Firmato digitalmente da
Paolo COSTA MEDICH

MITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

ALTA SORVEGLIANZA:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

GENERAL CONTRACTOR:

Consorzio Collegamenti Integrati Veloci

LEGGE N. 55 DEL 14/06/2019
TRATTA A.V./A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE VOLTRI - BRIGNOLE
PROGETTO DEFINITIVO
PRG DI GENOVA VOLTRI

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI	
Consorzio **Cociv** Ing. F. Poma		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
NG2Y	04	D	CV	RO	ID0000	001	A

PROGETTAZIONE:

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	PRIMA EMISSIONE	SYSTRA SWS	10/05/2023	COCIV	11/05/2023	P. Costa Medich	12/05/2023	Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Paolo Costa Medich Ordine Ingegneri Prov. TO n. 10306 X

	n. Elab.:	File: *NG2Y-04-D-CV-RO-ID00-00-001-A00*

CUP: F81H92000000008

INDICE

INDICE 3
1. INTRODUZIONE 4
2. RIFERIMENTI NORMATIVI 5
3. STUDIO IDROLOGICO 6
3.1 Scelta delle stazioni pluviometriche di riferimento 6
3.2 Analisi delle precipitazioni per durate orarie 6
3.2.1 Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche con Gumbel 6
3.2.2 Metodo VA.PI. dell'Italia Nord Occidentale per durate orarie 11
3.3 Analisi delle precipitazioni di breve durata 14
3.3.1 Stima dei parametri CPP – Formula di Bell 14
3.3.2 Metodo VA.PI. dell'Italia Nord Occidentale per durate suborarie 16
3.4 Considerazioni conclusive 18
4. EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI 19
4.1 I cambiamenti climatici in Italia 19
4.2 I cambiamenti climatici a scala distrettuale 21
4.3 Revisione degli input pluviometrici di progetto 22

1. INTRODUZIONE

Il Progetto del PRG di Genova Voltri rientra nel perimetro del progetto "Potenziamento Infrastrutturale Genova Voltri-Genova Brignole", a sua volta ricompreso nel più esteso "Progetto Unico del Terzo Valico dei Giovi e Nodo di Genova".

Obiettivo del progetto è il potenziamento del fascio merci con la realizzazione di 7 binari a 750m e la realizzazione della nuova stazione di Genova Voltri e della nuova fermata di Genova Prà-Palmaro.

Il progetto si svilupperà in 2 macrofasi principali.

In particolare, la presente relazione costituisce l'analisi idrologica generale del progetto.

L'analisi idrologica permette di determinare i parametri delle curve di possibilità pluviometrica, ossia le altezze di pioggia al variare del tempo di ritorno e del tempo di pioggia con le quali dimensionare i sistemi di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche.

Al fine di stimare le curve di possibilità pluviometrica si è fatto riferimento sia alle serie storiche dei dati meteoclimatici della zona oggetto di intervento sia al metodo di regionalizzazione delle precipitazioni contenute nel metodo VA.PI.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme in vigore a livello nazionale e/o europeo:

- Piano di gestione del Rischio di Alluvioni (P.G.R.A.), Regione Liguria,
- aggiornamento: 20/12/2021;
- Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Liguria;
- R.D. 25/07/1904, n. 523 - "Testo unico delle disposizioni di alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- R.D. 27/07/1934, n. 1265 - "Testo unico delle leggi sanitarie";
- Circolare 07/01/1974, n. 11633 – "Istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque di rifiuto";
- D.M. 12/12/1985 - "Normativa tecnica per le tubazioni";
- Circolare 20/03/1986, n. 27291 – "Istruzioni relative alla normativa tecnica per le tubazioni";
- L.R. 15/05/1986, n. 27 – "Disciplina degli scarichi delle pubbliche fognature e degli scarichi degli insediamenti civili che non recapitano nelle pubbliche fognature e modifiche alla L.R. 18/06/1977, n. 39 e s.m.i.".
- L. 18/05/1989, n. 183 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo";
- D.lgs. 03/04/ 2006, n. 152 - "Norme in materia ambientale" e s.m.i.;
- D.lgs. 16/01/2008, n. 4 - "Codice dell'Ambiente" (modificazioni ed integrazioni al D.lgs. 152/2006, entrato in vigore il 13/02/2008);
- D.M. 04/04/2014 - "Norme Tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto";
- Manuale di Progettazione RFI – Edizione dicembre/2020;
- Piano di gestione del rischio di alluvione (PGRA) – Distretto Appennino Settentrionale.

3. STUDIO IDROLOGICO

Lo studio idrologico dell'area di interesse si basa sull'analisi delle precipitazioni dei dati ricavati dal sito www.ambienteinliguria.it della Regione Liguria (http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraQualMeteo/script/PubAccessoDatiMeteo.asp) e dagli Annali Idrologici disponibili sul sito www.arpal.liguria.it.

3.1 Scelta delle stazioni pluviometriche di riferimento

La distribuzione spaziale delle piogge è stata valutata mediante il metodo dei poligoni di Thiessen o topoieti, che assegna ad ogni stazione pluviometrica un'area di influenza.

L'area viene definita a partire dal tracciamento della maglia triangolare che collega i punti identificativi delle stazioni; l'insieme delle linee ortogonali passanti per il punto medio delle rette di collegamento delle stazioni permette di costruire i topoieti. A tutta la superficie del topoieto si assegna la stessa precipitazione cumulata misurata nella stazione pluviometrica da esso contenuta. Nel caso in esame tutto l'intervento ricade all'interno del poligono di Thiessen riferito alla stazione Madonna delle Grazie.

Di seguito viene riporta la maglia dei topoieti con indicazione dell'area di intervento.



Figura 3.1 Distribuzione spaziale con poligoni di Thiessen e relative stazioni pluviometriche con indicazione dell'area di intervento

3.2 Analisi delle precipitazioni per durate orarie

3.2.1 Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche con Gumbel

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:

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

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

I parametri α 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 α e u calcolati con tale metodo risultano:

$$\alpha = \frac{\pi}{\sqrt{6}\cdot\sigma(h)}$$

ed

$$u = \mu(h) - \frac{\gamma}{\alpha}$$

γ= 0.572 (costante di Eulero)

$$\sigma^2(h) = \frac{\sum_i [h_i - \mu(h)]^2}{N-1}$$ (varianza campionaria)

$$\mu(h) = \frac{\sum_i (h_i)}{N}$$ (media campionaria)

Il metodo della massima verosimiglianza consiste nell'attribuire ai parametri α e u della distribuzione di Gumbel i valori che rendono massima la funzione di verosimiglianza, definita in base alla probabilità di osservare una data 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 α 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 X2 e la soglia X2*. Il metodo consiste nello suddividere il campione N di dati in k intervalli equiprobabili, indicando con Ni il numero di dati che ricade nell'intervallo Xi-1 - Xi ed con Npi 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:

Npi >= 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 livello di significatività e calcolato in base a questo il valore X2*, si individuano la regione di accettazione e quella di rifiuto; se X2<X2* 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.

Mediante la serie storica dei massimi di altezza di precipitazione per diversi tempi di pioggia disponibile per la stazione di Madonna delle Grazie, dal sito www.ambienteinliguria.it e dagli Annali Idrologici, riportata in

Tabella 1 sono stati ricavati mediante il metodo dei momenti, risultato il migliore al Test di Pearson, i parametri α ed u della legge di Gumbel per i vari tempi di precipitazione.

Anno	Tempo di pioggia [h]				
	1	3	6	12	24
1951	50.2	52	68	99.4	110.4
1952	54	61.2	64.2	76.2	88
1959	54.4	81.6	115.4	201.4	284.6
1961	24	51.4	75	114	154.4
1962	26	57	107	126	146.8
1965	39.6	62.4	68.4	72.2	82.6
1967	29.4	38.2	44.2	58.2	58.2
1968	20	43	52.4	60	74.8
1969	15	25.8	38.4	47.2	48.2
1971	28	43	53	83.2	112
1972	43	92	99	102.4	102.4
1973	35	56.4	70	79	88.6
1974	20	38	46.6	53	81.4
1975	29	43.4	50	76.4	91
1976	26.1	35.1	40	58.6	104.8
1977	40	60.2	103	103	151
1978	20	32	36.2	47	63.4
1979	40.2	43	43	48.2	58.2
1980	19.6	38	61	78.2	85.4
1985	16.2	30.6	43.4	57	85
1986	16	28	30.6	37.2	55.4
1987	19.4	44.8	62.4	76.6	105
1988	21.4	35.2	35.2	40.8	46.2
1989	31	69	100.4	109	126
1990	30.2	51.2	54.2	84	87.4
1991	69.6	173	178	235	251
1992	36.4	43	51.8	88	121.6
1993	-	-	-	-	-
1994	58.8	67	102.8	123.4	134.8
1995	80	192	237	251	256.6
1996	33	69	85	112.8	134
1997	92.6	127.4	155.4	172.6	177.8
2001	28.4	39	40	45.4	50.4
2002	-	-	-	-	-
2003	35.8	75.4	104.8	135.8	154.6
2004	100.2	148.8	155.8	155.8	168.8

2005	85.8	120.4	121.6	122	122.2
2006	73.6	102	117.6	143.6	206.2
2007	-	-	-	-	-
2008	52.4	57.2	61	79.2	85.8
2009	39.2	64.6	103.6	120.8	129.6
2010	97.6	143.2	165.4	187.8	300.8
2011	27.4	34.8	39.4	43.6	58.8
2012	44	55.4	59.8	91.4	116.8
2013	47.4	74.4	82.2	83.4	107
2014	109	127.4	134.8	185.8	202
2015	51.4	60	69.4	74.2	93.6
2016	76.4	124	166	217.4	238.6
2017	30.4	38.6	63.6	98.2	118.6
2018	45.4	78.6	99.2	149	199.6
2019	88.6	168.8	303	379	389
2020	28.2	57.8	60.4	60.8	67
2021	27.6	50.2	61	80.6	100.2

Tabella 1: Serie storica dei massimi di precipitazione annuali per i diversi tempi di pioggia presso la stazione Madonna delle Grazie.

	Tempo di pioggia [h]				
	1	**3**	**6**	**12**	**24**
a	0.052	0.031	0.024	0.020	0.018
u	32.931	51.575	63.208	79.081	96.755

Tabella 2: Parametri a e u della distribuzione di Gumbel.

Sono dunque state determinate invertendo la funzione di distribuzione di Gumbel le altezze di precipitazione relative ai tempi di pioggia sopra riportati e per i tempi di ritorno di 25,50,100, 200 e 500 anni, che attraverso una relazione bilogaritmica permettono di ricavare i parametri a ed n necessari a rappresentare le altezze di precipitazione mediante la legge $h=at^n$.

TP	**TR**				
	25	**50**	**100**	**200**	**500**
1	95.02	108.67	122.23	135.73	153.55
3	154.15	176.70	199.09	221.40	250.83
6	198.29	228.00	257.49	286.87	325.63
12	242.04	277.88	313.45	348.90	395.66
24	278.34	318.27	357.91	397.40	449.51

Tabella 3: Altezze di precipitazione calcolate per ogni tempo di ritorno considerato e per ogni tempo di precipitazione, mediante l'inversione della funzione di distribuzione.

Parametri curve LSPP t>1h		
Tr(Anni)	**a(mm/h)**	**n**
25	101.21	0.341
50	115.96	0.341
100	130.63	0.341
200	145.18	0.341
500	164.43	0.342

Tabella 4: Parametri a ed n per i vari tempi di ritorno considerati.

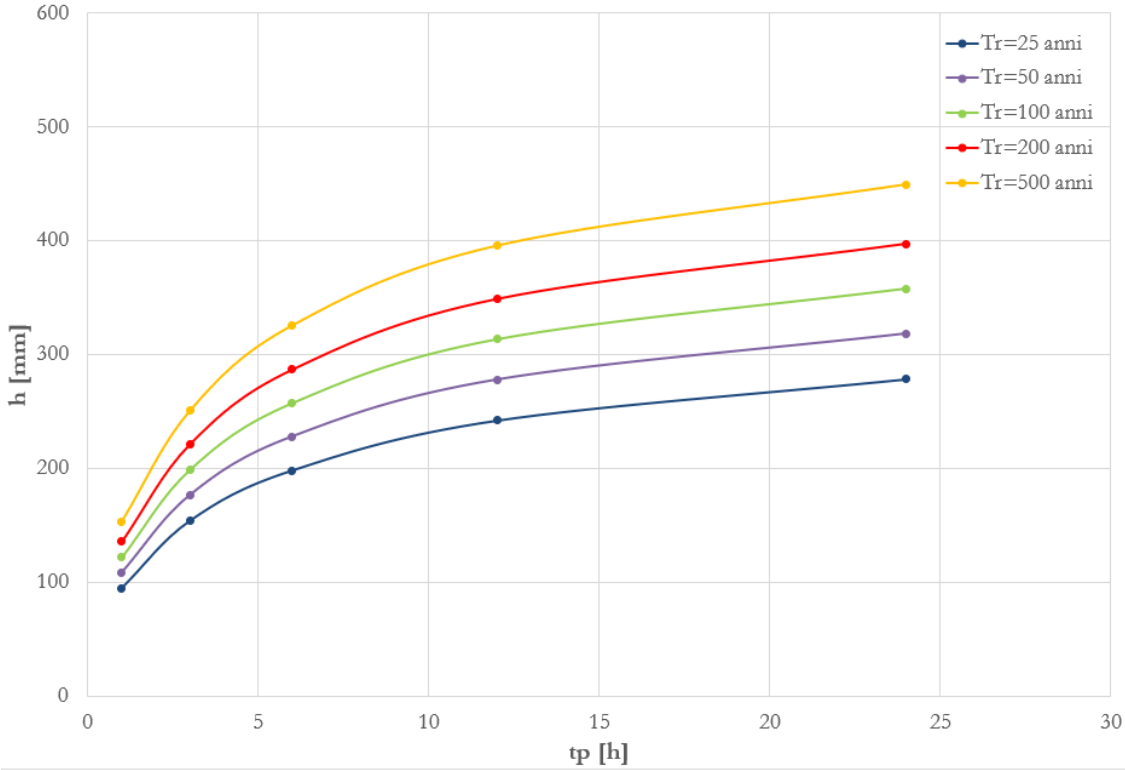


Figura 3.2 LSPP ottenute mediante analisi statistica per le piogge di durata superiori all'ora per tempi di ritorno differenti

3.2.2 Metodo VA.PI. dell'Italia Nord Occidentale per durate orarie

Come emerso nel precedente studio di fattibilità tecnico-economica, nell'ambito del progetto VA.PI. l'Università di Genova ha prodotto un aggiornamento di tali dati e prodotto nuove elaborazioni.

I parametri per la costruzione locale delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica sono stati stimati per le 103 stazioni del Data Base validato caratterizzate da un numero di osservazioni uguale o superiore a 20 anni. Le Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica per le durate orarie e superiore sono state determinate utilizzando la forma monomia nell'ipotesi di modello probabilistico scala invariante:

$$h_T(d) = a_1 w_T d^n$$

dove a_1[mm/hn] rappresenta il coefficiente di scala delle LSPP ed è pari al valore atteso della pioggia massima annuale per la durata di riferimento assunta pari ad un'ora (pioggia indice), wT è il fattore di crescita ed n rappresenta l'esponente di scala adimensionale con cui la variabilità del fenomeno si trasmette dalla scala di riferimento alle altre scale temporali.

Il fattore di crescita, ovvero il quantile normalizzato della curva di crescita, viene valutato a livello locale nell'ipotesi di una distribuzione di tipo GEV (*Generalized Extreme Value*):

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k}\{1 - [ln(T/(T-1))]^k\}$$

dove T rappresenta il periodo di ritorno [anni]; ed ε,α e k indicano rispettivamente i parametri di posizione, scala e forma della distribuzione.

Nella tabella relativa ai parametri delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica per le durate orarie e superiori è riportato per ciascuna stazione il nome della località (in analogia a quanto riportato nel DB validato); le coordinate geografiche; la numerosità delle osservazioni; ed i parametri: esponente di scala n[-]; pioggia indice a_1[mm/hn]; parametri per la valutazione del fattore di crescita k,α,ε.

Stazione	Quota [m slm]	Long	Lat	N	n [-]	a_1 [mm/h^n]	κ [-]	α [-]	ε [-]
Madonna delle Grazie	145	8.74155	44.43429	45	0.326	46.7	-0.156	0.347	0.737

Con tali valori è stato possibile calcolare le altezze di precipitazione per ogni tempo di pioggia e tempo di ritorno indagato.

TP	TR [anni]				
	25	50	100	200	500
1	101.81	121.42	143.37	167.65	204.55
3	145.65	173.71	205.11	239.86	292.64
6	182.58	217.75	257.12	300.67	366.83
12	228.87	272.96	322.31	376.90	459.84
24	286.89	342.17	404.02	472.45	576.42

Tabella 5: Altezze di precipitazione calcolate per ogni tempo di ritorno considerato e per ogni tempo di precipitazione, mediante l'utilizzo della pioggia indice a_1 fornita.

Qualora si disponga di serie storiche lunghe, è opportuno definire l'altezza di precipitazione indice come media dei valori delle massime altezze di pioggia ad assegnato durata della precipitazione.

TP	TR [anni]				
	25	50	100	200	500
1	96.23	114.76	135.51	158.46	193.33
3	137.67	164.19	193.87	226.71	276.60
6	172.57	205.82	243.02	284.19	346.72
12	216.32	258.00	304.64	356.24	434.63
24	271.17	323.41	381.87	446.56	544.82

Tabella 6: Altezze di precipitazione calcolate per ogni tempo di ritorno considerato e per ogni tempo di precipitazione, mediante l'utilizzo della pioggia indice a_1 calcolata.

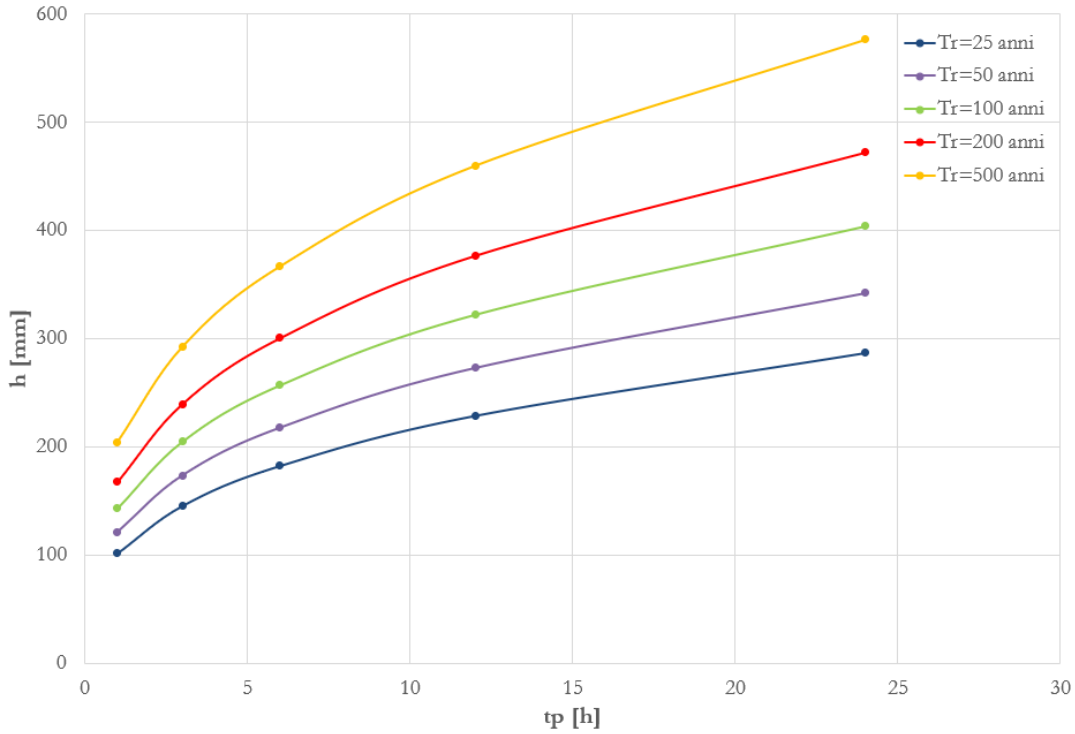


Figura 3.3 LSPP ottenute mediante applicazione della metodologia VAPI per le piogge di durata superiori all'ora per tempi di ritorno differenti (altezza indice fornita).

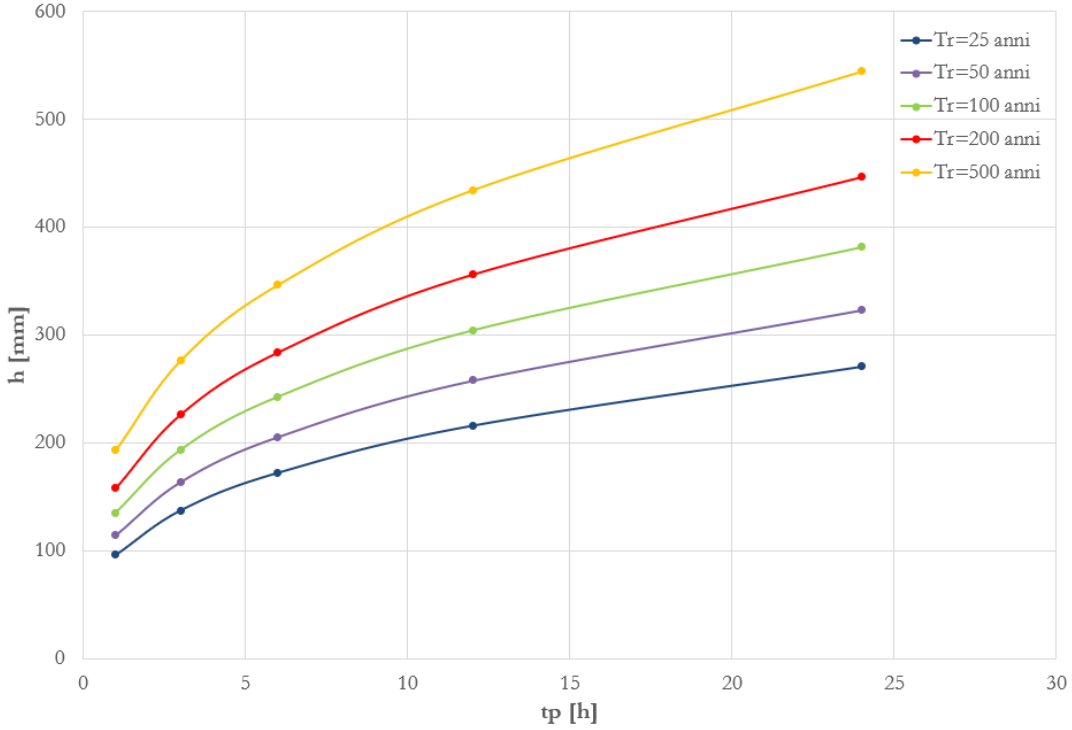


Figura 3.4 LSPP ottenute mediante applicazione della metodologia VAPI per le piogge di durata superiori all'ora per tempi di ritorno differenti (altezza indice calcolata).

3.3 Analisi delle precipitazioni di breve durata

3.3.1 Stima dei parametri CPP – Formula di Bell

In bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di corrivazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni da utilizzare nel dimensionamento dei drenaggi e degli smaltimenti sono i cosiddetti scrosci, ovvero precipitazioni intense e con tempi di pioggia inferiori all'ora. L'utilizzo della legge valida per durate maggiori dell'ora risulta spesso troppo cautelativo e poco rappresentativo. Nel caso oggetto della presente relazione per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica per tempi inferiori ad un'ora, è stata utilizzata la formula di Bell (GeneralizedRainfallDurationFrequencyRelationship" – Journal of the HydraulicsDivision – Proceedings of american Society of CivilEngineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969), riportata di seguito:

$$\frac{h_{\tau,T_r}}{h_{60,T_r}} = (0.54 * \tau^{0.25} - 0.50)$$

dove:

h_τ,Tr è l'altezza di pioggia espressa in mm di una durata τ e tempo di ritorno Tr;

h_{60},Tr è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora, con periodo di ritorno Tr;

τ è la durata di pioggia espressa in minuti.

Quindi le altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora (5< τ <60 min) sono valutabili a partire dai parametri della curva LSPP per d>1h (parametro a = $h60,Tr$), riportate nei paragrafi precedenti, applicando la formula di Bell sopra riportata.

TP [min]	TR [anni]				
	25	50	100	200	500
5	29.22	33.42	37.58	41.74	47.21
10	43.74	50.02	56.26	62.47	70.67
15	53.47	61.15	68.78	76.38	86.40
30	72.58	83.00	93.36	103.67	117.28
45	85.39	97.66	109.84	121.97	137.98

Tabella 7: Altezze di precipitazione calcolate per ogni tempo di ritorno considerato e per ogni tempo di precipitazione, mediante l'applicazione della formula di Bell.

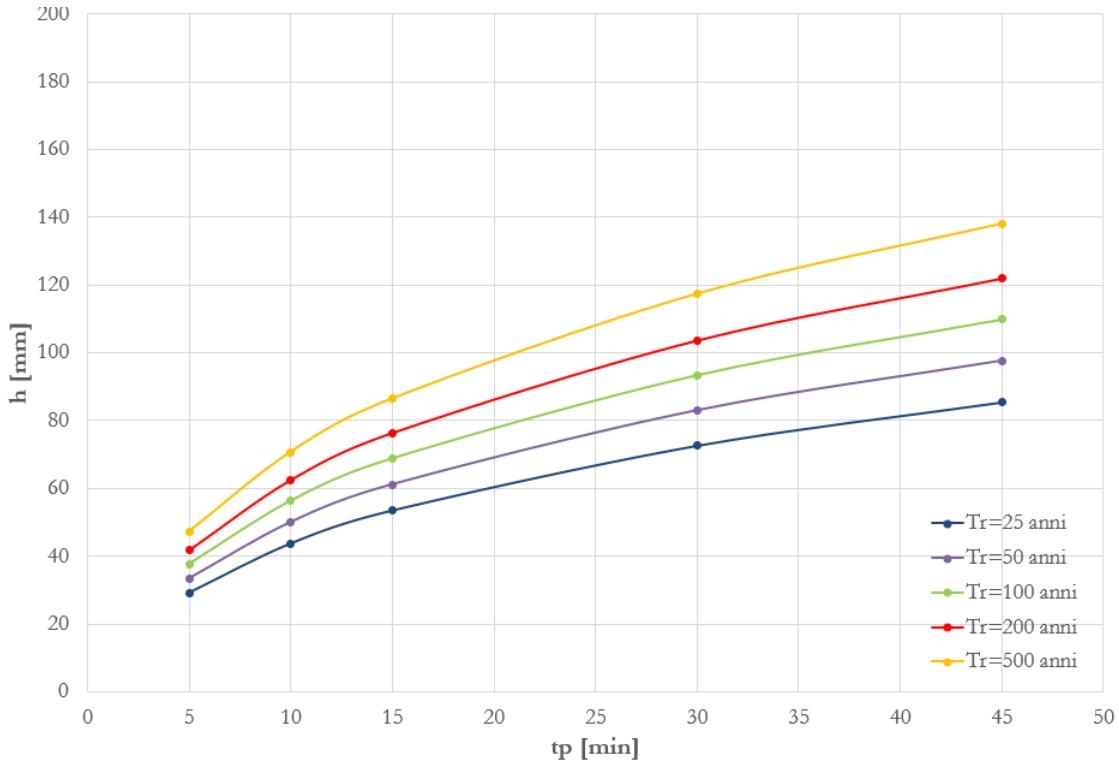


Figura 3.5 LSPP ottenute mediante analisi statistica per gli scrosci e per tempi di ritorno differenti

Note le altezze di pioggia riportate in Tabella 7 attraverso la rappresentazione logaritmica, le coppie altezza di pioggia-durata vengono regolarizzate con l'equazione di una retta dove il termine noto indica il parametro a e il coefficiente angolare rappresenta il parametro n, riportati di seguito.

Parametri curve LSPP t<1h		
Tr(Anni)	**a(mm/h)**	**n**
25	101.11	0.484
50	115.64	0.484
100	130.07	0.484
200	144.44	0.484
500	163.39	0.484

Tabella 8: Parametri a ed n per i vari tempi di ritorno considerati.

3.3.2 Metodo VA.PI. dell'Italia Nord Occidentale per durate suborarie

Nello studio di fattibilità tecnico economica redatto nel 2022 risulta che i parametri per la costruzione locale delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica di breve durata sono stati stimati per 51 stazioni del Data Base validato caratterizzate da un numero di osservazioni sub-orarie uguale o superiore a 10 anni.

A differenza delle durate orarie e superiori (di seguito indicate sinteticamente come canoniche), per descrivere l'andamento della Linea Segnalatrice di Possibilità Pluviometrica nel campo delle brevi durate si è fatto riferimento ad una curva a 3 parametri che consente di definire un valore di intensità di precipitazione limite per durate infinitesime. Al tempo stesso, in continuità con le curve relative alle durate canoniche, si è assunto valido il modello probabilistico scala invariante anche nel campo delle durate sub-orarie. Sulla base delle precedenti considerazioni, Le Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica per le durate sub-orarie sono state descritte utilizzando la seguente forma analitica:

$$h_T(d) = \frac{i_0 d}{(1+Bd)^{\beta}} w_T$$

dove io [mm/h] rappresenta il valore limite dell'intensità di precipitazione, B [h-1] determina il tasso di crescita dell'altezza di precipitazione per le brevi durate, β rappresenta l'esponente di scala adimensionale e wT il fattore di crescita.

Il fattore di crescita viene valutato a livello locale nell'ipotesi di una distribuzione di tipo GEV (*Generalized Extreme Value*)

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k}\{1 - [ln(T/(T-1))]^k\}$$

dove T rappresenta il periodo di ritorno [anni]; ed ε,α e k indicano rispettivamente i parametri di posizione, scala e forma della distribuzione. Tenuto conto della limitata estensione temporale delle

serie di osservazioni pluviometriche sub-orarie, si ritengono validi i parametri locali stimati a partire dalle serie canoniche. Pertanto, le curve di crescita normalizzate stimate a livello locale per le durate canoniche vengono estese anche alle durate sub-orarie.

Nella tabella relativa ai parametri delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica per le durate sub-orarie è riportato per ciascuna stazione il nome della località (in analogia a quanto riportato nel DB validato); le coordinate geografiche; la numerosità delle osservazioni; ed i parametri: valore limite dell'intensità di precipitazione io [mm/h]; tasso di crescita dell'altezza di precipitazione per le brevi durate B [h-1]; esponente di scala β [-]; parametri per la valutazione del fattore di crescita k,α,ε.

Stazione	Quota [m slm]	Long	Lat	N	I_0 [mm/h]	B [h^{-1}]	β [-]	κ [-]	α [-]	ε [-]
Madonna_Grazie	145	8.74155	44.43429	16	130.4	2.34	0.851	-0.156	0.347	0.737

TP	TR				
	25	**50**	**100**	**200**	**500**
0.08	20.36	24.28	28.67	33.52	40.90
0.17	35.80	42.70	50.41	58.95	71.93
0.25	48.02	57.28	67.63	79.08	96.49
0.50	73.52	87.68	103.53	121.06	147.70
0.75	90.00	107.34	126.75	148.21	180.83

Tabella 9: Altezze di precipitazione calcolate per ogni tempo di ritorno considerato e per ogni tempo di precipitazione, mediante l'utilizzo della pioggia indice i_0 fornita.

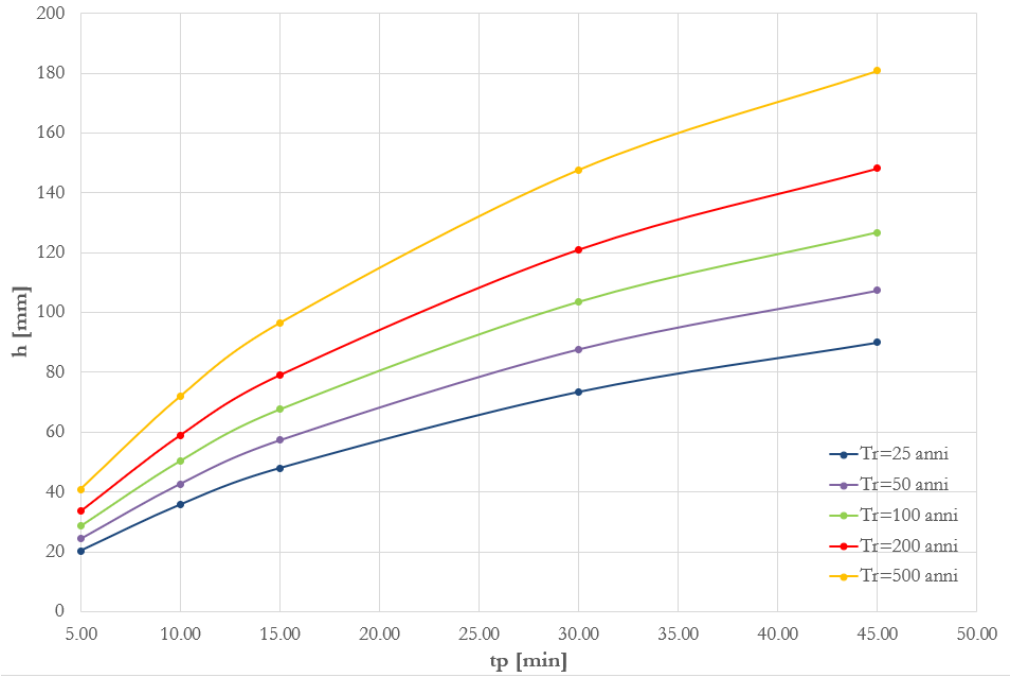


Figura 3.6 LSPP ottenute con metodologia VAPI per gli scrosci e per tempi di ritorno differenti.

3.4 Considerazioni conclusive

Dal confronto delle altezze di pioggia di progetto ottenute attraverso l'elaborazione statistica dei dati storici e mediante l'applicazione del metodo VA.PI. emerge come, nel caso in esame, quest'ultimo fornisca valori di pioggia maggiori.

Tuttavia, laddove si disponga di serie storiche lunghe e la stazione pluviometrica di riferimento disti pochi chilometri dall'area in esame, è preferibile fare affidamento sui risultati delle elaborazioni statistiche sito specifiche.

Nelle tabelle seguenti vengono sintetizzati i valori dei parametri *a* e *n* di progetto, sia per la durata di precipitazione sub-oraria che per le durate da 1 a 24 ore, per i tempi di ritorno analizzati.

Parametri curve LSPP t<1h		
Tr(Anni)	**a(mm/h)**	**n**
25	101.11	0.484
50	115.64	0.484
100	130.07	0.484
200	144.44	0.484
500	163.39	0.484

Tabella 10: Parametri a ed n per durata precipitazione <1h.

Parametri curve LSPP t>1h		
Tr(Anni)	**a(mm/h)**	**n**
25	101.21	0.341
50	115.96	0.341
100	130.63	0.341
200	145.18	0.341
500	164.43	0.342

Tabella 11: Parametri a ed n per durata precipitazione >1h.

4. EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI

4.1 I cambiamenti climatici in Italia

Nell'ambito della presente relazione, risulta indicato valutare gli effetti dei cambiamenti climatici, che rappresentano una delle sfide più rilevanti del nostro tempo. Gli studi più autorevoli evidenziano che l'Europa meridionale e l'area mediterranea dovranno fronteggiare nei prossimi anni gli impatti più significativi dei cambiamenti climatici e saranno fra le aree più a rischio del pianeta, in particolare per l'aumento delle temperature, la variazione delle precipitazioni e la maggiore frequenza ed intensità di eventi estremi (ondate di calore, alluvioni improvvise, siccità, incendi ecc.).

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.

Mentre la conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sull'osservazione delle variabili climatiche e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, 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 socioeconomico globale; esse sono quindi strettamente correlate a diversi andamenti di emissioni di gas climalteranti nell'atmosfera.

I modelli climatici possono essere classificati in due categorie, globali e regionali, che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro.

I quattro nuovi modelli a scala globale, *Representative Concentration Pathways* – RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 (2.6 W/m2 - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m2 - RCP4.5 e 6 W/m2- RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m2 - 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.

Nelle figure seguenti, si riportano le mappe delle variazioni della precipitazione massima giornaliera (in 24 ore) previste da quattro modelli climatici (ALADIN, GUF, CMCC, LMD), nonché la variazione "media d'insieme" (ENSEMBLE MEAN), con riferimento ai tre orizzonti temporali considerati: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5, a scala nazionale.

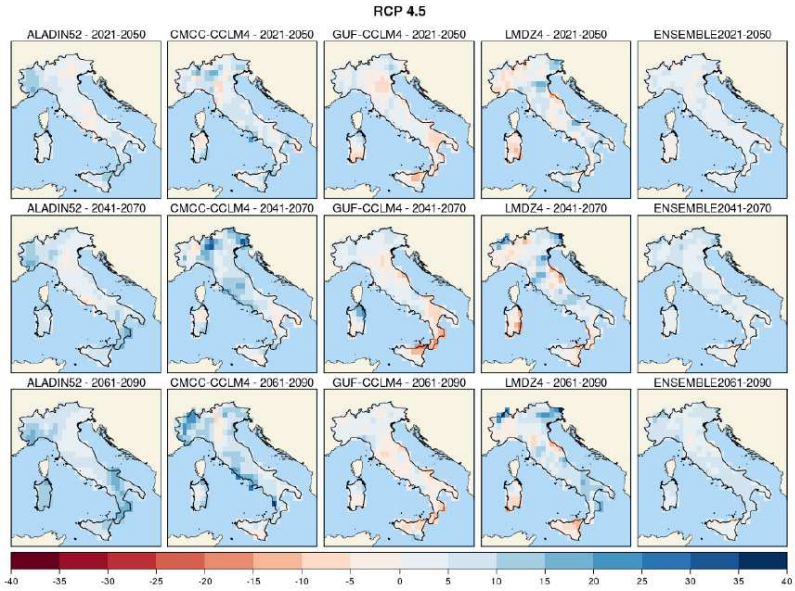


Figura 4.1 Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga) SPP ottenute con metodologia VAPI per gli scrosci e per tempi di ritorno differenti.

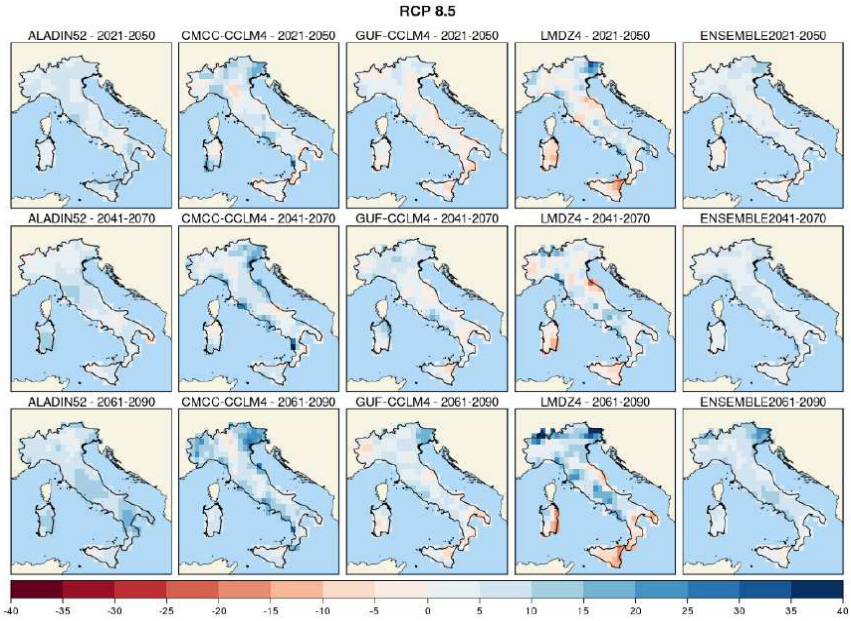


Figura 4.2 Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

In entrambi gli scenari, due modelli climatici indicano un aumento delle precipitazioni massime giornaliere su quasi tutto il territorio nazionale, di entità generalmente modesta (inferiore a 10 mm) ma con punte superiori a 20 mm in alcune zone.

4.2 I cambiamenti climatici a scala distrettuale

L'art. 14.4 della *Flood Directive* (di seguito "FD") richiede che sia preso in considerazione il probabile impatto dei cambiamenti climatici sull'occorrenza delle piene; oltre a ciò, il Consiglio dei Ministri dell'Ambiente Europei riconosce che le alluvioni di grave entità sono divenute più frequenti in Europa e che i cambiamenti climatici costituiscono un fattore aggravante poiché causano modifiche nell'andamento delle condizioni metereologiche, del regime delle precipitazioni e del livello del mare e sottolinea la necessità di migliorare la conoscenza e la modellazione dell'impatto dei cambiamenti climatici su tutti i tipi di alluvione.

In linea con la Strategia Europea di Adattamento al Cambiamento Climatico (SEACC), adottata dalla CE il 16 aprile 2013, il MiTE ha adottato, con Decreto della DG Direzione Clima ed Energia n. 86 del 16/06/2015, la Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNACC), in cui sono individuati i percorsi comuni da intraprendere per far fronte agli impatti previsti.

Il Piano Nazionale di Adattamento al Cambiamento Climatico (PNACC), attualmente in fase di approvazione, è finalizzato all'attuazione della Strategia Nazionale attraverso l'aggiornamento e la migliore specificazione dei suoi contenuti ai fini operativi. Il PNACC individua sul territorio nazionale sei macroregioni climatiche omogenee, rispetto alle quali, il territorio distrettuale dell'Appennino Settentrionale ricade per la maggior parte nella Macroregione 1 (Prealpi e Appennino

Settentrionale), in parte nella Macroregione 2 (Pianura Padana, alto versante Adriatico e aree costiere dell'Italia centro-meridionale) e in parte nella Macroregione 5 (Italia centro-settentrionale).

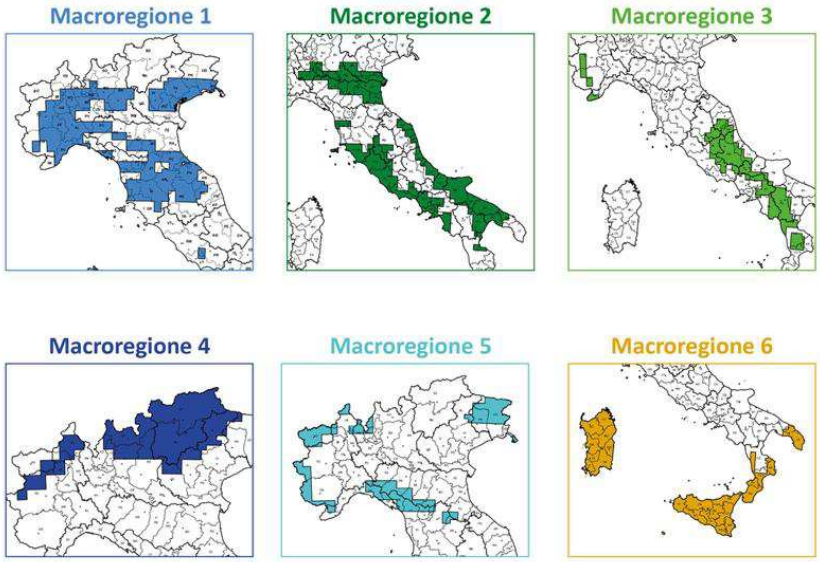


Figura 4.3 – PNACC – Zonazione climatica sul periodo di riferimento (1981-2010)

Per quanto attiene gli effetti del cambiamento climatico sul dissesto idrogeologico, il PNACC mette in evidenza i potenziali incrementi relativi alla frequenza e all'intensità di alcune tipologie di eventi atmosferici (ad esempio, piogge di breve durata ed elevata intensità). Tali fenomeni comportano, in generale, una variazione di frequenza dei fenomeni di dissesto idraulico nei bacini di estensione minore e a permeabilità ridotta che rispondono più velocemente alle sollecitazioni meteoriche e hanno ridotto effetto attenuante nei confronti delle precipitazioni di breve durata e forte intensità.

In linea con quanto appena riportato, si procede, dunque, ad una revisione degli input di pioggia che possono verificarsi sul territorio di interesse; le considerazioni seguenti sono sviluppate con riferimento al documento "Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali" (ISPRA, 2015) ed alle corrispondenti
Figura 4.1 e Figura 4.2.

4.3 Revisione degli input pluviometrici di progetto

In particolare, nella tabella seguente, si riportano i valori di variazione "media di insieme" (ENSEMBLE MEAN) di precipitazione massima giornaliera (h24) (rispetto al valore medio nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000), prevista nell'area di intervento, per i tre orizzonti temporali: 2021-2050, 2041-2070, 2061-2090, con riferimento allo scenario "massimo" di emissione RCP8.5, dedotti da

Figura 4.1 e Figura 4.2, da utilizzare per la verifica degli elementi idraulici.

	Variazione media h_{24} (RCP8.5) [mm]

INTERVENTO	2021-2050	2041-2070	2061-2090
PRG Genova Voltri	+ 5-10	+ 5-10	+ 5-10

Tabella 12: Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell'area di intervento (ISPRA, 2015)

Tali incrementi, se rapportati alle altezze di precipitazione di durata 24h calcolati con i parametri a ed n sopra calcolati producono un incremento percentuale illustrato nel seguito.

	Tempi di ritorno				
	25	**50**	**100**	**200**	**500**
Attuali	299.14	342.74	386.10	429.10	487.54
Incrementate	309.14	352.74	396.10	439.10	497.54
% incremento attuale	3.3	2.9	2.6	2.3	2.0

Tabella 13: Confronto altezza di precipitazioni attuali e future

Sulla base di tale incremento percentuale sono stati ricalcolati i parametri a e n che saranno in seguito utilizzati per il calcolo dei valori di precipitazione di progetto da considerarsi nella progettazione e nel dimensionamento delle opere idrauliche.

Parametri curve LSPP t<1h		
Tr(Anni)	**a(mm/h)**	**n**
25	104.49	0.484
50	119.01	0.484
100	133.44	0.484
200	147.81	0.484
500	166.74	0.484

Tabella 14: Parametri a ed n per durata precipitazione <1h, incrementati per effetto dei cambiamenti climatici.

Parametri curve LSPP t>1h		
Tr(Anni)	**a(mm/h)**	**n**
25	104.59	0.341
50	119.34	0.341
100	134.01	0.341
200	148.56	0.341
500	167.80	0.342

Tabella 15: Parametri a ed n per durata precipitazione >1h, incrementati per effetto dei cambiamenti climatici.