

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01e s.m.i.

CUP: J14H20000440001

### U.O. COORDINAMENTO TERRITORIALE NORD

### PROGETTO DEFINITIVO

LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA

LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA

NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST

### IDROLOGIA E IDRAULICA

ID – IDROLOGIA E IDRAULICA GENERALE  
RELAZIONE IDROLOGICA

SCALA:

-

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

I N 1 0    1 0    D    2 6    R H    I D 0 0 0 1    0 0 1    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	P. Cucino	Set 2021	S. Santopietro	Set 2021	C. Mazzocchi	Set 2021	A. Perego Set 2021
				<i>S. Santopietro</i>		<i>C. Mazzocchi</i>		



File: IN1010D26RHID0001001A.doc

n. Elab.:

## INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	INQUADRAMENTO RETICOLO IDROGRAFICO.....	5
3	TEMPO DI RITORNO DI PROGETTO.....	7
4	METODOLOGIA DI ANALISI STATISTICA DEI DATI DI PIOGGIA.....	8
5	ANALISI PLUVIOMETRICA.....	10
5.1	DATI ARPAV .....	10
5.1.1	<i>Durata &lt; 1h - Scrosci</i> .....	11
5.1.2	<i>Durata 1-24h – Piogge</i> .....	18
5.1.3	<i>Durata 1-5gg</i> .....	24
5.2	DATI ANNALI IDROLOGICI – ANALISI STATISTICA .....	30
5.2.1	<i>Durata &lt; 1h - Scrosci</i> .....	31
5.2.2	<i>Durata 1-24h – Piogge</i> .....	32
5.3	DATI ANALISI REGIONALIZZATA REGIONE VENETO .....	33
5.3.1	<i>Durata &lt; 1h – Scrosci</i> .....	34
5.3.2	<i>Durata 1-24h – Piogge</i> .....	34
5.4	DATI ANALISI REGIONALIZZATA VAPI .....	35
5.4.1	<i>Durata 1-24h – Piogge</i> .....	35
5.5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	36
5.5.1	<i>Durata &lt; 1h – Scrosci</i> .....	36
5.5.2	<i>Durata 1-24h – Piogge</i> .....	41
6	PARAMETRI DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI PROGETTO .....	45
7	CONSIDERAZIONI IN RELAZIONE AL FENOMENO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI .....	46
7.1	VALUTAZIONI SULLA BASE DEI DATI STORICI .....	46
7.2	VALUTAZIONI SULLA BASE DI MODELLI PREVISIONALI.....	47



**LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA**  
**LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA**  
**NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST**

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	3 di 51

## 1 PREMESSA

La presente relazione idrologica ha per oggetto la stima delle precipitazioni di progetto nell’ambito della progettazione definitiva dell’Ingresso Ovest al Nodo AV/AC di Verona Porta Nuova della Tratta AV/AC Brescia-Verona.

L’intervento prevede la realizzazione delle nuove linee, prevalentemente in affiancamento al sedime della attuale Linea Storica Milano-Venezia, nel tratto compreso tra l’intersezione con l’Autostrada del Brennero A22 e la radice est della Stazione Ferroviaria di Verona Porta Nuova, per una estensione di circa 10km. Tali interventi sono funzionali al progetto di linea della Tratta Brescia Est – Verona.

Il progetto prevede la rilocazione della Linea Storica leggermente più a nord al fine di lasciare spazio all’inserimento dei binari della Linea AV/AC. Inoltre viene anche prevista la realizzazione di una ulteriore linea denominata “indipendente merci” per il collegamento con la Linea Brennero.

Sono previsti interventi di potenziamento e riconfigurazione della stazione di Verona Porta Nuova e realizzazione di una nuova Sottostazione Elettrica con conseguenti interventi tecnologici per la gestione delle modifiche.

Il progetto comprende tutte le opere atte a consentire l’allaccio e l’interfaccia con le linee storiche esistenti e la risoluzione delle interferenze tra la parte di progetto stesso e l’esistente (viabilità, idrografia, ecc).



**Figura 1 – Individuazione area d’intervento**

## 2 INQUADRAMENTO RETICOLO IDROGRAFICO

L'elemento idrografico principale del territorio in esame è il fiume Adige, che scorre a nord-est della città di Verona, ma che non viene interessato direttamente dagli interventi in progetto, che terminano in corrispondenza della stazione di Verona Porta Nuova (Figura 1).

Nella zona oggetto di intervento non sono presenti altri corsi d'acqua di origine naturale.

In compenso, il territorio della pianura sita ad ovest della città è caratterizzato dalla presenza di un'estesa rete di canali di irrigazione, realizzati e gestiti dal Consorzio di Bonifica Veronese. Tale rete è composta essenzialmente da tubazioni e canali a cielo aperto, che possono essere suddivisi in rete primaria, secondaria e terziaria, in base alle loro dimensioni e alla loro portata. La rete terziaria è solitamente rappresentata da tubazioni in cls di diametro 60-70 cm, mentre la rete secondaria da tubazioni in cls di diametro 100 cm; la pendenza del fondo delle condotte può essere posta pari, mediamente, allo 0,5%.



Figura 2 – Reticolo irriguo nell'area d'intervento

La rete irrigua del consorzio rappresenta una fonte di interferenze, sia longitudinali che trasversali, con il progetto in questione. L'interferenza più rilevante è data dal Diramatore San Giovanni, rappresentato, nel tratto dove viene intersecato dal progetto, da un canale a cielo aperto di origine artificiale. Il Diramatore ha una portata massima di  $5\text{m}^3/\text{s}$  e, nel tratto immediatamente a valle dell'interferenza con il progetto, scorre intubato in una condotta in cls DN2500 (linea gialla della Figura 2).

Per quanto attiene la rete secondaria e terziaria si renderà necessario individuare le tubazioni da dismettere e da ripristinare nell'ambito del progetto di modifica con allargamento della piattaforma ferroviaria per garantire l'ottimale funzionamento della rete irrigua.

Come da indicazioni dei tecnici del Consorzio di Bonifica Veronese, la rete di irrigazione non potrà essere utilizzata per smaltire le acque scolanti sulle superfici stradali e ferroviarie per evitare, da una parte, il peggioramento della qualità delle acque irrigue e, dall'altra, la loro tracimazione.



**Figura 3 – Interferenza con il Diramatore San Giovanni**

Il progetto prevede la trasformazione dell'uso del suolo con la variazione di permeabilità superficiale; in assenza di recapiti superficiali, si dovrà smaltire la portata meteorica mediante sistemi di dispersione al suolo senza prevedere dispositivi di invarianza idraulica, come previsto dall'ALLEGATO A alla Dgr n. 2948 del 06 ottobre 2009. Infatti a pg.5 del suddetto documento si precisa che *“Qualora le condizioni del suolo lo consentano e nel caso in cui non sia prevista una canalizzazione e/o scarico delle acque verso un corpo recettore, ma i deflussi vengano dispersi sul terreno, non è necessario prevedere dispositivi di invarianza idraulica in quanto si può supporre ragionevolmente che la laminazione delle portate in eccesso avvenga direttamente sul terreno.”*

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	7 di 51

### 3 TEMPO DI RITORNO DI PROGETTO

Nella progettazione del sistema di drenaggio la scelta del tempo di ritorno da utilizzare è stata correlata alle conseguenze generate da un'insufficienza del sistema di raccolta e smaltimento acque. Vista l'importanza strategica delle opere in progetto si è scelto di utilizzare un tempo di ritorno di:

- 50 anni per il dimensionamento della rete di drenaggio per la nuova viabilità ai sensi dell'Allegato A della Dgr n.2948 del 06 ottobre 2009 della Regione Veneto;
- 100 anni per il dimensionamento della rete di drenaggio della piattaforma ferroviaria (prescrizioni manuali RFI).

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST</b>					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	8 di 51

#### 4 METODOLOGIA DI ANALISI STATISTICA DEI DATI DI PIOGGIA

Le precipitazioni estreme vengono espresse in funzione della loro durata attraverso la curva di possibilità pluviometrica, ottenuta dall'elaborazione statistica delle misure dell'altezza di pioggia rilevate a terra; i parametri caratteristici della curva di possibilità pluviometrica sono rappresentati da  $a$  (mm/h) e  $n$ , attraverso la seguente relazione:

$$h = at^n$$

con  $h$ =altezza di pioggia in mm e  $t$ =tempo di pioggia in ore.

Al fine di definire i suddetti parametri è stato necessario procedere all'elaborazione statistica dei massimi annuali di pioggia per definire la legge probabilistica che, per una prefissata durata di pioggia, correla l'altezza di precipitazione alla "probabilità di non superamento  $P$ " (o al tempo di ritorno  $TR$  in anni, tale che  $P = 1 - 1/TR$ ).

La funzione di distribuzione normalmente impiegata nello studio dei valori estremi delle variabili idrologiche è quella di Gumbel, detta anche "legge asintotica del massimo valore". In essa, detto  $h$  il generico valore di massimo annuale dell'altezza di pioggia, la funzione di probabilità (cioè la probabilità che  $h$  non venga superato) è rappresentata dalla seguente relazione :

$$P(h) = e^{-e^{-\alpha(h-u)}}$$

nella quale  $\alpha$  e  $u$  sono i due parametri che "adattano" la funzione alla particolare popolazione studiata.

I parametri  $\alpha$  e  $u$  della distribuzione di Gumbel possono essere stimati facendo ricorso a tre diverse metodologie: il metodo dei momenti, dei minimi quadrati e della massima verosimiglianza. La scelta della coppia di parametri che, per ogni tempo di pioggia, approssima meglio il campione di dati viene effettuata attraverso il test di Pearson.

Il metodo dei momenti consiste nell'attribuire a ciascun momento della popolazione il valore del corrispondente momento del campione estratto da quella popolazione. I parametri  $\alpha$  e  $u$  calcolati con tale metodo risultano:

**Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.**

ed

**Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.**

con:

$$\gamma = 0.572 \quad (\text{costante di Eulero})$$

**Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.** (varianza campionaria)

**Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.** (media campionaria)

Il metodo della massima verosimiglianza consiste nell'attribuire ai parametri  $\alpha$  e  $u$  della distribuzione di Gumbel i valori che rendono massima la funzione di verosimiglianza, definita in base alla probabilità di osservare una data

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST</b>					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	9 di 51

realizzazione campionaria, condizionatamente ai valori assunti dai parametri statistici oggetto di stima. Questi valori si determinano risolvendo il sistema di equazioni che si ottiene eguagliando a zero le derivate parziali della funzione di verosimiglianza calcolate rispetto ai parametri  $\alpha$  e  $u$ .

Il metodo dei minimi quadrati consiste nello scegliere come curva di regressione della variabile dipendente quella che rende minima la somma dei quadrati degli scarti tra i valori della variabile dipendente osservati e i valori della media condizionata che si leggono, a parità di valore della variabile indipendente, sulla curva di regressione.

Il test di Pearson, accennato in precedenza, misura la bontà dell'adattamento della distribuzione attraverso il parametro  $\chi^2$  e la soglia  $\chi^2_{*}$ . Il metodo consiste nello suddividere il campione  $N$  di dati in  $k$  intervalli equiprobabili, indicando con  $N_i$  il numero di dati che ricade nell'intervallo  $X_{i-1} - X_i$  ed con  $Np_i$  il numero di osservazioni che vi dovrebbero ricadere se il campione fosse stato estratto da una popolazione che ha come funzione di probabilità  $F(x)$ .

La grandezza statistica del test è definita da:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(N_i - N \cdot p_i)^2}{N \cdot p_i}$$

Per la suddivisione in intervalli si segue il criterio empirico di delimitare le classi in modo tale che:

$$Np_i \geq 5$$

La distribuzione di probabilità del chi-quadrato dipende solo dai gradi di libertà pari a  $k-s-1$  gradi di libertà, ove  $s$  sono il numero di parametri stimati dalle osservazioni.

Prescelto quindi il livelli di significatività e calcolato in base a questo il valore  $\chi^2_{*}$ , si individuano la regione di accettazione e quella di rifiuto; se  $\chi^2 < \chi^2_{*}$  si accetterà l'adattamento della funzione di ripartizione teorica a quella sperimentale, viceversa si rifiuterà.

Una volta determinata la funzione di distribuzione questa può essere invertita, ovvero si possono assegnare arbitrari tempi di ritorno  $TR$  ad arbitrarie probabilità di non superamento,  $P = (TR - 1) / TR$ , e ricavare i corrispondenti valori di  $h(P)$ . Fissata infatti  $P$ , si ha:

$$h = u - \frac{1}{\alpha} \cdot \ln(-\ln P)$$

Ottenuti quindi i valori delle massime altezze di precipitazione in funzione di un determinato tempo di ritorno per la stazione pluviografica esaminata, si è proceduto alla stima dei parametri  $a$  ed  $n$  che definiscono le curve di possibilità pluviometrica necessarie al successivo calcolo delle portate di progetto.

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST</b>					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	10 di 51

## 5 ANALISI PLUVIOMETRICA

Nell'ambito del presente documento, l'analisi pluviometrica finalizzata a definire i valori di pioggia di progetto si fonda sulla disamina di diversi dataset di dati al fine di valutare approfonditamente ogni possibile variabile.

Nello specifico sono stati indagati i dati di pioggia desunti dai seguenti dataset:

- Misure pluviometriche rete ARPAV (periodo 1990-2020);
- Misure pluviometriche rete ARPAV (1990-2020) e misure pluviometriche Annali idrologici (1964-1990);
- Valori di pioggia Analisi regionalizzata.

### 5.1 Dati ARPAV

Visti gli scopi dell'analisi e l'estensione dell'area oggetto di intervento, le serie di dati considerate sono quelle rilevate dalle stazioni pluviometriche ritenute sufficientemente rappresentative della zona in esame, ovvero:

- Verona – Parco Adige Nord (circa 4 km a Nord);
- Villafranca di Verona (circa 10 km a Sud-Ovest);
- Buttapietra (circa 11 km a Sud).

La stazione pluviometrica di Verona - Parco Adige Nord, pur essendo più vicina alla zona dell'intervento, è attiva solamente dal 12 febbraio 2009; di conseguenza, preso atto della ridotta dimensione della serie storica, si è fatto affidamento su un sui dati della stazione di Villafranca di Verona, attiva in maniera continua per un tempo di 30 anni dal 1990. In particolare, in tale stazione di misura sono disponibili i dati frgli annali idrologici registrati discontinuamente dal 1964 al 1990, mentre dal 1991 in poi le osservazioni sono registrate dalle stazioni automatiche senza interruzioni.

Per completare ulteriormente il dataset a disposizione si è analizzata anche la stazione di Buttapietra, situata circa 11 km a sud della zona d'intervento, attiva dal 10/12/1991.

I dati ARPAV considerati nel presente paragrafo sono quelli misurati in maniera continua dal 1990 ad oggi, per i quali sono consultabili, sul sito dell'Agenzia, le elaborazioni dei massimi storici e delle LSPP. Le precipitazioni massime attese vengono espresse attraverso i parametri  $a$  e  $n$  della curva di possibilità pluviometrica, ottenuta dall'elaborazione statistica delle misure dell'altezza di pioggia rilevate a terra.

Per la definizione dei parametri  $a$  ed  $n$  della curva di possibilità pluviometrica è stata utilizzata come curva di adattamento ai dati storici la distribuzione statistica di Gumbel; ARPAV ha valutato i parametri  $a$  e  $n$  per tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20 e 50 anni.

Le analisi sviluppate da ARPAV riguardano le:

- Precipitazioni di durata inferiore ad 1h (scrosci intensi);
- Precipitazioni di durata compresa tra 1h e 24h (piogge);
- Precipitazioni di durata compresa tra 1 e 5 giorni;

Di seguito i risultati delle elaborazioni, distinti per durata di precipitazione e per le tre stazioni considerate:

 <b>ITAFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST</b>					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	11 di 51

### 5.1.1 Durata < 1h - Scrosci

La definizione dell'altezza di pioggia relativa a periodi di tempo così brevi ha una rilevanza fondamentale nel dimensionamento delle canalette e delle condotte di trasporto delle acque meteoriche, in quanto sono proprio questi eventi di breve durata, ma elevata intensità, a mettere in crisi tali opere.

Inoltre, tali valori di pioggia di progetto assumono una grande rilevanza anche nel dimensionamento delle pompe e delle zone di dispersione e laminazione dei volumi, in quanto sollecitano in maniera importante la risposta, in termini di capacità di drenaggio, del terreno.

Preme evidenziare che le elaborazioni statistiche di ARPAV, relative agli scrosci, considerano le altezze di pioggia registrate nell'intervallo 5-45 minuti.

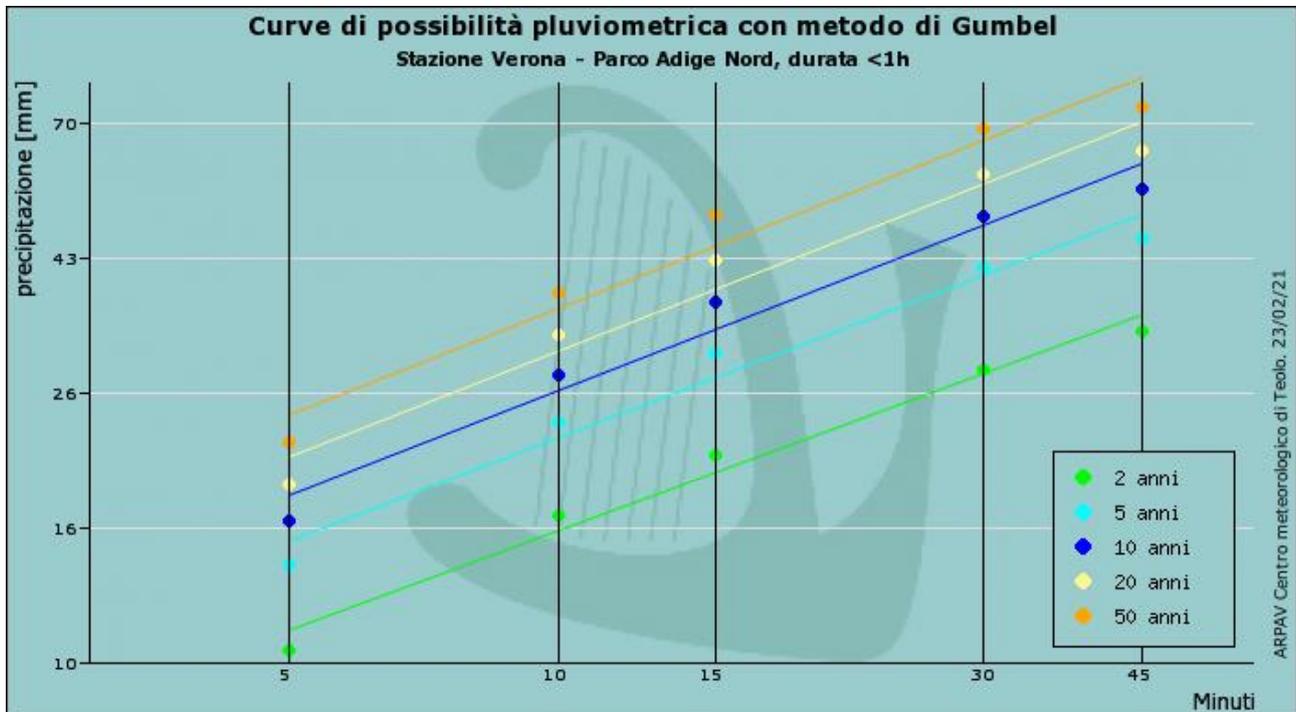
#### 5.1.1.1 Stazione di Verona – Parco Adige Nord

Per scrosci intensi di durata inferiore ad 1 ora, i parametri  $a$  ed  $n$  calcolati da ARPAV sono i seguenti:

Durata < 1h					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$a$	40,359	58,962	71,290	83,121	98,439
$n$	0,533	0,551	0,559	0,564	0,569

**Tabella 1: Parametri  $a$  ed  $n$  per durata precipitazione < 1h, Stazione Verona - Parco Adige Nord**

Tramite tali parametri è possibile costruire le LSPP (Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica) relative alla precipitazione per un dato tempo di ritorno, come quelle visibili di seguito, realizzate da ARPAV:



**Figura 4: LSPP per durata precipitazione < 1h, Stazione Verona - Parco Adige Nord**

Da tali curve è possibile desumere l'altezza di pioggia per il periodo di tempo desiderato, e di seguito sono riportate le precipitazioni per 10, 15, 30 e 45 minuti;

Durata < 1h					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$t$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$
minuti	mm	mm	mm	mm	mm
<b>10</b>	15,53	21,97	26,18	30,26	35,51
<b>15</b>	19,28	27,47	32,85	38,03	44,73
<b>30</b>	27,89	40,24	48,39	56,23	66,36
<b>45</b>	34,62	50,32	60,70	70,67	83,58

**Tabella 2: Altezza di pioggia calcolata per durata precipitazione < 1h, Stazione Verona - Parco Adige Nord**

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST</b>					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	13 di 51

### 5.1.1.2 Stazione di Villafranca di Verona

Allo stesso modo di quanto appena illustrato, di seguito sono elencati i parametri  $a$  ed  $n$  considerati per la stazione di Villafranca:

Durata < 1h					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$a$	38,753	60,766	75,453	89,587	107,926
$n$	0,537	0,604	0,630	0,648	0,665

**Tabella 3: Parametri  $a$  ed  $n$  per durata precipitazione < 1h, Stazione Villafranca di Verona**

Che portano alle altezze di pioggia riportate di seguito:

Durata < 1h					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$t$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$
minuti	mm	mm	mm	mm	mm
10	14,81	20,59	24,40	28,05	32,78
15	18,41	26,30	31,50	36,48	42,93
30	26,71	39,98	48,76	57,17	68,07
45	33,21	51,07	62,95	74,35	89,13

**Tabella 4: Altezza di pioggia calcolata per durata precipitazione < 1h, Stazione Villafranca di Verona**

### 5.1.1.3 Stazione di Buttapietra

I valori dei parametri  $a$  ed  $n$  relativi alla stazione di Buttapietra sono i seguenti:

Durata < 1h					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$a$	40.461	52.166	59.906	67.325	76.923
$n$	0.561	0.579	0.587	0.593	0.599

**Tabella 5: Parametri  $a$  ed  $n$  per durata precipitazione < 1h, Stazione Buttapietra**

Che portano alle altezze di pioggia riportate di seguito:

Durata < 1h					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
t	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$
minuti	mm	mm	mm	mm	mm
10	14.81	18.49	20.93	23.27	26.30
15	18.59	23.38	26.55	29.59	33.53
30	27.43	34.92	39.88	44.63	50.79
45	34.43	44.16	50.60	56.77	64.75

**Tabella 6: Altezza di pioggia calcolata per durata precipitazione < 1h, Stazione Buttapietra**

#### 5.1.1.4 Confronto con dati storici

I dati calcolati nelle tabelle precedenti mostrano, a parità di  $T_r$  e  $t$ , delle altezze di pioggia simili tra loro, con una tendenza a precipitazioni maggiori, per tempi più lunghi, nella stazione di Villafranca.

Nella tabella seguente vengono riportati i dati dei massimi storici per la Stazione di Verona – Parco Adige Nord, da cui si possono notare alcuni spunti interessanti:

Anno	Pioggia in mm									
	5 minuti		10 minuti		15 minuti		30 minuti		45 minuti	
	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora
2009	12.6	04/07/2009 01:25	20.0	04/07/2009 01:30	26.2	04/07/2009 01:30	30.0	04/07/2009 01:35	31.4	04/07/2009 01:35
2010	9.8	20/08/2010 18:25	19.0	20/08/2010 18:30	27.0	20/08/2010 18:30	43.4	20/08/2010 18:40	52.8	20/08/2010 18:45
2011	8.4	06/06/2011 16:05	13.6	06/06/2011 16:10	14.0	06/06/2011 16:15	18.4	05/06/2011 18:00	24.4	05/06/2011 17:40
2012	14.8	31/08/2012 13:35	25.6	31/08/2012 13:40	30.8	31/08/2012 13:45	34.2	31/08/2012 13:55	34.4	31/08/2012 14:05
2013	8.6	24/08/2013 20:40	13.4	24/08/2013 20:45	17.4	24/08/2013 20:50	24.8	24/08/2013 21:00	32.6	24/08/2013 21:15
2014	8.2	31/08/2014 21:50	14.4	24/06/2014 22:10	18.2	24/06/2014 22:10	30.0	24/06/2014 22:10	37.6	24/06/2014 22:15
2015	8.0	27/06/2015 19:35	9.2	14/09/2015 02:45	12.0	14/09/2015 02:50	17.8	14/09/2015 02:50	21.8	14/09/2015 02:55
2016	8.4	14/10/2016 15:15	14.6	02/06/2016 15:55	18.4	02/06/2016 16:00	27.0	02/06/2016 16:10	30.4	02/06/2016 16:20
2017	6.8	15/04/2017 15:40	9.2	15/04/2017 15:45	10.2	15/04/2017 15:50	13.6	14/07/2017 06:40	15.8	15/05/2017 00:30
2018	12.0	01/09/2018 02:05	23.4	16/07/2018 02:15	30.2	16/07/2018 02:20	41.4	16/07/2018 02:30	45.6	16/07/2018 02:40
2019	9.2	07/08/2019 18:35	16.8	06/08/2019 23:10	18.2	06/08/2019 23:15	23.6	11/05/2019 19:35	26.6	11/05/2019 19:50
2020	<u>18.2</u>	23/08/2020 16:25	<u>28.4</u>	22/07/2020 23:20	<u>38.2</u>	22/07/2020 23:25	<u>54.2</u>	22/07/2020 23:35	<u>56.8</u>	22/07/2020 23:45

**Tabella 7: Massimi storici di altezza di pioggia per durata precipitazione < 1h, Stazione Verona – Parco Adige Nord**

- L'evento del 22/07/2020 ha fatto segnare il record per tutti i tempi di pioggia considerati, tranne che per il tempo di 5 minuti;

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	15 di 51

- L'evento che ha fatto segnare il record per il tempo di pioggia di 5 minuti è stato quello che ha fatto allagare alcune zone di Verona il 23 agosto 2020, caratterizzato da una componente grandinigena molto rilevante, e per il quale la Regione ha emanato lo stato di crisi;
- I valori massimi registrati nella serie sono, per tutti i tempi presi in considerazione, minori ai valori calcolati nei capitoli precedenti, soprattutto per i tempi di pioggia maggiori;

Nella tabella successiva sono riportati i massimi storici della stazione di Villafranca, da cui si possono notare altri particolari interessanti:

- Il temporale del 22/09/2020 ha fatto registrare i valori di pioggia maggiori dall'inizio delle registrazioni per il tempo di 45 minuti, e per i tempi di 5, 15 e 30 minuti è secondo solamente all'evento del 30/07/1996;
- I valori massimi registrati nella serie sono, per tutti i tempi presi in considerazione, minori ai valori calcolati nei capitoli precedenti, soprattutto per il tempo di pioggia di 45 minuti.

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	16 di 51

Anno	Pioggia in mm									
	5 minuti		10 minuti		15 minuti		30 minuti		45 minuti	
	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora
1991	9.0	12/10/1991 19:50	12.8	12/10/1991 19:55	15.0	12/10/1991 19:55	20.2	31/07/1991 07:25	24.4	31/07/1991 07:30
1992	10.4	10/08/1992 08:45	18.2	10/08/1992 08:45	24.6	10/08/1992 08:50	26.6	10/08/1992 09:00	26.8	10/08/1992 09:05
1993	8.0	06/10/1993 18:45	10.8	24/09/1993 19:25	12.8	24/09/1993 19:30	19.2	24/09/1993 19:25	23.2	24/09/1993 19:30
1994	10.0	14/09/1994 11:55	15.0	14/09/1994 11:55	17.8	14/09/1994 12:00	20.4	24/08/1994 23:05	21.4	20/07/1994 01:35
1995	7.8	07/08/1995 02:45	12.2	07/08/1995 23:00	18.0	07/08/1995 23:05	26.4	07/08/1995 23:20	28.6	07/08/1995 23:30
1996	<u>15.8</u>	30/07/1996 07:50	28.4	30/07/1996 07:50	<u>42.0</u>	30/07/1996 07:50	<u>66.4</u>	30/07/1996 08:00	69.8	30/07/1996 08:15
1997	8.2	14/07/1997 18:55	15.0	19/06/1997 14:35	19.0	19/06/1997 14:35	25.0	19/06/1997 14:50	27.4	19/06/1997 15:00
1998	14.2	03/07/1998 16:05	26.0	03/07/1998 16:10	31.4	03/07/1998 16:10	35.4	03/07/1998 16:15	37.4	03/07/1998 16:20
1999	6.0	12/04/1999 15:55	9.6	12/04/1999 16:00	12.0	12/04/1999 16:05	13.6	13/06/1999 05:10	14.6	20/09/1999 16:40
2000	16.4	31/08/2000 17:35	<u>31.8</u>	31/08/2000 17:35	37.4	31/08/2000 17:40	62.0	31/08/2000 17:55	68.4	31/08/2000 18:05
2001	9.2	01/09/2001 14:55	14.2	01/09/2001 14:55	20.4	24/07/2001 16:10	27.6	24/07/2001 16:25	29.2	24/07/2001 16:30
2002	9.8	21/09/2002 14:30	16.8	21/09/2002 14:30	24.0	21/09/2002 14:30	30.4	21/09/2002 14:45	36.0	21/09/2002 15:00
2003	9.0	24/09/2003 06:45	14.6	24/09/2003 06:50	18.8	24/09/2003 06:50	26.6	24/09/2003 06:55	30.2	24/09/2003 06:55
2004	12.8	16/09/2004 02:55	17.0	16/09/2004 02:55	20.2	16/09/2004 03:00	22.4	16/09/2004 03:10	22.4	16/09/2004 03:10
2005	11.2	20/08/2005 11:25	22.4	20/08/2005 11:30	30.8	20/08/2005 11:40	49.6	20/08/2005 11:45	51.4	20/08/2005 11:55
2006	5.2	11/08/2006 00:15	9.0	30/05/2006 09:00	12.6	30/05/2006 09:05	17.2	30/05/2006 09:10	18.4	30/05/2006 09:15
2007	7.0	20/08/2007 19:50	12.0	20/08/2007 19:50	15.0	20/08/2007 19:50	19.6	28/05/2007 12:55	28.0	01/06/2007 13:55
2008	13.4	12/09/2008 12:40	21.2	12/09/2008 12:40	25.0	13/09/2008 16:20	40.0	13/09/2008 16:20	54.0	13/09/2008 16:20
2009	9.6	07/07/2009 12:00	13.6	07/07/2009 09:10	19.2	04/07/2009 19:45	30.2	04/07/2009 19:50	34.6	04/07/2009 20:00
2010	11.8	17/06/2010 10:05	20.4	17/06/2010 10:10	25.0	17/06/2010 10:15	37.4	17/06/2010 10:25	40.8	17/06/2010 10:30
2011	7.4	04/09/2011 18:35	12.8	04/09/2011 18:35	14.8	04/09/2011 18:40	15.8	04/09/2011 18:55	24.4	04/09/2011 19:10
2012	8.8	21/07/2012 09:45	14.4	19/09/2012 19:35	15.4	19/09/2012 19:40	17.2	31/08/2012 13:35	21.6	01/10/2012 00:45
2013	8.6	05/05/2013 19:00	14.2	05/05/2013 19:00	18.4	14/08/2013 05:00	20.6	05/05/2013 19:20	26.8	08/05/2013 03:00
2014	12.0	12/07/2014 15:20	22.4	12/07/2014 15:20	27.8	12/07/2014 15:20	30.6	12/07/2014 15:30	31.2	12/07/2014 15:45
2015	6.0	14/09/2015 01:50	8.8	14/09/2015 01:50	11.0	14/09/2015 01:55	16.0	14/09/2015 02:05	19.8	14/09/2015 02:25
2016	7.4	27/07/2016 22:15	13.0	27/07/2016 22:20	17.4	27/07/2016 22:25	28.6	27/07/2016 22:35	35.6	27/07/2016 22:50
2017	4.8	28/06/2017 13:35	8.8	28/06/2017 13:35	10.8	22/10/2017 16:40	13.6	24/07/2017 13:05	15.4	24/07/2017 13:05
2018	9.0	26/07/2018 15:55	14.4	26/07/2018 16:00	19.2	26/07/2018 16:00	24.8	26/07/2018 16:05	25.2	26/07/2018 16:10
2019	11.4	07/08/2019 18:20	17.6	11/05/2019 18:55	22.8	07/08/2019 18:30	32.2	07/08/2019 18:40	32.4	07/08/2019 18:45
2020	15.0	22/09/2020 15:05	28.6	22/09/2020 15:05	40.6	22/09/2020 15:10	62.8	22/09/2020 15:10	<u>78.0</u>	22/09/2020 15:25

**Tabella 8: Massimi storici di altezza di pioggia per durata precipitazione < 1h, Stazione Villafranca di Verona**

Per quel che riguarda la stazione di Buttapietra, di seguito sono esplicitati i valori dei massimi storici registrati:

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	17 di 51

Anno	Pioggia in mm									
	5 minuti		10 minuti		15 minuti		30 minuti		45 minuti	
	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora
1992	7.6	10/08/1992 19:50	13.0	25/06/1992 15:50	18.6	25/06/1992 15:55	26.4	23/09/1992 22:00	28.4	23/09/1992 22:15
1993	10.6	08/08/1993 20:45	17.0	08/08/1993 20:50	22.4	08/08/1993 20:50	32.4	01/07/1993 19:05	35.4	01/07/1993 19:15
1994	9.0	02/07/1994 03:25	16.2	02/07/1994 03:25	20.8	02/07/1994 03:25	39.4	02/07/1994 03:30	42.0	02/07/1994 03:35
1995	11.0	15/07/1995 22:55	17.4	07/08/1995 23:30	22.6	07/08/1995 23:30	33.0	07/08/1995 23:45	43.6	14/09/1995 12:20
1996	11.0	30/07/1996 07:40	20.8	30/07/1996 07:45	26.2	30/07/1996 07:50	35.4	30/07/1996 08:00	38.8	30/07/1996 08:15
1997	10.4	14/07/1997 19:10	17.8	14/07/1997 19:10	23.0	14/07/1997 19:15	34.4	14/07/1997 19:20	45.4	14/07/1997 19:15
1998	<u>16.4</u>	03/07/1998 16:15	23.2	03/07/1998 16:20	25.4	03/07/1998 16:20	26.8	03/07/1998 16:25	28.0	03/07/1998 16:25
1999	8.0	20/05/1999 09:20	15.8	20/05/1999 09:25	17.8	13/07/1999 22:55	26.0	20/09/1999 16:55	30.8	20/09/1999 17:00
2000	11.8	11/06/2000 09:00	19.4	11/06/2000 09:05	24.8	11/06/2000 09:05	34.0	11/06/2000 09:05	38.8	11/06/2000 09:05
2001	6.8	01/09/2001 16:00	12.0	01/09/2001 16:00	14.8	01/09/2001 16:00	26.0	01/09/2001 16:00	32.4	01/09/2001 16:00
2002	8.0	15/07/2002 14:40	13.8	15/07/2002 14:45	16.0	15/07/2002 14:50	28.6	25/07/2002 16:40	34.2	25/07/2002 16:50
2003	8.2	18/06/2003 17:35	13.4	18/06/2003 17:35	18.6	18/06/2003 17:40	22.0	18/06/2003 17:45	22.4	18/06/2003 17:50
2004	10.0	20/06/2004 12:10	17.6	20/06/2004 12:10	18.8	19/04/2004 16:15	27.8	19/04/2004 16:30	34.2	03/08/2004 21:30
2005	12.8	20/08/2005 12:05	<u>25.0</u>	01/07/2005 05:55	<u>32.6</u>	20/08/2005 12:10	<u>51.2</u>	20/08/2005 12:20	<u>61.6</u>	01/07/2005 05:55
2006	10.0	01/08/2006 18:15	14.0	01/08/2006 18:20	17.6	17/08/2006 18:25	19.2	17/08/2006 18:35	20.2	06/07/2006 22:25
2007	7.2	11/06/2007 20:40	13.0	20/08/2007 05:55	17.6	20/08/2007 06:00	22.2	20/08/2007 06:05	22.4	20/08/2007 06:05
2008	9.4	05/06/2008 11:45	17.8	05/06/2008 11:45	24.6	05/06/2008 11:50	29.8	05/06/2008 12:00	32.6	28/06/2008 00:15
2009	12.2	07/07/2009 09:30	22.6	07/07/2009 09:35	27.4	07/07/2009 09:40	33.4	07/07/2009 09:45	33.4	07/07/2009 09:45
2010	8.0	08/09/2010 21:55	15.8	08/09/2010 22:00	23.0	08/09/2010 22:05	33.2	08/09/2010 22:15	33.8	08/09/2010 22:20
2011	8.8	05/06/2011 17:10	16.0	05/06/2011 17:15	22.6	05/06/2011 17:20	35.0	05/06/2011 17:30	41.0	05/06/2011 17:45
2012	6.8	24/09/2012 16:00	10.2	05/04/2012 16:40	13.8	05/04/2012 16:40	16.8	19/09/2012 20:15	16.8	19/09/2012 20:15
2013	7.4	09/06/2013 13:40	12.8	09/06/2013 13:45	14.0	16/05/2013 17:40	22.4	16/05/2013 17:50	26.8	05/05/2013 20:00
2014	8.4	31/08/2014 22:10	14.8	11/09/2014 15:55	19.0	11/09/2014 16:00	26.6	11/09/2014 16:15	29.6	11/09/2014 16:20
2016	7.0	20/08/2016 20:05	13.6	20/08/2016 20:05	16.2	20/08/2016 20:05	22.6	23/05/2016 12:10	23.2	23/05/2016 12:20
2017	9.0	05/06/2017 18:20	16.8	05/06/2017 18:20	17.6	05/06/2017 18:25	19.4	05/06/2017 18:35	21.2	19/08/2017 21:30
2018	11.4	06/09/2018 21:25	19.8	06/09/2018 21:25	27.6	06/09/2018 21:30	37.8	02/08/2018 04:55	49.0	02/08/2018 05:05
2019	12.6	06/08/2019 23:20	19.2	07/08/2019 18:50	25.2	07/08/2019 18:50	29.2	07/08/2019 18:55	29.2	07/08/2019 18:55
2020	6.2	22/07/2020 23:15	11.6	02/08/2020 02:05	16.6	11/10/2020 02:30	26.4	11/10/2020 02:45	33.0	11/10/2020 02:50

**Tabella 9: Massimi storici di altezza di pioggia per durata precipitazione < 1h, Stazione Buttapietra**

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST</b>					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	18 di 51

Nonostante le due stazioni di Verona Parco Adige Nord e Villafranca siano abbastanza vicine tra loro (circa 14km in linea d'aria, su territorio pianeggiante), è interessante notare come i valori massimi, soprattutto dell'anno 2020 (segnato da forti temporali e frequenti grandinate nel periodo estivo), siano relativi ad eventi diversi.

Indagando poi più approfonditamente tale fatto, dai dati di precipitazione giornaliera si può notare come il 23/08/2020 e il 22/07/2020, giorni in cui sono stati registrati i record a Verona, si siano avute precipitazioni totali molto minori a Villafranca (3.0 e 25.0 mm rispettivamente), mentre il 22/09/2020, giornata dove si sono registrate forti precipitazioni a Villafranca, si siano avute precipitazioni esigue a Verona (14.8 mm). Tale differenza trova spiegazione nel fatto che questi eventi sono generati da celle temporalesche concentrate spazialmente, che scaricano grandi quantitativi di pioggia in aree ristrette, interessando solo marginalmente le zone circostanti.

La stazione di Buttapietra presenta massimi registrati nettamente inferiori a Villafranca, comparabili con quelli registrati dalla stazione di Verona; quasi tutti i valori massimi sono relativi all'anno 2005 e nell'ultimo decennio si sono registrati valori massimi contenuti.

Per verificare ulteriormente i dati delle stazioni sopra riportati, si è indagata anche la stazione di Ponti sul Mincio – Monzambano in Provincia di Mantova, ubicata ad una distanza di circa 20 km in direzione sud-ovest. Il record di precipitazione oraria (40,2 mm) relativo alla serie registrata a partire dal 01/07/2003 è nettamente minore rispetto ai valori visti in precedenza, e dimostra ulteriormente la cautela di questi ultimi.

### 5.1.2 Durata 1-24h – Piogge

Di seguito vengono riportati, in maniera del tutto analoga, i risultati delle elaborazioni statiche delle piogge secondo ARPAV.

#### 5.1.2.1 Stazione di Verona – Parco Adige Nord

I parametri  $a$  ed  $n$  considerati per tale stazione sono i seguenti:

Durata 1-24 h					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$a$	34,267	47,436	56,170	64,554	75,412
$n$	0,178	0,152	0,141	0,133	0,125

**Tabella 10: Parametri  $a$  ed  $n$  per durata precipitazione 1 - 24h, Stazione Verona - Parco Adige Nord**

Che portano alle altezze di pioggia riportate di seguito:

Durata 1-24 h					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$t$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$
ore	mm	mm	mm	mm	mm
<b>1</b>	34,27	47,44	56,17	64,55	75,41

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	19 di 51

<b>3</b>	41,67	56,06	65,58	74,71	86,51
<b>6</b>	47,14	62,29	72,31	81,93	94,34
<b>12</b>	53,33	69,21	79,74	89,84	102,88
<b>24</b>	60,33	76,90	87,93	98,51	112,19

**Tabella 11: Altezza di pioggia calcolata per durata precipitazione 1 - 24h, Stazione Verona - Parco Adige Nord**

### 5.1.2.2 Stazione di Villafranca di Verona

I parametri  $a$  ed  $n$  considerati per tale stazione sono i seguenti:

Durata 1-24 h					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$a$	33,848	50,033	60,818	71,193	84,654
$n$	0,189	0,137	0,115	0,099	0,084

**Tabella 12: Parametri  $a$  ed  $n$  per durata precipitazione 1 - 24h, Stazione Villafranca di Verona**

Che portano alle altezze di pioggia riportate di seguito:

Durata 1-24 h					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$t$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$
ore	mm	mm	mm	mm	mm
<b>1</b>	33,85	50,03	60,82	71,19	84,65
<b>3</b>	41,66	58,16	69,01	79,37	92,84
<b>6</b>	47,49	63,95	74,73	85,01	98,40
<b>12</b>	54,14	70,32	80,94	91,05	104,30
<b>24</b>	61,72	77,33	87,65	97,52	110,56

**Tabella 13: Altezza di pioggia calcolata per durata precipitazione 1 - 24h, Stazione Villafranca di Verona**

### 5.1.2.3 Stazione di Buttapietra

I parametri  $a$  ed  $n$  considerati per tale stazione sono i seguenti:

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST</b>					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	20 di 51

Durata 1-24 h					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$a$	34.264	46.402	54.446	62.165	72.160
$n$	0.162	0.147	0.141	0.136	0.131

**Tabella 14: Parametri  $a$  ed  $n$  per durata precipitazione 1 - 24h, Stazione Buttapietra**

Che portano alle altezze di pioggia riportate di seguito:

Durata 1-24 h					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$t$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$
ore	mm	mm	mm	mm	mm
<b>1</b>	34.26	46.40	54.45	62.17	72.16
<b>3</b>	40.94	54.53	63.57	72.18	83.33
<b>6</b>	45.80	60.38	70.09	79.32	91.25
<b>12</b>	51.25	66.86	77.29	87.16	99.92
<b>24</b>	57.34	74.03	85.23	95.78	109.42

**Tabella 15: Altezza di pioggia calcolata per durata precipitazione 1 - 24h, Stazione Buttapietra**

#### 5.1.2.4 Confronto con dati storici

I dati calcolati nelle tabelle precedenti mostrano, a parità di  $T_r$  e  $t$ , altezze di pioggia simili tra le diverse stazioni di misura, con una tendenza a precipitazioni minori, per tempi più corti, nella stazione di Verona – Parco Adige Nord.

Nella tabella seguente vengono riportati i dati dei massimi storici per la Stazione di Verona – Parco Adige Nord.

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	21 di 51

Anno	Pioggia in mm									
	1 ora		3 ore		6 ore		12 ore		24 ore	
	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora
2009	32.0	04/07/2009 01:40	32.2	04/07/2009 03:35	32.2	04/07/2009 03:35	32.2	04/07/2009 03:35	40.2	30/03/2009 04:25
2010	55.8	20/08/2010 18:55	<u>63.0</u>	20/08/2010 18:50	64.4	20/08/2010 20:20	64.4	20/08/2010 20:20	75.6	20/06/2010 13:50
2011	33.4	05/06/2011 17:50	43.8	05/06/2011 19:50	50.0	05/06/2011 21:15	61.8	05/09/2011 06:30	73.4	05/09/2011 08:20
2012	34.8	31/08/2012 14:25	35.2	31/08/2012 14:35	41.6	28/11/2012 12:30	61.6	28/11/2012 12:15	71.4	28/11/2012 13:20
2013	36.0	24/08/2013 21:15	39.2	24/08/2013 22:55	42.8	12/07/2013 02:55	67.2	16/05/2013 18:15	80.8	16/05/2013 18:10
2014	38.0	24/06/2014 22:25	57.2	24/06/2014 23:25	57.2	24/06/2014 23:25	59.6	25/06/2014 09:35	64.0	25/06/2014 13:35
2015	25.4	14/09/2015 02:50	52.8	14/09/2015 04:40	<u>67.6</u>	14/09/2015 05:35	<u>69.0</u>	14/09/2015 07:40	<u>86.6</u>	14/09/2015 07:40
2016	32.2	02/06/2016 16:35	35.6	28/07/2016 00:20	40.2	28/07/2016 02:30	42.0	14/10/2016 23:05	52.0	14/10/2016 23:05
2017	16.6	15/05/2017 00:45	18.8	05/02/2017 23:40	21.0	13/11/2017 02:45	28.2	05/02/2017 23:40	35.6	06/02/2017 11:55
2018	47.2	16/07/2018 02:45	50.0	16/07/2018 03:45	50.2	16/07/2018 05:05	50.2	16/07/2018 05:05	74.4	02/09/2018 01:55
2019	27.4	11/05/2019 20:00	36.4	07/07/2019 18:25	42.4	04/04/2019 20:55	51.8	04/04/2019 22:30	56.4	05/05/2019 22:50
2020	<u>58.0</u>	23/07/2020 00:00	59.8	23/07/2020 00:30	60.0	23/07/2020 03:40	60.0	23/07/2020 03:40	64.0	30/08/2020 10:45

**Tabella 16: Massimi storici di altezza di pioggia per durata precipitazione 1 - 24h, Stazione Verona – Parco Adige Nord**

I valori massimi registrati nella serie (evidenziati in rosso) sono, per tutti i tempi presi in considerazione, minori ai valori calcolati nel capitolo precedente.

Nella tabella successiva sono riportati i massimi storici della stazione di Villafranca:

TITOLO ELABORATO

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 IN10 10 D26RH ID 00 01 001 A 22 di 51

Anno	Pioggia in mm									
	1 ora		3 ore		6 ore		12 ore		24 ore	
	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora
1991	28.0	31/07/1991 07:45	29.0	31/07/1991 07:55	31.6	12/10/1991 01:55	54.2	12/10/1991 08:25	81.2	12/10/1991 20:45
1992	27.0	10/08/1992 09:25	28.6	10/08/1992 11:15	28.8	10/08/1992 12:15	39.4	05/10/1992 17:55	50.0	05/10/1992 17:50
1993	29.0	24/09/1993 19:30	39.2	24/09/1993 20:15	43.0	24/09/1993 21:35	50.0	25/09/1993 03:10	51.6	25/09/1993 03:10
1994	28.6	20/07/1994 01:50	35.6	20/07/1994 03:05	40.2	20/07/1994 06:05	44.6	25/08/1994 07:40	52.6	31/08/1994 21:05
1995	28.6	07/08/1995 23:30	28.6	07/08/1995 23:30	29.0	25/08/1995 17:40	36.4	14/09/1995 13:05	53.8	27/12/1995 11:10
1996	70.6	30/07/1996 08:25	77.6	30/07/1996 10:25	78.0	30/07/1996 10:40	78.6	30/07/1996 10:40	78.6	30/07/1996 10:40
1997	28.0	19/06/1997 15:00	34.0	19/06/1997 15:20	40.8	19/06/1997 15:20	47.0	20/12/1997 11:05	53.0	20/12/1997 10:05
1998	39.0	03/07/1998 16:35	40.2	03/07/1998 17:10	40.4	03/07/1998 18:40	40.4	03/07/1998 18:40	49.0	15/07/1998 06:45
1999	17.6	20/09/1999 16:55	31.2	20/09/1999 16:50	44.0	20/09/1999 19:10	69.8	20/09/1999 19:55	73.4	20/09/1999 23:45
2000	68.6	31/08/2000 18:10	73.2	31/08/2000 19:50	74.4	31/08/2000 21:15	74.6	01/09/2000 04:25	77.6	31/08/2000 19:50
2001	29.4	24/07/2001 16:35	29.4	24/07/2001 16:35	33.2	01/09/2001 19:45	40.6	01/09/2001 21:00	50.0	30/03/2001 19:15
2002	37.0	21/09/2002 15:05	53.0	15/07/2002 15:30	58.2	15/07/2002 15:55	58.6	21/09/2002 23:50	59.6	16/07/2002 07:50
2003	33.2	24/09/2003 06:55	43.2	24/09/2003 08:35	44.8	24/09/2003 10:35	45.2	24/09/2003 12:25	45.2	24/09/2003 12:25
2004	27.0	06/05/2004 00:00	38.6	06/05/2004 00:50	46.6	14/09/2004 19:45	59.6	15/09/2004 01:55	63.4	15/09/2004 05:15
2005	51.8	20/08/2005 12:05	52.0	20/08/2005 13:55	55.0	03/10/2005 19:05	58.4	03/10/2005 20:30	80.6	21/08/2005 11:05
2006	19.2	30/05/2006 09:40	23.6	16/08/2006 11:55	39.6	15/09/2006 09:35	60.4	15/09/2006 09:50	67.4	15/09/2006 09:55
2007	34.4	01/06/2007 14:00	34.6	01/06/2007 14:00	34.6	01/06/2007 14:00	60.8	24/11/2007 15:30	72.0	24/11/2007 15:20
2008	65.4	13/09/2008 16:25	<u>82.8</u>	13/09/2008 16:50	<u>98.4</u>	13/09/2008 16:55	<u>103.0</u>	13/09/2008 21:40	<u>107.4</u>	14/09/2008 09:40
2009	36.8	04/07/2009 20:15	37.0	04/07/2009 20:25	57.8	07/07/2009 14:00	57.8	07/07/2009 14:00	57.8	07/07/2009 14:00
2010	41.4	17/06/2010 10:40	45.0	14/08/2010 17:45	57.0	25/09/2010 02:20	65.6	25/09/2010 04:05	72.6	20/06/2010 13:35
2011	25.4	04/06/2011 19:30	32.8	05/06/2011 19:45	40.4	05/06/2011 21:35	50.8	26/10/2011 00:10	61.6	26/10/2011 02:20
2012	27.4	01/10/2012 01:00	41.2	01/10/2012 02:25	43.4	01/10/2012 03:05	49.2	28/11/2012 12:15	60.2	28/11/2012 13:00
2013	31.4	08/05/2013 03:10	46.6	05/05/2013 21:45	58.8	06/05/2013 00:45	62.2	16/05/2013 17:05	72.2	06/05/2013 18:10
2014	44.6	12/07/2014 16:05	58.4	12/07/2014 18:00	58.8	12/07/2014 18:30	59.0	12/07/2014 22:30	59.2	13/07/2014 04:30
2015	28.4	14/09/2015 02:40	52.8	14/09/2015 04:40	69.0	14/09/2015 05:35	70.0	14/09/2015 07:25	72.6	14/09/2015 07:25
2016	35.8	27/07/2016 22:50	52.2	28/07/2016 01:05	53.4	28/07/2016 02:10	53.4	28/07/2016 02:10	61.0	15/06/2016 02:00
2017	16.0	28/06/2017 17:45	20.0	28/06/2017 18:40	32.2	28/06/2017 18:40	32.6	29/06/2017 01:00	34.2	06/02/2017 09:45
2018	26.0	01/09/2018 02:40	37.4	13/05/2018 18:30	38.2	13/05/2018 19:15	41.0	14/05/2018 03:30	43.4	14/05/2018 09:30
2019	32.6	07/08/2019 19:10	36.6	04/04/2019 18:05	55.0	08/08/2019 00:10	55.2	04/04/2019 21:55	58.0	05/04/2019 06:45
2020	<u>80.0</u>	22/09/2020 15:35	82.6	22/09/2020 17:35	82.8	22/09/2020 17:50	83.2	22/09/2020 17:50	94.2	22/09/2020 17:50

**Tabella 17: Massimi storici di altezza di pioggia per durata precipitazione 1 - 24h, Stazione Villafranca di Verona**

Nella tabella successiva sono riportati i massimi storici della stazione di Buttapietra:

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	23 di 51

Anno	Pioggia in mm									
	1 ora		3 ore		6 ore		12 ore		24 ore	
	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora	mm	data ora
1992	30.2	23/09/1992 22:15	47.0	23/09/1992 22:25	48.6	24/09/1992 01:20	51.6	24/09/1992 06:50	72.2	24/09/1992 01:20
1993	36.6	01/07/1993 19:25	36.8	01/07/1993 19:25	36.8	01/07/1993 19:25	36.8	01/07/1993 19:25	45.2	25/09/1993 16:55
1994	42.8	02/07/1994 03:50	42.8	02/07/1994 03:50	42.8	02/07/1994 03:50	59.8	06/11/1994 20:25	67.8	07/11/1994 07:40
1995	51.2	14/09/1995 12:35	67.2	14/09/1995 13:25	67.2	14/09/1995 13:25	69.0	14/09/1995 13:25	72.0	14/09/1995 13:25
1996	42.8	30/07/1996 08:30	49.4	30/07/1996 10:25	49.8	30/07/1996 11:55	49.8	30/07/1996 11:55	49.8	30/07/1996 11:55
1997	52.8	14/07/1997 19:20	53.8	14/07/1997 19:35	53.8	14/07/1997 19:35	54.0	15/07/1997 02:45	54.0	15/07/1997 02:45
1998	29.4	03/07/1998 16:45	30.0	03/07/1998 17:10	37.6	28/04/1998 03:15	41.4	28/04/1998 05:10	41.4	28/04/1998 05:10
1999	35.2	20/09/1999 17:00	51.0	28/07/1999 17:25	57.2	20/09/1999 19:15	78.2	20/09/1999 20:00	80.8	20/09/1999 23:45
2000	39.6	11/06/2000 09:25	47.0	11/06/2000 09:05	53.2	11/06/2000 10:35	60.2	11/06/2000 17:20	66.2	12/06/2000 06:00
2001	34.8	01/09/2001 16:10	39.0	01/09/2001 18:10	41.8	01/09/2001 19:05	43.2	01/09/2001 19:05	50.6	30/03/2001 20:05
2002	38.0	25/07/2002 16:55	57.2	15/07/2002 15:40	62.4	15/07/2002 16:25	62.6	15/07/2002 16:25	63.8	16/07/2002 08:30
2003	22.8	18/06/2003 18:10	22.8	18/06/2003 18:10	22.8	18/06/2003 18:10	26.4	08/11/2003 16:05	28.4	08/11/2003 21:40
2004	35.6	19/04/2004 16:55	42.0	14/09/2004 18:40	50.8	14/09/2004 20:00	61.4	14/09/2004 23:35	65.8	15/09/2004 02:25
2005	<u>70.8</u>	01/07/2005 06:00	<u>72.4</u>	01/07/2005 06:05	<u>94.2</u>	01/07/2005 10:20	<u>94.2</u>	01/07/2005 10:20	<u>94.6</u>	01/07/2005 10:20
2006	20.8	06/07/2006 22:35	29.8	30/05/2006 10:50	40.0	15/09/2006 05:50	47.6	15/09/2006 09:45	52.2	15/09/2006 10:00
2007	22.4	20/08/2007 06:05	22.6	20/08/2007 07:30	23.4	24/11/2007 15:35	37.4	24/11/2007 15:35	45.4	24/11/2007 15:30
2008	43.6	28/06/2008 00:30	53.6	28/06/2008 01:30	54.2	05/06/2008 12:35	60.8	05/06/2008 12:25	62.0	05/06/2008 12:35
2009	33.4	07/07/2009 09:45	42.0	07/07/2009 12:15	45.6	07/07/2009 14:25	45.6	07/07/2009 14:25	45.6	07/07/2009 14:25
2010	35.0	05/08/2010 20:15	47.4	14/08/2010 18:25	59.8	14/08/2010 18:30	60.4	05/08/2010 20:35	83.8	06/08/2010 05:50
2011	48.4	05/06/2011 18:00	56.6	05/06/2011 20:00	60.0	05/06/2011 21:20	60.0	05/06/2011 21:20	62.0	26/10/2011 03:35
2012	16.8	19/09/2012 20:15	25.4	11/11/2012 10:25	40.4	11/11/2012 11:00	62.6	11/11/2012 11:05	65.2	11/11/2012 19:05
2013	34.8	05/05/2013 20:05	49.0	05/05/2013 21:50	61.2	06/05/2013 00:50	80.4	16/05/2013 19:00	94.4	17/05/2013 04:55
2014	29.8	11/09/2014 16:20	34.8	01/09/2014 00:25	35.0	01/09/2014 02:20	36.8	12/09/2014 03:30	48.8	12/09/2014 00:10
2016	23.4	23/05/2016 12:30	27.2	20/08/2016 22:35	32.0	14/10/2016 21:00	41.8	14/10/2016 23:00	54.8	14/10/2016 23:20
2017	21.2	19/08/2017 21:30	23.8	28/06/2017 18:55	26.0	28/06/2017 18:55	26.2	05/02/2017 23:20	34.0	06/02/2017 09:30
2018	53.0	02/08/2018 05:10	58.4	11/05/2018 18:30	59.8	11/05/2018 20:25	59.8	11/05/2018 20:25	59.8	11/05/2018 20:25
2019	29.2	07/08/2019 18:55	39.8	05/05/2019 03:20	44.4	05/05/2019 06:25	51.2	05/05/2019 08:45	59.6	05/05/2019 23:30
2020	33.4	11/10/2020 02:55	37.0	11/10/2020 05:05	43.4	11/10/2020 08:05	44.6	11/10/2020 11:00	53.2	11/10/2020 21:25

**Tabella 18: Massimi storici di altezza di pioggia per durata precipitazione 1 - 24h, Stazione Buttapietra**

Anche in questo caso i valori massimi registrati nella serie (evidenziati in rosso) sono, per tutti i tempi presi in considerazione, minori ai valori calcolati nel capitolo precedente. Per quel che riguarda la stazione di Ponti sul Mincio – Monzambano in Provincia di Mantova, il record di precipitazione giornaliera è di 91,2 mm, quindi anche in questo caso nettamente inferiore rispetto ai valori calcolati in precedenza, dimostrandone quindi nuovamente la cautelatività.

Preme evidenziare che il parametro  $a$  della curva di possibilità pluviometrica degli scrosci si discosta significativamente dall'omologo parametro relativo alle piogge; di norma è opportuno che vi sia un lieve scostamento se si vuole mantenere una continuità nel modello di stima delle precipitazioni di progetto.

Tale fatto si deve ascrivere alla modalità di elaborazioni statistica degli scrosci operata da ARPAV, visto che sono stati presi in considerazione i tempi di pioggia fino a 45 minuti, con conseguente irripidimento della curva di possibilità pluviometrica. L'altezza di pioggia di 1 ora negli scrosci risulta essere maggiore addirittura all'altezza di pioggia calcolata, nel paragrafo delle piogge, per il tempo di 12 ore.

Considerato tutto ciò, si segnala che per le analisi contenute nei successivi capitoli si è considerato anche il tempo di pioggia di 1 ora anche nell'elaborazione statistica degli scrosci.

### 5.1.3 Durata 1-5gg

#### 5.1.3.1 Stazione di Verona – Parco Adige Nord

I parametri  $a$  ed  $n$  considerati per tale stazione sono i seguenti:

Durata 1-5 gg					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$a$	21,224	26,629	30,214	33,655	38,111
$n$	0,304	0,308	0,310	0,311	0,313

**Tabella 19: Parametri  $a$  ed  $n$  per durata precipitazione 1 – 5gg, Stazione Verona - Parco Adige Nord**

Che portano alle altezze di pioggia riportate di seguito:

Durata 1-5 gg					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$t$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$
giorni	mm	mm	mm	mm	mm
<b>1</b>	55,77	70,87	80,92	90,43	103,05
<b>2</b>	68,85	87,74	100,32	112,18	128,02
<b>3</b>	77,89	99,41	113,76	127,26	145,34
<b>4</b>	85,00	108,62	124,37	139,17	159,04
<b>5</b>	90,97	116,34	133,28	149,17	170,54

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST</b>					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	25 di 51

**Tabella 20: Altezza di pioggia calcolata per durata precipitazione 1 – 5gg, Stazione Verona - Parco Adige Nord**

### 5.1.3.2 Stazione di Villafranca di Verona

I parametri  $a$  ed  $n$  considerati per tale stazione sono i seguenti:

Durata 1-5 gg					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$a$	21,660	26,586	29,863	33,015	37,101
$n$	0,298	0,308	0,313	0,316	0,319

**Tabella 21: Parametri  $a$  ed  $n$  per durata precipitazione 1 – 5gg, Stazione Villafranca di Verona**

Che portano alle altezze di pioggia riportate di seguito:

Durata 1-5 gg					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$t$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$
giorni	mm	mm	mm	mm	mm
1	55,84	70,76	80,75	90,13	102,25
2	68,65	87,59	100,31	112,20	127,56
3	77,47	99,25	113,89	127,53	145,17
4	84,41	108,44	124,62	139,67	159,12
5	90,21	116,16	133,63	149,88	170,86

**Tabella 22: Altezza di pioggia calcolata per durata precipitazione 1 – 5gg, Stazione Villafranca di Verona**

### 5.1.3.3 Stazione di Buttapietra

I parametri  $a$  ed  $n$  considerati per tale stazione sono i seguenti:

Durata 1-5 gg					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$a$	25.075	35.892	43.246	50.396	59.753
$n$	0.240	0.207	0.191	0.181	0.170

**Tabella 23: Parametri  $a$  ed  $n$  per durata precipitazione 1 – 5gg, Stazione Buttapietra**

Che portano alle altezze di pioggia riportate di seguito:

Durata 1-5 gg					
$T_r$	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni
$t$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$	$h_{cum}$
giorni	mm	mm	mm	mm	mm
<b>1</b>	53.76	69.29	79.40	89.58	102.56
<b>2</b>	63.49	79.99	90.66	101.55	115.39
<b>3</b>	69.98	86.99	97.96	109.29	123.62
<b>4</b>	74.99	92.33	103.50	115.13	129.82
<b>5</b>	79.11	96.69	108.02	119.87	134.84

**Tabella 24: Altezza di pioggia calcolata per durata precipitazione 1 – 5gg, Stazione Buttapietra**

#### 5.1.3.4 Confronto con dati storici

I dati calcolati nelle tabelle precedenti mostrano, a parità di  $T_r$  e  $t$ , delle altezze di pioggia molto simili tra le stazioni di Verona Parco Adige nord e Villafranca. Tali dati, se confrontati con i massimi storici registrati da quando le stazioni sono attive, risultano essere maggiori di questi ultimi, e possono quindi considerarsi cautelativi ai fini della progettazione. La stazione di Buttapietra restituisce dei valori simili alle altre solamente per tempi di pioggia limitati, mentre su tempi di pioggia più lunghi risultano valori di precipitazione molto minori.

Nella tabella seguente vengono riportati i dati dei massimi storici per la Stazione di Verona – Parco Adige Nord.

Anno	Pioggia in mm									
	1 giorno		2 giorni		3 giorni		4 giorni		5 giorni	
	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data
2009	38.0	04/12/2009	48.2	30/03/2009	52.6	30/03/2009	59.4	07/07/2009	65.0	08/12/2009
2010	64.4	20/08/2010	<u>91.8</u>	14/08/2010	<u>98.4</u>	14/08/2010	<u>127.0</u>	20/06/2010	<u>143.4</u>	20/06/2010
2011	60.8	25/10/2011	73.6	05/09/2011	77.8	06/09/2011	81.6	07/06/2011	90.2	09/06/2011
2012	69.2	28/11/2012	79.2	29/11/2012	87.4	29/11/2012	88.2	30/11/2012	93.6	04/09/2012
2013	<u>75.2</u>	16/05/2013	88.2	17/05/2013	97.6	17/05/2013	101.6	19/05/2013	111.0	19/05/2013
2014	58.0	26/07/2014	64.0	25/06/2014						
2015	68.2	14/09/2015	86.6	14/09/2015	86.6	14/09/2015	87.2	14/09/2015	87.2	14/09/2015
2016	50.8	14/10/2016	55.4	14/10/2016	68.2	14/05/2016	80.0	15/05/2016	86.0	15/05/2016
2017	28.8	05/02/2017	39.6	05/02/2017	48.0	06/02/2017	54.2	06/02/2017	57.4	06/02/2017
2018	71.4	01/09/2018	91.6	02/09/2018	98.2	02/09/2018	98.4	03/09/2018	98.6	04/09/2018
2019	52.2	04/04/2019	57.8	07/08/2019	73.8	17/11/2019	84.0	15/11/2019	89.2	17/11/2019
2020	58.0	22/07/2020	78.2	03/08/2020	87.4	06/06/2020	107.0	31/08/2020	121.8	08/06/2020

**Tabella 25: Massimi storici di altezza di pioggia per durata precipitazione 1 – 5gg, Stazione Verona – Parco Adige Nord**

I valori massimi registrati nella serie (evidenziati in rosso) sono, per tutti i tempi presi in considerazione, minori ai valori calcolati nel capitolo precedente.

Nelle tabelle successive sono riportati i massimi storici delle stazioni di Villafranca e Buttapietra:

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	28 di 51

Anno	Pioggia in mm									
	1 giorno		2 giorni		3 giorni		4 giorni		5 giorni	
	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data
1991	63.2	12/10/1991	89.0	12/10/1991	89.4	13/10/1991	93.6	14/10/1991	98.6	12/10/1991
1992	46.0	05/10/1992	78.6	05/10/1992	99.0	05/10/1992	104.4	05/10/1992	108.0	06/10/1992
1993	44.6	24/09/1993	55.0	24/09/1993	64.2	25/09/1993	72.2	26/09/1993	86.0	28/09/1993
1994	44.0	20/07/1994	52.6	31/08/1994	66.2	02/09/1994	82.2	02/09/1994	82.2	02/09/1994
1995	50.4	07/08/1995	61.0	07/08/1995	63.6	08/08/1995	63.8	09/08/1995	63.8	09/08/1995
1996	78.6	30/07/1996	78.6	30/07/1996	82.8	30/07/1996	82.8	30/07/1996	82.8	30/07/1996
1997	47.4	20/12/1997	68.6	20/12/1997	95.4	20/12/1997	97.2	20/12/1997	97.6	21/12/1997
1998	44.6	14/07/1998	49.0	15/07/1998	49.0	15/07/1998	59.4	08/10/1998	61.2	08/10/1998
1999	73.4	20/09/1999	73.6	21/09/1999	80.6	25/10/1999	98.8	24/10/1999	107.4	25/10/1999
2000	76.2	31/08/2000	85.2	31/08/2000	91.8	01/10/2000	94.2	02/10/2000	97.8	03/10/2000
2001	40.6	01/09/2001	59.8	30/03/2001	63.4	30/03/2001	63.4	30/03/2001	78.2	04/09/2001
2002	58.6	15/07/2002	73.8	22/09/2002	94.2	23/09/2002	109.8	24/09/2002	117.2	25/09/2002
2003	45.2	24/09/2003	45.2	24/09/2003	45.2	24/09/2003	45.2	24/09/2003	45.6	28/11/2003
2004	60.6	14/09/2004	63.4	15/09/2004	89.0	16/09/2004	89.2	16/09/2004	91.8	16/09/2004
2005	61.2	03/10/2005	101.6	21/08/2005	106.2	22/08/2005	106.6	23/08/2005	130.0	06/10/2005
2006	55.6	15/09/2006	79.0	16/09/2006	90.8	16/09/2006	98.4	17/09/2006	98.6	18/09/2006
2007	65.2	24/11/2007	84.8	24/11/2007	94.0	24/11/2007	94.4	24/11/2007	94.6	25/11/2007
2008	<u>103.6</u>	13/09/2008	<u>133.6</u>	13/09/2008	<u>138.0</u>	14/09/2008	<u>140.0</u>	15/09/2008	140.2	16/09/2008
2009	57.8	07/07/2009	58.0	07/07/2009	64.8	06/03/2009	107.6	07/07/2009	110.0	07/07/2009
2010	60.4	09/09/2010	104.8	09/09/2010	107.6	10/09/2010	128.8	20/06/2010	<u>165.8</u>	20/06/2010
2011	58.4	25/10/2011	72.6	05/06/2011	74.2	05/06/2011	85.6	07/06/2011	88.4	08/06/2011
2012	57.8	28/11/2012	66.4	28/11/2012	72.0	29/11/2012	74.8	30/11/2012	79.6	04/09/2012
2013	64.2	16/05/2013	75.2	17/05/2013	77.8	18/05/2013	126.6	08/05/2013	126.8	08/05/2013
2014	59.0	12/07/2014	75.2	06/11/2014	82.2	30/04/2014	102.6	30/04/2014	112.6	02/05/2014
2015	68.4	14/09/2015	72.6	14/09/2015	72.6	14/09/2015	72.8	14/09/2015	72.8	14/09/2015
2016	51.4	14/10/2016	61.0	15/06/2016	61.8	16/06/2016	67.4	17/06/2016	103.0	18/06/2016
2017	32.2	28/06/2017	40.6	05/02/2017	48.2	05/02/2017	55.6	06/02/2017	57.4	06/02/2017
2018	39.0	01/09/2018	51.0	02/09/2018	58.8	02/09/2018	58.8	02/09/2018	65.2	13/05/2018
2019	55.2	04/04/2019	60.2	07/08/2019	60.6	08/08/2019	60.6	08/08/2019	64.4	19/11/2019
2020	83.2	22/09/2020	94.2	22/09/2020	97.4	24/09/2020	108.4	24/09/2020	123.2	09/12/2020

**Tabella 26: Massimi storici di altezza di pioggia per durata precipitazione 1 – 5gg, Stazione Villafranca di Verona**

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	29 di 51

Anno	Pioggia in mm									
	1 giorno		2 giorni		3 giorni		4 giorni		5 giorni	
	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data	mm	data
1992	71.6	23/09/1992	76.4	24/09/1992	96.4	05/10/1992	98.8	06/10/1992	100.2	06/10/1992
1993	36.8	01/07/1993	49.0	25/09/1993	67.4	26/09/1993	81.2	26/09/1993	81.4	27/09/1993
1994	67.4	06/11/1994	68.4	07/11/1994	69.2	06/11/1994	70.2	07/11/1994	86.6	10/11/1994
1995	69.6	14/09/1995	80.6	14/09/1995	80.6	14/09/1995	80.6	14/09/1995	80.6	14/09/1995
1996	49.8	30/07/1996	50.0	07/01/1996	57.8	24/08/1996	66.4	13/12/1996	75.0	13/12/1996
1997	53.8	14/07/1997	59.2	20/12/1997	84.4	20/12/1997	86.8	21/12/1997	87.2	21/12/1997
1998	38.2	12/09/1998	42.4	13/09/1998	43.8	29/05/1998	56.6	08/10/1998	59.4	30/09/1998
1999	80.8	20/09/1999	81.0	21/09/1999	84.0	20/09/1999	86.0	24/10/1999	92.2	25/10/1999
2000	62.2	11/06/2000	67.8	12/06/2000	75.0	13/06/2000	75.0	13/06/2000	76.4	17/11/2000
2001	45.4	30/03/2001	57.4	01/09/2001	61.0	30/03/2001	61.4	30/03/2001	74.0	04/09/2001
2002	62.6	15/07/2002	66.0	15/07/2002	67.2	16/07/2002	77.2	18/07/2002	80.6	18/07/2002
2003	28.4	08/11/2003	33.6	27/11/2003	37.0	28/11/2003	38.0	28/11/2003	38.4	28/11/2003
2004	65.0	14/09/2004	65.8	15/09/2004	89.2	16/09/2004	89.4	16/09/2004	91.4	16/09/2004
2005	<u>94.2</u>	01/07/2005	94.6	01/07/2005	96.2	01/07/2005	107.2	06/10/2005	120.8	05/07/2005
2006	43.4	15/09/2006	68.0	16/09/2006	78.2	17/09/2006	87.0	17/09/2006	87.2	18/09/2006
2007	41.0	04/09/2007	52.8	24/11/2007	59.2	24/11/2007	59.4	24/11/2007	59.6	24/11/2007
2008	61.4	05/06/2008	64.0	05/06/2008	74.6	07/06/2008	77.2	07/06/2008	77.2	07/06/2008
2009	45.6	07/07/2009	45.6	07/07/2009	73.0	09/07/2009	74.0	10/07/2009	86.2	02/04/2009
2010	64.0	05/08/2010	85.8	14/08/2010	85.8	14/08/2010	86.0	16/08/2010	89.8	20/06/2010
2011	60.0	05/06/2011	63.8	05/06/2011	73.4	07/06/2011	77.2	07/06/2011	81.0	07/06/2011
2012	58.6	11/11/2012	66.0	11/11/2012	71.4	12/11/2012	71.6	12/11/2012	71.6	12/11/2012
2013	93.8	16/05/2013	<u>103.0</u>	17/05/2013	<u>105.0</u>	17/05/2013	<u>118.8</u>	19/05/2013	120.8	19/05/2013
2014	48.2	11/09/2014	60.6	28/04/2014	73.4	29/04/2014	93.0	30/04/2014	104.8	02/05/2014
2015			71.0	06/02/2015	71.4	07/02/2015	71.6	08/02/2015	72.0	09/02/2015
2016	54.6	14/10/2016	59.0	14/10/2016	59.0	14/10/2016	61.6	15/06/2016	68.0	15/06/2016
2017	29.2	05/02/2017	38.0	05/02/2017	45.4	06/02/2017	49.4	06/02/2017	50.2	06/02/2017
2018	59.8	11/05/2018	61.4	11/05/2018	81.6	13/05/2018	86.0	14/05/2018	89.4	15/05/2018
2019	59.0	05/05/2019	60.2	05/05/2019	63.0	17/11/2019	68.6	18/11/2019	76.2	09/05/2019
2020	53.0	11/10/2020	69.4	06/12/2020	74.2	06/12/2020	100.6	08/12/2020	<u>123.8</u>	09/12/2020

**Tabella 27: Massimi storici di altezza di pioggia per durata precipitazione 1 – 5gg, Stazione Buttapietra**

Anche in questo caso i valori massimi registrati nella serie (evidenziati in rosso) sono, per tutti i tempi presi in considerazione, minori ai valori calcolati nel capitolo precedente.

La stazione meteorologica di Buttapietra, inizialmente presa in considerazione con il fine di rendere maggiormente rappresentativa l'analisi in oggetto, presenta dei valori di progetto inferiori alle altre due stazioni analizzate, e si è quindi scelto di non considerarla nelle analisi successive.

## 5.2 Dati annali idrologici – Analisi statistica

Per approfondire ulteriormente le analisi realizzate in precedenza, sono stati considerati anche i dati provenienti dagli Annali idrologici, relativi alla sola stazione di Villafranca di Verona; i dati sono stati raccolti nel corso degli anni dall'ex Ufficio Idrografico di Venezia, costituito già dal 1906 nell'ambito della struttura del Magistrato alle Acque di Venezia.

I dati degli Annali idrologici, per la stazione in esame, sono disponibili in formato standardizzato per durate sub-orarie di 15, 30 e 45 minuti, e per durate orarie di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, a partire dal 1964.

Sono presenti, dal 1964 al 1990, 19 anni di misure complete, raccolte in maniera discontinua, con mancanze soprattutto negli anni '70 e '80. Di seguito sono riportati i dati pluviometrici utilizzati nell'analisi.

Anno	Tempo di pioggia (min)		
	15	30	45
1964	15,6	32,6	33,4
1965	10	14,6	15,2
1966	19,8	26	35,4
1967		15,8	16,8
1968	17	23,6	24,6
1969	4	6,6	8,4
1970	12,8	21,2	24,8
1971	18,2	20,8	
1974	34	50	50,4
1975	17,6	25,4	31,4
1976	19	24,4	25,2
1979	18	23	23,6
1980	18	20	24
1981	17,8	21,8	22
1985	9,6	11,6	11,6
1986	16,2	20,2	22,5
1988	18,2		
1989	20	31,6	32,4
1990	8,6	13,6	14,6

**Tabella 28: Massimi di precipitazione (mm) annuali per durata <1h, periodo 1964-1990**

Anno	Tempo di pioggia (ore)				
	1	3	6	12	24
1964	33,4	39,4	39,4	42	51,2
1965	17,2	29,6	39,6	56	62,8
1966	47	66,8	68	68	68,2
1967	21	36	65,6	68	68
1968	25	25,4	40,2	41	55,2
1969	10,2	21	31,2	33,2	45,4
1970	25,8	26,8	27	27	30,8
1971	21,2	25	26,4	35	35,2
1974	51	53,8	56,8	-	-
1975	12,4	17,2	66,6	66,6	80,2
1976	26	32,2	35	40	60,4
1979	23,6	27,4	36	48	65,4
1980	25,6	26	26,2	38	79
1981	21,8	25,4	28,6	33,4	34,8
1985	11,8	21	36	36	49,6
1986	30,5	40	41	47,8	52,6
1987	58,8	60	68,8	90,4	93
1988	23,4	29,8	36,4	43,8	55,4
1989	34,2	50,8	64	80,6	80,6
1990	14,8	17,6	21,8	44,6	71,2

**Tabella 29: Massimi di precipitazione (mm) annuali per durata 1-24h, periodo 1964-1990**

Tali misure sono state accorpate con le misure utilizzate nel capitolo precedente, per ottenere un dataset su un campione di numerosità maggiore. Su tale dataset sono state compiute le analisi statistiche atte ad ottenere i parametri  $a$  e  $n$  della curva di possibilità pluviometrica, con particolare riferimento ai tempi di ritorno di 50 e 100 anni. Le analisi sono state eseguite sia per tempi di pioggia fino ad 1 ora (scrosci), che per tempi di pioggia compresi tra 1 e 24 ore (piogge); di seguito sono mostrati i risultati.

### 5.2.1 Durata < 1h - Scrosci

Sulla base delle indicazioni sopra riportate, nella valutazione dei parametri della curva di possibilità pluviometrica si terrà conto dei tempi di pioggia fino a 1 ora compresa, al fine di garantire una maggiore continuità delle LSPP degli scrosci e delle piogge. I parametri  $a$  e  $n$  sono stati valutati prendendo a riferimento sia il dataset del periodo 1990-2020 (30 anni), che quello integrato, relativo al periodo 1964-2020 (50 anni).

Nel seguito vengono anche riportati, per ogni tempo di pioggia, i valori dei parametri  $\alpha$  e  $u$  della distribuzione statistica di Gumbel e il metodo di stima utilizzato, ossia quello che presentava di volta in volta il minimo valore del parametro  $X^2$ .

Si ricorda che i dati riportati nel seguito si riferiscono al dataset della stazione di Villafranca di Verona.

Durata < 1h						
	Dataset 30 anni			Dataset 50 anni		
<i>T<sub>p</sub></i>	$\alpha$	u	metodo	$\alpha$	u	metodo
<b>5</b>	0.420	8.465	momenti	0.420	8.465	momenti
<b>10</b>	0.224	13.821	massima verosimiglianza	0.224	13.821	massima verosimiglianza
<b>15</b>	0.129	17.158	minimi quadrati	0.161	15.875	momenti
<b>30</b>	0.108	23.351	massima verosimiglianza	0.113	21.259	massima verosimiglianza
<b>45</b>	0.099	26.706	massima verosimiglianza	0.100	23.979	massima verosimiglianza
<b>60</b>	0.097	29.697	massima verosimiglianza	0.092	25.861	massima verosimiglianza

 Tabella 30: Parametri  $\alpha$  e u della distribuzione statistica di Gumbel per gli scrosci, riferiti al dataset di 30 e 50 anni.

Durata < 1h						
	Dataset 30 anni			Dataset 50 anni		
<i>T<sub>r</sub></i>	25 anni	50 anni	100 anni	25 anni	50 anni	100 anni
<b>a</b>	71.17	79.91	88.58	66.57	75.18	83.73
<b>n</b>	0.535	0.540	0.543	0.522	0.53	0.536

 Tabella 31: Parametri a ed n per una durata di precipitazione < 1h, *T<sub>r</sub>* 25- 100 anni, riferiti al dataset 30 e 50 anni.

Come osservabile, i valori dei parametri *a* e *n* risultano maggiori utilizzando i valori di precipitazione del dataset relativo agli ultimi 30 anni di misurazioni, dal 1990 al 2020.

### 5.2.2 Durata 1-24h – Piogge

Nelle seguenti tabelle sono riportati i valori dei parametri  $\alpha$  e u della distribuzione statistica di Gumbel con il metodo di stima utilizzato, e i parametri *a* e *n* della curva di possibilità.

Durata 1-24h						
	Dataset 30 anni			Dataset 50 anni		
<i>T<sub>p</sub></i>	$\alpha$	u	metodo	$\alpha$	u	metodo
<b>1</b>	0.066	29.123	minimi quadrati	0.092	25.533	massima verosimiglianza
<b>3</b>	0.077	36.353	momenti	0.084	32.364	momenti
<b>6</b>	0.081	42.590	massima verosimiglianza	0.076	39.657	momenti
<b>12</b>	0.083	49.856	momenti	0.078	46.533	momenti
<b>24</b>	0.077	56.748	massima verosimiglianza	0.069	55.053	momenti

 Tabella 32: Parametri  $\alpha$  e u della distribuzione statistica di Gumbel per le piogge, riferiti al dataset di 30 e 50 anni.

Durata 1-24h						
	Dataset 30 anni			Dataset 50 anni		
<i>T<sub>r</sub></i>	25 anni	50 anni	100 anni	25 anni	50 anni	100 anni
<b>a</b>	74,53	84,58	94,56	59,99	67,65	75,26
<b>n</b>	0,074	0,061	0,050	0,161	0,153	0,147

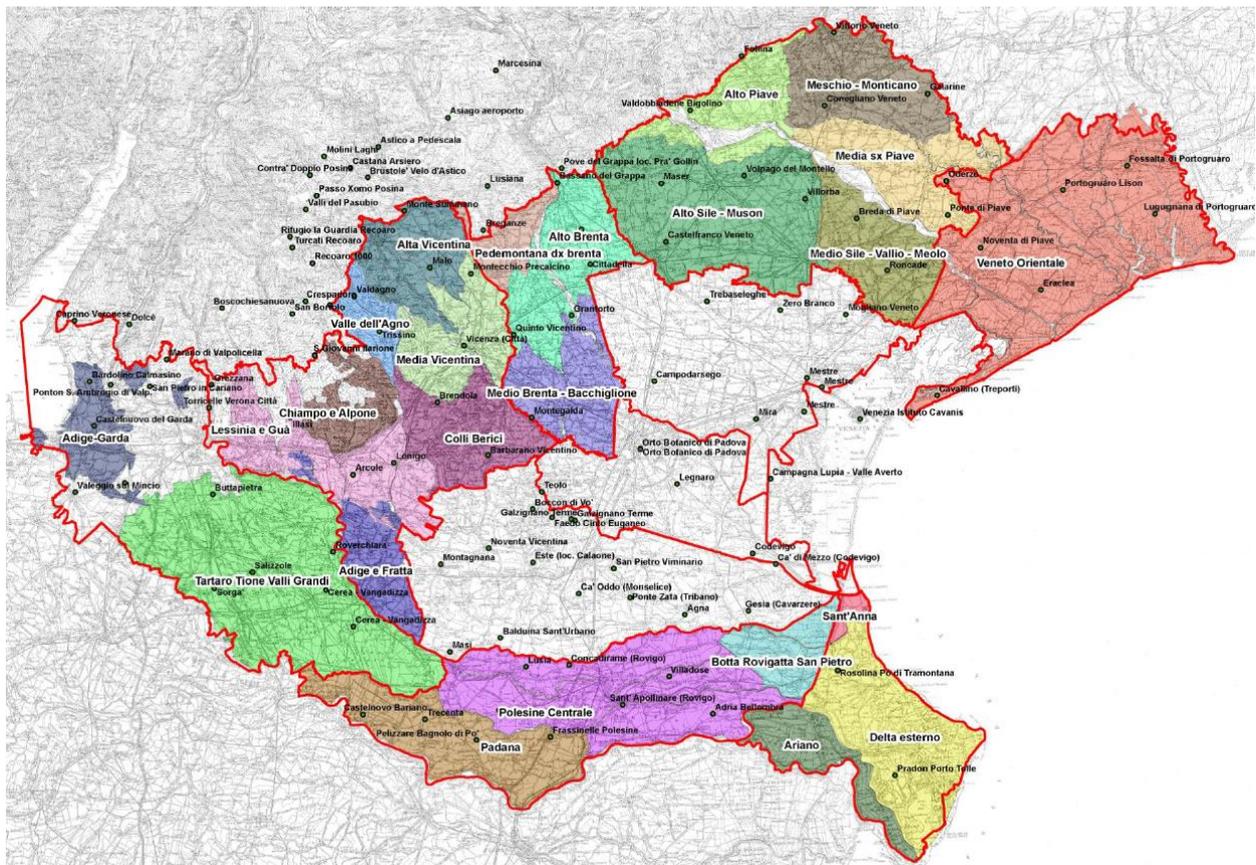
 Tabella 33: Parametri a ed n per durata precipitazione tra 1 e 24h, *T<sub>r</sub>* 25-100 anni, su dataset 30 e 50 anni

Allo stesso modo di cui al paragrafo precedente, anche in questo caso i valori dei parametri  $a$  e  $n$  risultano maggiori utilizzando i valori di precipitazione del dataset relativo agli ultimi 30 anni di misurazioni, dal 1990 al 2020.

### 5.3 Dati analisi regionalizzata Regione Veneto

L'analisi regionalizzata delle precipitazioni viene utilizzata qualora non siano presenti osservazioni pluviometriche nei dintorni della zona oggetto di intervento, o la serie storica risulti limitata. Tale metodo si fonda sull'ipotesi che la distribuzione dei valori estremi di precipitazione entro una certa area presenti delle caratteristiche abbastanza simili.

A tal proposito, nel 2011 è stata realizzata l'Analisi regionalizzata delle precipitazioni, relativa al territorio dei consorzi di bonifica del Veneto; di seguito è mostrata l'area della regione, suddivisa per aree omogenee.



**Figura 5: Delimitazione delle aree omogenee nell'Analisi regionalizzata della Regione Veneto.**

L'analisi è stata effettuata ricorrendo alla distribuzione GEV a tre parametri, ritenuta migliore data la limitata numerosità del campione a disposizione (16 anni).

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST</b>					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	34 di 51

La zona in esame si colloca a cavallo tra le aree omogenee denominate “Adige-Garda” e “Lessinia e Guà”, per le quali sono stati calcolati i valori dei parametri  $a$  e  $n$  visibili nei paragrafi di seguito.

### 5.3.1 Durata < 1h – Scrosci

I parametri  $a$  e  $n$  relativi alla durata di pioggia sub-oraria, per entrambe le aree omogenee prese in considerazione, sono visibili nella tabella seguente:

Durata < 1h						
Area om.	Adige - Garda			Lessinia - Guà		
$Tr$	25 anni	50 anni	100 anni	25 anni	50 anni	100 anni
$a$	56.18	63.13	69.35	64.13	71.37	78.39
$n$	0.416	0.429	0.441	0.469	0.48	0.491

**Tabella 34: Parametri  $a$  ed  $n$  per durata precipitazione < 1h**

### 5.3.2 Durata 1-24h – Piogge

I parametri  $a$  e  $n$  relativi alla durata di pioggia da 1 a 24 ore, per entrambe le aree omogenee prese in considerazione, sono visibili nella tabella seguente:

Durata 1-24h						
Area om.	Adige - Garda			Lessinia - Guà		
$Tr$	25 anni	50 anni	100 anni	25 anni	50 anni	100 anni
$a$	53.00	59.44	65.27	61.23	68.66	75.64
$n$	0.173	0.159	0.146	0.16	0.157	0.155

**Tabella 35: Parametri  $a$  ed  $n$  per durata precipitazione tra 1h e 24h**

Nel successivo capitolo 5.5 verranno utilizzati, come parametro di riferimento, i valori di pioggia risultanti dai parametri  $a$  e  $n$  dell’area omogenea “Lessinia – Guà”, in quanto più elevati e quindi maggiormente cautelativi.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST</b>					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	35 di 51

#### 5.4 Dati analisi regionalizzata VAPI

Allo stesso modo sono state valutate le altezze di pioggia ottenute dall'applicazione del metodo VA.PI. (Valutazione delle Piene in Italia), sviluppato dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR-GNDCI) e basato sulla distribuzione TCEV.

Con tale metodo, il massimo annuale della precipitazione oraria di durata  $t_p$  corrispondente ad un prefissato periodo di ritorno si può ottenere nel seguente modo:

$$h(t_p)_{\max} = K_T m(h(t_p))$$

ove  $K_T$  è il fattore probabilistico di crescita, mentre  $m(h(t_p))$  è la media dei massimi annuali della precipitazione di durata  $t_p$  stimata in corrispondenza della zona di interesse. La media dei massimi annuali è stata valutata sui dati di precipitazione degli ultimi 30 anni, relativi alla stazione di misura di Villafranca di Verona.

Nell'analisi si assumono i valori del tempo di pioggia da 1 a 24 ore; nel rapporto regionale "Valutazione delle piene del Triveneto" (Villi e Bacchi, 2001) sono indicati i valori del coefficiente  $K_T$  al variare del tempo di pioggia e di ritorno:

		Tp (ore)				
		1	3	6	12	24
Tr	25	1.901	1.656	1.601	1.482	1.374
	50	2.213	1.925	1.909	1.795	1.707
	100	2.525	2.194	2.216	2.109	2.040

Tabella 36: Valori del coefficiente  $K_T$  per Tr 25, 50 e 100 anni

##### 5.4.1 Durata 1-24h – Piogge

Nella tabella seguente vengono quindi elencati i valori della media dei massimi annuali per i tempi di pioggia considerati, e i corrispondenti valori di precipitazione calcolati con l'apposito coefficiente:

		Tp (ore)				
		1	3	6	12	24
Media massimi		<b>36,27</b>	<b>43,90</b>	<b>50,25</b>	<b>56,72</b>	<b>63,78</b>
Tr	25	68.94	72.70	80.43	84.05	87.63
	50	80.27	84.51	95.92	101.81	108.87
	100	91.59	96.32	111.35	119.62	130.11

Tabella 37: Valori di pioggia per durata precipitazione tra 1h e 24h e Tr 50 e 100 anni

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST</b>					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	36 di 51

I valori di pioggia relativi agli scrosci non possono essere calcolati con il presente metodo, che è stato tarato con le durate di precipitazione da 1 a 24 ore; in ogni caso esso costituisce un ulteriore utile parametro di confronto nel successivo paragrafo delle considerazioni conclusive.

## 5.5 Considerazioni conclusive

Di seguito vengono riportati le altezze di pioggia calcolate nei capitoli precedenti, al fine di individuare il metodo di analisi più affidabile per la definizione dei valori di pioggia di progetto da utilizzare nei calcoli per il dimensionamento delle opere idrauliche; per quanto detto in precedenza, risulta più affidabile considerare le elaborazioni statistiche delle serie di dati storici delle stazioni presenti in zona piuttosto che ricorrere agli esiti dei diversi metodi di regionalizzazione delle piogge.

A tal proposito preme evidenziare che si è scelto di considerare senz'altro più rappresentativi i valori di pioggia calcolati con i dati della stazione di Villafranca di Verona sia per la maggior durata della serie storica sia per il fatto che i valori sono risultati più cautelativi rispetto a quelli calcolati per le stazioni di Verona – Parco Adige Nord e Buttapietra.

### 5.5.1 Durata < 1h – Scrosci

Nelle tabelle seguenti sono invece rappresentati i valori delle altezze degli scrosci, calcolati con le diverse metodologie descritte nei paragrafi precedenti, rispettivamente con un tempo di ritorno pari a 25, 50 e 100 anni.

Al fine di confrontare i risultati delle diverse metodologie sono stati desunti i valori dei parametri della curva di possibilità pluviometrica delle analisi ARPAV per un tempo di ritorno di 25 e 100 anni, a partire dai parametri  $\alpha$  e  $u$  della distribuzione statistica di Gumbel.

Tp (min)	Altezza di pioggia (mm)			
	REG. VENETO 16	ARPAV 30	STAT. 30	STAT. 50
10	27.68	29.20	<b>27.29</b>	26.13
15	33.47	38.05	<b>33.90</b>	32.29
30	46.33	59.83	<b>49.12</b>	46.36
45	56.04	77.97	<b>61.02</b>	57.29
60	64.13	-	<b>71.17</b>	66.57

Tabella 38: Valori di pioggia per durata precipitazione < 1h, Tr 25 anni

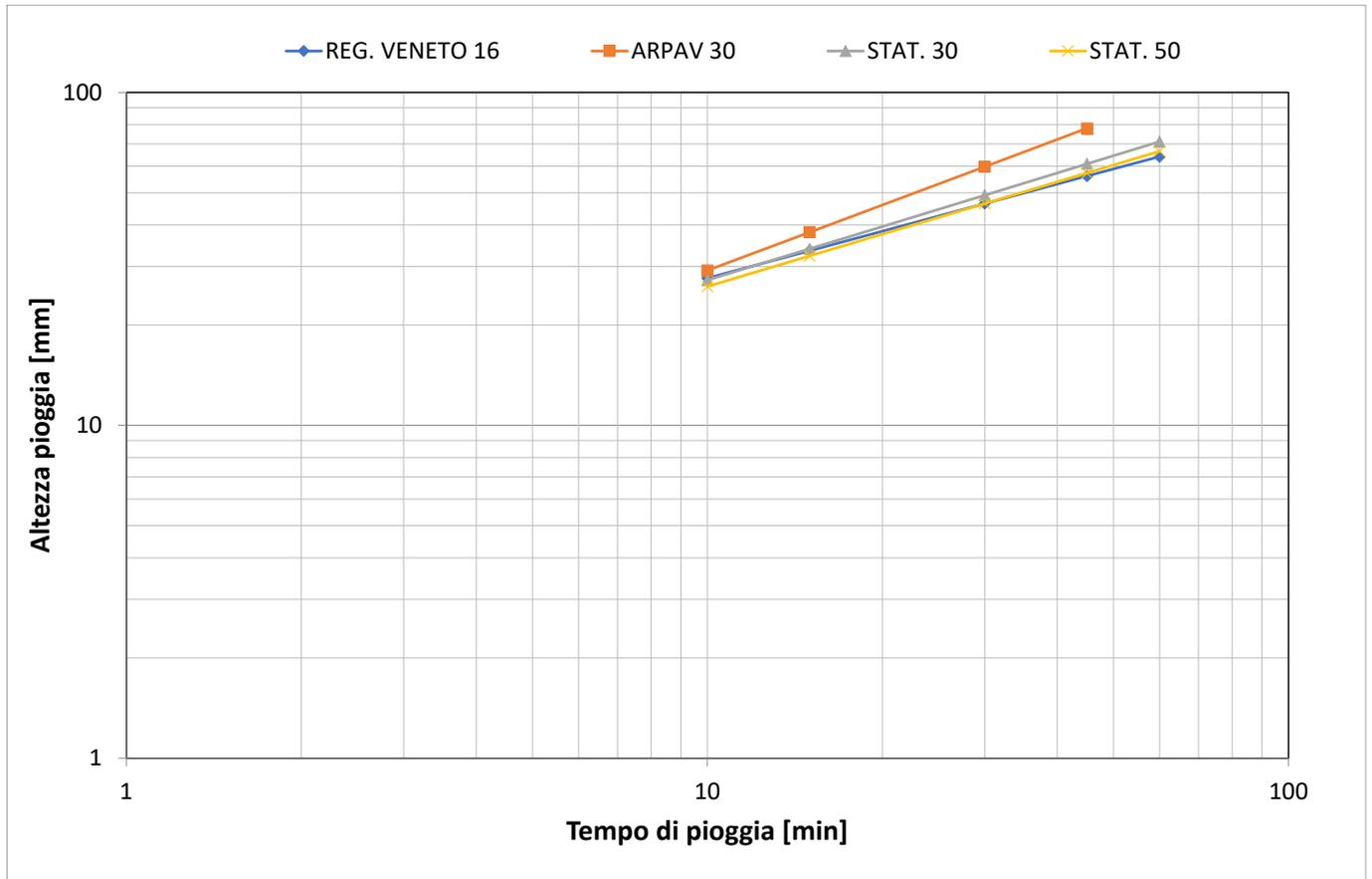


Figura 6: Valori di pioggia per durata precipitazione < 1h, Tr 25 anni

Tp (min)	Altezza di pioggia (mm)			
	REG. VENETO 16	ARPAV 30	STAT. 30	STAT. 50
10	30.20	32.78	<b>30.92</b>	29.09
15	36.69	42.93	<b>38.33</b>	36.06
30	51.17	68.07	<b>55.34</b>	52.07
45	62.16	89.13	<b>68.61</b>	64.55
60	71.37	-	<b>79.91</b>	75.18

Tabella 39: Valori di pioggia per durata precipitazione < 1h, Tr 50 anni

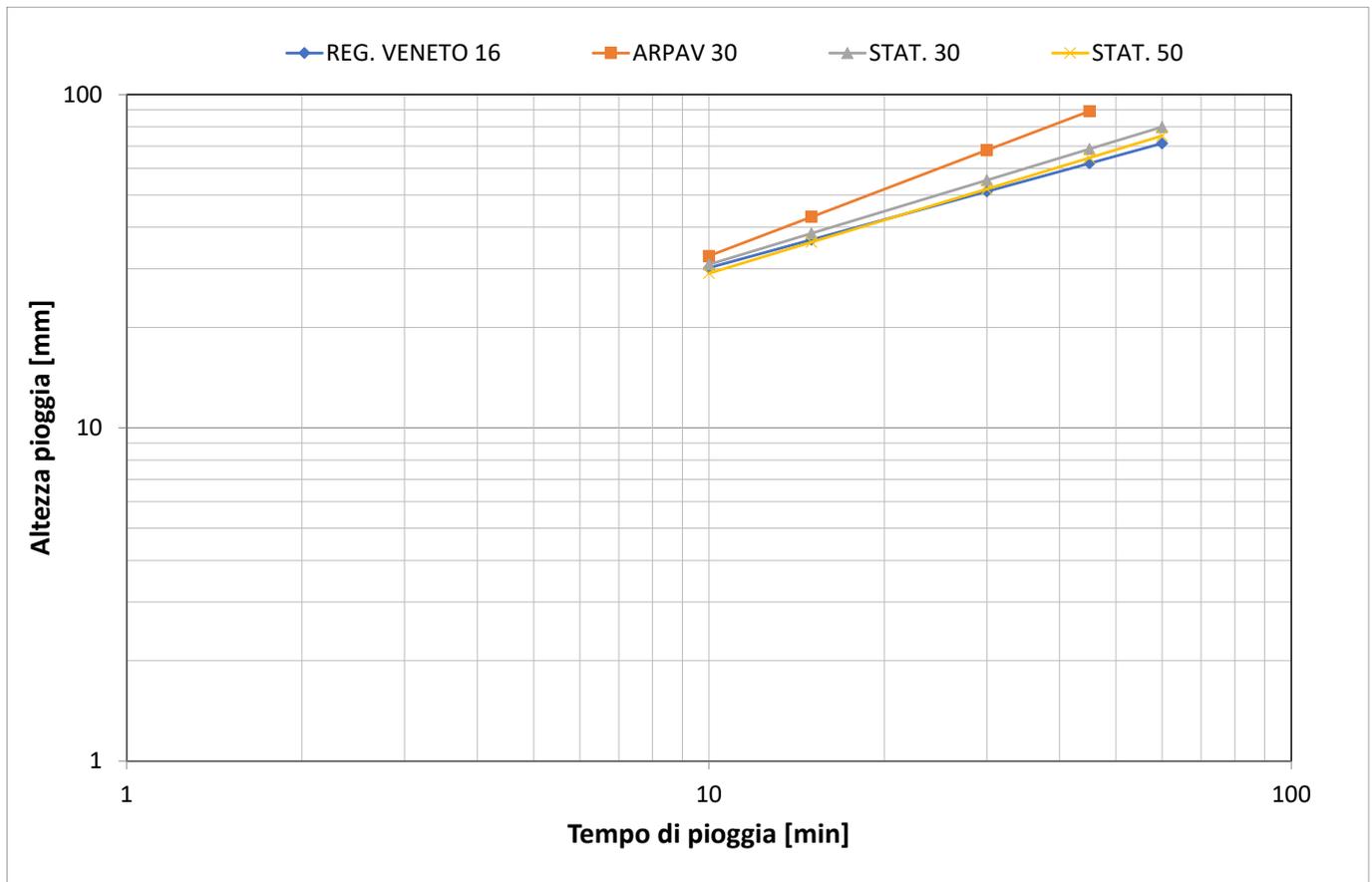
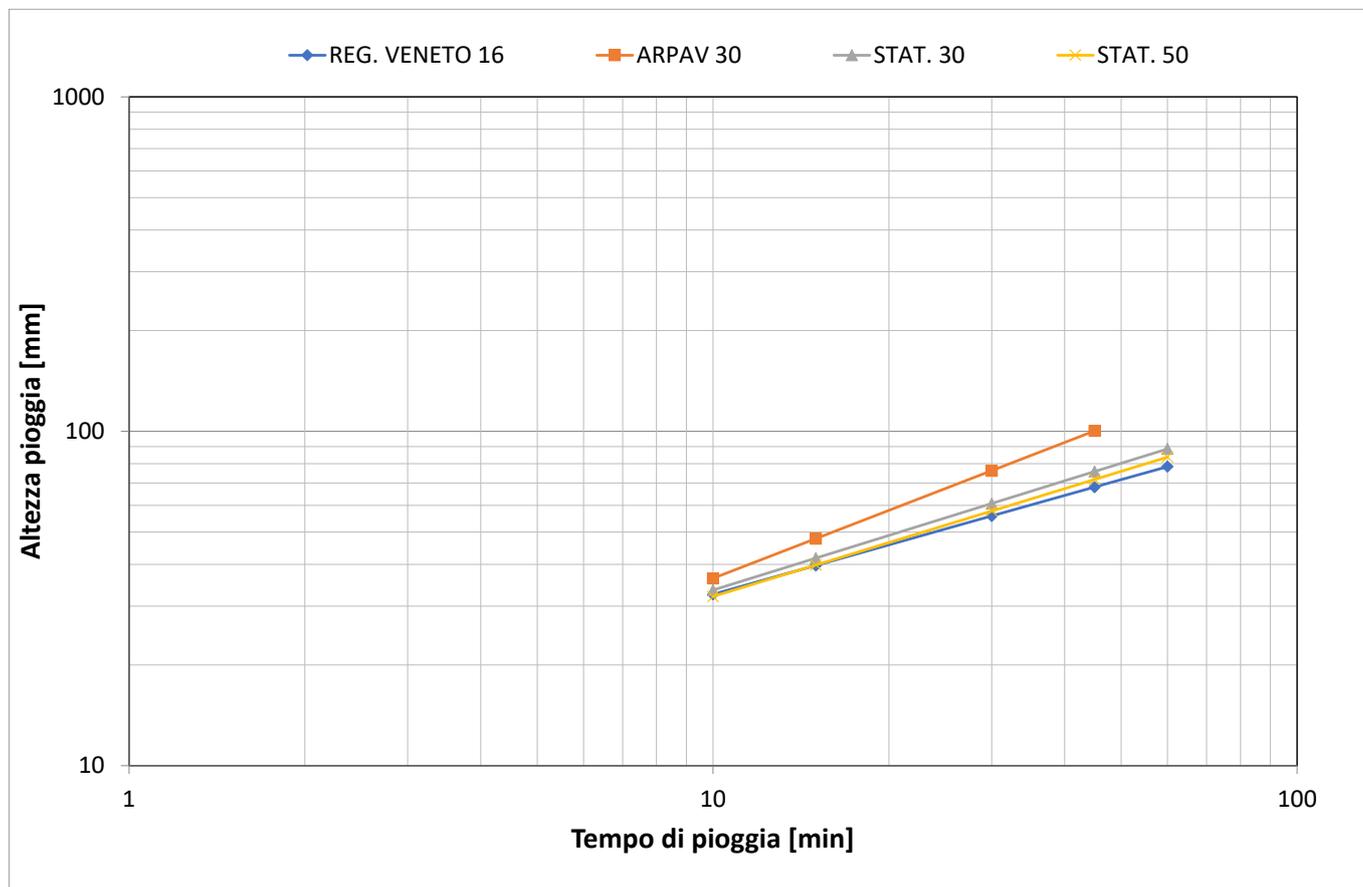


Figura 7: Valori di pioggia per durata precipitazione &lt; 1h, Tr 50 anni

Tp (min)	Altezza di pioggia (mm)			
	REG. VENETO 16	ARPAV 30	STAT. 30	STAT. 50
10	32.52	36.31	<b>33.48</b>	32.05
15	39.69	47.74	<b>41.73</b>	39.83
30	55.78	76.22	<b>60.80</b>	57.75
45	68.06	100.21	<b>75.77</b>	71.77
60	78.39	-	<b>88.58</b>	83.73

Tabella 40: Valori di pioggia per durata precipitazione &lt; 1h, Tr 100 anni



**Figura 8: Valori di pioggia per durata precipitazione < 1h, Tr 100 anni**

Innanzitutto, i valori risultanti dalla regionalizzazione realizzata dalla Regione Veneto si basano su un campione di misure annue abbastanza esiguo (16 anni). Il metodo di regionalizzazione, inoltre, si applica solitamente in zone in cui non si dispone di dati registrati in prossimità dell'area in esame, e nel caso in questione sono invece presenti delle stazioni di misura rappresentative.

I dati ARPAV essendo elaborati per durate sub-orarie solo fino a 45 minuti, presentano una curva di tendenza particolarmente pendente con valori di precipitazione piuttosto elevati per durate di pioggia prossime all'ora e, pertanto, non sono ritenuti del tutto rappresentativi del fenomeno atteso.

Infine, appare chiaro che i dati calcolati con l'analisi statistica sui dataset ARPAV (30 anni) e ARPAV + Annali idrologici (50 anni) presentano differenze rilevanti nelle altezze di pioggia calcolati al crescere del tempo di pioggia.

A tal proposito occorre spendere qualche parola per analizzare la serie storica delle precipitazioni; a titolo d'esempio, nella figura sottostante vengono riportate in ordine cronologico i massimi di pioggia annuale di durata 45 minuti.

Se si grafica la linea di tendenza della serie storica (linea verde tratteggiata) si individua un trend crescente nei valori di pioggia; tuttavia se si esegue la stessa operazioni per ciascuna delle due serie storiche (1964-1990 e 1990-2020) risulta difficile rilevare lo stesso trend.

Nel 1990 la gestione delle stazioni di misura è passata dal Ufficio Idrografico di Venezia ad ARPAV, lo scostamento tra i due dataset di dati potrebbe essere ascrivito al cambio di strumentazione di rilevazione e registrazione del dato di pioggia e all'introduzione di sistemi di rilevazione automatica. Pertanto, al fine di garantire una ottimale affidabilità dell'analisi statistica è opportuno eseguire le elaborazioni su serie di dati omogenee, ovvero quelli rilevati da ARPAV.

Alla luce di queste considerazioni quindi, i valori di pioggia di progetto da ritenere più corretti e affidabili sono quelli calcolati con l'analisi statistica elaborata sul dataset di misure di 30 anni.

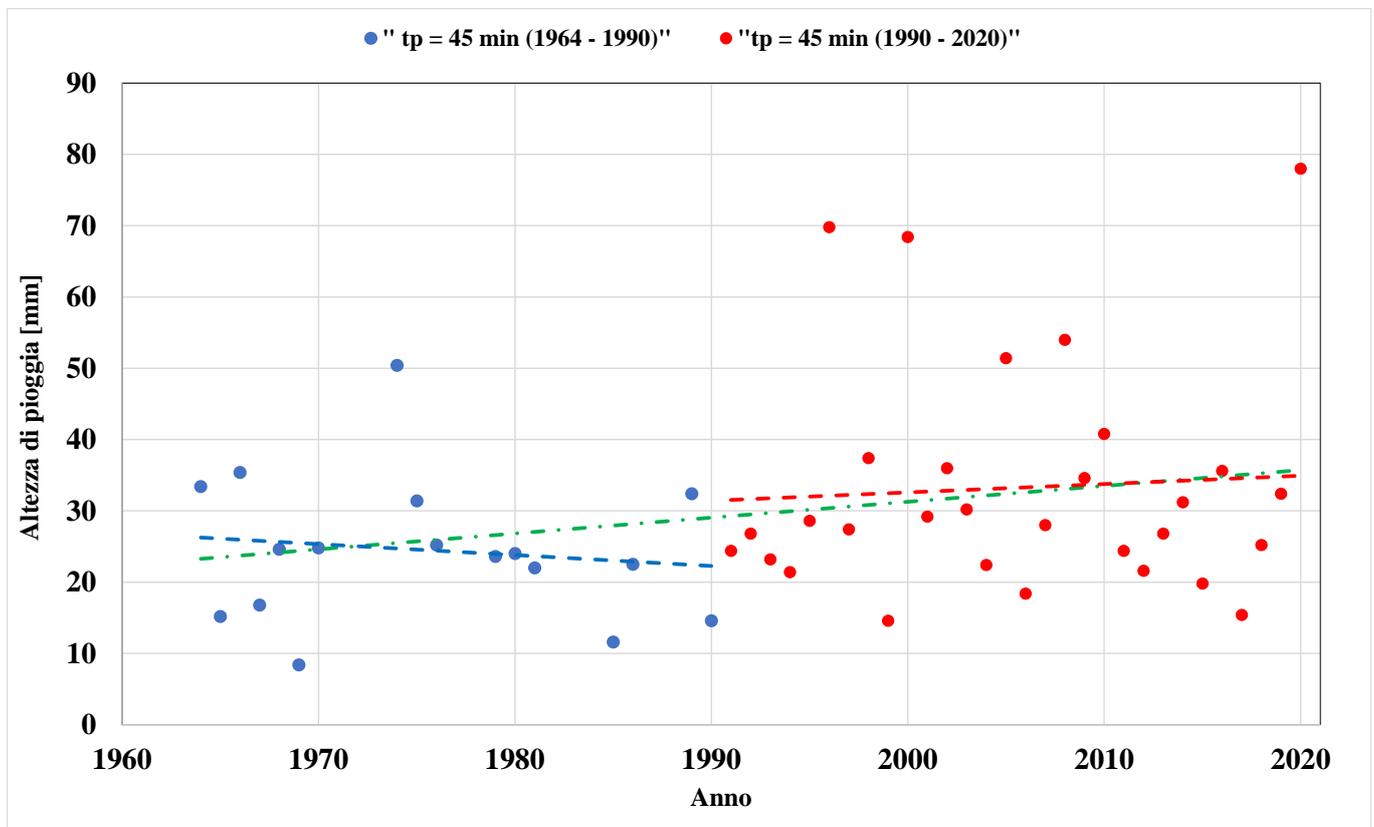


Figura 9: Altezze di pioggia massime annuali per tp=45 min, con linee di tendenza.

### 5.5.2 Durata 1-24h – Piogge

Nelle tabelle seguenti sono invece rappresentati i valori delle altezze delle piogge, calcolati con le diverse metodologie descritte nei paragrafi precedenti, rispettivamente con un tempo di ritorno pari a 25, 50 e 100 anni:

Tp (ore)	Altezza di pioggia (mm)				
	REG. VENETO 16	REG. VAPI 30	ARPAV 30	STAT. 30	STAT. 50
<b>1</b>	61.23	68.94	74.49	<b>74.53</b>	59.99
<b>3</b>	73.00	72.70	82.68	<b>80.84</b>	71.60
<b>6</b>	81.56	80.43	88.31	<b>85.10</b>	80.05
<b>12</b>	91.12	84.05	94.32	<b>89.58</b>	89.50
<b>24</b>	101.81	87.63	100.74	<b>94.29</b>	100.07

Tabella 41: Valori di pioggia per durata precipitazione compresa tra 1h e 24h, Tr 25 anni

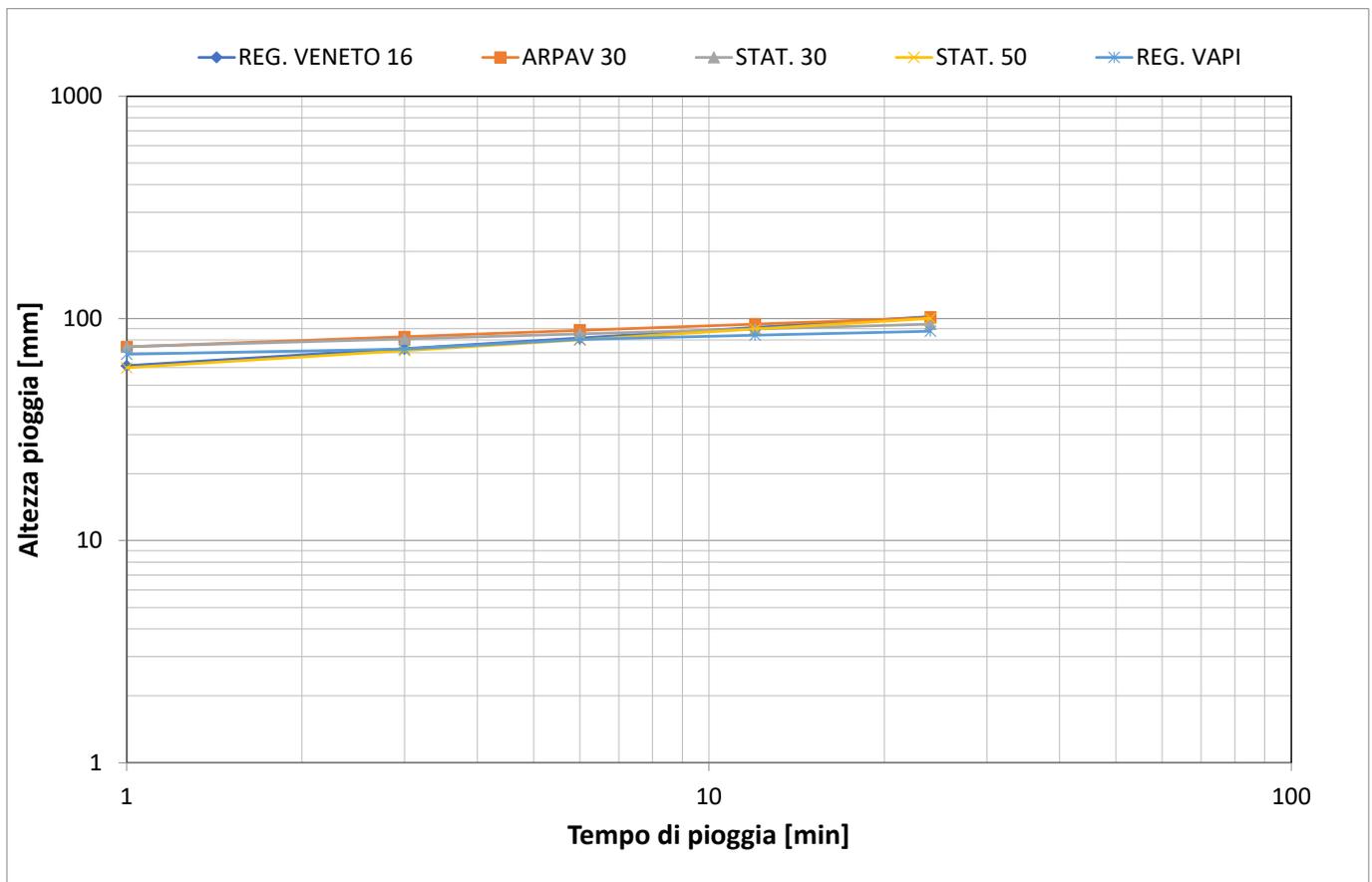


Figura 10: Valori di pioggia per durata precipitazione compresa tra 1h e 24h, Tr 25 anni

Tp (ore)	Altezza di pioggia (mm)				
	REG. VENETO 16	REG. VAPI 30	ARPAV 30	STAT. 30	STAT. 50
<b>1</b>	68.66	80.27	84.65	<b>84.58</b>	67.65
<b>3</b>	81.58	84.51	92.84	<b>90.34</b>	80.03
<b>6</b>	90.96	95.92	98.40	<b>94.18</b>	88.99
<b>12</b>	101.42	101.81	104.30	<b>98.18</b>	98.94
<b>24</b>	113.08	108.87	110.56	<b>102.35</b>	110.01

Tabella 42: Valori di pioggia per durata precipitazione compresa tra 1h e 24h, Tr 50 anni

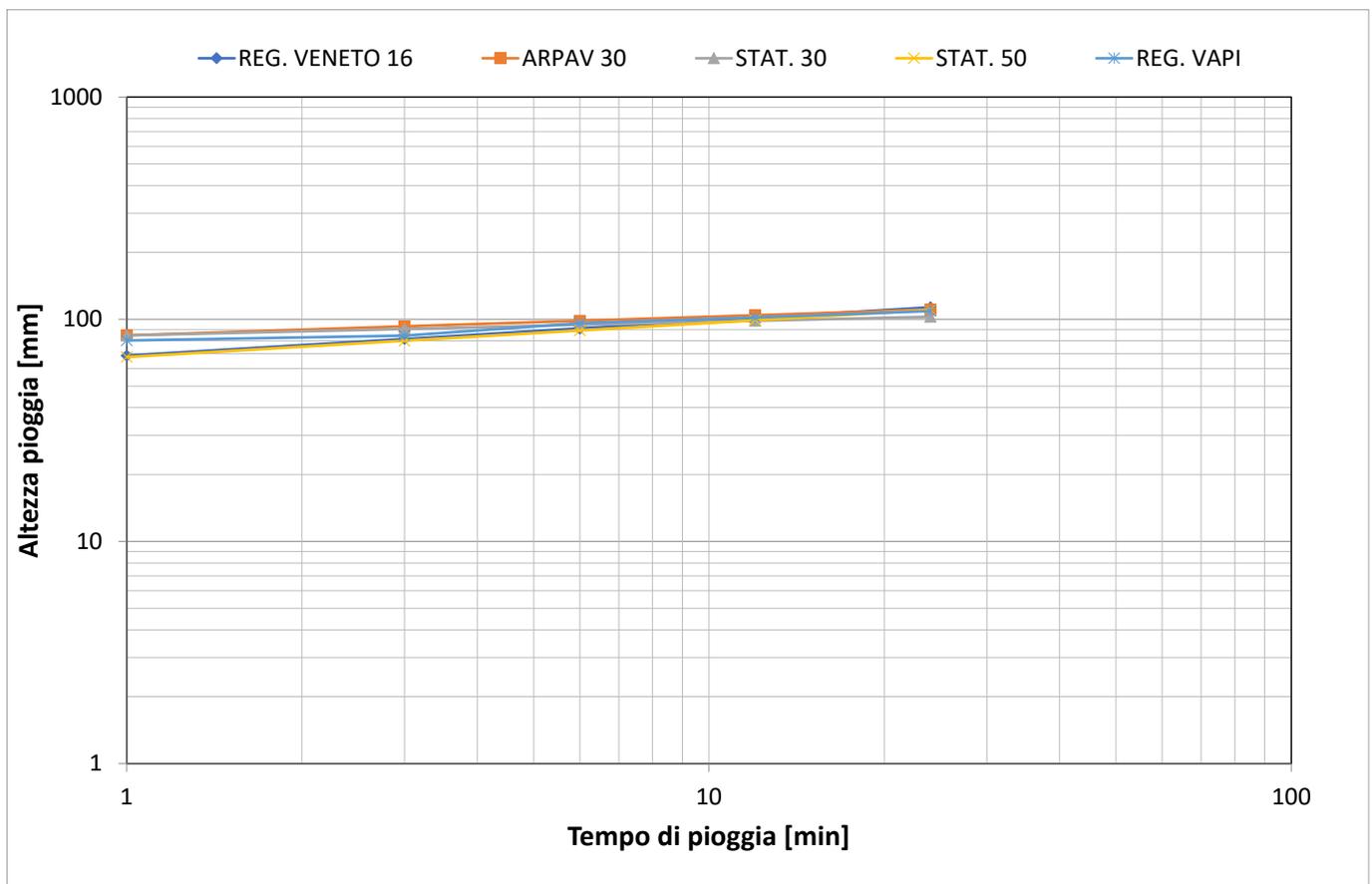
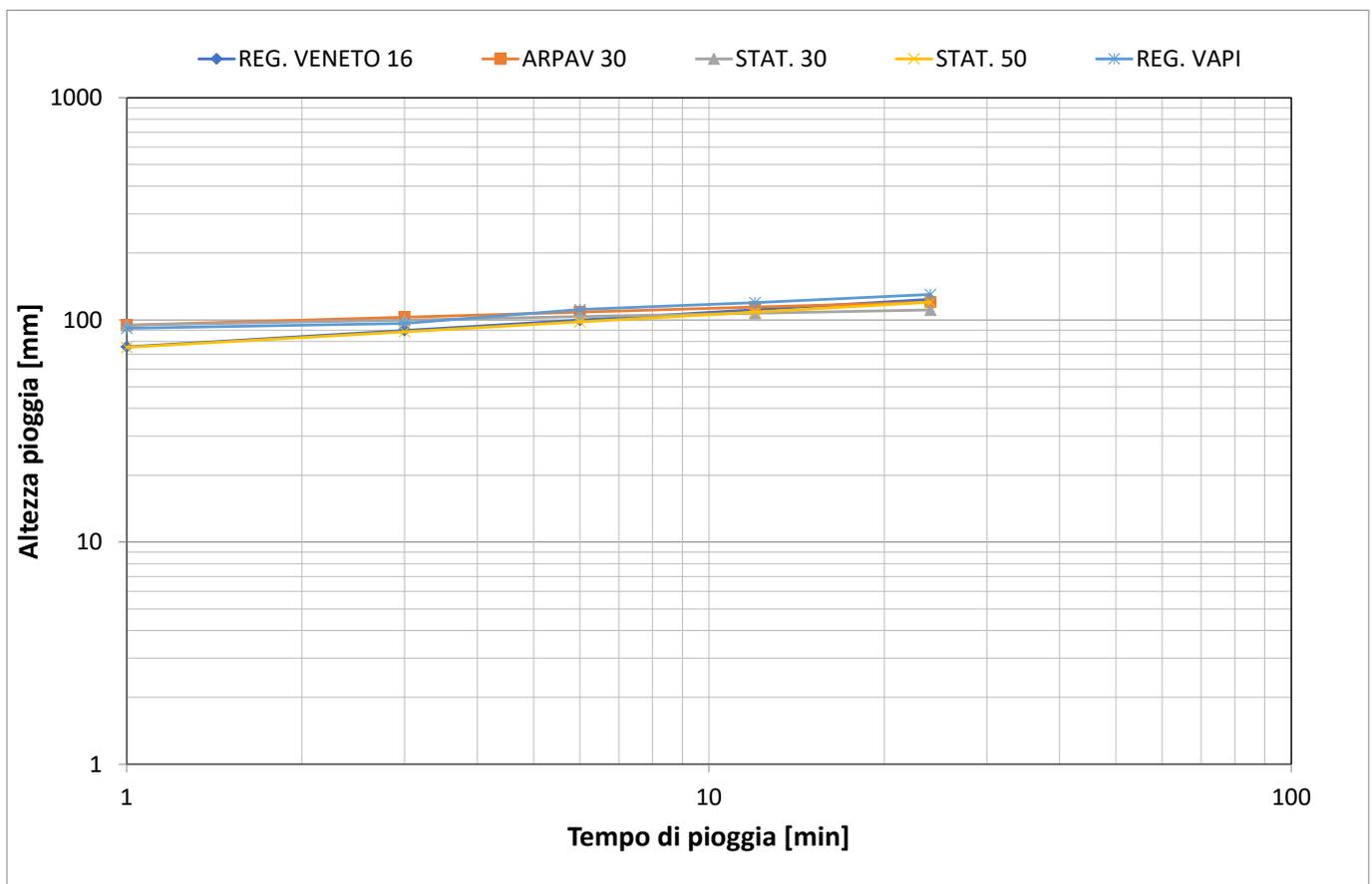


Figura 11: Valori di pioggia per durata precipitazione compresa tra 1h e 24h, Tr 50 anni

Tp (ore)	Altezza di pioggia (mm)				
	REG. VENETO 16	REG. VAPI 30	ARPAV 30	STAT. 30	STAT. 50
<b>1</b>	75.64	91.59	94.76	<b>94.56</b>	75.26
<b>3</b>	89.68	96.32	102.90	<b>99.90</b>	88.45
<b>6</b>	99.85	111.35	108.39	<b>103.42</b>	97.94
<b>12</b>	111.18	119.62	114.17	<b>107.07</b>	108.44
<b>24</b>	123.79	130.11	120.27	<b>110.85</b>	120.08

**Tabella 43: Valori di pioggia per durata precipitazione compresa tra 1h e 24h, Tr 100 anni**

**Figura 12: Valori di pioggia per durata precipitazione compresa tra 1h e 24h, Tr 100 anni**

Considerando valide anche per i dati in oggetto le motivazioni formulate nel paragrafo precedente, i valori di pioggia di progetto da considerare corretti, per tempi di pioggia compresi tra 1 e 24 ore, sono quelli calcolati con l'analisi statistica sul dataset di 30 anni.

Come nel paragrafo precedente, anche in questo caso i valori di pioggia calcolati con il metodo della regionalizzazione sono da considerarsi poco calati sulla realtà, sia nel caso di quelli calcolati nella regionalizzazione elaborata dalla Regione Veneto, sia nel caso di quelli calcolati con il metodo VAPI.



**LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA**  
**LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA**  
**NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST**

TITOLO ELABORATO

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	44 di 51

I valori di pioggia considerati rappresentativi per il progetto in esame, per durate di pioggia lunghe (maggiori a 12 ore), sono leggermente più bassi di quelli calcolati con gli altri metodi, ma tale differenza non è comunque troppo marcata. Da notare che, al contrario, i valori per durate di pioggia minori (1 e 3 ore) risultano quasi sempre maggiori a quelli calcolati con gli altri metodi, e ciò è sicuramente un punto fondamentale, in quanto sono proprio le durate di pioggia più importanti nel contesto del presente lavoro.

## 6 PARAMETRI DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI PROGETTO

Di seguito sono sintetizzati nelle tabelle seguenti i valori dei parametri  $a$  ed  $n$  di progetto, sia per la durata di precipitazione sub-oraria che per la durata da 1 a 24 ore, per i tempi di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni.

Durata < 1h				
$T_r$	25 anni	50 anni	100 anni	200 anni
$a$	71.17	79.91	88.58	97.23
$n$	0.535	0.540	0.543	0.546

Tabella 44: Parametri  $a$  ed  $n$  per durata precipitazione < 1h

Durata > 1h				
$T_r$	25 anni	50 anni	100 anni	200 anni
$a$	74,53	84,58	94,56	104,50
$n$	0,074	0,061	0,050	0,042

Tabella 45: Parametri  $a$  ed  $n$  per durata precipitazione > 1h

	<b>LINEA AV/AC MILANO - VENEZIA</b> <b>LOTTO FUNZIONALE TRATTA AV/AC BRESCIA EST - VERONA</b> <b>NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST</b>					
	TITOLO ELABORATO	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IN10	10	D26RH	ID 00 01 001	A	46 di 51

## 7 CONSIDERAZIONI IN RELAZIONE AL FENOMENO DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI

Nell'ambito della presente relazione, risulta particolarmente indicato realizzare un breve excursus sul tema dei cambiamenti climatici, che oramai non può più essere considerato solamente emergente, come dimostra il riscaldamento globale e gli eventi estremi accaduti in molte parti del mondo.

Il cambiamento climatico per un determinato sito o territorio può essere definito in due modi diversi e, per molti aspetti, complementari, ovvero:

- come variazione significativa negli indici statistici che caratterizzano una o più variabili meteorologiche;
- come variazione significativa nella frequenza e persistenza dei tipi di tempo atmosferico.

Tali variazioni possono essere “forzate” e cioè indotte da modifiche intervenute nei fattori naturali o antropici del clima (ad esempio cambiamenti nell'uso del suolo, modificazione nella composizione atmosferica, ecc.) oppure “non forzate” e cioè frutto della variabilità interna al sistema climatico che, essendo un sistema turbolento ed intrinsecamente caotico, è soggetto a tali fenomeni.

### 7.1 Valutazioni sulla base dei dati storici

Un'interessante analisi del clima della zona è riportata nell'Atlante climatico del Veneto, redatto dall'ARPAV una decina di anni fa e concernente, tra le altre cose, le variazioni di temperatura e precipitazione tra il trentennio 1961-1990 e il trentennio 1981-2010. Per quel che riguarda le precipitazioni, sono stati elaborati i dati della rete di stazioni pluviometriche gestite dall'Agenzia, per indagare e cercare di capire se fosse possibile o meno individuare due trend distinti tra i due periodi considerati.

Contrariamente a ciò che si sarebbe portati a pensare in base all'opinione pubblica, ovvero che gli eventi estremi siano aumentati repentinamente negli ultimi anni, le analisi realizzate dall'Agenzia non individuano una grande differenza tra i due periodi considerati. Dalle conclusioni del lavoro infatti, suddivise per stagione (autunno, inverno, primavera ed estate), emerge come le precipitazioni annue siano sostanzialmente rimaste inalterate, con minime aree del territorio regionale che hanno registrato una diminuzione o un aumento nell'ordine massimo di 100 mm. In particolare, le precipitazioni medie invernali ed estive sono diminuite leggermente su gran parte del territorio regionale, mentre quelle primaverili ed autunnali sono rimaste abbastanza stazionarie, con limitati scostamenti in determinate zone.

È necessario puntualizzare però che tale documento non prende in considerazione gli eventuali trend relativi agli eventi singoli, come i temporali estivi, ma solamente quelli delle precipitazioni medie annuali e stagionali. Volendo quindi analizzare anche tali eventi, che risultano inoltre essere maggiormente rappresentativi nel contesto del presente lavoro, è stata realizzata un'analisi statistica sui dati degli scrosci intensi elaborati da ARPAV, per arrivare a definire se sia presente un trend statisticamente significativo.

Nel grafico visibile di seguito sono stati plottati i punti relativi alle misure di precipitazione sub-oraria degli ultimi 30 anni, ed è stata elaborata una linea di tendenza di tipo lineare per ogni durata di precipitazione (5, 10, 15, 30 e 45 minuti).

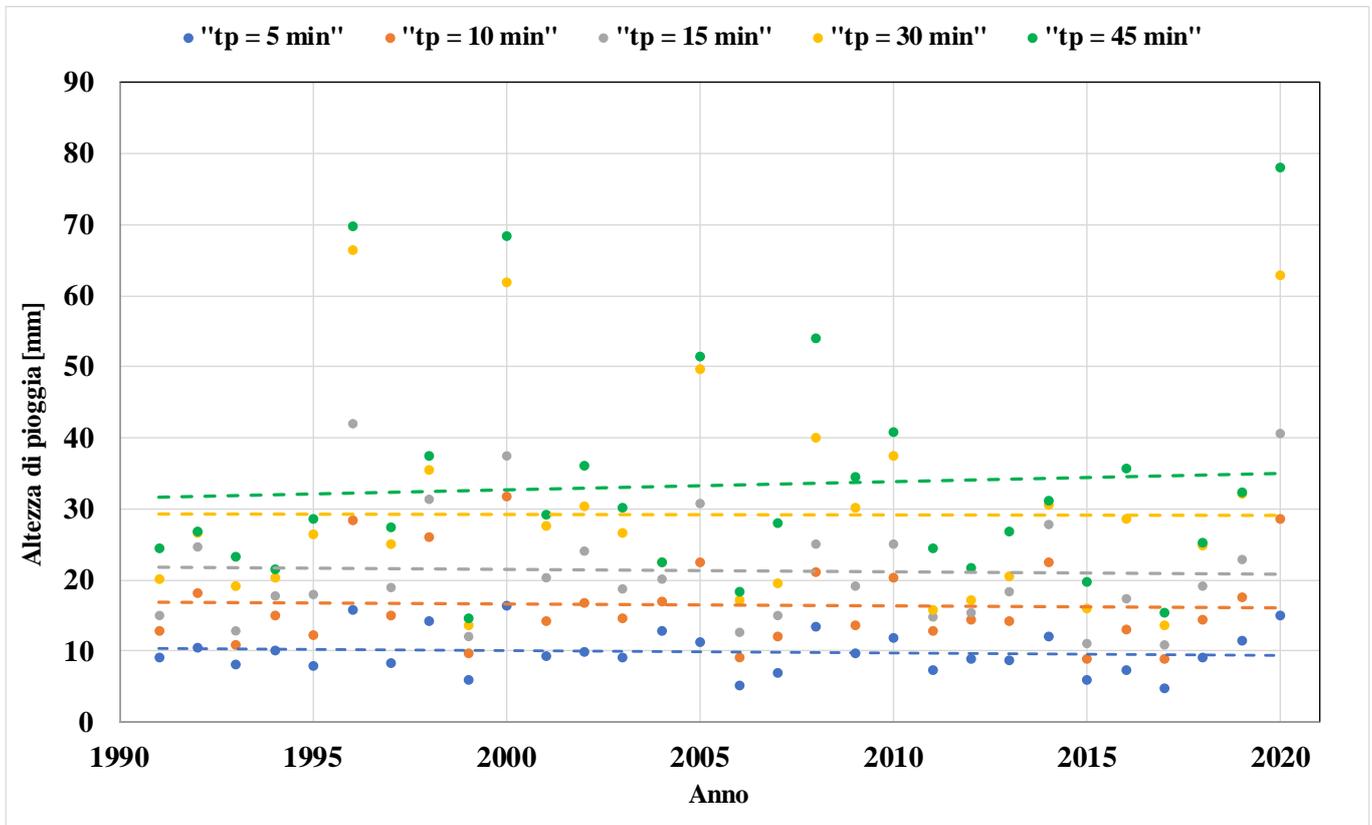


Figura 13: Grafico di comparazione delle linee di tendenza relative agli scrosci, periodo 1990-2020

Come risulta dal grafico, è abbastanza chiaro che non è presente una maggiore tendenza al manifestarsi di eventi di pioggia estremi, per nessuna delle durate di pioggia considerate. L'unica linea leggermente crescente è quella relativa al tempo di pioggia di 45 minuti, ma non si può certamente parlare di un netto cambio rispetto al passato. Per le durate di pioggia inferiori la tendenza è perfettamente stabile, con anzi un leggero decremento per le durate minori, comunque non significativo.

È necessario puntualizzare, inoltre, che tale analisi non tiene conto del numero di eventi intensi occorsi nello stesso anno, ma ciò non pregiudica la sua correttezza, in quanto quello considerato è comunque il dato più elevato misurato in quell'anno.

Seppur alcuni eventi, ad esempio quelli accaduti durante l'estate 2020 proprio nella zona di Verona, abbiano causato gravi danni e fatto registrare quantitativi cospicui di precipitazione, è necessario considerare che essi non possono essere definiti "fuori scala" o comunque eccezionali.

## 7.2 Valutazioni sulla base di modelli previsionali

La conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sulla osservazione delle variabili climatiche e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, mentre la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

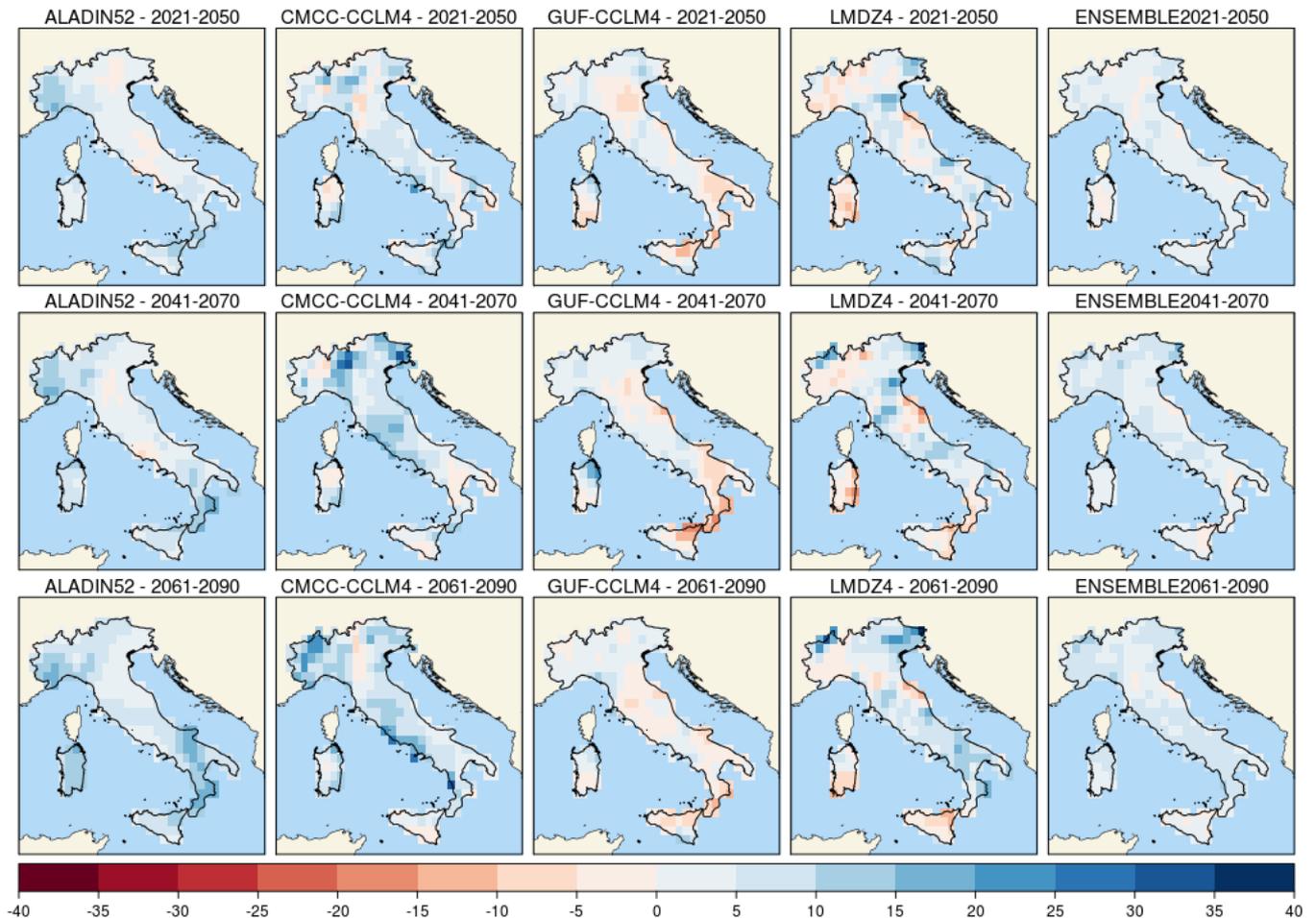
Tali proiezioni climatiche forniscono la probabilità con cui determinate variazioni del clima possono verificarsi nei prossimi decenni, in relazione a diverse possibili evoluzioni dello sviluppo socio-economico globale; esse sono quindi strettamente correlate a diversi andamenti di emissioni di gas climalteranti nell'atmosfera.

A tale proposito, l'*Intergovernmental Panel for Climate Change* (IPCC) ha recentemente ridefinito gli scenari futuri a scala globale (*Representative Concentration Pathways* – RCP), allo scopo di fornire informazioni sulla probabile evoluzione delle diverse componenti della forzante radiativa (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo), da utilizzare come input per i modelli climatici.

I quattro nuovi RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 (2.6 W/m<sup>2</sup> - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m<sup>2</sup> - RCP4.5 e 6 W/m<sup>2</sup> - RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m<sup>2</sup> - RCP8.5).

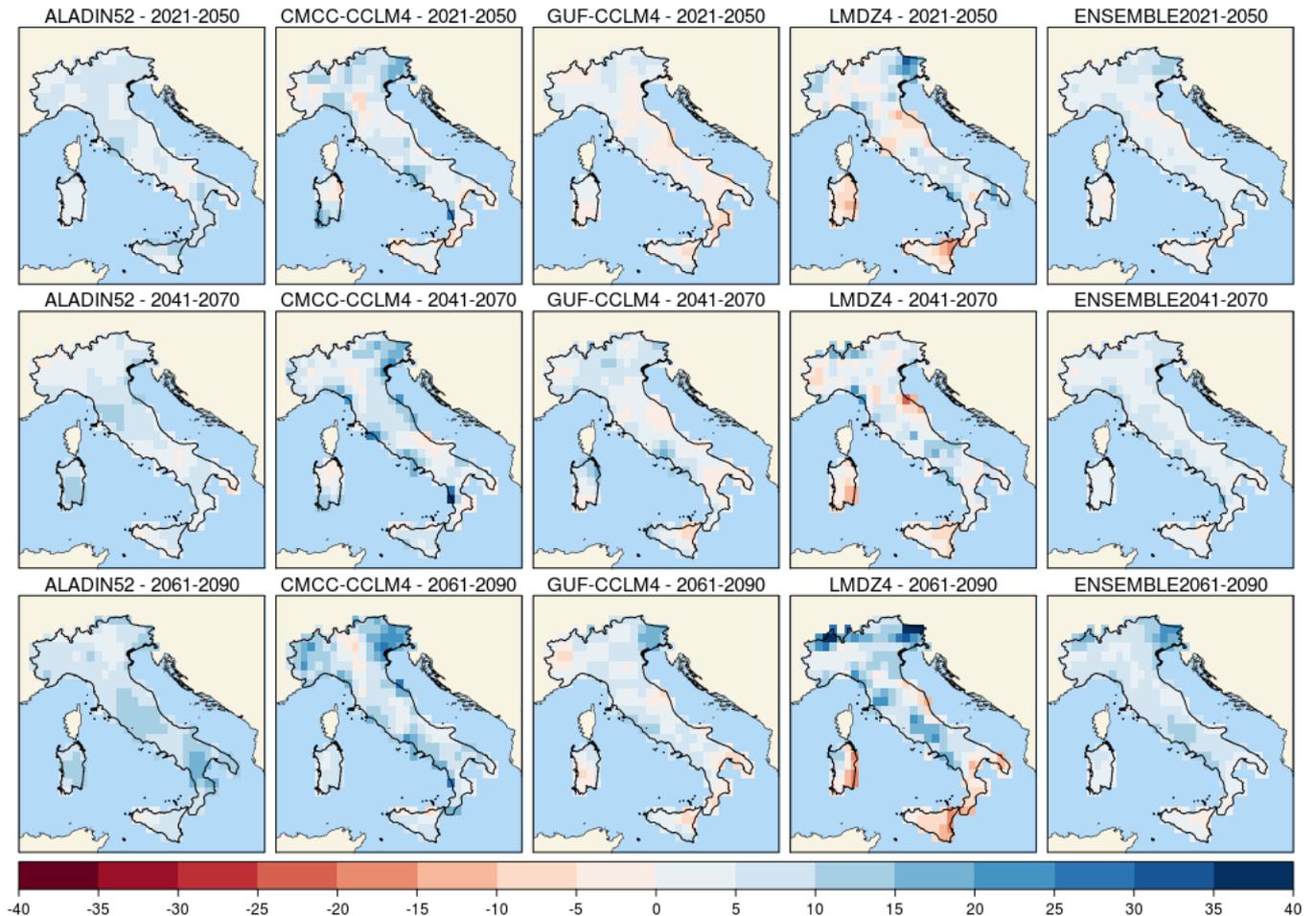
Recentemente l'ISPRA ha condotto l'analisi e il confronto tra le proiezioni climatiche in Italia più aggiornate prodotte da diversi modelli. (*“Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali”*, 2015). Dall'insieme degli output dei modelli climatici disponibili, sono state estratte e analizzate le proiezioni di precipitazione cumulata annuale fino al 2100 di quattro modelli (ALADIN, GUF, CMCC, LMD) e della loro media (ensemble) negli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. Nello specifico, sono stati selezionati i dati che ricoprono l'intero territorio nazionale e per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di precipitazione.

**RCP 4.5**



**Figura 14 – Variazioni di precipitazione massima giornaliera (mm) previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070, 2061-2090, scenario RCP 4.5**

**RCP 8.5**



**Figura 15 – Variazioni di precipitazione massima giornaliera (mm) previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050, 2041-2070, 2061-2090, scenario RCP 8.5**

Nella tabella seguente si riportano le variazioni di precipitazione massima giornaliera (h24) (rispetto al valore nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000), previste nell'area di intervento, per i tre orizzonti temporali: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, con riferimento ai due scenari RCP4.5 e RCP8.5, dedotte dalle mappe sopra riportate.

Periodo	Variazione $maxh_{24}$ (RCP4.5)	Variazione $maxh_{24}$ (RCP8.5)
<b>2021-2050</b>	+5-10 mm (LMDZ4)	+10-15 mm (ALADIN52)
<b>2041-2070</b>	+0-5 mm (CCLM4)	+0-5 mm (ALADIN52, CCLM4)
<b>2061-2090</b>	+5-10 mm (LMDZ4)	+10-15 mm (CCLM4)

**Tabella 46: Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell'area di intervento (ISPRA, 2015).**

Con riferimento al presente studio idrologico, la variazione massima di precipitazione giornaliera nell'area oggetto d'intervento prevista dai modelli ammonta a +10-15 mm nel trentennio 2061-2090, che corrisponderebbe ad un incremento della precipitazione massima giornaliera che non pregiudica le analisi effettuate con i modelli classici.

Alla luce di tutto ciò, i valori di pioggia di progetto calcolati nel precedente capitolo possono quindi considerarsi cautelativi ai fini della progettazione e del dimensionamento delle opere idrauliche.