

LE PIOGGE INTENSE NELLA REGIONE VENETO

(1990-2020)

Volume 1 Relazione generale



Verona, giugno 2021

REDAZIONE

**Nordest
Ingegneria S.r.l.**

Via Paolo da Sarameola 1/A
35030 - Rubano (PD)
t. 0498975709 - f. 049630270
info@nordestingegneria.com
www.nordestingegneria.it



PROGETTO ED ELABORAZIONE

Prof. ing. Vincenzo Bixio
Dott. ing. Anna Chiara Bixio (Ph.D.)
Dott. Gianmarco Tardivo (Ph.D.)

Viveracqua Scrl

Capitale sociale i.v. Euro 97.482 • P.IVA, C.F. e n. di iscriz. al Registro Imprese di Verona: 04042120230 • REA 387036/VR
Sede Legale e Amministrativa: Lungadige Galtarossa, 8 • 37133 Verona • Tel. +39 045 8677723 • Fax +39 045 8677468
info@viveracqua.it • PEC: segreteria@pec.viveracqua.it

www.viveracqua.it

Indice generale dei volumi:

Volume 1	Relazione generale
Volume 2	Elaborazioni idrologiche delle stazioni pluviometriche afferenti ad Acque del Chiampo S.p.A.
Volume 3	Elaborazioni idrologiche delle stazioni pluviometriche afferenti ad Acquevenete S.p.A.
Volume 4	Elaborazioni idrologiche delle stazioni pluviometriche afferenti ad Acque Veronesi S.c. a r.l..
Volume 5	Elaborazioni idrologiche delle stazioni pluviometriche afferenti ad Azienda Gardesana Servizi S.p.A.
Volume 6	Elaborazioni idrologiche delle stazioni pluviometriche afferenti ad Alto Trevigiano Servizi S.r.l.
Volume 7	Elaborazioni idrologiche delle stazioni pluviometriche afferenti ad ETRA S.p.A.
Volume 8	Elaborazioni idrologiche delle stazioni pluviometriche afferenti a BIM - Gestione Servizi Pubblici S.p.A.
Volume 9	Elaborazioni idrologiche delle stazioni pluviometriche afferenti a Livenza Tagliamento Acque S.p.A.
Volume 10	Elaborazioni idrologiche delle stazioni pluviometriche afferenti a Medio Chiampo S.p.A.
Volume 11	Elaborazioni idrologiche delle stazioni pluviometriche afferenti a Piave Servizi S.p.A.
Volume 12	Elaborazioni idrologiche delle stazioni pluviometriche afferenti a Veritas S.p.A.
Volume 13	Elaborazioni idrologiche delle stazioni pluviometriche afferenti a Viacqua S.p.A.

1. Premessa	7
2. Ambito geografico della ricerca e stazioni pluviometriche di riferimento	9
3. La misura delle precipitazioni nella Regione Veneto.....	15
4. La misura di precipitazione effettuata dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV).....	17
4.1. La stazione meteorologica.....	21
4.2. L'acquisizione, il controllo e l'archiviazione dei dati.....	22
4.3. Cenni sugli errori di misura nelle rilevazioni pluviometriche.....	24
5. Ricerche ed elaborazioni eseguite.....	27
5.1. Durata delle precipitazioni massime annue considerate nello studio: minuti primi, ore giorni.....	27
5.2. Procedure e strumenti software adottati per le elaborazioni.....	27
5.3. Ricerca dei valori massimi annui di precipitazione per le località considerate	28
5.4. Analisi statico-probabilistica delle serie di precipitazione e verifiche di accettabilità.....	35
5.4.1. Distribuzioni di probabilità.....	35
5.4.2. Il metodo di Gumbel.....	35
5.4.3. Il metodo degli L-moments	36
5.5. Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica o climatica.....	39
5.6. Ricerca dei valori massimi annui di precipitazione di varia durata successivi al primo	40
5.7. Confronto fra le piogge intense registrate da ARPAV a partire dagli Anni Novanta e quelle registrate dal Magistrato alle Acque a partire dagli Anni Venti.....	43
6. Applicazioni delle elaborazioni pluviometriche eseguite al calcolo delle portate unitarie di piena per la verifica e la realizzazione di opere idrauliche in un comprensorio.....	45
6.1. Coefficienti di deflusso e coefficiente di afflusso.....	46
6.2. Valutazione numerica degli effetti della stagionalità delle precipitazioni.....	48
6.3. Il coefficiente di riduzione o di ragguaglio spaziale delle precipitazioni	55
6.4. Il metodo razionale o cinematico.....	58
6.4.1. Coefficienti idrometrici relativi a precipitazione di durata giornaliera.....	59
6.5. Il metodo dell'invaso.....	60
6.5.1. I fondamenti del metodo.....	60
7. Metodo di Regionalizzazione	63
8. Elaborazione a titolo esemplificativo delle osservazioni pluviometriche per le singole stazioni considerate nella ricerca.....	71
9. Bibliografia.....	82

Presentazione

La sicurezza idraulica del territorio della Regione Veneto, come di altre regioni italiane, è stata messa a repentaglio di recente da piogge di intensità elevata e inusitata, spesso prive di riscontro storico anche se valutate spingendosi decenni addietro nel tempo. Accanto all'intensità delle precipitazioni, qualificate talora con una efficace denominazione come “bombe d'acqua” nel linguaggio comune, colpisce l'elevata frequenza con la quale si verificano gli eventi pluviometrici eccezionali e che sembra sovvertire le tradizionali considerazioni legate al tempo di ritorno, e cioè al verificarsi di un evento con una frequenza temporale caratterizzata da più o meno lunghi intervalli con assenza di precipitazioni critiche. Entrambi gli effetti citati, precipitazioni assai intense ed aumentata frequenza degli eventi, possono essere considerate fra le manifestazioni più appariscenti del cambiamento climatico in atto anche nel nostro territorio. La conseguenza più vistosa di tali fenomeni è data dal prodursi di estesi allagamenti anche nei centri urbani e dall'incombere di pericoli di perdita non solo di beni ma anche di vite umane. Per affrontare adeguatamente i problemi per l'ambiente connessi con le piogge intense, risulta indispensabile ricercare una puntuale conoscenza delle leggi che caratterizzano la loro distribuzione nella Regione Veneto, in maniera da poter consentire una adeguata programmazione della revisione delle opere idrauliche di difesa del territorio più datate ed un corretto dimensionamento di quelle di nuova progettazione.

Per questo motivo Viveracqua, d'intesa con la Regione Veneto e con l'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto – ARPAV, ha ritenuto opportuno proporre la presente ricerca, che mira a fornire un quadro preciso da un punto di vista numerico della distribuzione delle piogge intense della Regione Veneto, elemento fondamentale alla prevenzione dagli allagamenti, specie in ambito urbano.

La società consortile Viveracqua è sorta nel 2011 come forma di stabile collaborazione tra gestori idrici, accomunati da alcune caratteristiche: sono tutte aziende a totale proprietà pubblica e con gestione in house del servizio, non quotate in borsa, e con un forte radicamento nel proprio territorio. Scopo di Viveracqua è aumentare l'efficienza e la capacità competitiva senza perdere lo stretto legame con il territorio. Attualmente ne fanno parte acquedotti, Acque del Chiampo, Acque Veronesi, Alto Trevigiano Servizi, Azienda Gardesana Servizi, Bim BIM - Gestione Servizi Pubblici, Etra, Livenza Tagliamento Acque, Medio Chiampo, Piave Servizi, Veritas e Viacqua, che gestiscono 3'800 impianti di acquedotto, 619 depuratori, oltre 46'000 km di rete idrica e più di 21'000 km di condotte fognarie. Questi sono alcuni dati della gestione delle 12 aziende socie di Viveracqua, che servono un bacino di 4,8 milioni di abitanti: circa 360 milioni di metri cubi di acqua potabile erogati, 470 milioni i metri cubi di acque reflue trattate annualmente prima della reimmissione nell'ambiente, 150'000 analisi di laboratorio eseguite lungo tutta la filiera idrica per garantire acqua di qualità ai cittadini veneti. Dal 2014 al 2019 i 12 gestori hanno investito oltre un miliardo di euro, con l'attivazione di circa 5'200 cantieri, per migliorare la qualità dell'acqua distribuita, ridurre le perdite e ottimizzare le prestazioni ambientali dei depuratori.

Per la forte rilevanza per il territorio di cui è espressione, Viveracqua ha ritenuto opportuno produrre il presente volume, che fa il punto sulla conoscenza delle piogge intense nel Veneto, utilizzando l'imponente serie di osservazioni raccolte dall'ARPAV in circa 140 stazioni pluviometriche distribuite nel territorio regionale in decenni di osservazione, che costituisce un sistema di monitoraggio fra i più moderni ed avanzati a livello europeo. Alle stazioni pluviometriche della Regione Veneto sono state aggiunte alla ricerca alcuni punti di misura della Regione Friuli Venezia Giulia appartenenti al comprensorio Livenza Tagliamento Acque, utilizzando i dati cortesemente forniti da ARPA FVG-S.O.C. OSMER e GRN – Osservatorio Meteorologico Regionale del Friuli Venezia Giulia.

Risultano evidenti i pregi della presente pubblicazione agli effetti di una corretta progettazione o revisione delle opere idrauliche regionali tenendo conto anche di manifestazioni climatiche finora note ma non adeguatamente studiate sotto un profilo numerico, evitando il pericolo di sottodimensionamenti delle opere stesse e consentendo una efficace revisione dell'esistente. Gli elementi prodotti dalla ricerca, che renderemo disponibili ai Comuni soci dei Gestori associati in Viveracqua, affinché anche essi ne possano trarre beneficio in ambito urbanistico e di assetto territoriale, potranno quindi rendere maggiormente efficaci e consapevoli i processi decisionali e programmatici che dovranno essere assunti nella fase attuale di cambiamento di concezione e di innovazione nella proposizione delle opere di tutela ambientale e di difesa idraulica del territorio della Regione Veneto.

Monica Manto
Presidente di Viveracqua

1. Premessa

Il sistema di monitoraggio meteorologico realizzato dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) attraverso il Centro Meteorologico di Teolo costituisce una fonte di eccellenza nell'acquisizione di dati, in particolare di precipitazione, tra i più moderni ed avanzati a livello europeo.

La durata delle misure, iniziata intorno al 1990 per un numero elevato di stazioni pluviometriche distribuite con regolarità nel territorio, ha raggiunto ad oggi i circa 30 anni di osservazione, per cui risulta possibile effettuare indagini conoscitive ed elaborazioni statistiche fondate in quanto basate su una serie temporale di durata adeguata.

La conoscenza di un quadro informativo tanto articolato e vasto risulta di notevole importanza sia da un punto di vista teorico di analisi del fenomeno di precipitazione sia da un punto di vista applicativo connesso con il progetto e la realizzazione di opere idrauliche di regimazione delle acque e di difesa e tutela del territorio.

Tale conoscenza risulta particolarmente qualificata in un ambito, quello delle piogge brevi ed intense, per le quali i valori noti antecedenti alle misure ARPAV non risultava adeguata per la nota difficoltà di lettura delle tracce rilasciate dai pluviografi a pennino sulle superfici cartacee di registrazione, delle quali era dotata la rete di rilevamento gestita dall'allora servizio idrografico del Magistrato delle Acque di Venezia.

D'altro canto, le precipitazioni di forte intensità, specie se di breve durata, sono risultate nel corso degli ultimi anni una delle cause più frequenti di dissesto idraulico del territorio, di generazione di allagamenti e talora anche di vittime, per cui nella terminologia comune di diffusione delle informazioni sono state caratterizzate con perifrasi indicative della pericolosità del fenomeno, e con elevata frequenza con il termine di “bombe d'acqua”, espressione certo non scientifica ma espressione del fenomeno.

Una adeguata conoscenza del regime delle piogge intense e dei valori da esse raggiunte e quindi prevedibili in futuro si presta ad una programmazione adeguata delle opere da realizzare nei vari ambiti fisici di intervento nella Regione Veneto per fronteggiare erosione del suolo nelle aree collinari e montane, allagamenti negli agglomerati urbani e ristagni d'acqua nelle zone di bonifica di pianura, oltre alle esondazioni dei corsi d'acqua che la solcano nel territorio. I valori ottenuti possono consentire un adeguato riferimento per una corretta progettazione di numerosissimi manufatti idraulici che regolano un sistema idraulico tanto complesso, e che costituiscono un patrimonio per la difesa del territorio.

I presenti volumi si propongono di colmare la lacuna di conoscenza attuale sul fenomeno delle piogge intense, e di apportare un efficace strumento operativo di natura teorica ed applicata a quanti si occupano del settore, ricercatori, progettisti ed amministratori, per l'individuazione delle soluzioni più idonee a fronteggiare il fenomeno delle piogge intense nella maniera più efficace. La ricerca svolta può quindi costituire attraverso le estese conoscenze fornite in ambito pluviometrico un prezioso strumento ai fini della tutela ambientale della Regione Veneto.

2. Ambito geografico della ricerca e stazioni pluviometriche di riferimento

La ricerca è stata svolta con riferimento agli ambiti territoriali di pertinenza del Consorzio Viveracqua, comprende i seguenti gestori: Acque del Chiampo S.p.A., Acque Venete S.p.A., Acque Veronesi S.c e r.l., Azienda Gardesana Servizi S.p.A., Alto Trevigiano Servizi s.r.l., ETRA S.p.A., BIM - Gestione Servizi Pubblici S.p.A., - GSP, Livenza Tagliamento Acque S.p.A., Medio Chiampo S.p.A., Piave Servizi S.p.A., Veritas S.p.A., Viacqua S.p.A. (Figura 2.1)



Figura 2-1: Ambiti Territoriali dei gestori appartenenti al Consorzio Viveracqua

Gli ambiti territoriali citati comprendono pressoché interamente la Regione Veneto, ed all'atto pratico il suo intero territorio in considerazione dell'opportunità di considerare, oltre alle stazioni appartenenti all'ambito dei gestori, anche quelle finitime utili a caratterizzare il regime pluviometrico.

Le stazioni pluviometriche ARPA utilizzate per la ricerca sono indicate in Figura 2.2 ed elencate nella Tabella 2.1.

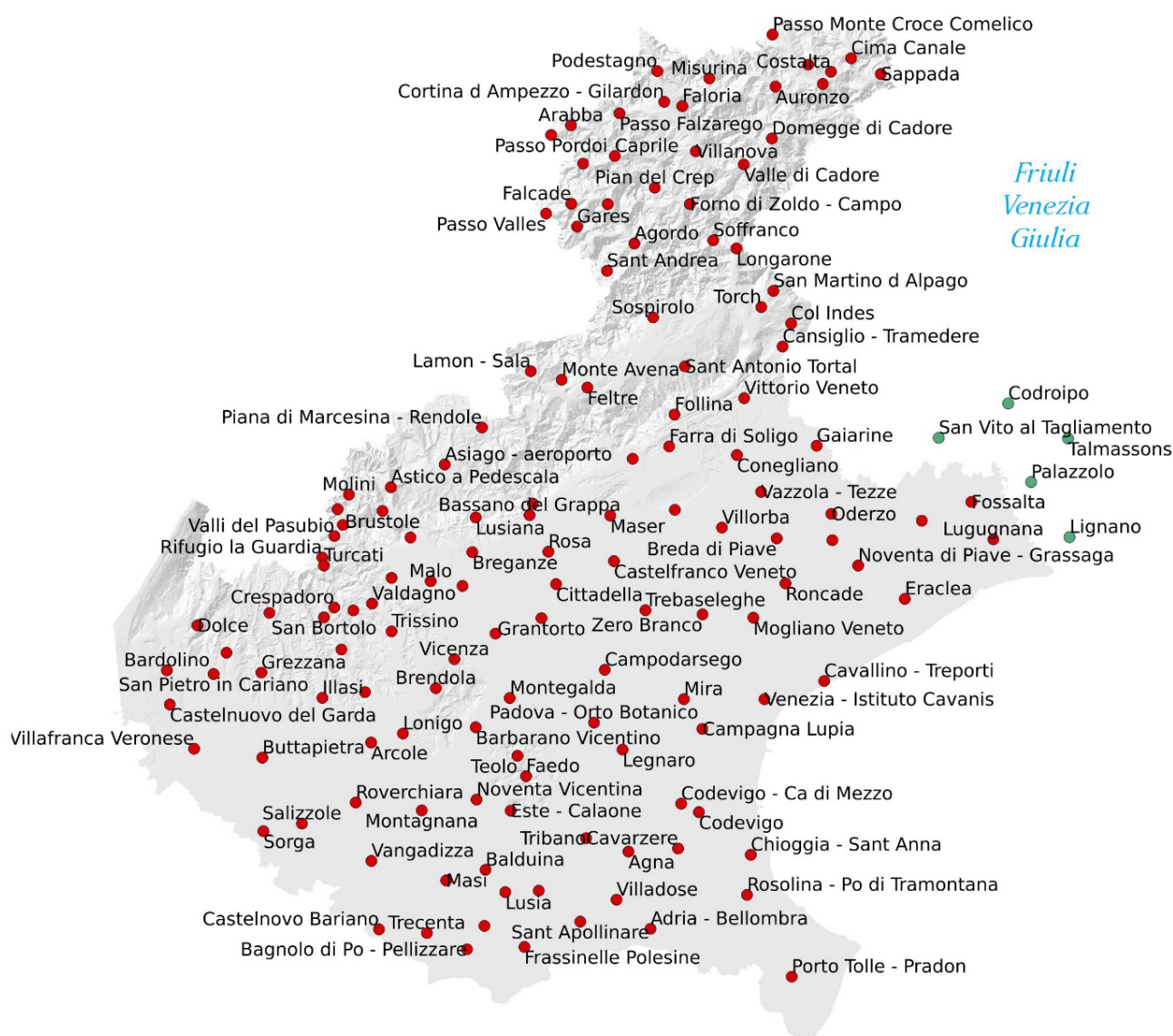


Figura 2-2 – Rappresentazione delle stazioni pluviometriche ARPAV

Tabella 2.1 – Elenco delle stazioni pluviometriche ARPAV utilizzate per le elaborazioni

Numero	Nome della stazione	Numero	Nome della stazione
1	Adria Bellombra (Rovigo)	33	Cittadella (Padova)
2	Agna (Padova)	34	Codevigo (Padova)
3	Agordo (Belluno)	35	Codevigo Ca' di Mezzo (Padova)
4	Arabba (Livinallongo del Col di Lana Belluno)	36	Codroipo (Udine) [*]
5	Arcole (Verona)	37	Col Indes (Tambre Belluno)
6	Asiago aeroporto (Vicenza)	38	Concadirame (Rovigo Rovigo)
7	Astico (Valdastico Vicenza)	39	Conegliano (Treviso)
8	Auronzo (Auronzo di Cadore Belluno)	40	Contrà Doppio (Posina Vicenza)
9	Bagnolo di Po Pellizzare (Rovigo)	41	Cortina d'Ampezzo Gilardon (Belluno)
10	Balduina (Sant'Urbano Padova)	42	Costalta (San Pietro di Cadore Belluno)
11	Barbarano Vicentino (Barbarano Mossano Vicenza)	43	Crespadoro (Crespadoro Vicenza)
12	Bardolino Calmasino (Verona)	44	Dolcè (Verona)
13	Bassano del Grappa (Vicenza)	45	Domegge di Cadore (Belluno)
14	Bosco Chiesanuova (Verona)	46	Eraclea (Venezia)
15	Breda di Piave (Treviso)	47	Este Calaone (Baone Padova)
16	Breganze (Vicenza)	48	Faedo (Cinto Euganeo Padova)
17	Brendola (Vicenza)	49	Falcade (Belluno)
18	Brustolè (Velo d'Astico Vicenza)	50	Faloria (Cortina d'Ampezzo Belluno)
19	Buttapietra (Verona)	51	Farra di Soligo (Treviso)
20	Campagna Lupia Valle Averso (Venezia)	52	Feltre (Belluno)
21	Campodarsego (Padova)	53	Follina (Treviso)
22	Cansiglio Tramedere (Tambre Belluno)	54	Forno di Zoldo Campo (Val di Zoldo Belluno)
23	Caprile (Alleghe Belluno)	55	Fossalza di Portogruaro (Venezia)
24	Casamazzagno (Comelico Superiore Belluno)	56	Frassinelle Polesine (Rovigo)
25	Castelfranco Veneto (Treviso)	57	Gaiarine (Treviso)
26	Castelnovo Bariano (Rovigo)	58	Gares (Canale d'Agordo Belluno)
27	Castelnuovo del Garda (Verona)	59	Grantorto (Padova)
28	Cavallino Treporti (Venezia)	60	Grezzana (Verona)
29	Cavarzere (Venezia)	61	Illasi (Verona)
30	Cencenighe (Cencenighe Agordino Belluno)	62	Lamon Sala (Belluno)
31	Chioggia Sant'Anna (Venezia)	63	Legnaro (Padova)
32	Cima Canale (Santo Stefano di Cadore Belluno)	64	Lignano Sabbiadoro (Udine) [*]

Numero	Nome della stazione	Numero	Nome della stazione
65	Longarone (Belluno)	99	Ponte di Piave (Treviso)
66	Lonigo (Vicenza)	100	Portogruaro Lison (Venezia)
67	Lugugnana (Portogruaro Venezia)	101	Porto Tolle Pradon (Rovigo)
68	Lusia (Rovigo)	102	Pove del Grappa (Vicenza)
69	Lusiana (Vicenza)	103	Quinto Vicentino (Vicenza)
70	Malga Ciapela (Rocca Pietore Belluno)	104	Recoaro Mille (Recoaro Terme Vicenza)
71	Malo (Vicenza)	105	Rifugio la Guardia (Recoaro Terme Vicenza)
72	Marano di Valpolicella (Verona)	106	Roncade (Treviso)
73	Maser (Treviso)	107	Rosà (Vicenza)
74	Masi (Padova)	108	Rosolina Po di Tramontana (Rovigo)
75	Mira (Venezia)	109	Roverchiara (Verona)
76	Misurina (Auronzo di Cadore Belluno)	110	Salizole (Verona)
77	Mogliano Veneto (Treviso)	111	San Bellino (Rovigo)
78	Molini (Laghi Vicenza)	112	San Bortolo (Selva di Progno Verona)
79	Montagnana (Padova)	113	San Giovanni Ilarione (Verona)
80	Monte Avena (Pedavena Belluno)	114	San Martino d'Alpago (Chies d'Alpago Belluno)
81	Monte Summano (Velo d'Astico Vicenza)	115	San Pietro in Cariano (Verona)
82	Montecchia di Crosara (Verona)	116	San Vito al Tagliamento (Pordenone) [*]
83	Montecchio Precalcino (Vicenza)	117	Sant'Andrea (Gosaldo Belluno)
84	Montegalda (Vicenza)	118	Sant'Antonio Tortal (Trichiana Belluno)
85	Noventa di Piave Grassaga (Venezia)	119	Sant'Apollinare (Rovigo)
86	Noventa Vicentina (Vicenza)	120	Santo Stefano di Cadore (Belluno)
87	Oderzo (Treviso)	121	Sappada (Udine)
88	Palazzolo dello Stella (Udine) [*]	122	Soffranco (Longarone Belluno)
89	Padova Orto Botanico (Padova)	123	Sorgà (Verona)
90	Passo Falzarego (Cortina d'Ampezzo Belluno)	124	Sospirolo (Belluno)
91	Passo Monte Croce Comelico (Comelico Superiore Belluno)	125	Talmassons (Udine) [*]
92	Passo Pordoi (Livinallongo del Col di Lana Belluno)	126	Teolo (Padova)
93	Passo Santa Caterina (Valdagno Vicenza)	127	Torch (Alpago Belluno)
94	Passo Valles (Falcade Belluno)	128	Trebaseleghe (Padova)
95	Passo Xomo (Posina Vicenza)	129	Trecenta (Rovigo)
96	Pian del Crep (Val di Zoldo Belluno)	130	Tribano (Padova)
97	Piana di Marcesina Rendole (Enego Vicenza)	131	Trissino (Vicenza)
98	Podestagno (Cortina d'Ampezzo Belluno)	132	Turcati (Recoaro Terme Vicenza)

Numero	Nome della stazione	Numero	Nome della stazione
133	Valdagno (Vicenza)	141	Villadose (Rovigo)
134	Valdobbiadene Bigolino (Treviso)	142	Villafranca di Verona (Vicenza)
135	Valle di Cadore (Belluno)	143	Villanova (Borca di Cadore Belluno)
136	Valli del Pasubio (Vicenza)	144	Villorba (Treviso)
137	Vangadizza (Legnago Verona)	145	Vittorio Veneto (Treviso)
138	Vazzola Tezze (Treviso)	146	Volpago del Montello (Treviso)
139	Venezia Istituto Cavanis (Venezia)	147	Zero Branco (Treviso)
140	Vicenza (Vicenza)	-	-

[*] – Le stazioni di Codroipo, Lignano Sabbiadoro, Palazzolo dello Stella, San Vito al Tagliamento e Talmassons, appartengono alla Regione Friuli Venezia Giulia; i loro dati sono stati gentilmente forniti da ARPAV FVG- SOC OSMER GRN – Osservatorio Meteorologico Regionale del Friuli Venezia Giulia.

La selezione delle stazioni da utilizzare per le elaborazioni statistiche è stata eseguita in base al numero di anni di osservazione disponibili, considerando solamente quelle con un periodo di misura sufficiente per l'esecuzione delle elaborazioni; dalle rimanenti stazioni sono stati elaborati dati singoli utili alla ricerca, tenendo conto ad esempio dei valori massimi assoluti da citare su base regionale.

In considerazione della notevole mole di dati elaborati e per comodità di consultazione la ricerca viene presentata oltre che mediante una relazione generale, anche in singoli fascicoli dedicati a ciascun gestore, nei quali vengono riportati i dati osservati e le elaborazioni effettuate con riferimento alle stazioni pluviometriche presenti all'interno del territorio di competenza del gestore ed a quelle ad esso finitime.

3. La misura delle precipitazioni nella Regione Veneto

Il monitoraggio meteorologico del territorio in esame fu eseguito in maniera sistematica, a partire dal 1920 circa, dal Servizio Idrografico del Magistrato delle Acque di Venezia; i dati rilevati e le elaborazioni svolte vennero riportate annualmente sui due volumi degli Annali idrologici, dedicati rispettivamente alle osservazioni effettuate ed alle elaborazioni e studi ad esse relativi.

Le ricerche in ambito pluviometrico affini a quelle in esame furono numerose. Tra quelle dotate di sistematicità si ricorda lo studio “Indagini idrologiche per la redazione di Piani generali di bonifica e di tutela del territorio rurale” redatto per conto dell’Unione Regionale Veneta della Bonifica delle Irrigazioni e dei Miglioramenti Fondiari di Venezia (V.Bixio, 1990) in forma analitica, costituito da una relazione generale e da circa 150 volumi, ciascuno relativo ai dati osservati ed alle elaborazioni relative ad una stazione pluviometrica.

La ricerca in esame viene successivamente ripresa ed ampliata dalla Regione Veneto, e pubblicata con il titolo “Analisi della situazione idraulica attuale e indirizzi per la moderazione della Regione Veneto” (V. Bixio, 1993).

Le osservazioni pluviometriche effettuate dall’Ufficio idrografico del Magistrato alle Acque di Venezia erano esaustive per quanto riguarda le piogge di lunga durata e di debole intensità, mentre non risultava agevole l’interpretazione dei dati relativi a piogge di breve durata e di forte intensità, in quanto in tal caso il meccanismo di registrazione, costituito da un supporto cartaceo rotante attorno ad un tamburo con avvolta una carta graduata e da un pennino, ad inchiostro, di registrazione degli impulsi pluviometrici, si prestava alla sovrapposizione di linee difficilmente interpretabili per quanto atteneva alla misura effettuata.

A partire da un intorno dell’anno 1990 la gestione del sistema di rilevamenti pluviometrico passò dal Servizio idrografico del Magistrato alle Acque della Regione Veneto, che si avvale dell’Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) per l’acquisizione di dati meteorologici ed in particolare di quelli relativi alle piogge.

4. La misura di precipitazione effettuata dall'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV).

Capitolo a cura di Francesco Rech, ARPAV – Dipartimento Regionale per la Sicurezza del Territorio – U.O.C. Meteorologia e Climatologia

L'Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (ARPAV) effettua misure di precipitazione mediante una rete di circa 200 stazioni meteorologiche automatiche operative in tempo reale sull'intero territorio regionale. Il sistema di monitoraggio è stato realizzato a partire da metà degli anni '80 nel settore montano ed esteso alla pianura all'inizio degli anni '90. I pluviometri effettuano misure ogni 5 minuti primi. I dati elementari di precipitazione sono rilevati al quinto minuto di ciascun intervallo d'acquisizione, a partire dalle ore 00:00 solari di ogni giorno e rappresentano la somma della precipitazione (pioggia, rugiada, brina o equivalente in acqua della precipitazione solida) caduta nel corso dei precedenti 5 minuti. La risoluzione della misura, ovvero la più piccola variazione del valore che lo strumento riesce a misurare, è pari a 0.2 mm.

L'orario e la data attribuiti ai dati sono sempre riferiti all'ora solare o CET (Central European Time); gli orari delle stazioni sono verificati quotidianamente dall'unità centrale di acquisizione dati e vengono corretti quando lo scostamento è dell'ordine di 5 minuti primi.

I pluviometri in dotazione alle stazioni meteorologiche automatiche dell'ARPAV sono strumenti a vaschette basculanti (*tipping-bucket precipitation gauge*), costruiti e forniti dalla Ditta MTX S.r.l. negli anni '80 e '90.



Figura 4-1 - Vista d'insieme del pluviometro e del corpo contenente i dispositivi di misura.

Lo strumento (Figura 4.1) è solidamente installato su un supporto che mantiene la bocca tarata (Figura 4.2) a 2 m dal piano di campagna. Il corpo dello strumento è costituito da un cilindro in alluminio alto circa 50 cm, verniciato bianco, per rendere massima la riflessione della radiazione solare, ed incernierato ad una base di appoggio in alluminio pressofuso. Un'aletta posta in prossimità della bocca agisce da deflettore del vento.

La parte superiore dello strumento, visibile nella Figura 4.2 a sinistra, è costituita da un collettore circolare a forma di imbuto, in alluminio anodizzato, che consente la raccolta ed il convogliamento della precipitazione all'interno. La superficie della bocca tarata è di 1000 cm² e la geometria del collettore è tale da evitare che la pioggia possa rimbalzare dalla parete interna verso l'esterno, in accordo con le raccomandazioni del World Meteorological Organization - WMO. Alla base è posizionato un filtro per impedire la caduta di corpi solidi nel sistema di misura. Attraverso il filtro l'acqua viene convogliata verso il sistema di misura.

Nella Figura 4.2 a destra, si può osservare il sistema di misura del pluviometro che è sostenuto da viti regolabili per consentirne il corretto posizionamento sul piano orizzontale. Inoltre, nel corpo superiore rovesciato è visibile la parte terminale dell'imbuto di raccolta, contornata da un gruppo di tre resistenze che, attivandosi quando la temperatura interna dello strumento scende sotto i 4 °C, consentono lo scioglimento dell'eventuale precipitazione nevosa permettendo la misura dell'equivalente in acqua della neve. La calibrazione dello strumento, una volta garantita l'orizzontalità, viene effettuata agendo sulle due viti superiori di fine corsa, terminanti con una capsula plastificata di color bianco.



Figura 4-2 – Vista della bocca del pluviometro e particolare del sistema di misura del pluviometro.

Il sistema elettromeccanico di misura, o sistema basculante, (Figura 4.2 e Figura 4-3) è sovrastato da un secondo collettore in alluminio ed è costituito da una coppia di vaschette separate centralmente da un setto divisorio realizzato con un'apposita geometria spaccagoccia; tale assieme è ricavato da un unico pezzo di alluminio, successivamente anodizzato.

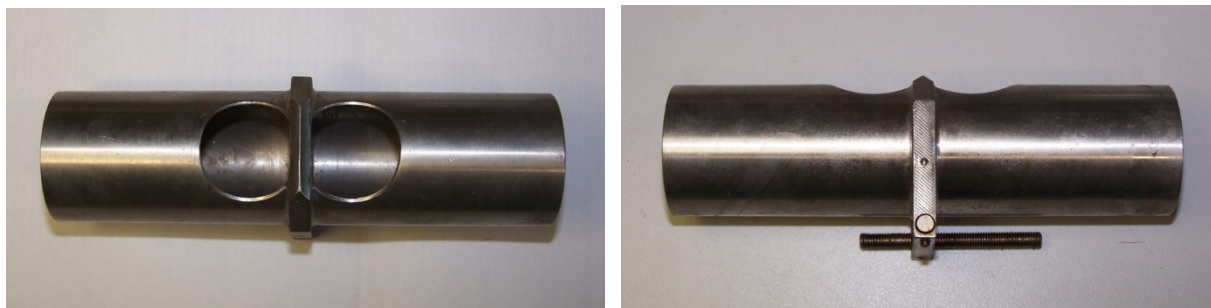


Figura 4-3 – Vaschette basculanti vista dall'alto (sx) e vista laterale (dx) in questa seconda immagine si vedono il tondino filettato utilizzato per equilibrare il sistema, il foro del perno ed il cilindro del magnete.

Questo elemento è incernierato orizzontalmente e, attraverso un fulcro in acciaio inox, è in grado di basculare; esso costituisce cioè un'altalena che posiziona sotto l'imbuto di raccolta alternativamente ora l'una ora l'altra delle due vaschette. Il rovesciamento delle vaschette avviene quando una di esse raccoglie 20 g di acqua che, in relazione alla superficie di 1000 cm² della bocca tarata, equivalgono a 0.2 mm di precipitazione.

La parte di trasduzione del sensore (Figura 4.5) è costituita da un sistema che ad ogni semi-oscillazione genera un segnale elettrico; si tratta di un doppio interruttore magnetico fisso e di un magnete permanente solidale con la parte mobile. Ad ogni basculamento si ha l'alternata eccitazione di ciascun contatto (uno in apertura, l'altro in chiusura): il numero delle chiusure in scambio è quindi pari al numero di basculamenti e fornisce la misura diretta dei millimetri di precipitazione caduta come multipli di 0.2 mm. La presenza del doppio interruttore magnetico impedisce che eventuali rimbalzi della vaschetta possano essere interpretati come veri basculamenti dal sistema di acquisizione.

La sequenza di 5 immagini riportate in Figura 4.4 descrive il processo di oscillazione delle vaschette basculanti.



Figura 4-4– Simulazione del movimento delle vaschette basculanti del pluviometro.



Figura 4-5 – Sul castello di supporto del gruppo basculante (a sinistra) è visibile uno dei due elementi dell'interruttore magnetico. Il componente elettronico di colore verde è il sistema di controllo della temperatura in grado di attivare il gruppo di resistenze per lo scioglimento della neve, e vista d'insieme (a destra) della stazione meteorologica automatica di Marcesina (Enego VI). Oltre alla precipitazione vengono rilevati: temperatura e umidità relativa dell'aria, radiazione globale, direzione e velocità vento. Il contenitore bianco ospita il data logger, le componenti di alimentazione elettrica ed il sistema radio di trasmissione dati.

4.1.La stazione meteorologica.

Il pluviometro viene installato all'interno del perimetro della stazione meteorologica (Figura 4.5) con la bocca posizionata a 2 m dal piano di campagna, che è generalmente costituito da terreno naturale con cotica erbosa periodicamente tagliata.

Particolare cura è stata posta nella scelta dei siti delle stazioni meteorologiche ricercando la rispondenza alle indicazioni riportate dal manuale W.M.O. Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation – WMO No. 8-Seventh edition 2008, anche se con il trascorrere degli anni risulta difficile mantenere invariate le condizioni del sito.

In particolare le stazioni di misura devono essere collocate in luoghi aperti, su terreno pianeggiante, lontano da edifici, alberature, siepi od ostacoli in grado di interferire con le misurazioni. I siti di misura dovrebbero essere rappresentativi del territorio circostante, evitando, per quanto possibile, installazioni su tetti, terrazzi di edifici e scarpate.

Il vento in particolare è in grado di alterare, anche pesantemente, le misure pluviometriche, soprattutto nel caso di precipitazioni nevose e pertanto nelle installazioni andrebbero evitate posizioni particolarmente esposte al vento.

4.2.L'acquisizione, il controllo e l'archiviazione dei dati.

I processi di acquisizione-trattamento dei dati e di manutenzione-taratura sensori sono organizzati in ARPAV, dal 2001, con un sistema di gestione certificato UNI EN ISO 9001-2015.

L'affidabilità dei sensori pluviometrici è garantita mediante interventi di calibrazione in campo effettuati almeno una volta ogni due anni o a seguito di ogni sostituzione del gruppo basculante o qualora i controlli riscontrino delle possibili anomalie di funzionamento.

Le operazioni di controllo dei pluviometri sono definite dalla Procedura Operativa PO01RCMT - "Manutenzione della rete di monitoraggio" e dalle relative Istruzioni Operative che, in estrema sintesi, oltre a interventi di pulizia delle componenti ed a controlli sul corretto posizionamento orizzontale dello strumento, prevedono lo svolgimento di test di funzionamento che simulano precipitazioni di intensità di 10 mm/h e di 50 mm/h verificando la risposta sia dello strumento che dell'elettronica di acquisizione dati.

I dati di precipitazione sono inoltre oggetto di un processo di controllo automatico e manuale che viene svolto quotidianamente sulla base dei seguenti principi generali:

- | | |
|-------------------------------|--|
| Range e formato dei dati | I dati pervenuti devono rientrare nel range di misura dello strumento e devono rispondere ai requisiti formali, quali struttura dati, congruità data, presenza codici identificativi appropriati, che ne consentano l'univoco riconoscimento. |
| Consistenza relativa dei dati | I dati di variabili diverse rilevate dalla stazione possono presentare andamenti correlati, quali: precipitazioni intense correlate a diminuzione della temperatura, diminuzione della radiazione globale, aumento dell'umidità relativa, presenza di bagnatura fogliare. Andamenti anomali vengono segnalati come sospetti. |
| Consistenza spaziale dei dati | Vengono confrontati tra loro misure della medesima variabile effettuate da stazioni vicine, segnalando come sospette le situazioni caratterizzate da rilevanti differenze. |

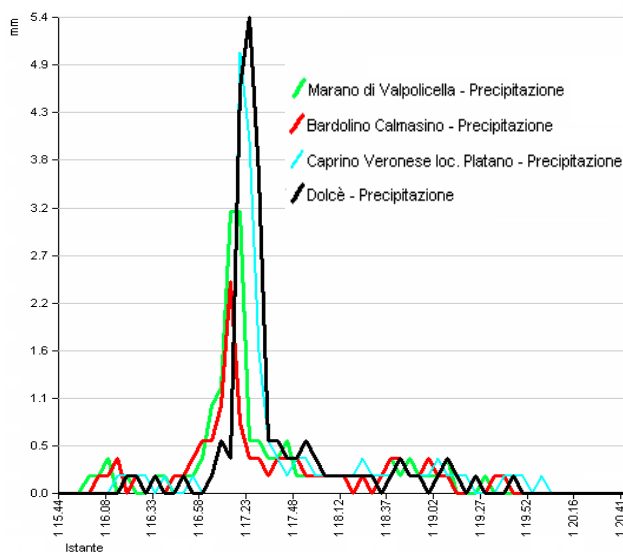


Figura 4-6 – Confronto tra intensità di precipitazione rilevate ogni 5 minuti da 4 stazioni pluviometriche tra le ore 14 e le 24 del 1 maggio 2012, operata dal programma di validazione. Gli andamenti osservati delle diverse stazioni sono coerenti.

I processi automatici di controllo bloccano i dati in entrata in caso vengano riscontrati problemi di formato, altrimenti generano eventuali segnalazioni, demandando all'operatore la scelta di validare o invalidare il dato. In generale i fenomeni di precipitazione sono caratterizzati da una notevole variabilità spazio - temporale (si pensi in particolare ai fenomeni estivi di rovescio) e ciò complica notevolmente i processi di controllo.

I programmi di validazione dati producono segnalazioni automatiche di attenzione in due casi:

- se la stazione ha rilevato precipitazione giornaliera $\geq$ a 0.6 mm; apporti di 0.2-0.4 mm possono infatti essere dovuti alla rugiada o a debolissime precipitazioni;
- se, effettuando un confronto tra le cumulate orarie di precipitazione della stazione oggetto di controllo con quelle delle stazioni circostanti, si riscontra che la stazione non rileva precipitazione mentre almeno due delle stazioni circostanti rilevano precipitazioni $\geq$ a 0.6 mm.

Il primo test “costringe” l'operatore a controllare graficamente tutte le stazioni che nel corso del giorno precedente hanno rilevato precipitazioni e consente di individuare eventuali dati aberranti (es. precipitazioni create artificialmente nei processi di taratura, dalle irrigazioni, da guasti dell'elettronica, dallo scioglimento ritardato della neve).

Il secondo test serve per evidenziare eventuali interruzioni di funzionamento nel corso dell'evento o addirittura da inizio evento.

Ciascuna segnalazione di dati sospetti avvia un processo manuale di controllo dati che per la pioggia consiste essenzialmente nel confronto, mediante grafici, dell'andamento nel tempo dell'evento tra stazioni circostanti (ovvero analisi della consistenza spaziale dei dati), come evidenziato in Figura 4.6.

I radar meteorologici situati sul Monte Grande (Teolo PD) e a Concordia Sagittaria (VE), costituiscono un importante strumento per il controllo dei dati pluviometrici; in questo caso (Figura 4.7) il programma di

validazione localizza i corpi precipitanti rispetto alla posizione delle stazioni pluviometriche e consente di osservare in dettaglio l'evoluzione temporale di un evento in un punto del territorio regionale. Soprattutto nel caso di temporali localizzati questo rimane l'unico strumento in grado di supportare i processi di validazione dei dati.

Il riscontro di anomalie di funzionamento comporta l'annullamento dei dati e l'attivazione di processi di controllo manutentivo della relativa stazione meteorologica.

Le misure trasmesse via radio dalle stazioni meteorologiche vengono archiviate, sia prima che dopo il processo di validazione, in una banca dati relazionale operante con sistema Oracle denominata SIRAV (Sistema Informativo Regionale Ambientale del Veneto) accessibile tramite rete intranet ARPAV a tutte le strutture operative dell'Agenzia.

Nel contesto del sistema di qualità certificata di ARPAV le suddette operazioni sono definite dalla Procedura Operativa PO 01 V CMT – “Controllo dei dati della rete di monitoraggio” e dalle relative Istruzioni Operative.

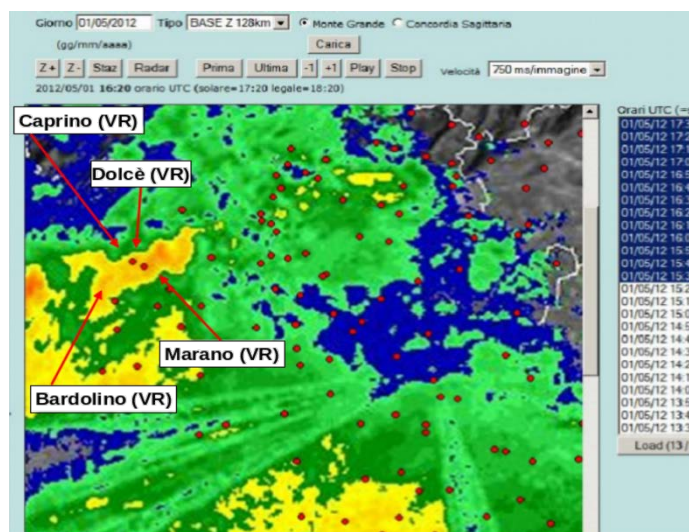


Figura 4-7 – I dati radar delle ore 17.20 solari del 1 maggio 2012 spiegano la diversa intensità di precipitazione rilevata dalle 4 stazioni del grafico sopra riportato.

4.3.Cenni sugli errori di misura nelle rilevazioni pluviometriche.

In primo luogo, è importante ribadire che le rilevazioni puntuali al suolo operate dalle stazioni meteorologiche, a volte, non sono in grado di rappresentare correttamente la variabilità spaziale dei fenomeni di precipitazione. A prescindere da tali considerazioni, le misure pluviometriche sono comunque affette, in modo rilevante, da errori di misura sistematici e casuali tra i quali vengono ricordati in particolare:

- errori generati dall'azione del vento sulle meteore in prossimità della bocca del pluviometro, tali errori sono proporzionali alla velocità del vento e mediamente determinano sottostime variabili dal 2 al 10%

per la precipitazione liquida e dal 10 al 50 % per la precipitazione solida;

- errori dovuti a perdite per adesione dell'acqua alle pareti del pluviometro; tipicamente dal 2 al 15 % della precipitazione in estate e dall'1 all'8% in inverno;
- errori per evaporazione dal contenitore, particolarmente significativi per i pluviometri totalizzatori e variabili tra 0 e 4 %;
- errori dovuti alla neve sollevata e trasportata dal vento o agli schizzi, queste casistiche di errori possono determinare anche delle sovra stime della precipitazione.
- errori derivati dalla riduzione del diametro della bocca captante o ostruzione totale, per adesione della neve al bordo del pluviometro.

I pluviometri a vaschette basculanti sono affetti inoltre da specifici errori derivanti dai seguenti fenomeni:

- perdita di acqua durante l'oscillazione delle bascule nel corso di piogge intense (Figura 4.4 Figura 4.5) dovuta al fatto che il sistema basculante impiega del tempo ad oscillare, tale tempo è breve ma comunque finito; nel corso della prima metà di questo movimento un quantitativo supplementare di pioggia può cadere nel compartimento basculante che ha già totalizzato gli 0,2 mm di precipitazione necessaria per il rovesciamento. Tale errore può essere ridotto ma mai eliminato e diventa particolarmente significativo durante le piogge intense;
- in caso di piogge di debole intensità, la natura discontinua della registrazione può non fornire una precisa indicazione sull'evoluzione temporale del fenomeno; in particolare, il tempo di inizio e fine della precipitazione può non essere esattamente determinato;
- adesione dell'acqua alle pareti e sull'orlo delle vaschette determinando un residuo di pioggia e un peso addizionale che influenza l'azione basculante; tali errori di sovrastima possono essere incrementati dalla presenza di impurità e polveri nelle bascule;
- perdita di acqua per evaporazione dalle vaschette che può avere qualche rilevanza in caso di precipitazioni di debole intensità con elevate temperature;
- dimensioni, forme e foronomia dei collettori che convogliano la pioggia sul sistema di misura possono influenzare in vario modo le misure;
- sensibilità dello strumento all'usura, all'attrito ed all'improprio bilanciamento delle parti oscillanti; particolarmente importante risulta il corretto posizionamento sul piano orizzontale del sistema basculante;
- presenza del sistema di riscaldamento che mantiene la temperatura dell'imbuto e del sistema basculante sui 4-6 °C che determina, specie con temperature dell'aria molto basse, rilevanti fenomeni di evaporazione-sublimazione dei fiocchi di neve con conseguente ulteriore sottostima della precipitazione nevosa.

La stima di errori sistematici generati dal pluviografo può essere effettuata ricorrendo alla calibrazione dello strumento, che consiste nel verificare la differenza tra quantitativi d'acqua introdotti nello strumento con varie intensità e le relative misurazioni.

5. Ricerche ed elaborazioni eseguite

5.1. Durata delle precipitazioni massime annue considerate nello studio: minuti primi, ore giorni

Per l'esecuzione della presente ricerca sono state acquisite le serie di precipitazione relative alle stazioni elencate nel paragrafo 2 dalle quali sono stati estratti inizialmente tutti i valori massimi annuali delle durate di 5, 10, 15, 30 e 45 minuti primi; 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive; 48, 72, 96 e 120 ore consecutive. Quest'ultima serie risulta maggiormente rappresentativa rispetto a quella ricavata da misure effettuate ad intervalli di tempo convenzionali, compresi ad esempio tra le ore 9 di un giorno e le ore nove del giorno precedente secondo la convenzione adottata a suo tempo dall'Ufficio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici nel periodo antecedente al passaggio delle relative competenze alla Regione. Le serie di precipitazione delle durate suddette si possono considerare utili in un ambito assai ampio della ricerca idrologica e nelle sue applicazioni al settore delle opere idrauliche, risultando quelle di durata più breve utili soprattutto nel progetto delle fognature bianche caratterizzate da più ridotti tempi di corrivazione, quelle di durata maggiore utili anche alle applicazioni in ambito di corsi d'acqua di esteso bacino idrografico. Le serie di pioggia di varia durata sono state assoggettate ad una regolarizzazione statistico- probabilistica, in maniera da consentire il calcolo delle altezze di pioggia di assegnata frequenza probabile e durata per ciascuna località. Ulteriori elaborazioni hanno consentito un approfondimento sulla conoscenza del ripetersi in tempi anche brevi di piogge intense di una determinata località, fenomeno che è stato indagato anche con la ricerca di eventi pluviometrici tra loro indipendenti idonei a fornire valori di precipitazione prossimi al massimo assoluto.

5.2. Procedure e strumenti software adottati per le elaborazioni

Per le analisi delle serie pluviometriche e per le estrazioni dei massimi annuali per ciascuna durata, da 5 minuti primi a 5 giorni consecutivi, sono state implementate delle procedure in C++ (*ISO/IEC 14882: 1998 "Information Technology - Programming Languages - C++"*): linguaggio di programmazione orientato agli oggetti, compilato, considerato uno dei più complessi esistenti ma anche uno dei più rapidi in fase di esecuzione. Le rimanenti elaborazioni sono state implementate con procedure in R (linguaggio di programmazione ed ambiente di sviluppo specifico per l'analisi statistica dei dati con licenza GNU GPL); in particolar modo ci si riferisce alla elaborazione dei grafici e delle parti più complesse dal punto di vista statistico, considerato che tale linguaggio risulta efficace ai fini della ricerca e consente di ottenere con sufficiente rapidità i risultati voluti.

5.3. Ricerca dei valori massimi annui di precipitazione per le località considerate

La ricerca dei valori massimi annui di precipitazione è stata eseguita per le stazioni pluviometriche considerate con riferimento alle 14 durate menzionate, pari rispettivamente a: 5, 10, 15, 30 e 45 minuti primi; 1, 3, 6 e 12 ore; 24, 48, 72, 96 e 120 ore consecutive. I valori ottenuti sono stati riportati in un'apposita tabella; si riportano a titolo di esempio in Tabella 5.1 i valori ottenuti per la stazione di Legnaro.

Tabella 5.1 - Precipitazioni massime annue per varie durate registrate nella stazione di Legnaro in mm (1992 - 2020).

anno	5min	10min	15min	30min	45min	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h
1992	14.6	16.2	19.2	34.4	45.0	50.0	54.0	66.2	81.2	92.0	131.4	135.0	155.8	156.0
1993	8.4	16.6	21.8	30.8	33.8	35.0	38.4	38.4	38.4	52.2	52.2	57.0	60.0	60.0
1994	13.4	23.2	32.6	52.8	59.8	61.4	75.2	84.0	84.2	90.2	90.4	90.4	90.4	90.4
1995	11.2	20.0	23.4	29.8	35.4	37.4	37.8	42.2	43.6	56.8	58.6	71.2	75.0	77.4
1996	6.6	10.0	12.8	16.8	18.4	20.6	27.0	32.8	43.0	53.4	59.4	79.4	85.4	92.2
1997	8.6	13.0	15.8	22.4	25.0	25.6	27.0	30.4	30.4	33.6	50.2	55.0	67.2	75.0
1998	12.2	20.4	25.2	25.6	29.4	30.4	40.6	50.4	58.6	58.6	81.4	103.0	131.8	133.0
1999	8.6	13.8	19.4	29.8	33.8	35.0	35.2	58.8	81.6	84.0	85.8	86.8	106.8	108.6
2000	5.4	10.8	13.8	20.6	23.4	24.2	31.4	51.0	57.2	72.8	89.8	92.8	93.4	94.2
2001	7.8	12.4	15.4	24.0	29.2	31.8	46.8	51.8	67.8	83.8	85.2	85.2	88.2	90.4
2002	13.0	25.4	36.0	58.0	67.6	71.2	74.4	82.4	82.4	82.4	84.4	84.6	106.0	115.4
2003	11.2	19.0	22.6	25.2	25.4	25.6	28.0	28.0	30.6	42.0	73.2	73.2	73.2	74.2
2004	14.2	25.2	34.6	46.0	49.2	50.0	52.4	54.6	54.6	58.6	88.0	99.8	112.6	130.8
2005	17.0	27.2	35.4	45.0	46.0	46.2	51.4	61.8	82.4	85.0	103.8	104.0	112.4	153.2
2006	8.2	14.2	19.4	27.2	28.4	29.0	32.8	62.6	74.6	86.0	104.2	171.4	177.4	177.4
2007	6.8	12.6	17.6	31.6	36.2	39.2	55.6	58.2	69.0	69.0	107.6	127.8	129.4	129.6
2008	11.2	21.4	22.6	22.6	22.6	31.2	39.2	39.2	47.6	48.8	63.0	68.8	68.8	78.4
2009	9.6	17.2	24.2	31.4	36.0	39.8	71.4	107.2	162.8	172.4	172.6	189.0	189.2	189.4
2010	14.2	18.2	22.0	29.8	32.6	37.0	41.2	41.2	48.0	56.0	59.2	60.4	61.0	84.0
2011	12.4	19.8	24.0	27.2	27.2	27.2	34.6	34.6	43.0	55.0	64.2	76.4	85.2	86.6
2012	12.0	14.0	16.6	20.8	20.8	20.8	23.0	36.8	46.4	49.2	51.6	72.0	75.6	81.4
2013	9.2	15.4	20.4	27.8	29.6	30.4	30.8	32.4	44.4	52.4	59.2	68.0	68.0	69.6
2014	13.8	19.6	26.0	36.2	40.8	43.4	46.4	57.8	67.2	68.4	86.4	105.6	123.4	125.8
2015	8.0	14.2	15.8	19.8	20.6	20.8	26.6	28.6	34.8	36.6	46.2	54.0	54.4	64.4
2016	11.2	18.4	21.0	22.4	28.2	31.2	34.0	46.6	59.0	78.2	84.6	84.6	84.8	92.0
2017	9.4	16.8	21.2	21.6	21.6	21.6	24.0	24.4	35.0	36.4	52.0	59.0	59.0	64.4
2018	8.4	13.0	19.8	34.2	39.6	40.2	43.6	45.8	53.6	56.4	61.4	62.0	77.6	79.8
2019	10.0	18.8	20.0	23.2	23.6	24.0	34.6	34.6	39.6	55.8	57.2	59.8	59.8	65.0
2020	15.6	27.2	32.4	43.2	51.4	52.6	55.2	56.0	56.0	56.4	60.6	61.0	67.6	67.8

Risulta altresì di interesse la conoscenza dei valori massimi assoluti registrati nelle stazioni pluviometriche per le varie durate, tali valori vengono riportati nella Tabella 5.2.

Tabella 5.2 – Valori massimi assoluti di precipitazione registrati nelle stazioni pluviometriche per la durata di 5, 10, 15, 30 e 45 minuti primi; 1, 3, 6 e 12 ore; 24, 48, 72, 96 e 120 ore consecutive.

Stazione	Durate													
	5min	10min	15min	30min	45min	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h
Adria Bellombra	16.0	23.0	27.8	36.6	42.2	44.4	63.2	84.4	145.4	180.0	190.4	191.2	191.4	191.4
Agna	15.0	26.6	36.8	56.2	73.8	86.2	107.4	123.0	162.8	175.0	175.2	192.4	197.0	197.4
Agordo	14.0	21.0	25.4	38.4	46.0	48.4	68.0	116.4	201.4	306.4	488.2	552.0	565.4	584.0
Arabba	11.2	18.8	23.4	35.0	42.6	44.2	48.8	74.2	112.2	140.0	219.6	260.2	270.6	285.2
Arcole	16.4	26.8	35.8	53.2	60.0	60.6	115.6	122.6	123.2	123.2	123.4	123.4	124.2	124.8
Asiago Aeroporto	15.0	23.2	31.0	45.8	57.2	67.2	98.4	99.0	138.2	173.0	221.4	242.6	242.6	258.8
Astico A Pedescala	13.2	21.8	33.2	51.2	61.8	66.4	111.2	137.4	216.0	264.0	266.0	271.2	304.8	305.0
Auronzo	17.4	23.6	30.6	39.8	42.2	43.2	71.6	73.0	100.8	139.8	222.2	326.4	343.0	343.0
Bagnolo Di Po Pellizzare	16.4	31.8	36.0	51.6	66.0	72.6	91.0	104.2	111.2	116.8	118.4	122.0	127.2	132.4
Balduina Sant'Urbano	23.8	40.0	47.8	51.8	53.4	64.2	123.8	141.6	141.6	144.4	152.8	154.0	229.8	239.8
Barbarano Vicentino	19.0	27.4	34.6	57.8	62.0	63.0	70.2	72.6	80.4	106.0	124.4	157.6	161.0	172.6
Bardolino Calmasino	17.0	31.8	37.4	45.4	48.4	53.4	78.2	81.2	90.8	95.4	150.4	165.0	174.6	177.4
Bassano Del Grappa	14.6	25.8	35.0	53.2	66.0	78.4	86.0	92.2	109.8	147.8	223.8	259.2	259.4	259.4
Bosco Chiesanuova	13.8	22.0	27.8	45.2	48.4	51.0	71.6	78.4	88.4	133.4	169.4	188.0	188.6	199.0
Breda Di Piave	17.8	29.6	36.2	52.6	64.2	74.0	100.2	111.2	113.8	124.6	135.8	168.8	170.4	186.8
Breganze	16.6	26.0	38.6	50.0	61.0	68.6	106.0	116.2	120.8	126.2	170.6	214.8	214.8	243.2
Brendola	17.0	30.8	35.2	46.0	52.6	60.0	66.0	82.4	107.2	133.0	184.2	233.0	240.2	240.4
Brustole Velo DAstico	14.2	25.8	33.8	59.4	75.4	94.4	122.0	129.0	180.0	218.2	311.4	348.4	397.4	398.4
Buttapietra	16.4	25.0	32.6	51.2	61.6	70.8	72.4	94.2	94.2	94.6	105.0	106.0	120.8	128.8
CampagnaLupia	17.2	31.8	45.0	75.4	90.2	106.0	248.4	301.4	322.2	326.2	354.2	360.2	360.2	360.6
Campodarsego	15.6	29.2	35.6	52.4	60.6	62.8	67.0	90.2	126.6	137.4	139.4	187.4	193.0	193.8
Concadirame	17.6	26.2	34.4	50.6	63.2	70.0	87.6	107.6	107.6	152.4	167.2	173.2	192.4	205.6
Cansiglio Tramedere	14.6	25.8	33.4	48.6	68.0	77.8	95.2	143.2	250.8	369.0	463.8	516.8	516.8	516.8
Caprile	10.4	17.2	23.4	32.0	35.6	38.2	57.8	73.6	105.0	137.2	242.6	301.2	306.0	316.6
Casamazzagno	11.4	21.0	25.4	39.8	49.2	52.0	57.0	62.4	94.2	117.4	175.6	234.6	243.4	245.6
Castelfranco Veneto	17.8	33.8	44.8	62.4	68.0	68.2	86.4	87.0	119.8	161.8	168.8	210.0	212.4	229.0
Castelnovo Bariano	17.0	29.0	34.8	49.2	61.0	64.6	68.4	76.4	78.2	84.0	123.4	123.4	123.6	142.8

Stazione	Durate													
	5min	10min	15min	30min	45min	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h
Castelnuovo Del Garda	15.8	29.8	32.4	45.6	51.8	56.6	62.0	68.4	75.6	84.6	133.4	146.8	161.0	175.4
Cavallino Treporti	16.8	31.4	40.2	54.0	61.6	70.2	98.6	122.6	140.4	158.0	168.4	178.0	178.2	178.2
Cavarzere	12.8	24.8	29.2	43.8	55.8	59.8	82.8	105.8	139.4	160.4	161.2	178.4	178.6	197.8
Cencenighe	12.2	22.0	26.2	26.8	34.2	37.2	79.2	147.2	221.8	261.8	465.8	530.8	548.2	565.8
Chioggia Sant'Anna	15.0	29.2	38.4	63.4	87.8	113.8	123.8	136.4	253.6	267.6	276.8	277.0	277.0	284.2
Cimacanal San Pietro Di Cadore	17.6	22.2	22.6	30.8	32.2	35.2	63.0	107.6	185.8	206.8	287.6	331.0	340.8	353.8
Cittadella	16.8	27.4	34.4	49.0	51.0	63.6	88.6	90.2	110.8	127.6	159.6	186.2	203.8	224.6
Codevigo	18.4	34.6	48.4	61.4	63.4	67.4	137.8	153.8	158.4	162.4	179.4	182.0	182.2	214.8
Codevigo Ca' Di Mezzo	14.8	26.0	30.2	47.6	59.6	64.4	90.6	105.0	130.0	144.6	159.0	159.2	160.6	188.0
Codroipo	16.4	26.4	35.2	48.0	56.0	57.4	110.6	135.4	147.2	156.0	187.7	215.6	266.2	281.4
Col Indes Tambre	15.4	24.8	31.4	48.4	55.4	65.8	125.2	184.2	237.8	306.2	405.0	437.0	441.4	449.4
Conegliano	16.4	23.8	31.8	45.0	61.6	64.0	92.2	114.6	151.6	155.2	159.8	186.0	217.6	252.4
Contra Doppio Posina	15.4	27.4	36.6	52.2	70.4	83.0	147.6	147.8	201.6	289.4	401.8	457.4	505.8	508.2
Cortina D'Ampezzo-Gilardon	13.4	18.4	24.0	42.8	57.4	65.6	73.0	73.4	87.0	146.4	242.2	292.6	298.2	316.6
Costalta	10.8	19.2	23.0	28.4	38.2	40.6	74.2	91.0	150.2	173.2	242.2	292.8	300.8	308.4
Crespadoro	14.8	23.8	28.0	40.8	44.6	51.6	88.4	114.2	170.0	223.0	305.8	350.0	350.2	350.4
Dolce	18.6	32.2	37.2	47.4	53.4	60.0	65.8	74.4	94.8	138.8	165.0	177.6	177.6	181.2
Domegge Di Cadore	12.4	18.0	23.0	30.6	39.2	42.2	62.8	112.0	160.2	204.6	267.6	360.6	371.2	378.0
Eraclea	19.0	26.8	33.0	37.4	42.2	51.4	109.0	125.2	141.8	142.4	173.6	199.0	236.4	236.6
Este Calaone	16.2	30.8	38.8	50.6	62.4	64.4	67.6	92.0	119.8	205.8	212.6	216.2	216.2	228.8
Faedo Cinto Euganeo	15.8	25.6	36.2	54.8	59.2	60.2	63.4	83.4	119.4	143.6	156.0	204.8	212.0	212.0
Falcade	13.2	22.0	28.8	31.2	33.4	34.2	56.0	86.4	125.0	148.6	228.2	279.4	287.6	301.0
Faloria	10.8	17.4	23.4	33.4	39.6	43.2	49.4	67.4	101.8	153.4	249.8	306.6	311.4	331.0
Farra Di Soligo	18.8	33.8	39.4	60.8	72.2	78.0	93.0	100.8	151.0	158.4	246.0	273.4	273.4	286.8
Feltre	19.0	27.6	35.8	53.6	75.8	101.4	177.8	205.4	211.0	264.4	367.4	401.0	411.0	420.4
Follina	13.0	23.0	32.0	54.6	67.6	72.6	78.8	106.2	161.6	200.8	330.6	369.8	369.8	369.8
Forno Di Zoldo Campo	11.8	21.8	26.8	34.8	39.8	46.6	63.4	92.8	150.2	218.8	325.6	357.6	357.6	357.6
Fossalta Di Portogruaro	15.8	28.4	38.0	57.8	72.2	81.2	112.8	114.0	124.0	198.6	204.4	206.6	218.6	218.6
Frassinelle Polesine	15.2	28.8	36.0	43.2	44.4	46.8	76.6	81.4	85.8	92.8	107.6	126.2	134.0	149.4
Gaiarine	20.6	26.6	32.4	44.0	53.8	63.4	79.8	99.6	130.8	151.4	191.8	222.0	269.0	296.6
Gares	12.2	21.2	24.6	33.2	38.6	51.4	83.4	124.6	168.4	197.0	313.6	382.4	392.0	408.2

Stazione	Durate													
	5min	10min	15min	30min	45min	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h
Grantorto	17.4	27.8	33.6	52.2	57.6	58.2	70.6	93.8	104.0	120.8	127.4	171.2	183.6	211.8
Grezzana	14.8	28.4	41.2	65.8	79.8	88.0	105.2	122.2	135.6	177.0	217.8	219.2	219.2	219.2
Illasi	22.0	27.6	33.0	50.8	71.8	86.2	130.2	136.4	151.6	171.2	193.8	193.8	193.8	193.8
LamonSala	19.0	28.4	34.8	38.4	40.2	42.4	73.2	103.4	148.0	172.6	228.6	290.6	298.8	315.0
Legnaro	17.0	27.2	36.0	58.0	67.6	71.2	75.2	107.2	162.8	172.4	172.6	189.0	189.2	189.4
Lignano	12.8	22.4	34.6	56.4	62.0	73.0	104.6	128.2	143.4	163.3	263.5	289.0	293.3	295.9
Sabbiadoro														
Longarone	16.2	27.4	33.0	42.2	59.4	68.0	79.2	121.0	182.0	208.4	258.0	341.4	364.0	364.8
Lonigo	18.0	32.0	35.6	55.0	68.4	76.0	83.4	91.2	91.2	95.2	134.4	134.4	137.2	137.2
Lugugnana Portogruaro	15.0	26.4	34.6	55.6	69.0	77.2	111.0	113.8	124.4	145.4	158.8	161.8	191.2	197.6
Lusia	14.2	24.0	29.6	44.4	57.6	70.8	125.6	142.6	142.6	145.6	158.0	160.2	200.6	215.0
Lusiana	15.8	25.2	30.0	49.0	64.6	68.6	83.2	110.0	146.0	190.2	292.2	338.2	338.6	338.6
Malga Ciapela	15.4	25.6	27.6	30.0	33.4	34.8	68.4	105.2	145.6	188.0	263.8	336.0	350.2	364.4
Malo	15.2	24.2	34.6	46.8	56.4	72.4	84.0	110.4	112.6	153.6	175.2	223.6	225.4	260.2
Marano Di Valpolicella	12.4	21.6	26.8	42.2	51.0	58.0	68.8	85.4	97.0	130.2	170.2	174.2	174.2	174.2
Maser	16.6	29.8	39.2	51.0	60.2	62.2	74.8	77.6	104.6	116.0	152.6	178.0	181.0	233.4
Masi	16.0	28.8	40.4	60.0	65.8	68.8	87.0	103.0	103.0	105.6	112.0	139.6	166.6	179.0
Mira	16.6	28.6	37.0	53.4	57.0	67.2	96.6	133.8	163.4	170.6	216.0	233.6	235.6	235.6
Misurina	14.8	24.2	32.0	41.8	59.6	62.0	110.4	111.2	111.2	128.2	224.4	266.8	272.8	286.8
Mogliano Veneto	19.4	31.8	40.0	48.6	55.6	59.2	106.2	148.2	159.4	169.4	194.4	195.0	200.2	200.6
Molini Laghi	14.8	27.4	38.4	64.0	90.2	109.4	151.0	151.2	173.2	248.6	365.2	428.0	471.4	474.2
Montagnana	14.0	26.0	37.6	56.8	67.6	77.2	86.6	93.0	105.2	105.8	168.6	193.8	195.8	202.6
Monte Avena	13.6	20.2	27.8	49.8	68.2	73.6	115.6	155.2	165.8	179.6	316.6	356.0	360.6	377.6
Montecchia Di Crosara	15.0	25.4	31.8	46.8	55.0	61.8	78.4	82.6	96.2	108.6	133.4	155.2	169.2	182.0
Montecchio Precalcino	18.4	28.2	35.2	50.2	52.4	57.6	81.6	100.2	105.8	135.2	150.6	194.2	217.6	253.2
Montegalda	27.2	45.2	61.4	86.2	94.8	97.0	99.2	101.2	101.6	109.6	137.2	178.4	181.8	188.6
Monte Summano	16.0	27.6	38.2	59.8	79.2	83.0	98.6	111.6	153.6	168.0	211.8	264.4	273.0	284.6
Noventa Di Piave Grassano	13.8	21.6	29.2	49.4	69.2	81.0	92.8	93.2	93.2	137.4	179.6	207.8	213.0	215.4
Noventa Vicentina	14.2	26.0	35.6	46.8	48.8	58.4	69.0	81.8	104.2	116.6	139.8	175.0	183.8	186.0
Oderzo	18.4	25.2	33.4	49.0	51.2	56.2	92.8	118.6	137.0	173.6	191.2	210.8	222.8	248.6
Padova Orto Botanico	14.8	25.0	34.0	47.2	53.2	60.6	70.4	98.4	152.0	158.6	160.8	244.2	247.8	247.8
Palazzolo dello Stella	20.4	33.0	35.2	53.8	61.8	64.5	88.2	103.2	118.3	145.0	183.4	263.2	285.0	285.2
Passo Falzarego	10.2	12.4	16.6	25.0	29.4	31.2	53.6	68.6	88.6	134.4	224.8	275.0	284.0	293.6

Stazione	Durate													
	5min	10min	15min	30min	45min	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h
Passo Monte Croce Comelico	14.8	19.4	20.4	24.4	26.0	32.4	47.4	60.0	88.2	146.0	220.4	302.0	310.8	310.8
Passo Pordoi	9.2	16.0	22.8	39.4	50.6	58.0	70.8	71.6	100.6	124.2	166.4	206.6	210.8	215.0
Passo Santa Caterina Valdagno	14.2	23.8	30.0	42.6	51.8	54.8	79.4	123.0	181.4	216.8	295.6	349.4	356.2	356.6
Passo Valles	10.2	19.0	25.6	40.6	46.4	49.0	56.8	65.8	107.6	174.6	266.2	341.0	346.6	356.0
Passo Xomo Posina	15.0	28.0	37.6	63.8	76.6	88.8	119.6	125.0	196.6	318.6	410.2	457.2	457.2	464.8
Piana Di Marcesina Rendole	13.2	23.0	32.2	41.4	51.4	55.4	104.0	105.0	177.6	221.0	309.2	334.2	337.0	350.4
Pian Del Crep	9.8	16.8	24.4	36.2	42.2	44.4	54.8	74.2	116.4	182.4	274.2	347.4	354.2	370.6
Podestagno	12.4	22.8	29.2	44.6	60.6	64.0	68.4	71.8	85.6	144.8	221.8	287.2	298.6	306.2
Ponte Di Piave	26.6	34.4	38.6	44.8	50.6	53.0	88.0	116.4	137.8	211.2	255.6	285.8	287.8	288.8
Portogruaro Lison	15.6	27.8	38.4	65.6	82.6	83.8	121.0	145.2	165.2	188.6	192.6	195.4	243.2	243.4
Porto Tolle Pradon	14.6	24.8	30.4	44.4	50.2	55.0	73.0	99.2	114.6	133.0	155.8	164.4	167.6	235.6
Pove Del Grappa	14.4	22.4	29.0	37.2	40.8	46.8	80.2	95.0	117.8	149.2	261.0	298.2	298.4	298.4
Quinto Vicentino	17.2	22.8	30.2	41.8	54.6	57.0	66.0	76.2	111.2	115.2	130.4	164.6	164.8	207.0
Recoaro Mille	12.4	21.2	27.2	37.8	46.2	50.2	95.6	138.8	222.8	299.0	432.6	505.0	530.8	533.0
Rifugio La Guardia – Recoaro Terme	14.2	21.2	28.4	43.0	47.8	59.0	90.6	148.0	246.4	316.0	449.6	508.8	550.4	553.0
Roncade	14.8	25.8	29.6	47.2	51.6	52.0	66.4	108.4	123.0	132.4	167.2	182.4	197.6	221.2
Rosa	17.2	30.0	32.8	50.0	61.4	64.0	75.2	79.6	96.2	150.8	186.0	213.8	231.6	242.4
Rosolina Po Di Tramontana	14.6	28.4	39.2	60.6	84.8	98.4	147.6	154.2	176.8	187.0	190.0	190.0	216.2	216.2
Roverchiara	16.8	28.0	35.8	53.4	71.8	84.0	92.6	92.8	93.4	135.4	135.4	135.4	135.8	141.4
Salizzole	16.2	26.8	35.0	48.2	50.2	62.4	68.8	85.4	97.2	101.8	127.4	170.8	178.0	196.6
San Bellino	24.6	42.6	55.6	64.6	69.2	74.6	81.8	94.2	101.2	106.2	107.8	108.8	117.6	125.6
San Bortolo	15.6	23.6	31.4	38.0	46.2	47.8	82.4	117.8	180.6	244.6	342.8	392.4	408.4	411.6
San Giovanni Ilarione	19.6	32.2	38.4	50.8	60.2	67.8	102.8	108.0	176.0	219.4	256.0	276.6	288.4	288.8
San Martino D'Alpago	15.0	21.0	28.4	40.8	50.4	52.6	89.0	99.2	153.2	212.4	272.4	314.0	324.2	344.4
San Pietro In Cariano	13.8	23.2	29.6	52.8	58.2	58.2	79.0	79.2	85.6	119.0	159.8	161.6	161.6	161.6
San Vito al Tagliamento	15.9	24.2	30.4	48.8	67.8	82.2	105.2	123.0	132.8	135.0	162.5	182.1	247.5	271.4
Sant'Andrea Gosaldo	12.8	23.2	30.4	40.6	47.8	62.0	119.0	204.8	236.4	261.2	346.0	381.0	391.6	408.8
Sant Antonio Tortal	14.8	27.8	35.4	48.8	64.2	81.8	123.6	124.4	168.2	248.6	405.8	446.6	446.6	446.6
Sant Apollinare Rovigo	16.8	28.0	37.2	43.4	54.2	68.0	101.0	127.2	127.2	129.6	137.8	141.0	159.6	181.6

Stazione	Durate													
	5min	10min	15min	30min	45min	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h
Santo Stefano Di Cadore	12.8	19.2	26.0	47.0	62.4	77.0	109.2	113.8	157.0	179.0	259.2	317.0	325.2	333.0
Sappada	13.6	24.2	33.6	47.8	55.2	57.4	68.0	109.4	201.4	320.4	511.2	581.2	595.4	609.8
Soffranco	17.2	26.2	35.6	42.8	53.4	58.4	91.4	135.6	234.0	358.6	543.2	691.2	715.8	716.2
Sorga	15.4	24.8	30.4	50.0	62.0	71.0	98.6	104.0	104.0	104.4	122.2	130.6	148.2	164.0
Sospirolo	13.8	22.2	26.2	48.2	58.4	59.0	79.6	102.8	158.4	187.0	253.0	317.0	327.0	337.6
Talmassons	16.4	31.4	39.6	58.8	63.0	75.6	110.0	120.3	185.0	202.7	203.0	215.8	254.2	261.1
Teolo	17.4	31.4	40.4	50.8	54.8	63.8	69.0	102.0	131.8	144.4	144.6	176.8	181.6	181.6
Torch	15.8	28.4	33.4	49.0	54.8	58.8	81.8	138.0	149.6	188.6	301.8	351.8	357.8	386.8
Trebaseleghe	13.2	22.4	30.0	53.4	64.8	72.6	84.6	84.6	99.6	148.8	155.2	207.4	209.4	209.4
Trecenta	15.8	26.0	34.0	59.4	73.6	80.8	91.4	101.8	102.4	102.4	102.4	110.0	132.8	147.6
Tribano	15.4	29.4	34.8	44.2	47.6	55.0	63.0	70.8	80.4	99.6	111.0	131.8	141.2	146.6
Trissino	16.8	23.6	30.2	45.2	50.0	52.6	60.8	85.6	108.8	130.0	180.6	232.8	251.6	260.2
Turcati Recoaro Terme	15.6	22.6	29.6	44.2	55.2	65.6	95.6	157.4	258.4	335.4	471.2	535.4	576.2	582.4
Valdagno	17.6	31.0	44.6	51.6	56.2	61.0	89.8	108.2	154.0	224.2	299.8	354.4	377.8	378.0
Valdobbiadene Bigolino	22.4	33.2	37.8	41.8	57.4	61.6	65.0	93.8	135.4	163.2	275.0	308.0	308.0	329.4
Valle Di Cadore	12.6	18.0	24.8	34.0	44.0	53.6	73.0	97.6	138.2	169.6	241.0	346.6	364.8	374.8
Valli Del Pasubio	13.8	27.0	38.0	51.2	65.6	68.0	91.0	123.0	207.8	301.2	395.8	435.4	454.6	466.0
Vangadizza	14.8	27.8	35.2	44.4	51.4	52.8	53.4	65.8	83.2	91.4	109.0	109.0	111.4	117.4
Vazzola Tezze	17.8	26.4	32.2	48.0	58.6	67.2	90.4	122.0	144.8	151.0	157.2	180.8	217.8	246.4
Venezia Cavanis	12.4	21.4	32.2	55.4	67.2	74.2	105.2	132.6	136.6	153.0	156.4	167.2	167.2	167.2
Vicenza	16.0	24.2	28.0	43.4	51.4	58.6	66.8	83.6	111.8	141.4	155.6	163.6	184.2	223.4
Villadose	13.4	24.2	29.6	43.2	60.4	67.6	72.6	79.8	108.6	166.4	179.2	180.0	189.0	219.0
Villafranca Veronese	16.4	31.8	42.0	66.4	69.8	70.6	82.8	98.4	103.0	107.4	137.4	140.0	144.0	166.8
Villanova Borca Di Cadore	11.8	20.0	27.8	34.6	37.4	37.8	42.4	74.6	119.4	151.4	244.6	310.4	317.0	327.2
Villorba	14.6	23.8	33.4	49.4	60.4	67.0	76.8	86.0	119.0	123.8	136.6	178.6	189.2	223.0
Vittorio Veneto	16.2	31.6	37.2	55.0	66.0	78.6	109.0	109.6	138.8	159.0	254.8	268.0	268.0	268.0
Volpago Del Montello	16.4	31.2	40.2	49.4	49.8	52.4	87.0	88.0	125.8	139.6	150.6	225.2	227.2	227.2
Zero Branco	17.6	26.0	34.0	50.2	54.6	57.6	63.4	82.4	93.4	132.2	140.8	208.4	209.8	209.8

I valori massimi assoluti di precipitazione misurati dedotti dall'intero database per le durate considerate sono riportate nella Tabella 5.3 e nella Figura 5-1.

Tabella 5.3 – Valori massimi assoluti di precipitazione registrati in tutte le 142 stazioni pluviometriche considerate per la durata di 5, 10, 15, 30 e 45 minuti primi; 1, 3, 6 e 12 ore; 24, 48, 72, 96 e 120 ore consecutive.

Stazione	Durate													
	5min	10min	15min	30min	45min	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h
Valori massimi	27.2 ⁽¹⁾	45.2 ⁽²⁾	61.4 ⁽³⁾	86.2 ⁽⁴⁾	94.8 ⁽⁵⁾	113.8 ⁽⁶⁾	248.4 ⁽⁷⁾	301.4 ⁽⁸⁾	322.2 ⁽⁹⁾	369.0 ⁽¹⁰⁾	578.8 ⁽¹¹⁾	691.2 ⁽¹²⁾	715.8 ⁽¹³⁾	716.2 ⁽¹⁴⁾

- (1) Rilevato nella stazione di Montegalda
 (2) Rilevato nella stazione di Montegalda
 (3) Rilevato nella stazione di Montegalda
 (4) Rilevato nella stazione di Montegalda
 (5) Rilevato nella stazione di Montegalda
 (6) Rilevato nella stazione di Chioggia Sant'Anna
 (7) Rilevato nella stazione di Campagna Lupia

- (8) Rilevato nella stazione di Campagna Lupia
 (9) Rilevato nella stazione di Campagna Lupia
 (10) Rilevato nella stazione di Cansiglio Tramedere
 (11) Rilevato nella stazione di Col Indes Tambre
 (12) Rilevato nella stazione di Soffranco
 (13) Rilevato nella stazione di Soffranco
 (14) Rilevato nella stazione di Soffranco

Massimi per durata, sull'intera Regione.

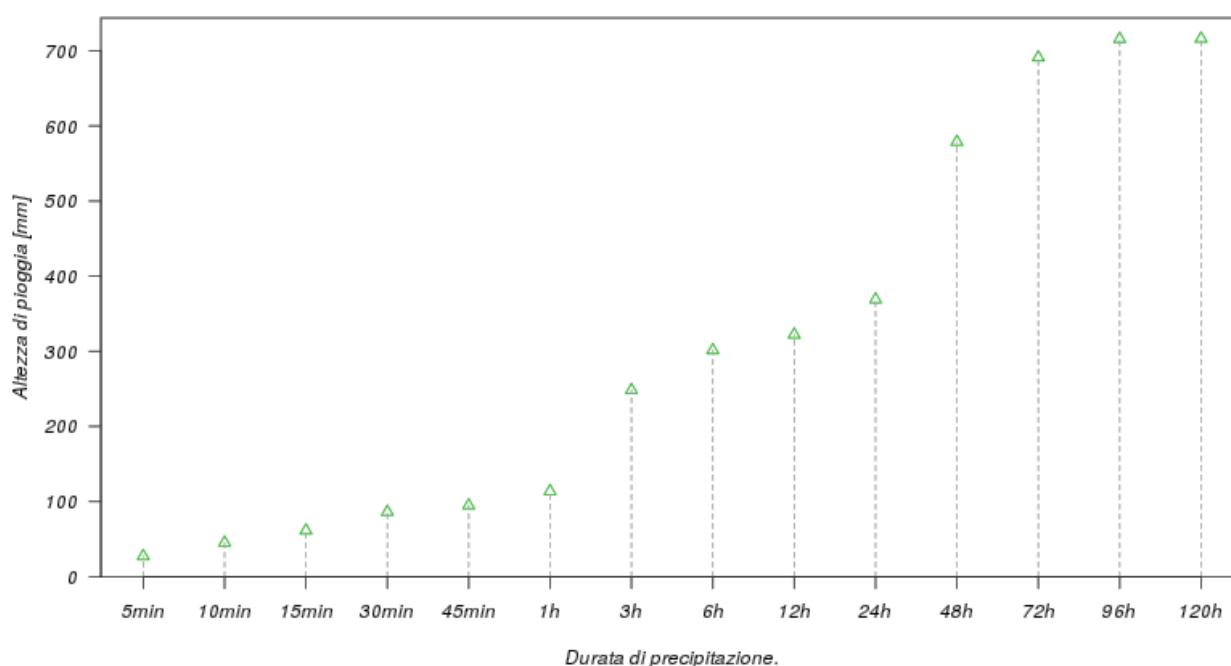


Figura 5-1 – Valori dei massimi assoluti registrati nella Regione Veneto dalle stazioni pluviometriche considerate

5.4. Analisi statico-probabilistica delle serie di precipitazione e verifiche di accettabilità

5.4.1. Distribuzioni di probabilità

Le distribuzioni di probabilità prescelte per la ricerca in esame sono la distribuzione dei valori estremi (Extreme Value EV1) e la distribuzione generalizzata dei valori estremi (*Generalized Extreme Value GEV*).

Nella distribuzione EV1, indicata con $P(x) := P(x \leq X)$ la probabilità di non superamento, l'espressione della distribuzione probabilistica dei valori estremi EV1 è fornita dall'espressione

$$P(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\varepsilon}{\alpha}\right)}} \quad (5.1)$$

nella quale la variabile

$$y = \frac{x - \varepsilon}{\alpha} \quad (5.2)$$

è detta variabile ridotta. In tale distribuzione i parametri caratteristici da determinare sono quindi due, α ed ε .

Nella distribuzione GEV, sviluppata da Jekinson nel 1995, l'espressione della distribuzione è data dalla relazione:

$$P(x) = e^{-\left(1 + \xi \frac{x - \varepsilon}{\alpha}\right)^{-\frac{1}{\xi}}} \quad \text{per } \xi \neq 0 \quad (5.3)$$

La GEV è quindi una distribuzione a 3 parametri: ξ , detto parametro di forma, α , parametro di scala, ed ε , parametro di posizione.

Per la determinazione dei parametri caratteristici delle distribuzioni possono essere utilizzati vari metodi; nel presente studio sono stati utilizzati: il metodo di Gumbel ed il metodo degli L-moments.

5.4.2. Il metodo di Gumbel

Mediante il metodo di Gumbel viene effettuata, come è noto, la ricerca di una retta di regressione dei punti sperimentali con il metodo dei minimi quadrati.

Tale retta interpola i valori disponibili di ogni serie che si possono disporre sul diagramma probabilistico nel quale in ascissa si trova la variabile ridotta y , definita dalla (5.2), ed in ordinata la variabile studiata x . Il metodo di Gumbel non può però essere applicato per la determinazione dei parametri della distribuzione GEV poiché tale distribuzione dà luogo sulla carta probabilistica ad una curva, di forma dipendente dal parametro di forma ξ .

Per il calcolo della retta di regressione e quindi dei valori dei parametri relativi alla distribuzione EV1, si può procedere nel seguente modo: si ordinano i dati a disposizione in ordine decrescente e si assegna a ciascun valore un tempo di ritorno in base alla relazione:

$$T_R = \frac{N + 1}{m} \quad (5.4)$$

dove N è la dimensione del campione ed m è il numero d'ordine progressivo nella serie di valori ordinati. In questo modo viene stimato il tempo di ritorno per ciascun evento della serie di dati a disposizione.

Per determinare i parametri α ed ε della distribuzione EV1 si opera una regressione lineare di x su y ottenendo:

$$x - \bar{x} = b (y - \bar{y}) \quad (5.5)$$

ed una regressione lineare di y su x ottenendo:

$$y - \bar{y} = b' (x - \bar{x}) \quad (5.6)$$

dove si sono indicati con $\bar{x}$ ed $\bar{y}$ i corrispondenti valori medi di x e di y .

I valori assunti da b e b' sono:

$$b = \frac{S_{xy}}{S_y^2} \quad b' = \frac{S_{xy}}{S_x^2} \quad (5.7)$$

S_x ed S_y rappresentano gli scarti quadratici medi delle variabili x ed y , mentre S_{xy} è la covarianza fra le variabili x ed y .

In base al metodo di Gumbel viene proposto come coefficiente di regressione per la retta probabilistica, la media geometrica dei coefficienti precedentemente ottenuti e precisamente:

$$\sqrt{b \frac{1}{b'}} = \sqrt{\frac{S_x^2}{S_y^2}} = \frac{S_x}{S_y} \quad (5.8)$$

e dunque la retta così determinata vale:

$$(x - \bar{x}) = \frac{S_x}{S_y} (y - \bar{y}) \quad (5.9)$$

Confrontando la (5.9) con la (5.2) si ottengono i valori dei parametri α ed ε :

$$\alpha = \frac{S_x}{S_y} \quad \varepsilon = \bar{x} - \alpha \bar{y} \quad (5.10)$$

5.4.3. Il metodo degli L-moments

Il metodo degli L-moments è particolarmente apprezzato per la robustezza di stima anche con campioni di modeste dimensioni ed è stato perciò utilizzato nel presente studio. Si considerano le grandezze λ_i – dette appunto L-moments – che per una distribuzione di probabilità sono date dalle seguenti espressioni:

$$\lambda_{r+1} = \sum_{k=0}^r p_{r,k} \beta_k \quad \text{per } r = 0,1,2,3 \quad (5.11)$$

$$\text{Con } \beta_k = E \{x [P(x)]^k\} \quad e \quad p_{r,k} = (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} \quad (5.12)$$

I termini β sono una varietà dei cosiddetti momenti pesati in probabilità. Con la notazione $E\{\dots\}$ si indica il

valore atteso, mentre l'espressione $\binom{r}{k}$ indica il cosiddetto coefficiente binomiale, cioè il numero di possibili combinazioni di k elementi pescati da un insieme di r.

Una descrizione intuitiva degli L-moments può essere la seguente: una misura dell'ordine di grandezza di una distribuzione può essere ottenuta estraendo un campione composto da un solo valore. Similmente la dispersione si può stimare estraendo un campione di due valori, ordinandolo in senso crescente e calcolando la differenza $x_{1:1} - x_{1:2}$, dove $x_{n:N}$ indica l'n-esimo valore del campione ordinato di N elementi.

Allo stesso modo l'asimmetria della popolazione è correlata alla differenza $(x_{3:3} - x_{2:3}) - (x_{2:3} - x_{1:3})$ in un campione di tre valori, mentre la curtosi si può stimare da un campione di 4 valori mediante il termine $(x_{4:4} - x_{1:4}) - 3(x_{3:4} - x_{2:4})$.

Una definizione alternativa sugli L-moments si basa sui valori attesi delle differenze indicate:

$$\lambda_1 = E(x_{1:1}) \quad \lambda_2 = \frac{1}{2} (x_{2:2} - x_{1:2}) \quad (5.13)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{3} (x_{3:3} - 2x_{2:3} - x_{1:3}) \quad \lambda_4 = \frac{1}{4} (x_{4:4} - 3x_{3:4} - 3x_{2:4} - x_{1:4}) \quad (5.14)$$

Da quanto esposto appare evidente l'analogia delle variabili λ_i con i momenti centrali "classici": λ_1 è infatti la media della distribuzione, λ_2 è una misura di scala, mentre i successivi parametri descrivono la forma e l'appiattimento della distribuzione. Come per i momenti "classici", sono definiti dei coefficienti – noti anche come L-moments ratios – ottenuti dai seguenti rapporti:

$$\tau = L_{CV} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad \tau_3 = L_{skew} = \frac{\lambda_3}{\lambda_2} \quad \tau_4 = L_{kur} = \frac{\lambda_4}{\lambda_2} \quad (5.15)$$

che costituiscono dei coefficienti di variazione, di asimmetria e di curtosi.

La stima degli L-moments per un campione di N elementi disposti in ordine crescente ($h_1 \leq h_2 \leq \dots \leq h_N$) può essere effettuata con le seguenti formule:

$$l_{r+1} = \sum_{k=0}^r p_{r,k} b_k \quad \text{per } r = 0,1,2,3 \quad (5.16)$$

$$\text{Con } b_k = \frac{1}{N} \sum_{j=k+1}^N \frac{(j-1)(j-2)\dots(j-k)}{(N-1)(N-2)\dots(N-k)} x_j \quad \text{e} \quad p_{r,k} = (-1)^{r-k} \binom{r}{k} \binom{r+k}{k} \quad (5.17)$$

La stima dei parametri si ottiene imponendo l'uguaglianza degli L-moments campionari della popolazione con quelli teorici, in numero pari ai parametri incogniti della distribuzione. Per la distribuzione GEV, le relazioni sono le seguenti: dall'espressione di z

$$z = \frac{2 l_2}{l_3 + 3 l_2} - \frac{\ln 2}{\ln 3} \quad (5.18)$$

CAPITOLO

5.

i seguenti parametri

$$\xi = az + bz^2 \quad \alpha = \frac{\xi l_2}{\Gamma(1 + \xi)(1 - 2^{-\xi})} \quad \varepsilon = l_1 + \frac{\alpha}{\xi} [\Gamma(1 + \xi) - 1] \quad (5.19)$$

nelle quali si fa uso della nota funzione gamma. I valori si ottengono con metodi iterativi, tuttavia Hosking and Wallis (1993) hanno calcolato per a e b, rispettivamente performanti i valori 7.859 e 2.955.

I parametri trovati per le distribuzioni Gumbel e GEV, sono stati sottoposti al test di Anderson- Darling, la cui formula si riporta qui di seguito:

$$A^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((2i - 1) \ln(F_x(x_i)) + (2n + 1 - 2i) \ln(1 - F_x(x_i))) \quad (5.20)$$

Dove F_x è la distribuzione ipotetica, n la numerosità campionaria a disposizione per la specifica durata, i è l'indice che individua il campione specifico x_i ordinato.

Il test prescelto per la verifica di accettabilità dei parametri delle distribuzioni è stato preferito in base ai riferimenti bibliografici della letteratura scientifica, che lo considerano uno dei test più sensibili agli estremi delle sequenze campionarie che sono trattate con la distribuzione di Gumbel o GEV (WORLD METEOROLOGICAL ORGANISATION, Guide to hydrometeorological practices, 1965 e Nahdiya Zainal Abidin et al., 2012; Kotz S. and Nadarajah S., 2000).

Nella Tabella 5.4 sono riportati i valori dei parametri della distribuzione di Gumbel e GEV calcolati per la stazione di Legnaro e le relative verifiche di accettabilità.

Nella Tabella 5.7 sono riportate le rette regolarizzatrici di Gumbel e GEV relative alle precipitazioni di varia durata, per la stazione di Legnaro.

Tabella 5.4- - Parametri della distribuzione di Gumbel e GEV calcolati per varie durate di precipitazione rilevate nella stazione di Legnaro (1992-2020) e verifiche di accettabilità della distribuzione risultante in base al test di Anderson-Darling.

Parametro		5min	10min	15min	30min	45min	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h
Gumbel	μ	9.38	15.47	19.42	25.55	28.06	29.66	34.92	40.67	46.84	53.72	64.95	71.79	77.69	83.46
	α	2.60	4.21	5.66	8.98	10.74	11.13	12.88	16.71	23.10	23.48	24.50	29.34	31.33	31.32
A-D		0.88	0.98	0.90	0.88	0.98	0.99	0.97	0.99	0.86	0.66	0.62	0.68	0.79	0.65
GEV	ξ	9.56	15.62	19.44	25.27	27.76	29.47	34.69	40.63	47.24	54.42	64.70	70.87	76.41	82.11
	α	2.82	4.26	4.99	6.66	8.45	9.21	10.79	13.96	15.80	16.22	17.64	18.41	22.34	22.93
	κ	0.18	0.09	-0.03	-0.16	-0.12	-0.08	-0.08	-0.06	-0.16	-0.14	-0.16	-0.25	-0.19	-0.18
	A-D	0.98	0.99	0.91	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.70	0.69	0.99	0.98	0.90

Tabella 5.5 - Rette regolarizzatrici di Gumbel e GEV relative alle precipitazioni massime annue di varia durata per la stazione di Legnaro (1992-2020).

Durata	Gumbel	Durata	Gumbel	Durata	GEV	Durata	GEV
5min	9.38 + 2.60 Y	6h	40.67 + 16.71 Y	5min	9.56 + 2.82 Y	6h	40.63 + 13.96 Y
10min	15.47 + 4.21 Y	12h	46.84 + 23.10 Y	10min	15.62 + 4.26 Y	12h	47.24 + 15.80 Y
15min	19.42 + 5.66 Y	24h	53.72 + 23.48 Y	15min	19.44 + 4.99 Y	24h	54.42 + 16.22 Y
30min	25.55 + 8.98 Y	48h	64.95 + 24.50 Y	30min	25.27 + 6.66 Y	48h	64.70 + 17.64 Y
45min	28.06 + 10.74 Y	72h	71.79 + 29.34 Y	45min	27.76 + 8.45 Y	72h	70.87 + 18.41 Y
1h	29.66 + 11.13 Y	96h	77.69 + 31.33 Y	1h	29.47 + 9.21 Y	96h	76.41 + 22.34 Y
3h	34.92 + 12.88 Y	120h	83.46 + 31.32 Y	3h	34.69 + 10.79 Y	120h	82.11 + 22.93 Y

5.5. Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica o climatica

Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica, rispettivamente per le curve a 2 e 3 parametri, sono state determinate per le località in esame mediante le note relazioni:

$$h = a t^n \quad (5.21)$$

$$h = \frac{a t}{(b + t)^n} \quad (5.22)$$

I valori del tempo di ritorno prescelti sono quelli usualmente utilizzati nella verifica e nella progettazione delle reti idrauliche, pari a 5, 10, 20, 30, 50 e 100 anni. I risultati ottenuti sono riportati nella Tabella 5.6 per le precipitazioni massime annue di varie durate considerate, per la stazione di Legnaro.

Tabella 5.6- Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica relative alle precipitazioni massime annue di varia durata calcolate in base alle funzioni a 2 parametri ed a 3 parametri per la stazione di Legnaro (1992 - 2020).

Tempo di ritorno [anni]	Equazioni a 2 parametri			Equazione a 3 parametri
	Da 5 a 60 min	Da 1 a 24 ore	Da 24 a 120 ore	Da 5 min a 120 ore
5anni	$h = 51.30 t^{0.50}$	$h = 45.00 t^{0.22}$	$h = 40.33 t^{0.25}$	$h = \frac{45.71t}{(0.08 + t)^{0.78}}$
10anni	$h = 60.64 t^{0.52}$	$h = 52.96 t^{0.23}$	$h = 49.18 t^{0.24}$	$h = \frac{55.41t}{(0.10 + t)^{0.79}}$
20anni	$h = 69.60 t^{0.53}$	$h = 60.59 t^{0.23}$	$h = 57.68 t^{0.23}$	$h = \frac{64.85t}{(0.12 + t)^{0.79}}$
30anni	$h = 74.76 t^{0.53}$	$h = 64.99 t^{0.23}$	$h = 62.58 t^{0.23}$	$h = \frac{70.26t}{(0.13 + t)^{0.79}}$
50anni	$h = 81.20 t^{0.54}$	$h = 70.48 t^{0.24}$	$h = 68.71 t^{0.23}$	$h = \frac{77.17t}{(0.14 + t)^{0.80}}$
100anni	$h = 89.90 t^{0.54}$	$h = 77.89 t^{0.24}$	$h = 76.98 t^{0.23}$	$h = \frac{86.42t}{(0.15 + t)^{0.80}}$

5.6. Ricerca dei valori massimi annui di precipitazione di varia durata successivi al primo

Un problema che spesso si presenta per quanto attiene agli eventi di pioggia ed agli eventi di piena consiste nel fatto che in un intervallo di tempo ridotto il fenomeno si manifesta più volte, sembrando quindi di smentire il concetto di tempo di ritorno come intervallo medio del verificarsi della pioggia o della piena, per il quale il fenomeno non dovrebbe ripetersi in rapida successione.

Da un punto di vista fisico, il verificarsi di effetti comparabili di piena in tempi successivi ristretti può essere spiegato con il ripetersi di eventi meteorici di entità paragonabile come ordine di grandezza, per i quali la trasformazione in portata sia condizionata da valori diversi del coefficiente di deflusso, per cui la combinazione delle due componenti dia luogo ad effetti comparabili.

Per una previsione del fenomeno descritto può risultare utile pertanto verificare, per ciascuna durata di precipitazione, se sulle serie di valori massimi compaiano valori non dissimili tra loro come ordine di grandezza registrati nel corso di eventi meteorici tra di loro indipendenti. Tale procedura consiste quindi nel cercare dei massimi di ciascuna serie di precipitazione di assegnata durata e nell'analisi dei rapporti fra singoli massimi e massimo assoluto.

La ricerca dei valori massimi di precipitazione di varia durata successivi al primo, nell'ambito delle serie storiche disponibili, implica come passo fondamentale l'individuazione di eventi indipendenti, che risulta assai complessa in generale, e tanto più in serie caratterizzate da unità di misura elementare assai ridotta e pari a 5 minuti primi qual è la serie in esame.

Per meglio comprendere la complessità della determinazione di eventi di precipitazione indipendenti, dal punto di vista prettamente fisico o meteorologico, è bene ricordare che la meteorologia analizza i fenomeni atmosferici, da cui si generano gli eventi di precipitazione, a partire da un'osservazione globale dell'atmosfera, cioè su scala globale o continentale, detta scala sinottica.

Su tale scala si analizzano le configurazioni bariche, distinte in alte e basse pressioni, le direzioni ed intensità dei flussi al suolo e alle varie quote. Il fine di tali analisi è la definizione sinottica attuale delle correnti cicloniche ed anticicloniche e principalmente dei cosiddetti fronti, cioè le superfici di due masse d'aria con caratteristiche differenti di pressione, umidità e temperatura, superfici che presentano particolari discontinuità della configurazione atmosferica a scala globale. Dalla determinazione dei fronti o perturbazioni, vengono comprese le principali caratteristiche degli eventuali futuri eventi di precipitazione che da essi si generano; tali eventi sono studiati generalmente ad una scala inferiore a quella sinottica, detta mesoscala, che ricopre

lunghezze che vanno da poche decine a poche centinaia di chilometri.

I fenomeni di precipitazione che si sviluppano nel corso della vita di una particolare struttura sinottica, possono avere varie configurazioni fisiche e potrebbero essere raggruppati, sia dal punto di vista spaziale che temporale, in insiemi di eventi più o meno locali detti clusters.

Si comprende quindi che da una certa configurazione atmosferica a scala sinottica, possono generarsi eventi di precipitazione multipli a mesoscala o clusters; ciascun evento a mesoscala può produrre intervalli di precipitazione seguiti da ore o giorni senza precipitazione, prima che l'evento successivo, generato dalla medesima configurazione sinottica, compaia. Sicuramente eventi di precipitazione separati, che fanno parte di un comune cluster a mesoscala o di un unico evento sinottico che può raggruppare più cluster, sono, dal punto di vista fisico, in qualche modo correlati e dipendenti l'uno dall'altro; è noto, tuttavia, che questa relazione di dipendenza fisica è particolarmente variabile, sia dal punto di vista stagionale che geografico, che climatico; per questo motivo stabilire una definizione di indipendenza tramite lo studio della fisica della generazione degli eventi di precipitazione, è da ritenersi strada impraticabile.

Un modo opportuno di stabilire questa indipendenza tra eventi di precipitazione, utile per la selezione di eventi massimi annuali di ordine superiore al primo, è quello dell'approccio statistico o numerico: strada seguita dalla maggior parte della letteratura scientifica internazionale conosciuta in tale campo.

Tra le metodologie pubblicate, di approccio a tale problema, conosciute ed efficaci, se ne citano due principalmente. La metodologia basata sui processi di Poisson (Pedro J. Restrepo-Posada et al., 1982; Eui Hoon Lee and al., 2017), in cui si assume che il sistema di ricorrenza degli eventi pluviometrici rispetti i principi statistici di tali processi di Poisson; sapendo a priori che la distribuzione di un processo di Poisson ha carattere esponenziale, nel procedimento inferenziale si cercheranno dei parametri per tale distribuzione che, ad esempio, diano un coefficiente di variazione, rapporto fra deviazione standard e media, della serie campionaria, il più possibile vicino ad uno: come è da aspettarsi per una distribuzione esponenziale classica.

Un altro metodo importante si basa sui principi di autocorrelazione di una serie (Harry G. Wenzel, Jr., Michael L. Voorhees., 1981): dopo aver liberato la serie dai valori nulli, si considera un tratto di serie (tratto di base di dati contigui) e l'indice di Pearson che esso riporta se comparato con una sua traslazione temporale, di dati contigui e della stessa lunghezza; compiendo questa operazione per un numero sufficiente di traslazioni con passo unitario, dato per dato, in allontanamento progressivo dal tratto di base, se ne deduce un grafico di valori dell'indice di Pearson (i valori calcolati ad ogni passo); la distanza tra gli eventi, intesa come insieme di dati contigui viene ritenuta quella che, in ascissa e dall'origine del grafico ottenuto, riporta in ordinata un indice il più possibile prossimo a zero, valore che come noto rappresenta assenza di correlazione.

CAPITOLO

5.

Un'altra metodologia più recente (Tardivo G. et al., 2021) si basa sulle nozioni dell'analisi esplorativa (Brown, B. G., 1983; Mohamed Djallel Dilmi, 2017); e consiste nella determinazione dell'evento proprio di massima durata presente nella serie in esame. Tale durata massima in tal modo ottenuta viene adottata come intervallo fra gli eventi, e le modalità con cui la si determina la pongono come distanza sufficiente per la quale due eventi possano ritenersi effettivamente separati.

Tale metodologia si basa sull'analisi dei dati di precipitazione grezzi, direttamente ottenuti dalle registrazioni dei pluviometri esaminati e sulla definizione del concetto di “evento composito” e di “evento primitivo”.

L'evento che si ammetterà come risultato e che definirà la distanza opportuna tra eventi nel periodo esaminato, sarà appunto un evento composto (composito) da una serie di eventi primitivi, eventi in cui ogni dato di precipitazione è strettamente superiore al valore critico di 0.2 mm, e periodi siccitosi, in cui ogni dato avrà valore non superiore a 0.2 mm, di durata non superiore ad una soglia, opportunamente stabilita; nel nostro caso tali periodi siccitosi ammessi alla composizione degli eventi composti non dovranno avere una durata superiore a circa 3 ore: questo valore viene desunto da un'analisi statistica appropriata sui dati analizzati.

Nella Tabella 5.6 sono riportati oltre al valore massimo assoluto di precipitazione per ciascuna durata, anche i due valori successivi, definiti come secondo e terzo massimo.

Tabella 5.7 Analisi dei primi tre eventi massimi annui di precipitazione della durata di minuti e ore estrema per la stazione di Legnaro (1992- 2020).

Durata dell'evento	Minuti					Ore								
	5	10	15	30	45	1	3	6	12	24	48	72	96	120
Numero eventi estremi	14	10	9	9	11	16	15	15	23	14	14	12	12	15
Numero eventi forti	1	0	2	2	2	3	3	3	6	1	2	4	3	4
Percentuale eventi forti	7.1	0.0	22.2	22.2	18.2	18.8	20.0	20.0	26.1	7.1	14.3	33.3	25.0	26.7
3° valore massimo	14.6	25.4	34.6	46.0	51.4	52.6	71.4	82.4	82.4	90.2	107.6	135.0	155.8	156.0
2° valore massimo (M2)	15.6	27.2	35.4	52.8	59.8	61.4	74.4	84.0	84.2	92.0	131.4	171.4	177.4	177.4
Max valore assoluto (M1)	17.0	27.2	36.0	58.0	67.6	71.2	75.2	107.2	162.8	172.4	172.6	189.0	189.2	189.4
Anno osservazione di M1	2005	2005	2002	2002	2002	2002	1994	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009
Percentuale di M1 raggiunta da M2	91.8	100.0	98.3	91.0	88.5	86.2	98.9	78.4	51.7	53.4	76.1	90.7	93.8	93.7

5.7. Confronto fra le piogge intense registrate da ARPAV a partire dagli Anni Novanta e quelle registrate dal Magistrato alle Acque a partire dagli Anni Venti

Per uno studio sulla variazione delle piogge intense nel tempo può risultare utile un confronto fra i valori numerici delle altezze di pioggia utilizzate per la maggior parte degli interventi realizzati antecedentemente al 1990, e quelli ottenuti nel periodo 1990 – 2020 che dovrebbero essere considerati per la realizzazione di nuove opere di bonifica o in generale nell’ambito delle costruzioni idrauliche nel comprensorio.

Un confronto di tale tipo non risulta certo agevole, anche in considerazione della diversa durata dei due periodi di osservazione, per cui si è scelto di privilegiare nel confronto una indagine di tipo statistico.

Sotto tale aspetto è stato eseguito un confronto fra le altezze di pioggia misurate nelle due località di Portogruaro e Oderzo per le quali si posseggono le misure relative ai due periodi 1920 1980, dagli annali del Magistrato alle acque, e 1990 – 2020 in gestione ad ARPAV.

Per entrambi i periodi di riferimento il confronto è stato operato innanzitutto per omogeneità di misura facendo riferimento ai criteri adottati dal Magistrato alle Acque, consistenti nell’effettuare un rilevamento alle ore 9 di un giorno generico e di attribuirlo al giorno precedente.

I risultati ottenuti hanno posto in evidenza un notevole incremento dei valori di pioggia afferenti al periodo 1990 – 2020 come si può riscontrare dalle elaborazioni statistiche riportate nella Tabella 5.8 per le stazioni di Oderzo e Portogruaro per le precipitazioni di durata compresa tra 1 e 5 giorni consecutivi.

Sempre nelle medesime tabelle, sono riportati anche i valori di altezza di pioggia delle medesime durate calcolati a partire dalle scansioni di 5 minuti primi che prescindono dalla appartenenza dell’evento a giorni solari.

Si può rilevare che tali valori superano i precedenti, elemento questo di particolare importanza progettuale in quanto pone evidenza come le misure riferite a tempi convenzionali possano risultare inadeguate per difetto nel progetto di opere idrauliche.

Tabella 5.8- Confronto fra valori statistici delle altezze di pioggia di durata giornaliera effettuato mediante le misure del Magistrato alle Acque (1920 - 1980) ed ARPAV (1990 - 2020) con criteri affini e valori ottenuti da misure ARPAV con scansione di 5 minuti primi prescindendo dai riferimenti temporali convenzionali.
Stazione di Oderzo e di Portogruaro

Tempo di ritorno[anni]	Periodo	Criterio di misura	Durata della precipitazione				
			1 giorno	2 giorni	3 giorni	4 giorni	5 giorni
5	1920-1980	1 giorno convenzionale ⁽¹⁾	78.9	100.0	114.9	126.8	136.8
	1990-2020	1 giorno convenzionale ⁽²⁾	88.5	112.8	130.0	143.8	155.5
	1990-2020	5 minuti primi ⁽³⁾	102.2	124.1	139.0	150.7	160.4
10	1920-1980	1 giorno convenzionale ⁽¹⁾	91.7	116.1	133.3	146.9	158.5
	1990-2020	1 giorno convenzionale ⁽²⁾	103.9	133.4	154.3	171.2	185.5
	1990-2020	5 minuti primi ⁽³⁾	118.8	144.3	161.6	175.2	186.5
20	1920-1980	1 giorno convenzionale ⁽¹⁾	104.0	131.6	151.1	166.6	179.8
	1990-2020	1 giorno convenzionale ⁽²⁾	119.8	154.8	179.9	200.1	217.3
	1990-2020	5 minuti primi ⁽³⁾	134.8	163.7	183.3	198.7	211.5
0	1920-1980	1 giorno convenzionale ⁽¹⁾	111.1	140.5	161.2	177.7	191.6
	1990-2020	1 giorno convenzionale ⁽²⁾	127.0	164.1	190.7	212.1	230.3
	1990-2020	5 minuti primi ⁽³⁾	144.0	174.8	195.9	212.3	226.0
50	1920-1980	1 giorno convenzionale ⁽¹⁾	119.9	151.6	174.0	191.8	206.9
	1990-2020	1 giorno convenzionale ⁽²⁾	136.0	175.8	204.2	227.2	246.7
	1990-2020	5 minuti primi ⁽³⁾	155.5	188.8	211.5	229.2	244.0
100	1920-1980	1 giorno convenzionale ⁽¹⁾	131.8	166.6	191.1	210.6	227.1
	1990-2020	1 giorno convenzionale ⁽²⁾	153.0	199.1	232.3	259.1	282.0
	1990-2020	5 minuti primi ⁽³⁾	176.5	215.8	242.7	263.8	281.5

Tempo di ritorno[anni]	Periodo	Criterio di misura	Durata della precipitazione				
			1 giorno	2 giorni	3 giorni	4 giorni	5 giorni
5	1922-1979	1 giorno convenzionale ⁽¹⁾	97.5	120.5	136.4	149.0	159.5
	1990-2020	1 giorno convenzionale ⁽²⁾	100.9	125.9	143.4	157.2	168.9
	1990-2020	5 minuti primi ⁽³⁾	113.8	137.2	153.1	165.4	175.7
10	1922-1979	1 giorno convenzionale ⁽¹⁾	116.2	143.0	161.4	175.9	188.0
	1990-2020	1 giorno convenzionale ⁽²⁾	120.6	149.5	169.5	185.3	198.6
	1990-2020	5 minuti primi ⁽³⁾	132.6	157.7	174.5	187.6	198.3
20	1922-1979	1 giorno convenzionale ⁽¹⁾	134.2	164.5	185.4	201.7	215.4
	1990-2020	1 giorno convenzionale ⁽²⁾	142.6	176.8	200.5	219.2	234.9
	1990-2020	5 minuti primi ⁽³⁾	157.6	187.4	207.4	222.9	235.7
0	1922-1979	1 giorno convenzionale ⁽¹⁾	144.6	177.0	199.2	216.7	231.3
	1990-2020	1 giorno convenzionale ⁽²⁾	150.5	185.2	209.2	228.1	243.8
	1990-2020	5 minuti primi ⁽³⁾	166.6	196.8	216.9	232.4	245.2
50	1922-1979	1 giorno convenzionale ⁽¹⁾	157.5	192.6	216.6	235.4	251.2
	1990-2020	1 giorno convenzionale ⁽²⁾	165.9	204.2	230.7	251.5	268.9
	1990-2020	5 minuti primi ⁽³⁾	184.1	217.4	239.7	256.8	270.9
100	1922-1979	1 giorno convenzionale ⁽¹⁾	174.9	213.4	239.8	260.4	277.6
	1990-2020	1 giorno convenzionale ⁽²⁾	186.7	229.9	259.6	283.0	302.6
	1990-2020	5 minuti primi ⁽³⁾	207.8	245.4	270.4	289.8	305.7

- (1) Criterio di misura convenzionale adottato dal Magistrato alle Acque di Venezia: la misura di precipitazione effettuata alle ore 9.00 di un giorno viene attribuita al giorno precedente.
- (2) Misure effettuate da ARPAV in maniera affine al criterio del Magistrato alle Acque di Venezia per omogeneità di confronto.
- (3) Misure derivanti dalla ricerca del valore massimo di precipitazione calcolato con intervallo di risoluzione di 5 minuti primi.

6. Applicazioni delle elaborazioni pluviometriche eseguite al calcolo delle portate unitarie di piena per la verifica e la realizzazione di opere idrauliche in un comprensorio.

Lo studio dei deflussi da un bacino idrografico può essere eseguito ricorrendo a vari tipi di modelli, classificabili secondo la terminologia diffusa in campo idrologico in stocastici o deterministici, empirici o concettuali, continui o discreti, lineari o non lineari, varianti o invarianti, concentrati o distribuiti, completi od incompleti.

La scelta di un modello è connessa principalmente con il tipo di problema che si deve affrontare. Le finalità principali alle quali è rivolta l'applicazione dei modelli di simulazione idrologica nei bacini idrografici riguardano la ricalibratura delle reti, la verifica di effetti di moto vario specie in presenza di impianti di sollevamento e di bacini collinari tributari di canali di pianura, la gestione delle reti in tempo reale per il preannuncio di piena, il rilascio di inquinanti da sorgenti localizzate o diffuse.

Per l'applicazione di tali modelli risulta in ogni caso di rilevante importanza una conoscenza adeguata delle piogge di varia frequenza probabile nel comprensorio oggetto di studio, con applicazioni che possono risultare enormemente variegate per dimensione spaziale nell'ambito delle reti artificiali o naturali a pelo libero od in pressione.

Per le applicazioni numeriche può risultare utile il ricorso a relazioni che consentano di esprimere i valori delle portate unitarie, usualmente espresse in litri al secondo per ettaro, in forma parametrica, utile al progettista per verificare l'effetto conseguente ad una scelta del tempo di ritorno delle precipitazioni da utilizzare e la conseguente dimensione delle opere da realizzare.

I modelli che si prestano ad essere esplicitati in forma parametrica sono il modello cinematico ed il modello dell'invaso.

Va rilevato tuttavia come avvertenza generale che, anche nel caso dell'applicazione di modelli semplificati, si debba prestare notevole attenzione alla scelta di parametri discrezionali che si compongano con l'altezza di pioggia, allo scopo di pervenire al calcolo delle portate.

I parametri da valutare nell'applicazione dei modelli suddetti per le reti idrauliche sono costituiti principalmente dal coefficiente di afflusso, dal coefficiente di deflusso e dal coefficiente di ragguaglio spaziale delle precipitazioni.

6.1. Coefficienti di deflusso e coefficiente di afflusso.

Nella letteratura tecnica sono stati introdotti vari parametri rappresentativi della riduzione dei valori di precipitazione in relazione al tempo decorso dalla loro caduta, quelli maggiormente ricorrenti ed i relativi simboli adottati sono i seguenti:

- ψ - Coefficiente di deflusso, rapporto tra il volume defluito attraverso una sezione nella somma dei tempi di precipitazione, di corrivazione e di esaurimento ed il volume di precipitazione che lo ha generato.
- k - Coefficiente di deflusso riferito al tempo di corrivazione e di precipitazione, rapporto tra il volume definito attraverso una sezione sulla somma del tempo di precipitazione e di corrivazione ed il volume di precipitazione che lo ha generato.
- δ - Coefficiente di afflusso, rapporto tra il volume affluito alla rete idraulica in un tempo pari al tempo di precipitazione ed il volume di precipitazione che lo ha generato.

Il coefficiente di deflusso tiene conto dei vari fattori che ostacolano il trasferimento dell'acqua di pioggia alle reti quali: l'intercettazione vegetale, l'infiltrazione nel terreno, l'evapotraspirazione, la ritenzione superficiale.

I valori da considerare ai fini applicativi del coefficiente di deflusso variano in relazione al caso specifico trattato. Ad esempio il Supino propone per le fognature i valori riportati nella Tabella 6.1, successivamente ripresi in numerosi testi, specificando che essi vengono assunti come validi per ogni pioggia, pur essendo stati ricavati da un manuale tedesco per piogge della durata di un'ora ed intensità di 45 mm/ora.

Tabella 6.1- Valori del coefficiente di deflusso ψ desunti dal Supino per piogge della durata di un'ora ed intensità di 45 mm/ora.

Tipo di superficie o ambiente	Intervallo dei valori del coefficiente di deflusso
<i>Elementi singoli</i>	
Tetti metallici	0.95
Tetti a tegole	0.90
Pavimentazione in asfalto	0.85 ÷ 0.90
Pavimentazione in pietra o in legno	0.80 ÷ 0.85
Massicciate stradali ordinarie	0.40 ÷ 0.80
Zone con ghiaia non compressa	0.15 ÷ 0.30
Giardini	0.00 ÷ 0.25
<i>Elementi globali</i>	
Parti centrali e completamente occupate da costruzioni di una vecchia città	0.70 ÷ 0.90
I quartieri circostanti con pochi spazi liberi	0.50 ÷ 0.70
Quartieri recenti con fabbricati radi	0.25 ÷ 0.50
Piazze d'armi, tratti scoperti di stazioni, ecc.	0.10 ÷ 0.30
Giardini e cimiteri	0.05 ÷ 0.25

I valori del coefficiente di deflusso ψ sopra citati sono considerati indipendenti dagli effetti stagionali, salvo casi particolari che si possono presentare, essendo rappresentativi di sistemi fisici invarianti nel corso del tempo e non soggetti a variazioni stagionali.

Diverso il comportamento dei coefficienti di deflusso k , usualmente adottati per il calcolo della rete di bonifica e quindi per zone di pianura, in quanto le piogge efficaci, che danno cioè luogo a deflussi, sono apprezzabilmente influenzati dall'epoca di caduta, in relazione al diverso effetto prodotto dal suolo nelle varie stagioni a seguito del diverso stato di crescita della vegetazione, delle diverse temperature e stato del suolo in relazione al contenuto d'acqua. Per quanto riguarda la Regione Veneto, ricerche sull'effetto stagionale delle precipitazioni sono state eseguite con riferimento al bacino Rebosola a sollevamento meccanico e dell'area di 3428 ha, ubicato nel Veneto centrale tra le provincie di Padova e di Venezia. (Bixio, 1993)

Le indagini riferite ad un periodo assai esteso di osservazioni, pari a circa 50 anni, hanno lo scopo di ricavare per ciascun mese dell'anno la frequenza con la quale un prefissato valore del coefficiente di deflusso risulta eguagliato e superato: tale criterio risulta utile nella valutazione del grado di rischio da assumersi nel calcolo del coefficiente udometrico.

In particolare sono stati determinati i valori dei coefficienti di deflusso k_2 (Bixio, 1993), i quali rappresentano un bilancio idrologico riferito alla somma del tempo di precipitazione, di corrivazione e di esaurimento, nonché i valori dei coefficienti k_1 , i quali esprimono il medesimo bilancio e relativi ad un bilancio idrologico riferito ai soli tempi di precipitazione e di corrivazione. I valori dei coefficienti di deflusso k_2 proposti per il bacino Rebosola, e quelli dei coefficienti di deflusso k_1 desumibili dall'esame di alcune piene relative al medesimo bacino, sono riportati nella Tabella 6.2.

Il coefficiente di afflusso riferito al solo tempo di precipitazione è risultato, per il medesimo bacino pari a 0.65. Si osservano come i valori dei coefficienti k_1 e k_2 rilevati per il Bacino Rebosola risultino ridotti per la necessità di invaso delle acque in alcuni periodi dell'anno: le variazioni climatiche intervenute consigliano una adozione del coefficiente di deflusso k non inferiore a 0.30.

Nelle successive elaborazioni si è tenuto conto nelle trasformazioni afflussi-deflussi dei coefficienti ottenuti per il bacino Rebosola, in quanto le caratteristiche di tale bacino risultano maggiormente simili a quelle dei comprensori che si trovano nella pianura veneta, principalmente per ordine di grandezza delle dimensioni della superficie del bacino, per clima e morfologia.

Tabella 6.2 - Valori dei coefficienti di deflusso mensili proposti per il bacino Rebosola.

Mese	Coefficiente di deflusso riferito ai tempi di precipitazione, di corrivazione di esaurimento	Coefficienti di deflusso riferito ai tempi di precipitazione e di corrivazione
	k_2	k_1
Gennaio	0.77	0.69
Febbraio	0.85	0.77
Marzo	0.79	0.71
Aprile	0.61	0.55
Maggio	0.37	0.33
Giugno	0.26	0.23
Luglio	0.09	0.08
Agosto	0.06	0.05
Settembre	0.06	0.05
Ottobre	0.17	0.15
Novembre	0.38	0.34
Dicembre	0.66	0.59

Il coefficiente di deflusso, assunto costante per le reti urbane e variabile con passo anche mensile per le reti di bonifica, compare usualmente in tutte le formule di calcolo del coefficiente udometrico con valori numerici reperibili in letteratura.

6.2. Valutazione numerica degli effetti della stagionalità delle precipitazioni.

Valutazioni numeriche degli effetti della stagionalità delle piogge nel dare luogo alle piogge efficaci ed ai deflussi efficaci risultano, come si è detto, limitate e riferite ad ambienti particolari quali il Bacino Rebosola per il Veneto.

Da un esame dei dati relativi al coefficiente di deflusso ricavati per il Bacino Rebosola con riferimento a circa 50 anni di osservazioni antecedenti al 1980 di volumi idrici sollevati e precipitazioni misurate sul comprensorio sotteso dall'idrovora, si può rilevare la grande influenza della stagionalità delle piogge che potrebbe essere stata ottenuta dalle variazioni climatiche recenti, specie se si considera il ripetersi di allagamenti lungo la fascia costiera nel periodo di fine estate – inizio autunno, con possibile incremento dei coefficienti di deflusso ipotizzati per i mesi di settembre e ottobre nelle elaborazioni eseguite per il Bacino Rebosola.

Pur tenendo conto della diversità degli ambienti, si è ritenuto utile eseguire a titolo indicativo un confronto tra valori di pioggia effettivi ed efficaci con riferimento alla stazione di Legnaro, adottando i coefficienti di riduzione non inferiori a 0.30 per tener conto degli eventi climatici che più di recente hanno interessato la fascia costiera nel periodo tardo estivo ed inizio autunno.

Nella tabella 6.3 sono posti a confronto a titolo di esempio i valori massimi annuali effettivi di pioggia per i singoli anni compresi tra il 1990 ed il 2020 per la stazione di Legnaro confrontati con quelli efficaci calcolati con la procedura precedentemente indicata. Nella Figura 6.1 sono rappresentate le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica calcolate (rispettivamente) considerando le piogge effettive ed efficaci: come prevedibile risulta rilevante l'effetto stagionale di riduzione delle piogge.

Tabella 6.3– Confronto tra i valori di precipitazione massimi annui effettivi ed efficaci, in base ai valori di k_1 e adattando i valori di k_1 di Tabella 6.2 per varie durate (1992-2020). Stazione di Legnaro.

anno	PRECIPITAZIONE MASSIMA ANNUALE PER VARIE DURATE [mm]																	
	Precipitazioni efficaci									Precipitazioni effettive								
	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h
1992	15.3	17.3	27.8	38.0	50.7	50.8	53.4	54.5	54.5	50.0	54.0	66.2	81.2	92.0	131.4	135.0	155.8	156.0
1993	10.5	10.5	10.5	12.5	15.8	16.3	16.5	18.8	18.8	35.0	38.4	38.4	38.4	52.2	52.2	57.0	60.0	60.0
1994	21.1	22.8	22.8	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	61.4	75.2	84.0	84.2	90.2	90.4	90.4	90.4	90.4
1995	10.8	11.7	14.7	16.6	21.1	21.2	23.8	28.6	28.6	37.4	37.8	42.2	43.6	56.8	58.6	71.2	75.0	77.4
1996	7.5	11.5	17.1	24.3	29.7	31.3	42.7	46.1	46.1	20.6	27.0	32.8	43.0	53.4	59.4	79.4	85.4	92.2
1997	7.4	10.4	12.4	15.8	22.2	27.1	27.3	27.3	27.3	25.6	27.0	30.4	30.4	33.6	50.2	55.0	67.2	75.0
1998	10.7	12.8	14.2	14.3	19.2	21.6	26.0	26.2	26.2	30.4	40.6	50.4	58.6	58.6	81.4	103.0	131.8	133.0
1999	10.2	15.7	21.8	24.7	26.3	26.3	28.9	29.5	29.5	35.0	35.2	58.8	81.6	84.0	85.8	86.8	106.8	108.6
2000	11.0	15.1	16.1	27.2	28.9	33.6	33.7	34.9	34.9	24.2	31.4	51.0	57.2	72.8	89.8	92.8	93.4	94.2
2001	13.0	22.1	28.7	33.5	33.7	37.4	37.4	37.4	37.4	31.8	46.8	51.8	67.8	83.8	85.2	85.2	88.2	90.4
2002	21.1	22.3	22.3	22.3	22.3	26.9	40.8	41.9	41.9	71.2	74.4	82.4	82.4	82.4	84.4	84.6	106.0	115.4
2003	7.5	9.6	14.1	21.0	36.6	36.6	36.6	37.1	37.1	25.6	28.0	28.0	30.6	42.0	73.2	73.2	73.2	74.2
2004	18.2	23.7	28.0	36.4	41.0	59.0	65.6	76.2	76.2	50.0	52.4	54.6	54.6	58.6	88.0	99.8	112.6	130.8
2005	15.1	18.2	22.5	22.8	24.1	24.1	24.1	30.6	30.6	46.2	51.4	61.8	82.4	85.0	103.8	104.0	112.4	153.2
2006	9.6	16.2	18.2	19.5	25.5	39.9	41.2	41.2	41.2	29.0	32.8	62.6	74.6	86.0	104.2	171.4	177.4	177.4
2007	17.2	17.6	19.2	19.3	31.4	36.6	36.8	36.8	36.8	39.2	55.6	58.2	69.0	69.0	107.6	127.8	129.4	129.6
2008	11.4	11.4	18.0	18.9	26.9	28.5	29.7	39.3	39.3	31.2	39.2	39.2	47.6	48.8	63.0	68.8	68.8	78.4
2009	20.0	29.7	45.1	46.8	46.8	49.8	49.8	49.8	49.8	39.8	71.4	107.2	162.8	172.4	172.6	189.0	189.2	189.4
2010	13.9	23.6	32.2	36.2	36.8	36.8	36.8	36.8	36.8	37.0	41.2	41.2	48.0	56.0	59.2	60.4	61.0	84.0
2011	11.9	17.4	24.2	30.7	35.5	38.0	46.2	46.9	46.9	27.2	34.6	34.6	43.0	55.0	64.2	76.4	85.2	86.6
2012	6.1	8.2	12.4	13.7	13.7	13.7	13.8	18.0	18.0	20.8	23.0	36.8	46.4	49.2	51.6	72.0	75.6	81.4
2013	12.0	18.5	29.9	34.2	34.2	37.0	37.0	37.2	37.2	30.4	30.8	32.4	44.4	52.4	59.2	68.0	68.0	69.6
2014	24.7	30.7	34.6	36.0	44.9	45.9	54.7	56.5	56.5	43.4	46.4	57.8	67.2	68.4	86.4	105.6	123.4	125.8
2015	8.1	11.5	13.2	18.7	22.9	23.0	23.0	24.7	24.7	20.8	26.6	28.6	34.8	36.6	46.2	54.0	54.4	64.4
2016	12.6	16.8	23.5	26.5	29.9	31.8	35.5	38.2	38.2	31.2	34.0	46.6	59.0	78.2	84.6	84.6	84.8	92.0
2017	6.3	6.4	6.9	8.4	14.4	14.4	14.4	14.4	14.4	21.6	24.0	24.4	35.0	36.4	52.0	59.0	59.0	64.4
2018	11.7	14.7	17.2	17.5	22.2	26.1	37.0	38.2	38.2	40.2	43.6	45.8	53.6	56.4	61.4	62.0	77.6	79.8
2019	10.3	14.8	19.8	27.9	28.6	30.3	30.3	30.4	30.4	24.0	34.6	34.6	39.6	55.8	57.2	59.8	59.8	65.0

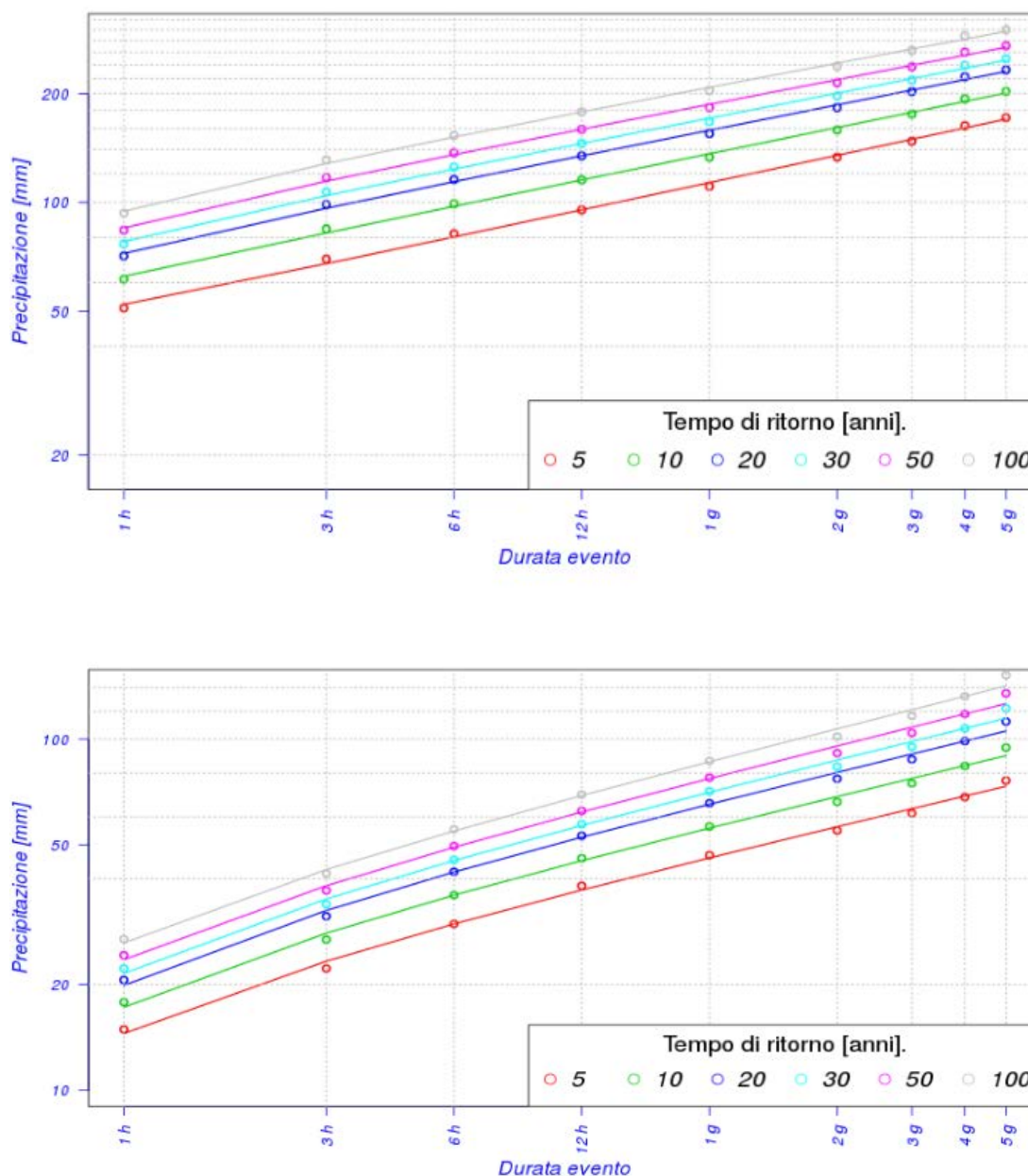


Figura 6-1– Confronto fra le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica calcolate considerando le piogge effettive (in alto) ed efficaci (in basso).

In dipendenza dall'effetto stagionale delle piogge sulla formazione del deflusso efficace, si è ritenuto opportuno riportare i valori massimi mensili di precipitazione rilevati nelle varie stazioni, in maniera da fornire elementi per una loro adozione in progetto con particolare riferimento ai bacini di pianura; non si è ritenuto utile, a tale riguardo, escludere dal calcolo in esame le stazioni montane in esame in previsione di possibili applicazioni.

Si riportano a titolo di esempio di seguito nelle Tabella 6.4, Tabella 6.5, Tabella 6.6, Tabella 6.7 contenenti i massimi di precipitazione per ciascun mese degli anni di osservazione e per le durate di 24, 48, 72, 96 e 120

ore consecutive per la stazione di Legnaro.

Tabella 6.4– Valori massimi di precipitazione (mm) relativi ai mesi di Gennaio, Febbraio e Marzo e per le durate di 24, 48, 72, 96, 120 ore consecutive per la stazione di Legnaro (1992 – 2020).

Anno	Gennaio					Febbraio					Marzo				
	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	15.0	15.2	15.2	15.2	11.8	22.8	22.8	23.0	23.4
1993	0.8	1.2	1.2	1.4	1.6	22.2	28.0	29.4	29.8	29.8	24.2	27.0	27.0	27.0	27.0
1994	11.2	12.0	12.4	12.4	13.4	11.4	16.2	16.4	16.4	16.4	2.2	2.2	9.4	10.6	10.6
1995	14.6	14.8	26.6	26.6	27.8	22.0	22.2	24.4	29.2	32.2	12.8	12.8	18.0	18.0	18.2
1996	27.6	48.8	49.2	49.4	49.8	13.2	16.4	17.4	17.4	17.4	10.0	14.2	36.6	39.4	57.6
1997	24.8	33.2	48.4	56.8	57.4	6.0	6.0	6.2	6.2	6.2	6.0	6.0	6.0	6.0	7.0
1998	21.2	22.6	30.6	31.0	34.4	23.4	23.6	23.6	23.6	23.6	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
1999	26.0	26.2	26.6	27.0	27.2	15.4	15.6	15.8	15.8	16.2	14.6	15.2	17.6	17.6	23.0
2000	0.6	1.0	1.2	2.0	2.2	2.6	16.2	16.4	16.6	16.6	46.6	50.0	57.8	58.6	62.0
2001	17.0	18.6	20.0	20.2	23.0	11.6	11.6	11.8	28.8	33.0	57.4	57.8	64.6	64.6	64.6
2002	38.6	38.8	39.0	39.4	39.4	28.2	30.0	34.0	34.2	34.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.4
2003	16.6	18.0	18.8	19.2	19.2	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	2.0	2.4	1.4	29.6	42.8
2004	31.8	43.2	44.4	44.4	44.6	58.6	67.4	99.8	112.6	130.8	45.0	45.2	45.2	64.4	90.0
2005	0.4	0.8	1.0	1.2	1.4	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0	0.6	1.0	1.0	1.2	1.4
2006	11.8	16.2	11.4	11.4	11.4	17.4	20.8	23.0	25.2	28.2	13.8	17.2	20.0	20.0	20.0
2007	9.8	9.8	10.4	10.6	10.6	30.2	30.2	30.2	30.2	33.0	25.0	27.8	27.8	27.8	32.6
2008	10.0	14.4	14.6	16.0	16.0	23.0	28.4	31.4	31.8	31.8	18.4	18.4	18.8	23.0	23.0
2009	13.8	14.6	14.6	19.0	26.8	22.8	27.0	29.8	26.8	27.4	49.6	53.8	54.2	60.4	77.6
2010	15.2	24.4	27.2	27.4	33.2	56.0	57.2	57.2	57.2	57.2	16.0	19.0	19.2	19.2	19.2
2011	6.8	7.0	7.0	11.4	11.6	35.6	38.8	39.2	39.2	41.0	55.0	64.2	70.2	85.2	86.6
2012	7.8	7.8	7.8	7.8	0.0	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
2013	26.2	27.0	46.6	51.0	52.4	52.4	52.4	52.4	13.8	13.8	47.6	59.2	68.0	68.0	69.6
2014	36.4	54.4	65.0	85.6	98.8	39.8	51.4	53.2	57.4	57.4	51.4	25.4	27.2	27.2	27.2
2015	11.6	11.6	14.6	14.6	14.6	26.6	34.4	34.4	34.4	34.4	36.2	44.6	44.8	44.8	48.2
2016	15.2	17.6	18.6	14.0	10.4	39.6	46.2	50.0	50.8	58.0	16.8	17.2	27.2	28.6	28.4
2017	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	6.4	6.4	6.4	9.6	8.4	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
2018	7.6	7.8	19.8	20.2	29.4	17.8	27.2	17.0	17.0	17.0	30.8	42.4	49.8	71.6	74.0
2019	6.2	8.6	13.4	29.4	37.8	27.6	29.2	24.4	8.4	2.6	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
2020	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	8.6	16.6	17.0	30.2	30.2	21.6	21.6	24.6	24.6	26.2

Tabella 6.5– Valori massimi di precipitazione (mm) relativi ai mesi di Aprile, Maggio e Giugno e per le durate di 24, 48, 72, 96, 120 ore consecutive per la stazione di Legnaro (1992 – 2020).

Anno	Aprile					Maggio					Giugno				
	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h
1992	17.6	18.2	21.4	23.0	22.6	21.4	39.2	39.8	41.0	41.4	18.0	19.0	20.6	26.0	27.2
1993	13.4	14.8	19.6	19.6	21.4	18.6	20.8	21.0	21.0	21.0	15.8	16.6	17.0	17.0	17.0
1994	25.0	25.0	27.2	27.4	33.8	8.4	11.4	12.6	12.6	12.6	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4
1995	29.2	42.2	42.4	47.6	47.8	56.8	58.6	68.6	75.0	77.4	33.0	55.0	55.8	67.4	72.6
1996	36.6	45.2	32.6	37.8	39.8	29.2	29.2	29.6	41.0	42.8	46.0	52.0	79.4	79.6	90.8
1997	31.6	32.0	32.0	32.4	32.4	23.8	23.8	24.0	24.0	24.0	30.4	45.2	45.4	46.2	46.2
1998	22.0	24.0	30.8	35.0	35.2	15.4	16.0	17.4	18.4	18.4	27.6	27.6	27.6	27.6	27.8
1999	49.4	52.6	52.6	53.2	58.8	14.8	16.0	16.0	19.8	22.6	67.4	67.6	75.8	82.2	100.8
2000	19.4	19.4	19.6	23.4	23.4	15.2	18.0	18.0	18.0	18.0	11.0	11.6	11.6	13.4	16.2
2001	14.6	20.6	26.8	27.0	27.0	25.8	25.8	25.8	27.0	27.0	30.2	31.8	31.8	32.0	33.6
2002	41.2	44.4	53.8	81.6	83.8	38.0	47.6	52.0	72.2	80.6	45.0	45.0	51.0	51.2	53.4
2003	42.0	73.2	72.0	46.2	46.2	22.2	33.6	33.6	33.6	33.6	28.0	28.2	38.8	38.8	39.0
2004	15.6	15.8	16.8	23.0	26.6	45.2	54.6	55.4	58.4	59.2	39.8	39.8	42.8	46.0	46.0
2005	21.0	27.0	38.0	42.4	42.6	85.0	85.0	85.2	88.2	88.2	33.0	60.0	60.0	60.0	60.0
2006	11.8	14.0	20.0	20.2	20.2	39.2	39.8	40.0	40.0	40.0	9.8	9.8	23.6	26.8	26.8
2007	1.2	1.8	1.8	59.2	59.2	69.0	107.6	127.2	70.6	70.6	19.6	25.6	15.4	18.6	18.8
2008	28.8	31.8	36.0	53.8	59.8	38.8	40.0	58.0	58.8	58.8	21.6	36.2	36.8	37.0	53.4
2009	40.2	64.4	77.0	81.8	82.6	14.8	14.8	15.4	15.4	15.4	48.6	51.6	52.0	53.0	56.8
2010	13.0	13.0	13.0	13.0	14.8	31.6	41.4	54.6	46.0	48.4	53.4	59.2	60.4	61.0	84.0
2011	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	33.6	49.8	52.6	52.6	53.0
2012	18.0	21.4	27.0	27.6	36.0	48.8	50.4	50.4	50.4	50.6	20.4	24.2	24.8	24.8	25.0
2013	42.8	46.0	48.2	48.6	48.8	33.6	37.6	39.4	39.4	39.4	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
2014	68.4	86.4	88.2	123.4	125.8	37.0	37.2	37.8	37.8	44.6	15.4	16.8	17.4	17.4	23.6
2015	16.8	23.2	25.8	26.6	27.4	36.6	46.2	54.0	54.4	64.4	29.4	30.4	36.8	36.8	36.8
2016	15.0	15.0	16.6	16.6	16.6	62.0	62.0	62.0	83.8	92.0	33.4	35.4	52.2	56.4	56.4
2017	16.8	28.8	28.8	28.8	28.8	15.0	16.8	19.6	20.2	21.4	25.8	26.0	26.0	44.2	44.2
2018	16.2	17.0	17.0	17.0	26.0	32.6	37.6	41.0	41.0	41.0	29.6	40.4	40.4	40.4	50.4
2019	55.8	57.2	57.2	58.6	58.8	36.6	51.2	53.4	53.4	60.4	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
2020	19.6	20.8	21.8	21.8	23.0	13.4	13.6	13.6	13.6	14.8	56.4	60.6	61.0	67.6	67.8

Tabella 6.6– Valori massimi di precipitazione (mm) relativi ai mesi di Luglio, Agosto e Settembre e per le durate di 24, 48, 72, 96, 120 ore consecutive per la stazione di Legnaro (1992 – 2020).

Anno	Luglio					Agosto					Settembre				
	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h
1992	61.2	73.0	74.0	74.0	74.0	43.8	43.8	43.8	43.8	43.8	14.4	21.2	28.0	31.8	33.2
1993	52.2	52.2	53.2	53.2	56.6	14.2	19.6	20.0	22.8	22.8	22.8	32.2	32.6	38.6	39.8
1994	90.2	90.4	90.4	90.4	90.4	55.6	63.4	63.4	63.4	63.4	49.4	49.4	51.8	74.6	86.0
1995	56.6	56.6	71.2	71.2	71.2	28.8	29.4	29.4	29.4	29.4	35.2	35.4	35.6	35.6	38.2
1996	10.8	10.8	11.2	11.2	11.2	11.6	12.4	13.0	17.4	24.6	23.0	30.6	35.8	53.0	53.6
1997	28.8	40.4	45.2	45.6	47.4	17.4	25.4	26.4	26.4	26.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
1998	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	58.6	61.4	67.6	70.4	99.8
1999	18.8	18.8	19.0	19.0	26.6	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	28.6	34.8	45.6	45.8	45.8
2000	24.2	24.2	35.6	35.6	35.8	16.2	23.6	23.6	25.4	25.4	28.0	35.0	35.4	35.4	40.4
2001	83.8	85.2	85.2	88.2	90.4	17.6	17.6	20.0	20.0	20.0	25.0	26.8	27.4	27.4	27.4
2002	82.4	84.4	84.6	106.0	115.4	26.8	35.8	37.2	37.2	44.0	13.6	22.6	27.6	28.2	28.8
2003	16.8	16.8	16.8	16.8	20.4	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	25.4	25.6	25.8	26.8	36.0
2004	22.8	24.6	31.4	31.4	31.4	22.0	22.0	22.0	22.0	23.4	54.6	88.0	88.0	88.4	88.4
2005	48.6	50.2	50.2	52.0	52.0	64.8	75.0	75.6	75.6	75.8	32.4	38.2	38.4	38.6	38.6
2006	37.6	37.6	37.6	41.8	43.6	41.4	52.0	52.2	52.2	28.8	86.0	104.2	171.4	177.4	177.4
2007	14.6	20.2	20.2	20.2	5.6	11.6	12.2	16.0	16.0	22.2	26.8	38.8	38.8	38.8	38.8
2008	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.4	63.0	68.8	68.8	69.0	48.8	49.2	49.4	49.4	49.4
2009	35.0	38.2	39.8	42.8	44.4	9.2	9.2	9.2	16.8	16.8	172.4	172.6	189.0	189.2	189.4
2010	29.6	29.6	29.6	31.0	32.4	34.0	35.0	35.0	35.2	35.2	43.6	47.6	49.6	50.8	50.8
2011	36.4	36.6	36.8	36.8	47.8	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	37.0	41.0	41.0	41.0	41.0
2012	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	21.0	21.0	27.0	27.0	29.6	27.2	28.0	28.2	28.2	33.0
2013	30.8	33.2	33.4	33.4	33.4	29.2	30.2	46.4	49.4	52.8	41.6	43.4	43.4	43.4	43.4
2014	67.4	67.4	70.0	77.0	80.2	24.4	24.4	24.4	29.4	31.6	30.6	30.8	38.2	38.4	38.4
2015	6.8	12.4	22.8	28.4	28.6	16.0	17.2	17.2	17.2	20.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4
2016	44.0	44.0	44.0	45.6	48.8	32.0	32.8	36.6	36.6	36.6	32.6	48.4	48.4	48.4	48.4
2017	17.2	32.8	32.8	32.8	32.8	5.2	26.8	26.8	40.0	42.6	30.2	52.0	59.0	59.0	64.4
2018	26.2	30.4	50.8	50.8	50.8	40.4	43.2	43.2	43.6	43.6	21.0	40.2	41.2	41.2	41.2
2019	25.8	28.0	28.0	37.8	38.2	12.0	12.0	17.8	5.8	8.6	26.6	26.6	26.6	26.6	39.0
2020	13.0	17.2	17.8	17.8	22.2	50.0	52.4	53.4	53.4	50.6	9.4	41.2	41.2	45.6	12.8

Tabella 6.7– Valori massimi di precipitazione (mm) relativi ai mesi di Ottobre, Novembre e Dicembre e per le durate di 24, 48, 72, 96, 120 ore consecutive per la stazione di Legnaro (1992 – 2020).

Anno	Ottobre					Novembre					Dicembre				
	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h
1992	92.0	131.4	135.0	135.2	132.2	14.0	14.8	15.4	23.0	23.4	76.0	101.4	101.6	106.8	109.0
1993	29.0	35.6	57.0	60.0	60.0	24.0	27.2	28.6	34.8	36.8	22.0	25.4	25.4	25.6	26.0
1994	25.0	25.2	25.6	25.6	36.6	18.2	19.2	19.2	27.2	36.6	21.4	23.6	23.8	24.0	24.0
1995	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	5.6	9.8	10.0	10.0	10.8	33.2	33.8	33.8	37.0	56.8
1996	53.4	53.4	43.4	45.0	45.0	19.6	30.8	36.0	45.6	46.6	48.6	55.6	58.0	85.4	92.2
1997	17.6	17.8	18.2	18.2	18.4	33.6	50.2	55.0	63.4	70.2	26.8	44.4	54.2	54.6	54.6
1998	51.8	81.4	103.0	131.8	133.0	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	10.6	10.6	11.0	11.2	11.4
1999	44.0	47.2	67.4	83.8	91.0	84.0	85.8	86.8	106.8	108.6	24.8	26.0	26.0	26.4	27.8
2000	72.8	89.8	92.8	93.4	94.2	33.6	34.4	36.4	55.6	44.0	19.2	36.0	41.8	44.0	51.2
2001	29.4	29.6	32.8	38.2	38.4	11.2	11.4	17.2	17.4	17.6	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6
2002	62.0	62.0	62.2	62.4	63.0	20.0	29.6	39.8	39.8	40.2	28.0	28.2	28.2	38.4	39.2
2003	22.6	39.6	41.4	53.0	53.2	35.8	36.0	36.2	36.2	36.2	38.4	43.6	56.0	56.0	56.0
2004	34.4	41.6	52.2	52.6	52.6	55.2	56.4	60.0	60.8	65.0	21.6	27.8	29.8	35.6	35.8
2005	75.0	81.0	102.4	112.4	153.2	79.4	103.8	104.0	104.2	104.6	12.4	17.0	18.6	26.8	27.2
2006	9.2	13.8	14.0	14.0	14.0	15.0	16.6	20.4	27.6	27.6	21.0	21.2	21.2	23.0	23.6
2007	14.4	14.6	15.0	15.0	21.6	13.0	14.6	19.6	19.6	19.8	20.8	26.6	26.6	26.6	26.6
2008	20.6	29.0	41.0	47.2	47.4	35.8	45.8	66.0	68.2	68.2	37.6	53.6	56.8	59.2	78.4
2009	19.4	25.4	29.6	29.6	33.2	33.0	33.0	37.2	41.2	41.2	27.8	29.6	45.4	49.0	54.0
2010	32.6	37.2	52.4	53.6	54.8	24.0	22.2	34.6	35.0	42.4	23.2	35.4	45.6	57.8	61.8
2011	36.4	36.8	37.0	37.2	37.6	37.0	57.4	76.4	76.4	80.0	8.6	8.6	9.0	9.2	12.2
2012	49.2	51.6	72.0	75.6	81.4	34.0	36.4	36.6	42.2	44.2	15.8	19.8	19.8	19.8	19.8
2013	35.6	44.8	52.2	56.4	56.4	40.8	41.0	41.0	41.0	48.6	8.0	8.0	8.2	9.2	9.2
2014	29.2	29.4	30.2	30.8	31.0	68.0	69.2	74.6	81.2	83.4	22.0	24.2	29.8	34.0	36.2
2015	22.2	36.0	37.2	38.0	38.0	11.0	11.6	11.6	11.6	11.6	0.0	0.0	0.4	5.8	15.2
2016	78.2	84.6	84.6	84.8	85.2	50.6	51.8	51.8	52.8	52.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017	2.0	2.0	2.0	2.0	2.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	14.8	18.2	18.2	21.6	21.8
2018	56.4	61.4	62.0	77.6	79.8	24.6	25.6	32.8	34.0	34.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	37.0	37.0	37.0	37.2	14.6	29.8	35.0	36.8	49.8	65.0	44.2	55.6	59.8	59.8	60.0
2020	20.2	20.2	20.4	28.6	40.0	12.0	12.0	15.4	16.0	17.0	31.4	35.4	47.4	57.8	62.8

6.3. Il coefficiente di riduzione o di ragguglio spaziale delle precipitazioni

Le precipitazioni si riducono di intensità media all'aumentare dell'area alla quale si riferiscono. Pertanto volendo estendere un valore calcolato in un punto ad una superficie, si introduce il coefficiente di riduzione o coefficiente di ragguglio all'area, espresso in numerose tabelle derivate da indagini sperimentali. In particolare vengono assunte per il ragguglio spaziale relazioni che consistono nel sostituire all'equazione della linea segnalatrice calcolata

$$h = a \cdot t^n \quad (6.1)$$

una equazione del tipo

$$h' = a' \cdot t^{n'} \quad (6.2)$$

nella quale i valori di a' ed n' vengono calcolati mediante indagini sperimentali condotte con una opportuna serie di misure e di elaborazioni di dati rilevati.

Le sperimentazioni classiche realizzate in tale ambito sono state svolte mediante le misure effettuate con pluviografi situati in una certa area, e determinando a partire dal centro di scroscio la riduzione della precipitazione all'aumentare della superficie considerata. Varie espressioni sono state proposte per la relazione (6.2) a partire da quelle elaborate da Puppini per piogge orarie e per superfici in ha:

$$a' = a \left[1 - 0.052 \frac{A}{100} + 0.002 \left(\frac{A}{100} \right)^2 \right] \quad \text{Con } A \leq 1500 \text{ ha e } h \text{ in mm e per piogge di durate} \quad (6.3)$$

$$n' = n + 0.0175 \frac{A}{100} \quad \text{orarie} \quad (6.4)$$

$$a' = a \left[1 - 0.084 \frac{A}{100} + 0.007 \left(\frac{A}{100} \right)^2 \right] \quad (6.5)$$

Con $A \leq 600 \text{ Km}^2$ e h in mm.

$$n' = n + 0.014 \frac{A}{100} \quad (6.6)$$

La ricerca in esame può essere eseguita in bacini dotati di un adeguato numero di pluviografi, e può fornire risultati variabili in relazione alla superficie. Si riportano di seguito due esempi di calcolo di tali valori riferiti a due comprensori di bonifica: il Bacino Ongaro Inferiore, dell'area di 122 Km^2 e appartenente al Consorzio di Bonifica Veneto Orientale, e il Comprensorio appartenente al Consorzio di bonifica Veronese, costituito dal territorio dell'ex Consorzio di Bonifica Valli Grandi e Medio Veronese.

Ai fini dell'elaborazione statistica dei dati sono stati considerati i coefficienti di ragguglio dei valori medi corrispondenti ai 30 maggiori casi di precipitazione per le varie durate.

Durata (giorni)	Equazione
1	$\xi = e^{0.019-0.019\sqrt{A}}$
2	$\xi = e^{0.017-0.016\sqrt{A}}$
3	$\xi = e^{0.016-0.015\sqrt{A}}$
4	$\xi = e^{0.015-0.014\sqrt{A}}$
5	$\xi = e^{0.014-0.014\sqrt{A}}$

Durata (giorni)	Equazione
1	$\xi = e^{0.064-0.015\sqrt{A}}$
2	$\xi = e^{0.066-0.012\sqrt{A}}$
3	$\xi = e^{0.075-0.011\sqrt{A}}$
4	$\xi = e^{0.059-0.012\sqrt{A}}$
5	$\xi = e^{0.084-0.009\sqrt{A}}$

Figura 6-2– Coefficienti di ragguaglio delle precipitazioni effettive della durata pari a 1, 2, 3, 4 e 5 giorni consecutivi sul comprensorio del Bacino Ongaro Inferiore e nel comprensorio dell'Ex Consorzio di Bonifica Valli Grandi e Medio Veronese come rapporto tra valore medio di pioggia misurato da pluviografi interni o finitimi al comprensorio e valore massimo registrato.

Una procedura affine può essere adottata avvalendosi di estremi di precipitazione con l'uso del radar meteorologico, che, mediante idonea taratura con pluviografi situati nell'area oggetto di studio, può consentire di determinare il valore idoneo della precipitazione all'aumentare della superficie di riferimento.

La stima che il radar meteorologico consente di effettuare su aree di piccola dimensione può condurre a determinati valori del coefficiente di riduzione su aree limitate, con entità di misura di pixel di 1 Km x 1 Km, e quindi con risoluzione particolarmente utile nelle elaborazioni mensili.

Si riporta a titolo d'esempio un calcolo effettuato per un bacino della pianura veneta situato nella Provincia di Rovigo, utilizzando tre stazioni di telemisura di taratura al suolo e valutando le piogge con riflettività radar su una superficie di 150 Km²; i valori del coefficiente di riduzione spaziale sono stati calcolati considerando i 30 eventi massimi di pioggia registrati.



Durata della precipitazione (ore)	Equazione	
	$1 \leq A \leq 25 \text{ km}^2$	$25 \leq A \leq 150 \text{ km}^2$
1	$\xi = e^{-0.111\sqrt{A} + 0.111}$	$\xi = e^{-0.031\sqrt{A} - 0.288}$
2	$\xi = e^{-0.099\sqrt{A} + 0.099}$	$\xi = e^{-0.028\sqrt{A} + 0.259}$
3	$\xi = e^{-0.095\sqrt{A} + 0.095}$	$\xi = e^{-0.023\sqrt{A} + 0.268}$
4	$\xi = e^{-0.086\sqrt{A} + 0.086}$	$\xi = e^{-0.066\sqrt{A} + 0.262}$

Figura 6-3– Suddivisione del comprensorio oggetto di indagine in maglie quadrate di 1 km di lato per la misura delle precipitazioni e Coefficienti di riduzione spaziale delle precipitazioni per piogge di durata di 1, 2, 3 e 4 ore calcolati con l'ausilio del radar meteorologico per un comprensorio in Provincia di Rovigo.

La ricerca è stata svolta, in base alle misure disponibili, con riferimento alle precipitazioni di durata pari a 1, 2, 3, e 4 ore consecutive. Le analisi eseguite hanno condotto a determinare equazioni delle curve di regressione interpolatrici dei punti sperimentali del tipo:

$$\xi = e^{-(\alpha\sqrt{A} + \beta)} \quad (6.7)$$

Nelle quali α e β risultano funzione dell'area A e della durata della precipitazione.

Per quanto riguarda l'andamento delle curve interpolatrici in funzione dell'area, si è osservato un punto di discontinuità attorno al valore 25 km^2 per tutte le quattro durate considerate, per cui si è ritenuto opportuno suddividere il campo di indagine in due rette, ciascuna delle quali rappresentativa delle superfici pari rispettivamente ad $1 \leq A \leq 25 \text{ km}^2$ ed a $25 < A \leq 150 \text{ km}^2$. Si riportano rispettivamente le equazioni delle rette di regressione ottenute con la rispettiva rappresentazione grafica.

6.4. Il metodo razionale o cinematico.

Il metodo razionale o cinematico si basa su un bilancio idrologico svolto nel corso dell'evento di piena: a partire dall'inizio della pioggia la zona scolante si estende progressivamente fino ad interessare l'intera superficie del bacino afferente alla sezione considerata, raggiungendo allora la portata massima. In termini analitici, una pioggia di intensità j mm/ora dà luogo ad una portata meteorica unitaria σ coefficiente udometrico in l/s·ha dato dalla relazione:

$$u = \frac{10\,000}{3600} j = 2.78 j \quad (6.8)$$

Che considerando il coefficiente di deflusso k relativo alla superficie scolante si traduce in:

$$u = 2.78 k j \quad (6.9)$$

I valori dei coefficienti udometrici che si ottengono dalla applicazione della relazione (6.9) risultano elevati se non si introducono nella relazione elementi rappresentativi di fenomeni di corrivazione o di invaso idonei a contenere i valori di punta. Tuttavia, l'applicazione della relazione in esame può risultare utile per una valutazione in ambito di progetto di reti di fognatura bianca alquanto limitate ma di grande interesse urbanistico, quali piazze o strade di centri abitati, per le quali si vogliono limitare al massimo effetti di formazione prolungata di allagamenti. Si riportano a titolo di esempio nella Tabella 6.11 i coefficienti udometrici relativi alla stazione di Legnaro calcolati con il metodo razionale in funzione del coefficiente di deflusso ψ per vari tempi di ritorno.

Tabella 6.10 - Valori dei coefficienti udometrici (l/s·ha) in base al metodo razionale per piogge di durata di minuti primi in funzione del coefficiente di deflusso ψ per la stazione di Legnaro e per tempi di ritorno di 5 e 10 anni.

TEMPO DI RITORNO	ψ	Durata [minuti primi]				TEMPO DI RITORNO	ψ	Durata [minuti primi]			
		15	30	45	60			15	30	45	60
5	0.1	27.84	19.76	16.17	14.02	10	0.1	32.21	23.11	19.03	16.58
	0.2	55.68	39.52	32.33	28.04		0.2	64.42	46.22	38.06	33.16
	0.3	83.52	59.27	48.50	42.07		0.3	96.63	69.33	57.10	49.75
	0.4	111.36	79.03	64.67	56.09		0.4	128.83	92.44	76.13	66.33
	0.5	139.21	98.79	80.83	70.11		0.5	161.04	115.55	95.16	82.91
	0.6	167.05	118.55	97.00	84.13		0.6	193.25	138.66	114.19	99.49

I valori dei coefficienti udometrici ottenuti con la relazione citata risultano alquanto elevati; per tener conto dell'effettivo andamento del fenomeno, si introduce talora un ulteriore parametro, il coefficiente di ritardo ϕ , espresso mediante relazioni proposte da vari autori, a partire da Supino in base a sperimentazioni della scuola tedesca.

6.4.1. Coefficienti udometrici relativi a precipitazione di durata giornaliera.

Precipitazioni di durata giornaliera, il metodo cinematico perviene alla formula risolutiva:

$$u = 0.1157 \frac{k \cdot h}{t_c} \quad (6.10)$$

nella quale i simboli hanno il seguente significato:

u : coefficiente udometrico, espresso in $l/(s \cdot ha)$;

k : coefficiente di deflusso, adimensionale; definito nel caso in esame come rapporto tra il volume d'acqua defluito attraverso la sezione considerata in un tempo pari alla somma della durata della pioggia e del tempo di corrivazione ed il volume di pioggia.

t_c : tempo di corrivazione del bacino chiuso alla sezione considerata, espresso in giorni;

h : altezza di pioggia di durata pari al tempo di corrivazione, espressa in mm;

Per i diversi tempi di ritorno prescelti di 5, 10, 20, 30, 50 e 100 anni, le equazioni dei coefficienti udometrici calcolate con il metodo cinematico per durate giornaliere sono calcolate, e raccolte in tabelle, per le varie località considerate; si riporta a titolo di esempio tale tabella per la stazione di Legnaro (Tabella 6.11).

Per precipitazioni di durata oraria la relazione precedente si trasforma nella relazione affine:

$$u = 2.78 \cdot \frac{k \cdot h}{t_c} \quad (6.11)$$

con il medesimo significato dei simboli e con t_c espresso in ore.

Si riportano a titolo di esempio nella Tabella 6.11 i valori dei coefficienti udometrici calcolati con il metodo cinematico per la stazione di Legnaro per piogge di durate orarie e giornaliere per vari valori del tempo di ritorno.

Per i diversi tempi di ritorno prescelti di 5, 10, 20, 30, 50 e 100 anni, le equazioni dei coefficienti udometrici calcolate con il metodo cinematico per le precipitazioni di durata oraria sono riportate per le varie località considerate nelle rispettive tabelle (nei vari fascicoli dedicati ai singoli Servizi Idrici).

Tabella 6.11 – Valori dei coefficienti udometrici calcolate con il metodo cinematico in l/s·ha relative alle precipitazioni massime annue di varia frequenza probabile di durata oraria e giornaliera per la stazione di Legnaro

TEMPO DI RITORNO	DURATE ORARIE	DURATE GIORNALIERE
5	$u = 123.01 \cdot k \cdot t^{-0.77}$	$u = 10.27 \cdot k \cdot t^{-0.75}$
10	$u = 144.92 \cdot k \cdot t^{-0.76}$	$u = 12.29 \cdot k \cdot t^{-0.76}$
20	$u = 165.95 \cdot k \cdot t^{-0.76}$	$u = 14.23 \cdot k \cdot t^{-0.77}$
30	$u = 178.04 \cdot k \cdot t^{-0.76}$	$u = 15.34 \cdot k \cdot t^{-0.77}$
50	$u = 193.17 \cdot k \cdot t^{-0.75}$	$u = 16.73 \cdot k \cdot t^{-0.77}$
100	$u = 213.57 \cdot k \cdot t^{-0.75}$	$u = 18.61 \cdot k \cdot t^{-0.78}$

6.5. Il metodo dell'invaso.

6.5.1. I fondamenti del metodo.

Il metodo dell'invaso considera l'effetto prodotto sugli afflussi dagli invasi a monte della sezione considerata e perviene alla relazione del coefficiente udometrico in forma esplicita mediante la relazione di Supino (v. Supino G., 1965):

Collettori a sezione aperta, precipitazione di durata giornaliera

$$u = (26 \cdot \alpha + 66) \cdot n \cdot (K \cdot \xi \cdot a)^{\frac{1}{n}} \cdot v^{\frac{n-1}{n}} \quad (6.12)$$

Nella quale:

u : coefficiente udometrico in l/s·ha;

α : l'esponente della sezione liquida $Q = u \cdot n^\alpha$ che lega la portata e sezione liquida nella scala delle portate;

δ : coefficiente di afflusso alla rete nel solo tempo di pioggia;

a e n : coefficienti rappresentativi della curva di possibilità pluviometrica adattata, con a in mm·giorno⁻ⁿ, n compreso tra 0.25 e 0.50.

v : volume specifico di invaso nel bacino a monte della sezione considerata espresso in m.

che rappresenta la scala delle portate della sezione considerata di area liquida ω ; a , in $[m \cdot (\text{giorno})^{-n}]$, ed n , adimensionale e compreso nel campo $0.25 \leq n \leq 0.50$, i coefficienti che compaiono nella curva di possibilità pluviometrica ricavata elaborando le precipitazioni ragguagliate; K il coefficiente di afflusso relativo al solo tempo di pioggia per il mese più gravoso agli effetti della formazione dei deflussi; ξ il coefficiente di ragguaglio relativo all'area sottesa dalla sezione di calcolo; v il volume specifico di invaso espresso in m.

Collettori a sezione aperta, precipitazione di durata oraria:

$$u = 24 (26 \cdot \alpha + 66) \cdot n \cdot (K \cdot a)^{\frac{1}{n}} \cdot v^{\frac{n-1}{n}} \quad (6.13)$$

Con significato dei simboli analogo a quello in relazione(6.12), salvo a in mm·ora⁻ⁿ.

Collettori a sezione chiusa, precipitazione di durata oraria:

$$u = 2168 \cdot n \cdot (\psi \cdot a)^{\frac{1}{n}} \cdot v^{\frac{n-1}{n}} \quad (6.14)$$

Con medesimo significato dei simboli della relazione (6.13), salvo il parametro ψ rappresentativo dei coefficienti di deflusso.

Si riportano nella tabella 6.12 i valori dei coefficienti udometrici calcolati con il metodo dell'invaso in l/s·ha per collettori a sezione aperta relativi alle precipitazioni massime annue di varia frequenza probabile di durata oraria e giornaliera, per la stazione di Legnaro.

Tabella 6.12– Valori dei coefficienti udometrici calcolati con il metodo cinematico in l/s·ha relativi alle precipitazioni massime annue di varia frequenza probabile di durata oraria per la stazione di Legnaro

TEMPO DI RITORNO	DURATE ORARIE	TEMPO DI RITORNO	DURATE ORARIE
5	$u = 5.41 \cdot 10^{-4} \cdot \Psi^{4.40} \cdot v^{-3.40}$	20	$u = 4.25 \cdot 10^{-3} \cdot \Psi^{4.16} \cdot v^{-3.16}$
10	$u = 1.78 \cdot 10^{-3} \cdot \Psi^{4.26} \cdot v^{-3.26}$	30	$u = 6.49 \cdot 10^{-3} \cdot \Psi^{4.12} \cdot v^{-3.12}$

6.5.1.1. Valori sperimentali di coefficienti udometrici in superfici agricole

Un metodo di verifica dell'ordine di grandezza assunto dai coefficienti udometrici calcolati per un determinato collettore può consistere nel raffronto con i valori sperimentali adottati per la costruzione di impianti idrovori. Tale metodo può essere considerato valido specie nella Regione Veneto, nella quale gli impianti idrovori, costruiti a partire dall'ottocento, sono stati via via rinnovati ed adeguati alle esigenze dello smaltimento delle portate di piena nei comprensori di bonifica, per cui il valore di portata da sollevare ad esse assegnato può essere ritenuto prossimo a quello effettivamente attribuibile al territorio drenato. L'ordine di grandezza del coefficiente udometrico adottato può quindi venire considerato globalmente corretto, sempre con eccezioni dovute a rapide trasformazioni degli impianti, nonché ad esigenze di carattere economico che talora limitano il progettista nel dimensionare le idrovore, oppure ad opposte esigenze di sicurezza che conducono in alcuni casi, seppur limitati, a sovradimensionare una stazione di sollevamento.

In ogni caso i grafici che riportano i valori dei coefficienti udometrici di progetto degli impianti idrovori in funzione della superficie sottesa, costituiscono una valida fonte di orientamento numerico.

Si riporta a titolo di esempio in Figura 6.2 la rappresentazione grafica relativa alle curve di inviluppo superiori

da coefficienti udometrici adottati fino agli anni '90 per il dimensionamento degli impianti idrovori della pianura veneta, desunti per appartenenza geografica a superfici compresse rispettivamente tra Po e Adige, tra Adige e Brenta, tra Brenta e Livenza e tra Livenza e Tagliamento (Figura 6.2). Tali grafici pongono in evidenza come nel progetto delle opere di bonifica della pianura veneta i valori dei coefficienti udometrici assumono valori maggiori al procedere da Sud verso Nord, in armonia con l'incremento dei valori di precipitazione.

<i>Territorio</i>	<i>Equazione</i>
Pianura fra Po ed Adige	$u = 12.05 - 1.026 \ln(A)$
Pianura fra Adige e Brenta	$u = 13.27 - 1.144 \ln(A)$
Pianura fra Brenta e Livenza	$u = 16.38 - 1.401 \ln(A)$
Pianura fra Livenza e Tagliamento	$u = 23.91 - 2.25 \ln(A)$

Figura 6-4 – Curve di inviluppo superiore dei coefficienti udometrici degli impianti idrovori dei Comprensori di bonifica della pianura Veneta presenti all'anno 1990.

Le equazioni riportate mettono in risalto il valore contenuto delle portate unitarie in esame, rispetto ai corrispondenti valori per reti di fognatura bianca, a causa del notevole effetto modulatore giocato dagli invasi generalmente disponibili dalla possibilità di espansione laterale ai collettori in presenza di piogge intense.

7. Metodo di Regionalizzazione

Il numero di stazioni pluviometriche adottate per la ricerca risulta rilevante, ed idoneo a caratterizzare l'andamento nelle singole località considerate. Può risultare tuttavia di interesse studiare la distribuzione in base all'applicazione di tecniche di regionalizzazione, che consentono di determinare leggi di interesse di variazione spaziale, quali le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica, in punti non dotati di strumenti di misura.

A tale scopo, si può procedere suddividendo l'area geografica analizzata in zone omogenee in base alla valutazione di alcune caratteristiche scelte a priori, quali le variabili idrologiche, in maniera da attribuire a ciascuna zona omogenea valori statisticamente propri delle suddette caratteristiche. L'analisi regionalizzata, nel caso in esame, ha riguardato la ricerca di zone omogenee del Veneto con riferimento alle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica o climatica, alla cui determinazione concorrono le serie degli estremi di precipitazione per diverse durate di pioggia, estremi dedotti da punti di misura distribuiti nella Regione. Pertanto la determinazione di leggi di regionalizzazione del sistema delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica o climatica consente di raggruppare in ogni zona i punti di misura nei quali tali variabili idrologiche hanno una particolare affinità statistica, consentendo di ottenere in tal modo per ciascuna zona omogenea una funzione statistica di linea segnalatrice che ne rappresenta l'andamento che si può considerare univocamente rappresentante della zona stessa.

Uno dei metodi più usati per la regionalizzazione è quello della *grandezza indice* (come da riferimento bibliografico), in base al quale nell'ambito di una regione omogenea, si ipotizza che la distribuzione di probabilità, ad esempio Gumbel o GEV, dei valori massimi annui delle altezze di precipitazione di precipitazione di durata d sia invariante a meno di un fattore di scala dipendente dal sito di interesse, rappresentato dalla grandezza indice. La stima dell'altezza di pioggia presso la j -esima stazione $h_j(d, T)$ si esprime allora come prodotto di due termini: $h_j(d, T) = m_{j,d} \cdot h_d(T)$, in cui $m_{j,d}$ è la grandezza indice specifica per la stazione di interesse e per la durata considerata e $h_d(T)$ è un fattore adimensionale, chiamato curva di crescita che esprime la variazione dell'altezza di durata d in funzione del tempo di ritorno T , indipendentemente dal sito. La curva di crescita assume validità regionale ed è comune a tutte le stazioni pluviometriche appartenenti ad una data zona omogenea.

Come grandezza indice $m_{j,d}$ viene generalmente adottata la media dei valori massimi annui dell'altezza di precipitazione nella durata d . Tale dato è stimato dalla media campionaria delle misure effettuate presso ciascuna stazione.

In sintesi, il metodo della grandezza indice scinde il problema in tre sottoproblemi disgiunti:

- la suddivisione della regione geografica considerata in sottozone omogenee;
- la stima della curva di crescita valida per l'intera zona omogenea;
- la comprensione della reale distribuzione della grandezza indice nel territorio, di cui le medie campionarie ne rappresentano l'espressione.

Da un punto di vista operativo, per ciascun gruppo di linee segnalatrici di possibilità pluviometrica considerato, quale ad esempio quelle costituite dalle linee segnalatrici di durata oraria, il metodo in esame si può sviluppare attraverso le seguenti fasi:

1. identificazione di una ipotesi di zone omogenee;
2. calcolo della grandezza indice come media campionaria dei dati misurati presso ciascuna stazione;
3. normalizzazione del campione di ogni sito, i cui valori sono divisi per la corrispondente media;
4. regolarizzazione del campione composto dai dati normalizzati di tutte le stazioni comprese nella medesima zona omogenea, mediante una opportuna distribuzione di probabilità, e individuazione della corrispondente curva di crescita;
5. verifica a posteriori dell'omogeneità delle aree precedentemente identificate mediante test statistico ed *eventuale riformulazione dell'ipotesi*;
6. analisi spaziale della grandezza indice ed eventuale calcolo di valori di riferimento di tale grandezza per ambiti di varia estensione.

In base al metodo della grandezza indice l'identificazione di una ipotesi di zone omogenee può generalmente essere realizzato attraverso il calcolo della distanza euclidea tra i punti di misura dell'intera regione considerata ed alcuni punti di riferimento, detti medoidi, scelti tra i punti di misura, tale scelta può essere effettuata semplicemente sulla base di esperienza morfoclimatica del territorio, senza valutazioni presenti di tipo statistico o univoco.

In questo caso, il calcolo della suddetta distanza euclidea include oltre alle serie massime annue delle durate prescelte, anche la distanza tra i punti di misura ed i medoidi.

Per la verifica a posteriori dell'omogeneità delle aree precedentemente identificate mediante test statistico ed eventuale riformulazione dell'ipotesi di omogeneità di partenza è stato adottato il test di Holking-Wallis (come da riferimento bibliografico), che si avvale di componenti statistiche del metodo Monte Carlo e la distribuzione Kappa come distribuzione utilizzata per l'analisi degli estremi. Le fasi procedurali per l'applicazione del metodo della grandezza indice sono riportate nella Tabella 5.1

Tabella 5.1 - Tabella delle fasi procedurali per l'applicazione del metodo di regionalizzazione della grandezza indice.

Fase	Elaborazione svolta
1 Identificazione di una ipotesi di zone omogenee.	L'intera area in esame è stata considerata come un'unica zona omogenea ai fini della curva di crescita.
2 Calcolo della grandezza indice.	Stima della media dei massimi annui per ogni stazione e per ogni durata.
3 Normalizzazione del campione di ogni sito	Divisione dei valori campionari per la corrispondente media.
4 Regularizzazione del campione costituito dai dati normalizzati di tutte le stazioni comprese nella medesima zona omogenea.	Calcolo dei parametri della distribuzione Generalized Extreme Value (GEV) tramite applicazione del metodo degli L- moments al campione di tutti i valori adimensionali relativi ad una medesima durata, e stima dei fattori di crescita per alcuni tempi di ritorno di interesse.
5 Verifica a posteriori dell'omogeneità precedentemente identificata.	Applicazione del test statistico di omogeneità di Hosking e Wallis basato sugli L-moments.
6 Analisi spaziale della grandezza indice delle aree.	Interpolazione spaziale mediante kriging delle medie dei massimi annui per ciascuna durata ed identificazione mediante cluster analysis di gruppi di stazioni con grandezza indice omogenea, per la generazione di un numero discreto di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica.

La regularizzazione del campione costituito dai dati normalizzati di tutte le stazioni comprese nella medesima zona omogenea può essere svolta teoricamente con qualsiasi metodo comunemente utilizzato anche nelle analisi locali, quale ad esempio il metodo di Gumbel.

Nella presente ricerca si è applicato tale metodo di verifica a posteriori dell'omogeneità precedentemente verificata e per l'analisi spaziale della grandezza media delle aree il metodo della grandezza indice, ed adattando un nuovo approccio statistico per l'individuazione delle zone omogenee.

In particolare si è ritenuto utile adottare un nuovo metodo di individuazione delle zone omogenee atto ad eliminare il problema della criticità presente nel metodo originale che conduce ad una ripetizione di tutte le fasi elaborate ogni volta che alla fine del ciclo fosse risultato non verificato il test Hosking-Wallis per la verifica di omogeneità delle zone ipotizzate omogenee (G. Tardivo et al., 2021).

In definitiva il metodo di regionalizzazione proposto consente di ottenere una suddivisione primaria del territorio analizzato in zone omogenee in maniera definitiva ed efficace per procedere infine con la determinazione della curva segnalatrice normalizzata di ogni zona e la griglia delle grandezze indice. In tal modo si può pervenire ad attribuire al territorio oggetto di indagine curve segnalatrici di possibilità climatica con la discretizzazione utile alla gestione degli eventi pluviometrici intensi. Si presentano di seguito i risultati

del lavoro di regionalizzazione per le linee segnalatrici di tre tipologie di durata di precipitazione, svolte sull'area geografica della regione Veneto.

Si sono identificate dunque, le zone omogenee per le linee segnalatrici delle durate di massimi annui di precipitazione di 5, 10, 15, 30, 45 e 60 minuti primi consecutivi (Figura 7.1), delle durate di massimi annui di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive (Figura 7.2), delle durate di massimi annui di precipitazione di 1, 2, 3, 4 e 5 giorni consecutivi (Figura 7.3).

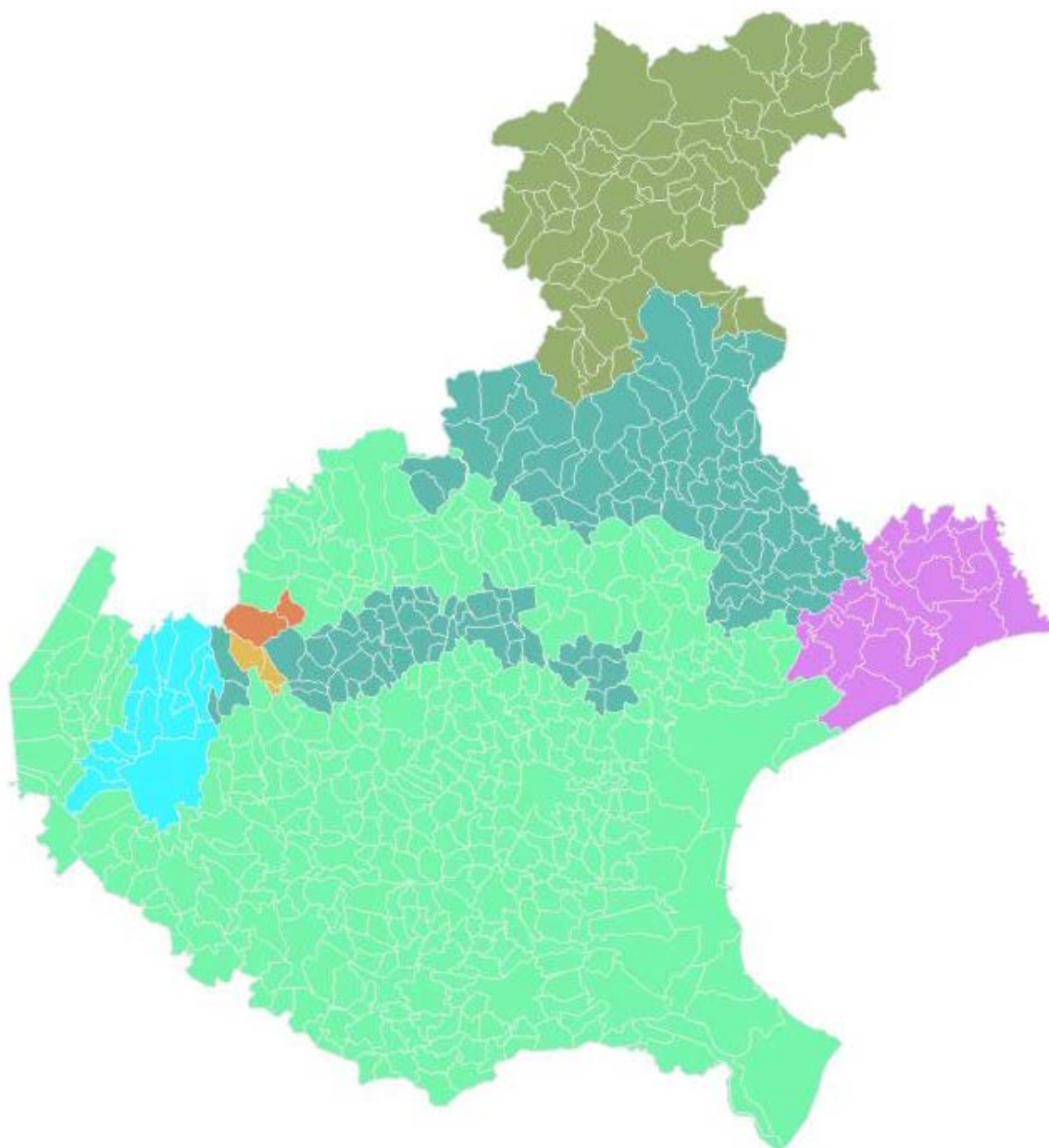


Figura 7-1 – Zone omogenee identificate per la determinazione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica delle precipitazioni massime annue della durata di precipitazione di 5, 10, 15, 30, 45 e 60 minuti primi.

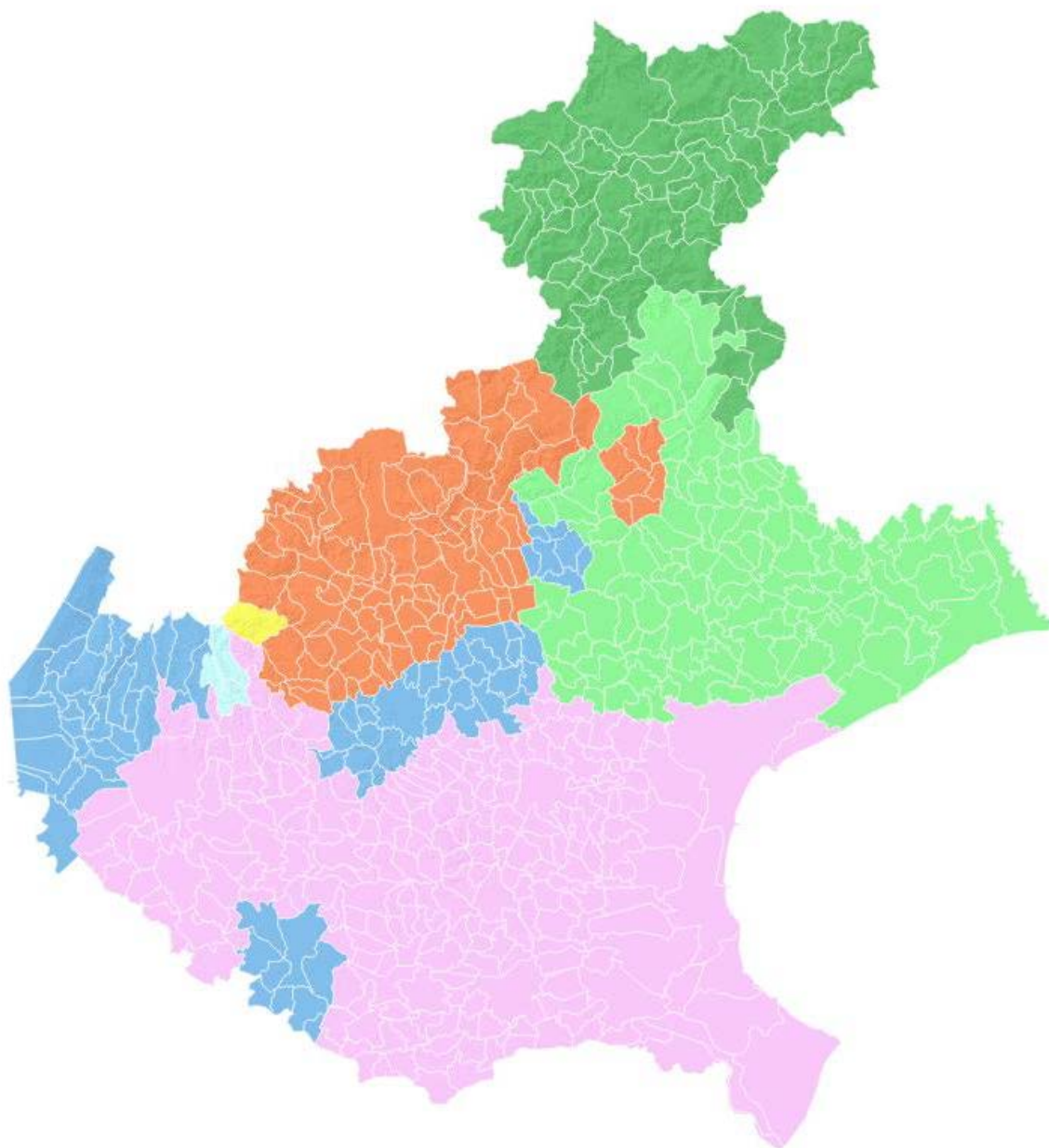


Figura 7-2 – Zone omogenee identificate per la determinazione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica delle precipitazioni massime annue della durata di precipitazione di 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive.

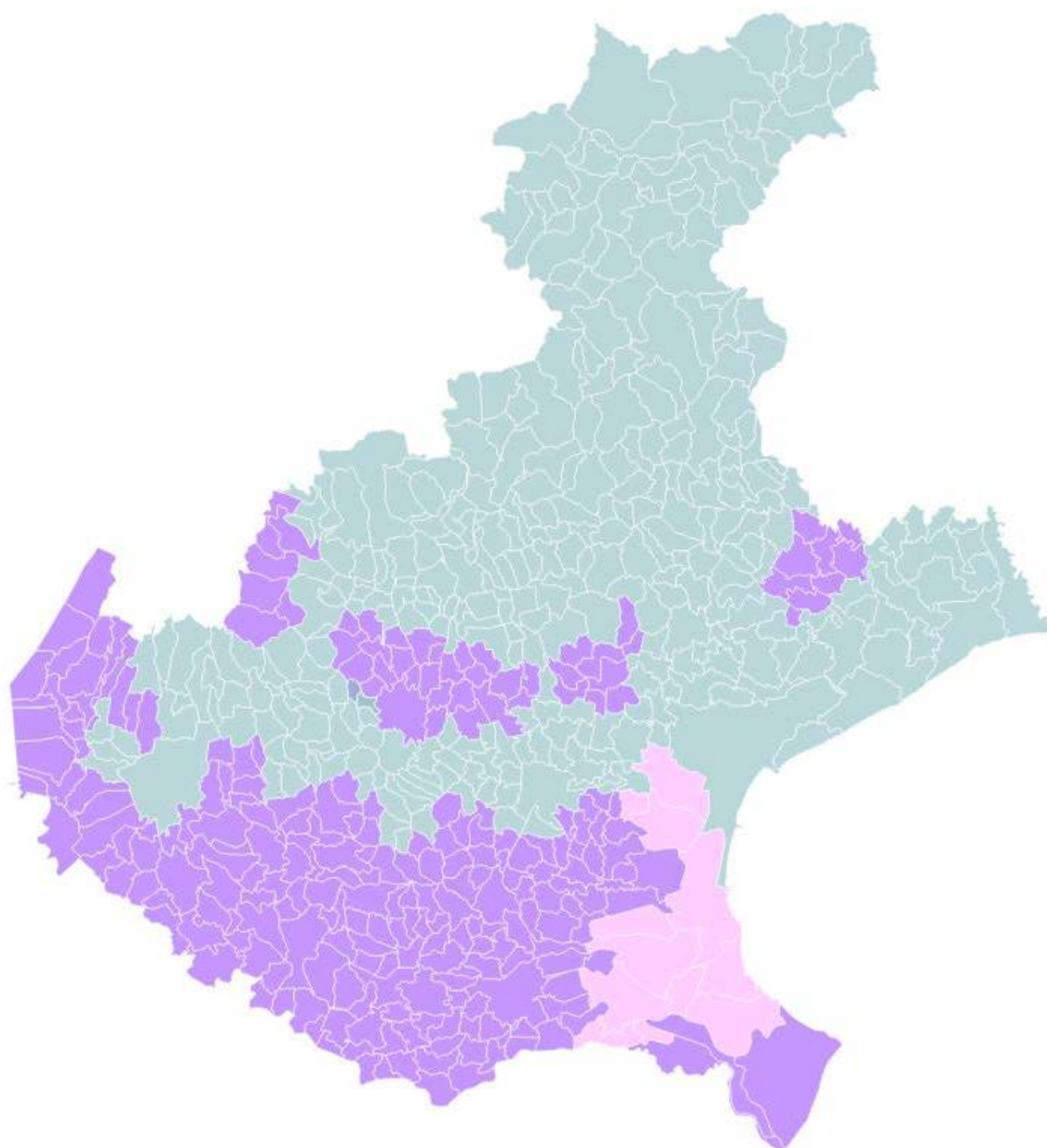


Figura 7-3 – Zone omogenee identificate per la determinazione delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica delle precipitazioni massime annue della durata di precipitazione di 24, 48, 72, 96 e 120 giorni consecutivi.

Si osserva facilmente come, sia per le durate di minuti primi che per le durate orarie, si siano ottenute 7 zone omogenee, mentre per le durate giornaliere queste siano risultate solamente 3.

Si osserva altresì che per le durate dei minuti primi e delle ore la ristretta zona definita approssimativamente dai comuni di Recoaro Terme, Torrelbelvicino, Crespadoro e Selva di Progno, assume caratteristiche singolari, non riscontrabili in tutto il resto del territorio regionale.

Le tre figure citate sono rappresentate con un dettaglio costituito dai confini dei comuni appartenenti alla Regione Veneto. Le elaborazioni svolte si prestano ad un vasto numero di applicazioni, e principalmente a

determinare le equazioni delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica di varia durata, minuti primi, ore e giorni, per ciascuna località della Regione Veneto, in particolare per ogni territorio comunale rappresentato nelle tre figure precedentemente riportate. Risulta evidente quindi l'importanza dei risultati ottenuti nella risoluzione dei problemi di gestione, di verifiche di efficienza e di progettazione delle reti idrauliche della Regione, per le quali l'operatore si deve spesso confrontare con una carenza di dati sperimentali. Un particolare rilievo applicativo va attribuito all'ambito delle reti di fognatura bianca, per le quali la conoscenza di valori di massima intensità e breve durata risulta finora assai limitata a seguito dell'estrema carenza di registrazione di eventi. La possibilità di un trasferimento dei valori osservati in singoli punti di misura ad una distribuzione territoriale continua di conoscere le funzioni analitiche applicative che ne derivano consente di acquisire importanti elementi di valutazione progettuale per l'intera Regione veneto di particolare importanza ai fini della tutela ambientale.

8. Elaborazione a titolo esemplificativo delle osservazioni pluviometriche per le singole stazioni considerate nella ricerca

Per le stazioni pluviometriche considerate nella ricerca vengono riportati nell'ordine i seguenti elaborati:

- denominazione della Stazione;
- coordinate;
- bacino di appartenenza;
- altitudine in m s.l.m.m;
- periodo di osservazione;
- anni mancanti;
- fonte delle misure;

così come riportato alla tabella Tabella 8.1 seguente.

Tabella 8.1 – Caratteristiche geografiche e dati relativi alla Stazione di Legnaro.

Stazione di Legnaro	
Coordinate	X 1731296; Y 5025799
Sistema di Riferimento	Gauss-Boaga fuso Ovest (EPSG:3003)
Comune	Legnaro (PD)
Bacino	Bacino scolante nella Laguna di Venezia
Strumento	Pluviometro a vaschetta basculante
Altitudine	7 m s.m.
Periodo	1992 - 2020
Anni mancanti	-
Fonte	Agenzia Regionale per la Prevenzione e Protezione Ambientale del Veneto (A.R.P.A.V.).

Tabella 8.2 - Precipitazioni massime annue (mm) della durata di 5, 10, 15, 30, 45 minuti primi, di 1, 3, 6, 12, 24 ore e di 48, 72, 96, 120 ore consecutive.

anno	5min	10min	15min	30min	45min	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h
1992	14.6	16.2	19.2	34.4	45.0	50.0	54.0	66.2	81.2	92.0	131.4	135.0	155.8	156.0
1993	8.4	16.6	21.8	30.8	33.8	35.0	38.4	38.4	38.4	52.2	52.2	57.0	60.0	60.0
1994	13.4	23.2	32.6	52.8	59.8	61.4	75.2	84.0	84.2	90.2	90.4	90.4	90.4	90.4
1995	11.2	20.0	23.4	29.8	35.4	37.4	37.8	42.2	43.6	56.8	58.6	71.2	75.0	77.4
1996	6.6	10.0	12.8	16.8	18.4	20.6	27.0	32.8	43.0	53.4	59.4	79.4	85.4	92.2
1997	8.6	13.0	15.8	22.4	25.0	25.6	27.0	30.4	30.4	33.6	50.2	55.0	67.2	75.0
1998	12.2	20.4	25.2	25.6	29.4	30.4	40.6	50.4	58.6	58.6	81.4	103.0	131.8	133.0
1999	8.6	13.8	19.4	29.8	33.8	35.0	35.2	58.8	81.6	84.0	85.8	86.8	106.8	108.6
2000	5.4	10.8	13.8	20.6	23.4	24.2	31.4	51.0	57.2	72.8	89.8	92.8	93.4	94.2
2001	7.8	12.4	15.4	24.0	29.2	31.8	46.8	51.8	67.8	83.8	85.2	85.2	88.2	90.4
2002	13.0	25.4	36.0	58.0	67.6	71.2	74.4	82.4	82.4	82.4	84.4	84.6	106.0	115.4
2003	11.2	19.0	22.6	25.2	25.4	25.6	28.0	28.0	30.6	42.0	73.2	73.2	73.2	74.2
2004	14.2	25.2	34.6	46.0	49.2	50.0	52.4	54.6	54.6	58.6	88.0	99.8	112.6	130.8
2005	17.0	27.2	35.4	45.0	46.0	46.2	51.4	61.8	82.4	85.0	103.8	104.0	112.4	153.2
2006	8.2	14.2	19.4	27.2	28.4	29.0	32.8	62.6	74.6	86.0	104.2	171.4	177.4	177.4
2007	6.8	12.6	17.6	31.6	36.2	39.2	55.6	58.2	69.0	69.0	107.6	127.8	129.4	129.6
2008	11.2	21.4	22.6	22.6	22.6	31.2	39.2	39.2	47.6	48.8	63.0	68.8	68.8	78.4
2009	9.6	17.2	24.2	31.4	36.0	39.8	71.4	107.2	162.8	172.4	172.6	189.0	189.2	189.4
2010	14.2	18.2	22.0	29.8	32.6	37.0	41.2	41.2	48.0	56.0	59.2	60.4	61.0	84.0
2011	12.4	19.8	24.0	27.2	27.2	27.2	34.6	34.6	43.0	55.0	64.2	76.4	85.2	86.6
2012	12.0	14.0	16.6	20.8	20.8	20.8	23.0	36.8	46.4	49.2	51.6	72.0	75.6	81.4
2013	9.2	15.4	20.4	27.8	29.6	30.4	30.8	32.4	44.4	52.4	59.2	68.0	68.0	69.6
2014	13.8	19.6	26.0	36.2	40.8	43.4	46.4	57.8	67.2	68.4	86.4	105.6	123.4	125.8
2015	8.0	14.2	15.8	19.8	20.6	20.8	26.6	28.6	34.8	36.6	46.2	54.0	54.4	64.4
2016	11.2	18.4	21.0	22.4	28.2	31.2	34.0	46.6	59.0	78.2	84.6	84.6	84.8	92.0
2017	9.4	16.8	21.2	21.6	21.6	21.6	24.0	24.4	35.0	36.4	52.0	59.0	59.0	64.4
2018	8.4	13.0	19.8	34.2	39.6	40.2	43.6	45.8	53.6	56.4	61.4	62.0	77.6	79.8
2019	10.0	18.8	20.0	23.2	23.6	24.0	34.6	34.6	39.6	55.8	57.2	59.8	59.8	65.0
2020	15.6	27.2	32.4	43.2	51.4	52.6	55.2	56.0	56.0	56.4	60.6	61.0	67.6	67.8

Tabella 8.3 - Parametri della distribuzione di Gumbel e GEV relativi alle precipitazioni massime annue (mm) della durata di 5, 10, 15, 30, 45 minuti primi, di 1, 3, 6, 12, 24 ore e di 48, 72, 96, 120 ore consecutive.

Parametro		5min	10min	15min	30min	45min	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h
Gumbel	μ	9.38	15.47	19.42	25.55	28.06	29.66	34.92	40.67	46.84	53.72	64.95	71.79	77.69	83.46
	α	2.60	4.21	5.66	8.98	10.74	11.13	12.88	16.71	23.10	23.48	24.50	29.34	31.33	31.32
	A-D	0.88	0.98	0.90	0.88	0.98	0.99	0.97	0.99	0.86	0.66	0.62	0.68	0.79	0.65
GEV	ξ	9.56	15.62	19.44	25.27	27.76	29.47	34.69	40.63	47.24	54.42	64.70	70.87	76.41	82.11
	α	2.82	4.26	4.99	6.66	8.45	9.21	10.79	13.96	15.80	16.22	17.64	18.41	22.34	22.93
	κ	0.18	0.09	-0.03	-0.16	-0.12	-0.08	-0.08	-0.06	-0.16	-0.14	-0.16	-0.25	-0.19	-0.18
	A-D	0.98	0.99	0.91	0.99	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.70	0.69	0.99	0.98	0.90

Tabella 8.4 - Rette regolarizzatrici di Gumbel e GEV relative alle precipitazioni della durata di 5, 10, 15, 30, 45 minuti primi, di 1, 3, 6, 12, 24 ore e di 48, 72, 96, 120 ore consecutive.

Durata	Gumbel	Durata	Gumbel	Durata	GEV	Durata	GEV
5 min	9.38 + 2.60 Y	6 h	40.67 + 16.71 Y	5 min	9.56 + 2.82 Y	6 h	40.63 + 13.96 Y
10 min	15.47 + 4.21 Y	12 h	46.84 + 23.10 Y	10 min	15.62 + 4.26 Y	12 h	47.24 + 15.80 Y
15 min	19.42 + 5.66 Y	24 h	53.72 + 23.48 Y	15 min	19.44 + 4.99 Y	24 h	54.42 + 16.22 Y
30 min	25.55 + 8.98 Y	48 h	64.95 + 24.50 Y	30 min	25.27 + 6.66 Y	48 h	64.70 + 17.64 Y
45 min	28.06 + 10.74 Y	72 h	71.79 + 29.34 Y	45 min	27.76 + 8.45 Y	72 h	70.87 + 18.41 Y
1 h	29.66 + 11.13 Y	96 h	77.69 + 31.33 Y	1 h	29.47 + 9.21 Y	96 h	76.41 + 22.34 Y
3 h	34.92 + 12.88 Y	120 h	83.46 + 31.32 Y	3 h	34.69 + 10.79 Y	120 h	82.11 + 22.93 Y

Tabella 8.5 - Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica a 2 ed a 3 parametri secondo Gumbel relative alle precipitazioni massime annue della durata di 5, 10, 15, 30, 45 minuti primi, di 1, 3, 6, 12, 24 ore e di 48, 72, 96, 120 ore consecutive per vari tempi di ritorno.

Tempo di ritorno [anni]	Equazioni a 2 parametri			Equazione a 3 parametri
	Da 5 a 60 min	Da 1 a 24 ore	Da 24 a 120 ore	Da 5 min a 120 ore
5anni	$h = 51.30 t^{0.50}$	$h = 45.00 t^{0.22}$	$h = 40.33 t^{0.25}$	$h = \frac{45.71t}{(0.08 + t)^{0.78}}$
10anni	$h = 60.64 t^{0.52}$	$h = 52.96 t^{0.23}$	$h = 49.18 t^{0.24}$	$h = \frac{55.41t}{(0.10 + t)^{0.79}}$
20anni	$h = 69.60 t^{0.53}$	$h = 60.59 t^{0.23}$	$h = 57.68 t^{0.23}$	$h = \frac{64.85t}{(0.12 + t)^{0.79}}$
30anni	$h = 74.76 t^{0.53}$	$h = 64.99 t^{0.23}$	$h = 62.58 t^{0.23}$	$h = \frac{70.26t}{(0.13 + t)^{0.79}}$
50anni	$h = 81.20 t^{0.54}$	$h = 70.48 t^{0.24}$	$h = 68.71 t^{0.23}$	$h = \frac{77.17t}{(0.14 + t)^{0.80}}$
100anni	$h = 89.90 t^{0.54}$	$h = 77.89 t^{0.24}$	$h = 76.98 t^{0.23}$	$h = \frac{86.42t}{(0.15 + t)^{0.80}}$

Tabella 8.6 - Valori dei primi tre eventi di precipitazione estrema (mm) della durata di 5, 10, 15, 30, 45 minuti primi, di 1, 3, 6, 12, 24 ore e di 48, 72, 96, 120 ore consecutive.

Durata dell'evento	Minuti					Ore									
	5	10	15	30	45	1	3	6	12	24	48	72	96	120	
Numero eventi estremi	14	10	9	9	11	16	15	15	23	14	14	12	12	15	
Numero eventi forti	1	0	2	2	2	3	3	3	6	1	2	4	3	4	
Percentuale eventi forti	7.1	0.0	22.2	22.2	18.2	18.8	20.0	20.0	26.1	7.1	14.3	33.3	25.0	26.7	
3° valore massimo	14.6	25.4	34.6	46.0	51.4	52.6	71.4	82.4	82.4	90.2	107.6	135.0	155.8	156.0	
2° valore massimo (M2)	15.6	27.2	35.4	52.8	59.8	61.4	74.4	84.0	84.2	92.0	131.4	171.4	177.4	177.4	
Max valore assoluto (M1)	17.0	27.2	36.0	58.0	67.6	71.2	75.2	107.2	162.8	172.4	172.6	189.0	189.2	189.4	
Anno osservazione di M1	2005	2005	2002	2002	2002	2002	1994	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009	
Percentuale di M1 raggiunta da M2	91.8	100.0	98.3	91.0	88.5	86.2	98.9	78.4	51.7	53.4	76.1	90.7	93.8	93.7	

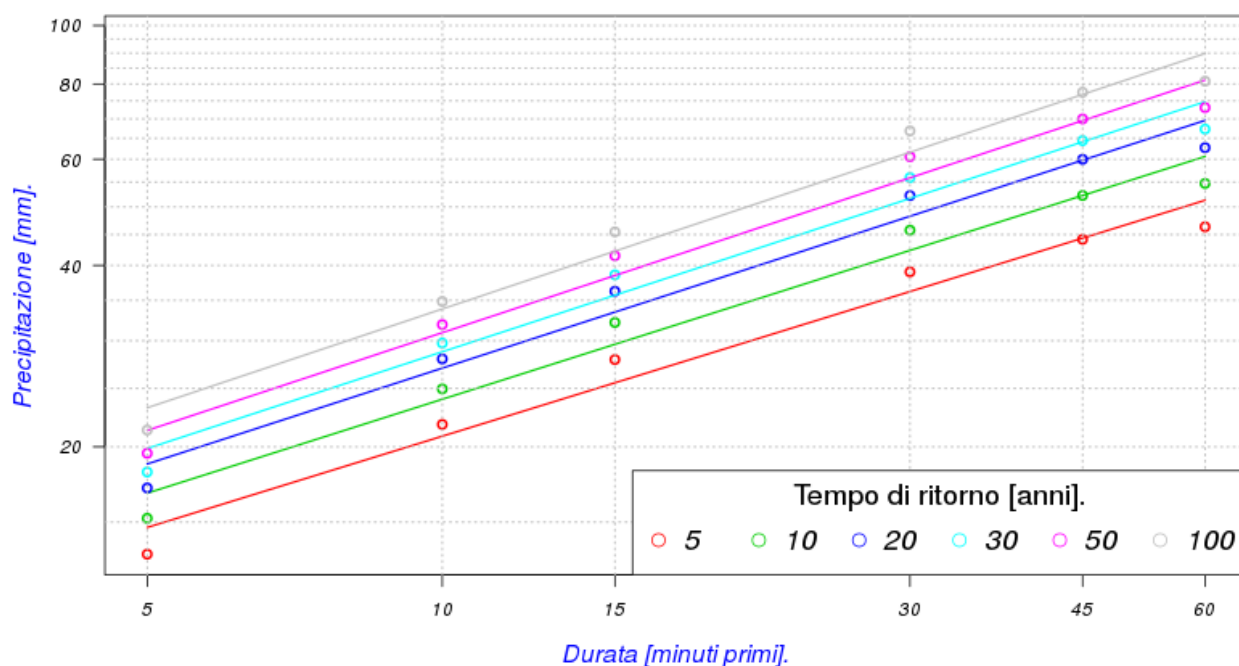


Figura 8-1 - Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica relative alle precipitazioni massime annue (mm) per le durate di 5, 10, 15, 30, 45 e 60 minuti primi.

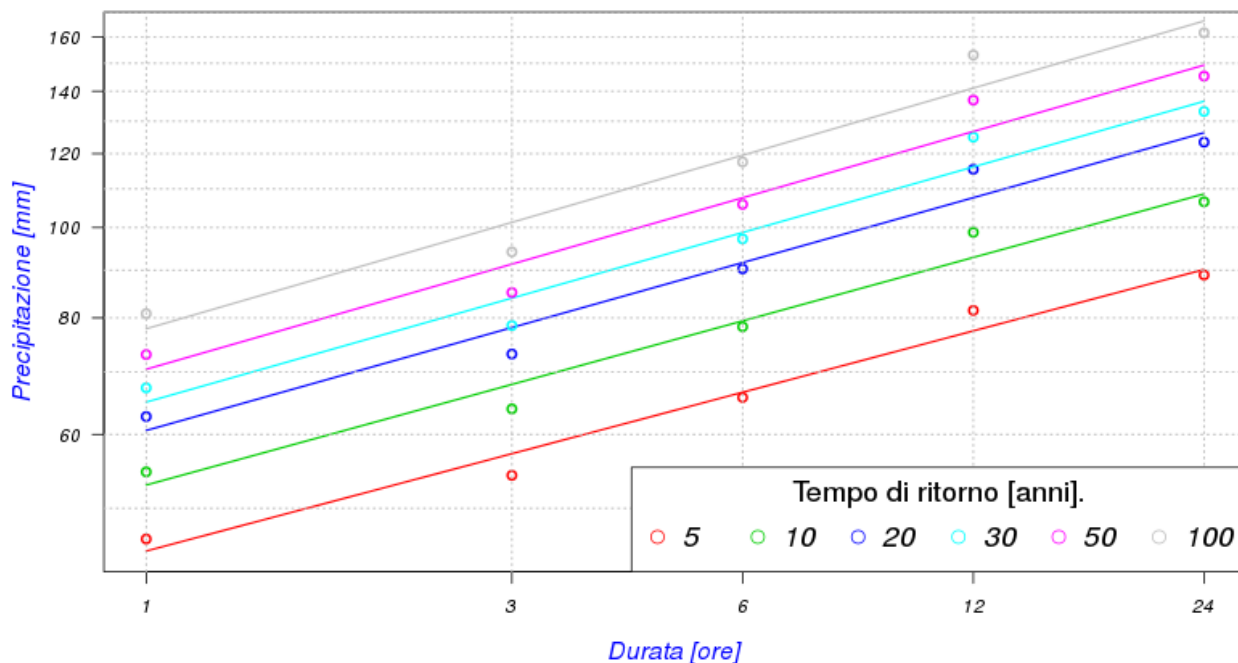


Figura 8-2 - Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica relative alle precipitazioni massime annue (mm) per le durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive.

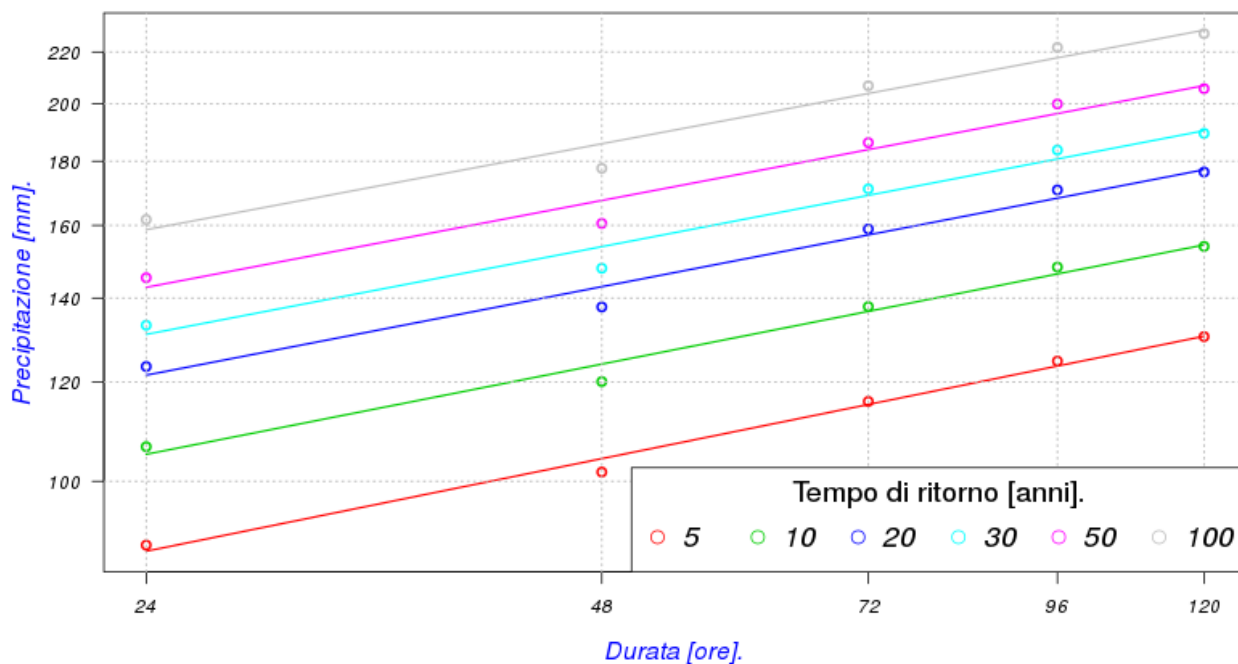


Figura 8-3 - Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica relative alle precipitazioni massime annue (mm) per le durate di 24, 48, 72, 96, 120 ore consecutive.

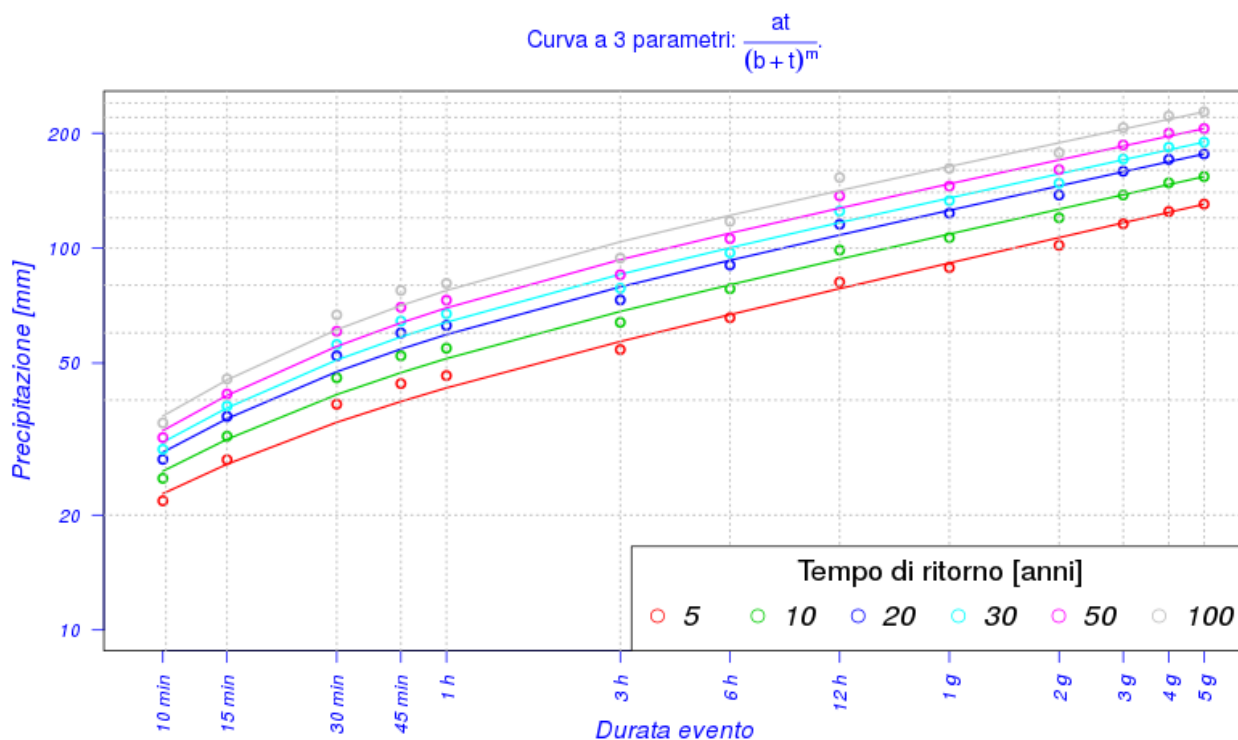


Figura 8-4 - Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica relative alle precipitazioni massime annue (mm) per le durate di 10, 15, 30, 45 minuti primi, di 1, 3, 6, 12, 24 ore e di 24, 48, 72, 96, 120 ore consecutive.

Massimi per durata dell'intera serie.

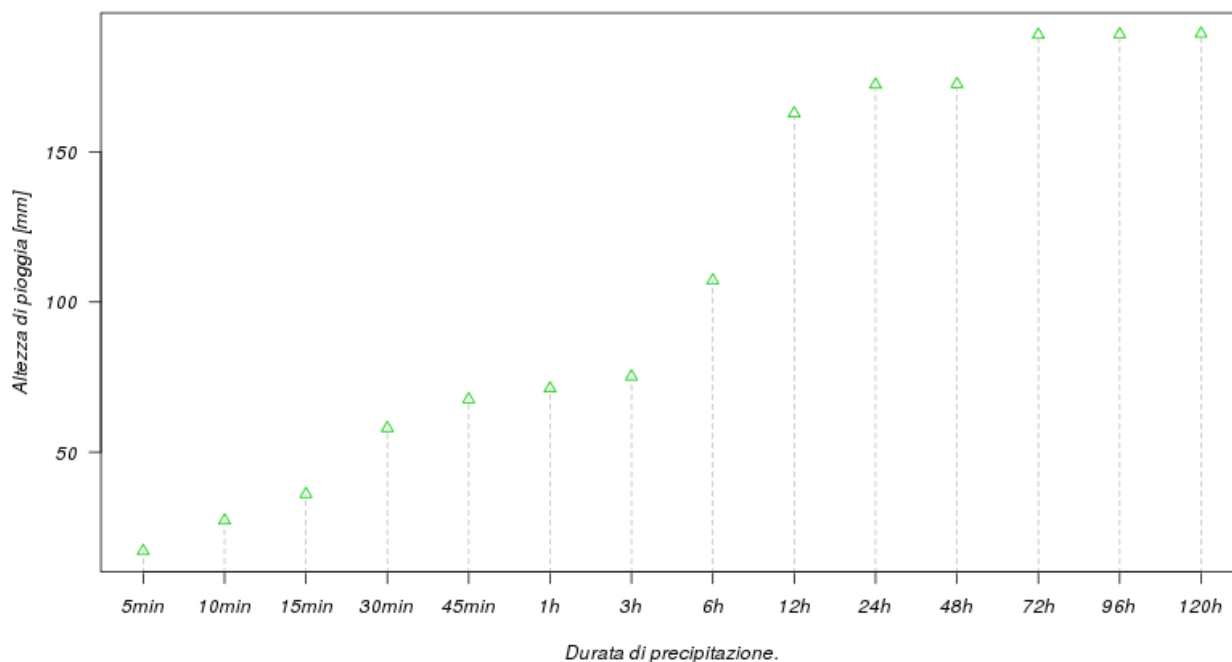


Figura 8-5 - Rappresentazione grafica dei valori massimi assoluti di precipitazione annui (mm) per le durate di 5, 10, 15, 30, 45 minuti primi, di 1, 3, 6, 12, 24 ore e di 24, 48, 72, 96, 120 ore consecutive.

Tabella 8.7 - Valori massimi assoluti di precipitazione (mm) per le durate di 5, 10, 15, 30, 45 minuti primi, di 1, 3, 6, 12, 24 ore e di 48, 72, 96, 120 ore consecutive.

Durata	5min	10min	15min	30min	45min	1h	3h	6h	12h	24h	48h	72h	96h	120h
Valore	17.0	27.2	36.0	58.0	67.6	71.2	75.2	107.2	162.8	172.4	172.6	189.0	189.2	189.4
Anno	2005	2005	2002	2002	2002	2002	1994	2009	2009	2009	2009	2009	2009	2009

Tabella 8.8 - Valori massimi di precipitazione (mm) relativi ai mesi di Gennaio, Febbraio e Marzo e per le durate di 24, 48, 72, 96, 120 ore consecutive.

Anno	Gennaio					Febbraio					Marzo				
	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0	15.0	15.2	15.2	15.2	11.8	22.8	22.8	23.0	23.4
1993	0.8	1.2	1.2	1.4	1.6	22.2	28.0	29.4	29.8	29.8	24.2	27.0	27.0	27.0	27.0
1994	11.2	12.0	12.4	12.4	13.4	11.4	16.2	16.4	16.4	16.4	2.2	2.2	9.4	10.6	10.6
1995	14.6	14.8	26.6	26.6	27.8	22.0	22.2	24.4	29.2	32.2	12.8	12.8	18.0	18.0	18.2
1996	27.6	48.8	49.2	49.4	49.8	13.2	16.4	17.4	17.4	17.4	10.0	14.2	36.6	39.4	57.6
1997	24.8	33.2	48.4	56.8	57.4	6.0	6.0	6.2	6.2	6.2	6.0	6.0	6.0	6.0	7.0
1998	21.2	22.6	30.6	31.0	34.4	23.4	23.6	23.6	23.6	23.6	8.2	8.2	8.2	8.2	8.2
1999	26.0	26.2	26.6	27.0	27.2	15.4	15.6	15.8	15.8	16.2	14.6	15.2	17.6	17.6	23.0
2000	0.6	1.0	1.2	2.0	2.2	2.6	16.2	16.4	16.6	16.6	46.6	50.0	57.8	58.6	62.0
2001	17.0	18.6	20.0	20.2	23.0	11.6	11.6	11.8	28.8	33.0	57.4	57.8	64.6	64.6	64.6
2002	38.6	38.8	39.0	39.4	39.4	28.2	30.0	34.0	34.2	34.4	0.8	0.8	0.8	1.0	1.4
2003	16.6	18.0	18.8	19.2	19.2	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	2.0	2.4	1.4	29.6	42.8
2004	31.8	43.2	44.4	44.4	44.6	58.6	67.4	99.8	112.6	130.8	45.0	45.2	45.2	64.4	90.0
2005	0.4	0.8	1.0	1.2	1.4	1.8	1.8	2.0	2.0	2.0	0.6	1.0	1.0	1.2	1.4
2006	11.8	16.2	11.4	11.4	11.4	17.4	20.8	23.0	25.2	28.2	13.8	17.2	20.0	20.0	20.0
2007	9.8	9.8	10.4	10.6	10.6	30.2	30.2	30.2	30.2	33.0	25.0	27.8	27.8	27.8	32.6
2008	10.0	14.4	14.6	16.0	16.0	23.0	28.4	31.4	31.8	31.8	18.4	18.4	18.8	23.0	23.0
2009	13.8	14.6	14.6	19.0	26.8	22.8	27.0	29.8	26.8	27.4	49.6	53.8	54.2	60.4	77.6
2010	15.2	24.4	27.2	27.4	33.2	56.0	57.2	57.2	57.2	57.2	16.0	19.0	19.2	19.2	19.2
2011	6.8	7.0	7.0	11.4	11.6	35.6	38.8	39.2	39.2	41.0	55.0	64.2	70.2	85.2	86.6
2012	7.8	7.8	7.8	7.8	0.0	24.4	24.4	24.4	24.4	24.4	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
2013	26.2	27.0	46.6	51.0	52.4	52.4	52.4	52.4	13.8	13.8	47.6	59.2	68.0	68.0	69.6
2014	36.4	54.4	65.0	85.6	98.8	39.8	51.4	53.2	57.4	57.4	51.4	25.4	27.2	27.2	27.2
2015	11.6	11.6	14.6	14.6	14.6	26.6	34.4	34.4	34.4	34.4	36.2	44.6	44.8	44.8	48.2
2016	15.2	17.6	18.6	14.0	10.4	39.6	46.2	50.0	50.8	58.0	16.8	17.2	27.2	28.6	28.4
2017	11.4	11.4	11.4	11.4	11.4	6.4	6.4	6.4	9.6	8.4	7.2	7.2	7.2	7.2	7.2
2018	7.6	7.8	19.8	20.2	29.4	17.8	27.2	17.0	17.0	17.0	30.8	42.4	49.8	71.6	74.0
2019	6.2	8.6	13.4	29.4	37.8	27.6	29.2	24.4	8.4	2.6	5.4	5.4	5.4	5.4	5.4
2020	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	8.6	16.6	17.0	30.2	30.2	21.6	21.6	24.6	24.6	26.2

Tabella 8.9 - Valori massimi di precipitazione (mm) relativi ai mesi di Aprile, Maggio e Giugno e per le durate di 24, 48, 72, 96, 120 ore consecutive.

Anno	Aprile					Maggio					Giugno				
	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h
1992	17.6	18.2	21.4	23.0	22.6	21.4	39.2	39.8	41.0	41.4	18.0	19.0	20.6	26.0	27.2
1993	13.4	14.8	19.6	19.6	21.4	18.6	20.8	21.0	21.0	21.0	15.8	16.6	17.0	17.0	17.0
1994	25.0	25.0	27.2	27.4	33.8	8.4	11.4	12.6	12.6	12.6	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4
1995	29.2	42.2	42.4	47.6	47.8	56.8	58.6	68.6	75.0	77.4	33.0	55.0	55.8	67.4	72.6
1996	36.6	45.2	32.6	37.8	39.8	29.2	29.2	29.6	41.0	42.8	46.0	52.0	79.4	79.6	90.8
1997	31.6	32.0	32.0	32.4	32.4	23.8	23.8	24.0	24.0	24.0	30.4	45.2	45.4	46.2	46.2
1998	22.0	24.0	30.8	35.0	35.2	15.4	16.0	17.4	18.4	18.4	27.6	27.6	27.6	27.6	27.8
1999	49.4	52.6	52.6	53.2	58.8	14.8	16.0	16.0	19.8	22.6	67.4	67.6	75.8	82.2	100.8
2000	19.4	19.4	31.4	23.4	23.4	15.2	18.0	18.0	18.0	18.0	11.0	11.6	11.6	13.4	16.2
2001	14.6	20.6	26.8	27.0	27.0	25.8	25.8	25.8	27.0	27.0	30.2	31.8	31.8	32.0	33.6
2002	41.2	44.4	53.8	81.6	83.8	38.0	47.6	52.0	72.2	80.6	45.0	45.0	51.0	51.2	53.4
2003	42.0	73.2	72.0	46.2	46.2	22.2	33.6	33.6	33.6	33.6	28.0	28.2	38.8	38.8	39.0
2004	15.6	15.8	16.8	23.0	26.6	45.2	54.6	55.4	58.4	59.2	39.8	39.8	42.8	46.0	46.0
2005	21.0	27.0	38.0	42.4	42.6	85.0	85.0	85.2	88.2	88.2	33.0	60.0	60.0	60.0	60.0
2006	11.8	14.0	20.0	20.2	20.2	39.2	39.8	40.0	40.0	40.0	9.8	9.8	23.6	26.8	26.8
2007	1.2	1.8	1.8	59.2	59.2	69.0	107.6	127.2	70.6	70.6	19.6	25.6	15.4	18.6	18.8
2008	28.8	31.8	36.0	53.8	59.8	38.8	40.0	58.0	58.8	58.8	21.6	36.2	36.8	37.0	53.4
2009	40.2	64.4	77.0	81.8	82.6	14.8	14.8	15.4	15.4	15.4	48.6	51.6	52.0	53.0	56.8
2010	13.0	13.0	13.0	13.0	14.8	31.6	41.4	54.6	46.0	48.4	53.4	59.2	60.4	61.0	84.0
2011	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	33.6	49.8	52.6	52.6	53.0
2012	18.0	21.4	27.0	27.6	36.0	48.8	50.4	50.4	50.4	50.6	20.4	24.2	24.8	24.8	25.0
2013	42.8	46.0	48.2	48.6	48.8	33.6	37.6	39.4	39.4	39.4	11.0	11.0	11.0	11.0	11.0
2014	68.4	86.4	88.2	123.4	125.8	37.0	37.2	37.8	37.8	44.6	15.4	16.8	17.4	17.4	23.6
2015	16.8	23.2	25.8	26.6	27.4	36.6	46.2	54.0	54.4	64.4	29.4	30.4	36.8	36.8	36.8
2016	15.0	15.0	16.6	16.6	16.6	62.0	62.0	62.0	83.8	92.0	33.4	35.4	52.2	33.8	56.4
2017	16.8	28.8	28.8	28.8	28.8	15.0	16.8	19.6	20.2	21.4	25.8	26.0	26.0	44.2	44.2
2018	16.2	17.0	17.0	17.0	26.0	32.6	37.6	41.0	41.0	41.0	29.6	40.4	40.4	40.4	50.4
2019	55.8	57.2	57.2	58.6	58.8	36.6	51.2	53.4	53.4	60.4	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
2020	19.6	20.8	21.8	21.8	23.0	13.4	13.6	13.6	13.6	14.8	56.4	60.6	61.0	67.6	67.8

Tabella 8.10 - Valori massimi di precipitazione (mm) relativi ai mesi di Luglio, Agosto e Settembre e per le durate di 24, 48, 72, 96, 120 ore consecutive.

Anno	Luglio					Agosto					Settembre				
	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h
1992	61.2	73.0	74.0	74.0	74.0	43.8	43.8	43.8	43.8	43.8	14.4	21.2	28.0	31.8	33.2
1993	52.2	52.2	53.2	53.2	56.6	14.2	19.6	20.0	22.8	22.8	22.8	32.2	32.6	38.6	39.8
1994	90.2	90.4	90.4	90.4	90.4	55.6	63.4	63.4	63.4	63.4	49.4	49.4	51.8	74.6	86.0
1995	56.6	56.6	71.2	71.2	71.2	28.8	29.4	29.4	29.4	29.4	35.2	35.4	35.6	35.6	38.2
1996	10.8	10.8	11.2	11.2	11.2	11.6	12.4	13.0	17.4	24.6	23.0	30.6	35.8	53.0	53.6
1997	28.8	40.4	45.2	45.6	47.4	17.4	25.4	26.4	26.4	26.4	10.4	10.4	10.4	10.4	10.4
1998	19.8	19.8	19.8	19.8	19.8	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8	58.6	61.4	67.6	70.4	99.8
1999	18.8	18.8	19.0	19.0	26.6	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	28.6	34.8	45.6	45.8	45.8
2000	24.2	24.2	35.6	35.6	35.8	16.2	23.6	23.6	25.4	25.4	28.0	35.0	35.4	35.4	40.4
2001	83.8	85.2	85.2	88.2	90.4	17.6	17.6	20.0	20.0	20.0	25.0	26.8	27.4	27.4	27.4
2002	82.4	84.4	84.6	106.0	115.4	26.8	35.8	37.2	37.2	44.0	13.6	22.6	27.6	28.2	28.8
2003	16.8	16.8	16.8	16.8	20.4	13.6	13.6	13.6	13.6	13.6	25.4	25.6	25.8	26.8	36.0
2004	22.8	24.6	31.4	31.4	31.4	22.0	22.0	22.0	22.0	23.4	54.6	88.0	88.0	88.4	88.4
2005	48.6	50.2	50.2	52.0	52.0	64.8	75.0	75.6	75.6	75.8	32.4	38.2	38.4	38.6	38.6
2006	37.6	37.6	37.6	41.8	43.6	41.4	52.0	52.2	52.2	28.8	86.0	104.2	171.4	177.4	177.4
2007	14.6	20.2	20.2	20.2	5.6	11.6	12.2	16.0	16.0	22.2	26.8	38.8	38.8	38.8	38.8
2008	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.4	63.0	68.8	68.8	69.0	48.8	49.2	49.4	49.4	49.4
2009	35.0	38.2	39.8	42.8	44.4	9.2	9.2	9.2	16.8	16.8	172.4	172.6	189.0	189.2	189.4
2010	29.6	29.6	29.6	31.0	32.4	34.0	35.0	35.0	35.2	35.2	43.6	47.6	49.6	50.8	50.8
2011	36.4	36.6	36.8	36.8	47.8	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	37.0	41.0	41.0	41.0	41.0
2012	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	21.0	21.0	27.0	27.0	29.6	27.2	28.0	28.2	28.2	33.0
2013	30.8	33.2	33.4	33.4	33.4	29.2	30.2	46.4	49.4	52.8	41.6	43.4	43.4	43.4	43.4
2014	67.4	67.4	70.0	77.0	80.2	24.4	24.4	24.4	29.4	31.6	30.6	30.8	38.2	38.4	38.4
2015	6.8	12.4	22.8	28.4	28.6	16.0	17.2	17.2	17.2	20.4	17.4	17.4	17.4	17.4	17.4
2016	44.0	44.0	44.0	45.6	48.8	32.0	32.8	36.6	36.6	36.6	32.6	48.4	48.4	48.4	48.4
2017	17.2	32.8	32.8	32.8	32.8	5.2	26.8	26.8	40.0	42.6	30.2	52.0	59.0	59.0	64.4
2018	26.2	30.4	50.8	50.8	50.8	40.4	43.2	43.2	43.6	43.6	21.0	40.2	41.2	41.2	41.2
2019	25.8	28.0	28.0	37.8	38.2	12.0	12.0	17.8	5.8	8.6	26.6	26.6	26.6	26.6	39.0
2020	13.0	17.2	17.8	17.8	22.2	50.0	52.4	53.4	53.4	50.6	9.4	41.2	41.2	45.6	12.8

Tabella 8.11 - Valori massimi di precipitazione (mm) relativi ai mesi di Ottobre, Novembre e Dicembre e per le durate di 24, 48, 72, 96, 120 ore consecutive.

Anno	Ottobre					Novembre					Dicembre				
	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h	24h	48h	72h	96h	120h
1992	92.0	131.4	135.0	135.2	132.2	14.0	14.8	15.4	23.0	23.4	76.0	101.4	101.6	106.8	109.0
1993	29.0	35.6	57.0	60.0	60.0	24.0	27.2	28.6	34.8	36.8	22.0	25.4	25.4	25.6	26.0
1994	25.0	25.2	25.6	25.6	36.6	18.2	19.2	19.2	27.2	36.6	21.4	23.6	23.8	24.0	24.0
1995	13.8	14.0	14.2	14.4	14.6	5.6	9.8	10.0	10.0	10.8	33.2	33.8	33.8	37.0	56.8
1996	53.4	53.4	43.4	45.0	45.0	19.6	30.8	36.0	45.6	46.6	48.6	55.6	58.0	85.4	92.2
1997	17.6	17.8	18.2	18.2	18.4	33.6	50.2	55.0	63.4	70.2	26.8	44.4	54.2	54.6	54.6
1998	51.8	81.4	103.0	131.8	133.0	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	10.6	10.6	11.0	11.2	11.4
1999	44.0	47.2	67.4	83.8	91.0	84.0	85.8	86.8	106.8	108.6	24.8	26.0	26.0	26.4	27.8
2000	72.8	89.8	92.8	93.4	94.2	33.6	34.4	34.4	55.6	44.0	19.2	36.0	41.8	44.0	51.2
2001	29.4	29.6	32.8	38.2	38.4	11.2	11.4	17.2	17.4	17.6	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6
2002	62.0	62.0	62.2	62.4	63.0	20.0	29.6	39.8	39.8	40.2	28.0	28.2	28.2	38.4	39.2
2003	22.6	39.6	41.4	53.0	53.2	35.8	36.0	36.2	36.2	36.2	38.4	43.6	56.0	56.0	56.0
2004	34.4	41.6	52.2	52.6	52.6	55.2	56.4	60.0	60.8	65.0	21.6	27.8	29.8	35.6	35.8
2005	75.0	81.0	102.4	112.4	153.2	79.4	103.8	104.0	104.2	104.6	12.4	17.0	18.6	26.8	27.2
2006	9.2	13.8	14.0	14.0	14.0	15.0	16.6	20.4	27.6	27.6	21.0	21.2	21.2	23.0	23.6
2007	14.4	14.6	15.0	15.0	21.6	13.0	14.6	19.6	19.6	19.8	20.8	26.6	26.6	26.6	26.6
2008	20.6	29.0	41.0	47.2	47.4	35.8	45.8	66.0	68.2	68.2	37.6	53.6	56.8	59.2	78.4
2009	19.4	25.4	29.6	29.6	33.2	33.0	33.0	37.2	41.2	41.2	27.8	29.6	45.4	49.0	54.0
2010	32.6	37.2	52.4	53.6	54.8	24.0	22.2	34.6	35.0	42.4	23.2	35.4	45.6	57.8	61.8
2011	36.4	36.8	37.0	37.2	37.6	37.0	57.4	76.4	76.4	80.0	8.6	8.6	9.0	9.2	12.2
2012	49.2	51.6	72.0	75.6	81.4	34.0	36.4	49.8	42.2	44.2	15.8	19.8	19.8	19.8	19.8
2013	35.6	44.8	52.2	56.4	56.4	40.8	41.0	41.0	41.0	48.6	8.0	8.0	8.2	9.2	9.2
2014	29.2	29.4	30.2	30.8	31.0	68.0	69.2	74.6	81.2	83.4	22.0	24.2	29.8	34.0	36.2
2015	22.2	36.0	37.2	38.0	38.0	11.0	11.6	11.6	11.6	11.6	0.0	0.0	0.4	5.8	15.2
2016	78.2	84.6	84.6	84.8	85.2	50.6	51.8	51.8	52.8	52.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017	2.0	2.0	2.0	2.0	2.4	36.4	36.4	36.4	36.4	36.4	14.8	18.2	18.2	21.6	21.8
2018	56.4	61.4	62.0	77.6	79.8	24.6	25.6	32.8	34.0	34.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2019	37.0	37.0	37.0	37.2	14.6	29.8	35.0	36.8	49.8	65.0	44.2	55.6	59.8	59.8	60.0
2020	20.2	20.2	20.4	28.6	40.0	12.0	12.0	15.4	16.0	17.0	31.4	35.4	47.4	57.8	62.8

Tabella 8.12 - Valori dei coefficienti udometrici (l/s-ha) per vari valori del tempo di ritorno (anni) in base al metodo razionale per piogge di durata di minuti primi in funzione del coefficiente di deflusso ψ .

T_R [anni]	ψ	Durata [minuti primi]				T_R [anni]	ψ	Durata [minuti primi]			
		15	30	45	60			15	30	45	60
5	0.1	28.38	20.11	16.44	14.25	10	0.1	32.88	23.53	19.35	16.84
	0.2	56.76	40.22	32.88	28.50		0.2	65.76	47.07	38.70	33.69
	0.3	85.14	60.33	49.32	42.75		0.3	98.63	70.60	58.06	50.53
	0.4	113.52	80.44	65.76	57.00		0.4	131.51	94.13	77.41	67.38
	0.5	141.90	100.55	82.20	71.25		0.5	164.39	117.66	96.76	84.22
	0.6	170.29	120.66	98.64	85.50		0.6	197.27	141.20	116.11	101.06

Tabella 8.13 - Equazioni dei coefficienti udometrici (l/s-ha) per vari valori del tempo di ritorno (anni) in base al metodo cinematico per piogge di durata oraria e giornaliera in funzione del coefficiente di deflusso k e del tempo di corrivazione in ore o giorni.

TEMPO DI RITORNO	DURATE ORARIE	DURATE GIORNALIERE
5	$u = 124.95 kt^{-0.78}$	$u = 10.18 kt^{-0.75}$
10	$u = 147.05 kt^{-0.77}$	$u = 12.16 kt^{-0.76}$
20	$u = 168.25 kt^{-0.77}$	$u = 14.06 kt^{-0.77}$
30	$u = 180.45 kt^{-0.77}$	$u = 15.15 kt^{-0.77}$
50	$u = 195.71 kt^{-0.76}$	$u = 16.52 kt^{-0.77}$
100	$u = 216.28 kt^{-0.76}$	$u = 18.37 kt^{-0.77}$

Tabella 8.14 - Equazioni dei coefficienti udometrici (l/s-ha) per vari valori del tempo di ritorno (anni) in base al metodo dell'invaso per piogge di durata oraria e giornaliera per collettori a sezione aperta in funzione del coefficiente di afflusso δ e del volume specifico di vaso v (m).

TEMPO DI RITORNO	DURATE ORARIE	DURATE GIORNALIERE
5	$u = 3.83 \cdot 10^{-4} \delta^{4.57} v^{-3.57}$	$u = 1.28 \cdot 10^{-3} \delta^{4.08} v^{-3.08}$
10	$u = 1.30 \cdot 10^{-3} \delta^{4.42} v^{-3.42}$	$u = 2.02 \cdot 10^{-3} \delta^{4.19} v^{-3.19}$
20	$u = 3.17 \cdot 10^{-3} \delta^{4.32} v^{-3.32}$	$u = 3.07 \cdot 10^{-3} \delta^{4.27} v^{-3.27}$
30	$u = 4.89 \cdot 10^{-3} \delta^{4.28} v^{-3.28}$	$u = 3.88 \cdot 10^{-3} \delta^{4.30} v^{-3.30}$
50	$u = 7.91 \cdot 10^{-3} \delta^{4.23} v^{-3.23}$	$u = 5.14 \cdot 10^{-3} \delta^{4.34} v^{-3.34}$
100	$u = 1.39 \cdot 10^{-2} \delta^{4.18} v^{-3.18}$	$u = 7.39 \cdot 10^{-3} \delta^{4.39} v^{-3.39}$

Tabella 8.15 - Equazioni dei coefficienti udometrici (l/s-ha) per vari valori del tempo di ritorno (anni) in base al metodo dell'invaso per piogge di durata oraria per collettori a sezione chiusa in funzione del coefficiente di deflusso ψ e del volume specifico di vaso v (m).

TEMPO DI RITORNO	DURATE ORARIE	TEMPO DI RITORNO	DURATE ORARIE
5	$u = 3.29 \cdot 10^{-4} \psi^{4.57} v^{-3.57}$	20	$u = 2.73 \cdot 10^{-3} \psi^{4.32} v^{-3.32}$
10	$u = 1.11 \cdot 10^{-3} \psi^{4.42} v^{-3.42}$	30	$u = 4.21 \cdot 10^{-3} \psi^{4.28} v^{-3.28}$

9. Bibliografia

Berti, M., M. L. V. Martina, S. Franceschini, S. Pignone, A. Simoni, and M. Pizziolo. (2012). Probabilistic rainfall thresholds for landslide occurrence using a Bayesian approach. J. Geophys. Res., 117, F04006, doi:10.1029/2012JF002367.

Bixio, V.. Indagini idrauliche per la redazione dei piani generali di bonifica e tutela del territorio rurale. A cura dell'Unione Regionale Veneto delle Bonifiche, delle irrigazioni e dei miglioramenti fondiari. Venezia, marzo 1990.

Bixio, V.. Analisi della situazione idraulica attuale e indirizzi per la moderazione delle piene nella rete di bonifica della Regione Veneto. A cura della Regione Veneto, Giunta Regionale e Unione Regionale Veneta delle Bonifiche, delle Irrigazioni e dei Miglioramenti Fondiari. D.G.R. n. 464 del 31 gennaio 1992. Venezia, dicembre 1992.

Deitel Paul J., Deitel Harvey M. C++: How to program. Prentice Hall, 2010.

Harry G. Wenzel, Jr., Michael L. Voorhees. (1981). An evaluation of the urban design storm concept. Final Report: WRC research report no. 164. Project no. A-095-ILL. Department of Civil Engineering University of Illinois at Urbana-Champaign.

John W. Tukey. (1977). Exploratory Data Analysis. Addison-Wesley Publishing Company. Reading, Massachusetts.

Kotz S. and Nadarajah S. (2000). Extreme Value Distributions, Theory and Applications. London: Imperial College Press.

Nahdiya Zainal Abidin, Mohd Bakri Adam and Habshah Midi. (2012). The Goodness-of-fit Test for Gumbel Distribution: A Comparative Study. UTM, MATEMATIKA. Malaysian Journal of Industrial and applied Mathematics. Volume 28, Number 1, 35–48.

Nanni, V.: La moderna tecnica delle fognature e degli impianti di depurazione. Hoepli ed.. Milano, 1959.

Nordest Ingegneria S.r.l. Caratterizzazione delle piogge intense nel bacino scolante nella Laguna Venezia. Regione del Veneto, Giunta Regionale e Agenzia Regionale per la Protezione e Prevenzione Ambientale del Veneto. Padova; dicembre 2002.

Nordest Ingegneria S.r.l. Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di probabilità pluviometrica di riferimento. A cura del Commissario Delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007.

Nordest Ingegneria S.r.l. Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento. Consorzio di Bonifica Medio Orientale, Piave, Brenta, Alta Pianura Veneta, Delta del Po, Adige Po, Veronese. A cura dell'Unione Veneto Bonifiche. Venezia, 2011.

Nordest Ingegneria S.r.l. Variazioni climatiche e piogge intense nel comprensorio del Consorzio di bonifica Veneto Orientale. Consorzio di bonifica Veneto Orientale. Padova; luglio 2019.

Pedro J. Restrepo-Posada and Peter S. Eagleson. (1982). Identification of independent rainstorms. Journal of Hydrology, 55 (1982) 303-319.

Sharma A. K. Text book of elementary statistics. Discovery Publishing Pvt, 2005.

Supino G. Le reti idrauliche. Patron ed. Bologna, 1965.

Tardivo G. (2014). Spatial and time correlation of thermometers and pluviometers in a weather network database. Theoretical and Applied Climatology. Springer International Publishing AG.

Tardivo G. (aggiornamento 2019a). Analisi comparata sugli eventi estremi, registrati dai pluviometri, in funzione della lunghezza della durata dell'evento stesso. Dati della Regione Veneto. (A.R.P.A.V. - Centro meteorologico di Teolo - Pd). Comunicazione interna: Nordest Ingegneria. 14 giugno 2018.

Tardivo G. (aggiornamento 2019b). Interpretazione statistica attuale degli eventi massimi annuali di precipitazione tra il 1920 ed il 1980, per le stazioni di Portogruaro e Oderzo. Dati del Magistrato alle Acque di Venezia e della Regione Veneto. (A.R.P.A.V. - Centro meteorologico di Teolo - Pd). Comunicazione interna: Nordest Ingegneria. 10 luglio 2019.

Tardivo G. (Being prepared for publication, 2021). A new method of identifying an appropriate distance between independent extreme annual rain events for a 5 minute time resolution precipitation data network..

Tardivo G. (Being prepared for publication, 2021). A regional procedure of homogenization of the intensity-duration-frequency curves.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANISATION (W.M.O.), (1965): Guide to hydrometeorological practices.

Villi, V. et al. Distribuzione spazio temporale delle piogge intense del Triveneto, C.N.R. Istituto di Geologia Applicata, Regione Veneto – Centro Valanghe e Difesa Idrogeologica, Quaderni di ricerca n°7, Padova 1986.

Villi, V. e Bacchi, B. Valutazione delle piene del Triveneto, C.N.R. G.N.D.C.I. Pubblicazione n.2511, Padova Brescia, 2000.

Zaggia, L. et al. Analisi statistica delle serie storiche di precipitazione. Elaborazione dei dati di Pioggia per la valutazione dei volumi affluiti, Drain Project Workshop, Venezia, 2001.

S. Artina, G. Calenda, F. Calomino, C. Cao, G. La Loggia, C. Modica, A. Paoletti, S. Papiri, G. Rasulo, P. Veltri. Sistemi di fognatura - Manuale di progettazione. Centro Studi Deflussi Urbani, ed. Hoepli, 1997.

