

STRADA STATALE 4 "VIA SALARIA"
**Adeguamento della piattaforma stradale e messa in
sicurezza dal km 64+000 al km 70+800**

PROGETTO DEFINITIVO

COD. RM364

PROGETTAZIONE: R.T.I.: PROGIN S.p.A. (capogruppo mandataria)
CREW Cremonesi Workshop S.r.l - TECNOSISTEM S.p.A
ART Risorse Ambiente Territorio S.r.l - ECOPLAME S.r.l.

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Antonio GRIMALDI (Progin S.p.A.)

PROGETTISTA FIRMATARIO:

*Dott. Ing. Lorenzo INFANTE (Progin S.p.A.)
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Salerno n. 3446*

RESPONSABILE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE:

Dott. Arch. Salvatore SCOPPETTA (Progin S.p.A.)

IL GEOLOGO:

*Dott. Geol. Giovanni CARRA (ART Ambiente Risorse e Territorio S.r.l.)
Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna n. 643*

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Michele CURIALE (Progin S.p.A.)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Achille DEVITOFRANCESCHI

PROTOCOLLO

DATA

_____ 202_

CAPOGRUPPO MANDATARIA:



Direttore Tecnico:
Dott. Ing. Lorenzo INFANTE

MANDANTI:



Direttore Tecnico:
Dott. Arch. Claudio TURRINI



Direttore Tecnico:
Dott. Ing. Andrea AVETA



Direttore Tecnico:
Dott. Ing. Ivo FRESIA



Direttore Tecnico:
Dott. Arch. Pasquale PISANO

IDROLOGIA ED IDRAULICA
IDROLOGIA
Relazione idrologica

CODICE PROGETTO

D	P	R	M	3	6	4	D	2	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

NOME FILE

T02ID00IDRRE01C-RELAZIDROLOGICA.DOCX

REVISIONE

SCALA:

**CODICE
ELAB.**

T	0	2	I	D	0	0	I	D	R	R	E	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

C

-

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
C	Emissione a seguito istruttoria ANAS	Sett. 2022	A. Alberini	R. Malcotti	L. Infante
B	Seconda emissione	Mar. 2022	A. Alberini	R. Malcotti	L. Infante
A	Prima emissione	Nov. 2021	F. Benassi	R. Malcotti	L. Infante

Sommario

1	PREMESSA	1
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	2
3	RIFERIMENTI NORMATIVI	3
4	ANALISI IDROLOGICA	4
4.1	LEGGI DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA.....	6
4.1.1	Parametri di probabilità pluviometrica per durate > 1 ora	6
4.1.2	Parametri a, n per durate < 1 ora	8
4.2	DETERMINAZIONE DELLE PORTATE AL COLMO.....	10
4.2.1	Metodo del CN del Soil Conservation Service	10
4.2.2	Metodo razionale	18
5	CONCLUSIONI: SINTESI DEI RISULTATI IDROLOGICI	23

APPENDICE A: AGGIORNAMENTO IDROLOGICO

1 PREMESSA

Il presente documento descrive l'attività di studio e di verifica dell'area di intervento dal punto di vista idrologico, a supporto della progettazione definitiva dei lavori di adeguamento della piattaforma stradale e messa in sicurezza dal km 64+000 al km 70+800 della Statale 14 “via Salaria”, 2° lotto.

L'inquadramento normativo connesso alle attività idrologiche ed idrauliche consente di poter delimitare i vincoli attorno ai quali costruire/inserire il progetto. Nel quadro complessivo, si pone particolare attenzione alle norme definite dal Distretto Idrografico regionale (PAI e Direttiva Alluvioni), nonché alle norme tecniche delle costruzioni NTC2018.

L'attività idrologica sviluppata è coerente con gli approcci regionali e nazionali, e tiene conto, mediante opportune assunzioni, delle necessarie cautele che gli eventi alluvionali meteorici impongono.

Dalla consultazione del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale non risultano, lungo il tracciato del presente stralcio, aree di pericolosità idraulica mappata nel piano.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'opera viabilistica in progetto ricade, dal punto di vista amministrativo, interamente nel territorio della Provincia di Rieti. Nella parte sud si sviluppa all'interno del territorio comunale di Torricella in Sabina, mentre a nord si sviluppa lungo il confine comunale tra Rieti e Belmonte in Sabina.

Lo studio ha previsto la preliminare definizione del reticolo idrografico: il reticolo ufficiale regionale è stato acquisito e verificato sia con carta IGM 25.000 che mediante CTR 5.000.

Il tracciato stradale si sviluppa in un territorio tipicamente montuoso appenninico, lungo un fondovalle caratterizzato dalla presenza del corso d'acqua fosso Arianna (o fosso delle Rotte – fosso della Pera nel tratto iniziale di monte) interferente con la maggior parte del tracciato. Il fosso Arianna affluisce in sponda sinistra nel fiume Turano, a sua volta affluente del fiume Velino.



Figura 1: Inquadramento territoriale degli interventi in progetto.

3 RIFERIMENTI NORMATIVI

Le analisi sono state svolte nel rispetto della seguente normativa regionale e nazionale:

- R.D. n. 523 del 1904 e ss.mm.ii.
- D.Lgs. n. 152 del 2006
- D.M. 11.03.1988 e Circolare 9.1.1996 n.218/24/3 del Ministero LL.PP.
- Decreto del Presidente della Repubblica n. 380 del 06/06/2001 - "Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia"
- D.M. 14.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni e successive circolari

Per quanto riguarda la pianificazione di settore vigente, i riferimenti sono costituiti da:

- Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di bacino del Fiume Tevere (approvato il 10 novembre 2006)
- Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità di bacino del Fiume Tevere – Primo Aggiornamento PAI bis (approvato con DPCM il 10 aprile 2013)
- Piano di Gestione Rischio di Alluvioni del Distretto idrografico Appennino Centrale PGRA DAC (adottato il 17 dicembre 2015 con deliberazione n. 6 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere, e approvato con Delibera n°9 del Comitato Istituzionale Integrato del 3 marzo 2016)
- Il ciclo Piano di Gestione Rischio Alluvioni. Primo aggiornamento. (Adottato con delibera n. 24 del 29 dicembre 2020, ai sensi degli artt. 65 e 66 del D. Lgs. 152 del 2006).

4 ANALISI IDROLOGICA

L'obiettivo dell'analisi idrologica è quello di determinare, per un tempo di ritorno di riferimento, le portate di piena dei corsi d'acqua alle interferenze con il tracciato stradale.

Il principale corso d'acqua che si incontra lungo il tratto della SS 14 in oggetto d'intervento è costituito dal fosso Arianna, affluente in sponda sinistra del fiume Turano ed appartenenti all'alto bacino del Tevere. Il fosso Arianna affianca il tracciato stradale lungo tutto lo sviluppo del lotto 2. Nella massima sezione idrografica di chiusura, posta presso la fine del Lotto2 in prossimità di San Giovanni Reatino, il corso d'acqua delimita un bacino di circa 36 km².

Ulteriori interferenze idrografiche, secondarie, sono costituite dagli impluvi che affluiscono al torrente di fondovalle, defluendo dagli acclivi versanti circostanti.

La caratterizzazione fisiografica dei bacini afferenti ai corsi d'acqua individuati è stata condotta in conformità a:

- Cartografia CTR alla scala 1:5.000;
- Modello digitale del terreno (DTM) a passo 5m (fonte Geoportale Regione Lazio).
- Rilievo aerofotogrammetrico realizzato per il presente progetto.

Alle interferenze idrauliche individuate è stata attribuita una classificazione gerarchica:

- interferenze con codifica di bacino B: quando il corso d'acqua è certamente presente come particella in catasto demaniale "acque" o raffigurato nelle cartografie IGM e CTR;
- interferenze con codifica di compluvio C: quando il corso d'acqua non è rappresentato come pertinenza demaniale e non è presente nelle cartografie.

I bacini scolanti dei due ordini definiti sono stati perimetrati, codificati e rappresentati negli elaborati di corografia dedicati. Dalla delimitazione dei bacini interferenti con le opere in progetto sono state determinate ai fini dell'analisi idrologica:

- Area scolante del bacino S [km²], attraverso elaborazione in ambiente GIS;
- Altitudine massima H_{max} [m.s.l.m.] e altitudine minima (altitudine sezione di chiusura) H_{min} [m.s.l.m.],
- Pendenza media del bacino i_v [m/m];
- Lunghezza del percorso idraulico [m]

Nella seguente Tabella 1, sono riportate le caratteristiche fisiografiche principali degli impluvi individuati. Nei bacini analizzati non sono presenti laghi, naturali o artificiali, né opere idrauliche significative, quali arginature o briglie.

Tabella 1: Caratteristiche fisiografiche e morfometriche dei bacini associati alle interferenze con il tracciato stradale.

BACINO	AREA BACINO	LUNGHEZZA ASTA	i MEDIA VERSANTE	H ₀	H _{MAX}	H _{MED}
ID	kmq	km	%	m s.l.m.	m s.l.m.	m s.l.m.
B.201	0.5	1.1	28	552	682	609
B.206	1.0	1.6	27	470	612	533
B.207	4.8	4.0	38	466	878	662
B.211	7.7	5.4	35	442	878	612
B.212	14.6	6.5	34	440	756	570
B.213	22.3	6.8	34	440	878	584
B.220	7.7	5.6	43	418	888	663
B.221	32.8	8.6	35	420	888	598
B.223	35.8	9.3	37	407	888	596
C.201.1	0.03	0.3	29	581	652	609
B.202	0.02	0.2	26	560	611	590
B.203	0.01	0.2	33	547	606	583
C.203.2	0.07	0.2	25	531	606	565
C.204.1	0.03	0.3	26	524	585	555
B.204	0.04	0.3	27	526	600	568
C.205.1	0.05	0.4	28	522	610	572
C.205.3	0.03	0.3	36	511	605	553
C.205.2	0.05	0.3	37	497	612	569
C.205	0.04	0.3	44	493	598	541
C.205.4	0.03	0.2	38	488	557	523
B.208	0.39	1.4	42	456	780	620
B.209	0.44	1.4	38	448	723	545
B.225	0.32	1.1	31	449	555	498
C.210.1	0.24	0.7	29	446	592	504
B.210	0.17	0.8	27	444	577	496
B.214	0.12	0.6	26	443	576	505
C.215	0.02	0.2	43	442	516	470
C.216	0.01	0.2	44	439	529	486
C.217	0.01	0.2	52	438	514	469
C.218	0.01	0.1	41	425	479	445
B.219	0.17	0.7	40	424	581	503
C.219.1	0.05	0.5	33	425	586	497
C.220.1	0.07	0.4	47	424	584	496
C.220.2	0.05	0.4	41	424	572	477
C.220.3	0.03	0.2	41	425	486	456
B.222	1.68	2.2	48	441	889	654
C.224.1	0.07	0.5	46	418	606	494
C.224	0.19	0.8	50	411	765	585

4.1 LEGGI DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA

Per il territorio della Regione Lazio in cui ricade il presente progetto, sono state sostanzialmente confermate le linee guida di modellazione idrologica definite nell'ambito degli studi propedeutici alla redazione del PAI dell'ex Autorità di Bacino del fiume Tevere¹, a cui competeva il territorio, ora accorpata nell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale.

4.1.1 Parametri di probabilità pluviometrica per durate > 1 ora

La metodologia proposta per la stima dei parametri delle curve di probabilità pluviometrica è basata sui risultati dello studio di regionalizzazione delle piogge intense nell'Italia Centrale (G. Calenda e Casentino, 1994), svolta nell'ambito del progetto Valutazione Piene (VAPI) del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del CNR.

È possibile determinare l'altezza di pioggia puntuale attraverso la relazione:

$$h_{d,T} = K_T E[h_1] d^{0,29} \quad (1)$$

Dove $h_{d,T}$ è espresso in mm, il pedice d e il termine d rappresentano la durata della pioggia critica espressa in ore (1,3,6,12 e 24 ore) pari o immediatamente superiore al tempo di corrivazione t_c , e il pedice T è il tempo di ritorno prescelto.

Il valore della funzione $E[h_1]$ che compare nell'espressione dell'altezza di pioggia puntuale è determinato come:

$$E[h_1] = (S_1 + 1) \cdot 29 \quad (2)$$

In cui il parametro S_1 , si ricava dall'espressione:

$$S_1 = 90 \frac{Z}{L} - 11,4 \frac{Z}{Y} \quad (3)$$

Dove i valori dei termini Z/L e Z/Y , sono determinati attraverso la Tabella 2 in funzione del valore di latitudine del centroide corrispondente all'areale in esame. Per valori compresi nell'intervallo si interpola linearmente; mentre per valori esterni si adottano i corrispondenti valori, massimo o minimo, dei rapporti.

¹ Autorità di Bacino del fiume Tevere – “Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico” – “Allegati Norme Attuazione” “Procedura per la definizione dell'idrogramma di progetto della piena di riferimento” - Appendice A.I.1 Allegato n.3.

Tabella 2: Valori dei parametri Z/L e Z/Y in funzione della latitudine.

Latitudine	Z/L	Z/Y	Latitudine	Z/L	Z/Y
41.233	0.02941	0.21948	42.650	0.01903	0.14899
41.283	0.02919	0.21770	42.683	0.01868	0.14684
41.450	0.02838	0.21140	42.717	0.01833	0.14465
41.467	0.02829	0.21073	42.767	0.01779	0.14133
41.617	0.02744	0.20451	42.850	0.01688	0.13569
41.667	0.02714	0.20234	42.867	0.01669	0.13454
41.683	0.02704	0.20160	42.900	0.01631	0.13224
41.750	0.02661	0.19860	42.950	0.01574	0.12873
41.783	0.02639	0.19706	42.967	0.01554	0.12754
41.833	0.02606	0.19471	43.017	0.01495	0.12397
41.900	0.02559	0.19150	43.033	0.01475	0.12277
41.917	0.02547	0.19068	43.050	0.01455	0.12156
41.967	0.02510	0.18819	43.083	0.01415	0.11912
42.417	0.02133	0.16346	43.150	0.01333	0.11418
42.433	0.02117	0.16247	43.167	0.01312	0.11293
42.450	0.02101	0.16147	43.183	0.01291	0.11168
42.467	0.02085	0.16046	43.200	0.01270	0.11041
42.517	0.02037	0.15740	43.233	0.01228	0.10788
42.550	0.02004	0.15533	43.267	0.01184	0.10531
42.567	0.01988	0.15429	43.317	0.01119	0.10142
42.583	0.01971	0.15325	43.350	0.01075	0.09880
42.600	0.01954	0.15219	43.450	0.00940	0.09080
42.633	0.01920	0.15007			

Per i bacini determinati lungo il tracciato stradale sono stati determinati i seguenti valori:

Latitudine	42,302
Z/L	0,02230
Z/Y	0,16980
S₁	0,0710
E[h₁]	31,0578

Dalla Tabella 3 si ricava il valore del termine K_T in funzione del tempo di ritorno:

Tabella 3: Valore dei quantili adimensionali K_T per i principali valori del periodo di ritorno T , da inserire nella espressione della curva di possibilità pluviometrica.

T [anni]	K_T	T [anni]	K_T
5	1.2074	150	2.5666
10	1.4309	200	2.7036
20	1.6803	250	2.8104
25	1.7679	500	3.1442
50	2.0601	750	3.3402
75	2.2427	1000	3.4793
100	2.376		

Calcolati i parametri necessari, dall'espressione (1) è possibile calcolare l'altezza di pioggia puntuale in funzione della durata oraria e del tempo di ritorno, ottenendo i valori riportati nella seguente Tabella 4.

Tabella 4: Valori di $h_{d,T}$ determinati per i tempi di ritorno d'interesse.

TR	5	10	20	25	50	100	200	500
d (ore)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
1	37	44	52	55	64	74	84	98
3	52	61	72	76	88	101	115	134
6	63	75	88	92	108	124	141	164
12	77	91	107	113	132	152	173	201
24	94	112	131	138	161	185	211	245

Dai valori di altezza di pioggia puntuale è stato possibile determinare, tramite regressione lineare, i parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno d'interesse (Tabella 5).

Tabella 5: Parametri a ed n , per durate > 1 ora, delle curve segnalatrici di probabilità pluviometrica determinati secondo la procedura dell'AdB Tevere.

Parametri CPP – Procedura AdB Tevere								
TR	5	10	20	25	50	100	200	500
a	39	46	54	57	66	76	87	101
n	0,290	0,290	0,290	0,290	0,290	0,290	0,290	0,290

4.1.2 Parametri a , n per durate < 1 ora

Poiché la metodologia di calcolo messa a punto nel PAI trae origine da dati di altezze di pioggia di durata superiori ad 1 ora, non risulta corretto estrapolare le curve di possibilità pluviometrica per durate brevi con la stessa procedura. Infatti, nel caso si riscontrino bacini aventi tempi di corrivazione inferiori a 1 ora, come accade nelle verifiche per il drenaggio delle acque di piattaforma, l'utilizzo dei parametri calcolati nel capitolo precedente può portare ad una sottostima delle intensità di pioggia. Per ovviare a tale errore, per le durate brevi ed intense si è proceduto adottando una metodologia di stima derivante da osservazioni sperimentali.

In letteratura sono infatti disponibili numerosi studi ed esperienze che mostrano come le altezze d'acqua massime associate ad eventi di breve durata, siano correlate a quelle determinate per tempi di pioggia di un'ora secondo uno schema tipico.

Più in dettaglio, definendo il parametro $\rho(t) = h(t)/h(1)$, ovvero il rapporto tra l'altezza di pioggia per durata t e quella per durata di 1 ora, è stato notato (Bell, 1969; Goswami, 1973) come esso risulti poco dipendente dalla località considerata, fintantoché si considerino durate brevi ($t < 2$ ore).

Ad analoghe conclusioni sono pervenuti altri Autori, analizzando serie di dati relative a diverse regioni del mondo, ad esempio Goswami (1973) relativamente alle precipitazioni in India, o Jennings (1950) e Hershfield ed Engman (1981), nell'ambito di uno studio per una curva involuppo delle massime piogge osservate nel mondo.

Per quanto riguarda il territorio italiano, il parametro $\rho(t)$ è stato calcolato in alcuni studi disponibili in letteratura; si segnalano in particolare (per significatività dei dati) quelli relativi al pluviometro di Roma Macao, su un campione di 8 anni (Domanico, 1986 e Calenda et al., 1993), e a quello di Milano Monviso, su un campione di 17 anni (Piga et al., 1990).

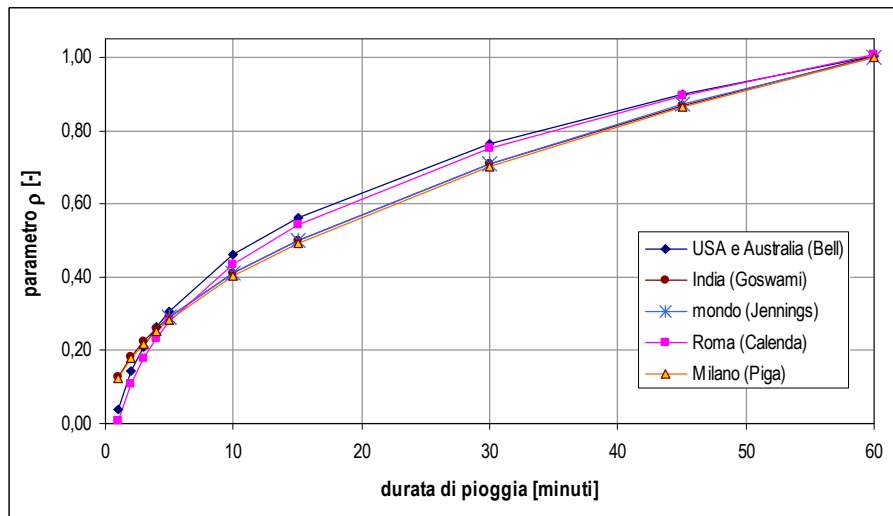


Figura 2: Andamento del parametro $\rho(t)$ ottenuto in diversi studi.

La Figura 2 mette a confronto i valori medi del parametro $\rho(t)$ ottenuti negli studi citati. Si osserva come effettivamente le differenze riscontrate tra i vari siti appaiano modeste, e si riscontri un andamento tipico poco dipendente dalla località considerata.

In particolare, tutte le curve presentano all’incirca lo stesso valore per durate di circa 5 minuti, mentre gli scostamenti sono massimi tra i 15 e i 30 minuti. Tutte le curve assumono ovviamente valore unitario per $t = 1$ ora.

In conformità a tali osservazioni sperimentali, è stata sviluppata da Hydrodata S.p.A. una metodologia di stima in grado di fornire i parametri di precipitazione necessari ad una valutazione più accurata delle portate di piena su piccoli bacini, per i quali il tempo di pioggia critica è inferiore all’ora.

In particolare, l’andamento di $\rho(t)$ è stato assunto come totalmente indipendente dalla località, e cautelativamente pari all’involuppo dei valori di Figura 2, così da introdurre unicamente possibili errori di sovrastima dell’altezza di pioggia.

In funzione dei parametri (a, n) della curva di possibilità pluviometrica (CPP) di progetto, espressa nella forma monomia $h=a \cdot t^n$, si ottengono le altezze di pioggia $h(t)$ relative a durate di 60 e 120 minuti. Applicando ad $h(60)$ i valori assunti per il parametro $\rho(t)$, si ricavano quindi i valori di $h(t)$ per durate inferiori.

Diagrammando su un piano bi-logaritmico $[\ln(t), \ln(h)]$ i punti ottenuti, per durate comprese tra 5 e 120 minuti, la validità della forma monomia (legge di potenza) come curva di adattamento dei dati presuppone che essi giacciono approssimativamente su una retta.

Eseguendo pertanto una regressione lineare (con il metodo dei minimi quadrati) nel campo bi-logaritmico è possibile determinare i parametri della retta interpolante e pertanto ricavare (a', n') , parametri della curva di possibilità pluviometrica per $t < 60$ minuti.

I valori di $h(t)$ stimati mediante $\rho(t)$, per $t < 60$ minuti, dipendono da $h(60)$, ovvero unicamente da a (essendo t espresso in ore nella formula monomia, per $t=1$ si ottiene $h=a$). Estendendo la regressione anche all’altezza di pioggia per durate di 2 ore, anche il parametro n viene preso in conto nella

regressione; questo permette di ottenere minori errori qualora la curva (a' , n') sia utilizzata per la stima di portate prossime all'ora.

Attraverso la metodologia sopra descritta, partendo dai valori in Tabella 5, è stato possibile determinare i parametri a e n per le durate inferiori l'ora.

Tabella 6: Parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica determinati per $d < 1$ ora.

TR	5	10	20	25	50	100	200	500
a	38	45	53	56	65	75	86	100
n	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435

4.2 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE AL COLMO

Le stime delle portate sono state condotte secondo la metodologia Curve Number del Soil Conservation Service, che permette di considerare, in maniera meno arbitraria le caratteristiche di permeabilità dei suoli.

4.2.1 Metodo del CN del Soil Conservation Service

Attraverso l'applicazione di modelli di trasformazione afflussi-deflussi è possibile stimare il valore del deflusso superficiale, andando a depurare lo ietogramma delle piogge lorde dagli effetti dell'intercettazione dovuti alla copertura vegetale, alla detenzione superficiale nei piccoli invasi naturali, all'infiltrazione nel terreno e all'effetto di saturazione dello stesso, valutando l'intensità di pioggia netta $p(t)$ che contribuisce al deflusso di piena.

Il metodo Curve Number del Soil Conservation Service (CN-SCS) ha come ipotesi di base che, in un evento di piena, il volume specifico del deflusso superficiale P , sia proporzionale a quello precipitato I , depurato dall'assorbimento iniziale I_a , in ragione del rapporto tra volume specifico infiltrato F , e un volume specifico S , che caratterizza la massima ritenzione potenziale del terreno.

$$P = (I - I_a) \frac{F}{S} \quad (4)$$

Sostituendo a F l'espressione ottenuta dall'equazione di continuità:

$$F = I - I_a - P \quad (5)$$

Si ottiene la relazione che fornisce il deflusso superficiale P .

$$P = \frac{(I - I_a)^2}{I - I_a + S} \quad (6)$$

Una volta determinati i valori di pioggia netta per ciascun bacino, si applica il metodo razionale per la stima delle portate al colmo, in cui la portata di piena è espressa come prodotto tra l'intensità di precipitazione (i) di assegnata durata e tempo di ritorno (T), il coefficiente di assorbimento (Φ), la superficie del bacino (A) e il coefficiente di laminazione $\varepsilon(t)$:

$$Q = i[\theta_c, T, r(\theta_c, A)] \cdot \Phi \cdot A \cdot \varepsilon(\theta_c) \quad (7)$$

Dove con θ_c si è indicato il valore di durata critica, mentre $r(\theta_c, A)$, rappresenta il fattore di ragguaglio della precipitazione all'area del bacino, espresso in funzione della durata θ_c e della superficie del bacino A .

Durata critica: tempo di corrivazione e di formazione

In linea generale, la durata di pioggia critica (θ_c) è calcolabile come somma del tempo di corrivazione (t_c) più il tempo di formazione del deflusso superficiale (t_f).

Infatti, il t_f esprime il tempo di formazione del deflusso superficiale prima che inizi a scorrere sul bacino e dipende dalla capacità di assorbimento del suolo e dall'intensità e durata della pioggia lorda. È verificato che per bacini di piccole dimensioni, tale tempo non sia mai superiore al 50% del tempo di corrivazione.

Il tempo di corrivazione di un bacino, invece, è definito come quello che una particella idrica, caduta nel punto del bacino più lontano dalla sezione di chiusura, impiega a raggiungere la sezione stessa. Secondo questo metodo viene determinato attraverso la formula Soil Conservation Service:

$$t_c = 1,67 \cdot 2,587 \frac{L^{0,8}}{1900 i_v^{0,5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7} \quad [ore] \quad (8)$$

Dove:

- i_v , è la pendenza media dei versanti del bacino [%];
- L , è la lunghezza dell'asta fluviale in metri.

Il tempo di formazione è stato considerato nel calcolo della durata critica, come la metà del tempo di corrivazione quando superiore a 10 minuti, oppure nullo per i bacini più piccoli (con superficie inferiore al km^2), imponendo comunque una durata critica minima pari a 10 minuti.

Altezze di pioggia ragguagliata (h_r)

La pioggia ottenuta, calcolata per la durata critica θ_c di ogni bacino, viene ragguagliata all'area tramite il parametro r , secondo la formulazione che fa riferimento al Flood Studies Report:

$$\begin{aligned} r &= 1 - (0,0394 A^{0,354}) \theta_c^{(-0,40+0,0208 \ln(4,6-\ln(A)))} && \text{per } A < 20 \text{ km}^2 \\ r &= 1 - (0,0394 A^{0,354}) \theta_c^{(-0,40+0,003832 (4,6-\ln(A)))} && \text{per } A > 20 \text{ km}^2 \end{aligned}$$

Dove:

- θ_c = durata critica della precipitazione;
- A = superficie del bacino [km^2].

Altezze di pioggia nette (h_n)

Il valore del coefficiente di afflusso è stato calcolato secondo il metodo SCS-Curve Number che permette di ricavare la pioggia netta ottenendo h_n dalla (9):

$$h_n = \frac{(h_r(\theta) - 0.2 S)^2}{(h_r(\theta) + 0.8 S)} \quad (9)$$

Dove:

- h_r = precipitazione meteorica ragguagliata [mm];
- S = massima capacità di assorbimento del bacino per infiltrazione [mm].

Il parametro S dipende fondamentalmente dalla combinazione di due fattori: la natura geopedologica del terreno e l'uso/copertura del suolo. L'effetto combinato di questi due fattori è rappresentato globalmente dal parametro adimensionale CN ($0 < CN < 100$), legato a S dalla relazione:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (10)$$

La determinazione del valore di CN da attribuire al bacino è stata realizzata con un'elaborazione in ambiente GIS, utilizzando come base il file .SHP “Corine Land Cover 2012”, fornito da ISPRA.

La carta CN è costruita sulla base delle informazioni sull'uso del suolo, sulla litologia e la permeabilità a disposizione, associando ad ogni tipologia di copertura del territorio un valore di CN secondo la classificazione riportata in Tabella 7. I valori del parametro di assorbimento CN sono stati ricavati secondo la metodologia elaborata dal CIMA (Centro di Ricerca Interuniversitario in Monitoraggio Ambientale) per conto e in coordinamento con la Protezione Civile Nazionale.

Il valore di CN determinato è rappresentativo di una condizione media di umidità, si indica pertanto come CN (II). Per considerare elevate condizioni di umidità antecedenti all'evento, è necessario incrementarlo tramite fattori correttivi, ottenendo i valori di CN (III) riportati nella seguente Tabella 8.

Si evidenzia che, per il solo bacino B.222 (evidenziato in rosso nelle tabelle) è stato considerato il CN(II) invece che il CN(III). Tale scelta è stata intrapresa a valle della istruttoria di progettazione per tenere conto delle seguenti condizioni:

- attualmente nella zona terminale del bacino non è individuabile il corso d'acqua;
- il Comune, interpellato, non evidenzia per il bacino fenomeni torrentizi;
- non esiste un attraversamento idraulico al di sotto ne della strada statale ne della comunale, a meno della rete fognaria urbana;
- per quanto descritto nella attività di geologia ed idrogeologia, la conoide del bacino ha caratteristiche di forte permeabilità. Inoltre, confermato da ACEA e da dati bibliografici, la zona del reatino ha evidenze carsiche che potrebbero giustificare anche per il bacino in esame una modesta capacità di deflusso superficiale, a favore di quello sotterraneo.

Tabella 7: Valori di Curve Number in funzione delle diverse tipologie di uso del suolo, dell'uso del suolo per condizioni di umidità iniziale (antecedent moisture conditions – AMC) medie (classe II) (SCS, 1968).

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>Terreni 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 35 %	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
inghiaiate o selciate, con buche	76	85	89	91
in terra battuta	72	82	87	89

Tabella 8: Valori di CN e di durata critica θ_c determinati attraverso il metodo SCS.

BACINO	CN II	CN III	θ_c
<i>ID</i>	-	-	<i>ore</i>
B.201	63	80	0.3
B.206	66	82	0.5
B.207	61	78	1.1
B.211	60	78	1.4
B.212	59	77	1.7
B.213	60	78	1.8
B.220	58	76	1.4
B.221	62	79	2.0
B.223	62	79	2.1
C.201.1	66	82	0.2
B.202	73	86	0.2
B.203	73	86	0.2
C.203.2	60	78	0.2
C.204.1	67	82	0.2
B.204	67	82	0.2
C.205.1	55	74	0.2
C205.3	51	70	0.2
C.205.2	56	75	0.2
C.205	55	74	0.2
C.205.4	54	73	0.2
B.208	59	77	0.3
B.209	62	79	0.3
B.225	53	72	0.3
C.210.1	70	84	0.2
B.210	70	84	0.2
B.214	71	85	0.2
C.215	75	87	0.2
C.216	75	87	0.2
C.217	75	87	0.2
C.218	75	87	0.2
B.219	65	81	0.2
C.219.1	55	74	0.2
C.220.1	55	74	0.2
C.220.2	55	74	0.2
C.220.3	50	70	0.2
B.222	55	74 (55)	0.7
C.224.1	53	72	0.2
C.224	59	77	0.2

Con riferimento ai parametri definiti per le curve di possibilità pluviometrica (Tabella 5) sono state ottenute le altezze di pioggia lorda, per assegnato tempo di ritorno.

Tabella 9: Altezze di pioggia lorda, per assegnato tempo di ritorno.

Altezze di pioggia lorda								
$h_{l,T}$								
BACINO	TR=5	TR=10	TR=20	TR=25	TR=50	TR=100	TR=200	TR=500
ID	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
B.201	27	32	37	39	46	53	60	70
B.206	33	39	45	48	56	64	73	85
B.207	40	47	55	58	68	78	89	103
B.211	43	51	60	63	74	85	97	113
B.212	46	54	63	67	78	90	102	119
B.213	46	54	64	67	78	90	103	119
B.220	43	51	60	63	73	84	96	112
B.221	48	56	66	70	81	94	107	124
B.223	48	57	67	70	82	95	108	125
C.201.1	23	27	32	34	39	46	52	60
B.202	23	27	32	34	39	46	52	60
B.203	23	27	32	34	39	46	52	60
C.203.2	23	27	32	34	39	46	52	60
C.204.1	23	27	32	34	39	46	52	60
B.204	23	27	32	34	39	46	52	60
C.205.1	23	27	32	34	39	46	52	60
C.205.3	23	27	32	34	39	46	52	60
C.205.2	23	27	32	34	39	46	52	60
C.205	23	27	32	34	39	46	52	60
C.205.4	23	27	32	34	39	46	52	60
B.208	28	33	38	40	47	54	62	72
B.209	27	33	38	40	47	54	61	71
B.225	28	33	39	41	48	55	63	73
C.210.1	23	27	32	34	39	46	52	60
B.210	24	29	34	35	41	47	54	63
B.214	23	27	32	34	39	46	52	60
C.215	23	27	32	34	39	46	52	60
C.216	23	27	32	34	39	46	52	60
C.217	23	27	32	34	39	46	52	60
C.218	23	27	32	34	39	46	52	60
B.219	23	27	32	34	39	46	52	60
C.219.1	23	27	32	34	39	46	52	60
C.220.1	23	27	32	34	39	46	52	60
C.220.2	23	27	32	34	39	46	52	60
C.220.3	23	27	32	34	39	46	52	60
B.222	35	41	48	51	59	68	78	90
C.224.1	23	27	32	34	39	46	52	60
C.224	24	28	33	35	40	46	53	61

Questi valori sono stati ragguagliati all'estensione del bacino di appartenenza, attraverso il parametro r .

Tabella 10: Altezze di pioggia ragguagliata, per assegnato tempo di ritorno.

Altezze di pioggia ragguagliata									
$h_{r,T}$									
BACINO	r	TR=5	TR=10	TR=20	TR=25	TR=50	TR=100	TR=200	TR=500
ID	-	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
B.201	0.95	26	30	36	37	44	50	57	67
B.206	0.95	31	37	43	45	53	61	69	81
B.207	0.93	37	44	51	54	63	73	83	96
B.211	0.93	40	48	56	59	69	79	90	105
B.212	0.92	42	50	58	61	71	82	94	109
B.213	0.91	41	49	58	61	71	82	93	108
B.220	0.93	40	47	55	58	68	78	89	104
B.221	0.90	43	51	59	62	73	84	96	111
B.223	0.90	43	51	60	63	73	85	96	112
C.201.1	0.98	23	27	31	33	39	45	51	59
B.202	0.98	23	27	32	33	39	45	51	59
B.203	0.98	23	27	32	33	39	45	51	59
C.203.2	0.97	22	27	31	33	38	44	50	58
C.204.1	0.98	23	27	31	33	39	45	51	59
B.204	0.98	23	27	31	33	39	44	51	59
C.205.1	0.97	23	27	31	33	38	44	50	59
C205.3	0.98	23	27	31	33	39	44	51	59
C.205.2	0.97	23	27	31	33	38	44	50	59
C.205	0.98	23	27	31	33	39	44	51	59
C.205.4	0.98	23	27	31	33	39	44	51	59
B.208	0.96	26	31	37	39	45	52	59	69
B.209	0.95	26	31	36	38	45	51	59	68
B.225	0.96	27	32	37	39	46	53	60	70
C.210.1	0.95	22	26	31	32	38	43	49	57
B.210	0.96	23	27	32	34	39	46	52	60
B.214	0.96	22	26	31	33	38	44	50	58
C.215	0.98	23	27	32	33	39	45	51	59
C.216	0.98	23	27	32	33	39	45	51	59
C.217	0.98	23	27	32	33	39	45	51	59
C.218	0.99	23	27	32	33	39	45	51	59
B.219	0.96	22	26	31	33	38	44	50	58
C.219.1	0.97	23	27	31	33	38	44	50	59
C.220.1	0.97	22	27	31	33	38	44	50	58
C.220.2	0.97	23	27	31	33	38	44	50	59
C.220.3	0.98	23	27	31	33	39	45	51	59
B.222	0.95	33	39	46	48	56	64	73	85
C.224.1	0.97	22	27	31	33	38	44	50	58
C.224	0.96	23	27	31	33	39	45	51	59

Successivamente sono stati determinati i valori delle altezze di pioggia netta, attraverso il parametro S.

Tabella 11: Altezze di pioggia netta, per assegnato tempo di ritorno.

Altezze di pioggia netta									
$h_{n,T}$									
BACINO	S	TR=5	TR=10	TR=20	TR=25	TR=50	TR=100	TR=200	TR=500
<i>ID</i>	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
B.201	65	2.1	3.7	6	7	10	14	18	24
B.206	57	5.0	7.8	11	13	18	23	29	38
B.207	71	5.6	8.8	13	14	20	27	34	44
B.211	74	6.5	10.2	15	17	23	30	38	49
B.212	77	6.8	10.6	15	17	24	31	40	51
B.213	74	7.1	11.0	16	18	24	32	40	52
B.220	80	5.5	8.7	13	15	20	27	35	46
B.221	68	8.8	13.1	19	21	28	36	45	58
B.223	68	8.9	13.3	19	21	28	36	46	58
C.201.1	57	1.9	3.3	5	6	9	12	16	22
B.202	41	3.8	5.9	9	10	13	17	22	28
B.203	41	3.8	5.9	9	10	13	17	22	28
C.203.2	74	0.7	1.7	3	4	6	8	12	16
C.204.1	54	2.1	3.6	6	6	9	13	17	23
B.204	54	2.1	3.6	6	6	9	13	17	22
C.205.1	90	0.2	0.8	2	2	4	6	9	13
C205.3	107	0.0	0.3	1	1	2	4	6	10
C.205.2	87	0.3	0.9	2	2	4	6	9	13
C.205	90	0.2	0.8	2	2	4	6	9	13
C.205.4	93	0.2	0.7	2	2	4	6	8	12
B.208	77	1.4	2.7	5	5	8	12	16	22
B.209	68	2.0	3.6	6	7	10	14	18	24
B.225	98	0.5	1.4	3	3	6	8	12	17
C.210.1	47	2.7	4.4	7	7	11	14	18	24
B.210	47	3.1	4.9	7	8	12	16	20	26
B.214	45	3.0	4.9	7	8	11	15	19	26
C.215	37	4.5	6.8	10	11	14	19	24	30
C.216	37	4.5	6.8	10	11	14	19	24	30
C.217	37	4.5	6.8	10	11	14	19	24	30
C.218	37	4.6	6.9	10	11	15	19	24	31
B.219	59	1.5	2.8	5	5	8	11	15	20
C.219.1	89	0.2	0.8	2	2	4	6	9	13
C.220.1	90	0.2	0.7	2	2	4	6	8	12
C.220.2	90	0.2	0.8	2	2	4	6	9	13
C.220.3	110	0.0	0.2	1	1	2	4	6	9
B.222	90	2.0	3.9	6	7	11	16	21	29
C.224.1	96	0.1	0.5	1	2	3	5	8	11
C.224	77	0.6	1.5	3	3	5	8	11	16

Ed infine, a conclusione dell'analisi, sono stati determinati i valori di portata al colmo secondo la procedura CN-SCS.

Tabella 12: Valori delle portate di piena al colmo determinati con metodo CN-SCS.

Portate al colmo								
Q_c								
BACINO	TR=5	TR=10	TR=20	TR=25	TR=50	TR=100	TR=200	TR=500
<i>ID</i>	<i>[m³/s]</i>	<i>[m³/s]</i>	<i>[m³/s]</i>	<i>[m³/s]</i>	<i>[m³/s]</i>	<i>[m³/s]</i>	<i>[m³/s]</i>	<i>[m³/s]</i>
B.201	1	2	3	3	5	7	9	12
B.206	3	4	6	7	9	12	15	20
B.207	7	11	16	18	25	33	43	56
B.211	10	15	22	25	34	45	57	74
B.212	16	25	36	40	56	73	93	121
B.213	25	39	56	63	86	113	143	185
B.220	8	13	20	22	31	42	54	70
B.221	40	60	85	94	127	165	206	264
B.223	43	64	91	101	136	176	220	282
C.201.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	0.9	1.1
B.202	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0
B.203	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
C.203.2	0.1	0.2	0.4	0.4	0.7	1.0	1.4	2.0
C.204.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.7	0.8	1.1
B.204	0.1	0.2	0.4	0.4	0.6	0.9	1.2	1.6
C.205.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0
C205.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.6
C.205.2	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7	1.1
C.205	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5	0.8
C.205.4	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7
B.208	0.5	1.0	1.7	1.9	2.9	4.2	5.7	7.8
B.209	0.8	1.5	2.4	2.7	4.0	5.6	7.4	10.0
B.225	0.1	0.4	0.8	0.9	1.5	2.4	3.3	4.8
C.210.1	1.1	1.8	2.7	3.0	4.3	5.8	7.5	9.9
B.210	0.8	1.2	1.8	2.1	2.9	3.9	5.0	6.6
B.214	0.6	1.0	1.4	1.6	2.3	3.0	3.9	5.1
C.215	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5	0.6	0.7	1.0
C.216	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.6	0.7
C.217	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7
C.218	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3
B.219	0.4	0.8	1.3	1.5	2.2	3.1	4.1	5.5
C.219.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.8	1.1
C.220.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.4	0.7	1.0	1.5
C.220.2	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0
C.220.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5
B.222	0.0	0.0	0.3	0.4	1.0	2.0	3.3	5.4
C.224.1	0.0	0.1	0.2	0.2	0.4	0.6	0.9	1.4
C.224	0.2	0.4	0.8	1.0	1.6	2.4	3.3	4.7

4.2.2 Metodo razionale

A titolo di confronto, per il calcolo delle portate al colmo di assegnato tempo di ritorno per i bacini considerati si è fatto riferimento anche al metodo razionale, governato dall'utilizzo della cosiddetta formula razionale, riportata di seguito:

$$Q_{max} = 278 \cdot \frac{\varphi \cdot S \cdot h}{\tau_c} \quad (11)$$

Dove:

- Q_{max} è la portata di piena di assegnato tempo di ritorno espressa in m³/s;
- φ è il coefficiente di deflusso, un parametro adimensionale che esprime il rapporto tra l'altezza di pioggia che effettivamente viene coinvolta nel fenomeno di deflusso superficiale e l'altezza di pioggia totale dell'evento meteorico di assegnato tempo di ritorno;
- S è la superficie del bacino in km²;
- h è l'altezza di pioggia lorda di assegnato tempo di ritorno (estratta per ogni bacino al variare del tempo di ritorno da Tabella 9) espressa in m;
- τ_c è il tempo di corrivazione del bacino oggetto di studio espresso in ore.

In particolare, il tempo di ritorno è stato calcolato avvalendosi delle seguenti formule, adatte per bacini di dimensioni simili a quelli trattati nella presente relazione, e coerenti con le indicazioni progettuali di RFI.

- Formula di Ventura:

$$\tau_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}} \quad (12)$$

con τ_c pari al tempo di corrivazione in ore, S all'area del bacino in km² e i alla pendenza media dell'asta principale.

- Formula di Pasini:

$$\tau_c = \frac{0.108}{\sqrt{i}} \cdot \sqrt[3]{S \cdot L} \quad (13)$$

con τ_c pari al tempo di corrivazione in ore, S all'area del bacino in km², L alla lunghezza dell'asta principale in km e i alla pendenza media dell'asta principale.

- Formula di Viparelli:

$$\tau_c = \frac{L}{3.6 \cdot V} \quad (14)$$

dove τ_c è il tempo di corrivazione in ore, L la lunghezza dell'asta principale in km, V la velocità media di scorrimento superficiale dell'acqua pari a $V = 6.49 \cdot i_m^{0.57}$ in m/s, i_m pari alla pendenza media dell'asta principale.

Si riportano di seguito in Tabella 13 i tempi di corrivazione calcolati, insieme alla media aritmetica tra essi, poi utilizzata come valore progettuale di tempo di corrivazione per il bacino in esame. Ove

il tempo di corrivazione medio del bacino risulta inferiore a 15 minuti, esso è stato posto pari a 15 minuti in quanto tempi inferiori a tale valore vengono considerati fisicamente impossibili per bacini naturali.

Tabella 13. Tempi di corrivazione calcolati per ogni bacino considerato e tempo di corrivazione medio.

BACINO	Tempo di corrivazione τ_c			
	Ventura	Pasini	Viparelli	media
ID	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]
B.201	0.27	0.26	0.03	0.25
B.206	0.43	0.43	0.03	0.29
B.207	0.87	0.90	0.87	0.88
B.211	1.24	1.32	1.17	1.24
B.212	2.20	2.23	0.09	1.51
B.213	2.36	2.27	1.48	2.04
B.220	1.21	1.31	1.22	1.25
B.221	3.12	3.04	1.87	2.67
B.223	3.34	3.29	2.02	2.88
C.201.1	0.05	0.05	0.00	0.25
B.202	0.04	0.03	0.00	0.25
B.203	0.03	0.03	0.00	0.25
C.203.2	0.06	0.05	0.00	0.25
C.204.1	0.05	0.05	0.00	0.25
B.204	0.05	0.05	0.01	0.25
C.205.1	0.06	0.06	0.00	0.25
C205.3	0.04	0.04	0.00	0.25
C.205.2	0.04	0.04	0.00	0.25
C.205	0.04	0.04	0.00	0.25
C.205.4	0.04	0.04	0.00	0.25
B.208	0.16	0.18	0.02	0.25
B.209	0.19	0.21	0.02	0.25
B.225	0.23	0.24	0.01	0.25
C.210.1	0.14	0.13	0.01	0.25
B.210	0.13	0.14	0.01	0.25
B.214	0.09	0.10	0.01	0.25
C.215	0.03	0.03	0.00	0.25
C.216	0.02	0.02	0.00	0.25
C.217	0.02	0.02	0.00	0.25
C.218	0.01	0.01	0.00	0.25
B.219	0.11	0.11	0.01	0.25
C.219.1	0.05	0.05	0.00	0.25
C.220.1	0.05	0.05	0.00	0.25
C.220.2	0.04	0.05	0.00	0.25
C.220.3	0.04	0.03	0.00	0.25
B.222	0.36	0.37	0.03	0.25
C.224.1	0.06	0.06	0.00	0.25
C.224	0.08	0.09	0.01	0.25

A questo punto è stato calcolato un coefficiente φ di deflusso per ogni bacino considerato, a partire dalle stime sulle tipologie di copertura del suolo effettuate per il calcolo del CN nel paragrafo 4.2.1. Si è fatto uso della seguente formula di conversione:

$$\varphi = \frac{\left[h - 0.2 \cdot \left(S_0 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \right) \right]^2}{h \cdot \left(h + 0.8 \cdot \left(S_0 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \right) \right)} \quad (15)$$

Dove h è l'altezza di pioggia lorda in mm, S_0 è un fattore di scala che riflette le unità di misura adottate pari a 25.4 mm e CN è il *curve number* precedentemente assegnato al bacino di interesse. Visto che all'interno della formula (15) compare l'altezza di pioggia, il cui valore è dipendente dal tempo di ritorno, il coefficiente di deflusso φ stesso viene calcolato in funzione del tempo di ritorno. In particolare, si riportano di seguito i valori di φ calcolati per valori di h aventi tempo di ritorno pari a 200 anni.

Tabella 14. Valori del coefficiente di deflusso per ogni bacino per un tempo di ritorno pari a 200 anni.

BACINO	φ_{200}
<i>ID</i>	
B.201	0.33
B.206	0.44
B.207	0.43
B.211	0.45
B.212	0.45
B.213	0.47
B.220	0.42
B.221	0.51
B.223	0.51
C.201.1	0.32
B.202	0.43
B.203	0.43
C.203.2	0.24
C.204.1	0.34
B.204	0.34
C.205.1	0.18
C205.3	0.13
C.205.2	0.19
C.205	0.18
C.205.4	0.17
B.208	0.28
B.209	0.32
B.225	0.21
C.210.1	0.39
B.210	0.40
B.214	0.40
C.215	0.47

BACINO	
<i>ID</i>	Φ_{200}
C.216	0.47
C.217	0.47
C.218	0.47
B.219	0.31
C.219.1	0.18
C.220.1	0.18
C.220.2	0.18
C.220.3	0.12
B.222	0.07
C.224.1	0.16
C.224	0.23

Il coefficiente di deflusso ottenuto per il bacino B.222, contrariamente agli altri bacini, è stato calcolato a partire dal CN(II), ovvero dal *curve number* riferito alle condizioni medie del parametro AMC (*Antecedent Moisture Conditions*), il quale che tiene conto di condizioni di umidità medie del suolo nel periodo antecedente l'evento di pioggia.

In conclusione, si riporta nella tabella seguente il risultato dell'applicazione della formula (11) per il calcolo della portata avente tempo di ritorno pari a 200 anni.

Tabella 15. Portate con tempo di ritorno pari a 200 anni calcolate con il metodo razionale.

BACINO	Q_{200}
<i>ID</i>	$[m^3/s]$
B.201	11.4
B.206	30.6
B.207	58.1
B.211	74.8
B.212	123.6
B.213	145.4
B.220	68.5
B.221	183.6
B.223	188.8
C.201.1	0.6
B.202	0.5
B.203	0.3
C.203.2	1.0
C.204.1	0.6
B.204	0.8
C.205.1	0.5
C205.3	0.3
C.205.2	0.5
C.205	0.4
C.205.4	0.3
B.208	7.6
B.209	9.7
B.225	4.7

BACINO	Q₂₀₀
<i>ID</i>	<i>[m³/s]</i>
C.210.1	5.4
B.210	4.1
B.214	2.8
C.215	0.5
C.216	0.4
C.217	0.4
C.218	0.2
B.219	2.9
C.219.1	0.5
C.220.1	0.7
C.220.2	0.5
C.220.3	0.2
B.222	9.7
C.224.1	0.7
C.224	2.6

Dalla lettura della Tabella 15 e dal confronto tra i valori di portata ottenuti con il metodo razionale e con il metodo SCS (Tabella 12) si può affermare che i due metodi, SCS-CN e razionale, portino a risultati generalmente simili e coerenti tra loro.

In conclusione, vista la maggiore affidabilità ed oggettività del metodo SCS-CN si possono confermare le portate derivanti dall'applicazione di questo metodo.

5 CONCLUSIONI: SINTESI DEI RISULTATI IDROLOGICI

Di seguito si riportano i valori di pioggia e di portate ottenuti dall'analisi idrologica e di riferimento per le successive computazioni idrauliche

Parametri idrologici

Le curve di possibilità climatica adottate, secondo la metodologia descritta, si riferiscono a durate sia superiori che inferiori a 1 ora:

Tabella 16: Parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica.

	TR	5	10	20	25	50	100	200	500
d > 1 ora	a	39	46	54	57	66	76	87	101
	n	0,290	0,290	0,290	0,290	0,290	0,290	0,290	0,290

d < 1 ora	a	38	45	53	56	65	75	86	100
	n	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435	0,435

Portate al colmo nelle sezioni d'interferenza dei bacini

Nella tabella a seguire sono descritti i valori di portata di progetto duecentennale dei bacini minori interferenti col tracciato stradale. Si evidenzia per ciascun bacino il valore di portata specifica q, ottenuto rapportando la portata al colmo con la superficie sottesa.

Tabella 17: Valori di portata al colmo duecentennale e portata specifica determinati per i bacini interferenti.

BACINO	AREA BACINO	PORTATA TR=200	q TR=200
ID	kmq	[m ³ /s]	[m ³ s ⁻¹ km ⁻²]
B.201	0.5	9	18
B.206	1.0	15	15
B.207	4.8	43	9
B.211	7.7	57	7
B.212	14.6	93	6
B.213	22.3	143	6
B.220	7.7	54	7
B.221	32.8	206	6
B.223	35.8	220	6
C.201.1	0.03	0.9	27
B.202	0.02	0.8	37
B.203	0.01	0.5	37
C.203.2	0.07	1.4	19
C.204.1	0.03	0.8	28
B.204	0.04	1.2	28
C.205.1	0.05	0.7	14
C205.3	0.03	0.4	11
C.205.2	0.05	0.7	15
C.205	0.04	0.5	14

BACINO	AREA BACINO	PORTATA TR=200	q TR=200
<i>ID</i>	<i>kmq</i>	<i>[m³/s]</i>	<i>[m³s⁻¹km⁻²]</i>
C.205.4	0.03	0.5	14
B.208	0.39	5.7	15
B.209	0.44	7.4	17
B.225	0.32	3.3	10
C.210.1	0.24	7.5	31
B.210	0.17	5.0	29
B.214	0.12	3.9	33
C.215	0.02	0.7	39
C.216	0.01	0.6	40
C.217	0.01	0.5	40
C.218	0.01	0.2	40
B.219	0.17	4.1	25
C.219.1	0.05	0.8	15
C.220.1	0.07	1.0	14
C.220.2	0.05	0.7	14
C.220.3	0.03	0.3	10
B.222	1.68	3.3	2
C.224.1	0.07	0.9	13
C.224	0.19	3.3	17

**APPENDICE A:
AGGIORNAMENTO IDROLOGICO**

Sommario

A-1	Premessa	3
A-2	Inquadramento territoriale e banca dati	4
A-2.1	Cenni sull’interpretazione statistica dei dati di pioggia con la distribuzione di Gumbel.....	5
A-3	Risultati delle elaborazioni statistiche	7
A-3.1	Stazione di Posticciola.....	7
A.3.1.1	Elaborazioni sulla serie breve (1936-1993)	7
A.3.1.2	Elaborazioni sulla serie estesa (1936-2020).....	9
A.3.1.3	Confronto CPP	10
A-3.2	Stazione di Rieti.....	11
A.3.2.1	Elaborazioni sulla serie breve (1936-1993)	11
A.3.2.2	Elaborazioni sulla serie estesa (1936-2020).....	12
A.3.2.3	Confronto CPP	14
A-3.3	Le CPP ottenute mediante la procedura del PAI.....	15
A.3.3.1	Confronto tra le CPP ottenute per le stazioni pluviometriche di Posticciola e Rieti e le CPP ottenute mediante la procedura del PAI.....	15
A-4	Conclusioni	16

A-1 Premessa

Il presente capitolo ha come obiettivo la valutazione dell'eventuale influenza esercitata dal cambiamento climatico, fenomeno che negli ultimi anni ha alterato i parametri ambientali del sistema Terra, sui dati di pioggia misurati dai pluviometri collocati sul territorio afferente all'intervento progettuale ANAS sulla SS4 "Via Salaria".

Le serie di dati pluviometrici alla base delle elaborazioni statistiche applicate nel Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) per la determinazione delle Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP), le quali rappresentano le massime altezze di pioggia in funzione della durata per assegnati tempi di ritorno per ogni stazione pluviometrica considerata, si fermano al 1993 e pertanto non tengono conto dei dati pluviometrici rilevati fino ad oggi.

La presente attività non intende aggiornare la regionalizzazione elaborata nel PAI dall'autorità di bacino del fiume Tevere, bensì approfondire come, nell'intorno dell'area di intervento progettuale ANAS, i più recenti dati registrati nelle stazioni pluviometriche disponibili si relazionino con i dati storici fino al 1993.

La finalità ultima è, pertanto, comprendere se sia possibile ritenere le curve PAI ancora statisticamente rappresentative del fenomeno piovoso, in virtù dei riscontrati cambiamenti climatici nell'ultimo ventennio.

In primo luogo, sono quindi state individuate le stazioni pluviometriche, tra quelle ricadenti all'interno dell'areale di intervento, afferente al sottobacino 11 - Salto e Turano del fiume Tevere, aventi le serie di dati più estese. A ciò ha fatto seguito, mediante l'analisi statistica di Gumbel, il calcolo delle CPP sia per la serie (denominata *breve*) di dati di pioggia rilevati fino al 1993 sia per la serie (denominata *estesa*) comprendente le misurazioni effettuate fino al 2020. Quest'ultimo passaggio ha permesso di instaurare un confronto al fine di quantificare in termini di mm di pioggia o di differenza percentuale gli eventuali effetti dei cambiamenti climatici sui dati relativi agli eventi di pioggia di massima intensità annuale e breve durata.

È stato poi aggiunto un terzo elemento di confronto, rappresentato dalle CPP ottenute applicando la procedura del PAI.

A-2 Inquadramento territoriale e banca dati

Per il recupero dei dati di precipitazione, sono state considerate le stazioni pluviometriche ricadenti nell'area afferente all'intervento progettuale ANAS sulla SS4 "Via Salaria" e sulla porzione di territorio limitrofa, la quale è prevalentemente collocata nel sottobacino del Salto e Turano.

Dalla sezione relativa agli annali idrologici storici del sito "ISPRA ambiente", sono state individuate tutte le stazioni pluviometriche disponibili. Di queste sono state acquisite le precipitazioni di massima intensità registrate ai pluviografi per durate superiori all'ora. La Figura 1 riporta l'ubicazione delle stazioni, mentre nella seguente Tabella 1 sono indicati i dati caratteristici di ciascuna stazione.

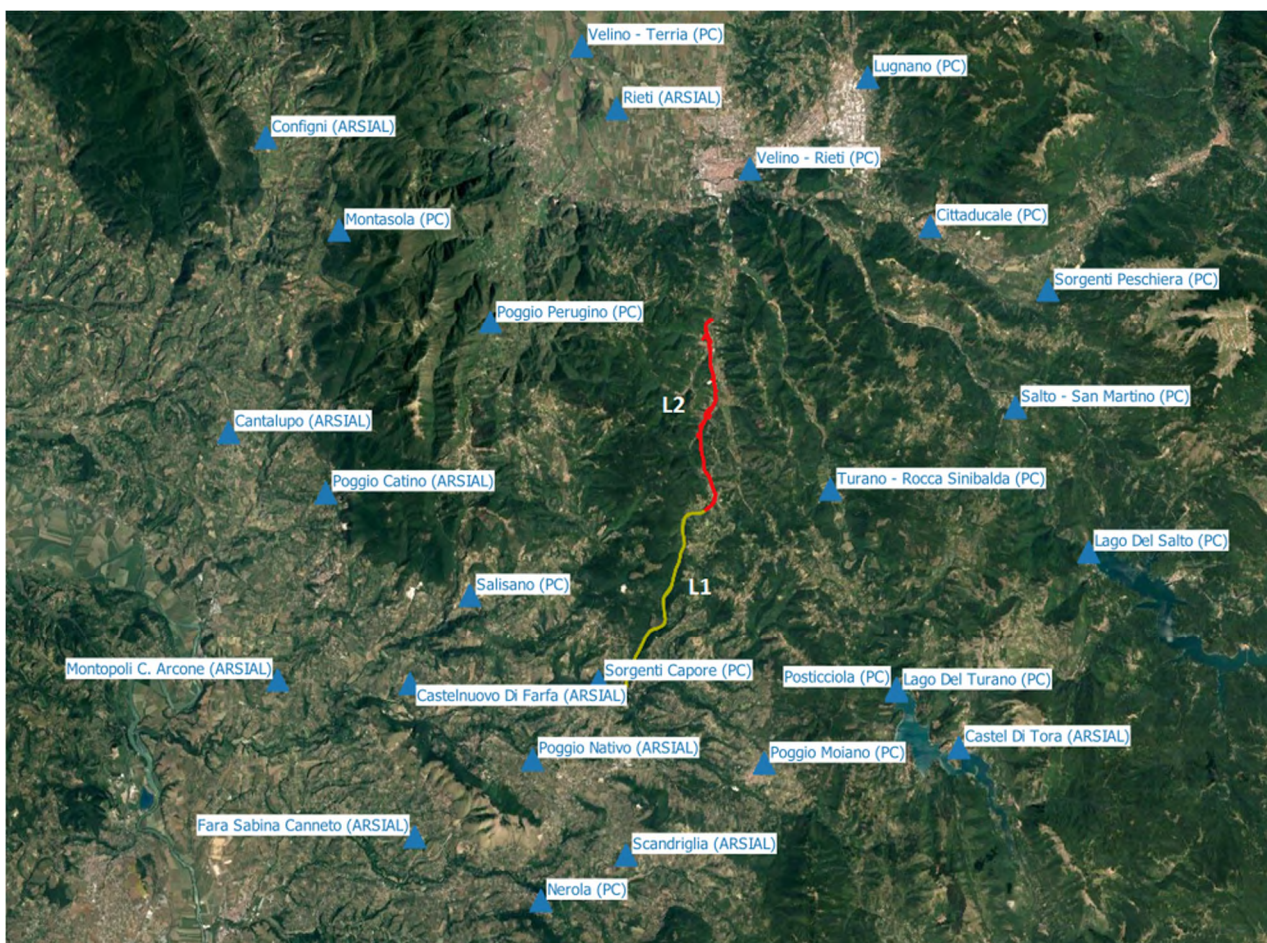


Figura 1. Ubicazione delle stazioni pluviometriche nel territorio d'interesse. In verde è indicato il tratto di SS4 interessato dagli interventi per il lotto 1, collocato tra il km 56+000 e il km 64+000, qualitativamente tra il comune di Poggio San Lorenzo (RI) e la frazione di Ornaro Basso, comune di Torricella in Sabina (RI). In rosso è indicato il tratto di SS4 oggetto di intervento per il lotto 2 che si estende fino al km 70+800, nella zona di San Giovanni Reatino (RI).

Tabella 1. Dati caratteristici delle stazioni riportate in figura 1 (PC = Protezione Civile, ARSIAL = Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione dell'Agricoltura del Lazio).

Nome stazione	Competenza	Latitudine	Longitudine
Cantalupo	ARSIAL	42.3120 N	12.6437 E
Castel Di Tora	ARSIAL	42.2147 N	12.9701 E
Castelnuovo Di Farfa	ARSIAL	42.2311 N	12.7271 E
Cittaducale	PC	42.3858 N	12.9519 E
Configni	ARSIAL	42.4092 N	12.6564 E
Fara Sabina Canneto	ARSIAL	42.1810 N	12.7310 E
Lago Del Salto	PC	42.2800 N	13.0253 E
Lago Del Turano	PC	42.2328 N	12.9422 E
Lugnano	PC	42.4342 N	12.9225 E
Montasola	PC	42.3794 N	12.6900 E
Montopoli C. Arcone	ARSIAL	42.2310 N	12.6686 E
Nerola	PC	42.1611 N	12.7872 E
Poggio Catino	ARSIAL	42.2932 N	12.6876 E
Poggio Moiano	PC	42.2078 N	12.8842 E
Poggio Nativo	ARSIAL	42.2074 N	12.7818 E
Poggio Perugino	PC	42.3503 N	12.7583 E
Posticcioia	PC	42.2336 N	12.9419 E
Rieti	ARSIAL	42.4218 N	12.8118 E
Salisano	PC	42.2606 N	12.7525 E
Salto - San Martino	PC	42.3267 N	12.9914 E
Scandriglia	ARSIAL	42.1768 N	12.8245 E
Sorgenti Capore	PC	42.2333 N	12.8103 E
Sorgenti Peschiera	PC	42.3656 N	13.0050 E
Turano - Rocca Sinibalda	PC	42.2983 N	12.9108 E
Velino - Rieti	PC	42.4031 N	12.8717 E
Velino - Terria	PC	42.4422 N	12.7956 E
Salto - San Martino	PC	42.2147 N	12.9701 E

Dopo un esame degli annali idrologici reperiti, sono state estratte le stazioni aventi la maggior quantità di dati: Posticcioia e Rieti. In particolare, i dati relativi alle stazioni di *Rieti* e *Velino – Rieti* sono stati accorpati sotto la stazione di Rieti, data la vicinanza delle due stazioni e la loro complementarità, infatti *Rieti* comprende osservazioni ricadenti nel periodo 1936-1999 mentre *Velino – Rieti* nel periodo 2006-2020. Si specifica che per ogni anno di osservazione sono stati estratti i dati relativi alle massime altezze di pioggia di durata 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

In Tabella 2 è riportata la numerosità delle osservazioni per ognuna delle due stazioni scelte, si è distinto il numero di anni di osservazioni ricadenti nel periodo 1936-1993 (serie breve) e nel periodo 1936 – 2020 (serie estesa).

Tabella 2. Numero degli anni di osservazioni pluviometriche estratte dagli annali idrologici.

Nome stazione	N. anni serie breve	N. anni serie estesa
Posticcioia	30	47
Rieti	23	39

A-2.1 Cenni sull'interpretazione statistica dei dati di pioggia con la distribuzione di Gumbel

Come noto l'analisi statistica consiste nell'individuare una distribuzione di probabilità che interpreti i dati osservati relativi alla variabile aleatoria del massimo annuale di altezza di pioggia di assegnata durata, e il legame tra questa altezza e il tempo di ritorno (T). A questo scopo è frequente l'utilizzo della distribuzione asintotica del massimo valore, meglio nota come distribuzione di Gumbel.

Per il confronto omogeneo dei risultati, si utilizzerà quella di Gumbel come unica distribuzione di probabilità.

La legge probabilistica di Gumbel è espressa nella forma:

$$P(h_d) = e^{-e^{-\left(\frac{h_d - u_d}{\alpha_d}\right)}} \quad (1)$$

La legge dipende dai due parametri α_d e u_d , i quali possono essere stimati utilizzando il metodo dei momenti che conduce alle seguenti relazioni:

$$\alpha_d = 0.778 * \sigma_d \quad (2)$$

$$u_d = \mu_d - 0.5772 * \alpha_d \quad (3)$$

Ove μ_d e σ_d sono la media e lo scarto quadratico medio del campione di dati per la durata d . Le rette di distribuzione che interpolano i valori osservati sul piano probabilistico di Gumbel ($y-h_d$) per ogni durata d hanno equazione:

$$y = \frac{h_d - u_d}{\alpha_d} \quad (4)$$

ove y è la variabile ridotta pari a

$$y = -\ln(-\ln(P(h_d))) \quad (5)$$

Per rappresentare sul medesimo grafico i dati di pioggia rilevati, si calcola la frequenza cumulata F con la formula di Weibull (*plotting position*):

$$F_i = \frac{i}{N + 1} \quad (6)$$

dove i rappresenta il numero di valori minori od uguali a quello considerato, coincidente con la posizione di ciascuna osservazione nel vettore ordinato in senso crescente, ed N è la numerosità del campione.

Confondendo la frequenza cumulata con la probabilità di non superamento P , è possibile ricavare il valore della variabile ridotta y_i relativo a ciascuna osservazione h_{di} facendo risultare così immediato il tracciamento dei punti sperimentali sul piano probabilistico di Gumbel ed il loro confronto con le rette di distribuzione.

Una volta eseguite per ciascuna durata le elaborazioni precedenti e verificato l'adattamento dei campioni alla legge di Gumbel, si può procedere alla stima delle curve di possibilità pluviometrica. Ricordando il legame tra la probabilità di non superamento P ed il tempo di ritorno T :

$$P = \frac{T - 1}{T} \quad (7)$$

ed invertendo la legge di distribuzione di Gumbel, si ottiene:

$$h_d(T) = u_d - \alpha_d \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T - 1} \right) \right) \quad (8)$$

La formula consente di calcolare, per ciascuna delle durate d_1, \dots, d_i il valore di altezza di pioggia per un qualsivoglia tempo di ritorno T .

Disponendo i valori corrispondenti alle cinque durate ($d = 1, 3, 6, 12$ e 24 ore), su un piano $d-h$, è possibile individuare mediante un'espressione interpolare secondo legge di potenza l'equazione della curva di possibilità pluviometrica, (9), i cui parametri n ed a variano con T . Si otterrà quindi una CPP differente per ogni tempo di ritorno considerato.

$$h(d) = ad^n \quad (9)$$

A-3 Risultati delle elaborazioni statistiche

In questo capitolo si riportano i risultati delle analisi statistiche condotte sulle serie storiche delle stazioni di Posticcioia e Rieti.

I set di dati utilizzati, come già affermato nel capitolo 2, sono due, corrispondenti alla cosiddetta serie breve (1936-1993) e serie estesa (1936-2020). I due set di dati grezzi sono riportati in appendice.

Per ognuna delle due serie sono stati ricavati i parametri α_d e u_d della distribuzione di Gumbel e conseguentemente le CPP (quindi i parametri a e n che compaiono nell'espressione (9)) per i tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 200 e 500 anni. Successivamente sono state messe a confronto, per ogni stazione, le CPP relative ai due set di dati per i tempi di ritorno di 20 e 200 anni al fine di valutare quegli eventuali effetti legati al cambiamento climatico di cui si è parlato nel capitolo 1. In chiusura è stato intrapreso un ulteriore confronto tra le CPP relative alle serie breve ed estesa delle due stazioni e le CPP ottenute applicando la procedura PAI.

A-3.1 Stazione di Posticcioia

A.3.1.1 Elaborazioni sulla serie breve (1936-1993)

Nella tabella 3 sono contenuti i parametri relativi alla distribuzione di Gumbel per la serie in esame, le formule utilizzate per la stima dei parametri sono la (2) e la (3) contenute nel paragrafo A-2.1.

Tabella 3. Parametri della distribuzione di Gumbel per la serie breve della stazione di Posticcioia.

	d=1h	d=3h	d=6h	d=12h	d=24h
N. dati serie	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00
Media μ_d	30.16	43.05	51.08	61.91	74.19
Std. Dev.(xi) σ_d	11.25	14.41	16.36	18.75	23.23
α_d	8.76	11.21	12.73	14.59	18.07
u_d	25.11	36.58	43.73	53.49	63.76

Si riportano di seguito (Tabella 4) le altezze di pioggia di assegnata durata ottenute mediante l'equazione (8) al variare del tempo di ritorno T.

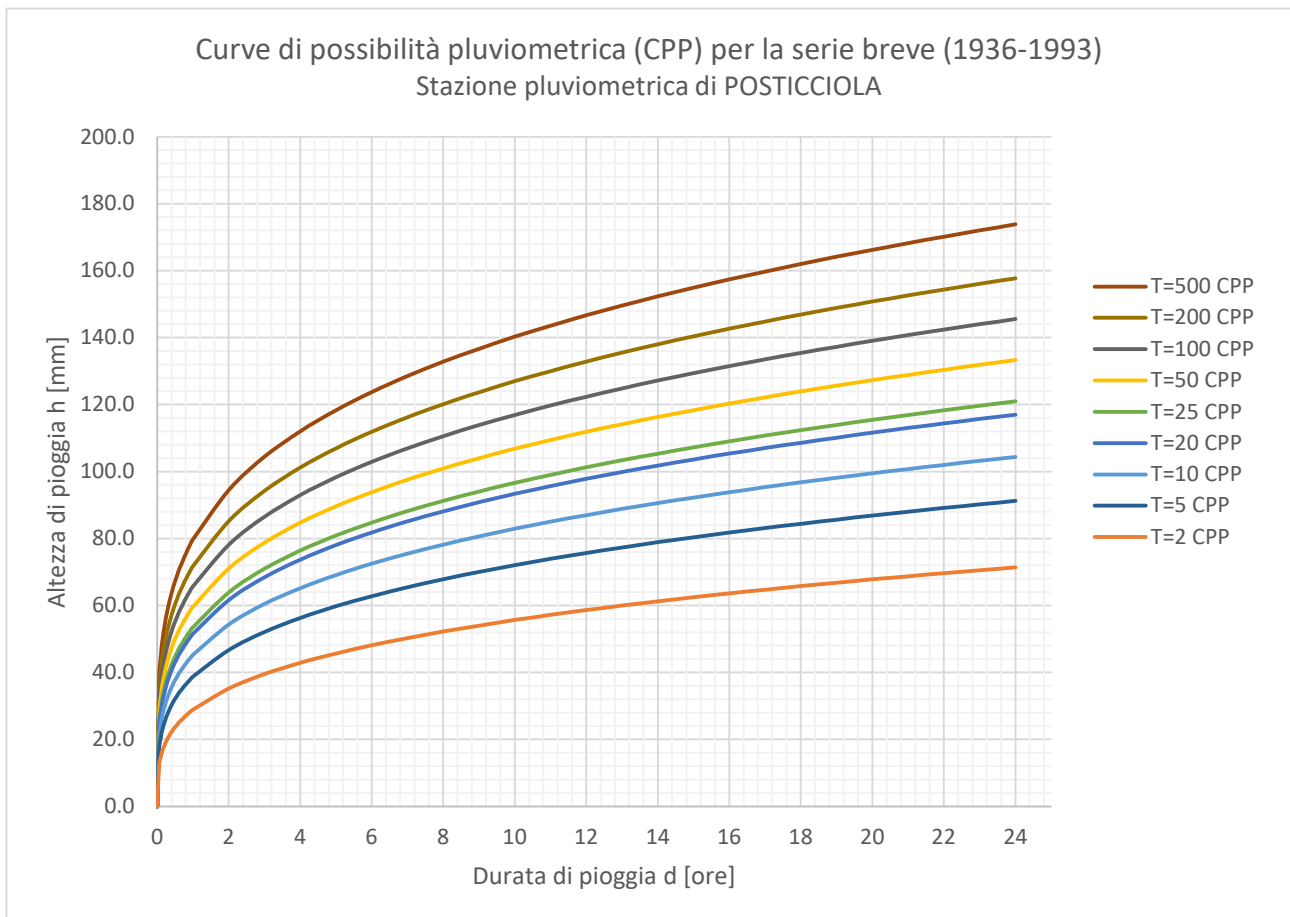
Tabella 4. Massime altezze di pioggia di durata assegnata al variare del tempo di ritorno ricavate con la distribuzione di Gumbel per la stazione di Posticcioia.

	d=1h	d=3h	d=6h	d=12h	d=24h
T anni	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
2	28.32	40.68	48.40	58.84	70.39
5	38.24	53.39	62.82	75.37	90.87
10	44.81	61.81	72.38	86.32	104.43
20	51.12	69.88	81.54	96.82	117.43
25	53.11	72.44	84.45	100.15	121.56
50	59.27	80.32	93.40	110.41	134.27
100	65.39	88.15	102.29	120.60	146.89
200	71.48	95.95	111.14	130.75	159.46
500	79.51	106.24	122.82	144.13	176.04

Infine, in Tabella 5 è possibile apprezzare i parametri stimati per le CPP, cui fa seguito il grafico ottenuto dall'equazione (9) nella quale sono stati sostituiti i suddetti valori dei parametri a e n .

Tabella 5. Valori di a e n per le CPP riferite alla serie breve della stazione di Posticcioia.

T	2	5	10	20	25	50	100	200	500
a (T)	28.9	38.8	45.3	51.6	53.6	59.7	65.8	71.8	79.8
n	0.28 4	0.26 9	0.26 3	0.25 8	0.25 6	0.25 3	0.25 0	0.24 8	0.24 5



A.3.1.2 Elaborazioni sulla serie estesa (1936-2020)

Nella Tabella 6 sono contenuti i parametri relativi alla distribuzione di Gumbel per la serie in esame, le formule utilizzate per la stima dei parametri sono la (2) e la (3) contenute nel paragrafo A-2.1.

Tabella 6. Parametri della distribuzione di Gumbel per la serie estesa della stazione di Posticciola.

	d=1h	d=3h	d=6h	d=12h	d=24h
N. dati serie	47.00	47.00	47.00	47.00	47.00
Media μ_d	28.84	40.82	48.70	59.57	72.24
Std. Dev.(xi) σ_d	10.39	14.01	15.50	17.98	21.14
α_d	8.08	10.90	12.06	13.99	16.44
u_d	24.18	34.53	41.73	51.49	62.75

Si riportano di seguito (Tabella 7) le altezze di pioggia di assegnata durata ottenute mediante l'equazione (8) al variare del tempo di ritorno T.

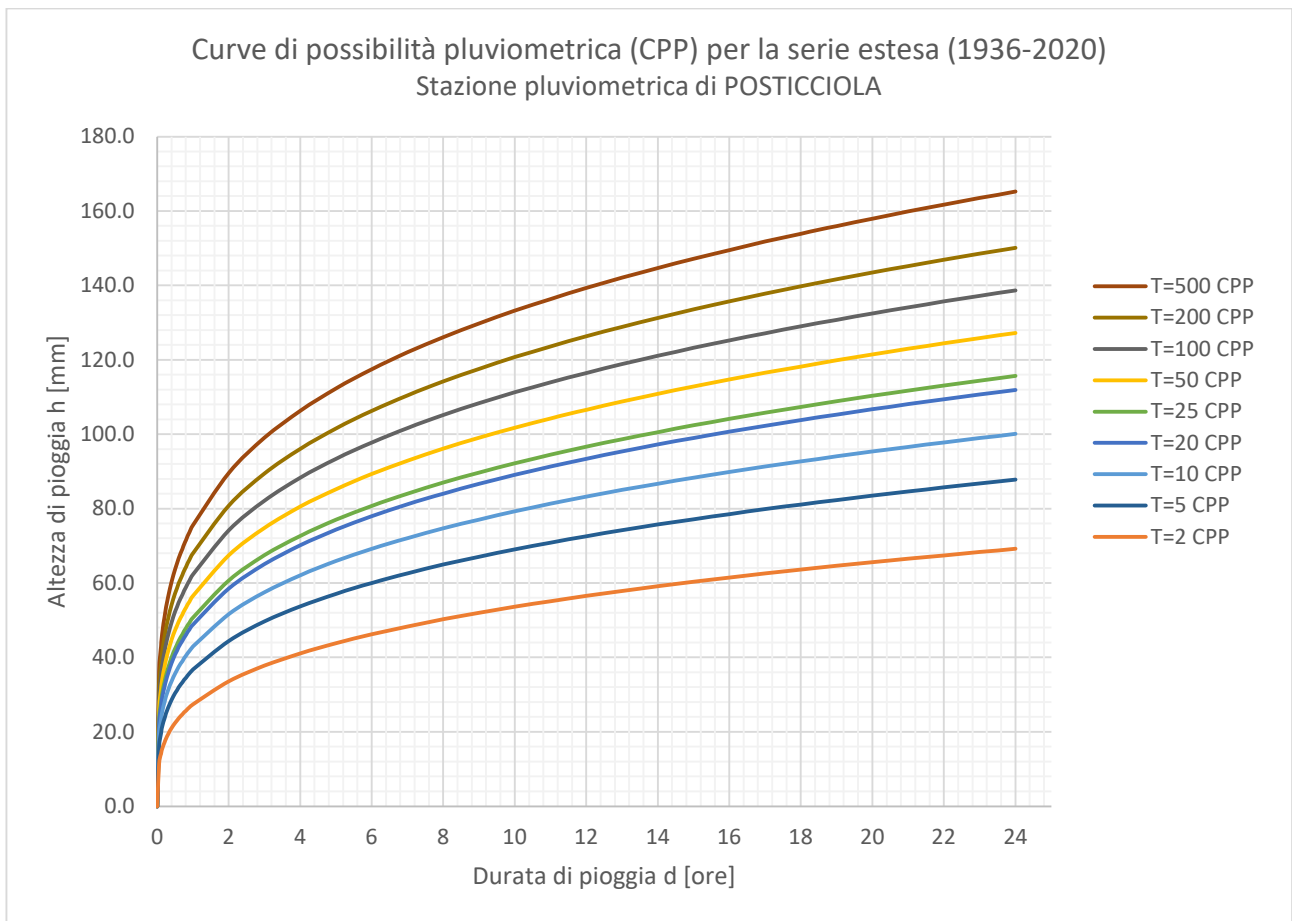
Tabella 7. Massime altezze di pioggia di durata assegnata al variare del tempo di ritorno ricavate con la distribuzione di Gumbel per la stazione di Posticciola.

	d=1h	d=3h	d=6h	d=12h	d=24h
T anni	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
2	27.14	38.53	46.15	56.62	68.78
5	36.30	50.88	59.83	72.47	87.41
10	42.37	59.06	68.88	82.97	99.75
20	48.18	66.91	77.56	93.04	111.59
25	50.03	69.40	80.31	96.23	115.35
50	55.71	77.07	88.80	106.07	126.91
100	61.36	84.68	97.22	115.83	138.40
200	66.98	92.26	105.61	125.56	149.84
500	74.39	102.27	116.68	138.40	164.93

Infine, in Tabella 8 è possibile apprezzare i parametri stimati per le CPP, cui fa seguito il grafico ottenuto dall'equazione (9) nella quale sono stati sostituiti i suddetti valori dei parametri a e n .

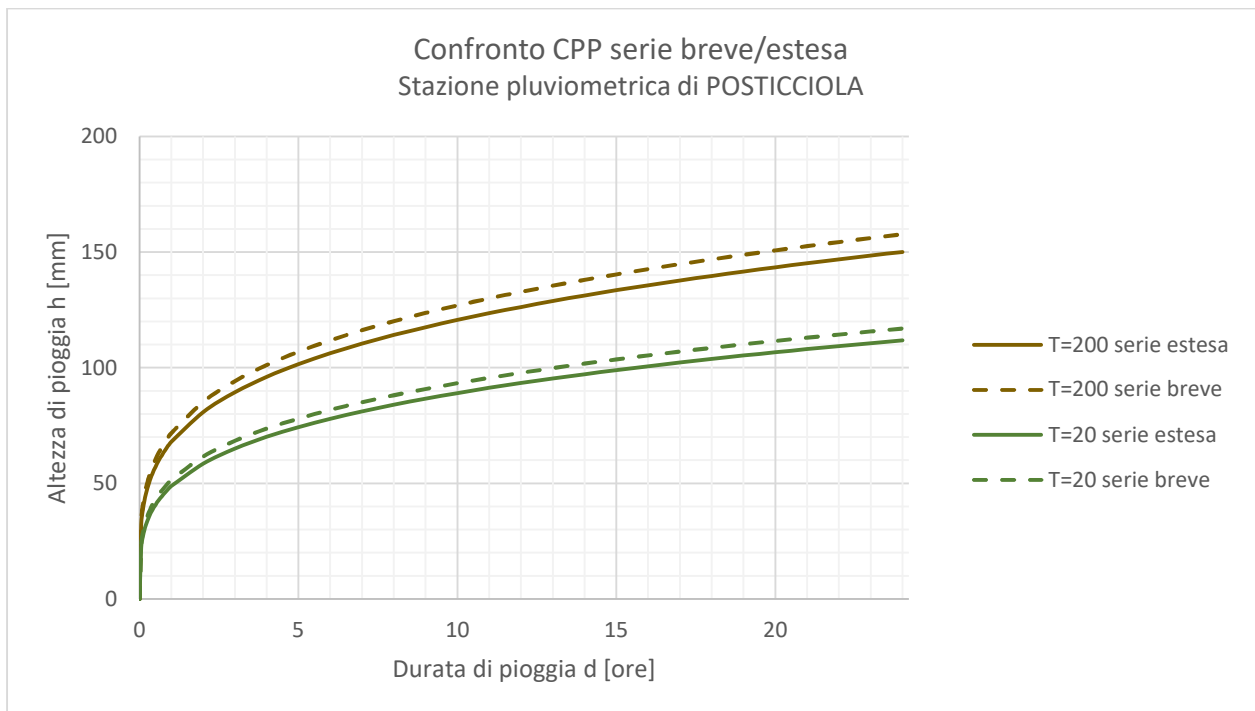
Tabella 8. Valori di a e n per le CPP riferite alla serie estesa della stazione di Posticciola.

T	2	5	10	20	25	50	100	200	500
a (T)	27.5	36.8	43.0	48.9	50.8	56.6	62.3	68.1	75.6
n	0.291	0.274	0.266	0.261	0.259	0.255	0.252	0.249	0.246



A.3.1.3 Confronto CPP

Nel grafico seguente sono state poste a confronto le CPP ottenute per la serie breve e per la serie lunga limitatamente ai tempi di ritorno di 20 e 200, per facilitare la lettura del grafico.



A-3.2 Stazione di Rieti

A.3.2.1 Elaborazioni sulla serie breve (1936-1993)

Nella Tabella 9 sono contenuti i parametri relativi alla distribuzione di Gumbel per la serie in esame, le formule utilizzate per la stima dei parametri sono la (2) e la (3) contenute nel paragrafo A-2.1.

Tabella 9. Parametri della distribuzione di Gumbel per la serie breve della stazione di Rieti.

	d=1h	d=3h	d=6h	d=12h	d=24h
N. dati serie	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
Media μ_d	25.86	36.18	44.27	61.97	76.81
Std. Dev.(xi) σ_d	10.34	13.16	13.26	20.15	27.60
α_d	8.04	10.24	10.31	15.68	21.48
u_d	21.22	30.27	38.32	52.92	64.42

Si riportano di seguito (Tabella 10) le altezze di pioggia di assegnata durata ottenute mediante l'equazione (8) al variare del tempo di ritorno T.

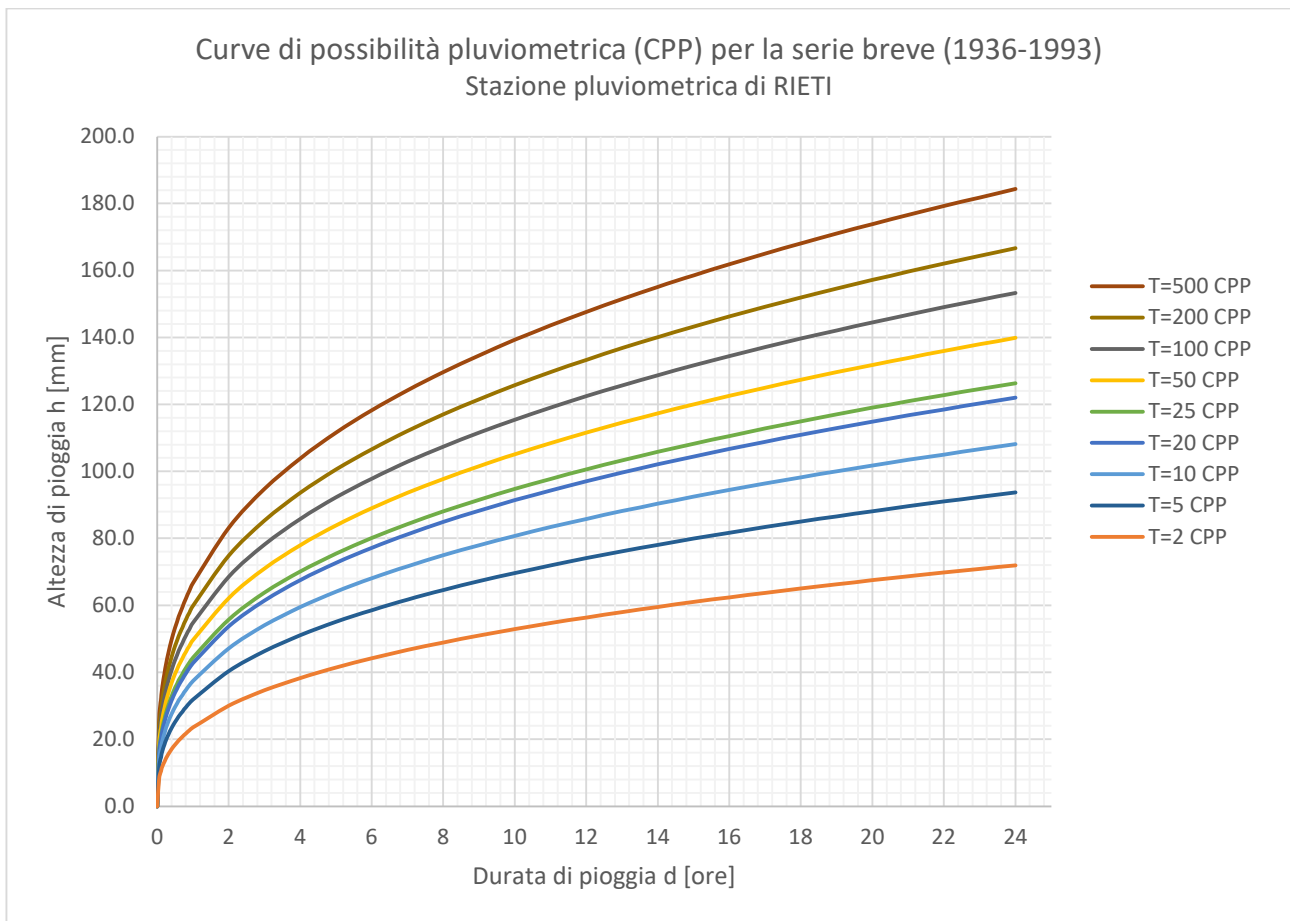
Tabella 10. Massime altezze di pioggia di durata assegnata al variare del tempo di ritorno ricavate con la distribuzione di Gumbel per la stazione di Rieti.

	d=1h	d=3h	d=6h	d=12h	d=24h
T anni	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
2	24.17	34.03	42.10	58.66	72.29
5	33.28	45.63	53.79	76.43	96.63
10	39.32	53.31	61.53	88.20	112.75
20	45.11	60.68	68.95	99.48	128.20
25	46.95	63.02	71.31	103.06	133.11
50	52.60	70.22	78.56	114.09	148.21
100	58.22	77.37	85.76	125.04	163.21
200	63.82	84.49	92.94	135.94	178.15
500	71.20	93.88	102.41	150.33	197.86

Infine, in Tabella 11 è possibile apprezzare i parametri stimati per le CPP, cui fa seguito il grafico ottenuto dall'equazione (9) nella quale sono stati sostituiti i suddetti valori dei parametri a e n .

Tabella 11. Valori di a e n per le CPP riferite alla serie breve della stazione di Rieti.

T	2	5	10	20	25	50	100	200	500
a (T)	23.6	31.9	37.5	42.8	44.5	49.7	54.8	59.9	66.7
n	0.351	0.339	0.334	0.330	0.329	0.326	0.324	0.322	0.320



A.3.2.2 Elaborazioni sulla serie estesa (1936-2020)

Nella Tabella 12 sono contenuti i parametri relativi alla distribuzione di Gumbel per la serie in esame, le formule utilizzate per la stima dei parametri sono la (2) e la (3) contenute nel paragrafo A-2.1.

Tabella 12. Parametri della distribuzione di Gumbel per la serie estesa della stazione di Rieti.

	d=1h	d=3h	d=6h	d=12h	d=24h
N. dati serie	39.00	39.00	39.00	39.00	39.00
Media μ_d	26.46	36.07	43.97	57.65	71.78
Std. Dev.(xi) σ_d	10.72	15.08	15.71	20.90	25.60
α_d	8.34	11.73	12.22	16.26	19.92
u_d	21.65	29.30	36.91	48.26	60.28

Si riportano di seguito (Tabella 13) le altezze di pioggia di assegnata durata ottenute mediante l'equazione (8) al variare del tempo di ritorno T.

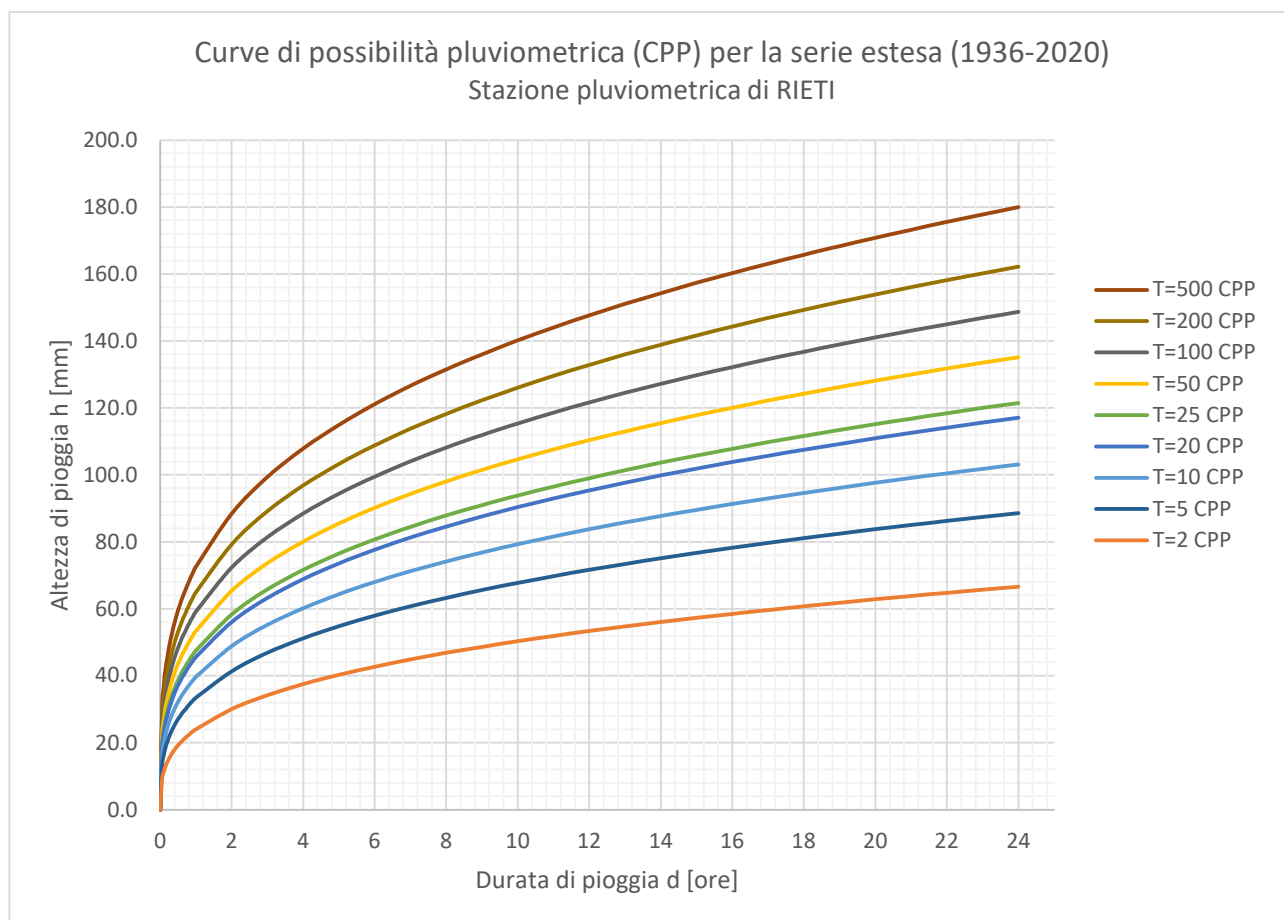
Tabella 13. Massime altezze di pioggia di durata assegnata al variare del tempo di ritorno ricavate con la distribuzione di Gumbel per la serie estesa della stazione di Rieti.

	d=1h	d=3h	d=6h	d=12h	d=24h
T anni	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
2	24.70	33.60	41.39	54.22	67.58
5	34.16	46.89	55.25	72.65	90.15
10	40.41	55.69	64.42	84.86	105.10
20	46.42	64.14	73.22	96.56	119.44
25	48.32	66.81	76.01	100.27	123.99
50	54.19	75.06	84.61	111.71	138.00
100	60.01	83.25	93.14	123.07	151.90
200	65.81	91.41	101.65	134.38	165.76
500	73.46	102.18	112.86	149.30	184.04

Infine, in Tabella 10 è possibile apprezzare i parametri stimati per le CPP, cui fa seguito il grafico ottenuto dall'equazione (9) nella quale sono stati sostituiti i suddetti valori di parametri a e n .

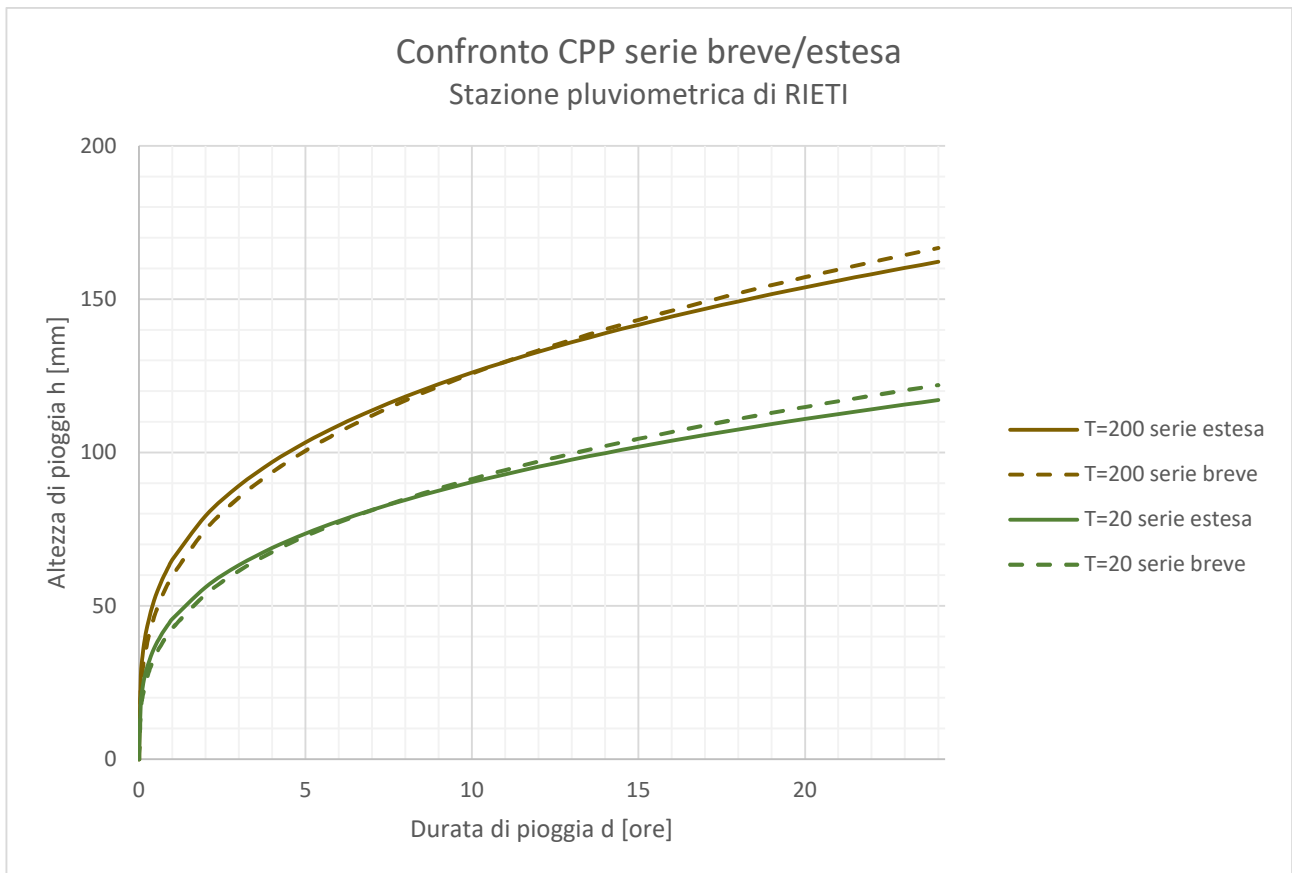
Tabella 14. Valori di a e n per le CPP riferite alla serie estesa della stazione di Rieti.

T	2	5	10	20	25	50	100	200	500
a (T)	24.1	33.5	39.8	45.7	47.6	53.5	59.3	65.0	72.7
n	0.32	0.30	0.30	0.29	0.29	0.29	0.28	0.28	0.28
	0	6	0	6	5	2	9	8	5



A.3.2.3 Confronto CPP

Nel grafico seguente sono state poste a confronto le CPP ottenute per la serie breve e per la serie lunga limitatamente ai tempi di ritorno di 20 e 200, per facilitare la lettura del grafico.



A-3.3 Le CPP ottenute mediante la procedura del PAI

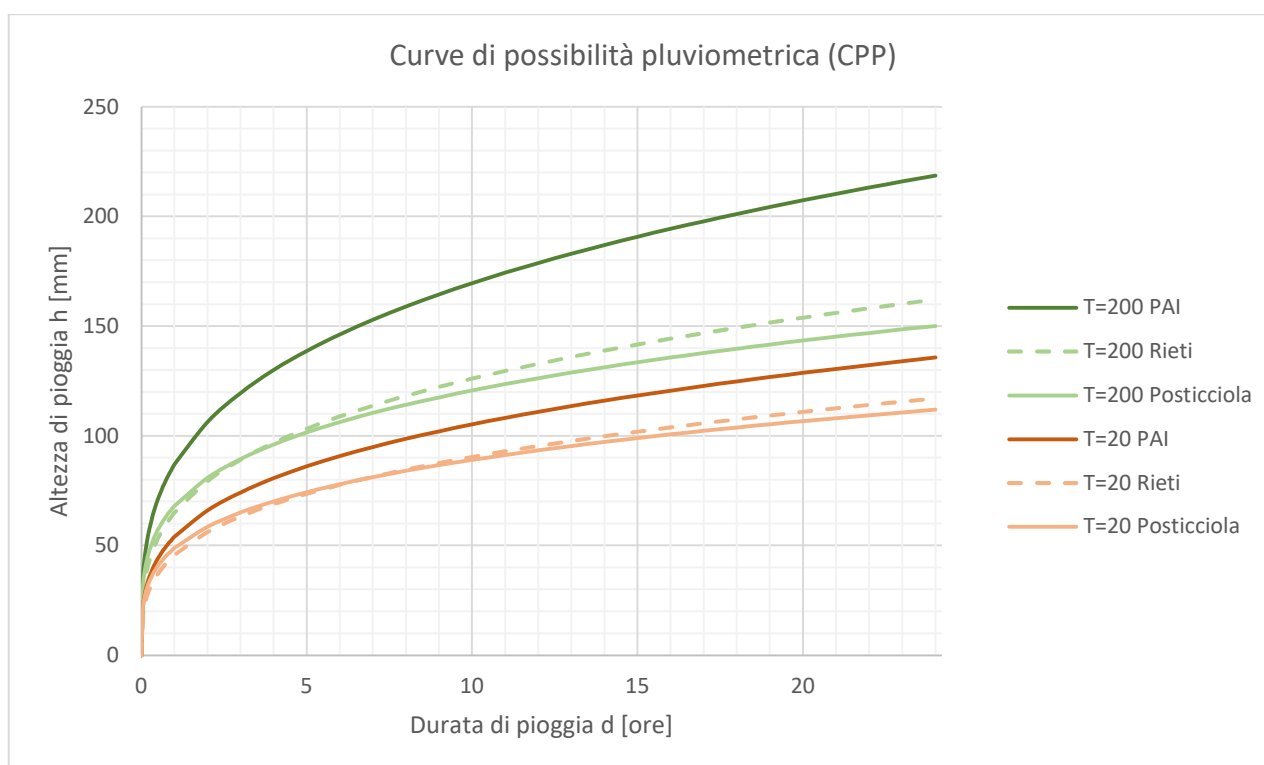
Nel presente paragrafo è stato operato un confronto tra le Curve di Possibilità Pluviometrica illustrate nei paragrafi precedenti ed ottenute mediante un'elaborazione statistica basata sulla distribuzione di Gumbel e le Curve di Possibilità Pluviometrica ricavate dall'applicazione del metodo PAI. In particolare, i parametri a e n sono già stati ricavati nella relazione principale e vengono di seguito riportati (Tabella 15).

Tabella 15. Parametri a e n , per durate > 1 ora, delle CPP determinati secondo la procedura dell'AdB Tevere (PAI)

Parametri CPP – Procedura AdB Tevere								
TR	5	10	20	25	50	100	200	500
a	39	46	54	57	66	76	87	101
n	0.290	0.290	0.290	0.290	0.290	0.290	0.290	0.290

A.3.3.1 Confronto tra le CPP ottenute per le stazioni pluviometriche di Posticciola e Rieti e le CPP ottenute mediante la procedura del PAI

Si riporta, dunque, un grafico riepilogativo che comprende, per i tempi di ritorno di 20 e 200 anni, le CPP della serie estesa per le stazioni di Posticciola e di Rieti e le CPP ottenute con la procedura del PAI.



A-4 Conclusioni

Il presente approfondimento è stato svolto con una duplice finalità. In primis, per comprendere se la metodologia proposta nel PAI di regionalizzazione delle piogge nel bacino del fiume Tevere, condotta negli anni '90 e basata su serie storiche estese fino all'inizio degli anni '90, possa ritenersi ancora ammissibile per la definizione degli eventi piovosi nell'areale di intervento progettuale. In secondo luogo per quantificare l'impatto dei conclamati cambiamenti climatici sul verificarsi di eventi piovosi di estrema intensità.

L'interpretazione statistica dei dati pluviometrici fino ai più recenti anni di osservazione con la metodologia di Gumbel ha portato alla ricostruzione delle CPP in due punti, corrispondenti a due stazioni di misura, del territorio interessato dall'intervento di progetto per gli eventi massimi annuali di pioggia con durata maggiori o uguali a 1 ora. Le curve ottenute dai dati delle serie breve (che rispecchia quindi dati in mano all'autorità di bacino nel momento in cui è stata operata la regionalizzazione a inizio anni '90) ed estesa (con dati aggiornati al 2020) di ogni stazione sono pressoché sovrapponibili, quindi le osservazioni più recenti non evidenziano grandi cambiamenti, se non, per la stazione di Rieti, un lieve aumento dei mm di pioggia per gli eventi brevi ed intensi e una leggera contrazione per gli eventi intensi di durata più estesa (24 ore).

L'ulteriore confronto con le CPP ottenute con la procedura del PAI, esplicitato nel paragrafo A.3.3.1 mediante il grafico, evidenzia che esse sono in grado di assecondare con un buon grado di cautela le risultanze delle elaborazioni statistiche sui dati aggiornati.

In conclusione, si ritiene che le CPP ottenute mediante la procedura PAI siano attualmente rappresentative dei regimi pluviometrici che interessano l'areale di intervento progettuale considerato.