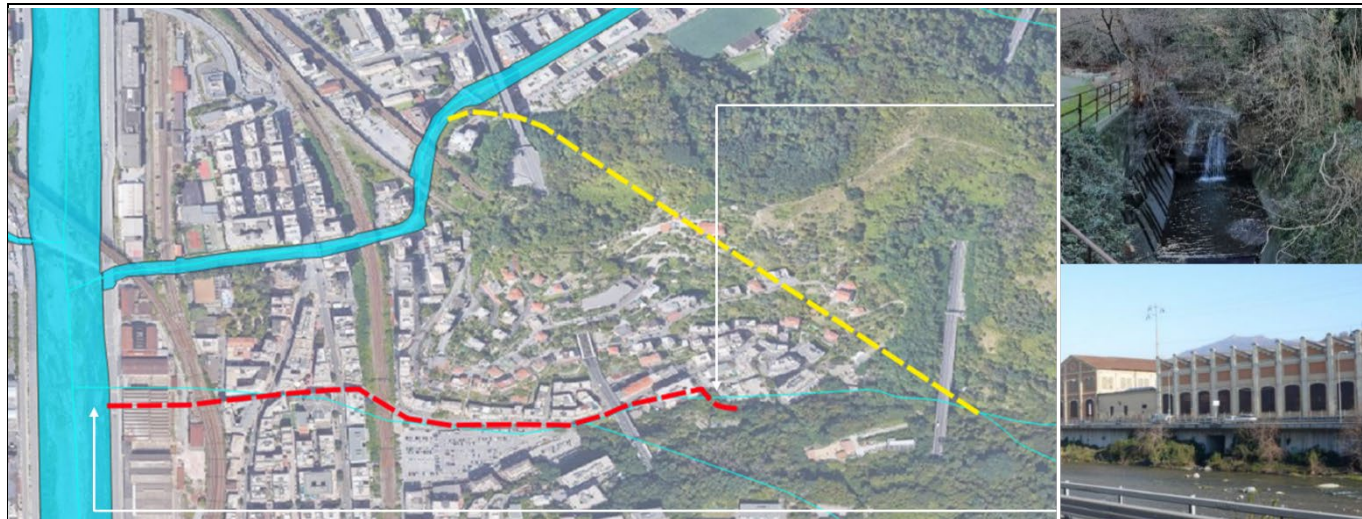





COMUNE DI GENOVA




Servizio di Progettazione di Fattibilità Tecnica ed Economica e definitiva (per appalto integrato) nonché del coordinamento della sicurezza in fase di progettazione delle “Opere di adeguamento idraulico del tratto tombinato di valle del rio Maltempo, affluente del torrente Polcevera”

PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Arch. Roberto Valcalda

PROGETTAZIONE:	MANDATARIA: 	MANDANTE: Dott.ssa Claudia Pizzinato
----------------	--	---

RESPONSABILE DELLE INTEGRAZIONI DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: Ing. Simone Venturini

TITOLO: IDROLOGIA E IDRAULICA RELAZIONE IDROLOGICA	 
---	--

CODICE ESTESO ELABORATO: II151F-PD-IDR-R001_0	SCALA: -	DATA: 07/2022
		NOME FILE: II151F-PD-IDR-R001_0.docx

ELABORAZIONE PROGETTUALE:	REVISIONI					
	REV.	DATA	MOTIVO	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
Ing. SIMONE VENTURINI Ordine degli ingegneri Della Provincia di Verona N. A2515	0	07/2022	Emissione	G. MASSERA	A. CACCIATORI	S.VENTURINI



INDICE

	Pag.
1. Premessa	1
2. Criticità evidenziate e normativa di riferimento	3
3. Approccio metodologico adottato	4
4. Morfometria: Bacino idrografico contribuente	5
4.1 Rio Maltempo “Naturale”	5
4.2 Torrente Torbella	8
5. Pluviometria: calcolo della massima precipitazione e della durata critica	11
5.1 Curve di Possibilità Pluviometrica	11
5.2 Durata critica della precipitazione.....	15
5.3 Calcolo della massima precipitazione	16
5.3.1 Scelta delle Curve di Possibilità Pluviometrica e calcolo della massima precipitazione lorda	16
5.3.2 Stima della massima precipitazione netta.....	20
6. Idrologia: calcolo degli idrogrammi di piena e portate al colmo	22
6.1 Metodo indiretto: calcolo degli idrogrammi di piena.....	22
6.2 Schema concettuale del bacino	22
6.3 Modello meteorologico	23
6.4 Modello di infiltrazione.....	23
6.5 Modello di calcolo del deflusso profondo	23
6.6 Modello di trasformazione afflussi-deflussi	23
6.7 Simulazioni effettuate.....	24
6.8 Risultati	25
6.8.1 Risultati per Tr = 200 anni	27
6.8.2 Risultati per Tr = 50 anni	28
6.9 Metodo diretto CIMA per il rio Maltempo.....	30
6.10 Calcolo delle portate secondo metodologia ex DGR 357/2008.....	31
6.10.1 Descrizione metodologia	31
6.10.2 Applicazione al rio Maltempo e al torrente Torbella.....	32
7. Conclusioni	34
8. Bibliografia	36



INDICE DELLE FIGURE

	Pag.
Figura 1-1: Bacino del Torbella (in rosa), del Maltempo naturale (in verde) e artificiale (in giallo). La freccia indica qualitativamente la nuova galleria scolmatrice	1
Figura 2-1: PDB - Carta dei Sottobacini – Tavola 213150.....	3
Figura 2-2: Rio Maltempo – Morfologia del bacino	3
Figura 4-1: Rappresentazione delle quote del bacino e del reticolo idrografico del bacino del rio Maltempo	5
Figura 4-2: Rappresentazione dell'uso del suolo per il bacino del rio Maltempo (naturale).....	6
Figura 4-3: Rappresentazione della litologia per il bacino del rio Maltempo (naturale).....	6
Figura 4-4: Rappresentazione del Curve Number calcolato per il bacino del rio Maltempo (naturale).....	7
Figura 4-5: Rappresentazione delle quote del bacino e del reticolo idrografico del bacino del t. Torbella ..	8
Figura 4-6: Rappresentazione dell'uso del suolo per il bacino del t. Torbella	9
Figura 4-7: Rappresentazione della litologia per il bacino del t. Torbella	9
Figura 4-8: Rappresentazione del Curve Number calcolato per il bacino del t. Torbella	10
Figura 5-1: Curve di Possibilità Pluviometrica calcolate per la stazione di Genova Università	15
Figura 5-2: Massima altezza di precipitazione espressa dalle Curve di Possibilità Pluviometrica, ottenuta da durate < 1h, per i Tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 anni (grafico in scala logaritmica).....	17
Figura 5-3: Massima intensità di precipitazione espressa dalle Curve di Possibilità Pluviometrica, ottenuta da durate < 1h, per i Tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 anni (grafico in scala logaritmica).....	17
Figura 6-1: Schema concettuale (flow diagram) dell'algoritmo di calcolo dell'idrogramma di piena	22
Figura 6-2: Idrogrammi di piena in funzione del tempo di ritorno per il rio Maltempo (Evento 1).....	25
Figura 6-3: Idrogrammi di piena in funzione del tempo di ritorno per il rio Maltempo (Evento 2).....	26
Figura 6-4: Idrogrammi di piena in funzione del tempo di ritorno per il t. Torbella (Evento 2).....	26
Figura 6-5: Curva di Possibilità Pluviometrica per durate di precipitazioni inferiori all'ora per la stazione di Genova Università (Tr = 200 anni) e rappresentazione delle altezze di precipitazione in funzione della durata critica considerate per gli Eventi 1 e 2.....	27
Figura 6-6: Ietogrammi di precipitazione e idrogrammi di piena risultanti negli Scenari 1 e 2 per un evento con Tr = 200 anni	28
Figura 6-7: Curva di Possibilità Pluviometrica per durate di precipitazioni inferiori all'ora per la stazione di Genova Università (Tr = 50 anni) e rappresentazione delle altezze di precipitazione in funzione della durata critica considerate per gli Eventi 1 e 2	29
Figura 6-8: Ietogrammi di precipitazione e idrogrammi di piena risultanti negli Scenari 1 e 2 per un evento con Tr = 50 anni	30



1. PREMESSA

Il Comune di Genova ha affidato alla Scrivente la Progettazione Definitiva delle “Opere di adeguamento idraulico del tratto tombinato di valle del rio Maltempo, affluente del torrente Polcevera”. Una delle soluzioni che hanno mostrato più interesse della Stazione Appaltante è stata quella che consentirebbe la risoluzione delle criticità idrauliche del rio Maltempo tramite la realizzazione di una galleria scolmatrice, la quale raccoglierebbe tutte le acque provenienti dalla parte non antropizzata e di monte del bacino, collettandole nel tratto terminale del t. Torbella.

Dal momento che tale corso d’acqua soffre già di per sé di problematiche di insufficienza idraulica delle sponde, nell’ambito del presente progetto viene studiato un intervento di sistemazione idraulica dello stesso, data la previsione dell’incremento della portata di progetto a causa dell’immissione della galleria scolmatrice. Tale intervento si basa sull’abbassamento e riprofilatura del fondo dell’alveo del t. Torbella, aumentandone la pendenza media di questo tratto in modo da eliminarne la tendenza al sovralluvionamento sulla base di un’analisi che valuta anche gli effetti che la nuova configurazione determina sul trasporto solido. Inoltre, per risolvere criticità locali dovute all’effetto di rigurgito a monte di ponti con pila centrale in alveo, si prevede contestualmente la sostituzione di alcune opere che è possibile ricostruire con un’unica campata e senza disturbare il deflusso delle portate in alveo. In questo modo, risulterebbe possibile, dunque, contenere nell’alveo la portata di progetto incrementata dalla galleria scolmatrice del rio Maltempo.

La risoluzione delle criticità idrauliche del rio Maltempo per mezzo della realizzazione della galleria scolmatrice e la verifica che un adeguato intervento di sistemazione idraulica risolva le criticità anche del t. Torbella consentirebbe di prevedere interventi locali e poco invasivi per adeguare idraulicamente il tratto tombato di valle del rio Maltempo, il quale sarebbe sgravato delle portate prodotte nella parte di monte del bacino e sarebbe in grado di far defluire la portata di progetto prodotta in quello di valle.

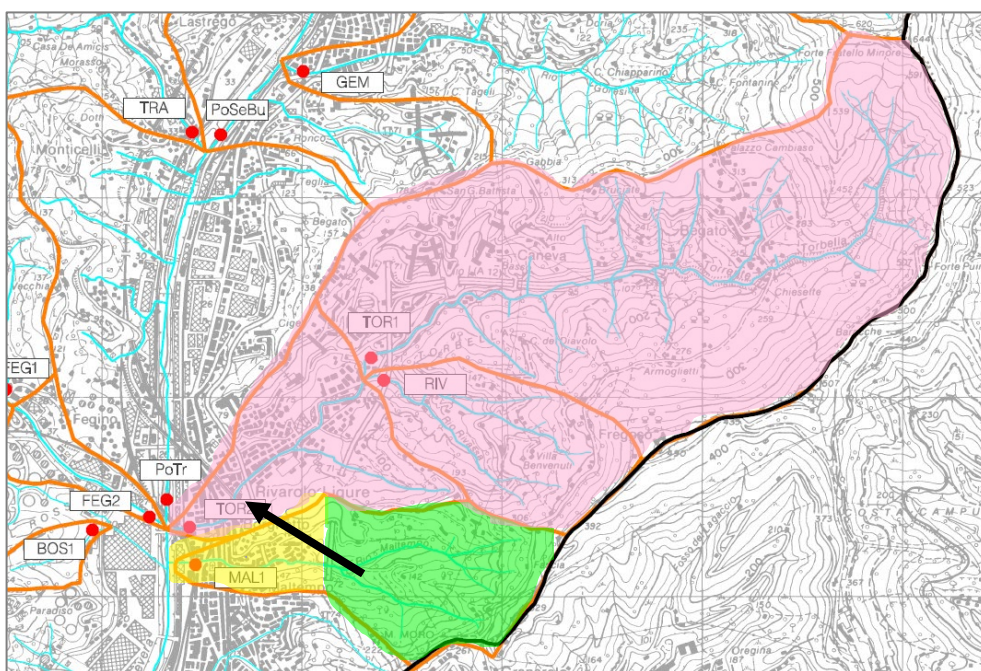


Figura 1-1: Bacino del Torbella (in rosa), del Maltempo naturale (in verde) e artificiale (in giallo). La freccia indica qualitativamente la nuova galleria scolmatrice



La presente Relazione idrologica ha lo scopo di:

- Calcolare gli idrogrammi di piena per il bacino naturale di monte del rio Maltempo e del t. Torbella attraverso metodi indiretti e considerando diversi eventi meteorici;
- Ottenere da tali idrogrammi di piena le portate al colmo che si instaurano in entrambi i corsi d'acqua, al fine di poter utilizzare questi dati come condizioni al contorno nelle verifiche idrauliche a moto permanente dello scolmatore e del tratto terminale del t. Torbella;
- Calcolare le portate al colmo del bacino artificiale di valle del rio Maltempo attraverso l'applicazione di metodi diretti, al fine di poter utilizzare questi dati come condizioni al contorno nelle verifiche idrauliche a moto permanente in questo tratto completamente tombato.



2. CRITICITÀ EVIDENZIATE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Nell'ambito degli Studi e delle Indagini a supporto delle attività di progettazione definitiva delle opere di prolungamento della Metropolitana di Genova – tratta fra le fermate Brin e Canepari – il Comune di Genova ha fatto redigere uno Studio Idraulico sul rio Maltempo, evidenziando importanti criticità in merito alla capacità idraulica nel tratto tombinato del rio stesso ed in particolare l'insufficienza dell'attuale sezione a convogliare la portata avente tempo di ritorno 200 anni.

Il rio Maltempo è un affluente del t. Polcevera, sito in sinistra idraulica e prossimo alla foce del torrente. Negli elaborati del Piano di Bacino (**PDB**) (*Approvati con DCP n. 14 del 02/04/2003; Ultima variante approvata: DDG n. 88 del 10/04/2017 entrata in vigore il 03/05/2017; Variante in corso: DDG n.6765 del 02/11/2020*), il bacino idrografico risulta avere una superficie totale di 0.92 km² e le portate di piena al colmo per assegnato tempo di ritorno sono quantificate in Tabella 2-1. Il t. Torbella è anch'esso un affluente del t. Polcevera e il suo bacino è confinante a sud con quello del rio Maltempo. Anche per questo corso d'acqua sono riportate nella medesima tabella le portate di piena al colmo per assegnato tempo di ritorno.

Tabella 2-1: Portate al colmo in funzione del tempo di ritorno per il rio Maltempo e il t. Torbella alle rispettive confluenze nel t. Polcevera, secondo il Piano di Bacino

	rio Maltempo			t. Torbella		
Tr (anni)	50	200	500	50	200	500
Q_{colmo} [m³/s]	25.5	36.9	44.4	115	145	165

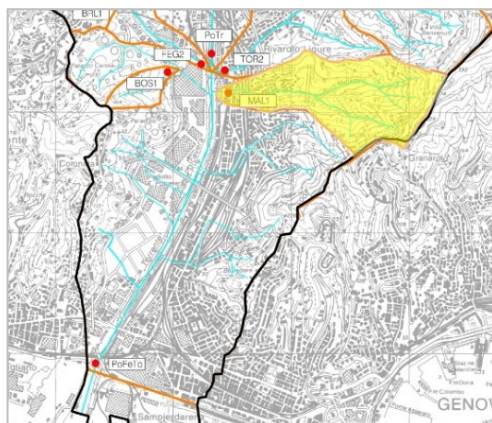


Figura 2-1: PDB - Carta dei Sottobacini – Tavola 213150

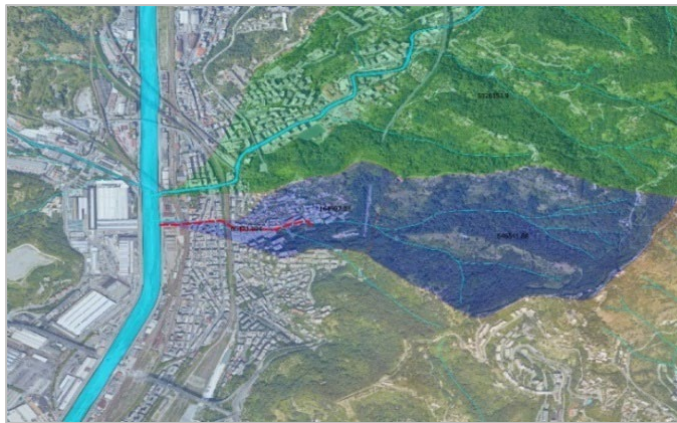


Figura 2-2: Rio Maltempo – Morfologia del bacino



3. APPROCCIO METODOLOGICO ADOTTATO

Lo studio idrologico ha lo scopo di calcolare le portate di progetto per il tempo di ritorno (T_r) di 200 anni sia del rio Maltempo che del rio Torbella. In particolare, riguardo il rio Maltempo viene considerata la porzione naturale del suo bacino, la quale corrisponde al tratto di monte del corso d'acqua fino alla sezione in cui si prevede l'inizio dello scolmatore verso il rio Torbella. Riguardo quest'ultimo, dunque, è necessario calcolare la portata di progetto dell'intero bacino, in quanto la foce nel Polcevera si trova di poco a valle rispetto alla confluenza dello scolmatore. A tale portata andrà poi sommata quella proveniente dallo scolmatore stesso.

Si esprime nel seguito l'approccio metodologico adottato per il presente studio, suddividendo le principali tematiche affrontate per la definizione della portata di progetto:

- **Morfometria:** attraverso l'utilizzo del software QGIS, v. 3.16.10, vengono estratti i bacini contribuenti del rio Maltempo e del rio Torbella, a partire dal DTM 5x5 disponibile dal geoportale della Regione Liguria. L'analisi cartografica dei bacini permette di calcolare i principali parametri morfometrici da utilizzarsi nei calcoli necessari alla definizione del tempo di corrivazione, quali ad esempio la superficie del bacino, le principali quote di riferimento e le pendenze.
- **Pluviometria:** al fine di determinare le Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP), si procede alla scelta delle stazioni pluviometriche, la cui ubicazione si ritiene essere rappresentativa dei bacini analizzati. Per questa scelta si ricorre agli Annali Idrologici (parte I) del Compartimento di Genova. In questo modo, a partire dai dati storici delle massime precipitazioni annuali registrate per diverse durate, viene scelto il metodo di definizione dei coefficienti delle CPP attraverso l'utilizzo della distribuzione dei valori estremi di Gumbel. Si sottolinea, inoltre, che vengono considerati ed analizzati in modo distinto sia i dati di precipitazione di durate inferiori all'ora sia quelli di durate superiori.
Inoltre, per effettuare una verifica di questo calcolo pluviometrico seguendo quanto indicato dalla normativa xxx, sono state calcolate le portate al colmo con questo metodo e confrontate con quanto ottenuto in precedenza.
- **Idrologia:** una volta definito il tempo di corrivazione dei bacini e le CPP da prendere come riferimento per gli stessi, si ricorre all'utilizzo del modello numerico HEC-HMS, v. 4.7.1, in cui è possibile definire le varie componenti del modello idrologico che consente di definire la portata di progetto. In particolare, vengono scelti modello di separazione delle piogge efficaci o di infiltrazione, ovvero il metodo SCS-CN, ed il modello di trasformazione afflussi-deflussi, ovvero il metodo indiretto dell'Idrogramma Unitario di Clark, riconducibile al metodo indiretto razionale.



4. MORFOMETRIA: BACINO IDROGRAFICO CONTRIBUENTE

4.1 Rio Maltempo "Naturale"

Il bacino imbrifero afferente alla sezione di chiusura del rio Maltempo in cui si prevede l'ingresso nella galleria scolmatrice presenta uno sviluppo principale est-ovest, coincidente con il corso dell'asta principale. Quest'ultima si sviluppa a partire da una quota di circa 290 m s.m.m., fino alla sezione dell'ingresso nello scolmatore in progetto, in cui il thalweg si trova ad una quota di circa 50 m s.m.m. La superficie complessiva del bacino è di 0.65 km², le sue altitudini massima, media e minima sono, rispettivamente, pari a 392 m s.m.m., 184.26 m s.m.m. e 42 m s.m.m., che corrisponde alla quota minima del corso d'acqua (Figura 4-1). La lunghezza dell'asta principale è pari a 1 km e la sua pendenza media è pari al 24 %, mentre quella del bacino risulta pari al 51.4 %. L'asta principale è caratterizzata da un corso abbastanza omogeneo, in cui la morfologia è quella di un corso d'acqua montano, caratterizzato da salti naturali su di un substrato roccioso in una stretta valle a V.

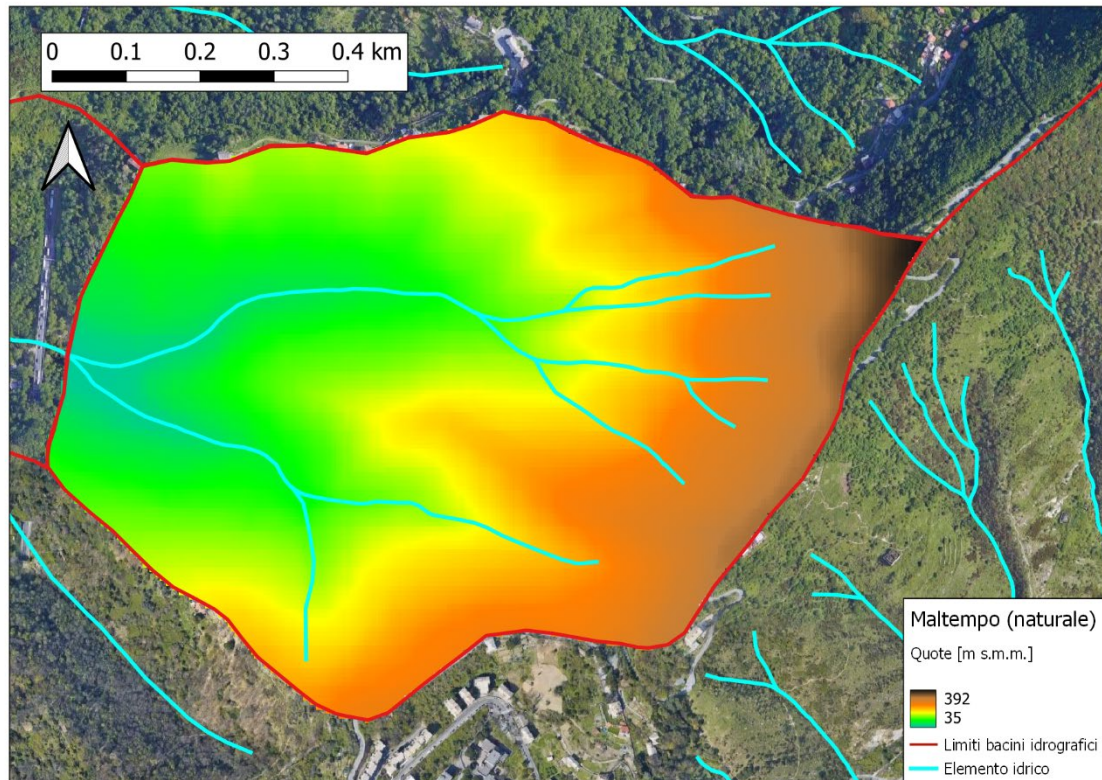


Figura 4-1: Rappresentazione delle quote del bacino e del reticolo idrografico del bacino del rio Maltempo

Il bacino del rio Maltempo naturale si trova in un'area scarsamente abitata, in cui la principale porzione di superficie risulta essere occupato da boschi di latifoglie, principalmente castagni (Figura 4-2). La litologia del bacino è caratterizzata dalla predominanza di un substrato roccioso impermeabile, costituito da argilliti di Montanesi e dalla formazione di Ronco. Soltanto nella porzione prossima allo spartiacque orientale si trova una presenza di formazioni rocciose più permeabili, come la formazione del Monte Antola (Figura 4-3).

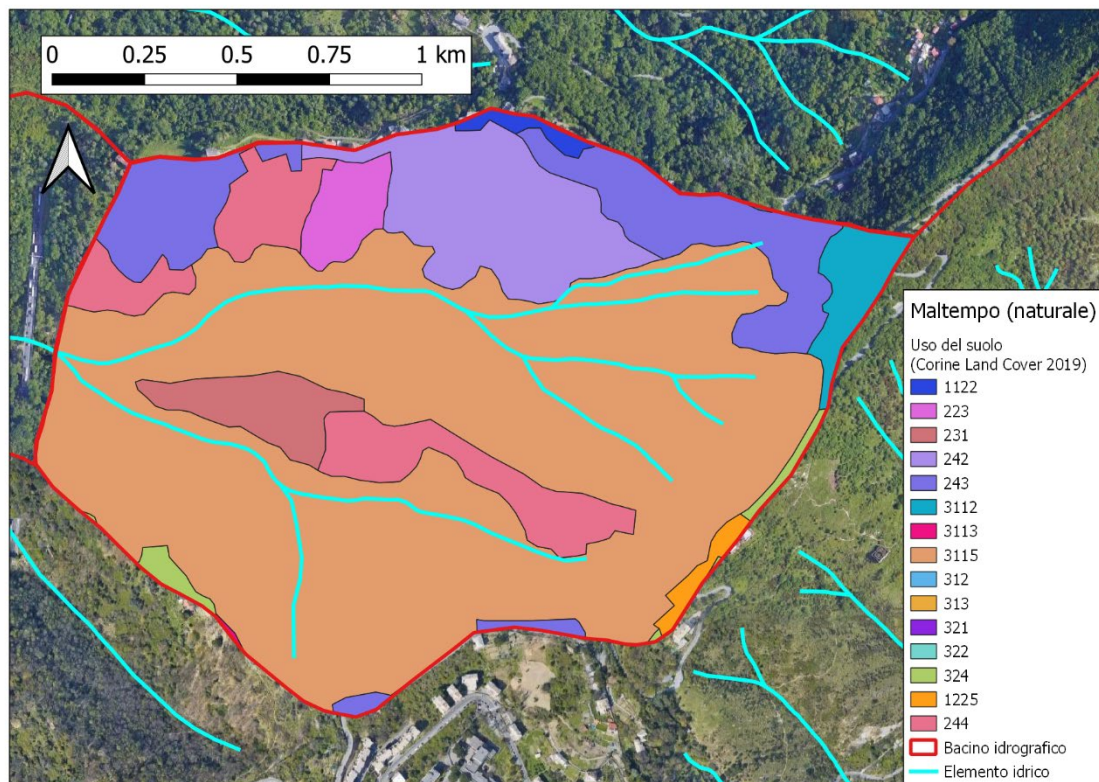


Figura 4-2: Rappresentazione dell'uso del suolo per il bacino del rio Maltempo (naturale)

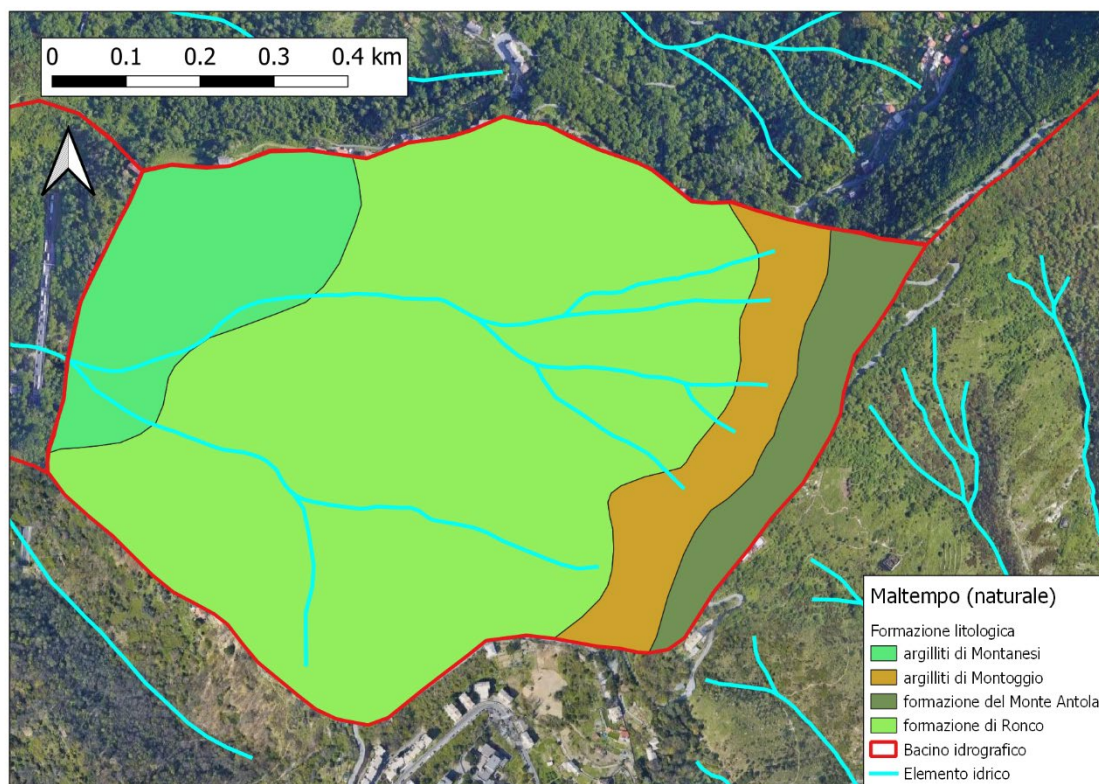


Figura 4-3: Rappresentazione della litologia per il bacino del rio Maltempo (naturale)

Sulla base dell'incrocio dei dati di uso del suolo (Corine Land Cover 2019) e della litologia del bacino, che sono stati reperiti dal Geoportale della Regione Liguria, è stato possibile ottenere la mappa del Curve



Number (CN), parametro fondamentale per la stima della capacità d'infiltrazione e il conseguente calcolo della precipitazione netta che contribuisce alla formazione del deflusso. Per ottenere tale parametro, sono state utilizzate le tabelle dell'USDA che associano a ciascuna tipologia di uso del suolo i valori del CNII, che è funzione anche dalle caratteristiche idrologiche del suolo, in relazione alla maggiore o minore permeabilità del substrato (in funzione della permeabilità sono stati stimati i tipi idrologici A-B-C-D). I valori caratteristici del CNII sono quelli che sono stati proposti dall'USDA (1986, 2004). I valori teorici del CN spaziano da 0 a 98, corrispondenti ad una capacità di infiltrazione del terreno da infinita a nulla. Valori di CN alti contribuiranno quindi maggiormente alla formazione del ruscellamento superficiale; viceversa, valori bassi presenteranno una maggior capacità d'infiltrazione, quindi un deflusso netto superficiale inferiore. La mappa del CN riporta i valori del parametro nelle cosiddette condizioni standard (CNII), dalle quali è possibile ricavare il valore del CN in condizioni pregresse del suolo asciutte o umide (Figura 4-4).

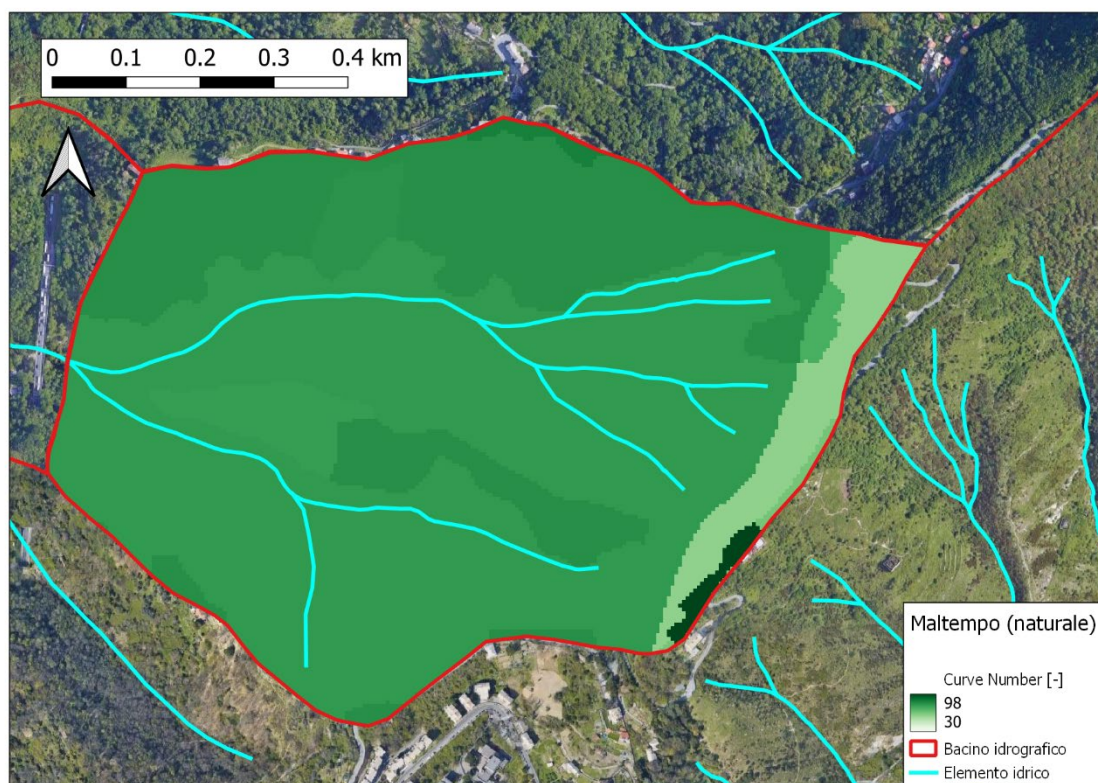


Figura 4-4: Rappresentazione del Curve Number calcolato per il bacino del rio Maltempo (naturale)

Si riassumono nella Tabella 4-1 tutti i parametri morfometrici utili ai fini dei calcoli idrologici.

Tabella 4-1: Principali parametri morfometrici del bacino del rio Maltempo (naturale)

			Maltempo (naturale)
Superficie	S	km ²	0.65
Lunghezza asta principale	La	km	1
Quota massima asta principale	Zmax	m.s.l.m.	290
Quota minima asta principale	Zmin	m.s.l.m.	42
Altitudine minima	Hmin	m.s.l.m.	392
Altitudine media	Hm	m.s.l.m.	184.26
Altitudine massima	Hmax	m.s.l.m.	50
Pendenza media asta principale	ia	%	24.00
Pendenza media bacino	ib	%	51.44
CN medio bacino	CNII	-	78.80



4.2 Torrente Torbella

Il bacino imbrifero afferente alla sezione di chiusura del torrente Torbella in cui si sfocia nel torrente Polcevera presenta uno sviluppo principale nordest-sudovest, attraversando una prima porzione di bacino più naturale a monte ed una seconda molto antropizzata a valle. L'asta principale si sviluppa a partire da una quota di circa 560 m s.m.m. a monte dall'abitato di Begato, fino alla sezione terminale, in cui il thalweg si trova ad una quota di circa 14 m s.m.m.. La superficie complessiva del bacino è di 5.03 km², le sue altitudini massima, media e minima sono, rispettivamente, pari a 642 m s.m.m., 233.06 m s.m.m. e 14 m s.m.m., che corrisponde alla quota minima del corso d'acqua (Figura 4-5). La lunghezza dell'asta principale è pari a 5.37 km e la sua pendenza media è pari al 10.17 %, mentre quella del bacino risulta pari al 46.72 %. L'asta principale è caratterizzata da un corso che si suddivide in due parti omogenee: la prima con una morfologia analoga a quella di un corso d'acqua montano, caratterizzato da salti naturali su di un substrato roccioso in una stretta valle a V; la seconda, invece, scorre sui depositi alluvionali di fondovalle, sebbene il corso d'acqua sia delimitato in continuità da muri di sponda che lo racchiudono all'interno di una zona della città di Genova molto urbanizzata.

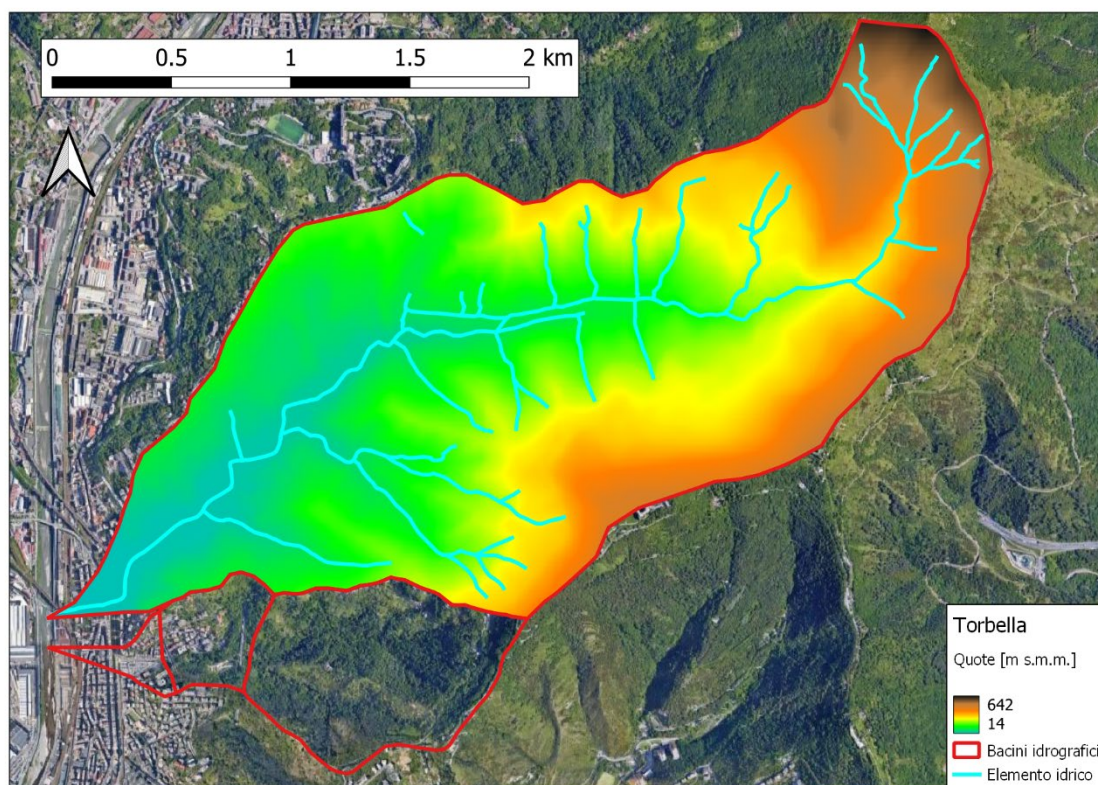


Figura 4-5: Rappresentazione delle quote del bacino e del reticolo idrografico del bacino del t. Torbella

Il bacino del torrente Torbella si trova suddiviso nella porzione di monte del bacino più naturale, che risulta essere occupata da boschi misti termofili, e quella più a valle, dove il tessuto residenziale è denso e sono presenti anche rilevanti opere infrastrutturali, quali ad esempio le autostrade principali transitanti per Genova (Figura 4-6). La litologia del bacino è caratterizzata da una suddivisione tra formazioni calcareo-marnose con una certa permeabilità nella porzione nord-orientale e un substrato roccioso impermeabile, costituito da argilliti di Montanesi e dalla formazione di Ronco (Figura 4-7).

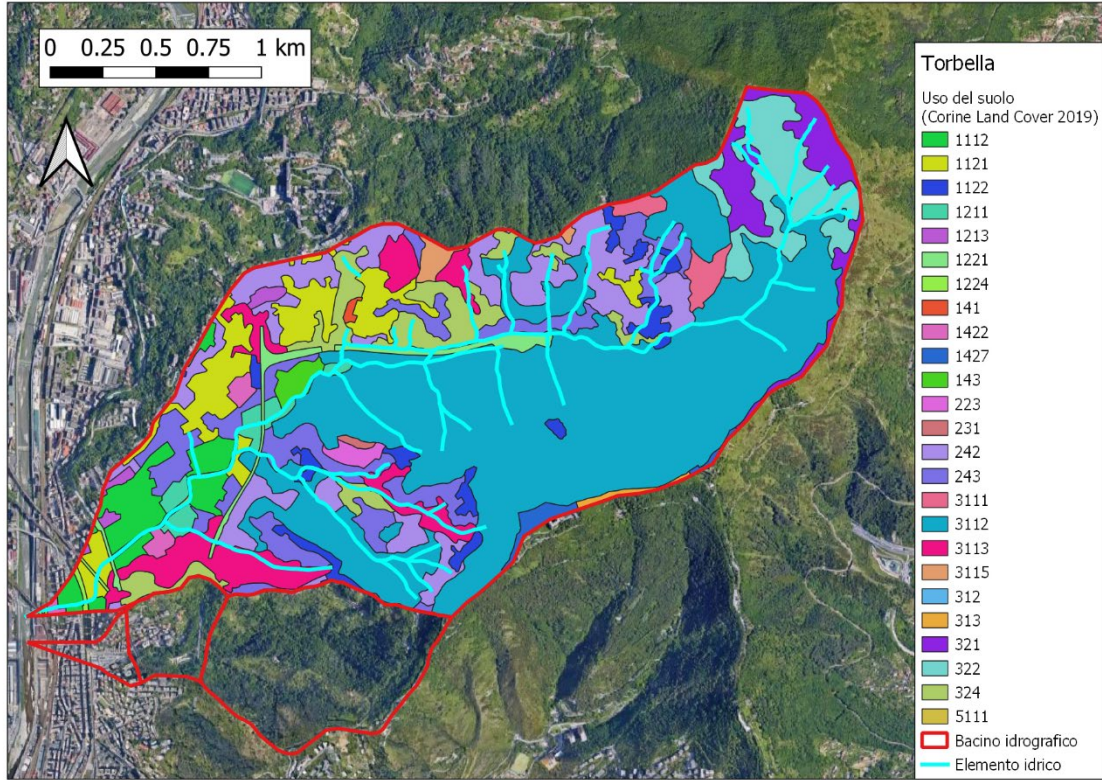


Figura 4-6: Rappresentazione dell'uso del suolo per il bacino del t. Torbella

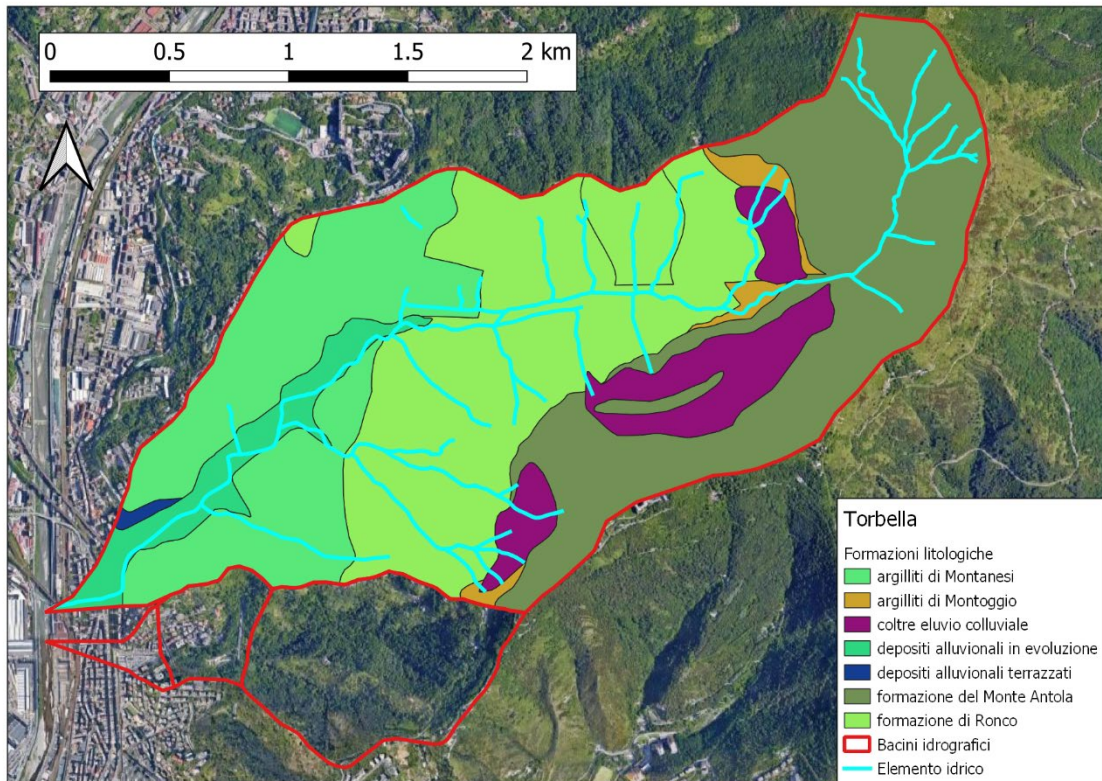


Figura 4-7: Rappresentazione della litologia per il bacino del t. Torbella



Come nel caso precedente, sulla base dell'incrocio dei dati di uso del suolo (Corine Land Cover 2019) e della litologia del bacino, che sono stati reperiti dal Geoportale della Regione Liguria, è stato possibile ottenere la mappa del Curve Number (Figura 4-8).

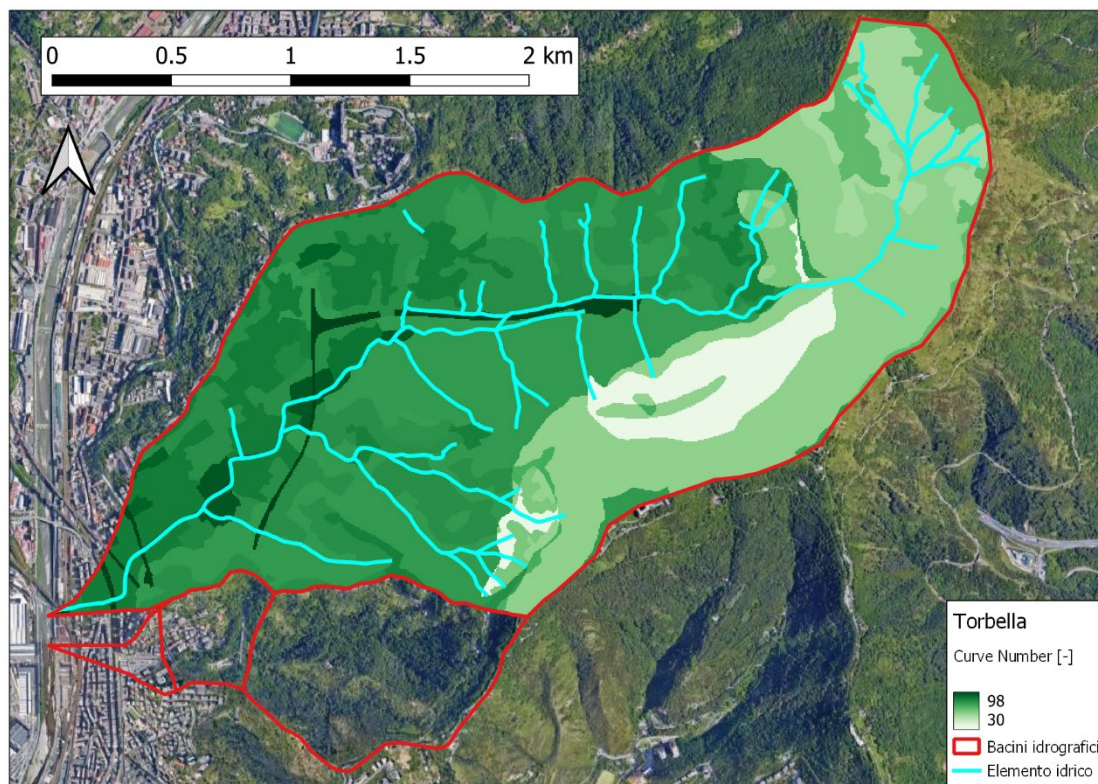


Figura 4-8: Rappresentazione del Curve Number calcolato per il bacino del t. Torbella

Si riassumono nella Tabella 4-2 tutti i parametri morfometrici utili ai fini dei calcoli idrologici.

Tabella 4-2: Principali parametri morfometrici del bacino del torrente Torbella

			Torbella
Superficie	S	km ²	5.03
Lunghezza asta principale	La	km	5.37
Quota massima asta principale	Zmax	m.s.l.m.	560
Quota minima asta principale	Zmin	m.s.l.m.	14
Altitudine minima	Hmin	m.s.l.m.	642
Altitudine media	Hm	m.s.l.m.	233.06
Altitudine massima	Hmax	m.s.l.m.	14
Pendenza media asta principale	ia	%	10.17
Pendenza media bacino	ib	%	46.72
CNII medio bacino	CNII	-	72.89



5. PLUVIOMETRIA: CALCOLO DELLA MASSIMA PRECIPITAZIONE E DELLA DURATA CRITICA

Il procedimento per stimare la massima precipitazione prevede le seguenti analisi, esposte nell'ordine di avanzamento:

- Calcolo delle Curve di Possibilità Pluviometrica;
- Calcolo della durata critica della precipitazione;
- Stima della massima precipitazione lorda e di quella netta, ovvero la precipitazione decurtata della componente di infiltrazione nel sottosuolo;

5.1 Curve di Possibilità Pluviometrica

Si dispone di dati storici di precipitazione registrati in stazioni pluviometriche situate nella città di Genova ed in zone prossime al bacino del rio Maltempo e del rio Torbella.

Tra queste stazioni si è scelto di considerare esclusivamente quella di Genova Università, la quale è ubicata presso la sede dell'Università di Genova in via Balbi, ad una quota di 21 m s.m.m.. Di tale stazione sono disponibili in forma discontinua i dati storici di precipitazione per il periodo 1921 – 1993. Si sceglie questa stazione pluviometrica, in considerazione del numero di dati disponibili e della sua ubicazione, prossima all'area in esame e perché è solitamente considerata la stazione di riferimento per la città di Genova.

Della stazione di Genova Università sono disponibili i dati storici di precipitazione di massima intensità e breve durata per il periodo dal 1932 al 2012: sul totale di 80 anni di osservazione, sono disponibili un massimo di 74 anni di dati registrati per la durata giornaliera.

Tali dati, ufficialmente pubblicati dalla Regione Liguria, costituiscono un campione storico sufficientemente esteso ed omogeneo, che hanno fornito la base dell'analisi probabilistica finalizzata alla determinazione delle curve di probabilità pluviometrica per diversi tempi di ritorno.

I valori disponibili registrati delle altezze di pioggia massime annuali sono relativi a durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore e inferiori ad 1 ora (10, 15, 20 e 30 minuti, che rappresentano i campioni più consistenti e affidabili tra quelli con durata inferiori a 1 ora). In Tabella 5-1 si riportano i dati storici considerati ai fini della presente analisi.

Tabella 5-1: Dati storici di precipitazione registrati nella stazione di Genova Università

Stazione - Genova (Università)									
Anno	Durata - t [min]				Durata - t [h]				
	10	15	20	30	1	3	6	12	24
1932			19.00		34.80	41.60	43.40	63.80	88.60
1933			25.6		33.00	51.40	59.20	74.50	78.40
1934					78.00	102.80	103.00	104.60	164.40
1935		10.00	19.00		60.00	82.40	83.60	95.00	95.00
1936		11.00			39.40	46.40	47.20	68.60	99.00
1937			25.60		33.60	64.60	70.00	71.00	80.00
1938	16.40				28.00	43.20	63.00	79.40	99.40
1939	18.00				49.00	59.20	59.60	91.40	180.60
1940					80.00	105.60	106.60	122.20	122.40
1941	9.00				41.80	42.00	69.20	87.60	106.00
1942	14.60	16.40	25.00	32.00	54.60	120.00	153.40	166.20	203.00
1943				17.60	26.00	44.60	68.20	92.00	101.00
1944				27.60	34.60	50.20	67.00	94.80	98.00



Stazione - Genova (Università)

Anno	Durata - t [min]				Durata - t [h]				
	10	15	20	30	1	3	6	12	24
1945				48.00	71.00	152.60	198.20	207.00	256.40
1946				20.00	29.20	47.00	49.20	49.20	49.20
1947				24.40	51.00	78.00	103.60	165.40	223.20
1948				42.00	53.60	74.60	75.20	75.20	83.20
1949				25.60	29.40	65.40	84.00	126.40	160.60
1950				23.60	27.20	41.80	50.20	62.40	66.40
1951	21.00		40.00		75.00	105.20	135.60	192.40	272.60
1952	11.40				27.80	44.20	47.00	61.20	79.20
1953	22.00		38.00	55.00	69.40	146.00	214.40	218.80	219.40
1954					22.80	60.80	69.00	69.20	82.80
1955				25.60	24.60	41.40	52.40	85.40	139.80
1956				32.40	38.20	53.00	60.60	73.20	102.40
1957			24.00	32.00	39.60	47.30	78.20	92.60	93.60
1958					29.00	31.40	40.00	66.60	111.40
1959	13.40		27.00		58.00	101.00	156.00	173.20	182.60
1960		32.00			48.60	69.40	79.40	100.40	121.00
1961	28.00		35.80		66.00	107.00	120.00	137.60	183.20
1962	17.40				25.20	41.00	53.20	78.60	121.20
1963	18.40	23.20	31.00		65.20	70.20	74.00	120.00	121.60
1964			35.00		54.00	91.00	112.80	118.80	127.60
1965	31.00				79.80	88.60	88.80	91.20	99.20
1966	16.80		17.80		33.20	35.00	43.20	59.40	85.00
1967			33.00		52.40	84.20	108.40	118.20	127.80
1968					28.60	44.00	63.80	118.60	136.20
1969	11.20		15.00		22.80	26.40	32.00	46.00	59.00
1970	24.00				76.00	166.00	201.00	256.00	414.80
1971	19.00				50.40	56.80	62.40	82.80	84.60
1972	17.00		20.00		43.20	89.80	97.20	135.60	183.00
1973			25.00		39.60	42.60	59.00	66.20	76.60
1974	26.00				37.80	51.80	52.80	75.20	90.60
1975	15.00	16.00	19.40		40.00	56.20	78.00	127.80	147.00
1976	16.10	20.00	40.00		53.50	76.10	99.20	111.30	124.10
1977		39.40	79.00		108.80	178.40	211.80	224.20	233.40
1978					51.80	80.40	135.60	138.40	176.40
1979	22.80	30.80	34.80	42.60	40.00	63.80	70.40	79.60	80.20
1980	13.20	16.60	20.20	23.80	85.40	113.00	133.80	168.20	173.00
1981	17.60	26.00	33.80	51.00	26.80	37.20	57.20	105.20	106.80
1982	11.20	16.20	20.20	21.80	27.40	65.80	76.00	99.40	108.60
1983	11.20	13.00	15.00	18.60	76.80	102.80	128.40	146.00	181.80
1984	18.20	23.60	28.60	42.60	25.60	46.00	71.00	91.80	121.00
1985		10.40	11.80	15.20	31.60	53.60	61.20	62.20	105.80
1986	11.60	13.80	17.00	21.20	95.60	187.40	187.40	187.40	188.60
1987	26.60	36.60	43.40	55.60	24.50	55.40	99.40	159.20	207.00
1988	11.20	14.40	17.60	21.60	33.00	33.80	40.00	50.20	71.20
1989	23.00	27.60	28.90	30.60	33.00	34.00	35.40	45.90	67.30
1990	18.90	29.50	33.20	40.70	59.80	86.30	99.80	139.50	153.00
1991	18.20		32.80	40.60	68.90	105.90	116.90	116.90	199.30
1992	26.40		41.10	57.60	79.10	170.30	225.10	423.00	447.20
1993	24.80		42.50	60.30	92.10	158.50	146.00	324.60	365.00
1994									

c_d969.Comune di Genova - Prot. 17/09/2022.0350547.E



Stazione - Genova (Università)									
Anno	Durata - t [min]				Durata - t [h]				
	10	15	20	30	1	3	6	12	24
1995					27.80	55.00	85.00	122.80	133.60
1996					25.80	55.40	74.40	101.20	149.80
1997				87.00	100.00	135.00	138.40	148.80	174.60
1998					40.00	59.20	66.60	78.20	78.20
1999									
2000									
2001									
2002									
2003									
2004					14.20	20.40	25.00	36.40	60.80
2005					41.20	52.20	64.00	90.20	99.60
2006					22.80	36.40	66.20	94.40	152.60
2007					29.40	40.00	40.20	40.20	40.60
2008					44.00	64.00	64.00	64.00	70.20
2009					30.00	48.00	54.00	76.00	101.40
2010									
2011						50.60	80.60	95.20	124.80
2012						47.80	66.80	80.20	94.20

Grazie a questi dati si possono calcolare delle Curve di Possibilità Pluviometrica, ove si dispongono di massimi di precipitazione per diverse durate, attraverso il metodo statistico che utilizza la distribuzione di Gumbel. Nella presente analisi si ricorre al metodo dei momenti per la determinazione dei parametri della distribuzione di Gumbel. Pertanto, si calcolano la media μ e la deviazione standard σ delle altezze di precipitazione a disposizione per ognuna delle durate considerate:

$$\mu = \frac{\sum_k^m h_k}{m} \qquad \sigma = \frac{\sum_k^m (h_k - \mu)^2}{m - 1}$$

dove l'indice k rappresenta il valore di precipitazione h nell'anno k-esimo e m il numero totale di anni considerati. Ottenuti questi valori per tutte le durate disponibili, si procede con il calcolo dei 2 parametri della distribuzione di Gumbel u e α , per mezzo delle seguenti formule:

$$\alpha = \frac{\pi}{\sigma\sqrt{6}} \cong \frac{1.2825}{\sigma} \qquad u = \mu - \frac{\gamma}{\alpha} = \mu - \frac{\gamma\sqrt{6}}{\pi}\sigma = \mu - 0.45\sigma$$

in cui $\gamma = 0.577$.

Successivamente, utilizzando i due parametri della distribuzione per ciascuna durata e per ognuna delle stazioni considerate, è possibile calcolare l'altezza di precipitazione in riferimento di ogni durata ed in funzione dei diversi tempi di ritorno T_r tramite:

$$h = u - \frac{1}{\alpha} \ln \left(\ln \left(\frac{T_r}{T_r - 1} \right) \right)$$

Infine, applicando la regressione lineare per interpolare le altezze di precipitazione ricavate per ognuno dei tempi di ritorno, riferiti a ciascuna delle durate considerate e per ogni stazione scelta, si ottengono i coefficienti a e n delle Curve di Possibilità Pluviometrica, espresse dalla seguente generica equazione:

$$h = at^n$$

dove h è l'altezza di precipitazione e t è la durata di precipitazione.



In Tabella 5-2 si riportano i risultati dell'analisi statistica condotta per ottenere i parametri della distribuzione di Gumbel, mentre in Tabella 5-3 sono elencati i coefficienti delle Curve di Possibilità Pluviometrica calcolate in funzione del tempo di ritorno e considerando sia le durate di precipitazione minori o uguali all'ora che quelle maggiori o uguali. Le CPP sono rappresentate graficamente in Figura 5-1.

Tabella 5-2: Numerosità e momenti del campione di dati di precipitazione e parametri della distribuzione di Gumbel

Stazione di Genova Università									
	Durata - t [min]				Durata - t [h]				
	10	15	20	30	1	3	6	12	24
N anni	34	20	33	29	69	71	71	71	74
μ	18.25	21.33	29.00	35.74	47.09	72.65	88.55	113.00	137.93
σ	5.66	8.98	12.49	16.58	22.00	39.06	46.37	64.20	76.15
u	15.71	17.28	23.38	28.29	37.19	55.08	67.69	84.11	103.67
α	0.23	0.14	0.10	0.08	0.06	0.03	0.03	0.02	0.02

Tabella 5-3: Coefficienti delle Curve di Possibilità Pluviometrica in funzione del tempo di ritorno

Tempo di ritorno	Durata - $t_p \leq 1$ h		Durata - $t_p \geq 1$ h	
	a	n	a	n
2	45.34	0.54	44.54	0.33
5	67.02	0.5940	65.19	0.3509
10	81.45	0.62	78.87	0.36
20	95.33	0.63	91.98	0.36
50	113.32	0.6502	108.96	0.3668
100	126.81	0.6597	121.68	0.3692
200	140.27	0.6674	134.35	0.3712

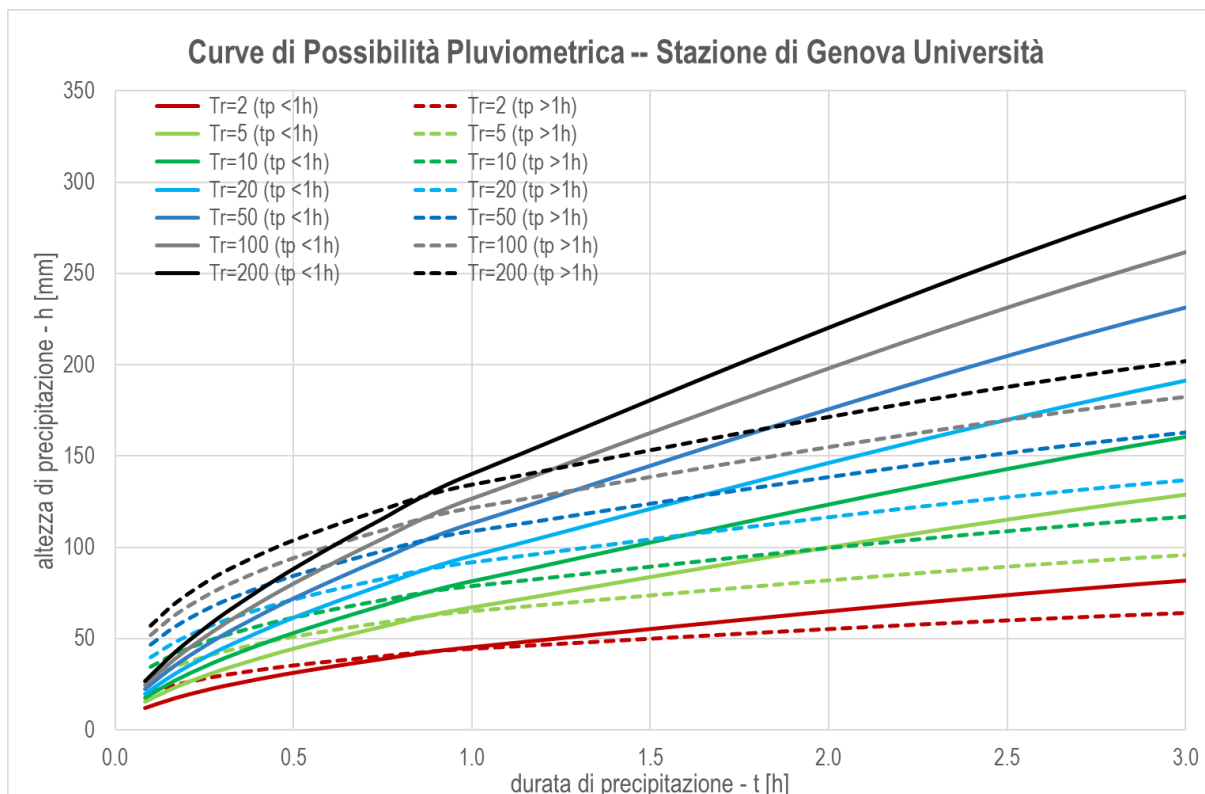


Figura 5-1: Curve di Possibilità Pluviometrica calcolate per la stazione di Genova Università

5.2 Durata critica della precipitazione

La durata di pioggia critica si t_{cr} assume usualmente pari alla somma del tempo di formazione del deflusso superficiale (t_f) e del tempo di corrivazione (t_{corr}):

$$t_{cr} = t_{corr} + t_f$$

Si precisa subito che nel presente caso di studio, date le dimensioni molto contenute e le condizioni di impermeabilità elevata dei bacini imbriferi considerati, il tempo di formazione si assume trascurabile.

La durata di pioggia critica risulta pari, dunque, al tempo di corrivazione, il quale, sulla base delle dimensioni dei bacini imbriferi, viene calcolato per mezzo delle seguenti formulazioni empiriche:

- Formula di **Viparelli** – Ottenuta da bacini pedemontani è stata calcolata ponendo in relazione a velocità dell'acqua, pendenze medie e tipologia dei terreni:

$$t_{corr}[h] = \frac{L_a}{3,6 \cdot V}$$

- Formula di **Ventura** – Valida per bacini con $A < 40 \text{ km}^2$:

$$t_{corr}[h] = 0,1272 \cdot \left(\frac{S}{i_a}\right)^{\frac{1}{2}}$$

- Formula di **Pasini** – Valida per bacini con $A < 40 \text{ km}^2$:

$$t_{corr}[h] = \frac{0,108(S \cdot L_a)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{i_a}}$$

- Formula di **Pezzoli** – Studiata su piccoli bacini montani piemontesi. Valida per bacini di superficie $A < 20 \text{ km}^2$:

$$t_{corr}[h] = \frac{0,055 \cdot L_a}{\sqrt{i_a}}$$



- Formula **SCS** – Calcolata per piccoli bacini rurali degli Stati Uniti. Tende a sottostimare il tempo di corrivazione:

$$t_{corr}[h] = \frac{100 \cdot L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{1100 \sqrt{i_b}}$$

Le formule su esposte considerano i parametri morfometrici esposti in Tabella 4-2 e che la velocità media di scorrimento V , utilizzata nella formula di Viparelli, sia pari a 1 m/s.

Il procedimento qui adottato si basa sul calcolo del tempo di corrivazione con le formule elencate e con il calcolo successivo della media fra i valori ottenuti. I risultati numerici sono riportati in Tabella 5-4.

Tabella 5-4: Tempi di corrivazione calcolati per i due bacini considerati e valore medio

Formula	Maltempo (Naturale)		Torbella	
	t_{corr} [h]	t_{corr} [min]	t_{corr} [h]	t_{corr} [min]
Viparelli	0.28	17	1.49	90
Ventura	0.14	9	0.42	25
Pasini	0.10	8	0.55	28
Pezzoli	0.51	5	1.44	26
SCS	0.13	19	0.47	111
Media	0.19	11	0.43	56

5.3 Calcolo della massima precipitazione

5.3.1 Scelta delle Curve di Possibilità Pluviometrica e calcolo della massima precipitazione lorda

Sulla base del precedente calcolo delle Curve di Possibilità Pluviometrica e della stima dei tempi di corrivazione e durata critica della precipitazione caratteristici dei due bacini considerati, si è ritenuto opportuno scegliere le Curve di Possibilità Pluviometrica calcolate a partire dai massimi storici di precipitazione, registrati per eventi di durata inferiore all'ora. In Figura 5-2 e Figura 5-3. I rispettivi valori sono riportati in Tabella 5-5 e Tabella 5-6.

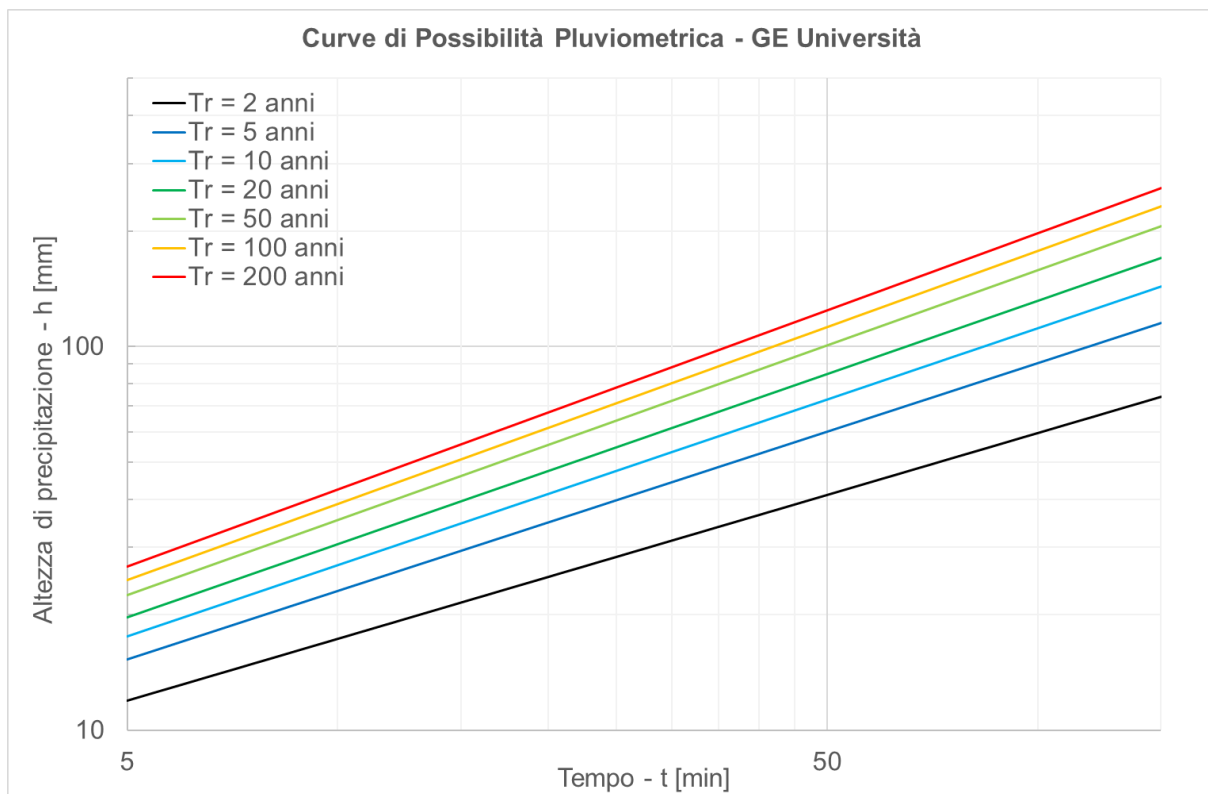


Figura 5-2: Massima altezza di precipitazione espressa dalle Curve di Possibilità Pluviometrica, ottenuta da durate < 1h, per i Tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 anni (grafico in scala logaritmica)

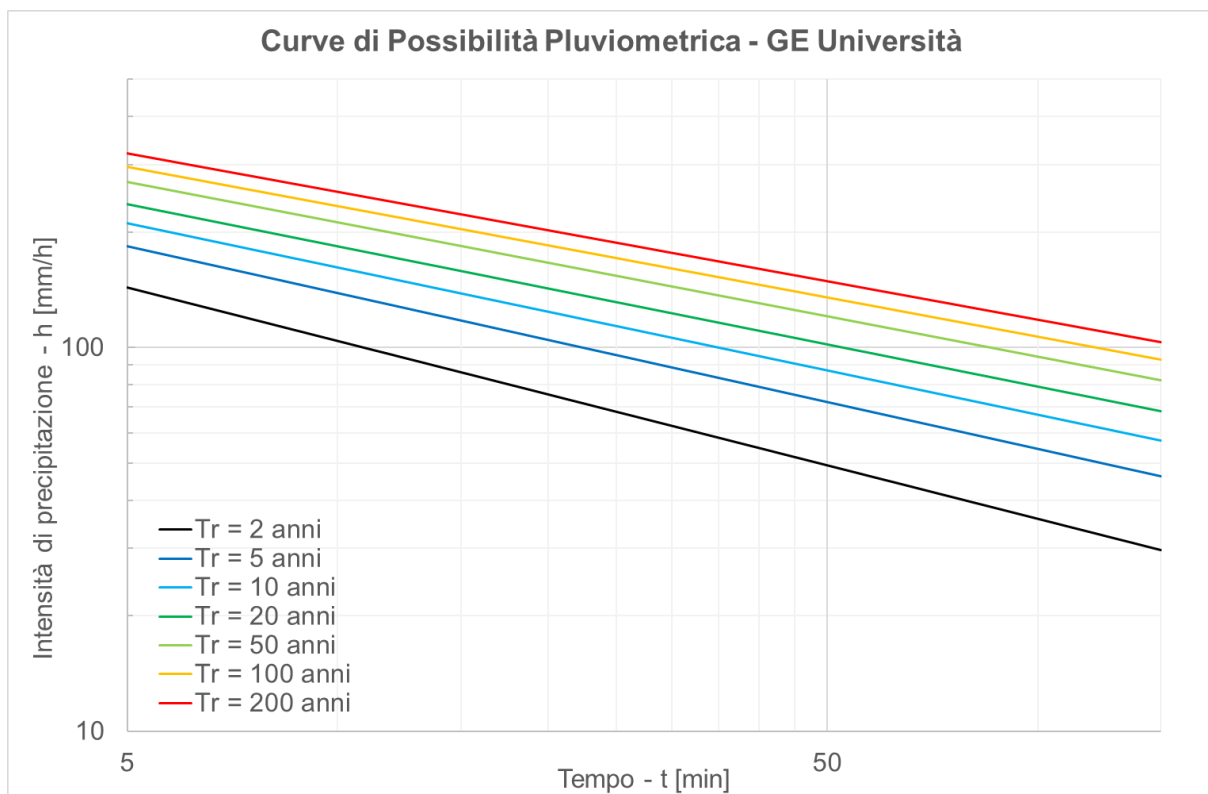


Figura 5-3: Massima intensità di precipitazione espressa dalle Curve di Possibilità Pluviometrica, ottenuta da durate < 1h, per i Tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200 anni (grafico in scala logaritmica)

c_d9969.Comune di Genova - Prot. 17/09/2022.0350547.E



Tabella 5-5: Valori delle altezze di precipitazione per le Curve di Possibilità Pluviometrica

Altezze di precipitazione [mm] - GE Università							
Durata [min]	Tempo di ritorno [anni]						
	Tr = 2 anni	Tr = 5 anni	Tr = 10 anni	Tr = 20 anni	Tr = 50 anni	Tr = 100 anni	Tr = 200 anni
5	11.95	15.32	17.56	19.72	22.52	24.62	26.71
10	17.33	23.12	26.94	30.61	35.34	38.89	42.42
15	21.54	29.42	34.61	39.58	46.01	50.82	55.61
20	25.14	34.90	41.33	47.50	55.47	61.44	67.38
25	28.34	39.84	47.44	54.72	64.13	71.18	78.20
30	31.25	44.40	53.09	61.42	72.20	80.28	88.32
35	33.95	48.66	58.39	67.73	79.81	88.87	97.89
40	36.47	52.68	63.41	73.72	87.05	97.05	107.02
45	38.85	56.49	68.20	79.43	93.98	104.89	115.77
50	41.11	60.14	72.78	84.92	100.65	112.44	124.20
55	43.27	63.64	77.19	90.21	107.08	119.74	132.36
60	45.34	67.02	81.45	95.33	113.32	126.81	140.27
65	47.33	70.28	85.58	100.29	119.37	133.69	147.97
70	49.25	73.45	89.58	105.11	125.26	140.39	155.47
75	51.11	76.52	93.48	109.81	131.01	146.93	162.80
80	52.91	79.51	97.28	114.40	136.63	153.32	169.97
85	54.66	82.42	100.99	118.88	142.12	159.57	176.98
90	56.36	85.27	104.62	123.27	147.50	165.70	183.87
95	58.02	88.05	108.17	127.57	152.78	171.72	190.62
100	59.64	90.78	111.65	131.79	157.96	177.63	197.26
105	61.22	93.45	115.07	135.93	163.05	183.44	203.79
110	62.77	96.07	118.42	140.00	168.06	189.16	210.22
115	64.29	98.64	121.72	144.00	172.99	194.79	216.55
120	65.77	101.16	124.96	147.94	177.84	200.33	222.79
125	67.23	103.64	128.15	151.82	182.63	205.80	228.94
130	68.66	106.09	131.29	155.64	187.35	211.19	235.01
135	70.06	108.49	134.38	159.41	192.00	216.52	241.01
140	71.44	110.86	137.43	163.13	196.59	221.78	246.93
145	72.80	113.20	140.44	166.80	201.13	226.97	252.78
150	74.14	115.50	143.41	170.43	205.61	232.10	258.57

c_d969.Comune di Genova - Prot. 17/09/2022.0350547.E



Tabella 5-6: Valori delle intensità di precipitazione per le Curve di Possibilità Pluviometrica

Intensità di precipitazione [mm/h] - GE Università							
Durata [min]	Tempo di ritorno [anni]						
	Tr = 2 anni	Tr = 5 anni	Tr = 10 anni	Tr = 20 anni	Tr = 50 anni	Tr = 100 anni	Tr = 200 anni
5	143.36	183.81	210.75	236.65	270.23	295.42	320.53
10	103.99	138.72	161.66	183.64	212.06	233.34	254.54
15	86.18	117.67	138.43	158.32	184.02	203.27	222.43
20	75.43	104.69	124.00	142.50	166.41	184.31	202.14
25	68.02	95.63	113.86	131.32	153.91	170.83	187.68
30	62.51	88.80	106.19	122.85	144.40	160.55	176.64
35	58.20	83.42	100.10	116.11	136.83	152.35	167.81
40	54.71	79.01	95.12	110.57	130.58	145.58	160.52
45	51.80	75.32	90.93	105.91	125.31	139.86	154.36
50	49.34	72.17	87.34	101.90	120.78	134.93	149.04
55	47.20	69.43	84.21	98.41	116.82	130.63	144.39
60	45.34	67.02	81.45	95.33	113.32	126.81	140.27
65	43.69	64.88	78.99	92.57	110.19	123.41	136.59
70	42.21	62.95	76.79	90.10	107.37	120.33	133.26
75	40.89	61.22	74.79	87.85	104.81	117.54	130.24
80	39.68	59.63	72.96	85.80	102.47	114.99	127.47
85	38.58	58.18	71.29	83.92	100.32	112.64	124.93
90	37.57	56.85	69.75	82.18	98.33	110.47	122.58
95	36.64	55.61	68.32	80.57	96.49	108.46	120.39
100	35.78	54.47	66.99	79.07	94.78	106.58	118.36
105	34.98	53.40	65.75	77.67	93.17	104.82	116.45
110	34.24	52.40	64.59	76.36	91.67	103.18	114.66
115	33.54	51.46	63.50	75.13	90.26	101.63	112.98
120	32.89	50.58	62.48	73.97	88.92	100.17	111.39
125	32.27	49.75	61.51	72.87	87.66	98.78	109.89
130	31.69	48.96	60.59	71.84	86.47	97.47	108.47
135	31.14	48.22	59.73	70.85	85.33	96.23	107.12
140	30.62	47.51	58.90	69.91	84.25	95.05	105.83
145	30.13	46.84	58.11	69.02	83.23	93.92	104.60
150	29.66	46.20	57.37	68.17	82.25	92.84	103.43

c_d9969 - Comune di Genova - Prot. 17/09/2022.0350547.E



5.3.2 Stima della massima precipitazione netta

L'infiltrazione costituisce il fenomeno di maggiore rilevanza per la determinazione del bilancio tra pioggia sul bacino e pioggia efficace ai fini del deflusso in alveo. A tal proposito si definiscono:

- infiltrazione, la velocità con cui l'acqua viene sottratta dalla superficie del suolo;
- capacità d'infiltrazione, la massima velocità con cui un suolo, in qualsiasi condizione, è capace di assorbire acqua.

Se l'entità di pioggia è inferiore alla capacità di infiltrazione, l'infiltrazione coinciderà con la pioggia stessa; nel caso contrario l'infiltrazione coinciderà con la capacità di infiltrazione e l'eccesso di pioggia rispetto a questa darà luogo al deflusso superficiale o ruscellamento. Risulta quindi fondamentale conoscere il valore della capacità di infiltrazione dei diversi suoli, nelle varie condizioni. La capacità di infiltrazione dipende non solo dalla tessitura del terreno, ma anche dallo stato dello strato superficiale di questo e, istante per istante, dallo spessore del suolo saturo d'acqua.

Vi sono in generale due differenti approcci per determinare l'andamento nel tempo della capacità di infiltrazione: uno è basato sull'interpretazione teorica del fenomeno della infiltrazione, mentre l'altro tende a rappresentare tale fenomeno attraverso metodi di tipo empirico. Per le applicazioni pratiche i metodi empirici o idrologici sono molto diffusi, in quanto di più semplice implementazione e di uso più consolidato. Nel caso in esame, la procedura utilizzata per il calcolo delle perdite, è quella del “Curve Number” (CN) del Soil Conservation Service. Questa procedura, sviluppata nel 1972, viene ormai largamente utilizzata per l'interpretazione della dinamica temporale delle perdite, anche se originariamente non fu proposta a tale scopo.

La procedura si basa sull'utilizzo della seguente equazione:

$$h_{netta}(t) = \frac{[H(t) - I]^2}{H(t) - I + S}$$

nella quale:

- $h_{netta}(t)$ [mm] è l'altezza di pioggia netta di durata t ;
- $H(t)$ [mm] è l'altezza di pioggia lorda di stessa durata t ;
- S [-] è l'altezza d'acqua massima immagazzinabile nel terreno a saturazione;
- I [-] è l'assorbimento iniziale, che viene assunto usualmente pari a $0.2 S$.

Il valore di S dipende dal valore del parametro CN, caratteristico del terreno, attraverso la relazione:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

I valori del CN vengono normalmente determinati in funzione delle caratteristiche di permeabilità del terreno e dell'uso del suolo dello stesso. Relativamente alla permeabilità, il Soil Conservation Service distingue quattro diversi tipi di suolo le cui caratteristiche vengono riportate nella Tabella 5-7.



Tabella 5-7: Caratteristiche dei suoli secondo il Soil Conservation Service

Tipo del suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso Comprende forti spessori di sabbie con scarsissimo limo e argilla; anche forti spessori di ghiaie profonde e molto permeabili
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa Comprende la maggior parte degli strati sabbiosi meno spessi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità d'infiltrazione anche a saturazione
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità d'argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità d'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 vicinanza della superficie.

Con riferimento a condizioni standard di umidità del terreno agli inizi dell'evento di pioggia (“AMC”, Antecedent Moisture Condition, di classe II) vengono riportati in letteratura i valori del CN per i diversi usi del suolo possibili sul territorio di un bacino idrografico. Per condizioni antecedenti l'evento di precipitazione molto umide (AMC di classe III) o molto asciutte (AMC di classe I) i valori del parametro CN vanno modificati in relazione alle curve e tabelle sperimentali determinate dal Soil Conservation Service.

Per tali curve è stata determinata anche una funzione di interpolazione, per renderne più agevole l'utilizzo. Le formulazioni per il calcolo del CN in condizioni molto asciutte e molto umide sono le seguenti:

$$CN_{AMCI} = \frac{4.2 \cdot CN}{10 - 0.058 \cdot CN}$$

$$CN_{AMCIII} = \frac{23 \cdot CN}{10 + 0.13 \cdot CN}$$

Le condizioni di umidità antecedenti l'evento, secondo il Soil Conservation Service, possono essere ricavate sulla base della precipitazione complessivamente caduta nei 5 giorni precedenti l'evento considerato, secondo quanto riportato nella tabella seguente.

Tabella 5-8: Definizione delle condizioni di umidità iniziale sulla base dei valori di precipitazione cumulata nei 5 giorni antecedenti l'evento critico

Classe di AMC	Precipitazione totale nei 5 giorni precedenti l'evento [mm]	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 12.7	< 35.5
II	12.7 – 28.0	35.5 – 53.3
III	> 28.0	> 53.3

Nel presente studio si seguono le assunzioni del Piano di Bacino del torrente Polcevera, in cui si dice che:

“Per il Torrente Polcevera è stato considerato un CN=90 costante per tutto il bacino, corrispondente a situazioni iniziali critiche ovvero a condizioni di elevata saturazione del terreno”.



6. IDROLOGIA: CALCOLO DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA E PORTATE AL COLMO

Al fine di definire la portata di progetto per il rio Maltempo e per il rio Torbella, vengono calcolati gli idrogrammi di piena per un evento duecentennale, per mezzo del metodo indiretto dell'idrogramma unitario di Clark. Inoltre, si riporta il calcolo della portata al colmo del rio Maltempo attraverso il metodo diretto CIMA, utilizzato nel Piano di Bacino del Polcevera per definire le portate di progetto.

6.1 Metodo indiretto: calcolo degli idrogrammi di piena

La stima dell'idrogramma di piena viene condotta implementando un modello di calcolo numerico, chiamato HEC – HMS, che si compone delle seguenti fasi (Figura 6-1), ovvero:

- schema concettuale del bacino;
- modello meteorologico;
- modello di infiltrazione;
- modello di trasformazione afflussi-deflussi;
- modello di calcolo del deflusso profondo (baseflow).

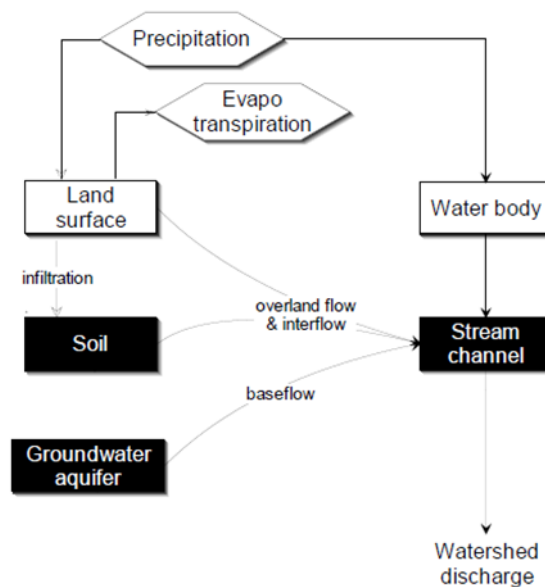


Figura 6-1: Schema concettuale (flow diagram) dell’algoritmo di calcolo dell’idrogramma di piena

Nel seguito si espongono i riferimenti che caratterizzano le fasi di calcolo implementate.

6.2 Schema concettuale del bacino

Vengono concettualmente riprodotti i bacini contribuenti sottesi dalla sezione della traversa, di superficie pari a 0.63 km² nel caso del rio Maltempo e 5.03 km² nel caso del rio Torbella. Assegnata la precipitazione, ovvero l’afflusso, il deflusso dal bacino è stimato sottraendo le perdite per infiltrazione profonda, o per eventuale evapotraspirazione, e trasformando il ruscellamento in portata di deflusso alla sezione di chiusura. In fase decadente della piena, si aggiunge anche il contributo del deflusso profondo (baseflow).



6.3 Modello meteorologico

Il modello meteorologico consiste nell'introduzione dello ietogramma con forma e valori inseriti dall'utente (*Specified Hyetograph*). In questo caso si assegnano ietogrammi costanti, allo scopo di simulare eventi della durata critica per ciascun bacino. Tali eventi ed i relativi ietogrammi vengono specificato nel seguito.

6.4 Modello di infiltrazione

Si impiega il modello SCS, corrispondente a quanto già descritto in precedenza. Per tutte le simulazioni si considerano:

- Curve Number: $CN = 90$ (condizioni umide);
- Assorbimento iniziale: $I_a = 5.64 \text{ mm}$;

6.5 Modello di calcolo del deflusso profondo

Il calcolo del deflusso profondo viene svolto con il modello di regressione:

$$Q(t) = Q_0 \cdot k^t$$

nella quale:

- Portata iniziale pari a 0;
- Costante di regressione $k = 0.3$;
- Portata di soglia pari a $0.1 Q_c$, dove con Q_c si intende la portata al colmo.

6.6 Modello di trasformazione afflussi-deflussi

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi restituisce l'idrogramma alla sezione di chiusura del bacino determinato dal contributo dovuto al ruscellamento.

Il deflusso generato dai versanti viene propagato alla rete idrografica e alla sezione di chiusura del sottobacino utilizzando la tecnica dell'idrogramma unitario istantaneo che rappresenta la risposta idrologica di un bacino ad un impulso di pioggia efficace di volume unitario e di durata istantanea. Se l'idrogramma istantaneo unitario viene ipotizzato invariante con il progredire della precipitazione (idrogramma stazionario) e indipendente dalla sua intensità (idrogramma lineare) la risposta del bacino ad uno ietogramma qualsiasi può essere determinato come semplice combinazione lineare di tutti gli impulsi unitari. Per il presente studio, si ricorre alla trasformazione afflussi-deflussi mediante l'Idrogramma Unitario di Clark: si tratta di un metodo basato sull'utilizzo di un serbatoio di invaso a comportamento lineare con costante del serbatoio R .

Il volume S_t (Storage) invasato nel serbatoio all'istante t lineare e la corrispondente portata in uscita O_t (Outlet) sono correlati dalla:

$$S_t = R O_t$$

Noto il valore della portata entrante all'istante t (I_t) il modello risolve l'equazione di continuità:

$$\Delta S / \Delta t = I_t - O_t$$

mediante la tecnica delle differenze finite giungendo alla

$$O_t = C_A I_t + C_B O_{t-1}$$

dove C_A e C_B sono coefficienti di propagazione definiti dalle seguenti relazioni



$$C_A = \Delta t / (R + 0.5 \Delta t)$$

$$C_B = 1 - C_A$$

L'espressione della portata in uscita viene accoppiata con un modello del ritardo cinematico (Dooge, 1959) per considerare il tempo richiesto ai deflussi di raggiungere la sezione di chiusura.

Tale modello richiede di specificare i valori relativi a due parametri:

- Il tempo di corrivazione del bacino contribuente t_{corr} ;
- Lo Storage Coefficient R del bacino.

Secondo Eaglin e Wanielista (1997) la costante R (*Storage Coefficient*) può essere posta in prima approssimazione uguale al tempo di corrivazione del bacino ed inoltre il rapporto $R/(t_{corr} + R)$ assume generalmente un valore costante all'interno di regioni idrologiche omogenee variando generalmente da valori prossimi a 0.1, tipici solitamente di idrogrammi caratterizzati da una ramo ascendente ripido, (ad esempio idrogrammi generate da bacini urbani o da bacini ad elevate pendenza media) fino a valori prossimi a 0.7, per idrogrammi relative a bacini agricoli pianeggianti o coperti da boschi, con bassa pendenza media.

Si anticipa già ora che il rapporto $R/(t_{corr} + R)$ pari a 0.23, ovvero $R \cong 0.3 \cdot t_{corr}$, produce in caso di ietogramma orizzontale, e senza valutazione delle perdite per infiltrazione, un valore della portata di picco Q_p corrispondente alle valutazioni eseguite analiticamente con il metodo razionale e alla simulazione numerica eseguita con il modello di trasformazione SCS-UH (idrogramma unitario).

Dal momento che i due bacini analizzati nel presente studio presentano entrambi notevoli pendenza, si sceglie un valore dello *Storage coefficient* relativamente basso, pari a $R = 0.15 \cdot t_{corr}$. Il t_{corr} considerato per i due bacini è rispettivamente pari a $t_{corr,Malt} = 0.19 h$ per il rio Maltempo, che determina $R_{Malt} = 0.028 h$, e pari a $t_{corr,Torb} = 0.93 h$ per il rio Torbella, che determina $R_{Torb} = 0.14 h$.

6.7 Simulazioni effettuate

Si procede alla definizione degli Scenari da simulare per ottenere la portata di progetto e l'idrogramma di piena dei due bacini imbriferi. Seguendo la normativa vigente, il tempo di ritorno di progetto è $T_r = 200$ anni. Verranno, comunque, riportati i risultati anche in riferimento agli altri tempi di ritorno considerati. Gli eventi definiti sono i seguenti:

- **Evento 1:** durata di precipitazione pari al tempo di corrivazione del bacino del rio Maltempo (naturale)
 $t_{corr,Malt} = 0.19 h$.
 Questo evento permette di simulare l'idrogramma di piena solo per il bacino del rio Maltempo, allo scopo di definire la massima portata al colmo che può ricevere in ingresso la galleria scolmatrice;
- **Evento 2:** durata di precipitazione pari al tempo di corrivazione del bacino del rio Maltempo (naturale)
 $t_{corr,Torb} = 0.93 h$.

Questo evento permette di simulare l'idrogramma di piena sia per il bacino del rio Maltempo che per il bacino del rio Torbella. In questo modo è possibile definire la massima portata al colmo del solo rio Torbella, ma anche ottenere gli idrogrammi di piena che un evento critico per il rio Torbella genera su entrambi i corsi d'acqua, al fine di simulare il contributo del rio Maltempo che viene trasferito in queste condizioni nel corso del rio Torbella.

Si sottolinea che in questo caso l'idrogramma del Maltempo verrà sommato a quello del Torbella con un "ritardo" di 5 min: data la lunghezza della galleria scolmatrice pari a circa 600 m, si ipotizza



che con una velocità pari a 1 m/s questo sia il tempo di trasferimento della portata proveniente dal rio Maltempo attraverso lo scolmatore.

Dal momento che i tempi di corrivazione, i quali determinano le durate critiche degli eventi di precipitazione che generano la massima portata al colmo, sono entrambi inferiori all'ora, si assume che le CPP da considerarsi siano quelle calcolate a partire dai dati delle massime precipitazioni registrati durante eventi di breve intensità e, per l'appunto, inferiori all'ora.

6.8 Risultati

Sono riportati di seguito gli idrogrammi risultanti dall'applicazione del modello idrologico precedentemente descritto. In particolare, tali idrogrammi fanno riferimento a:

- Rio Maltempo (naturale) - $t_{corr} = 0.19 h$ (Figura 6-2), ovvero la portata prodotta nella porzione di monte del bacino del rio Maltempo, a seguito di una precipitazione di durata critica pari al tempo di corrivazione del Maltempo stesso (Evento 1);

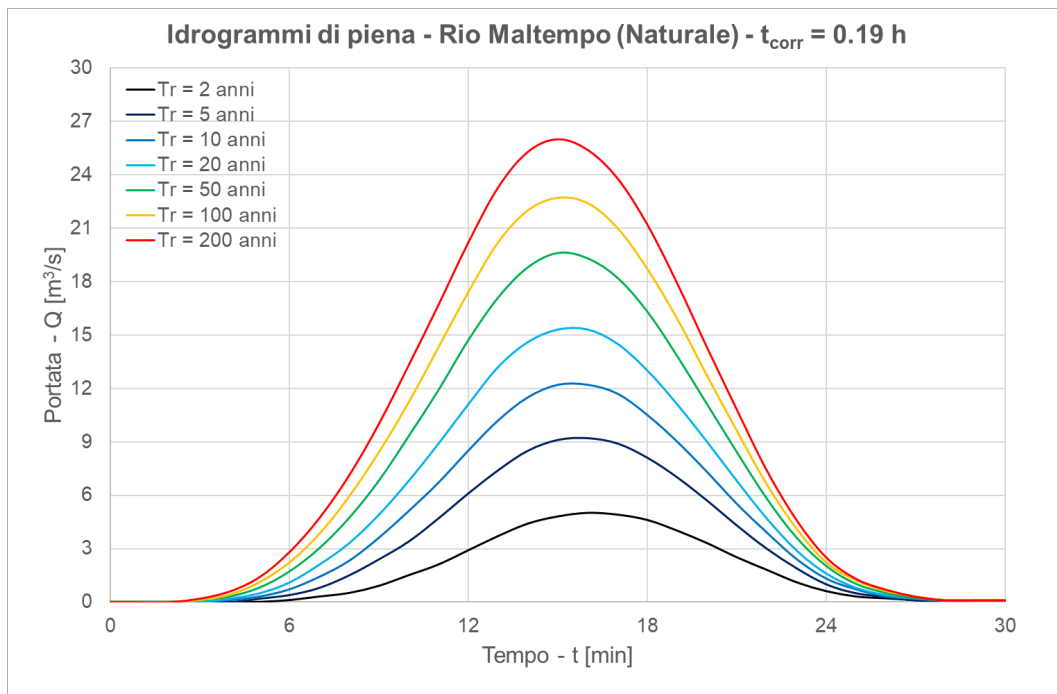


Figura 6-2: Idrogrammi di piena in funzione del tempo di ritorno per il rio Maltempo (Evento 1)

- Rio Maltempo (naturale) - $t_{corr} = 0.93 h$ (Figura 6-3), ovvero la portata prodotta nella porzione di monte del bacino del rio Maltempo, a seguito di una precipitazione di durata critica pari al tempo di corrivazione del t. Torbella (Evento 2);

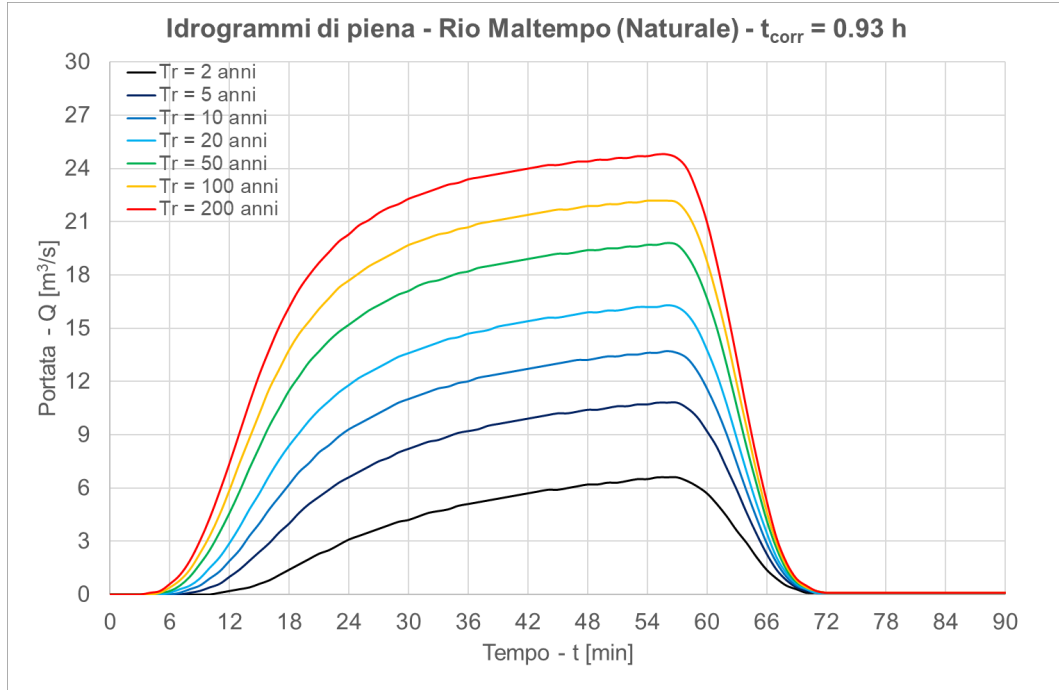


Figura 6-3: Idrogrammi di piena in funzione del tempo di ritorno per il rio Maltempo (Evento 2)

- T. Torbella - $t_{corr} = 0.93 h$ (Figura 6-4), ovvero la portata prodotta nella porzione di monte del bacino del t. Torbella, a seguito di una precipitazione di durata critica pari al tempo di corrivazione del Torbella stesso (Evento 2);

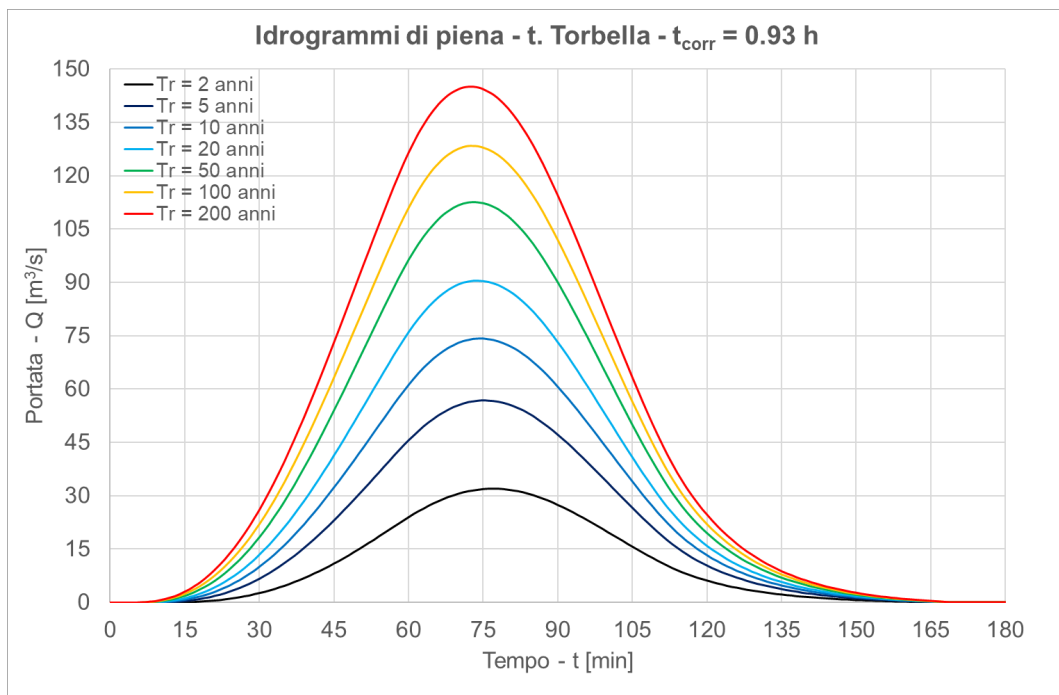


Figura 6-4: Idrogrammi di piena in funzione del tempo di ritorno per il t. Torbella (Evento 2)

I valori delle portate al colmo per ciascuno dei corsi d'acqua e tempi di ritorno sono riportati in sintesi in Tabella 6-1.



Tabella 6-1: Valori delle portate al colmo prodotte dagli eventi simulati

Corso d'acqua	Evento	$Q_{colmo}(T_r) [m^3/s]$						
		2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni	100 anni	200 anni
Maltempo	1	5	9.2	12.2	15.3	19.6	22.7	26
	2	6.6	10.8	13.7	16.3	19.8	22.2	24.8
Torbella	2	32	56.8	74.2	90.4	112.6	128.4	145

6.8.1 Risultati per $T_r = 200$ anni

In Figura 6-5 è rappresentata la curva riferita ad un evento di $T_r = 200$ anni e, inoltre, le altezze di precipitazione per i due differenti Scenari, rispettivamente pari a $H_{Malt} = 48 \text{ mm}$ per l'Evento 1 e $H_{Torb} = 133 \text{ mm}$ per l'Evento 2.

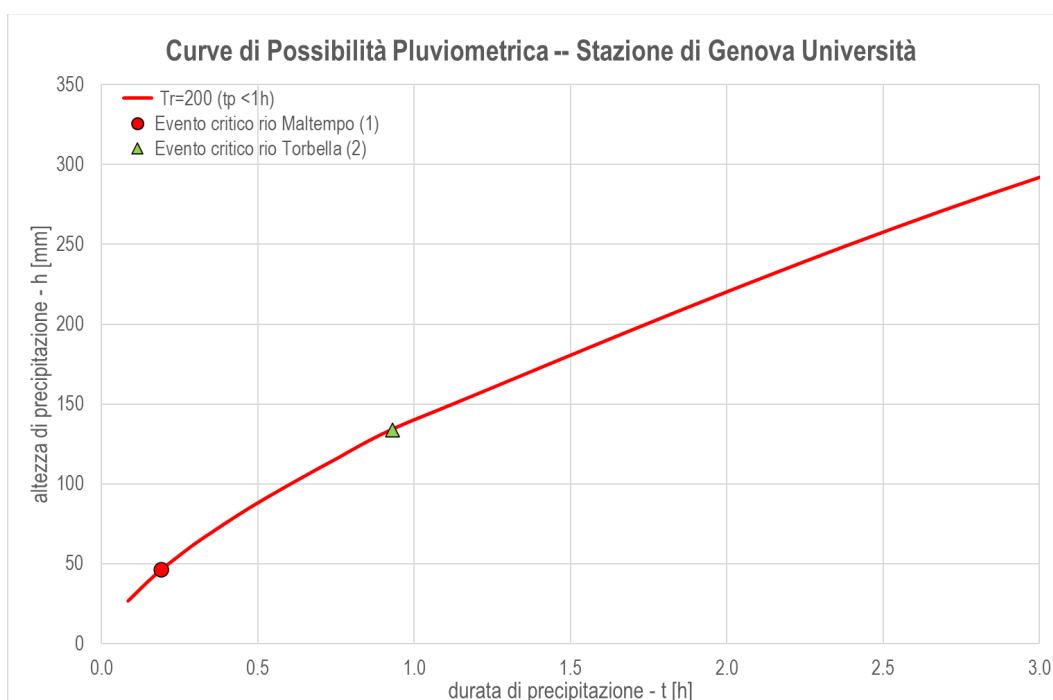


Figura 6-5: Curva di Possibilità Pluviometrica per durate di precipitazioni inferiori all'ora per la stazione di Genova Università ($T_r = 200$ anni) e rappresentazione delle altezze di precipitazione in funzione della durata critica considerate per gli Eventi 1 e 2

I principali risultati delle simulazioni sono riportati in Figura 6-6, dove sono graficati:

- **Prec. Maltempo ($t_p = t_{corr,Malt}$):** ietogramma critico per il bacino del rio Maltempo (Evento 1), di durata (t_p) pari al tempo di corrivazione (t_{corr}) del Maltempo, ovvero circa 11 min (linea continua verde chiaro, in scala secondaria);
- **Prec. Torbella ($t_p = t_{corr,Torb}$):** ietogramma critico per il bacino del rio Torbella (Evento 2), di durata (t_p) pari al tempo di corrivazione (t_{corr}) del Torbella, ovvero circa 56 min (linea continua rosso, in scala secondaria);
- **Q Maltempo ($t_p = t_{corr,Malt}$):** idrogramma di piena prodotto nel bacino del Maltempo dalla cosiddetta "Prec. Maltempo" (Evento 1), con $Q_{c1,Malt} = 26 \text{ m}^3/s$ (linea continua verde);
- **Q Torbella ($t_p = t_{corr,Torb}$):** idrogramma di piena prodotto nel bacino del Torbella dalla cosiddetta "Prec. Torbella" (Evento 2), con $Q_{c2,Torb} = 145 \text{ m}^3/s$ (linea continua rosso scuro);



- **Q Maltempo** ($t_p = t_{corr,Torb}$): idrogramma di piena prodotto nel bacino del Torbella dalla cosiddetta "Prec. Torbella" (Evento 2), con $Q_{c2,Malt} = 24.8 \text{ m}^3/\text{s}$ (linea tratteggiata verde);
- **Q somma**: idrogramma di piena prodotto dalla somma di Torbella + Maltempo prodotto dalla cosiddetta "Prec. Torbella" (Evento 2), con $Q_{c2,somma} = 164 \text{ m}^3/\text{s}$ (linea continua nera).

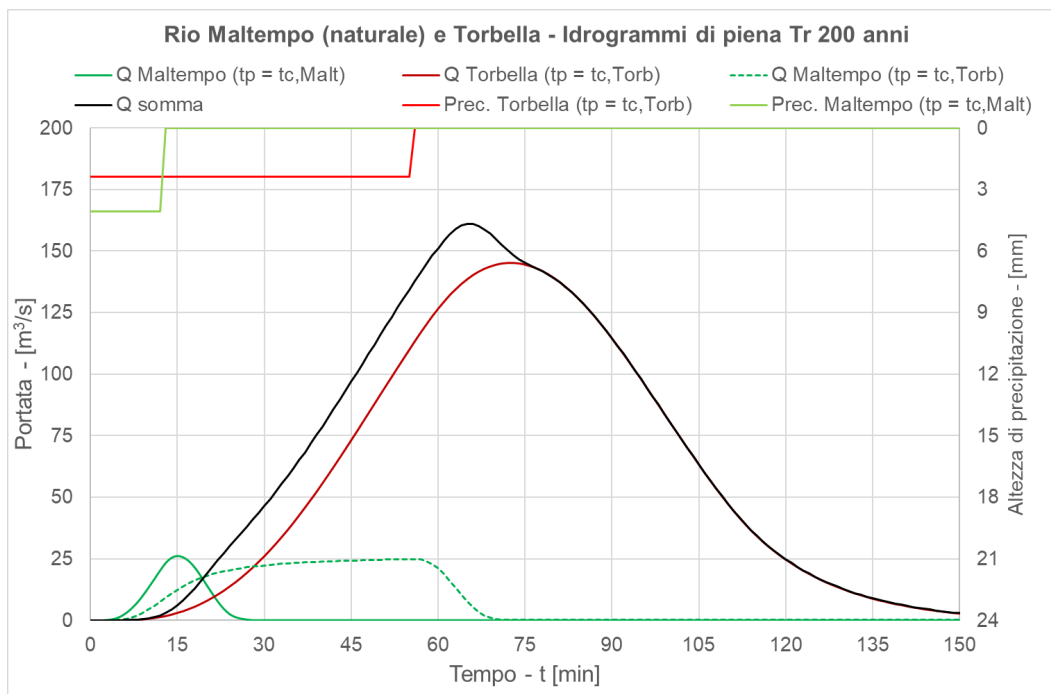


Figura 6-6: Ietogrammi di precipitazione e idrogrammi di piena risultanti negli Scenari 1 e 2 per un evento con $Tr = 200$ anni

Questi risultati possono essere confrontati con i valori calcolati nel Piano di Bacino del t. Polcevera, considerando i valori delle portate di piena al colmo per un evento con tempo di ritorno duecentennale: in particolare, la portata al colmo del rio Torbella $Q_{c2,Torb} = 145 \text{ m}^3/\text{s}$ corrisponde a quella del PdB, mentre quella della porzione non antropizzata del rio Maltempo $Q_{c1,Malt} = 26 \text{ m}^3/\text{s}$ non presenta un riscontro esatto, dal momento che nel PdB si riporta esclusivamente il valore alla foce nel Polcevera, pari a $36.9 \text{ m}^3/\text{s}$, calcolata con il metodo diretto CIMA. Al fine di verificare il valore di portata al colmo del presente studio, si può effettuare un calcolo che considera il contributo specifico del bacino parziale ($q_{Malt,nat}$). In questo modo, è possibile derivare la portata al colmo dell'intero bacino del rio Maltempo ($Q_{c,Malt,foce}$) a partire dalla portata al colmo calcolata per la porzione naturale del bacino, attraverso le seguenti formule:

$$q_{Malt,nat} = \frac{Q_{c1,Malt}}{S_{Malt,nat}} = \frac{26 \text{ m}^3/\text{s}}{0.65 \text{ km}^2} = \frac{40 \text{ m}^3}{\text{s km}^2}$$

$$Q_{c,Malt,foce} = q_{Malt,nat} S_{Malt,foce} = \frac{40 \text{ m}^3}{\text{s km}^2} 0.92 \text{ km}^2 = 36.8 \text{ m}^3/\text{s}$$

6.8.2 Risultati per $Tr = 50$ anni

In Figura 6-5 è rappresentata la curva riferita ad un evento di $Tr = 50$ anni e, inoltre, le altezze di precipitazione per i due differenti Scenari, rispettivamente pari a $H_{Malt} = 48 \text{ mm}$ per l'Evento 1 e $H_{Torb} = 133 \text{ mm}$ per l'Evento 2.

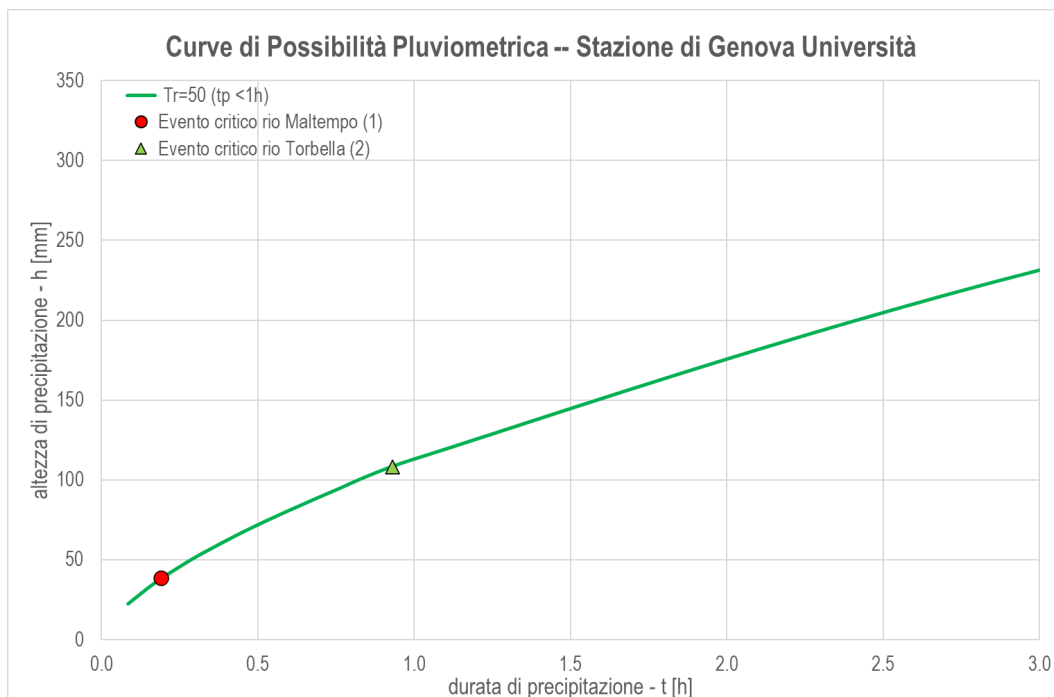


Figura 6-7: Curva di Possibilità Pluviometrica per durate di precipitazioni inferiori all'ora per la stazione di Genova Università ($T_r = 50$ anni) e rappresentazione delle altezze di precipitazione in funzione della durata critica considerate per gli Eventi 1 e 2

I principali risultati delle simulazioni sono riportati in Figura 6-6, dove sono graficati:

- **Prec. Maltempo** ($t_p = t_{corr,Malt}$): ietogramma critico per il bacino del rio Maltempo (Evento 1), di durata (t_p) pari al tempo di corrivazione (t_{corr}) del Maltempo, ovvero circa 11 min (linea continua verde chiaro, in scala secondaria);
- **Prec. Torbella** ($t_p = t_{corr,Torb}$): ietogramma critico per il bacino del rio Torbella (Evento 2), di durata (t_p) pari al tempo di corrivazione (t_{corr}) del Torbella, ovvero circa 56 min (linea continua rosso, in scala secondaria);
- **Q Maltempo** ($t_p = t_{corr,Malt}$): idrogramma di piena prodotto nel bacino del Maltempo dalla cosiddetta “Prec. Maltempo” (Evento 1), con $Q_{c1,Malt} = 19.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (linea continua verde);
- **Q Torbella** ($t_p = t_{corr,Torb}$): idrogramma di piena prodotto nel bacino del Torbella dalla cosiddetta “Prec. Torbella” (Evento 2), con $Q_{c2,Torb} = 112.6 \text{ m}^3/\text{s}$ (linea continua rosso scuro);
- **Q Maltempo** ($t_p = t_{corr,Torb}$): idrogramma di piena prodotto nel bacino del Torbella dalla cosiddetta “Prec. Torbella” (Evento 2), con $Q_{c2,Malt} = 19.8 \text{ m}^3/\text{s}$ (linea tratteggiata verde);
- **Q somma**: idrogramma di piena prodotto dalla somma di Torbella + Maltempo prodotto dalla cosiddetta “Prec. Torbella” (Evento 2), con $Q_{c2,somma} = 125 \text{ m}^3/\text{s}$ (linea continua nera).

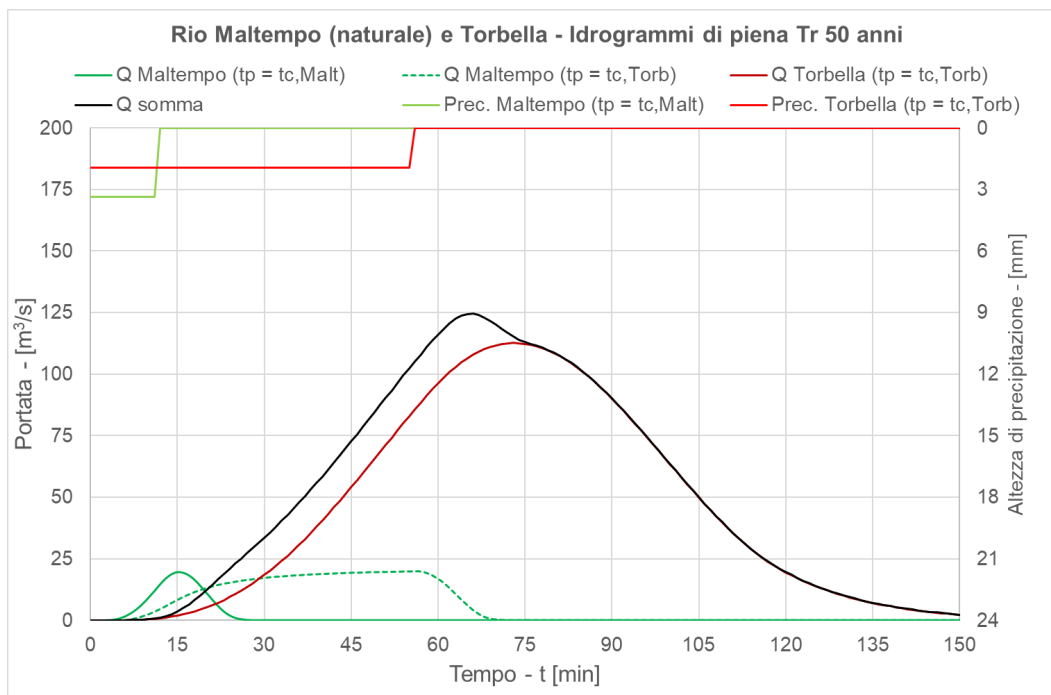


Figura 6-8: Ietogrammi di precipitazione e idrogrammi di piena risultanti negli Scenari 1 e 2 per un evento con $Tr = 50$ anni

Questi risultati possono essere confrontati con i valori calcolati nel Piano di Bacino del t. Polcevera, considerando i valori delle portate di piena al colmo per un evento con tempo di ritorno duecentennale: in particolare, la portata al colmo del rio Torbella $Q_{c2,Torb} = 112.6 \text{ m}^3/\text{s}$ è di poco inferiore a quella del PdB ($115 \text{ m}^3/\text{s}$), mentre quella della porzione non antropizzata del rio Maltempo $Q_{c1,Malt} = 19.6 \text{ m}^3/\text{s}$ non presenta un riscontro esatto, dal momento che nel PdB si riporta esclusivamente il valore alla foce nel Polcevera, pari a $25.5 \text{ m}^3/\text{s}$, calcolata con il metodo diretto CIMA. Al fine di verificare il valore di portata al colmo del presente studio, si può effettuare un calcolo che considera il contributo specifico del bacino parziale ($q_{Malt,nat}$). In questo modo, è possibile derivare la portata al colmo dell'intero bacino del rio Maltempo ($Q_{c,Malt,foce}$) a partire dalla portata al colmo calcolata per la porzione naturale del bacino, attraverso le seguenti formule:

$$q_{Malt,nat} = \frac{Q_{c1,Malt}}{S_{Malt,nat}} = \frac{19.6 \text{ m}^3/\text{s}}{0.65 \text{ km}^2} = \frac{30.15 \text{ m}^3}{\text{s km}^2}$$

$$Q_{c,Malt,foce} = q_{Malt,nat} S_{Malt,foce} = \frac{30.15 \text{ m}^3}{\text{s km}^2} 0.92 \text{ km}^2 = 27.7 \text{ m}^3/\text{s}$$

che risulta di $2 \text{ m}^3/\text{s}$ superiore.

6.9 Metodo diretto CIMA per il rio Maltempo

Il metodo CIMA consente il calcolo delle portate al colmo grazie alla regionalizzazione delle portate di piena con assegnato tempo di ritorno, ottenuta tramite un modello afflussi-deflussi di tipo semi distribuito, tarato e validato sulla base di eventi storici di piena per i quali si avevano a disposizione dati di precipitazione e misure idrometriche. La portata è ottenuta, quindi a partire dalla conoscenza delle precipitazioni intense regionalizzate, delle caratteristiche morfometriche dei bacini imbriferi e delle proprietà di assorbimento dei suoli.

Questo metodo è stato utilizzato nel calcolo delle portate al colmo del rio Maltempo, considerando la



formulazione prevista per i bacini di dimensioni inferiori ai 2 km². Per mezzo della conoscenza di un coefficiente di amplificazione k_T , funzione del tempo di ritorno (Tabella 6-2), è possibile calcolare la portata al colmo sulla base della seguente formula:

$$Q_{C,CIMA} = k_T S U_{A=2}$$

dove S [km²] è la superficie del bacino e $U_{A=2} [\frac{m^3}{s km^2}]$ è il contributo unitario per area pari a 2 km² in funzione della posizione geografica del bacino (in questo caso pari a $8 \frac{m^3}{s km^2}$).

Tabella 6-2: Valori del coefficiente di amplificazione in funzione del tempo di ritorno (Metodo CIMA)

Tempo di ritorno	5	10	30	50	100	200	500
Kt	1.29	1.79	2.9	3.47	4.25	5.02	6.04

Tabella 6-3: Valori delle portate al colmo per il rio Maltempo con il metodo CIMA

		Maltempo (totale)	Maltempo (naturale)	Maltempo (artificiale)
S [km ²]		0.92	0.65	0.27
	Tempo di ritorno			
$Q_{C,CIMA}$ [m ³ /s]	200	36.9	26.1	10.8
	100	31.3	22.1	9.2
	50	25.5	18.0	7.5
	10	13.2	9.3	3.9
	5	9.5	6.7	2.8

Utilizzando il valore indicato per il tempo di ritorno pari a 200 anni, si ottengono i valori di portata al colmo pari a quello calcolato nel Piano di Bacino, dal momento che si utilizza lo stesso metodo. Il valore ottenuto per la porzione naturale del bacino del rio Maltempo è, inoltre, praticamente a quello ottenuto per mezzo del calcolo dell'idrogramma di piena.

6.10 Calcolo delle portate secondo metodologia ex DGR 357/2008

6.10.1 Descrizione metodologia

La procedura di valutazione delle portate secondo questo approccio si basa sul metodo della portata indice, che integra l'informazione idrometrica a scala regionale con l'analisi idrologica di dettaglio dell'assetto del bacino idrografico sotteso dalla sezione fluviale di interesse. Il metodo permette di calcolare la portata al colmo sotto forma di prodotto di due fattori: il fattore di crescita, X_T , valutato a scala regionale, e la portata indice, q_{indice} , valutata a scala di bacino per lo specifico sito fluviale preso in esame. Si ha quindi:

$$q_T = q_{indice} X_T$$

dove q_T indica il valore della portata al colmo che può venire superato con periodo di ritorno T , in anni.

Il fattore di crescita X_T viene determinato in base all'applicazione a scala regionale del modello probabilistico generalizzato del valore estremo, ossia la distribuzione GEV della variabile aleatoria $X = Q/q_{indice}$, dove Q indica il massimo annuale della portata al colmo e la portata indice per il generico sito fluviale corrisponde al valore atteso dei massimi annuali di portata al colmo nel sito stesso. I bacini considerati in questo studio idrologico ricadono all'intero dei confini della regione omogenea di piena "C – Appennino Nord Occidentale e Bacini Tirrenici". I valori del fattore di crescita X_T sono, pertanto, i seguenti:



Tabella 6-4: Valori del fattore di crescita in funzione del tempo di ritorno (Metodo ex DGR 357/2008)

Tempo di ritorno [anni]	2	5	10	20	50	100	200	500
$X_T [-]$	0.79	1.34	1.82	2.38	3.29	4.14	5.17	6.87

Dal momento che i siti fluviali considerati fanno parte di bacini privi di stazioni idrometriche, la stima della portata indice va condotta con metodi indiretti. In particolare, si procede nel seguente modo:

- Viene scelta una stazione pluviometrica di riferimento, situato all'interno del bacino idrografico analizzato o in sua prossimità. Per questa stazione, grazie ai recenti aggiornamenti (Rapporto sull'aggiornamento della climatologia degli estremi, Regione Liguria (ARPAL), 2020), possono essere disponibili sia le Curve di Possibilità Pluviometrica per le durate di precipitazione inferiori all'ora, sia per quelle superiori all'ora.
- Viene applicato un metodo di separazione delle piogge efficaci (in questo caso il metodo CN-SCS);
- Viene calcolata la portata indice attraverso l'applicazione di un modello di trasformazione afflussi-deflussi (in questo caso basato su un IUH di Nash).

I precedenti step richiedono di definire i relativi parametri necessari ai fini del calcolo, tra cui i parametri della Curva di Possibilità Pluviometrica, il valore del CN (tendenzialmente un CNIII che ipotizza condizioni iniziali del bacino umide) ed il numero di serbatoi del modello di Nash. Inoltre, è necessario considerare il tempo di corrivazione del bacino, che si assume essere quello ottenuto dal metodo di Giandotti:

$$t_{corr}[h] = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{(H_m - H_{min})}}$$

Seguendo questo approccio, è possibile ottenere degli idrogrammi di piena, variando la durata dell'evento di precipitazione. Si definisce durata critica la durata che massimizza la portata indice, che è la massima portata al colmo che si ottiene dal confronto di tali idrogrammi. Infine, la portata indice viene moltiplicata per i fattori di crescita che fanno riferimento ai tempi di ritorno necessari.

6.10.2 Applicazione al rio Maltempo e al torrente Torbella

Il calcolo delle portate indice e delle portate per i tempi di ritorno di riferimento viene effettuato considerando le Curve di Possibilità Pluviometrica calcolate per durate inferiori all'ora. La stazione pluviometrica considerata per questi calcoli è quella denominata "Castellaccio", dal momento che risulta essere posizionata ad una quota simile a quella media dei due bacini considerati e, tra le stazioni disponibili con questi dati, la più prossima ai bacini stessi. I valori di riferimento per questa stazione sono indicati nella tabella Tabella 6-5, mentre i parametri di input per il calcolo della portata indice sono riassunti nella successiva Tabella 6-6.

Tabella 6-5: Valori dei parametri delle CPP per la stazione "Genova – Castellaccio", per durate di precipitazione inferiori all'ora

Genova Castellaccio (parametri CPP sub-oraria)	i_0	β	B
	$[-]$	$[-]$	$[-]$
	158.7	0.765	3.78

Tabella 6-6: Valori dei parametri del metodo SCS-SN e dell'IUH di Nash

Metodo SCS - CN			IUH di Nash	
CNII	CNIII	I_A	N° serbatoi	k
$[-]$	$[-]$	$[-]$	$[-]$	$[-]$
79.65	90.00	0.2	3	0.36



Nella Tabella 6-7 vengono riassunti i risultati di questo calcolo per i bacini del rio Maltempo e del torrente Torbella. In particolare, si ricordano la superficie dei bacini ($S [km^2]$), il tempo di corrivazione secondo il metodo di Giandotti ($t_c [min]$), mentre di seguito si riportano i risultati della durata critica di precipitazione ($d_{critica} [min]$), la portata indice ($q_{indice} [m^3/s]$) e le varie portate al colmo ottenute ($Q_{c,357/2008} [m^3/s]$).

Tabella 6-7: Valori delle portate al colmo per il rio Maltempo e per il torrente Torbella con la metodologia ex DGR 357/2008

		Maltempo (naturale)	Torbella
$S [km^2]$		0.65	5.03
$t_c [min]$ - Giandotti		30	86
$d_{critica} [min]$		55	101
$q_{indice} [m^3/s]$		5.15	25.87
	Tempo di ritorno		
$Q_{c,357/2008} [m^3/s]$	200	26.6	133.8
	100	21.3	107.1
	50	16.9	85.1
	20	12.3	61.6
	10	9.4	47.1
	5	6.9	34.8
	2	4.1	20.4

Dall’analisi dei risultati si riscontra che i valori delle portate al colmo ottenute per il tempo di ritorno duecentennale risultano essere approssimativamente identiche (nel caso del rio Maltempo naturale) e inferiori (nel caso del torrente Torbella) a quelle ottenute nella precedente analisi idrologica.



7. CONCLUSIONI

Nell'ambito del Progetto Definitivo per le “Opere di adeguamento idraulico del tratto tombinato di valle del rio Maltempo, affluente del torrente Polcevera” la presente Relazione Idrologica raccoglie la determinazione delle massime portate al colmo per vari tempi di ritorno, tra cui quello duecentennale di progetto. Tali portate sono calcolate a partire dall'analisi delle precipitazioni dell'area d'intervento ed il calcolo delle Curve di Possibilità Pluviometrica.

L'analisi morfometrica dei due bacini ha permesso di stimare attraverso i metodi tipicamente utilizzati per questo tipo di analisi il tempo di corrivazione del bacino (pari a $t_{corr,Malt} = 11 \text{ min}$ per il Maltempo e $t_{corr,Torb} = 56 \text{ min}$ per il Torbella).

L'analisi pluviometrica e morfometrica ha così consentito di calcolare gli idrogrammi di piena che si realizzano nei bacini del rio Maltempo, nella sua porzione alta, e in quello del torrente Torbella, ricorrendo alla stima della massima precipitazione netta con il metodo SCS ed applicando il metodo indiretto si trasformazione afflussi-deflussi dell'idrogramma unitario di Clark, riconducibile al metodo razionale.

Sono stati quindi definiti due differenti eventi di precipitazione, al fine di calcolare la massima portata al colmo del rio Maltempo (Evento 1) e la massima portata al colmo del t. Torbella (Evento 2), considerando in questo ultimo caso anche l'idrogramma prodotto nel rio Maltempo che verrebbe trasferito verso il t. Torbella attraverso la galleria scolmatrice. Sono state, quindi, definite le massime portate al colmo per l'evento duecentennale ($Q_{c1,Malt,200} = 26 \text{ m}^3/\text{s}$ per il Maltempo e $Q_{c2,Torb,200} = 164 \text{ m}^3/\text{s}$ per il Torbella), che sono quelle da tenere in considerazione per la definizione della portata di progetto, e per l'evento cinquantennale ($Q_{c1,Malt,50} = 19.8 \text{ m}^3/\text{s}$ per il Maltempo e $Q_{c2,Torb,50} = 125 \text{ m}^3/\text{s}$ per il Torbella).

Inoltre, sono state calcolate le portate al colmo seguendo la metodologia CIMA (per il rio Maltempo) e quella ex DGR 357/2008, la quale ha fornito come risultati dei valori uguali e inferiori a quelle calcolate in precedenza. In Tabella 7-1 si riassumono i risultati e si evidenzia il valore scelto in questa analisi idrologica per la successiva analisi idraulica.

Tabella 7-1: Risultati del presente studio idrologico per il rio Maltempo e il torrente Torbella e confronti con le metodologie di calcolo

		rio Maltempo (naturale)						
$Q_c [m^3/s]$		Tr (anni)						
		2	5	10	20	50	100	200
$Q_c [m^3/s]$	Piano di bacino (adattato da bacino totale)	-	-	-	-	18.0	-	26.1
	Analisi idrologica	5	9.2	12.2	15.3	19.6	22.7	26
	Metodo CIMA	-	6.7	9.3	18.0	22.1	-	26.1
	Metodo ex DGR 357/2008	4.1	6.9	9.4	12.3	16.9	21.3	26.6
		torrente Torbella						
$Q_c [m^3/s]$		Tr (anni)						
		2	5	10	20	50	100	200
$Q_c [m^3/s]$	Piano di bacino	-	-	-	-	115	-	145
	Analisi idrologica	32	56.8	74.2	90.4	112.6	128.4	145
	Metodo ex DGR 357/2008	20.4	34.8	47.1	61.6	85.1	107.1	133.8



Infine, sono state calcolate le portate al colmo prodotte nella porzione di valle del rio Maltempo, attraverso il metodo diretto CIMA sviluppato per bacini di piccole dimensioni e adottato dal PdB del t. Polcevera. Anche in questo caso sono state così determinate le massime portate al colmo per l'evento duecentennale ($Q_{c,CIMA,Malt,200} = 10.8 m^3/s$) e cinquantennale ($Q_{c,CIMA,Malt,50} = 7.5 m^3/s$).

In questo modo, è possibile utilizzare tali portate come condizioni al contorno nella modellazione idraulica degli interventi di sistemazione idraulica del t. Torbella e di adeguamento del tratto tombato del rio Maltempo, le cui analisi sono riportate nella Relazione Idraulica allegata al presente Progetto.



8. BIBLIOGRAFIA

- Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, Regione Liguria, “Piani di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico – Torrente Polcevera. Relazione generale e Verifiche idrauliche”, Aggiornamento 2021
- T1.6.11. Rapporto sull'aggiornamento della climatologia degli estremi, Regione Liguria (ARPAL), 2020
- United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service. Technical Release 55: “Urban Hydrology for Small Watersheds”. June 1986. http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf.
- United States Department of Agriculture (USDA), Natural Resources Conservation Service. Part 630 Hydrology, National Engineering Handbook: “Chapter 9: Hydrologic Soil-Cover Complexes”. 210-VI-NEH, July 2004.
- McCarthy, G. T., “The Unit Hydrograph and Flood Routing. Unpublished manuscript presented at a conference of the North Atlantic Division. U.S. Army, Corps of Engineers”, 1938
- SCS (1972). National Engineering Handbook. Section 4, Hydrology. Soil Conservation Service. U.S. Department of Agriculture
- USACE, Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Users Manual, 2020
- USACE, Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Applications Guide, 2017
- Criteri ed indirizzi tecnici per la verifica e valutazione delle portate e degli idrogrammi di piena attraverso studi idrologici di dettaglio nei bacini idrografici liguri - DGR 357/2008