

Provincia di Cuneo  
S.S. 28 del Colle di Nava  
Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir – 564 e al casello A6 "Torino–Savona" – III Lotto (Variante di Mondovì)

**PROGETTO DEFINITIVO**

COD. TO08

PROGETTAZIONE: RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI	MANDATARIA: 	MANDANTI:  <b>POLITECNICA</b> BUILDING FOR HUMANS	<b>MATILDI+PARTNERS</b>
IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:  <i>Ing. Andrea Renso – TECHNITAL</i> <i>Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2413</i>	IL PROGETTISTA: <i>Ing. Andrea Renso – TECHNITAL</i> <i>Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2413</i>  <b>GRUPPO DI PROGETTAZIONE:</b> COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E PROGETTAZIONE STRADALE: <i>Ing. Carlo Vittorio Matildi – MATILDI + PARTNERS</i> <i>Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. 6457/A</i> COORDINAMENTO PROGETTAZIONE E COORDINATORE STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE: <i>Ing. Edoardo Piccoli – TECHNITAL</i> <i>Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A3381</i> OPERE D'ARTE MAGGIORI GALLERIA: <i>Ing. Corrado Pesce – TECHNITAL</i> <i>Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A1984</i> OPERE D'ARTE MAGGIORI PONTI E MINORI: <i>Ing. Stefano Isani – MATILDI + PARTNERS</i> <i>Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A4550</i> GEOTECNICA: <i>Ing. Alessandro Rizzo – TECHNITAL</i> <i>Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. A19598</i> IDROLOGIA ED IDRAULICA: <i>Ing. Simone Venturini – TECHNITAL</i> <i>Ordine Ingegneri Provincia di Verona n. A2515</i>		
IL GEOLOGO:  <i>Geol. Emanuele Fresia – TECHNITAL</i> <i>Ordine Geologi Veneto n. A501</i>	IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:  <i>Ing. Paolo Barrasso – MATILDI + PARTNERS</i> <i>Ordine Ingegneri Provincia di Bologna n. A9513</i>		
VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:  <i>Ing. Giuseppe Danilo Malgeri</i>			
PROTOCOLLO:	DATA:		

04 – IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

CODICE PROGETTO 	NOME FILE <b>04.02_P00_ID00_IDR_RE01_B</b>	PROGR. ELAB. <b>04.02</b>	REV.	SCALA:		
	CODICE ELAB. 			–		
<b>D</b>						
<b>C</b>						
<b>B</b>	REVISIONE A SEGUITO ISTRUTTORIA ANAS	Mag. 2020	Technital	Follesa	Venturini	Renso
<b>A</b>	EMISSIONE	Mar. 2020	Technital	Follesa	Venturini	Renso
REV.	DESCRIZIONE	DATA	SOCIETA'	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DEI BACINI IMBRIFERI .....</b>	<b>2</b>
2.1	Estrazione dei bacini imbriferi .....	2
2.2	Caratteristiche morfologiche del bacino idrografico .....	3
2.3	Pianificazione di assetto idrogeologico .....	8
2.4	Assetto morfologico .....	9
<b>3</b>	<b>STUDIO DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME .....</b>	<b>11</b>
3.1	Introduzione .....	11
3.2	La distribuzione di Gumbel .....	12
3.3	Curve di possibilità pluviometrica .....	13
3.3.1	Studio per la stima delle portate al colmo del fiume Ellero .....	13
3.3.2	Studio per la stima delle portate al colmo del torrente Ermena .....	15
3.3.3	Studio per la stima delle portate nell'idraulica di piattaforma .....	17
<b>4</b>	<b>TRASFORMAZIONE AFFLUSSI - DEFLUSSI .....</b>	<b>20</b>
4.1	Il Metodo SCS-CN .....	20
4.1.1	Determinazione di CN .....	21
4.2	Il Metodo Cinematico .....	29
4.2.1	Calcolo del tempo di corrivazione .....	30
4.2.1	Coefficiente di deflusso di piena .....	31
4.2.2	Fattore di riduzione areale .....	32
4.2.3	Portata al colmo .....	33
<b>5</b>	<b>CALCOLO DELLA PORTATA .....</b>	<b>34</b>

## 1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione vengono trattati gli aspetti idrologici relativi ai bacini idrografici intercettati dal progetto denominato *S.S. 28 del Colle di Nava Lavori di realizzazione della Tangenziale di Mondovì con collegamento alla S.S. 28 Dir - 564 ed al casello A6 "Torino-Savona" - III Lotto (Variante di Mondovì)*.

In particolar modo, vengono trattati gli aspetti idrologici relativi al bacino del fiume Ellero alla sezione di chiusura nei pressi di Mezzavia frazione di Mondovì (CN) alle coordinate geografiche 44.367452 N - 7.809482 E, e al bacino del torrente Ermena alla sezione di chiusura nei pressi di Rione Borgato alle coordinate geografiche 44.380558 N, 7.820701 E, finalizzati alla definizione dell'idrogramma di piena bicentenaria.

Il calcolo della portata di massima piena è stato eseguito in via indiretta, ovvero facendo ricorso a modellazione idrologica per la trasformazione afflussi – deflussi.

Il calcolo dell'idrogramma di piena viene eseguito utilizzando due metodi:

- il metodo di calcolo noto come Metodo cinematico, che quantifica la portata massima generata da un bacino idrografico di un evento di precipitazione ad un assegnato tempo di ritorno costante nel tempo e nello spazio, verificando per una durata di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino;
- il metodo del Soil Conservation Service (SCS) dell'USDA (UnitedStatesDepartmentof Agricolture) che propone di semplificare la piena di progetto con un idrogramma triangolare asimmetrico. Infatti, si è rilevato che mediamente il 37.5% (3/8) del deflusso diretto transitano durante la fase di concentrazione della portata (ramo ascendente dell'idrogramma) e i restanti 5/8 durante la fase di esaurimento.

Nello specifico, per il calcolo della risposta idrologica vengono considerati: le quote altimetriche del bacino, la copertura e l'uso del suolo e la struttura della rete di drenaggio.

Le precipitazioni utilizzate nella modellazione idrologica afflussi – deflussi, derivano direttamente dai dati pluviometrici forniti da Arpa Piemonte per lo svolgimento di tale studio.

## 2 DESCRIZIONE DEI BACINI IMBRIFERI

Nel presente capitolo vengono illustrate le modalità seguite per la definizione del bacino imbrifero del fiume Ellero, chiuso alla sezione di verifica nei pressi di Mezzavia frazione di Mondovì (CN), e del torrente Ermena alla sezione di chiusura nei pressi di Rione Borgato. Il progetto stradale prevede un'intersezione con la rete idrografica del fiume Ellero attraverso l'opera di viadotto, mentre con l'Ermena interseca un'opera secondaria di attraversamento.

### 2.1 Estrazione dei bacini imbriferi

L'estrazione del bacino è stata eseguita mediante l'utilizzo di un software per la gestione dei dati geografici (GIS) e del GeoPortale di Regione Piemonte. In tal modo è stato possibile definire l'estensione e le caratteristiche morfologiche del bacino chiuso presso la sezione di riferimento.

L'applicativo divide secondo gerarchia i bacini prevedendo per cui in ordine di importanza:

- Bacini idrografici di 1° livello
- Bacini idrografici di 2° livello
- Bacini idrografici di 3° livello

I bacini idrografici di 3° livello sono composti da uno o più bacini di 2° livello e questi ultimi sono costituiti da uno o più bacini di 1° livello.

Essendo il torrente Ermena un affluente del fiume Ellero, entrambi sono compresi nel bacino idrografico di 3° livello del Bacino del Tanaro in Figura 1. Lo stesso è suddiviso in tre bacini idrografici di 2° livello Bobore-Triversa, Basso Tanaro e Alto Tanaro quest'ultimo che comprende il fiume oggetto dell'analisi idraulica. Questi due fiumi fanno parte delle rete idrografica minore del bacino del Tanaro nella parte montana e collinare.

Per la definizione della morfologia del territorio ci si è avvalsi delle mappe di topografia e reticolo idrografico presenti nel GIS di Regione Piemonte e rielaborazioni con il programma QGIS.

In particolare, è possibile ricavare:

- Perimetro ed area di ogni bacino indagato
- Quote assolute del bacino indagato
- Lunghezza delle aste fluviali

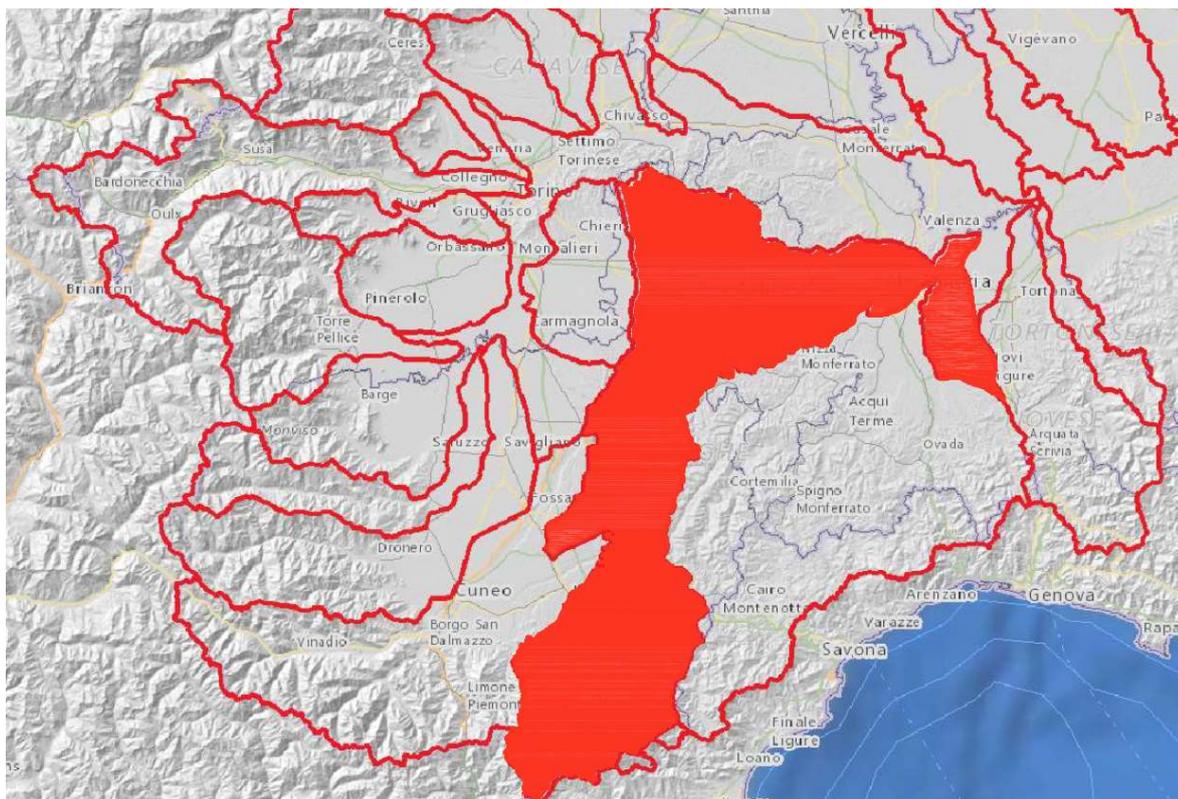


Figura 1: Bacino idrografico di 3° livello del fiume Tanaro.

## 2.2 Caratteristiche morfologiche del bacino idrografico

Dall'analisi delle mappe digitali e delle elaborazioni eseguite è stato possibile caratterizzare ulteriormente i bacini attraverso l'uso di parametri morfometrici o valori globali che indicano le caratteristiche geomorfologiche dei bacini stessi.

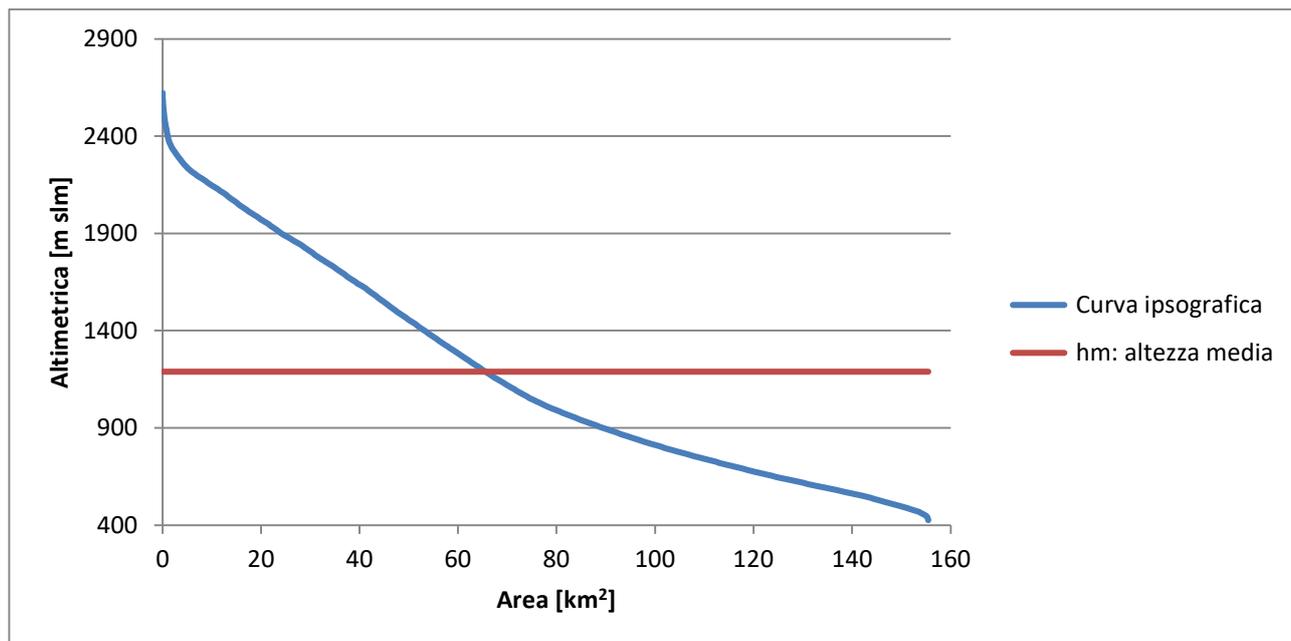
### Bacino del fiume Ellero

Dai risultati dell'elaborazione eseguita emerge che il bacino idrografico del fiume Ellero chiuso a quota 430 m s.l.m., ovvero in corrispondenza della sezione studiata, presenta un'estensione di 153 km<sup>2</sup> ed un perimetro di circa 68 km.

Il bacino si estende tra la massima quota di circa 2630 m s.l.m. fino alla sezione di chiusura (quota 430 m s.l.m. circa); la quota media del bacino, intesa come la media integrale della curva ipsografica risulta pari a 1435 m s.l.m., mentre il rilievo del bacino (differenza delle quote estreme) corrisponde a circa 2190 m.

La curva ipsografica (*Figura 2*) fornisce la distribuzione delle superfici nelle diverse fasce altimetriche. L'integrale della curva integrale della curva ipsografica rappresenta il volume del rilievo. Il rapporto fra tale integrale e l'area del bacino fornisce il valore dell'altitudine media.

$$h_m = \sum h_j \frac{A_j}{A} = \frac{\sum h_j A_j}{A}$$



*Figura 2: Curva ipsografica del bacino Ellero alla sezione di chiusura di progetto.*

Osservando la forma della curva ipsografica si ha un andamento pressoché costante della quota del bacino in funzione della superficie. Tale andamento è caratteristico dei bacini idrografici di alta quota, come testimonia la quota media del bacino.

Per la pendenza media dell'asta principale del corso d'acqua è stata definita come la pendenza della retta di compenso tracciata, come in *Figura 3*, in cui è riportato il profilo longitudinale del corso d'acqua principale. La retta di compenso è tracciata in modo che le aree A 1 e A2 che ne restano al di sopra e al di sotto siano tra loro uguali. La pendenza così determinata risulta pari al 4%.

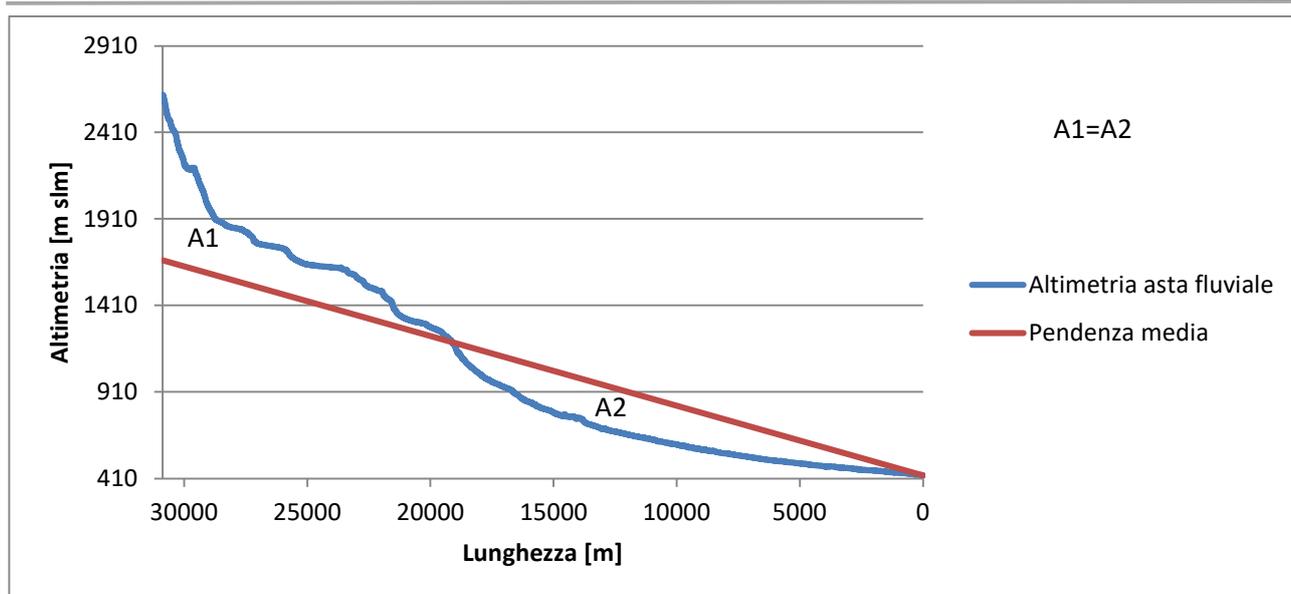


Figura 3: Pendenza media dell'asta fluviale del fiume Ellero eguagliando le aree come in grafico.

### Bacino del torrente Ermena

Per il bacino dell'Ermena chiuso alla quota 411 m s.l.m., ovvero in corrispondenza dell'attraversamento previsto nei pressi di paese Rione Borgato, risulta molto meno esteso presentando un'estensione di 17 km<sup>2</sup>.

Il bacino si estende tra la massima quota di circa 735 m s.l.m. fino alla sezione di chiusura (quota 411 m s.l.m. circa); la quota media del bacino, intesa come la media integrale della curva ipsografica risulta pari a 543 m s.l.m., mentre il rilievo del bacino (differenza delle quote estreme) corrisponde a circa 324 m.

Dalla curva ipsografica (Figura 4) si può notare come la distribuzione delle superfici nelle diverse fasce altimetriche faccia intendere il bacino in uno stadio maturo di equilibrio quindi in una fase di erosione stabile.

Per quanto riguarda la pendenza media dell'asta principale del corso d'acqua Ermena (Figura 5), la pendenza della retta di compenso tracciata corrisponde molto al profilo longitudinale dell'asta. Questo è dovuto al fatto che il bacino in considerazione ha un'area di estensione relativamente piccola come lo è la differenza tra quota massima e minima. La pendenza così determinata risulta pari al 1,5%.

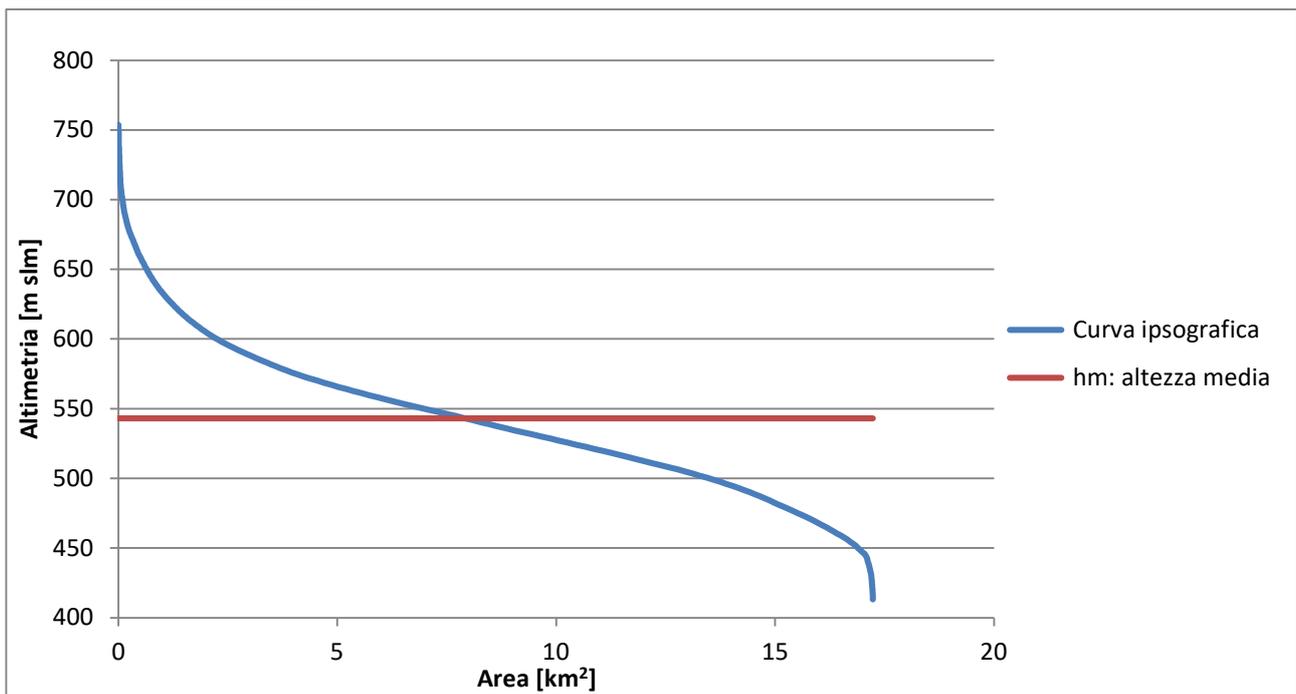


Figura 4: Curva ipsografica del bacino Ermena alla sezione di chiusura di progetto.

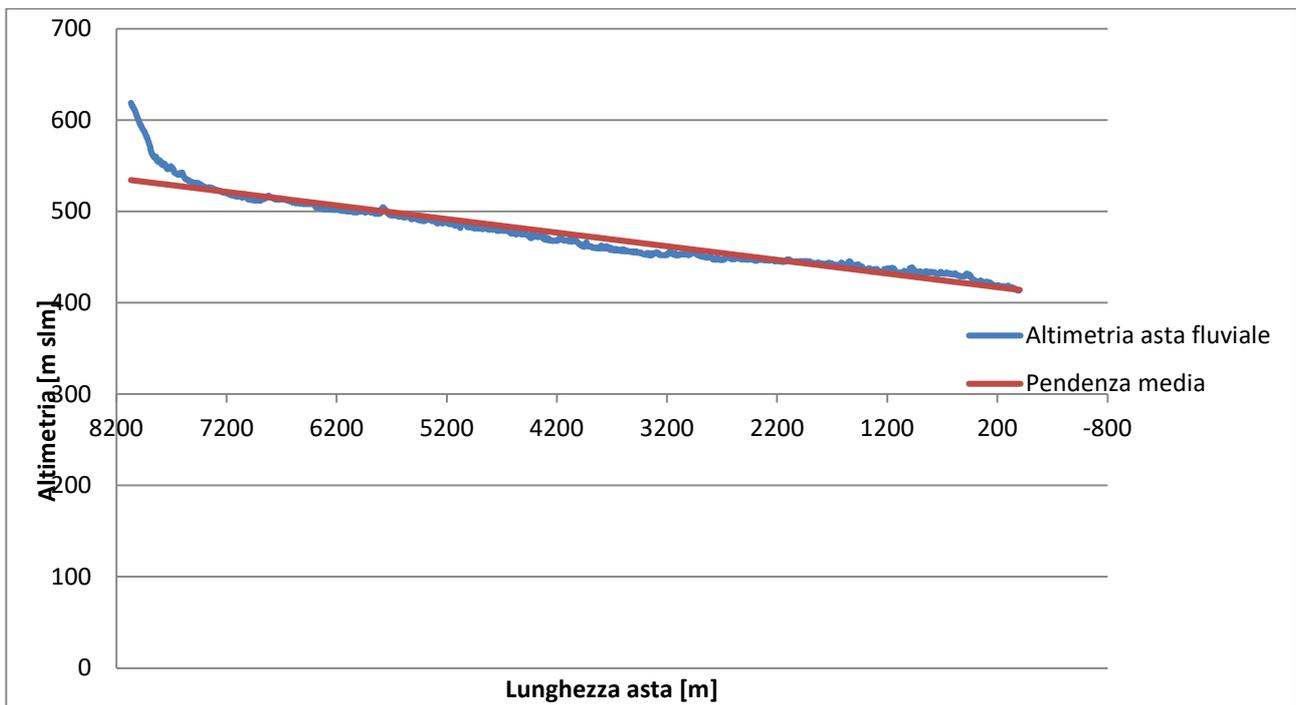


Figura 5: Pendenza media dell'asta fluviale del torrente Ermena eguagliando le aree come in grafico.

Nella tabella seguente vengono riassunte le caratteristiche geomorfologiche dei bacini presi in esame in questo studio alla sezione di chiusura intesa nell'intersezione del reticolo idrografico con l'opera progettuale.

*Tabella 1: Riassunto dei dati morfologici dei due bacini.*

	<b>Bacino fiume Ellero</b>	<b>Bacino torrente Ermena</b>
<b>Area [km<sup>2</sup>]</b>	153	17
<b>Lunghezza asta fluviale [km]</b>	29	8
<b>Pendenza media [m/m]</b>	0.0402	0.0149
<b>Quota media [m slm]</b>	1435	543
<b>Quota min [m slm]</b>	430	411
<b>Quota max [m slm]</b>	2360	735

### 2.3 Pianificazione di assetto idrogeologico

Per la caratterizzazione idrogeologica si allegano gli stralci planimetrici delle carte di pericolosità di alluvione e rischio idrogeologico emessi dall’Autorità di Bacino del fiume Po nel Piano di Gestione del Rischio di alluvioni che attua la Direttiva Europea 2007/60/CE “direttiva alluvioni”, recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010.

Dalla consultazione della carta della pericolosità di alluvione nel bacino di fiume Po (Aggiornamento 2015), l’attraversamento stradale avverrà in aree con probabilità di alluvioni elevata (tr 20/50 anni) (classi di probabilità elevata tr20/50-media tr 100/200-scarsa tr 500).

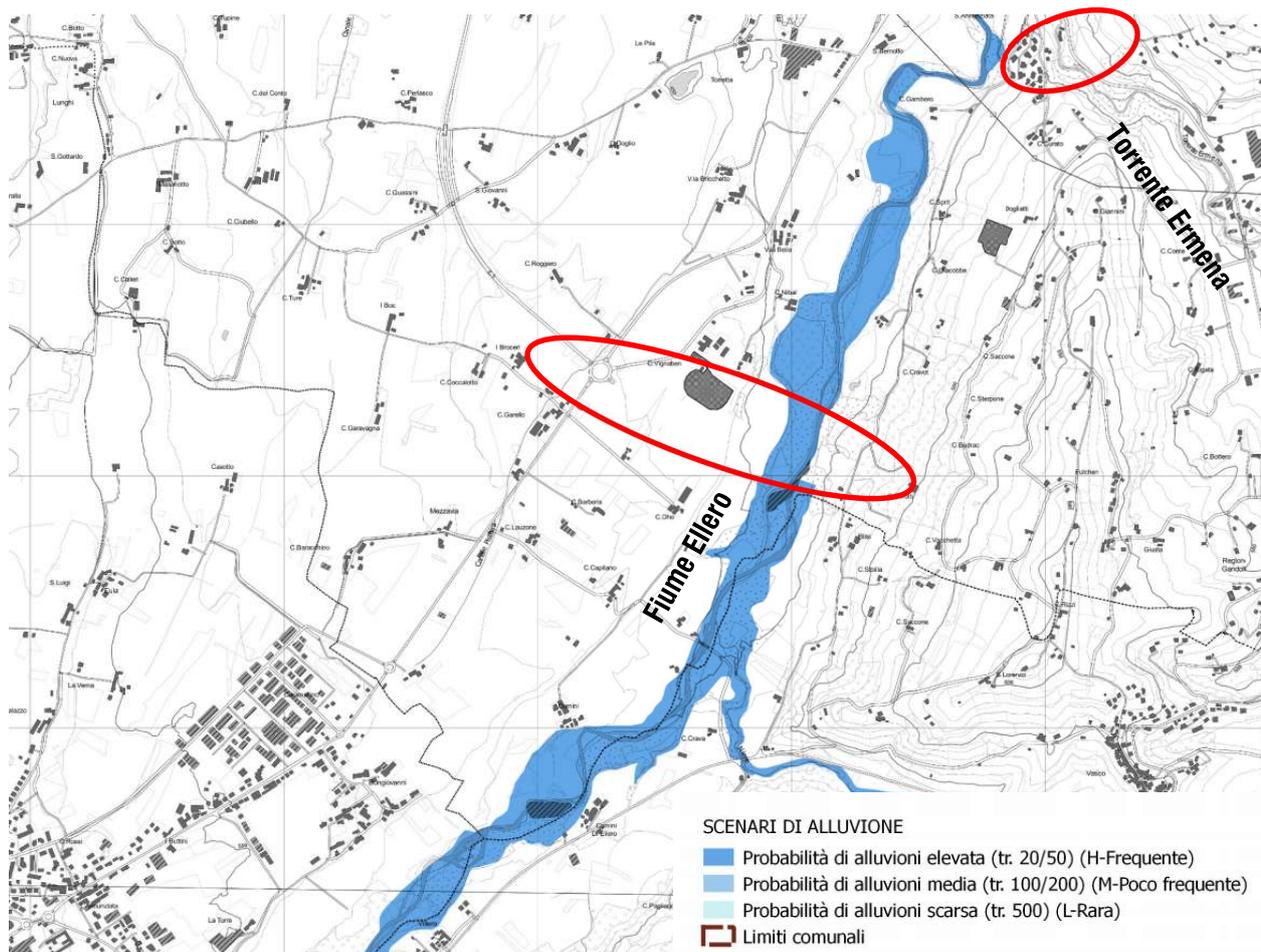


Figura 6: PGRA Autorità di bacino del fiume Po- Carta della pericolosità - Tavola227NW

Dalla consultazione della carta del rischio di alluvione nel bacino di fiume Po (Aggiornamento 2015), l’attraversamento stradale avverrà in aree con classe di rischio prevalentemente di tipo R1 Rischio moderato con alcune aree caratterizzate da classe di rischio di tipo R3 rischio elevato per gli scenari verificati (classi di rischio R1,R2,R3,R4).

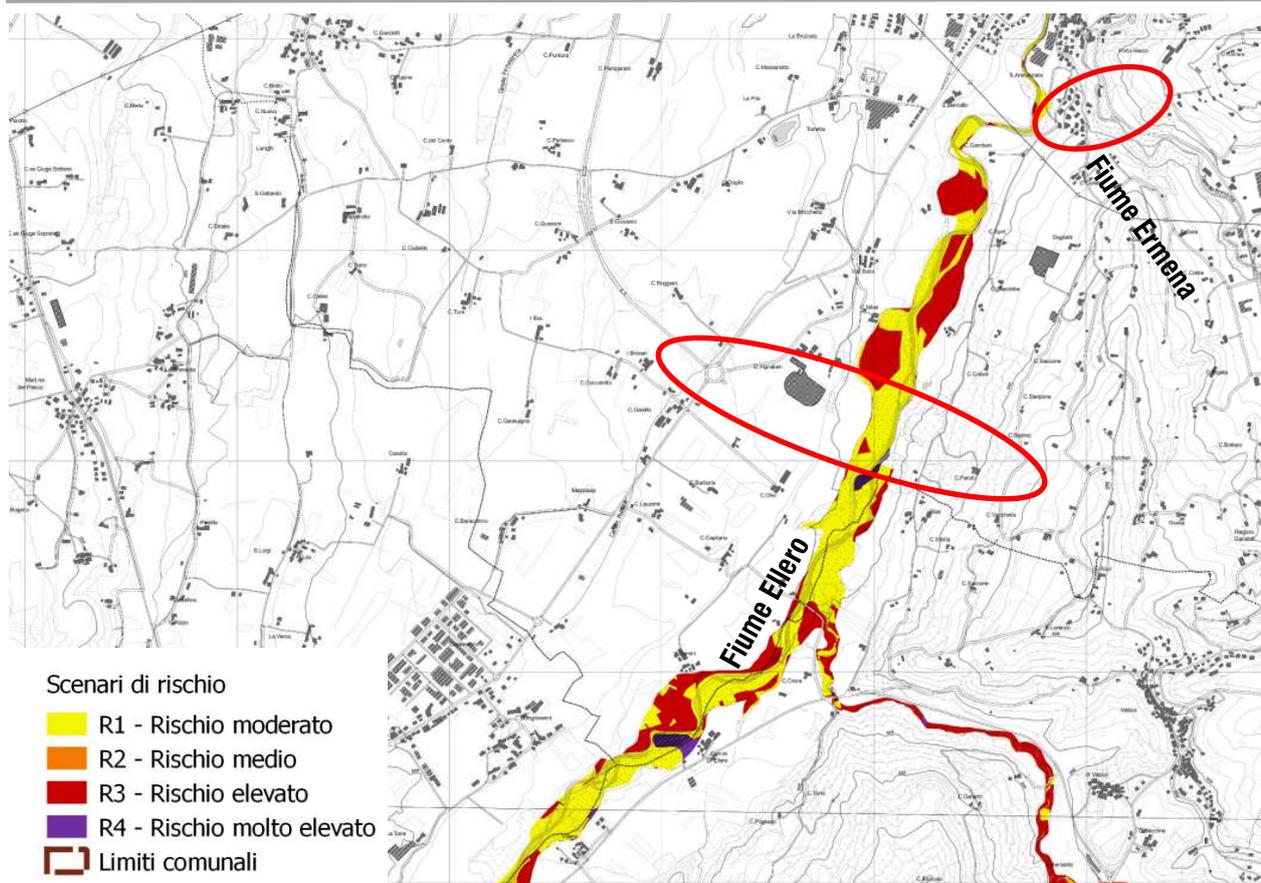


Figura 7: PGRA Autorità di bacino del fiume Po- Carta del rischio - Tavola227NW

## 2.4 Assetto morfologico

Per quanto riguarda la caratterizzazione morfologica del fiume Ellero e del torrente Ermena, si fa riferimento alle informazioni contenute nei seguenti documenti:

- "Analisi e valutazione degli aspetti morfologici - fiume Ellero - attività 2017-2018 Arpa Piemonte"
- "Carta alveo-tipi e portate – BDGeo100 – Arpa Piemonte"
- "Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi –Bacino del Tanaro- Autorità di bacino del fiume Po"

Il tratto del fiume Ellero attraversato dal futuro viadotto previsto da progetto, risulta semi-confinato ed ha un tracciato sinuoso orientato secondo una direzione Sud-Nord. Si evidenzia la presenza di una traversa di derivazione circa 1 km a monte del viadotto in progetto, la quale, pur non ostacolando il flusso idrico, ha lievemente alterato la deposizione dei sedimenti. La presenza di una ulteriore traversa circa 1,5 km a valle del viadotto in progetto non lascia presupporre abbassamenti generalizzati del fondo alveo.



Figura 8: Tratto del fiume Ellero oggetto di studio, con l'indicazione delle traverse esistenti tratto da Carta alveo-tipi e portate – BDGeo100 – Arpa Piemonte.

Nelle “Linee generali di assetto idrogeologico per il bacino del Tanaro – AdBPO”, per il tratto dell’Ellero compreso tra Roccaforte Mondovì alla confluenza in Tanaro, che comprende anche il tratto oggetto di studio, vengono indicate erosioni laterali e sovralluvionamenti.

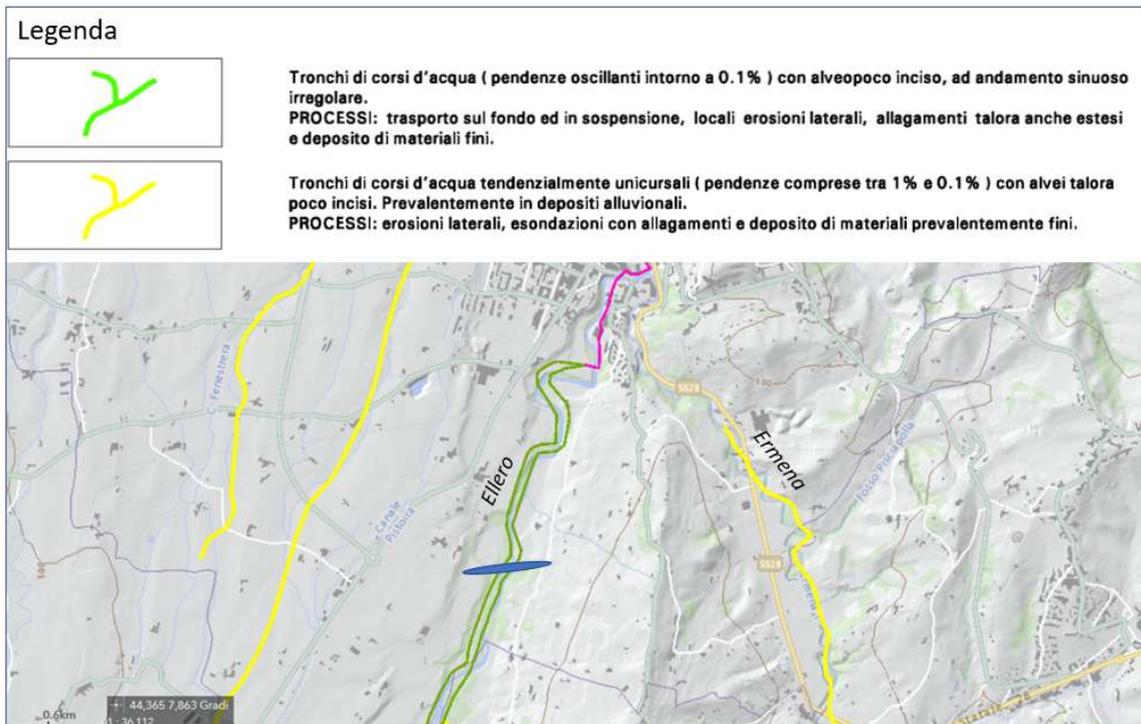


Figura 9. Indicazione dei tronchi di corsi d’acqua estratto dalla Carta Alveo Tipi di Arpa Piemonte.

## 3 STUDIO DELLE PRECIPITAZIONI ESTREME

### 3.1 Introduzione

Nel presente paragrafo ed in quelli che seguiranno, verranno trattati i fenomeni che portano alla determinazione dell'altezza di pioggia per lo studio delle portate fluviali al colmo e dell'idraulica di piattaforma.

L'attenzione è rivolta allo studio degli eventi pluviometrici di particolare intensità, che si concretizza attraverso la determinazione della curva di possibilità climatica o pluviometrica. Le curve di probabilità pluviometrica esprimono la relazione fra le altezze di precipitazione  $h$  e la loro durata  $t$ , per un assegnato valore del periodo di ritorno  $Tr$ .

Diverse formule sono utilizzate per descrivere questa relazione, la più utilizzata è una legge di potenza monomia del tipo:

$$h(\tau, Tr) = a(Tr) \cdot \tau^n$$

dove  $h$  rappresenta altezza di precipitazione;  $\tau$  la durata della precipitazione;  $a$  ed  $n$  sono coefficienti che dipendono dal tempo di ritorno considerato. Per la determinazione delle suddette curve ci si basa sull'analisi delle curve di frequenza (CDF), costruite a partire dalle serie storiche dei massimi annuali delle piogge di durata pari a 10, 20 e 30 minuti e 1, 3, 6, 12, 24 ore, adattando a ciascuna di esse, attraverso la stima dei parametri delle curve di frequenza, un predefinito modello probabilistico (TCEV, Gumbel, etc.).

Le informazioni necessarie sono ricavabili dall'Atlante delle piogge intense, disponibile attraverso il servizio GIS di ARPA Piemonte. L'Atlante consente di ricavare, in un qualsiasi punto del territorio regionale, le quantità di precipitazioni per differenti frequenze di accadimento che rappresentano lo strumento essenziale nella progettazione idraulica e nella valutazione probabilistica delle portate di piena, per le durate da 10 minuti a 24 ore: per l'analisi statistica sono stati analizzati i dati relativi all'intero bacino di riferimento. Il primo atlante veniva realizzato nel 1998 utilizzando le misure di precipitazione rilevate tra il 1928 e il 1985 dalle stazioni meccaniche dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN). Lo sviluppo di reti meteorologiche automatiche avvenuto negli ultimi 20 anni consente oggi di disporre di un'informazione pluviometrica di maggior dettaglio spazio-temporale rispetto al passato. L'analisi statistica ha utilizzato tutta la base dati disponibile comprensiva delle stazioni meccaniche funzionanti dal 1913 al 2002 e di quelle automatiche della rete regionale realizzata a partire dal 1987. Le informazioni pluviometriche sono consultabili su base cartografica attraverso l'applicazione webgis Atlante piogge intense, realizzata dal Sistema Informativo Ambientale di Arpa. Dati aggiornati al 2013.

Per la stima delle portate fluviali al colmo sono stati presi in considerazione i dati medi sull'intera area di bacino interessato, mentre per l'idraulica di piattaforma è stata la cella più gravosa che intersecava il viadotto.

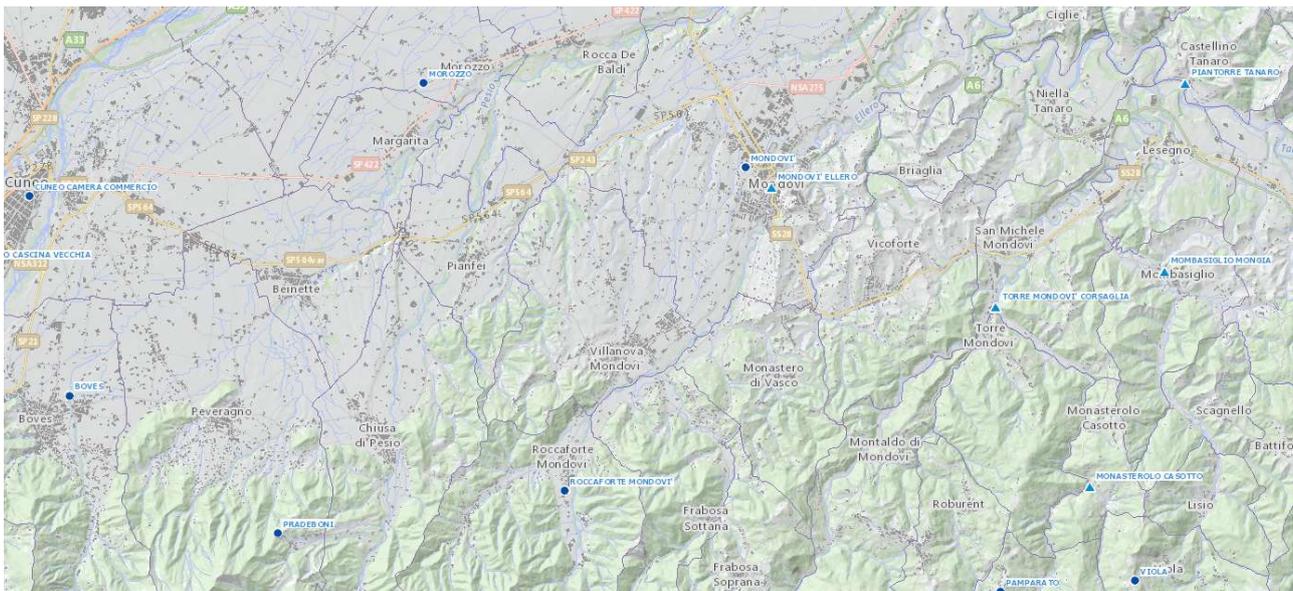


Figura 10: Stazioni pluviometriche più prossime della rete Arpa Piemonte

### 3.2 La distribuzione di Gumbel

Il metodo impiegato è quello statistico-probabilistico di Gumbel, che consente di allargare il campo delle previsioni anche e, soprattutto oltre, quello delle singole osservazioni. Il metodo di Gumbel, avendo base statistica, considera solamente una serie di elementi fra loro indipendenti quali che sono le precipitazioni massime annuali. A tali valori il metodo applica la seguente descrizione statistica:

$$X(\text{Tr}) = \bar{X} + F \cdot S_X$$

dove:

- $X(\text{Tr})$  è il valore dell'evento caratterizzato da un periodo di ritorno  $\text{Tr}$ ,
- $\bar{X}$  è il valore medio degli eventi considerati,
- $S_X$  è la deviazione standard dei valori della serie,
- $F$ , detto fattore di frequenza assume la seguente espressione:

$$F = \frac{Y(\text{Tr}) - \bar{Y}_N}{S_N}$$

dove:

$Y(\text{Tr})$ , detta variabile ridotta, è una grandezza statistica, dipendente esclusivamente dal numero di elementi costituenti la serie e dalla posizione del singolo elemento al suo interno, alla quale viene applicata una distribuzione doppio esponenziale, che ben si adatta a descrivere gli eventi estremi. La distribuzione di probabilità in questione è espressa dalla seguente formulazione algebrica:

$$Y(\text{Tr}) = -\ln\left(-\ln\frac{\text{Tr} - 1}{\text{Tr}}\right)$$

La determinazione del tempo di ritorno  $T_r$ , associato a ciascun evento appartenente alla serie storica, avviene sfruttandone la definizione stessa, quindi disponendo gli  $N$  valori in senso decrescente e osservando quante volte all'interno degli  $N$  anni di osservazione l'evento  $i$ -esimo si è verificato o è stato superato, secondo la relazione:

$$T_r = \frac{N + 1}{i}$$

che sostituita consenta di determinare il valore della variabile ridotta per tutti gli elementi della serie:

$$Y(i) = -\ln\left(-\ln\frac{N + 1 - i}{N + 1}\right)$$

Si procede determinando il valore medio e la deviazione standard della variabile ridotta, secondo le consuete relazioni:

$$\bar{Y}_N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i$$

$$S_N = \left[ \frac{1}{N - 1} \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y}_N)^2 \right]^{1/2}$$

Determinati tutti i contributi del fattore di frequenza  $F$ , la cui espressione può essere sostituita nell'equazione iniziale ottenendo:

$$X(T_r) = \bar{X} - \frac{S_X}{S_N} \bar{Y}_N + \frac{S_X}{S_N} Y(T_r)$$

Le relazioni precedentemente illustrate sono state applicate direttamente da Arpa Piemonte alle precipitazioni massime annuali di durata pari a 10, 20 e 30 minuti e a quelle relative a 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

### 3.3 Curve di possibilità pluviometrica

Determinati i parametri della distribuzione di probabilità doppio esponenziale di Gumbel, relativamente alle diverse durate di pioggia, sono stati calcolati da Arpa Piemonte i parametri  $a$  e  $n$  della curva di possibilità pluviometrica relativamente a vari valori del tempo di ritorno.

#### 3.3.1 Studio per la stima delle portate al colmo del fiume Ellero

La tabella seguente riporta i dati mediati sull'area di interesse delle altezze di precipitazione al variare del tempo di ritorno e durata utilizzati per la determinare la portata del fiume Ellero.

Tabella 2: Le altezze pluviometriche medie sull'area di interesse relative a vari tempi di ritorno utilizzati per determinare la portata al colmo del fiume Ellero (fonte Arpa Piemonte).

<b>Tr (anni)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
<b>Tempo</b>							
10 minuti	11.06	15.58	18.59	21.47	25.19	27.98	30.76
20 minuti	14.88	20.98	25.02	28.90	33.91	37.67	41.41
30 minuti	17.66	24.90	29.69	34.29	40.24	44.70	49.15
1 ora	23.60	33.2	39.69	45.84	53.80	59.76	65.70
3 ore	37.36	52.69	62.85	72.59	85.19	94.64	104.05
6 ore	49.97	70.49	84.08	97.11	113.98	126.62	139.22
12 ore	66.89	94.38	112.57	130.03	152.62	169.55	186.42
24 ore	89.62	124.46	150.85	174.25	204.53	227.22	249.83

Usando il metodo della regressione lineare è possibile determinare l'altezza di progetto relativamente ad ogni tempo di ritorno in cui:

$$hd = a * t^n$$

$$h(Tr) = K(Tr) * hd$$

Tabella 3: I fattori di crescita KT delle curve di possibilità pluviometrica relativi a vari tempi di ritorno per la stima della portata al colmo.

<b>Tr (anni)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
Fattore di crescita KT	1.00	1.41	1.68	1.94	2.28	2.53	2.78

Per lo studio e il calcolo delle portate al colmo del fiume Ellero si sono prese in considerazione le curve di possibilità pluviometrica con durata >1 ora relativi a vari tempi di, come riportato nella seguente tabella.

Tabella 4: I parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica con durata >1ora relativi a vari tempi di ritorno per la stima della portata al colmo.

<b>Tr (anni)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
a	23.60	33.28	39.69	45.84	53.80	59.76	65.70
n	0.419	0.419	0.419	0.419	0.419	0.419	0.419

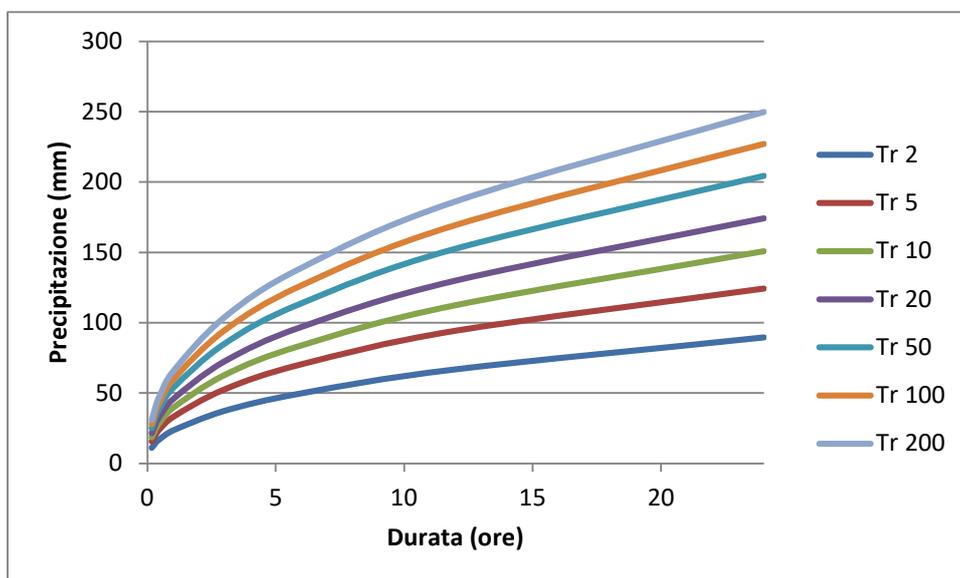


Figura 11: Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per il bacino dell'Ellero.

### 3.3.2 Studio per la stima delle portate al colmo del torrente Ermena

La tabella seguente riporta i dati mediati sull'area di interesse delle altezze di precipitazione al variare del tempo di ritorno e durata utilizzati per la determinare la portata del torrente Ermena.

Tabella 5: Le altezze pluviometriche medie sull'area di interesse relative a vari tempi di ritorno utilizzati per determinare la portata al colmo del torrente Ermena (fonte Arpa Piemonte).

<b>Tr (anni)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
<b>Tempo</b>							
10 minuti	11,22	15,76	18,77	21,66	25,39	28,20	30,99
20 minuti	15,04	21,14	25,18	29,06	34,07	37,83	41,57
30 minuti	17,81	25,04	29,82	34,41	40,35	44,80	49,24
1 ora	23,72	33,35	39,72	45,84	53,76	59,69	65,60
3 ore	37,34	52,51	62,56	72,20	84,68	94,03	103,34

6 ore	49,77	70,02	83,42	96,28	112,92	125,39	137,82
12 ore	66,41	93,43	111,33	128,49	150,71	167,36	183,95
24 ore	88,68	124,80	148,71	171,65	201,34	223,59	245,75

Usando il metodo della regressione lineare è possibile determinare l'altezza di progetto relativamente ad ogni tempo di ritorno in cui:

$$hd = a * t^n$$

$$h(Tr) = K(Tr) * hd$$

Tabella 6: I fattori di crescita KT delle curve di possibilità pluviometrica relativi a vari tempi di ritorno per la stima della portata al colmo del torrente Ermena.

<b>Tr (anni)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
Fattore di crescita KT	1,00	1,41	1,67	1,93	2,27	2,52	2,77

Per lo studio e il calcolo delle portate al colmo del torrente Ermena si sono prese in considerazione le curve di possibilità pluviometrica con durata > 1 ora relativi a vari tempi di, come riportato nella seguente tabella.

Tabella 7: I parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica di durata > 1 ora relativi a vari tempi di ritorno per la stima della portata al colmo del torrente Ermena.

<b>Tr (anni)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
a	23,72	33,35	39,72	45,84	53,76	59,69	65,60
n	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414	0,414

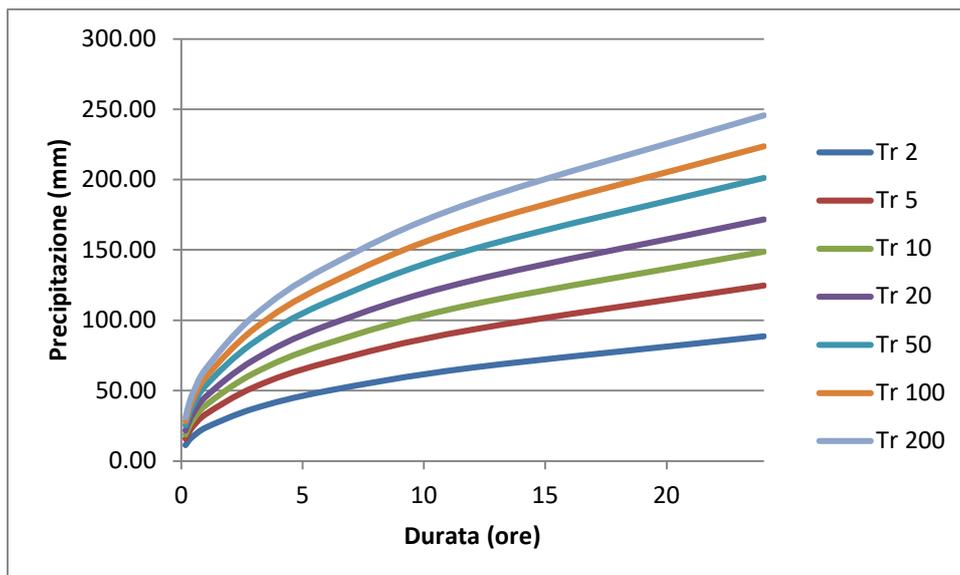


Figura 12: Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per il bacino dell'Ermena.

### 3.3.3 Studio per la stima delle portate nell'idraulica di piattaforma

La tabella seguente riporta i dati delle altezze di precipitazione al variare del tempo di ritorno e durata utilizzati per l'idraulica di piattaforma. Per i calcoli e dimensionamenti della rete di drenaggio è stato utilizzato un'altezza di pioggia con durata inferiore all'ora.

Tabella 8: Le altezze pluviometriche medie sull'area di interesse relative a vari tempi di ritorno utilizzati per l'idraulica di piattaforma (fonte Arpa Piemonte).

<b>Tr (anni)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
<b>Tempo</b>							
10 minuti	13,19	18,19	21,51	24,68	28,80	31,88	34,95
20 minuti	16,95	23,38	27,63	31,71	37,00	40,95	44,90
30 minuti	19,56	26,97	31,88	36,59	42,69	47,26	51,81
1 ora	24,90	34,34	40,59	46,58	54,34	60,16	65,95
3 ore	36,42	50,22	59,36	68,13	79,48	87,99	96,46
6 ore	46,29	63,84	75,46	86,60	101,03	111,84	122,61
12 ore	58,84	81,15	95,92	110,08	128,42	142,16	155,85
24 ore	74,79	103,15	121,92	139,93	163,24	180,71	198,11

Usando il metodo della regressione lineare è possibile determinare l'altezza di progetto relativamente ad ogni tempo di ritorno in cui:

$$hd = a * t^n$$

$$h(Tr) = K(Tr) * hd$$

Tabella 9: I fattori di crescita KT delle curve di possibilità pluviometrica relativi a vari tempi di ritorno per l'idraulica di piattaforma.

<b>Tr (anni)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
Fattore di crescita KT	1,00	1,38	1,63	1,87	2,18	2,42	2,65

Tabella 10: I parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica relativi a vari tempi di ritorno per l'idraulica di piattaforma di durata <1 ora.

<b>Tr (anni)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
a	24,90	34,34	40,59	46,58	54,34	60,16	65,95
n	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351	0,351

Tabella 11: I parametri a e n delle curve di possibilità pluviometrica relativi a vari tempi di ritorno per l'idraulica di piattaforma di durata >1 ora.

<b>Tr (anni)</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>
a	24,90	34,34	40,59	46,58	54,34	60,16	65,95
n	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346	0,346

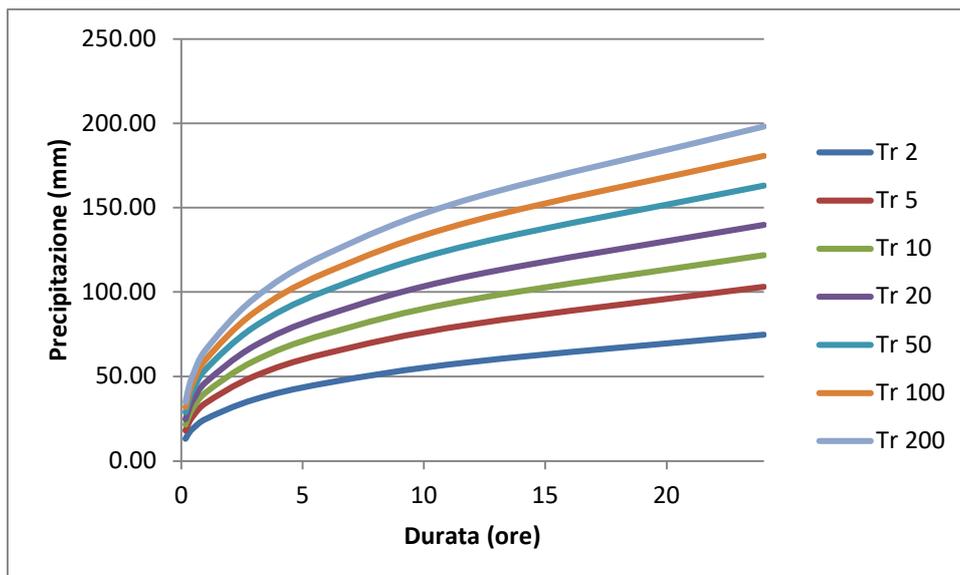


Figura 13: Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per l'idraulica di piattaforma.

## 4 TRASFORMAZIONE AFFLUSSI - DEFLUSSI

### 4.1 Il Metodo SCS-CN

Il metodo proposto da Soil Conservation Service (1972) noto con il termine Curve Number.

Esso si basa sulla completa validità dell'ipotesi che il rapporto tra il volume di deflusso  $V$  e la precipitazione netta  $P_n$  sia pari a quello esistente fra il volume idrico effettivamente immagazzinato nel suolo  $W$  ed il valore massimo della capacità di invaso del suolo  $S$ , secondo la seguente relazione:

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S}$$

La precipitazione netta  $P_n$  si ottiene detraendo alla precipitazione totale  $P$  le perdite iniziali  $I_a$ , dovute sia all'immagazzinamento superficiale del suolo, sia all'intercettazione operata dalla copertura vegetale, sia ancora al processo di infiltrazione, fenomeni che si verificano prima del ruscellamento superficiale. Le perdite iniziali vengono assunte proporzionali alla capacità massima di invaso del suolo  $S$  secondo l'espressione:

$$P_n = P - I_a$$

$$I_a = \lambda S$$

Con  $\lambda = 0,2$  coefficiente di proporzionalità assunto pari a 0,2

Con semplici trasformazioni matematiche, che si omettono per brevità, si ottiene il volume di deflusso  $V$  come segue:

$$V = \frac{(P - 0,2 S)^2}{P + 0,8 S}$$

La stima della massima capacità di invaso del suolo  $S$  viene effettuata con buona approssimazione, salvo la necessità di calibrazione del coefficiente di proporzionalità  $\lambda$  per tener conto delle differenti condizioni geomorfologiche e climatiche, tramite la seguente formula:

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

Successivamente, una volta determinato l'uso del suolo quindi il CN medio, si può calcolare la portata al colmo come:

$$Q = \frac{V \cdot A}{t_c} \cdot \frac{1000}{3600} \quad [m^3/s]$$

dove V è il volume di deflusso espresso in mm, A l'area del bacino in km<sup>2</sup> e t<sub>c</sub> il tempo di corrivazione espresso in ore.

#### 4.1.1 Determinazione di CN

Il parametro CN, definito "Curve Number", che assume valori compresi teoricamente fra 0 (assenza di deflusso superficiale) e 100 (assenza di perdite idrologiche con trasformazione totale della precipitazione in deflusso superficiale), rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso.

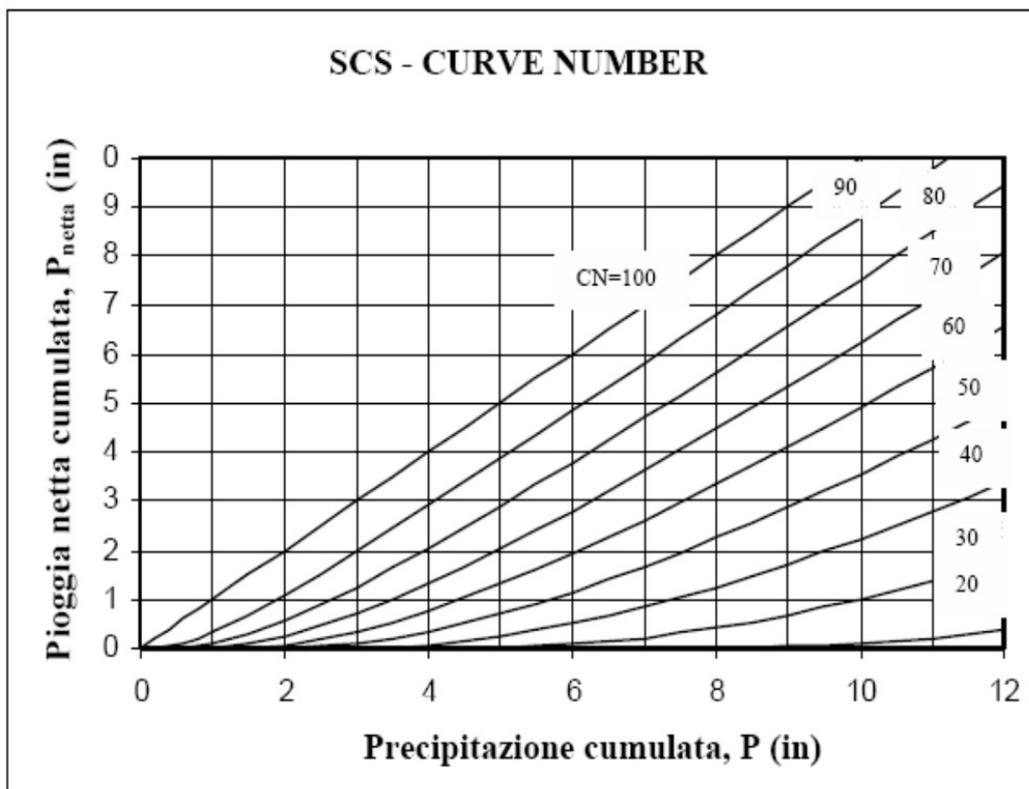


Figura 14: Trasformazione pioggia cumulata in pioggia netta al variare del CN

Il parametro CN risulta essenzialmente legato alle caratteristiche idrologiche ed all'uso del suolo. Per la stima del CN è necessaria preliminarmente la determinazione della classe idrologica dei suoli all'interno dei quattro gruppi (A, B, C e D) individuati dall'USDA -SCS in ragione della capacità di formazione del deflusso del suolo (da bassa ad elevata rispettivamente da A a D, passando per le situazioni intermedie di B e C) dovuta alla rispettiva capacità di infiltrazione

<i>Tipo idrologico di suolo</i>	<i>Descrizione</i>
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, ma 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 colloidali, 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 vicinanza delle superfici.

Figura 15: *Tipologie di suolo in base alla capacità di assorbimento*

Il terreno del bacino scelto ricade maggiormente in suoli a prevalenza sabbiosi nelle aree di fondovalle anche se n vi è presenza anche di marne quindi componente con permeabilità minore nei versanti montuosi dei bacini.

Si è scelto quindi di caratterizzare il bacino con il tipo B.

Il CN relativo alla singola area omogenea viene determinato per condizioni medie di un parametro rappresentativo dell'umidità del suolo antecedente al verificarsi di un evento pluviometrico (AMC, Antecedent Moisture Condition), indicata come AMCII, sulla base di due tabelle (l'una relativa alle aree coltivate, forestali od a maggese, l'altra alle zone urbanizzate) Per le aree rurali il CN si determina in funzione della copertura vegetale, della condizione idrologica (cattiva, discreta o buona), del tipo di pratica colturale (a reggipoggio, a solchi diritti o a terrazze) e, come accennato innanzi, della classe idrologica del suolo

Le condizioni di umidità antecedenti (AMC) vengono determinate sulla scorta della precipitazione totale caduta nei cinque giorni antecedenti all'evento in esame nelle due diverse situazioni di stagione colturale di riposo e colturale vegetativa; in funzione dell'altezza totale di pioggia si distingueranno, dunque, tre situazioni:

- AMC(I): potenziale di scorrimento superficiale minimo, dovuto alle condizioni di siccità del suolo
- AMC(II): condizioni medie
- AMC(III): potenziale di scorrimento superficiale massimo, dovuto alle condizioni di saturazione idrica del suolo.

I valori del CN relativi alle due condizioni di umidità antecedenti AMCI (CNI) o AMCIII (CNIII) possono essere calcolate con le seguenti formule, in cui (CNII) è il parametro relativo a condizioni di umidità medie:

$$(CNI) = \frac{4,2 (CNII)}{(10 - 0,058(CNII))}$$

$$(CNIII) = \frac{23 (CNII)}{(10 + 0,13(CNII))}$$

Per la caratterizzazione del CN del bacino del suolo oltre alle condizioni idrologiche precedentemente esplicitate è necessario conoscere la copertura del suolo del bacino, per la determinazione di tale informazione ci si è basati sulla mappatura effettuata con il progetto Corine Land Cover.

Il progetto Corine Land Cover (CLC) è nato a livello europeo specificamente per il rilevamento e il monitoraggio delle caratteristiche di copertura e uso del territorio, con particolare attenzione alle esigenze di tutela ambientale.

La prima realizzazione del progetto CLC risale al 1990 (CLC90), mentre gli aggiornamenti successivi si riferiscono all'anno 2000 tramite il progetto Image & Corine Land Cover 2000.

Con questo progetto si è inteso realizzare un mosaico Europeo all'anno 2012 basato su immagini satellitari, ed è stata derivata dalle stesse la cartografia digitale di uso/copertura del suolo all'anno 2012 e quella dei relativi cambiamenti.

Ad ogni codice tipologia di area è stato individuato un codice di uso del suolo UDS che individua valori di curve number diversi per ogni classe idrologica di suolo.

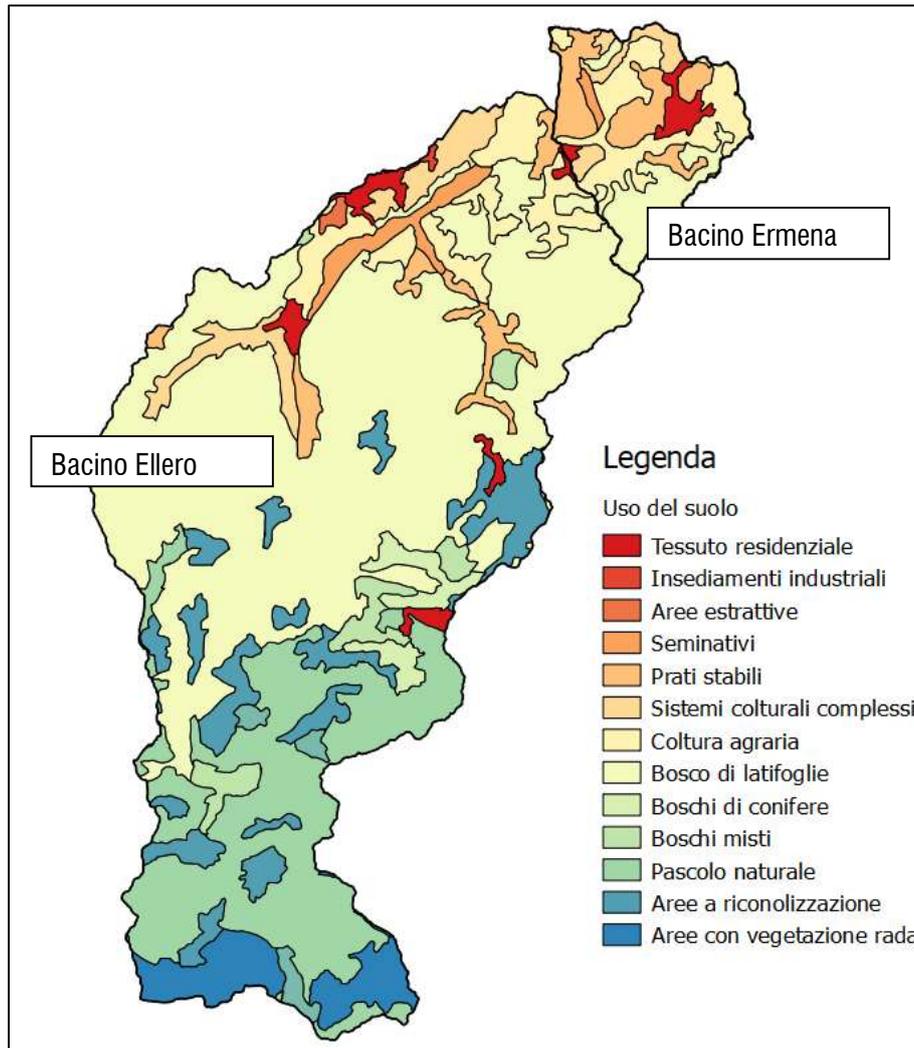


Figura 16: Aree di suddivisione rispetto all'uso al suolo - Progetto Corine Land Cover 2012

Tabella 12: Valore del Curve Number in funzione dell'uso del suolo e del tipo di suolo.

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
AREE PORTUALI	123	98	98	98	98
AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	124	92	93	94	95
AREE ESTRATTIVE	131	89	92	94	95
DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI	132	90	92	94	95
CANTIERI	133	90	92	94	95
AREE VERDI URBANE	141	65	74	81	84
CIMITERI	143	57	77	85	89
VIGNETI	221	72	81	88	91
FRUTTETI E FRUTTI MINORI	222	67	78	85	89
OLIVETI	223	72	81	88	91
ARBORICOLTURA CON ESSENZE FORESTALI	224	67	78	85	89
PRATI STABILI	231	67	71	81	89
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE A COLTURE PERMANENTI	241	59	74	82	86
SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	242	63	73	82	88
AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	243	62	71	78	81
AREE AGROFORESTALI	244	45	66	77	83
BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGIE	313	39	51	63	70
AREE A PASCOLO NATURALE	321	67	71	81	89
SPIAGGE DUNE E SABBIE	331	56	73	82	86
PARETI ROCCIOSE E FALESIE	332	98	98	98	98
AREE CON VEGETAZIONE RADA	333	70	75	84	90
PALUDI INTERNE	411	100	100	100	100
PALUDI SALMASTRE	421	100	100	100	100
SALINE	422	100	100	100	100
ZONE INTERTIDALI	423	98	98	98	98
LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI	521	100	100	100	100
MARI	523	100	100	100	100
TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E DENSO	1111	89	92	94	96
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	1112	78	80	85	87
TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME A CARATTERE RESIDENZIALE E SUBURBANO	1121	74	75	78	80
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE SPARSO E FABBRICATI RURALI A CARATTERE TIPICAMENTE AGRICOLO O RURALE	1122	65	67	70	72
INSEDIAMENTI INDUSTRIALI/ARTIG. E COMM. E SPAZI ANNESSI	1211	89	92	94	95
INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI SERVIZI	1212	89	92	94	95
RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI (SVINCOLI, STAZIONI DI SERVIZIO, AREE DI PARCHEGGIO ECC.)	1221	98	98	98	98
RETI FERROVIARIE COMPRESSE LE SUPERFICI ANNESSE (STAZIONI, SMISTAMENTI, DEPOSITI ECC.)	1222	96	96	96	96
GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO E SMISTAMENTO MERCI (INTERPORTI E SIMILI)	1223	92	93	94	95
IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE (TELECOMUNICAZIONI/ENERGIA/IDRICHE)	1224	92	93	94	95

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
DISCARICHE	1321	90	92	94	95
DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI	1322	90	92	94	95
AREE RICREATIVE E SPORTIVE	1421	70	78	83	88
AREE ARCHEOLOGICHE	1422	49	69	79	84
SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	2111	58	72	81	85
PRATI ARTIFICIALI. COLTURE FORAGGERE OVE SI PUÒ RICONOSCERE UNA SORTA DI AVVICENDAMENTO CON I SEMINATIVI E UNA CERTA PRODUTTIVITÀ, SONO SEMPRE POTENZIALMENTE RICONVERTITI A SEMINATIVO, POSSONO ESSERE RICONOSCIBILI MURETTI O MANUFATTI	2112	67	71	81	89
SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO	2121	66	77	85	89
RISAI E	2122	98	98	98	98
VIVAI	2123	66	77	85	89
COLTURA IN SERRA	2124	98	98	98	98
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	2411	59	74	82	86
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNETO	2412	59	74	82	86
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI (PASCOLI E SEMINATIVI ARBORATI CON COPERTURA DELLA SUGHERA DAL 5 AL 25%)	2413	59	74	82	86
BOSCO DI LATIFOGIE	3111	39	51	63	70
ARBORICOLTURA CON ESSENZE FORESTALI (LATIFOGIE)	3112	39	51	63	70
BOSCHI DI CONIFERE	3121	39	51	63	70
CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO	3122	39	51	63	70
FORMAZIONI VEGETALI BASSE E CHIUSE, STABILI, COMPOSTE PRINCIPALMENTE DI CESPUGLI, ARBUSTI E PIANTE ERBACEE (ERICHE, ROVI, GINESTRE, GINEPRI NANI ECC.)	3221	51	58	73	80
FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	3222	51	58	73	80
MACCHIA MEDITERRANEA	3231	51	58	73	80
GARIGA	3232	51	58	73	80
AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	3241	45	55	68	75
AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	3242	45	55	68	75
SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3311	56	73	82	86
AREE DUNALI NON COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3312	56	73	82	86
AREE DUNALI CON COPERTURA VEGETALE CON AMPIEZZA SUPERIORE A 25 M	3313	56	73	82	86
LETTI ASCIUTTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3315	56	73	82	86
FIUMI, TORRENTI E FOSSI	5111	100	100	100	100
CANALI E IDROVIE	5112	100	100	100	100
BACINI NATURALI	5121	100	100	100	100
BACINI ARTIFICIALI	5122	100	100	100	100
LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI A PRODUZIONE ITTICA NATURALE	5211	100	100	100	100

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI	5212	100	100	100	100
ESTUARI E DELTA	5213	100	100	100	100
AREE MARINE A PROD. ITTICA NATURALE	5231	100	100	100	100
ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	5232	100	100	100	100
PIOPPETI, SALICETI, EUCALITTETI ECC. ANCHE IN FORMAZIONI MISTE	31121	39	51	63	70
SUGHERETE	31122	39	51	63	70
CASTAGNETI DA FRUTTO	31123	39	51	63	70
ALTRO	31124	39	51	63	70

Per il calcolo del curve Number del bacino una volta identificata la classe idrologica di tipo C e trasformato i codici di uso del suolo in valori di curve Number è stata effettuato una media pesata sulle aree per ottenere il CNmedio.

$$CN_{medio} = \frac{\sum_{n=1}^n (C_i A_i)}{\sum_{n=1}^n (A_i)}$$

Tabella 13: Calcolo del curve Number sul bacino Ellero.

CODICE	%	AREA [kmq]	DESCRIZIONE	A	B	C	D
311	95,18	145,6	BOSCO DI LATIFOGLIE	39	51	63	70
242	0,74	1,13	SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	63	73	82	88
243	0,32	0,49	AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	62	71	78	81
231	0,34	0,52	PRATI STABILI	67	71	81	89
121	0,00	0,01	INSEDIAMENTI INDUSTRIALI/ARTIG. E COMM. E SPAZI ANNESSI	89	92	94	95
112	0,21	0,33	TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME A CARATTERE RESIDENZIALE E SUBURBANO	74	75	78	80
131	0,00	0,01	AREE ESTRATTIVE	89	92	94	95
313	0,13	0,19	BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGLIE	39	51	63	70
324	1,06	1,63	AREE A RICOLONIZZAZIONE	45	55	68	75
321	1,64	2,51	AREE A PASCOLO NATURALE	67	71	81	89
312	0,04	0,06	BOSCHI DI CONIFERE	39	51	63	70
313	0,12	0,18	BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGLIE	39	51	63	70
333	0,20	0,30	AREE CON VEGETAZIONE RADA	70	75	84	90
332	0,03	0,04	PARETI ROCCIOSE E FALESIE	98	98	98	98
TOT	100,0	153,0	CN MEDIO	40	52	64	71

Tabella 14: Calcolo del curve Number sul bacino Ermena.

CODICE	%	AREA [kmq]	DESCRIZIONE	A	B	C	D
311	24,67	4,25	BOSCO DI LATIFOGIE	39	51	63	70
242	8,94	1,54	SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	63	73	82	88
243	32,42	5,59	AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	62	71	78	81
231	25,56	4,40	PRATI STABILI	67	71	81	89
211	1,82	0,31	SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	67	71	81	89
112	6,59	1,13	TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME A CARATTERE RESIDENZIALE E SUBURBANO	74	75	78	80
TOT	<b>100</b>	<b>17,23</b>	<b>CN MEDIO</b>	<b>57</b>	<b>65</b>	<b>74</b>	<b>79</b>

Nella Tabella 13 e Tabella 14 vengono riportati i valori di CN assegnati ad ogni tipologia del terreno in base all'uso del suolo più corrispondente presente all'interno del bacino considerato. Si è così potuto calcolare un CN medio pesato sull'area. Successivamente si è dovuto scegliere la tipologia di suolo in base alla capacità di assorbimento del terreno. Per determinare questa tipologia si è reso necessario studiare la litologia nell'area dei bacini (Figura 17). Ricordando che la tipologia più permeabile è quella di tipo A rispetto alla D molto impermeabile, la scelta è ricaduta nella tipologia C, ovvero: "Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione." Questa scelta è giustificata dal fatto che l'area dei bacini dell'Ellero e dell'Ermena presentano depositi di alluvionali antichi formati da ghiaie e ciottoli, localmente alterate e ferretizzate, in matrice limoso sabbiosa con alternanza irregolare di limi sabbiosi, limi argillosi e sabbie ghiaioso limose inglobanti blocchi prevalentemente quarzoarenitici. A valle si sviluppano un complesso alluvionale dei fondovalle con terrazzi annessi. Considerando quindi la presenza di depositi fluviali, Areniti, conglomerati e calcareniti a macroforaminiferi, metarioliti, metadaciti, porfiroidi, scisti filladici argillosi e calcarei, con livelli di marmi, scisti carbonatici, calcari marmorei si può considerare che la miglior tipologia è di tipo C. Infatti la capacità di infiltrazione è scarsa per la presenza di matrici limo-argilloso, ma aumenta grazie ai conglomerati alluvionali.

Pertanto una volta ricavato il CN medio per ogni bacino, si è calcolato il CNIII per determinare il potenziale di scorrimento superficiale massimo, dovuto alle condizioni di saturazione idrica del suolo. Lo studio della portata al colmo, calcolato con la formula dell'SCS, ha tenuto in considerazione i valori di CNIII come nella seguente tabella:

Bacino alla sezione chiusura	CN medio, tipo C	CN III
Ellero	64	80
Ermena	74	86

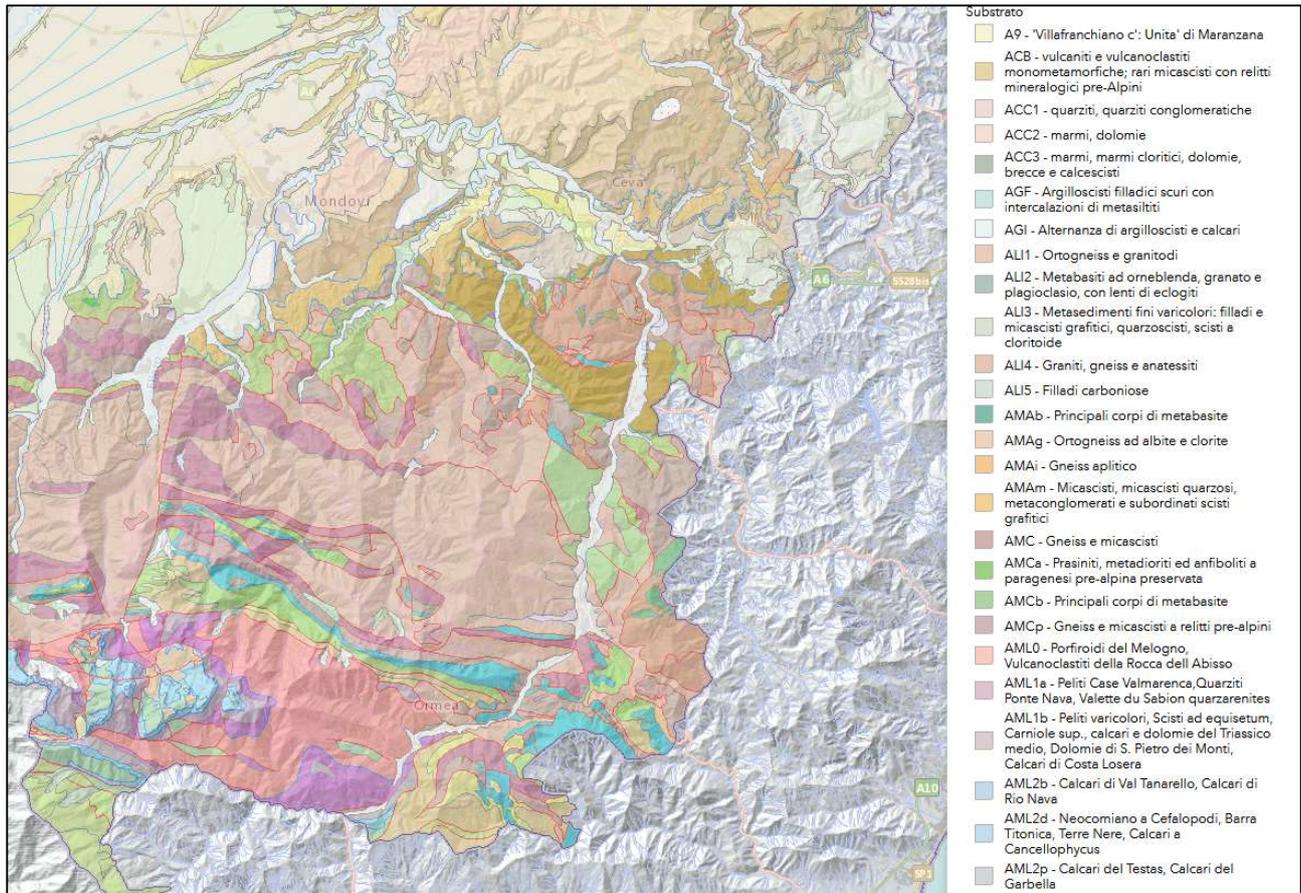


Figura 17: Carta litologica dell'area dei due bacini. Arpa Piemonte, Banca Dati Cartografia geologica

## 4.2 Il Metodo Cinematico

La maggior parte dei metodi che l'idrologia propone per ricostruire eventi di piena sono metodi indiretti, ossia sono metodi che stimano l'idrogramma di piena utilizzando un modello di trasformazione afflussi – deflussi, che prevede come ingresso la definizione di un particolare evento pluviometrico. In particolare, volendo stimare eventi di piena di dato tempo di ritorno, bisogna prima ricostruire l'evento di pioggia di pari tempo di ritorno. Nell'idrologia classica, è consuetudine assumere che un evento di precipitazione avente un tempo di ritorno  $T_r$  genera un evento di piena di pari tempo di ritorno. Per la stima degli idrogrammi di progetto è stato utilizzato il modello di trasformazione degli afflussi in deflussi denominato metodo cinematico o razionale.

Il metodo proposto è un semplice e ormai consolidato modello di trasformazione degli afflussi in deflussi che prevede che la portata massima generata da un bacino idrografico avente tempo di ritorno  $T_r$ , conseguenza di un evento di precipitazione costante nel tempo e nello spazio, di pari tempo di ritorno, si verifica per una durata di pioggia pari al tempo di corrivazione.

Il metodo sopra descritto è stato applicato al bacino idrografico del fiume Ellero chiuso in corrispondenza della sezione di interesse e al torrente Ermena.

#### 4.2.1 Calcolo del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione è definito come il tempo impiegato da una goccia che cade nel punto idraulicamente più lontano del bacino per raggiungere la sezione di chiusura. Se la precipitazione è uniforme nel bacino, a partire dal tempo di corrivazione si verifica la condizione per la quale tutto il bacino contribuisce al deflusso. La quantificazione del tempo di corrivazione è stata eseguita confrontando tre metodologie:

- la più nota espressione presente in letteratura è relazione proposta da Giandotti:

$$t_{cG} \text{ (ore) } = \frac{4 \cdot \sqrt{A_b} + 1.50 \cdot L_a}{0.8 \cdot \sqrt{H}}$$

$$H = Z_{med} - Z_{ch}$$

- la formula di Pasini:

$$t_{cP} \text{ (ore) } = \frac{0.108}{\sqrt{i_m}} \cdot (A_b \cdot L_a)^{1/3}$$

- la formula di Kirpick:

$$t_{cK} \text{ (ore) } = 0.000325 \cdot (L_a \cdot 1000)^{0.77} \cdot i_m^{-0.385}$$

- formula mista per piccoli bacini:

$$t_c = t_{cG} \frac{(A - 1)}{74} + t_{cK} \frac{(75 - A)}{74}$$

dove:

- $t_c$  il tempo di corrivazione espresso (ore);
- $A$  l'estensione del bacino (km<sup>2</sup>);
- $L$  la lunghezza dell'asta principale (km);
- $Z_{med}$  la quota media del bacino stesso (m);
- $Z_{ch}$  la quota della sezione di chiusura (m);
- $t_{cG}$  tempo di corrivazione con formula di Giandotti;
- $t_{cK}$  tempo di corrivazione con formula di Kirpick.

Utilizzando i valori ricavati dall'analisi del bacino effettuata, riportati in *Tabella 1*, è stato quantificato il tempo di corrivazione con i vari metodi per il bacino del fiume Ellero sotteso alla sezione di interesse nei pressi di Mezzavia frazione di Mondovì (CN) e del torrente Ermena presso Rione Borgato.

Tabella 15: Confronto tra i vari tempi di corrivazione calcolati.

Formula di calcolo	Tempo di corrivazione (ore)	
	Ellero	Ermena
Giandotti	3,67	3,10
Pasini	8,85	4,55
Kirpick	3,06	1,66
mista	4,31	1,97

Mettendo a confronto i vari tempi di corrivazione, Tabella 15, si evince come la formula di Pasini sovrastimi il risultato rispetto alla formula di Kirpick che lo sottostima. Si è scelto quindi di utilizzare la formula di Giandotti per il bacino del fiume Ellero per l'affidabilità della formula e perché il risultato si colloca nella giusta misura tra i vari tempi di corrivazione calcolati. Per il bacino del torrente Ermena, invece, essendo caratterizzato da un'area limitata, si è scelto di prendere la formula mista con un tempo di corrivazione pari a 1,97 ore.

Tabella 16: Tempo di corrivazione scelto per i singoli bacini.

Formula di calcolo	Tempo di corrivazione (ore)	
	Ellero	Ermena
Giandotti	<b>3,67</b>	<b>1,97</b>

#### 4.2.1 Coefficiente di deflusso di piena

La stima del valore da attribuire al coefficiente di deflusso è stata fatta attraverso un'operazione di media pesata tra i valori del coefficiente di deflusso delle diverse classi di copertura del suolo e le relative superfici occupate. Le classi di copertura del suolo del bacino nonché le relative superfici sono state ricavate dai risultati dal Gis di Arpa Piemonte. Ad ogni classe di uso del suolo è stato attribuito un coefficiente di deflusso da letteratura. Il coefficiente medio è stato quindi valutato come media pesata dei singoli coefficienti.

Tabella 17: Valori del coefficiente di deflusso (da "Sistemazione dei corsi d'acqua" Da Deppo, Datei e Salandin, 2004).

Tipo di superficie	Coefficienti di deflusso
Superfici pavimentate	0.7 - 0.9
Strade in terra	0.4 - 0.6
Superfici erbose	0.1 - 0.7
Aree residenziali	0.3 - 0.7
Boschi	0.1 - 0.3
Terreni coltivati	0.2 - 0.6

I risultati di tale analisi sono riportati nelle tabelle seguenti.

Tabella 18: Valori del coefficiente di deflusso applicati al bacino del fiume Ellero.

Bacino fiume Ellero a Mondovì			
Classe d'uso del suolo	Estensione [km <sup>2</sup> ]	% complessiva	$\varphi$
Aree Residenziali	7.80	5.1%	0.9
Aree Pavimentate	2.91	1.9%	0.9
Prati	36.11	23.6%	0.5
Boschi	65.33	42.7%	0.4
Rocce e ghiaioni	26.78	17.5%	0.8
Arbusteti	14.07	9.2%	0.4
<b>Totale</b>	<b>153.0</b>	<b>100%</b>	<b>0.53</b>

Tabella 19: Valori del coefficiente di deflusso applicati al bacino del torrente Ermena.

Bacino torrente Ermena a Rione Borgato			
Classe d'uso del suolo	Estensione [km <sup>2</sup> ]	% complessiva	$\varphi$
Aree Residenziali	1.13	6.5%	0.9
Boschi	4.25	24.7%	0.4
Terreni coltivati	7.12	41.4%	0.6
Sup. erbose	4.71	27.4%	0.4
<b>Totale</b>	<b>17.23</b>	<b>100%</b>	<b>0.52</b>

#### 4.2.2 Fattore di riduzione areale

Le precipitazioni ottenute con il procedimento descritto nei paragrafi precedenti possono essere utilizzate, supponendole uniformemente distribuite sul tutto il territorio e di intensità costante, previa una riduzione della loro intensità media attraverso un opportuno coefficiente (*fattore di riduzione areale FRA* o *coefficiente di ragguglio*) in

grado di sintetizzare il secondo postulato dell'idrologia pratica, il quale afferma che l'intensità media degli eventi estremi, misurabile presso una stazione, si riduce all'aumentare dell'area su cui si estende l'evento meteorico.

Esistono numerose formule in letteratura, le quali debbono essere calibrate sulle piogge intense del luogo di interesse. Per questo lavoro si è scelto di utilizzare la formula di Moisello – Papiri che esprime il fattore di riduzione areale in funzione sia dell'area  $A$  che della durata di precipitazione  $d$ , mentre risulta non suscettibile al variare del tempo di ritorno. La formula di *Moisello-Papiri* (1986), possiede la seguente espressione:

$$FRA(A, d) = 1 - \exp\left(-2.472 \cdot A^{-0.242} \cdot d^{0.6 - \exp[-0.643 \cdot A^{0.235}]}\right)$$

Per essa il campo di applicazione risulta corretto per  $A \leq 800 \text{ km}^2$ ,  $15 \text{ min} \leq d \leq 24 \text{ h}$ .

Nota l'estensione del bacino idrografico pari a  $153 \text{ km}^3$  e assunto quale durata il valore del tempo di corrivazione calcolato, si ricava il seguente valore del fattore di riduzione areale:

*Tabella 20: Valori del Fattore di Riduzione Areale.*

	<b>FRA</b>
<i>Fiume Ellero</i>	0.74
<i>Torrente Ermena</i>	0.83

#### 4.2.3 Portata al colmo

Secondo tale metodo la stima della portata massima, contrassegnata da un tempo di ritorno pari a 200 anni, è da effettuarsi secondo la relazione seguente:

$$Q_{Tr200} = \frac{\phi \cdot A \cdot h_{Tr200} \cdot FRA}{t_c}$$

dove:  $\phi$  identifica il coefficiente di deflusso,  $A$  la superficie del bacino,  $h$  l'altezza di pioggia e  $t_c$  il tempo di corrivazione.

## 5 CALCOLO DELLA PORTATA

Sostituendo alle precedenti espressioni i valori ricavati si sono calcolate le due portate al colmo di piena del fiume Ellero ed Ermena per un evento contrassegnato da un tempo di ritorno pari a 200 anni con i due metodi: metodo SCS-CN e cinematico. I risultati sono stati riportati nella seguente tabella:

*Tabella 21: Valore di Portata al colmo per un  $T_r$  pari a 200 anni.*

	$Q_{200}$ [m <sup>3</sup> /s] <i>Cinematico</i>	$Q_{200}$ [m <sup>3</sup> /s] <i>SCS-CN</i>
<i>Fiume Ellero a Mondovì</i>	513	<b>711</b>
<i>Torrente Ermena</i>	85	<b>125</b>

Per la scelta della portata da utilizzare ci si è confrontati con il rapporto VAPI Piemonte. Questo è un modello realizzato organizzando le conoscenze a priori relative alle fenomenologie di formazione delle portate di piena durante eventi meteorici brevi ed intensi maturate all'interno del Progetto VAPI e fa risultare nella sezione di chiusura dell'Ellero a Mondovì una portata con tempo di ritorno 200 anni pari a 988 m<sup>3</sup>/s. In questa portata è da considerare anche l'emissione del torrente Ermena che viene poco più a monte della sezione di chiusura di Mondovì. Tuttavia, come riporta lo stesso VAPI Piemonte, a volte sovrastima la portata e alcuni casi vanno correttamente interpretati. Pertanto il valore espresso dal VAPI Piemonte è in linea con le portate più alte calcolate con il metodo SCS-CN se si considera la somma della portata dell'Ellero 711 m<sup>3</sup>/s e dell'Ermena 125 m<sup>3</sup>/s pari a 836 m<sup>3</sup>/s.

Alla luce di questi risultati, le verifiche che si sono svolte nella relazione idraulica avranno per il fiume Ellero alla sezione di chiusura 711 m<sup>3</sup>/s, mentre per il torrente Ermena a Rione Borgato una portata di 125 m<sup>3</sup>/s.