



REGIONE
LOMBARDIA



COMUNE DI
EDOLO

CENTRALINA EDOLO

PRIMA CONCESSIONE 12 Settembre 1989 prot. Regionale n° 46463
Disciplinare n° 14011 del 31 Ottobre 1989

SECONDA CONCESSIONE in variante alla prima rilasciata
il 29 Settembre 1995 prot. Regione Lombardia n° 03077

RINNOVO DELLA CONCESSIONE CON VARIANTI SOSTANZIALI

<i>Elaborato</i> <i>n. T2a</i>	<i>Titolo:</i> RELAZIONE IDRAULICA ED IDROLOGICA	
<i>Aggiornamenti</i>	<i>DATA</i>	<i>OGGETTO</i>
IL PROGETTISTA: Ing. Girolamo Landrini		IL RICHIEDENTE: COMUNE DI EDOLO

Sommario

Elaborati che fanno parte integrante della richiesta di rinnovo della concessione	2
Dati caratteristici dell'impianto esistente e rinnovato	3
Premessa	4
1. Inquadramento del bacino	4
2. Pluviometria	8
2.1. Piovosità ordinaria.....	8
2.2. Piovosità straordinaria: le curve di possibilità pluviometrica.....	10
3. Portate ordinarie	14
3.1. Portata media	14
3.2. Deflusso minimo vitale (D.M.V.) e Deflusso ecologico	18
3.3. Determinazione della curva di durata	19
4. Portate al colmo di piena	20
4.1. Portate di pioggia netta	20
4.2. Trasformazione Afflussi-Deflussi	23
4.3. Confronto con il metodo di Bacchi (1999):.....	24
5. Risultati	25
5.1. Portate ordinarie	25
5.2. Portate straordinarie.....	25

Elaborati che fanno parte integrante della richiesta di rinnovo della concessione

Elaborati testuali:

T1 – Relazione tecnica particolareggiata;

T2 – Relazione idraulica ed idrologica;

T2b – Relazione di calcolo del deflusso ecologico – Scheda B;

T3 – Relazione tecnico – energetica;

T4 – Relazione sulla scala di risalita dei pesci;

T5 – Relazione paesaggistica;

T6 – Relazione geologica;

T7 – Scheda n° 1 riassuntiva del progetto ai fini dell'aggiornamento del catasto delle derivazioni idriche;

T8 – Rilievo fotografico;

T9 – Controllo delle portate: Relazione delle caratteristiche dei misuratori di portata e volume d'acqua derivata e delle modalità di misurazione delle portate rilasciate a titolo di D.M.V.

Elaborati grafici:

G1 – Corografia con bacino imbrifero sotteso dall'opera di presa;

G2 – C.T.R. con la localizzazione: della derivazione; del punto di presa; del tracciato della condotta forzata; della centrale; del vano quadri; del canale di restituzione e dei confini comunali nei quali ricadono le opere;

G3 – Estratto mappa catastale con l'ubicazione dell'opera di presa; del canale di derivazione; della condotta forzata; del fabbricato centrale; del vano quadri e del canale di restituzione;

G4 – Opera di presa esistente: pianta e sezioni;

G5 – Opera di presa esistente: profilo longitudinale in centro all'alveo;

G6a – Scala di risalita dei pesci: planimetria di progetto su rilievo;

G6b – Scala di risalita dei pesci: profilo pista e profilo scala dei pesci;

G6c – Scala di risalita dei pesci: sezioni scala dei pesci e pista di accesso dalla sez. 1 alla sez. 20;

G6d – Scala di risalita dei pesci: sezioni scala dei pesci e pista di accesso dalla sez. 21 alla sez. 40;

G7a – Opere di mitigazione paesaggistica: rivestimento opera di presa;

G7b – Opere di mitigazione paesaggistica: simulazione fotografica;

G8a – Estratto della mappa catastale della condotta forzata: tratto a monte;

G8b – Estratto della mappa catastale della condotta forzata: tratto a valle;

G9 – Fabbricato centrale e locale quadri: piante e sezioni stato di fatto; canale di restituzione.

Dati caratteristici dell'impianto esistente e rinnovato

Titolo dell'impianto: CENTRALINA IDROELETTRICA TORRENTE OGGLIOLO EDOLO			
		Concessione scaduta	Concessione da rinnovare
1	Superficie del bacino idrografico sotteso all'opera di presa	97,00 km ²	100,51 km ²
2	Portata media chiesta in concessione	857,00 l/s	857,00 l/s
3	Portata massima richiesta in concessione	2.000 l/s	2.000 l/s
4	Deflusso Minimo Vitale (D.M.V.)	360,00 l/s	****
5	Quota di emungimento corrispondente alla quota di sommità della traversa	711,60 m s.l.m.	765,53 m s.l.m.
6	Quota del pelo morto corrispondente alla quota dello sfioratore che si considera come livello massimo di esercizio	711,27 m s.l.m.	765,20 m s.l.m.
7	Quota pelo morto a valle dei meccanismi motore	672,77 m s.l.m.	726,70 m s.l.m.
8	Quota di restituzione dell'acqua turbinata nel torrente	726,00 m s.l.m.	726,00 m s.l.m.
9	Diametro interno della condotta forzata (147, 00 metri in acciaio e circa 1.500,00 m in vetroresina)	1,20 m	1,20 m
10	Salto di concessione	38,50 m	38,50 m
11	Potenza media nominale di concessione	323,47 KW	323,47 KW
12	Potenza massima	602,15 KW	602,15 KW
13	Potenza media lorda	319,36 KW	319,36 KW
14	Potenza media netta	271,45 KW	271,45 KW
15	Producibilità annua presunta	2.140.112 kWh	2.140.112 kWh
	Generatore sincrono verticale – potenza 750 kVA		
	Gruppo installato: turbina Francis ad asse verticale		

**** Il Deflusso ecologico sarà modulato diversamente nei vari mesi ed assumerà i seguenti valori:

- Gennaio, Febbraio e Marzo: 197 l/s;
- Aprile, Maggio e Giugno: 438 l/s;
- Luglio, Agosto e Settembre: 337 l/s;
- Ottobre, Novembre e Dicembre: 309 l/s.

Premessa

La seguente relazione ha come scopo l'analisi delle caratteristiche idrologiche del bacino sotteso alla centralina idroelettrica comunale di Edolo, posta lungo il torrente Ogliolo nell'alta Valle Camonica (BS). Verranno prima definite le caratteristiche geomorfologiche del bacino e la pluviometria dell'area, successivamente verranno analizzate le caratteristiche di portata del corso d'acqua, sia per le portate medie ordinarie, definite dalla curva delle portate, necessarie per la stima dei vari aspetti idraulici di funzionamento ordinario della centralina oggetto dello studio, che le portate al colmo di piena.

1. Inquadramento del bacino

Il bacino del torrente Ogliolo all'opera di presa della centralina idroelettrica comunale di Edolo sottende un'ampia area di tipo montano, caratterizzato da un fondovalle incanalato e dotato di una certa pendenza, di sparsi aggregati urbani perlopiù in mezzacosta (Aprica, Cortenedolo, Corteno Golgi, Santicolo), versanti boscosi che salendo di quota evolvono prima in cespuglieti e praterie d'altura e poi, in prossimità delle cime più alte nella zona meridionale, in zone di depositi detritici e substrati lapidei affioranti privi di vegetazione. Nella zona di alta quota, a circa 2400 m.s.l.m., è presente il laghetto naturale di Piccolo (100 mq circa) ed altri piccoli specchi d'acqua montani di pochi mq.

Tabella 1: Caratteristiche topografiche del bacino

Torrente	Area [Km ²]	Lunghezza asta principale [m]	Pendenza media versanti [°]	Quota media m.s.l.m.	Quota max m.s.l.m.	Quota min m.s.l.m.
Ogliolo	100,5	17.890	28	1726	2742	717

Dal DTM 20x20 disponibile sul geoportale di Regione Lombardia è stato inoltre possibile creare mappe di elevazione e pendenza delle aree, oltre che ricavare la curva ipsografica del bacini, che indica la percentuale di area dello stesso sopra una certa quota.

N.b.! la superficie del bacino esposta nella concessione da rinnovare è di 97,00 km².

La differenza è dovuta alla maggior precisione con il calcolo odierno dal DTM 20 x 20.

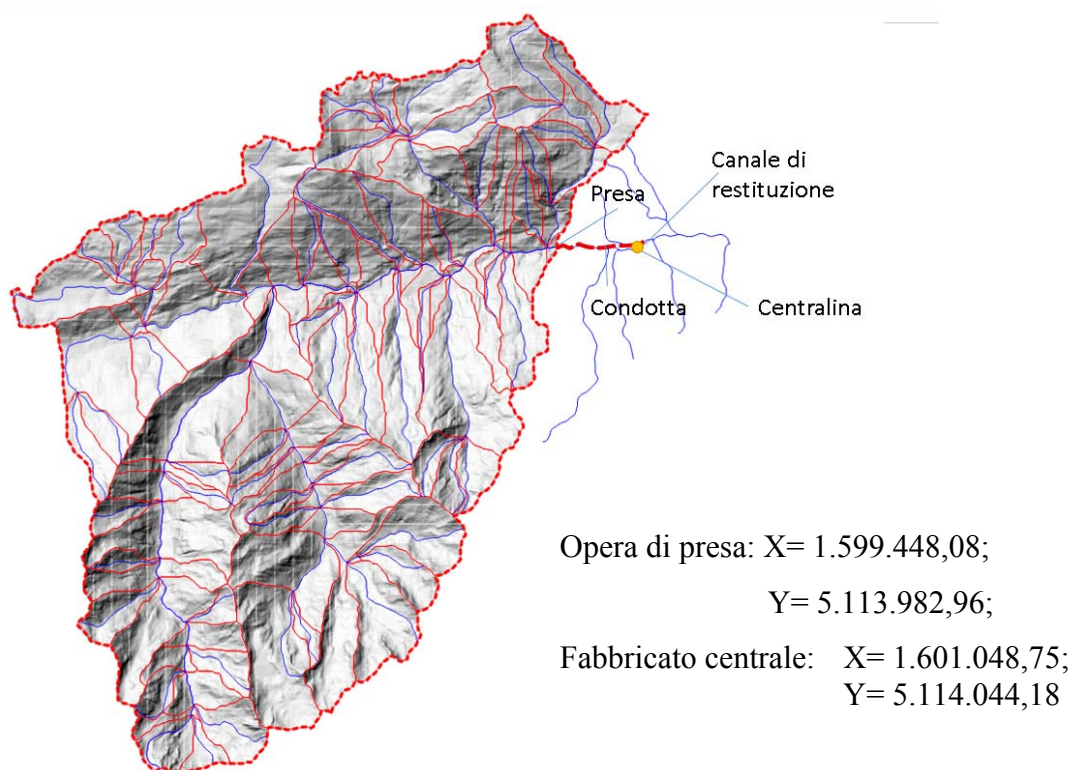


Figura 1: Bacino di chiusura della presa della centralina sull'Ogliolo con idrografia(blu) e delineazione dei sottobacini (rosso)

–Coordinate Gauss – Boaga:

Opera di presa: X= 1.599.448,08; Y= 5.113.982,96;

Fabbricato centrale: X= 1.601.048,75; Y= 5.114.044,18;

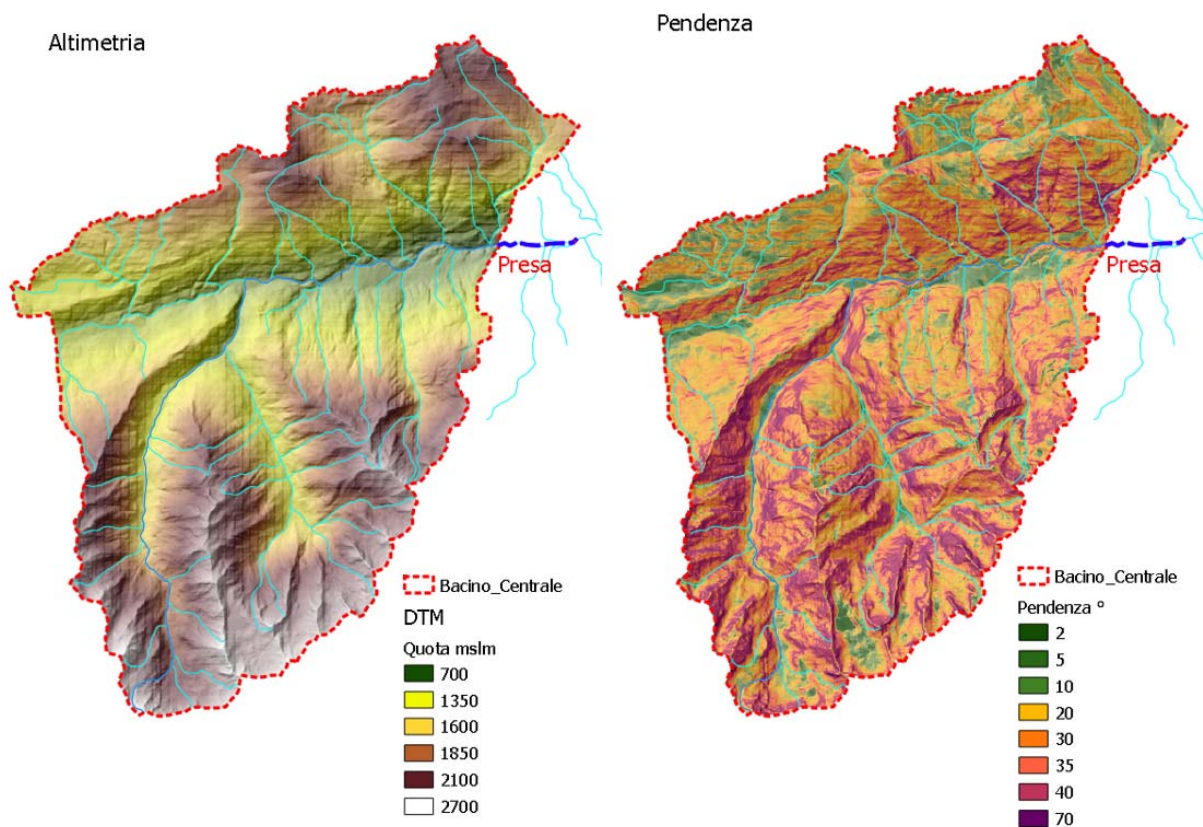


Figura 2: Altimetria e pendenza del bacino ricavate dai raster 20x20 (Geoportale Lombardia)

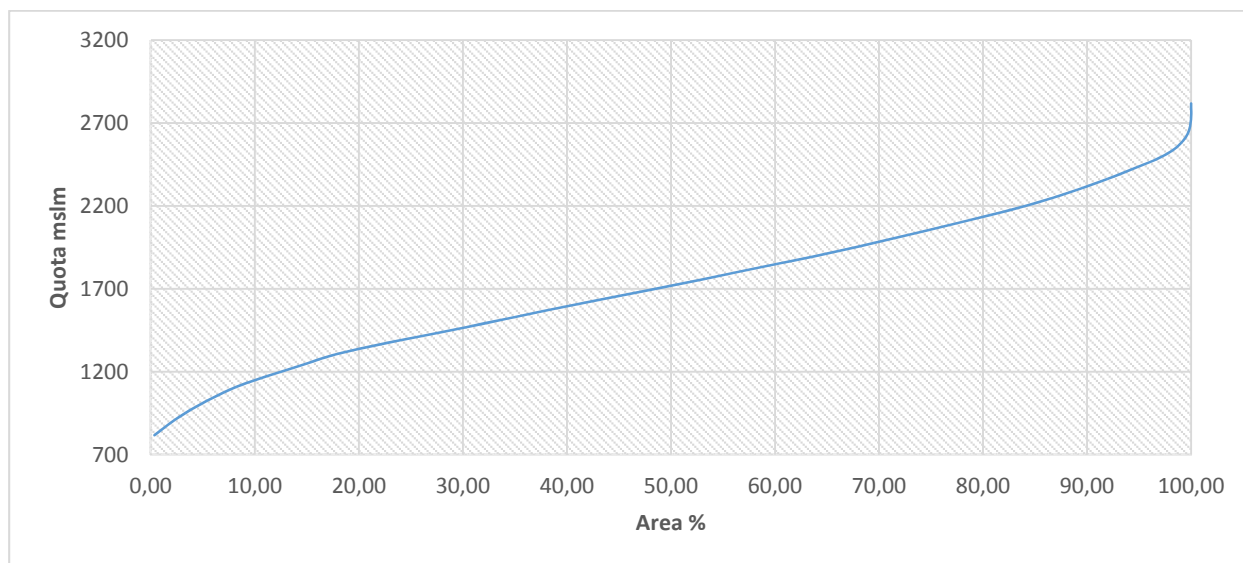


Figura 3: Curva ipsometrica del bacino ricavata dalla DEM 20x20

Sul geoportale è inoltre possibile reperire informazioni areali sull'uso del suolo (e quindi la sua copertura) e la classe e tipologia di impermeabilità data dal substrato geologico.

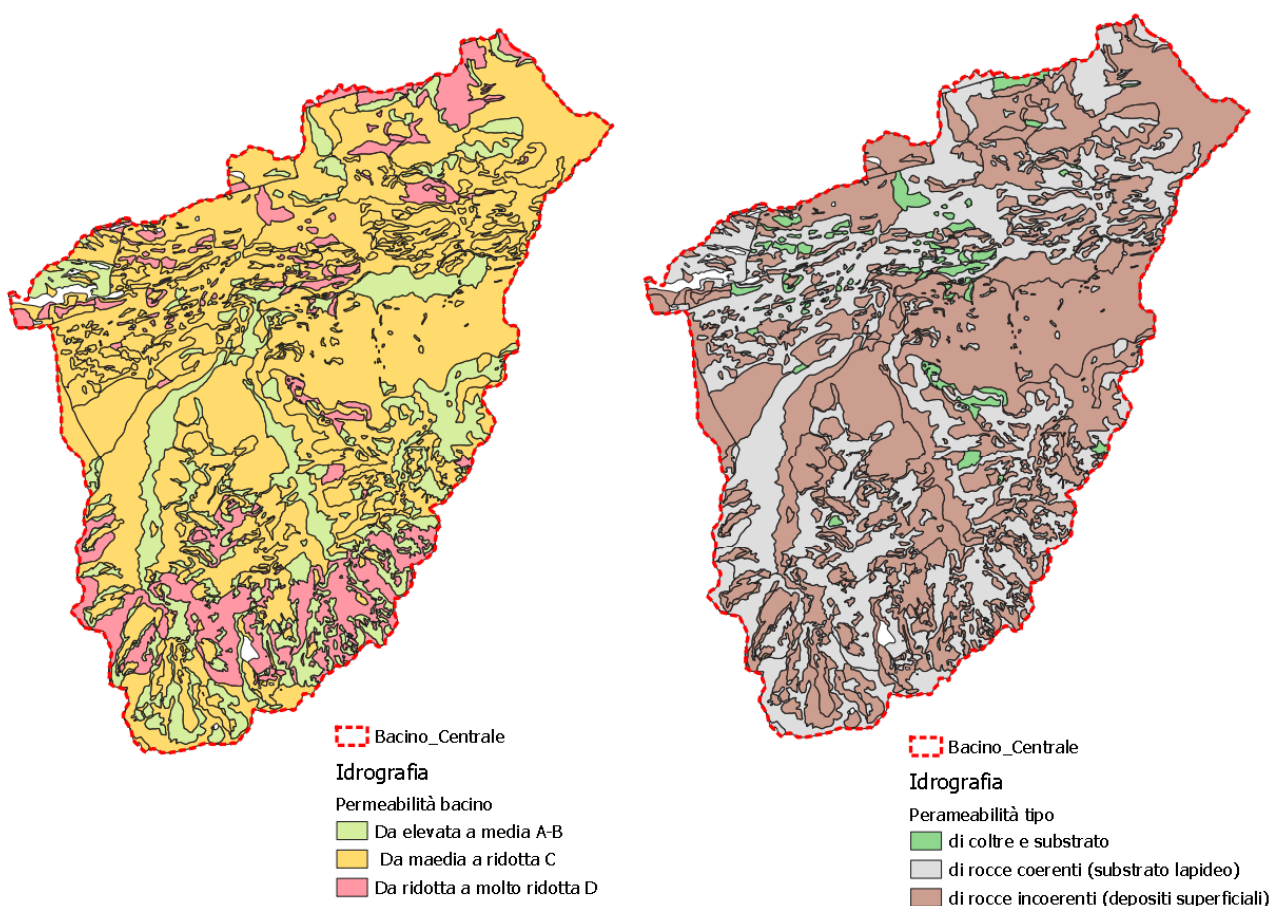


Figura 4: Livello e tipologia di permeabilità del bacino (Geoportale Lombardia)

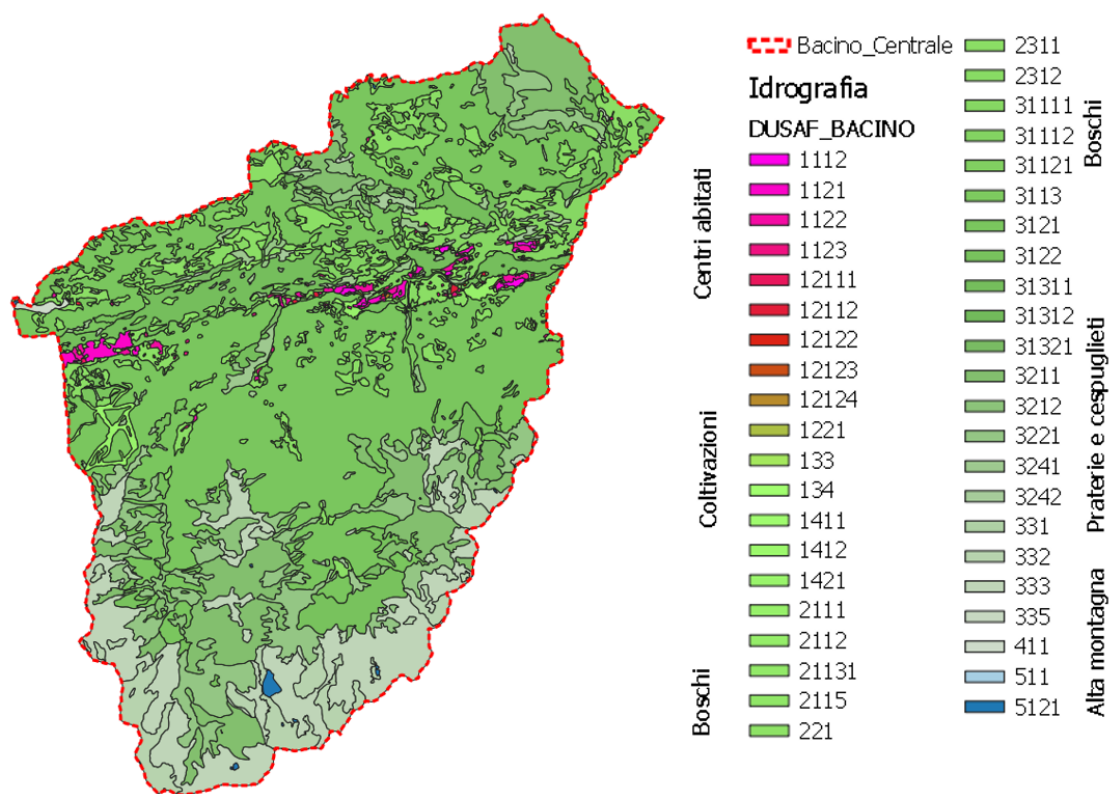


Figura 5: Copertura del suolo DUSAF (Geoportale Lombardia)

2. Pluviometria

In questa sezione viene analizzata la piovosità di tipo ordinario e di tipo straordinario del bacino. La prima ha come obiettivo la stima delle portate medie del torrente, la seconda serve per il calcolo delle portate al colmo di piena (eventi idrologici estremi).

2.1. Piovosità ordinaria

La piovosità ordinaria è ricavata dai dati disponibili al portale <http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/map.phtml> di Arpa Lombardia. In particolare i valori di piovosità media annua (mm/anno) sono riportati in un grid regolare che ricopre tutto il territorio della regione.

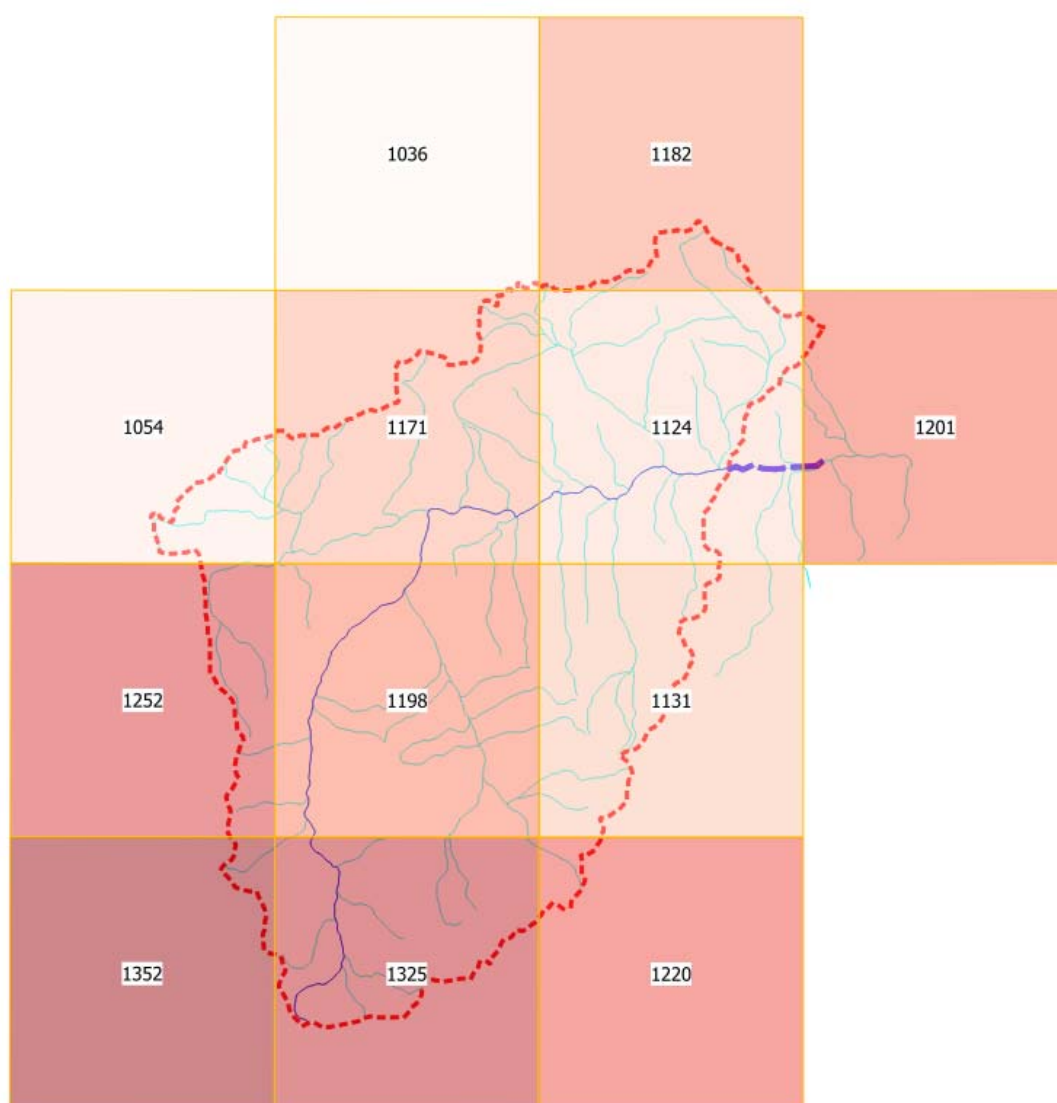


Figura 6: Sovrapposizione del grid di piovosità media annua in mm di ARPA Lombardia e del bacino sotteso alla centralina.

Per calcolare la piovosità media sul bacino viene usata la media pesata sulle aree intersecate dei valori del grid.

Tabella 2: Valori di piovosità media e area sottesa

Riquadro n.	Precipitazione media annua [mm]	Area parziale [m ²]	Incidenza sul totale
1	1036	45696	0.05%
2	1182	2093070	2.08%
3	1054	3561648	3.54%
4	1171	17259488	17.17%
5	1124	19798957	19.70%
6	1201	155655	0.15%
7	1252	4998267	4.97%
8	1198	24876084	24.75%
9	1131	11645035	11.59%
10	1352	1050163	1.04%
11	1325	13939714	13.87%
12	1220	1089138	1.08%
Media pesata:	1187.67 mm/anno		

Questo valore medio della precipitazione deve essere corretto tenendo conto degli errori di stima delle precipitazioni in alta quota, errori da attribuire, sia al basso numero di stazioni in alta quota, sia alla difficoltà di stimare correttamente le precipitazioni nevose.

La correzione connessa alla stima delle precipitazioni nevose consiste nell'aggiunta di un'altezza di pioggia equivalente da applicare alla parte di sottobacino che si trova a quota superiore allo zero termico medio invernale.

Non conoscendo questo dato si considera il sottobacino che si trova a quote superiori a 1.500 m s.l.m.

Tale quota di riferimento è stata individuata in modo empirico in base alle temperature medie misurate a diverse quote nei vari bacini.

Nella Tabella che segue sono riportate sia le altezze di pioggia equivalente da aggiungere, sia le quote di riferimento sulla base delle quali individuare l'area di applicazione.

In pratica, la precipitazione media annua finale è data dalla relazione:

$$P_s = P_{ic} + P_e \cdot \frac{A^*}{A} \quad [1]$$

dove:

PS = precipitazione media annua finale;

Pic = precipitazione media annua integrata;

Pe = precipitazione equivalente aggiuntiva;

A = area del sottobacino del torrente = 100,51 km²;

A^* = area al di sopra della quota di riferimento = 67,67 km².

Tabella 3: Valori di precipitazione aggiuntiva per le precipitazioni nevose da aggiungere nel bacino dell'Oglio sopralacuale da PTUA

Bacino	Sottobacino	Quota di riferimento [m.s.l.m.]	Precipitazione aggiuntiva (S.W.E.) [mm]
Adda sopralacuale	Adda a Sondalo	1000	255
	Adda a Tirano		267
	Adda a Villa di Tirano		273
	Adda a Sondrio (Mallero)		304
	Adda a Caiolo		258
	Adda ad Ardenno		260
	Adda a Fuentes		286
Mera		1300	435
Brembo		1500	377
Serio		1500	405
Oglio sopralacuale	Oglio a Vezza d'Oglio	1500	248
	Oglio a Capo di Ponte		277
	Oglio a Esine		281
	Oglio a Costa Volpino		287
Chiese		1400	181
Mella		1400	181

Per il calcolo della precipitazione equivalente aggiuntiva si utilizza la media dei valori indicati per le sezioni di Vezza d'Oglio e Capo di Ponte e cioè: 262,50 mm.

$$P_s = 1187,67 + 262,50 \times 67,67/100,51 = \mathbf{1.364,40 \text{ mm}} \quad [2]$$

2.2. Piovosità straordinaria: le curve di possibilità pluviometrica

Ai fini della stima della portata al colmo di piena è conveniente definire la sollecitazione meteorica di progetto mediante ietogrammi sintetici con caratteristiche legate ad analisi statistiche di sintesi delle piogge intense e di breve durata, che sono responsabili dei valori più elevati di intensità di precipitazione media. Questa osservazione è valida soprattutto nel caso in cui non importi conoscere l'andamento dell'intero idrogramma di piena ma solo del suo valore massimo (colmo di piena). Per questo motivo le osservazioni di piogge intense disponibili sono trattate con metodi statistici per ottenere le curve probabilistiche di possibilità pluviometrica (LSP). Tali curve, che esprimono una relazione tra le massime altezze di pioggia h e le durate di pioggia d in una determinata zona per un determinato tempo di ritorno T , sono solitamente rappresentate attraverso leggi di potenza del tipo $h=ad^n$. Esse quantificano l'intensità media i dell'evento di assegnata durata ($i=ad^{n-1}$) in un particolare luogo e sono determinate quando sono noti i valori dei loro parametri a e n per il tempo di ritorno T considerato.

Nel caso in esame le curve sono state costruite attraverso i valori forniti dal Portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia (<http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/map.phtml>). Sul portale sono accessibili i valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica interpolate per tutta la

superficie del territorio lombardo. I parametri forniti sono quelli relativi al modello probabilistico GEV (Generalized Extreme Value) di tipo scala-invariante, nel quale la massima altezza di precipitazione h per una certa durata d e per un assegnato tempo di ritorno T è rappresentata dalla legge a tre parametri mostrata di seguito dove $a=a_1 \cdot w_T$:

$$h = a_1 \cdot w_T \cdot d^n = a \cdot d^n \quad [3]$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\} \quad [4]$$

I parametri sono forniti per un grid di celle rettangolari, la media dei valori è utilizzata come parametro di calcolo. Considerando una durata di precipitazione variabile tra 1 e 24 ore, i parametri medi assumono i seguenti valori:

Tabella 4: Parametri regionalizzati della distribuzione GEV da <http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/>

Parametri regionalizzati distribuzione GEV da ARPA Lombardia				
a1 medio	n medio	Alpha medio	K medio	Epsilon medio
18.57236	0.447465	0.295536	-0.13711	0.778151

I valori di w_T e del parametro a al variare del tempo di ritorno T ottenuti per una durata pari al tempo di corrvazione t_c (37 minuti) sono riportati nella seguente tabella:

Tabella 5: parametri w_T e a calcolati dai parametri regionalizzati GEV

T	w_T [-]	a [mm/h ⁿ]
5	1.56	28.92
10	1.86	34.58
20	2.05	38.09
50	2.30	42.77
100	2.67	49.64
200	3.08	57.17

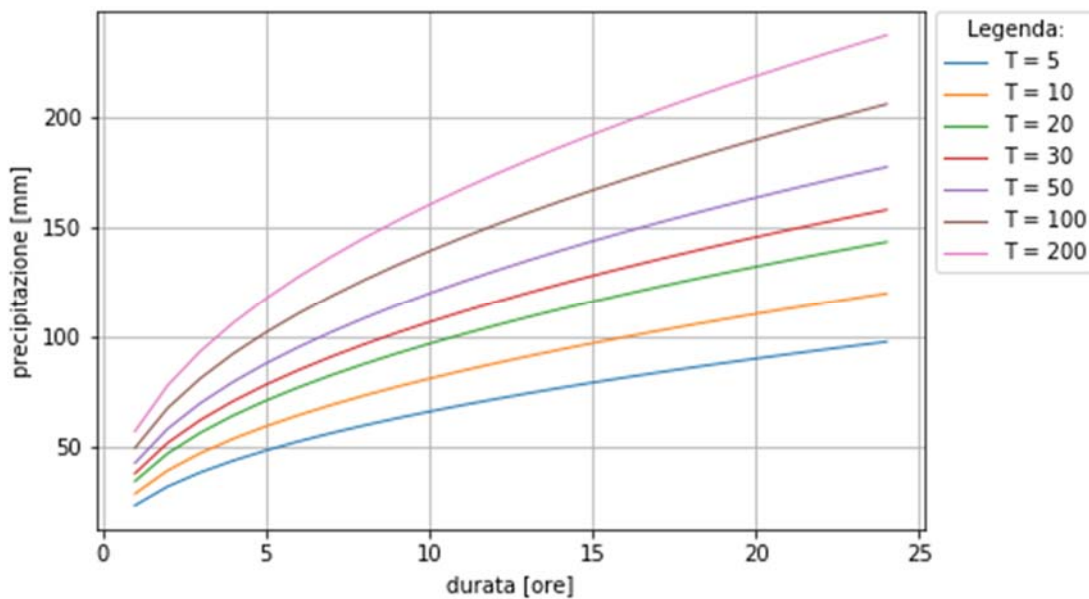


Figura 7: LSPP per tempo di ritorno T da 2 a 200 anni ricavate con i parametri GEV di ARPA Lombardia

Una volta stimate le altezze di precipitazione ed il tempo di corrivazione del bacino va affrontato il problema della variabilità spaziale della precipitazione, la quale può essere molto alta e difficile da valutare anche in aree di moderata estensione. Si può ritenere che durante il verificarsi degli scrosci che nella località di interesse hanno dato luogo alle altezze di precipitazione massime annuali, l'altezza di precipitazione in un altro punto posto ad una certa distanza da quello considerato sia risultata diversa. Al riguardo è ragionevole supporre che durante il verificarsi di eventi di massima intensità registrati in una stazione, si siano verificati proprio in corrispondenza di quella stazione (o nelle sue immediate vicinanze) le massime altezze di precipitazione tra tutte quelle cadute nei vari punti all'interno della superficie considerata; si assume così che il baricentro della stazione stessa coincida col centro di scroscio (o comunque sia molto prossimo a quest'ultimo). Segue da ciò che l'altezza di precipitazione media ragguagliata risulta in ciascuno degli eventi suddetti minore dell'altezza registrata nella stazione pluviometrica.

Per questa ragione si usa in pratica fare riferimento a curve di possibilità pluviometrica areali, esprimenti cioè il legame, per un assegnato tempo di ritorno, tra l'altezza media di pioggia che in un'assegnata durata cade su una superficie di area A (altezza di pioggia ragguagliata all'area) e la durata stessa.

In Italia il problema del ragguaglio delle piogge all'area non viene usualmente affrontato mediante l'introduzione di un coefficiente di riduzione della massima altezza di precipitazione puntuale, bensì modificando i coefficienti a e n della curva di possibilità climatica puntuale. La curva di possibilità climatica areale viene così espressa:

$$h_A = a' \cdot q^{n'} \quad [5]$$

in cui a' e n' vengono messi in relazione con i coefficienti a e n della curva puntuale e con l'area A . Per il bacino idrografico oggetto di studio, si è deciso di utilizzare le formule proposte da Marchetti, ottenute elaborando i dati di Columbo. Tali formule sono valide per aree comprese tra 100 e 5000 ha e per durate inferiori a 10 h (Moisello, 1998):

$$a' = a \left[1 - 0,06 \left(\frac{A}{100} \right)^{0,4} \right] \quad [6]$$

$$n' = n + 0,003 \left(\frac{A}{100} \right)^{0,6} \quad [7]$$

nelle quali l'area A è espressa in ettari.

Nella tabella seguente sono riportati i parametri per effettuare il ragguaglio all'area ai quali si è pervenuti per i diversi tempi di ritorno:

Tabella 6: parametri ragguagliati a' e n'

Tempo di ritorno T [anni]	a' [mm/h $^{n'}$]	n' [-]
5	17.95	0.5
10	21.46	0.5
20	23.64	0.5
50	26.55	0.5
100	30.81	0.5
200	35.48	0.5

Una volta ottenute le LSPP dell'area, si può passare alla determinazione dello ietogramma di progetto e della portata di piena dei vari bacini. Il tempo di corrivazione t_c dei bacini è uno dei parametri fondamentali usati per la determinazione dello ietogramma di progetto. In mancanza di misure di portata alla chiusura del bacino, t_c può essere stimato sulla base delle pendenze e della forma geometrica ed estensione dell'area. Qui la sua determinazione avviene con la formula di Giandotti, una delle più utilizzate in letteratura:

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m - h_0}} \quad [8]$$

Dove con S è indicata la superficie del bacino espressa in km², con L la lunghezza dell'asta principale espressa in km, con H_m l'altitudine media del bacino, espressa in m, riferita al livello medio del mare e con h_0 la quota della sezione di chiusura, anch'essa in m, sempre riferita al livello medio del mare.

Ietogrammi di progetto

Per la stima delle portate al colmo è stato adottato uno ietogramma di progetto rettangolare, di durata pari alla durata critica ed intensità di pioggia costante per tutto l'evento e pari a:

$$I = a \cdot d^{n-1} \quad [9]$$

Ovvero l'altezza di precipitazione ottenuta dalle LSPP relativa alla durata critica divisa per la durata critica stessa per ogni tempo di ritorno T. Questo ietogramma è utilizzato in quanto le dimensioni dei bacini sono ridotte, la morfologia scoscesa e la superficie quasi completamente coperta da vegetazione, la quale avrebbe un effetto smorzante su eventuali picchi.

Nella seguente tabella si mostrano le intensità critiche calcolate per ogni tempo di ritorno T per ogni durata critica.

Tabella 7: intensità critiche puntuali e ragguagliate con la formula di Marchetti e la formula di Papiri

I Critica [mm/h]	
	tc =2.63 h
T = 5	8.98
T = 10	11.01
T = 20	13.16
T = 30	14.50
T = 50	16.28
T = 100	18.89
T = 200	21.76

Per bacini di piccola dimensione il ragguaglio potrebbe però non essere opportuno per portate di progetto, dato che già l'ipotesi di pioggia uniforme sull'area del bacino, solitamente adottata per aree limitate, può portare a sottostime della portata al colmo (Paoletti, 1988). Se l'area in oggetto è comunque maggiore di 1 km² (in caso contrario è meglio non effettuare alcun ragguaglio) e il bacino ha una forma allungata che rende abbastanza improbabile l'ipotesi di precipitazione uniforme su tutto il bacino è comunque ragionevole ragguagliare il valore della precipitazione.

3. Portate ordinarie

3.1. Portata media

La portata media considerata alla chiusura del bacino della centrale è stata stimata secondo le linee guida del PTUA 2016 come portata media naturalizzata del corso d'acqua (quindi senza considerare le derivazioni antropiche, peraltro non presenti a monte nel bacino). Le portate medie naturalizzata e antropica sono composte dai seguenti contributi:

-Portata naturalizzata $Q_{nat} = Q_{idro} \pm Q_{falda,nat} + Q_{colature,nat}$

-Portata antropizzata $Q_{ant} = Q_{idro} \pm Q_{falda,ant} + Q_{colature,ant} - Q_{der} + Q_{res}$

Dove:

- Q_{idro} = portata idrologica regionalizzata con procedura PTUA
- $Q_{falda,nat} / Q_{falda,ant}$ = contributo di falda naturalizzato/antropizzato regionalizzato
- $Q_{colature,nat} / Q_{colature,ant}$ = contributo delle colature naturalizzato/antropizzato regionalizzato
- Q_{der} = somma portate derivate
- Q_{res} = somma restituzioni di origine antropica (es. scarichi centrali idroelettriche, depuratori)

Nelle sezioni prive di misure di portata o con portate misurate naturali limitate a periodi inferiori ai 10 anni, si è utilizzata una procedura di trasferimento dell'informazione idrometrica disponibile in altre sezioni fluviali sullo stesso corso d'acqua principale.

Questa procedura consiste, essenzialmente, nello stimare i valori medi delle portate medie annue per unità di superficie, cioè dei contributi unitari q , dai corrispondenti valori medi dei contributi unitari misurati in altre sezioni, riscalati in base alle misure della precipitazione media annua sui rispettivi sottobacini.

Per i bacini montani lo spartiacque superficiale è chiaramente individuato e approssimativamente coincidente con quello sotterraneo.

Quindi, si può supporre, almeno in prima approssimazione, che l'interscambio idrico tra falda e reticolo fluviale sia mediamente nullo a scala annuale e che sia possibile attribuire le variazioni dei valori medi dei contributi unitari principalmente alle sole precipitazioni, trascurando l'effetto delle caratteristiche geologiche e pedologiche dei bacini.

I contributi unitari medi nelle sezioni prive di misure sono quindi stati stimati, a partire da quelli calcolati in sezioni con misure disponibili, mediante le relazioni riportate nella seguente Tabella, ove si sono indicate con la lettera M le sezioni fluviali dotate di misure e quindi con i contributi unitari medi noti e con S quelle senza misure e per le quali è necessario effettuare le stime.

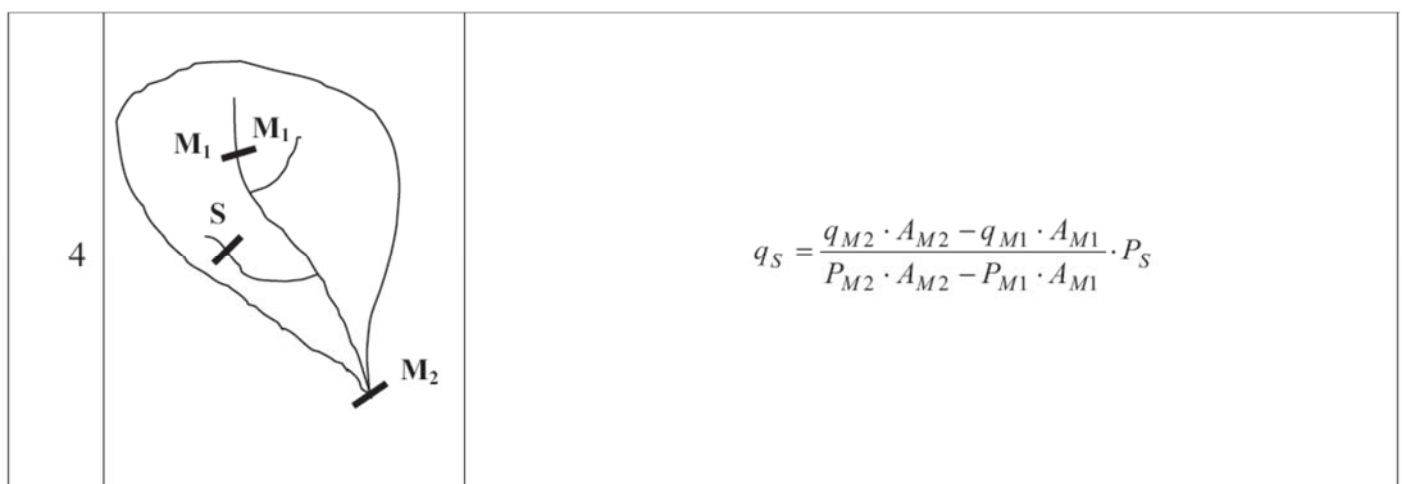


Figura 8: metodo di regionalizzazione PTUA per aste laterali tra due sezioni note

Seguendo la procedura indicata dall'Allegato 2 della Relazione generale del P.T.U.A. per il calcolo della portata media annua nella sezione idrografica non monitorata, oggetto di questo studio, si considerano come sezioni di riferimento Vezza d'Oglio e Capo di Ponte.

Esse risultano monitorate nello stesso bacino del fiume Oglio e le principali caratteristiche idrologiche sono le seguenti (fornite dal P.T.U.A.):

q_{M1} = contributo unitario dell'Oglio a Vezza d'Oglio (portata media unitaria) = 37,50 l/s km²;

A_{M1} = area del bacino dell'Oglio a Vezza d'Oglio = 287,00 km²;

$PM1$ = precipitazione media annua del bacino sotteso a Vezza d'Oglio = 1.284,00 mm;

q_{M2} = contributo unitario dell'Oglio a Capo di Ponte (portata media unitaria) = 36,39 l/s km²;

A_{M2} = area del bacino dell'Oglio a Capo di Ponte = 792,00 km²;

$PM2$ = precipitazione media annua del bacino sotteso a Capo di Ponte = 1.350,00 mm;

PS = precipitazione media annua sul bacino idrografico.

Per il bacino viene determinata la portata specifica secondo la seguente relazione:

$$q_S = PS \times \frac{q_{M2} \times A_{M2} - q_{M1} \times A_{M1}}{P_{M2} \times A_{M2} - P_{M1} \times A_{M1}} = 1.364,40 \times \frac{36,39 \times 792 - 37,50 \times 287}{1.350 \times 792 - 1.284 \times 287} = 37,57 \text{ l/s/km}^2 \quad [10]$$

Considerando il bacino sotteso del torrente alla sezione di presa ed il contributo unitario determinato secondo la metodologia P.T.U.A., è possibile calcolare la portata naturale media annua:

$$Q_{nat} = q_S \cdot A_s = 37,57 \times 100,51 = 3.775,66 \text{ l/s} = \mathbf{3,78 \text{ m}^3/\text{s}} \quad [11]$$

Un secondo metodo è quello di utilizzare i sottobacini già regionalizzati forniti dal PTUA. Le sezioni già regionalizzate utilizzate per la stima del bacino della centrale sono mostrate nella seguente immagine:

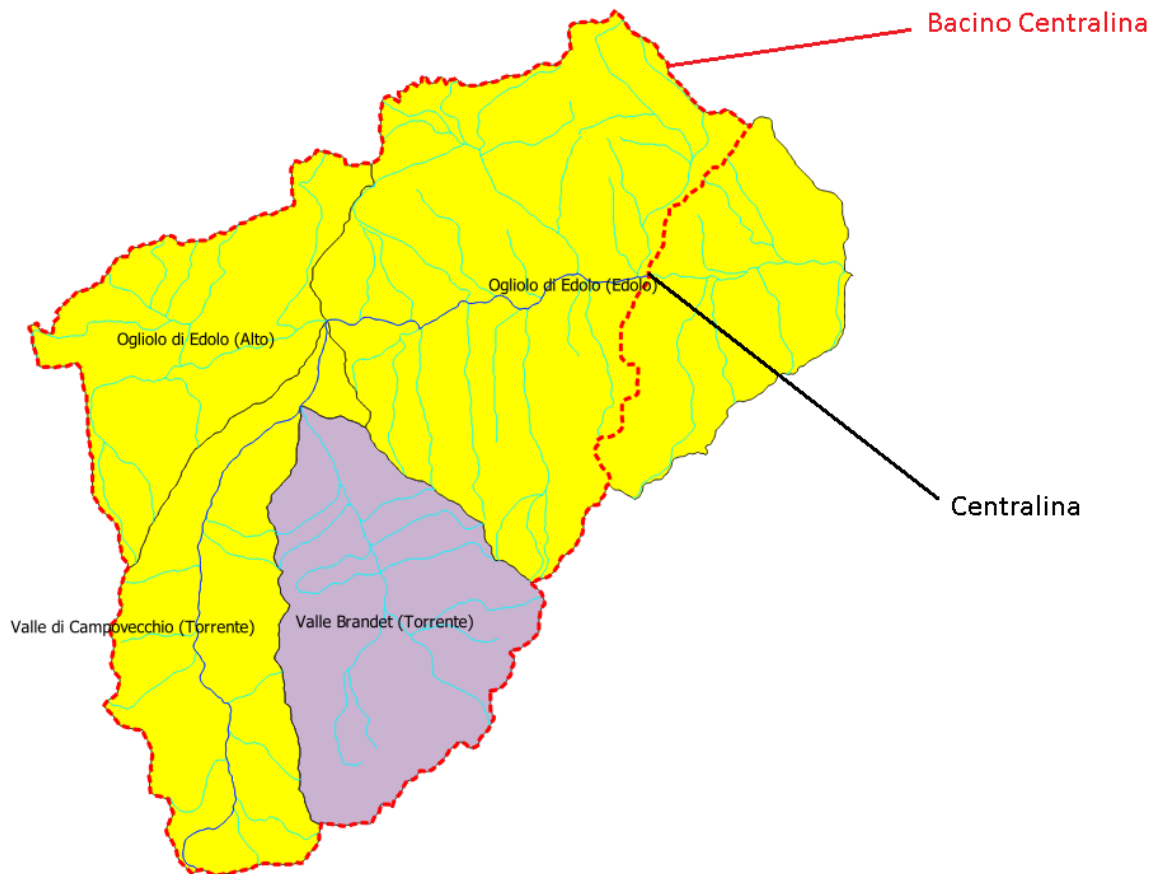


Figura 9: Bacino della centralina idroelettrica comunale e sezioni di chiusura PTUA 2016. Le sezioni evidenziate in giallo sono quelle necessarie per la stima della portata alla centralina in quanto immediatamente a monte (Campovecchio e Ogliolo alto) o a valle (Ogliolo a Edolo) della presa.

Tabella 8: Calcolo delle portate naturalizzate mensili e annuali secondo i dati del PTUA.

Chiusure PTUA 2016	M PTUA	Q media Naturale m ³ /s													Area [m ²]
		Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	ANN	
Valle di Campovecchio (Torrente)	R3	0.56	0.42	0.46	0.87	1.82	1.99	1.86	1.66	1.5	1.4	1.6	0.88	1.26	20636018
Ogliolo di Edolo (Alto)	R3	0.21	0.16	0.17	0.32	0.68	0.74	0.7	0.62	0.56	0.52	0.6	0.33	0.47	17360900
Ogliolo di Edolo (Edolo)	R3	1.44	1.09	1.19	2.22	4.68	5.1	4.78	4.26	3.85	3.59	4.12	2.26	3.23	56257697
Ogliolo di Edolo (Alla centrale)	R3	1.26	0.95	1.04	1.94	4.08	4.45	4.17	3.72	3.36	3.13	3.59	1.97	2.82	40864490

Il risultato regionalizzato in questo modo risulta di **2,82 m³/s**, sensibilmente inferiore al valore di 3,78 m³/s ottenuto regionalizzando su Vezza e Capo di Ponte.

Inoltre in base alla delibera della Giunta Regionale dell'11/Dicembre/2000 (B.U.R.L. 16/gennaio 2001 n° 3 – 1° supplemento straordinario) ai fini del rilascio della concessione la portata di derivazione chiesta deve essere confrontata con quella derivabile, calcolata tenendo conto della disponibilità naturale della risorsa d'acqua e del Deflusso Minimo Vitale (D.M.V.) da rilasciare a valle dell'opera di presa.

Con la Delibera della Giunta Regionale richiamata il Deflusso Medio Unitario naturale è valutabile come:

$$\mu (q) \text{ l/s/kmq} = 0,026 \times p \quad [12]$$

dove p è la precipitazione media annua in mm.

La portata naturale media annua (di calcolo) è dunque pari a:

$$0,026 \times 1.364,40 \times 100,51 = 3.565,54 \text{ l/s} = \mathbf{3,57 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Il contributo naturale unitario, come descritto nel Par. 1.2.5.2 del Programma di Tutela ed Uso delle Acque (P.T.U.A. – LR 12 Dicembre 2003 n° 26 Art. 45 Comma 3) risulta dunque di **35,47 l/s/ Km²**.

N.b.! Nella concessione da rinnovare questo valore è 35,50 l/s/km², sostanzialmente ha gli stessi valori.

3.2. Deflusso minimo vitale (D.M.V.) e Deflusso ecologico

Vedi Relazione dedicata: “T2b – Relazione di calcolo del deflusso ecologico – Scheda B”.

3.3. Determinazione della curva di durata

Per il calcolo delle curve di durata è proposta la seguente formula indicata dal PTUA:

$$q = \varepsilon + (\lambda - \varepsilon) \times \left(-\ln \frac{\theta}{365} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad [14]$$

dove:

θ = durata in giorni;

λ = contributo specifico unitario calcolato con le relazioni regionalizzate;

$q = Q/A$ = portata giornaliera specifica (l/s*km²);

Q = portata giornaliera (l/s).

Tenuto conto della:

$$im = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{A}} \quad [15]$$

dove:

im = pendenza media del bacino, determinata attenendosi alle quote massime (H_{\max}) e minima (H_{\min}) in metri del bacino sotteso avente una superficie A (torrente);

Nel caso in esame, attenendosi ai dati morfometrici riportati nei paragrafi precedenti, i parametri contenuti nella formula sono risultati pari a:

$$p = 1.364,40$$

$$\lambda = 4 + 0,86 * v(\theta) = 4 + 0,022 * P \quad [16]$$

$$\varepsilon = \lambda - 10,83 - 99,98 im \quad [17]$$

$$\beta = 0,99 \quad [18]$$

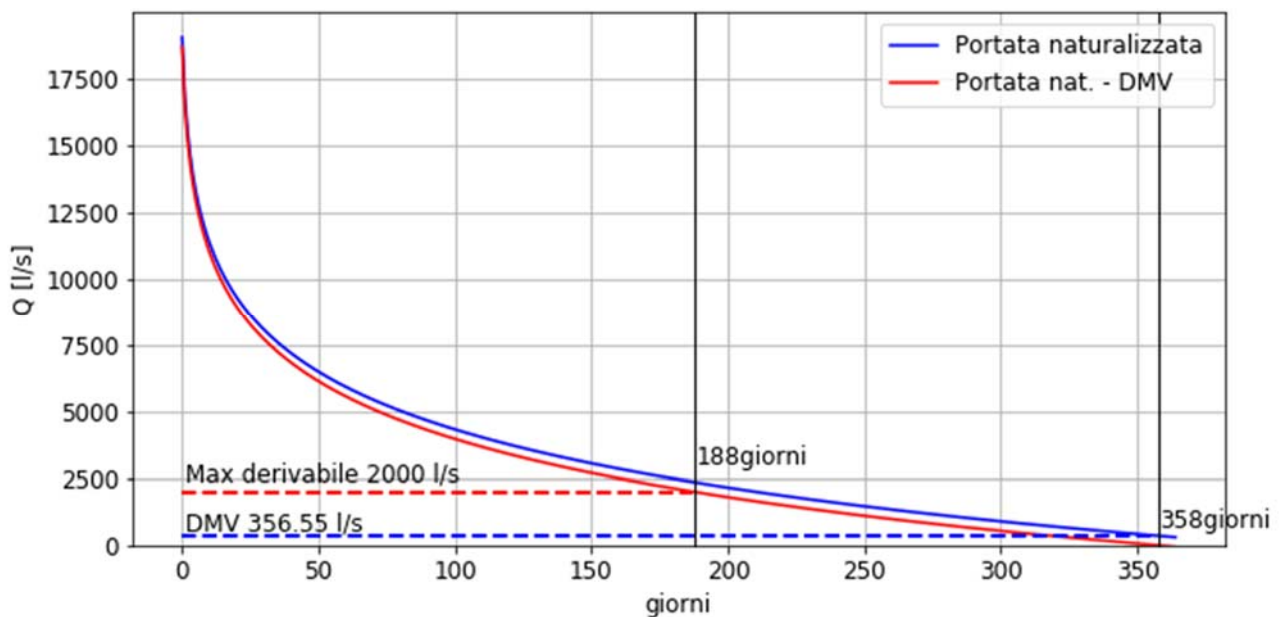


Figura 10: Curva di durata alla presa della centralina sul Torrente Ogliolo

4. Portate al colmo di piena

Una volta definito lo ietogramma di piogge lorde di progetto, è necessario scegliere un modello di deflusso superficiale per determinare la quantità di perdite per infiltrazione o accumulo nei bacini e di un modello di formazione di piene per ottenere l'idrogramma di piena alla sezione di chiusura del bacino. Per il calcolo delle infiltrazioni son stati usati due modelli: il metodo percentuale e il metodo del Soil Conservation Service (1972) detto anche Curve Number (SCS-CN). Per il modello di formazione di piene è stato usato il metodo cinematico, noto anche come metodo della corrivazione.

4.1. Portate di pioggia netta

La portata di pioggia netta si ottiene moltiplicando la pioggia lorda per un coefficiente che può essere costante, come nel metodo percentuale, o variabile nel tempo come nel metodo SCS-CN modificato.

Nel primo caso il valore delle perdite da infiltrazione sarà fisso, e non terrà conto di fattori come la decrescente capacità di infiltrazione del suolo. Questo approccio è efficace per aree dove la capacità d'infiltrazione delle superfici ha variazioni minime nel tempo perché quasi totalmente impermeabili (strade, pavimentazioni o edifici) o al contrario dotate di un'alta capacità di infiltrazione tale da restare lontano dal punto di saturazione e non variare in modo sensibile in relazione alle piogge di progetto (terreni sabbiosi molto profondi). Il metodo percentuale assegna un coefficiente di deflusso da 0 a 1 (0-100% di deflusso) per il tipo di terreno del bacino. Nel caso di una copertura quasi completamente boscosa o di prato come nel caso corrente si può assumere un coefficiente ϕ di 0.20 (20%).

Il metodo SCS-CN stima le perdite per infiltrazione sull'ipotesi che ci sia una relazione tra la massima capacità di immagazzinare acqua nel terreno S e l'infiltrazione totale effettiva P per una precipitazione di una certa durata. Il metodo tiene conto anche di una perdita iniziale I_a prima di cui non si ha alcun deflusso superficiale. La relazione fra questi elementi restituisce la portata di deflusso superficiale Q come dall'espressione [19]. Il valore di S è dato dall'espressione [20], in cui CN è il Curve Number, un parametro che va virtualmente da 0 a 100. La perdita iniziale è definita da [21] in mancanza di elementi per una stima più precisa.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \text{ mm} \quad [19]$$

$$S = 254 + \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \text{ mm} \quad [20]$$

$$I_a = 0.2 S \quad [21]$$

Il parametro CN dipende da vari fattori. Il primo è il tipo di suolo, che può ricadere in 4 categorie A, B, C, D, dove la prima classe indica terreni sabbiosi o ghiaiosi e molto profondi, difficili da saturare, mentre l'ultima superfici argillose o limose compatte con una bassissima capacità di infiltrazione.

Il secondo fattore è la copertura del suolo (strade, residenziale, industriale, prato, bosco, campi...) che in base alla precedente classe di terreno assegna un valore di CNII da 0 a 100. Questo valore andrà poi corretto in base alla condizione di umidità antecedente del terreno (AMC I, II, III) attraverso le formule [22] e [23]:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad [22]$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad [23]$$

Il metodo SCS-CN è formalmente un metodo che lega una precipitazione lorda cumulata di una certa durata al suo deflusso superficiale, e non la precipitazione lorda di un intervallo dt al relativo deflusso del medesimo istante. Ciò detto, la dimensione temporale può essere ottenuta in maniera molto semplice sottraendo il deflusso superficiale calcolata al tempo t-dt a quello calcolato al tempo t.

Il valore del parametro CN nel caso presente è assunto in base seguenti ai valori dedotti dalla permeabilità e dall'uso del suolo DUSAF degli shapefiles di regione Lombardia. I valori di CN per le diverse classi DUSAF sono state adattate dai valori provenienti da "Rosso Renzo, Consulenza tecnico scientifica nell'ambito del progetto shakeup-2 caratterizzazione idrologica del regime di piena in Lombardia: bacini tributari del lago di Como mappatura dell'indice di assorbimento e del massimo volume specifico di ritenzione potenziale del terreno relazione finale, Arpa Lombardia, 2004", calibrati sull'area della Valtellina, peraltro confinante con il bacino dell'Ogliolo in lato Aprica.

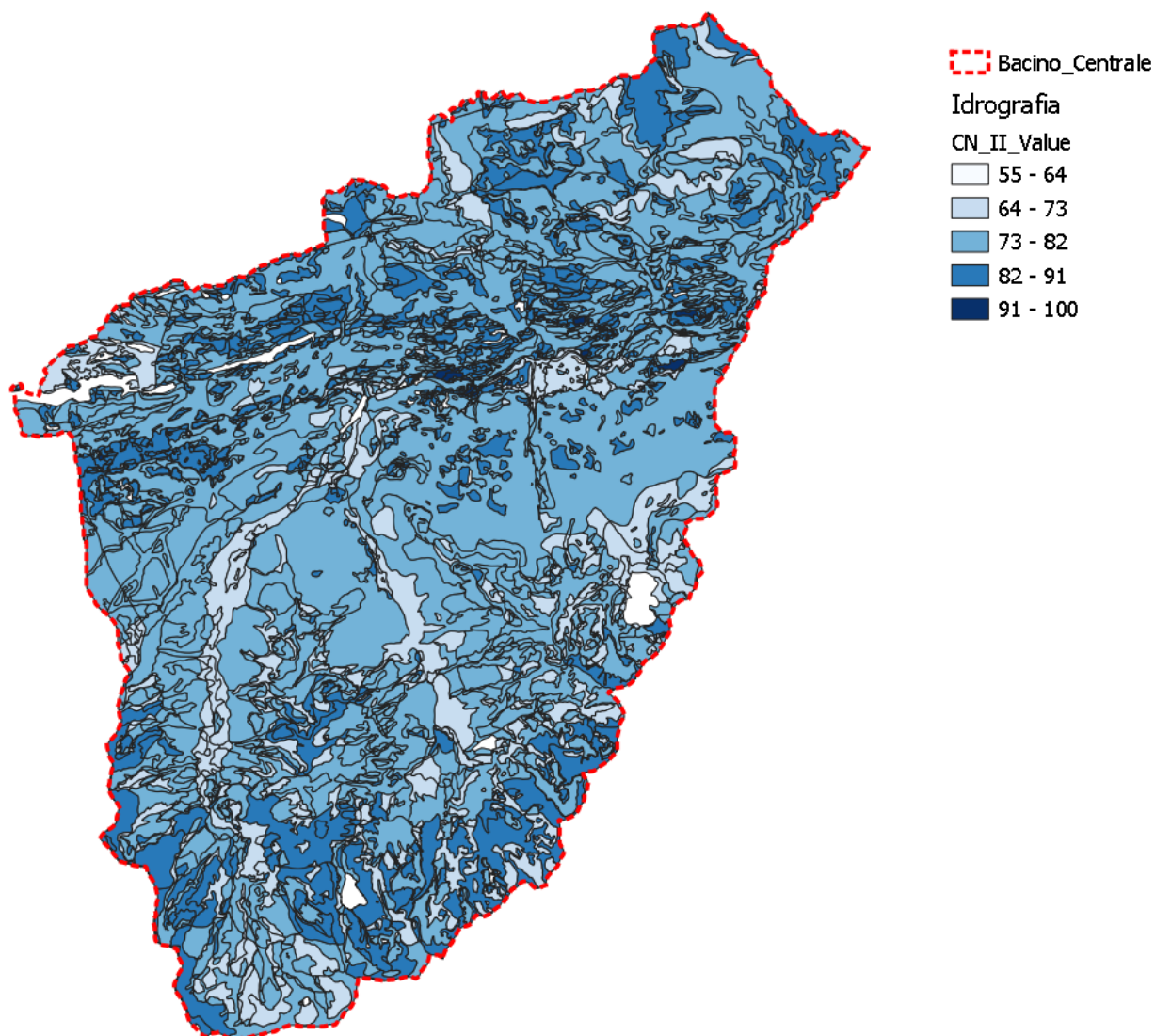


Figura 11: Valori del Parametro CN_II ricavati dal database DUSAF di uso del suolo e dalla permeabilità.

Da essi sono state infatti ricavate le classi di permeabilità A-D e i corrispettivi valori, traslati in un raster 20x20 con il valore del CN_II, CN_I e CN_III per ogni pixel. Dai raster è stato poi calcolato il CN medio del bacino:

Tabella 9: Valori medi di CN number sul bacino. Per i calcoli è utilizzato il CN_III che considera la situazione sfavorevole di terreno già saturo da precipitazioni precedenti

CN_I medio	CN_II medio	CN_III medio
59	77	88

Il valore di calcolo adottato è quello del CN_III, in quanto considera un terreno saturo da precipitazioni precedenti (situazione più sfavorevole).

4.2. Trasformazione Afflussi-Deflussi

Il Metodo Cinematico o della Corrivazione, fa parte della famiglia dei modelli di formazione di piena lineari. Questi modelli hanno la caratteristica di definire la relazione ingresso-uscita attraverso equazioni differenziali di tipo lineare a coefficienti costanti.

Il metodo cinematico basa su alcune considerazioni:

- la formazione della piena è dovuta unicamente ad un trasferimento della massa liquida
- ogni goccia di pioggia si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende solo dal punto in cui è caduta
- la velocità di una goccia non è influenzata dalla presenza di altre gocce
- la portata defluente è data dalla somma delle portate elementari provenienti dalle diverse parti del bacino, che si presentano nello stesso istante alla sezione di chiusura

La portata uscente dal bacino $q(t)$ si definisce in generale come integrale di convoluzione della portata di pioggia netta $p(t)$ moltiplicata per l'idrogramma unitario istantaneo $u(t)$ come in [24]

$$q(t) = \int_0^t u(t - \tau) \cdot p(\tau) d\tau \quad [24]$$

Nel caso del metodo della corrivazione $u(t)$ si definisce come in [25]

$$u(t) = \frac{1}{S} \cdot \frac{ds}{dt} \quad [25]$$

Dove S è la superficie totale e ds/dt l'espressione differenziale che rappresenta la curva Area-tempi, ovvero la relazione tra la superficie parziale del bacino e i relativi tempi di ruscellamento. Per un idrogramma di pioggia rettangolare, metodo di depurazione percentuale e una curva Area-tempi lineari esiste una soluzione analitica. La formulazione analitica per il valore di portata al colmo va a coincidere in questo caso con la formula razionale come espressa in [26].

$$Q_{max} = \emptyset \frac{A I_{critica}}{3,6} \quad [26]$$

Dove A è in km^2 , $I_{critica}$ in mm/h e \emptyset è il coefficiente di afflusso costante.

Nel momento in cui però si vuole utilizzare un modello di deflusso superficiale più avanzato come SCS-CN lo idrogramma delle piogge nette diventa irregolare e/o utilizzare una curva Area-tempi irregolare occorre utilizzare un approccio numerico. Definito un intervallo temporale dt pari al tempo di corrivazione t_c diviso un numero n l'area totale si divide in n aree di isocorrivazione A_i (di uguale tempo di ruscellamento fino alla chiusura del bacino). A_1 è l'area più a monte, A_n quella adiacente al

punto di chiusura. Vengono assunte come condizioni al contorno le 2 aree fittizie A_0 e A_{n+1} di superficie nulla, dove la prima indica il limite superiore del bacino e la seconda la sezione di chiusura del bacino. L'equazione discretizzata diventa quindi:

$$Q(i,t) = q(i,t) \cdot A_i + Q(i-1, t-1) \quad [27]$$

Dove la portata in ogni area A_i al tempo t $Q(i,t)$ corrisponde alla portata di deflusso superficiale di A_i al tempo t $q(i,t) \cdot A_i$ sommata alla portata al precedente tempo $t-1$ dell'area immediatamente a monte $Q(i-1, t-1)$. L'altezza di deflusso superficiale $q(i,t)$ può essere calcolato ogni istante con il metodo percentuale oppure con il metodo SCS-CN, sottraendo in quest'ultimo caso il valore calcolato sulla cumulata dall'istante iniziale a $t-1$ a quello calcolato dall'istante iniziale a t . Qualora la curva Area-tempi si assuma lineare, queste aree A_i saranno di uguale estensione pari all'area totale divisa per n . Ad ogni A_i può essere assegnato un diverso valore di percentuale o CN se necessario.

Nel caso d'interesse è stato usato il metodo cinematico con curva Area-tempi lineare, applicando sia il metodo percentuale che quello SCS-CN per il deflusso superficiale. Sia il coefficiente di afflusso del metodo superficiale che CN son stati assunti omogenei e pari ai valori descritti in precedenza (0.20 e 88 (CN_III) rispettivamente).

4.3. Confronto con il metodo di Bacchi (1999):

Come elemento di confronto, è utile calcolare la portata di picco considerando anche la relazione proposta da Bacchi et al. (1999), sviluppata in uno studio relativo alla valutazione delle portate di piena nella Provincia di Brescia. Tale relazione è valida per bacini con area drenante variabile da 1 a 40 km², in cui la portata al colmo di assegnata frequenza viene calcolata, secondo il metodo di regionalizzazione, come prodotto di una portata indice $m(Q_c)$ legata all'area drenata A (è l'area sottesa dalla sezione interessata) e di un coefficiente di crescita X_T espresso in funzione del tempo di ritorno T :

$$Q_{c,T} = X_T \cdot m(Q_c) \quad [28]$$

dove:

$$m(Q_c) = 3,24 \cdot A^{0,73} \quad [29]$$

$$X_T = 1 + 0,53 \cdot \frac{\exp \left[0,0521 \left(-\ln \left(-\ln \left((T-1)/T \right) \right) \right) \right] - 1,033}{0,072} \quad [30]$$

Nonostante il bacino abbia un'area di 100 Km², la relazione viene applicata ugualmente come puro raffronto con i risultati ottenuti con altri metodi.

5. Risultati

5.1. Portate ordinarie

Tabella 10: Portate medie annue ottenute da diversi metodi di regionalizzazione e DMV

Q m ³ /s			
Portata media annua			DMV (portata minima garantita nel corso d'acqua naturale)
PTUA 2016 su pioggia media	Proporzione areale con sottobacini già regionalizzati da PTUA 2016	B.U.R.L. 16/gennaio 2001 n° 3	
3,78	2,82	3,57	0,36

L'elaborazione dei dati disponibili ha permesso di ottenere la curva caratteristica delle portate naturali alla sezione di chiusura per il bacino idrografico in esame:

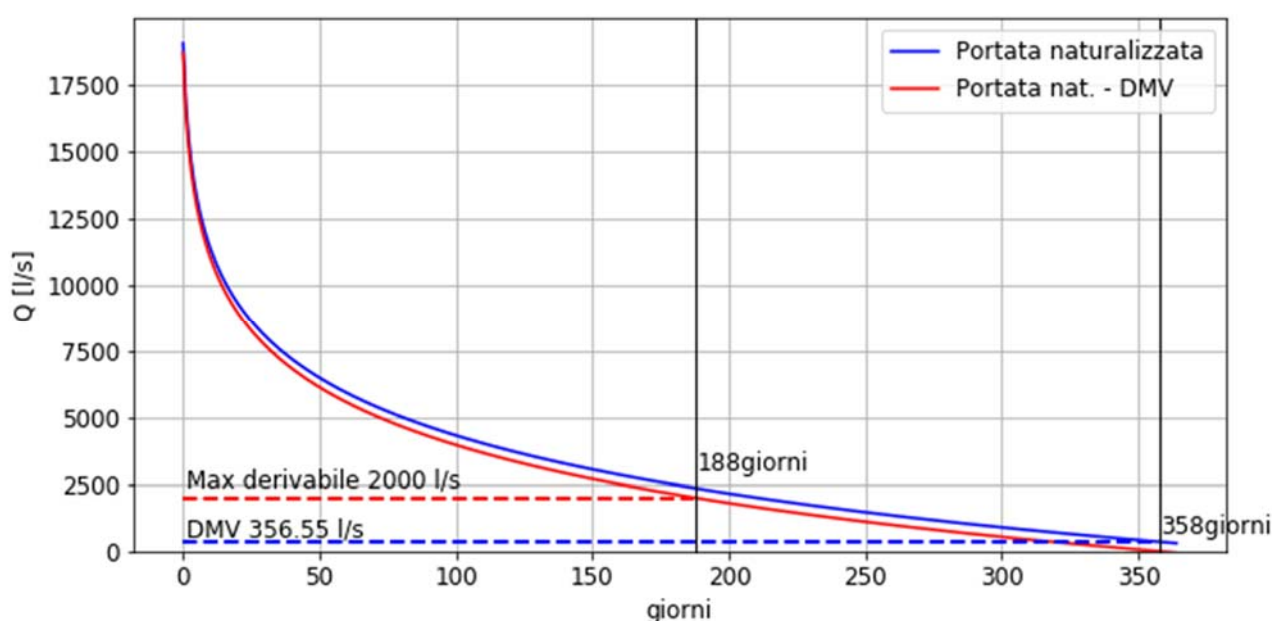


Figura 12: Curva di durata alla presa della centralina sul Torrente Ogliolo

Come si evince dal grafico, la portata supera il deflusso minimo vitale per 358 giorni all'anno, mentre la ci sarebbe la possibilità di prelevare la massima portata derivabile indicata nella concessione originale della centralina di 2 m³/s (tenendo conto del DMV) per 188 giorni.

5.2. Portate straordinarie

I risultati dell'altezza di pioggia lorda, netta e delle relative portate al colmo per tempi di ritorno tra 5 e 200 anni sono mostrati.

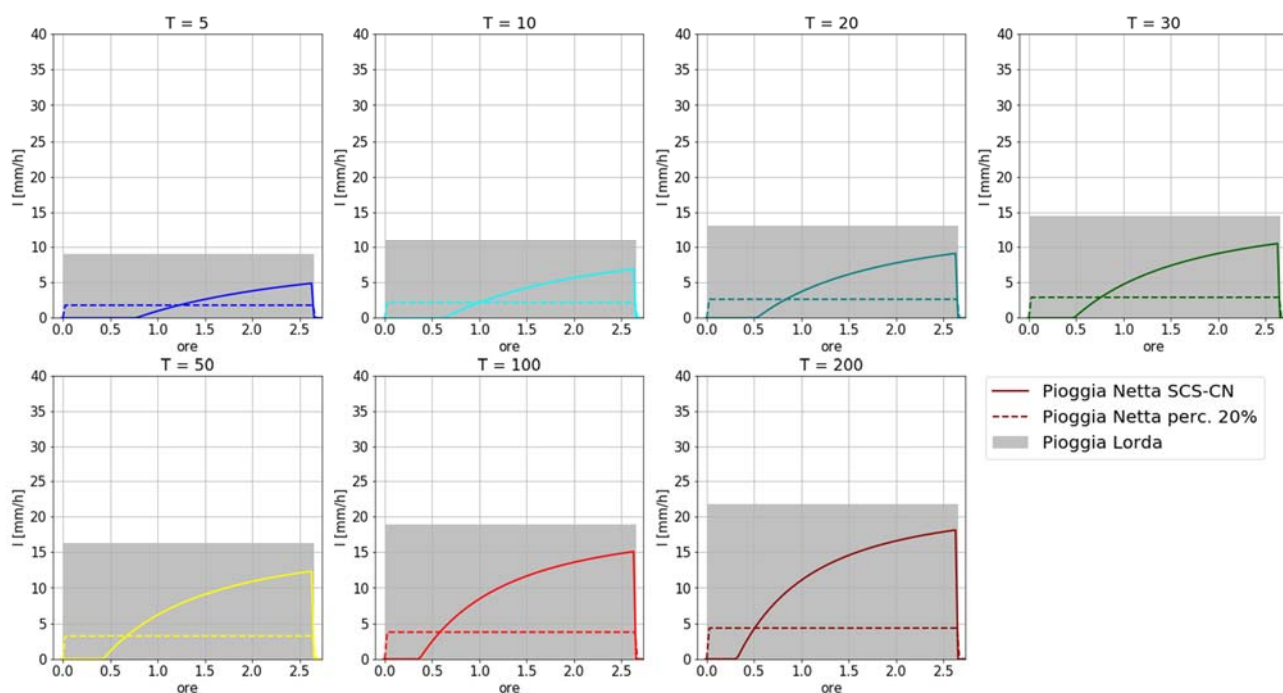


Figura 13: Portate di pioggia netta con metodo percentuale e SCS CN

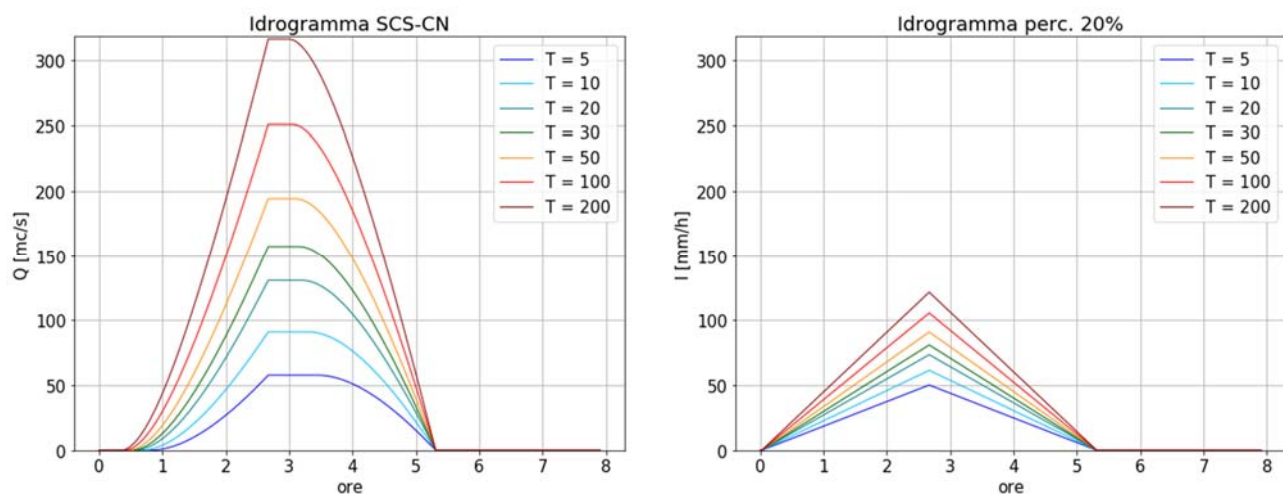


Figura 14: Idrogrammi di piena con il metodo della corrivazione e depurazione delle piogge con i metodi SCS CN e percentuale

Tabella 11: Portate al colmo di piena calcolate con il metodo della corrivazione depurato con SCS CN e con il metodo percentuale. E' presente anche il confronto con la formula empirica di Bacchi.

T	Q CN m ³ /s	Q perc. m ³ /s	Q Bacchi m ³ /s
T = 10	91.04	61.47	156.88
T = 20	130.74	73.48	186.54
T = 30	157.18	80.95	204.12
T = 50	194.11	90.9	226.63
T = 100	251.08	105.5	257.97
T = 200	316.5	121.5	290.35

Il metodo della corrivazione con SCS CN è scelto per le portate al colmo da adottare.