

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. OPERE CIVILI E GESTIONE DELLE VARIANTI

PROGETTO DEFINITIVO

COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

SCALA:

-

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

I A 7 K 0 0 D 0 9 R I I D 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione esecutiva	P.Luciani	Dic. 2019	F. Cabas	Dic. 2019	T.Paoletti	Dic. 2019	A. Vittozzi	Dic. 2019

ITALFERR S.p.A.
 U.O. Opere Civili e Gestione delle Varianti
 Dott. Ing. Angelo Vittozzi
 Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma
 N° A20783

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	2 di 44

INDICE

1	PREMESSA	5
1.1	Riferimenti normativi	7
2	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE.....	8
3	IL BACINO IDROGRAFICO DEL CANALE CILLARESE	10
4	STUDIO IDROLOGICO.....	12
4.1	Analisi delle precipitazioni.....	12
4.1.1	VA.PI.: regionalizzazione delle piogge	12
4.1.2	Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche	18
4.1.3	Curve di possibilità pluviometrica di progetto	28
4.1.3.1	Canale Cillarese.....	28
4.1.3.2	Idraulica di piattaforma	36
4.2	Stima delle portate al colmo	38
4.2.1	Canale Cillarese.....	40
4.3	Determinazione degli idrogrammi di piena di progetto.....	42
5	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	44

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	3 di 44

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1– Inquadramento dell’area oggetto di intervento	5
Figura 2– Soluzione progettuale oggetto del presente PD.....	6
Figura 3– Interventi compresi nel Lotto II (in rosso).	6
Figura 4 - Reticolo idrografico Regione Puglia.....	9
Figura 5 - Sottobacini del Canale Cillarese	10
Figura 6 – VAPI Puglia: zone omogenee al terzo livello di regionalizzazione.....	16
Figura 7 - Pluviografo di Brindisi.....	18
Figura 8 - Pluviografo di Latiano	22
Figura 9 - Pluviografo di S. Pancrazio Salentino	25
Figura 10 - Bacino BC01: curve di possibilità pluviometrica VA.PI.....	29
Figura 11 - Bacino BC02: curve di possibilità pluviometrica VA.PI.....	30
Figura 12 – Bacino BC01: delimitazione dei topoietai.	32
Figura 13 – Bacino BC01: curve di possibilità pluviometrica da elaborazione statistica dei dati di pioggia..	33
Figura 14 - Bacino BC02: delimitazione dei topoietai.	34
Figura 15 - Bacino BC02: curve di possibilità pluviometrica da elaborazione statistica dei dati di pioggia. .	35
Figura 16 – Stazione di Brindisi: curve di possibilità pluviometrica per durate superiori all’ora.....	36
Figura 17 - Stazione di Brindisi: curve di possibilità pluviometrica per durate inferiori all’ora.....	37
Figura 18 – Canale Cillarese, sottobacino BC01: idrogrammi di piena di progetto.....	43
Figura 19 – Canale Cillarese, sottobacino BC02: idrogrammi di piena di progetto.....	43

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	4 di 44

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Caratteristiche morfometriche dei sottobacini del Canale Cillarese	11
Tabella 2 - Tempo di corrivazione dei sottobacini del Canale Cillarese	11
Tabella 3 - Parametri di distribuzione	14
Tabella 4 - Coefficienti del III livello di regionalizzazione	16
Tabella 5 - Valori del Fattore di Crescita	17
Tabella 6- Massime altezze di pioggia registrate presso la stazione di Brindisi per durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.....	20
Tabella 7 - Massime altezze di pioggia registrate presso la stazione di Latiano per durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.....	24
Tabella 8 - Massime altezze di pioggia registrate presso la stazione di S. Pancrazio Salentino per durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.....	27
Tabella 9 - Poligoni di Thiessen del sottobacino BC01: pesi delle singole stazioni	32
Tabella 10 - Poligoni di Thiessen del sottobacino BC02: pesi delle singole stazioni	34
Tabella 11 - Coefficienti di deflusso per i sottobacini considerati.....	40
Tabella 12 – Sottobacino BC01: portate al colmo (razionale+VAPI).....	40
Tabella 13 – Sottobacino BC01: portate al colmo (razionale+Gumbel).....	40
Tabella 14 – Sottobacino BC02: portate al colmo (razionale+VAPI).....	41
Tabella 15 – Sottobacino BC02: portate al colmo (razionale+Gumbel).....	41
Tabella 16 – Valori del CN(III) per i sottobacini considerati.....	41
Tabella 17 – Sottobacino BC01: portate al colmo (SCS-CN+VAPI).....	41
Tabella 18 – Sottobacino BC01: portate al colmo (SCS-CN+Gumbel).....	41
Tabella 19 – Sottobacino BC02: portate al colmo (SCS-CN+VAPI).....	41
Tabella 20 – Sottobacino BC02: portate al colmo (SCS-CN+Gumbel).....	41

1 PREMESSA

La presente relazione, parte integrante del progetto definitivo “*Nodo Intermodale di Brindisi – Collegamento Ferroviario dell’aeroporto del Salento con la stazione di Brindisi*”, illustra lo studio idrologico dell’area di intervento, in particolare sono descritte tutte le fasi che hanno consentito la stima delle portate al colmo del Canale Cillarese.

L’area di studio ricade a nord e nord-ovest della città di Brindisi ed è compresa tra l’asse ferroviario della linea Adriatica e l’Aeroporto del Salento.



Figura 1– Inquadramento dell’area oggetto di intervento

Il tracciato di progetto, lungo circa 6+225 km, si sviluppa all’interno del bacino del Canale Cillarese, attraversando le aree agricole a nord-ovest dell’abitato di Brindisi. In corrispondenza di due interferenze viarie, in particolare per realizzare lo scavalco della SP42 e della SS379, la livelletta ferroviaria aumenta di quota (circa +7,5 m e +10 m rispetto al piano di campagna rispettivamente).

L’intero progetto è suddiviso in due lotti:

- il lotto 1 comprende l’intero tracciato del collegamento ferroviario tra la stazione di Brindisi e la futura stazione dell’aeroporto del Salento, a partire dall’innesto con la linea Adriatica (binario dispari)

- il lotto 2 comprende il raccordo con la linea Adriatica in direzione Bari (binario pari), avente circa 1 chilometro di sviluppo, e il raccordo tra la linea Adriatica e la linea Taranto Brindisi (sviluppo circa 1,1 Km).



Figura 2– Soluzione progettuale oggetto del presente PD

I due raccordi del lotto 2 sono rappresentati (in rosso) nella figura che segue.

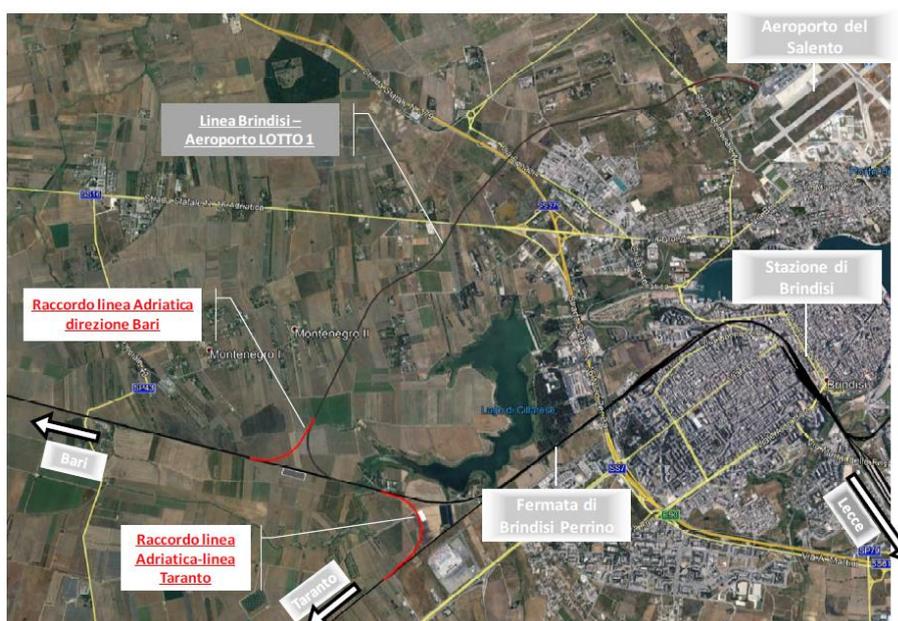


Figura 3– Interventi compresi nel Lotto II (in rosso).

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
IDROLOGIA RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001001	REV. A	FOGLIO 7 di 44

1.1 Riferimenti normativi

I principali riferimenti per il presente progetto sono dati dalle seguenti riferimenti normative e/o strumenti di pianificazione:

- Regio Decreto del 25/07/1904 n.523
- Legge n. 183/1989, “*Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo*”
- D.M. del 14 febbraio 1997 “*Direttive tecniche per l’individuazione e perimetrazione da parte delle Regioni a rischio idraulico*”
- D.L. n. 180/1998 (Decreto Sarno)
- Legge n. 365/2000 “*Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 12 ottobre 2000, n. 279, recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile*”(Legge Soverato)
- Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Puglia (PAI, 2005)
- D.Lgs. n. 152/2006 “*Norma in materia ambientale*”
- D.Lgs. n. 49/2010 “*Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi alluvioni*”
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA, 2016)
- Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018)
- Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP.
- Manuale di Progettazione delle opere ferroviarie (RFIDTCSICSMAIFS001B)

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
IDROLOGIA RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001001	REV. A	FOGLIO 8 di 44

2 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE

La verifica dell'opera di attraversamento esistente sul Canale Cillarese (che rimarrà in esercizio così come allo stato attuale; non sono previste nuove opere su tale corso d'acqua) sono state effettuate attraverso uno studio idrologico a livello di bacino idrografico per la determinazione delle portate di piena con un tempo di ritorno di 30, 200, 300 e 500 anni (per bacini aventi estensione superiore a 10 km²) e tempo di ritorno pari a 25 e 100 anni per l'idraulica di piattaforma stradale e ferroviaria, rispettivamente, in accordo al Manuale di Progettazione Ferroviaria (RFI).

Il paesaggio pugliese è dominato quasi dovunque dal calcare che può essere affiorante, coperto da formazioni rocciose o da strati più o meno sottili di terreno agrario. Proprio nella diffusione delle rocce calcaree stanno le radici di un autentico problema pugliese, tanto che Ovidio la chiamò "siticulosa". La natura prevalentemente carsica del territorio, eccezione fatta per il Tavoliere, rende la regione estremamente povera di risorse idriche superficiali. Nel contempo, il territorio è dotato di risorse idriche sotterranee anche notevoli, che hanno a tutt'oggi consentito per vaste aree il mantenimento della vocazione prevalentemente agricola ed in qualche caso l'integrazione di quelle risorse idropotabili ed industriali addotte in Puglia da regioni limitrofe, oggi sicuramente insufficienti rispetto alla domanda.

Priva di montagne, la Puglia è dunque povera di corsi d'acqua: la "protezione" appenninica da Ovest e la sua esposizione ad Est la rendono, inoltre, soggetta a scarse precipitazioni che il terreno, quasi tutto di natura carsica, assorbe copiosamente. L'intero territorio pugliese è caratterizzato dalla presenza di bacini idrografici diversi per estensione e regime di afflussi e deflussi a loro volta ricollegabili al clima ed ai caratteri morfologici ed idrogeologici. In prima approssimazione occorre operare una distinzione tra l'idrografia superficiale, che nel territorio pugliese è scarsamente sviluppata a causa della natura prevalentemente calcarea dei terreni (eccetto che nella zona pedegarganica e del Tavoliere, dove una minore permeabilità consente la formazione di diversi corsi d'acqua) e la circolazione idrica sotterranea, che, proprio a causa della stessa natura carbonatica dei terreni, riveste grande importanza nella regione. Nella penisola salentina i caratteri di elevata permeabilità dei litotipi affioranti limitano il deflusso delle acque di origine meteorica verso il mare; consentono altresì una cospicua alimentazione degli acquiferi. Si rinviene, però, un cospicuo numero di bacini delimitati completamente da spartiacque di esigua altitudine: si tratta di bacini endoerici che, in molti casi, data la presenza di coperture argillose anche di discreto spessore, danno origine a zone di allagamento. I bacini di un certo rilievo presenti nel comparto geografico salentino sono rappresentati dal bacino del fiume Grande, piuttosto stretto ed allungato in direzione Nord-Est in corrispondenza della città di Brindisi.

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	9 di 44

Una caratteristica peculiare del paesaggio fisico della Penisola Salentina è quella di avere un sistema idrografico costituito da bacini endoreici, ovvero bacini idrografici che non hanno uno sbocco naturale a mare. In questi bacini le acque di ruscellamento si concentrano nei punti più depressi per essere poi disperse nel sottosuolo, progressivamente nel tempo, per infiltrazione diffusa o attraverso sistemi carsici. In un ambiente tale, spesso ci si trova di fronte ad una rete idrografica effimera, in particolare nel settore in esame il sistema idrografico principale è rappresentato da diversi canali che costituiscono le principali vie di deflusso delle acque meteoriche.

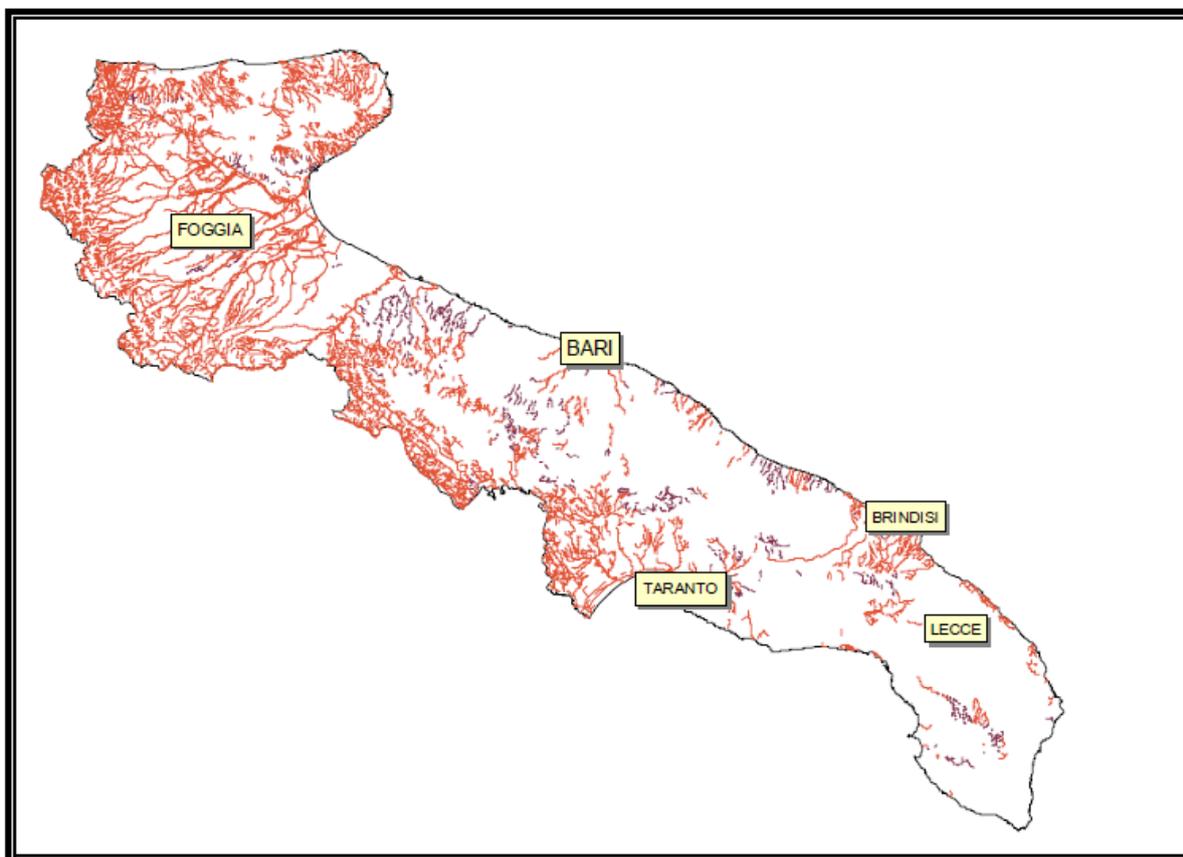


Figura 4 - Reticolo idrografico Regione Puglia

Per quanto riguarda il Canale Cillarese, il viadotto esistente sarà verificato mediante un modello idraulico bidimensionale, sviluppato ai fini della determinazione dei livelli idrici (e quindi del franco di sicurezza) e delle aree potenzialmente inondabili in funzione dei tempi di ritorno scelti.

3 IL BACINO IDROGRAFICO DEL CANALE CILLARESE

Il Bacino Idrografico del Canale Cillarese si estende da Sud verso Nord per un'estensione di circa 130km². Il Canale presenta una biforcazione a circa 1 km a nord dell'attraversamento ferroviario oggetto di studio; il bacino è stato quindi suddiviso in due sottobacini e sono state valutate le rispettive portate al colmo.



Figura 5 - Sottobacini del Canale Cillarese

In primo luogo, sono state determinate le caratteristiche morfometriche dei due sottobacini individuati quali: area, quota massima e minima, lunghezza e pendenza media dell'asta principale.

IDROLOGIA
RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	11 di 44

BC01					
A	L	Hmax	Hm	Hmin (sez.chiusura)	i_m
Km ²	Km	m.s.lm	m.s.lm	m.s.lm	-
78.59	17.35	90	57.85	25.7	0.00371

BC02					
A	L	Hmax	Hm	Hmin (sez.chiusura)	i_m
Km ²	Km	m.s.lm	m.s.lm	m.s.lm	-
52.03	24.47	109	67.35	25.7	0.0034

Tabella 1 - Caratteristiche morfometriche dei sottobacini del Canale Cillarese

Per calcolare le portate, oltre alle caratteristiche fisiche dei bacini, è necessario valutare anche il tempo di corrvazione. Nello specifico, vista l'estensione dei due sottobacini si è fatto riferimento alla nota formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{\bar{h}}}$$

in cui A è l'area del bacino idrografico espressa in km²; L è la lunghezza dell'asta principale espressa in km; \bar{h} è l'altezza media del bacino espressa in m. Riepilogando:

sottobacino	τ_c [h]
BC01	13.55
BC02	12.70

Tabella 2 - Tempo di corrvazione dei sottobacini del Canale Cillarese

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
IDROLOGIA RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001001	REV. A	FOGLIO 12 di 44

4 STUDIO IDROLOGICO

Per l'individuazione dei dati pluviometrici necessari alla stima e alla quantificazione dei volumi e delle portate di pioggia da considerare si è fatto riferimento sia a modelli di regionalizzazione sia alle registrazioni pluviometriche puntuali disponibili.

4.1 Analisi delle precipitazioni

4.1.1 VA.PI.: regionalizzazione delle piogge

Lo studio degli eventi estremi in idrologia viene condotto mediante un insieme di procedure atte a trasferire le informazioni di tipo idrologiche note come "Analisi Regionale".

Alla base di un modello di regionalizzazione vi è la preventiva individuazione del meccanismo fisico stocastico, che spiega la distribuzione della variabile idrologica di interesse nello spazio e nel dominio di frequenza statistica.

Numerosi studi sono stati condotti in Inghilterra, negli Stati Uniti ed in Italia su questi modelli a più parametri, noti in letteratura con gli acronimi GEV (Jenkinson,1955), Wakeby (Houghton 1978) e TCEV (Rossi e Versace,1982; Rossi et al. 1984).

Quest'ultima sigla deriva dall'espressione inglese Two Component Extreme Value, che rappresenta la distribuzione di probabilità corrispondente ad un certo evento estremo, sia che provenga dalla distribuzione statistica di eventi ordinari sia che provenga da quella degli eventi straordinari. A tal fine occorre sottolineare che la principale fonte di incertezza deriva proprio dagli eventi estremamente intensi che hanno caratteristiche di rarità in ogni sito e aleatorietà per quel che riguarda il sito ove potranno verificarsi nel futuro. Ciò implica che, se in un punto eventi straordinari di un certo tipo non si siano verificati storicamente, questo non è garanzia di sicurezza sulla loro non occorrenza nel futuro.

Per i massimi annuali delle precipitazioni giornaliere, è stato adottato un modello di regionalizzazione basato sull'uso della distribuzione di probabilità TCEV (legge di distribuzione di probabilità del Valore Estremo a Doppia Componente), che rappresenta la distribuzione del massimo valore conseguito, in un dato intervallo temporale, da una variabile casuale distribuita secondo la miscela di due leggi esponenziali, nell'ipotesi che il numero di occorrenze di questa variabile segua la legge di Poisson.

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
IDROLOGIA RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001001	REV. A	FOGLIO 13 di 44

Il modello proposto ammette che le due componenti, quella straordinaria e ordinaria, appartengano a popolazioni diverse, anche se è ammessa la loro interferenza attraverso un processo poissoniano. L'identificazione dei parametri della distribuzione TCEV ha consentito di costruire un modello regionale con struttura gerarchica, basata su tre livelli di regionalizzazione, grazie a cui è possibile individuare regioni in cui risulta costante il coefficiente di asimmetria, quindi risultano costanti i due parametri θ^* e Λ^* ad esso legati (primo livello di regionalizzazione), e sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante anche il coefficiente di variazione, e quindi il parametro Λ_1 che da esso dipende (secondo livello di regionalizzazione).

Il terzo livello è poi finalizzato alla ricerca di eventuali relazioni esistenti, all'interno di più piccole aree, tra il parametro di posizione della distribuzione di probabilità e le caratteristiche morfologiche. In particolare, si nota che, all'interno di dette aree, i valori medi dei massimi annuali delle precipitazioni di diversa durata sono o costanti o strettamente correlati alla quota del sito di rilevamento.

La preventiva suddivisione dell'area di studio in zone e sottozone omogenee è stata effettuata in base all'analisi delle massime precipitazioni giornaliere, di cui si dispone del maggior numero di informazioni. La procedura prevede che si ricerchino zone pluviometriche omogenee, entro le quali possano ritenersi costanti i valori dei parametri θ^* e Λ^* .

Questi parametri non possono essere stimati da un numero ristretto di serie di dati, per cui l'analisi parte dalla possibilità di considerare le 66 stazioni come appartenenti ad un'unica zona al primo livello. I risultati ottenuti dall'analisi del I° livello e II° livello di regionalizzazione sono stati ricavati con riferimento ad un'ipotesi di invarianza dei parametri θ^* e Λ^* .

L'analisi del primo livello suggerisce la presenza di un'unica zona omogenea comprensiva di tutte le stazioni della regione.

Analogamente alla procedura operata al primo livello di regionalizzazione, la successiva verifica dell'ipotesi di un'unica zona omogenea è stata effettuata attraverso il confronto delle distribuzioni di frequenza cumulata dei valori osservati del coefficiente di variazione CV e di quelli generati, ottenendo un ottimo risultato che convalida ulteriormente l'ipotesi di intera regione omogenea con un valore costante di Λ_1 .

Alla luce di tali risultati, è stato possibile assumere realistica l'ipotesi di un'unica zona omogenea al primo e al secondo livello di regionalizzazione.

Nella tabella seguente si riportano i valori numerici dei parametri di interesse per l'area di studio.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
	IDROLOGIA RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001001	REV. A

	Θ^*	Λ^*	Λ_1
Puglia centro-meridionale	2.121	0.353	17.55

Tabella 3 - Parametri di distribuzione

La distribuzione regionale della probabilità cumulata del massimo annuale di precipitazione di assegnata durata $X_{d,TR}$ viene espressa in funzione di una quantità K_{TR} , detta *fattore probabilistico di crescita*, funzione del periodo di ritorno T_R e indipendente dalla durata. Tale fattore è, in generale, funzione del tempo di ritorno TR ed è definito dal rapporto seguente:

$$K_T = \frac{X_{d,T}}{\mu(X_{d,T})}$$

essendo $X_{d,TR}$ il massimo annuale di precipitazione per assegnata durata e tempo di ritorno. La curva di distribuzione di probabilità di tale rapporto ha caratteristiche regionali in quanto è unica nell'ambito della regione nella quale sono costanti i parametri della distribuzione di probabilità della $X_{d,TR}$. Pertanto, fissati i parametri di forma e di scala della distribuzione di probabilità cumulata, all'interno della zona pluviometrica omogenea previamente identificata, è possibile esprimere la relazione tra il tempo di ritorno T_R ed il fattore di crescita K_{TR} , potendo ritenere trascurabile la variabilità del fattore di crescita con la durata. Infatti, calcolando, nelle stazioni disponibili, le medie pesate dei coefficienti di asimmetria e dei coefficienti di variazione alle diverse durate, si osserva una variabilità inferiore a quella campionaria.

L'indipendenza dalla durata di K_{TR} autorizza ad estendere anche alle piogge orarie, i risultati ottenuti con riferimento alle piogge giornaliere ai primi due livelli di regionalizzazione. Sulla scorta dei valori regionali dei parametri θ^* , Λ^* e Λ_1 , è possibile calcolare la curva di crescita per la Puglia centro – meridionale, anche se tale fattore può essere calcolata in funzione di T_R attraverso una approssimazione asintotica della curva di crescita, che ha la seguente forma:

$$K_{TR} = a + b * \ln(T_R)$$

in cui i parametri a e b sono esprimibili in funzione dei valori regionali di θ^* , Λ^* e Λ_1 . Per la Puglia settentrionale, l'espressione della curva di crescita approssimata attraverso la relazione precedente è, quindi, la seguente:

$$K_T = 0.5648 + 0.415 * \ln T_R$$

Per la Puglia centro-meridionale, l'espressione della curva di crescita approssimata attraverso la relazione precedente è, invece, la seguente:

$$K_T = 0.1599 + 0.5166 * \ln T_R$$

Va rimarcato comunque come l'utilizzo di questa approssimazione comporta una sottostima del fattore di crescita, con valori superiori al 10% per $Tr < 50$ anni e superiori al 5% per $Tr < 100$ anni.

Nel terzo livello di analisi regionale viene analizzata la variabilità spaziale del parametro di posizione (media, moda, mediana) delle serie storiche in relazione a fattori locali.

Nell'analisi delle piogge orarie, in analogia ai risultati classici della statistica idrologica, per ogni sito è possibile legare il valore medio $\mu(X_t)$ dei massimi annuali della precipitazione media di diversa durata alle durate stesse, attraverso la relazione:

$$\mu(X_d) = ad^n$$

ad essendo a ed n due parametri variabili da sito a sito. Ad essa si dà il nome di *curva di probabilità pluviometrica*.

Per l'intera regione pugliese si hanno le seguenti zone omogenee di 3° livello:

- nell'area della Puglia settentrionale, il VAPI Puglia fornisce l'individuazione di 4 aree omogenee dal punto di vista del legame fra altezza di precipitazione giornaliera $\mu(X_g)$ e quota.

Ognuna di esse è caratterizzata da una correlazione lineare con elevati valori dell'indice di determinazione tra i valori $\mu(X_g)$ e le quote sul mare h :

$$\mu(X_t) = C * h + D$$

in cui C e D sono parametri che dipendono dall'area omogenea;

- nell'area centro-meridionale della Puglia, il VAPI fornisce l'individuazione di una analoga dipendenza della precipitazione giornaliera dalla quota sul livello medio mare per le 66 stazioni pluviometriche esaminate nella regione.

Il territorio è suddivisibile in due sottozone omogenee individuate dal Nord-Barese - Murgia Centrale e dalla Penisola Salentina, contrassegnate rispettivamente come zona 5 e zona 6, in continuità con quanto visto in Puglia Settentrionale.

Alla luce di quanto fin qui esposto, la relazione che lega l'altezza media di precipitazione alla durata e alla quota del sito, per l'area in esame, è generalizzata nella forma:

$$\mu(X_d) = ad^{(Ch+D+\ln\alpha - \ln a)/\ln 24}$$

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	16 di 44

in cui a è il valor medio, pesato sugli anni di funzionamento, dei valori di $\mu(X_d)$ relativi alle serie ricadenti in ciascuna zona omogenea e $\alpha = xg/x_{24}$ è il rapporto fra le medie delle piogge giornaliere e quelle di durata 24 ore per serie storiche di pari numerosità.

Per la Puglia il valore del coefficiente α è risultato praticamente costante sull'intera regione e pari a 0.89; C e D rappresentano invece i coefficienti della regressione lineare fra il valor medio dei massimi annuali delle piogge giornaliere e la quota sul livello del mare.

Per le zone individuate (mostrate nella figura seguente), i valori dei parametri sopra descritti sono riportati nella tabella sottostante:

	α	a	C	D	N
Zona 1	0.89	28.66	0.00503	3.959	-----
Zona 2	0.89	22.23	-----	-----	0.247
Zona 3	0.89	25.325	0.000531	3.811	-----
Zona 4	0.89	24.7	-----	-----	0.256
Zona 5	0.89	28.2	0.0002	4.0837	-----
Zona 6	0.89	33.7	0.0022	4.1223	-----

Tabella 4 - Coefficienti del III livello di regionalizzazione



Figura 6 – VAPI Puglia: zone omogenee al terzo livello di regionalizzazione.

Quindi, per ottenere l'altezza di precipitazione della zona di interesse si deve moltiplicare il fattore di crescita (K_T) per la precipitazione media:

$$h = K_T \mu(X_d)$$

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
	IDROLOGIA RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001001	REV. A

Con riferimento alle 6 aree pluviometriche omogenee in cui è stato suddiviso il territorio pugliese, per ognuna di esse sono state individuate le seguenti Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP):

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

$$\text{Zona 2: } x(t, z) = 22.23t^{0.247}$$

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

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

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

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

in cui t = durata della precipitazione; z = quota media del sito.

Ai valori così ottenuti, deve essere applicato il coefficiente moltiplicativo legato al Fattore di Crescita K_T (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni); nello specifico, con riferimento alla zona in esame (Puglia Centro-Meridionale e Salento)

$$K_T = 0.1599 + 0.5166 \ln(TR)$$

Di seguito, si riportano i valori dei fattori di crescita K_T in funzione dei tempi di ritorno utilizzati nel presente studio idrologico:

Tempo di ritorno (anni)						
	25	30	100	200	300	500
Kt	1.82	2.00	2.57	2.90	3.11	3.38

Tabella 5 - Valori del Fattore di Crescita

Sulla base dei dati e delle informazioni sopra riportate, relative alla zona VAPI 6, sono state calcolate le Curve di Possibilità Pluviometrica per i sottobacini individuati, in funzione della relativa quota media, associate ai tempi di ritorno di 25, 30, 100, 200, 300 e 500 anni.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI</p>					
<p>IDROLOGIA RELAZIONE IDROLOGICA</p>	<p>COMMESSA IA7K</p>	<p>LOTTO 00D09</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>DOCUMENTO ID0001001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 18 di 44</p>

4.1.2 Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche

Sono prese in considerazione le stazioni pluviometriche di Brindisi, Latiano e San Pancrazio Salentino, ricadenti all'interno del bacino o dei sottobacini di interesse.

Pluviografo di Brindisi

E' stata analizzata statisticamente la serie storica dei dati di pioggia con durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore, registrati presso la stazione di Brindisi dal 1936 al 2013 (67 osservazioni disponibili).

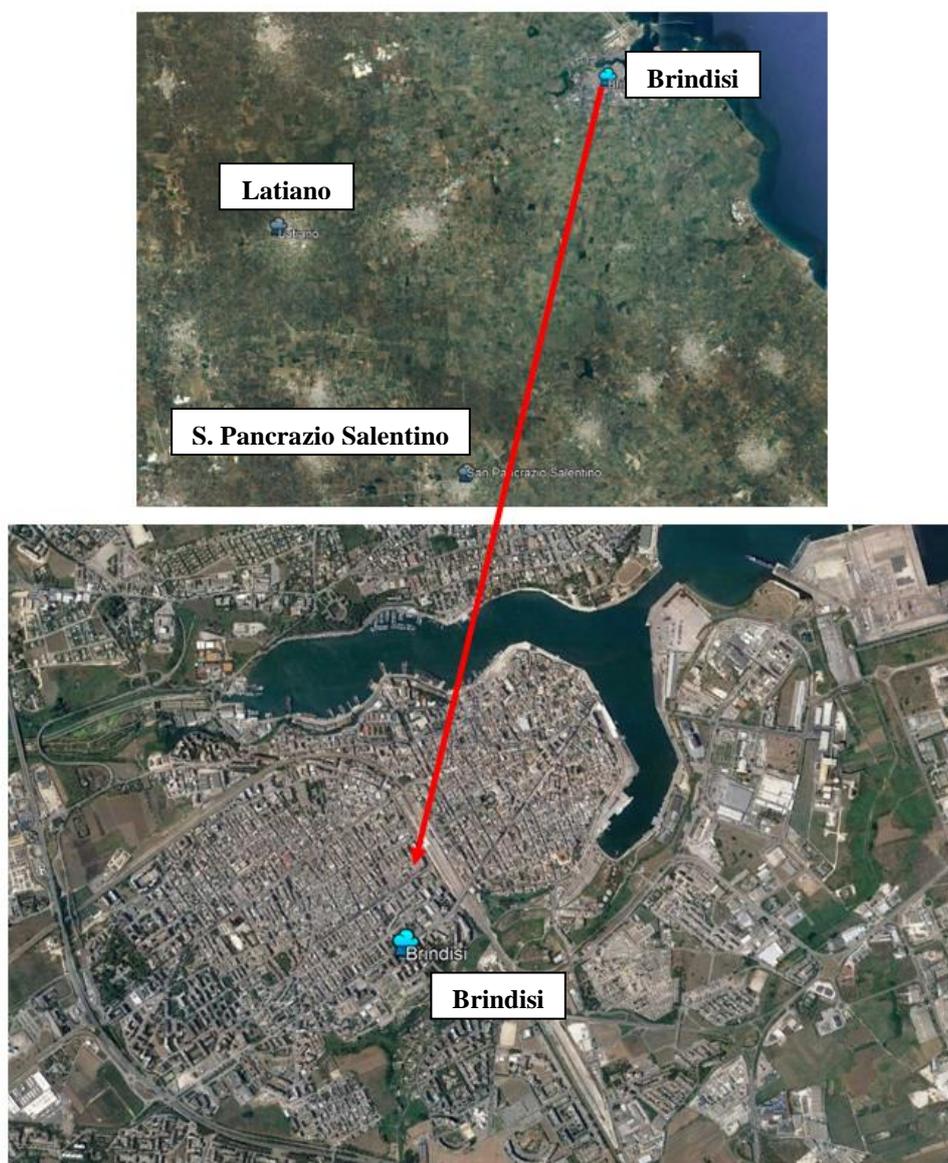


Figura 7 - Pluviografo di Brindisi

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	19 di 44

anno	h_1	h_3	h_6	h_{12}	h_{24}
1936	17.8	27.4	28.8	35.4	52.8
1937	20.8	37.0	50.0	60.6	65.2
1938	20.4	40.4	47.8	51.2	56.2
1940	47.4	47.4	80.6	80.6	80.6
1941	12.0	21.6	25.6	33.2	33.2
1943	33.0	39.4	39.4	42.4	53.8
1944	25.0	28.8	34.8	49.2	58.8
1948	17.6	19.4	19.8	39.2	40.2
1950	21.4	28.8	28.8	29.2	30.0
1951	23.8	26.0	30.0	37.2	40.8
1952	27.2	49.8	84.0	96.8	99.0
1953	60.0	88.8	94.8	95.8	100.2
1954	24.0	32.4	48.6	70.6	72.6
1955	42.8	42.8	45.8	46.4	47.2
1956	19.0	19.4	29.8	43.0	43.4
1957	54.0	54.6	54.6	56.4	68.6
1958	28.2	37.2	60.0	85.2	115.0
1959	28.0	31.4	33.4	37.6	56.4
1960	21.2	42.4	58.0	70.8	100.4
1961	29.0	51.8	65.6	68.2	68.2
1963	30.2	39.2	57.2	76.4	76.4
1964	25.2	29.0	39.0	50.0	82.0
1965	28.2	30.6	32.6	50.2	68.8
1967	38.0	48.4	66.4	73.6	73.6
1968	34.2	36.4	45.4	47.6	59.0
1969	35.6	56.4	73.4	97.0	107.4
1970	24.2	30.4	35.6	54.0	79.4
1971	25.4	29.8	29.8	46.0	78.6
1972	61.0	65.2	67.8	68.4	76.6
1973	20.4	27.8	33.2	37.6	52.4
1974	53.4	63.2	70.2	82.6	97.4
1975	38.4	45.0	45.0	45.0	45.0
1976	14.0	31.8	48.2	65.6	83.0

anno	h_1	h_3	h_6	h_{12}	h_{24}
1977	38.2	46.8	47.8	47.8	47.8
1978	15.2	22.0	32.0	33.4	52.2
1979	25.2	29.2	30.8	37.2	57.4
1980	27.8	30.0	41.6	46.4	50.6
1981	30.0	45.6	46.2	46.2	56.2
1982	38.0	39.2	39.2	39.2	46.4
1983	33.6	38.4	38.4	45.2	57.2
1984	22.6	25.8	29.0	29.0	29.0
1985	18.8	20.6	25.2	30.8	33.4
1986	56.0	93.6	115.8	119.2	124.2
1988	27.8	32.0	42.8	63.2	63.2
1989	34.4	35.8	42.0	49.6	52.8
1990	19.0	22.8	29.8	42.4	64.8
1991	46.0	70.0	120.2	127.2	137.4
1992	20.0	37.0	50.4	55.8	56.0
1994	39.4	42.6	42.6	44.6	50.8
1997	46.0	52.6	56.4	67.0	75.6
1998	40.8	43.0	51.0	68.2	125.0
1999	38.2	38.2	56.8	56.8	61.8
2000	33.4	56.8	62.6	64.6	64.6
2001	18.2	19.8	24.2	24.6	27.4
2002	38.2	49.0	55.0	77.8	83.8
2003	22.8	48.0	65.2	97.4	102.6
2004	64.0	75.6	83.2	85.0	85.6
2005	55.2	115.6	136.4	139.2	142.6
2006	17.6	18.0	22.0	29.4	40.2
2007	16.8	19.6	25.4	31.6	37.0
2008	23.8	36.8	48.2	56.2	81.0
2009	18.6	20.8	31.4	38.6	41.4
2010	31.4	50.4	69.2	76.0	76.2
2011	30.0	44.8	56.2	64.4	69.0
2012	40.0	42.0	60.4	68.0	78.4
2013	50.8	102.8	118.0	120.4	122.2

Tabella 6- Massime altezze di pioggia registrate presso la stazione di Brindisi per durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

IDROLOGIA
RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	21 di 44

Nello specifico, la serie storica considerata è stata elaborata statisticamente mediante una procedura di regolarizzazione al fine di determinare le curve di possibilità climatica $h = at^n$ relativa alla stazione pluviometrica.

La regolarizzazione per assegnati tempi di ritorno è effettuata applicando la legge di distribuzione probabilistica proposta da Gumbel. La distribuzione di Gumbel è una distribuzione asintotica del massimo valore applicata nell'interpretazione delle osservazioni dei valori massimi di variabili casuali, come ad esempio il caso delle altezze di pioggia. Il tipo della forma asintotica dipende dal modo in cui la funzione di probabilità della distribuzione originaria tende a uno: il I tipo, ovvero la distribuzione di Gumbel, corrisponde a distribuzioni la cui funzione di probabilità, illimitata superiormente, tende a uno in forma esponenziale. La corrispondente funzione di probabilità $P(x)$ può essere approssimata, per i elevati valori della variabile x , con una curva che tende esponenzialmente ad uno al tendere ad infinito di x .

Per l'analisi delle piogge, sono stati quindi calcolati i valori della media (μ), deviazione standard (σ) e dei parametri α e ε della distribuzione di Gumbel, per ogni serie storica delle altezze di precipitazione per 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

$\mu(1)$	$\mu(3)$	$\mu(6)$	$\mu(12)$	$\mu(24)$
31.49	41.90	51.51	59.78	69.03
$\sigma(1)$	$\sigma(3)$	$\sigma(6)$	$\sigma(12)$	$\sigma(24)$
12.70	19.80	24.73	25.29	26.81

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}\sigma}{\pi}; \quad \varepsilon = \mu - 0.5772\alpha$$

$\alpha(1)$	$\alpha(3)$	$\alpha(6)$	$\alpha(12)$	$\alpha(24)$
9.903022	15.43978	19.27884	19.72189	20.90467
$\varepsilon(1)$	$\varepsilon(3)$	$\varepsilon(6)$	$\varepsilon(12)$	$\varepsilon(24)$
25.97598	33.29392	40.76389	48.78975	57.38222

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	22 di 44

Pluviografo di Latiano

E' stata analizzata statisticamente la serie storica dei dati di pioggia con durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore, registrati presso la stazione di Latiano dal 1958 al 2013 (50 osservazioni disponibili).

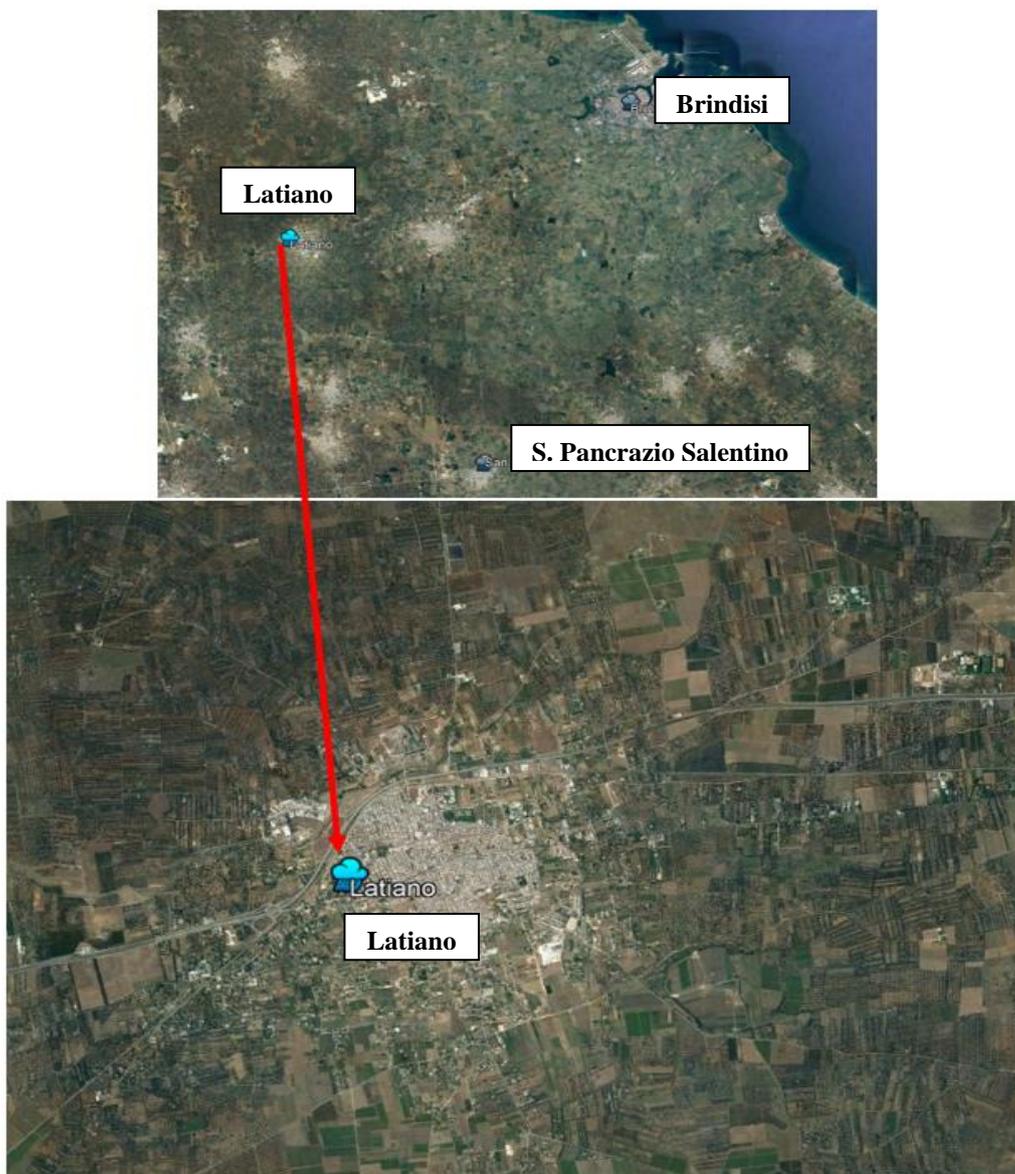


Figura 8 - Pluviografo di Latiano

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	23 di 44

anno	h_1	h_3	h_6	h_{12}	h_{24}
1958	30.2	49.4	51.8	72.0	96.4
1959	20.4	23.2	32.0	37.0	60.2
1960	35.2	40.8	63.6	102.8	130.4
1962	47.0	47.8	50.2	50.4	52.0
1963	44.0	56.4	56.6	58.4	72.4
1964	52.6	52.6	52.6	52.6	63.6
1965	14.8	18.4	19.6	35.0	52.6
1966	37.0	46.6	50.6	51.4	52.6
1967	22.0	24.8	36.0	40.6	40.6
1968	38.4	40.6	50.6	60.2	62.8
1969	32.8	44.4	62.6	75.0	106.0
1970	42.8	55.6	78.8	147.0	183.6
1971	24.0	40.0	40.8	42.8	47.2
1972	36.8	42.0	42.4	60.0	66.2
1973	25.6	31.0	31.6	39.6	48.0
1975	19.2	37.8	43.2	46.6	46.8
1976	25.8	37.4	48.4	67.8	98.0
1977	27.2	31.6	40.8	41.0	41.6
1978	16.8	19.0	24.8	34.0	35.6
1979	16.8	16.8	26.0	41.8	76.4
1980	29.6	33.4	40.4	58.2	63.6
1981	14.4	20.2	21.8	23.4	29.0
1984	17.6	24.4	33.6	33.8	34.2
1986	12.2	16.2	16.6	25.6	36.0
1987	30.4	30.4	37.8	48.0	54.8

anno	h_1	h_3	h_6	h_{12}	h_{24}
1988	37.0	44.0	52.4	61.2	64.8
1989	32.0	32.0	32.0	32.0	32.0
1990	21.2	22.0	33.0	43.8	54.6
1991	18.0	43.6	60.6	68.0	68.2
1992	29.0	38.4	55.6	57.0	59.2
1993	22.2	29.2	33.0	42.2	42.2
1995	28.6	38.0	42.6	59.4	109.0
1996	27.0	46.4	48.8	74.6	91.6
1997	22.8	44.4	74.4	78.0	90.4
1998	42.6	44.0	44.4	45.4	70.6
1999	45.4	46.4	46.4	46.4	55.8
2000	20.4	38.2	53.2	79.2	102.0
2001	26.6	32.6	45.6	47.0	51.4
2002	33.6	33.6	33.6	37.8	41.0
2003	31.0	56.2	95.0	136.2	138.4
2004	35.2	49.2	59.8	68.4	77.0
2006	25.0	38.0	44.4	60.4	101.2
2007	61.8	66.2	70.0	70.2	74.4
2008	22.8	37.2	46.8	61.4	87.0
2009	43.4	43.4	43.4	44.2	65.2
2010	32.4	64.4	79.4	96.6	102.2
2011	33.2	45.0	48.2	51.6	65.6
2012	24.2	44.0	53.4	74.4	74.6
2013	30.8	43.4	55.0	60.6	67.6

Tabella 7 - Massime altezze di pioggia registrate presso la stazione di Latiano per durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore

Come per la stazione precedente, l'elaborazione statistica dei dati di pioggia è stata effettuata tramite il metodo di Gumbel, al fine di determinare le curve di possibilità climatica $h = at^n$ relative alla stazione pluviometrica.

Di seguito, i corrispondenti valori (μ), deviazione standard (σ) e dei parametri α e ε della distribuzione di Gumbel, per ogni serie storica delle altezze di precipitazione per 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

$\mu(1)$	$\mu(3)$	$\mu(6)$	$\mu(12)$	$\mu(24)$
29.79	38.79	47.02	57.98	70.13
$\sigma(1)$	$\sigma(3)$	$\sigma(6)$	$\sigma(12)$	$\sigma(24)$
10.47	11.85	15.84	24.26	30.22

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}\sigma}{\pi}; \quad \varepsilon = \mu - 0.5772\alpha$$

$\alpha(1)$	$\alpha(3)$	$\alpha(6)$	$\alpha(12)$	$\alpha(24)$
8.164568	9.237318	12.34877	18.91715	23.56053
$\varepsilon(1)$	$\varepsilon(3)$	$\varepsilon(6)$	$\varepsilon(12)$	$\varepsilon(24)$
25.24254	33.64072	40.14376	47.43896	57.00677

Pluviografo di San Pancrazio Salentino

E' stata analizzata statisticamente la serie storica dei dati di pioggia con durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore, registrati presso la stazione di San Pancrazio Salentino dal 1957 al 2013 (49 osservazioni disponibili).

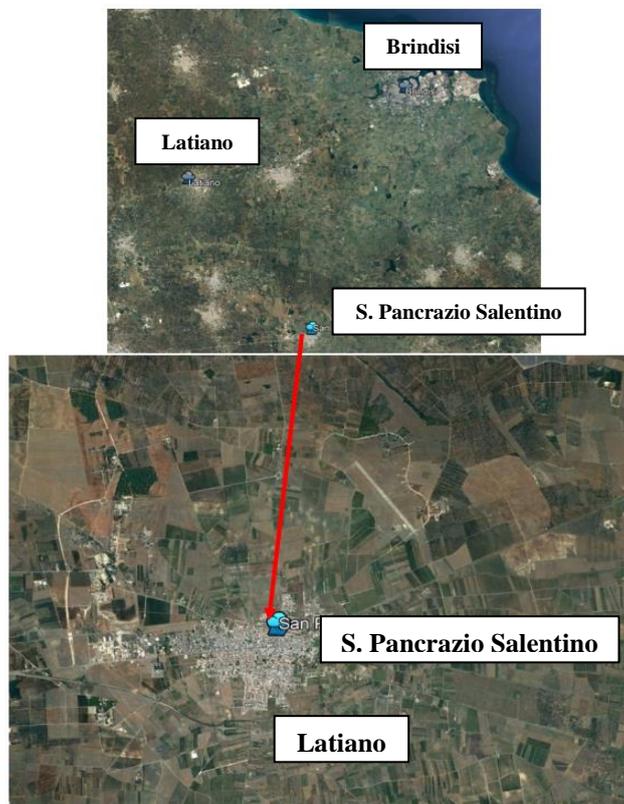


Figura 9 - Pluviografo di S. Pancrazio Salentino

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	26 di 44

anno	h_1	h_3	h_6	h_{12}	h_{24}
1957	40.2	69.0	77.2	96.0	103.0
1958	26.4	32.8	41.2	53.8	61.0
1960	57.0	82.0	110.4	143.0	175.0
1962	30.4	32.0	37.0	38.0	58.6
1963	36.4	39.4	39.6	49.6	53.2
1964	34.2	45.4	46.0	63.4	80.4
1965	11.0	17.2	19.2	32.6	44.2
1967	32.4	32.4	32.4	32.4	37.4
1968	47.8	98.2	104.0	105.0	105.0
1969	45.2	51.2	55.2	58.8	76.0
1970	45.0	52.8	56.4	56.4	74.2
1972	31.4	50.0	80.0	97.6	120.8
1973	23.0	29.4	41.0	52.4	59.2
1974	60.0	62.2	65.0	65.4	75.6
1975	53.4	82.0	82.0	82.0	82.0
1976	17.2	36.6	61.0	86.0	110.4
1977	41.6	43.6	45.4	46.6	47.4
1978	30.6	31.2	31.2	40.6	42.2
1979	20.0	20.4	22.2	41.6	79.0
1980	52.0	113.0	123.0	124.2	124.8
1981	57.0	65.6	65.6	73.8	99.0
1982	23.6	27.0	38.8	51.6	66.2
1983	23.0	25.0	36.8	51.4	66.2
1985	33.8	38.0	50.0	58.6	73.4

anno	h_1	h_3	h_6	h_{12}	h_{24}
1987	28.6	48.6	57.4	94.0	94.8
1989	48.8	48.8	48.8	48.8	49.0
1992	21.6	33.8	43.2	58.4	61.2
1993	>>	61.2	72.2	72.4	85.2
1994	>>	25.6	32.6	40.0	48.2
1996	45.8	63.2	104.4	139.4	139.8
1997	36.0	64.4	88.0	89.8	91.2
1998	37.4	41.2	41.8	48.2	74.6
1999	72.8	105.4	105.6	105.6	105.6
2000	26.8	40.2	69.8	81.6	92.6
2001	27.2	28.2	28.2	28.6	47.0
2002	39.2	39.2	41.0	41.2	41.2
2003	22.4	33.8	56.0	86.6	91.0
2004	32.6	43.8	49.2	73.8	80.6
2005	62.2	68.8	71.2	71.4	71.8
2006	54.2	67.2	68.4	72.6	85.4
2007	13.8	28.2	45.8	76.0	76.6
2008	28.2	53.6	65.8	74.0	91.4
2009	33.2	51.0	52.0	79.8	84.0
2010	25.4	39.6	64.8	65.0	74.6
2011	23.0	30.2	48.8	69.0	73.2
2012	41.4	43.0	54.4	62.0	62.0
2013	44.0	101.0	121.4	147.4	149.6

Tabella 8 - Massime altezze di pioggia registrate presso la stazione di S. Pancrazio Salentino per durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

In analogia alle precedenti stazioni, l'elaborazione statistica dei dati di pioggia è stata effettuata tramite il metodo di Gumbel, al fine di determinare le curve di possibilità climatica $h = at^n$ relative alla stazione pluviometrica.

Di seguito, i corrispondenti valori (μ), deviazione standard (σ) e dei parametri α e ε della distribuzione di Gumbel, per ogni serie storica delle altezze di precipitazione per 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

$\mu(1)$	$\mu(3)$	$\mu(6)$	$\mu(12)$	$\mu(24)$
36.38	49.71	59.39	70.77	80.53
$\sigma(1)$	$\sigma(3)$	$\sigma(6)$	$\sigma(12)$	$\sigma(24)$
13.89	22.94	25.57	28.65	28.93

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}\sigma}{\pi}; \quad \varepsilon = \mu - 0.5772\alpha$$

$\alpha(1)$	$\alpha(3)$	$\alpha(6)$	$\alpha(12)$	$\alpha(24)$
10.82811	17.88452	19.93424	22.34216	22.55942
$\varepsilon(1)$	$\varepsilon(3)$	$\varepsilon(6)$	$\varepsilon(12)$	$\varepsilon(24)$
30.3488	39.74538	48.28413	58.32541	67.95755

4.1.3 Curve di possibilità pluviometrica di progetto

Le curve di possibilità pluviometrica (CPP) esprimono la relazione tra le altezze massime e le durate di pioggia che si possono verificare in una determinata zona, per un assegnato valore del periodo di ritorno. Esistono diverse funzioni del tipo $h=f(t)$ a due o tre parametri che, con buona precisione, descrivono le curve di possibilità climatica. In Italia si utilizzano espressioni esponenziali monomie derivanti dalla legge a due parametri di Massari: $h=at^n$, con h e t rispettivamente l'altezza (in mm) e la durata (in ore) della pioggia; a e n sono invece i parametri caratteristici della CPP, con " a " funzione del tempo di ritorno e " n " invece indipendente da esso.

4.1.3.1 Canale Cillarese

VA.PI.

Sottobacino BC01

Sulla base della quota media del sottobacino BC01 del Canale Cillarese (+57.85 m slm), sono state quindi determinate le corrispondenti curve di possibilità pluviometrica di progetto secondo la metodologia VA.PI. della Regione Puglia, le cui espressioni, per i vari tempi di ritorno considerati, sono di seguito riportate.

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	29 di 44

$$Tr = 25 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 61.33t^{0.190}$$

$$Tr = 30 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 67.40t^{0.190}$$

$$Tr = 100 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 86.61t^{0.190}$$

$$Tr = 200 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 97.73t^{0.190}$$

$$Tr = 300 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 104.69t^{0.190}$$

$$Tr = 500 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 113.91t^{0.190}$$

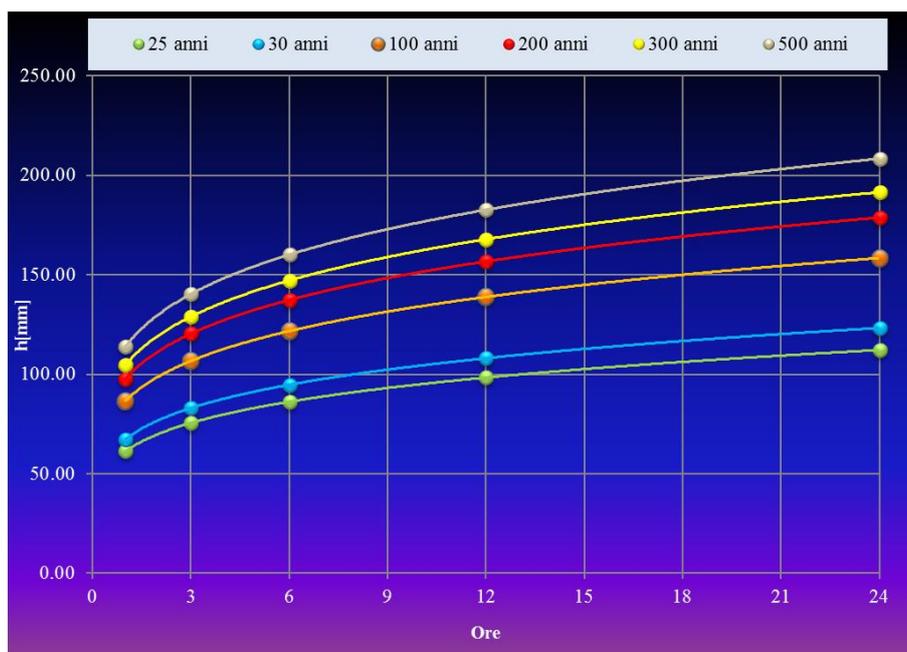


Figura 10 - Bacino BC01: curve di possibilità pluviometrica VA.PI

Sottobacino BC02

Con riferimento alla quota media del sottobacino in esame BC02 (+67.35 m slm), mediante la metodologia VA.PI. della Regione Puglia sono state determinate le seguenti curve di possibilità pluviometrica, per i differenti tempi di ritorno considerati.

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	30 di 44

$$Tr = 25 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 61.3t^{0.196}$$

$$Tr = 30 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 67.39t^{0.196}$$

$$Tr = 100 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 86.6t^{0.196}$$

$$Tr = 200 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 97.7t^{0.196}$$

$$Tr = 300 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 104.65t^{0.196}$$

$$Tr = 500 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 113.9t^{0.196}$$

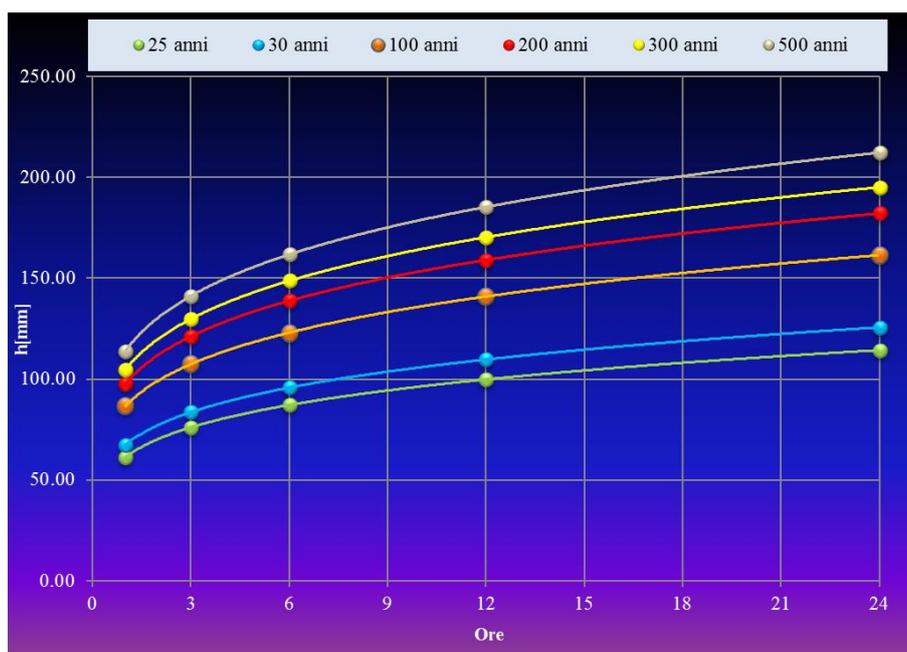


Figura 11 - Bacino BC02: curve di possibilità pluviometrica VA.PI

Stazioni pluviometriche di Brindisi, Latiano e San Pancrazio Salentino

Per la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica relative all'elaborazione statistica dei dati di pioggia disponibili presso le tre stazioni considerate, ragguagliate all'area dei sottobacini di interesse, si è fatto riferimento al metodo dei topoi o dei poligoni di Thiessen.

Il metodo dei poligoni di Thiessen (o dei topoi) è un metodo grafico che consiste nel suddividere l'area di interesse in n aree di influenza, una per ogni stazione di misura.

IDROLOGIA
RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	31 di 44

Una volta tracciati i topoieti (i.e. poligoni irregolari definiti dalle perpendicolari ai segmenti che uniscono le stazioni contigue) si attribuisce ad ogni stazione come area di influenza quella compresa all'interno del poligono in cui la stazione stessa ricade. In ciascuna di queste aree si assume che l'altezza di pioggia sia costante e pari a quella della stazione ricadente all'interno del relativo topoieto. In generale, l'area di interesse copre, anche solo parzialmente, l'area di influenza di più topoieti.

Per poter stimare l'influenza che la singola stazione ha sulle precipitazioni viene determinato un coefficiente ponderale γ_i relativo appunto alla stazione di registrazione i -esima:

$$\gamma_{i,s} = \frac{S_i}{S}$$

in cui S_i è l'area del singolo poligono e S è l'area totale del bacino. Calcolato il coefficiente ponderale si procede al calcolo della pioggia mediata applicando la seguente formulazione:

$$\bar{h}(t) = \sum_{i=1}^n h(t)_i \frac{S_i}{S}$$

Nel caso in esame si è proceduto quindi all'analisi statistica dei dati di pioggia registrati presso le tre singole stazioni pluviometriche ricavando così, al variare del tempo di ritorno, i parametri a ed n delle corrispondenti CPP. Individuate le aree di influenza delle tre stazioni nei sottobacini del Canale Cillarese sopra definiti è stato applicato il metodo dei poligoni di Thiessen ricavando così i valori di altezza di pioggia mediati sulle relative aree.

Di seguito, si riportano i poligoni di Thiessen e le CPP ragguagliate all'area (per i tempi di ritorno di 25, 30, 100, 200, 300 e 500 anni), per ognuno dei sottobacini considerati.

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	32 di 44

Sottobacino BC01

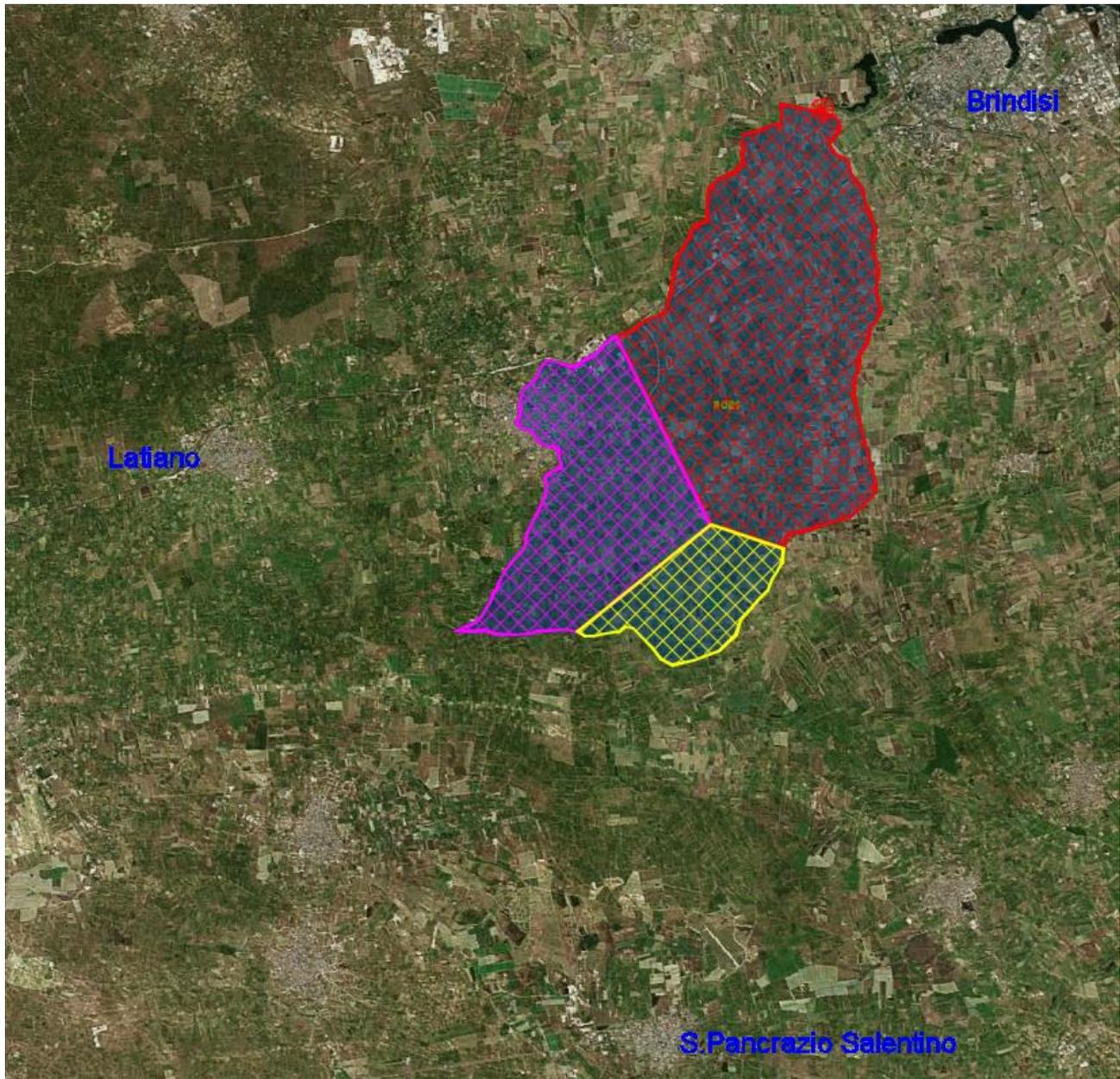


Figura 12 – Bacino BC01: delimitazione dei topoieti.

Stazione	Area [km ²]	Peso [%]
Brindisi	46.40	59%
Latiano	23.17	30%
S. Pancrazio Salentino	9.02	11%

Tabella 9 - Poligoni di Thiessen del sottobacino BC01: pesi delle singole stazioni

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	33 di 44

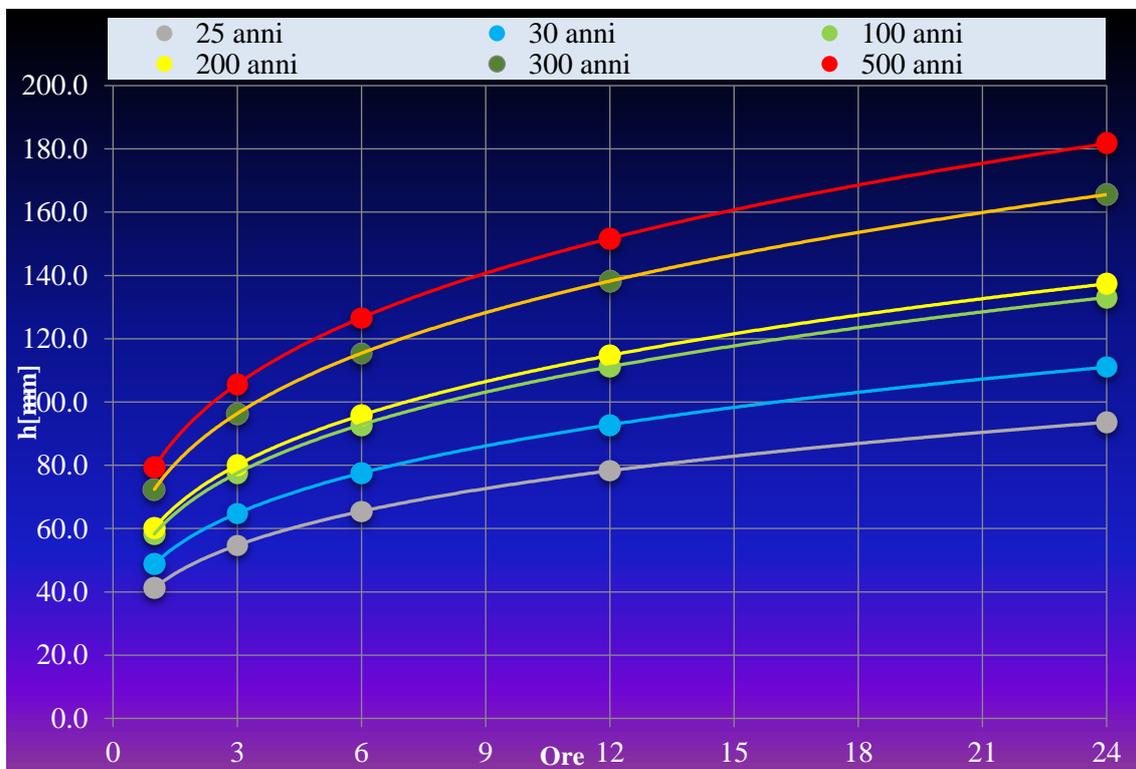


Figura 13 – Bacino BC01: curve di possibilità pluviometrica da elaborazione statistica dei dati di pioggia.

$$Tr = 25 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 41.23t^{0.258}$$

$$Tr = 30 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 48.77t^{0.259}$$

$$Tr = 100 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 58.30t^{0.259}$$

$$Tr = 200 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 60.17t^{0.259}$$

$$Tr = 300 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 72.39t^{0.260}$$

$$Tr = 500 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 79.38t^{0.260}$$

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	34 di 44

Sottobacino BC02

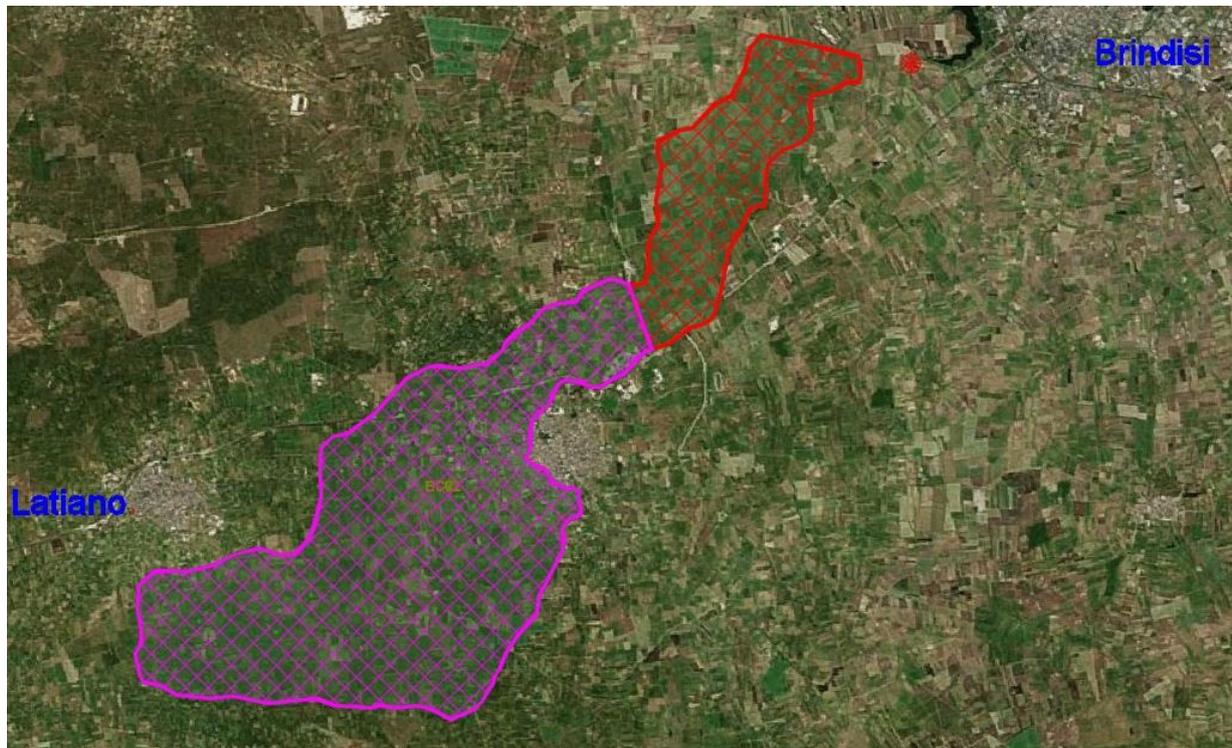


Figura 14 - Bacino BC02: delimitazione dei topoietai.

Stazione	Area [km ²]	Peso [%]
Brindisi	11.10	21%
Latiano	40.90	79%
S. Pancrazio Salentino	0.00	0%

Tabella 10 - Poligoni di Thiessen del sottobacino BC02: pesi delle singole stazioni

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	35 di 44

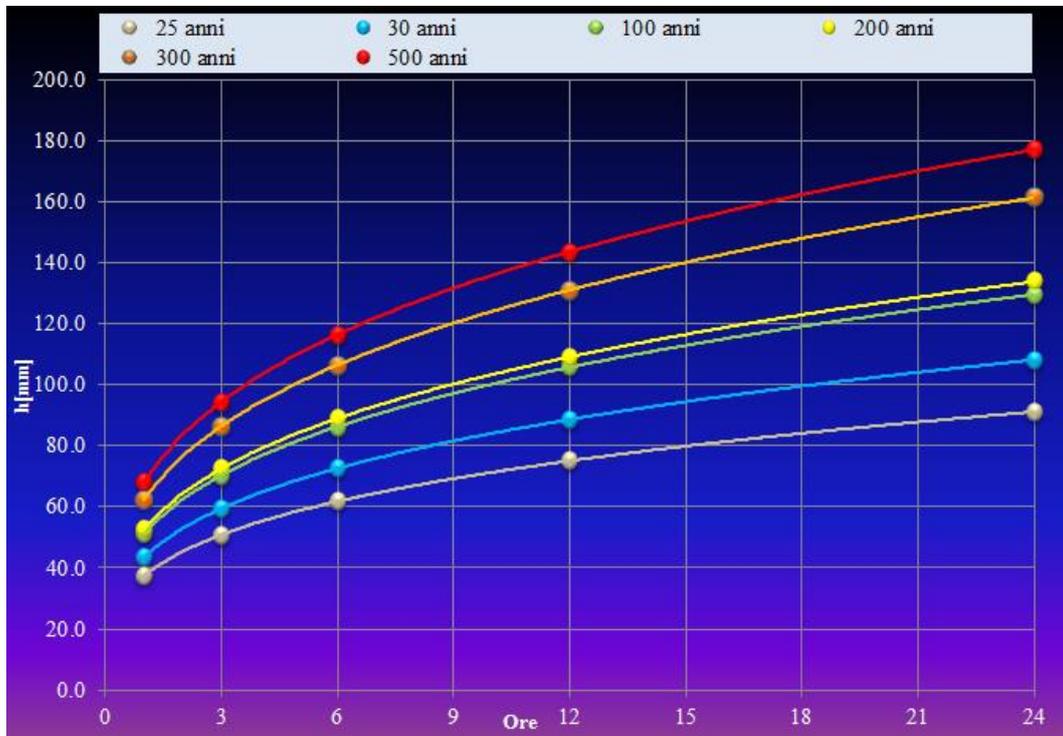


Figura 15 - Bacino BC02: curve di possibilità pluviometrica da elaborazione statistica dei dati di pioggia.

$$Tr = 25 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 37.42t^{0.280}$$

$$Tr = 30 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 43.43t^{0.287}$$

$$Tr = 100 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 51.03t^{0.293}$$

$$Tr = 200 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 52.52t^{0.294}$$

$$Tr = 300 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 62.27t^{0.299}$$

$$Tr = 500 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 67.85t^{0.302}$$

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	36 di 44

4.1.3.2 Idraulica di piattaforma

L'intero intervento in progetto ricade all'interno del poligono di Thiessen della stazione di Brindisi. Per il dimensionamento delle opere di drenaggio della piattaforma ferroviaria e stradale si è fatto quindi riferimento alle CPP (*sito-specifiche*) della stazione di Brindisi.

Di seguito, si riportano le corrispondenti curve di possibilità pluviometrica estrapolate dalle precedenti elaborazioni statistiche, per i tempi di ritorno di 25, 30, 100, 200, 300 e 500 anni.

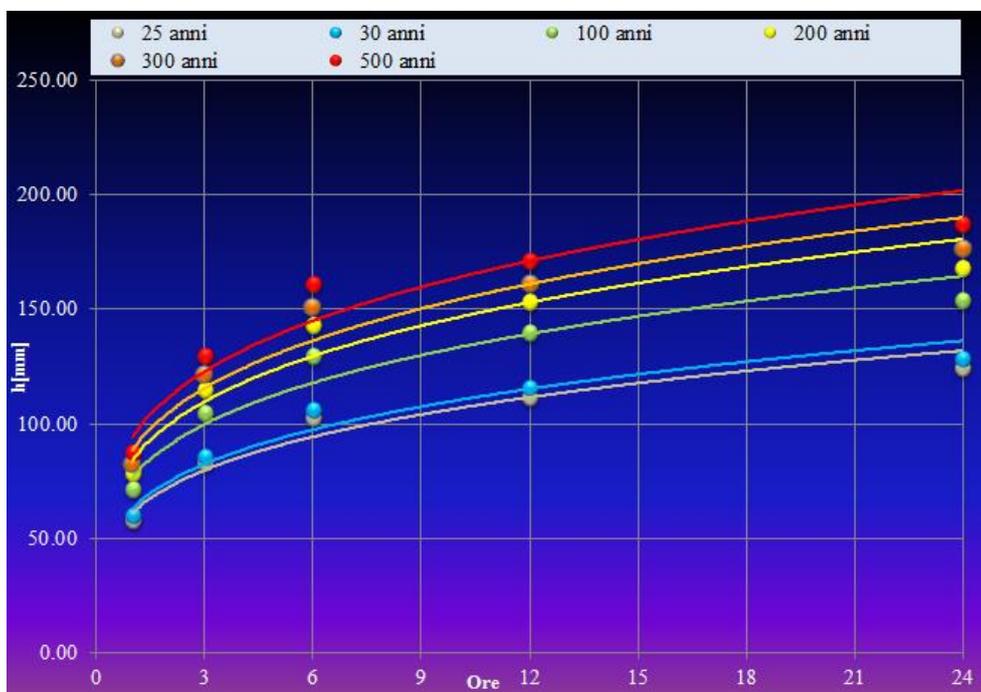


Figura 16 – Stazione di Brindisi: curve di possibilità pluviometrica per durate superiori all'ora.

$$Tr = 25 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 61.18t^{0.242}$$

$$Tr = 30 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 63.24t^{0.242}$$

$$Tr = 100 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 76.69t^{0.240}$$

$$Tr = 200 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 84.39t^{0.239}$$

$$Tr = 300 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 88.89t^{0.239}$$

$$Tr = 500 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 94.55t^{0.239}$$

IDROLOGIA
RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	37 di 44

Stima delle piogge di forte intensità e breve durata

Per il dimensionamento delle opere di drenaggio della piattaforma ferroviaria e stradale generalmente si ricorre all'utilizzo di CPP per durate inferiori all'ora. Nel caso in esame, non sono disponibili dati storici relativi a registrazioni di eventi meteorici di breve durata e forte intensità. E' necessario quindi applicare relazioni riportate nella letteratura tecnica. Con riferimento allo studio Ferro & Bagarello (1996), per la Regione Puglia è possibile ricorrere alla seguente relazione $\frac{h_t}{h_{60}} = \left(\frac{t}{60}\right)^s$, con h_t = altezza di pioggia di durata pari a t ; h_{60} = altezza di pioggia oraria; $s = 0.227$ (per la Regione Puglia).

Rielaborando quindi le CPP per durate superiori all'ora, sopra richiamate, mediante la relazione di Ferro & Bagarello (1996) si ottengono le seguenti CPP per durate inferiori all'ora.

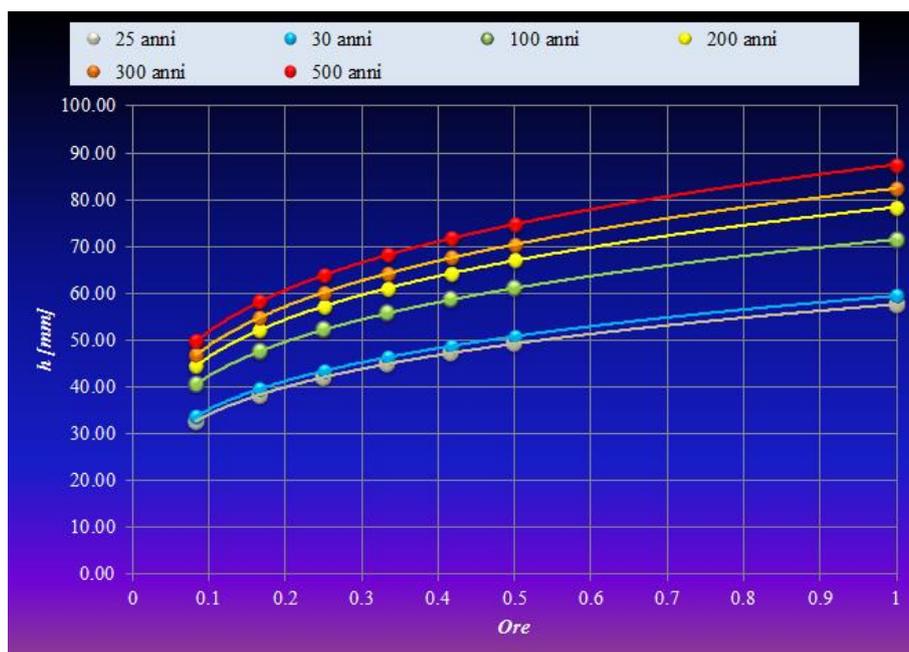


Figura 17 - Stazione di Brindisi: curve di possibilità pluviometrica per durate inferiori all'ora.

$$Tr = 25 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 57.65t^{0.227}; \quad Tr = 30 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 59.49t^{0.227}$$

$$Tr = 100 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 71.53t^{0.227}; \quad Tr = 200 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 78.42t^{0.227}$$

$$Tr = 300 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 82.44t^{0.227}; \quad Tr = 500 \text{ anni} \rightarrow h(t) = 87.51t^{0.227}$$

4.2 Stima delle portate al colmo

Per il calcolo delle portate al colmo del Canale Cillarese sono stati adottati due modelli di trasformazione *afflussi-deflussi*: il metodo della corrivazione (o razionale) ed il metodo SCS-CN (Curve Number).

Metodo razionale

Il metodo razionale si basa sull'ipotesi che durante un evento meteorico, che inizi istantaneamente e continui con intensità costante nel tempo e nello spazio, la portata aumenti sino ad un tempo pari al tempo di corrivazione τ_c , ossia quando l'area di tutto il bacino contribuisce al deflusso.

La portata al colmo Q_{max} è quindi proporzionale al prodotto tra intensità di pioggia e area del bacino attraverso il coefficiente di afflusso φ .

$$Q_{max} = 278 \frac{\varphi \cdot S \cdot h}{\tau_c}$$

in cui h = altezza di pioggia [m]; S = area del bacino [km²]; τ_c = tempo di corrivazione [ore]. Nel caso in esame, la determinazione del tempo di corrivazione, come precedentemente specificato, è stata effettuata mediante la formula di Giandotti. Il coefficiente di deflusso (medio sul singolo sottobacino) è stato valutato sulla base della copertura del suolo riportata nel Corine Land Cover (CLC) al 4° Livello (Ispra, 2012).

Metodo SCS

Il CN (Curve Number) è un parametro sintetico che esprime l'attitudine di una porzione di territorio a produrre deflusso diretto (superficiale) proposto dal *Soil Conservation Service* (USDA) nel 1972. Il CN varia da zero a cento. Più alto è il valore maggiore è il deflusso prodotto a parità di precipitazione.

Tale modello è concentrato nello spazio e nel tempo e si basa sulla semplificazione concettuale del processo idrologico. La sua formulazione deriva dall'equazione di bilancio fra i valori cumulati nel tempo dei principali termini dell'afflusso e quelli del deflusso. Si ipotizza che durante l'intero evento preso in considerazione resti invariata la seguente relazione di proporzionalità tra le perdite per infiltrazione e il deflusso superficiale:

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

in cui F = perdite effettive generate durante l'evento [mm]; S = massima capacità di ritenzione idrica del suolo [mm]; Q = pioggia netta cumulata [mm]; P = pioggia lorda cumulata [mm]; I_a = perdite iniziali dovute all'intercettazione, all'infiltrazione e alla saturazione delle depressioni superficiali [mm].

Lo sviluppo successivo richiede la stima della portata massima adottando come forzante del bacino una pioggia netta P_e , dall'inizio dell'evento meteorico fino all'istante generico t , legata al volume specifico di pioggia lorda P , caduta nel medesimo intervallo temporale, tramite la relazione:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

in cui S è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione ed I_a è la cosiddetta perdita iniziale. Questa relazione è valida soltanto per:

$$P \geq I_a$$

mentre nel caso in cui l'altezza di pioggia risulti minore di I_a si ha $P_e = 0$.

I parametri S e I_a possono essere determinati attraverso operazioni di taratura del modello, ma in maniera semplificata si adotta $I_a = 0,2 \cdot S$. La valutazione di S (espresso in mm) può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN , tramite l'equazione:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

L'indice CN , numero adimensionale compreso tra 0 e 100, è una funzione della natura del suolo, del tipo di copertura vegetale e delle condizioni di umidità del suolo antecedenti la precipitazione. Nella fattispecie esistono quattro gruppi che distinguono le tipologie di terreno sulla base delle capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento: a ciascuno di essi corrisponde un determinato valore di CN . Per quanto riguarda l'influenza dello stato di imbibimento del suolo all'inizio dell'evento meteorico, il metodo individua tre classi (I, II, III) caratterizzate da differenti condizioni iniziali (AMC).

E' stato quindi dapprima valutato il valore (medio sul singolo sottobacino) di $CN(II)$, dedotto sempre sulla base del Corine Land Cover al IV livello (Ispra, 2012), e successivamente quello del $CN(III)$ mediante la seguente formulazione:

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)}$$

Note le altezze di pioggia (P e P_e) al variare del tempo di ritorno, la portata al colmo è valutata come:

$$Q = 0.208 \frac{P_e A}{t_a}$$

dove t_a è il tempo di accumulo definito come:

$$t_a = \frac{1}{2} t_p + t_l$$

in cui t_p è il tempo di pioggia coincidente con il tempo di corrivazione e t_l (*lag time*) è il tempo di ritardo valutabile come: $t_l = 0.6 \cdot \tau_c$.

4.2.1 Canale Cillarese

Metodo razionale

Nella tabella sottostante si riportano i valori dei coefficienti di deflusso determinati secondo quanto indicato in precedenza.

sottobacino	ϕ
BC01	0.40
BC02	0.50

Tabella 11 - Coefficienti di deflusso per i sottobacini considerati.

Applicando il metodo razionale e considerando le CPP derivanti dalla metodologia VAPI e dall'analisi statistica delle registrazioni pluviometriche (Gumbel), si ottengono i seguenti valori di portata al colmo per i sottobacini in esame, per i tempi di ritorno di 30, 200, 300 500 anni (considerati nelle annesse verifiche idrauliche).

Q(25) [m ³ /s]	Q(30) [m ³ /s]	Q(100) [m ³ /s]	Q(200) [m ³ /s]	Q(300) [m ³ /s]	Q(500) [m ³ /s]
64.9	71.28	91.6	103.40	110.7	120.47

Tabella 12 – Sottobacino BC01: portate al colmo (razionale+VAPI).

Q(25) [m ³ /s]	Q(30) [m ³ /s]	Q(100) [m ³ /s]	Q(200) [m ³ /s]	Q(300) [m ³ /s]	Q(500) [m ³ /s]
52.1	61.74	73.8	76.17	91.88	100.75

Tabella 13 – Sottobacino BC01: portate al colmo (razionale+Gumbel).

Q(25) [m ³ /s]	Q(30) [m ³ /s]	Q(100) [m ³ /s]	Q(200) [m ³ /s]	Q(300) [m ³ /s]	Q(500) [m ³ /s]
56.6	62.1	79.9	90.1	96.55	105.1

Tabella 14 – Sottobacino BC02: portate al colmo (razionale+VAPI).

Q(25) [m ³ /s]	Q(30) [m ³ /s]	Q(100) [m ³ /s]	Q(200) [m ³ /s]	Q(300) [m ³ /s]	Q(500) [m ³ /s]
43.4	51.25	61.1	63.1	75.8	83.20

Tabella 15 – Sottobacino BC02: portate al colmo (razionale+Gumbel).

Metodo SCS-CN

Nella tabella seguente si riportano i valori del CN(III), determinati secondo quanto indicato in precedenza.

sottobacino	CN(III)
BC01	86.6
BC02	89.3

Tabella 16 – Valori del CN(III) per i sottobacini considerati.

Applicando il metodo SCS-CN e considerando le CPP derivanti dalla metodologia VAPI e dall'analisi statistica delle registrazioni pluviometriche (Gumbel), si ottengono i seguenti valori di portata al colmo per i sottobacini in esame, per i tempi di ritorno di 30, 200, 300 500 anni (considerati nelle annesse verifiche idrauliche).

Q(25) [m ³ /s]	Q(30) [m ³ /s]	Q(100) [m ³ /s]	Q(200) [m ³ /s]	Q(300) [m ³ /s]	Q(500) [m ³ /s]
71.5	81.6	114.0	133.1	145.1	161.1

Tabella 17 – Sottobacino BC01: portate al colmo (SCS-CN+VAPI).

Q(25) [m ³ /s]	Q(30) [m ³ /s]	Q(100) [m ³ /s]	Q(200) [m ³ /s]	Q(300) [m ³ /s]	Q(500) [m ³ /s]
52.0	66.7	85.6	89.3	114.5	128.8

Tabella 18 – Sottobacino BC01: portate al colmo (SCS-CN+Gumbel).

Q(25) [m ³ /s]	Q(30) [m ³ /s]	Q(100) [m ³ /s]	Q(200) [m ³ /s]	Q(300) [m ³ /s]	Q(500) [m ³ /s]
54.5	61.7	84.8	98.3	106.9	118.2

Tabella 19 – Sottobacino BC02: portate al colmo (SCS-CN+VAPI).

Q(25) [m ³ /s]	Q(30) [m ³ /s]	Q(100) [m ³ /s]	Q(200) [m ³ /s]	Q(300) [m ³ /s]	Q(500) [m ³ /s]
37.9	47.8	60.4	62.9	79.4	89.2

Tabella 20 – Sottobacino BC02: portate al colmo (SCS-CN+Gumbel).

	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
IDROLOGIA RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA IA7K	LOTTO 00D09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0001001	REV. A	FOGLIO 42 di 44

I calcoli effettuati mostrano che le CPP derivanti dalla metodologia VAPI e il modello di trasformazione afflussi-deflussi SCS-CN sono più cautelativi delle CPP derivanti dall'elaborazione delle registrazioni pluviometriche e del metodo razionale, rispettivamente.

In definitiva la metodologia più cautelativa risulta essere “*CPP da VAPI + metodo SCS-CN*”.

4.3 Determinazione degli idrogrammi di piena di progetto

Ai fini della determinazione degli idrogrammi di piena di progetto del Canale Cillarese, da inserire come condizioni al contorno nel modello numerico idraulico (in regime di moto vario) sviluppato (per maggiori dettagli si rimanda alla relazione idraulica annessa), la metodologia più cautelativa “*CPP da VAPI + metodo SCS-CN*”, sopra definita, è stata implementata nel software HEC-HMS 4.3 del US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

In particolare, nel codice di calcolo HEC-HMS l'esecuzione di una simulazione idrologica richiede la specificazione di tre insiemi di dati (componenti idrologici):

- *Basin Model*: rappresentazione delle caratteristiche morfometriche del bacino idrografico in esame e scelta del modello di trasformazione afflussi-deflussi
- *Meteorologic Model*: dati meteorologici relativi alle precipitazioni (curve di possibilità pluviometrica e forma dello istogramma);
- *Control Specifications*: informazioni temporali necessarie per la computazione.

E' stato quindi applicato il metodo SCS-CN, considerando i valori dei parametri caratteristici (*CN* e *lag time*) come sopra definiti; sono state considerate poi le CPP derivanti dalla metodologia VAPI con forma dello ietogramma di tipo Chicago, centrato (picco a 0.5 e intervallo temporale pari a 15 minuti).

Di seguito, gli idrogrammi di piena di progetto, per i sottobacini considerati.

IDROLOGIA

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	43 di 44

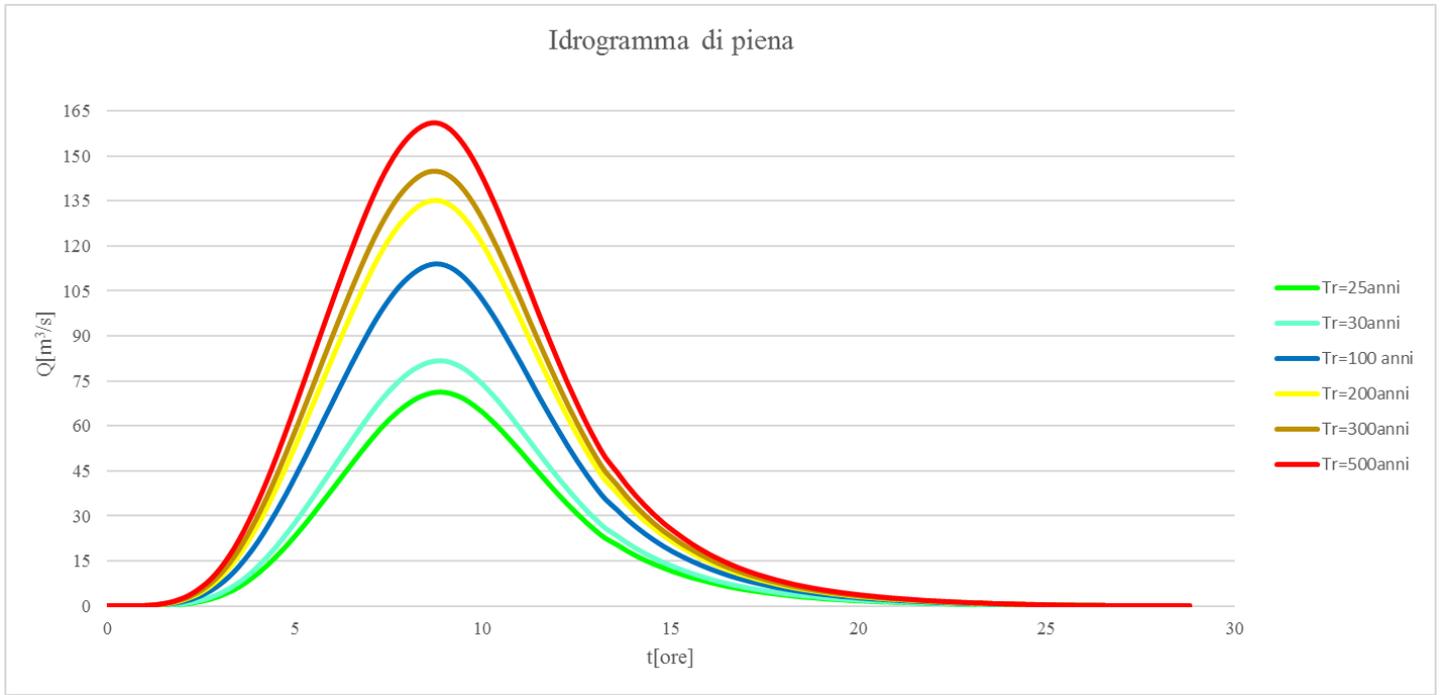


Figura 18 – Canale Cillarese, sottobacino BC01: idrogrammi di piena di progetto.

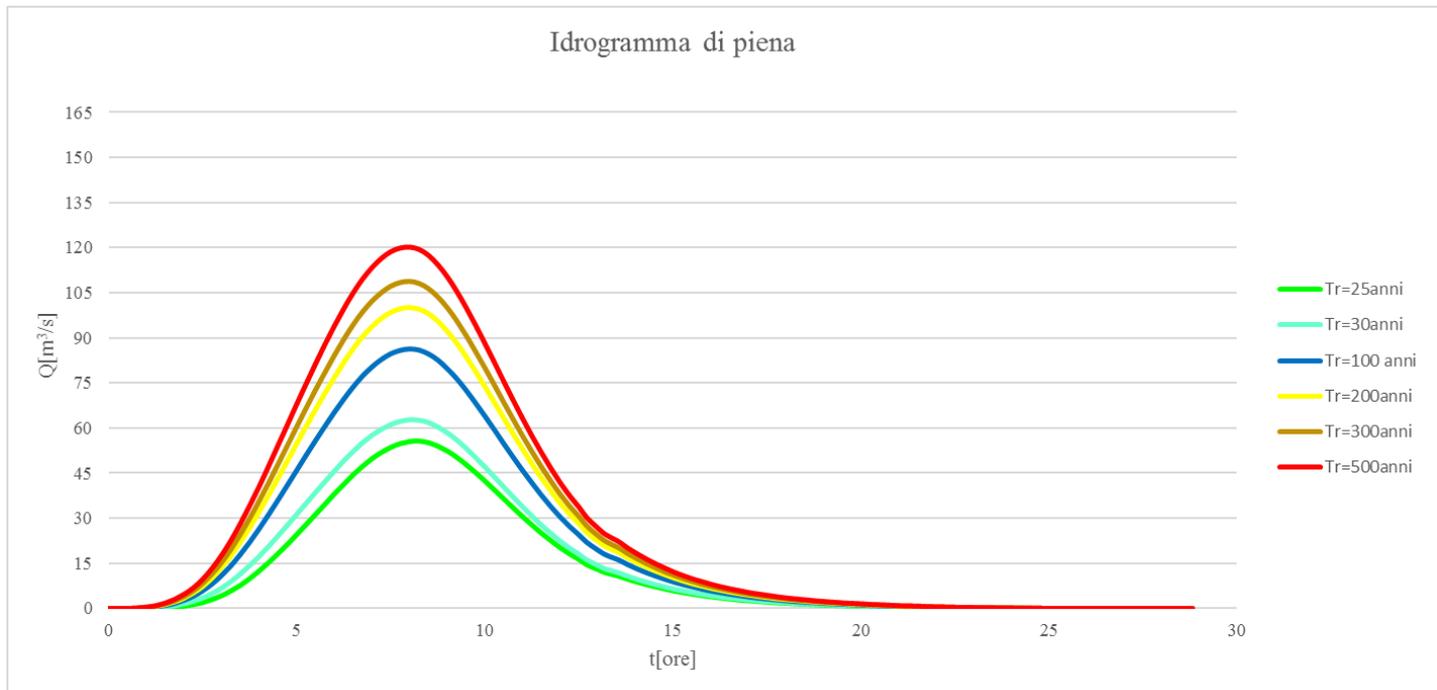


Figura 19 – Canale Cillarese, sottobacino BC02: idrogrammi di piena di progetto.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PROGETTO DEFINITIVO NODO INTERMODALE DI BRINDISI COLLEGAMENTO FERROVIARIO DELL'AEROPORTO DEL SALENTO CON LA STAZIONE DI BRINDISI					
IDROLOGIA RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IA7K	00D09	RI	ID0001001	A	44 di 44

5 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

Autorità di Bacino della Puglia – Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI)

Analisi Regionale dei massimi annuali delle precipitazioni Puglia centro-meridionale

GNDCI Linea 1. Rapporti di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia

Corine Land Cover 2012 IV Livello - ISPRA

Soil Conservation Service, (1972) National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A.

Rainfall Depth – Duration Relationship for South Italy, (1996) Vito Ferro and Vincenzo Bagarello, Journal of Hydrologic Engineering/October 1996.

AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.

Ghetti A., *Idraulica*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.

Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977

Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.

Manuale di progettazione RFI (2019).

Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, 2018 (circolare applicativa, 7 gennaio 2019),

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Surendra, K. M., Vijay., P. S. *Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology*. Springer, pp. 84-146, 2003.

VenTe Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.