

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J71H92000020011

U.O. OPERE CIVILI

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA

QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

SCALA:

-

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

I Q 0 1 0 1 R 0 9 R I I D 0 0 0 1 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	C. Cesali 	settembre 2021	F. Cabas 	settembre 2021	M. Berlingieri 	settembre 2021	A. Vittozzi settembre 2021

ITALFERR S.p.A.
U.O. Opere Civili e Gestione delle varianti
Dott. Ing. Angelo Vittozzi
Ordine degli Ingegneri della Provincia di
N° A20783

File: IQ0101R09RIID0001001A.doc

n. Elab.:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

INDICE

1	PREMESSA.....	8
2	RIFERIMENTI NORMATIVI.....	9
3	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI INTERVENTO.....	11
3.1	INQUADRAMENTO FISICO ED IDROGRAFICO	12
3.2	BACINO IDROGRAFICO DELLO TORRENTE SCRIVIA	13
3.3	BACINI DELL'OLTREPÒ PAVESE: BACINO IDROGRAFICO DELLO STAFFORA-LURIA-VERSA-COPPA.....	14
3.4	PRINCIPALI ASPETTI IDROLOGICI.....	17
3.5	STUDI IDROLOGICI PRECEDENTI DISPONIBILI SUL TERRITORIO.....	18
4	MORFOMETRIA DEI BACINI IDROGRAFICI DI INTERESSE.....	20
4.1	TORRENTE GRUE.....	20
4.2	TORRENTE CALVENZA	21
4.3	TORRENTE CURONE	22
4.4	TORRENTE LIMBIONE.....	23
5	ANALISI PLUVIOMETRICA	24
5.1	ANALISI STATISTICA REGIONALE DELLE PIOGGE – PAI	25
5.2	LSPP – ARPA PIEMONTE.....	26
5.2.1	L'ATLANTE DELLE PIOGGE INTENSE DEL PIEMONTE.....	26
5.3	CONFRONTO TRA LE CURVE INDIVIDUATE.....	31
5.4	VALORI ADOTTATI.....	52
6	MODELLAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI	53
6.1	RICOSTRUZIONE DEGLI IETOGRAMMI DI PROGETTO.....	56
6.2	LITOLOGIA	58
6.3	USO DEL SUOLO.....	60
6.4	CURVE NUMBER (CN)	61
7	IDROGRAMMI DI PROGETTO	69

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

7.1	IDROGRAMMI DI PROGETTO TORRENTE GRUE	70
7.2	IDROGRAMMI DI PROGETTO TORRENTE CALVENZA	77
7.3	IDROGRAMMI DI PROGETTO TORRENTE CURONE	83
7.4	IDROGRAMMI DI PROGETTO TORRENTE LIMBIONE	89
7.5	CONSIDERAZIONI DI SINTESI.....	95
8	EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI	99

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 3.1 – INQUADRAMENTO GENERALE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO.	11
FIGURA 3.2 - INQUADRAMENTO IDROGRAFICO DELL'AREA DI INTERVENTO.....	12
FIGURA 3.3 - SUDDIVISIONE TERRITORIALE IN DISTRETTI.	13
FIGURA 3.4 - BACINO FIUME PO.	16
FIGURA 3.5 - BACINO SCRIVIA-CURONE (A SINISTRA), BACINO STAFFORA-LURIA-VERSA-COPPA (A DESTRA).	16
FIGURA 3.6-SOTTOBACINI, DA SINISTRA: TORRENTE SCRIVIA, TORRENTE CURONE, TORRENTE STAFFORA-LURIA.....	17
FIGURA 4.1: PERIMETRAZIONE DEL BACINO DEL TORRENTE GRUE.....	20
FIGURA 4.2: PERIMETRAZIONE DEL BACINO DEL TORRENTE CALVENZA.....	21
FIGURA 4.3: PERIMETRAZIONE DEL BACINO DEL TORRENTE CURONE.	22
FIGURA 4.4: PERIMETRAZIONE DEL BACINO DEL TORRENTE LIMBIONE.	23
FIGURA 5.1: CONFRONTO LSPP: P.A.I. VS ARPA PIEMONTE PER Tr 50 ANNI.	31
FIGURA 5.2: CONFRONTO LSPP: P.A.I. VS ARPA PIEMONTE PER Tr 200 ANNI.	32
FIGURA 5.3: CONFRONTO LSPP: P.A.I. VS ARPA PIEMONTE PER Tr 500 ANNI.	32
FIGURA 5.4: STAZIONI PLUVIOMETRICHE DI RIFERIMENTO PER L'AREA DI INTERVENTO E RELATIVI TOPOIETI.	33
FIGURA 6.1 – SCHEMA DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI	53
FIGURA 6.2 - SCHEMA DI TRASFERIMENTO DELLA PIOGGIA.....	54
FIGURA 6.3: LITOLOGIA - BACINO DEL TORRENTE GRUE (A SINISTRA) E BACINO DEL TORRENTE CURONE (A DESTRA).	59
FIGURA 6.4: LITOLOGIA - BACINO DEL TORRENTE LIMBIONE (A SINISTRA) E BACINO DEL TORRENTE CALVENZA (A DESTRA).	60
FIGURA 6.5: ESTRATTO CLC18 RELATIVA AL TRACCIATO FERROVIARIO DI PROGETTO.	61
FIGURA 7.1: IDROGRAMMA UNITARIO SCS.	69
FIGURA 7.2: IETOGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr50 ANNI.	70

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

FIGURA 7.3: IDROGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr50 ANNI.....	71
FIGURA 7.4: IETGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr50 ANNI.	71
FIGURA 7.5: IDROGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr50 ANNI.....	72
FIGURA 7.6: IETGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr200 ANNI.	72
FIGURA 7.7: IDROGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr200 ANNI.....	73
FIGURA 7.8: IETGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr200 ANNI.	73
FIGURA 7.9: IDROGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr200 ANNI.....	74
FIGURA 7.10: IETGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr500 ANNI.	74
FIGURA 7.11: IDROGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr500 ANNI.....	75
FIGURA 7.12: IETGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr500 ANNI.....	75
FIGURA 7.13: IDROGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr500 ANNI.....	76
FIGURA 7.14: IETGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr50 ANNI.	77
FIGURA 7.15: IDROGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr50 ANNI.....	77
FIGURA 7.16: IETGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr50 ANNI.	78
FIGURA 7.17: IDROGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr50 ANNI.....	78
FIGURA 7.18: IETGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr200 ANNI.	79
FIGURA 7.19: IDROGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr200 ANNI.....	79
FIGURA 7.20: IETGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr200 ANNI.....	80
FIGURA 7.21: IDROGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr200 ANNI.....	80
FIGURA 7.22: IETGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr500 ANNI.	81
FIGURA 7.23: IDROGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr500 ANNI.....	81
FIGURA 7.24: IETGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr500 ANNI.....	82
FIGURA 7.25: IDROGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr500 ANNI.....	82
FIGURA 7.26: IETGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr50 ANNI.	83
FIGURA 7.27: IDROGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr50 ANNI.....	83
FIGURA 7.28: IETGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr50 ANNI.	84
FIGURA 7.29: IDROGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr50 ANNI.....	84
FIGURA 7.30: IETGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr200 ANNI.	85
FIGURA 7.31: IDROGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr200 ANNI.....	85
FIGURA 7.32: IETGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr200 ANNI.....	86
FIGURA 7.33: IDROGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr200 ANNI.....	86
FIGURA 7.34: IETGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr500 ANNI.	87
FIGURA 7.35: IDROGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr500 ANNI.....	87
FIGURA 7.36: IETGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr500 ANNI.....	88
FIGURA 7.37: IDROGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr500 ANNI.	88

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

FIGURA 7.38: IETOGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr50 ANNI.....	89
FIGURA 7.39: IDROGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr50 ANNI.....	89
FIGURA 7.40: IETOGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr50 ANNI.....	90
FIGURA 7.41: IDROGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr50 ANNI.....	90
FIGURA 7.42: IETOGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr200 ANNI.....	91
FIGURA 7.43: IDROGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr200 ANNI.....	91
FIGURA 7.44: IETOGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr200 ANNI.....	92
FIGURA 7.45: IDROGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr200 ANNI.....	92
FIGURA 7.46: IETOGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr500 ANNI.....	93
FIGURA 7.47: IDROGRAMMA GEV DI PROGETTO Tr500 ANNI.....	93
FIGURA 7.48: IETOGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr500 ANNI.....	94
FIGURA 7.49: IDROGRAMMA GUMBEL DI PROGETTO Tr500 ANNI.....	94
FIGURA 7.50: TORRENTE GRUE – CONFRONTO TRA I VALORI DI PORTATA OTTENUTI NEL PRESENTE STUDIO E QUELLI DISPONIBILI IN STUDI PRECEDENTI.....	97
FIGURA 7.51: TORRENTE CALVENZA – CONFRONTO TRA I VALORI DI PORTATA OTTENUTI NEL PRESENTE STUDIO E QUELLI DISPONIBILI IN STUDI PRECEDENTI.....	97
FIGURA 7.52: TORRENTE CURONE – CONFRONTO TRA I VALORI DI PORTATA OTTENUTI NEL PRESENTE STUDIO E QUELLI DISPONIBILI IN STUDI PRECEDENTI.....	98
FIGURA 8.1: 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).....	100
FIGURA 8.2: 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).....	101
FIGURA 8.3: STAZIONE PLUVIOMETRICA DI VOGHERA: SERIE STORICA DI DATI DI ALTEZZA DI PIOGGIA GIORNALIERA, 1951-2016 (FONTE: ALLEGATO 2 – DIRETTIVA N. 2/2001 DELL'ADB FIUME PO; HTTP://WWW.GALLINI.ORG/METEO/MEDIE.HTML).	102

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1: TORRENTE GRUE: VALORI DI PORTATA AL COLMO RIPORTATI NELLO STUDIO CONDOTTO DALLA REGIONE PIEMONTE.....	18
TABELLA 2: TORRENTE CALVENZA: VALORI DI PORTATA AL COLMO RIPORTATI NELLO STUDIO GEOLOGICO CONDOTTO DAL DOTT. REPREGOSI.....	18

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

TABELLA 3: TORRENTE CURONE: VALORI DI PORTATA AL COLMO RIPORTATI NELLO STUDIO CONDOTTO DALL'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME PO.	19
TABELLA 4: DATI MORFOMETRICI DEL BACINO DEL TORRENTE GRUE.	20
TABELLA 5: DATI MORFOMETRICI DEL BACINO DEL TORRENTE CALVENZA.	21
TABELLA 6: DATI MORFOMETRICI DEL BACINO DEL TORRENTE CURONE.	22
TABELLA 7: DATI MORFOMETRICI BACINO LIMBIONE.	23
TABELLA 8: RIPARTIZIONE TEMPORALE DELLA PRECIPITAZIONE.	57
TABELLA 9: IETOGRAMMA GRUE 8 ORE – GEV.	58
TABELLA 10: ACCOPPIAMENTO CLASSE LITOLOGICA AL TIPO IDROLOGICO DI SUOLO.	59
TABELLA 11: DESCRIZIONE DEL TIPO IDROLOGICO DI SUOLO.	59
TABELLA 12: VALORI CARATTERISTICI DEL PARAMETRO CMII NELLE ZONE URBANIZZATE, OTTENUTE INCROCIANDO LE CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ DEL TERRENO CON QUELLE DI USO DEL SUOLO. (* PER I DIVERSI TIPI DI COPERTURA VEGETALE E COLTIVAZIONE V. TABELLA 13, TABELLA 14).	62
TABELLA 13: VALORI CARATTERISTICI DEL PARAMETRO CNII PER LE ZONE RURALI.	62
TABELLA 14: VALORI CARATTERISTICI DEL PARAMETRO CNII PER LE ZONE RURALI.	63
TABELLA 15: ATTRIBUZIONE CN AL BACINO DEL T. GRUE.	64
TABELLA 16: ATTRIBUZIONE CN AL BACINO DEL T. CALVENZA.	65
TABELLA 17: ATTRIBUZIONE CN AL BACINO DEL T. CURONE.	67
TABELLA 18: ATTRIBUZIONE CN AL BACINO DEL T. LIMBIONE.	68
TABELLA 19: PICCO DI PORTATA GEV Tr 50 ANNI.	71
TABELLA 20: PICCO DI PORTATA GUMBEL Tr 50 ANNI.	72
TABELLA 21: PICCO DI PORTATA GEV Tr 200 ANNI.	73
TABELLA 22: PICCO DI PORTATA GUMBEL Tr 200 ANNI.	74
TABELLA 23: PICCO DI PORTATA GEV Tr 500 ANNI.	75
TABELLA 24: PICCO DI PORTATA GUMBEL Tr 500 ANNI.	76
TABELLA 25: PICCO DI PORTATA GEV Tr 50 ANNI.	78
TABELLA 26: PICCO DI PORTATA GUMBEL Tr 50 ANNI.	79
TABELLA 27: PICCO DI PORTATA GEV Tr 200 ANNI.	80
TABELLA 28: PICCO DI PORTATA GUMBEL Tr 200 ANNI.	81
TABELLA 29: PICCO DI PORTATA GEV Tr 500 ANNI.	82
TABELLA 30: PICCO DI PORTATA GUMBEL Tr 500 ANNI.	82
TABELLA 31: PICCO DI PORTATA GEV Tr 50 ANNI.	84
TABELLA 32: PICCO DI PORTATA GUMBEL Tr 50 ANNI.	84
TABELLA 33: PICCO DI PORTATA GEV Tr 200 ANNI.	86
TABELLA 34: PICCO DI PORTATA GUMBEL Tr 200 ANNI.	87

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p>												
<p>IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IQ01</td> <td>01</td> <td>R 09 RI</td> <td>ID 0001 001</td> <td>A</td> <td>7 di 102</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	7 di 102
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	7 di 102								

TABELLA 35: PICCO DI PORTATA GEV Tr 500 ANNI.....	88
TABELLA 36: PICCO DI PORTATA GUMBEL Tr 500 ANNI.....	88
TABELLA 37: PICCO DI PORTATA GEV Tr 50 ANNI.....	89
TABELLA 38: PICCO DI PORTATA GUMBEL Tr 50 ANNI.....	90
TABELLA 39: PICCO DI PORTATA GEV Tr 200 ANNI.....	91
TABELLA 40: PICCO DI PORTATA GUMBEL Tr 200 ANNI.....	92
TABELLA 41: PICCO DI PORTATA GEV Tr 500 ANNI.....	93
TABELLA 42: PICCO DI PORTATA GUMBEL Tr 500 ANNI.....	94
TABELLA 43: RISULTATI FINALI – GEV.....	95
TABELLA 44: RISULTATI FINALI – GUMBEL.....	96
TABELLA 45: VALORI MEDIO E MASSIMO DI VARIAZIONE DI PRECIPITAZIONE MASSIMA GIORNALIERA PREVISTE NELL'AREA DI INTERVENTO (ISPRA, 2015).....	101

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

1 PREMESSA

Obiettivo della presente relazione è la definizione dei dati pluviometrici per i bacini del Torrente Grue, Torrente Calvenza, Torrente Curone e Torrente Limbione, ai fini della determinazione degli ideogrammi di piena per i tempi di ritorno di riferimento.

L'analisi effettuata ha seguito differenti fasi:

- Reperimento della cartografia di base;
- Interpretazione della cartografia e reperimento di ulteriori informazioni mediante acquisizioni bibliografiche sul comportamento pluvio-meteorologico dell'area in esame e del bacino di interesse;
- Reperimento di informazioni mediante acquisizioni bibliografiche sul comportamento pluvio-meteorologico dell'area durante gli eventi di pioggia estremi;
- Raccolta ed analisi preliminare dei dati pluviometrici;
- Analisi statistica delle piogge intense e determinazione delle curve di probabilità pluviometrica rappresentative;
- Analisi geomorfologica dei bacini dei corsi d'acqua maggiori, oggetto della presente relazione;
- Definizione degli idrogrammi di progetto;
- Reperimento di progetti propedeutici allo sviluppo di analisi dimensionali.

Nella relazione, inoltre, si riporta l'inquadramento idraulico dell'area in esame.

Lo studio idrologico è finalizzato alla determinazione degli ietogrammi e idrogrammi di assegnato tempo di ritorno, che verranno assunti nelle successive simulazioni numeriche idrauliche.

La scelta dei tempi di ritorno degli eventi meteorici per il calcolo delle portate necessarie al dimensionamento delle varie tipologie di opere è stata effettuata in conformità a quanto previsto dal Manuale di Progettazione RFI e dalle Norme tecniche delle costruzioni (NTC2018), nonché conformemente agli strumenti di pianificazione su scala di bacino vigenti.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme:

- Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE;
- Direttiva Alluvioni 2007/60/CE;
- D.Lgs. n. 152/2006 - T.U. Ambiente;
- R.D. 25/07/1904, N. 523 "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie";
- Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17 gennaio 2018);
- "Manuale di Progettazione delle Opere Civili" della Rete Ferroviaria Italiana (RFI) aggiornato;
- PAI - 1. Relazione Generale;
- PAI - 7. Norme di Attuazione - Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica - Allegato 3 Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense. Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni;
- PdG Po – Piano di Gestione del fiume Po approvato il 3/03/2016 (DPCM 27 ottobre 2016);
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto del Distretto Idrografico Padano (P.G.R.A. 03/03/2016);
- Norme tecniche di attuazione del Programma di Tutela e Uso delle Acque (PTUA) della Regione Lombardia del 2016;
- L.R. 15 marzo 2016, n. 4; “Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d’acqua”;
- Regolamento regionale 24 marzo 2006, n.2 - Disciplina dell'uso delle acque superficiali e sotterranee, dell'utilizzo delle acque a uso domestico, del risparmio idrico e del riutilizzo dell'acqua in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera c) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26;
- Regolamento regionale 24 marzo 2006, n.4 “Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26;
- DGR 6738 del 19 giugno 2017. “Disposizioni regionali concernenti l’attuazione del piano di gestione rischi alluvioni (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell’emergenza, ai sensi dell’art. 58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l’assetto idrogeologico (PAI) del bacino del Fiume Po

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 10 di 102

così come integrate dalla variante adottata in data 7/12/2016 con deliberazione n. 5 dal comitato istituzionale dell'autorità di bacino del Fiume Po”;

- Regolamento Regionale 19 aprile 2019, n. 8. “Disposizioni sull’applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell’articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 “Legge per il governo del territorio”)

Il progetto in essere considera inoltre:

- “*Linee Generali di Assetto Idraulico e idrogeologico e quadro degli interventi Bacino dello Scrivia*” dell’Autorità di bacino del Fiume Po;
- “*Linee Generali di Assetto Idraulico e idrogeologico (Staffora - Luria - Coppa - Scuropasso - Versa - Bardonezza - Tidone)*” dell’Autorità di bacino del Fiume Po;
- “*Studio idraulico dell’intero bacino del Torrente Grue*”, commissionato dalla Regione Piemonte in particolare dai comuni di Viguzzolo (capofila), Dernice, Garbagna, Avolasca, Casasco, Montemarzino, Montegioco, Cerreto Grue, Sarezzano, Tortona, Castelnuovo Scrivia.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

3 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI INTERVENTO

L'intervento di quadruplicamento ferroviario in progetto viene eseguito per la maggior parte allargando il sedime ferroviario esistente, mentre in alcuni tratti (ad es. a Pontecurone) si sviluppa in variante, su terreno attualmente non occupato da sede ferroviaria.

La tratta in oggetto si sviluppa per una lunghezza complessiva di 16.2 km nell'ambito territoriale delle province di Alessandria e Pavia.

L'intervento ha origine dalle curve di ingresso della stazione di Tortona lato Ovest (Alessandria, Arquata S.) e termina nei pressi della radice lato Tortona della stazione di Voghera (Km 37+182.48).

L'intervento prevede:

- la messa a PRG della stazione di Tortona;
- il quadruplicamento in affiancamento ai binari della linea Tortona – Voghera ad interasse specifico ed il mantenimento dell'attuale linea ad interasse esistente;
- la sistemazione della fermata di Pontecurone.

In Figura 3.1, si riporta una foto aerea con indicazione dell'area oggetto di studio (fonte: Google Earth).

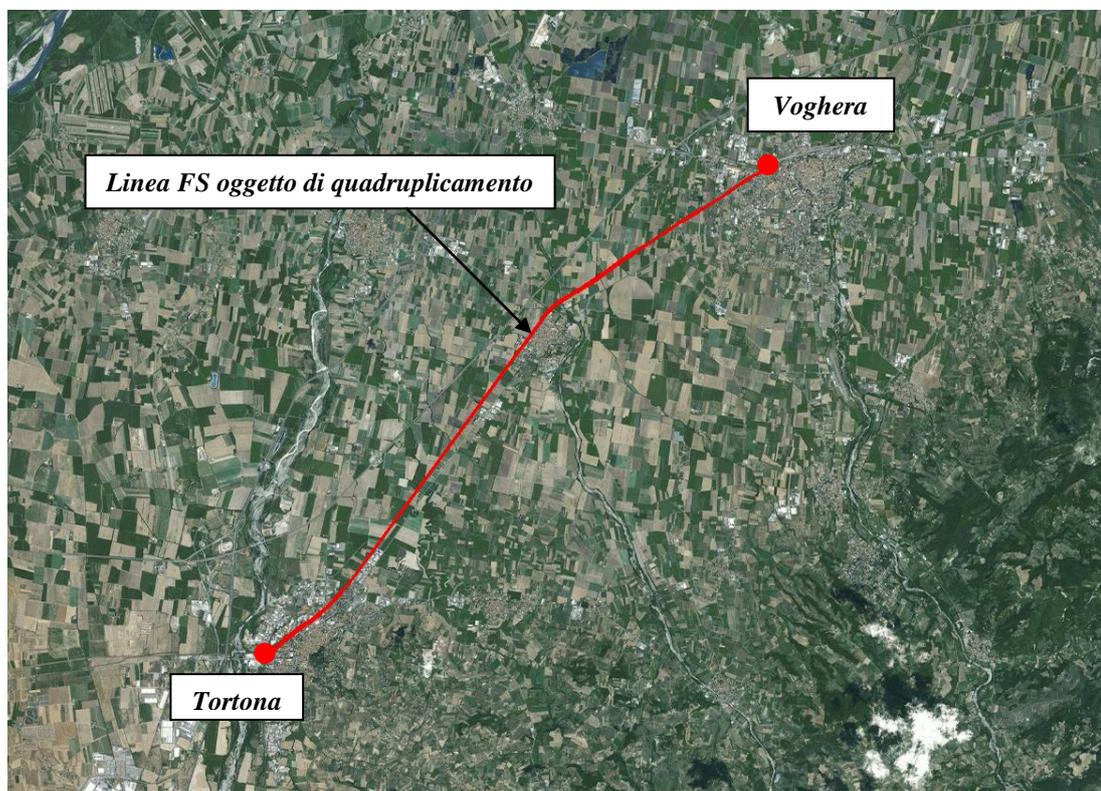


Figura 3.1 – Inquadramento generale dell'intervento in progetto.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

3.1 INQUADRAMENTO FISICO ED IDROGRAFICO

Gli interventi in progetto ricadono all'interno dei sottobacini idrografici "Scrvia", "Curone" e "Staffora-Luria" ricadenti nell'area di giurisdizione dell'Autorità di bacino del Fiume Po (Figura 3.6). Nell'immagine a seguire i principali bacini idrografici gestiti, fino a febbraio 2017, dall'Autorità di Bacino del fiume Po (in rosso l'area di interesse).

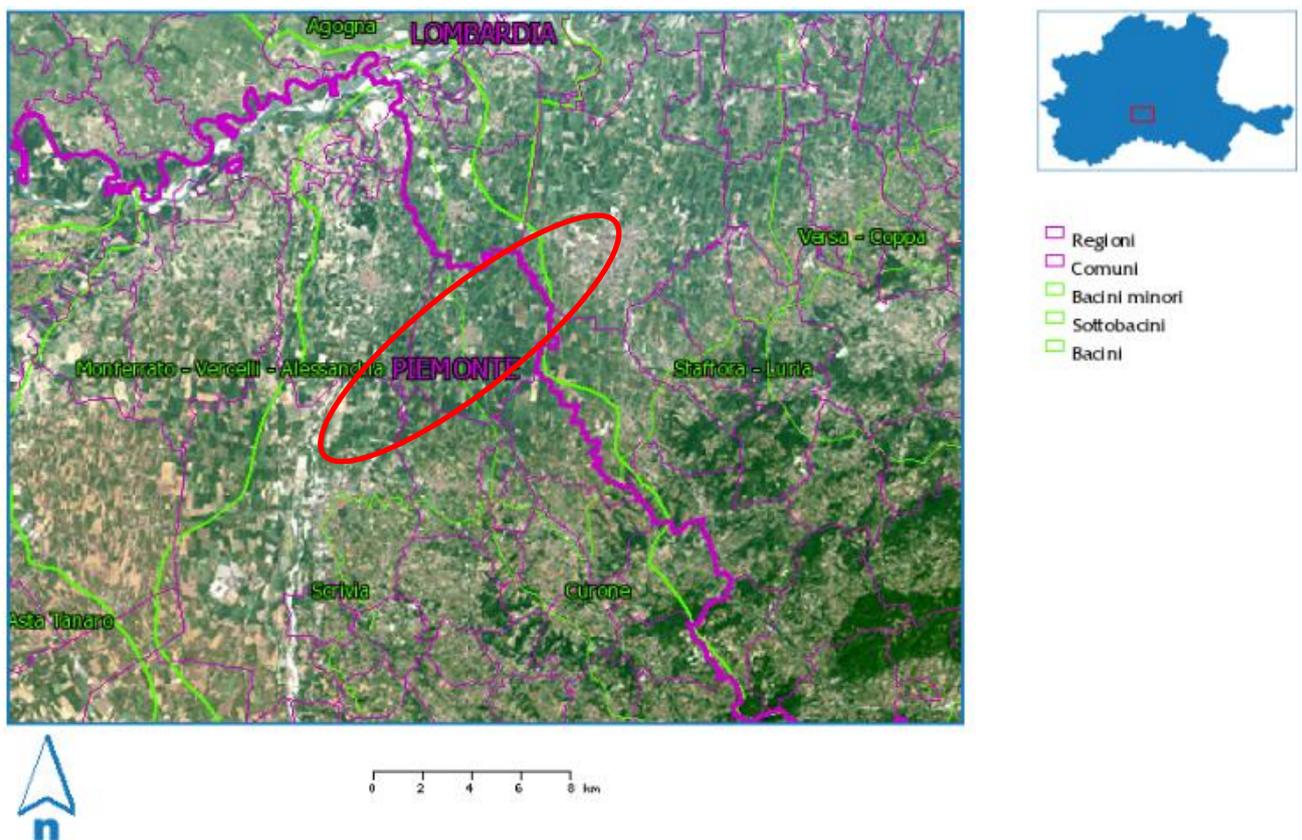


Figura 3.2 - Inquadramento idrografico dell'area di intervento.

Con le disposizioni del Testo Unico in materia ambientale (Decreto legislativo n. 152/2006) l'intero territorio italiano è stato ripartito complessivamente in 8 distretti idrografici in ognuno dei quali è istituita l'Autorità di bacino distrettuale, definita giuridicamente come ente pubblico non economico.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA												
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IQ01</td> <td>01</td> <td>R 09 RI</td> <td>ID 0001 001</td> <td>A</td> <td>13 di 102</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	13 di 102
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	13 di 102								



Figura 3.3 - Suddivisione territoriale in distretti.

L'intervento, secondo la nuova Direttiva 2000/60/CE, ricade nel Distretto idrografico Padano le cui competenze in materia di pianificazione idraulica sono demandate all'Autorità di Bacino distrettuale del fiume Po, con il P.G.R.A. in vigore.

L'analisi idraulica deve considerare gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore, in particolare i piani di settore di riferimento della zona in esame. Gli strumenti legislativi da considerare e analizzare sono:

- *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.);*
- *Piano di Gestione Rischio Alluvione (P.G.R.A.).*

3.2 BACINO IDROGRAFICO DELLO TORRENTE SCRIVIA

Il bacino del Torrente Scrivia ha una superficie complessiva di 1.237 km² (2% del bacino del Po) di cui il 77% in ambito montano.

Lo Scrivia nasce nell'Appennino Ligure, presso Torriglia in provincia di Genova, e, dopo un iniziale andamento est-ovest fino a Busalla, assume la direzione sud-ovest - nord-est confluendo nel Po poco a monte di Voghera.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

Fino a Montoggio scorre in una stretta valle con versanti ripidi e ricoperti di vegetazione. Dalla confluenza con il torrente Brevenna il fondovalle diventa più ampio ed è occupato da numerosi centri abitati e insediamenti industriali; i versanti, sempre molto ripidi, sono ricoperti da boschi, spesso interrotti da zone coltivate "a gradoni". Da Isola del Cantone a Serravalle Scrivia la val Scrivia si allarga ulteriormente, i terrazzi alluvionali acquistano una notevole estensione e i versanti risultano meno acclivi e intensamente coltivati. A meno del tratto iniziale, l'intera asta fluviale principale attraversa zone densamente abitate e, a partire da Busalla, è caratterizzata dalla presenza di numerosi e importanti complessi industriali e di infrastrutture viarie e ferroviarie che occupano zone di pertinenza fluviale.

I principali affluenti provengono dal versante destro e sono i torrenti Brevenna, Vobbia, Grue e Borbera; quest'ultimo è quello più importante e si immette nello Scrivia all'altezza di Vignole Borbera, poco a monte della chiusura del bacino montano. L'unico affluente di rilievo in sinistra è rappresentato dal rio di Greto, che confluisce nello Scrivia a Montoggio.

Il reticolo idrografico ha un basso grado di gerarchizzazione e una netta differenza di sviluppo areale tra il settore in destra e quello in sinistra orografica del bacino. Nel bacino sono presenti gli importanti invasi artificiali di Busalletta e val di Noci e due invasi di minori dimensioni sul torrente Vobbia.

3.3 BACINI DELL'OLTREPÒ PAVESE: BACINO IDROGRAFICO DELLO STAFFORA-LURIA-VERSA-COPPA

Il territorio comprende i bacini degli affluenti di destra del Po, dal Curone al Tidone. Vi ricadono pertanto i bacini intermedi dello Staffora, Luria, Coppa, Scuropasso, Versa e Bardonezza. La superficie complessiva di circa 1.370 km², corrispondente al 2% della superficie complessiva del bacino del Po, ricade per il 63% in ambito montano.

Il bacino del torrente Curone è delimitato a ovest dal bacino dello Scrivia a est dal bacino del torrente Staffora. Ha origine nel versante nord del gruppo appenninico del monte Ebro - monte Chiappo e sbocca in pianura a est di Tortona. Si estende in pianura nel territorio del comune di Tortona, lembo orientale della provincia di Alessandria, si inoltra quindi tra dolci declivi collinari coltivati prevalentemente a vigneto incuneandosi più a sud nell'Appennino ligure, caratterizzato da estesi boschi di faggio e da castagneti.

Il bacino del torrente Staffora è delimitato a ovest dal bacino del Curone, rispetto al quale ha un andamento parallelo, a est dal bacino del torrente Coppa, a sud-est dal bacino del torrente Tidone, a sud dal fiume Trebbia. Gli affluenti principali, tutti in destra, sono i torrenti Ardivestra, Nizza e Aronchio.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

La valle dello **Staffora** presenta una marcata morfologia fluviale con versanti molto scoscesi ricoperti da un fitto manto boscoso e alveo inciso nella parte alta; a partire da Fego la valle si allarga, i versanti sono meno acclivi e l'alveo si presenta più ampio e ad andamento intrecciato.

Il bacino del torrente **Coppa** è delimitato a ovest e sud dal bacino del torrente Staffora, a sud-est dal bacino del torrente Tidone, a est dal bacino del torrente Scuropasso. Il Coppa nasce alla confluenza dei due rami di testata, torrenti Ghiaia-Coppa e Ghiaia di Montalto, nei pressi di Borgo Priolo. Questi ultimi hanno origine nella zona collinare dell'Appennino a quote comprese tra i 400 e i 500 m s.m. L'affluente principale del Coppa è il torrente Schizzola e confluisce in sinistra all'altezza dell'abitato di Rivazza.

Il torrente **Scuropasso** nasce nel medio Appennino nei pressi di Montalto Pavese e dopo un breve percorso a prevalente andamento Nord-Sud, all'altezza di Broni compie un'ansa verso sinistra per immettersi nel Po nei pressi di Pavia.

Il torrente **Versa** nasce nel medio Appennino e, dopo un corso a prevalente andamento sud-nord confluisce in Po poco a nord di Stradella. Il torrente Bardonezza nasce all'altezza di Pizzofreddo nel medio-basso Appennino e seguendo il confine tra Lombardia ed Emilia-Romagna confluisce nel Po poco a monte di Castel San Giovanni.

Il bacino del Tidone occupa l'estrema parte nord-occidentale dell'Appennino Ligure. Il torrente nasce sulla falda del monte Penice (1.000 m s.m.), in prossimità della località Ca' dei Matti in provincia di Pavia; dopo un iniziale andamento sud-nord compie un'ampia ansa e assume il tipico andamento antiappenninico. Dopo un percorso di 13 km entra in provincia di Piacenza dove, in località Fabbiano, abbandona la zona collinare; prosegue poi, svolgendosi in ampi meandri, fino a Veratto in comune di Sarmato, confluendo infine nel Po, dopo un percorso complessivo in provincia di Piacenza di 32 km. I principali tributari del Tidone sono:

- il torrente Tidoncello, affluente di destra, che nasce dall'estremo crinale sudorientale del bacino in comune di Pecorara e confluisce in Tidone a valle di Nibbiano;
- il torrente Luretta, affluente di destra, che nasce dal monte Sereda a quota 725 m s.m., si sviluppa nella zona sud-orientale del bacino e confluisce in prossimità di Agazzino, poco a monte della confluenza nel Fiume Po;
- il torrente Chiarone, affluente di destra, che scorre tra le valli del Tidoncello e del Luretta;
- il torrente Morcione, affluente di sinistra.

Nel bacino del Tidone è presente il serbatoio di Trebecco, finalizzato alla regolazione dei deflussi per la produzione di energia idroelettrica. L'invaso e la diga sono attualmente in fase di ristrutturazione. I versanti mostrano una modesta acclività e risultano modellati dalle numerose paleofrane. Nel tratto montano il reticolo

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p>					
<p>IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione</p>	<p>COMMESSA IQ01</p>	<p>LOTTO 01</p>	<p>CODIFICA R 09 RI</p>	<p>DOCUMENTO ID 0001 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 16 di 102</p>

idrografico è caratterizzato da forti pendenze, con erosioni spondali e di fondo e conseguente elevato trasporto solido. I bacini di tipo appenninico sono caratterizzati da rilievi non molto elevati, in genere a quota tra i 1.000 e 2.000 m s.m., e, data la notevole vicinanza al Mar Ligure, da precipitazioni molto intense. L'influenza delle precipitazioni nevose è trascurabile a causa della modesta altitudine del territorio.

Sono state registrate quindi alluvioni in tutte le stagioni, anche se il periodo compreso tra settembre e novembre è quello con la massima incidenza di eventi gravosi. Nel bacino idrografico le precipitazioni medie variano da 800 mm/anno a oltre 1.100 mm/anno.



Figura 3.4 - Bacino Fiume Po.

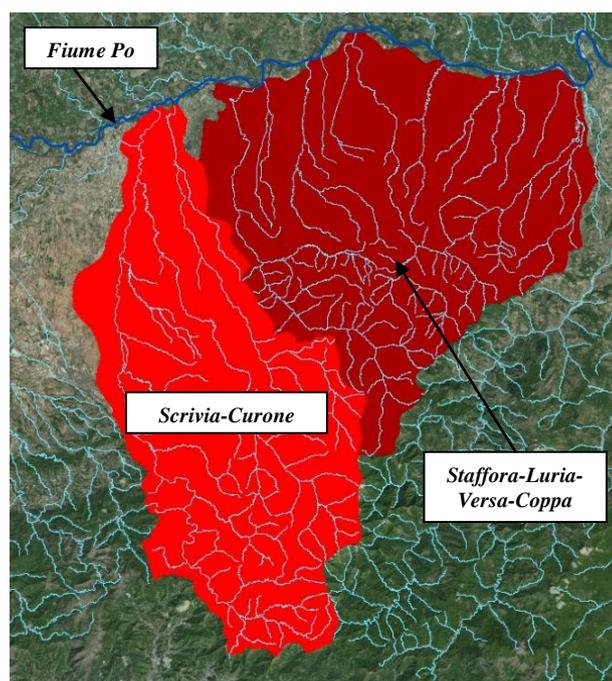


Figura 3.5 - Bacino Scrivia-Curone (a sinistra), Bacino Staffora-Luria-Versa-Coppa (a destra).

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 17 di 102

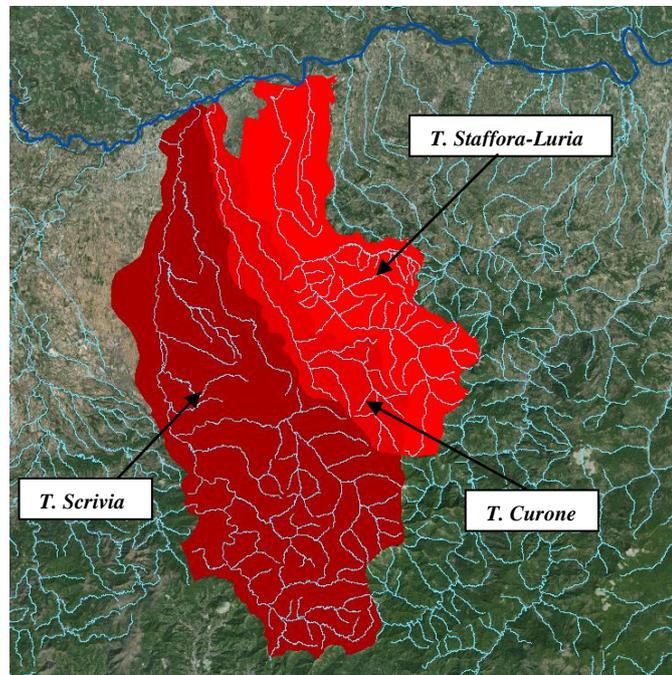


Figura 3.6-Sottobacini, da sinistra: Torrente Scriveria, Torrente Curone, Torrente Staffora-Luria.

L'intero tratto in progetto ricade nei sottobacini del Torrente Scriveria, del Torrente Curone e del Torrente Staffora-Luria.

3.4 PRINCIPALI ASPETTI IDROLOGICI

Il T. Scriveria è caratterizzato da un regime pluviometrico di tipo sub-litoraneo appenninico con due massimi e due minimi. Il massimo autunnale risulta più elevato di quello primaverile e il minimo estivo più contratto di quello invernale. Le punte autunnali hanno valori medi mensili dell'ordine dei 118 mm, quelle primaverili di circa 79 mm. I minimi estivi hanno valori medi mensili dell'ordine dei 44 mm, quelli invernali di circa 66 mm. Il totale delle precipitazioni medie annue è di circa 900 mm.

Per il bacino dell'Oltrepò pavese, essendo del tipo dei bacini di carattere appenninico sono caratterizzati da rilievi non molto elevati, in genere a quota tra i 1.000 e 2.000 m s.m., e, data la notevole vicinanza al Mar Ligure, da precipitazioni molto intense. L'influenza delle precipitazioni nevose è trascurabile a causa della modesta altitudine del territorio. Sono state registrate quindi alluvioni in tutte le stagioni, anche se il periodo compreso tra settembre e novembre è quello con la massima incidenza di eventi gravosi. Nel bacino idrografico le precipitazioni medie variano da 800 mm/anno a oltre 1.100 mm/anno.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

La linea ferroviaria oggetto dell'intervento di quadruplicamento attraversa quattro corsi d'acqua principali, oltre ad una serie di piccoli scoli e rivi. Nello specifico, nel tratto *Tortona-Pontecurone*, la linea ferroviaria attraversa dapprima il Torrente Grue e successivamente il Torrente Calvenza (tributario in destra idraulica del T. Grue); il Torrente Grue è a sua volta un affluente in destra idraulica del Torrente Scrvia.

Nel tratto Pontecurone-Voghera, la linea ferroviaria attraversa dapprima il Torrente Curone e successivamente il Torrente Limbione (tributario in destra idraulica del T. Curone).

3.5 STUDI IDROLOGICI PRECEDENTI DISPONIBILI SUL TERRITORIO

Con riferimento ai corsi d'acqua *Torrente Grue*, *Torrente Calvenza* e *Torrente Curone*, la Regione Piemonte (rif. “*Studio idraulico dell'intero bacino del Torrente Grue*”, sviluppato da Studio ANSELMO Associati, 2016), il Comune di Castelnuovo Scrvia (rif. “*Studio geologico Dott. Repregosi*”, 2012) e l'Autorità di Bacino del Fiume Po (rif. *Monografia T.Curone – SP.1.4 AdBP*, 2002) hanno condotto in passato specifici studi idrologici-idraulici.

Per confronto e al fine di valutare la bontà delle analisi idrologiche sviluppate e descritte nella presente relazione, si riportano nelle tabelle seguenti i valori di portata al colmo, per differenti tempi di ritorno, ottenuti nei sopraccitati studi, per i tre corsi d'acqua T. Grue, T. Calvenza e T. Curone.

- “*Studio idraulico dell'intero bacino del Torrente Grue*” (Studio ANSELMO Associati, 2016)

<i>Tr (anni)</i>	50	200	500
<i>Q (m³/s)</i>	154	224	270

Tabella 1: Torrente Grue: valori di portata al colmo riportati nello studio condotto dalla Regione Piemonte.

Si precisa che i valori di portata al colmo del Torrente Grue riportati nella tabella precedente si riferiscono alla sezione di chiusura ubicata in corrispondenza del ponte della S.P. 99, nei pressi di Viguzzolo (estensione del bacino: 75.4 km²).

- “*Studio geologico Dott. Repregosi – Torrente Calvenza*” (2012)

<i>Tr (anni)</i>	100	200
<i>Q (m³/s)</i>	24.8	27.2

Tabella 2: Torrente Calvenza: valori di portata al colmo riportati nello studio geologico condotto dal Dott. Repregosi.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 19 di 102

Si precisa che i valori di portata al colmo del Torrente Calvenza riportati nella tabella precedente si riferiscono alla sezione di chiusura ubicata in corrispondenza dell'abitato di Castelnuovo Scrvia (estensione del bacino: 9 km²).

- *Monografia Torrente del Torrente Curone – SP 1.4 Autorità di Bacino del Fiume Po (2002)*

<i>Tr (anni)</i>	20	100	200	500
<i>Q (m³/s)</i>	308	465	510	569

Tabella 3: Torrente Curone: valori di portata al colmo riportati nello studio condotto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Si precisa che i valori di portata al colmo del Torrente Curone riportati nella tabella precedente si riferiscono alla sezione di chiusura ubicata in corrispondenza del ponte della SP93, subito a monte della linea ferroviaria oggetto di intervento.

IDROLOGIA E IDRAULICA

 Relazione idrologica bacini maggiori -
 T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	21 di 102

4.2 TORRENTE CALVENZA



Figura 4.2: Perimetrazione del bacino del torrente Calvenza.

Dati bacino									
Area Bacino kmq	coord centro bacino		H_{min} m	H_{max} m	H_{media} m	$H_{chiusura}$ m	L_{asta} km	Pendenza Asta m/m	Pendenza media Bacino m/m
	x	y							
7,24	1494999,04	4973593,39	99	298	114,61	100	7,218	0,018	0,0529

Tabella 5: Dati morfometrici del bacino del Torrente Calvenza.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
 T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	23 di 102

4.4 TORRENTE LIMBIONE

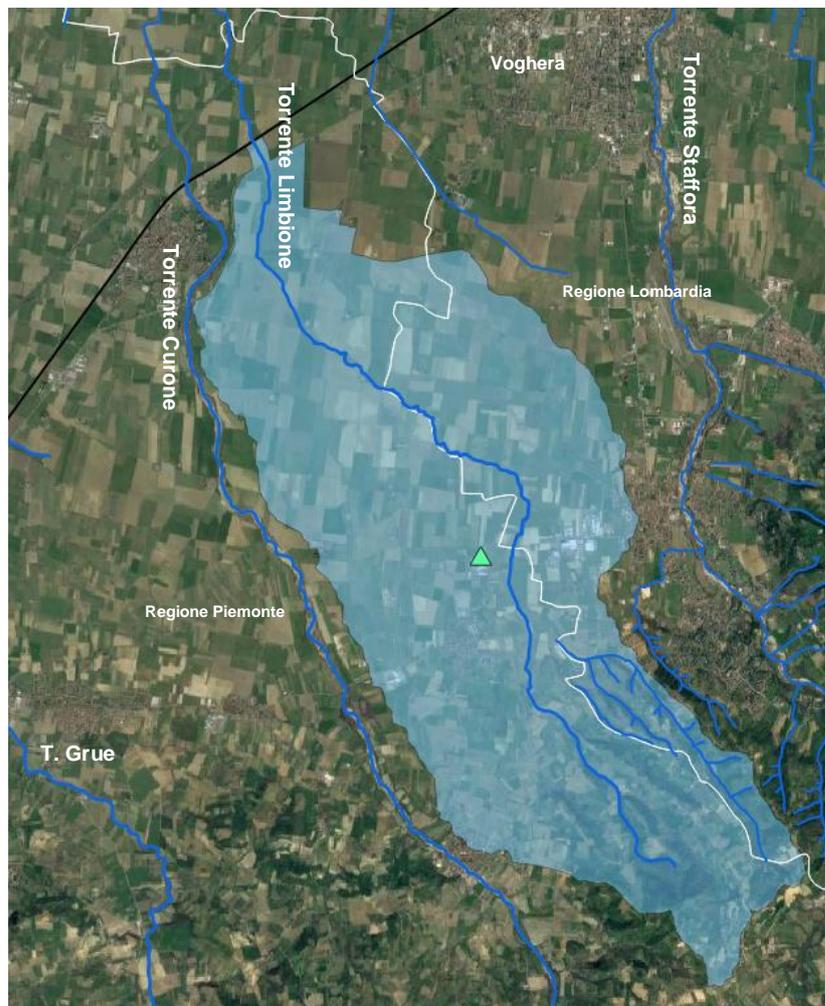


Figura 4.4: Perimetrazione del bacino del Torrente Limbione.

Dati bacino									
Area Bacino	coord centro bacino		H_{min}	H_{max}	H_{media}	$H_{chiusura}$	L_{asta}	Pendenza Asta	Pendenza media Bacino
kmq	x	y	m	m	m	m	km	m/m	m/m
39,44	1498796,05	4974825,84	92	475	167,55	94	13,561	0,015	0,0716

Tabella 7: Dati morfometrici bacino Limbione.

Da Tabella 4 a Tabella 7 sono riportate: la superficie in chilometri quadrati del bacino (**Area Bacino**), le coordinate del baricentro del bacino (**coord centro bacino**), altitudine minima (H_{min}) – massima (H_{max}) – media (H_{media}) del bacino e altitudine della sezione di chiusura ($H_{chiusura}$), lunghezza dell'asta individuata (L_{asta}) e relativa pendenza (**Pendenza Asta**) ed infine pendenza media del bacino (**Pendenza media Bacino**).

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

5 ANALISI PLUVIOMETRICA

L'analisi idrologica è finalizzata alla definizione dei parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica di assegnata probabilità di accadimento (sintetizzata nel parametro tempo di ritorno), indispensabili per il dimensionamento dei diversi manufatti idraulici, in particolare per la valutazione dei tiranti idrici e delle aree potenzialmente inondabili.

Lo studio idrologico deve fornire l'inquadramento generale dell'area di studio sulla base dei dati idroclimatici ufficiali (*Servizio Idrografico*), delle caratteristiche morfologiche e di copertura del suolo e di eventuali altri studi disponibili.

In generale, è preferibile utilizzare analisi già esistenti purché siano valide e stabiliscano in modo autorevole i valori delle LSPP dell'area in esame. In caso contrario:

- Per bacini privi di strumentazione, potrebbe essere utilizzata una qualsiasi delle analisi di frequenza sulle portate di piena già esistenti purché siano valide e stabiliscano in modo autorevole i valori delle portate di piena nel corso d'acqua in esame;
- In assenza di un'analisi regionale ufficiale o qualora la stessa non risulti applicabile a causa di consistenti regolazioni dei deflussi o altre caratteristiche peculiari del bacino in esame, dovrà essere selezionata la metodologia più appropriata per la stima dei dati di portata necessari. Allo scopo potranno essere impiegati i metodi sviluppati da vari Autori o enti o modelli afflussi-deflussi, quali quelli basati sull'idrogramma unitario istantaneo (IUH).

Nel progetto in essere esistono differenti analisi validate e autorevoli:

- l'Autorità di bacino del Fiume Po definisce i *Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni* all'interno della "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica";
- ARPA Piemonte ha sviluppato l'"Atlante delle piogge intense" nell'ambito del progetto *INTERREG IV/A STRADA*

Si riporta di seguito l'analisi e il confronto tra le differenti elaborazioni esistenti.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

5.1 ANALISI STATISTICA REGIONALE DELLE PIOGGE – PAI

Il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), all'art.10 delle Norme di attuazione, dispone:

- “L’Autorità di bacino definisce, con propria direttiva:*
- i valori delle portate di piena e delle precipitazioni intense da assumere come base di progetto e relativi metodi e procedure di valutazione per le diverse aree del bacino;*
 - i criteri e i metodi di calcolo dei profili di piena nei corsi d’acqua;*
- [...]”*

La “Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica“, in attuazione dell’art. 10 delle Norme di attuazione del PAI dell’Autorità di bacino del Fiume Po, fornisce i valori delle precipitazioni intense nelle diverse aree del bacino e quelli delle portate di piena sui corsi d’acqua principali, interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali (nell’ambito del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali - PSFF e del PAI) e, per gli stessi corsi d’acqua, il profilo della piena di progetto.

- Ai fini di quanto richiesto dall’art. 10 delle Norme di attuazione del PAI, la direttiva è costituita dai seguenti punti:*
- delimitazione dei sottobacini idrografici nella porzione collinare e montana del bacino del Po e degli ambiti idrografici di pianura;*
 - stima delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica puntuali nelle stazioni di misura delle precipitazioni;*
 - analisi della distribuzione spaziale delle precipitazioni intense;*
 - indicazioni per il calcolo delle portate di piena sui bacini idrografici di piccole dimensioni;*
 - stima delle portate di piena in sezioni significative dei corsi d’acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali;*
 - definizione del profilo di piena di progetto per i corsi d’acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali.*

La legge di dipendenza della media dei massimi di precipitazione con la durata può esprimersi, nel caso più semplice, come:

$$h = a \cdot t^n$$

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

in cui i parametri a e n dipendono dallo specifico tempo di ritorno considerato.

La stima delle curve di probabilità pluviometrica nelle stazioni di misura è stata effettuata dall'Autorità di Bacino sulla base delle serie storiche dei massimi annuali delle altezze di precipitazione per le durate considerate, definendo i parametri a ed n per i tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni. Nel procedere al calcolo dei parametri a ed n , sono state utilizzate le serie storiche delle precipitazioni intense riportate negli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano (Parte I, tabella III) relative ai massimi annuali delle precipitazioni della durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive. L'intervallo di durata tra 1 e 24 ore rappresenta il campo entro cui sono da ricercare le durate critiche per la maggior parte dei corsi d'acqua per i quali la stima della portata di piena può essere effettuata tramite l'utilizzo delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica. Al fine di fornire uno strumento per l'analisi di frequenza delle piogge intense nei punti privi di misure dirette è stata inoltre condotta dall'Autorità di bacino, all'interno della "Direttiva", un'interpolazione spaziale con il metodo di Kriging dei parametri " a " e " n " delle linee segnalatrici, discretizzate in base ad un reticolo di 2 km di lato.

I risultati sono rappresentati nell'Allegato 3; gli elaborati consentono il calcolo delle linee segnalatrici in ciascun punto del bacino, a meno dell'approssimazione derivante dalla risoluzione spaziale della griglia di discretizzazione, per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni, identificando la localizzazione sulla corografia. Tali curve di possibilità pluviometrica (P.A.I.) sono prese come riferimento nello studio commissionato dalla Regione Piemonte sopra citato ("*Studio idraulico dell'intero bacino del Torrente Grue*", sviluppato da Studio ANSELMO Associati, 2016).

5.2 LSPP – ARPA PIEMONTE

ARPA Piemonte nell'ambito del progetto INTERREG IV/A STRADA (Strategie di Adattamento ai cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero) nato da una collaborazione transfrontaliera tra Italia e Svizzera, in collaborazione con il Centro Nivo-Meteo di Bormio e del Servizio Idrografico, ha partecipato alla definizione delle "*precipitazioni estreme*".

Relativamente alle precipitazioni ARPA Piemonte ha reso disponibile l'"*Atlante delle piogge intense*".

5.2.1 L'atlante delle piogge intense del Piemonte

Il servizio Atlante delle piogge intense consente di ricavare in un qualsiasi punto del territorio regionale le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno per le durate da 10 minuti a 24 ore che rappresentano lo strumento essenziale nella progettazione idraulica e nella valutazione probabilistica delle

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

portate di piena. L'analisi statistica ha utilizzato tutta la base dati disponibile comprensiva delle stazioni storiche del Servizio Idrografico e Mareografico nazionale funzionati dal 1913 al 2002 e delle stazioni della rete regionale realizzata a partire dal 1987. Partendo dalla base dati a disposizione, attraverso l'applicazione del Kriging ordinario ad una griglia di interpolazione a maglia quadrata, sono state costruite le mappe relative a serie sintetiche di massimi annui di precipitazione su ciascun punto del grigliato. La determinazione dei coefficienti della curva di probabilità pluviometrica è stata effettuata considerando le medie delle massime precipitazioni. Noti i parametri della curva di probabilità pluviometrica, attraverso l'applicazione di modelli probabilistici, si determinano le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica che definiscono, per diverse durate, le massime precipitazioni di assegnato tempo di ritorno.

Metodologia

La curva di probabilità pluviometrica media consente di valutare l'altezza massima di pioggia di assegnata durata che può verificarsi in una determinata zona e viene generalmente espressa per mezzo della formula monomia

$$P(d) = a \cdot d^n \quad 1$$

L'altezza di pioggia P è espressa in funzione della durata d dell'evento meteorico a meno di due parametri:

1. il coefficiente pluviale orario a , che rappresenta l'altezza media di pioggia caduta in un intervallo di tempo pari ad un'ora;
2. l'esponente di invarianza di scala n , che governa l'andamento della curva e l'entità della dipendenza dalla durata della precipitazione.

La determinazione dei coefficienti della curva di probabilità pluviometrica è stata effettuata considerando le medie pesate delle massime precipitazioni per le varie durate. Queste ultime sono state determinate applicando il kriging ordinario ad una griglia di interpolazione a maglia quadrata (250 m) partendo dalle serie storiche disponibili. Il kriging ordinario è stato applicato, per ciascuna durata, ad ogni anno di osservazione, ottenendo una serie sintetica di mappe annuali contenenti i valori stimati di massimi di precipitazione alle varie durate in ogni nodo della griglia.

A valle dell'applicazione del kriging, ogni nodo è dunque caratterizzato da diverse serie sintetiche di massimi annui di precipitazione (una per ciascuna durata).

La stima dei parametri a e n della curva, avviene a partire da tali serie di massimi annuali di altezza di pioggia, per cui è stato possibile ottenere le mappe di a ed n rappresentative di tutti i punti della griglia di interpolazione.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

La dipendenza delle precipitazioni dal tempo di ritorno può essere ricostruita moltiplicando la relazione (5) per un fattore di crescita K_T .

$$P(d, T) = a \cdot d^n \cdot K_T \quad 2$$

Per le precipitazioni di durata sub-oraria (10, 20 e 30 minuti), la formula analitica per il calcolo dell'altezza di pioggia relativa ad una determinata durata e ad un determinato periodo di ritorno è la seguente:

$$P(d, T) = \left[a \cdot \left(\frac{1 + B \cdot d}{1 + B} \right)^{\frac{(n-1)(1+B)}{B}} \right] \cdot d \cdot K_T \quad 3$$

dove a ed n sono gli stessi delle durate standard mentre B è una costante pari a 136.495.

Per la stima del fattore di crescita K_T , atto a individuare la precipitazione di progetto relativa a un determinato tempo di ritorno T , si è effettuata un'analisi regionale atta a identificare le distribuzioni che meglio si adattano alla distribuzione dei massimi annui in regione Piemonte. La distribuzione Gumbel (due parametri) e la GEV (tre parametri) si configurano entrambe come valide alternative. L'utilizzo dell'una piuttosto che dell'altra è quindi strettamente legato agli obiettivi dello studio e deve essere motivato alla scala locale dove l'utente si trova ad operare. La metodologia adottata ha consentito la creazione delle mappe di K_T secondo Gumbel e GEV per tempi di ritorno 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000 anni.

Il servizio permette all'utente di selezionare autonomamente la distribuzione più adeguata, in base alle esigenze e all'ambito in cui si trova ad operare.

5.2.1.1 Il modello probabilistico di GEV (o distribuzione generalizzata del valore estremo)

L'espressione della probabilità cumulata GEV è

$$F(x) = \exp\{ -[1 - k(K - \varepsilon)/\alpha]^{1/k} \} \quad 4$$

dove: ε è un parametro di posizione, α è un parametro di scala, κ un parametro di forma.

Il modello GEV riassume le tre leggi asintotiche del massimo valore del 1° tipo (EV1, Gumbel), del 2° (EV2) e del 3° (EV3) tipo. In particolare, per $k = 0$ si ricade nell'espressione di Gumbel che quindi rappresenta un caso particolare del modello GEV. La stima dei tre parametri ε , α , κ può essere effettuata tramite la tecnica basata sui momenti lineari raccomandata da Hosking (1990). Stimati i parametri di forma κ , di scala (α) e di posizione (ε) della GEV per la stazione in esame la relazione che individua la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente può essere esplicitata nella:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA												
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IQ01</td> <td>01</td> <td>R 09 RI</td> <td>ID 0001 001</td> <td>A</td> <td>29 di 102</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	29 di 102
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	29 di 102								

$$T = \frac{1}{1 - F_k(K_T)} = \frac{1}{1 - \exp\left\{-\left[1 - \frac{k}{\alpha}(K_T - \varepsilon)\right]^{1/k}\right\}} \quad 5$$

Più utile da un punto di vista pratico è la forma inversa della precedente espressione, per cui, fissato un valore T del periodo di ritorno in anni si può ottenere il tempo di ritorno corrispondente a un dato valore x tramite la relazione:

$$K_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k}(1 - \exp(-ky_T)) \quad 6$$

dove y_T indica la variabile ridotta di Gumbel, pari a:

$$y_T = -\ln\left(\ln\frac{T}{T-1}\right) \quad 7$$

Le leggi di probabilità pluviometrica sono state determinate sulla base dei dati disponibili sul sito web del servizio idrografico dell'ARPA Piemonte) il quale fornisce i seguenti parametri:

- a_j : coefficiente di scala della linea segnalatrice, pari al valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale per la durata di riferimento;
- n : esponente di scala con cui la variabilità del fenomeno si trasmette dalla scala temporale di riferimento alle altre scale temporali;
- parametri di forma k , di scala α , e di posizione ε , della distribuzione generalizzata del valore estremo (GEV) per il calcolo del fattore di crescita in funzione del tempo di ritorno(w_T).

Per una precipitazione di durata D maggiore o uguale all'ora, l'altezza di pioggia è data dalla seguente relazione:

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n \quad 8$$

in cui w_T è il fattore di crescita in funzione del tempo di ritorno calcolato con la seguente espressione:

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k}\left\{1 - \left[\ln\left(\frac{T}{T-1}\right)\right]^k\right\} \quad 9$$

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

Stimati i parametri di forma, k , di scala, α , e di posizione, ε , della distribuzione di probabilità cumulata generalizzata del valore estremo GEV per la zona in esame resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita K_T (Eq. 3) valida per piogge massime annuali di durata da 1 a 24 ore consecutive. I valori dei parametri k , α e ε per i siti dove sono localizzate le stazioni pluviometriche sono stati ricavati ed elencati su una tabella mentre per le zone non servite sono riportati sulle mappe dell'intero territorio, ricavandoli per interpolazione con metodi di Kriging secondo la procedura illustrata da Rosso et al. [1997].

5.2.1.2 Legge di Gumbel o del Valore Estremo di I tipo

Una delle formulazioni statistiche più utilizzate per la caratterizzazione probabilistica delle precipitazioni estreme è la legge di Gumbel, attraverso la quale è possibile determinare l'altezza di pioggia per una generica durata d associata ad un tempo di ritorno T :

$$h(d, T) = \theta_1 - \theta_2 \ln \left[-\ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right] \quad 10$$

con θ_1 e θ_2 i due parametri della distribuzione di Gumbel. Nell'ipotesi di utilizzare il metodo dei momenti, tali parametri possono stimarsi, a partire dalla media e dalla varianza campionaria del campione \bar{P}_d e σ_p per mezzo delle relazioni:

$$\begin{aligned} \theta_1 &= \bar{P}_d - 0.5772\theta_2 \\ \theta_2 &= \sqrt{6} \frac{\sigma_p}{\pi} \end{aligned} \quad 11$$

che, sostituite nell'Eq.10, forniscono l'equazione:

$$h(d, T) = \bar{P}_d \left\{ 1 - CV \left[0.45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \quad 12$$

dove CV è il coefficiente di variazione medio (sulle 5 durate) delle precipitazioni estreme.

Si osservi come il valore di progetto $h(d, T)$ risulti essere il prodotto della precipitazione media \bar{P}_d per un fattore di crescita K_T ,

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	31 di 102

$$K_T = 1 - CV \left[0.45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]$$

13

dipendente esclusivamente dal periodo di ritorno e dal coefficiente di variazione del campione.

Assumendo che nel dominio di studio le precipitazioni estreme possano essere descritte dalla legge di Gumbel, è possibile quindi determinare l'altezza di pioggia relativa ad una determinata durata e ad un determinato periodo di ritorno avvalendosi della curva di probabilità pluviometrica media precedentemente determinata e del coefficiente di crescita (equazione 8).

5.3 CONFRONTO TRA LE CURVE INDIVIDUATE

In questa paragrafo, si riporta il confronto tra le curve individuate per i quattro bacini idrografici di interesse secondo P.A.I. (Autorità di Bacino del Fiume Po) e Arpa Piemonte (*Gumbel* e *GEV*) per i tempi di ritorno indagati – *Tr50 anni*, *Tr200 anni*, *Tr500 anni*.

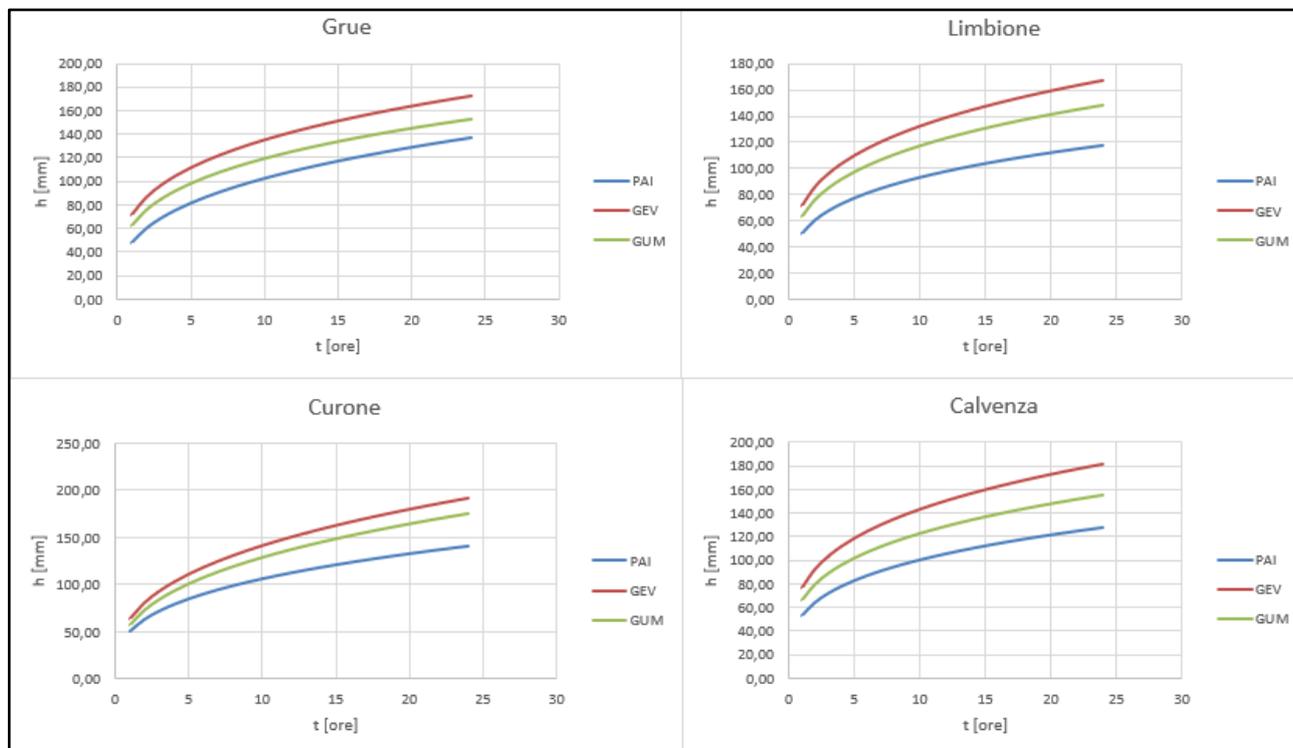


Figura 5.1: Confronto LSPP: P.A.I. vs Arpa Piemonte per Tr 50 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA

**Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	32 di 102

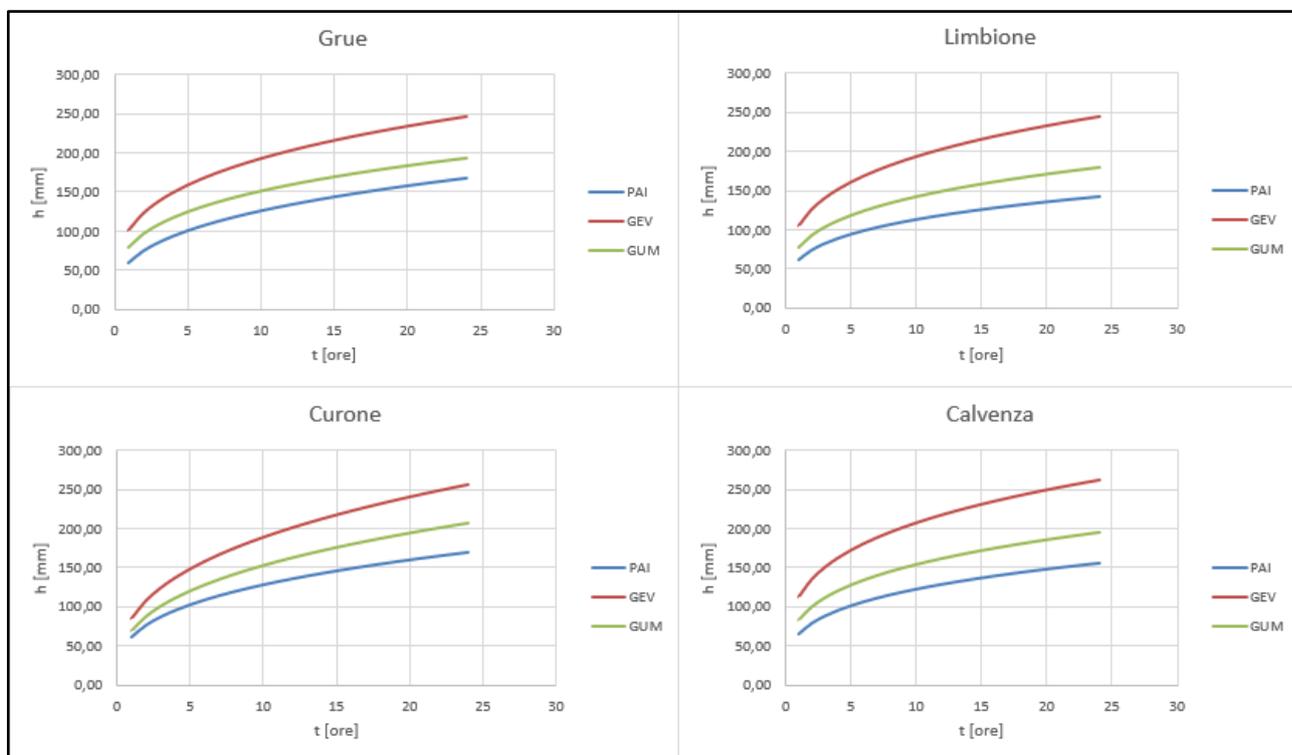


Figura 5.2: Confronto LSPP: P.A.I. vs Arpa Piemonte per Tr 200 anni.

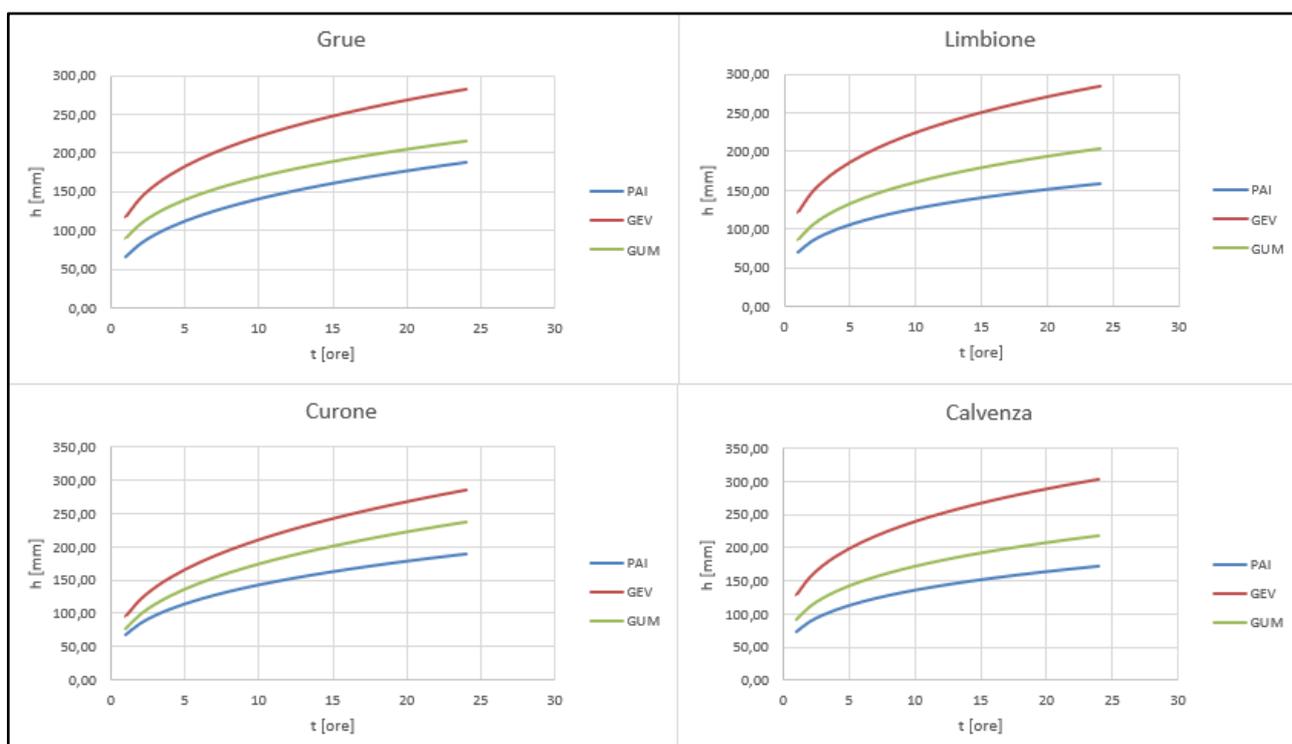


Figura 5.3: Confronto LSPP: P.A.I. vs Arpa Piemonte per Tr 500 anni.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

Come si evince dai grafici in Figura 5.1, Figura 5.2, Figura 5.3 le curve di possibilità pluviometrica indicate nel P.A.I. (elaborati su dati di pioggia registrati fino al 1986) sono meno cautelative, con riferimento a tutti e quattro i bacini oggetto di studio. Per questo motivo si trascurano nella determinazione delle portate al colmo, di seguito riportata, effettuata applicando le curve di possibilità pluviometrica (*LSPP*) di Arpa Piemonte (basate su un dataset di registrazioni pluviometriche fino al 2017). Con riferimento a queste ultime *LSPP*, quelle derivanti dall'elaborazione secondo la distribuzione di probabilità GEV sono marcatamente più cautelative rispetto a quelle elaborate secondo il modello di Gumbel.

Come anzidetto, *Arpa Piemonte* non suggerisce quale distribuzione di probabilità considerare (GEV o Gumbel); l'utilizzo dell'una piuttosto che dell'altra è strettamente legato agli obiettivi dello studio e deve essere motivato alla scala locale dove il progettista si trova ad operare.

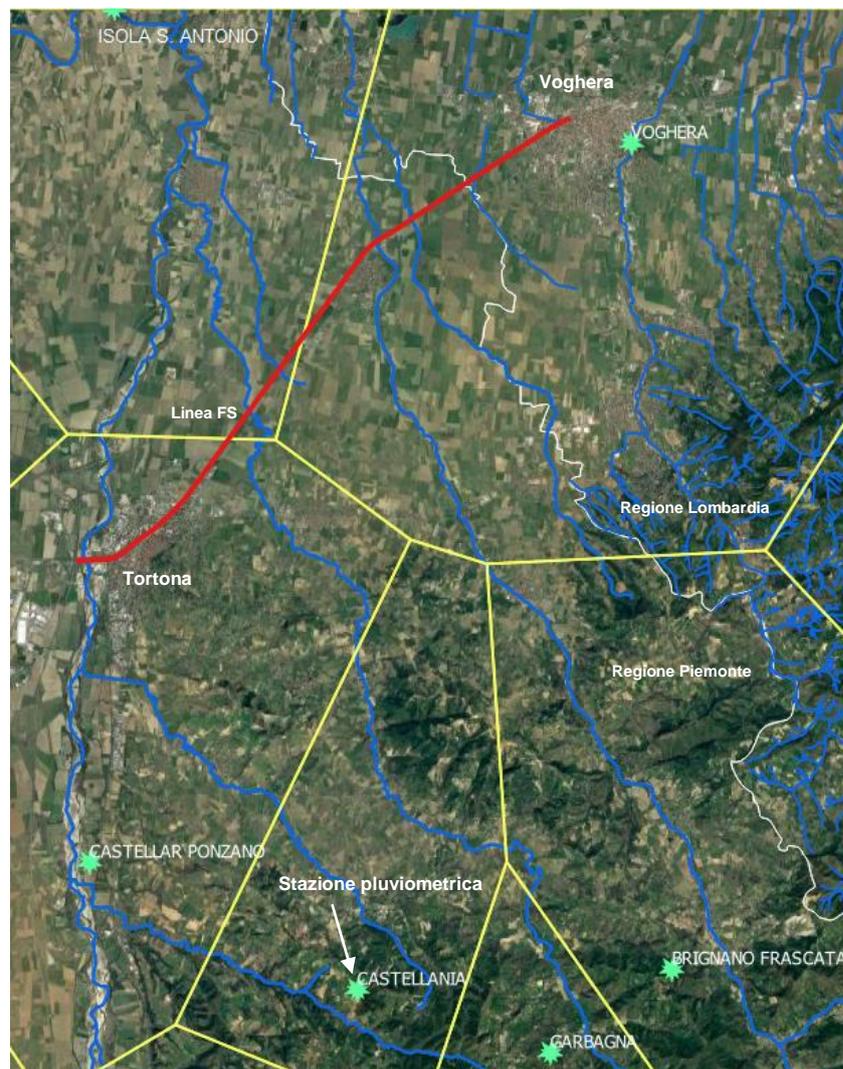


Figura 5.4: Stazioni pluviometriche di riferimento per l'area di intervento e relativi topoieti.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

Si è proceduto quindi ad una analisi, alla scala locale, dei dati di pioggia disponibili presso le stazioni pluviometriche di interesse, finalizzata alla valutazione del grado di adattamento delle due distribuzioni considerate (*Gumbel*, *GEV*). Nello specifico, sono state considerate le serie storiche dei valori di altezza di pioggia per 1, 3, 6, 12, 24 ore, registrate presso le stazioni pluviometriche di *Brignano Frascata*, *Garbagna*, *Castellania*, *Castellar Ponzano*, *Isola S. Antonio*, *Voghera* (quest'ultima ricade nella Regione Lombardia, nella quale sono in uso curve di possibilità pluviometrica derivanti da elaborazioni secondo la distribuzione *GEV*, come raccomandato da ARPA Lombardia. Si è ritenuto opportuno, in analogia alle altre stazioni pluviometriche ricadenti nella Regione Piemonte, di effettuare comunque un approfondimento anche per la stazione di *Voghera*, di riferimento per l'area di intervento (Figura 5.4).

Tali serie storiche di valori di altezza di pioggia, riportate nelle tabelle seguenti, sono state reperite sulla *Banca dati meteorologica di Arpa Piemonte* (fonte: https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali_meteoidrologici/annali-meteo-idro/banca-dati-meteorologica.html) e di *Arpa Lombardia*.

Stazione di Brignano Frascata					
Anno/ore	1	3	6	12	24
1994	48.9	68.9	123.0	123.0	137.8
1995	26.0	36.7	38.5	40.9	73.3
1996	23.6	32.8	40.6	66.9	74.1
1997	13.3	26.4	32.8	37.0	43.5
1998	8.4	19.0	24.8	29.8	39.3
1999	48.2	80.2	87.2	90.0	92.6
2001	20.1	21.7	22.5	29.6	45.6
2002	24.0	38.4	39.2	55.5	97.9
2003	31.4	34.2	59.1	82.4	94.6
2004	31.0	39.0	49.3	56.5	56.5
2005	34.4	34.4	34.4	40.8	51.8
2006	13.3	19.0	27.3	46.3	56.0
2007	16.1	18.9	19.7	27.9	34.3
2008	47.9	48.9	48.9	48.9	62.2
2010	22.6	32.4	33.2	47.7	74.4
2011	19.7	40.0	51.5	79.7	104.4
2012	14.6	20.4	29.9	40.7	51.9
2013	20.2	20.7	32.4	38.8	53.7
2014	51.4	114.9	147.2	231.5	283.7
2015	17.4	19.5	19.7	20.3	31.4
2016	34.8	50.6	51.0	64.2	71.2
2017	17.5	21.8	36.1	66.0	79.2

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
 T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	35 di 102

Stazione di Garbagna					
Anno/ore	1	3	6	12	24
2003	27.2	32.6	58.1	90.6	104.9
2004	28.4	39.0	51.6	60.2	60.2
2005	36.2	36.2	36.2	39.8	44.0
2006	27.2	27.2	32.9	55.8	67.2
2007	16.2	17.8	20.8	23.8	36.7
2008	22.4	28.2	28.5	35.1	46.3
2009	13.8	21.2	34.3	55.0	84.7
2010	27.5	37.8	37.8	49.0	77.4
2011	20.4	33.9	51.2	79.0	101.8
2012	39.1	46.8	46.8	46.8	46.8
2013	20.8	31.6	32.0	36.8	62.7
2014	52.9	132.7	189.2	269.1	319.0
2015	17.8	24.4	24.6	31.3	45.3
2016	34.0	34.2	34.2	36.1	47.9
2017	15.1	21.0	37.9	59.1	59.3

Stazione di Castellania					
Anno/ore	1	3	6	12	24
1997	15.3	32.5	39.7	50.3	59.6
1998	13.8	20.2	26.0	31.6	38.4
1999	37.5	58.2	60.6	63.2	68.7
2000	21.5	33.8	50.1	65.3	82.3
2001	26.4	38.3	52.9	70.8	87.9
2002	49.8	53.0	53.8	62.7	105.6
2003	11.0	29.4	46.0	71.2	77.0
2004	19.4	25.2	43.4	51.9	51.9
2005	35.3	35.3	35.3	35.3	42.9
2006	16.2	22.9	36.3	57.8	71.0
2007	8.9	17.2	18.6	22.2	32.7
2008	21.0	37.6	37.6	48.7	55.3
2009	19.1	26.8	38.2	59.5	90.3
2010	27.9	31.9	32.7	45.2	77.0
2011	20.8	31.2	50.6	84.8	109.3
2012	25.3	25.3	25.3	31.3	44.5
2013	17.4	26.7	32.3	41.3	74.2
2014	55.6	123.7	190.7	247.8	281.1
2015	21.0	27.4	30.6	38.9	62.6
2016	34.8	34.8	35.5	41.5	56.7
2017	15.0	18.6	26.3	37.9	54.6

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	36 di 102

Stazione di Castellar Ponzano					
Anno/ore	1	3	6	12	24
1999	26.0	33.1	33.9	47.4	51.3
2000	27.9	38.2	40.0	52.7	66.5
2001	23.4	46.4	58.3	72.4	82.4
2002	36.3	38.7	39.5	50.9	87.2
2003	26.5	33.5	57.0	92.3	100.7
2004	8.4	21.3	29.3	37.7	48.0
2005	17.8	18.0	27.9	40.9	42.3
2006	14.4	24.9	43.7	62.4	76.8
2007	8.7	15.0	26.1	29.7	35.2
2009	19.7	31.9	41.1	56.2	85.8
2010	31.7	36.4	46.8	58.8	82.5
2011	17.8	44.2	73.8	114.8	142.1
2012	9.7	17.1	23.6	39.1	56.9
2013	53.6	63.4	63.4	63.4	74.8
2014	40.8	95.7	160.2	172.4	181.8
2015	18.0	30.8	36.4	37.8	38.0
2016	26.1	26.1	34.9	49.9	62.8
2017	15.7	21.5	26.7	32.9	43.3

Stazione di Isola S. Antonio					
Anno/ore	1	3	6	12	24
1994	18.7	31.3	35.5	41.2	43.7
1995	19.2	21.9	24.8	35.4	36.8
1996	27.8	30.4	30.4	48.9	81.2
1997	27.5	38.6	45.4	46.4	46.4
1998	33.5	64.6	65	65	74.2
1999	18.4	21.5	26.5	30.7	35.4
2000	23.2	31.4	33.2	35.4	45.7
2001	14.5	21.3	35.7	43.3	46.3
2002	41.3	41.5	42.9	49.1	82.5
2003	18.4	25.8	43.3	47.1	50.5
2004	18.6	22.9	27.7	33.5	48.1
2005	21.7	36	45.4	56.2	65.8
2006	25.6	28.8	42.7	63.8	67.9
2007	22.9	36.2	50.9	52.3	52.3
2008	13.5	13.5	19.8	32.3	34.9
2009	13.4	23.1	32.1	37.1	53.8

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
 T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	37 di 102

Stazione di Isola S. Antonio					
Anno/ore	1	3	6	12	24
2010	19.9	26	33.6	41.4	58.6
2011	29.4	36.5	43.9	68.1	101.6
2012	38.8	40.8	40.8	40.8	40.8
2013	20.2	20.2	29	39.9	57.6
2014	23.6	26.8	38.2	57.5	64.8
2015	13.4	17.7	21.5	25.2	25.6
2016	22.8	33	39.2	48.7	52.3
2017	27.6	27.6	29.3	35.3	48.9

Stazione di Voghera					
Anno/ore	1	3	6	12	24
1951	12	29	42	70	82.5
1952	18.2	25.9	26.7	30.2	37.2
1953	23	32.8	32.8	43.5	44.4
1954	31.7	32.4	32.4	33	49.1
1955	42	49	55.2	63.1	63.1
1956	28.2	34	42	57	60
1957	12	19	34	34.8	58.4
1958	11	17	21	37.4	44.6
1959	23.2	25.4	29.4	52	74
1960	13.6	22	38	55	71
1961	17.4	22.4	22.8	34.6	44.8
1962	16.4	19	21	29.8	32.2
1963	48.2	48.4	48.4	52.8	60
1964	27.4	31	31.2	31.2	31.2
1965	20.4	33.4	36.4	37.8	38
1966	14	24.6	29.8	37.8	49.8
1967	36	36.8	37.2	41.4	41.8
1968	25.6	62.4	71.8	76.8	76.8
1969	34.4	54.2	64.2	72.8	93.6
1970	9.4	14.4	19	35.6	46
1971	27.6	28	30.6	42.4	48.6
1972	22.8	22.8	22.8	33	48.2
1973	24.2	34.6	56	66.4	70.2
1974	37.4	50.2	50.6	50.6	52
1975	13	25	46.4	78.8	102.4
1976	50.4	87.2	99.6	101.4	102.6

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

Stazione di Voghera					
Anno/ore	1	3	6	12	24
1977	17.6	39.2	51	57.6	83.8
1978	32.6	33	39.8	46	64
1980	23.4	29.4	41.4	63.4	74.6
1981	35.2	39.8	42	51	61.6
1982	17.2	24	26.8	38	49.2
1983	32	35.4	40	40	45.4
1984	25.8	30.2	35	53.4	58
1985	10	24.4	29	31.6	36.6
1986	26	30.2	32.4	44.8	63.2

Le stazioni pluviometriche considerate (eccetto quella di Voghera), attualmente in funzione, hanno iniziato a registrare dati di pioggia a partire dalla metà o fine degli anni '90 e il numero di osservazioni ad oggi disponibile ammonta quindi a 15÷22, *insufficiente* per elaborazioni statistiche riferite ai tempi di ritorno di interesse (i.e. empiricamente si suggerisce di non estrapolare distribuzioni statistiche oltre tempi di ritorno doppi rispetto alla dimensione del campione di dati).

Tuttavia, si è proceduto a valutare il grado di adattamento (nel rappresentare i dati pluviometrici disponibili) delle due funzioni di probabilità (*Gumbel*, *GEV*) scelte, per ognuna delle stazioni considerate e per ogni valore della durata di pioggia.

Nello specifico, sono stati applicati i test di adattamento di *Kolmogorov-Smirnov*, di *Anderson-Darlinge* di *Pearson* (o del χ^2).

Di seguito, si riportano i valori delle statistiche (o grandezze statistiche) di riferimento per i test applicati, unitamente ai loro valori critici (per il livello di significatività, tipicamente scelto, $\alpha = 0.05$), per le differenti serie storiche dei valori di altezza pioggia in esame.

Inoltre, a titolo esemplificativo, si riportano i grafici “*Probabilità (da distribuzione) vs Probabilità (empirica)*”, con riferimento alle serie storiche di altezza di pioggia con durata pari a 6 ore (valutata come “critica” per alcuni dei sottobacini in esame come in seguito illustrato), ai fini di una analisi/verifica grafica/diretta di adattamento.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	39 di 102

- Stazione di Brignano Frascata
Valori delle grandezze statistiche per test di adattamento

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	Verifica		Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (1 h)]			GEV	Gumbel	
Kolmogorov-Smirnov	0.109	0.117	0.281	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.290	0.360	2.502	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.830	0.952	5.991	ok	ok	GEV

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	Verifica		Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (3 h)]			GEV	Gumbel	
Kolmogorov-Smirnov	0.156	0.203	0.281	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.534	0.939	2.502	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	1.495	0.941	5.991	ok	ok	Gumbel

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	Verifica		Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (6 h)]			GEV	Gumbel	
Kolmogorov-Smirnov	0.112	0.200	0.281	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.232	1.250	2.502	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.249	6.664	5.991	ok	no	GEV

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	Verifica		Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (12 h)]			GEV	Gumbel	
Kolmogorov-Smirnov	0.096	0.179	0.281	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.191	1.150	2.502	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.081	4.890	5.991	ok	ok	GEV

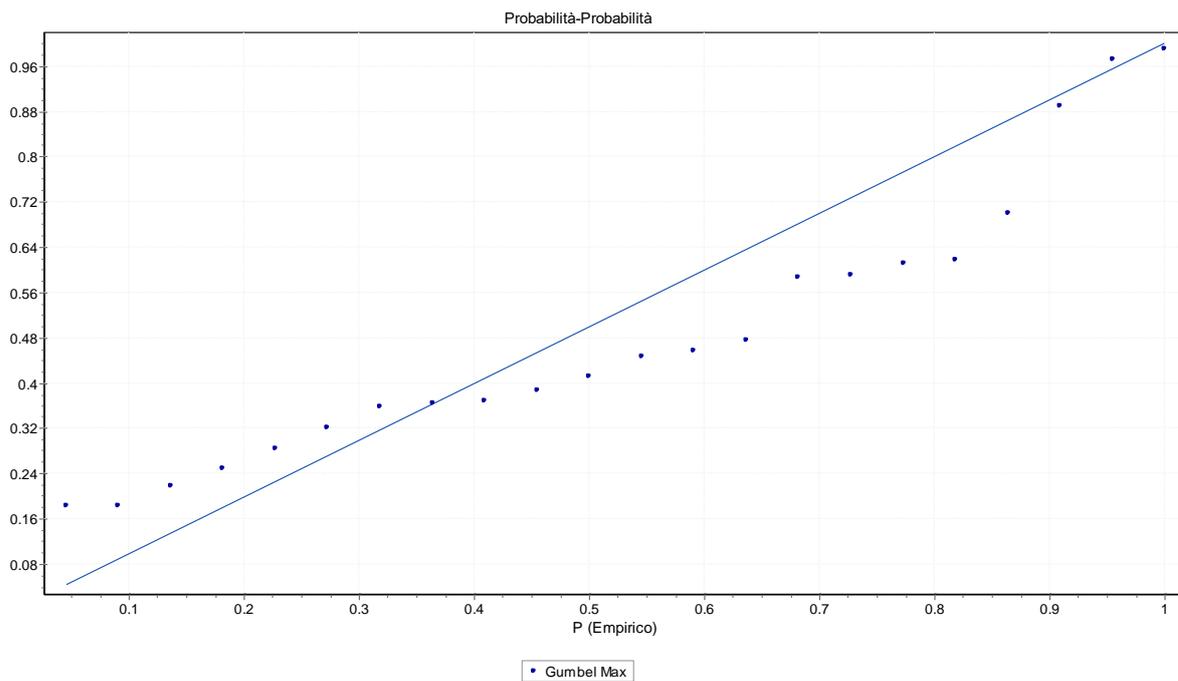
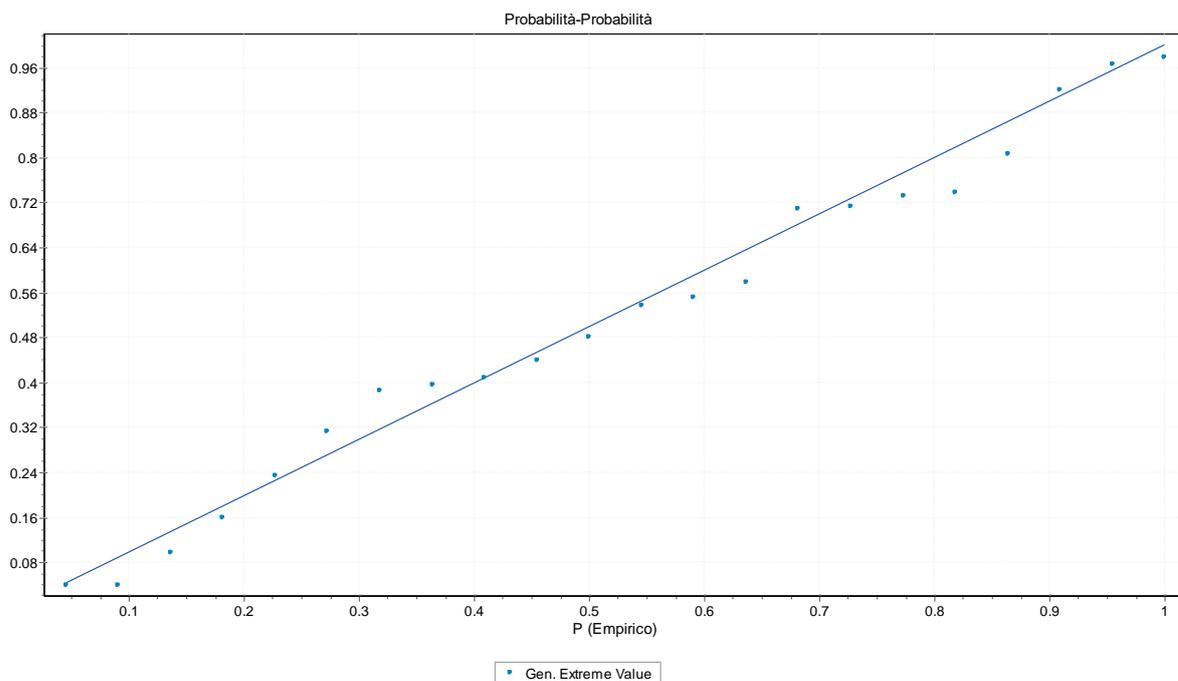
Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	Verifica		Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (24 h)]			GEV	Gumbel	
Kolmogorov-Smirnov	0.115	0.177	0.281	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.206	1.236	2.502	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.081	3.202	5.991	ok	ok	GEV

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	40 di 102

Grafici "Probabilità (da distribuzione) vs Probabilità (empirica)" (serie storica altezza di pioggia con durata di 6 ore)



IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
 T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	41 di 102

- *Stazione di Garbagna*

Valori delle grandezze statistiche per test di adattamento

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (1 h)]			Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.146	0.127	0.338	ok	ok	Gumbel
Anderson-Darling	0.177	0.184	2.502	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.165	0.197	3.840	ok	ok	GEV

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (3 h)]			Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.186	0.276	0.338	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.554	1.738	2.502	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.539	0.053	3.840	ok	ok	Gumbel

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (6 h)]			Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.199	0.268	0.338	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.867	2.030	2.502	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.041	0.430	3.840	ok	ok	GEV

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (12 h)]			Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.140	0.259	0.338	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.396	1.750	2.502	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.520	0.036	3.840	ok	ok	Gumbel

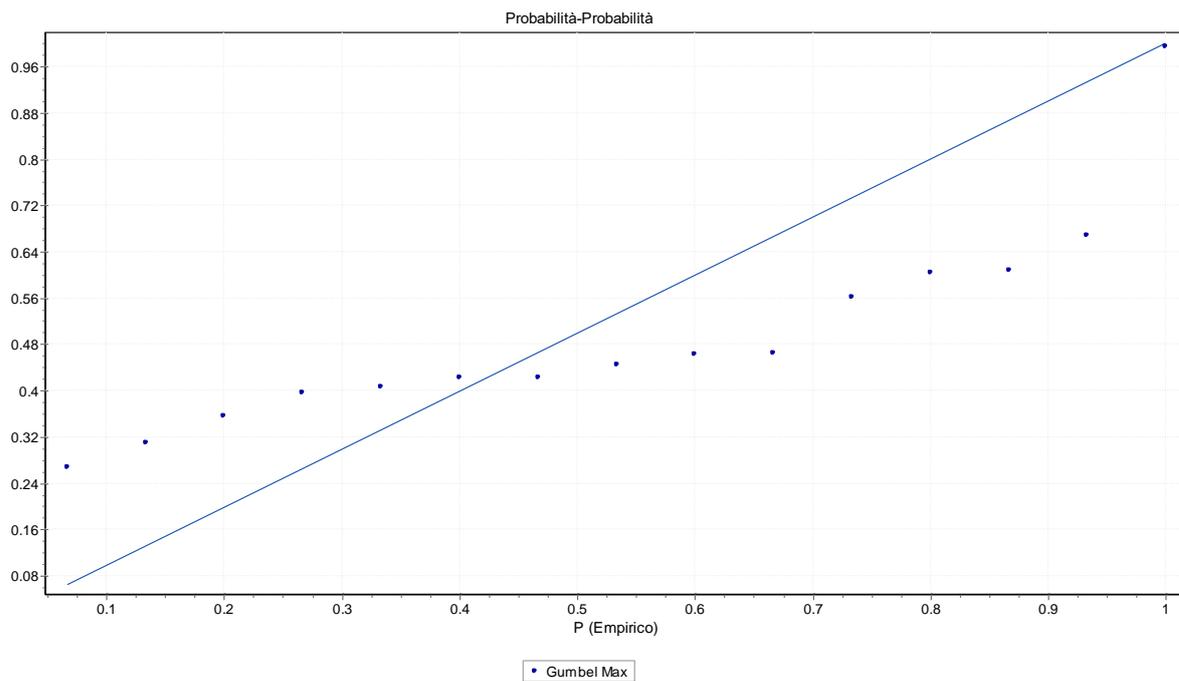
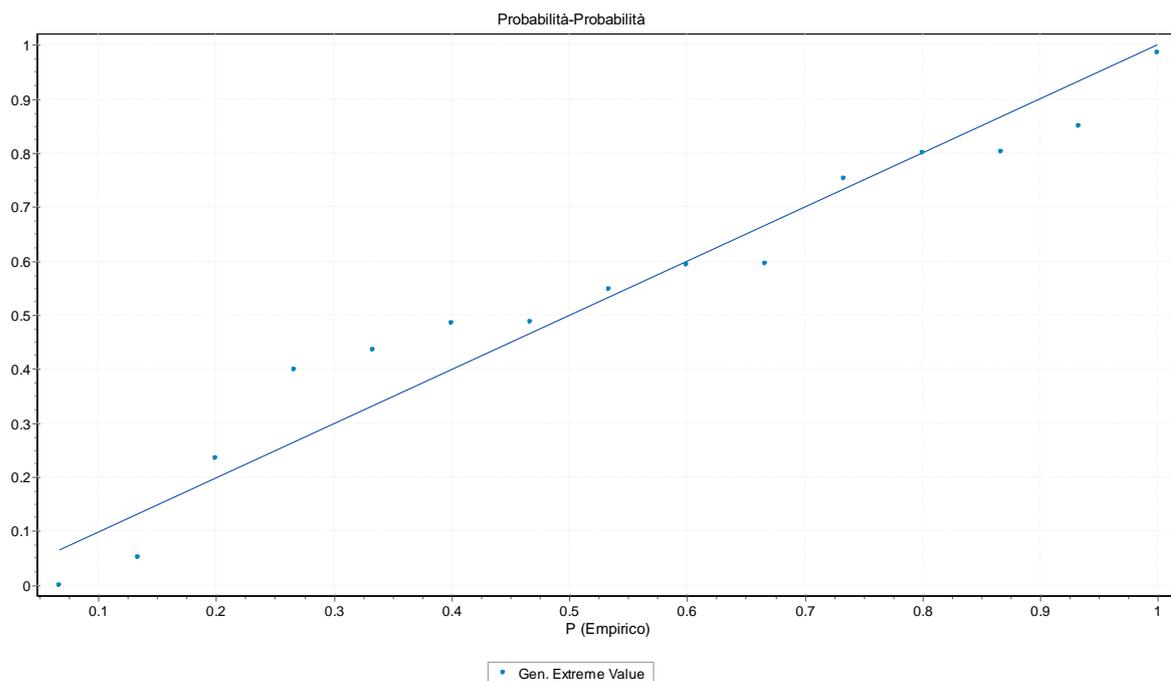
Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (24 h)]			Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.145	0.284	0.338	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.288	1.784	2.502	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.599	1.159	3.840	ok	ok	GEV

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	42 di 102

Grafici "Probabilità (da distribuzione) vs Probabilità (empirica)" (serie storica altezza di pioggia con durata di 6 ore)



IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
 T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	43 di 102

 - *Stazione di Castellania*
Valori delle grandezze statistiche per test di adattamento

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (1 h)]			Verifica		
<i>Kolmogorov-Smirnov</i>	0.108	0.154	0.287	ok	ok	GEV
<i>Anderson-Darling</i>	0.177	0.323	2.501	ok	ok	GEV
<i>Chi-quadrato</i>	1.309	0.373	5.992	ok	ok	Gumbel

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (3 h)]			Verifica		
<i>Kolmogorov-Smirnov</i>	0.141	0.241	0.287	ok	ok	GEV
<i>Anderson-Darling</i>	0.468	1.719	2.501	ok	ok	GEV
<i>Chi-quadrato</i>	1.106	0.856	3.841	ok	ok	Gumbel

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (6 h)]			Verifica		
<i>Kolmogorov-Smirnov</i>	0.146	0.255	0.287	ok	ok	GEV
<i>Anderson-Darling</i>	0.721	2.405	2.501	ok	ok	GEV
<i>Chi-quadrato</i>	0.406	0.681	3.841	ok	ok	GEV

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (12 h)]			Verifica		
<i>Kolmogorov-Smirnov</i>	0.105	0.241	0.287	ok	ok	GEV
<i>Anderson-Darling</i>	0.462	2.054	2.501	ok	ok	GEV
<i>Chi-quadrato</i>	0.021	4.938	3.841	ok	no	GEV

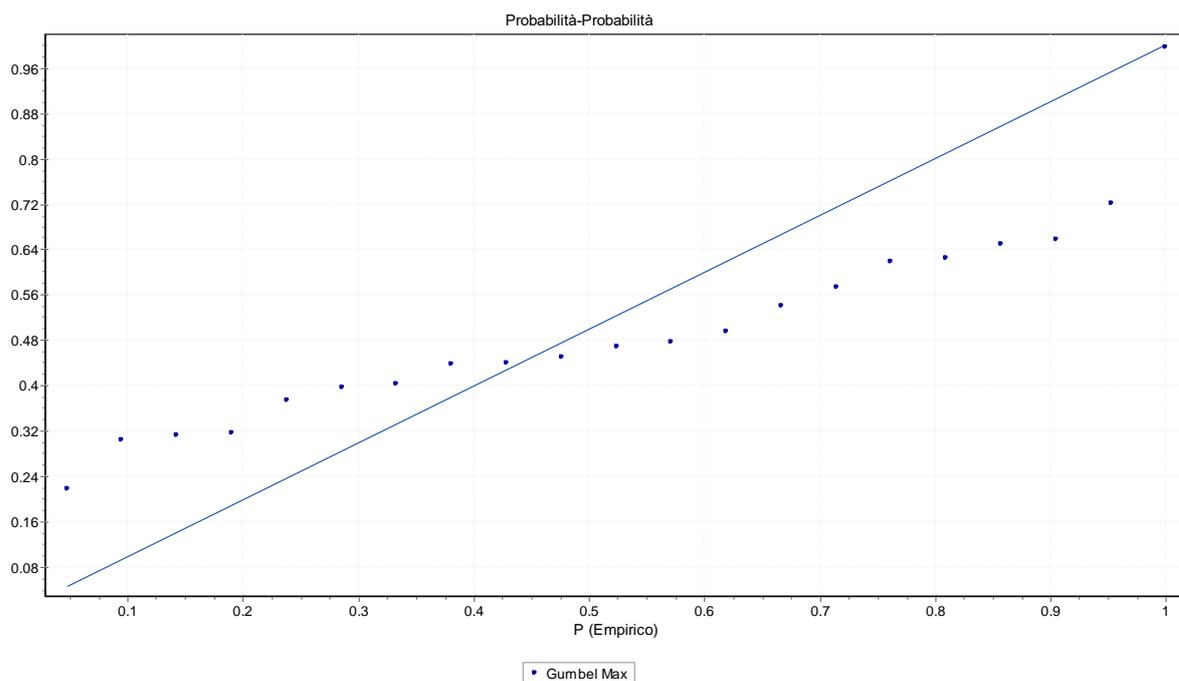
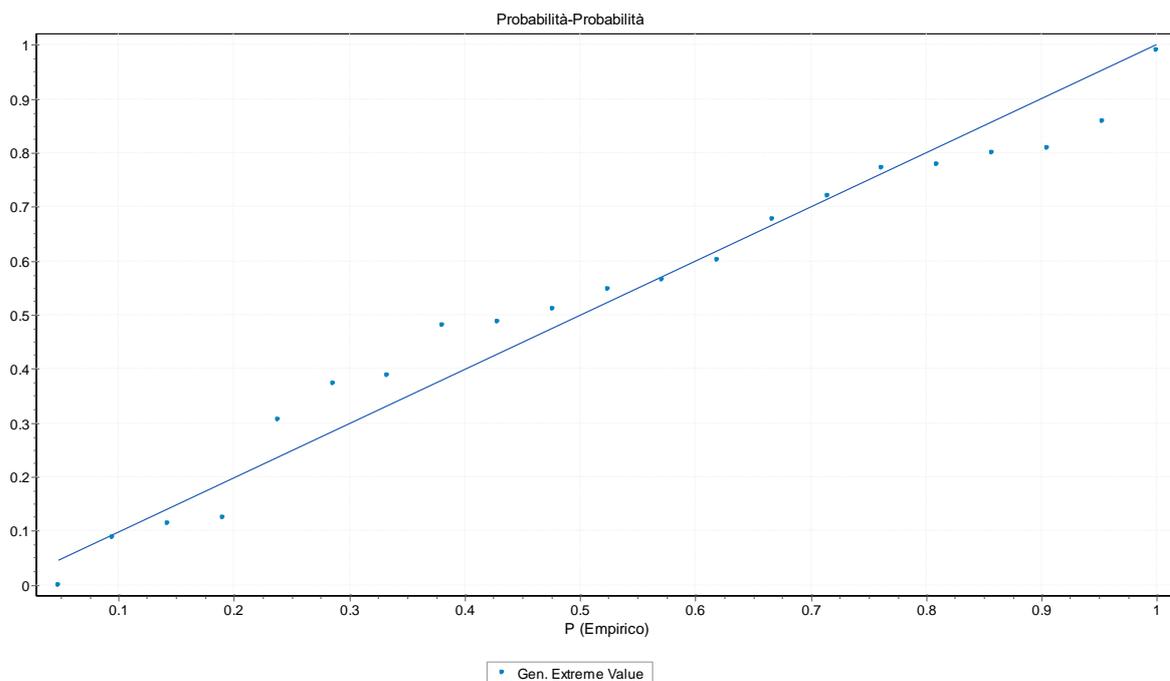
Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (24 h)]			Verifica		
<i>Kolmogorov-Smirnov</i>	0.111	0.190	0.287	ok	ok	GEV
<i>Anderson-Darling</i>	0.330	1.528	2.501	ok	ok	GEV
<i>Chi-quadrato</i>	0.030	0.026	3.841	ok	ok	Gumbel

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	44 di 102

Grafici "Probabilità (da distribuzione) vs Probabilità (empirica)" (serie storica altezza di pioggia con durata di 6 ore)



IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	45 di 102

- *Stazione di Castellar Ponzano*

Valori delle grandezze statistiche per test di adattamento

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (1 h)]			Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.102	0.097	0.309	ok	ok	Gumbel
Anderson-Darling	0.195	0.193	2.501	ok	ok	Gumbel
Chi-quadrato	0.027	0.027	3.841	ok	ok	Gumbel

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (3 h)]			Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.134	0.139	0.309	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.196	0.431	2.501	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.270	0.011	3.841	ok	ok	Gumbel

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (6 h)]			Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.104	0.219	0.309	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.174	1.212	2.501	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.297	4.487	5.991	ok	ok	GEV

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (12 h)]			Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.105	0.188	0.309	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.161	0.819	2.501	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.433	0.004	3.841	ok	ok	Gumbel

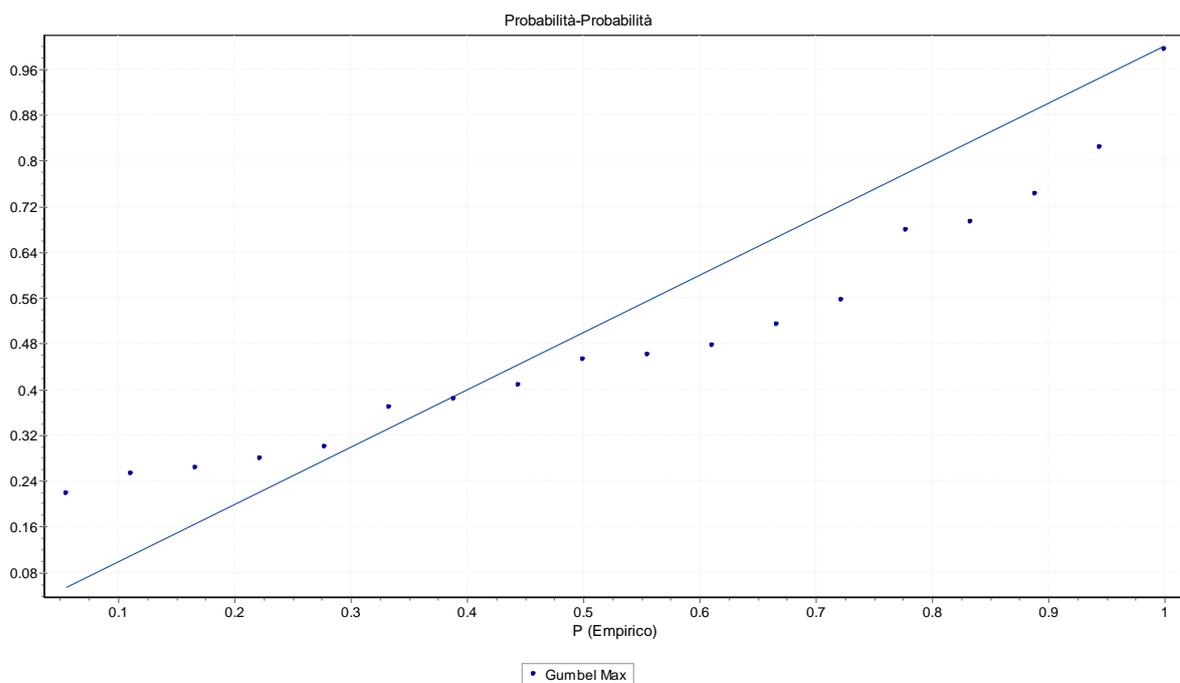
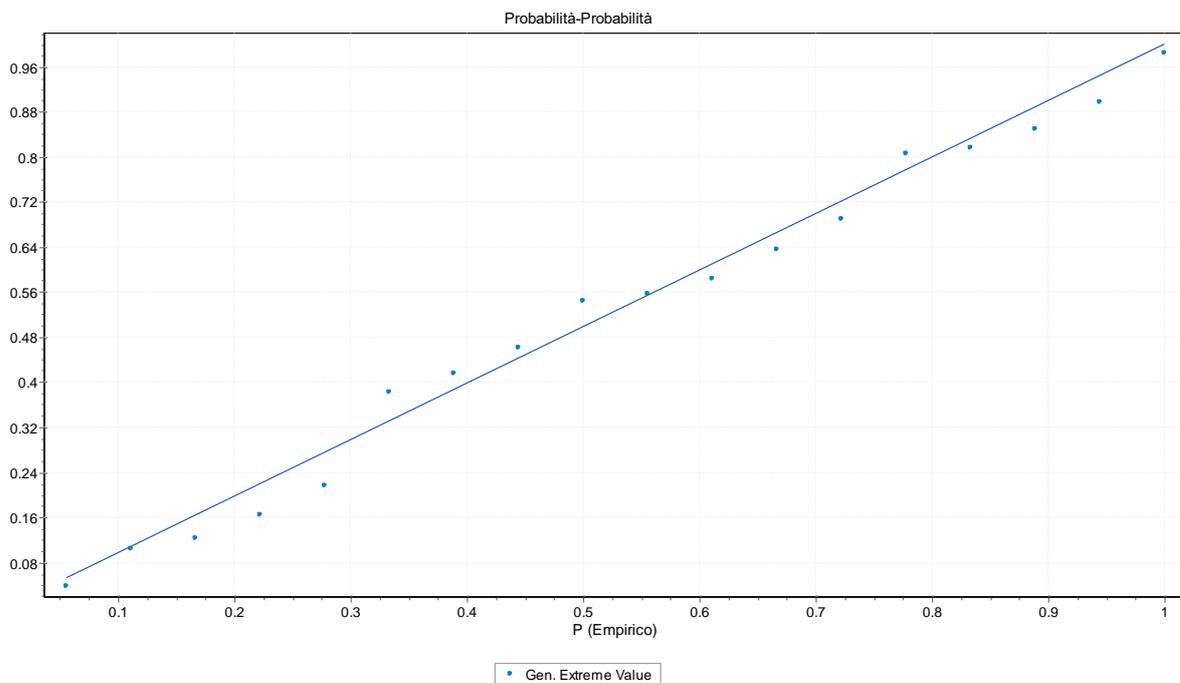
Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica [h (24 h)]			Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.116	0.146	0.309	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.216	0.349	2.501	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.118	0.464	3.841	ok	ok	GEV

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	46 di 102

Grafici "Probabilità (da distribuzione) vs Probabilità (empirica)" (serie storica altezza di pioggia con durata di 6 ore)



IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	47 di 102

- *Stazione di Isola S. Antonio*

Valori delle grandezze statistiche per test di adattamento

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica	[h (1 h)]		Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.129	0.116	0.269	ok	ok	Gumbel
Anderson-Darling	0.282	0.282	2.500	ok	ok	Gumbel
Chi-quadrato	0.143	0.375	3.840	ok	ok	GEV

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica	[h (3 h)]		Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.082	0.085	0.269	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.192	0.205	2.500	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.406	0.026	5.990	ok	ok	Gumbel

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica	[h (6 h)]		Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.104	0.105	0.269	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.189	0.280	2.500	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.0576	0.572	7.810	ok	ok	GEV

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica	[h (12 h)]		Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.072	0.092	0.269	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.159	0.216	2.500	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.178	0.240	5.990	ok	ok	GEV

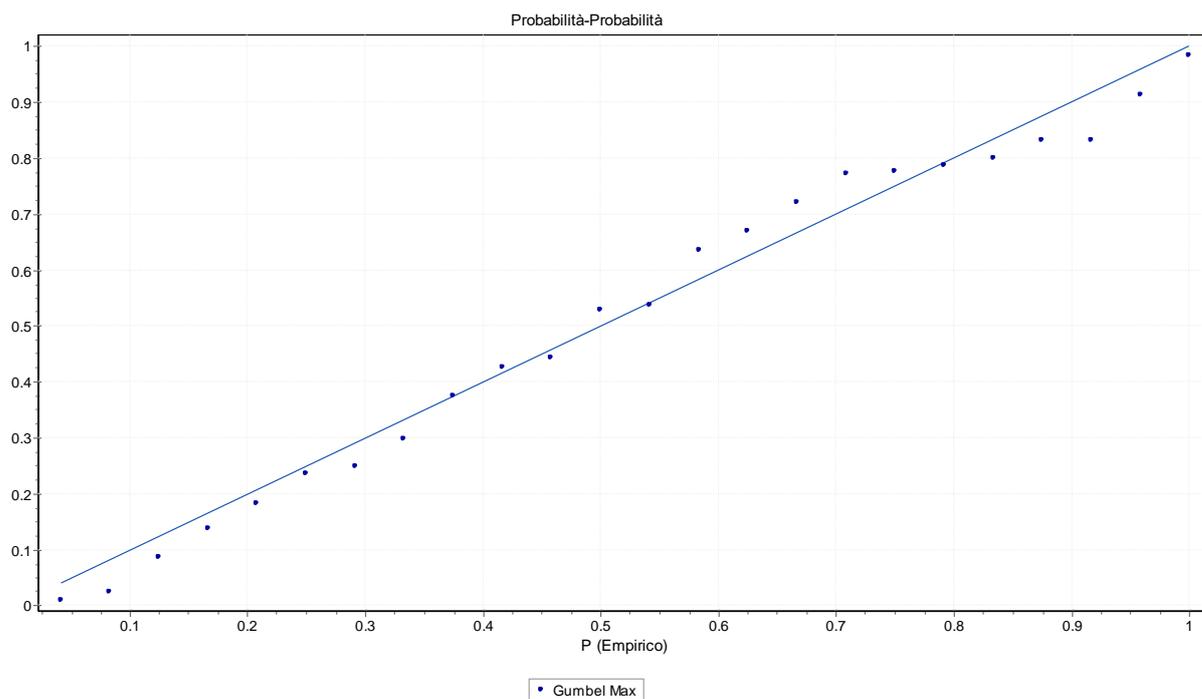
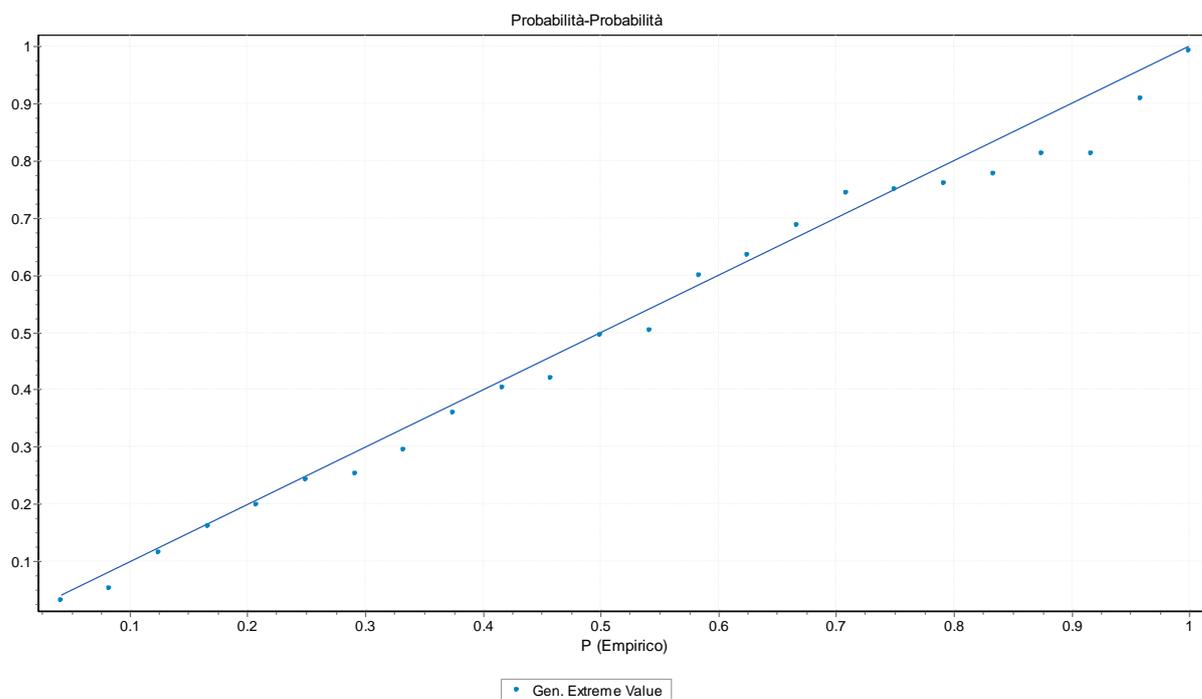
Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica	[h (24 h)]		Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.095	0.085	0.269	ok	ok	Gumbel
Anderson-Darling	0.169	0.163	2.500	ok	ok	Gumbel
Chi-quadrato	0.488	0.470	5.990	ok	ok	Gumbel

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	48 di 102

Grafici "Probabilità (da distribuzione) vs Probabilità (empirica)" (serie storica altezza di pioggia con durata di 6 ore)



IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	49 di 102

- *Stazione di Voghera*

Valori delle grandezze statistiche per test di adattamento

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica	[h (1 h)]		Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.088	0.099	0.224	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.225	0.361	2.500	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.247	0.835	9.480	ok	ok	GEV

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica	[h (3 h)]		Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.072	0.115	0.224	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.210	0.545	2.500	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.500	2.070	7.810	ok	ok	GEV

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica	[h (6 h)]		Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.071	0.109	0.224	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.161	0.320	2.500	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	0.855	1.610	9.480	ok	ok	GEV

Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica	[h (12 h)]		Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.096	0.107	0.224	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.308	0.370	2.500	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	1.648	0.450	9.480	ok	ok	Gumbel

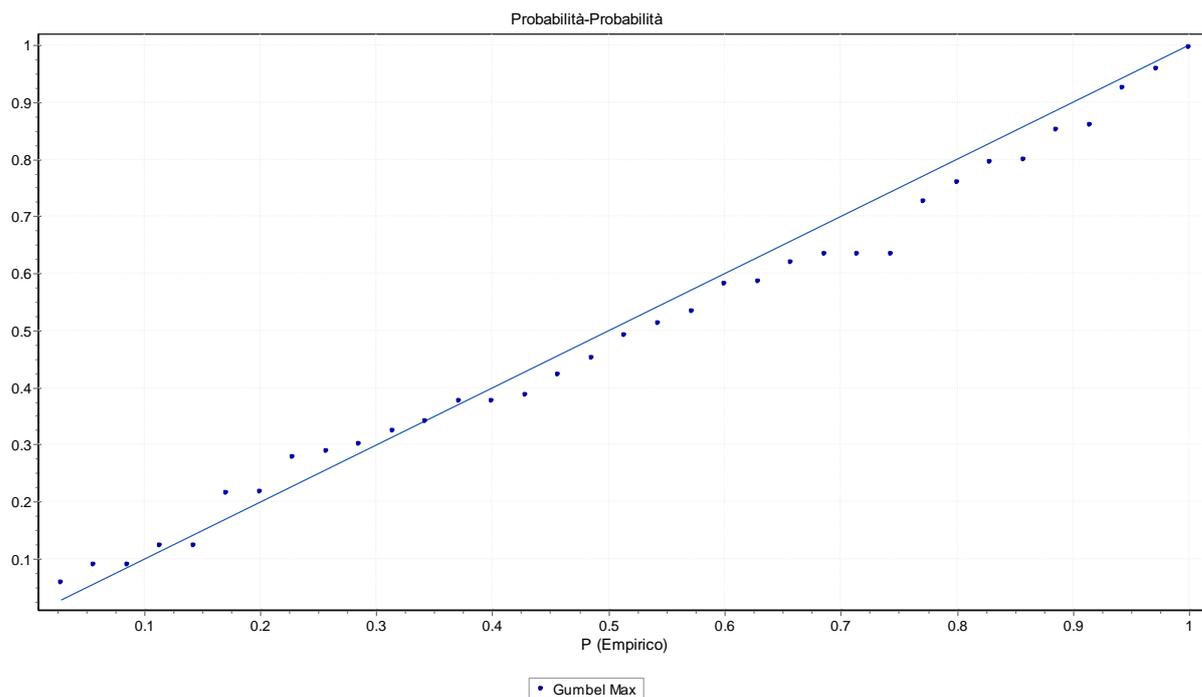
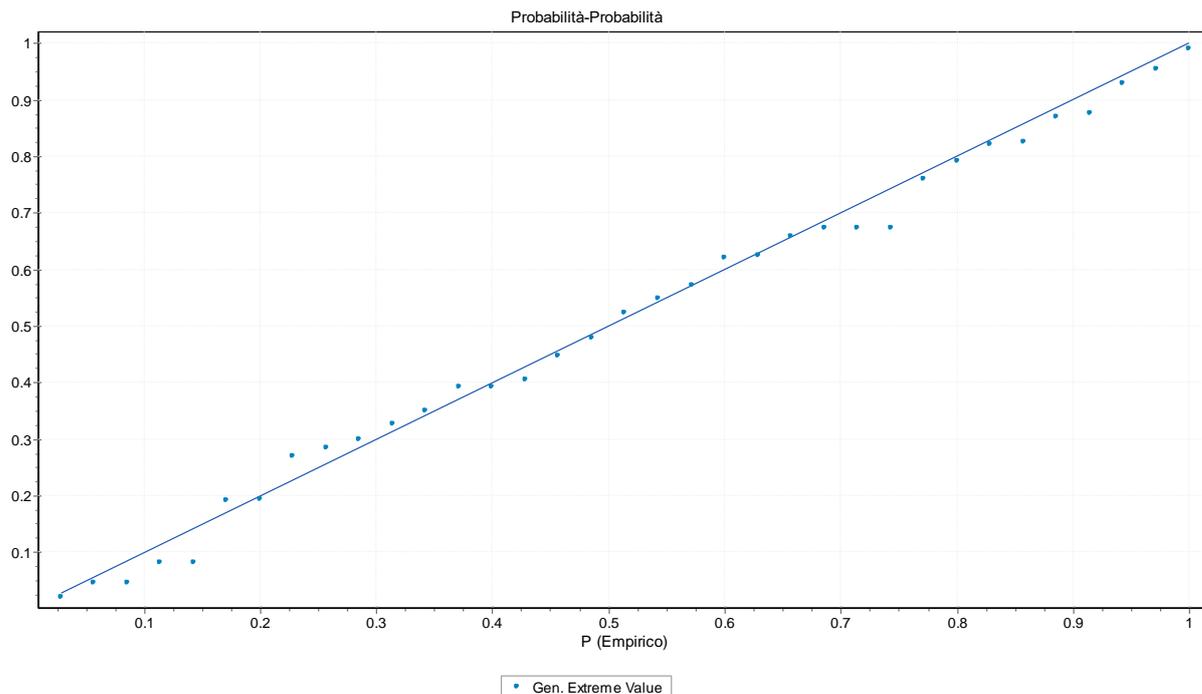
Test	GEV	Gumbel	Valore critico ($\alpha = 0.05$)	GEV	Gumbel	Migliore distribuzione/statistica
	statistica	[h (24 h)]		Verifica		
Kolmogorov-Smirnov	0.093	0.104	0.224	ok	ok	GEV
Anderson-Darling	0.207	0.240	2.500	ok	ok	GEV
Chi-quadrato	1.160	4.080	9.480	ok	ok	GEV

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	50 di 102

Grafici "Probabilità (da distribuzione) vs Probabilità (empirica)" (serie storica altezza di pioggia con durata di 6 ore)



	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

Sulla base dei risultati sopra esposti, sebbene il campione di dati a disposizione nell'area di intervento sia "temporalmente" limitato (soprattutto per le stazioni di *Brignano Frascata, Garbagna, Castellania, Castellar Ponzano, Isola S. Antonio*.), la distribuzione di probabilità che meglio si adatta alla rappresentazione delle registrazioni pluviometriche analizzate è la **GEV**, soprattutto per le durate di 6 e 12 ore, valutate in seguito come "critiche" per i sottobacini del T. Grue, T. Calvenza, T. Curone e T. Limbione in esame.

In accordo anche alle indicazioni di *Regione Piemonte*, alla quale sono state sottoposte preliminarmente le valutazioni idrologiche e idrauliche sviluppate nell'ambito del presente progetto e di cui si riporta in allegato alla relazione idraulica annessa, cod. IQ0101R09ID0002001A, la relativa nota di riscontro (o *parere preventivo*), si è deciso di adottare la seguente procedura, sulla base anche dei risultati del confronto con gli studi attualmente disponibili sul territorio (che fanno riferimento a dati di pioggia elaborati statisticamente secondo la distribuzione di *Gumbel*):

- adozione delle portate al colmo e dei rispettivi idrogrammi di piena di riferimento derivanti dall'applicazione di LSPP elaborate secondo la distribuzione di probabilità di Gumbel per la calibrazione (scabrezza) dei modelli numerici bidimensionali (in regime di moto vario) sviluppati, sulla base degli studi idraulici (e dei relativi risultati in termini di aree di esondazione) disponibili sul territorio
- adozione delle portate al colmo e dei rispettivi idrogrammi di piena di riferimento derivanti dall'applicazione di LSPP elaborate secondo la distribuzione di probabilità GEV per la determinazione, mediante modello numerico bidimensionale (2D, in regime di moto vario), delle aree potenzialmente inondabili di "progetto"
- adozione delle portate al colmo di riferimento derivanti dall'applicazione di LSPP elaborate secondo la distribuzione di probabilità di Gumbel (in analogia agli studi sviluppati sul territorio) per la determinazione dei livelli idrici di progetto in corrispondenza degli attraversamenti principali, mediante modelli numerici monodimensionali (1D), in regime di moto permanente, nell'ipotesi di transito della cosiddetta "portata idrologica" (i.e. non "laminata" per effetto delle esondazioni a monte della sezione di attraversamento di interesse) a seguito di eventuali futuri interventi di sistemazione/protezione idraulica

Per maggiori dettagli, si rimanda comunque alle relazioni idrauliche annesse.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

5.4 VALORI ADOTTATI

Il precedente paragrafo, dedicato alla definizione dei parametri di pioggia più adatti e cautelativi, ha portato a concludere che le LSPP elaborate da *Arpa Piemonte* (secondo la distribuzione di probabilità GEV e Gumbel) nell'ambito del Progetto *STRADA* sono la base per la definizione delle portate al colmo e dei corrispondenti idrogrammi di piena di progetto.

I valori adottati (GEV e Gumbel) per tali parametri, per vari tempi di ritorno (TR = 50, 200, 500 anni, in accordo alla definizione delle classi di pericolosità idraulica nell'ambito del P.G.R.A., nonché delle normative vigenti in materia di compatibilità idraulica, NTC2018 e Manuale di Progettazione Ferroviaria RFI), sono riportati nella tabella seguente.

		<i>Arpa Piemonte GEV</i>			<i>Arpa Piemonte Gumbel</i>		
		a	K_T	n	a	K_T	n
Grue	Tr 50 anni	27.27	2.60	0.28	27.27	2.30	0.28
	Tr 200 anni		3.70			2.90	
	Tr 500 anni		4.26			3.25	
Calvenza	Tr 50 anni	28.54	2.70	0.27	28.54	2.30	0.27
	Tr 200 anni		3.90			2.90	
	Tr 500 anni		4.50			3.25	
Curone	Tr 50 anni	26.26	2.40	0.35	26.26	2.20	0.35
	Tr 200 anni		3.20			2.60	
	Tr 500 anni		3.59			2.96	
Limbione	Tr 50 anni	27.34	2.60	0.27	27.34	2.30	0.27
	Tr 200 anni		3.80			2.80	
	Tr 500 anni		4.40			3.15	

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 53 di 102

6 MODELLAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI

La trasformazione afflussi-deflussi raggruppa l'insieme di diversi processi idrologici che concorrono alla formazione del deflusso a partire dalla precipitazione meteorica, prima ancora che il deflusso si incanali all'interno della rete idrografica.

Si può schematizzare tale metodo nella figura sottostante.

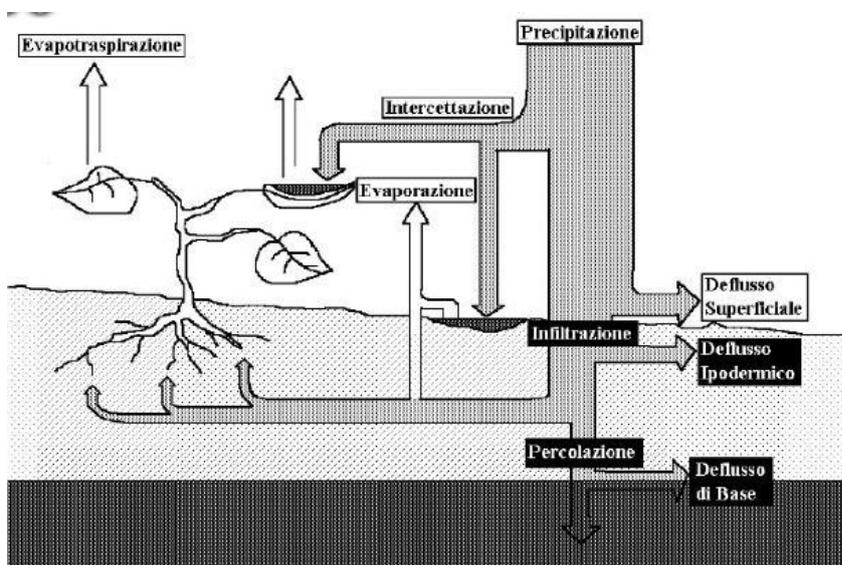


Figura 6.1 – Schema di trasformazione afflussi-deflussi

La precipitazione viene in parte intercettata dalla vegetazione, in parte si infiltra nel terreno, in parte si accumula in piccoli invasi naturali e/o artificiali come per esempio avvallamenti nel terreno, pozze o impluvi artificiali mentre la parte rimanente costituisce il deflusso superficiale che scorrerà verso la rete idrografica in funzione della pendenza del bacino idrografico.

Il sistema suolo-vegetazione, quindi, costituisce una naturale capacità di invaso che tende a decurtare parte della pioggia che arriverà nella rete idrografica.

La riduzione della pioggia è dunque dipendente dalla capacità complessiva degli invasi che risulterà variabile nel tempo in quanto funzione del progressivo riempimento degli invasi e sia in funzione dei processi di trasferimento dell'acqua che agiscono nel sistema suolo-atmosfera.

La modellazione afflussi-deflussi è dunque la componente essenziale per la ricostruzione/stima degli idrogrammi di piena a partire dalla distribuzione areale delle piogge insistenti sul bacino idrografico.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

Dal punto di vista matematico, il problema della ricostruzione di un idrogramma di piena può essere visto come la messa a punto di un filtro il cui ingresso è costituito da misure di una variabile $P(s,t)$ – la precipitazione insistente sul bacino durante un particolare evento – di tipo distribuito, ovvero dipendente sia dalla coordinata temporale t che dalla coordinata spaziale s e la cui uscita è una variabile $Q(t)$ – la portata nella sezione di chiusura del bacino – di tipo integrato nello spazio, ovvero dipendente solo dal tempo.

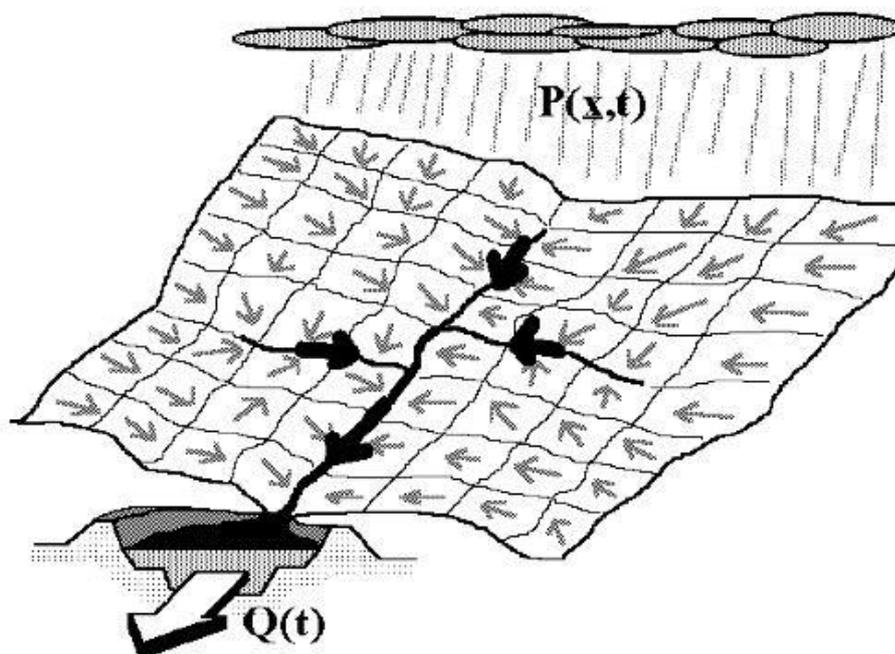


Figura 6.2 - Schema di trasferimento della pioggia

La trasformazione da pioggia al suolo a portata nella sezione di chiusura avviene secondo una cascata di processi, ciascuno dei quali può essere rappresentato tramite un opportuno sotto-modello specializzato. In particolare, l'ingresso principale al modello sarà costituito da una serie di misure di pioggia, che sono state interpolate mediante un opportuno modello estimativo, in modo da ottenere l'andamento delle precipitazioni lorde al suolo nello spazio e nel tempo in termini di afflussi per unità di area (ovvero con dimensioni di portata per unità di area).

La quota parte di tali precipitazioni che andrà in scorrimento superficiale (ed eventualmente anche in deflusso ipodermico, nei limiti precedentemente accennati), detta anche precipitazione efficace o deflusso efficace, verrà stimata con un opportuno modello di trasformazione afflussi – deflussi, che stimerà la

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

produzione di deflusso $q(s, t)$ idealmente in ciascun punto del bacino, avente questa ancora le dimensioni di una portata per unità di area.

Infine, il processo di concentrazione dei deflussi superficiali nel reticolo idrografico e di trasferimento lungo questo sino alla sezione di chiusura verrà rappresentato tramite un opportuno modello di formazione dell'onda di piena.

Per il calcolo della portata al colmo è stato individuato il metodo del Curve Number proposto dal Soil Conservation Service nel 1972.

Il metodo del Curve Number è empirico e basato su un'equazione che lega il volume specifico di pioggia netta al volume specifico di pioggia lorda caduta nel medesimo intervallo temporale.

Il CN è un parametro sintetico che esprime l'attitudine di una porzione di territorio a produrre deflusso diretto (superficiale) e varia da zero a cento. Più alto è il valore maggiore è il deflusso prodotto a parità di precipitazione.

Tale modello è concentrato nello spazio e nel tempo e si basa sulla semplificazione concettuale del processo idrologico. La sua formulazione deriva dall'equazione di bilancio fra i valori cumulati nel tempo dei principali termini dell'afflusso e quelli del deflusso. Si ipotizza che durante l'intero evento preso in considerazione resti invariata la seguente relazione di proporzionalità tra le perdite per infiltrazione e il deflusso superficiale:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \quad 14$$

Dove

- F = perdite effettive generate durante l'evento [mm];
- S = massima capacità di ritenzione idrica del suolo [mm];
- Q = pioggia netta cumulata [mm],
- P = pioggia lorda cumulata [mm];
- I_a = perdite iniziali dovute all'intercettazione, all'infiltrazione e alla saturazione delle depressioni superficiali [mm].

Lo sviluppo successivo richiede la stima della portata massima adottando come forzante del bacino una pioggia netta desunta dal metodo del Curve Number introdotto dal Soil Conservation Service (SCS). Il volume specifico di pioggia netta Pe , dall'inizio dell'evento meteorico fino all'istante generico t è legato al volume specifico di pioggia lorda P , caduta nel medesimo intervallo temporale, dalla relazione:

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad 15$$

nella quale S è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione ed I_a è la perdita iniziale.

Questa relazione è valida soltanto per:

$$P \geq I_a$$

mentre nel caso in cui l'altezza di pioggia risulti minore di I_a si ha $P_e = 0$.

I parametri S ed I_a possono essere determinati attraverso operazioni di taratura, ma in maniera semplificata si adotta $I_a = 0,2S$ verificata con buona approssimazione. Allo scopo di evitare di sovrastimare le perdite iniziali I_a , sono stati assunti valori massimi di 15 mm.

La valutazione di S può invece essere ricondotta a quella dell'indice CN, tramite:

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad 16$$

con S espresso in millimetri.

Si è anticipata al capitolo 2 la consultazione dello “*Studio idraulico dell'intero bacino del Torrente Grue*”, commissionato dalla Regione Piemonte in particolare dai comuni di Viguzzolo (capofila), Dernice, Garbagna, Avolasca, Casasco, Montemarzino, Montegioco, Cerreto Grue, Sarezzano, Tortona, Castelnuovo Scriveria. In questo documento sono contenute analisi idrologiche e modellazioni idrauliche del bacino del torrente Grue, al fine di determinare interventi strategici per mitigare il rischio idraulico dell'intera area.

L'idrogramma di progetto del torrente Grue con sezione di chiusura sulla linea ferroviaria, parte integrante del presente progetto definitivo, è stato calibrato grazie allo studio idraulico sopraccitato, il quale è stato tarato sulla base dell'evento alluvionale verificatosi nell'ottobre del 2014.

La costruzione degli idrogrammi di progetto presentata nel seguito della relazione, segue sulla falsariga il procedimento tenuto nello studio sopraccitato.

6.1 RICOSTRUZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PROGETTO

I bacini oggetto di studio hanno un'estensione tale da richiedere un ragguglio all'area delle precipitazioni procedendo ad una *distribuzione spaziale*, non potendo considerare la pioggia caduta nel baricentro dell'area, come rappresentativa di tutta l'estensione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

In analogia allo “*Studio idraulico dell'intero bacino del Torrente Grue*”, sviluppato recentemente da Studio ANSELMO Associati (2016) su commissione della Regione Piemonte, si è proceduto al ragguglio areale dell'altezza di pioggia secondo l'espressione:

$$C = S^{-k} \quad 17$$

con S superficie [Km^2], k coefficiente funzione della durata dell'evento considerato:

$$k = a \cdot \ln(t) + a' \quad 18$$

con t durata evento [ore], $a = 0.0716F - 0.0775$, $a' = -1.0072F^3 + 2.2314F^2 - 1.9141F + 0.7529$, F probabilità cumulata dell'evento.

Per la determinazione degli ietogrammi di progetto, e nello specifico per la *ripartizione temporale*, si prevede (sempre in analogia allo studio commissionato dalla Regione Piemonte sopra citato) la suddivisione della durata totale di pioggia in due periodi corrispondenti a tre quarti e un quarto dell'evento, cercando di simulare l'effetto di uno scroscio sull'ultima parte della durata totale. All'interno di ciascun periodo, l'altezza di pioggia totale (vedi capitolo 5.2) viene ripartita in funzione della durata dell'evento e l'intervallo di riferimento è posto pari a 15 minuti.

Si assume che, nel primo periodo, cada la percentuale del totale di seguito indicata:

- 40% del totale per durate < 1 ora;
- 45% del totale per durate > 1 ora e < 3 ore comprese;
- 50% del totale per durate > 3 ore e < 6 ore comprese;
- 60% del totale per durate > 6 ore e < 12 ore comprese;
- 65% del totale per durate > 12 ore.

Durata di pioggia [ore]	Valore attribuito ad ogni intervallo							
	4	5	6	8	12	24	30	36
N. intervalli	16	20	24	32	48	96	120	144
% precipitazione nel I intervallo	0,042	0,033	0,028	0,026	0,017	0,010	0,008	0,007
% precipitazione nel II intervallo	0,125	0,1	0,083	0,052	0,035	0,016	0,013	0,011

Tabella 8: Ripartizione temporale della precipitazione.

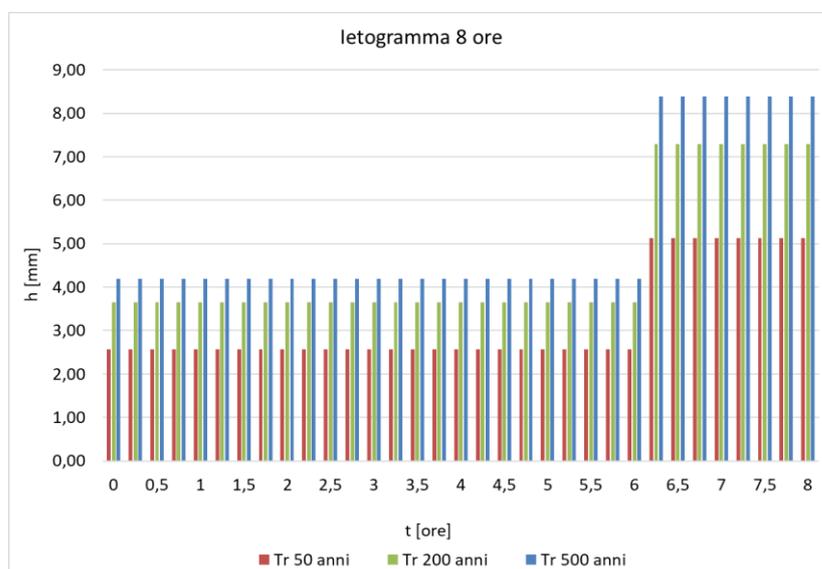
A titolo di esempio si riporta lo ietogramma per il torrente Grue, relativo alla distribuzione GEV per una durata di 8 ore.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	58 di 102

t [ore]	h [mm]	h _A [mm]	h _{A,r} [mm]
0	0,00	0,00	2,56
0,25	42,19	32,69	2,56
0,5	51,57	39,97	2,56
0,75	57,85	44,83	2,56
1	70,90	54,94	2,56
1,25	75,47	58,49	2,56
1,5	79,43	61,55	2,56
1,75	82,93	64,26	2,56
2	86,09	66,71	2,56
2,25	88,98	68,95	2,56
2,5	91,64	71,01	2,56
2,75	94,12	72,93	2,56
3	96,44	74,73	2,56
3,25	98,62	76,43	2,56
3,5	100,69	78,03	2,56
3,75	102,66	79,55	2,56
4	104,53	81,00	2,56
4,25	106,32	82,39	2,56
4,5	108,03	83,72	2,56
4,75	109,68	85,00	2,56
5	111,27	86,22	2,56
5,25	112,80	87,41	2,56
5,5	114,28	88,56	2,56
5,75	115,71	89,67	2,56
6	117,10	90,74	2,56

t [ore]	h [mm]	h _A [mm]	h _{A,r} [mm]
6,25	118,44	91,78	5,12
6,5	119,75	92,80	5,12
6,75	121,02	93,78	5,12
7	122,26	94,74	5,12
7,25	123,47	95,68	5,12
7,5	124,65	96,59	5,12
7,75	125,79	97,48	5,12
8	126,92	98,35	5,12


Tabella 9: Ietogramma Grue 8 ore – GEV.

6.2 LITOLOGIA

Procedendo nella definizione dei parametri del modello afflussi deflussi, sono stati reperiti i dati litologici del territorio interessato, presso le piattaforme webgis regionali attive di Piemonte e Lombardia.

I file shape riportano la classe litologica del suolo (Tabella 10), utile a definire il tipo idrologico di suolo, ovvero l'attitudine alla produzione di deflusso (Tabella 11).

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

Classe Litologica	Descrizione	Tipo idrologico
1	Depositi alluvionali	A
4	Sabbie	A
5	Argille e Marne argillose	C
6	Marne	C
7	Siltiti Marnose	C
8	Arenarie e conglomerati	B
9	Argille, marne e calcari a componente argillosa prevalente	C

Tabella 10: Accoppiamento Classe litologica al Tipo idrologico di suolo.

Tipo di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A. Il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidi, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in superficie.

Tabella 11: Descrizione del tipo idrologico di suolo.

Nelle figure seguenti, si riportano le carte litologiche ritagliate a scala di bacino, al fine di identificare le classi litologiche di suolo.

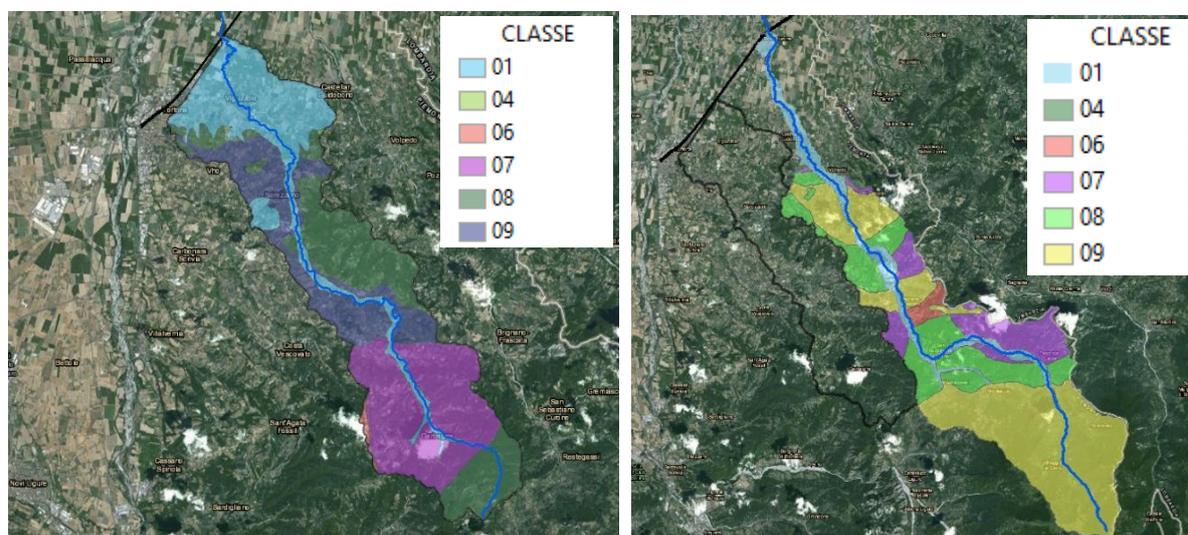


Figura 6.3: Litologia - Bacino del Torrente Grue (a sinistra) e bacino del Torrente Curone (a destra).

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	60 di 102

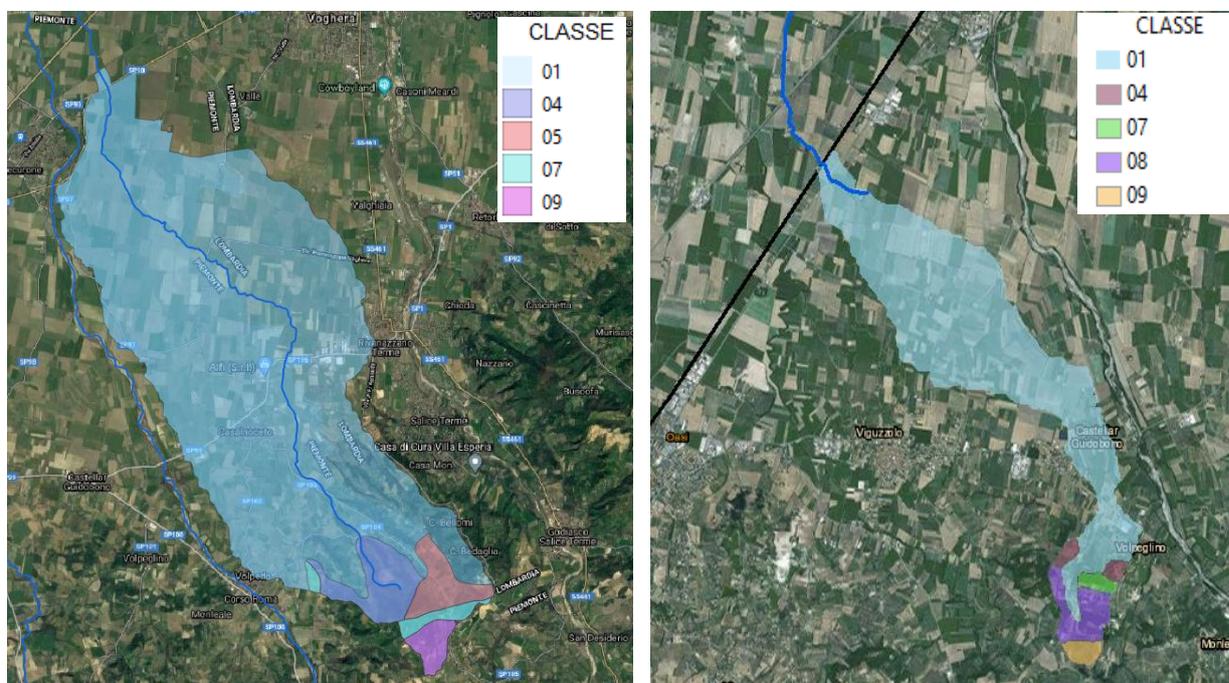


Figura 6.4: Litologia - Bacino del Torrente Limbione (a sinistra) e Bacino del Torrente Calvenza (a destra).

Il bacino del Torrente Grue ha una preponderanza di suolo tipo C (48.3%), il bacino del Calvenza ha una prevalenza di suolo tipo A (90.2%), il bacino del Curone presenta una maggioranza di suolo tipo C (66.8%) ed il bacino del Limbione presenta una prevalenza di suolo tipo A (92.3%).

I valori indicati suggeriscono che i suoli dei bacini dei torrenti Grue e Curone hanno una maggior potenzialità di deflusso maggiore rispetto ai suoli dei bacini del Calvenza e del Limbione.

6.3 USO DEL SUOLO

Alla litologia si devono aggiungere i dati di uso del suolo, nella fattispecie si sono implementati i dati del *Corine (COOrdination of INformation on the Environment) Land Cover 2018 di ISPRA, classe III*, del quale si riporta un estratto in Figura 6.5.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

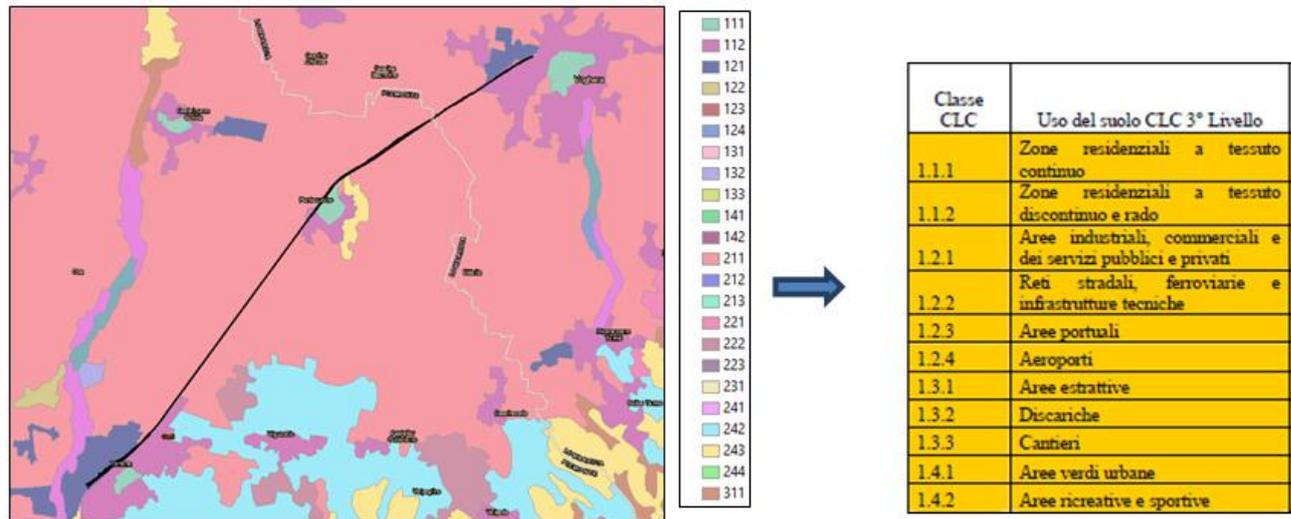


Figura 6.5: Estratto CLC18 relativa al tracciato ferroviario di progetto.

6.4 CURVE NUMBER (CN)

Incrociando infine i dati raccolti dall'uso del suolo e dalla litologia, è possibile ricavare il CN.

L'indice CN, numero adimensionale compreso tra 0 e 100, è una funzione della natura del suolo, del tipo di copertura vegetale e delle condizioni di umidità del suolo antecedenti la precipitazione.

Nella fattispecie esistono quattro gruppi che distinguono le tipologie di terreno sulla base delle capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento: a ciascuno di essi corrisponde un determinato valore di CN.

Per quanto riguarda l'influenza dello stato di imbibizione del suolo all'inizio dell'evento meteorico, il metodo individua tre classi caratterizzate da differenti condizioni iniziali (AMC).

L'associazione tra il tipo idrologico di suolo e l'uso del suolo per ogni bacino è riportato nelle tabelle seguenti.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	62 di 102

Valori del parametro CN (adimensionale)	← Tipo idrologico Suolo →			
↓ Tipologia di Uso del Territorio	A	B	C	D
Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo*	62*	71*	78*	81*
Terreni coltivati, in assenza di pratiche di conservazione del suolo*	72*	81*	88*	91*
Prati	≤30*	58*	71*	78*
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco*	45*	66*	77*	83*
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco*	25*	55*	70*	77*
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area impermeabile 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m ² (area impermeabile 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500+1000 m ² (area impermeabile 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000+1500 m ² (area impermeabile 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500+2000 m ² (area impermeabile 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000+5000 m ² (area impermeabile 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000+10000 m ² (area impermeabile 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade,	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

Tabella 12: Valori caratteristici del parametro CNII nelle zone urbanizzate, ottenute incrociando le caratteristiche di permeabilità del terreno con quelle di uso del suolo. (* per i diversi tipi di copertura vegetale e coltivazione v. Tabella 13, Tabella 14).

Valori del parametro CN	← Tipo Idrologico Suolo →			
↓ Tipologia di Coltivazione	A	B	C	D
Maggesi nudo o arato a ritocchino	77	86	91	94
Maggesi residuo (almeno il 5%) in cattive/buone condizioni*	76/74	85/83	90/88	93/90
Filari** a ritocchino in cattive/buone condizioni*	72/67	81/78	88/85	91/89
Filari** per traverso in cattive/buone condizioni*	70/65	79/75	84/82	88/86
Filari** per traverso e terrazzati in cattive/buone condizioni*	66/62	74/71	80/78	82/81
Cereali*** a ritocchino in cattive/buone condizioni*	65/63	76/75	84/83	88/87
Cereali*** per traverso in cattive/buone condizioni*	63/61	74/73	82/81	85/84
Cereali*** per traverso e terrazzati in cattive/buone condizioni*	61/59	72/70	79/78	82/81
Leguminose o prato a rotazione a ritocchino in cattive/buone condizioni*	66/58	77/72	85/81	89/85
Leguminose o prato a rotazione per traverso in cattive/buone condizioni*	64/55	75/69	83/78	85/83
Leguminose o prato a rotazione per traverso e terrazzato, in cattive/buone condizioni*	63/51	73/67	80/76	83/80

*condizioni dettate da: a) densità del manto vegetale, b) durata annuale della copertura, c) tipologia di rotazione, d) percentuale di copertura del terreno, e) grado di rugosità della superficie.

**mais, vigneti, arboreti.

***grano, sorgo.

Tabella 13: Valori caratteristici del parametro CNII per le zone rurali.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	63 di 102

Valori del parametro CN	← Tipo Idrologico Suolo →			
↓ Copertura vegetale	A	B	C	D
Zone Umide				
Pascolo in cattive/discrete/buone condizioni ¹	68/49/39	79/69/61	86/79/74	89/84/80
Pascolo <i>per traverso</i> in cattive/discrete/buone condizioni ¹	47/25/6	67/59/35	81/75/70	88/83/79
Prato protetto dal pascolo e soggetto a fienagione	≤30	58	71	78
Sterpaglia in cattive/discrete/buone condizioni ²	48/35/30	67/56/48	77/70/65	83/77/73
Combinazione di bosco (50%) e prato (50%), ad es. frutteto, in cattive/discrete/buone condizioni ²	57/43/32	73/65/58	82/76/72	86/82/79
Bosco in cattive/discrete/buone condizioni ³	45/36/25	66/60/55	77/73/70	83/79/77
Zone Aride e Semiaride				
Manto erboso in cattive/discrete/buone condizioni ⁴		80/71/62	87/81/74	93/89/85
Macchia boschiva ⁵ in cattive/discrete/buone condizioni ⁴		66/48/30	74/57/41	79/63/48
Cespugli ⁶ in cattive/discrete/buone condizioni ⁴ ,		75/58/41	85/73/61	89/80/71
Macchia arbustiva ⁷ in cattive/discrete/buone condizioni ⁴		67/51/35	80/63/47	85/70/55
Vegetazione desertica ⁸ in cattive/discrete/buone condizioni ⁴	63/55/49	77/72/68	85/81/79	88/86/84

¹cattive condizioni: copertura inferiore al 50% e elevato sfruttamento; discrete condizioni: copertura tra il 50 e il 75% e modesto sfruttamento; buone condizioni: copertura superiore al 75% e sfruttamento saltuario.

²cattive/discrete/buone condizioni: copertura inferiore al 50%, tra il 50 e il 75%, superiore al 75%.

³cattive condizioni: sottobosco soggetto a sfruttamento e distruzione per via degli incendi; discrete condizioni: sottobosco soggetto a sfruttamento, ma al riparo dagli incendi; buone condizioni: sottobosco protetto.

⁴cattive condizioni: copertura inferiore al 30%; discrete condizioni: copertura tra il 30 e il 70%; buone condizioni: copertura superiore al 70%.

Tabella 14: Valori caratteristici del parametro CNII per le zone rurali.

Nel progetto sono state considerati condizioni medie di imbibizione, per cui si omettono le formulazioni per il calcolo di CN_I e CN_{III}.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	64 di 102

CODICE	Descrizione	Classe Litologica	Tipo idrologico	Superficie [kmq]	CN	Descrizione dettaglio
111	Zone residenziali a tessuto continuo	1	A	0,059209	77	Zone residenziali, lotti fino a 500 m2 (area impermeabile 65%)
112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	1	A	2,370269	61	Zone residenziali, lotti di 500÷1000 m2 (area impermeabile 38%)
		7	C	0,200766	83	
		8	B	0,163715	75	
		9	C	0,014117	83	
211	Seminativi in aree non irrigue	1	A	4,317695	65	Cereali a ritocchino in cattive/buone condizioni
		8	B	0,505486	76	
		9	C	0,237333	74	
222	Frutteti e frutti minori	1	A	1,702641	57	Combinazione di bosco (50%) e prato (50%), ad es. frutteto, in cattive/discrete/buone condizioni
		8	B	0,165116	73	
		9	C	0,007385	82	
242	Sistemi colturali e particellari complessi	1	A	13,75907	62	Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo
		4	A	0,001256	62	
		6	C	0,040933	78	
		7	C	3,158159	78	
		8	B	5,624316	71	
		9	C	15,290144	78	
243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	1	A	1,091272	62	Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo
		4	A	0,038758	62	
		6	C	0,163917	78	
		7	C	7,187887	78	
		8	B	5,557429	71	
		9	C	1,781575	78	
311	Boschi di latifoglie	1	A	0,166575	36	Bosco in cattive/discrete/buone condizioni
		6	C	0,194876	73	
		7	C	12,77013	73	
		8	B	10,13722	60	
		9	C	0,393526	73	
324	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	1	A	0,016916	45	Bosco in cattive/discrete/buone condizioni
		7	C	0,601608	77	
		8	B	0,939197	66	
				88,658496	69,88	

Tabella 15: Attribuzione CN al Bacino del T. Grue.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	65 di 102

CODICE	Descrizione	Classe Litologica	Tipo idrologico	Superficie [kmq]	CN	Descrizione dettaglio
112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	1	A	0,006434	57	Zone residenziali, lotti di 1000÷1500 m2 (area impermeabile 30%)
211	Seminativi in aree non irrigue	1	A	3,55973	72	Terreni coltivati, in assenza di pratiche di conservazione del suolo
222	Frutteti e frutti minori	1	A	0,000004	43	frutteto, in discrete condizioni
242	Sistemi colturali e particellari complessi	1	A	2,624756	72	Terreni coltivati, in assenza di pratiche di conservazione del suolo
		4	A	0,066509	70	Filari per traverso in cattive condizioni
		8	B	0,118776	81	Terreni coltivati, in assenza di pratiche di conservazione del suolo
		9	C	0,13878	88	Terreni coltivati, in assenza di pratiche di conservazione del suolo
243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	1	A	0,193869	36	Bosco in discrete condizioni
		4	A	0,078039	62	Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo
		7	C	0,10929	73	Bosco in discrete condizioni
		8	B	0,343115	71	Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo
		9	C	0,003038	78	Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo
				7,24234	71,32	

Tabella 16: Attribuzione CN al Bacino del T. Calvenza.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	66 di 102

CODICE	Descrizione	Classe Litologica	Tipo idrologico	Superficie [kmq]	CN	Descrizione dettaglio
111	Zone residenziali a tessuto continuo	1	A	0,33117	77	Zone residenziali, lotti fino a 500 m2 (area impermeabile 65%)
112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	1	A	0,76893	61	Zone residenziali, lotti di 500÷1000 m2 (area impermeabile 38%)
142	Aree ricreative e sportive	1	A	0,27492	49	spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area
		7	C	0,26127	79	
		9	C	0,06044	79	
211	Seminativi in aree non irrigue	1	A	6,08818	63	Cereali a ritocchino in cative/buone condizioni
		7	C	0,00404	83	
		8	B	0,46849	75	
		9	C	0,45273	83	
222	Frutteti e frutti minori	1	A	1,52505	57	Combinazione di bosco (50%) e prato (50%), ad es. frutteto, in cative/discrete/buone condizioni
		7	C	0,03719	82	
		8	B	0,48393	73	
		9	C	0,86061	82	
242	Sistemi colturali e particellari complessi	1	A	3,96414	72	Terreni coltivati, in assenza di pratiche di conservazione del suolo
		4	A	0,15259	72	
		6	C	0,78994	88	
		7	C	1,56696	88	
		8	B	4,35634	81	
		9	C	15,45067	88	
243	Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	1	A	4,89455	62	Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo
		4	A	0,28761	62	
		6	C	0,71422	78	
		7	C	5,92676	78	
		8	B	9,70788	71	
		9	C	18,97224	78	
311	Boschi di latifoglie	1	A	1,07944	36	Bosco in cative/discrete/buone condizioni
		4	A	0,00443	36	
		6	C	0,99560	73	
		7	C	7,93690	73	
		8	B	18,08473	60	
		9	C	38,87712	73	
312	Boschi di conifere	9	C	2,29886	73	Bosco in cative/discrete/buone condizioni
313	Boschi misti di conifere e latifoglie	7	C	2,89996	73	Bosco in cative/discrete/buone condizioni
		8	B	0,18125	60	
		9	C	1,66125	73	
321	Aree a pascolo naturale e praterie	9	C	1,33893	79	Pascolo in cative/discrete/buone condizioni

IDROLOGIA E IDRAULICA
**Relazione idrologica bacini maggiori -
 T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	67 di 102

CODICE	Descrizione	Classe Litologica	Tipo idrologico	Superficie [kmq]	CN	Descrizione dettaglio
324	Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	1	A	0,00123	45	Bosco in cattive/discrete/buone condizioni
		6	C	0,23473	77	
		7	C	1,81314	77	
		8	B	0,59841	66	
		9	C	2,76650	77	
331	Spiagge, dune e sabbie	1	A	0,27161	49	Vegetazione desertica ⁸ in cattive/discrete/buone condizioni
		9	C	0,03782	79	
333	Aree con vegetazione rada	6	C	0,23988	65	Sterpaglia in cattive/discrete/buone condizioni
		7	C	0,06150	65	
		8	B	0,03338	56	
		9	C	1,53445	65	
				161,3519716	72,93	

Tabella 17: Attribuzione CN al Bacino del T. Curone.

CODICE	Descrizione	Classe Litologica	Tipo idrologico	Superficie [kmq]	CN	Descrizione dettaglio
112	Zone residenziali a tessuto discontinuo e rado	1	A	0,898769531	61	Zone residenziali, lotti di 500÷1000 m2 (area impermeabile 38%)
121	Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati	1	A	0,389665902	81	Zone industriali (area impermeabile 72%)
211	Seminativi in aree non irrigue	1	A	26,47220765	72	Terreni coltivati, in assenza di pratiche di conservazione del suolo
222	Frutteti e frutti minori	1	A	0,884748487	43	frutteto, in discrete condizioni
		7	C	0,055576281	76	
		9	C	0,1885214	76	
242	Sistemi culturali e particellari complessi	1	A	3,207556172	72	Terreni coltivati, in assenza di pratiche di conservazione del suolo
		4	A	0,408544688	72	Terreni coltivati, in assenza di pratiche di conservazione del suolo
		5	C	0,640419837	82	Filari per traverso in cattive/buone condizioni
		7	C	0,15702802	78	Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo
		9	C	0,255187906	78	Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo
243	Aree prevalentemente	1	A	2,674384928	62	Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	68 di 102

CODICE	Descrizione	Classe Litologica	Tipo idrologico	Superficie [kmq]	CN	Descrizione dettaglio
	occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	4	A	0,692087595	62	Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo
		5	C	0,502503055	78	Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo
		7	C	0,15844884	78	Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo
		8	B	0,184097972	71	Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo
		9	C	0,006048375	78	Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo
311	Boschi di latifoglie	1	A	0,0226512	36	Bosco in cattive/discrete/buone condizioni
		4	A	0,57364589	36	Bosco in cattive/discrete/buone condizioni
		5	C	0,438303297	73	Bosco in cattive/discrete/buone condizioni
		7	C	0,062643386	73	Bosco in cattive/discrete/buone condizioni
		8	B	0,083053901	60	Bosco in cattive/discrete/buone condizioni
		9	C	0,063247607	73	Bosco in cattive/discrete/buone condizioni
				39,01934192	70,11	

Tabella 18: Attribuzione CN al Bacino del T. Limbione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

7 IDROGRAMMI DI PROGETTO

In questo capitolo conclusivo di riportano gli idrogrammi di progetto ottenuti implementando il modello SCS-CN, con i parametri finora definiti, nel software *HEC-HMS*.

Il modello implementato è l'SCS-UH, alla cui base si trova un idrogramma unitario adimensionale con picco unico.

Esso esprime la portata come un rapporto tra la portata di picco Q_p , per ogni istante t , e il tempo di picco T_p :

$$Q_p = C \cdot \frac{A}{T_p} \quad 19$$

dove A è l'area del bacino, C una costante di conversione pari a 2.08 nel SI, T_p è correlato alla durata dell'unità di eccesso di precipitazione:

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag} \quad 20$$

dove Δt è la durata dell'eccesso di precipitazione (ossia l'intervallo di calcolo), t_{lag} è la differenza di tempo tra il centro di massa dell'eccesso di precipitazione ed il picco dell'UH.

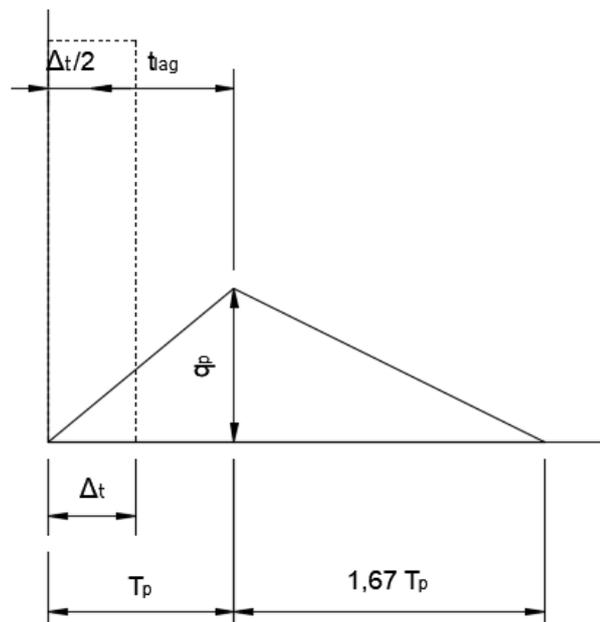


Figura 7.1: Idrogramma unitario SCS.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

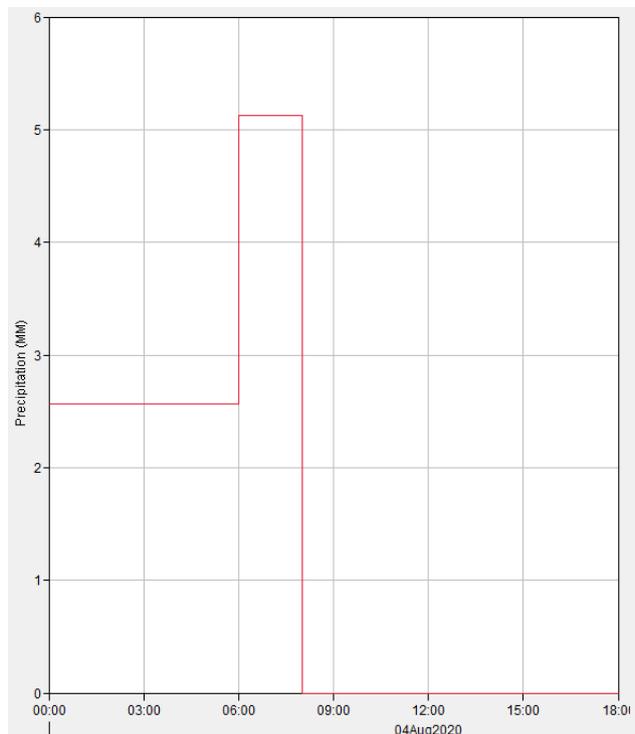
Il tempo di ritardo può essere calcolato utilizzando i dati caratteristici del bacino con l'applicazione della formula di Mockus:

$$t_{lag} = 0.342 \cdot L^{0.8} s^{-0.5} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \quad 21$$

dove L è la lunghezza dell'asta principale in [km], s è la pendenza media dell'asta principale in (%), CN è il Curve Number ed il t_{lag} viene restituito in ore.

7.1 IDROGRAMMI DI PROGETTO TORRENTE GRUE

Per il tempo di ritorno 50 anni lo ietogramma che origina l'onda di piena di picco è quello corrispondente all'evento di 8 ore (GEV e Gumbel).

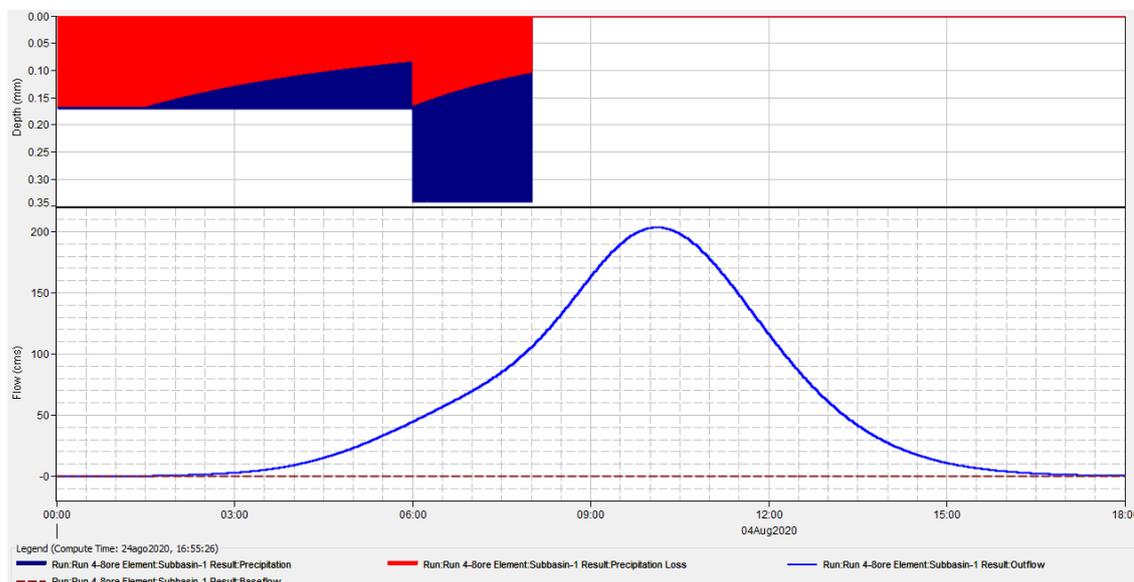


t [ore]	h [mm]	ha [mm]	ha,r [mm]
0,00	0,00	0,00	2,56
0,25	42,19	32,69	2,56
0,50	51,57	39,97	2,56
0,75	57,85	44,83	2,56
1,00	70,90	54,94	2,56
1,25	75,47	58,49	2,56
1,50	79,43	61,55	2,56
1,75	82,93	64,26	2,56
2,00	86,09	66,71	2,56
2,25	88,98	68,95	2,56
2,50	91,64	71,01	2,56
2,75	94,12	72,93	2,56
3,00	96,44	74,73	2,56
3,25	98,62	76,43	2,56
3,50	100,69	78,03	2,56
3,75	102,66	79,55	2,56
4,00	104,53	81,00	2,56
4,25	106,32	82,39	2,56
4,50	108,03	83,72	2,56
4,75	109,68	85,00	2,56
5,00	111,27	86,22	2,56
5,25	112,80	87,41	2,56
5,50	114,28	88,56	2,56
5,75	115,71	89,67	2,56
6,00	117,10	90,74	2,56
6,25	118,44	91,78	5,12
6,50	119,75	92,80	5,12
6,75	121,02	93,78	5,12
7,00	122,26	94,74	5,12
7,25	123,47	95,68	5,12
7,50	124,65	96,59	5,12
7,75	125,79	97,48	5,12
8,00	126,92	98,35	5,12

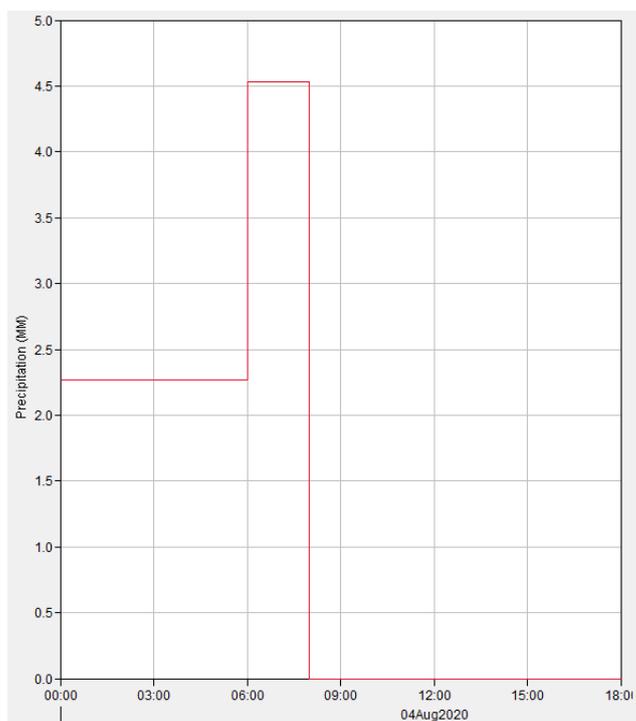
Figura 7.2: Ietogramma GEV di progetto Tr50 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	71 di 102


Figura 7.3: Idrogramma GEV di progetto Tr50 anni.

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Grue	89.97	203.6	10:08

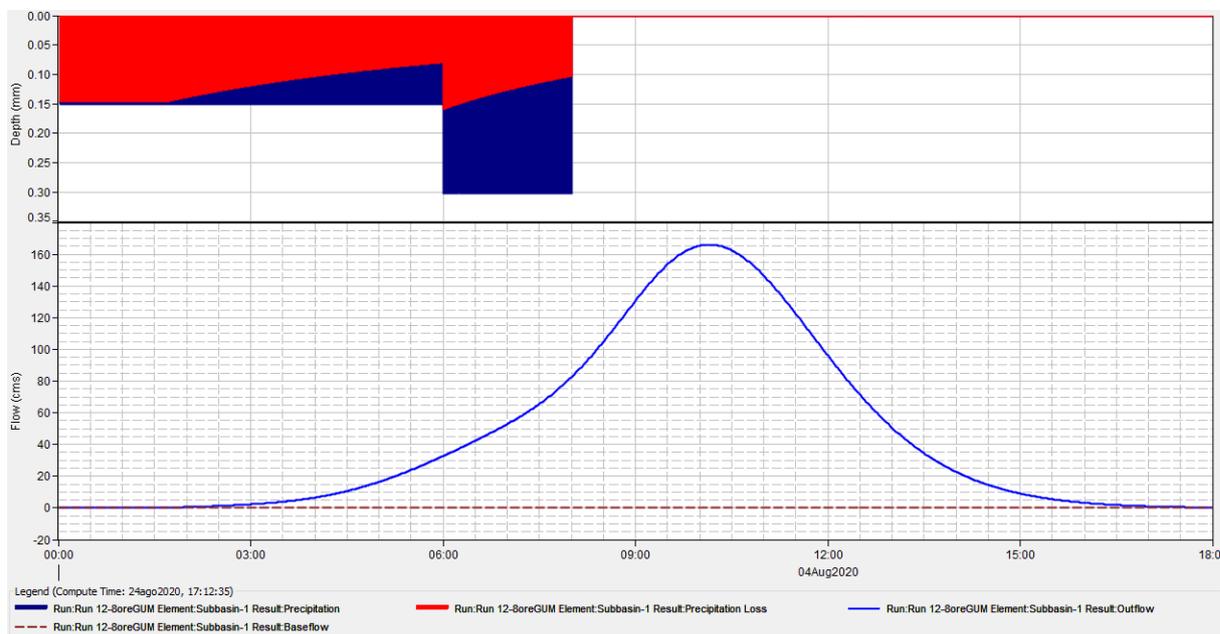
Tabella 19: Picco di portata GEV Tr 50 anni.


t [ore]	h [mm]	ha [mm]	ha,r [mm]
0	0,00	0,00	2,27
0,25	42,19	32,69	2,27
0,5	51,57	39,97	2,27
0,75	57,85	44,83	2,27
1	62,72	48,60	2,27
1,25	66,76	51,74	2,27
1,5	70,26	54,45	2,27
1,75	73,36	56,85	2,27
2	76,16	59,02	2,27
2,25	78,71	60,99	2,27
2,5	81,07	62,82	2,27
2,75	83,26	64,52	2,27
3	85,31	66,11	2,27
3,25	87,24	67,61	2,27
3,5	89,07	69,03	2,27
3,75	90,81	70,37	2,27
4	92,47	71,66	2,27
4,25	94,05	72,88	2,27
4,5	95,57	74,06	2,27
4,75	97,03	75,19	2,27
5	98,43	76,28	2,27
5,25	99,78	77,32	2,27
5,5	101,09	78,34	2,27
5,75	102,36	79,32	2,27
6	103,58	80,27	2,27
6,25	104,78	81,19	4,53
6,5	105,93	82,09	4,53
6,75	107,06	82,96	4,53
7	108,15	83,81	4,53
7,25	109,22	84,64	4,53
7,5	110,26	85,45	4,53
7,75	111,28	86,23	4,53
8	112,27	87,00	4,53

Figura 7.4: Ietogramma Gumbel di progetto Tr50 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

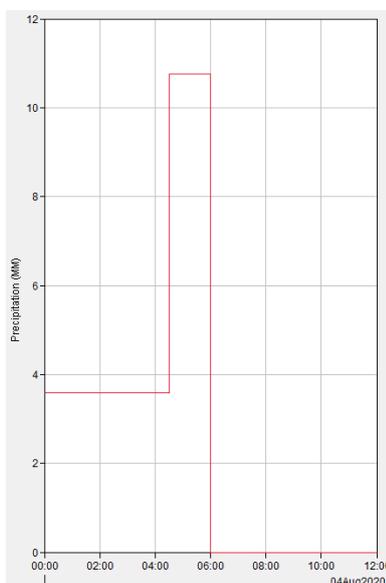
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	72 di 102


Figura 7.5: Idrogramma Gumbel di progetto Tr50 anni.

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Grue	89.97	166.1	10:09

Tabella 20: Picco di portata Gumbel Tr 50 anni.

Per il tempo di ritorno 200 anni lo ietogramma che origina l'onda di piena di picco è quello corrispondente all'evento di 6 ore (GEV) e 8 ore (Gumbel).



t [ore]	h [mm]	ha [mm]	ha,r [mm]
0,00	0,00	0,00	3,59
0,25	67,87	52,60	3,59
0,50	82,97	64,29	3,59
0,75	93,07	72,12	3,59
1,00	100,90	78,19	3,59
1,25	107,40	83,23	3,59
1,50	113,03	87,59	3,59
1,75	118,02	91,45	3,59
2,00	122,51	94,94	3,59
2,25	126,62	98,12	3,59
2,50	130,41	101,06	3,59
2,75	133,94	103,79	3,59
3,00	137,24	106,35	3,59
3,25	140,35	108,76	3,59
3,50	143,29	111,04	3,59
3,75	146,09	113,21	3,59
4,00	148,75	115,27	3,59
4,25	151,30	117,25	3,59
4,50	153,74	119,14	3,59
4,75	156,08	120,95	10,76
5,00	158,34	122,70	10,76
5,25	160,52	124,39	10,76
5,50	162,63	126,02	10,76
5,75	164,66	127,60	10,76
6,00	166,64	129,13	10,76

Figura 7.6: Ietogramma GEV di progetto Tr200 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA

**Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	73 di 102

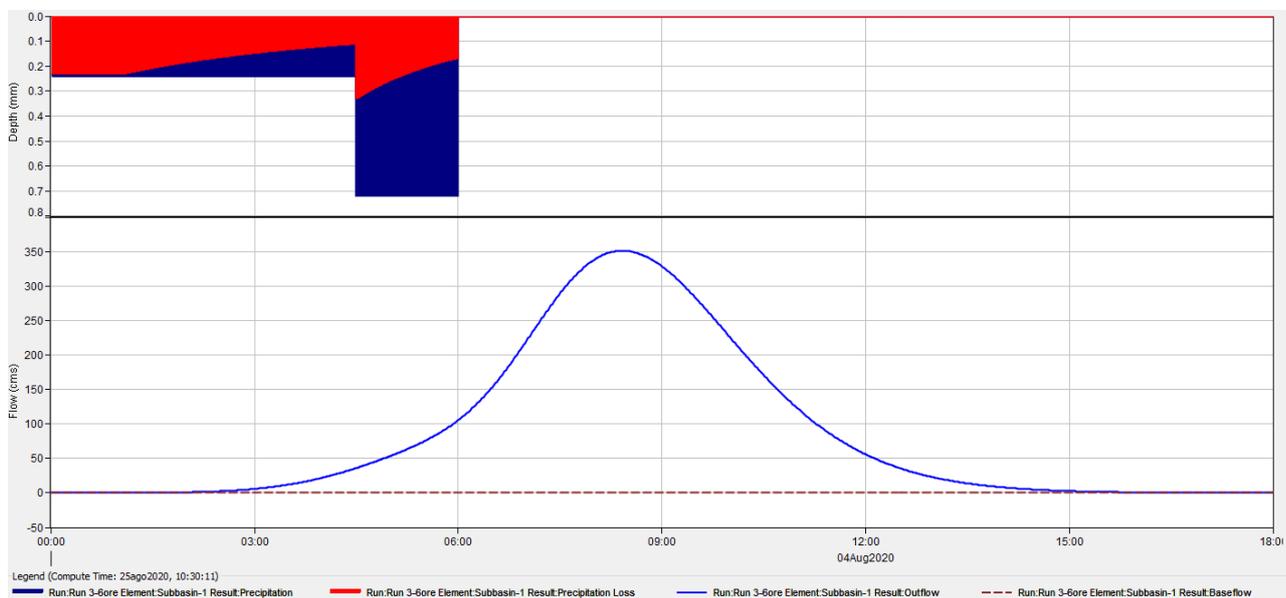
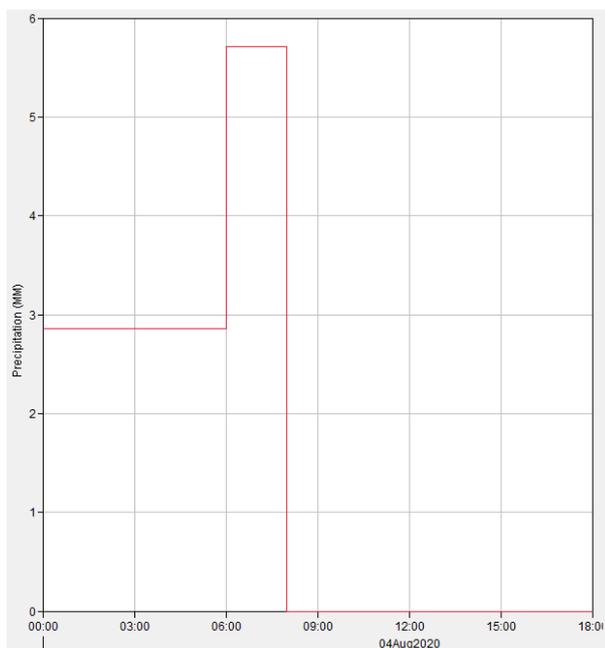


Figura 7.7: Idrogramma GEV di progetto Tr200 anni.

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Grue	89.97	351.2	8:25

Tabella 21: Picco di portata GEV Tr 200 anni.

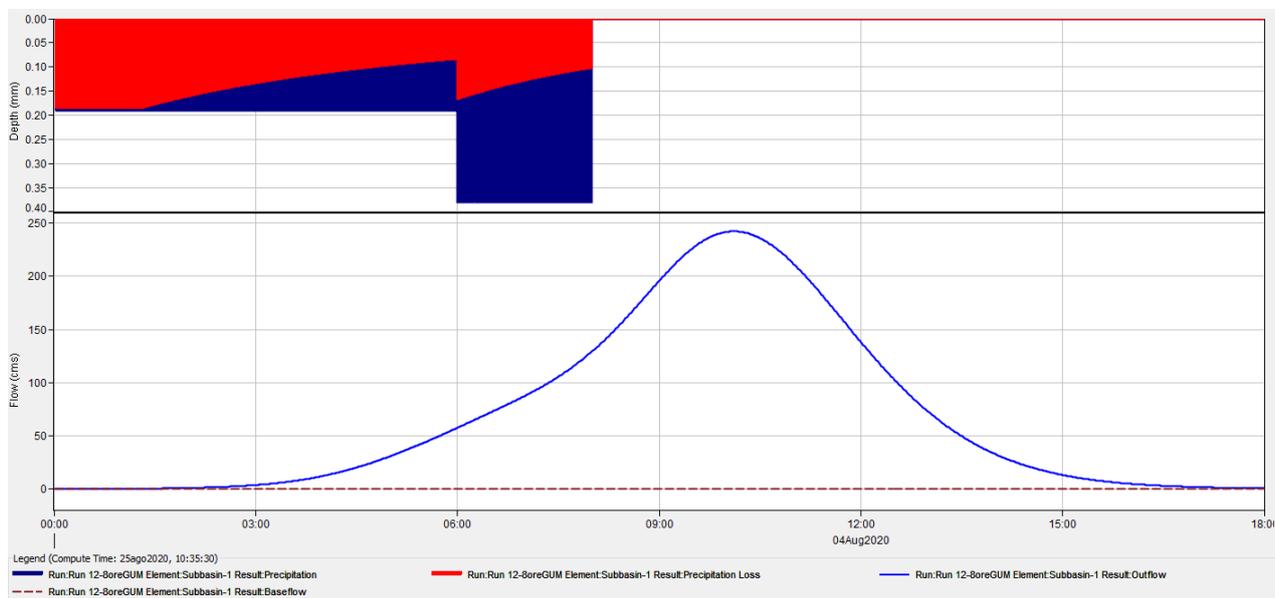


t [ore]	h [mm]	ha [mm]	ha,r [mm]
0,00	0,00	0,00	2,86
0,25	53,20	41,22	2,86
0,50	65,03	50,39	2,86
0,75	72,95	56,53	2,86
1,00	79,08	61,28	2,86
1,25	84,18	65,23	2,86
1,50	88,59	68,65	2,86
1,75	92,50	71,68	2,86
2,00	96,02	74,41	2,86
2,25	99,24	76,91	2,86
2,50	102,21	79,21	2,86
2,75	104,98	81,35	2,86
3,00	107,57	83,36	2,86
3,25	110,00	85,25	2,86
3,50	112,31	87,03	2,86
3,75	114,50	88,73	2,86
4,00	116,59	90,35	2,86
4,25	118,59	91,90	2,86
4,50	120,50	93,38	2,86
4,75	122,34	94,80	2,86
5,00	124,11	96,17	2,86
5,25	125,81	97,50	2,86
5,50	127,46	98,77	2,86
5,75	129,06	100,01	2,86
6,00	130,61	101,21	2,86
6,25	132,11	102,37	5,71
6,50	133,57	103,50	5,71
6,75	134,99	104,60	5,71
7,00	136,37	105,67	5,71
7,25	137,71	106,72	5,71
7,50	139,03	107,74	5,71
7,75	140,31	108,73	5,71
8,00	141,56	109,70	5,71

Figura 7.8: Ietogramma Gumbel di progetto Tr200 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

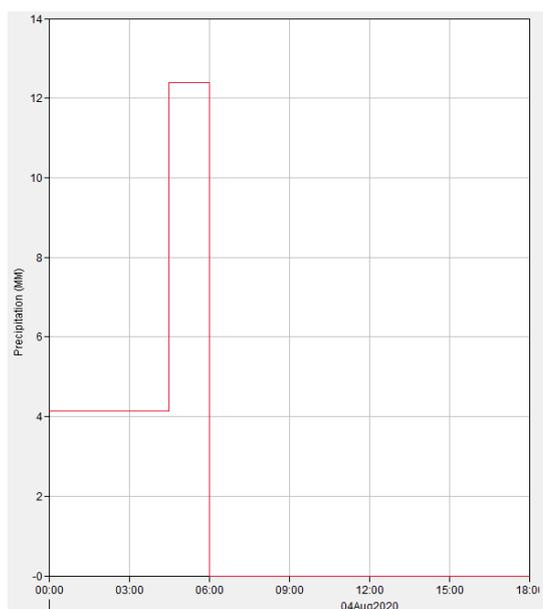
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	74 di 102


Figura 7.9: Idrogramma Gumbel di progetto Tr200 anni.

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Grue	89.97	242.4	10:07

Tabella 22: Picco di portata Gumbel Tr 200 anni.

Per il tempo di ritorno 500 anni lo ietogramma che origina l'onda di piena di picco è quello corrispondente all'evento di 6 ore (GEV) e 8 ore (Gumbel).

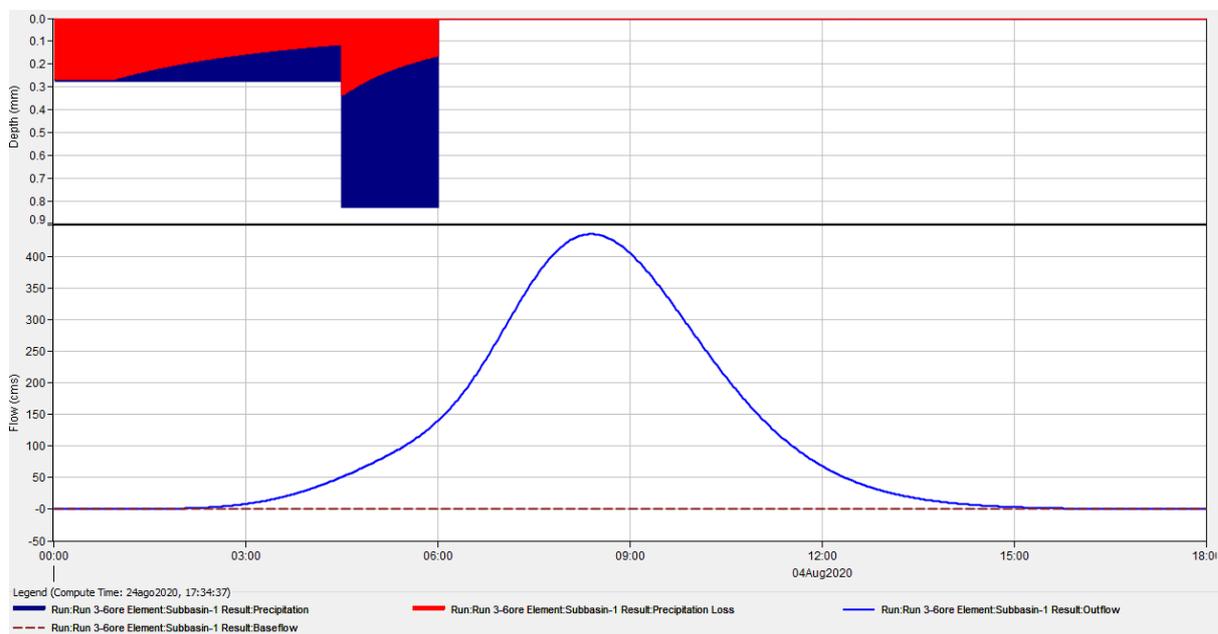


t [ore]	h [mm]	ha [mm]	ha,r [mm]
0,00	0,00	0,00	4,13
0,25	78,14	60,56	4,13
0,50	95,52	74,02	4,13
0,75	107,15	83,04	4,13
1,00	116,17	90,02	4,13
1,25	123,66	95,83	4,13
1,50	130,14	100,85	4,13
1,75	135,88	105,29	4,13
2,00	141,05	109,31	4,13
2,25	145,78	112,97	4,13
2,50	150,15	116,35	4,13
2,75	154,21	119,50	4,13
3,00	158,01	122,45	4,13
3,25	161,59	125,22	4,13
3,50	164,98	127,85	4,13
3,75	168,20	130,34	4,13
4,00	171,27	132,72	4,13
4,25	174,20	134,99	4,13
4,50	177,01	137,17	4,13
4,75	179,71	139,26	12,39
5,00	182,31	141,28	12,39
5,25	184,82	143,22	12,39
5,50	187,24	145,10	12,39
5,75	189,58	146,91	12,39
6,00	191,86	148,68	12,39

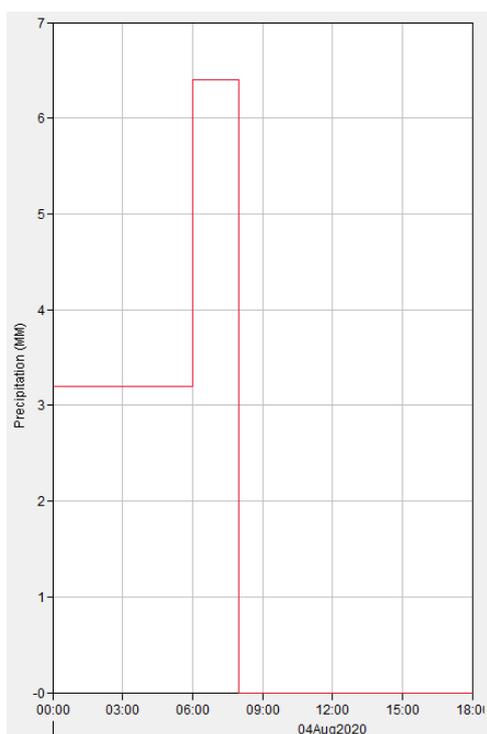
Figura 7.10: Ietogramma GEV di progetto Tr500 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	75 di 102


Figura 7.11: Idrogramma GEV di progetto Tr500 anni.

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Grue	89.97	435.1	8:24

Tabella 23: Picco di portata GEV Tr 500 anni.


t [ore]	h [mm]	ha [mm]	ha,r [mm]
0,00	0,00	0,00	3,20
0,25	59,62	46,20	3,20
0,50	72,88	56,47	3,20
0,75	81,75	63,35	3,20
1,00	88,63	68,68	3,20
1,25	94,34	73,11	3,20
1,50	99,28	76,94	3,20
1,75	103,66	80,33	3,20
2,00	107,61	83,39	3,20
2,25	111,22	86,19	3,20
2,50	114,55	88,77	3,20
2,75	117,65	91,17	3,20
3,00	120,55	93,42	3,20
3,25	123,28	95,53	3,20
3,50	125,87	97,54	3,20
3,75	128,32	99,44	3,20
4,00	130,66	101,25	3,20
4,25	132,90	102,99	3,20
4,50	135,04	104,65	3,20
4,75	137,10	106,24	3,20
5,00	139,08	107,78	3,20
5,25	141,00	109,26	3,20
5,50	142,85	110,70	3,20
5,75	144,64	112,08	3,20
6,00	146,37	113,43	3,20
6,25	148,05	114,73	6,40
6,50	149,69	116,00	6,40
6,75	151,28	117,23	6,40
7,00	152,83	118,43	6,40
7,25	154,33	119,60	6,40
7,50	155,81	120,74	6,40
7,75	157,24	121,85	6,40
8,00	158,65	122,94	6,40

Figura 7.12: Ietogramma Gumbel di progetto Tr500 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA

**Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	76 di 102

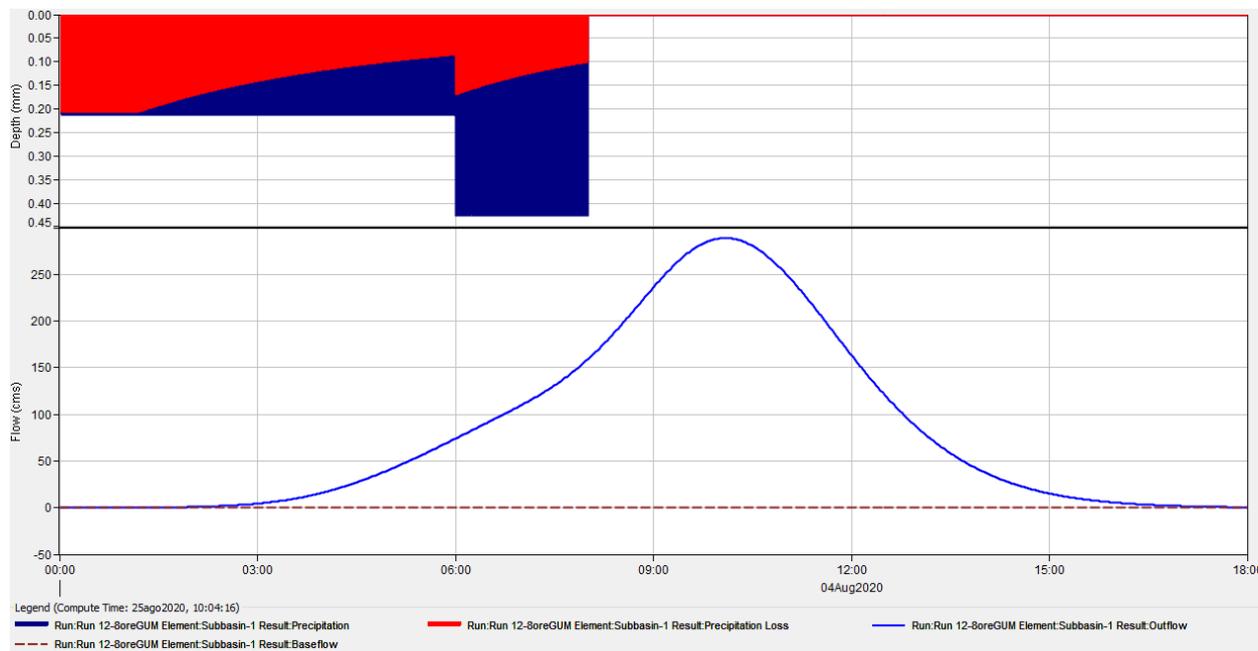


Figura 7.13: Idrogramma Gumbel di progetto Tr500 anni.

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Grue	89.97	288.9	10:05

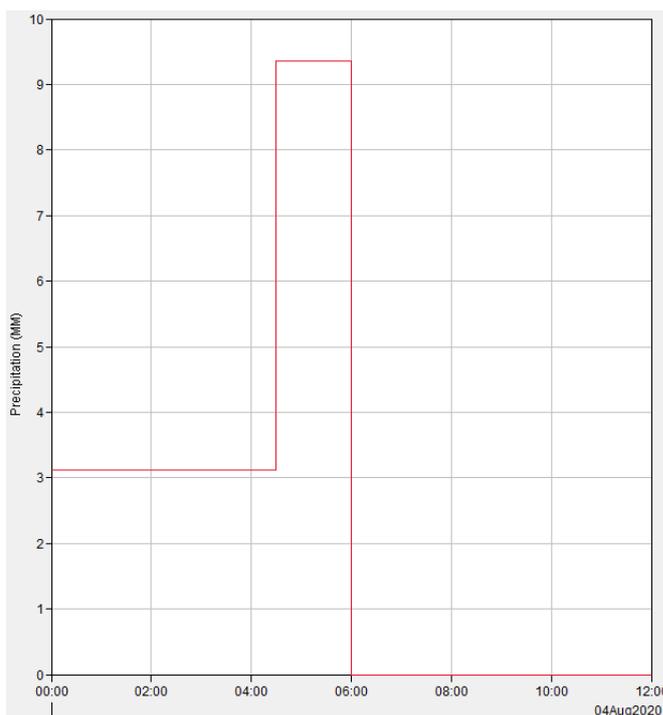
Tabella 24: Picco di portata Gumbel Tr 500 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	77 di 102

7.2 IDROGRAMMI DI PROGETTO TORRENTE CALVENZA

Per il tempo di ritorno 50 anni lo ietogramma che origina l'onda di piena di picco è quello corrispondente all'evento di 6 ore (GEV e Gumbel).



t [ore]	h [mm]	ha [mm]	h _{ar} [mm]
0,00	0,00	0,00	3,12
0,25	52,55	47,21	3,12
0,50	63,80	57,32	3,12
0,75	71,28	64,04	3,12
1,00	77,06	69,23	3,12
1,25	81,84	73,53	3,12
1,50	85,97	77,24	3,12
1,75	89,63	80,52	3,12
2,00	92,92	83,47	3,12
2,25	95,92	86,17	3,12
2,50	98,69	88,66	3,12
2,75	101,26	90,97	3,12
3,00	103,67	93,13	3,12
3,25	105,93	95,17	3,12
3,50	108,07	97,09	3,12
3,75	110,10	98,91	3,12
4,00	112,04	100,65	3,12
4,25	113,89	102,31	3,12
4,50	115,66	103,91	3,12
4,75	117,36	105,43	9,36
5,00	119,00	106,90	9,36
5,25	120,58	108,32	9,36
5,50	122,10	109,69	9,36
5,75	123,57	111,01	9,36
6,00	125,00	112,30	9,36

Figura 7.14: Ietogramma GEV di progetto Tr50 anni.

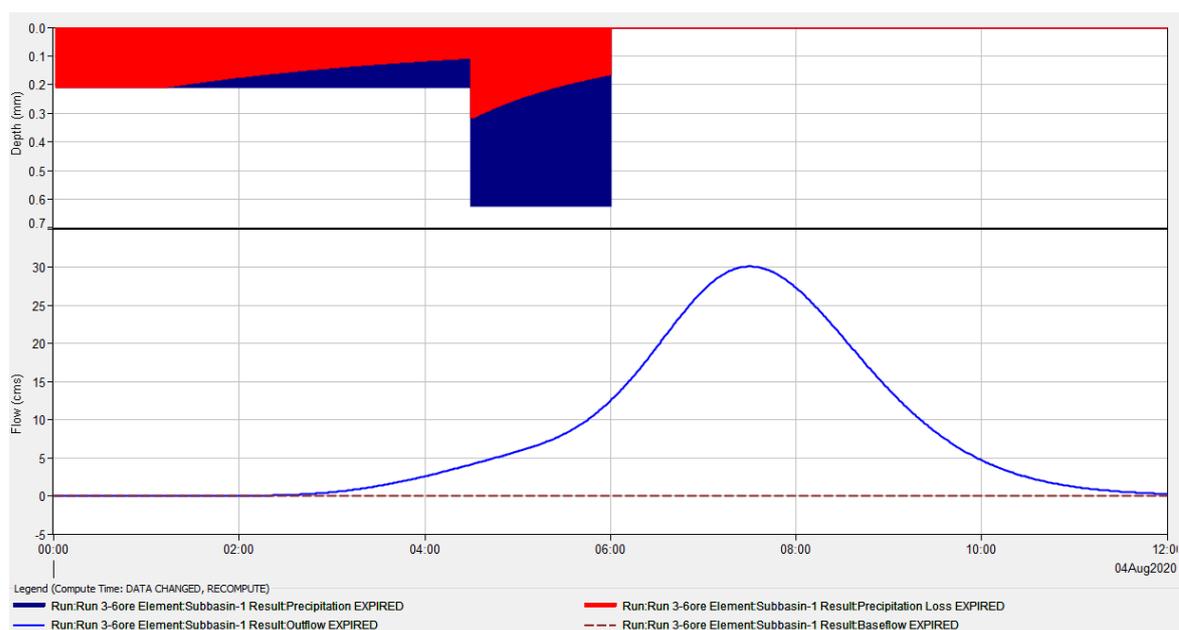


Figura 7.15: Idrogramma GEV di progetto Tr50 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA

**Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	78 di 102

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Calvenza	7.24	30.1	7:30

Tabella 25: Picco di portata GEV Tr 50 anni.

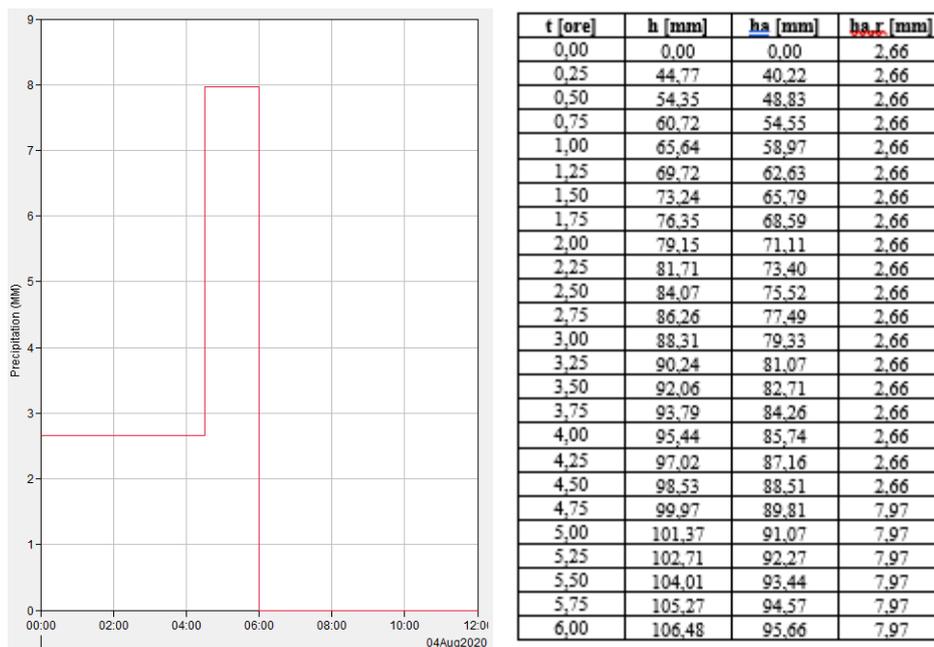


Figura 7.16: Ietogramma Gumbel di progetto Tr50 anni.

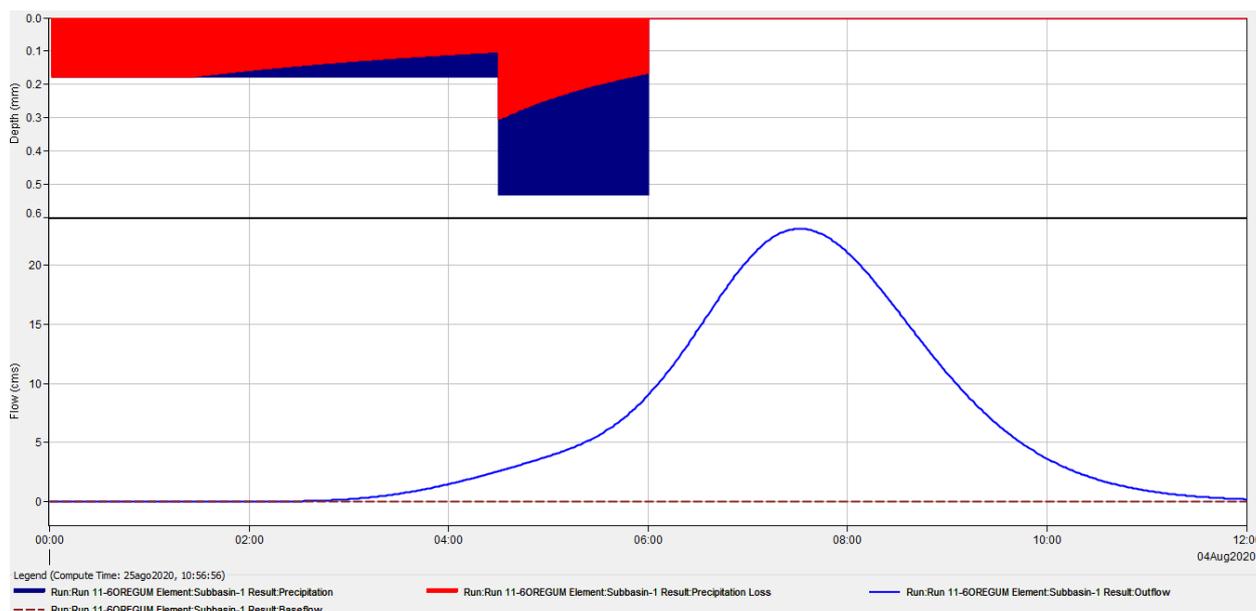


Figura 7.17: Idrogramma Gumbel di progetto Tr50 anni.

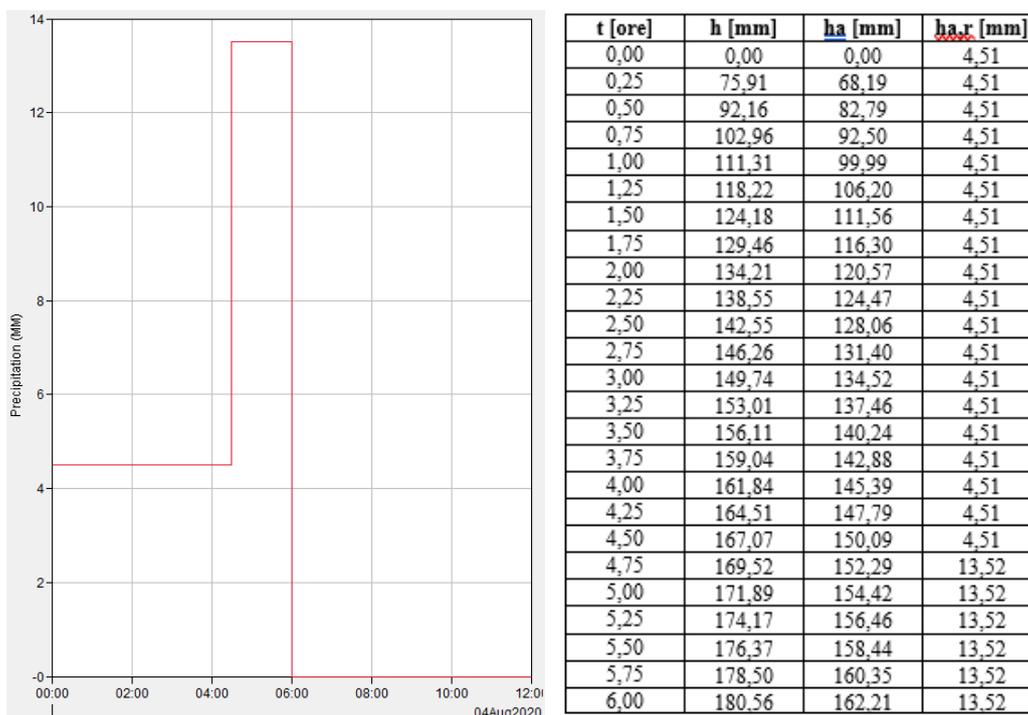
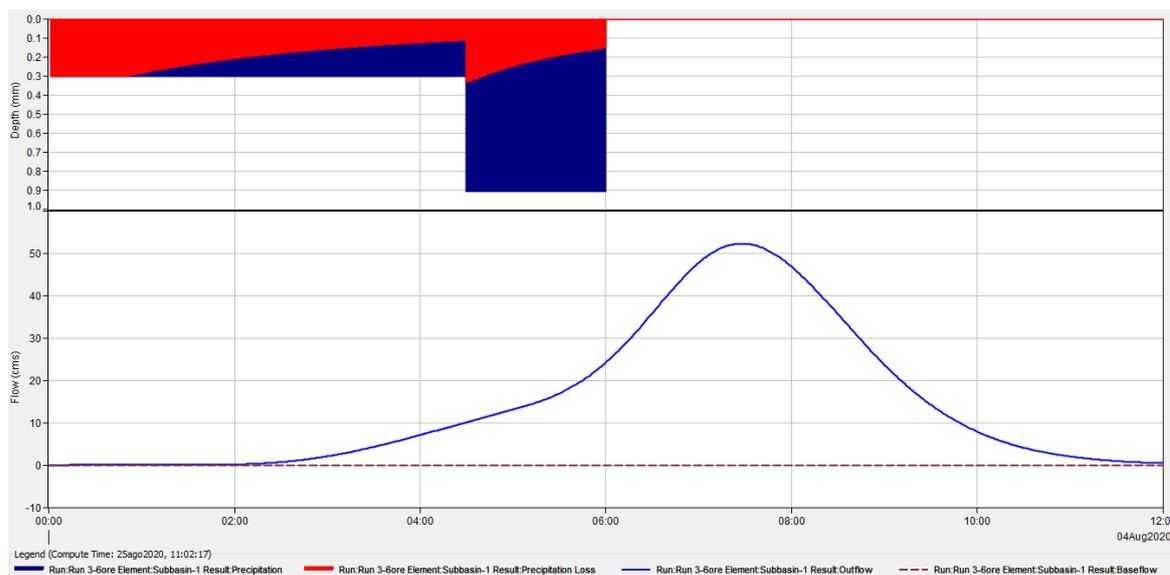
IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	79 di 102

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Calvenza	7.24	23.1	7:31

Tabella 26: Picco di portata Gumbek Tr 50 anni.

Per il tempo di ritorno 200 anni lo ietogramma che origina l'onda di piena di picco è quello corrispondente all'evento di 6 ore (GEV e Gumbel).


Figura 7.18: Ietogramma GEV di progetto Tr200 anni.

Figura 7.19: Idrogramma GEV di progetto Tr200 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	80 di 102

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Calvenza	7.24	52.2	7:28

Tabella 27: Picco di portata GEV Tr 200 anni.

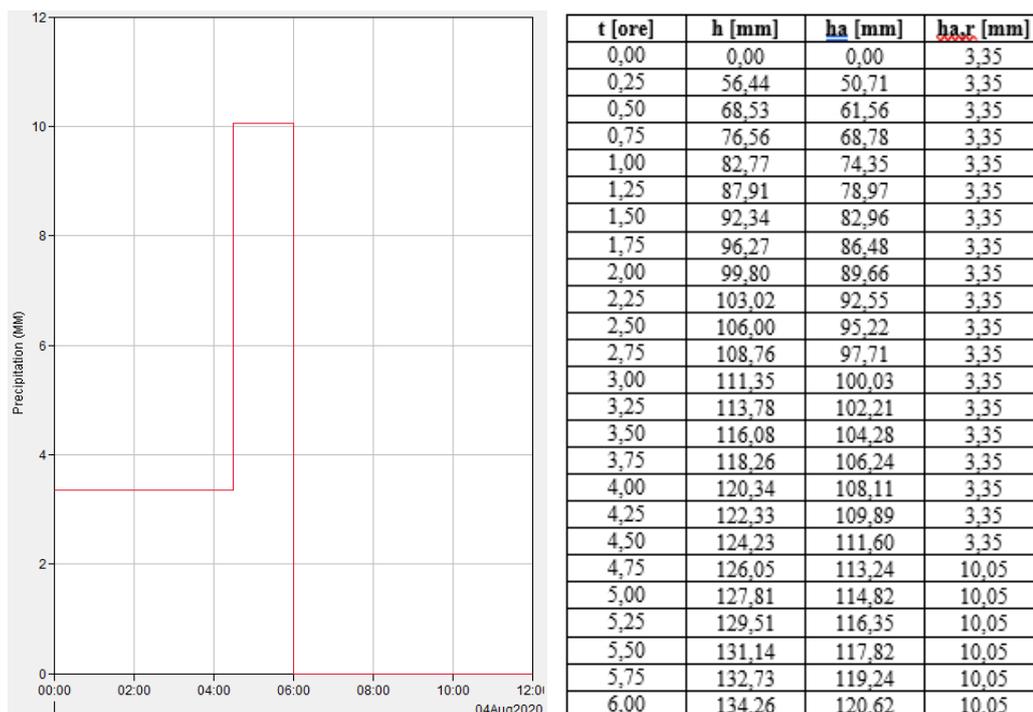


Figura 7.20: Ietogramma Gumbel di progetto Tr200 anni.

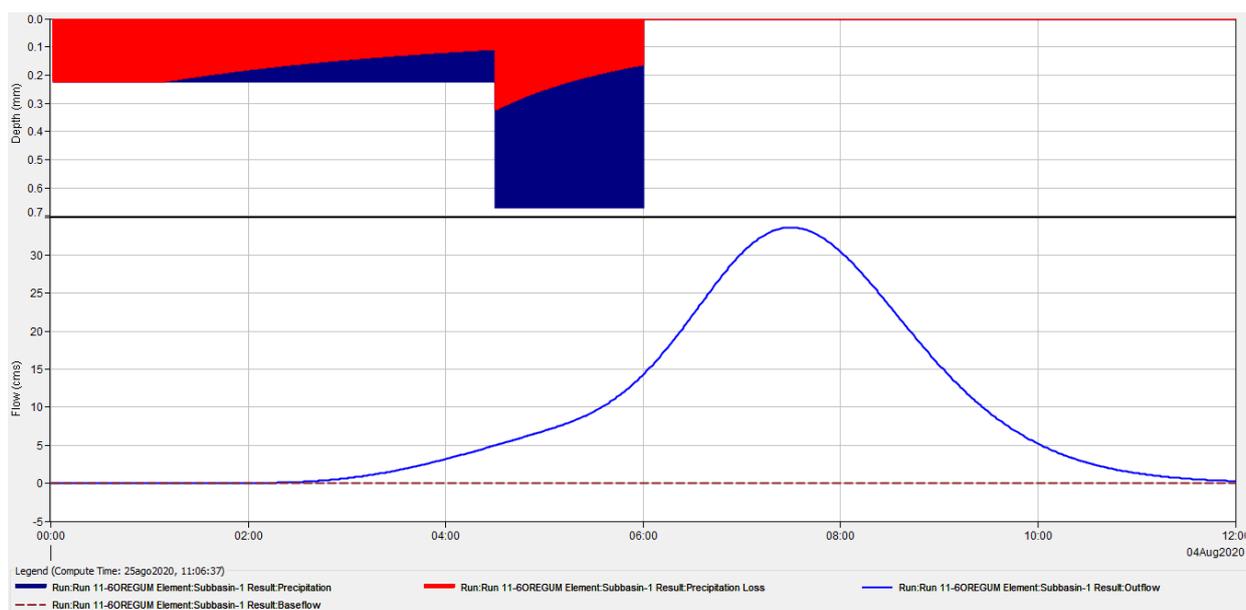


Figura 7.21: Idrogramma Gumbel di progetto Tr200 anni.

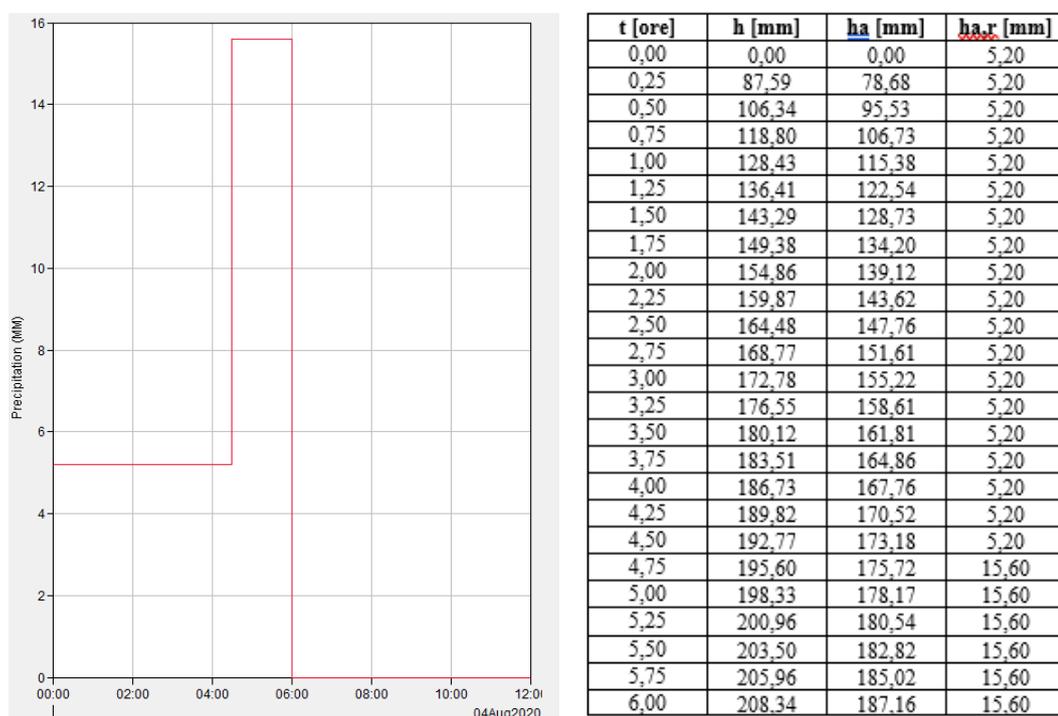
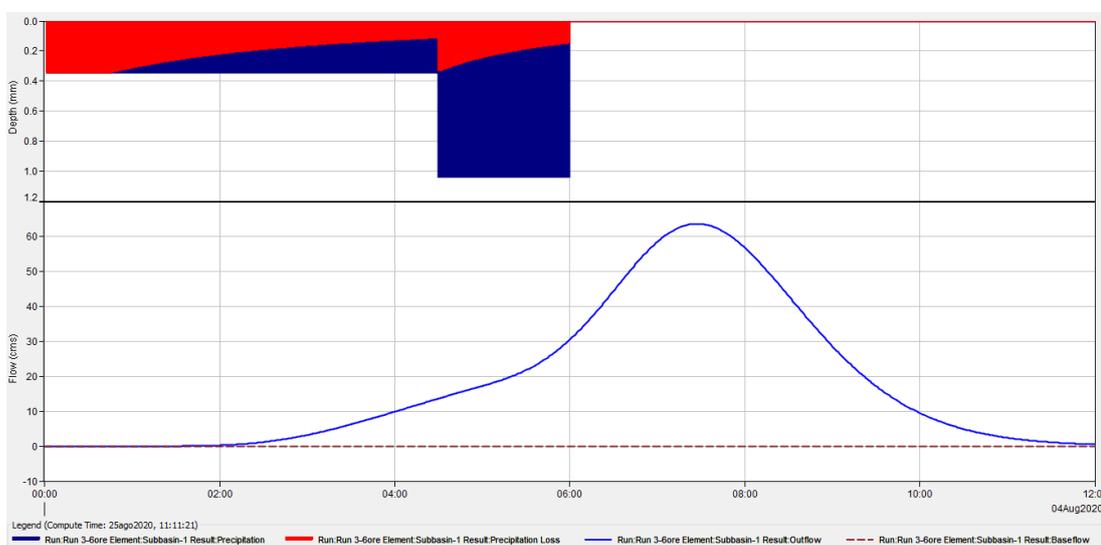
IDROLOGIA E IDRAULICA
**Relazione idrologica bacini maggiori -
 T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	81 di 102

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Calvenza	7.24	33.7	7:30

Tabella 28: Picco di portata Gumbel Tr 200 anni.

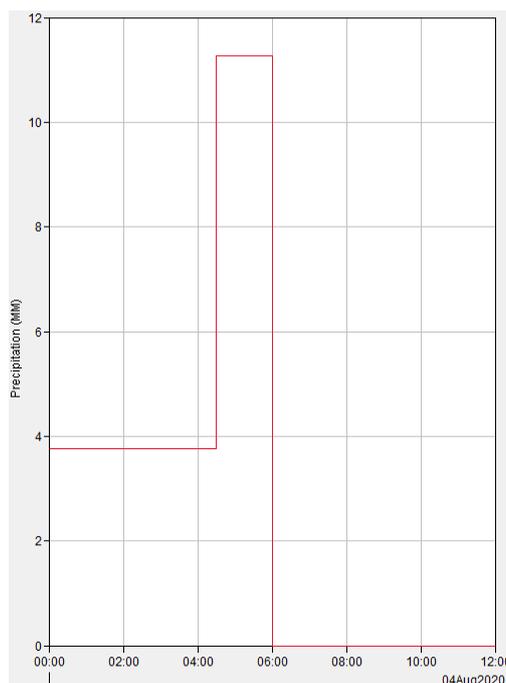
Per il tempo di ritorno 500 anni lo ietogramma che origina l'onda di piena di picco è quello corrispondente all'evento di 6 ore (GEV e Gumbel).


Figura 7.22: Ietogramma GEV di progetto Tr500 anni.

Figura 7.23: Idrogramma GEV di progetto Tr500 anni.

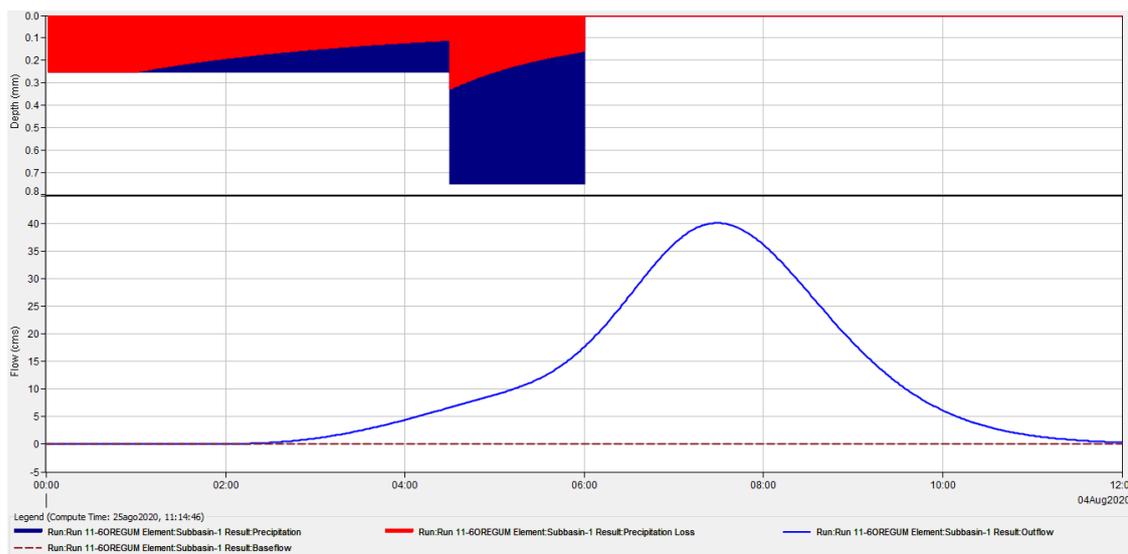
IDROLOGIA E IDRAULICA
**Relazione idrologica bacini maggiori -
 T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	82 di 102

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Calvenza	7.24	63.7	7:27

Tabella 29: Picco di portata GEV Tr 500 anni.


t [ore]	h [mm]	ha [mm]	ha,r [mm]
0,00	0,00	0,00	3,75
0,25	63,26	56,83	3,75
0,50	76,80	68,99	3,75
0,75	85,80	77,08	3,75
1,00	92,76	83,33	3,75
1,25	98,52	88,50	3,75
1,50	103,49	92,97	3,75
1,75	107,88	96,92	3,75
2,00	111,84	100,48	3,75
2,25	115,46	103,72	3,75
2,50	118,79	106,72	3,75
2,75	121,89	109,50	3,75
3,00	124,78	112,10	3,75
3,25	127,51	114,55	3,75
3,50	130,09	116,87	3,75
3,75	132,53	119,06	3,75
4,00	134,86	121,16	3,75
4,25	137,09	123,16	3,75
4,50	139,22	125,07	3,75
4,75	141,27	126,91	11,26
5,00	143,24	128,68	11,26
5,25	145,14	130,39	11,26
5,50	146,97	132,03	11,26
5,75	148,75	133,63	11,26
6,00	150,47	135,17	11,26

Figura 7.24: Ietogramma Gumbel di progetto Tr500 anni.

Figura 7.25: Idrogramma Gumbel di progetto Tr500 anni.

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Calvenza	7.24	40.1	7:29

Tabella 30: Picco di portata Gumbel Tr 500 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	83 di 102

7.3 IDROGRAMMI DI PROGETTO TORRENTE CURONE

Per il tempo di ritorno 50 anni lo ietogramma che origina l'onda di piena di picco è quello corrispondente all'evento di 12 ore (GEV e Gumbel).

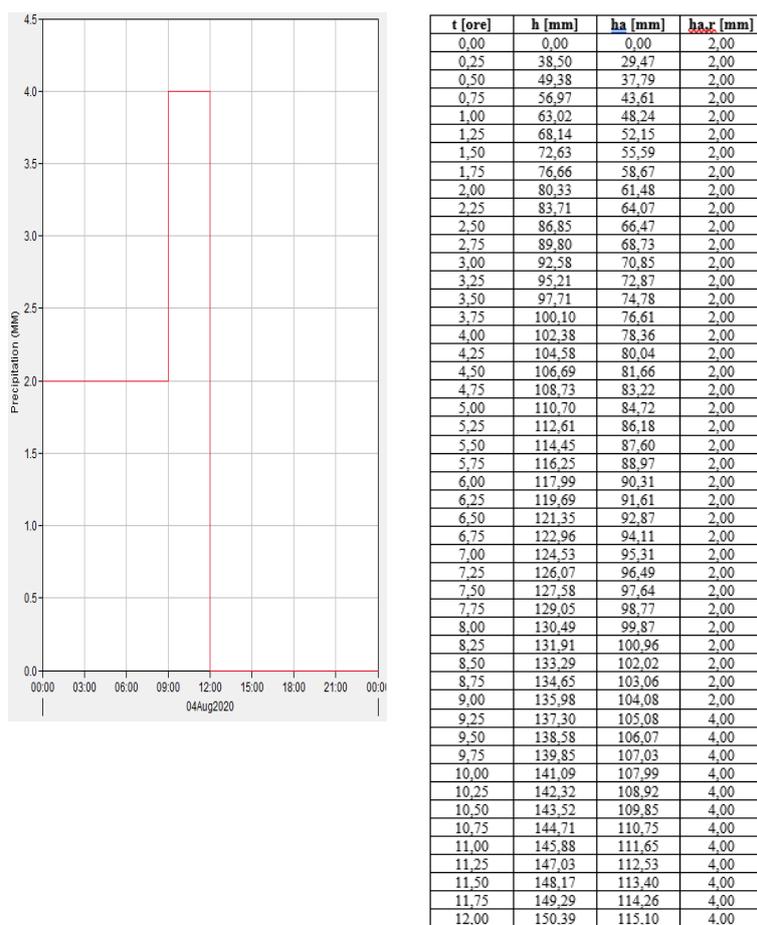


Figura 7.26: Ietogramma GEV di progetto Tr50 anni.

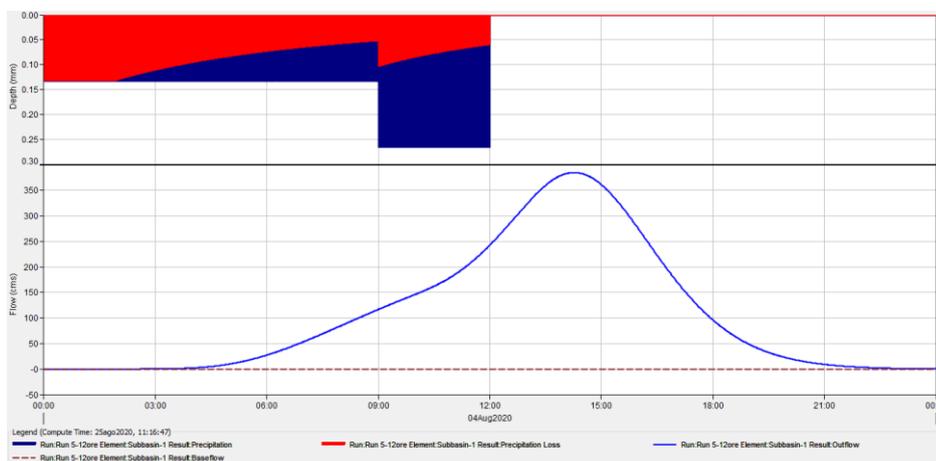


Figura 7.27: Idrogramma GEV di progetto Tr50 anni.

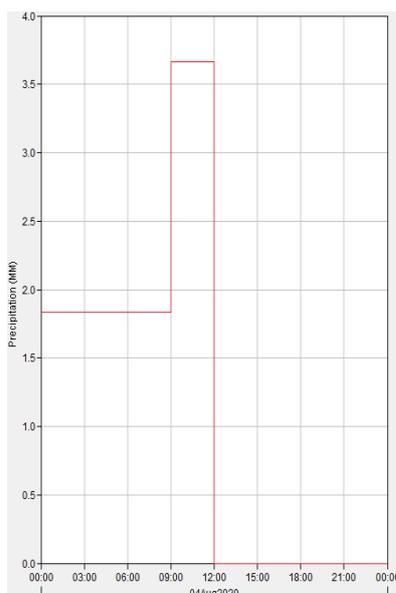
IDROLOGIA E IDRAULICA

**Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	84 di 102

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Curone	165.67	384.8	14:16

Tabella 31: Picco di portata GEV Tr 50 anni.



t [ore]	h [mm]	ha [mm]	ha.r [mm]
0,00	0,00	0,00	1,83
0,25	35,30	27,01	1,83
0,50	45,26	34,64	1,83
0,75	52,23	39,97	1,83
1,00	57,77	44,22	1,83
1,25	62,46	47,81	1,83
1,50	66,58	50,96	1,83
1,75	70,27	53,78	1,83
2,00	73,63	56,36	1,83
2,25	76,73	58,73	1,83
2,50	79,62	60,93	1,83
2,75	82,32	63,00	1,83
3,00	84,86	64,95	1,83
3,25	87,27	66,79	1,83
3,50	89,57	68,55	1,83
3,75	91,75	70,23	1,83
4,00	93,85	71,83	1,83
4,25	95,86	73,37	1,83
4,50	97,80	74,85	1,83
4,75	99,67	76,28	1,83
5,00	101,47	77,66	1,83
5,25	103,22	79,00	1,83
5,50	104,92	80,30	1,83
5,75	106,56	81,56	1,83
6,00	108,16	82,78	1,83
6,25	109,72	83,97	1,83
6,50	111,23	85,13	1,83
6,75	112,71	86,27	1,83
7,00	114,16	87,37	1,83
7,25	115,57	88,45	1,83
7,50	116,95	89,51	1,83
7,75	118,30	90,54	1,83
8,00	119,62	91,55	1,83
8,25	120,91	92,54	1,83
8,50	122,18	93,51	1,83
8,75	123,43	94,47	1,83
9,00	124,65	95,40	1,83
9,25	125,85	96,32	3,66
9,50	127,03	97,23	3,66
9,75	128,19	98,11	3,66
10,00	129,34	98,99	3,66
10,25	130,46	99,85	3,66
10,50	131,56	100,69	3,66
10,75	132,65	101,53	3,66
11,00	133,72	102,35	3,66
11,25	134,78	103,15	3,66
11,50	135,82	103,95	3,66
11,75	136,85	104,74	3,66
12,00	137,86	105,51	3,66

Figura 7.28: Ietogramma Gumbel di progetto Tr50 anni.

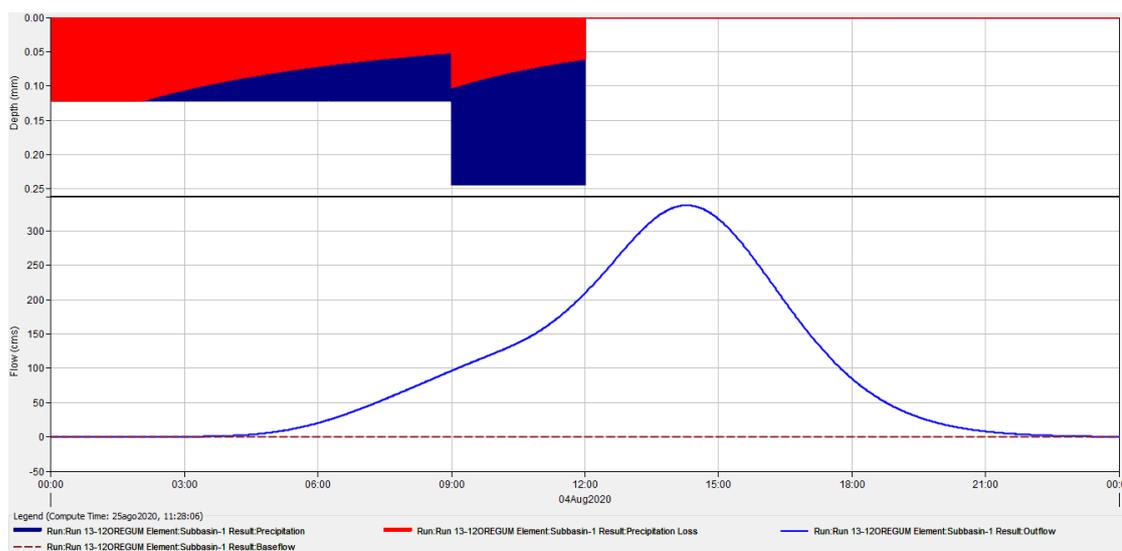


Figura 7.29: Idrogramma Gumbel di progetto Tr50 anni.

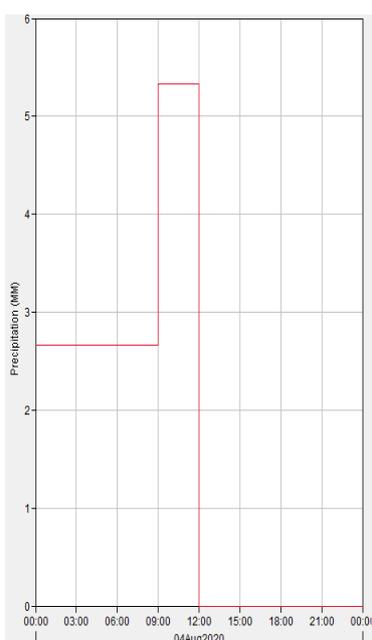
Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Curone	165.67	337.3	14:17

Tabella 32: Picco di portata Gumbel Tr 50 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	85 di 102

Per il tempo di ritorno 200 anni lo ietogramma che origina l'onda di piena di picco è quello corrispondente all'evento di 12 ore (GEV e Gumbel).



t [ore]	h [mm]	ha [mm]	ha_r [mm]
0,00	0,00	0,00	2,66
0,25	51,34	39,29	2,66
0,50	65,84	50,39	2,66
0,75	75,97	58,14	2,66
1,00	84,03	64,31	2,66
1,25	90,86	69,54	2,66
1,50	96,84	74,12	2,66
1,75	102,21	78,23	2,66
2,00	107,10	81,97	2,66
2,25	111,61	85,42	2,66
2,50	115,80	88,63	2,66
2,75	119,73	91,64	2,66
3,00	123,43	94,47	2,66
3,25	126,94	97,16	2,66
3,50	130,28	99,71	2,66
3,75	133,46	102,15	2,66
4,00	136,51	104,48	2,66
4,25	139,44	106,72	2,66
4,50	142,26	108,88	2,66
4,75	144,97	110,96	2,66
5,00	147,60	112,97	2,66
5,25	150,14	114,91	2,66
5,50	152,61	116,80	2,66
5,75	155,00	118,63	2,66
6,00	157,32	120,41	2,66
6,25	159,59	122,14	2,66
6,50	161,79	123,83	2,66
6,75	163,95	125,48	2,66
7,00	166,05	127,08	2,66
7,25	168,10	128,65	2,66
7,50	170,10	130,19	2,66
7,75	172,07	131,69	2,66
8,00	173,99	133,16	2,66
8,25	175,87	134,61	2,66
8,50	177,72	136,02	2,66
8,75	179,53	137,41	2,66
9,00	181,31	138,77	2,66
9,25	183,06	140,11	5,33
9,50	184,78	141,42	5,33
9,75	186,46	142,71	5,33
10,00	188,12	143,98	5,33
10,25	189,76	145,23	5,33
10,50	191,36	146,46	5,33
10,75	192,95	147,67	5,33
11,00	194,51	148,87	5,33
11,25	196,04	150,04	5,33
11,50	197,56	151,20	5,33
11,75	199,05	152,34	5,33
12,00	200,52	153,47	5,33

Figura 7.30: Ietogramma GEV di progetto Tr200 anni.

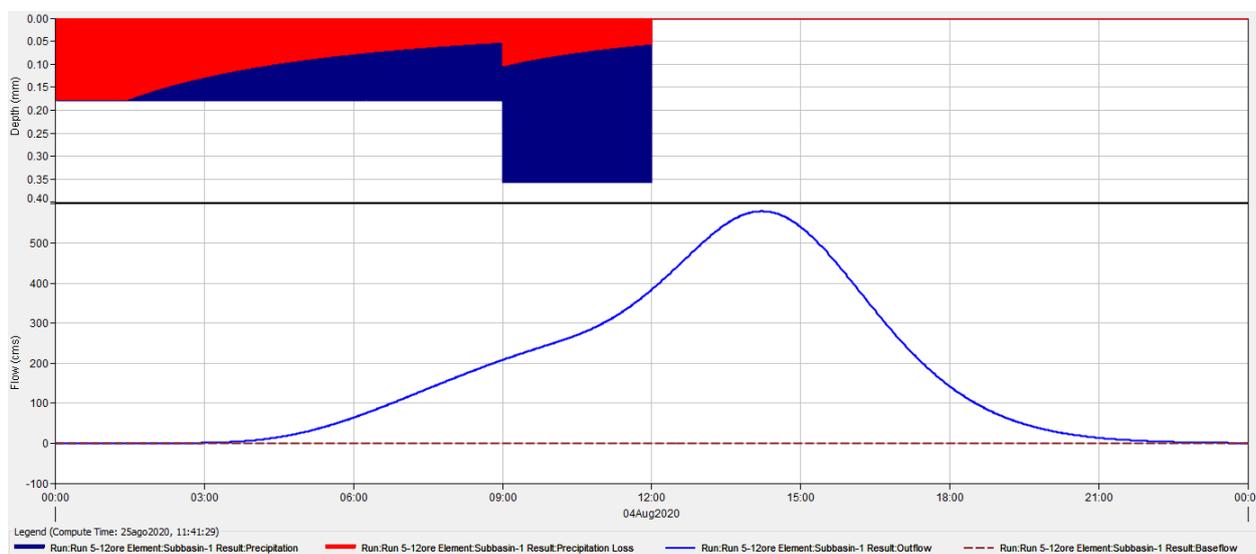


Figura 7.31: Idrogramma GEV di progetto Tr200 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA

**Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	86 di 102

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Curone	165.67	579.9	14:13

Tabella 33: Picco di portata GEV Tr 200 anni.

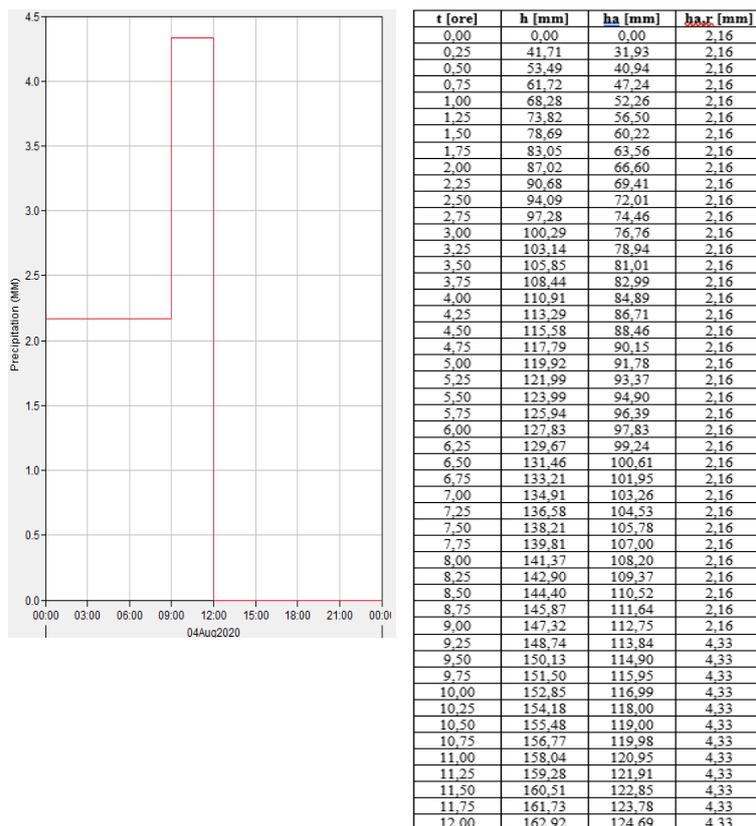


Figura 7.32: Ietogramma Gumbel di progetto Tr200 anni.

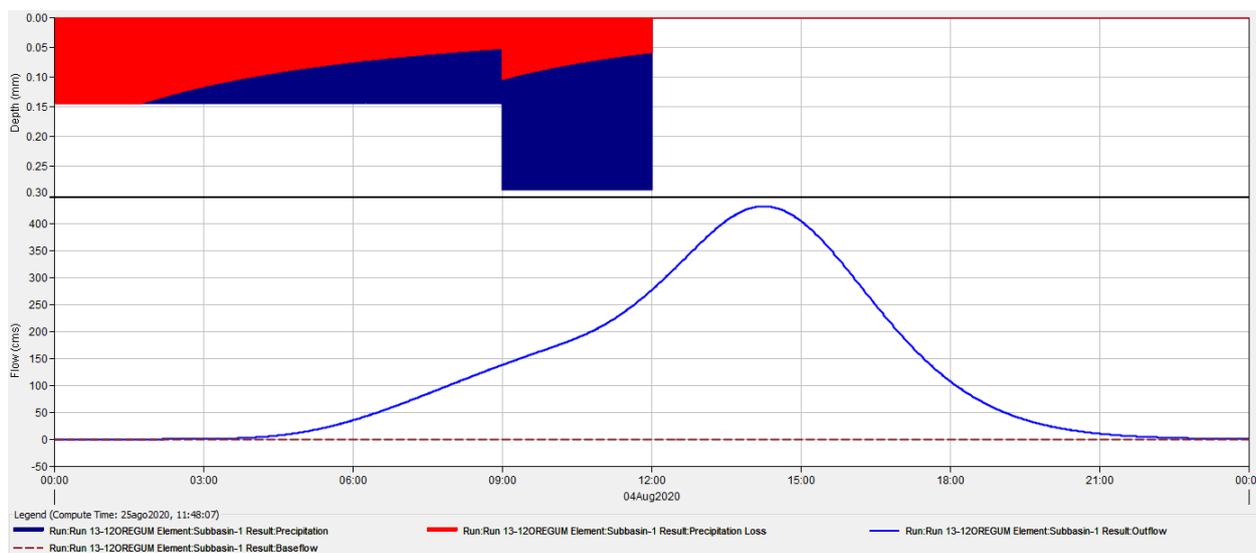


Figura 7.33: Idrogramma Gumbel di progetto Tr200 anni.

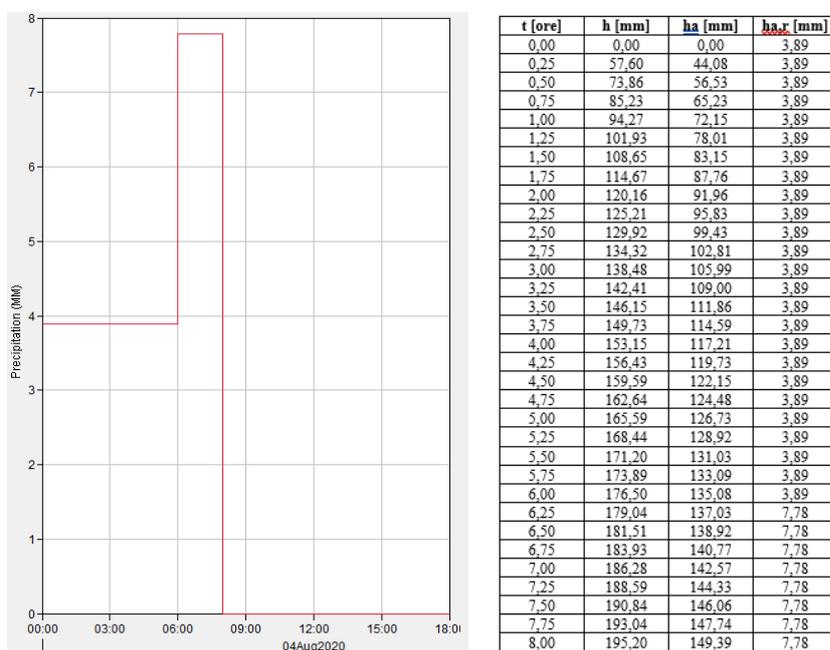
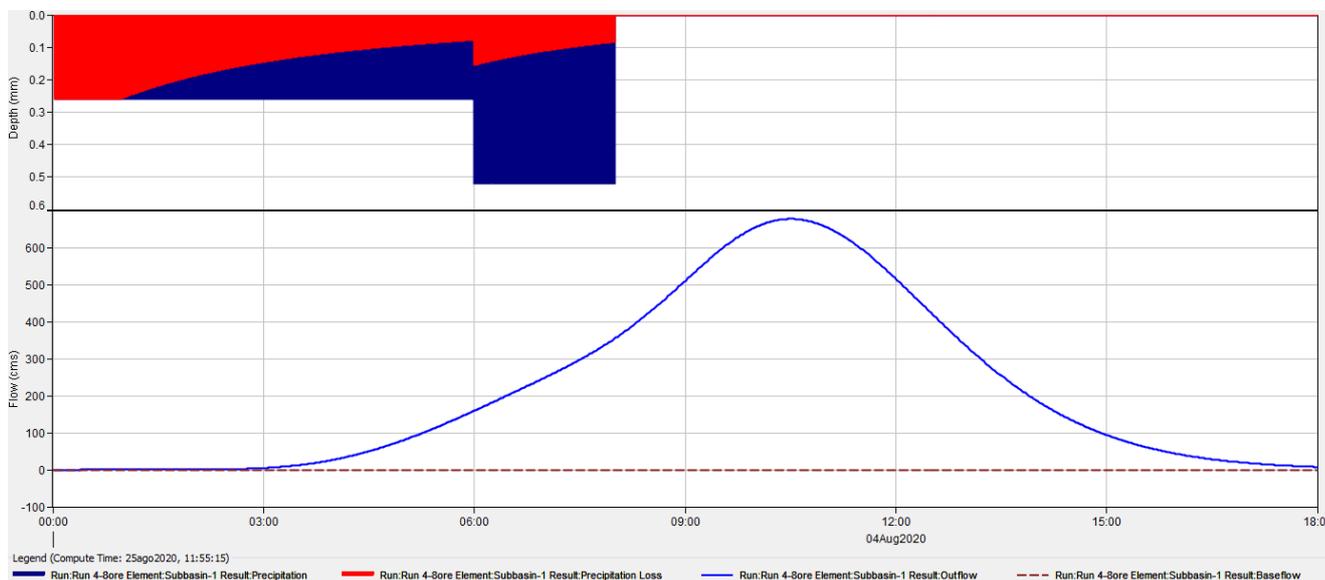
IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	87 di 102

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Curone	165.67	433.0	14:15

Tabella 34: Picco di portata Gumbel Tr 200 anni.

Per il tempo di ritorno 500 anni lo ietogramma che origina l'onda di piena di picco è quello corrispondente all'evento di 8 ore (GEV) e 12 ore (Gumbel).


Figura 7.34: Ietogramma GEV di progetto Tr500 anni.

Figura 7.35: Idrogramma GEV di progetto Tr500 anni.

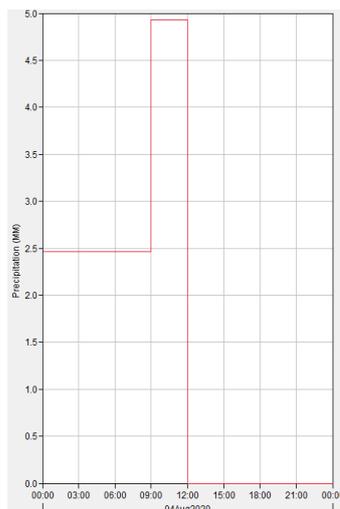
IDROLOGIA E IDRAULICA

**Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	88 di 102

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Curone	165.67	677.1	10:30

Tabella 35: Picco di portata GEV Tr 500 anni.



t [ore]	h [mm]	ha [mm]	ha,r [mm]
0	0,00	0,00	2,46
0,25	47,49	36,35	2,46
0,5	60,90	46,61	2,46
0,75	70,27	53,78	2,46
1	77,73	59,49	2,46
1,25	84,04	64,32	2,46
1,5	89,58	68,56	2,46
1,75	94,55	72,36	2,46
2	99,07	75,82	2,46
2,25	103,24	79,02	2,46
2,5	107,12	81,98	2,46
2,75	110,75	84,76	2,46
3	114,18	87,39	2,46
3,25	117,42	89,87	2,46
3,5	120,51	92,23	2,46
3,75	123,45	94,48	2,46
4	126,27	96,64	2,46
4,25	128,98	98,72	2,46
4,5	131,59	100,71	2,46
4,75	134,10	102,63	2,46
5	136,53	104,49	2,46
5,25	138,88	106,29	2,46
5,5	141,16	108,04	2,46
5,75	143,37	109,73	2,46
6	145,53	111,38	2,46
6,25	147,62	112,98	2,46
6,5	149,66	114,54	2,46
6,75	151,65	116,07	2,46
7	153,59	117,55	2,46
7,25	155,49	119,01	2,46
7,5	157,35	120,43	2,46
7,75	159,16	121,82	2,46
8	160,94	123,18	2,46
8,25	162,68	124,51	2,46
8,5	164,39	125,82	2,46
8,75	166,07	127,10	2,46
9	167,71	128,36	2,46
9,25	169,33	129,60	4,93
9,5	170,92	130,81	4,93
9,75	172,48	132,01	4,93
10	174,01	133,18	4,93
10,25	175,53	134,34	4,93
10,5	177,01	135,48	4,93
10,75	178,48	136,60	4,93
11	179,92	137,70	4,93
11,25	181,34	138,79	4,93
11,5	182,74	139,86	4,93
11,75	184,12	140,92	4,93
12	185,48	141,96	4,93

Figura 7.36: Ietogramma Gumbel di progetto Tr500 anni.

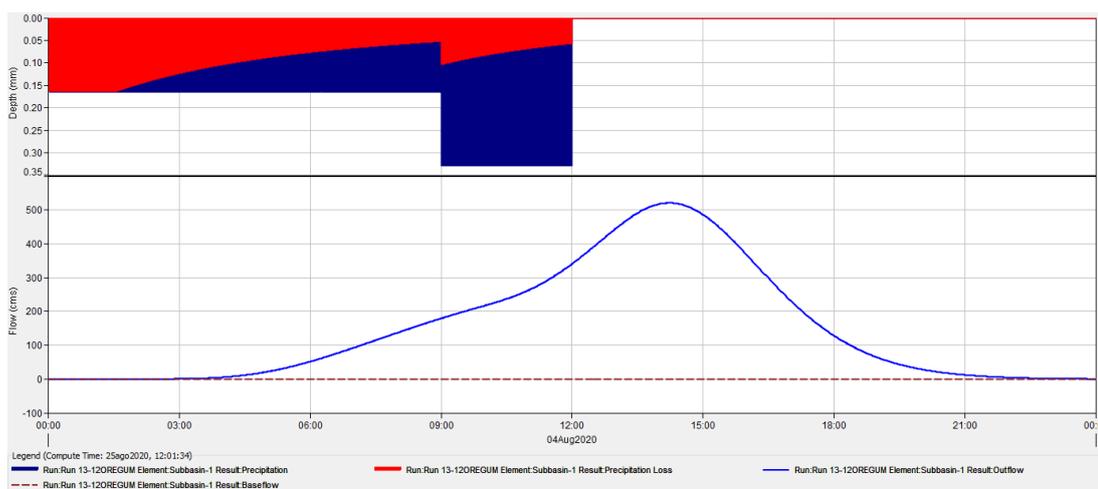


Figura 7.37: Idrogramma Gumbel di progetto Tr500 anni.

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Curone	165.67	520.8	14:14

Tabella 36: Picco di portata Gumbel Tr 500 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	89 di 102

7.4 IDROGRAMMI DI PROGETTO TORRENTE LIMBIONE

Per il tempo di ritorno 50 anni lo ietogramma che origina l'onda di piena di picco è quello corrispondente all'evento di 8 ore (GEV) e 12 ore (Gumbel).

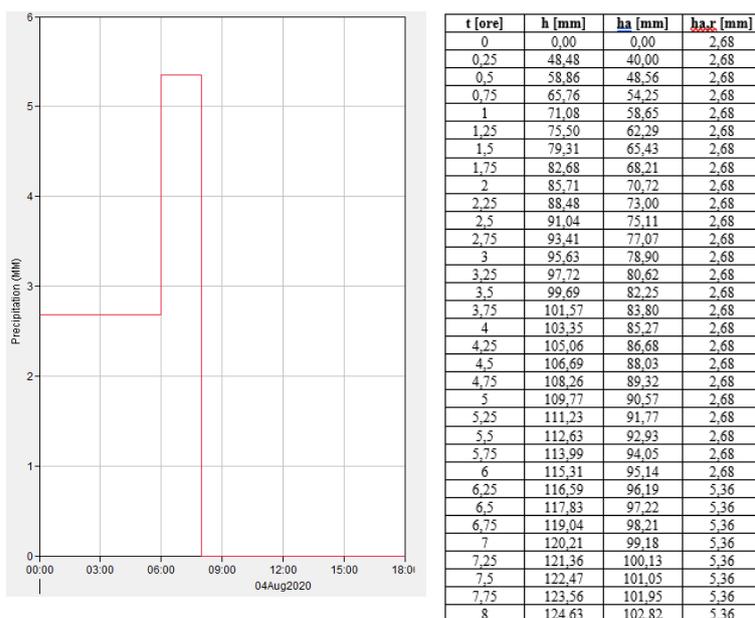


Figura 7.38: Ietogramma GEV di progetto Tr50 anni.

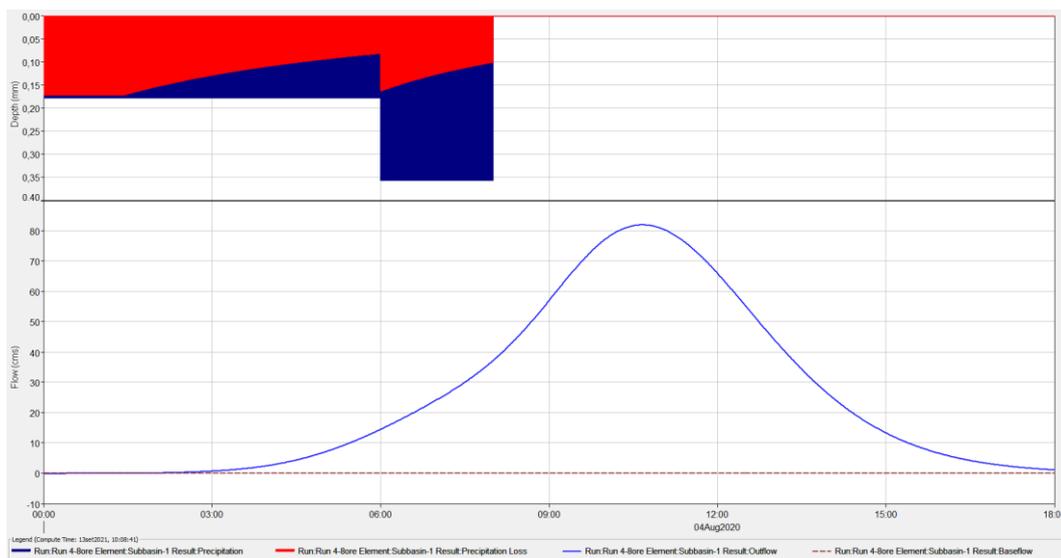


Figura 7.39: Idrogramma GEV di progetto Tr50 anni.

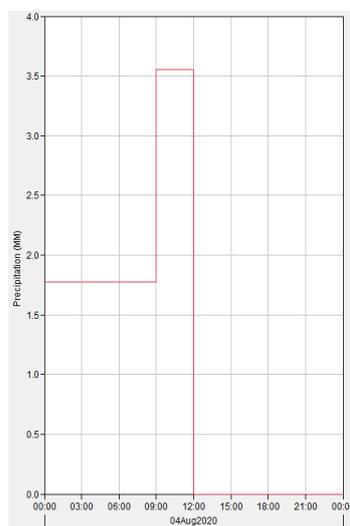
Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Limbione	37.40	82.1	10:40

Tabella 37: Picco di portata GEV Tr 50 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA

**Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	90 di 102



t [ore]	h [mm]	ha [mm]	ha,r [mm]
0,00	0,00	0,00	1,78
0,25	42,88	35,71	1,78
0,50	52,06	43,36	1,78
0,75	58,17	48,44	1,78
1,00	62,88	52,37	1,78
1,25	66,79	55,62	1,78
1,50	70,16	58,43	1,78
1,75	73,14	60,91	1,78
2,00	75,82	63,14	1,78
2,25	78,27	65,19	1,78
2,50	80,53	67,07	1,78
2,75	82,63	68,81	1,78
3,00	84,60	70,45	1,78
3,25	86,44	71,99	1,78
3,50	88,19	73,44	1,78
3,75	89,85	74,83	1,78
4,00	91,43	76,14	1,78
4,25	92,94	77,40	1,78
4,50	94,38	78,60	1,78
4,75	95,77	79,76	1,78
5,00	97,11	80,87	1,78
5,25	98,39	81,94	1,78
5,50	99,64	82,98	1,78
5,75	100,84	83,98	1,78
6,00	102,01	84,95	1,78
6,25	103,14	85,89	1,78
6,50	104,23	86,81	1,78
6,75	105,30	87,69	1,78
7,00	106,34	88,56	1,78
7,25	107,35	89,40	1,78
7,50	108,34	90,22	1,78
7,75	109,30	91,03	1,78
8,00	110,25	91,81	1,78
8,25	111,17	92,58	1,78
8,50	112,06	93,33	1,78
8,75	112,95	94,06	1,78
9,00	113,81	94,78	1,78
9,25	114,65	95,48	3,56
9,50	115,48	96,17	3,56
9,75	116,29	96,85	3,56
10,00	117,09	97,51	3,56
10,25	117,88	98,16	3,56
10,50	118,64	98,81	3,56
10,75	119,40	99,43	3,56
11,00	120,14	100,05	3,56
11,25	120,88	100,66	3,56
11,50	121,59	101,26	3,56
11,75	122,30	101,85	3,56
12,00	123,00	102,43	3,56

Figura 7.40: Ietogramma Gumbel di progetto Tr50 anni.

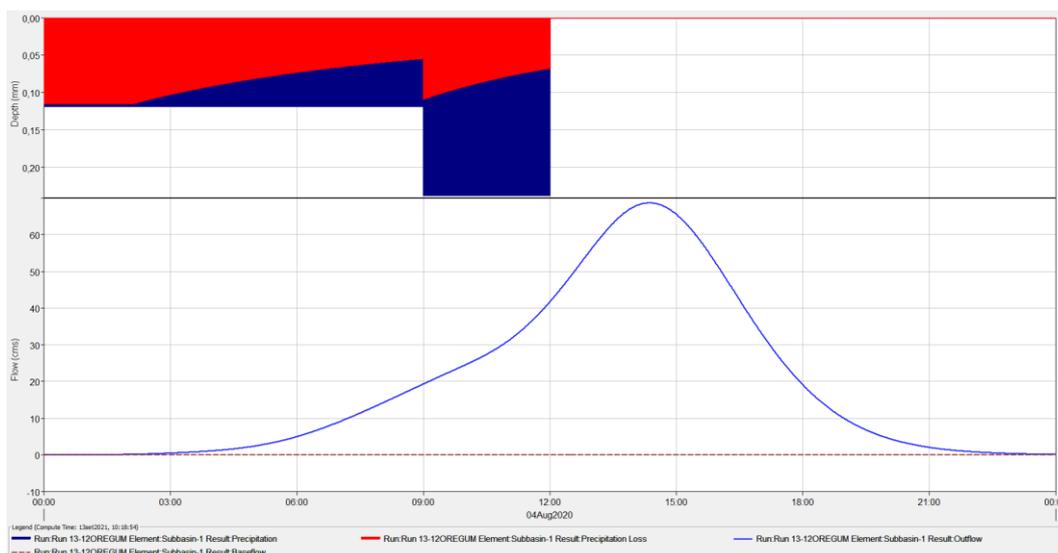


Figura 7.41: Idrogramma Gumbel di progetto Tr50 anni.

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Limbione	37.40	68.7	14:22

Tabella 38: Picco di portata Gumbel Tr 50 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	91 di 102

Per il tempo di ritorno 200 anni lo ietogramma che origina l'onda di piena di picco è quello corrispondente all'evento di 8 ore (GEV e Gumbel).

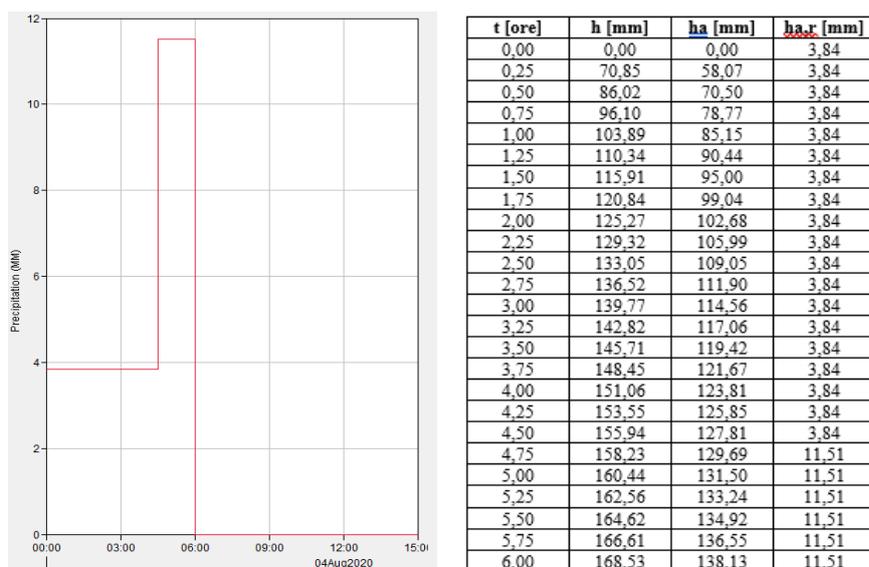


Figura 7.42: Ietogramma GEV di progetto Tr200 anni.

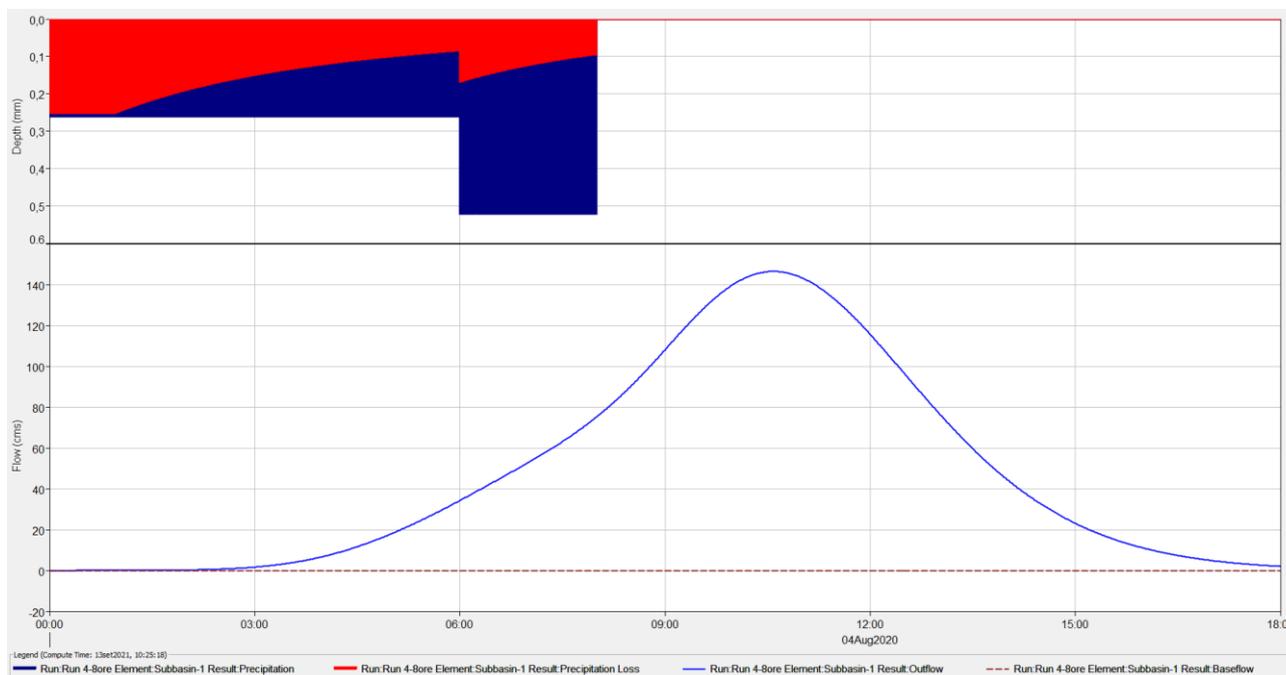


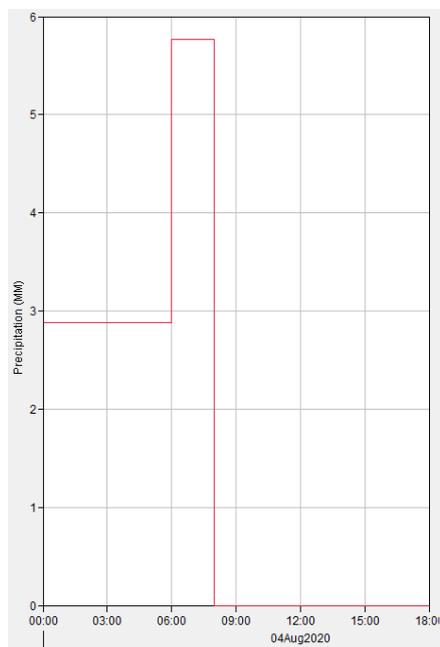
Figura 7.43: Idrogramma GEV di progetto Tr200 anni.

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Limbione	37.40	146.4	10:35

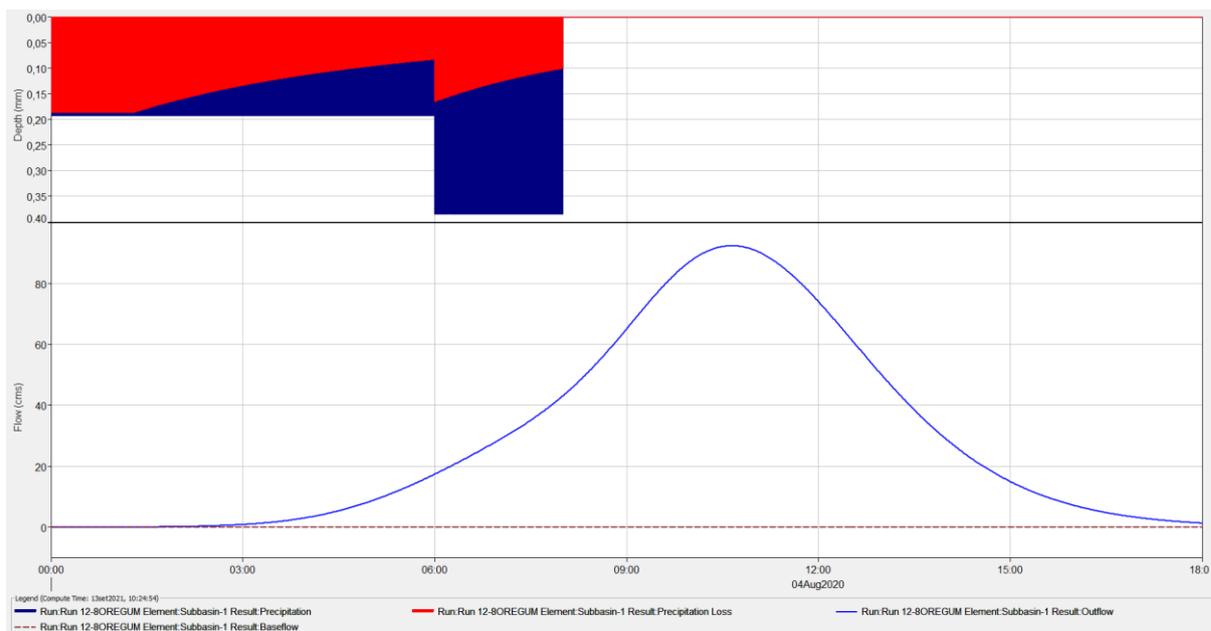
Tabella 39: Picco di portata GEV Tr 200 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	92 di 102



t [ore]	h [mm]	ha [mm]	ha_r [mm]
0,00	0,00	0,00	2,88
0,25	52,21	43,07	2,88
0,50	63,38	52,29	2,88
0,75	70,81	58,43	2,88
1,00	76,55	63,16	2,88
1,25	81,31	67,08	2,88
1,50	85,41	70,47	2,88
1,75	89,04	73,46	2,88
2,00	92,31	76,16	2,88
2,25	95,29	78,62	2,88
2,50	98,04	80,89	2,88
2,75	100,59	83,00	2,88
3,00	102,99	84,97	2,88
3,25	105,24	86,83	2,88
3,50	107,36	88,58	2,88
3,75	109,38	90,25	2,88
4,00	111,30	91,83	2,88
4,25	113,14	93,35	2,88
4,50	114,90	94,80	2,88
4,75	116,59	96,19	2,88
5,00	118,22	97,54	2,88
5,25	119,78	98,83	2,88
5,50	121,30	100,08	2,88
5,75	122,76	101,29	2,88
6,00	124,18	102,46	2,88
6,25	125,56	103,59	5,77
6,50	126,89	104,69	5,77
6,75	128,19	105,77	5,77
7,00	129,46	106,81	5,77
7,25	130,69	107,83	5,77
7,50	131,89	108,82	5,77
7,75	133,07	109,79	5,77
8,00	134,21	110,73	5,77

Figura 7.44: Ietogramma Gumbel di progetto Tr200 anni.

Figura 7.45: Idrogramma Gumbel di progetto Tr200 anni.

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Limbione	37.40	92.40	10:39

Tabella 40: Picco di portata Gumbel Tr 200 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	93 di 102

Per il tempo di ritorno 500 anni lo ietogramma che origina l'onda di piena di picco è quello corrispondente all'evento di 8 ore (GEV e Gumbel).

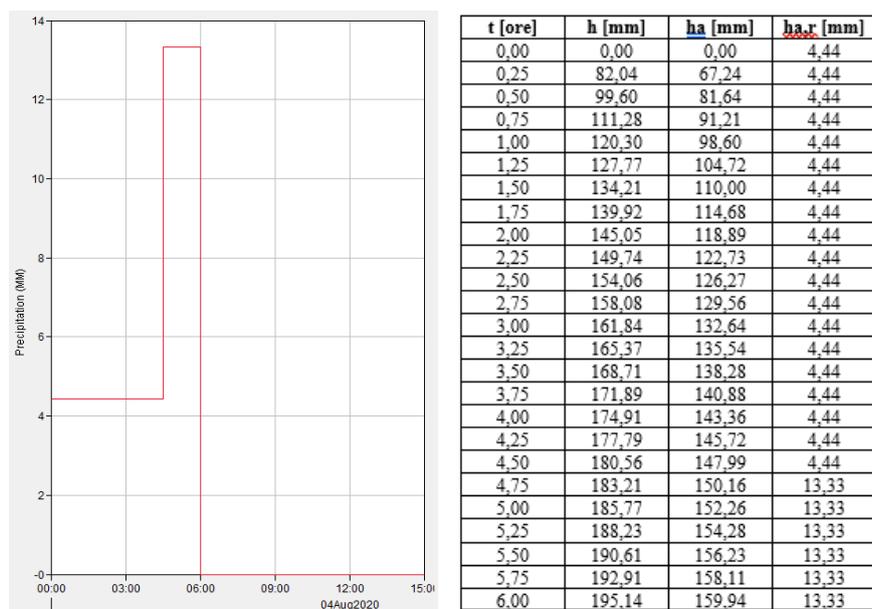


Figura 7.46: Ietogramma GEV di progetto Tr500 anni.

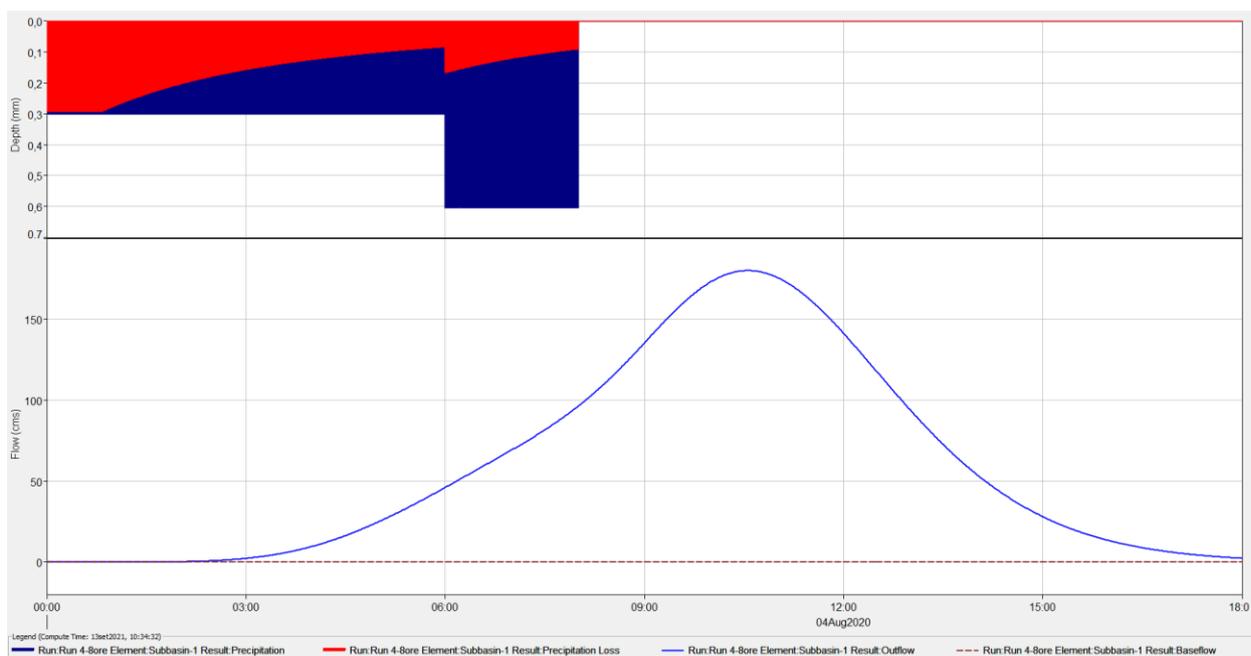


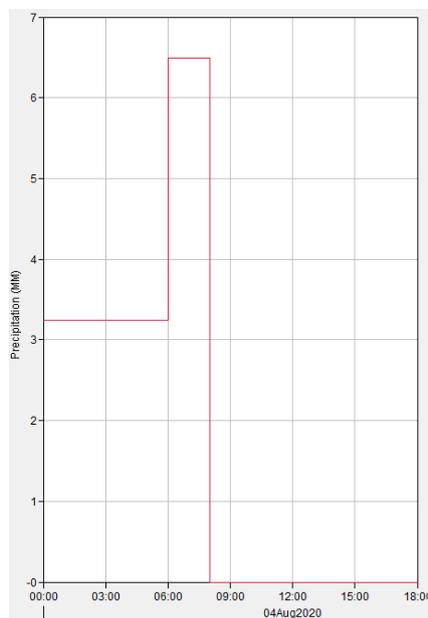
Figura 7.47: Idrogramma GEV di progetto Tr500 anni.

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Limbione	37.40	180.1	10:34

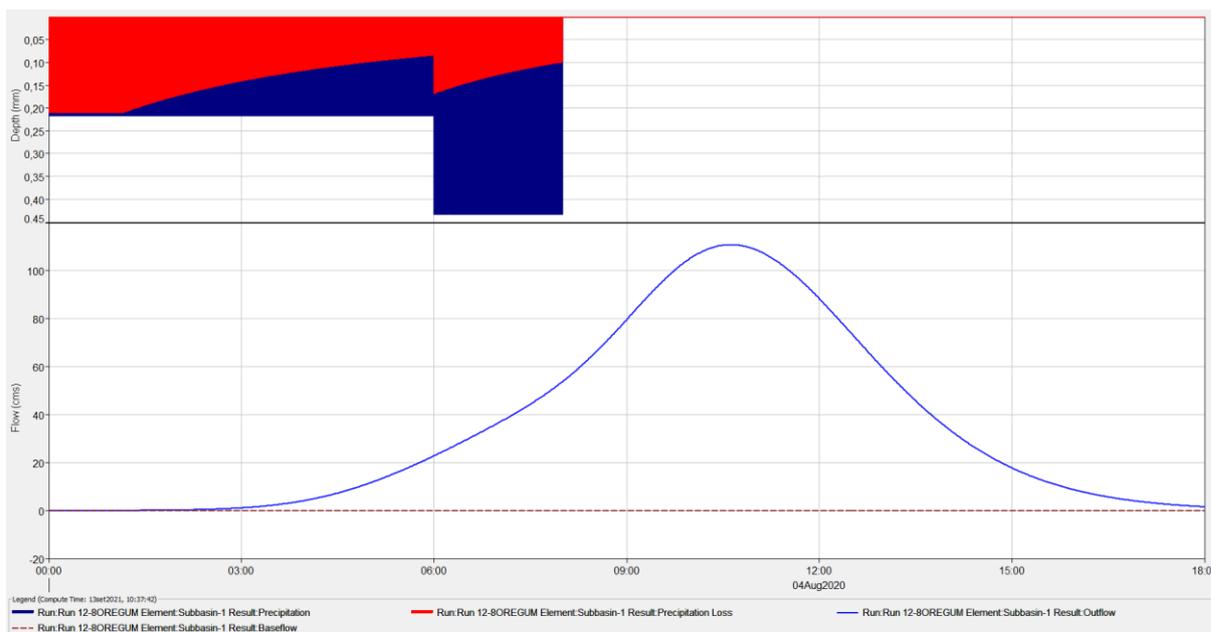
Tabella 41: Picco di portata GEV Tr 500 anni.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	94 di 102



t [ore]	h [mm]	ha [mm]	ha_r [mm]
0,00	0,00	0,00	3,24
0,25	58,73	48,46	3,24
0,50	71,31	58,83	3,24
0,75	79,67	65,73	3,24
1,00	86,12	71,05	3,24
1,25	91,47	75,47	3,24
1,50	96,08	79,28	3,24
1,75	100,17	82,64	3,24
2,00	103,85	85,68	3,24
2,25	107,20	88,45	3,24
2,50	110,29	91,00	3,24
2,75	113,17	93,37	3,24
3,00	115,86	95,59	3,24
3,25	118,39	97,68	3,24
3,50	120,78	99,65	3,24
3,75	123,05	101,53	3,24
4,00	125,22	103,31	3,24
4,25	127,28	105,02	3,24
4,50	129,26	106,65	3,24
4,75	131,16	108,22	3,24
5,00	132,99	109,73	3,24
5,25	134,76	111,18	3,24
5,50	136,46	112,59	3,24
5,75	138,11	113,95	3,24
6,00	139,70	115,26	3,24
6,25	141,25	116,54	6,49
6,50	142,76	117,78	6,49
6,75	144,22	118,99	6,49
7,00	145,64	120,16	6,49
7,25	147,03	121,31	6,49
7,50	148,38	122,42	6,49
7,75	149,70	123,51	6,49
8,00	150,99	124,57	6,49

Figura 7.48: Ietogramma Gumbel di progetto Tr500 anni.

Figura 7.49: Idrogramma Gumbel di progetto Tr500 anni.

Bacino	AREA Km ²	Portata di picco m ³ /s	Ora di picco
Limbione	37.40	110.9	10:37

Tabella 42: Picco di portata Gumbel Tr 500 anni.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

7.5 CONSIDERAZIONI DI SINTESI

Per definire gli idrogrammi di piena da assumere nelle successive modellazioni idrauliche è stata seguita una precisa procedura. Dopo aver perimetrato i bacini idrografici, ne sono stati estratti i parametri morfometrici (rif. capitolo 4) che sono stati utilizzati nella definizione dei dati da inserire nel modello afflussi-deflussi.

Utilizzando le curve di pioggia definite dalla Regione Piemonte nell'ambito del Progetto STRADA, dopo un confronto critico con le curve del PAI dell'Autorità di Bacino del fiume Po, sono stati dedotti gli ietogrammi ragguagliati sia in termini di durata che di superficie per i tempi di ritorno 50, 200 e 500 anni, per ognuno dei sottobacini oggetto di studio.

Essi sono stati ricostruiti sia per le curve con distribuzione GEV – Generalized Extreme Value (rif. capitolo 5.2.1.1) e Gumbel– EV1 (rif. capitolo 5.2.1.2).

Successivamente è stato applicato il metodo CN del Soil Conservation Service e sono stati dedotti i corrispondenti idrogrammi di piena di progetto (rif. Capitolo 7).

Nelle tabelle seguenti si riportano in maniera sintetica i risultati ottenuti per gli ietogrammi ottenuti con distribuzione GEV (Tabella 43) e Gumbel (Tabella 44).

Bacino	GEV					
	Tr 50 anni		Tr 200 anni		Tr 500 anni	
	Q [m ³ /s]	Durata evento – ora picco	Q [m ³ /s]	Durata evento – ora picco	Q [m ³ /s]	Durata evento – ora picco
Torrente Grue	203.6	8 ore - 10:08	351.2	6 ore - 08:25	435.1	6 ore - 08:24
Rio Calvenza	30.1	6 ore - 07:30	52.2	6 ore - 07:28	63.7	6 ore - 07:27
Torrente Curone	384.8	12 ore - 14:16	579.9	12 ore - 14:13	677.1	8 ore - 10:30
Rio Limbione	82.1	8 ore - 10:40	146.4	8 ore - 10:35	180.1	8 ore - 10:34

Tabella 43: Risultati finali – GEV.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

Bacino	GUMBEL					
	Tr 50 anni		Tr 200 anni		Tr 500 anni	
	Q [m ³ /s]	Durata evento – ora picco	Q [m ³ /s]	Durata evento – ora picco	Q [m ³ /s]	Durata evento – ora picco
Torrente Grue	166.1	8 ore - 10:09	242.4	8 ore - 10:07	288.9	8 ore - 10:05
Rio Calvenza	23.1	6 ore - 7:31	33.7	6 ore - 7:30	40.1	6 ore - 7:29
Torrente Curone	337.3	12 ore - 14:17	433.0	12 ore - 14:15	520.8	12 ore - 14:14
Rio Limbione	68.7	12 ore – 14:22	92.4	8 ore - 10:39	110.9	8 ore - 10:37

Tabella 44: Risultati finali – Gumbel.

Con riferimento ai corsi d'acqua Torrente Grue, Torrente Calvenza e Torrente Curone, i risultati ottenuti (in termini di portata al colmo, da LSPP secondo Gumbel) sono confrontabili con quelli ricavabili dagli studi idraulici esistenti disponibili, descritti in precedenza (e.g. *Studio idraulico dell'intero bacino del Torrente Grue*”, sviluppato da Studio ANSELMO Associati, 2016; *Studio geologico del Dott. Repregosi*, 2012; *Monografia Torrente Curone*, Autorità di Bacino del Fiume Po, 2002).

Nello specifico, come mostrato nelle figure seguenti, relativamente al Torrente Grue, le portate al colmo ottenute applicando le curve di possibilità pluviometrica (CPP) secondo la distribuzione di probabilità di Gumbel sono prossime a quelle adottate nello studio condotto dalla Regione Piemonte (in cui sono state applicate le CPP riportate nel P.A.I., derivate da elaborazioni statistiche secondo la medesima distribuzione di probabilità, i.e. Gumbel), tenendo conto anche della minore estensione del bacino (75.4 km²).

Tuttavia, in tal caso risultano più cautelativi i valori di portata al colmo ottenuti applicando le curve di possibilità pluviometrica (CPP) secondo la distribuzione di probabilità GEV (con una differenza del +20-60%).

Medesime osservazioni possono essere avanzate per il Torrente Calvenza. Nello specifico, le portate al colmo ottenute applicando le curve di possibilità pluviometrica (CPP) secondo la distribuzione di probabilità di Gumbel sono prossime a quelle riportate nello studio geologico del Dott. Repregosi (2012), sebbene riferite ad una sezione di chiusura con estensione del bacino maggiore (9 km²).

Tuttavia, anche in questo caso risultano più cautelativi i valori di portata al colmo ottenuti applicando le curve di possibilità pluviometrica (CPP) secondo la distribuzione di probabilità GEV (con una differenza del +30-55%).

IDROLOGIA E IDRAULICA

**Relazione idrologica bacini maggiori -
T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	97 di 102

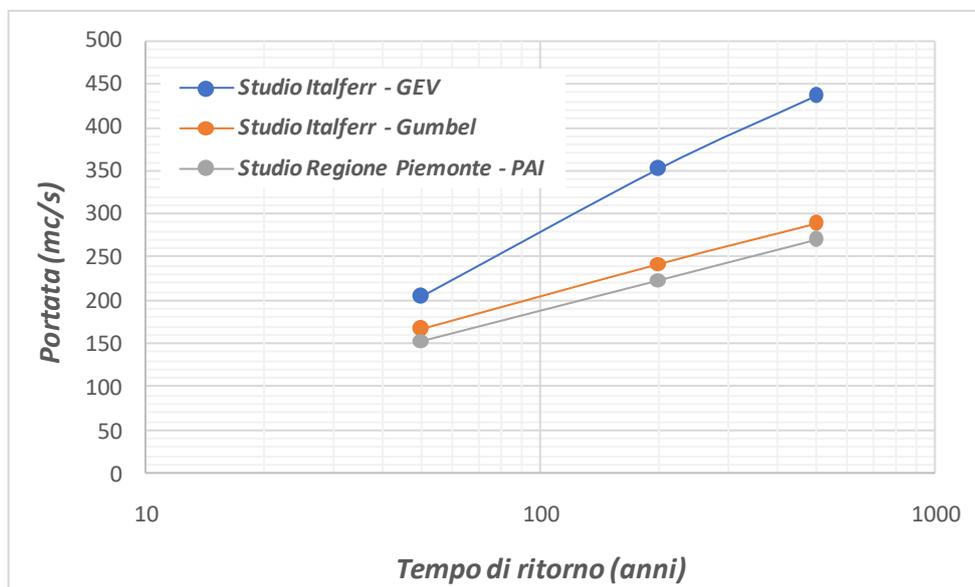


Figura 7.50: Torrente Grue – Confronto tra i valori di portata ottenuti nel presente studio e quelli disponibili in studi precedenti.

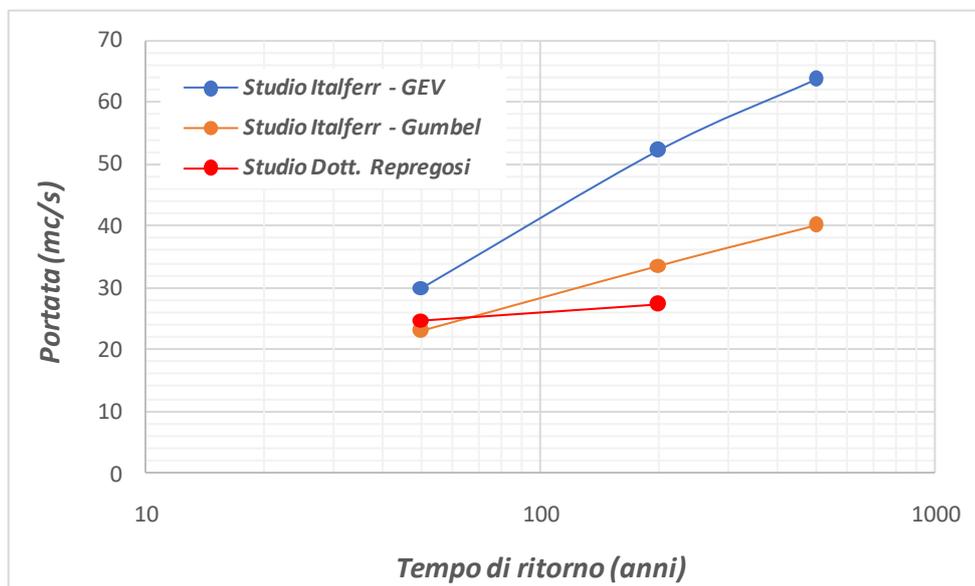


Figura 7.51: Torrente Calvenza – Confronto tra i valori di portata ottenuti nel presente studio e quelli disponibili in studi precedenti.

Relativamente al Torrente Curone, i valori di portata al colmo forniti dall'Autorità di Bacino del Fiume Po sono invece intermedi (per tempi di ritorno $Tr \geq 100$ anni) rispetto a quelli ottenuti nel presente studio, applicando le curve di possibilità pluviometrica secondo le distribuzioni di probabilità di Gumbel e GEV.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
 T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	98 di 102

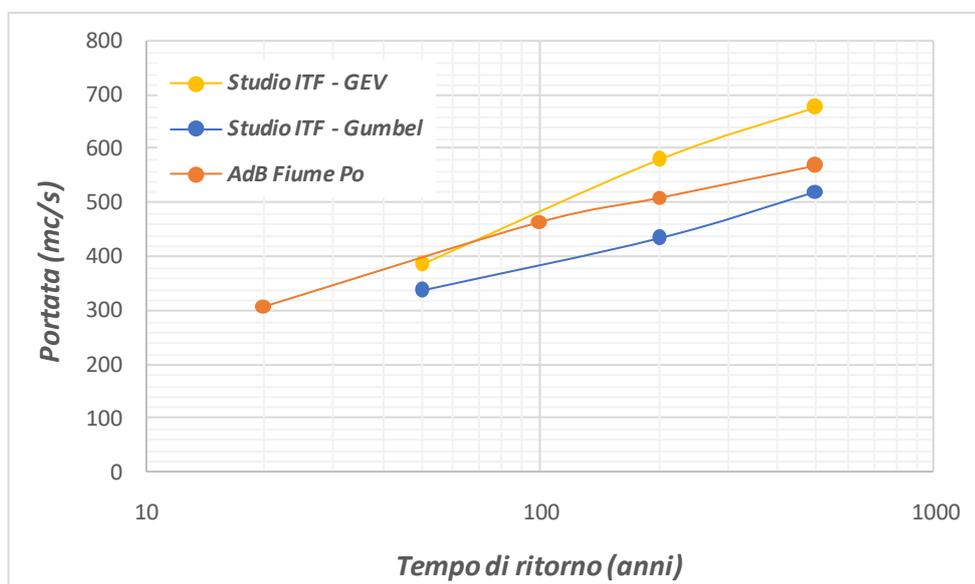


Figura 7.52: Torrente Curone – Confronto tra i valori di portata ottenuti nel presente studio e quelli disponibili in studi precedenti.

I valori di portata al colmo, nonché i corrispondenti idrogrammi di piena, così ottenuti sono applicati ai modelli numerici idraulici, sviluppati secondo approcci monodimensionali e bidimensionali, in regime di moto permanente e vario, come descritto nelle relazioni idrauliche annesse, rif. IQ0101R09RIID0002001A, IQ0101R09RIID0002002A.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

8 EFFETTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE PRECIPITAZIONI

La conoscenza delle variazioni climatiche sul territorio italiano, in corso e previste, è il presupposto fondamentale per la valutazione degli impatti e della strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici (MATTM, 2015). 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 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. Gli scenari RCP sostituiscono i precedenti scenari pubblicati dall'IPCC nello *Special Report on Emission Scenarios* (SRES). I quattro nuovi RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 (2.6 W/m^2 - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m^2 - RCP4.5 e 6 W/m^2 - RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m^2 - 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 (“*Regional Climate Models*”, 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

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2070 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.

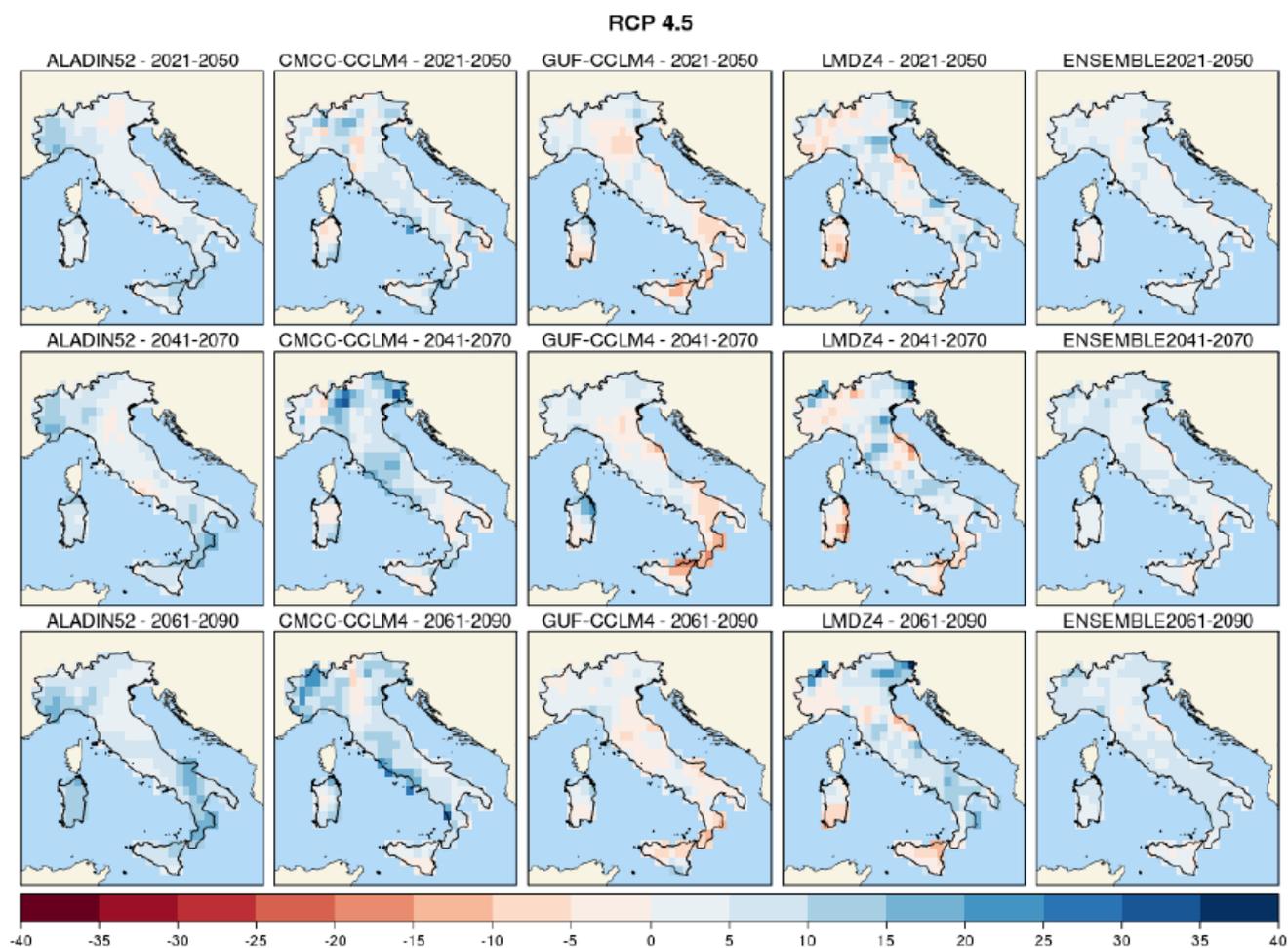


Figura 8.1: Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

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.

IDROLOGIA E IDRAULICA
Relazione idrologica bacini maggiori -
 T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IQ01	01	R 09 RI	ID 0001 001	A	101 di 102

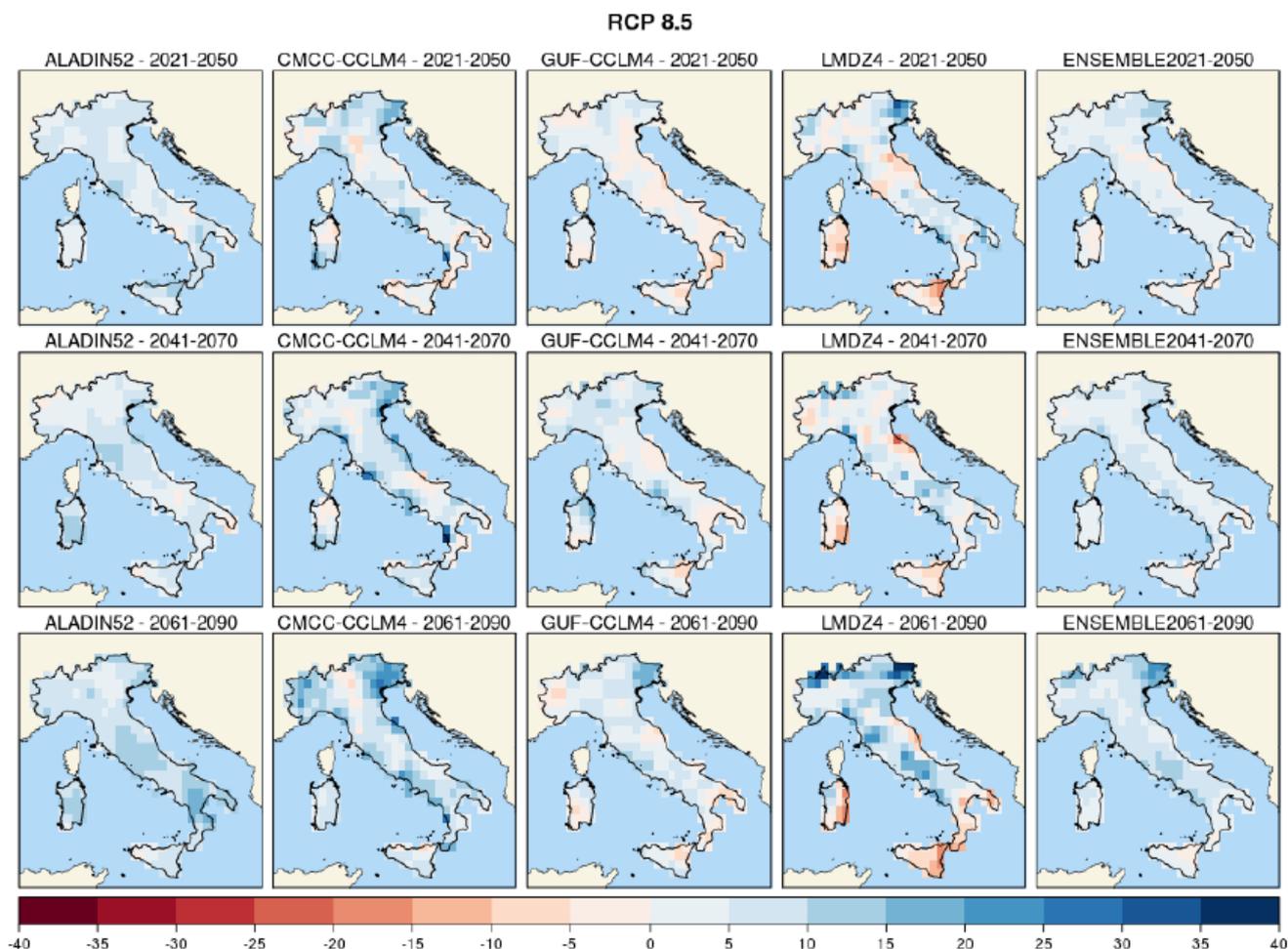


Figura 8.2: Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

Nella tabella seguente, si riportano i valori di variazione “*media di insieme*” (*ENSEMBLE MEAN*) e “*massima*” (tra tutti e quattro i modelli meteo climatici considerati) di precipitazione massima giornaliera (h_{24}) (rispetto al valore medio nel periodo climatologico di riferimento **1971-2000**), prevista nell’area di intervento, *per l’orizzonte temporale 2061-2090*, con riferimento alla scenario “*massimo*” di emissione RCP8.5, dedotti dalle mappe sopra descritte.

Periodo	Variatione media h_{24} (Ensemble mean - RCP8.5)	Variatione massima h_{24} (CMCC-CCLM4 - RCP8.5)
2061-2090	+5-10 mm	+10-15 mm

Tabella 45: Valori medio e massimo di variazione di precipitazione massima giornaliera previste nell’area di intervento (ISPRA, 2015).

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA MILANO – GENOVA QUADRUPPLICAMENTO TORTONA – VOGHERA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	IDROLOGIA E IDRAULICA Relazione idrologica bacini maggiori - T. Grue, T. Calvenza, T. Curone, T. Limbione	COMMESSA IQ01	LOTTO 01	CODIFICA R 09 RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A

Con riferimento alle registrazioni pluviometriche presso la stazione di misura di *Voghera* (l'unica nell'area di intervento con misure di precipitazione massima giornaliera nel periodo climatologico di riferimento, **1971-2000**; come mostrato in precedenza per durate inferiore a 24 ore, le misurazioni sono state interrotte nel 1986), il valore medio di precipitazione massima giornaliera (h_{24}), nel periodo **1971-2000**, ammonta a **64.2 mm**.

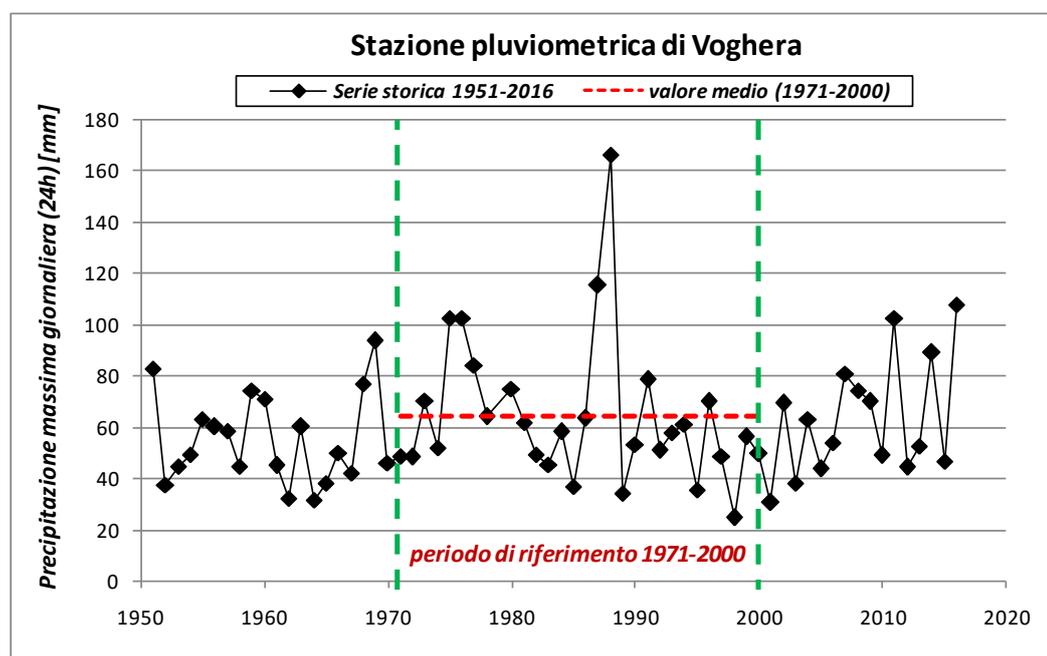


Figura 8.3: Stazione pluviometrica di Voghera: serie storica di dati di altezza di pioggia giornaliera, 1951-2016 (fonte: Allegato 2 – Direttiva n. 2/2001 dell'AdB Fiume Po; <http://www.gallini.org/meteo/Medie.html>).

Prendendo tale valore come riferimento, la variazione massima prevista, ossia **+10-15 mm** nel trentennio 2061-2090 dal modello meteo climatico **CMCC-CCLM4**, corrisponderebbe ad un incremento della precipitazione massima giornaliera del **23%** circa.

Analogamente, la variazione media (prendendo in considerazione tutti e quattro i modelli meteo-climatici adottati) prevista per il trentennio 2061-2090, ossia **+5-10 mm** (*Ensemble mean*), corrisponderebbe ad un incremento della precipitazione massima giornaliera del **16%** circa.

Le considerazioni sopra esposte sono prese come riferimento negli studi idraulici a corredo del presente progetto per lo sviluppo di ulteriori verifiche di compatibilità sia delle opere di attraversamento (ponti/viadotti/tombini) sia dei sistemi di drenaggio della piattaforma stradale e ferroviaria (sviluppate nella successiva fase progettuale), nei confronti quindi anche di eventuali variazioni (nello specifico, incrementi) delle precipitazioni per effetto dei cambiamenti climatici. Per maggiori dettagli, si rimanda alle relazioni idrauliche specialistiche annesse.