

Commissario:



Contraente:



Progettista:



Project & Construction Management & Quality Assurance: Rina Consulting SpA



VIADOTTO POLCEVERA
PROGETTO ESECUTIVO di 1° LIVELLO
RELAZIONE IDROLOGICA
DRENAGGIO DI PIATTAFORMA

EMISSIONE PER ENTI

Contraente	Project & Construction Management & Quality Assurance	Direttore Lavori
Data: _____	Data: _____	Data: _____

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA/DISCIPLINA	PROGR	REV
N G 1 2	0 0	E	1 1	R H	I D 0 0 0 1	C 0 1	A

PROGETTAZIONE							IL PROGETTISTA	
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	
A	Emissione esecutiva di 1° livello	C. CESALI	25/02/19	F. CABAS	25/02/19	A. PEREGO	25/02/19	A. VA... ITALFERR S.p.A. Oper. Civili e Gestione delle Infrastrutture Dott. Ing. Angelo Vittozzi Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma N° A20783
B								
C								

CONTRAENTE

PERGENOVA

PROGETTISTA



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
2 di 20

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
3 di 20

INDICE

1. PREMESSA.....	5
2. ANALISI IDROLOGICA.....	6
2.1. ELABORAZIONE STATISTICA DEI DATI DI PIOGGIA PER DURATE DI 1, 3, 6, 12, 24 ORE.....	8
2.2. RELAZIONE INTENSITÀ – DURATA DELLE PRECIPITAZIONI – PIOGGE BREVI.....	9
2.3. ELABORAZIONE STATISTICA DELLE REGISTRAZIONI PLUVIOMETRICHE PER DURATE INFERIORI ALL'ORA	11
2.4. CONFRONTO TRA LE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICHE (CPP).....	12
3. CONSIDERAZIONI SUI “CAMBIAMENTI CLIMATICI”	15
3.1. PREVISIONI DELLA VARIAZIONE DI PRECIPITAZIONE NELL'AREA DI INTERVENTO	17
4. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	20

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
4 di 20

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1.1 – INQUADRAMENTO DELL'AREA DI INTERVENTO.....	5
FIGURA 2.1 – UBICAZIONE DELLA STAZIONE PLUVIOGRAFICA DI RIFERIMENTO (GENOVA UNIVERSITÀ).....	6
FIGURA 2.2 – RELAZIONE DI BELL: ALTEZZA VS FREQUENZA PER $Tr = 2, 25, 100$ ANNI.....	10
FIGURA 2.3 – CONFRONTO RELAZIONE DI BELL VS ANALISI DIRETTA SCROSCI, PER $Tr 25$ ANNI.....	12
FIGURA 2.4 – CONFRONTO RELAZIONE DI BELL VS ANALISI DIRETTA SCROSCI, PER $Tr 50$ ANNI.....	13
FIGURA 2.5 – CONFRONTO RELAZIONE DI BELL VS ANALISI DIRETTA SCROSCI, PER $Tr 100$ ANNI.....	13
FIGURA 2.6 – CONFRONTO RELAZIONE DI BELL VS ANALISI DIRETTA SCROSCI, PER $Tr 200$ ANNI.....	14
FIGURA 3.1 – 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).	16
FIGURA 3.2 – 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).	17
FIGURA 3.3 – VALORI DI PRECIPITAZIONE MASSIMA GIORNALIERA REGISTRATI PRESSO LA STAZIONE DI GENOVA UNIVERSITÀ (1951-2014).....	18

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 2.1 – STAZIONE PLUVIOGRAFICA DI GENOVA UNIVERSITÀ: DATI DI PIOGGIA PER DURATE $\tau > 1$ ORA, NEL PERIODO 1951-2009.	8
TABELLA 2.2 – STAZIONE PLUVIOGRAFICA DI GENOVA UNIVERSITÀ: VALORI DEI PARAMETRI a E n DELLA CPP PER VARI TEMPI DI RITORNO.	8
TABELLA 2.3 – RAPPORTO TRA ALTEZZA DI PIOGGIA DI DURATA INFERIORE AD UN'ORA – U.S. WATER BUREAU.....	9
TABELLA 2.4 – VALORI DEI PARAMETRI a E n DELLA CPP PER DURATE INFERIORI ALL'ORA, PER DIVERSI TEMPI DI RITORNO.	10
TABELLA 2.5 – STAZIONE PLUVIOGRAFICA DI GENOVA UNIVERSITÀ: DATI DI PIOGGIA PER DURATE $\tau < 1$ ORA, NEL PERIODO 1970-1988.	11
TABELLA 2.6 – DATI DI PIOGGIA ESAMINATI, PER DURATE $\tau < 1$ ORA, ORDINATI IN SENSO DECRESCENTE.	12
TABELLA 2.7 – VALORI DEI PARAMETRI a E n , PER DIVERSI TEMPI DI RITORNO, DEDOTTI DALL'ELABORAZIONE STATISTICA DELLE REGISTRAZIONI PLUVIOMETRICHE CON DURATA INFERIORE ALL'ORA.	12
TABELLA 2.8 – VALORI DI ALTEZZA DI PIOGGIA DI PROGETTO ($\tau= 10$ MIN), PER DIFFERENTI PERIODI DI RITORNO.....	14
TABELLA 3.1 – VARIAZIONI DI PRECIPITAZIONE MASSIMA GIORNALIERA PREVISTE (ISPRA, 2015).	17
TABELLA 3.2 – VALORI MASSIMI DI PRECIPITAZIONE GIORNALIERA NEI PERIODI 1961-1990, 1981-2010, 2011-2030.....	18
TABELLA 3.3 – VALORI DI ALTEZZA DI PIOGGIA ($\tau= 10$ MIN), PREVISTI PER GLI ANNI 2021-2050, 2041-2070, 2061-2090, PER DIFFERENTI PERIODI DI RITORNO.	19

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
5 di 20

1. PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del Progetto Esecutivo delle opere di costruzione necessarie al ripristino strutturale e funzionale del Viadotto sul Torrente Polcevera, in Genova.

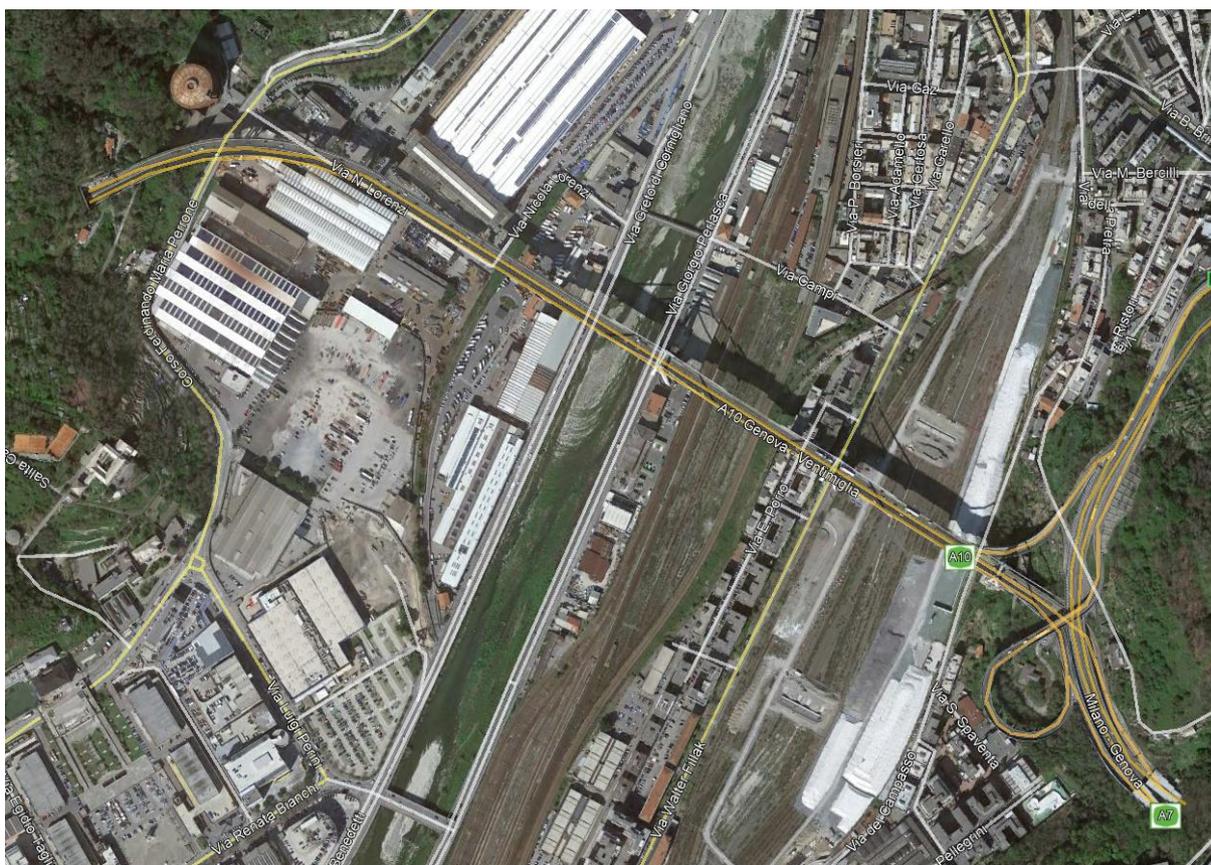


Figura 1.1 – Inquadramento dell'area di intervento.

Lo studio svolto è finalizzato alla determinazione delle curve di possibilità pluviometrica (CPP) per la valutazione delle portate al colmo necessarie al dimensionamento idraulico dei manufatti atti al collettamento, al trattamento (vasche di prima pioggia, laminazione,.....) ed allo smaltimento delle acque di drenaggio di piattaforma del viadotto in progetto.

Le analisi sono state sviluppate anche con riferimento alle previsioni sui “cambiamenti climatici” riportate nello studio “*Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali*” condotto dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (ISPRA, 2015).

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
6 di 20

2. ANALISI IDROLOGICA

La determinazione delle dimensioni delle opere che costituiscono un sistema di drenaggio richiede la conoscenza delle portate che affluiscono alla rete dalle superfici scolanti.

Le portate al colmo di progetto dipendono da:

- caratteristiche dell'evento meteorico che interessa il bacino tributario sotteso
- caratteristiche del bacino sotteso stesso (superficie, lunghezza, pendenza, copertura del suolo,....)

Indicata con h l'altezza di pioggia e $j = h/t$ l'intensità media, estesa a tutto il bacino in esame, si definisce *tempo di corrivazione* il tempo che impiega la particella, caduta nel punto idraulicamente più lontano, a raggiungere la sezione considerata. Nelle elaborazioni dei dati pluviometrici si devono dunque considerare durate di precipitazione dell'ordine del tempo di corrivazione, variabili a seconda della natura del problema trattato.

È stato svolto quindi un accurato approfondimento relativo alle registrazioni pluviometriche disponibili, relative all'area di studio. In particolare, sono presi in considerazione i dati raccolti presso la stazione pluviografica di Genova "Università", compresa nel bacino "tra Polcevera e Bisagno", la più vicina all'area di intervento e con maggiore numero di osservazioni (Figura 2.1).

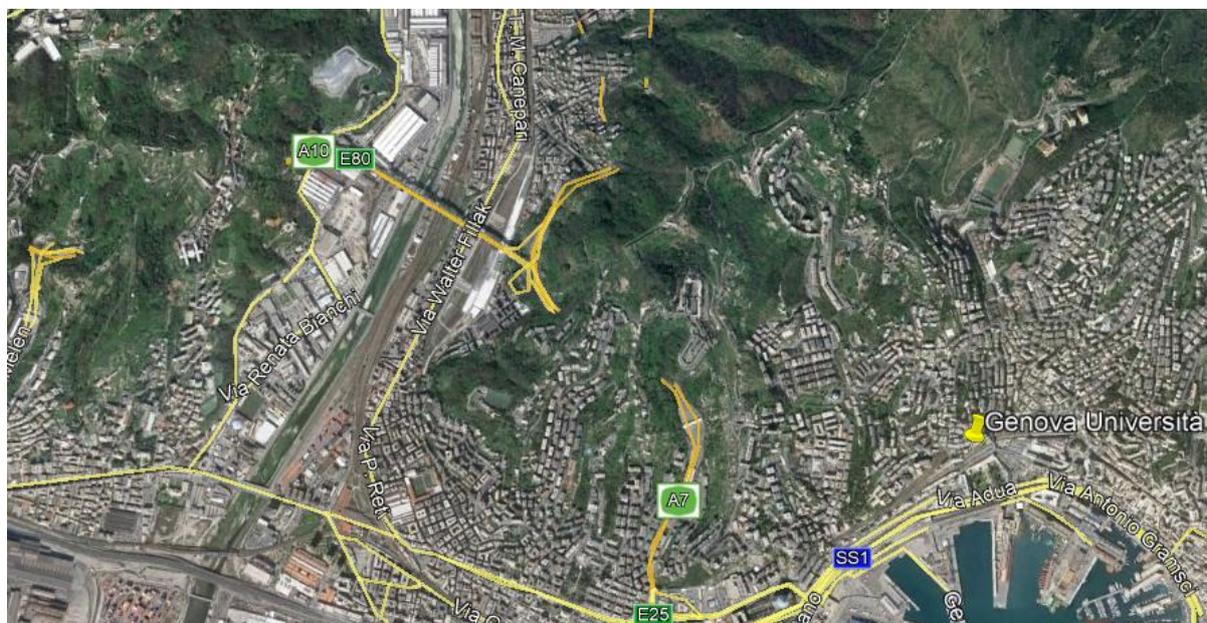


Figura 2.1 – Ubicazione della stazione pluviografica di riferimento (Genova Università).

Sono state analizzate sia le registrazioni di massima intensità per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore sia le precipitazioni di notevole intensità e breve durata (inferiore all'ora), riportati all'interno degli Annali Idrologici, sezione B "Pluviometria".

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
7 di 20

In analogia allo studio condotto dall'Autorità di Bacino della Liguria e sulla base dei risultati ottenuti nello studio idrologico sul T. Polcevera (elaborato NG1200R11RGID0002C01A), si è proceduto all'applicazione del metodo di Gumbel, il quale prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale al campione di dati di precipitazione intesi come variabili indipendenti.

L'altezza di pioggia (in mm), $h(T_r)$, per il tempo di ritorno (T_r) è espressa come segue:

$$h(T_r) = \bar{h} + \frac{S_h}{S_N} Y(T_r) - \frac{S_h}{S_N} \bar{Y}_N$$

con

- $\bar{h} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N h_i$ è la media degli N valori osservati h_i (in mm)
- $S_h = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (h_i - \bar{h})^2}$ è lo scarto quadratico medio (in mm) dei valori osservati
- $Y(T_r) = -\ln\left(-\ln\left(\frac{T_r-1}{T_r}\right)\right)$ è la variabile ridotta
- $\bar{Y}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i$ è la media ridotta
- $S_N = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y}_N)^2}$ è lo scarto quadratico medio della variabile ridotta

Ordinati gli N eventi disponibili in ordine decrescente e numerati da 1 a N, l'evento caratterizzato dall' i -esima posizione ha ascissa $T_{r,i}$ pari a:

$$T_{r,i} = \frac{N+1}{i}$$

Per ogni durata τ , dopo aver calcolato i valori di h e S_h , si esprime il valore dei parametri di Gumbel:

$$MODA = \bar{h} - \frac{S_h}{S_N} \bar{Y}_N$$

$$ALPHA = \frac{S_h}{S_N}$$

Questi parametri permettono di calcolare, assegnato T_r , i valori estremi di $h(T_r)$ per ciascuna durata τ .

Si approssimano con una retta ai minimi quadrati le coppie $(\log \tau, \log h)$ che si riferiscono ad uno stesso T_r e si ricavano quindi i parametri a e n della curva di possibilità pluviometrica (CPP):

$$h(T_r, \tau) = a(T_r) \tau^n$$

Di seguito, le risultanze delle elaborazioni e dei calcoli sviluppati.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
8 di 20

2.1. Elaborazione statistica dei dati di pioggia per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore

Sono esaminati i valori massimi annuali delle altezze di pioggia (in mm) per durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore, nel periodo 1951-2009 (Tabella 2.1), registrati presso la stazione pluviografica di Genova Università.

Anno /ore	1	3	6	12	24	Anno /ore	1	3	6	12	24
1951	75	105.2	135.6	192.4	272.6	1977	108.8	178.4	211.8	224.2	233.4
1952	27.8	44.2	47	61.2	79.2	1979	51.8	80.4	135.6	138.4	176.4
1953	69.4	146	214.4	218.8	219.4	1980	40	63.8	70.4	79.6	80.2
1954	22.8	60.8	69	69.2	82.8	1981	85.4	113	133.8	168.2	173
1955	45	41.4	52.4	85.4	139.8	1982	26.8	37.2	57.2	105.2	106.8
1956	38.2	53	60.6	73.2	102.4	1983	27.4	65.8	76	99.4	108.6
1957	39.6	47.8	78.2	92.6	93.6	1984	76.8	102.8	128.4	146	181.8
1958	29	31.4	40	66.6	111.4	1985	24.8	44.4	67.2	91.8	121
1959	58	101	156	173.2	182.6	1986	31.6	53.6	61.2	62.2	105.8
1960	48.6	69.4	79.4	100.4	121	1987	95.6	187.4	187.4	187.4	188.6
1961	66	107	120	137.6	183.2	1988	24.4	55.4	99.4	159.2	207
1962	25.2	41	53.2	78.6	121.2	1989	33	33.8	40	50.2	71.2
1963	65.2	70.2	74	120	121.6	1990	53	84.6	123.8	196	262
1964	54	91	112.8	118.8	127.6	1991	63	75.2	116.2	117	249
1965	79.8	88.6	88.8	91.2	99.2	1992	71	173.4	229	426	451
1966	33.2	35	43.2	59.4	85	1993	93	141.8	245	343.4	367.2
1967	52.4	91	93	136	148.2	1995	27.8	55	85	122.8	133.6
1968	28.6	44	63.8	118.6	136.2	1996	25.8	55.4	74.4	101.2	149.8
1969	22.8	26.4	32	46	59	1997	100	135	138.4	148.8	174.6
1970	76	166	201	256	414.8	1998	40	59.2	66.6	78.2	78.2
1971	50.4	56.8	62.4	82.8	84.6	2004	14.2	20.4	25	36.4	60.8
1972	43.2	89.8	97.2	135.6	183	2005	41.2	52.2	64	90.2	99.6
1973	39.6	42.6	59	66.2	76.6	2006	22.8	36.4	66.2	94.4	152.6
1974	37.8	51.8	52.8	75.2	90.6	2007	29.4	30.4	40.2	40.2	40.6
1975	40	56.2	78	127.8	147	2008	44	64	64	64	70.2
1976	53.5	76.1	99.2	111.3	124.1	2009	30	48	54	76	101.4

Tabella 2.1 – Stazione pluviografica di Genova Università: dati di pioggia per durate $\tau > 1$ ora, nel periodo 1951-2009.

Elaborando statisticamente tali dati mediante il metodo di Gumbel sopra descritto, si ottengono i seguenti valori dei parametri a e n della CPP, per durate superiori all'ora.

Stazione	$a (Tr = 25)$	$a (Tr = 50)$	$a (Tr = 100)$	$a (Tr = 200)$	n
Genova (Univ.)	95.53	109.19	121.82	134.41	0.334

Tabella 2.2 – Stazione pluviografica di Genova Università: valori dei parametri a e n della CPP per vari tempi di ritorno.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
9 di 20

2.2. Relazione intensità – durata delle precipitazioni – piogge brevi

In bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di concentrazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni che interessano sono le piogge intense di durata breve con tempi inferiori all'ora. Tale aspetto assume una notevole importanza nel dimensionamento del drenaggio di piattaforma. L'utilizzo della legge valida per durate maggiori dell'ora risulta spesso troppo cautelativa e poco rappresentativa. 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 (Generalized Rainfall Duration Frequency Relationship" – Journal of the Hydraulics Division – Proceedings of American Society of Civil Engineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969). Bell ha osservato che i rapporti r_δ tra le altezze di durata τ molto breve ed inferiori alle due ore e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località in cui si verificano. Lo U.S. Water Bureau raccomanda per tempi di pioggia inferiore a mezz'ora l'adozione di una relazione empirica, derivata interamente da dati di breve durata; tale relazione mostra che il tempo in minuti in pioggia ha un rapporto costante con la pioggia della durata di 1 ora per lo stesso tempo di ritorno così come segue:

τ (minuti)	5	10	15	30
$r_\delta = h_\delta / h_{60}$	0.29	0.45	0.57	0.79

Tabella 2.3 – Rapporto tra altezza di pioggia di durata inferiore ad un'ora – U.S. Water Bureau

Questi rapporti variano di molto poco negli Stati Uniti ed i loro valori sono indipendenti dal periodo di ritorno.

Bell, come sopra accennato, sulla scorta di osservazioni provenienti da oltre 150 stazioni con oltre 40 anni di osservazione, ha dimostrato che tale correlazione si può estendere fino a valori di durata sino alle due ore, come risulta dalla Figura 2.2.

In relazione alla modesta variazione dei rapporti di intensità durata correlata al tempo di ritorno, ha proposto la seguente relazione che ben si adatta ai dati osservati:

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

applicabile per durate $5 \leq \tau \leq 120$ min dove:

- h_{τ, T_r} indica l'altezza di pioggia relativa ad un evento pari al tempo τ riferita al periodo di ritorno T_r
- h_{60, T_r} è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora, con periodo di ritorno T_r
- τ è il tempo di pioggia espresso in minuti.

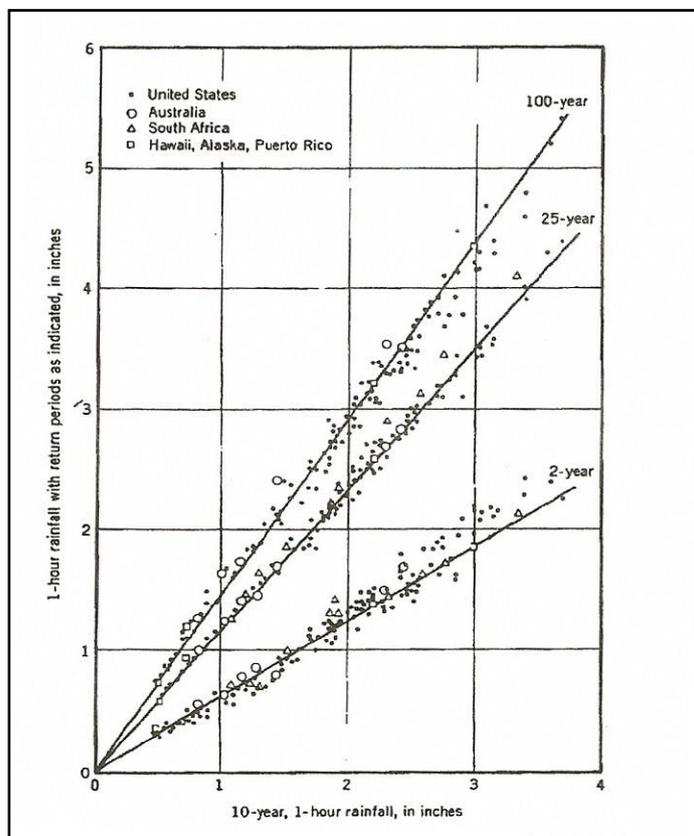


Figura 2.2 – Relazione di Bell: altezza vs frequenza per $T_r = 2, 25, 100$ anni

Nota l'altezza di pioggia h_τ relativa all'evento di durata τ ($5 \leq \tau \leq 120$ min), valutata sulla base dei parametri relative alle CPP considerate (parametro $a = h_{60, T_r}$) e la relazione di Bell, passando ai logaritmi, 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' .

I parametri delle curve di possibilità pluviometrica per differenti tempi di ritorno e durata inferiore ad un'ora sono riportati di seguito, con tempo τ espresso sia in minuti ($a(mm/min^n)$) sia in ore ($a(mm/ore^n)$).

T_r (anni)	a (mm/min^n)	a (mm/ore^n)	n
25	14.8	98.9	0.464
50	16.9	113.1	0.464
100	18.9	126.2	0.464
200	20.8	139.2	0.464

Tabella 2.4 – Valori dei parametri a e n della CPP per durate inferiori all'ora, per diversi tempi di ritorno.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
11 di 20

2.3. Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche per durate inferiori all'ora

Si riportano di seguito le registrazioni pluviometriche presso la stazione di Genova Università, per durate inferiori all'ora, nel periodo 1970-1988.

Anno/durata	Altezza di pioggia (mm)					
	5 min	10 min	15 min	20 min	25 min	30 min
1970		24	14.6	15		
1971		19				
1972		17		20		16.8
1973				25		
1974		26				
1975		15	16	19.4		16.4
1976	13.5	16.1	20	40		
1977	29.5	29.5	39.4	79		
1979	13	22.8	30.8	34.8	38.6	42.6
1980	11	13.2	16.6	20.2	22	23.8
1981	12.4	17.6	26	33.8	41	51
1982		11.2	16.2	20.2	21	21.8
1983		11.2	13	15	16.8	18.6
1984	12.6	18.2	23.6	28.6	34.2	42.6
1985			10.4	11.8	13.2	15.2
1986					19.4	21.2
1987		26.6	36.6	43.4	52	55.6
1988		11.2	14.4	17.5	19.6	21.6

Tabella 2.5 – Stazione pluviografica di Genova Università: dati di pioggia per durate $\tau < 1$ ora, nel periodo 1970 - 1988.

Le elaborazioni sono basate su n. 8 anni di osservazione per i quali si dispone di tutti i valori alle durate di 10, 15, 20 e 30 minuti. Nella tabella seguente, i dati considerati, ordinati, per le varie durate, in senso decrescente.

10 min	15 min	20 min	30 min
26.6	36.6	43.4	55.6
22.8	30.8	34.8	51
18.2	26	33.8	42.6
17.6	23.6	28.6	42.6
13.2	16.6	20.2	23.8
11.2	16.2	20.2	21.8
11.2	14.4	17.5	21.6
11.2	13	15	18.6

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
12 di 20

Tabella 2.6 – Dati di pioggia esaminati, per durate $\tau < 1$ ora, ordinati in senso decrescente.

Applicando anche in questo caso il metodo di Gumbel, si ottengono i seguenti valori dei parametri a e n della CPP, per durate inferiori all'ora.

Tr (anni)	a	n
25	128.27	0.754
50	147.11	0.763
100	165.83	0.769
200	184.48	0.775

Tabella 2.7 – Valori dei parametri a e n , per diversi tempi di ritorno, dedotti dall'elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche con durata inferiore all'ora.

2.4. Confronto tra le curve di possibilità pluviometriche (CPP)

Si riporta di seguito il confronto tra le curve di possibilità pluviometrica ricavate dall'analisi statistica dei dati di pioggia con durata $\tau > 1$ ora, opportunamente adattate a durate $\tau < 1$ ora tramite la formulazione di Bell, e quelle ricavate direttamente dall'elaborazione delle registrazioni pluviometriche con durata $\tau < 1$ ora.

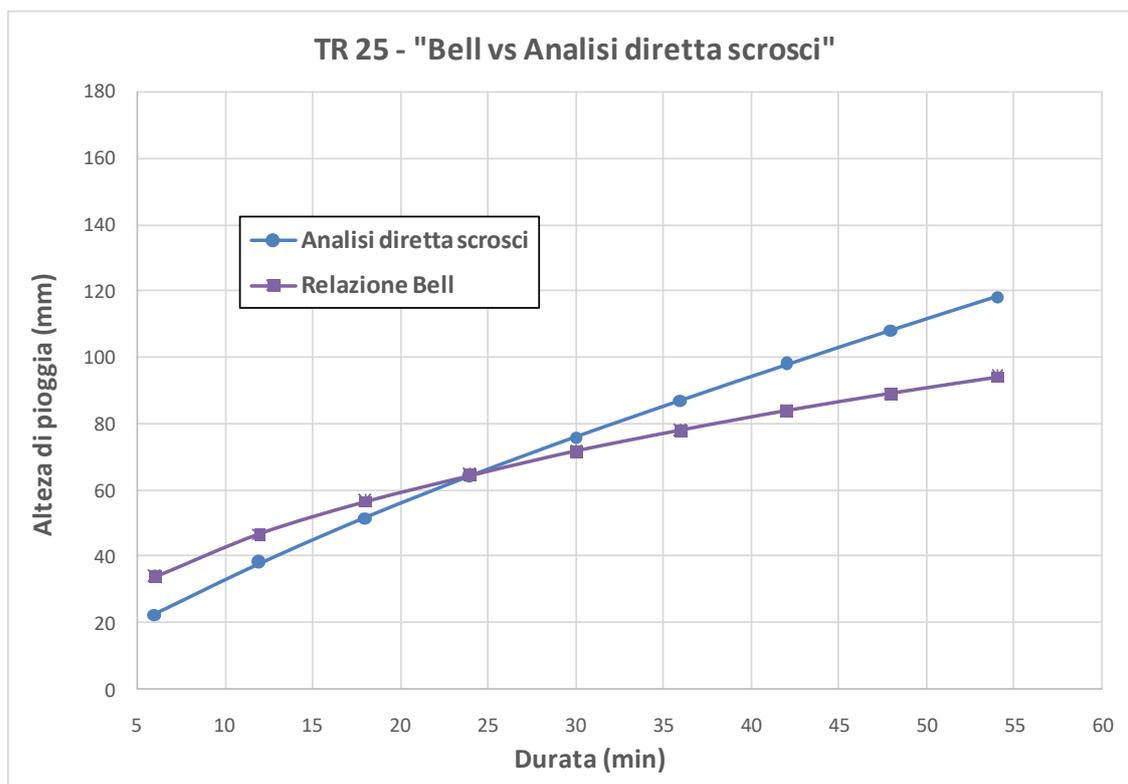


Figura 2.3 – Confronto *Relazione di Bell vs Analisi diretta scrosci*, per TR 25 anni.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
13 di 20

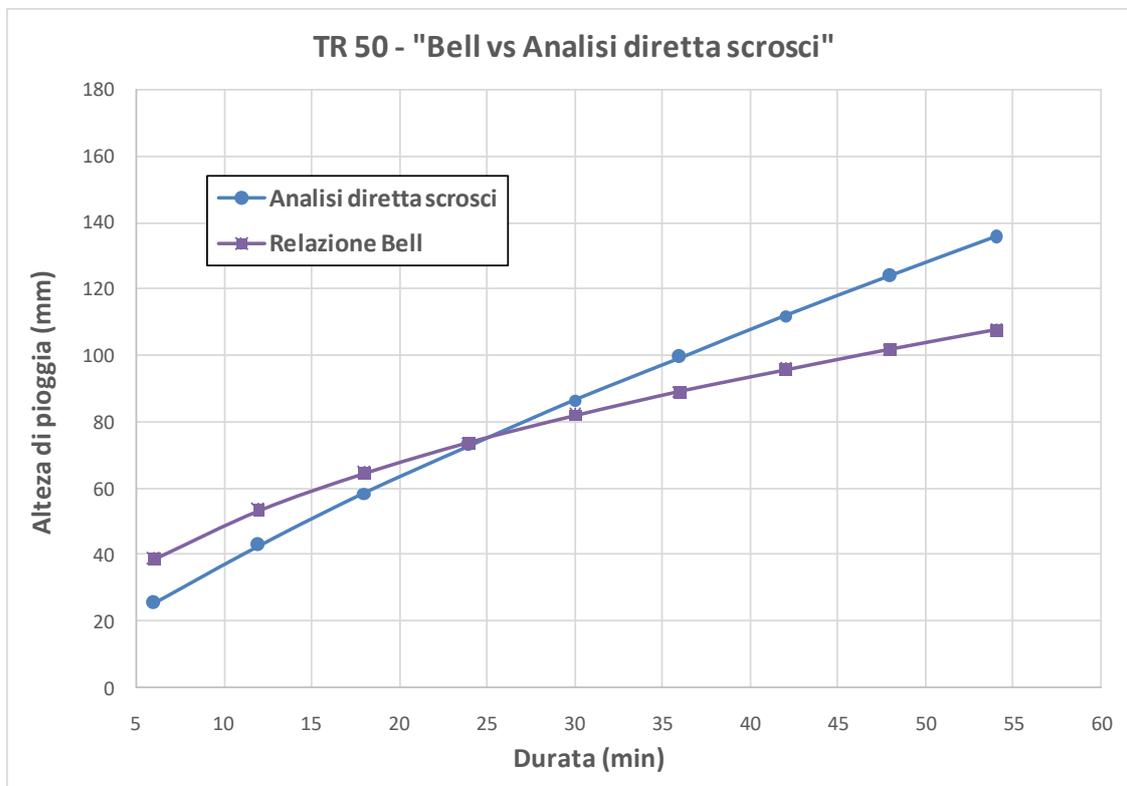


Figura 2.4 – Confronto Relazione di Bell vs Analisi diretta scrosci, per TR 50 anni.

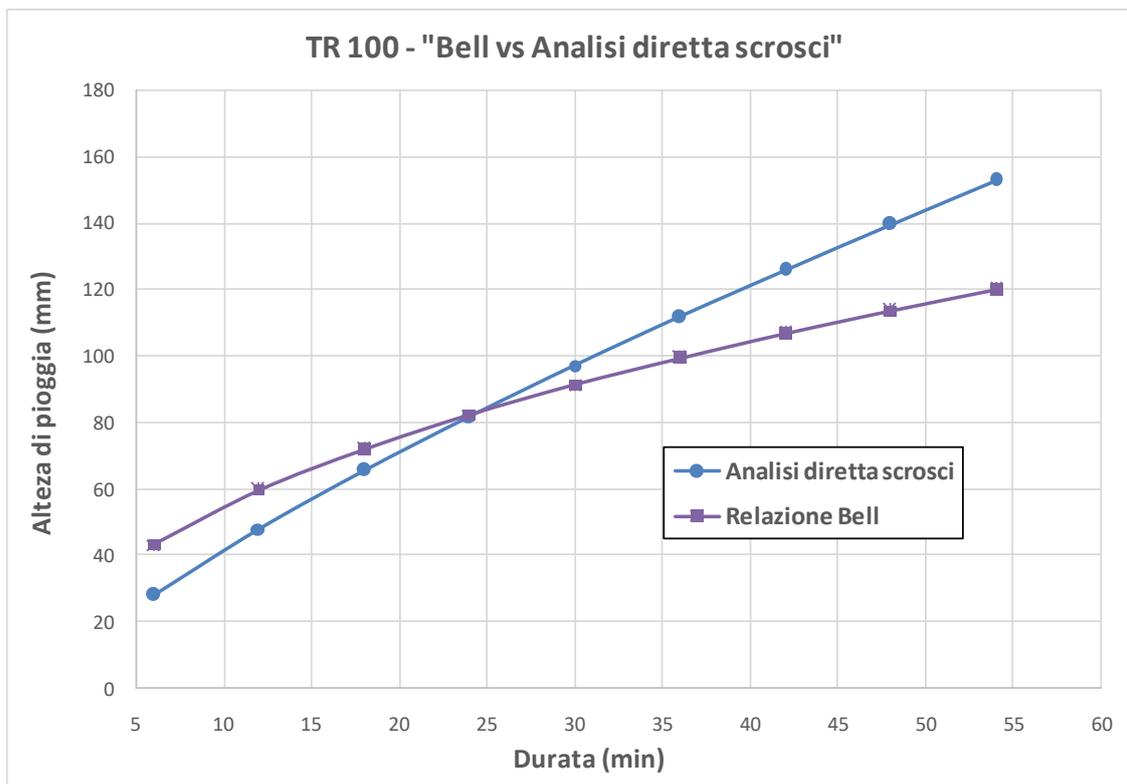


Figura 2.5 – Confronto Relazione di Bell vs Analisi diretta scrosci, per TR 100 anni.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
14 di 20

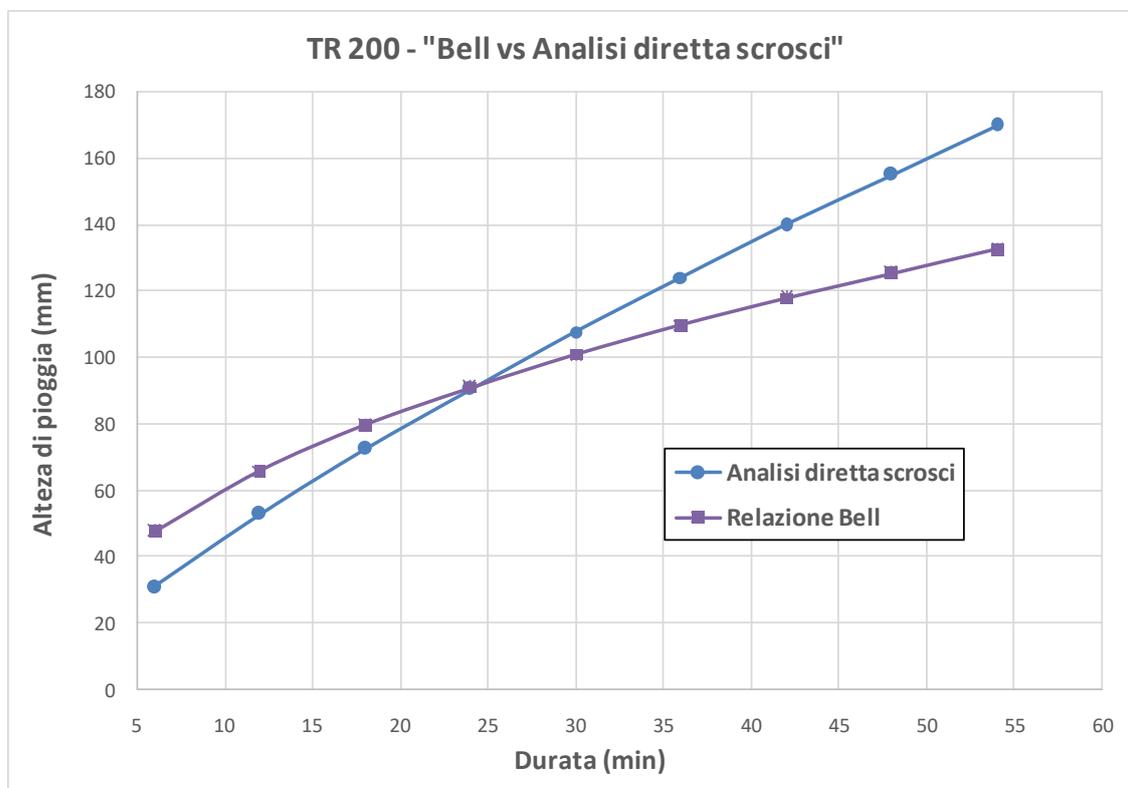


Figura 2.6 – Confronto Relazione di Bell vs Analisi diretta scrosci, per TR 200 anni.

Per tutti i tempi di ritorno considerati, si osserva che le CPP dedotte mediante la formulazione di Bell forniscono valori di altezza di pioggia maggiori per durate $\tau < 25$ min; per durate superiori invece l'analisi diretta delle registrazioni pluviometriche per $\tau < 1$ ora fornisce CPP più cautelative.

Vista la ridotta estensione del bacino tributario sotteso, si è proceduto al dimensionamento idraulico della rete di drenaggio considerando un tempo di corrivazione (e quindi una durata di pioggia) pari a **10 min**.

Pertanto, sulla base delle considerazioni precedenti e in ragione di un limitato numero di registrazioni pluviometriche per durate inferiori all'ora (Tabella 2.6), le CPP di riferimento sono quelle derivanti dall'applicazione della relazione di Bell alle risultanze dell'elaborazione statistica dei dati di pioggia per $\tau > 1$ ora. Nella tabella seguente sono riportati i valori dell'altezza di pioggia di progetto, con durata $\tau = 10$ min, per differenti tempi di ritorno.

T_r (anni)	h ($\tau = 10$ min) [mm]
25	43.092
50	49.249
100	54.954
200	60.632

Tabella 2.8 – Valori di altezza di pioggia di progetto ($\tau = 10$ min), per differenti periodi di ritorno.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
15 di 20

3. CONSIDERAZIONI SUI “CAMBIAMENTI CLIMATICI”

La conoscenza delle variazioni climatiche sul territorio italiano, in corso e previste, è il presupposto fondamentale per la valutazione degli impatti e della strategia di adattamento ai cambiamenti climatici.

Mentre 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, la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

Secondo la definizione della *World Meteorological Organization* (WMO), le 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. Tali condizioni (scenari) comportano, in particolare, diversi andamenti delle emissioni di gas climalteranti in atmosfera. A tale proposito, *l'Intergovernmental Panel for ClimateChange* (IPCC) ha recentemente ridefinito gli scenari futuri a scala globale (*RepresentativeConcentrationPathways* – 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. Gli scenari RCP sostituiscono i precedenti scenari pubblicati dall'IPCC nello *Special Report on EmissionScenarios* (SRES). I quattro nuovi 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).

Proprio l'IPCC ha introdotto una definizione più specifica del termine “*proiezione climatica*”, riferendola alla stima delle variazioni del clima futuro che viene fornita dai modelli climatici. Questi ultimi possono essere classificati in due categorie, *globali* e *regionali*, che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro. I modelli regionali (“*RegionalClimateModels*”, RCM) rispondono alla necessità di fornire una migliore rappresentazione dei fenomeni a scala locale. Tali modelli, innestandosi su un modello globale da cui vengono acquisite le condizioni iniziali e al contorno, producono le proiezioni climatiche su una specifica area di interesse, ad una risoluzione più elevata (fino a una massima risoluzione orizzontale di 10-50 km).

Recentemente l'ISPRA (rif. “*Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali*”, 2015) ha condotto l'analisi e il confronto tra le proiezioni climatiche in Italia più aggiornate prodotte da diversi modelli. 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, 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.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
16 di 20

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) con riferimento ai tre orizzonti temporali considerati: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5.

RCP 4.5

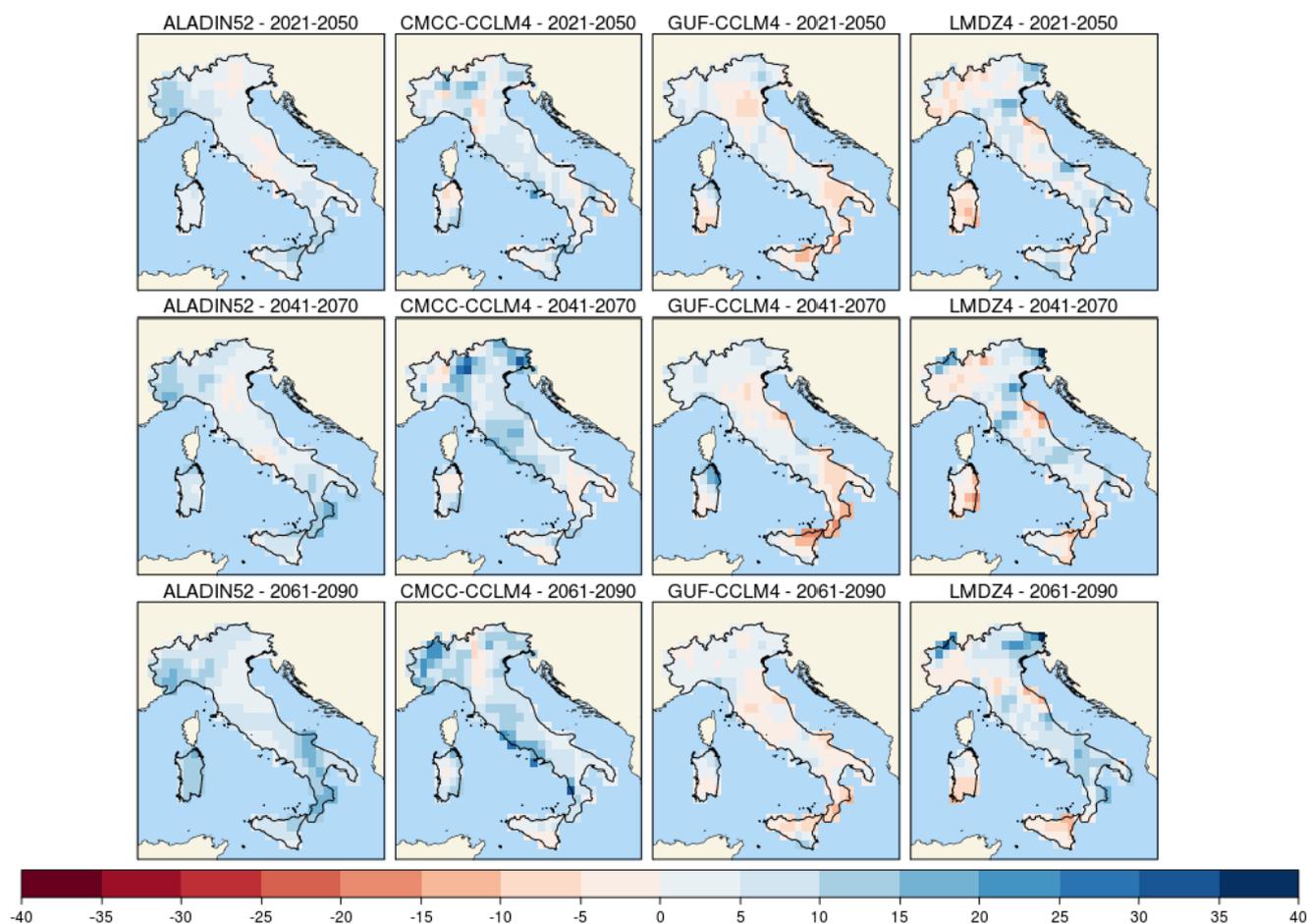


Figura 3.1 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

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) e punte superiori a 20 mm in alcune zone.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
17 di 20

RCP 8.5

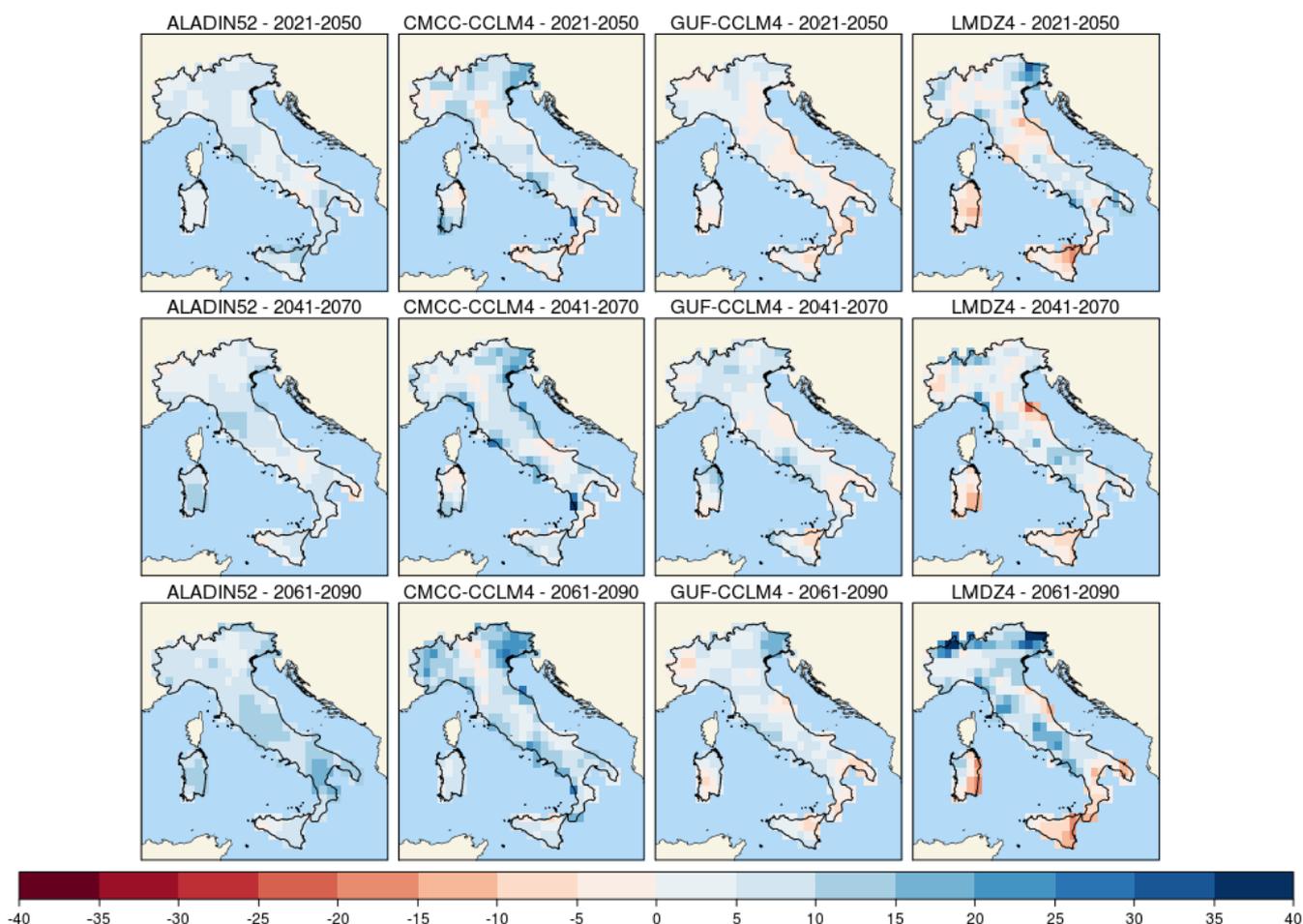


Figura 3.2 – Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

3.1. Previsioni della variazione di precipitazione nell'area di intervento

Nella tabella seguente si riportano le variazioni di precipitazione massima giornaliera (h_{24}) 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 descritte.

Periodo	Variazione $max h_{24}$ (RCP4.5)	Variazione $max h_{24}$ (RCP8.5)
2021-2050	+15-20 mm (ALADIN52)	+10-15 mm (GUF)
2041-2070	+15-20 mm (ALADIN52)	+10-15 mm (GUF)
2061-2090	+15-20 mm (ALADIN52)	+15-20 mm (CMCC)

Tabella 3.1 – Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste (ISPRA, 2015).

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
18 di 20

Si considerino i valori massimi annuali di pioggia giornaliera (cumulata in 24 ore) registrati presso la stazione di riferimento Genova Università (Figura 3.3).

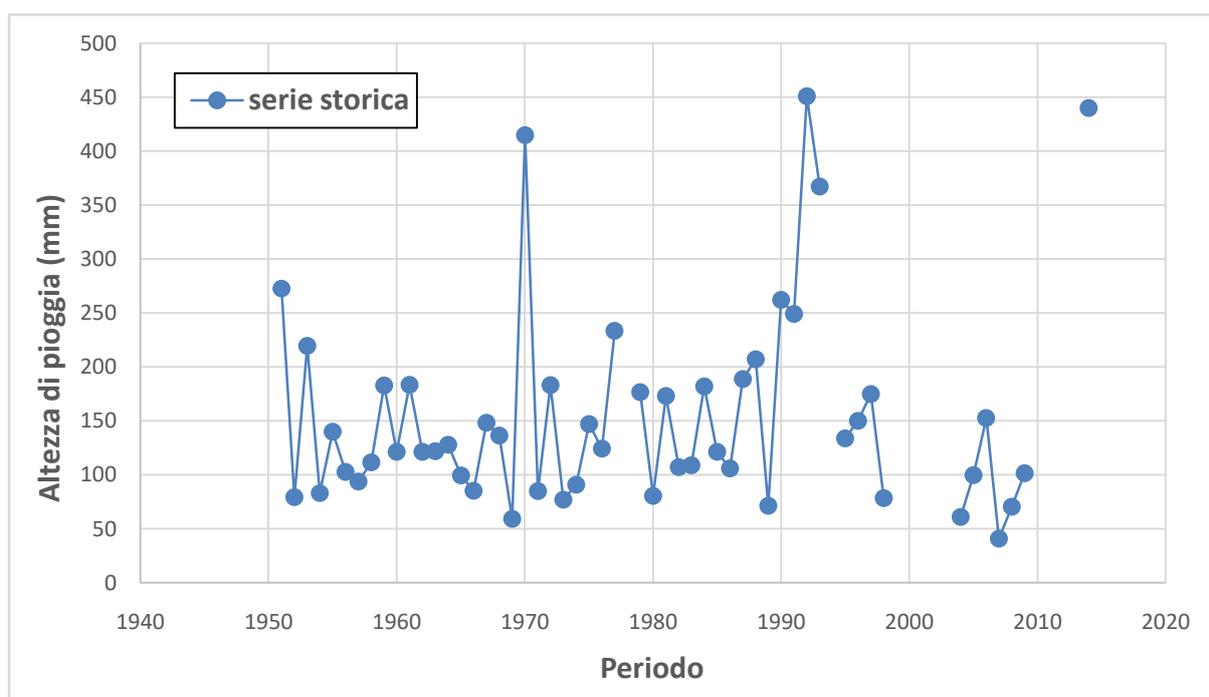


Figura 3.3 – Valori di precipitazione massima giornaliera registrati presso la stazione di Genova Università (1951-2014).

I valori di precipitazione massima giornaliera registrati negli orizzonti temporali precedenti a quelli considerati nelle previsioni analizzate dall'ISPRA sono i seguenti:

Periodo	h_{24} (mm)(valore massimo)
1961-1990	414.8
1981-2010	451.0 (+8.7 % rispetto al periodo 1961-1990)
2001-2030	440.0 (+6.1% rispetto al periodo 1961-1990; -2.4% rispetto al periodo 1981-2010)

Tabella 3.2 – Valori massimi di precipitazione giornaliera nei periodi 1961-1990, 1981-2010, 2001-2030.

Si osserva un aumento delle precipitazioni dell'8.7% negli anni 1981-2010 e del 6.1% nell'ultimo trentennio 2001-2030 (ancora in corso), rispetto al periodo 1961-1990. Con riferimento al valore massimo di precipitazione giornaliera misurato (451 mm, fino ad oggi), applicando la variazione (massima) +20 mm prevista dall'ISPRA, negli anni futuri si avrebbe un aumento della precipitazione giornaliera del 4.5% circa, per ogni orizzonte temporale considerato, in accordo anche alla tendenza degli ultimi 60 anni.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
19 di 20

Al fine di verificare il funzionamento della rete di drenaggio delle acque meteoriche di piattaforma (ossia la variazione del grado di riempimento), in relazione anche ai “*cambiamenti climatici*” e alle previsioni di variazione delle precipitazioni negli anni futuri, i valori di altezza di pioggia di progetto sopra determinati (Tabella 2.8) sono stati quindi incrementati del 4.5%, con riferimento ai tre orizzonti temporali considerati.

T_r (anni)	h ($\tau = 10$ min) [mm] di progetto (periodo 2011-2030)	h ($\tau = 10$ min) [mm] (periodo 2021-2050)	h ($\tau = 10$ min) [mm] (periodo 2041-2060)	h ($\tau = 10$ min) [mm] (periodo 2061-2090)
25	43.092	45.03	47.06	49.18
50	49.249	51.47	53.78	56.20
100	54.954	57.43	60.01	62.71
200	60.632	63.36	66.21	69.19

Tabella 3.3 – Valori di altezza di pioggia ($\tau = 10$ min), previsti per gli anni 2021-2050, 2041-2070, 2061-2090, per differenti periodi di ritorno.

Contraente



Progettista



Doc. N.

Progetto
NG12

Lotto
00

Codifica Documento
E 11 RH ID0001 C01

Rev.
A

Foglio
20 di 20

4. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AA. VV. Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

Autorità di Bacino della Regione Liguria, PIANO DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO (approvato con Delibera del Consiglio Provinciale di Genova n.14 del 02/04/2003 ed entrato in vigore con BURL n. 18 del 03/05/2017 – parte II).

Autorità di Bacino della Regione Liguria, PIANO DI BACINO STRALCIO PER LA TUTELA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO – *Relazione generale Torrente Polcevera* (2017).

Ferro V., La sistemazione dei bacini idrografici, McGraw-Hill, Milano, 2006.

ISPRA, *Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali*, 2015

Maione U., Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali, La Goliardica Pavese, 1977.

Marani M., Processi e modelli dell'Idrometeorologia, Dispense, 2005.

Nuove Norme Tecniche per le costruzioni 2018, DECRETO 17 gennaio 2018 . Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», MINISTRO DELLE INFRASTRUTTURE.

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Surendra, K. M., Vijay., P. S. Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Methodology. Springer, pp. 84-146, 2003.