delle altezze di pioggia $h(t)_k$ nei diversi pluviometri $k=1,2,\dots,n$ s'intende l'aggregazione di tali variabili in gruppi con caratteristiche stocastiche comuni. Si richiede generalmente che i raggruppamenti abbiano anche riferimenti geografici.

Sono stati utilizzati tre livelli di regionalizzazione:

- I. Regioni omogenee rispetto ai parametri Λ_* e θ_* , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente d'asimmetria $\xi(h_t)$
- II. Zone omogenee rispetto ai parametri Λ_* , θ_* e Λ_1 , da cui deriva l'omogeneità rispetto al coefficiente di variazione $\gamma(h_t)$
- III. Sottozone omogenee rispetto ai parametri Λ_* , θ_* , Λ_1 , θ_1 dai cui dipende la media $\mu(t)$

La curva di distribuzione di probabilità del rapporto corrisponde alla curva di crescita, che ha caratteristiche regionali, in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i tre parametri della TCEV.

La dipendenza del fattore di crescita con la durata si può ritenere trascurabile, infatti, calcolando sulle stazioni disponibili le medie pesate dei coefficienti di asimmetria, C_a , e dei coefficienti di variazione, C_v , alle diverse durate, si osserva una variabilità inferiore a quella campionaria. L'indipendenza dalla durata di K_T autorizza ad estendere anche alle piogge orarie, i risultati ottenuti con riferimento alle piogge giornaliere ai primi due livelli di regionalizzazione.

Il valore di K_T può essere calcolato, invece, in funzione del tempo di ritorno T attraverso un'approssimazione asintotica della curva di crescita (Rossi e Villani, 1995):

$$K_T = a + b \ln T$$

dove per:

- la Puglia Centro-Meridionale i valori di a e b da adottare sono rispettivamente 0,1599 e 0,5166
- la Puglia Settentrionale 0,5648 e 0,415.

Le leggi di probabilità pluviometriche definiscono come varia la media del massimo annuale dell'altezza di pioggia su una fissata durata d , $\mu[h(d)]$, con la durata stessa. Per la Puglia è stata adottata una espressione del tipo:

$$\mu(h/d) = a \cdot t^n$$

I parametri della sono costanti all'interno di singole aree pluviometriche omogenee, e variano nel passare dall'una all'altra. Per tener conto della variabilità di $\mu[h(d)]$ con la quota Z , è possibile generalizzare la relazione precedente attraverso un'espressione del tipo:

$$\mu[h(d,Z)] = a \cdot t^n$$

Per potere utilizzare le formule che contengono dati relativi alle precipitazioni in termini di altezze o di intensità si è provveduto alla determinazione di tali parametri sulla base dei dati pluviometrici regionali elaborati nel progetto VAPI.

L'analisi regionale dei dati di precipitazione al primo e al secondo livello di regionalizzazione è finalizzata alla determinazione delle curve regionali di crescita della grandezza in esame. In particolare per utilizzare al meglio le caratteristiche di omogeneità spaziale dei parametri della legge TCEV, è utile rappresentare la legge $F(Xt)$ della distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata Xt come prodotto tra il suo valore medio $\mu(Xt)$ ed una quantità $K_{t,T}$, detta fattore probabilistico di crescita, funzione del periodo di ritorno T e della durata t , definito dal rapporto:

$$K_{t,T} = \frac{X_{t,T}}{\mu(X_t)}$$

$$n(Z) = \frac{C \cdot Z + D + \ln \alpha - \ln Z}{\ln 24}$$

in cui $\alpha = x_g / x_{24}$ è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e di durata 24 ore per serie storiche relative ad uno stesso periodo di misure. Nel caso della regione Puglia per la quale il valore del coefficiente α è risultato praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89, sono state individuate 6 zone pluviometriche omogenee rappresentate nella figura seguente.



Sottozone pluviometriche omogenee regione Puglia

Per ciascuna delle quali è possibile determinare la curva di possibilità pluviometrica (funzione, nella maggior parte dei casi, del solo parametro della quota assoluta sul livello del mare) per mezzo della quale viene valutata l'altezza di pioggia critica per i differenti intervalli di precipitazione e per differenti tempi di ritorno, sulla base delle seguenti equazioni:

$$\text{Zona 1} \rightarrow x(t,z) = 26.8 t^{[(0.720+0.00503 z)/3.178]}$$

$$\text{Zona 2} \rightarrow x(t) = 22.23 t^{0.247}$$

$$\text{Zona 3} \rightarrow x(t,z) = 25.325 t^{[(0.0696+0.00531 z)/3.178]}$$

$$\text{Zona 4} \rightarrow x(t) = 24.70 t^{0.256}$$

$$\text{Zona 5} \rightarrow x(t,z) = 28.2 t^{[(0.628+0.0002 z)/3.178]}$$

$$\text{Zona 6} \rightarrow x(t,z) = 33.7 t^{[(0.488+0.0022 z)/3.178]}$$

Ai valori così ottenuti vanno applicati i coefficienti moltiplicativi relativamente al fattore di crescita K_T (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni) e della durata dell'evento di progetto, espressa in ore).

4.3 Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica metodo VAPI

Nel caso specifico di studio l'opera di progetto ricade nell'ambito delle aree pluviometriche omogenee individuate nel territorio regionale in zona 2, pertanto l'equazione da applicare è la seguente:

$$x(t) = 22.23 \cdot t^{0.247}$$

Fissato il valore del tempo di ritorno, T_r , tramite l'equazione precedente a cui vanno applicati i coefficienti moltiplicativi relativamente al fattore di crescita K_T (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni) e della durata dell'evento di progetto, espressa in ore), sono state determinate le altezze di pioggia di diversa durata, variabile da 1 a 24 ore e costruite le rispettive curve di possibilità pluviometrica i cui parametri sono riportati nella tabella seguente:

T_r (anni)	10	20	25	50	100	200	500	
K_t (-)	1.52	1.81	1.90	2.19	2.48	2.76	3.14	n (-)
a (mm/ore ⁻ⁿ)	33.80	40.19	42.25	48.65	55.04	61.43	69.89	0.247

5. ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI

Le curve di caso critico, pur fornendo alcune informazioni sul carattere degli eventi pluviometrici, non danno modo di marcare in forma esplicita ogni evento registrato con il valore della sua frequenza probabile: cioè non consentono di valutare quale sia la ricorrenza media del suo verificarsi. L'analisi statistica degli eventi osservati consente invece di allargare il campo delle previsioni oltre il periodo di osservazione e di associare ad ogni evento un tempo di ritorno T_r , inteso come periodo, espresso in anni, nel quale mediamente l'evento viene eguagliato o superato. Al fine di poter sviluppare tale analisi e determinare la pioggia di progetto, necessaria per il dimensionamento e la verifica delle opere idrauliche, sono stati raccolti i dati misurati dalla stazione pluviometrica di Foggia Osservatorio per gli anni compresi tra il 1934 ed il 2019 per le durate di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, forniti dal Centro Funzionale Decentrato (CFD), incardinato nella Sezione Protezione Civile della Regione Puglia, che riprende l'attività precedentemente svolta dell'ex Ufficio Idrografico e Mareografico di Bari così come riportate all'art. 22 del D.P.R. n°85 del 24 gennaio 1991.

Si riportano di seguito, in forma tabellare le caratteristiche della stazione pluviometrica scelta per lo studio ed i dati pluviometrici registrati ed utilizzati nelle elaborazioni statistiche

Stazione pluviometrica	Numero osservazioni	Periodo osservazioni (anni)	Altitudine (m s.l.m.)	Latitudine Gauss Boaga	Longitudine Gauss Boaga
FOGGIA OSSERVATORIO	76	1934-2019	82	41°27'36.2" N	15°32'34.27" E

Stazione pluviometrica di Foggia Osservatorio. Altezze di pioggia (mm) per durate superiori all'ora					
Anno	1	3	6	12	24
1934	20.6	25.0	38.4	53.4	83.2
1935	35.0	47.6	51.8	55.8	58.8
1936	23.6	27.8	28.2	28.4	32.8
1937	22.0	22.0	22.0	25.8	27.6
1938	15.6	19.2	26.4	30.2	40.8
1939	24.0	28.8	29.4	33.0	35.4
1940	17.2	22.8	22.8	31.2	49.8
1941	21.8	31.4	46.0	59.4	95.6
1942	9.0	12.4	16.2	27.6	45.2
1947	28.4	28.8	28.8	28.8	34.4
1948	35.0	40.2	40.2	40.4	40.4
1949	30.0	56.4	63.2	72.2	72.6
1950	21.2	21.8	21.8	30.8	45.0

Stazione pluviometrica di Foggia Osservatorio. Altezze di pioggia (mm) per durate superiori all'ora

Anno	1	3	6	12	24
1951	14.6	17.6	27.0	27.6	38.0
1952	18.2	22.6	36.0	36.8	43.0
1953	14.0	14.4	28.0	33.2	40.4
1954	13.8	27.0	46.8	50.2	55.2
1955	17.6	17.8	24.4	38.6	70.2
1956	19.6	32.2	45.2	53.6	58.6
1961	31.0	42.6	51.8	58.8	66.0
1962	18.2	22.8	31.8	40.2	40.4
1963	31.2	31.2	43.4	50.8	56.8
1964	20.0	21.4	28.8	35.6	39.0
1965	42.4	71.0	71.0	71.0	75.4
1966	19.0	19.0	19.0	24.2	24.6
1967	24.6	35.6	37.2	40.4	55.2
1968	14.4	20.2	31.4	32.4	47.6
1969	34.0	68.0	68.2	74.6	80.6
1970	14.0	30.6	40.0	51.4	53.6
1971	14.0	26.4	36.4	44.2	48.8
1972	21.2	26.8	35.8	41.4	41.4
1974	23.2	24.8	30.2	41.8	49.2
1975	22.2	22.8	24.4	33.8	37.8
1976	20.8	23.4	24.4	36.6	38.4
1977	17.2	17.2	18.6	23.4	28.0
1978	14.2	15.2	24.4	28.6	31.4
1980	22.0	22.0	22.4	28.2	35.0
1981	19.8	23.0	25.2	25.4	27.8
1982	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6
1983	36.2	48.4	48.6	48.6	48.6
1984	33.8	54.6	67.0	70.6	81.6
1985	12.2	25.6	45.2	57.2	66.8
1986	31.2	43.4	48.4	53.2	55.6
1987	10.2	15.2	19.4	31.0	46.0
1988	13.6	19.8	23.2	32.4	36.6
1989	20.0	26.4	37.4	40.4	40.6
1990	50.0	67.0	67.0	69.2	80.0
1991	33.0	46.0	46.0	46.0	46.0
1992	20.0	22.8	23.4	23.4	24.4
1993	16.2	16.2	22.2	22.2	33.0
1994	11.8	17.8	23.0	26.2	27.4
1995	40.0	40.2	40.4	40.4	42.6
1996	44.0	59.6	59.6	61.4	61.4
1997	13.6	18.6	19.2	30.2	46.4
1998	21.2	21.6	23.6	27.4	33.6
1999	25.2	32.2	32.2	32.2	38.4
2000	9.6	16.6	27.0	42.4	42.8
2001	55.4	57.0	57.2	69.2	88.8
2002	37.2	37.2	37.2	37.4	46.4
2003	31.8	35.4	36.2	36.2	49.0
2004	27.8	29.6	34.4	42.2	53.2
2005	16.2	17.0	26.6	38.6	55.8

Stazione pluviometrica di Foggia Osservatorio. Altezze di pioggia (mm) per durate superiori all'ora					
Anno	1	3	6	12	24
2006	9.0	13.8	15.2	26.8	44.4
2007	22.8	24.0	24.2	39.2	40.0
2008	16.6	27.2	36.2	45.4	52.4
2009	13.4	18.8	24.0	26.2	32.2
2010	16.4	19.8	27.2	37.0	38.4
2011	15.2	17.2	31.6	34.6	43.4
2012	14.2	19.2	26.4	32.2	58.0
2013	22.8	36.4	41.2	57.2	72.0
2014	23.20	23.20	26.60	30.40	33.40
2015	32.40	50.60	56.20	93.80	97.40
2016	15.60	19.00	23.20	27.20	37.80
2017	17.60	24.20	32.20	40.40	44.80
2018	34.8	36.4	36.4	39.6	71.8
2019	43.2	44.8	45.0	45.0	45.0

5.1 Elaborazione statistica

Dalle osservazioni delle altezze di pioggia sono state quindi determinate le curve di caso critico cioè le relazioni altezza-durata (o intensità-durata) dei massimi annuali.

Le curve empiriche di caso critico sono state regolarizzate, cioè è stata individuata un'espressione analitica che approssima i dati sperimentali, e consente di valutare l'altezza (o l'intensità) di pioggia per qualsiasi valore della durata e assegnato tempo di ritorno T_r

A tal fine si assegna alla funzione $h(T_r, \tau)$ la seguente espressione in forma monomia:

$$h(T_r, \tau) = a (T_r) \tau^n$$

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica.

L'intensità di pioggia è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

$$i(T_r, \tau) = \frac{h(T_r, \tau)}{\tau} = a \cdot \tau^{n-1}$$

Passando alla notazione logaritmica l'equazione della curva di possibilità pluviometrica assume la forma lineare e viene ottenuta interpolando i valori per regressione lineare ai minimi quadrati. Gli scarti da minimizzare sono quelli verticali, in quanto la misura di h soffre maggiori di incertezze rispetto a quella del tempo di pioggia:

$$\log h = \log a + n \log \tau$$

I parametri a sono elaborati statisticamente al fine di trovare una funzione di distribuzione di probabilità in grado di associare un parametro $a(\text{Tr})$ al tempo di ritorno.

Il metodo utilizzato per la regolarizzazione statistica dei dati raccolti può essere riassunto nei seguenti passi:

- ordinamento delle altezze di pioggia, corrispondenti a ciascuna durata, in senso decrescente;
- regolarizzazione delle curve così ottenute mediante il metodo dei minimi quadrati, assumendo una relazione tra altezza di pioggia h e durata della precipitazione t del tipo:

$$h = a t^n$$

In base a tale assunzione, la funzione da minimizzare Ψ è data da

$$\Psi = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\log h_{ij} - \log a_i - n \log t_j)^2 = \min$$

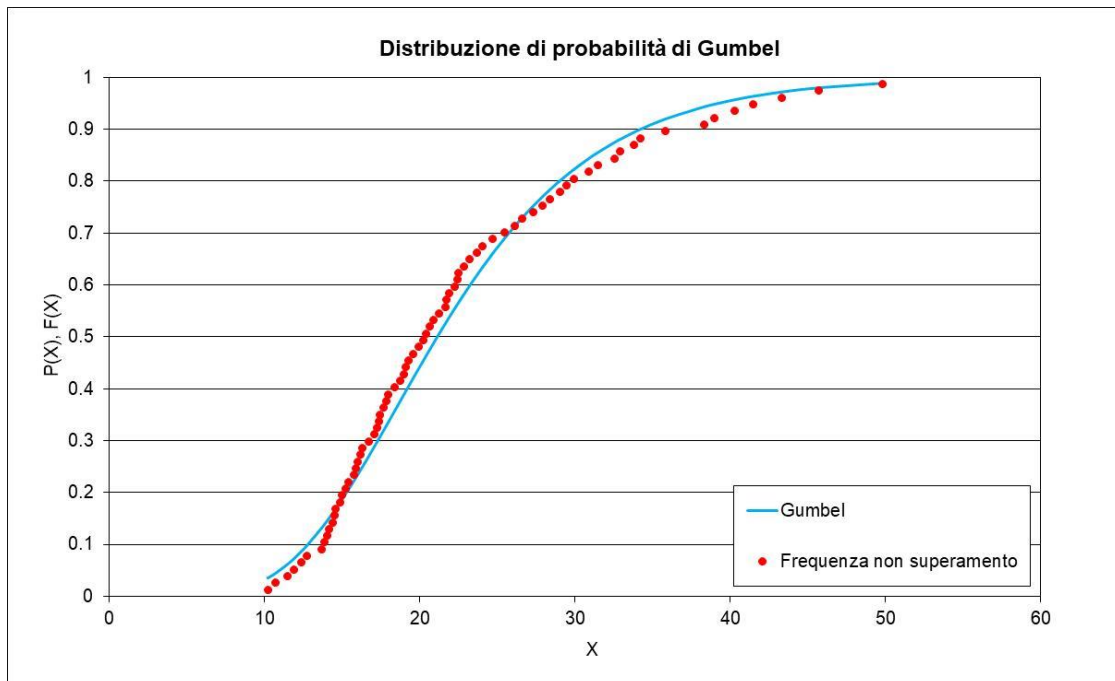
in cui i e j identificano le grandezze relative al singolo caso critico ($i = 1, \dots, N$) ed alla generica durata ($j = 1, \dots, M$). Dalla risoluzione di questo problema di minimo si ottiene l'espressione necessaria alla definizione del parametro n e dei corrispondenti parametri a_i .

$$n = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\log t_j - \log \tau) \log h_{ij}}{N \sum_{j=1}^M (\log t_j - \log \tau)^2}$$

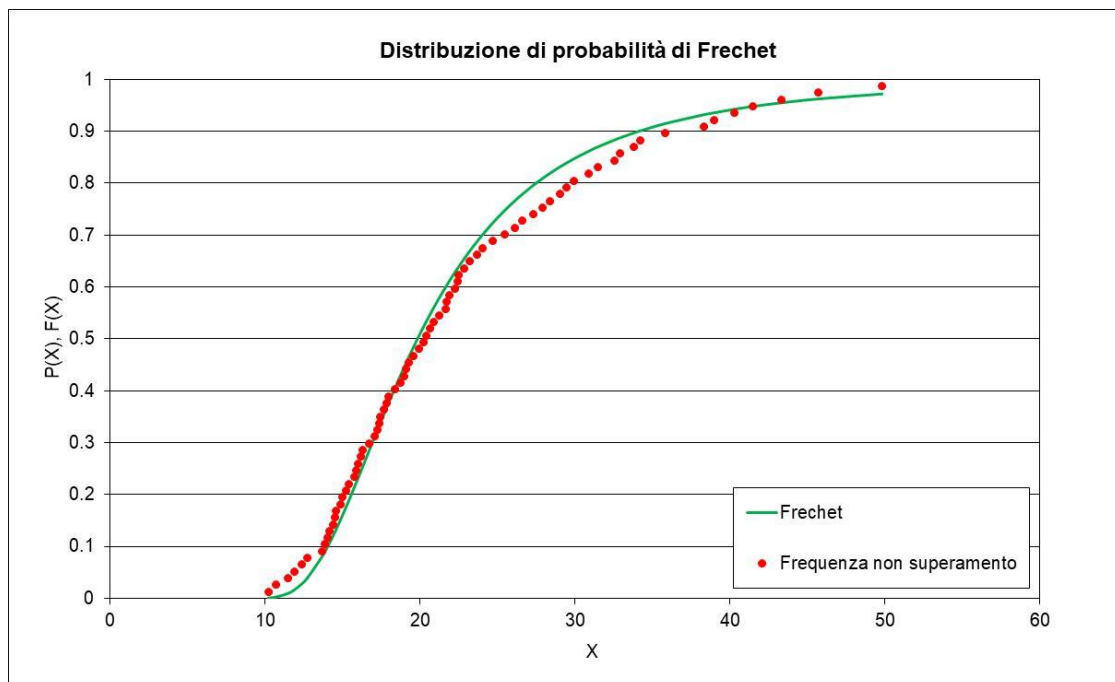
dove $\log \tau$ è il valor medio delle grandezze $\log t_j$

$$\log a_i = \log H_i - n \log \tau$$

dove $\log H_i$ è il valor medio delle grandezze $\log h_{ij}$, relative all'ordine i . Il parametro " n " risulta, nel caso in studio, pari a $n=0.248$. I parametri a_i sono elaborati statisticamente al fine di trovare una funzione di distribuzione di probabilità in grado di associare un parametro $a(\text{Tr})$ al tempo di ritorno. Nella figura seguenti si esegue il confronto fra la funzione empirica di superamento e le funzioni di ripartizione ottenute con le distribuzioni di probabilità di Gumbel e di Frechet della variabile a_i .



Confronto fra funzioni di ripartizione di Gumbel e Frechet e frequenza empirica di non superamento



Confronto fra funzioni di ripartizione di Gumbel e Frechet e frequenza empirica di non superamento.

Test statistici

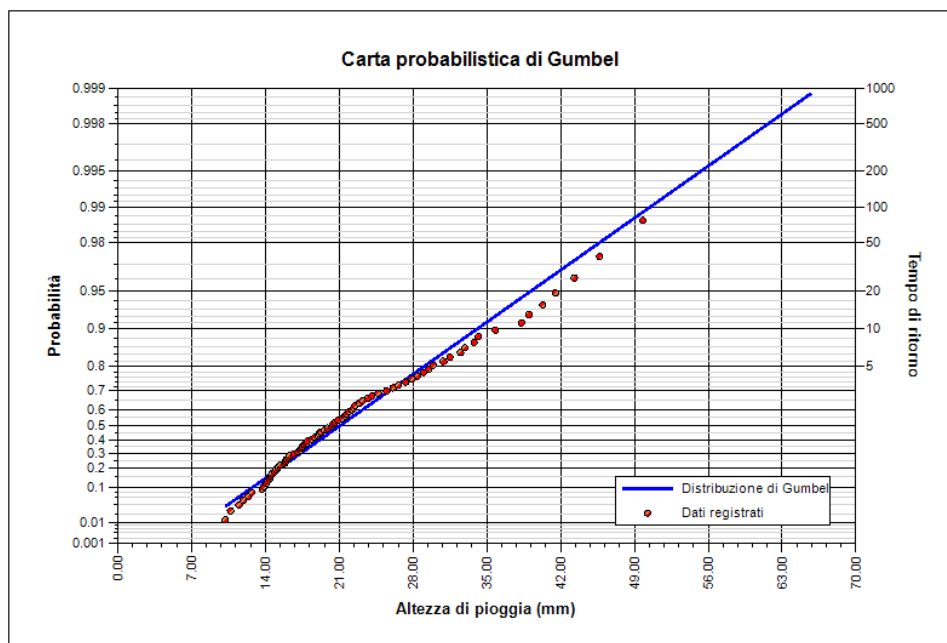
Nella tabella seguente è rappresentato il valore Δ_{max} rappresentativo dell'adattamento della distribuzione di probabilità teorica alla frequenza empirica di non superamento, per quanto riguarda le distribuzioni Normale, LogNormale, Gumbel e Frechet.

$$\Delta_{max} = \max [ass(P_i(x) \cdot F(a_i))]$$

	Dist. Normale	Dist. LogNormale	Dist. Gumbel	Dist. Frechet
Δ_{max}	0.126	0.057	0.056	0.056

Valori del parametro Δ_{max} per le distribuzioni teoriche Normale, Lognormale, Gumbel e Frechet.

Effettuando il test statistico di Kolmogorov-Smirnoff i valori di Δ_{max} devono essere inferiori a $\Delta_{\alpha 99\%} = 1.63/(N)^{0.5} = 0.189$ (per l'intervallo di confidenza del 99%) e a $\Delta_{\alpha 95\%} = 1.36/(N)^{0.5} = 0.156$ (per l'intervallo di confidenza del 95%). Si può osservare che tutte le distribuzioni di probabilità elencate superano il test statistico, ma la funzione di probabilità teorica che meglio si adattano al campione sono la distribuzione di probabilità di Gumbel e Frechet; si utilizzerà la distribuzione di Gumbel in quanto è quella che solitamente descrive in maniera migliore. Si riporta la carta probabilistica la funzione di distribuzione di Gumbel per il campione in esame.



Carta Probabilistica: confronto tra variabile ridotta di Gumbel e variabile campionaria.

c) definizione del parametro “ a ” in corrispondenza di diversi tempi di ritorno T_r adottando una distribuzione di probabilità di Gumbel

$$P(a) = \exp(-\exp(-\alpha(a-\beta)))$$

dove i parametri della distribuzione sono valutati mediante il metodo dei momenti

$$\alpha = 1.2825 / \sigma$$

$$\beta = \mu - 0.45006 \sigma$$

con

- σ = scarto quadratico medio dei valori a_i
- μ = media dei valori a_i

La relazione tra a ed il tempo di ritorno T_r è dunque data dalla seguente espressione:

$$a(T_r) = \beta - \frac{1}{\alpha} \ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{T_r} \right) \right)$$

Nel caso in esame sono stati ottenuti i seguenti risultati:

σ	μ	α	β
8.90	22.59	0.14	18.58

T_r (anni)	10	20	25	50	100	200	500	n
a (mm/ore ⁻ⁿ)	34.20	39.20	40.78	45.66	50.51	55.34	61.71	0.181

5.2 Scelta delle curve di possibilità pluviometrica

A conclusione delle analisi precedentemente descritte, sono stati messi a confronto i risultati delle elaborazioni delle diverse metodologie di calcolo, quindi sono stati considerati quelli ottenuti dalle seguenti fonti:

1. Metodo VAPI;
2. Applicazione del metodo di Gumbel ai dati ricavati dagli Annali Idrologici forniti dal Centro Funzionale Decentrato (CFD), incardinato nella Sezione Protezione Civile della Regione Puglia.

Il metodo VAPI illustrato in precedenza e utilizzato per il caso in esame, è stato sviluppato dal CNR, basandosi su un campione molto numeroso, quindi molto affidabile da un punto di vista statistico e idoneo per estrapolazioni probabilistiche con elevati tempi di ritorno. Tuttavia il campione di dati sulla quale si basa tale metodologia è aggiornato alla fine degli anni '90.

I dati di pioggia registrati alla stazione pluviometrica di Foggia Osservatorio ricavati dagli annali idrologici risultano invece più aggiornati registrazioni sino all' anno 2019.

Si confrontano le piogge orarie ricavate dai metodi utilizzati:

Metodo	Tr (anni)	10	20	25	50	100	200	500	n (-)
VAPI	<i>a (mm/ore⁻ⁿ)</i>	33.8	40.19	42.25	48.65	55.04	61.43	69.89	0.247
Annali		34.2	39.2	40.78	45.66	50.51	55.34	61.71	0.181

Il confronto tra i risultati ottenuti evidenzia come il metodo del VAPI sia più cautelativo per tempi di ritorno superiori ai 20 anni per cui nel progetto in disamina saranno le LSSP ottenute con il metodo della regionalizzazione.

5.3 Definizione delle altezze di pioggia per eventi inferiori all'ora

Gli eventi di pioggia aventi durata inferiore all'ora vengono denominati eventi brevi; gli eventi brevi e quelli lunghi, precedentemente esposti, seguono differenti dinamiche meteorologiche e non possono essere trattati in egual modo. E' stato però dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia h , con t minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia h di durata 60 minuti, a parità di tempo di ritorno T , è dipendente solo dalla durata t espressa in minuti:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = f(t)$$

Avendo indicato con f un simbolo funzionale.

Studi successivi hanno dimostrato che il legame funzionale può essere espresso nella semplice forma:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{t}{60}\right)^s$$

In cui t è la durata dell'evento meteorico di durata inferiore all'ora, espressa in minuti, s è un coefficiente che assume un diverso valore numerico in dipendenza della regione in esame.

Nel caso in oggetto, per la Puglia il coefficiente assume il valore di 0.227 (Ferro, Bagarello, *Rainfall depth duration relationship for South Italy*, Journal of Hydrologic Engineering ASCE 1996).

L'equazione precedente assume quindi la forma:

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{t}{60}\right)^{0.227}$$

Metodo	Tr (anni)	10	20	25	50	100	200	500	n (-)
VAPI	$a (mm/ore^n)$	33.8	40.19	42.25	48.65	55.04	61.43	69.89	0.227