

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



NODO DI BARI

U.O. Coordinamento di Sistema e PFTE

PROGETTO PRELIMINARE

NODO DI BARI

BARI NORD - VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica generale

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I A 7 X 0 0 R 1 0 R G I D 0 0 0 0 2 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	<i>L. Dinelli</i> <i>L. Berardi</i>	Luglio 2021	M Ventura	Luglio 2021	<i>G. Dimaggio</i> <i>G. Dimaggio</i>	Luglio 2021	L. Berardi Luglio 2021



	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

Sommario

1.	PREMESSA.....	4
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
3.	INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDRAULICO Errore. Il segnalibro non è definito.	
4.	ANALISI PLUVIOMETRICA.....	7
4.1	GENERALITÀ.....	7
5.	PROGETTO VAPI.....	7
5.1	MODELLO PROBABILISTICO TCEV.....	8
5.2	STIMA REGIONALE DEI PARAMETRI CON I MASSIMI GIORNALIERI.....	8
6.	ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI.....	12
6.1	ELABORAZIONE STATISTICA.....	17
6.2	SCELTA DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA.....	21
6.3	DEFINIZIONE DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA PER EVENTI INFERIORI ALL'ORA.....	23
7.	DEFINIZIONE DELLE PORTATE.....	24
7.1	IL METODO CINEMATICO.....	24
7.2	PERDITE IDROLOGICHE.....	27
7.3	PORTATE DI PROGETTO.....	32

	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

1. PREMESSA

La linea ferroviaria Foggia – Bari attraversa a raso il territorio comunale di Bari nelle località Palese e Santo Spirito. La direttrice adriatica determina quindi una interruzione del tessuto urbano, con presenza di numerosi passaggi a livello, apportando pesanti ripercussioni sulla mobilità e sulla sicurezza degli abitanti.

Il progetto preliminare della “Variante di tracciato tra Palese e Santo Spirito” è parte di un più vasto complesso progettuale relativo all’evoluzione del Nodo ferroviario di Bari, volto alla razionalizzazione, riorganizzazione e ad un generale miglioramento del trasporto ferroviario, attraverso un organico inserimento delle reti ferroviarie nel territorio urbano della città di Bari e una riqualificazione urbanistica delle aree dismesse.

Il Progetto Preliminare di Bari Nord in oggetto è stato sviluppato come soluzione di variante al Progetto Preliminare del 2009 oggetto di Parere VIA, in ottemperanza a quanto richiesto.

Il nuovo tracciato in variante ha origine dopo Giovinazzo, all’incirca al km 632+000 della linea Adriatica, ha un’estesa complessiva di circa 11,2 km e si sviluppa nella quasi sua interezza al di sotto del piano campagna. La progettazione preliminare è stata sviluppata sulla base della soluzione scelta da RFI al termine del PFTE di 1a fase, in cui sono state confrontate alternative progettuali mediante l’Analisi Multicriteria correlata, che ha consentito di determinare la soluzione vincente, ovvero la soluzione che risponde agli obiettivi dei decisori.

Il processo di progettazione ha inoltre tenuto conto delle osservazioni tecnico-funzionali formulate dalle competenti strutture tecniche di RFI e trasmesse ad Italferr in fase di avvio delle attività di progettazione preliminare, con nota del 19.11.2020 (RFI-DIN-DIS.AD\A0011\P\2020\0000581).

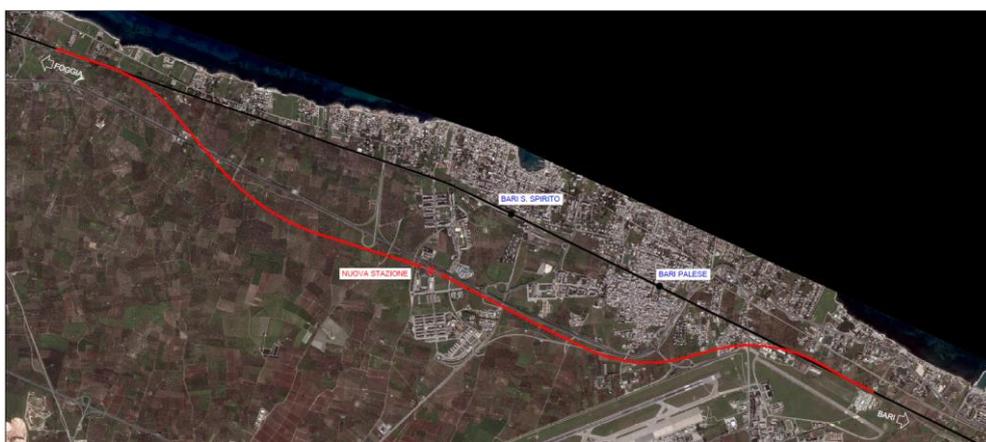


Figura 1 - Stralcio planimetrico dell’intervento

	<p>PROGETTO PRELIMINARE</p> <p>NODO DI BARI</p> <p>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</p>												
<p>RELAZIONE IDROLOGICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IA7X</td> <td>00</td> <td>R 10</td> <td>RGID0002002</td> <td>A</td> <td>5 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IA7X	00	R 10	RGID0002002	A	5 di 34
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IA7X	00	R 10	RGID0002002	A	5 di 34								

La presente relazione descrive lo studio idrologico eseguito al fine di determinare le portate di progetto per la verifica idraulica delle opere di attraversamento e la curva di possibilità pluviometrica per il dimensionamento delle opere di drenaggio di piattaforma ferroviaria e stradale.

Nel dettaglio l'analisi effettuata ha seguito le seguenti fasi:

- Perimetrazione dei maggiori bacini idrografici dell'area;
- Redazione delle corografie dei bacini idrografici;
- Calcolo delle altezze di pioggia per diversi tempi di ritorno mediante due differenti metodi:
 - Metodo VAPI;
 - Analisi statistica delle piogge cumulate mediante modelli probabilistici di Gumbel, Frechet e lognormale.
- Definizione delle altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora (scrosci) necessarie per il dimensionamento delle opere di drenaggio di piattaforma stradale;
- Calcolo del tempo di corrivazione;
- Stima delle portate di progetto.

	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Sono state prese in considerazione le disposizioni legislative di seguito elencate.

R.D. 25/07/1904, n. 523 - “Testo unico delle disposizioni di alle opere idrauliche delle diverse categorie”;

R.D. 27/07/1934, n. 1265 - “Testo unico delle leggi sanitarie”;

Circolare 07/01/1974, n. 11633 – “Istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque di rifiuto”;

D.M. 12/12/1985 - “Normativa tecnica per le tubazioni”;

Circolare 20/03/1986, n. 27291 – “Istruzioni relative alla normativa tecnica per le tubazioni”;

L.R. 15/05/1986, n. 27 – “Disciplina degli scarichi delle pubbliche fognature e degli scarichi degli insediamenti civili che non recapitano nelle pubbliche fognature e modifiche alla L.R. 18/06/1977, n. 39 e s.m.i.”.

L. 18/05/1989, n. 183 “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”;

D.lgs. 16/01/2008, n. 4 - “Codice dell’Ambiente” (modificazioni ed integrazioni al D.lgs. 152/2006, entrato in vigore il 13/02/2008);

D.M. 16/06/2008, n. 131 – “Criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici”;

D.M. 04/04/2014 - “Norme Tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto”;

Delibera G.R. 06/08/2014. N. 231 “Direttiva 2007/60/CE. Linee di indirizzo strategico per l’elaborazione del Piano di gestione del rischio alluvioni e programma delle attività conoscitive”;

Piano di Gestione Rischio di Alluvioni del Distretto idrografico Appennino Meridionale - (2016);

Piano Stralcio di Bacino per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Puglia – 2019;

Manuale di Progettazione RFI – Edizione dicembre/2020;

Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

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 ai pluviografi di Bari Osservatorio, Bari Politecnico, Bitonto e Giovinazzo.

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.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

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 $\xi(h_t)$ 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 $\mu(t)$

	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

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 $F(X_t)$ della distribuzione di probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di

	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

assegnata durata X_t come prodotto tra il suo valore medio $\mu(X_t)$ 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.



Figura 2 – Sottozone pluviometriche omogenee regione Puglia

Mentre C e D sono i coefficienti della regressione lineare fra il valore medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota del sito di riferimento (tabella sottostante).

α	C	D
0.89	0.0022	4.1223

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

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).

Nel caso specifico di studio l'opera di progetto ricade nell'ambito delle aree pluviometriche omogenee individuate nel territorio regionale in zona 5, pertanto l'equazione da applicare è la seguente:

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

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:

Calcolo parametri IDF								
Sottozona	z [m.s.l.m]	a	C	D	α	n	Tr [Anni]	K_T
5	30.00	28.2	0.0002	4.084	0.89	0.20	10	1.349
							25	1.823
							50	2.181

100	2.539
200	2.897

Tabella 1 – Calcolo parametri IDF

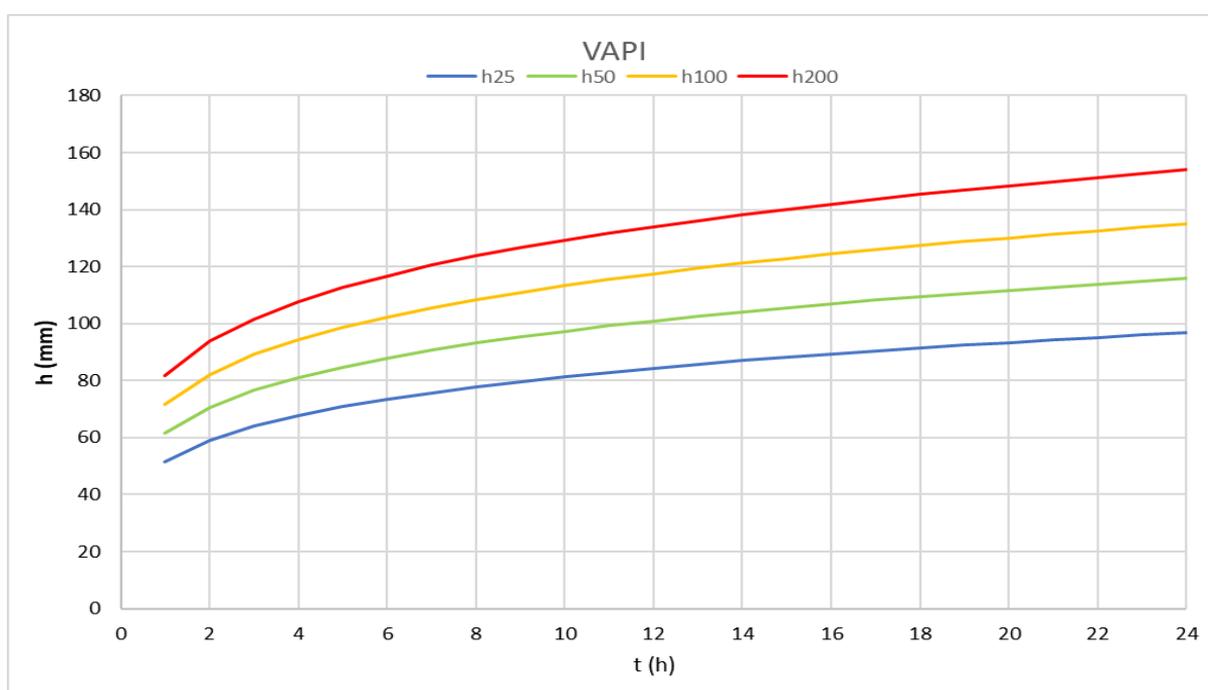


Figura 3 – Curve IDF VAPI per la sottozona in esame.

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 state individuate le aree di influenza delle stazioni più vicine all'intervento in progetto (figura 4) utilizzando i poligoni di Thyessen. Le stazioni di interesse sono: Bari Osservatorio, Bari Politecnico, Bitonto

	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

e Giovinazzo 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.

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.

I dati pluviometrici relativi a Bari Osservatorio e Bari Politecnico sono stati uniti considerando i valori massimi tra le due stazioni.

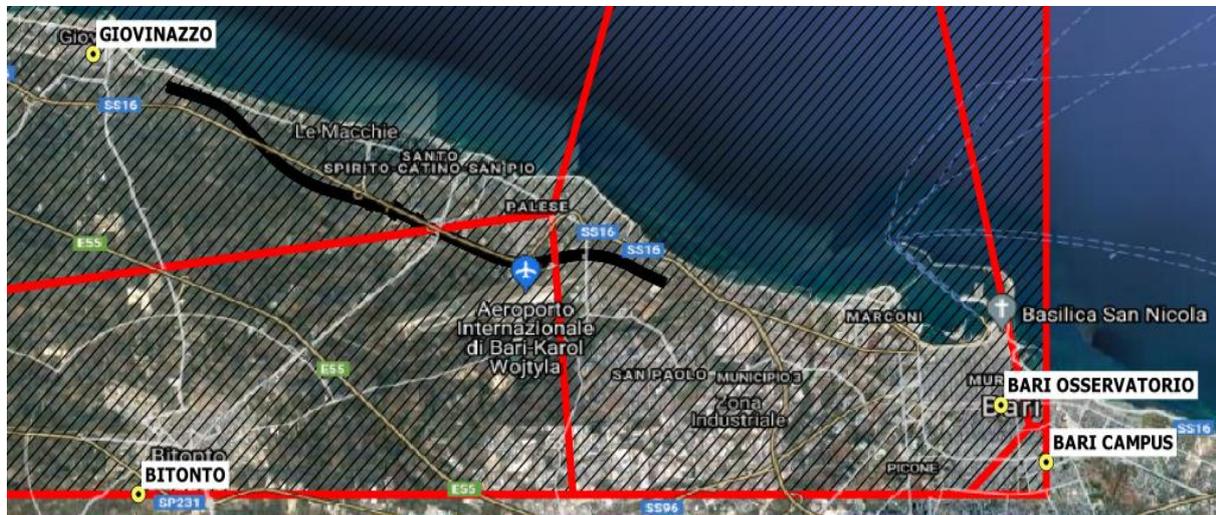


Figura 4 – Sottozone pluviometriche omogenee regione Puglia.

Stazione pluviometrica	Numero osservazioni	Periodo osservazioni (anni)	Altitudine (m s.l.m.)	Latitudine Gauss Boaga	Longitudine Gauss Boaga
BARI OSS. /POLI.	85	1932-2019	12	41°07'2.14" N	16°52'18.61" E
BITONTO	50	1958-2019	118	41°06'32.93" N	16°41'38.39" E
GIOVINAZZO	55	1960-2019	13	41°11'7.64" N	16°40'15.98" E

Tabella 2– Sottozone pluviometriche omogenee regione Puglia.

Altezze di precipitazione (mm) massime annuali Bari oss.polit.						Altezze di precipitazione (mm) massime annuali Bari oss.polit.					
anno	1	3	6	12	24	anno	1	3	6	12	24
1932	49.2	49.2	49.2	50.8	69.8	1978	67	73.6	73.6	73.6	73.8
1933	20.6	29	37.4	65.2	65.2	1979	40.6	41.6	41.6	41.6	42.2
1934	22	25.2	37.4	38.8	38.8	1980	20	24	37	52.4	63
1935	14	21.2	26.8	32.8	43.4	1981	22.6	25.8	27.6	34	40.2
1936	11	13.8	17	19.8	21	1982	48.6	54.4	59.6	60	100.4
1937	32	38.6	38.8	39	42.2	1983	22.2	25.6	30	34	50.6
1938	60.6	62.2	62.2	62.2	62.2	1984	13.2	20.2	33.8	62.2	84.8
1939	17.2	21	30.2	49.2	68.4	1985	22.4	24.4	31	37	38.8
1940	27.6	34.2	35.6	44.2	60	1986	19	27.4	27.8	34	36.2
1941	18.6	28.2	35.2	49.4	76	1987	29.6	40.8	41.8	42	55
1942	26.8	36.6	36.6	44	63.4	1988	18.6	24.4	24.6	32.2	34.4
1943	25	25.4	33.6	35.4	35.4	1989	25.2	25.2	25.2	25.2	25.4
1944	16.6	43	48	60.4	78	1990	35.4	37.2	53	63.2	77.6
1945	34	39.6	39.6	41	43.4	1991	21.8	32.6	39.6	49.4	53.2
1947	23.2	29.8	39.8	54.6	58	1992	30.6	55	56.6	66.8	67.6
1950	25	37.8	38	38.2	52.8	1993	26.4	30	30	36.2	52.2
1951	25.8	35	40.6	44.8	45	1994	17	25.2	29	41.4	44.6
1952	17.6	21.4	35.4	47.6	51	1995	48	48.2	48.2	48.6	59.6
1953	29.4	35.8	35.8	36	36	1996	21.4	21.4	26.4	40	50.6
1954	24.6	29	36.6	47.4	67.6	1997	22	32.6	32.6	43.6	54
1955	44.6	47.6	51.4	65.2	65.6	1998	40.6	57.6	67.2	67.2	67.8
1956	19	31.2	31.4	42.2	44	1999	23.4	28.4	30.8	33.2	38
1957	19.2	21.6	34.8	35.4	56.8	2000	28.2	38.2	42.8	49.8	76.8
1958	26	27.6	31.8	32.6	44.6	2001	71.8	75.4	76.2	76.6	92.2
1959	31	39	51.4	53.2	53.2	2002	31.2	43.8	61.8	70.8	104.2
1960	18	22	30.8	43.4	45	2003	52.2	67	73.2	73.6	77.4
1961	40	52.6	58	61.6	61.6	2004	19.6	28.6	32.6	36.2	52.4
1962	34.4	51.2	53	56.2	81.2	2005	26.2	26.6	27	40.2	59.8
1963	22	35.6	37.2	51.8	58.6	2006	19.6	39.2	59.2	84.2	94
1964	40	61.6	61.6	61.6	61.6	2007	38.2	54.8	55	55.4	55.8
1965	29.4	30	30.2	48.6	67	2008	17.8	29.6	40	55.8	60.4
1966	20.8	32.4	33.6	36.4	65.8	2009	39	45.6	56.2	69.8	71.8
1967	18.8	18.8	25	32.4	37.6	2010	30.4	38.6	49.4	49.4	49.4
1968	24.4	34	37.4	46.8	68	2011	27	31.4	41	42.8	46.6
1969	45.4	47.2	64.2	73	92	2012	13.6	24.4	30.8	31.4	39.4
1970	19.4	21.4	21.4	23.2	24.2	2013	27.2	32.4	37.8	56.8	69.4
1971	76.4	114.4	123	132.2	143.2	2014	28.6	46	61.4	61.6	65.6
1972	47.2	64.2	69.4	71.2	75.4	2015	18.4	34.8	35	35	49
1973	50.8	51.6	56.8	57.4	65.2	2016	100.4	111.2	118.6	121.6	134.2
1974	27.6	30.6	30.8	35.6	54.4	2017	20.6	23	23.4	32.2	41.8
1975	25.6	27.8	36	48.4	67	2018	53	56.2	96.2	96.4	98.8
1976	40.4	65.6	72.8	74.8	74.8	2019	32	36	36	50.4	71.6
1977	24	35	36.4	47.4	50.6						

Tabella 3 – Altezze di precipitazione (mm) massime annuali Bari oss.Polit.

Altezze di precipitazione (mm) massime annuali Bitonto						Altezze di precipitazione (mm) massime annuali Bitonto					
anno	1	3	6	12	24	anno	1	3	6	12	24
1958	19.8	37	47.2	62.6	62.8	1988	15.2	24.8	33.8	35.6	41.8
1959	32.4	43.2	49.2	50.2	50.4	1989	21.8	30.2	31	31.2	40.4
1960	21.4	34.4	41.6	46.8	66.4	1990	15.4	29.2	53.2	88.4	92.4
1962	33.6	37.4	37.8	43.6	68.2	1994	64	111.2	127.2	129.6	140.2
1963	28	33.8	35.6	43.8	59	1996	30	46	53.6	71.6	71.6
1964	47.8	48.8	48.8	50	72.2	1997	26.8	52	72.4	93.8	95.8
1965	20	25.2	30.4	39.2	53.2	1998	23.2	27	31.2	40.4	61.2
1966	15	28	34.2	35	35	1999	31	31.6	31.6	38.4	52.2
1967	15.2	23.8	24.6	30.2	42.6	2000	29.8	29.8	35.2	43.6	71.2
1968	60	61	62	73.6	84.2	2001	24.4	24.4	26.8	35.8	43.2
1969	16.4	24.4	37	38.6	38.6	2002	43.2	67	85	93	105
1970	20.2	25.4	30.8	37	40.2	2003	12.8	22.8	29.4	40.2	56.2
1971	21.2	28	28	44.2	55	2004	52.2	75	77.8	81.6	93.4
1973	23.4	33	34.6	34.2	46.6	2008	13.6	19	33.4	48.6	48.8
1974	10.6	18	30.6	33.8	33.8	2009	23	30	32.6	37.2	57.2
1975	10.4	27	32.6	45.8	65.6	2010	19.8	38	45.6	47.8	47.8
1976	36.6	47.8	49.8	56	70.2	2011	29.4	63.2	81	81.4	81.4
1977	52.2	55.8	57.8	57.8	68	2012	20.2	20.4	20.4	24.2	37.2
1978	13.8	21.6	37.6	40	46.6	2013	21.4	24.2	32.4	63.6	91.2
1979	15.4	18.6	30.4	37.4	63.8	2014	40.6	65	83	83.8	98.8
1980	16	18.4	28.2	43.2	54.4	2015	20.6	24.4	28	32	49.8
1981	23	25.2	28.4	38.4	49.4	2016	33.8	45	45.2	45.8	45.8
1982	18.2	28.6	41.6	47	52	2017	19.2	28.2	28.6	37	50.6
1983	39	54.4	54.8	55.4	62.4	2018	39.8	59.2	66	66	66.8
1985	18	31.6	41.6	51.2	68.8	2019	21	32.6	40.2	47.8	55.4

Tabella 4 – Altezze di precipitazione (mm) massime annuali Bitonto.

Altezze di precipitazione (mm) massime annuali Giovinazzo						Altezze di precipitazione (mm) massime annuali Giovinazzo					
anno	1	3	6	12	24	anno	1	3	6	12	24
1960	19	32.2	36	44.8	47.8	1989	24.6	24.6	24.6	24.6	31.6
1961	24.4	33	46.2	43.2	66.8	1990	19	30.2	53	67.6	74
1962	26	27.8	28.4	40.6	56.4	1991	26.2	33.4	40.2	53	64
1963	24.4	25	28.4	35.2	48.6	1992	19.4	25	35.2	51	61.2
1965	26.2	34.4	36.8	44.2	58.2	1993	18.4	19	24.6	28	35
1966	28	31.6	36.2	36.8	38.4	1994	31	46.4	46.4	46.4	54
1967	13.6	19.8	22.4	27.2	44.8	1995	24.2	27	31.8	56	78.6
1968	76.6	77.8	77.8	86	96.4	1996	35.8	38.2	48	58.8	69.2
1969	38.4	45.8	45.8	53.6	53.6	1997	27.6	67	108	127.6	131.8
1970	18.4	23.8	28.6	34	40	1998	27.4	28	31.8	47.6	72.2
1971	49.6	49.8	49.8	74.8	84	1999	24.2	33.8	35.8	62.6	65
1972	32	39	65	98	108.4	2000	21	25.2	31	40.4	49.8
1973	22.8	27.4	34.6	37.2	61.4	2001	16.6	28.4	34.2	40.8	46
1974	16	20.2	34.2	38.4	38.4	2002	20.4	40.2	62	74.6	94.6
1975	17	20.8	31	35.2	51.2	2003	16.2	27.8	32.8	42.2	53.6
1976	15	30.4	39.8	42	51.8	2008	13.2	27.2	39	53	53
1977	13	17	26.8	43.6	44	2009	18.6	27.8	39.4	62.6	72.8
1978	15.2	26.4	30.6	34.4	39.2	2010	18.4	33	44.6	47.8	47.8
1979	15.2	22.8	26.8	30	42.2	2011	92	96.4	101.8	101.8	102
1980	17.2	24.2	32.4	42.4	57.6	2012	12.4	15.2	17.4	22.4	32.2
1981	35.4	36.6	36.6	43	67.2	2013	17.4	19	30.4	52.4	72.2
1982	22.4	33.4	38	43.4	48.2	2014	31	43.4	50.2	51.6	65.4
1983	29.2	41.6	44.4	45.2	54.2	2015	33.6	34.4	34.4	34.4	42.4
1984	28.4	39.6	43.2	46.2	62.2	2016	34.6	37.6	45.6	46.4	57.2
1985	26.2	34.8	48.4	57.2	69.2	2017	20.6	28	28.8	36.2	40.2
1986	16.6	22	23.6	30	32.4	2018	32	58.6	77	94	94
1987	22.6	25.6	34	38	50.8	2019	21	32.6	40.2	47.8	55.4
1988	19	24	36.2	36.8	43						

Tabella 5 – Altezze di precipitazione (mm) massime annuali Giovinazzo.

	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

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 $a(T_r)$ 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:

$$h = a t^n$$

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

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

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

i pedici 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 . 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.

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:

$$h(t, T_r) = a(T_r)t^n = u \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_r} \right) \right]^{\frac{1}{\alpha}} t^n$$

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

La funzione di probabilità cumulata della distribuzione di Frechét si ottiene tramite trasformazione logaritmica della variabile. I parametri possono essere stimati calcolando la media e la deviazione standard della variabile logtrasformata:

$$F(x) = P(X \leq x) = e^{-\left(\frac{x}{u}\right)^{-\alpha}} \quad u = e^{m_h[\ln(x)] - 0.45006 S_h[\ln(x)]} \alpha = \frac{1,2825}{S_h[\ln(x)]}$$

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

La precedente procedura è stata applicata per la distribuzione di probabilità di Frechet, Gumbel e Longnormale e i risultati sono rappresentati nei seguenti grafici.

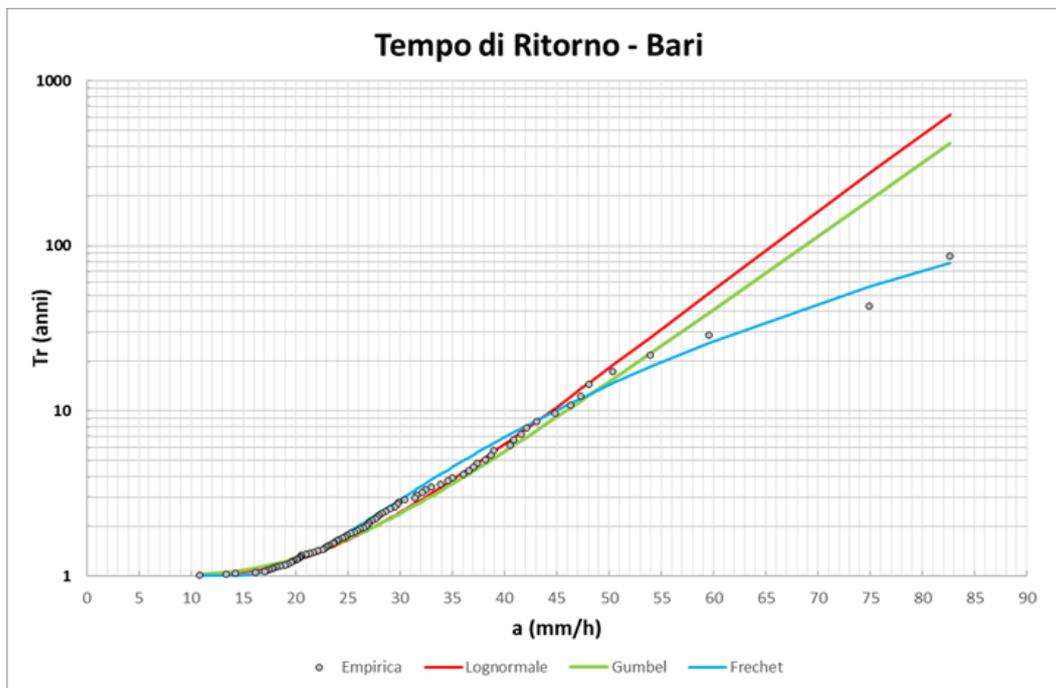


Figura 5-Adattamento delle distribuzioni di probabilità di Frechet, Gumbel, Lognormale alla frequenza empirica di non superamento per la stazione di Bari.

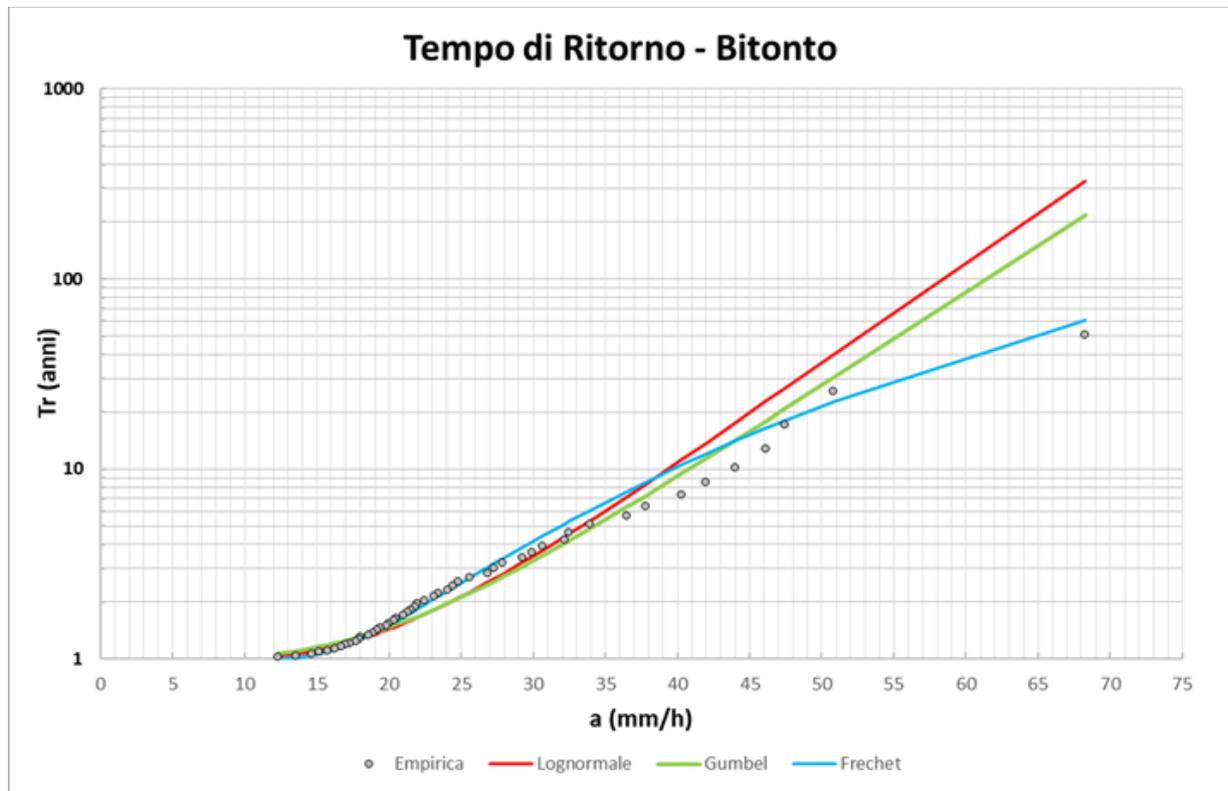


Figura 6-Adattamento delle distribuzioni di probabilità di Frechet, Gumbel, Lognormale alla frequenza empirica di non superamento per la stazione di Bitonto.

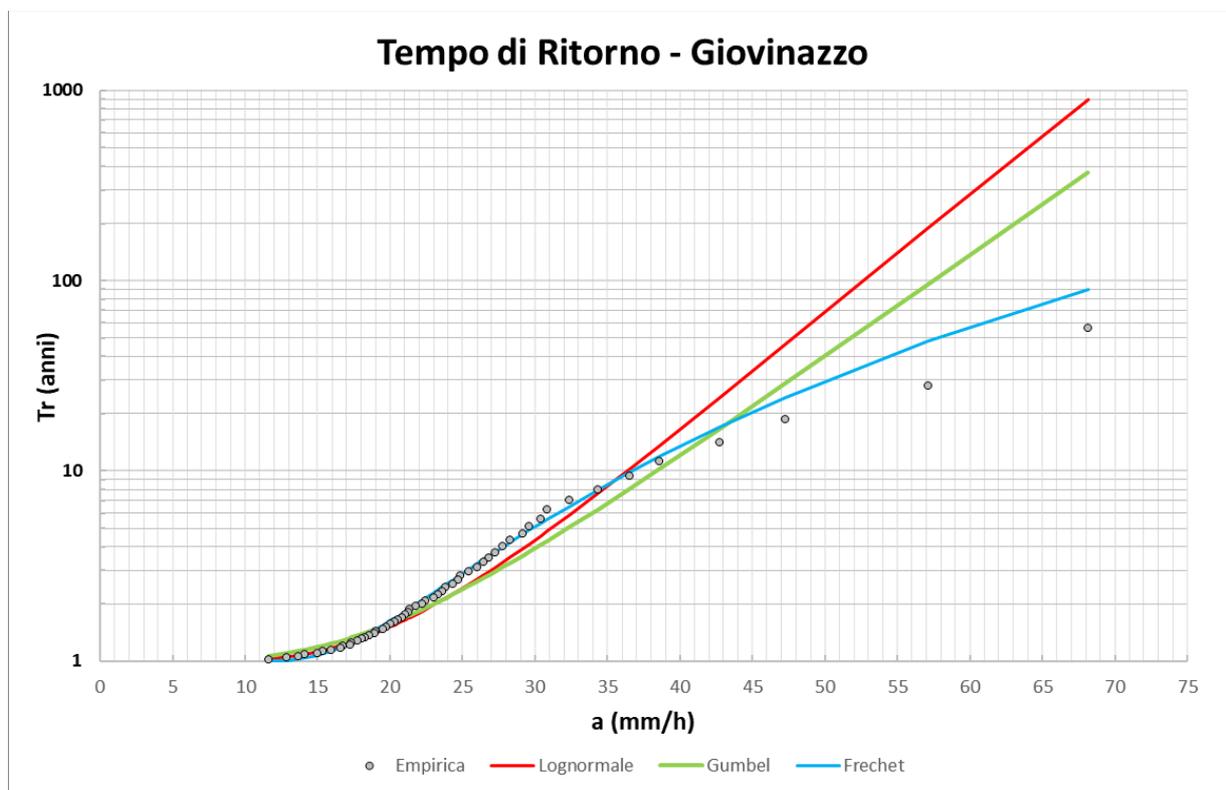


Figura 7-Adattamento delle distribuzioni di probabilità di Frechet, Gumbel, Lognormale alla frequenza empirica di non superamento per la stazione di Giovinazzo.

Dai grafici si nota come la distribuzione di probabilità di Frechet sia quella che si adatta meglio a tutti i campioni. Il confronto con il metodo VAPI verrà quindi effettuato con la suddetta distribuzione.

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:

	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

1. Metodo VAPI;

2. Applicazione del metodo di Frechet 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 (anno 2019).

Si confrontano le piogge orarie ricavate dai metodi utilizzati:

Metodo		Tr (anni)	25	50	200	n (-)
Annali	VAPI	$a (mm/ore^{-n})$	51.40	61.50	81.70	0.200
	Frechet Bari		59.03	72.39	108.46	0.227
	Frechet Bitonto		52.44	64.48	97.12	0.281
	Frechet Giovinazzo		47.63	57.81	84.85	0.280

Tabella 6 – Confronto curve IDF.

Il confronto tra i risultati ottenuti evidenzia come la distribuzione di Frechet per Bari sia la più cautelativa per cui quest'ultima verrà utilizzata per il dimensionamento delle opere in progetto (tabella sottostante).

Metodo	Tr (anni)	25	50	200	n (-)
Frechet Bari	$a (mm/ore^{-n})$	59.03	72.39	108.46	0.227

Tabella 7– Curva IDF di progetto.

	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

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. È 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:

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

I seguenti parametri verranno utilizzati per il dimensionamento delle opere in progetto per tempi inferiori all'ora.

Metodo	Tr (anni)	25	50	200	n (-)
Frechet Bari	$a (mm/ore^{-n})$	59.03	72.39	108.46	0.227

Tabella 8– Curva IDF di progetto per $t < 1h$.

	<p>PROGETTO PRELIMINARE</p> <p>NODO DI BARI</p> <p>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</p>												
<p>RELAZIONE IDROLOGICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IA7X</td> <td>00</td> <td>R 10</td> <td>RGID0002002</td> <td>A</td> <td>24 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IA7X	00	R 10	RGID0002002	A	24 di 34
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IA7X	00	R 10	RGID0002002	A	24 di 34								

6. DEFINIZIONE DELLE PORTATE

6.1 IL METODO CINEMATICO

Il calcolo delle portate in corrispondenza delle interferenze lungo la linea ferroviaria è stato effettuato utilizzando il metodo razionale o del ritardo di corrivazione.

Il metodo razionale permette il calcolo della portata conseguente ad un'assegnata precipitazione: in particolare si assume come valido il concetto di isofrequenza tra l'evento meteorico e il colmo di piena derivato; generalmente utilizzato per bacini di limitata estensione, è stato applicato anche a casi di notevoli comprensori di bonifica.

Il metodo si basa sulle seguenti ipotesi:

- 1) la formazione della piena si basa unicamente su un fenomeno di trasferimento di massa liquida;
- 2) ogni singola goccia di pioggia si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui è caduta;
- 3) la velocità di ogni singola goccia non è influenzata dalla presenza delle altre gocce, cioè ognuna di esse è indipendente dalle altre;
- 4) la portata defluente si ottiene sommando tra loro le portate elementari provenienti dalle singole aree del bacino che si presentano allo stesso istante nella sezione di chiusura;

la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento.

Dalle ipotesi (1) e (2), sopra formulate, il tempo impiegato da ciascuna goccia di pioggia per raggiungere la sezione di chiusura del bacino, definito come tempo di corrivazione puntuale, risulta essere necessariamente univoco per ogni punto del bacino stesso; il tempo di corrivazione massimo viene a coincidere con il tempo di corrivazione del bacino.

Nella Figura 7 è riportato uno schema del funzionamento del modello cinematico con tre precipitazioni di diversa durata (minore, uguale e maggiore rispetto al tempo di corrivazione).

Si noti come per un tempo di pioggia pari a quella di corrivazione l'idrogramma di piena assuma la forma triangolare.

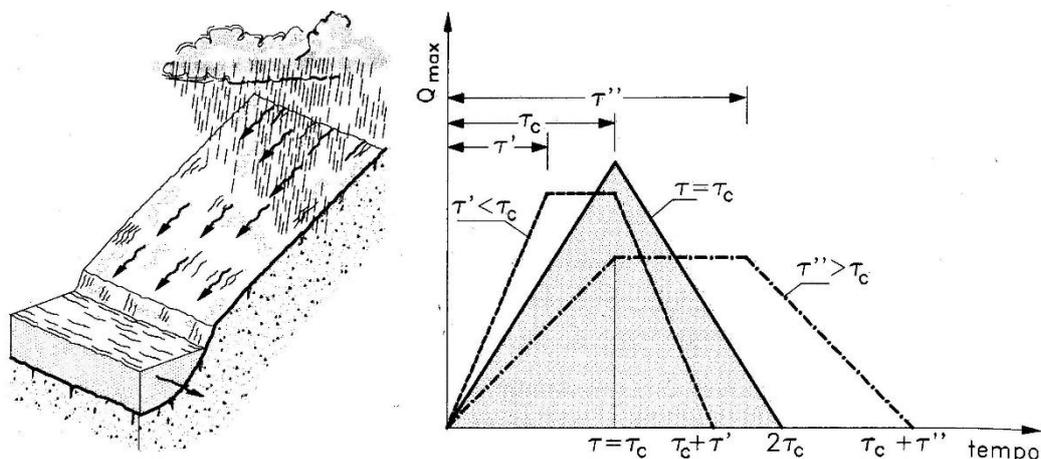


Figura 8 – Metodo cinematico: schema del bacino e idrogramma di piena per differenti durate di precipitazione.

La definizione della portata di piena avviene tramite la formula:

$$Q = \frac{1000}{3600} \cdot \frac{\phi \cdot A \cdot h(\tau, T)}{\tau}$$

dove

- ϕ = coefficiente adimensionale di deflusso (o di riduzione);
- A = superficie del bacino [km²];
- $h(\tau, T)$ = altezza di pioggia netta di durata e tempo di ritorno prefissati [mm];
- τ = tempo di corrivazione del bacino [ore].

Utilizzando, per il calcolo dell'altezza di pioggia, un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione, si ottengono le portate maggiormente critiche in quanto sono tali da mettere tutto il bacino in condizione di contribuire al deflusso attraverso la sezione considerata ed allo stesso tempo sono quelle più intense in quanto di ridotta durata.

Il tempo di corrivazione, parametro chiave quando si fa riferimento a metodi analitici di tipo semplificato, è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

Una relazione frequentemente utilizzata per tale calcolo è la formula di **Giandotti** (1934) che tiene conto della morfologia del bacino, tuttavia essendo valida per superfici variabili fra 170 e 70'000 km², non è stata utilizzata nel presente progetto.

Di seguito si riportano le equazioni impiegate, per le formule empiriche sono stati rispettati i limiti di applicabilità suggeriti e sono state considerate formule sviluppate per bacini con caratteristiche assimilabili a quelle di progetto.

Formula di **Ventura** (1905). La formula valida per $A < 40 \text{ Km}^2$, ha la seguente espressione:

$$\tau_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$$

dove i_m è la pendenza media della rete di drenaggio.

Formula di **Pasini** (1914): la formula è valida per $A < 40 \text{ Km}^2$, ha la seguente forma:

$$\tau_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{L \cdot A}}{\sqrt{i_m}}$$

Il tempo di corrivazione, calcolato secondo **Turazza** risulta:

$$t_c = 1.085 \sqrt{S}$$

Dove S è l' area del bacino sottesa alla sezione di calcolo [km²];

Il tempo di corrivazione, calcolato secondo Viparelli risulta:

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

La velocità V è pari a 1.5 m/s. La stessa formula può essere applicata con $V= 0.6 \text{ m/s}$ e in questo caso prende il nome di US Navy-Texas Dept.

Infine può essere utilizzata la formula dell'NRCS-SCS:

$$T_c = 0.0526 \cdot [(1000/CN) - 9] L^{0.8} S^{-0.5}$$

	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

dove T_c rappresenta il tempo di corrivazione (minuti), L la massima distanza (piedi) tra lo spartiacque e la sezione di chiusura, CN il Curve Number del bacino (adimensionale) e S la pendenza media percentuale del bacino. La formula è stata sviluppata per piccoli bacini rurali.

Il valore finale considerato per il t_c di ciascun bacino è stato considerato come media delle equazioni sopra riportate. Come confronto ulteriore è stato inoltre valutata una velocità di scorrimento media lungo l'asta principale del bacino di circa 0,65 m/s, attraverso il modello 2D implementato per le 3 incisioni principali e descritto nella relazione idraulica. Da tale valore è stato calcolato il t_c con la formula di Viparelli, i risultati mostrano una buona corrispondenza con i valori adottati dalla media sopra descritta, come mostrato in tabella 13. Ovviamente, tale confronto ha il solo scopo di stimare un ordine di grandezza del tempo di corrivazione, nell'ipotesi di considerare tutti i bacini studiati di caratteristiche omogenee rispetto a quelli analizzati con il modello 2D, i cui risultati risentono anche della risoluzione del DTM ma che comunque restituiscono dei valori più realistici del fenomeno di scorrimento rispetto alle caratteristiche del territorio in esame, rispetto alle sole formule empiriche, che come ricordato, risentono delle specificità del bacino per cui sono state ricavate.

6.2 PERDITE IDROLOGICHE

Il calcolo delle perdite idrologiche è stato effettuato utilizzando due diversi metodi:

- Metodo dell'SCS
- Metodo del coefficiente di deflusso

Nei seguenti paragrafi vengono descritti entrambi in maniera dettagliata.

Metodo SCS

Il coefficiente di deflusso è stato individuato utilizzando il metodo del Curve Number (CN), sviluppato dal Soil Conservation Service americano (SCS). Tale metodo si colloca a metà strada fra i modelli basati sul calcolo delle perdite per infiltrazione in un punto, quindi coerentemente utilizzabili in approcci distribuiti e semidistribuiti, ed i modelli formulati in maniera da essere specificatamente utilizzati in approcci integrati, secondo la teoria esposta di seguito. Il metodo CN si basa su una semplice equazione di bilancio fra i valori cumulati nel tempo, a partire dall'inizio dell'evento di precipitazione, della pioggia $P(t)$, del deflusso superficiale $Q(t)$, delle perdite iniziali $I_a(t)$ prima della produzione di deflusso e di quelle successive $I(t)$:

$$P(t) = I_a(t) + I(t) + Q(t)$$

esprese in termini di volume per un'unità di area, ovvero di un'altezza (mm).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

L'ipotesi di base del metodo è che il rapporto fra il volume di deflusso ed il volume di pioggia depurato delle perdite iniziali rimanga, ad ogni istante, uguale al rapporto tra il volume delle perdite successive ed il volume massimo teorico delle perdite (a saturazione), indicato con il simbolo S:

$$\frac{Q}{P - I_a} = \frac{I}{S}$$

Viene inoltre supposto che le perdite iniziali siano proporzionali alle perdite massime possibili S (a saturazione):

$$I_a = \beta S$$

con valori tipici di β compresi tra 0,1 e 0,3. Il SCS propone per l'intercettazione iniziale: $I_a = 0.2 S$.

Il nucleo fondamentale di tutto il metodo è costituito dal parametro S, che a sua volta viene espresso in funzione di un indice dimensionale CN, detto appunto curve number, che a sua volta viene tabulato in funzione del tipo di suolo, per tenere conto delle capacità di infiltrazione, e dell'uso del suolo, che influenzerà sia l'ammontare della quota delle perdite iniziali dovute a intercettazione che la capacità di infiltrazione stessa del suolo.

I valori CN hanno come limite inferiore 0 (superficie totalmente permeabile, con nessuna produzione di deflusso) e come limite superiore 100 (superficie totalmente impermeabile, con nessuna perdita e deflusso uguale alla precipitazione). Il termine curve number deriva dal fatto che a ciascun valore di CN corrisponde una diversa curva che rappresenta il rapporto tra i volumi di deflusso e di precipitazione (coefficiente di deflusso cumulato) in funzione del volume della precipitazione.

Il parametro S può essere calcolato come:

$$S = 254 \left[\frac{100}{CN} - 1 \right]$$

I valori dell'indice CN sono tabulati in letteratura per differenti tipi di copertura del suolo, diverse caratteristiche del terreno e per condizioni medie di umidità iniziale del suolo (condizione II), secondo 4 gruppi principali di terreno¹ :

- gruppo A: terreni sabbiosi molto permeabili
- gruppo B: terreni franchi moderatamente permeabili, depositi sabbiosi superficiali;
- gruppo C: terreni franco – limosi poco permeabili: argille di medio impasto, ad elevato tenore di argilla;
- gruppo D: terreni argillosi quasi impermeabili.

	<p>PROGETTO PRELIMINARE</p> <p>NODO DI BARI</p> <p>BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE</p>												
<p>RELAZIONE IDROLOGICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>FASE-ENTE</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IA7X</td> <td>00</td> <td>R 10</td> <td>RGID0002002</td> <td>A</td> <td>29 di 34</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IA7X	00	R 10	RGID0002002	A	29 di 34
COMMESSA	LOTTO	FASE-ENTE	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IA7X	00	R 10	RGID0002002	A	29 di 34								

Le condizioni di umidità iniziale del suolo risultano tre:

- condizione I: il terreno è secco pur senza raggiungere il punto di appassimento e le colture o la vegetazione sono ben sviluppate;
- condizione II: il terreno è mediamente umido;
- condizione III: il terreno è saturo di umidità a causa di intense precipitazioni con almeno 50 mm di altezza di pioggia nei 5 giorni precedenti l’evento considerato; nella stagione fredda si considera raggiunta la saturazione dopo 25 mm di pioggia in 5 giorni.

Le relazioni tra le condizioni medie CN II e la condizione I e III sono basate sulle seguenti relazioni semplificate:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.013CN_{II}}$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}}$$

Pr la determinazione del CN2 dei bacini dei fossi esaminati sono stati utilizzati i dati provenienti dalla carta di uso del suolo², corretta con la carta litologica³ per l’individuazione del gruppo (A, B, C, D) del terreno previsto dal metodo.

Copertura o uso del suolo	tipo di suolo			
	A	B	C	D
<i>Terreno coltivato:</i>				
senza interventi di sistemazione	72	81	88	91
con interventi di sistemazione	62	71	78	81
<i>Terreno a pascolo:</i>				
in cattive condizioni	68	79	86	89
in buone condizioni	39	61	74	80
<i>Praterie:</i>				
in buone condizioni	30	58	71	78
<i>Terrani boscosi o forestati:</i>				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
<i>Spazi aperti, prati rasati, parchi:</i>				
in condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
in buone condizioni, con almeno il 75% di copertura boscosa	39	61	74	80
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
<i>Aree residenziali:</i>				
impermeabilità media 65 %	77	85	90	92
impermeabilità media 38 %	61	75	83	87
impermeabilità media 30 %	57	72	81	86
impermeabilità media 25 %	54	70	80	85
impermeabilità media 20 %	51	68	79	84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
<i>Strade:</i>				
pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
inghiaiata o selciate, con buche	76	85	89	91
in terra battuta	72	82	87	89

Tabella 9– CN per ogni tipologia di suolo.

Metodo del coefficiente di deflusso

Nei modelli di trasformazione dell'afflusso meteorico in deflusso, la precipitazione va depurata della componente destinata ad infiltrarsi nel terreno. La valutazione della portata infiltrata può essere effettuata attraverso il coefficiente di afflusso ϕ che rappresenta il rapporto tra il volume della pioggia netta ed il volume della pioggia totale. Tale coefficiente dipende da diversi fattori, alcuni dei quali variabili nel tempo. Nel presente progetto, per semplicità, il coefficiente ϕ verrà considerato costante per tutta la durata della pioggia.

	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

Detto ϕ_i il coefficiente di deflusso relativo alla superficie S_i , il valore medio del coefficiente, relativo ad aree caratterizzate da differenti valori, si ottiene dalla seguente media ponderata:

$$\phi = \frac{\sum_i (S_i \cdot \phi_i)}{\sum_i (S_i)}$$

tipologia urbanistica	ϕ
edifici densi	0,8
edifici spaziosi	0,6
costruzioni con grandi cortili e superfici a giardini	0,5
villini	0,3 ÷ 0,4
giardini, prati e zone non edificate	0,2
parchi e boschi	0,05 ÷ 0,1

Tabella 10– Coefficiente di deflusso per diverse tipologie urbanistiche (Ippolito, 1960).

tipo di superficie	ϕ
tetti impermeabili	0,70 ÷ 0,95
pavimentazioni d'asfalto ben tenute	0,85 ÷ 0,90
pavimentazioni di pietra, laterizi o legno con buone connessioni di cemento	0,75 ÷ 0,85
pavimentazioni di pietra, laterizi o legno con giunti aperti o non cementati	0,50 ÷ 0,70
pavimentazioni a blocchi sconnessi con giunti aperti	0,40 ÷ 0,50
strade di macadam	0,25 ÷ 0,60
strade e viali di ghiaietto	0,15 ÷ 0,30
superfici non pavimentate, piazzali ferroviari, terreni non edificati	0,10 ÷ 0,30
parchi, giardini, prati, a seconda della pendenza e della natura del suolo	0,05 ÷ 0,25
aree boschive e foreste, a seconda della pendenza e della natura del suolo	0,01 ÷ 0,20

Tabella 11– Coefficiente di deflusso per diversi tipi di superficie (Ippolito, 1960).

6.3 PORTATE DI PROGETTO

Per la stima dei deflussi lungo i corsi d'acqua oggetto dello studio si è proceduto alla delimitazione dei bacini imbriferi contribuenti ed al calcolo dei parametri fisici fondamentali.

Nelle figure seguenti, si riportano i bacini idrografici dei corsi d'acqua interferenti con l'intervento in progetto.

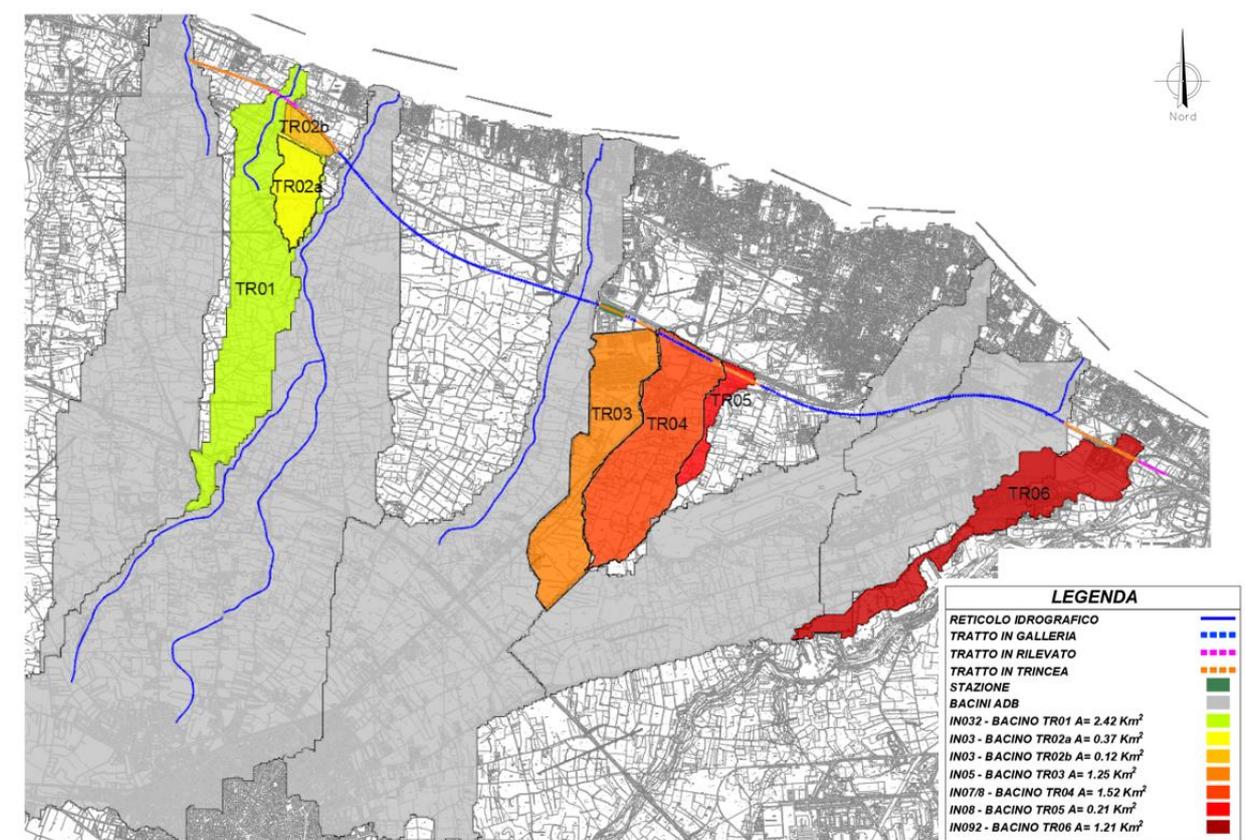


Figura 9 – Corografia dei bacini.

Per ogni bacino sono state determinate le caratteristiche geomorfologiche di riferimento per il calcolo del tempo di corrivazione. Nelle tabelle seguenti vengono riportati i parametri geomorfologici di ogni bacino (superficie, lunghezza dell'asta principale, quota minima, media e massima sul livello del mare, ecc.) e i tempi di corrivazione relativi ai bacini dei corsi d'acqua di interesse con sezione di chiusura in corrispondenza degli attraversamenti di progetto. Il calcolo delle portate è stato effettuato considerando il tempo di corrivazione medio.

CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DEI BACINI IDROLOGICI

1 Superfici	TR01	TR02a	TR02b	Tombino	C.gro.-TR02a,TR02b	TR03	TR04	TR05	TR06
Superficie del bacino idrologico (km ²)	2.42	0.37	0.12	2.53	0.49	1.25	1.52	0.21	1.21
2 Lunghezze									
Lunghezza dell'asta principale (km)	4.00	0.25	1.00	4.00	1.25	2.50	2.50	1.25	3.80
3 Pendenze									
Pendenza dell'asta principale	0.0198	0.0800	0.0108	0.0198	0.0225	0.0124	0.0116	0.0157	0.0124
Pendenza media dei versanti (o del bacino)	0.0198	0.0800	0.0108	0.0198	0.0225	0.0124	0.0116	0.0157	0.0124
4 Quote e dislivelli									
Quota massima del bacino idrologico (m)	80.43	37.90	20.65	80.43	37.90	67.00	65.00	55.80	58.00
Quota minima del bacino idrologico (m)	1.22	17.90	9.81	1.22	9.81	36.00	36.00	36.20	10.70
Quota media del bacino idrologico (m)	40.83	27.90	15.23	40.83	23.86	51.50	50.50	46.00	34.35
Quota massima dell'asta principale (m)	80.43	37.90	20.65	80.43	37.90	67.00	65.00	55.80	58.00
Quota minima dell'asta principale (m)	1.22	17.90	9.81	1.22	9.81	36.00	36.00	36.20	10.70
Quota della sezione di chiusura (m)	1.22	17.90	9.81	1.22	9.81	36.00	36.00	36.20	10.70
Quota media rispetto alla sezione di chiusura (m)	40.83	27.90	15.23	40.83	23.86	51.50	50.50	46.00	34.35
Altezza media relativa rispetto alla sezione di chiusura (m)	39.61	10.00	5.42	39.61	14.05	15.50	14.50	9.80	23.65
Dislivello dell'asta principale (m)	79.21	20.00	10.84	79.21	28.09	31.00	29.00	19.60	47.30
Dislivello tra la quota massima e minima del bacino (m)	79.21	20.00	10.84	79.21	28.09	31.00	29.00	19.60	47.30

Tabella 12– Caratteristiche geomorfologiche dei bacini idrologici.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO PRELIMINARE NODO DI BARI BARI NORD – VARIANTE SANTO SPIRITO PALESE					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7X	LOTTO 00	FASE-ENTE R 10	DOCUMENTO RGID0002002	REV. A

CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE									
<i>Formula di Pasini (h)</i>	1.62	0.17	0.51	1.65	0.61	1.41	1.56	0.55	1.60
<i>Formula di Kirpich (h)</i>						0.73			
<i>Turazza (h)</i>	1.69	0.66	0.37	1.73	0.76	1.21	1.34	0.49	1.19
<i>Formula di Ventura (h)</i>	1.40	0.27	0.41	1.44	0.59	1.28	1.46	0.46	1.25
<i>US NAVY-TexasDept (h)</i>	1.85	0.12	0.46	1.85	0.58	1.16	1.16	0.58	1.76
<i>Viparelli (h)</i>	0.74	0.05	0.19	0.74	0.23	0.46	0.46	0.23	0.70
<i>NRC-SCS (h)</i>	1.99	0.11	0.89	1.99	0.73	1.72	1.78	0.88	2.24
<i>CNIII</i>	90.90	91.06	90.96	90.90	91.04	91.01	90.96	90.94	92.58
VALORE MEDIO	1.55	0.23	0.47	1.57	0.58	1.14	1.29	0.53	1.46
Viparelli con velocità da modello 2D	1.71	0.11	0.43	1.71	0.53	1.07	1.07	0.53	1.62

Tabella 13– Calcolo del tempo di corrivazione.

Utilizzando i metodi sopracitati sono state determinate le portate di piena al colmo per ogni bacino con tempo di ritorno di 200 anni. Il calcolo delle portate con il metodo SCS è stato effettuato considerando il CN_B (potenzialità di deflusso moderatamente bassa) e una condizione media di umidità del terreno antecedente l'inizio dell'evento (AMC II).

Caratteristiche Bacini						Calcolo portate								
BACINO	CN_A_medio	CN_B_medio	CN_C_medio	CN_D_medio	C.deflusso	A bacino (m ²)	A bacino (Km ²)	S	Ia	Tc [h]	heff (mm)	hnet (mm)	Qscs (m3/s)	Qc (m3/s)
TR01	72.43	81.29	88.15	91.09	0.26	2418522.88	2.42	58.48	11.70	1.55	119.81	70.16	30.43	13.66
TR02a	72.89	81.59	88.34	91.24	0.27	370807	0.37	57.32	11.46	0.23	77.66	35.48	15.93	9.52
TR02b	72.60	81.40	88.23	91.15	0.27	115737	0.12	58.03	11.61	0.47	91.44	46.23	3.16	1.66
Tombino (TR02b+TR01)	72.44	81.29	88.15	91.09	0.26	2534260	2.53	58.46	11.69	1.57	120.09	70.42	31.67	14.21
C.gronda (TR02a+TR02b)	72.83	81.55	88.31	91.22	0.27	486544	0.49	57.48	11.50	0.58	95.99	50.28	11.65	6.04
TR03	72.40	81.49	87.98	90.78	0.36	1252088	1.25	57.71	11.54	1.14	111.72	63.56	19.42	12.12
TR04	72.49	81.40	88.12	91.03	0.30	1522681	1.52	58.05	11.61	1.29	114.97	66.19	21.67	11.11
TR05	72.49	81.36	88.17	91.09	0.27	206472	0.21	58.18	11.64	0.53	94.02	48.29	5.20	2.71
TR06	76.27	84.44	89.38	91.65	0.49	1209005	1.21	46.82	9.36	1.46	118.16	76.07	17.53	13.37

Tabella 14– Calcolo delle portate.