

STRADA STATALE 4 "VIA SALARIA"
**Adeguamento della piattaforma stradale e messa in
sicurezza dal km 56+000 al km 64+000**
Stralcio 1 da pk 0+000 a pk 1+900

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **RM 368**

PROGETTAZIONE: R.T.I.: PROGER S.p.A. (capogruppo mandataria)
PROGIN S.p.A.
S.I.N.A. S.p.A - BRENG S.r.l.

RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:
Dott. Ing. Antonio GRIMALDI (Progin S.p.A.)
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Napoli n. 23799

CAPOGRUPPO MANDATARIA:



IL GEOLOGO:
Dott. Geol. Gianluca PANDOLFI ELMI (Progin S.p.A.)
Ordine dei Geologi Regione Umbria n. 467



Direttore Tecnico:
Dott. Ing. Lorenzo INFANTE

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:
Dott. Ing. Michele CURIALE (Progin S.p.A.)



VISTO: IL RESPONSABILE UNICO DEL PROGETTO
Dott. Ing. Paolo NARDOCCI



PROTOCOLLO	DATA
	_____ 202__

IDROLOGIA ED IDRAULICA – IDROLOGIA
Relazione idrologica

CODICE PROGETTO		NOME FILE T01ID00IDRRE01C		REVISIONE	SCALA:																				
D	P	R	M	3	6	8	E	2	3	T	0	1	I	D	0	0	I	D	R	R	E	0	1	C	-
C	Emissione a seguito di validazione e istruttoria ANAS			02-2024	E. Abbasciano	Grimaldi	L. Infante																		
B	Emissione a seguito istruttoria ANAS			06-2023	E. Abbasciano	Grimaldi	L. Infante																		
A	Prima emissione			09-2022	E. Abbasciano	Grimaldi	L. Infante																		
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO																				

Sommario

1	PREMESSA	1
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	2
3	RIFERIMENTI NORMATIVI	3
4	ANALISI IDROLOGICA	4
4.1	LEGGI DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA.....	5
4.1.1	Parametri di probabilità pluviometrica per durate > 1 ora.....	5
4.1.2	Parametri a, n per durate < 1 ora.....	7
4.2	DETERMINAZIONE DELLE PORTATE AL COLMO.....	9
4.2.1	Metodo del CN del Soil Conservation Service.....	9
5	SINTESI DEI RISULTATI IDROLOGICI	16
1	Premessa	1
2	Inquadramento territoriale e banca dati	2
2.1	Cenni sull'interpretazione statistica dei dati di pioggia con la distribuzione di Gumbel.....	5
3	Risultati delle elaborazioni statistiche	6
3.1	Stazione di Posticciola.....	7
3.1.1	Elaborazioni sulla serie breve (1936-1993).....	7
3.1.2	Elaborazioni sulla serie estesa (1936-2020).....	9
3.1.3	Confronto CPP.....	10
3.2	Stazione di Rieti.....	11
3.2.1	Elaborazioni sulla serie breve (1936-1993).....	11
3.2.2	Elaborazioni sulla serie estesa (1936-2020).....	13
3.2.3	Confronto CPP.....	16
3.3	Le CPP ottenute mediante la procedura del PAI.....	17
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.....	17
4	Conclusioni	18

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 esecutiva dei lavori di adeguamento della piattaforma stradale e messa in sicurezza dal km 56+000 al km 64+000 della Statale 14 “via Salaria”, LOTTO 1, stralcio funzionale 1 (pk 0+000 – 2+000).

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.

Nel progetto definitivo è stato verificato il quadro pluviometrico attualizzato rispetto a quanto definito dai parametri di riferimento del PAI (riportato in appendice). Come si evince dalle conclusioni dello studio di aggiornamento, si conferma che le Curve di Possibilità Pluviometrica ottenute mediante la procedura PAI siano attualmente rappresentative dei regimi pluviometrici che interessano l'area di intervento progettuale considerato.

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 lungo il confine comunale tra Casaprota e Poggio San Lorenzo, mentre a nord interessa il territorio comunale di Torricella 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, caratterizzato dalla presenza del corso d'acqua fosso dei Cerri (o fosso Secco nel tratto iniziale di monte) interferente con la maggior parte del tracciato. Il fosso dei Cerri affluisce in sponda destra nel torrente Farfa, a sua volta affluente del fiume Tevere.

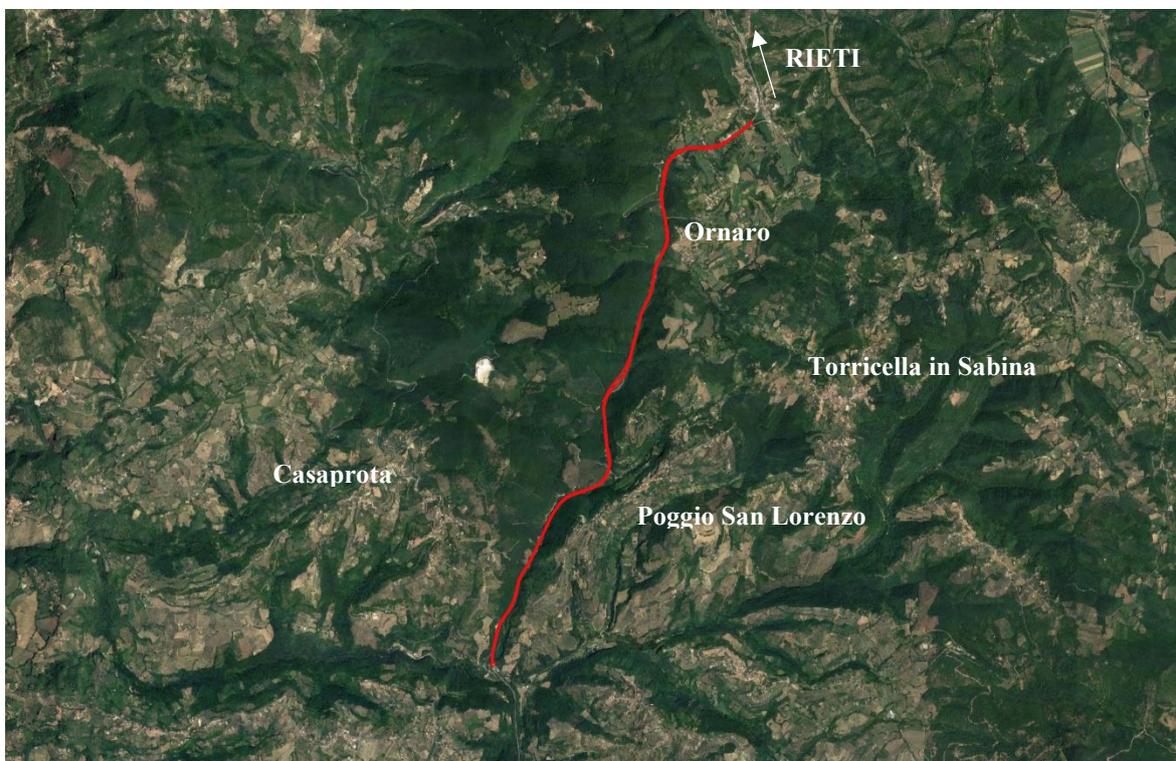


Figura 1: Inquadramento territoriale degli interventi in progetto.

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 dei Cerri, affluente in sponda destra del torrente Farfa ed appartenenti all’alto bacino del Tevere. Il fosso dei Cerri defluisce in uno stretto corridoio vallivo, affianca il tracciato stradale lungo tutto lo sviluppo del lotto 1 e lo attraversa in diversi punti. Nella massima sezione idrografica di chiusura, posta presso l’inizio del Lotto1, il fosso dei Cerri delimita un bacino di circa 17 km².

Ulteriori interferenze idrografiche, secondarie, sono costituite dagli impluvi che affluiscono al fosso dei Cerri, 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 di dettaglio 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”;
- interferenze con codifica di compluvio C: quando il corso d’acqua non è rappresentato in pertinenza demaniale.

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	Corso d'acqua	WBS Opera	Progr.	Area	Hmin	Hmax	Hmean	Lunghezza	Pend. versante
id			[km]	[km ²]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[km]	%
B.101	Fosso dei Cerri	TO.01	0+060	16.57	268	851	588	9,8	34
C.101.1		TO.02	0+100	0.02	283	353	318	0,3	43
C.101.2		TO.03	0+270	0.01	303	371	338	0,2	37
C.101.3		TO.04	0+346	0.09	305	454	380	0,4	38
C.101.5		TO.06	0+597	0.09	309	461	390	0,5	41
C.102		TO.07	0+969	0.11	335	510	436	0,6	34
C.102.1		TO.08	1+070	0.03	335	482	392	0,3	48

Bacino	Corso d'acqua	WBS Opera	Progr.	Area	Hmin	Hmax	Hmean	Lunghezza	Pend. versante
id			[km]	[km ²]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[km]	%
B.103		TO.09	1+267	0.14	340	611	499	0,9	37
B.104	Fosso dei Cerri	TO.10	1+346	15.63	334	851	599	8,6	34
B.105	Fosso dei Cerri	TO.11	1+420	15.63	334	851	599	8,6	34
C.106		TO.12	1+531	0.02	342	508	398	0,3	63
B.107		TO.13	1+632	0.44	340	736	604	1,6	35
B.108	Fosso dei Cerri	TO.14	1+716	14.99	342	851	601	8,2	33
C.108.1		TO.15	1+825	0.04	348	538	449	0,4	60
C.108.2		TO.16	2+000	0.07	361	547	461	0,5	56

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 corrvazione 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:

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

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.

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.

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)							
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 inviluppo 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).

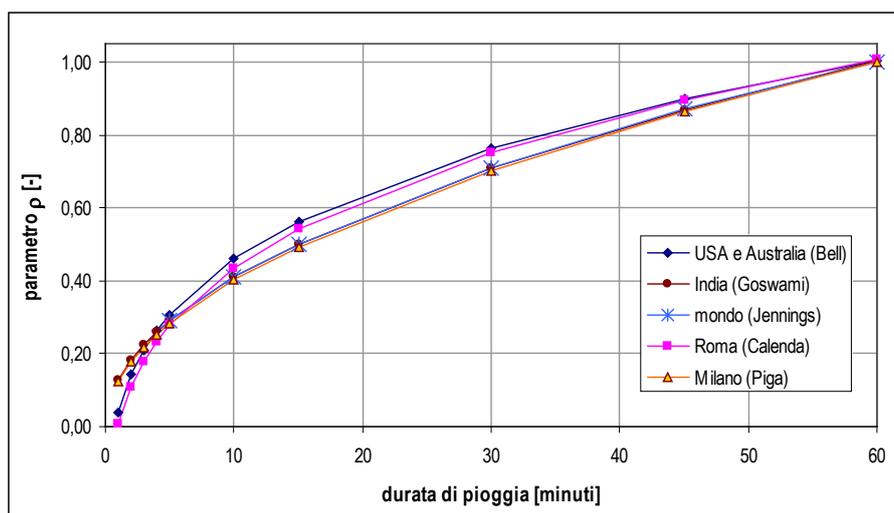


Figura 2: Andamento del parametro $\rho(t)$ ottenuto in diversi studi.

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'inviluppo 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:

$$t_c = 1,67 \cdot 2,587 \frac{L^{0.8}}{1900 i_v^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \text{ [ore]} \quad (8)$$

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 km²), 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:

$$r = 1 - (0,0394 A^{0.354}) \theta_c^{(-0.40+0.0208 \ln(4.6-\ln(A)))} \quad \text{per } A < 20 \text{ km}^2$$

$$r = 1 - (0,0394 A^{0.354}) \theta_c^{(-0.40+0.003832 (4.6-\ln(A)))} \quad \text{per } A > 20 \text{ km}^2$$

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 ($0 < \text{CN} < 100$), legato a S dalla relazione:

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

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.

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 38 %	61	75	83	87
impermeabilità media 30 %	57	72	81	86
impermeabilità media 25 %	54	70	80	85
impermeabilità media 20 %	51	68	79	84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
<i>Strade:</i>				
pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
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 id	CN (II) (-)	CN (III) (-)	θ_c (ore)
B.101	62	79	2,3
C.101.1	74	87	0,2
C.101.2	70	84	0,2
C.101.3	70	84	0,2
C.101.5	62	79	0,2
C.102	61	78	0,2
C.102.1	56	75	0,2
B.103	61	78	0,2
B.104	62	79	2,0
B.105	62	79	2,0
C.106	55	74	0,2
B.107	64	80	0,3
B.108	62	79	2,0
C.108.1	56	75	0,2
C.108.2	56	75	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 $h_{l,r}$								
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.101	49	58	69	72	84	97	110	128
C.101.1	23	27	32	34	39	46	52	60
C.101.2	23	27	32	34	39	46	52	60
C.101.3	23	27	32	34	39	46	52	60
C.101.5	23	27	32	34	39	46	52	60
C.102	23	27	32	34	39	46	52	60
C.102.1	23	27	32	34	39	46	52	60
B.103	25	30	35	37	43	49	56	65
B.104	48	57	66	70	81	94	107	124
B.105	23	27	32	34	39	46	52	60
C.106	23	27	32	34	39	46	52	60
B.107	28	34	39	41	48	56	63	74
B.108	47	56	66	69	81	93	106	124
C.108.1	23	27	32	34	39	46	52	60
C.108.2	23	27	32	34	39	46	52	60

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.101	0.92	45	54	63	66	77	89	102	118
C.101.1	0.98	23	27	32	33	39	45	51	59
C.101.2	0.98	23	27	32	33	39	45	51	59
C.101.3	0.98	23	27	31	33	38	45	51	59
C.101.5	0.97	22	27	31	33	38	44	50	58

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]
C.102	0.97	22	26	31	33	38	44	50	58
C.102.1	0.98	23	27	31	33	39	45	51	59
B.103	0.97	24	29	34	35	41	48	54	63
B.104	0.92	44	52	61	64	75	87	98	115
B.105	0.92	44	52	61	64	75	87	98	115
C.106	0.98	23	27	32	33	39	45	51	59
B.107	0.96	27	32	38	40	46	53	61	70
B.108	0.92	44	52	61	64	75	86	98	114
C.108.1	0.98	23	27	31	33	39	44	51	59
C.108.2	0.97	22	27	31	33	38	44	50	58

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
[id]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
B.101	67,7	10,2	15,0	21,0	23,2	31,1	40,1	49,9	63,6
C.101.1	38,8	4,2	6,3	9,1	10,1	13,7	18,0	22,7	29,2
C.101.2	47,3	2,9	4,7	7,1	8,0	11,3	15,1	19,4	25,5
C.101.3	48,4	2,7	4,4	6,8	7,8	10,7	15,0	19,1	24,9
C.101.5	67,7	1,0	2,1	3,6	4,3	6,6	9,5	12,8	17,8
C.102	70,6	0,9	1,8	3,3	3,9	6,1	8,9	12,	16,9
C.102.1	86,8	0,3	0,9	2,0	2,4	4,2	6,5	9,2	13,4
B.103	70,6	1,2	2,5	4,2	4,9	7,5	10,7	14,5	19,9
B.104	67,7	9,4	14,0	19,7	21,8	29,3	37,9	47,3	60,5
B.105	67,7	9,4	14,0	19,7	21,8	29,3	37,9	47,3	60,5
C.106	90,4	0,2	0,8	1,8	2,2	3,8	6,1	8,7	12,8
B.107	62,1	2,8	4,7	7,3	8,3	11,8	16,2	21,0	28,0
B.108	67,7	9,3	13,8	19,5	21,6	28,9	37,5	46,8	59,9
C.108.1	86,8	0,3	0,9	2,0	2,4	4,2	6,5	9,2	13,4
C.108.2	86,8	0,3	0,9	1,9	2,4	4,1	6,3	9,1	13,2

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
[id]	[m ³ /s]							
B.101	21,0	30,9	43,2	47,7	63,8	82,3	102,4	130,6
C.101.1	0,1	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	0,8	1,0
C.101.2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
C.101.3	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,9	2,4	3,1
C.101.5	0,2	0,3	0,5	0,6	1,0	1,4	1,9	2,7
C.102	0,2	0,3	0,6	0,7	1,2	1,7	2,3	3,2
C.102.1	0,02	0,05	0,11	0,13	0,2	0,4	0,5	0,7
B.103	0,2	0,4	0,7	0,9	1,3	1,9	2,6	3,5
B.104	20,3	30,1	42,4	46,9	63,0	81,5	101,7	130,0
B.105	20,3	30,1	42,4	46,9	63,0	81,5	101,7	130,0
C.106	0,01	0,03	0,06	0,07	0,1	0,2	0,3	0,4
B.107	1,0	1,7	2,7	3,0	4,3	5,9	7,7	10,3
B.108	19,6	29,2	41,0	45,5	61,1	79,1	98,7	126,3
C.108.1	0,02	0,06	0,12	0,15	0,3	0,4	0,6	0,8
C.108.2	0,03	0,10	0,22	0,28	0,5	0,7	1,1	1,5

5 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 13: 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 14: Valori di portata al colmo duecentennale e portata specifica determinati per i bacini interferenti.

Bacino	Area scolante	Qc TR=200	q TR=200
Id	[km ²]	[m ³ /s]	[m ^{3s-1} km ⁻²]
B.101	16,57	102,4	6
C.101.1	0,02	0,8	38
C.101.2	0,01	0,4	33
C.101.3	0,09	2,4	27
C.101.5	0,09	1,9	22
C.102	0,11	2,3	20
C.102.1	0,03	0,5	15
B.103	0,14	2,6	19
B.104	15,63	101,7	7
B.105	15,63	101,7	7
C.106	0,02	0,3	15
B.107	0,44	7,7	18
B.108	14,99	98,7	7
C.108.1	0,04	0,6	15
C.108.2	0,07	1,1	15

APPENDICE A:
AGGIORNAMENTO IDROLOGICO

Sommario

A-1	Premessa	1
A-2	Inquadramento territoriale e banca dati	2
A-2.1	Cenni sull'interpretazione statistica dei dati di pioggia con la distribuzione di Gumbel.....	5
A-3	Risultati delle elaborazioni statistiche	6
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)	13
A.3.2.3	Confronto CPP	16
A-3.3	Le CPP ottenute mediante la procedura del PAI.....	17
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	17
A-4	Conclusioni	18

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.

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 3 riporta l'ubicazione delle stazioni, mentre nella seguente Tabella 15 sono indicati i dati caratteristici di ciascuna stazione.

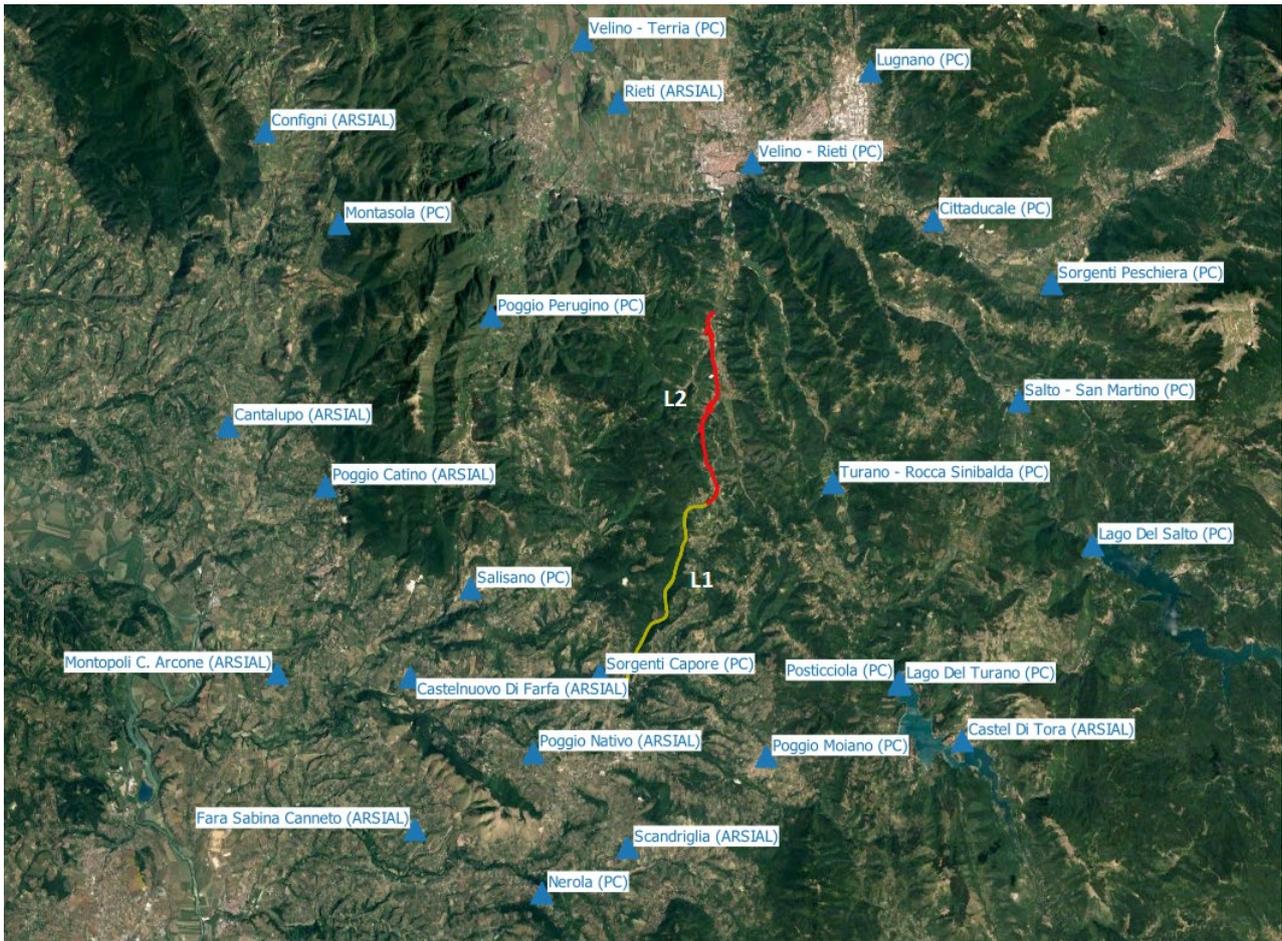


Figura 3. Ubicazione delle stazioni pluviometriche nel territorio d'interesse. In verde è indicato il tratto di SS4 interessato dagli interventi per il lotto 1, collocato tra il km 56+000 e il km 64+000, qualitativamente tra il comune di Poggio San Lorenzo (RI) e la frazione di Ornaro Basso, comune di 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 15. 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 16 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 16. Numero degli anni di osservazioni pluviometriche estratte dagli annali idrologici.

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

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:

$$P(h_d) = e^{-e^{-\left(\frac{h_d - u_d}{\alpha_d}\right)}} \quad (11)$$

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:

$$\alpha_d = 0.778 * \sigma_d \quad (12)$$

$$u_d = \mu_d - 0.5772 * \alpha_d \quad (13)$$

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:

$$y = \frac{h_d - u_d}{\alpha_d} \quad (14)$$

ove y è la variabile ridotta pari a

$$y = -\ln(-\ln(P(h_d))) \quad (15)$$

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

$$F_i = \frac{i}{N + 1} \quad (16)$$

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 :

$$P = \frac{T - 1}{T} \quad (17)$$

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

$$h_d(T) = u_d - \alpha_d \ln \left(\ln \left(\frac{T}{T - 1} \right) \right) \quad (18)$$

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, (19), i cui parametri n ed a variano con T . Si otterrà quindi una CPP differente per ogni tempo di ritorno considerato.

$$h(d) = ad^n \quad (19)$$

3 Risultati delle elaborazioni statistiche

In questo capitolo si riportano i risultati delle analisi statistiche condotte sulle serie storiche delle stazioni di Posticciole 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 (19)) 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.

3.1 Stazione di Posticciola

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 (12) e la (13) contenute nel paragrafo 2.1.

Tabella 17. Parametri della distribuzione di Gumbel per la serie breve della stazione di Posticciola.

	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 18) le altezze di pioggia di assegnata durata ottenute mediante l'equazione (8) al variare del tempo di ritorno T.

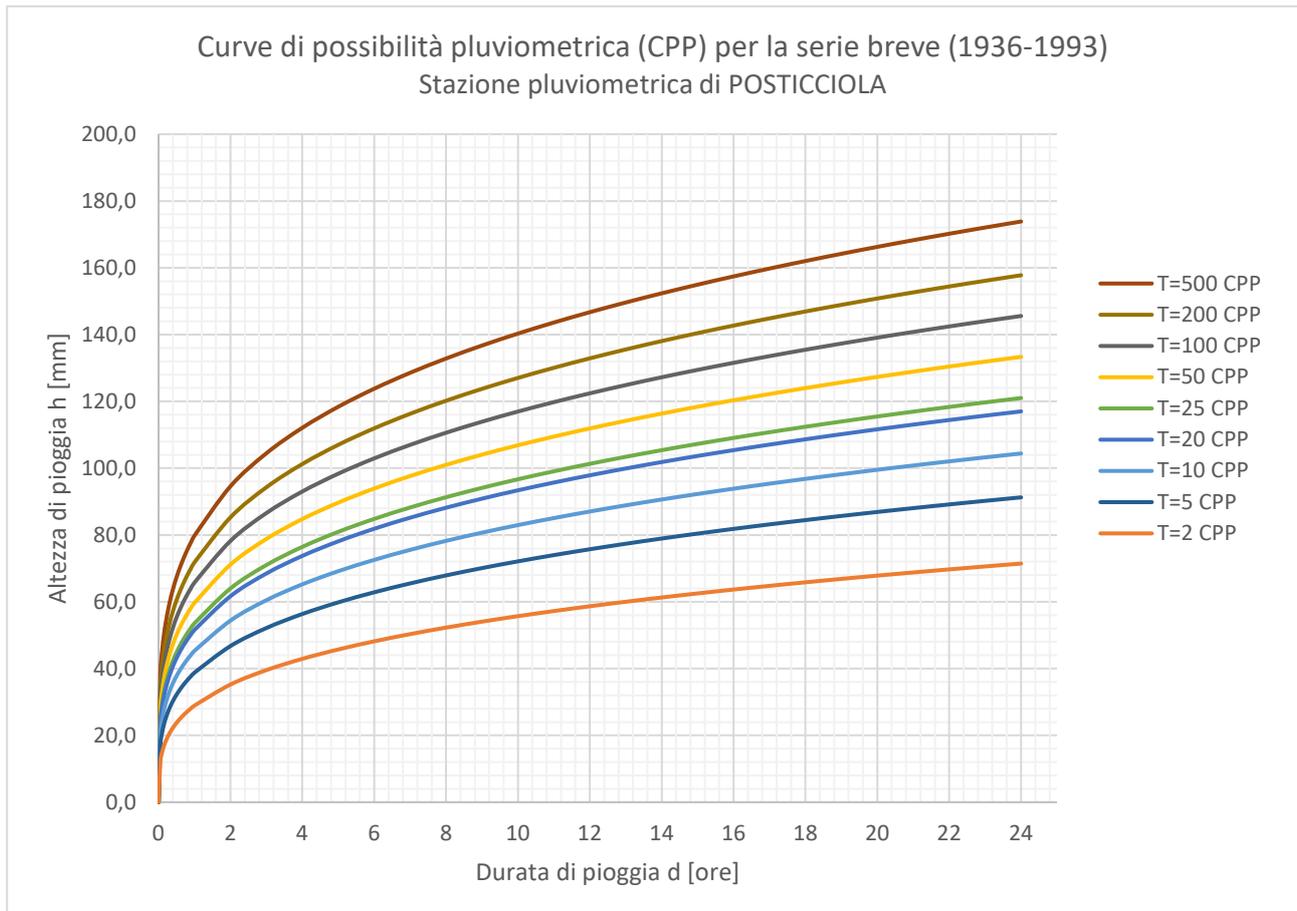
Tabella 18. Massime altezze di pioggia di durata assegnata al variare del tempo di ritorno ricavate con la distribuzione di Gumbel per la stazione di Posticciola.

	d=1h	d=3h	d=6h	d=12h	d=24h
T anni	h (mm)				
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 19 è possibile apprezzare i parametri stimati per le CPP, cui fa seguito il grafico ottenuto dall'equazione (19) nella quale sono stati sostituiti i suddetti valori dei parametri a e n .

Tabella 19. Valori di a e n per le CPP riferite alla serie breve della stazione di Posticciola.

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	0.284	0.269	0.263	0.258	0.256	0.253	0.250	0.248	0.245



3.1.2 Elaborazioni sulla serie estesa (1936-2020)

Nella Tabella 20 sono contenuti i parametri relativi alla distribuzione di Gumbel per la serie in esame, le formule utilizzate per la stima dei parametri sono la (12) e la (13) contenute nel paragrafo 2.1.

Tabella 20. 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 21) le altezze di pioggia di assegnata durata ottenute mediante l'equazione (18) al variare del tempo di ritorno T.

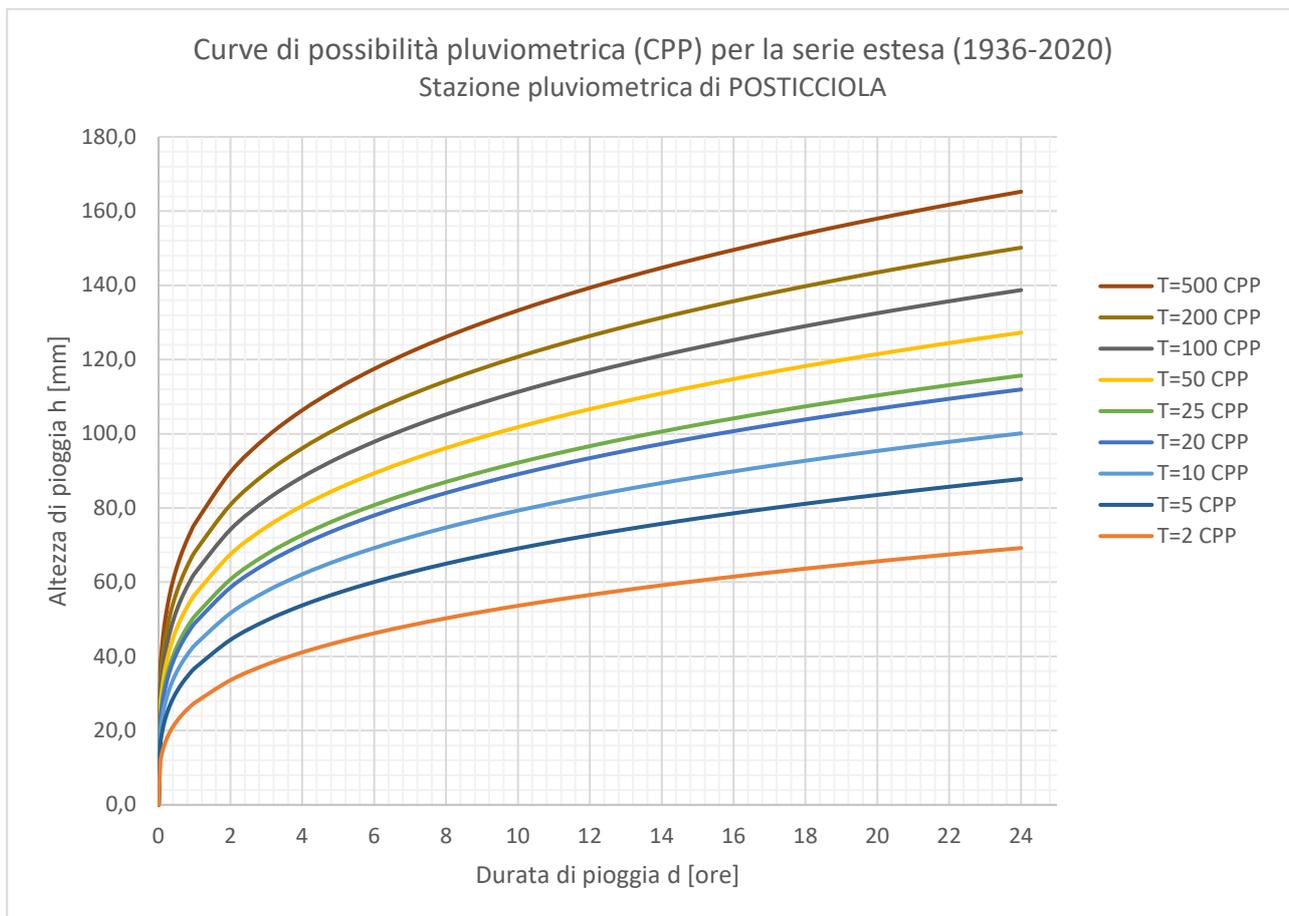
Tabella 21. Massime altezze di pioggia di durata assegnata al variare del tempo di ritorno ricavate con la distribuzione di Gumbel per la stazione di Posticciola.

	d=1h	d=3h	d=6h	d=12h	d=24h
T anni	h (mm)				
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 22 è possibile apprezzare i parametri stimati per le CPP, cui fa seguito il grafico ottenuto dall'equazione (19) nella quale sono stati sostituiti i suddetti valori dei parametri a e n .

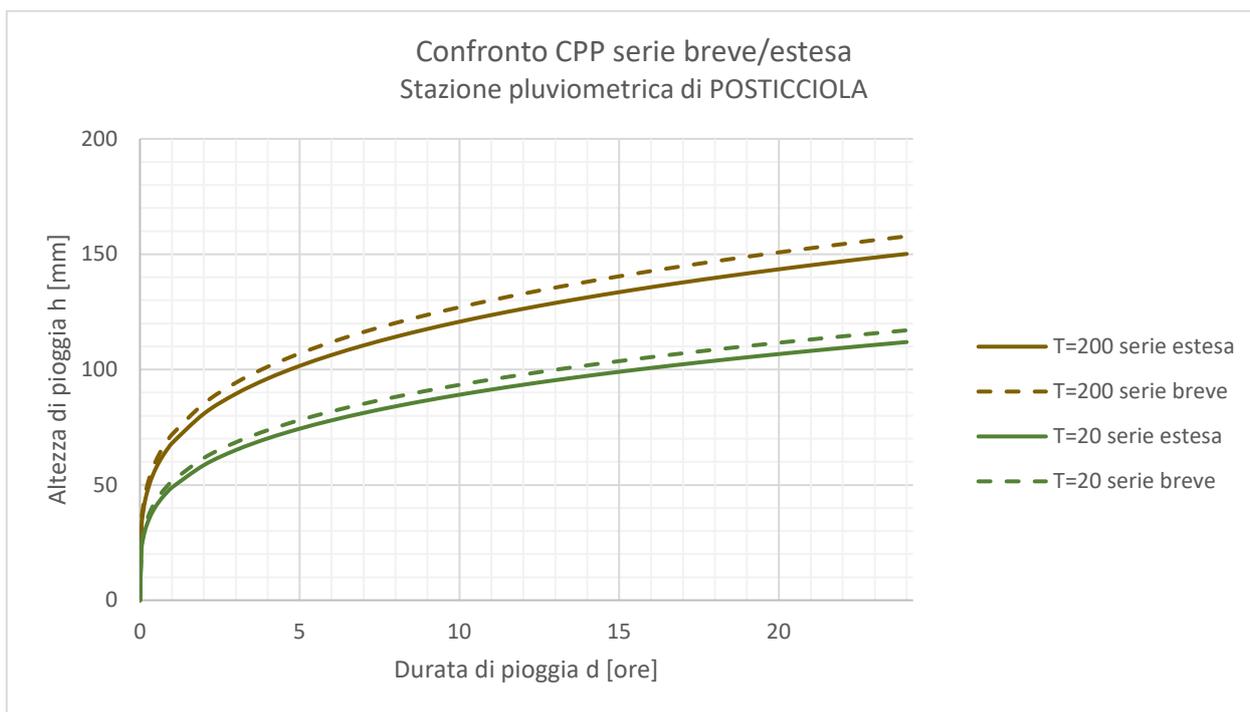
Tabella 22. Valori di a e n per le CPP riferite alla serie estesa della stazione di Posticciola.

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



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.



3.2 Stazione di Rieti

3.2.1 Elaborazioni sulla serie breve (1936-1993)

Nella Tabella 23 sono contenuti i parametri relativi alla distribuzione di Gumbel per la serie in esame, le formule utilizzate per la stima dei parametri sono la (12) e la (13) contenute nel paragrafo 2.1.

Tabella 23. 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 24) le altezze di pioggia di assegnata durata ottenute mediante l'equazione (18) al variare del tempo di ritorno T.

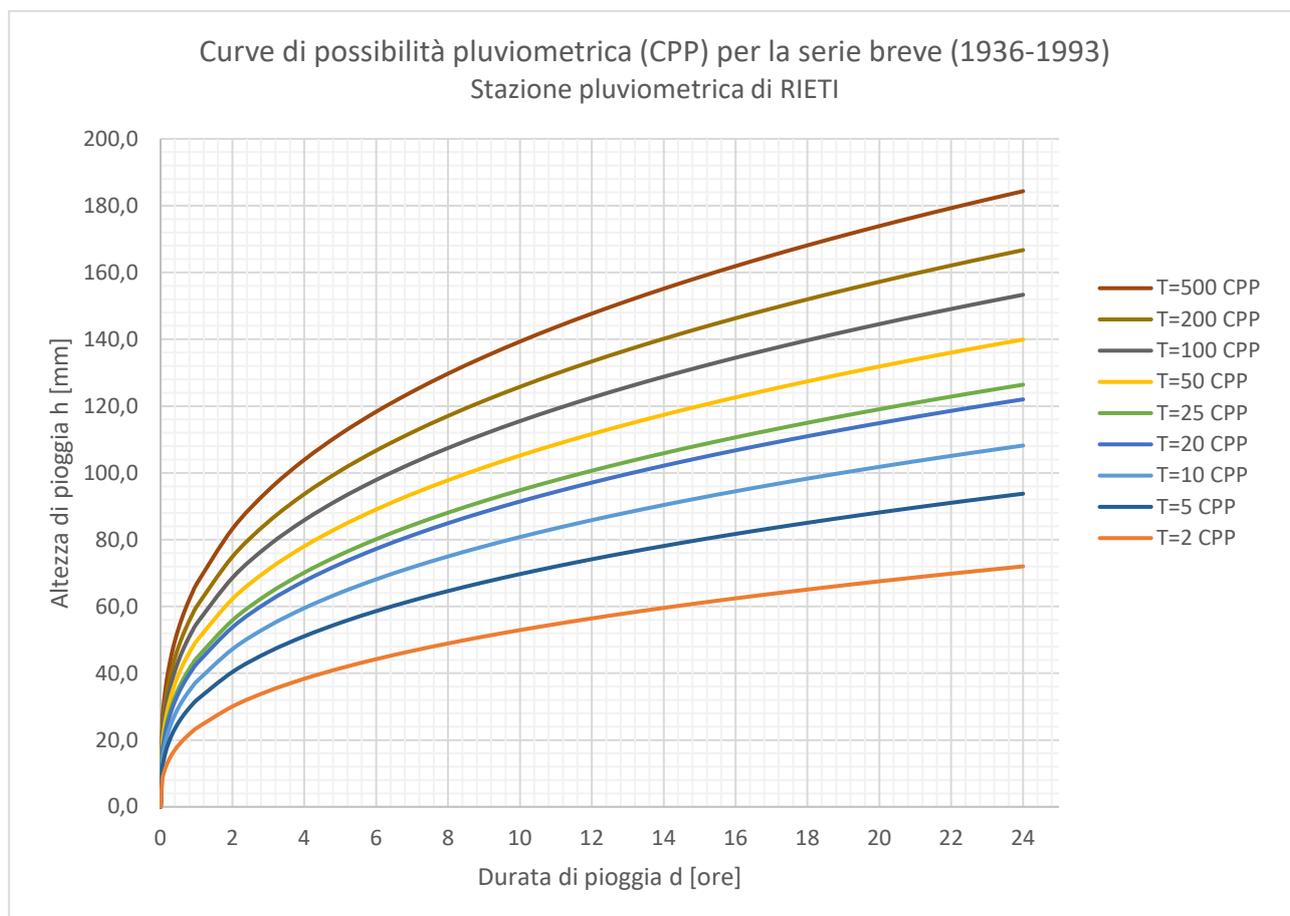
Tabella 24. Massime altezze di pioggia di durata assegnata al variare del tempo di ritorno ricavate con la distribuzione di Gumbel per la stazione di Rieti.

	d=1h	d=3h	d=6h	d=12h	d=24h
T anni	h (mm)				
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 25 è possibile apprezzare i parametri stimati per le CPP, cui fa seguito il grafico ottenuto dall'equazione (19) nella quale sono stati sostituiti i suddetti valori dei parametri a e n .

Tabella 25. 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



3.2.2 Elaborazioni sulla serie estesa (1936-2020)

Nella Tabella 26 sono contenuti i parametri relativi alla distribuzione di Gumbel per la serie in esame, le formule utilizzate per la stima dei parametri sono la (12) e la (13) contenute nel paragrafo 2.1.

Tabella 26. 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 27) le altezze di pioggia di assegnata durata ottenute mediante l'equazione (18) al variare del tempo di ritorno T.

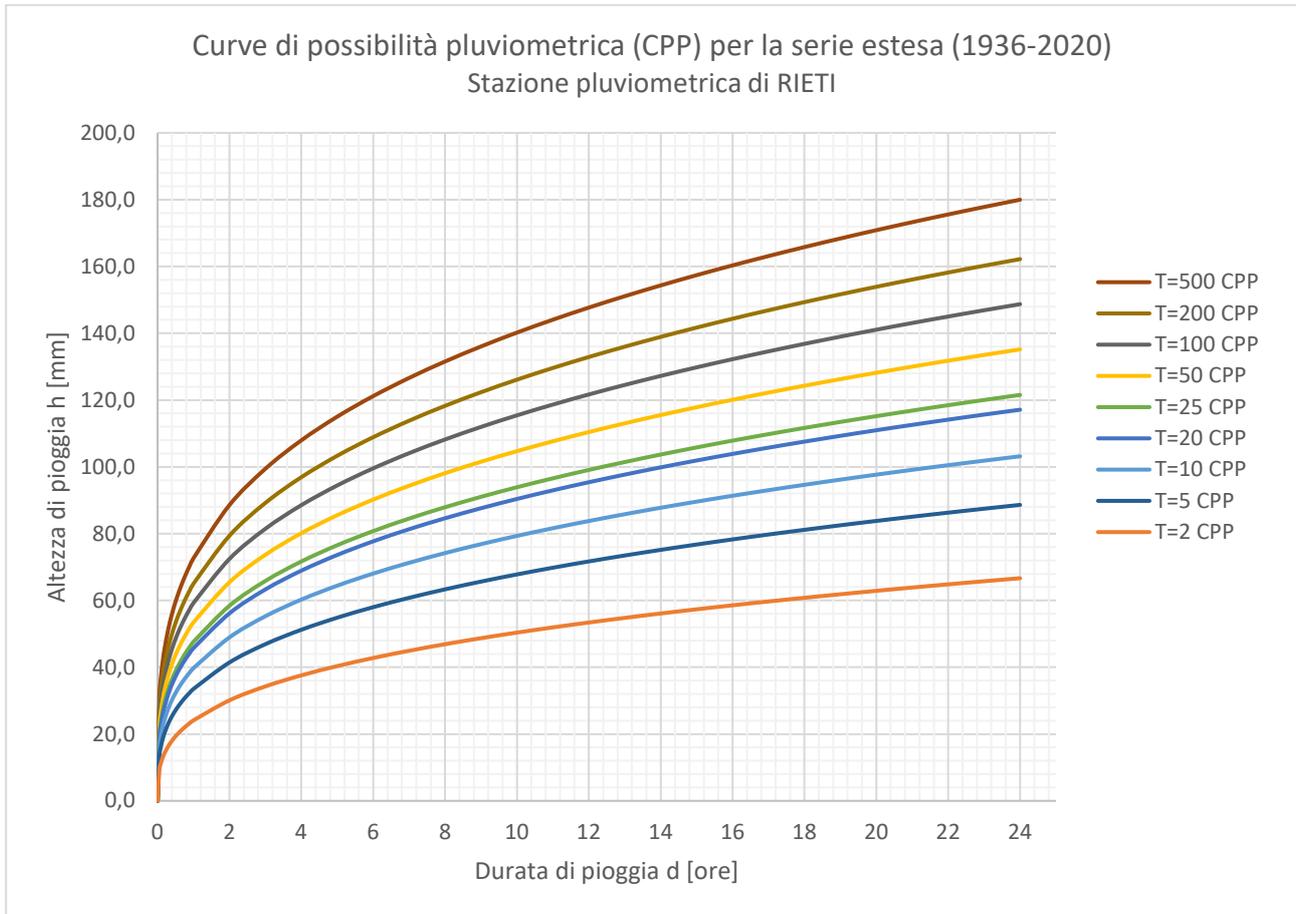
Tabella 27. Massime altezze di pioggia di durata assegnata al variare del tempo di ritorno ricavate con la distribuzione di Gumbel per la serie estesa della stazione di Rieti.

	d=1h	d=3h	d=6h	d=12h	d=24h
T anni	h (mm)				
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 24 è possibile apprezzare i parametri stimati per le CPP, cui fa seguito il grafico ottenuto dall'equazione (19) nella quale sono stati sostituiti i suddetti valori i parametri a e n .

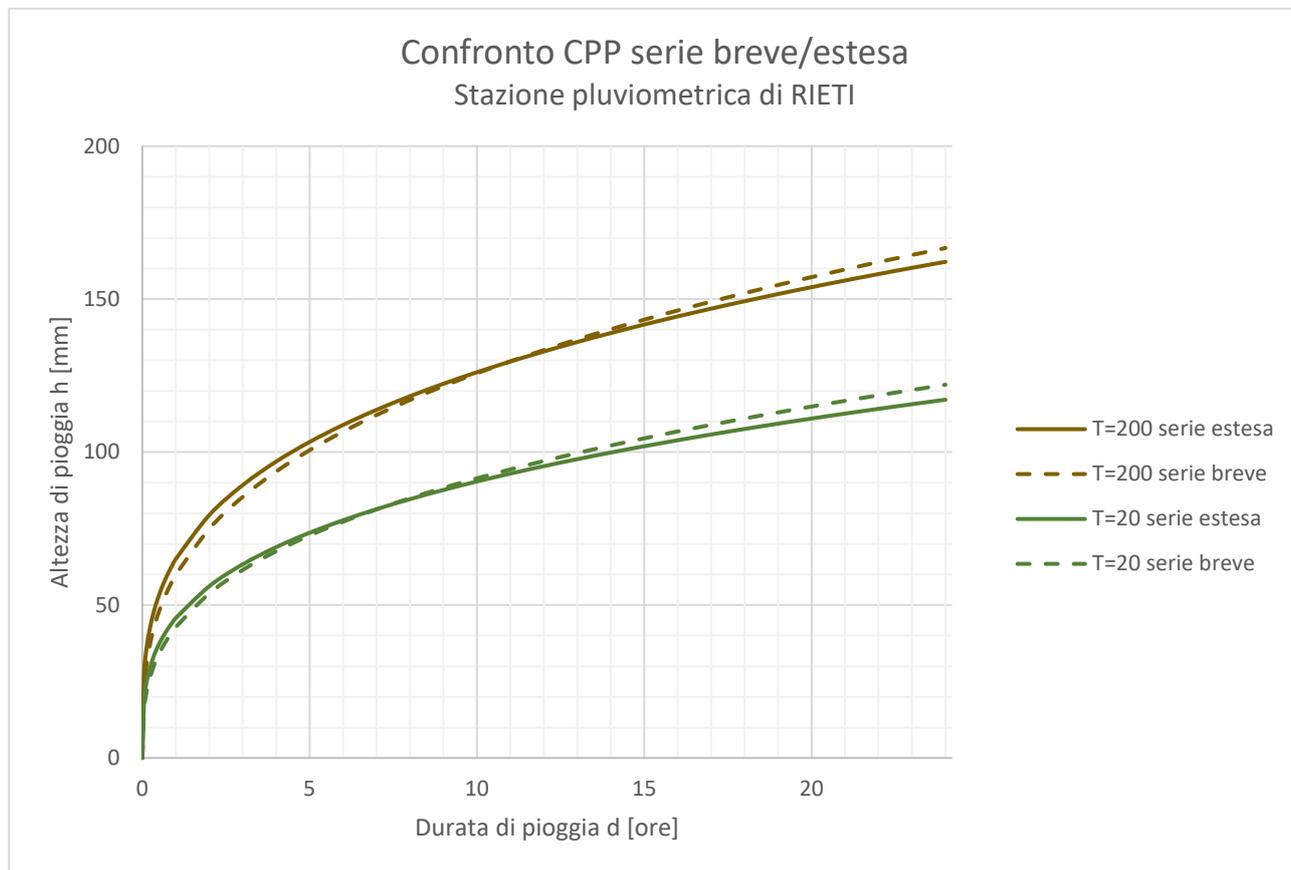
Tabella 28. Valori di a e n per le CPP riferite alla serie estesa della stazione di Rieti.

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	0.320	0.306	0.300	0.296	0.295	0.292	0.289	0.288	0.285



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.



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.

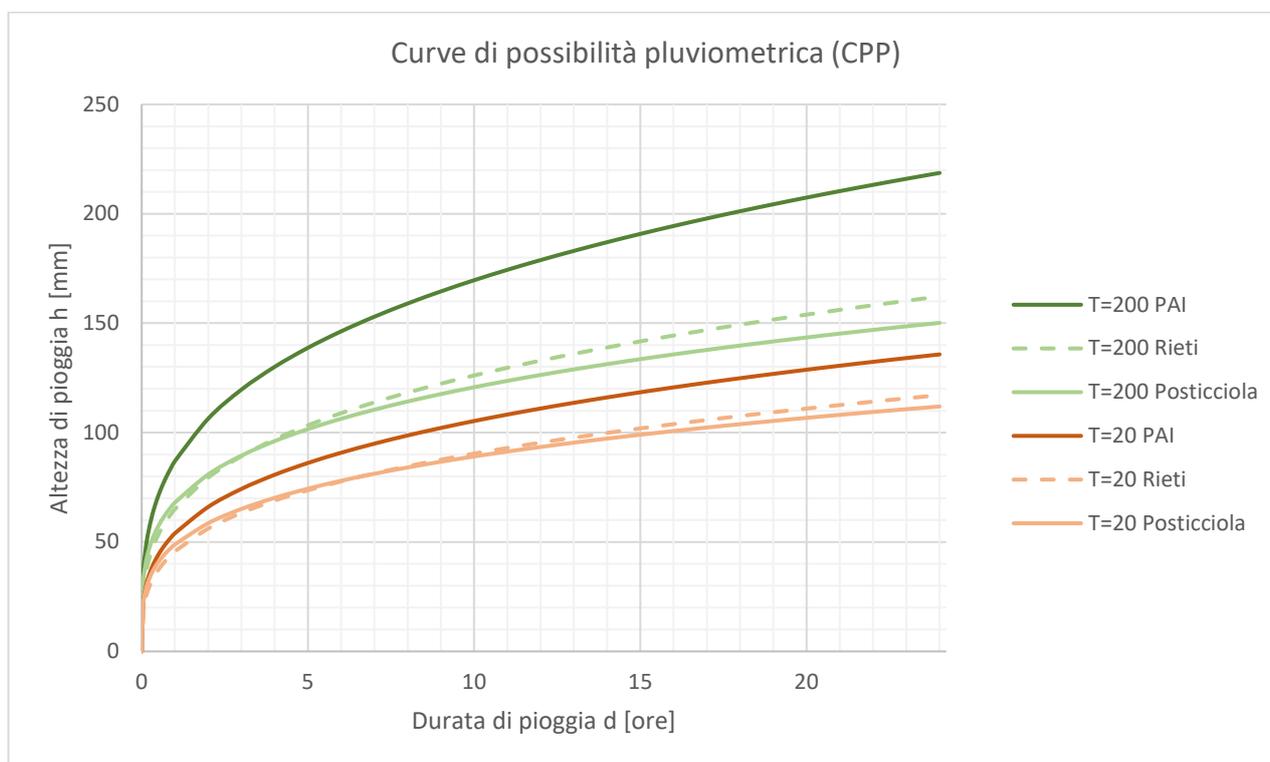
In particolare, i parametri a e n sono già stati ricavati nella relazione principale e vengono di seguito riportati (Tabella 29).

Tabella 29. 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

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.



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 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.