ALPEN 2.0

PROGETTO DI IMPIANTO IDROELETTRICO “CIAVANETTE” IN COMUNE DI BALME

PROGETTO DEFINITIVO

IMPIANTO DI PRODUZIONE

Relazione idrologica

PROGETTISTA

HYDRODATA INGEGNERIA DELLE RISORSE IDRICHE

Ing. Luca Fresia

CODICE DOCUMENTO	ELABORATO
3881-A05-00101.DOCX	**A.03**

REV.	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	AUTORIZZAZIONE	MODIFICHE
01	AGO.25	M. SIMBOLA	L.DUTTO	L.FRESIA	
00	SETT. 24	M. CARGNELUTTI	L.DUTTO	L.FRESIA	

RIPRODUZIONE O CONSEGNA A TERZI SOLO DIETRO SPECIFICA AUTORIZZAZIONE

INDICE

1. PREMESSA 1

2. ANALISI IDROLOGICA 2
   2.1 Descrizione sintetica del comportamento idrologico del Pian Della Mussa 3
   2.2 Determinazione dell'afflusso medio annuo 4
   2.3 Elaborazione dei dati della stazione di misura della Stura di Ala a Ciavanette di SMAT 5
   2.4 Elaborazione dei dati della stazione di misura della Stura di Lanzo a Lanzo (SLALA) 11
   2.5 Modello idrologico di trasformazione afflussi-deflussi 15
      2.5.1 Descrizione del codice di calcolo 15
      2.5.2 Messa a punto del modello NAM 18
         2.5.2.1 Input meteorico 19
         2.5.2.2 Deflusso ipodermico e di base 21
      2.5.3 Calibrazione del modello NAM 21
      2.5.4 Risultati della simulazione su lungo periodo 22
   2.6 Determinazione delle curve di durata delle portate disponibili alla sezione di Ciavanette 23
   2.7 Determinazione delle curve di durata delle portate disponibili alla sezione di presa dell'impianto 25

3. CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA 28
   3.1 Bacino in esame 28
   3.2 Analisi delle precipitazioni intense 30
   3.3 Determinazione delle portate massime al colmo 31
      3.3.1 Determinazione del tempo di corrivazione 31
      3.3.2 Calcolo delle portate di piena: metodo razionale 33

4. CALCOLO DEL DEFLUSSO ECOLOGICO 34
   4.1 Calcolo del DMV idrologico e del DMV di base 34
   4.2 Calcolo del Deflusso Ecologico 35

5. DETERMINAZIONE DEI DATI DI ESERCIZIO DELL'IMPIANTO 40
   5.1 Portate naturali, derivabili, derivate e rilasciate in corrispondenza dell'opera di presa 40
      5.1.1 Anno medio 40
      5.1.2 Anno scarso 41
   5.2 Producibilità attesa 43
   5.3 Parametri di concessione 44

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è la determinazione della risorsa disponibile alla sezione di presa sul torrente Stura di Ala dell'impianto idroelettrico denominato Ciavanette in progetto, ubicato nel tratto tra Pian della Mussa e il capoluogo comunale di Balme (provincia di Torino), che sottende un bacino idrografico di superficie pari a 31,85 km^2.

Lo studio è stato condotto nei termini standard di caratterizzazione idrologica del bacino imbrifero finalizzata all'analisi di producibilità idroelettrica attraverso la definizione di una portata media e di una curva media di durata delle portate.

Per le finalità dello studio sono state utilizzate le serie storiche delle portate giornaliere misurate presso:

- sezione di misura delle portate di SMAT S.p.A. ubicata poco a monte della prevista opera di presa (S = 28,36 km^2);
- stazione idrometrica Stura di Lanzo a Lanzo (SLALA) dotata di serie storica molto estesa (S = 580,46 km^2).

L'impianto risulterà infatti sotteso dal prelievo idropotabile-idroelettrico di SMAT a Pian della Mussa (vedi Figura 1), che risulta, da concessione, pari a 650 l/s massimi e 385 l/s medi, a scopo misto idropotabile (300 l/s medi) e idroelettrico (potenza nominale 1.113,4 kW).



Figura 1 – Tracciato dell'acquedotto SMAT (fonte Catasto Derivazioni Provincia di Torino) ed individuazione degli idrometri e delle opere in progetto.

Vista la presenza di due stazioni di misura, è stato possibile eseguire lo studio elaborando direttamente i dati di portata delle serie storiche disponibili, ottenendo un discreto grado di affidabilità nei risultati, nonostante il fatto che la prima serie storica disponga di pochi anni di misura e che la sua sezione risulti sottesa da una derivazione mista idropotabile-idroelettrica e che la seconda serie storica corrisponda ad un bacino idrografico di circa 20 volte maggiore di quello contribuente all'opera di presa in esame (con sezione di misura però non sottesa da alcun impianto di derivazione).

Per supportare maggiormente le valutazioni idrologiche condotte si è inoltre fatto ricorso alla messa a punto di un modello deterministico afflussi-deflussi del tipo a parametri concentrati (basato sul codice di calcolo NAM del DHI) che è stato possibile realizzare vista la disponibilità di dati di input pluvio-termometrici e di dati idrometrici per la sua taratura.

Definita la risorsa naturale disponibile è stato determinato successivamente il deflusso ecologico (DE) alla sezione di presa dell'impianto in esame, applicando la normativa regionale vigente ed ottemperando alle prescrizioni formalizzate nell'ambito della Conferenza dei Servizi del 13/03/2025.

2. ANALISI IDROLOGICA

Sono state preliminarmente condotte le seguenti attività di base:

- delimitazione dei bacini imbriferi del torrente Stura di ala alla sezione di presa dell'impianto in progetto e alla sezione di misura delle portate di SMAT; determinazione della superficie dei bacini e dell'altitudine media mediante tecniche GIS utilizzando il DEM della Regione Piemonte a maglia 5 m;
- raccolta di tutti i dati disponibili delle serie storiche delle portate medie giornaliere delle stazioni di misura:
  - ✓ Stura di Ala a Ciavanette di SMAT con dati disponibili dal 15/07/2010 al 31/12/2014;
  - ✓ Stura di Lanzo a Lanzo (SLALA), comprendente gli anni di gestione del Servizio Idrografico (1942÷1943, 1946÷1981 per un totale di 38 anni) e gli anni recenti in cui la stessa stazione è stata riattivata dall'ARPA Piemonte (2002÷2022, in totale 21 anni);
- determinazione, come descritto nel seguito, dei dati di afflusso totale annuo sui bacini considerati.

Nella Figura 2 è riportata una corografia del bacino idrografico del torrente Stura di Ala sotteso dall'opera di presa dell'impianto in progetto. Nella stessa figura è riportato anche il limite del bacino idrografico sotteso dalla stazione idrometrica di SMAT.

I bacini imbriferi di interesse presentano le caratteristiche principali indicate nella Tabella 1.

DENOMINAZIONE BACINO	SUPERFICIE (km^2)	QUOTA MEDIA (m s.m.)	QUOTA SEZIONE CHIUSURA (m s.m.)
Stura di Ala alla sezione di presa	31,85	2561	1734
Stura di Ala alla sezione di misura	28,36	2590	1740
Stura di Lanzo a Lanzo (SLALA)	580,46	1763	449

Tabella 1 - Principali caratteristiche fisiografiche dei bacini imbriferi di interesse.

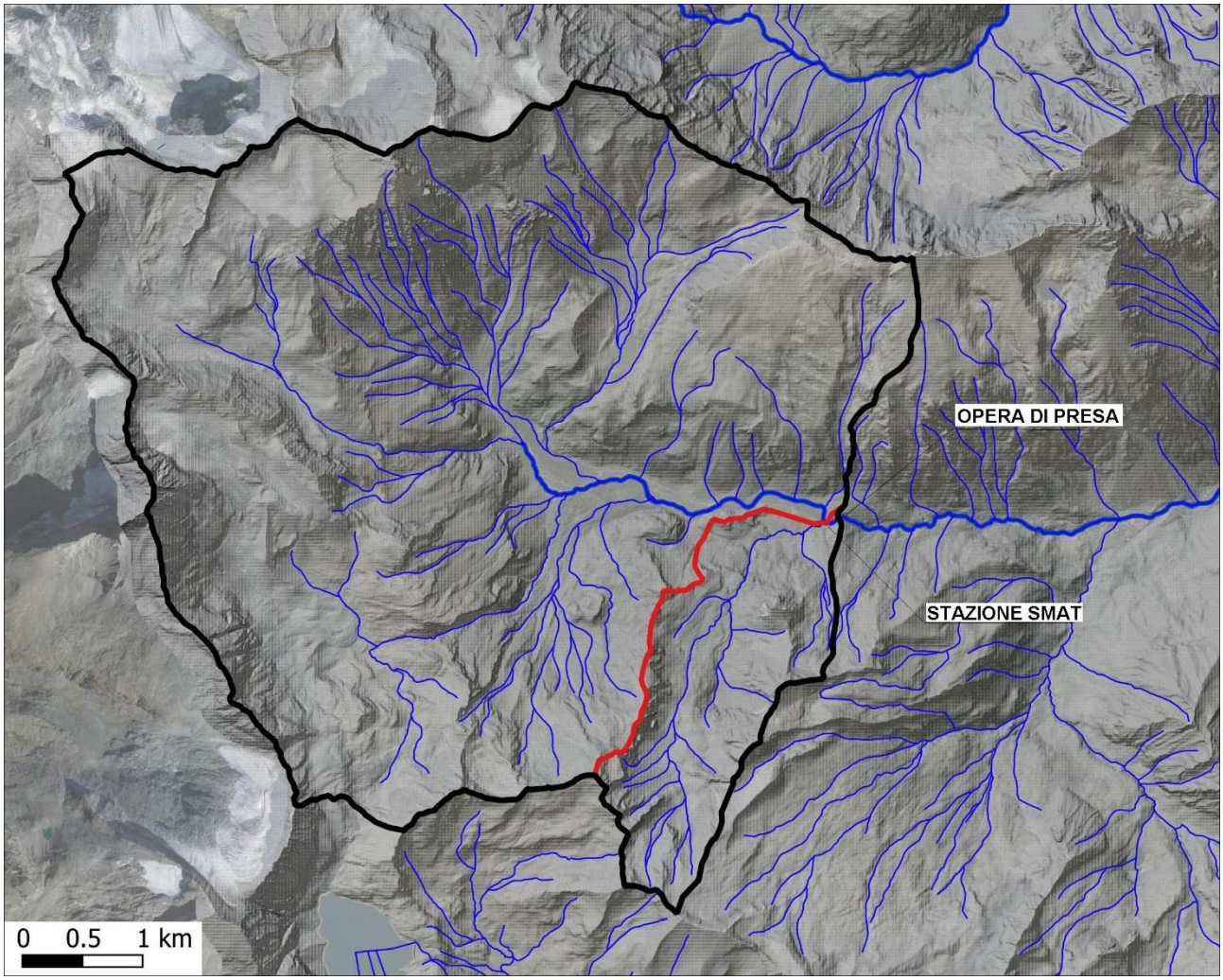


Figura 2 - Corografia dei bacini idrografici del torrente Stura di Ala: bacino sotteso dall'opera di presa, bacino sotteso dalla stazione misura di SMAT.

2.1 Descrizione sintetica del comportamento idrologico del Pian Della Mussa

Per quanto osservato in sito nel corso di alcuni anni di attività di monitoraggio idrologico e idrogeologico condotti da HYDRODATA S.p.A. per conto di SMAT, al Pian della Mussa lo scioglimento delle nevi comincia ad alimentare i corsi d'acqua superficiali generalmente a partire dai primi giorni di maggio e l'aumento degli apporti superficiali derivanti dallo scioglimento della coltre nevosa è decisamente rapido, con un incremento dei deflussi di centinaia di litri al secondo in pochi giorni. L'andamento stagionale delle temperature e gli apporti pluviometrici regolano l'entità dei flussi in alveo.

Dalla seconda metà di luglio si verifica normalmente una generale, lenta diminuzione degli apporti derivanti dallo scioglimento della neve; il periodo di maggiore abbondanza dei deflussi in alveo risulta compreso tra la fine di maggio e la metà di luglio con valori di portata quasi sempre maggiori di 1,5 m^3/s. I maggiori incrementi dell'idrogramma vengono determinati non a seguito degli apporti pluviometrici, ma degli apporti per lo scioglimento della coltre nevosa.

Nei mesi di gelo si osserva generalmente una totale assenza di deflussi in alveo anche a monte del prelievo SMAT di Pian della Mussa; tale condizione persiste per circa sei mesi l'anno. A valle della sezione di presa in progetto un minimo deflusso in alveo è garantito dalla presenza del rio Saulera, alimentato in prevalenza da risorgive, e da modesti apporti del bacino residuo (particolarmente dal versante sinistro).

Il prelievo SMAT è presente da prima del 1900; nel 2008 esso è stato potenziato mediante l'introduzione di pozzi per alimentare l'acquedotto nei mesi invernali, quando l'apporto della sola galleria filtrante non risulta in grado di soddisfare i fabbisogni. I pozzi prelevano da acque profonde; viceversa, la trincea drenante intercetta le acque del versante sinistro ad una quota confrontabile con quella dell'alveo, riducendo dunque potenzialmente le portate nel reticolo superficiale rispetto ad una condizione teorica naturale. Tale riduzione si verifica comunque principalmente nei mesi di morbida, in quanto, come detto in precedenza, i mesi invernali risultano caratterizzati da una sostanziale assenza di deflussi in alveo anche a monte del prelievo SMAT.

2.2 Determinazione dell'afflusso medio annuo

Per la valutazione dell'afflusso totale annuo ragguagliato, ovvero dell'altezza di pioggia cumulata annua caratteristica dei bacini di interesse, si è fatto ricorso ad una procedura di regionalizzazione dei dati pluviometrici registrati dalle stazioni di misura dell'intera rete della Regione Piemonte[1].

L'informazione idrologica relativa a tali stazioni di misura è stata regionalizzata discretizzandola sul territorio in una griglia a maglie quadrate di lato pari a 500 m, attraverso le quali è possibile calcolare il valore medio di precipitazione annua relativo all'area dei bacini di interesse.

Gli andamenti di calcolo delle isoiete sono stati verificati in relazione alla morfologia del territorio e alla disposizione spaziale degli spartiacque principali, apportando le necessarie correzioni ai risultati della semplice interpolazione. Questa procedura è stata applicata ad una base dati di partenza corrispondente alle registrazioni effettuate nel periodo complessivo 1995-2022 in cui le stazioni pluviometriche regionali risultano disponibili.

Nella Tabella 2 sono elencati i valori medi di precipitazione totale annua ragguagliata ai bacini imbriferi di interesse relativi al periodo 1995-2022.

DENOMINAZIONE BACINO	h (mm)
Stura di Ala alla sezione di presa	1142
Stura di Ala alla sezione di misura	1138
Stura di Lanzo a Lanzo (SLALA)	1217

Tabella 2 – Valori medi di precipitazione totale annua ragguagliata ai bacini imbriferi di interesse.

L'afflusso medio degli anni recenti è risultato pari a circa 1.140 mm, valore di circa un 8,5% inferiore a quello desumibile dalle elaborazioni del PTA basate sui dati "storici" (1951-1996), pari a 1.249 mm. Appare quindi abbastanza trascurabile l'incidenza sul bacino in esame di eventuali variazioni del regime idrologico dovute a fenomeni di cambiamento climatico, risultati invece più evidenti in altre aree territoriali.

[1] "Regione Piemonte – Servizio di manutenzione stazioni di qualità dell'acqua, stazioni piezometriche e gestione idraulica stazioni idrometriche della Regione Piemonte - Riepilogo idrologico annuale delle stazioni idrometriche della rete regionale", HYDRODATA, 2001-2022.

2.3 Elaborazione dei dati della stazione di misura della Stura di Ala a Ciavanette di SMAT

Nell'estate 2010 sono state installate, a cura di SMAT, due stazioni idrometriche poco a monte del Ponte Ciavanette per il monitoraggio idrologico dei deflussi della Stura di Ala, a valle del prelievo idropotabile-idroelettrico di SMAT al Pian della Mussa, nell'ambito del programma di indagini locali previste dal Piano triennale di Monitoraggio richiesto dalla Provincia in seguito alla messa in esercizio dell'impianto idroelettrico di Balme (vedi Tabella 3 e Figura 3).

CODICE	DENOMINAZIONE	UBICAZIONE
STAZ. A	Stura di Ala monte troppo pieno trincea	Valle opere di presa; passerella presso località Ciavanette
STAZ. B	Canale scarico di troppo pieno trincea	Valle opere di presa; canale di scarico da troppo pieno della camera di carico

Tabella 3 - Stazioni di misura idrometrica sulla Stura di Ala a Ponte Ciavanette.

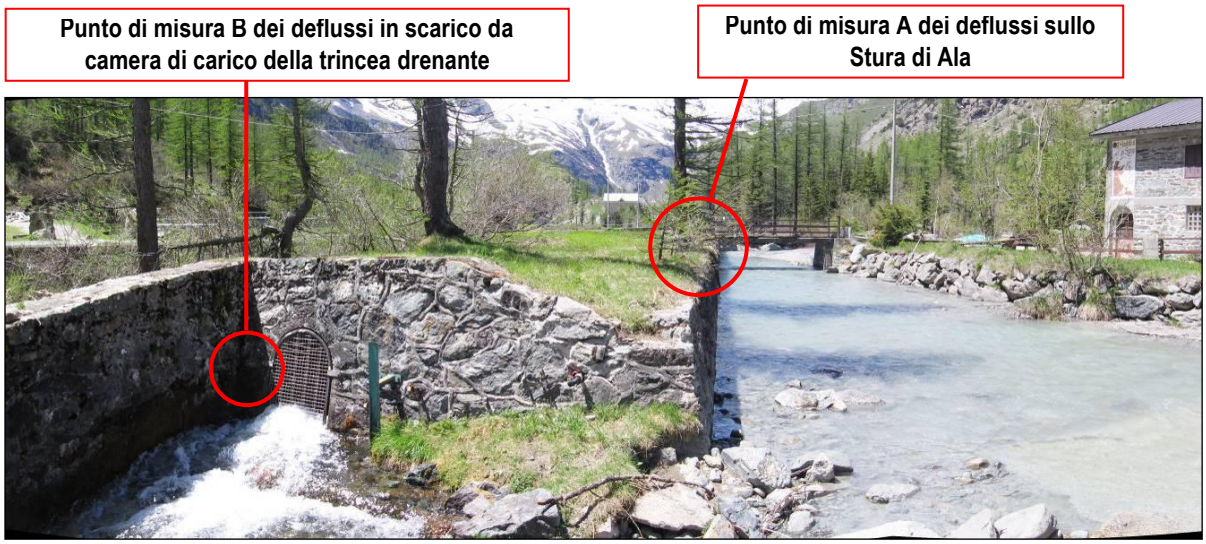


Figura 3 - Panoramica verso monte sui punti di misura della portata dello Stura (Stazione "A") e dello scarico dalla trincea drenante (Stazione "B").

L'ubicazione della sezione di misura automatica a confronto con la sezione di presa dell'impianto in esame è mostrata su CTR nella Figura 4.

Analizzando le registrazioni degli idrometri, rese disponibili da SMAT sul periodo giugno 2010 - dicembre 2012, è possibile definire con buona precisione la portata defluente alla sezione di presa.

I dati idrometrici misurati sono stati trasformati in valori di portata avendo a disposizione scale di deflusso opportunamente tarate e aggiornate. I valori di portata così ottenuti su base di tempo semioraria sono stati successivamente mediati su base giornaliera.

Nella Figura 5 si osservano gli andamenti di portata giornaliera dei due misuratori e la portata totale in alveo a valle, che rappresentano la reale disponibilità idrica a valle del prelievo SMAT al Pian della Mussa. Nella stessa figura sono anche riportate (pallini blu e rossi) tutte le misure dirette effettuate, su base quasi mensile, sulle sezioni strumentate.

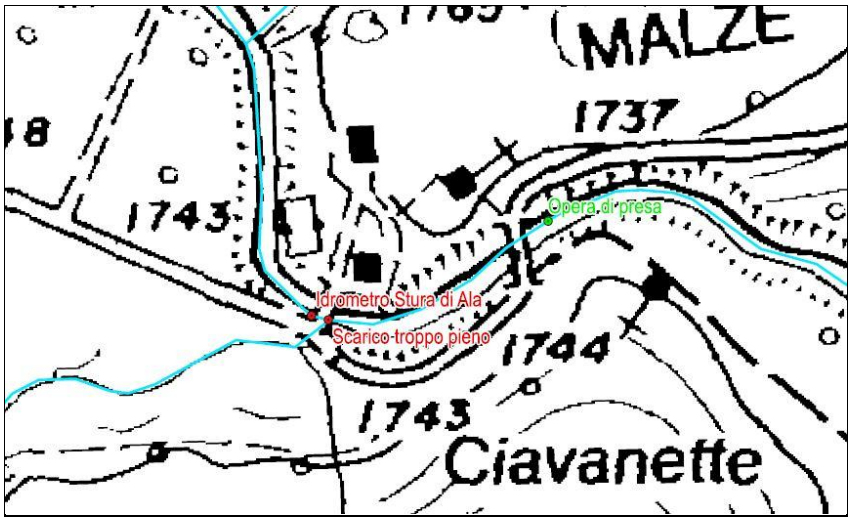


Figura 4 - Ubicazione della sezione di monitoraggio SMAT (rosso) a confronto con l'ubicazione della sezione di presa (verde).

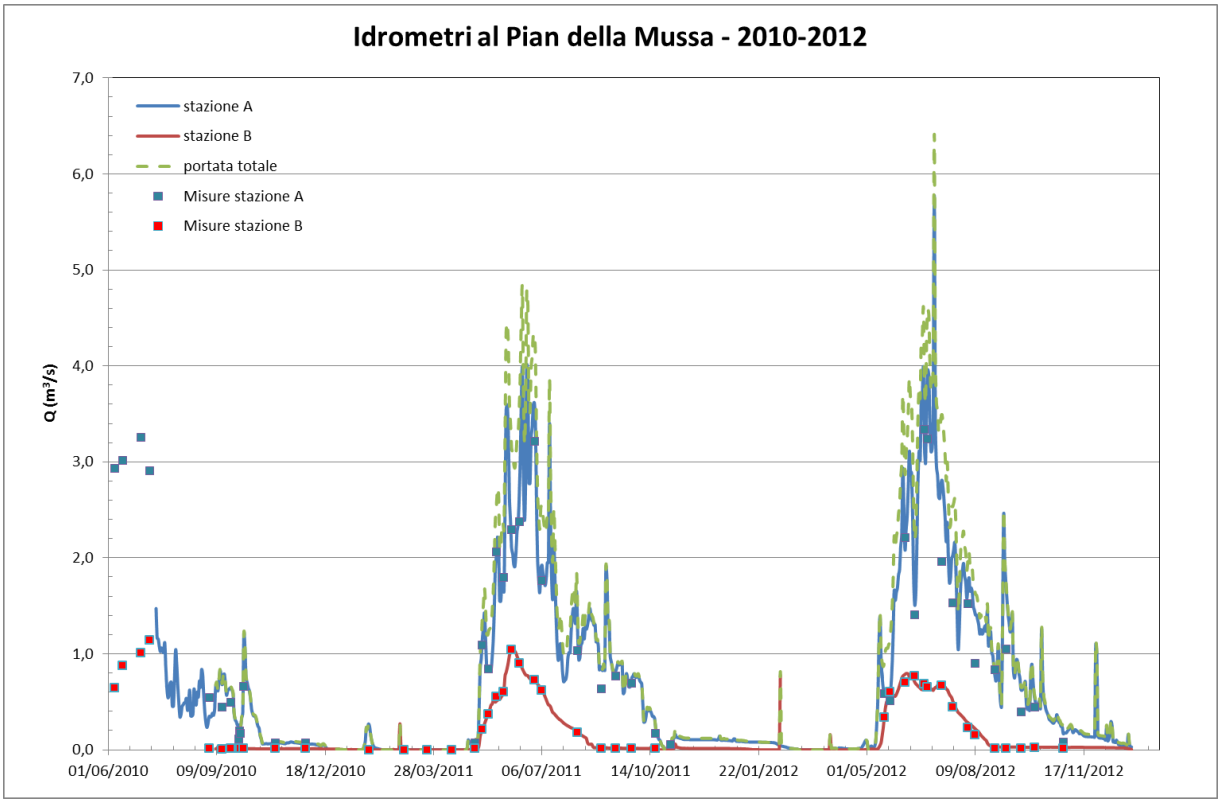


Figura 5 - Portate registrate presso le stazioni di monitoraggio idrometrico SMAT sul torrente Stura di Ala a Ciavanette e sullo scarico del troppo pieno della trincea drenante di SMAT a confronto con le portate misurate tramite campagne in sito (2010-2012).

Elaborando i dati registrati, validati sul periodo settembre 2010-dicembre 2012, si rileva che le portate massime che si producono in alveo nella stagione estiva sono notevoli e per alcuni giorni all'anno superano i 4 m^3/s.

Nella Figura 6 si riporta il grafico delle portate medie giornaliere registrate sulla Stura a Ciavanette nel 2011 e l'andamento delle precipitazioni medie giornaliere registrate alla stazione pluviometrica di Balme. Nella Figura 7 si riporta il medesimo grafico per l'anno 2012.

Dai grafici si osserva con evidenza che le precipitazioni invernali, prevalentemente nevose, non producono portate defluenti nel torrente. Viceversa, le precipitazioni primaverili-estive non giustificherebbero le portate che invece si registrano fra maggio e settembre, le quali risultano in effetti prodotte sia dallo scioglimento delle coltri nevose fra maggio e giugno, sia dal comportamento di rilascio del bacino idrogeologico del Pian della Mussa.

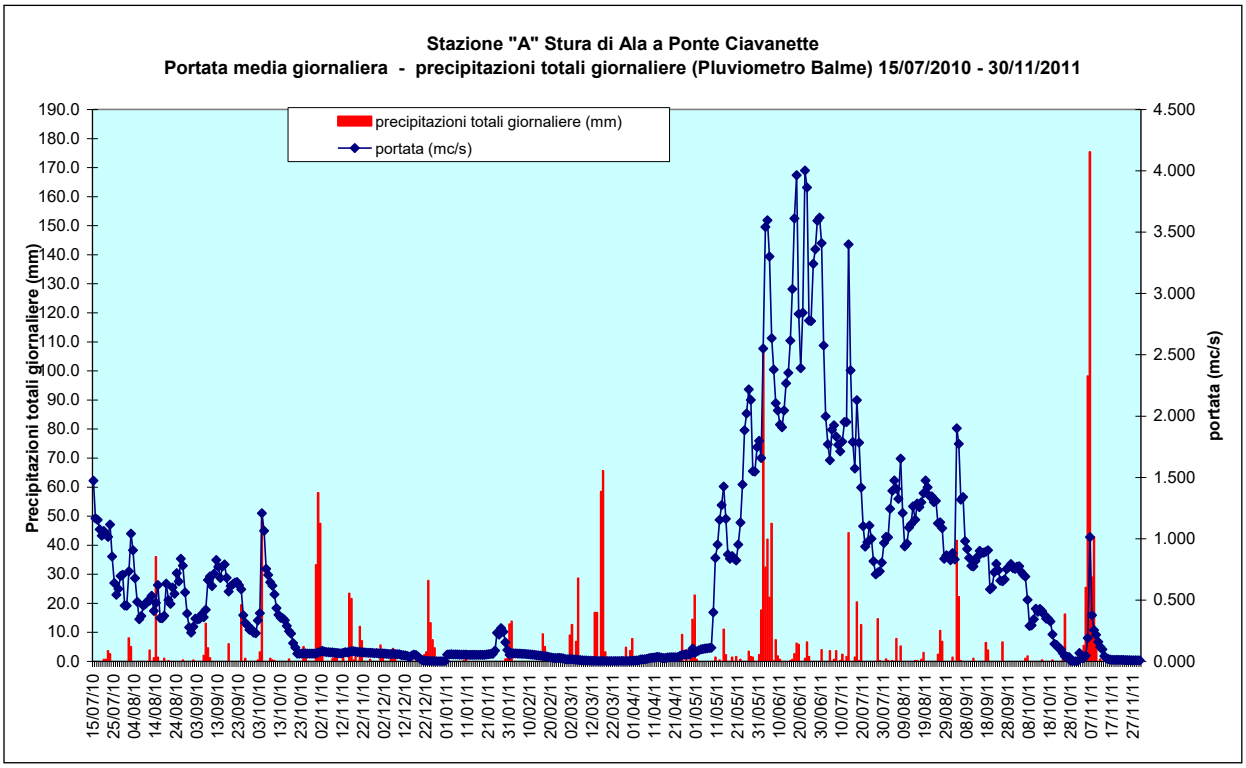


Figura 6 - Andamenti giornalieri delle portate sulla Stura di Ala a monte di ponte Ciavanette e delle precipitazioni a Balme – anno 2011.

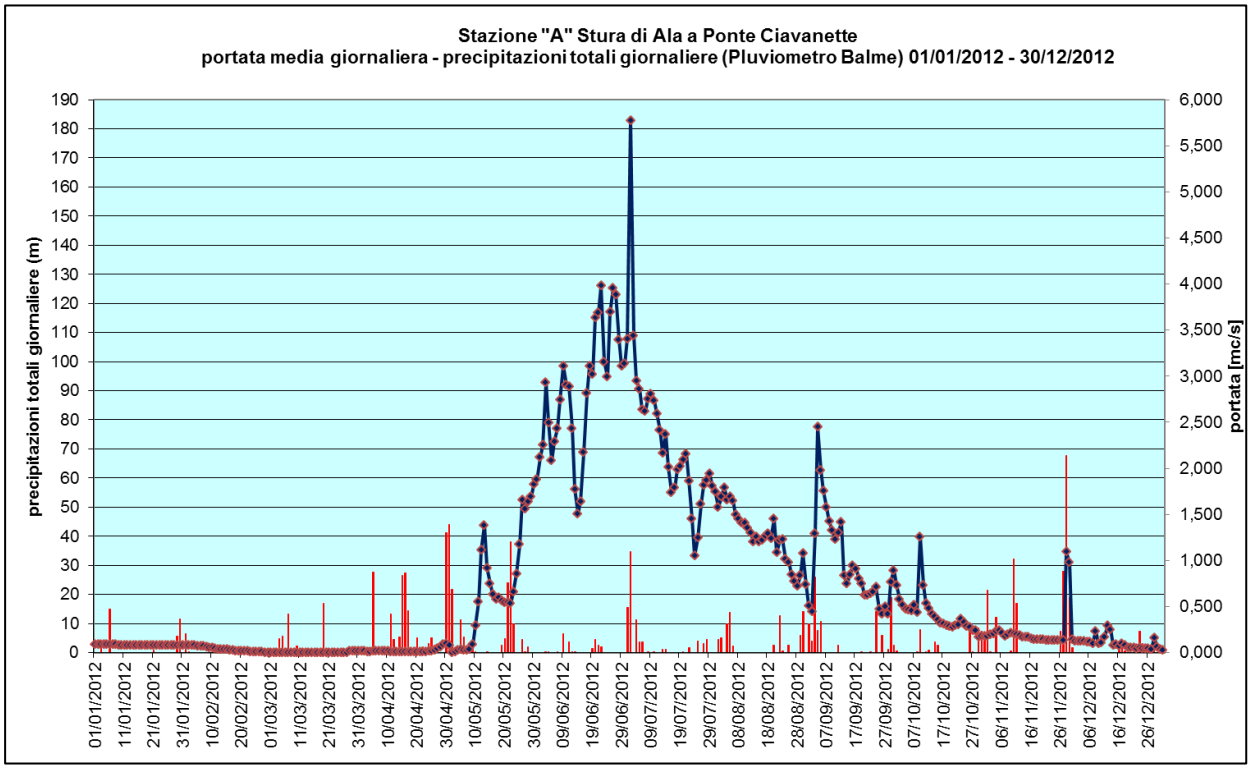


Figura 7 - Andamenti giornalieri delle portate sulla Stura di Ala a monte di ponte Ciavanette e delle precipitazioni a Balme – anno 2012.

Come noto, la sezione di presa è sottesa dal prelievo di SMAT, caratterizzato dai parametri di concessione esposti nella Tabella 4.

MESE	DURATA (ore)	$Q_{turbinabile}$ (l/s)	Volume (m^3)
Gennaio	744	300	803.520
Febbraio	678	300	732.240
Marzo	744	300	803.520
Aprile	720	300	777.600
Maggio	744	350	937.440
Giugno	720	400	1.036.800
Luglio	744	650	1.740.960
Agosto	744	650	1.740.960
Settembre	720	500	1.296.000
Ottobre	744	400	1.071.360
Novembre	360	300	388.800
Dicembre	744	300	803.520
TOTALI	8.406	-	12.132.720

Tabella 4 – Portate e volumi mensili derivabili da SMAT a Pian Della Mussa.

A partire dai dati noti di prelievo di SMAT nel biennio 2011-2012, è stato successivamente ricostruito con buona approssimazione un andamento teorico "naturale" dei deflussi in assenza della derivazione di Pian Della Mussa sommando i valori delle portate derivate da SMAT alle portate misurate in alveo.

Per il biennio successivo 2013-2014 è risultata disponibile soltanto la serie delle portate misurate alla stazione “A” di Ciavanette mentre la serie delle portate relativa alla stazione “B” è stata ricostruita come media sull’anno delle portate giornaliere misurate nei due anni 2011-2012: questa operazione è da ritenersi sufficientemente corretta vista la scarsa variabilità dei contributi di deflusso sotterraneo intercettati dalla trincea drenante (vedi Figura 5). Nella Figura 8 sono rappresentate le serie delle portate misurate e ricostruite relative agli anni 2013-2014.

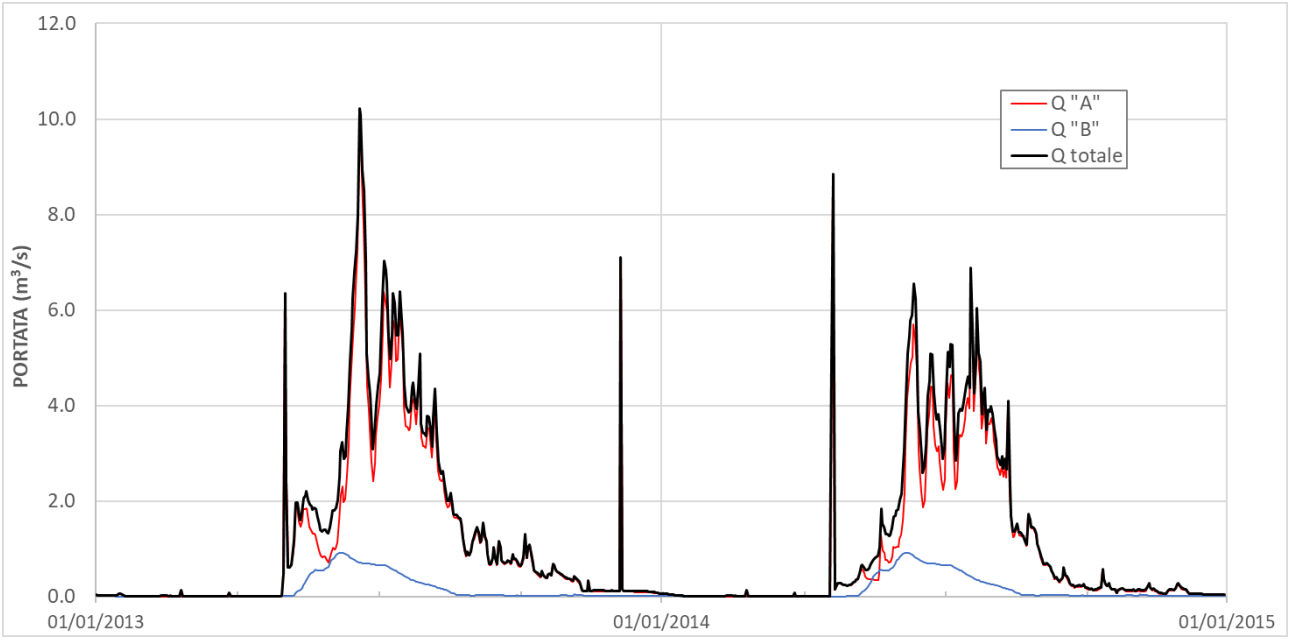


Figura 8 - Portate registrate e ricostruite delle stazioni di monitoraggio idrometrico SMAT sul torrente Stura di Ala a Ciavanette negli anni 2014-2015.

Per ottenere la serie delle portate naturali alla sezione di misura di Ciavanette negli anni 2013-2014, si è sommata per entrambi gli anni, alla serie somma dei contributi misurati della stazione “A” e dei contributi ricostruiti alla stazione “B”, la serie nota delle portate derivate nell’anno 2012 che è risultata compatibile con i valori di portata di concessione indicati nella Tabella 4. L’analoga serie delle portate derivate nell’anno 2011 non è stata invece considerata perché ha evidenziato anomalie di andamento temporale e discontinuità di funzionamento.

Nella Figura 9 è rappresentata la serie storica delle portate medie giornaliere misurate e di quelle naturali ricostruite alla stazione della Stura di Ala a Ciavanette nel periodo complessivo di funzionamento disponibile (anni 2011÷2014).

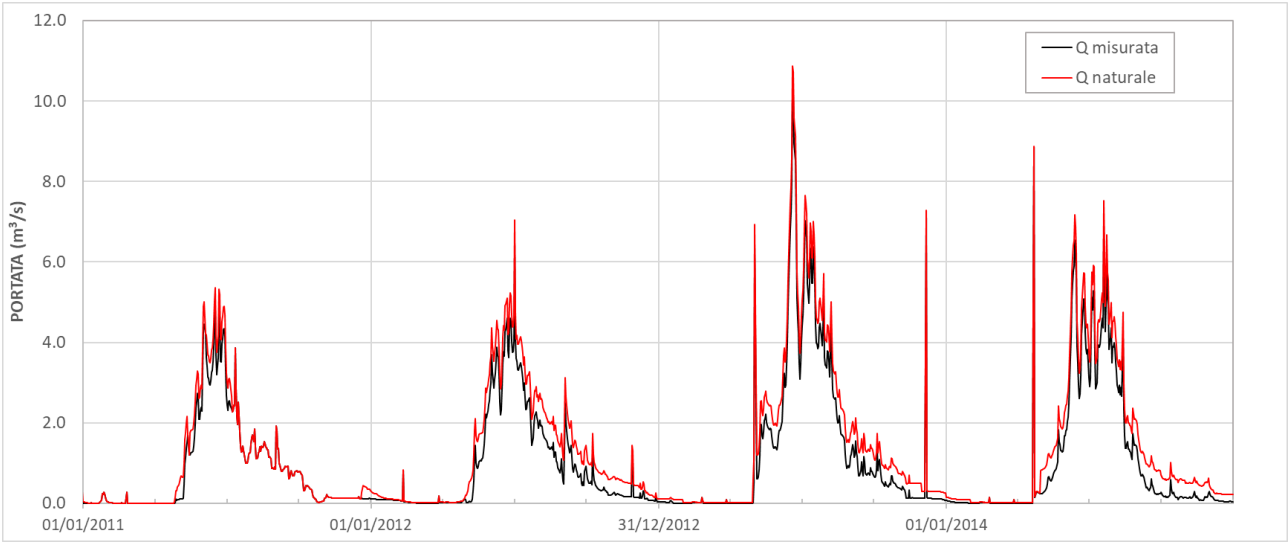


Figura 9 – Serie storiche delle portate medie giornaliere misurate e naturali ricostruite alla stazione della Stura di Ala a Ciavanette.

La serie delle portate naturali alla sezione di presa dell'impianto in progetto è stata determinata mediante trasposizione dei corrispondenti valori ricostruiti alla sezione di misura di Ciavanette in funzione della portata media annua calcolata tramite applicazione della formula di regionalizzazione "SIMPO" (vedi descrizione nell'allegato 1) in base alla seguente relazione:

$$Q_{NAT-PRESA} = Q_{NAT-MISURA} \cdot \frac{Q_{PRESA,SIMPO}}{Q_{MISURA,SIMPO}} = Q_{NAT-MISURA} \cdot 1{,}120$$

Tale metodologia di ricostruzione permette di introdurre nell'analisi l'influenza dei fattori superficie, quota media del bacino idrografico e afflusso medio annuo, in quanto parametri di calcolo presenti nella formula SIMPO della portata media annua.

Infine, la serie delle portate disponibili alla sezione di presa dell'impianto in progetto è stata determinata sottraendo alla serie delle portate naturali la serie ricostruita delle portate derivate da SMAT.

Nella Figura 10 è riportato il confronto grafico tra la serie delle portate medie giornaliere naturali e la serie delle portate medie giornaliere disponibili alla sezione dell'opera di presa della centrale in progetto.

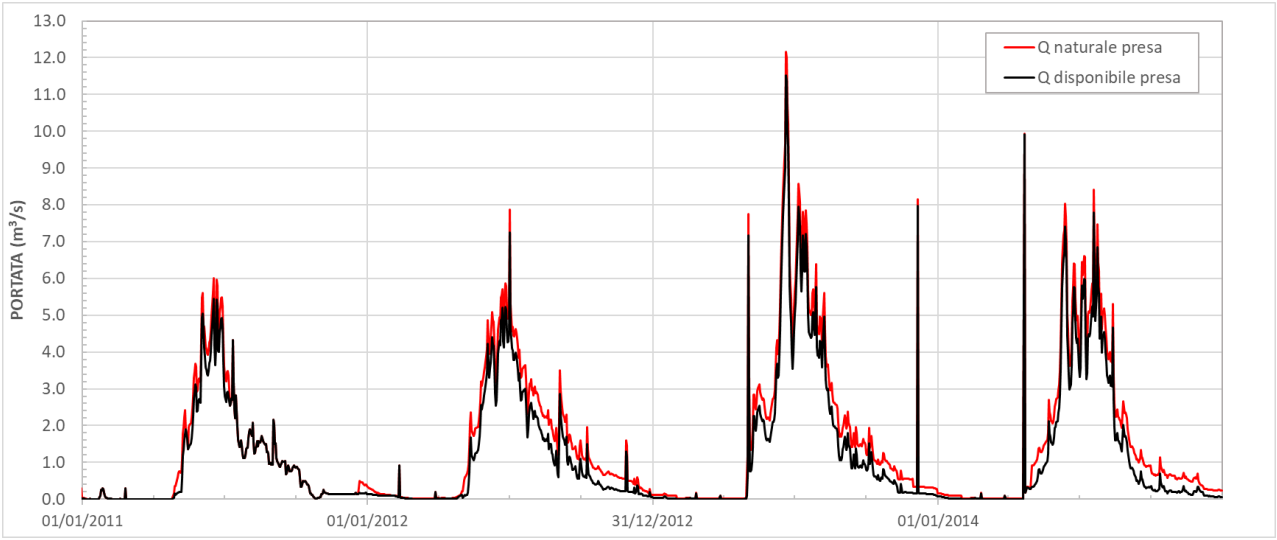


Figura 10 – Confronto tra la serie delle portate medie giornaliere naturali e la serie delle portate medie giornaliere disponibili alla sezione dell'opera di presa della centrale in progetto.

2.4 Elaborazione dei dati della stazione di misura della Stura di Lanzo a Lanzo (SLALA)

Sono state utilizzate le serie delle portate medie giornaliere misurate presso la stazione SLALA, recuperando i dati relativi agli anni di gestione del Servizio Idrografico (1942÷1943, 1946÷1981 per un totale di 38 anni) e agli anni recenti in cui la stessa stazione è stata riattivata dalla Regione Piemonte (2002÷2022, in totale 21 anni). Relativamente a questi ultimi, i dati sono pubblicati su base giornaliera (portata media, massima, minima) sul sito web di ARPA Piemonte, nel *Bollettino Idrologico di Sintesi*, e successivamente riassunti negli annali.

Al fine di verificare la validità della "trasposizione" delle portate misurate da stazioni idrometriche che sottendono bacini di molto superiori a quello sotteso dall'impianto in esame (580 km^2 SLALA a fronte di circa 32 km^2 Ciavanette), si è proceduto innanzitutto ricostruendo la serie storica delle portate medie giornaliere naturali della Stura di Ala a Ciavanette mediante trasposizione dei corrispondenti valori misurati a SLALA in funzione della portata media annua calcolata tramite applicazione della formula di regionalizzazione "SIMPO":

$$Q_{NAT-MISURA} = Q_{SLALA} \cdot \frac{Q_{MISURA,SIMPO}}{Q_{SLALA,SIMPO}} = Q_{SLALA} \cdot 0{,}056$$

Come già detto, questa metodologia di ricostruzione permette di introdurre nell'analisi l'influenza dei fattori superficie, quota media del bacino idrografico e afflusso medio annuo, in quanto parametri di calcolo presenti nella formula SIMPO della portata media annua.

Occorre osservare che:

- la validità della formula SIMPO è confermata relativamente alla sezione SLALA in quanto la portata media annua calcolata sull'intero periodo di registrazioni disponibili (1942-1943, 1946-1981, 2003-2022) risulta pari a 18,93 m^3/s, a fronte dei 18,67 m^3/s derivanti dall'applicazione della formula SIMPO con precipitazione media annua del periodo 1995-2022;
- relativamente alla sezione di misura di Ciavanette la portata media annua naturale calcolata sul periodo di registrazioni disponibili (2011-2014) risulta pari a 1,317 m^3/s, a fronte dei 1,037 m^3/s derivanti

dall'applicazione della formula SIMPO con precipitazione media annua del periodo 1995-2022: in questo caso la formula SIMPO tende a sottostimare i deflussi e quindi necessiterebbe dell'introduzione di opportuni coefficienti correttivi.

Il confronto con le portate ricostruite a partire dai dati registrati a Lanzo (Figura 11) evidenzia infatti come la trasposizione idrologica effettuata comporti una netta sovrastima soprattutto dei valori nei mesi invernali (dove il deflusso naturale in alveo a Ciavanette è sempre piuttosto basso) ed una modesta anticipazione della fase di morbida, che alla sezione di misura risulta più tardiva in ragione delle maggiori quote e, dunque, delle minori temperature.

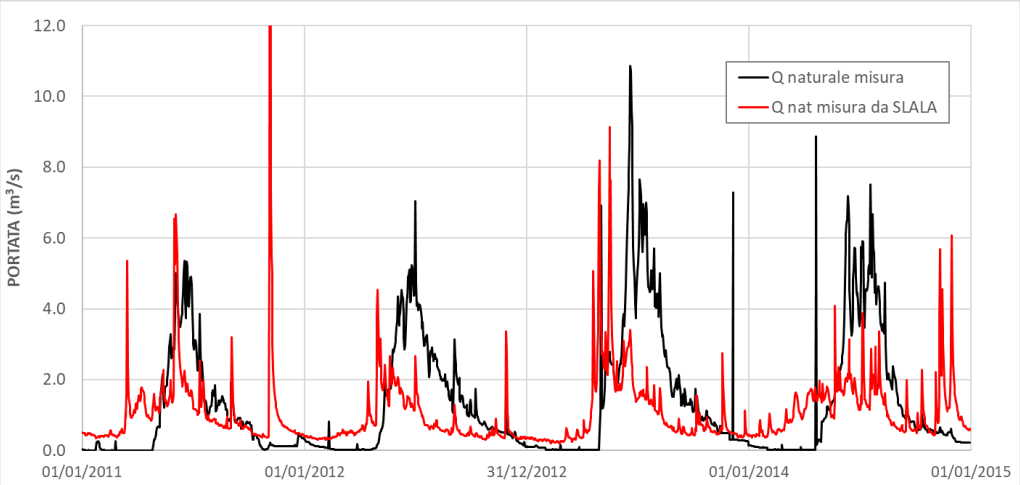


Figura 11 – Confronto tra le portate medie giornaliere naturali alla sezione di misura di Ciavanette (nero) e quelle ricostruite per la medesima sezione a partire dai valori misurati a Lanzo (rosso).

Le portate ottenute per trasposizione da SLALA sono state pertanto corrette mediante applicazione di fattori mensili ottenuti come rapporto tra le portate naturali medie misurate alla stazione di Ciavanette e quelle ottenute per trasposizione idrologica dalla stazione SLALA negli anni 2011-2014. Il risultato evidenzia come tale correzione consenta di adattare molto bene la distribuzione temporale dei deflussi (Figura 12). Rispetto ai valori misurati la metodologia di ricostruzione adottata determina una sovrastima delle portate defluenti nel 2011, una sottostima dei deflussi nel 2012 e 2013 e una buona corrispondenza nel 2014, ma in termini di valor medio sull'intero periodo si ottiene una portata media coincidente con quella ricostruita in base ai dati di monitoraggio.

Si ritiene pertanto valida la metodologia adottata, che successivamente è stata pertanto applicata all'intera serie di registrazioni disponibili per la stazione idrometrica SLALA (Figura 13).

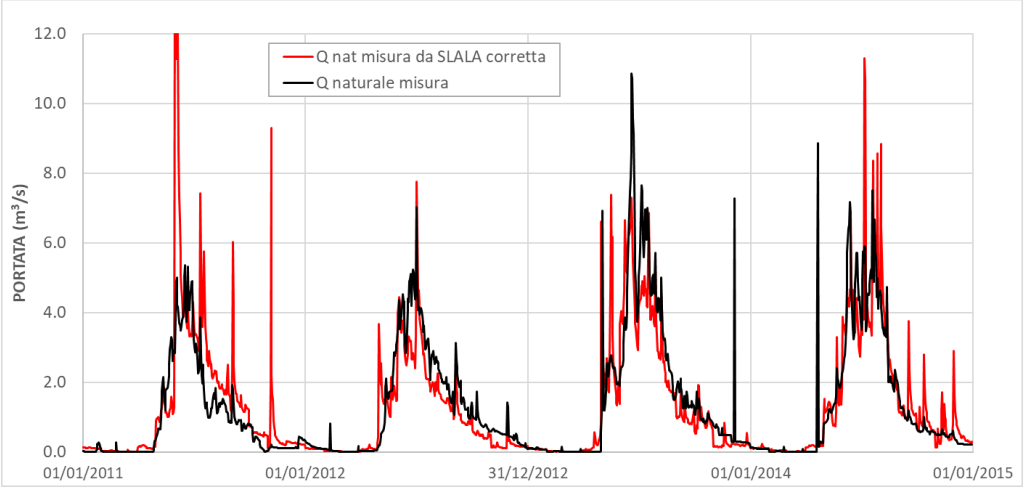


Figura 12 – Andamento delle portate medie giornaliere naturali alla sezione di misura di Ciavanette (nero) e quelle ottenute correggendo le portate trasposte dai valori registrati a SLALA (rosso).

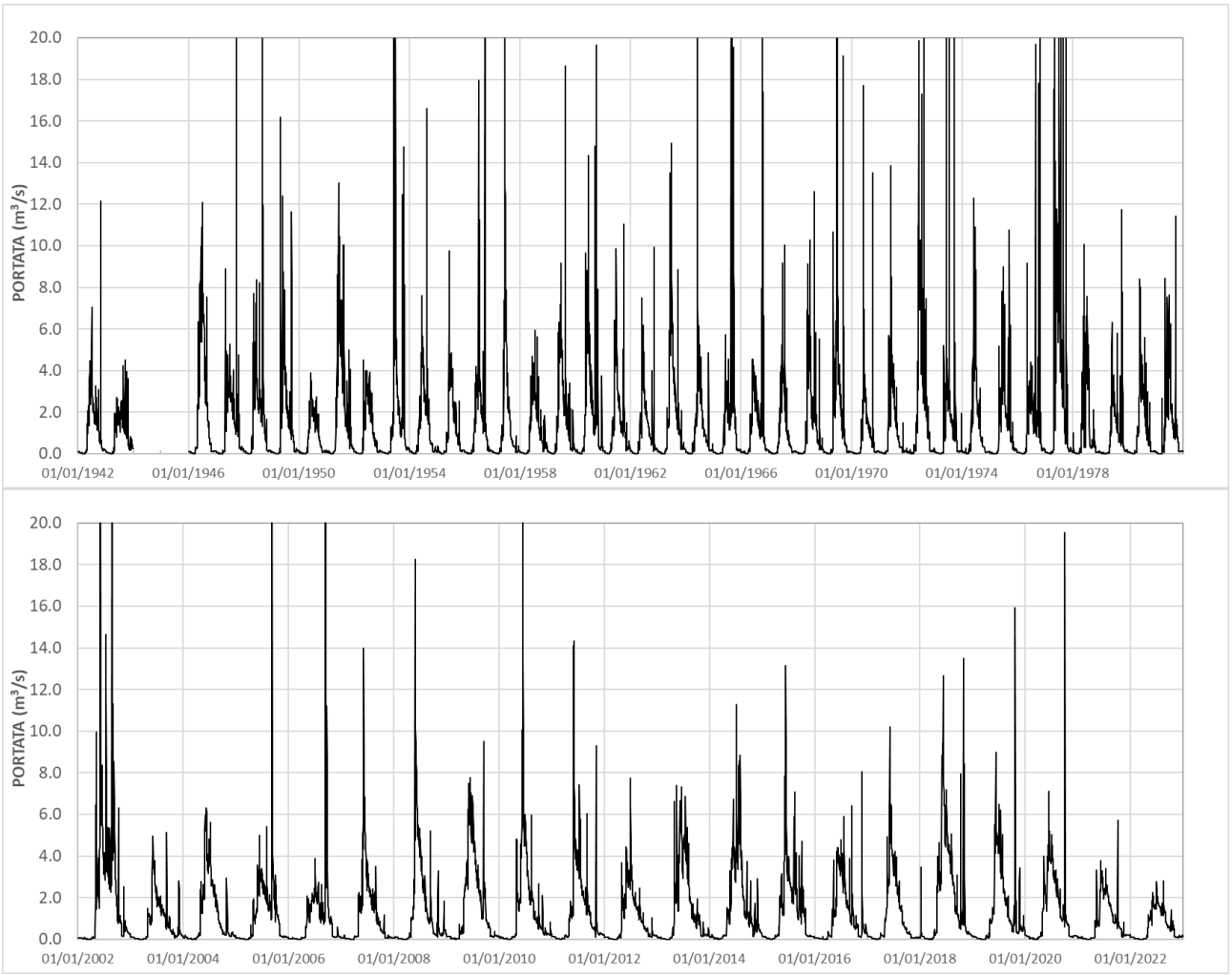


Figura 13 – Andamento ricostruito delle portate medie giornaliere naturali alla sezione di misura di Ciavanette mediante trasposizione corretta delle portate misurate alla sezione SLALA.

Infine, è stata effettuata la trasposizione alla sezione di presa dell'impianto in progetto della serie delle portate medie giornaliere naturali in tal modo ottenuta applicando la stessa relazione già impiegata e descritta nel paragrafo precedente 2.3 e successivamente è stata calcolata la serie delle portate medie giornaliere disponibili alla sezione di presa dell'impianto in progetto sottraendo alla serie precedente delle portate naturali le portate di concessione derivabili da SMAT indicate nella Tabella 4.

Nella Figura 14 è rappresentato il confronto grafico tra la serie delle portate medie giornaliere naturali e la serie delle portate medie giornaliere disponibili alla sezione di presa dell'impianto in progetto in base alla trasposizione corretta delle portate misurate alla sezione SLALA.

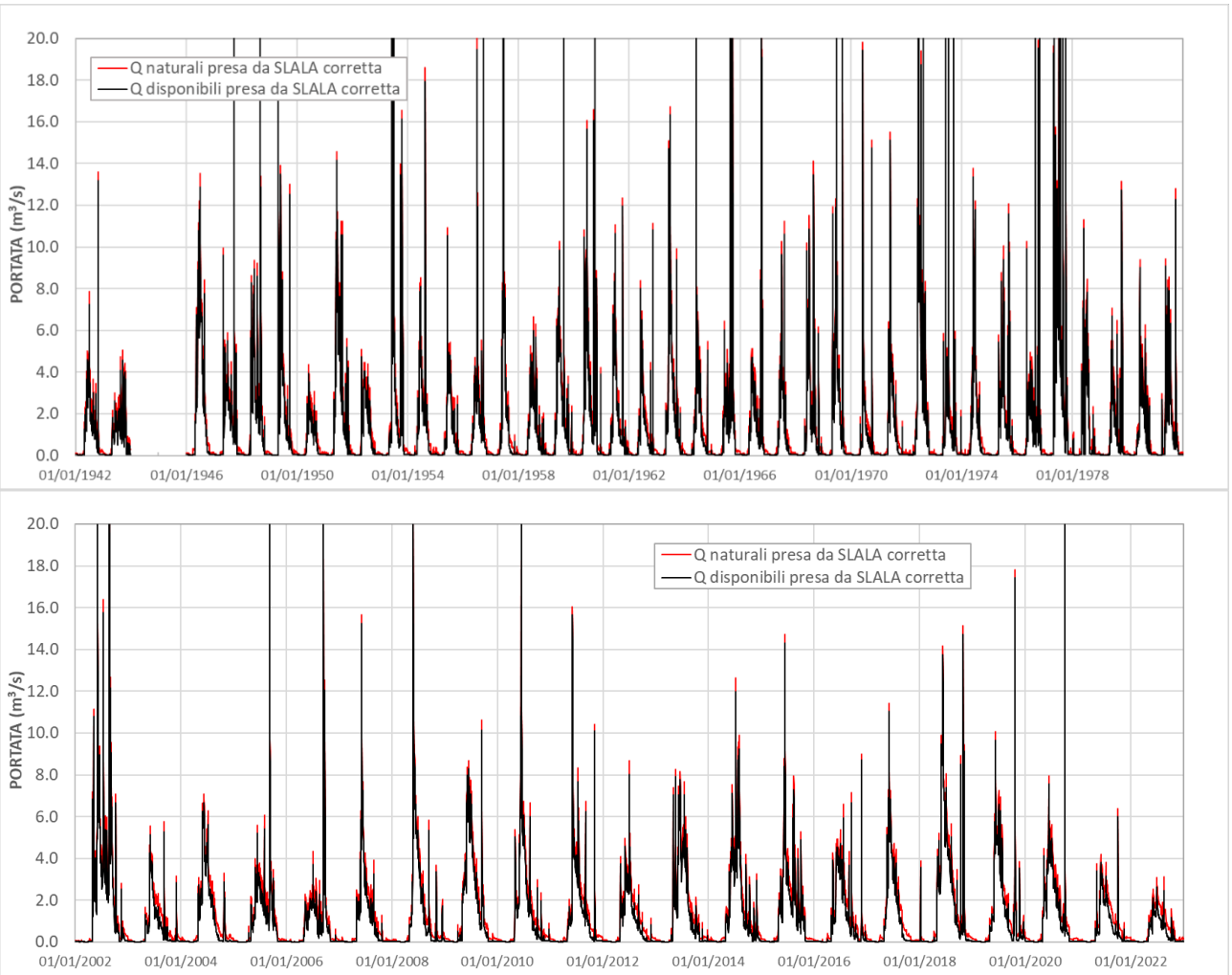


Figura 14 – Confronto tra la serie delle portate medie giornaliere naturali e la serie delle portate medie giornaliere disponibili alla sezione di presa dell'impianto in progetto in base alla trasposizione corretta delle portate misurate alla sezione SLALA.

2.5 Modello idrologico di trasformazione afflussi-deflussi

Al fine di supportare e convalidare le valutazioni idrologiche precedentemente descritte si è proceduto alla messa a punto di un modello deterministico afflussi-deflussi del tipo a parametri concentrati (basato sul codice di calcolo NAM del DHI) che è stato possibile realizzare vista la disponibilità di dati di input pluvio-termometrici e di dati idrometrici per la sua taratura.

2.5.1 Descrizione del codice di calcolo

Il codice di calcolo NAM è un modello idrologico di trasformazione afflussi-deflussi, deterministico, fisicamente basato, a parametri concentrati costituito da un set di relazioni matematiche collegate fra loro in modo tale da descrivere quantitativamente la fase terrestre del ciclo dell'acqua.

NAM simula in continuo la variazione di contenuto di acqua (in fase liquida o vapore) di serbatoi distinti e reciprocamente collegati, i quali rappresentano gli elementi fisici principali del bacino idrografico. I serbatoi rappresentano i seguenti processi: accumulo e scioglimento neve, intercettazione, infiltrazione, immagazzinamento nella falda.

Il modello matematico è fisicamente basato e utilizza equazioni matematiche assieme a relazioni semi-empiriche; alcuni parametri possono essere stimati dai dati fisici del bacino, altri sono definiti attraverso valori guida determinati in funzione delle caratteristiche del territorio e possono essere oggetto di calibrazione.

Il modulo “neve” è strutturato per sottobacini suddivisi in fasce altimetriche. Pur mantenendo una concettualizzazione a parametri concentrati, NAM dà così la possibilità di rappresentare i processi di formazione e fusione della neve tenendo conto delle caratteristiche altimetriche del bacino e delle differenze di temperatura in quota.

La quantità d'acqua intercettata dalla vegetazione, come quella immagazzinata nelle depressioni del terreno e nelle porzioni più superficiali del suolo coltivato, è simulata con un serbatoio superficiale di capacità massima Umax. La quantità d'acqua nel livello subito sotto il suolo, cioè la zona delle radici ove avviene anche il processo di traspirazione, è simulata con un serbatoio inferiore sottostante, di capacità massima Lmax. Il livello attuale di umidità del suolo L, che rappresenta lo stato di imbibizione dello strato radicale del terreno, è il nodo centrale del processo di trasformazione afflussi-deflussi. A seconda dello stato di umidità del suolo prevalgono gli effetti di corrivazione superficiale o di assorbimento dell’acqua e rilascio verso la falda e con deflusso ipodermico. Il modello simula quindi processi di trasformazione a “coefficiente di deflusso variabile”.

La quantità di umidità U nel serbatoio superficiale è continuamente diminuita per evaporazione ed infiltrazione, ma durante la precipitazione viene aumentata in maniera considerevole. Quando viene saturata la capacità massima superficiale Umax, parte dell'eccesso di precipitazione Pn inizia a scorrere sulla superficie verso la rete di drenaggio, mentre parte si suddivide in infiltrazione verso la zona sottostante e verso la falda profonda.

Anche la quantità d'acqua contenuta nel serbatoio inferiore L è diminuita dalla traspirazione, mentre il contenuto reale di umidità controlla il tasso di infiltrazione.

L'acqua che percola, BFU, cioè la quantità d'acqua che non viene trattenuta in questo serbatoio, passa attraverso la zona insatura e raggiunge, ricaricandolo, il serbatoio della falda satura.

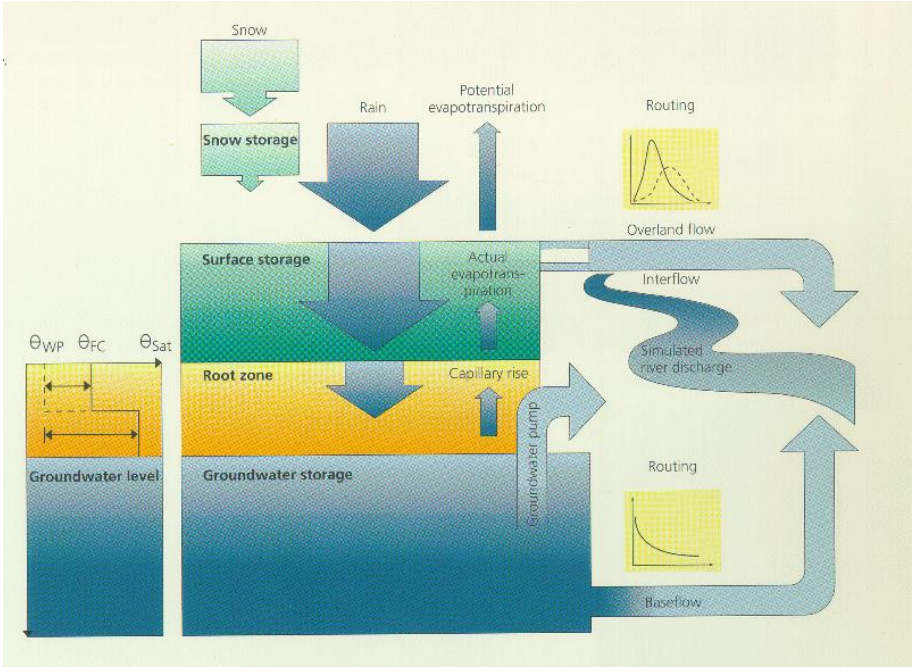


Figura 15 - Schema concettuale del modello idrologico NAM.

Quando il serbatoio superficiale sfiora, cioè U>=Umax, l'eccesso di pioggia produce: scorrimento QOF, proporzionale a Pn e variabile linearmente con il contenuto di umidità del suolo nel serbatoio inferiore L/Lmax; infiltrazione, di cui una parte DL aumenta il contenuto di umidità del serbatoio Lmax, mentre l'altra G percola in profondità e ricarica il serbatoio rappresentante la falda, attraverso parametri costanti inferiori all'unità e adimensionali CQOF (coefficiente di permeabilità superficiale), CLOF (valore soglia per deflusso superficiale) e CLG (valore soglia per la percolazione).

Il contributo del deflusso ipodermico QIF è assunto proporzionale ad U e varia linearmente con il contenuto relativo L/Lmax del serbatoio intermedio, secondo una legge simile alle precedenti con altre costanti adimensionali.

Le perdite per evapotraspirazione sono considerate in prima approssimazione proporzionali al tasso potenziale dal serbatoio superficiale; se il contenuto di umidità U è inferiore a tale tasso potenziale, la frazione rimanente per raggiungerlo è presa dalla zona delle radici con un tasso reale Ea, che è proporzionale al tasso potenziale.

Il fenomeno della percolazione viene simulato con un serbatoio lineare con una costante di tempo CKUZ che ritarda la ricarica della falda BFU.

Il flusso capillare dal livello di falda verso la zona aerata dipende dallo spessore del tratto insaturo nel profilo del terreno, GWL, e dal contenuto di umidità relativo L/Lmax della zona aerata. Il livello di falda è calcolato considerando un bilancio fra la porzione di ricarica, la porzione capillare, la perdita verso gli strati più profondi

(variabile su scala mensile) e il deflusso di base. Il deflusso di base è calcolato con un serbatoio lineare con una sua propria costante di tempo CKBF, ed avviene quando il livello di falda è superiore al livello massimo GWLBF0.

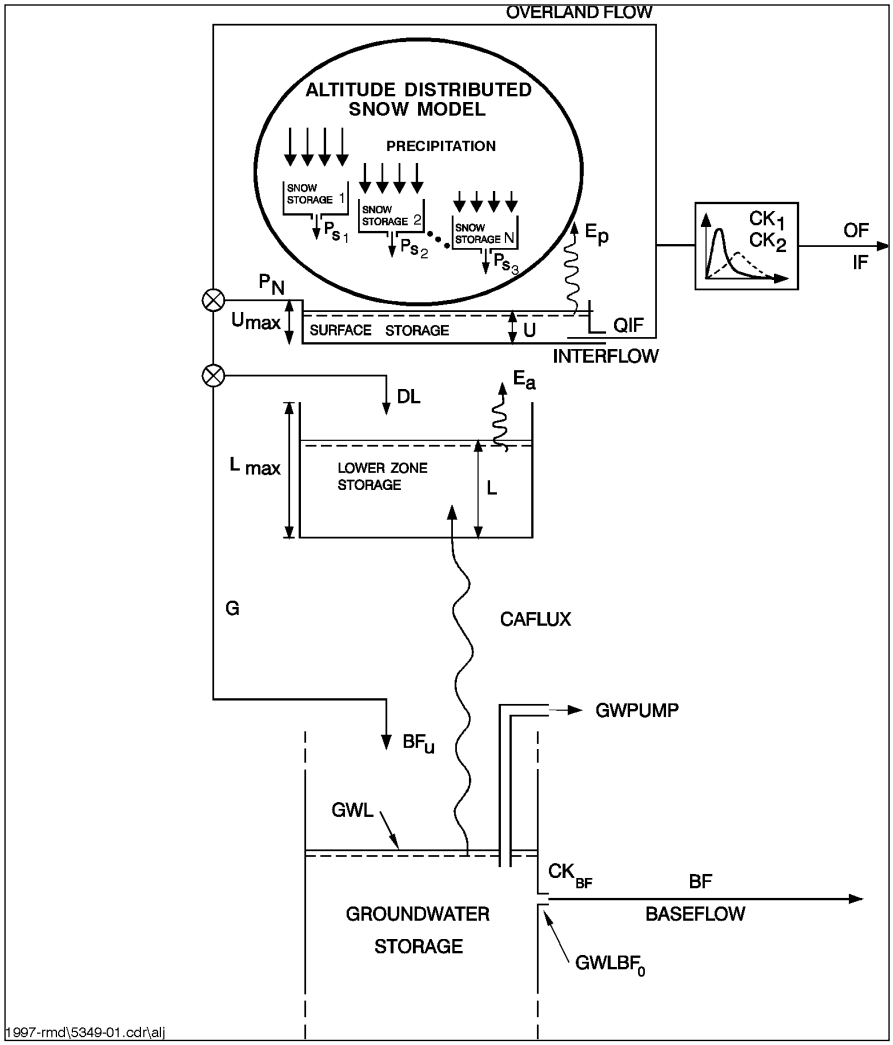


Figura 16 - Struttura del modello afflussi-deflussi.

I deflussi ipodermico e superficiale sono entrambi simulati attraverso due serbatoi lineari in serie con due costanti di tempo, le quali nel caso di scorrimento superficiale sono anche variabili nel tempo. In questo modo si assicura, in pratica, l'assunzione del modello dell'onda cinematica per simulare i processi di deflusso superficiale e ipodermico; il deflusso di base è simulato invece secondo i processi della dinamica sotterranea.

I dati meteorologici necessari per le simulazioni sono: precipitazione, evapotraspirazione potenziale e temperatura. La risoluzione temporale di questi dati dipende dall'obiettivo dell'applicazione del modello e dalla scala di tempo con cui il bacino si presume possa rispondere; spesso sono sufficienti dati a scansione giornaliera, ma per portate di piena è necessario utilizzare anche precipitazioni di breve durata.

I risultati delle simulazioni riportano l'andamento temporale delle seguenti grandezze:
- deflusso di corrivazione superficiale,

- deflusso ipodermico;
- deflusso di base (sostenuto dal serbatoio di falda);
- deflusso totale;
- precipitazione netta (depurata della quota parte di perdite per evapotraspirazione);
- evapotraspirazione reale;
- livelli di umidità del terreno superficiale (U, piccoli serbatoi e trattenimento fogliare);
- livello di umidità del suolo (L);
- livello rappresentativo della falda profonda;
- altezza e consistenza dello strato della neve alle diverse altitudini.

2.5.2 Messa a punto del modello NAM

La messa a punto del modello è stata sviluppata distinguendo tre campi di attività specifici:

- l'analisi dell'"input" al modello, in particolare i dati meteoclimatici e la loro distribuzione sul territorio;
- la definizione dei parametri modellistici veri e propri, con particolare attenzione alla loro corrispondenza con gli elementi fisici del sistema in esame;
- l'analisi sugli elementi di "feed-back" necessari alla valutazione dell'output del modello, in particolare i dati di portata osservati disponibili per il confronto di taratura.

Una prima messa a punto del modello, costituito da un unico bacino chiuso alla sezione di misura delle portate di Ciavanette, è stata basata sull'adozione di parametri modellistici derivati dall'analisi spaziale delle rispettive caratteristiche fisiografiche e morfologiche, tramite utilizzo di elaborazioni GIS, finalizzate alla definizione delle fasce altimetriche.

Il bacino è stato suddiviso in 8 fasce altimetriche come rappresentato nella tabella seguente.

FASCIA ALTIMETRICA	QUOTA MEDIA (m s.m.)	AREA (km^2)
1	1857	2,85
2	2100	3,95
3	2342	4,05
4	2585	5,95
5	2827	5,6
6	3070	3,61
7	3313	2,09
8	3555	0,38

Tabella 5 – Suddivisione del bacino in fasce altimetriche

Per quanto riguarda l'input meteorologico al modello, si è proceduto individuando le serie storiche di dati orari da inserire in input al modello di simulazione. Come dato idrometrico di confronto si è considerata la serie delle portate medie giornaliere naturali alla sezione di Ciavanette.

2.5.2.1 Input meteorico

Sono stati predisposti i dati di input di tipo meteorico per il modello (precipitazione, temperatura ed evapotraspirazione potenziale) in modo da poter utilizzare tali informazioni al maggior livello di dettaglio possibile:

- i dati di precipitazione sono stati inseriti a passo 30 minuti;
- i dati di temperatura sono stati inseriti a passo 30 minuti;
- i dati di evapotraspirazione potenziale sono stati inseriti a passo temporale giornaliero.

Viste le dimensioni ridotte del bacino in esame è stata considerata un'unica stazione di misura indicata nella Tabella 6, caratterizzata dalle coordinate (X,Y) e dalla rispettiva quota altimetrica di ubicazione.

STAZIONE MISURA	X (m)	Y (m)	QUOTA (m s.m.)
BALME	360602	5018104	1410

Tabella 6 - Elenco stazioni pluvio-termometriche considerate.

Dopo aver ricostruito i dati mancanti, le serie temporali di Precipitazione e Temperatura sono state infine inserite nel formato richiesto dal modello per l'intero periodo utile, dal 1/1/2010 al 31/12/2023. La Figura 17 mostra l'andamento delle serie temporali per tutti gli anni considerati

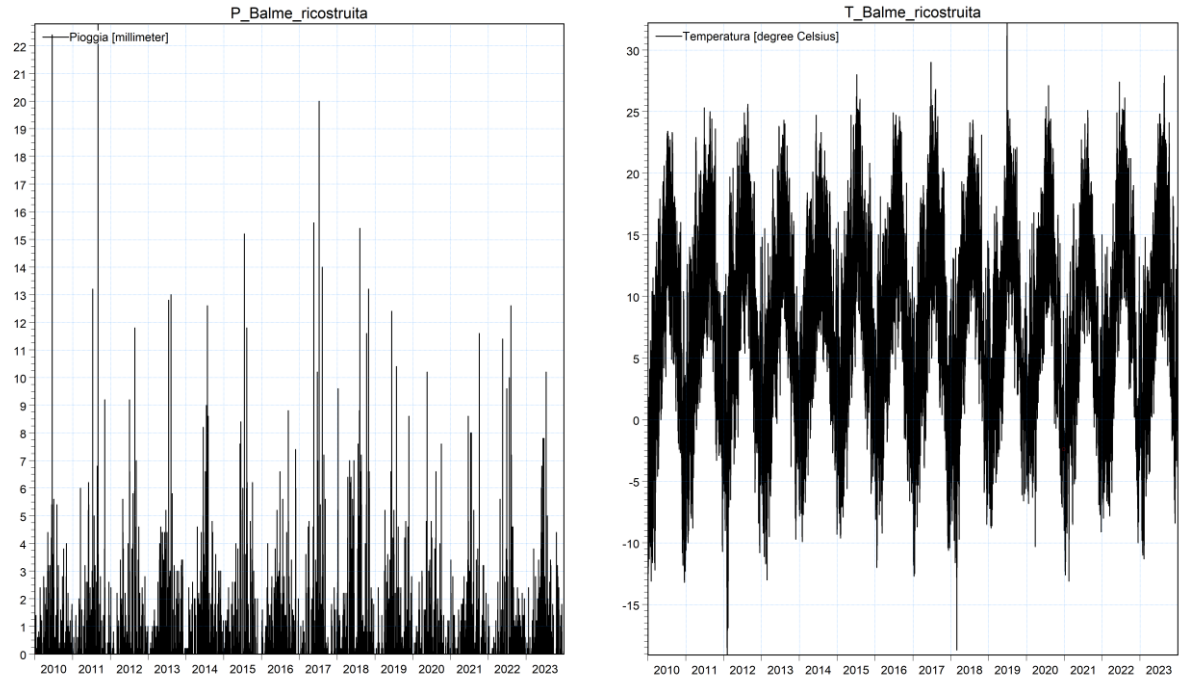


Figura 17 – Serie temporali di precipitazione e temperatura per il periodo 2010-2023

Ai dati di precipitazione è stato assegnato un coefficiente correttivo in funzione della quota altimetrica della generica fascia altimetrica di calcolo del modello rispetto alla quota altimetrica della stazione di misura pari a 0,45% ogni 100 m di incremento di quota.

I dati di temperatura sono stati invece corretti mediante un gradiente termico medio pari a -0,5 °C ogni 100 m di incremento di quota.

I dati mensili di evapotraspirazione potenziale sono stati invece desunti, in prima approssimazione, dalle elaborazioni condotte da HYDRODATA nello studio "Sistema informativo per la previsione delle piene dei corsi d'acqua del bacino idrografico piemontese" condotto nel 2000 per la Regione Piemonte. In particolare, sono stati adottati i valori medi mensili indicati nella Tabella 7, opportunamente trasformati in valori espressi in mm/giorno e ripetuti ciclicamente per tutti gli anni considerati.

MESE	H=800 m s.m.	H=1000 m s.m.	H=1200 m s.m.	H=1400 m s.m.	H=1600 m s.m.	H=1800 m s.m.	H=2000 m s.m.	H=2200 m s.m.	H=2400 m s.m.	H=2600 m s.m.	H=2800 m s.m.	H=3000 m s.m.
GEN	1,9	1,7	1,4	1,2	1,0	0,8	0,5	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0
FEB	6,2	5,4	4,7	3,9	3,2	2,4	1,7	0,9	0,2	0,0	0,0	0,0
MAR	21,9	19,8	17,6	15,4	13,2	11,0	8,8	6,7	4,5	2,3	0,1	0,0
APR	48,7	43,1	37,6	32,0	26,5	21,0	15,4	9,9	4,3	0,0	0,0	0,0
MAG	78,2	70,0	61,8	53,5	45,3	37,1	28,9	20,7	12,5	4,2	0,0	0,0
GIU	106,1	95,9	85,6	75,4	65,1	54,8	44,6	34,3	24,1	13,8	3,5	0,0
LUG	120,5	109,5	98,6	87,6	76,7	65,7	54,8	43,8	32,9	21,9	11,0	0,0
AGO	102,7	93,6	84,5	75,4	66,3	57,2	48,1	39,0	29,9	20,8	11,7	2,6
SET	69,7	63,0	56,4	49,8	43,1	36,5	29,9	23,2	16,6	10,0	3,3	0,0
OTT	38,2	34,6	31,0	27,4	23,8	20,2	16,6	13,1	9,5	5,9	2,3	0,0
NOV	13,3	12,1	10,9	9,6	8,4	7,2	6,0	4,8	3,6	2,4	1,2	0,0
DIC	2,5	2,2	2,0	1,7	1,5	1,2	1,0	0,7	0,5	0,3	0,0	0,0

Tabella 7 – Valori medi mensili di evapotraspirazione potenziale a diverse quote altimetriche

Per la simulazione dei fenomeni di formazione e fusione nevosa sono stati infine considerati i seguenti parametri, assunti costanti nel tempo ed uniformemente distribuiti nello spazio (gli accumuli sono sempre espressi in mm di neve sciolta):

- temperatura di formazione/fusione nevosa = 1,0 °C;
- coefficiente di scioglimento nevoso per effetto della sola temperatura = variabile durante l'anno, con valori compresi tra 2 e 5 (mm/°C/giorno) (lo stesso valore si considera anche per il congelamento della neve sciolta trattenuta temporaneamente nell'ammasso nevoso);

	COEFFICIENTE DI SCIOGLIMENTO NEVOSO (mm/°C/giorno)
Gennaio	2
Febbraio	2
Marzo	2
Aprile	2
Maggio	5
Giugno	5
Luglio	3
Agosto	3
Settembre	5
Ottobre	5
Novembre	5
Dicembre	5

Tabella 8 – Valori del coefficiente di scioglimento nevoso

- altezza minima di neve per considerare la fascia altimetrica completamente coperta = 100 mm (per valori inferiori si considera una copertura nevosa superficiale ridotta in proporzione diretta all'altezza rispetto al valore minimo assegnato);
- contenuto massimo di neve sciolta nell'ammasso nevoso = variabile tra 50 e 60%.

2.5.2.2 Deflusso ipodermico e di base

Per la simulazione del deflusso di falda i parametri di input e taratura finale sono elencati nella Tabella 9.

Parametri deflusso ipodermico	
Contenuto d'acqua massimo nella zona superficiale (mm)	10
Contenuto d'acqua massimo nella zona radicale (mm)	150
Coefficiente di deflusso superficiale (-)	0,25
Costante di tempo per l'infiltrazione (ore)	500
Costante di tempo per lo scorrimento superficiale (ore)	4
Profondità soglia di inizio deflusso (m)	2
Profondità limite della zona radicale per il deflusso superficiale (-)	0,6
Profondità limite della zona radicale per l'infiltrazione (-)	0,5
Parametri falda superficiale	
Porosità efficace (-)	0,2
Costante di tempo deflusso (ore)	1000
Valore limite della zona radicale per la ricarica della falda profonda (-)	0,1
Rapporto tra l'area della falda profonda rispetto all'area del bacino (-)	1,3
Profondità soglia di inizio deflusso (m)	2
Percentuale di ricarica della falda profonda (%)	25
Costante di tempo per il deflusso nella falda profonda (ore)	1200
Parametri falda profonda	
Profondità soglia di inizio deflusso (m)	2
Percentuale di ricarica della falda profonda (%)	25
Costante di tempo per il deflusso nella falda profonda (ore)	1200

Tabella 9 – Parametri di controllo del deflusso di falda.

2.5.3 Calibrazione del modello NAM

L'attività di calibrazione del modello idrologico è stata affinata in fasi successive, per raggiungere un corretto compromesso nella simulazione sia degli stati di magra che di morbida.

La calibrazione è avvenuta mediante aggiustamento dei parametri che rappresentano il ciclo idrologico nel modulo NAM: l'ampiezza dei serbatoi U e L (superficiale e insaturo), il valore delle soglie di attivazione delle diverse componenti del deflusso (superficiale, ipodermico e di falda), il valore del coefficiente di deflusso, le costanti di tempo dei serbatoi.

Nella Figura 18 sono rappresentati i confronti di taratura per gli anni 2011-2014 per la stazione di Ciavanette; la linea nera rappresenta la serie delle portate calcolate con il modello mentre la linea blu raffigura la serie storica delle portate naturali ricostruita come precedentemente descritto.

Nonostante alcuni evidenti scostamenti su limitati intervalli di tempo, il confronto di taratura risulta decisamente positivo in quanto conferma la buona capacità del modello a riprodurre sia le fasi invernali di esaurimento dei deflussi, che quelle primaverili-estive di fusione nevosa e di tipo pluviale.

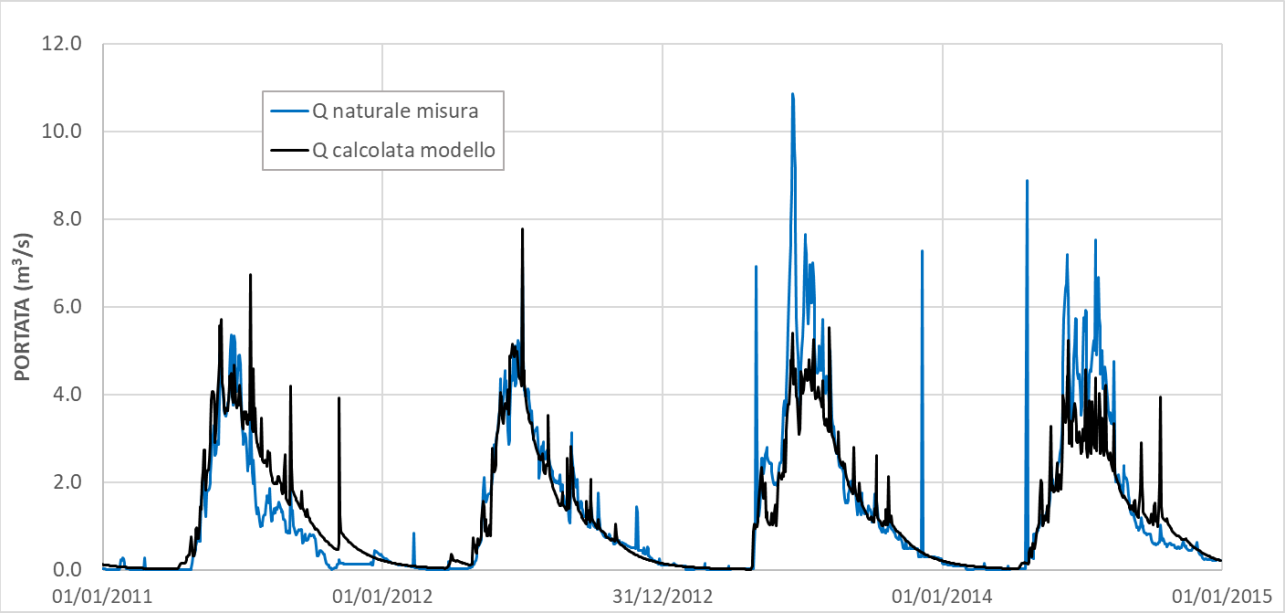


Figura 18 – Confronto tra portate calcolate e portate misurate alla stazione Ciavanette.

2.5.4 Risultati della simulazione su lungo periodo

Ritenuta sufficientemente affidabile la taratura del modello, quest'ultimo è stato applicato sull'intero periodo di dati con disponibilità di misure pluvio-termometriche (anni 2011÷2023), al fine di determinare la serie sintetica delle portate medie giornaliere naturali alla sezione di misura di Ciavanette rappresentata nella Figura 19.

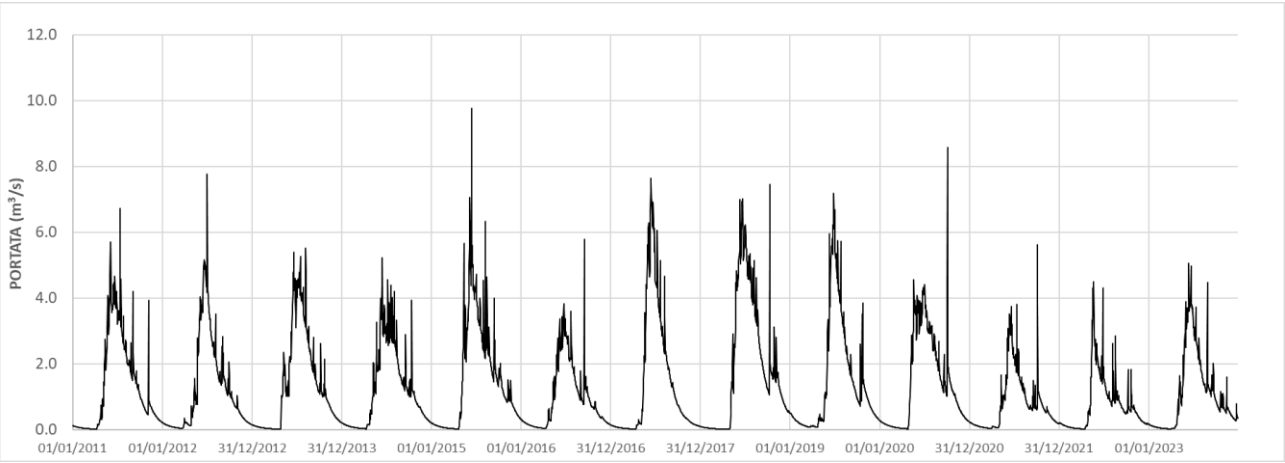


Figura 19 – Serie sintetica calcolata con il modello idrologico delle portate medie giornaliere naturali alla sezione di misura di Ciavanette.

Infine, è stata effettuata la trasposizione alla sezione di presa dell'impianto in progetto della serie delle portate medie giornaliere naturali in tal modo ottenuta applicando la stessa relazione già impiegata e descritta nel paragrafo 2.3 e successivamente è stata calcolata la serie delle portate medie giornaliere disponibili alla sezione di presa dell'impianto in progetto sottraendo alla serie precedente delle portate naturali le portate di concessione derivabili da SMAT indicate nella Tabella 4.

Nella Figura 20 è rappresentato il confronto grafico tra la serie delle portate medie giornaliere naturali e la serie delle portate medie giornaliere disponibili alla sezione di presa dell'impianto in progetto in base alla trasposizione della serie delle portate naturali calcolata con il modello a Ciavanette.

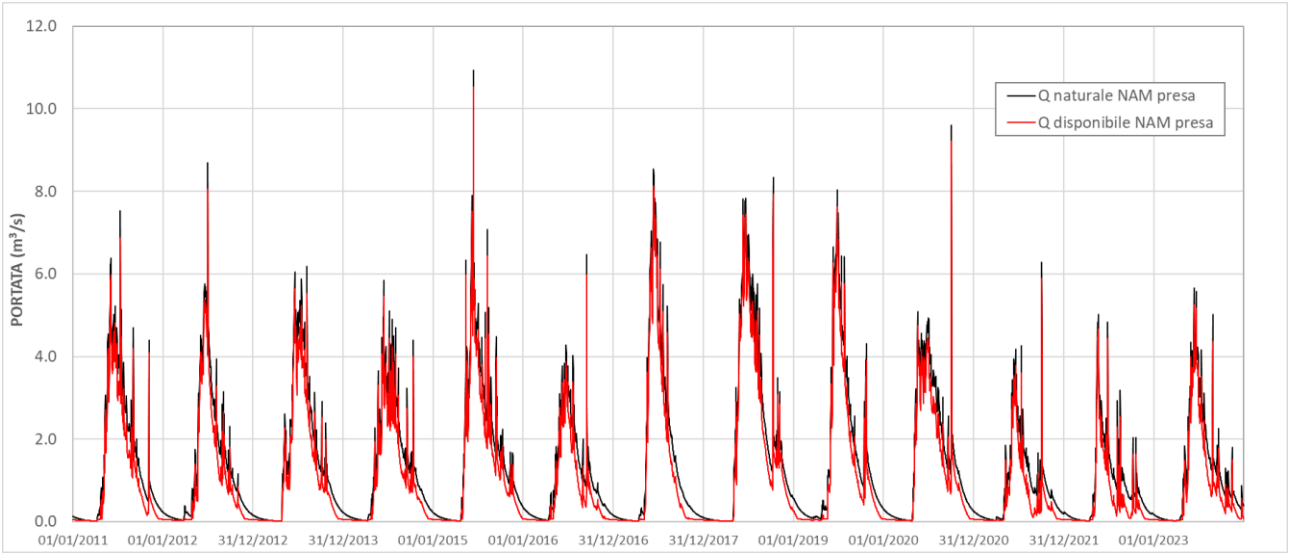


Figura 20 – Serie delle portate naturali medie giornaliere calcolate con il modello alla sezione di presa dell'impianto in progetto nel periodo 2011÷2023.

2.6 Determinazione delle curve di durata delle portate disponibili alla sezione di Ciavanette

Al fine di confrontare i risultati ottenuti con le diverse analisi idrologiche precedentemente condotte alla sezione di misura delle portate di Ciavanette, sono state elaborate le curve di durata delle portate in relazione ai seguenti periodi di riferimento:

- anni 2011-2012, periodo in cui sono disponibili maggiori dati di monitoraggio alla stazione di Ciavanette;
- anni 2011÷2014, periodo complessivo in cui è stata ricostruita la serie delle portate disponibili alla sezione di misura di Ciavanette.

Nella Figura 21 è riportato il confronto tra le curva di durata delle portate disponibili alla sezione di misura di Ciavanette, relative agli anni 2011-2012 e agli anni 2011-2014, determinate mediante elaborazione diretta delle misure, mediante trasposizione delle portate misurate a SLALA e mediante applicazione del modello NAM.

Nella Tabella 10 sono indicati i valori delle portate caratteristiche relative alle curve rappresentate nella figura precedente: portata media annua (QMEDA) e portate di durata 10, 91, 182, 274 e 355 giorni.

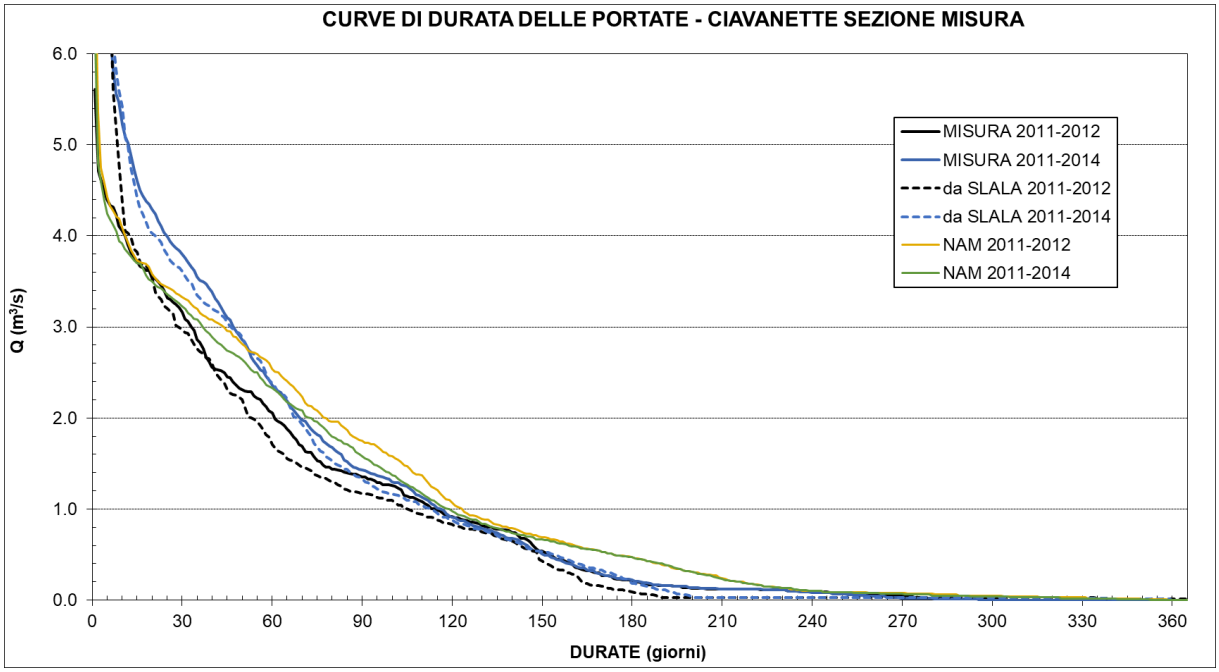


Figura 21 – Confronto tra le curva di durata delle portate disponibili alla sezione di misura di Ciavanette, relative agli anni 2011-2012 e agli anni 2011-2014, determinate mediante elaborazione diretta delle misure, mediante trasposizione delle portate misurate a SLALA e mediante applicazione del modello NAM.

Le curve di durata, pur fornendo valori di portata media annua del tutto confrontabili tra loro a parità di periodo considerato, presentano scostamenti tra le curve abbastanza significativi, per effetto essenzialmente del numero esiguo di anni di misure considerato e delle oggettive difficoltà riscontrate sia nella ricostruzione delle portate disponibili che nella messa a punto e calibrazione del modello idrologico.

SERIE DI RIFERIMENTO	QMEDA (m^3/s)	Q10 (m^3/s)	Q91 (m^3/s)	Q182 (m^3/s)	Q274 (m^3/s)	Q355 (m^3/s)
MISURA 2011-2012	0,87	4,05	1,35	0,20	0,03	0,00
MISURA 2011-2014	1,03	5,22	1,42	0,21	0,02	0,00
da SLALA 2011-2012	0,89	4,36	1,17	0,08	0,03	0,01
da SLALA 2011-2014	1,02	5,42	1,30	0,17	0,03	0,01
NAM 2011-2012	1,03	4,10	1,73	0,46	0,07	0,01
NAM 2011-2014	0,97	3,92	1,56	0,45	0,06	0,00

Tabella 10 - Portate caratteristiche del bacino del torrente Stura di Ala alla sezione di misura di Ciavanette, relative agli anni 2011-2012 e agli anni 2011-2014, determinate mediante elaborazione diretta delle misure, mediante trasposizione delle portate misurate a SLALA e mediante applicazione del modello NAM.

Nella Figura 22 è riportato il confronto tra le curva di durata delle portate disponibili alla sezione di misura di Ciavanette, determinate mediante:

- elaborazione diretta delle misure negli anni 2011÷2014;
- trasposizione delle portate misurate a SLALA sull'intero periodo di funzionamento disponibile (1942÷2022);
- trasposizione delle portate misurate a SLALA sugli ultimi 21 anni della serie storica disponibile (2002÷2022);
- trasposizione delle portate misurate a SLALA sugli ultimi 12 anni della serie storica disponibile (2011÷2022);
- applicazione del modello NAM negli anni 2011-2023.

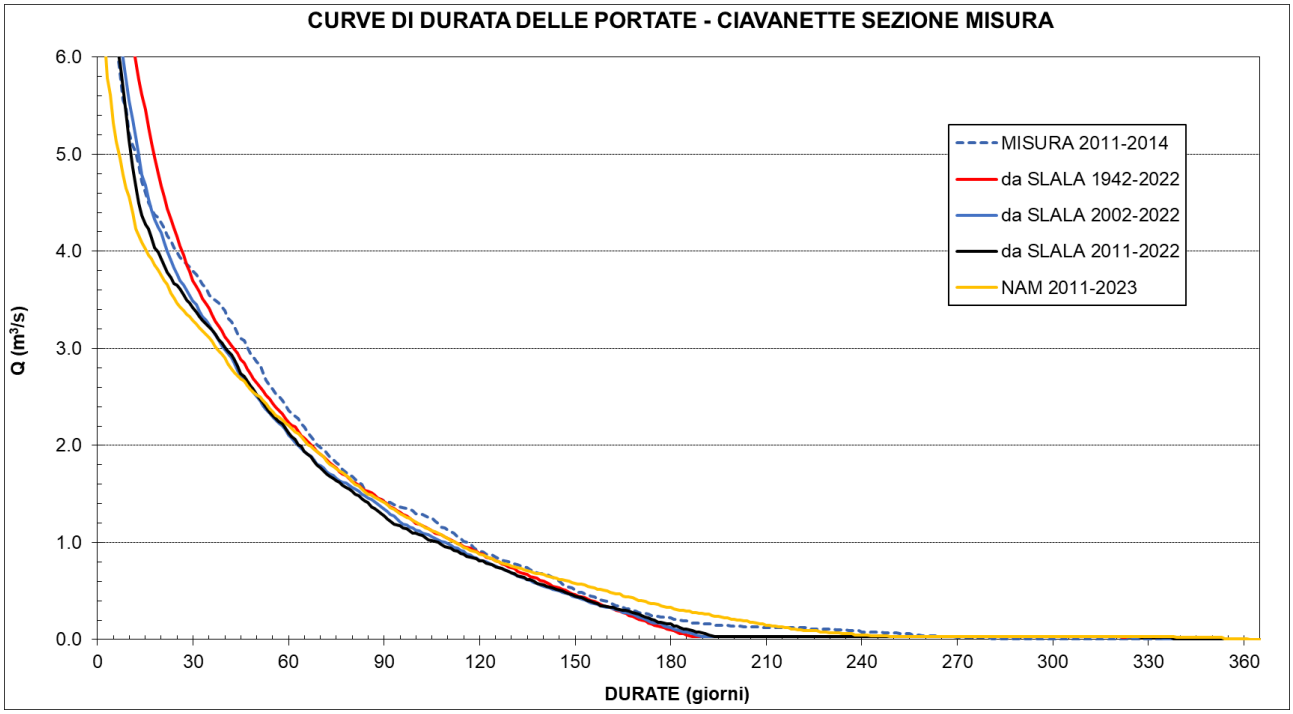


Figura 22 – Confronto tra le curva di durata delle portate disponibili alla sezione di misura di Ciavanette, determinate mediante elaborazione diretta delle misure negli anni 2011-2014, mediante trasposizione delle portate misurate a SLALA su diversi periodi di funzionamento e mediante applicazione del modello NAM negli anni 2011-2023.

Nella Tabella 11 sono indicati i valori delle portate caratteristiche relative alle curve rappresentate nella figura precedente: portata media annua (QMEDA) e portate di durata 10, 91, 182, 274 e 355 giorni.

SERIE DI RIFERIMENTO	QMEDA (m^3/s)	Q10 (m^3/s)	Q91 (m^3/s)	Q182 (m^3/s)	Q274 (m^3/s)	Q355 (m^3/s)
MISURA 2011-2014	1,03	5,22	1,42	0,21	0,02	0,00
da SLALA 1942-2022	1,11	6,45	1,40	0,08	0,03	0,00
da SLALA 2002-2022	1,00	5,55	1,32	0,10	0,03	0,00
da SLALA 2011-2022	0,95	5,14	1,24	0,14	0,03	0,01
NAM 2011-2023	0,94	4,56	1,39	0,31	0,03	0,01

Tabella 11 - Portate disponibili caratteristiche del bacino del torrente Stura di Ala alla sezione di misura di Ciavanette, determinate mediante elaborazione diretta delle misure negli anni 2011-2014, mediante trasposizione delle portate misurate a SLALA su diversi periodi di funzionamento e mediante applicazione del modello NAM negli anni 2011-2023.

Sul lungo periodo il confronto tra le curve di durata evidenzia una buona corrispondenza tra gli andamenti ottenuti con i diversi metodi idrologici considerati.

2.7 Determinazione delle curve di durata delle portate disponibili alla sezione di presa dell'impianto

Nella Figura 23 è riportato il confronto tra le curva di durata delle portate disponibili alla sezione di presa dell'impianto determinate mediante:

- elaborazione diretta delle misure negli anni 2011÷2014;
- trasposizione delle portate misurate a SLALA sull'intero periodo di funzionamento disponibile (1942÷2022);
- trasposizione delle portate misurate a SLALA sugli ultimi 21 anni della serie storica disponibile (2002÷2022);
- trasposizione delle portate misurate a SLALA sugli ultimi 12 anni della serie storica disponibile (2011÷2022);
- applicazione del modello NAM negli anni 2011-2023.

Nella Tabella 12 sono indicati i valori delle portate caratteristiche relative alle curve rappresentate nella figura precedente: portata media annua (QMEDA) e portate di durata 10, 91, 182, 274 e 355 giorni.

Viste le curve di durata rappresentate nella Figura 23, che si discostano tutte abbastanza poco tra loro, ad esclusione di quella relativa al periodo più breve 2011-2014 che è risultato idrologicamente più abbondante e di quella calcolata con il modello idrologico per i motivi già detti, per il dimensionamento dell'impianto si è deciso di fare riferimento alla curva calcolata a partire dalla serie storica della stazione SLALA (Stura di Lanzo a Lanzo) relativa al periodo 2011÷2022, essenzialmente per i seguenti motivi:

- è stata determinata con riferimento al periodo storico più recente (ultimi 12 anni disponibili);
- risulta la più cautelativa tra tutte quelle considerate, pur discostandosi comunque di poco anche da quella calcolata sugli ultimi 21 anni.

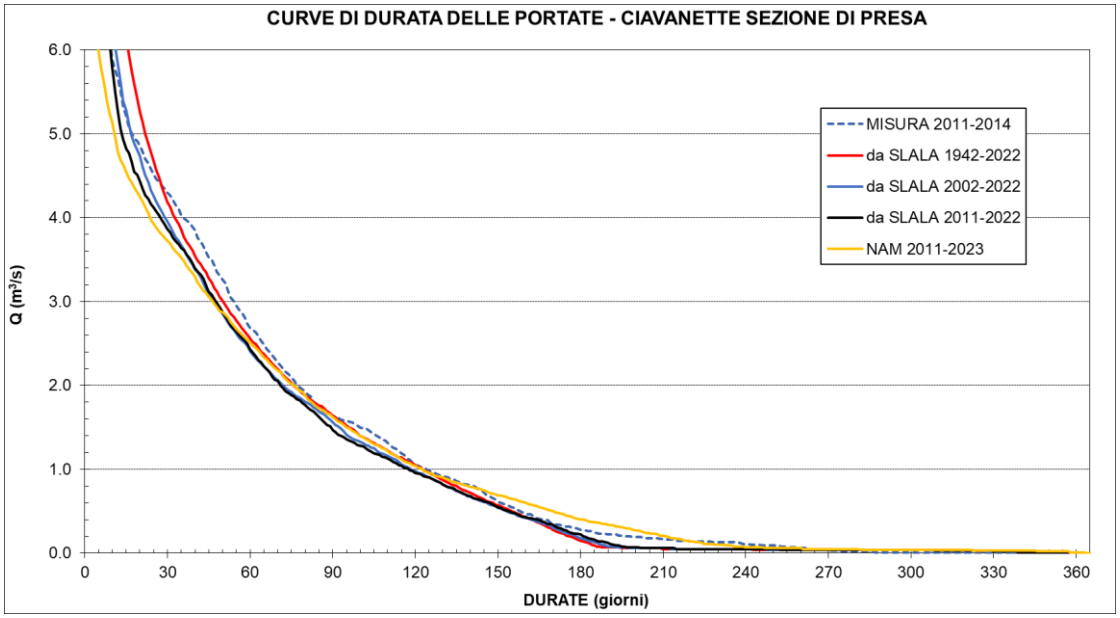


Figura 23 – Confronto tra le curva di durata delle portate disponibili alla sezione di presa dell'impianto in progetto, determinate mediante elaborazione diretta delle misure negli anni 2011-2014, mediante trasposizione delle portate misurate a SLALA su diversi periodi di funzionamento e mediante applicazione del modello NAM negli anni 2011-2023.

SERIE DI RIFERIMENTO	QMEDA (m^3/s)	Q10 (m^3/s)	Q91 (m^3/s)	Q182 (m^3/s)	Q274 (m^3/s)	Q355 (m^3/s)
MISURA 2011-2014	1,18	5,89	1,63	0,27	0,03	0,00
da SLALA 1942-2022	1,27	7,24	1,62	0,13	0,04	0,01
da SLALA 2002-2022	1,15	6,24	1,53	0,16	0,04	0,01
da SLALA 2011-2022	1,09	5,80	1,44	0,19	0,04	0,01
NAM 2011-2023	1,09	5,14	1,60	0,39	0,05	0,02

Tabella 12 - Portate disponibili caratteristiche del bacino del torrente Stura di Ala alla sezione di presa dell'impianto in progetto, determinate mediante elaborazione diretta delle misure negli anni 2011-2014, mediante trasposizione delle portate misurate a SLALA su diversi periodi di funzionamento e mediante applicazione del modello NAM negli anni 2011-2023.

Nella Figura 24 è rappresentata la curva di durata delle portate disponibili alla sezione di presa dell'impianto, di riferimento per il dimensionamento idraulico dell'impianto stesso, determinata mediante trasposizione delle portate misurate a SLALA negli anni 2011-2022. Nella Tabella 13 sono indicati i corrispondenti valori delle portate caratteristiche: portata media annua (QMEDA) e portate di durata 10, 91, 182, 274 e 355 giorni.

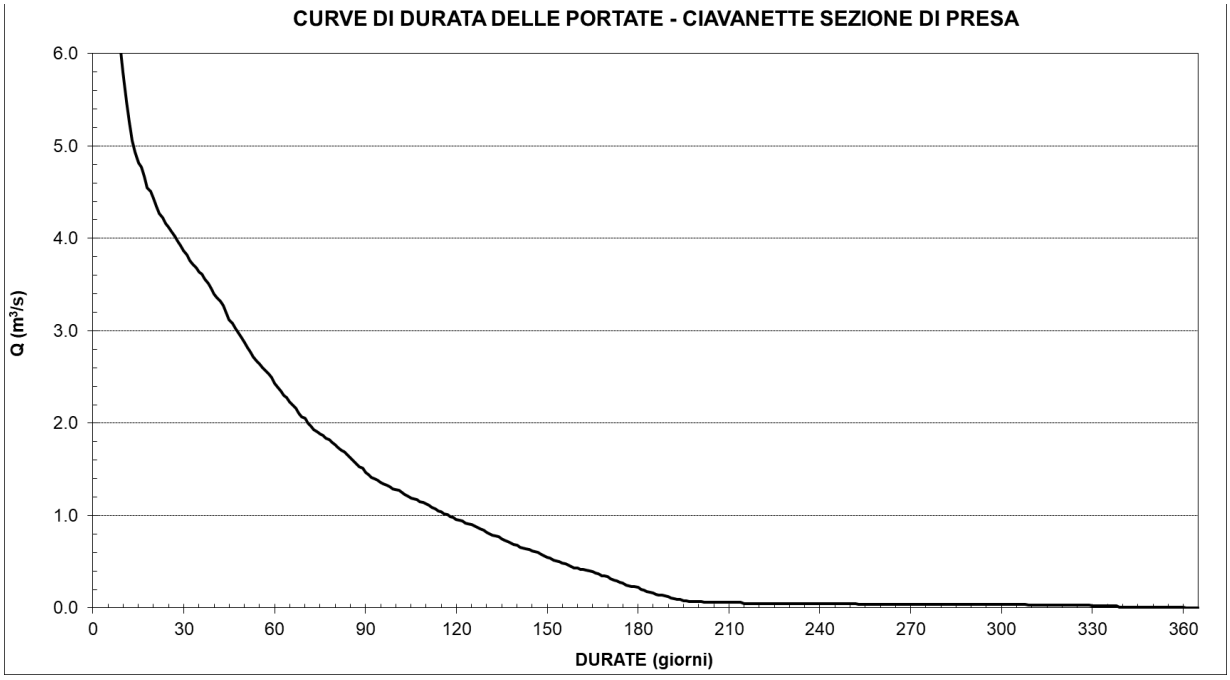


Figura 24 – Curva di durata delle portate naturali alla sezione di presa dell'impianto in progetto determinata mediante trasposizione delle portate misurate a SLALA negli anni 2011-2022.

QMEDA (m^3/s)	Q10 (m^3/s)	Q91 (m^3/s)	Q182 (m^3/s)	Q274 (m^3/s)	Q355 (m^3/s)
1,09	5,80	1,44	0,19	0,04	0,01

Tabella 13 - Portate caratteristiche di riferimento della scala di durata delle portate disponibili del bacino del torrente Stura di Ala alla sezione di presa dell'impianto in progetto.

3. CALCOLO DELLA PORTATA DI PIENA

Si riportano di seguito le valutazioni condotte per valutare le portate di piena da tenere a riferimento nello sviluppo della progettazione. Si precisa che, pur essendo attualmente disponibile per il tratto considerato di torrente Stura di Ala una mappatura del rischio idrologico, con corrispondente perimetrazione delle fasce fluviali, si è considerato cautelativo mantenere i valori di portata dedotti come descritto nel seguito nelle precedenti fasi progettuali, quando non erano ancora disponibili tali mappature.

L'analisi idrologica descritta di seguito è finalizzata alla determinazione delle portate di piena di riferimento sul torrente Stura di Ala, associate a predeterminati tempi di ritorno, per consentire la verifica della funzionalità idraulica dell'esistente manufatto di attraversamento della strada provinciale.

La stima delle portate di piena si basa sull'applicazione di un modello di trasformazione afflussi-deflussi, di tipo concettuale, ad un set di parametri di pioggia critica di progetto, nell'assunzione che ad eventi di precipitazione associati a determinati tempi di ritorno corrispondano eventi di piena caratterizzati dalla medesima probabilità di occorrenza.

La tipologia e le limitate dimensioni del bacino in esame fanno sì che gli eventi idrologici più gravosi in termini di sicurezza idraulica siano quelli legati a precipitazioni intense; l'analisi idrologica si è pertanto concentrata sulla definizione di tali eventi per ricostruire i valori di portata di progetto.

L'analisi idrologica ha sviluppato, pertanto, le seguenti elaborazioni:

- analisi della distribuzione delle precipitazioni intense per assegnate durate e tempi di ritorno sul bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse;
- determinazione delle portate massime al colmo per i tempi di ritorno di progetto in corrispondenza delle sezioni di intervento da sottoporre a verifica idraulica per il dimensionamento idraulico.

3.1 Bacino in esame

Il bacino idrografico del torrente in esame, chiuso alla sezione di presa, è riportato in Figura 2.

I principali parametri fisiografici del bacino (superficie, quote massima, media e minima, lunghezza e pendenza longitudinale media dell'asta principale), riportati in Tabella 14, sono stati determinati grazie all'utilizzo di un modello digitale del terreno (DEM) della Regione Piemonte, il quale discretizza le informazioni topografiche altimetriche su una griglia regolare a maglia quadrata di lato pari a 50 m.

BACINO	S (km^2)	Hm (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i asta (m/m)
Torrente Stura di Ala	31,88	2.561,87	1.735,85	6,89	0,21

Tabella 14 - Caratteristiche fisiografiche del bacino in esame.

I fattori di influenza sulla formazione delle piene, data la piccola estensione areale del bacino, possono essere sintetizzati nel parametro "coefficiente di deflusso".

Nella formazione del deflusso superficiale degli stati idrologici di piena, i quali derivano da eventi di piovosità intensa, il tipo di suolo e di copertura vegetale influenzano, infatti, sia la funzione di trattenuta (intercettazione), sia il controllo del tempo di corrivazione delle portate superficiali.

Relativamente alla valutazione del coefficiente di deflusso si può considerare una scomposizione del parametro in fattori rappresentativi dei diversi aspetti che governano il meccanismo di trasformazione della precipitazione in deflusso superficiale:

- il ragguaglio della precipitazione alla superficie del bacino idrografico, per considerare distribuzioni di precipitazione non uniformi;
- il fattore di trattenuta del terreno c, funzione della capacità di assorbimento del terreno (rapporto tra l'altezza di pioggia netta e l'altezza di pioggia totale);
- il fattore di laminazione c_L, che dipende dalla capacità di invaso sulla superficie del bacino e nel reticolo idrografico dello stesso.

Sia il fattore di ragguaglio della precipitazione sia il coefficiente di laminazione non risultano nel presente caso significativo, data la piccola estensione areale del bacino e la significativa pendenza dei versanti. Il fattore di trattenuta del terreno è assunto pari a 0,58, in relazione ad una tipologia di bacino con parte di copertura boschiva, molte parti occupate da colture e/o pascolo ed altre, di estensione limitata, da aree urbanizzate.

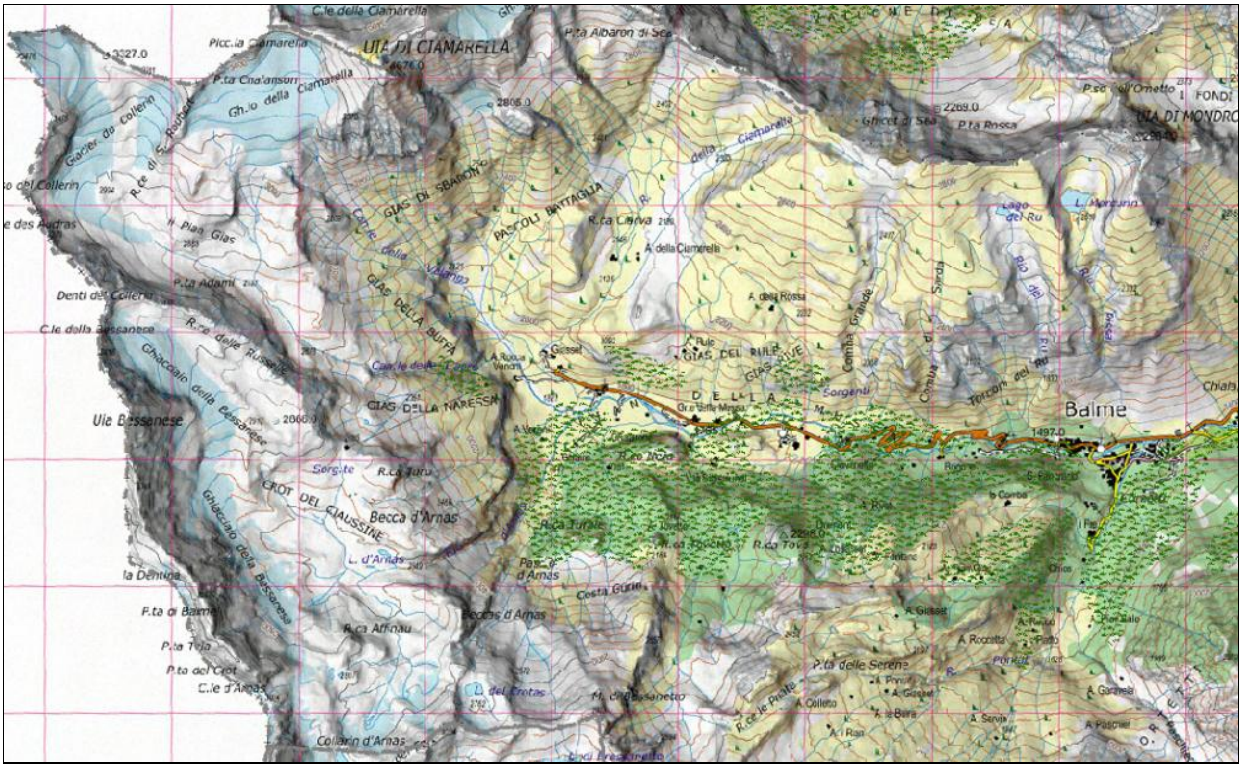


Figura 25 - Mappa di utilizzo del suolo nell'area in esame.

Il coefficiente di deflusso è pertanto assunto pari a 0,58.

A titolo di confronto, nella figura seguente è riportata una tabella esemplificativa (cfr:" Applied Hydrology", Ven Te Chow) riportante i valori sperimentali del coefficiente di deflusso in funzione del tipo di superficie e del tempo di ritorno di progetto. In considerazione delle caratteristiche di acclività, permeabilità ed uso del suolo sono

attribuiti ai bacini coefficienti medi di deflusso, nel corso degli eventi di piena, che risultano estremamente variabili, tra 0,20 (bacini irrigui) e 1,00 (bacini totalmente urbanizzati o impermeabilizzati) in accordo alla reale natura dei bacini stessi.

Runoff coefficients for use in the rational method

	Return Period (years)						
Character of surface	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**	**500**
Developed							
Asphaltic	0.73	0.77	0.81	0.86	0.90	0.95	1.00
Concrete/roof	0.75	0.80	0.83	0.88	0.92	0.97	1.00
Grass areas (lawns, parks, etc.)							
Poor condition (grass cover less than 50% of the area)							
Flat, 0–2%	0.32	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.58
Average, 2–7%	0.37	0.40	0.43	0.46	0.49	0.53	0.61
Steep, over 7%	0.40	0.43	0.45	0.49	0.52	0.55	0.62
Fair condition (grass cover on 50% to 75% of the area)							
Flat, 0–2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Average, 2–7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Steep, over 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Good condition (grass cover larger than 75% of the area)							
Flat, 0–2%	0.21	0.23	0.25	0.29	0.32	0.36	0.49
Average, 2–7%	0.29	0.32	0.35	0.39	0.42	0.46	0.56
Steep, over 7%	0.34	0.37	0.40	0.44	0.47	0.51	0.58
Undeveloped							
Cultivated Land							
Flat, 0–2%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.57
Average, 2–7%	0.35	0.38	0.41	0.44	0.48	0.51	0.60
Steep, over 7%	0.39	0.42	0.44	0.48	0.51	0.54	0.61
Pasture/Range							
Flat, 0–2%	0.25	0.28	0.30	0.34	0.37	0.41	0.53
Average, 2–7%	0.33	0.36	0.38	0.42	0.45	0.49	0.58
Steep, over 7%	0.37	0.40	0.42	0.46	0.49	0.53	0.60
Forest/Woodlands							
Flat, 0–2%	0.22	0.25	0.28	0.31	0.35	0.39	0.48
Average, 2–7%	0.31	0.34	0.36	0.40	0.43	0.47	0.56
Steep, over 7%	0.35	0.39	0.41	0.45	0.48	0.52	0.58

Tabella 15 - Coefficienti di deflusso.

3.2 Analisi delle precipitazioni intense

Per le finalità dello studio si è fatto riferimento alle curve di possibilità pluviometrica (o climatica) derivanti dalla regionalizzazione delle precipitazioni intense, con assegnato tempo di ritorno, realizzata ad opera dell'Autorità di Bacino del fiume Po[2] su griglia spaziale a maglia quadrata di lato 2 km.

Tali curve sono espresse nella forma:

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

[2] Autorità di Bacino del fiume Po, 2021, *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico – Norme di attuazione – Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica*.

dove *h*[mm] è l'altezza di pioggia, *t*[ore] il tempo di pioggia, *a*[mm/ore^n] e *n*[-] i parametri della curva, funzione del tempo di ritorno.

I dati utilizzati derivano da un'interpolazione spaziale, mediante il metodo Kriging, dei parametri *a* e *n* ottenuti mediante regressione statistica sulla base delle serie storiche delle precipitazioni intense riportate negli Annali Idrologici del Servizio Mareografico Italiano, relative ai massimi annuali delle precipitazioni di durata di 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive.

Le analisi statistiche condotte hanno permesso di definire per ciascuna cella spaziale i valori dei parametri delle curve per i tempi di ritorno di 20, 50, 100 e 200 anni, i quali sono stati mediati sulla superficie del bacino in esame per ottenere gli eventi critici di progetto; i parametri delle curve di possibilità climatica sono riportati in Tabella 16

		Stura di Ala		
TR [anni]		20	100	200
$h = a \cdot t^n$	a [mm/ore^n]	25,385	32,191	35,104
	n [-]	0,539	0,532	0,530

Tabella 16 - Parametri delle curve di possibilità pluviometrica per il bacino in esame.

3.3 Determinazione delle portate massime al colmo

Per la valutazione delle portate massime probabili si è fatto riferimento al metodo cinematico, basato sulla determinazione indiretta delle portate, in funzione delle precipitazioni.

Il metodo razionale (o cinematico) stigmatizza il processo di corrivazione (e quindi di deflusso dell'acqua di pioggia verso la sezione di chiusura) come predominante rispetto a quello di invaso, facendo riferimento ad un evento di precipitazione critica di durata pari al tempo di corrivazione del bacino.

3.3.1 Determinazione del tempo di corrivazione

Per la definizione della precipitazione critica sui bacini sottesi dalle sezioni di calcolo in esame è necessario valutare il tempo di corrivazione utilizzando formule sperimentali e definendone i valori di riferimento in relazione alla letteratura tecnica sull'argomento e all'esperienza diretta in campo idrologico.

Per il calcolo del tempo di corrivazione è necessario stimare le caratteristiche geometriche del bacino in esame, riportate nella tabella precedente.

Le formule considerate per la stima del tempo di corrivazione sono le seguenti:
- formula di Giandotti;
- formula di Pezzoli;
- formula di Kirpich;
- formula di Ventura;

- formula di Horton;
- formula di Pasini.

Vengono di seguito esposte le formule di calcolo del tempo di corrivazione espresso in ore, per ognuno dei metodi adottati; i simboli indicati rappresentano le grandezze precedentemente elencate.

Formula di Giandotti: $$tc = \frac{4 \cdot S^{0.5} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{(Hm - Hsez)}}$$

Formula di Pezzoli: $$tc = 0.055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}}$$

Formula di Ventura: $$tc = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$$

Formula di Horton: $$tc = \frac{L}{3.6 \cdot v}$$

Formula di Pasini: $$tc = 0.108 \cdot \frac{(S \cdot L)^{1/3}}{\sqrt{i}}$$

Formula di Kirpich: $$tc = 0.066 \cdot L^{0.77} \cdot \left(1000 \cdot L \Big/ (H\max - H\min) \right)^{0.385}$$

La scelta del valore di tempo di corrivazione più corretto è stata eseguita in base a considerazioni di carattere generale sui campi di applicabilità delle formule utilizzate e sui valori ottenuti.

Dalla letteratura sull'argomento si rileva che Giandotti ricavò la sua formula sperimentando su bacini di dimensioni superiori ai 100 km^2. Tutte le altre formule utilizzate sono state sviluppate per bacini naturali di dimensioni non troppo grandi; la formula di Kirpich è stata sviluppata sui dati di piccoli bacini rurali americani, anche piuttosto pendenti; la formula di Horton considera bacini di dimensioni anche inferiori ai 10 km^2 e fa riferimento alla velocità fittizia di avanzamento dell'acqua, secondo tabelle di origine sperimentale in funzione della pendenza; la formula di Pezzoli è stata sviluppata sui dati di piccoli bacini montani di dimensioni inferiori ai 20 km^2, mentre Ventura e Pasini considerano bacini di dimensioni medie anche fino a 40 km^2.

Per il bacino in esame, considerata la superficie di circa 31,9 km^2, si è assunto un valore del tempo di corrivazione di progetto fornito dalla media fra le formule di Ventura e Pasini.

	VENTURA	PASINI	media
	tc	tc	tc
	(ore)	(ore)	(ore)
Torrente Stura di Ala	1,56	1,41	1,49

Tabella 17 - Tempi di corrivazione.

3.3.2 Calcolo delle portate di piena: metodo razionale

Il metodo razionale di correlazione afflussi-deflussi, per il calcolo della portata di piena, utilizza la formula di Turazza:

$$Q = \frac{c \cdot h_r \cdot S}{3.6 \cdot tc} \quad (m^3/s)$$

dove:
S = superficie del bacino (km^2);
c = coefficiente di deflusso del bacino;
h_r = altezza massima di precipitazione ragguagliata per una durata pari al tempo di corrivazione del bacino (mm), valore di assegnato tempo di ritorno;
tc= valore medio del tempo di corrivazione del bacino (ore).

Il termine h_r è calcolato come:

$$h_r = h \cdot r$$

dove il coefficiente di ragguaglio r è calcolato in funzione della superficie del bacino S:

$$r = 1 - \left(0{,}0394 \cdot S^{0{,}354}\right) \cdot d^{(-0{,}4+0{,}0208 \cdot \ln(4.6-\ln(S)))} \quad perS < 20km^2$$
$$r = 1 - \left(0{,}0394 \cdot S^{0{,}354}\right) \cdot d^{(-0{,}4+0{,}003832 \cdot (4{,}6-\ln(S)))} \quad perS > 20km^2$$

Sono calcolati in tal modo i valori delle portate di piena per i tempi di ritorno progettuali e dei relativi contributi specifici del bacino (q) o riferiti ad una superficie pari a 100 km^2 (q_{100}), calcolati mediante le seguenti espressioni:

$q = Q/S$ ($m^3/s\ km^2$)
$q_{100} = q / (100/S)^n$ ($m^3/s\ km^2$)

dove:
Q = portata al colmo (m^3/s);
S = superficie del bacino (km^2);
n = esponente che vale:
2/3 per S maggiore di 10 km^2;
1/2 per S compreso tra 5 e 10 km^2;
1/3 per S minore di 5 km^2.

PORTATE DI PIENA METODO RAZIONALE TR=20 ANNI						
	COEFF.DEFL.	Tc	H	Q	q	q100
	c		(Tr=20)	(Tr=20)		
		(ore)	(mm)	(m^3/s)	($m^3/s/km^2$)	($m^3/s/km^2$)
Stura di Ala	0,58	1,49	31,4	96,98	3,02	1,41
PORTATE DI PIENA METODO RAZIONALE TR=100 ANNI						
	COEFF.DEFL.	Tc	H	Q	q	q100
	c		(Tr=100)	(Tr=100)		
		(ore)	(mm)	(m^3/s)	($m^3/s/km^2$)	($m^3/s/km^2$)
Stura di Ala	0, 58	1,49	39,8	122,66	3,82	1,78

PORTATE DI PIENA METODO RAZIONALE TR=200 ANNI						
	COEFF.DEFL.	Tc	H	Q	q	q100
	c		(Tr=200)	(Tr=200)		
		(ore)	(mm)	(m^3/s)	($m^3/s/km^2$)	($m^3/s/km^2$)
Stura di Ala	0, 58	1,49	43,3	133,63	4,16	1,94

Tabella 18 - Portate di piena di progetto.

La piena di progetto con tempo di ritorno 200 anni è pertanto stimata pari a **134** m^3/s.

4. CALCOLO DEL DEFLUSSO ECOLOGICO

4.1 Calcolo del DMV idrologico e del DMV di base

Il deflusso minimo vitale di base in una determinata sezione del corpo idrico è calcolato con la formula seguente:

$$DMVbase\ [l/s] = K \cdot q_{med} \cdot S \cdot M \cdot A$$

dove:

q_{med}	[l/(s·km²)]	è la portata media annua specifica rispetto alla superficie del bacino;
K	[-]	è un parametro sperimentale determinato per aree idrografiche;
S	[km²]	è la superficie del bacino di interesse;
M	[-]	è il parametro morfologico;
A	[-]	è il parametro relativo all'interazione tra le acque superficiali e sotterranee.

In particolare, nel citato Regolamento Regionale 14/R/2021 vengono definite le grandezze elencate di seguito.

DMV idrologico: $K \cdot q_{med} \cdot S$,
rappresenta la componente idrologica (frazione della portata naturale media annua del corpo idrico in una data sezione).

DMV di base: *(DMV idrologico)* $\cdot M \cdot A$,
rappresenta il valore idrologico corretto in funzione dei fattori:
- M, parametro morfologico;
- A, parametro che tiene conto degli effetti degli scambi idrici tra le acque superficiali e sotterranee.

I valori dei parametri *K*, *M*, *A* sono definiti per aree idrografiche e tratti fluviali dalle cartografie di Piano di Tutela delle Acque 2007 e nel sopracitato Regolamento Regionale.

La Tabella 19 sintetizza i parametri di calcolo utilizzati e il Deflusso Minimo Vitale di competenza; come richiesto in sede di CdS del 13/03/2025 il fattore A è stato assunto pari a 1.

Sito	S [km^2]	Q [m^3/s]	q_{meda} [$l/s/km^2$]	K	M	A	DMV base [l/s]
Stura di Ala alla sezione di presa	31,85	1,09	34,33	0,15	0,9	1	147,6

Tabella 19 - Calcolo del DMV di base di competenza della presa in esame.

Rispetto al valore di calcolo, come da prescrizioni della CdS il DMV di base viene assunto, per le valutazioni che seguono, pari a 200 l/s.

4.2 Calcolo del Deflusso Ecologico

Il deflusso ecologico (DE) in una determinata sezione del corpo idrico è calcolato con la formula seguente:

$$DE\ [l/s] = K \cdot q_{med} \cdot S \cdot M \cdot A \cdot Z \cdot T = DMVbase \cdot Z \cdot T$$

con:

Z	[-]	parametro che tiene conto dei parametri di naturalità, fruizione e di qualità biologica delle acque ed è calcolato come Z=max(Q,F,N) ovvero come il valore massimo tra i parametri di qualità dell'acqua Q, naturalità N e fruizione F;
T	[-]	è il parametro relativo alla modulazione del DMV, variabile su base mensile.

I valori del parametro Z sono forniti per singolo corpo idrico nel Regolamento Regionale 14/R/2021; nel medesimo regolamento sono riportati i valori mensili del parametro T identificato per regioni idrografiche omogenee. Come descritto nel comma 3 dell'art. 3 del sopracitato regolamento, *"sono soggetti alla modulazione della portata (T) i prelievi che ricadono nell'asta principale di corpi idrici il cui bacino idrografico ha un'area superiore a 100 kmq, valutata in corrispondenza della sezione di prelievo."*

L'opera di presa di Ciavanette è ubicata sul corpo idrico 01SS2N765PI (torrente Stura di Ala). Il corpo idrici in esame termina alla relativa confluenza, ove ha origine il fiume Stura di Lanzo.

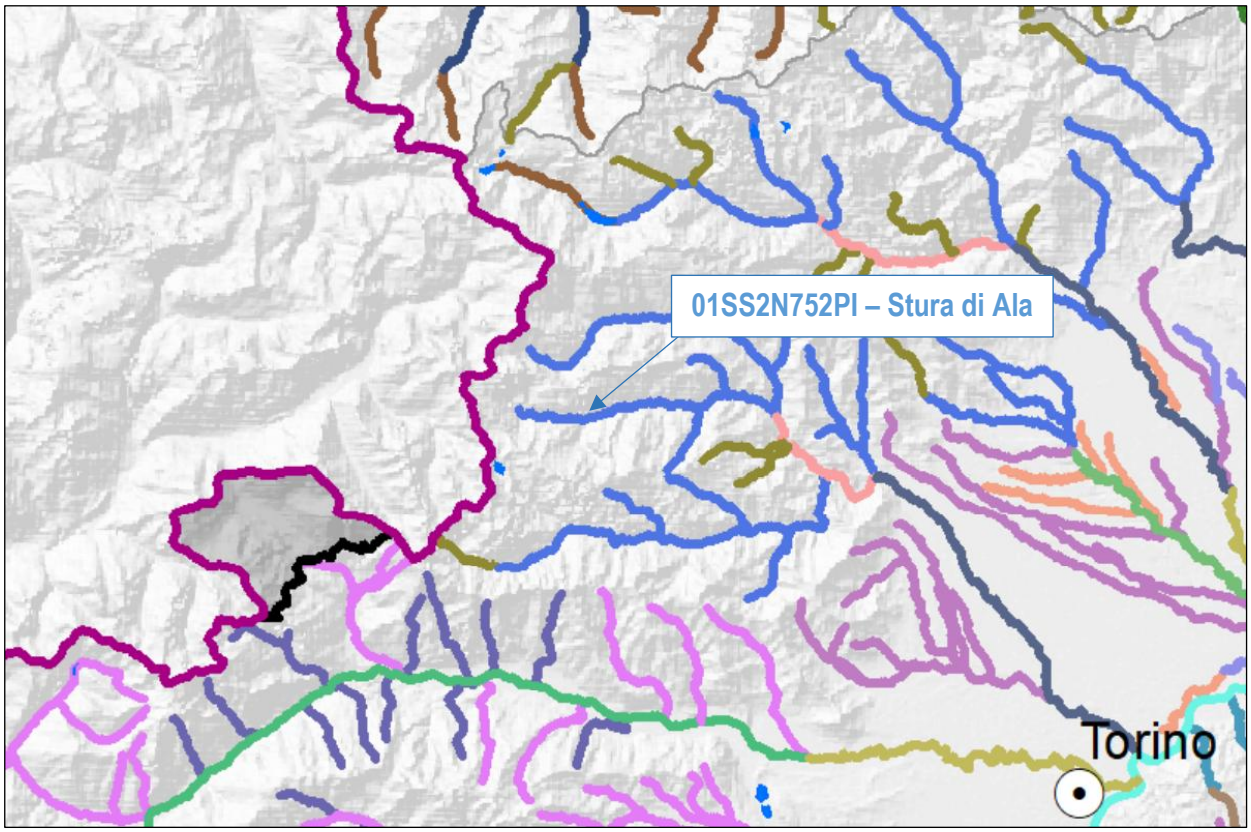


Figura 26 – Estratto della tav. 1.2 dell'elaborato 12 del PdG Po 2021 con individuazione del CI di interesse.

Per il corpo idrico di interesse il regolamento sopracitato identifica un fattore Z pari a 1,30.

Il corpo idrico in esame ricade inoltre (rif. allegato C al Regolamento 14/R/2021) nella regione idrografica omogenea D, per la quale sono definiti nel regolamento sopracitato i fattori di modulazione temporale T presentati nella Tabella 20.

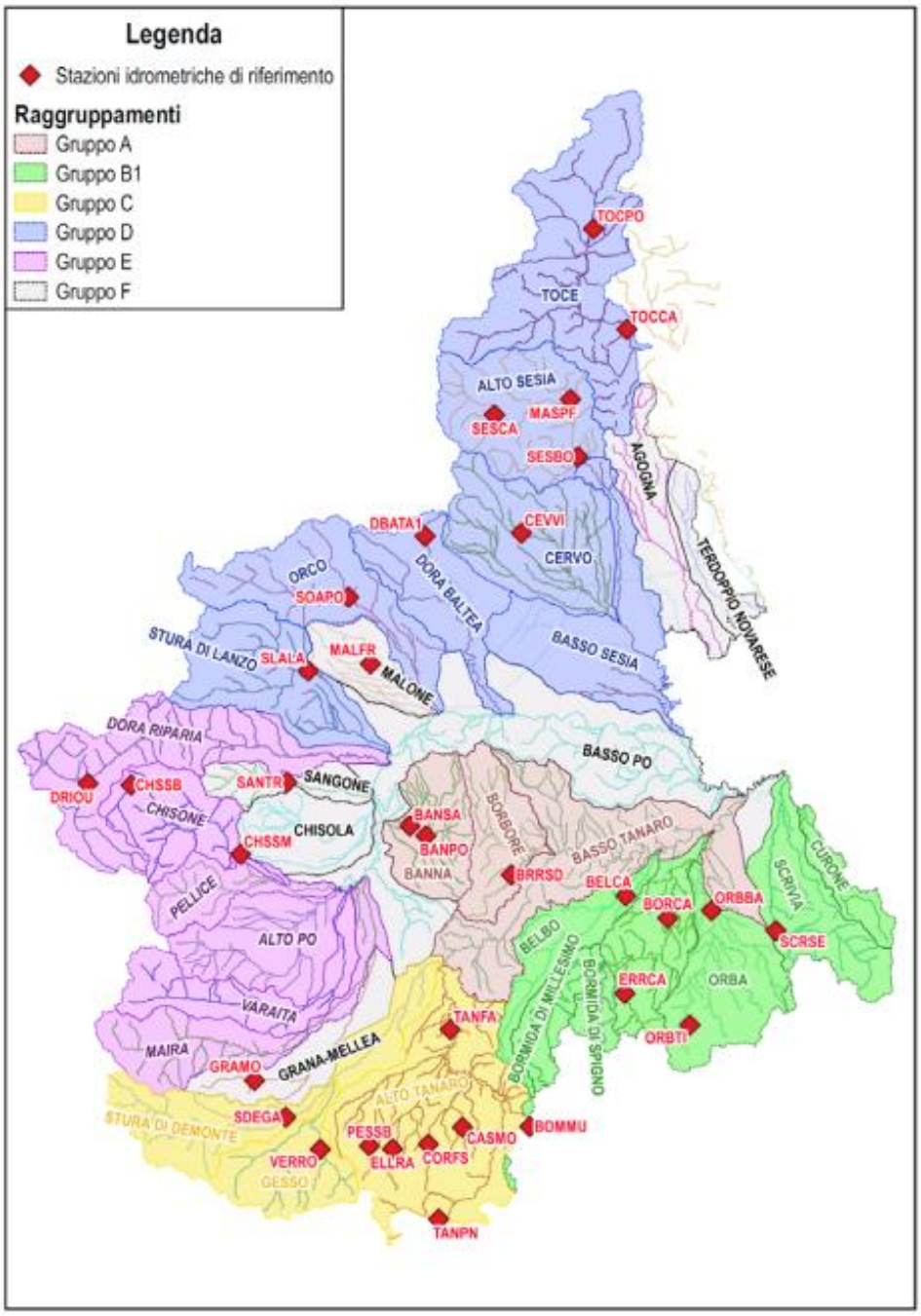


Figura 27 - Estratto dall'allegato C al Reg. Regionale 14/R/2021: rappresentazione delle regioni idrografiche omogenee.

L'impianto in esame sottende un bacino di superficie inferiore a 100 km^2; in applicazione al Reg. Regionale 14/R/2021 e come evidenziato nella specifica cartografia[3] di Regione Piemonte, non è dunque necessaria la modulazione temporale. In continuità con quanto proposto nelle precedenti fasi progettuali, la modulazione verrà comunque effettuata in base ai seguenti fattori:

[3] https://www.regione.piemonte.it/web/sites/default/files/media/documenti/2022-05/Mappa_Deflusso_Ecologico_REV1.pdf

Mese	*T*
GENNAIO	0,70
FEBBRAIO	0,70
MARZO	1,00
APRILE	1,00
MAGGIO	1,80
GIUGNO	1,80
LUGLIO	1,00
AGOSTO	1,00
SETTEMBRE	1,00
OTTOBRE	1,00
NOVEMBRE	1,00
DICEMBRE	0,70

Tabella 20 – Fattori di modulazione temporale T.

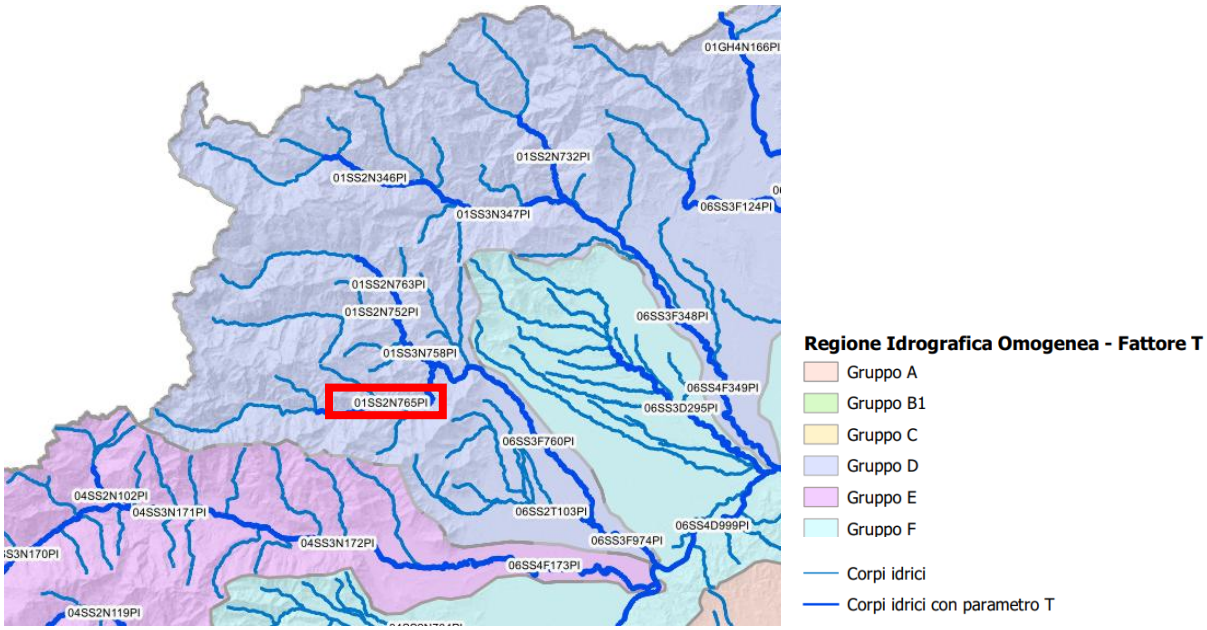


Figura 28 – Estratto dalla Idrografia Omogenea di Regione Piemonte: rappresentazione dei C.I. piemontesi differenziati rispetto all'applicazione o meno della modulazione temporale T con identificazione dei CI di interesse (riquadri rossi).

Il Deflusso Ecologico risulta pertanto pari a:

Mese	*DE [l/s]*
GENNAIO	182
FEBBRAIO	182
MARZO	260
APRILE	260
MAGGIO	468
GIUGNO	468
LUGLIO	260
AGOSTO	260
SETTEMBRE	260

Mese	*DE [l/s]*
OTTOBRE	260
NOVEMBRE	260
DICEMBRE	182

Tabella 21– Proposta di rilascio modulato del DE.

Nei mesi invernali, da dicembre a marzo compresi, al fine di evitare il danneggiamento dell'impianto ad opera del gelo si prevede la derivazione per autoconsumo di 3 l/s in deroga al rilascio del DE (la restante quota parte di portata verrà fatta rilasciata, senza derivazione, sino a che le portate in arrivo alla sezione di presa non consentano il rientro al normale esercizio dell'impianto).

5. DETERMINAZIONE DEI DATI DI ESERCIZIO DELL'IMPIANTO

5.1 Portate naturali, derivabili, derivate e rilasciate in corrispondenza dell'opera di presa

5.1.1 Anno medio

Come richiesto nell'ambito della CdS citata in premessa, nel seguito (Tabella 22), vengono riportate le portate caratteristiche delle curve di durata naturale alla sezione di presa, derivabili, derivate, DE e complessivamente rilasciate (DE + portate non utilizzate dall'impianto); le medesime serie di portata vengono anche sintetizzate su base mensile (media sul periodo 2011-2022) in Tabella 23. Nella Figura 29 sono rappresentate le curve di durata di interesse (NB: le varie curve di durata, in grafico e in tabella, sono state ordinate separatamente).

	Q_{media}	Q_{10}	Q_{91}	Q_{182}	Q_{274}	Q_{355}
Portata naturale [m³/s]	1,09	5,80	1,44	0,19	0,04	0,01
Portata derivabile [m³/s]	0,91	5,45	1,12	0,00	0,00	0,00
Portata derivata [m³/s]	0,55	1,90	1,12	0,00	0,00	0,00
Deflusso Ecologico [m³/s]	0,18	0,47	0,26	0,18	0,04	0,00
Portata rilasciata [m³/s]	0,55	3,91	0,47	0,18	0,04	0,00

Tabella 22 – Anno medio: portate caratteristiche delle curve di durata.

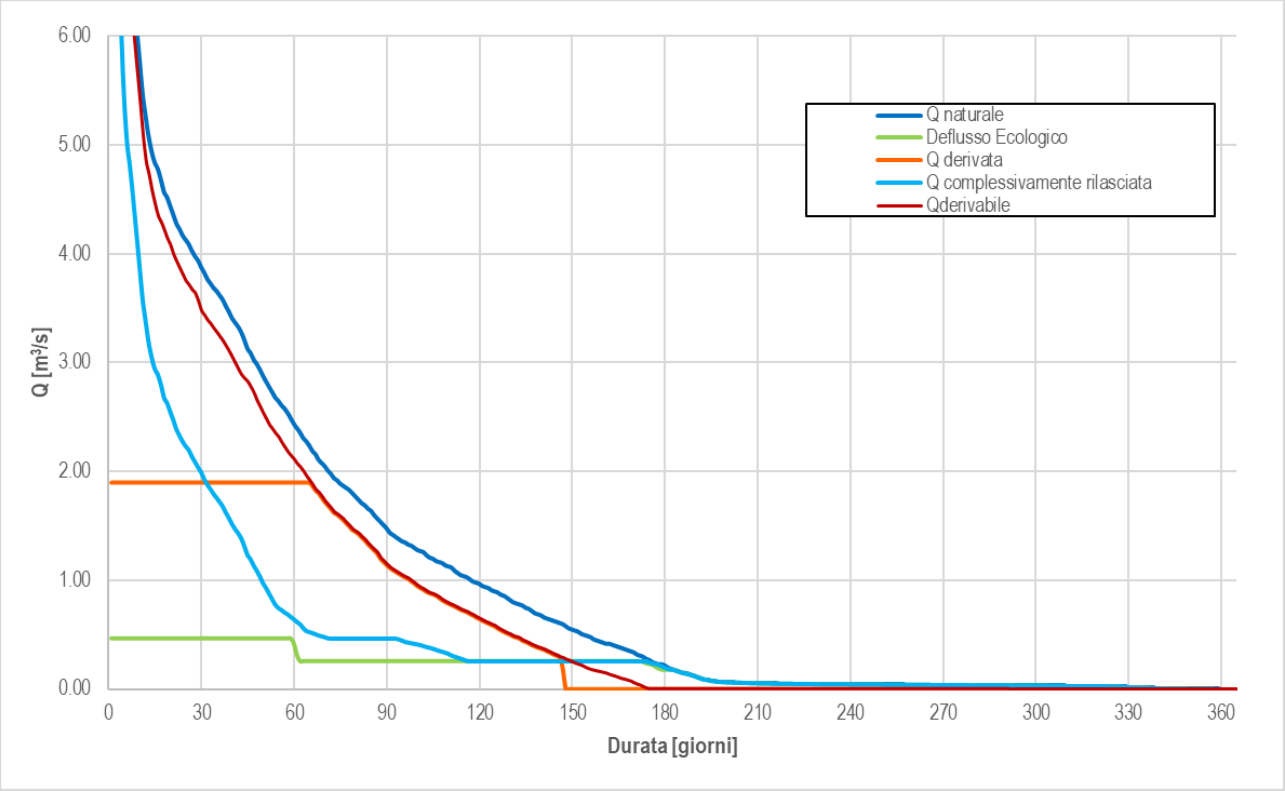


Figura 29 – Anno medio: curva di durata della portata naturale, del Deflusso Ecologico, della portata derivata e della portata complessivamente rilasciata in alveo.

	Portata Naturale [m³/s]	Portata Derivabile [m³/s]	Portata Derivata [m³/s]	DE [m³/s]	Portata Rilasciata [m³/s]
Gennaio	0,058	0,016	0,012	0,041	0,046
Febbraio	0,031	0,003	0,003	0,028	0,028
Marzo	0,009	0,003	0,003	0,006	0,006
Aprile	0,053	0,002	0,001	0,052	0,052
Maggio	1,506	1,045	0,847	0,461	0,659
Giugno	4,535	4,067	1,823	0,468	2,712
Luglio	3,256	2,996	1,769	0,260	1,487
Agosto	1,755	1,495	1,243	0,260	0,512
Settembre	0,756	0,508	0,411	0,248	0,344
Ottobre	0,742	0,534	0,279	0,208	0,463
Novembre	0,288	0,198	0,107	0,090	0,181
Dicembre	0,111	0,039	0,003	0,072	0,108

Tabella 23 – Portate sintetizzate su base mensile, medie sul periodo 2011-2022.

5.1.2 Anno scarso

La medesima analisi è stata eseguita sull'anno scarso. In riferimento alla serie idrologica ricostruita alla sezione di presa sul periodo 2011-2022, l'anno scarso (calcolato come l'anno con una frequenza di superamento, sulla serie, dell'80%) risulta il 2012.

	Q_{media}	Q_{10}	Q_{91}	Q_{182}	Q_{274}	Q_{355}
Portata naturale [m³/s]	0,81	3,84	1,32	0,08	0,04	0,01
Portata derivabile [m³/s]	0,63	3,39	0,93	0,00	0,00	0,00
Portata derivata [m³/s]	0,48	1,90	0,93	0,00	0,00	0,00
Deflusso Ecologico [m³/s]	0,18	0,47	0,26	0,08	0,04	0,01
Portata rilasciata [m³/s]	0,32	1,94	0,37	0,08	0,04	0,01

Tabella 24 – Anno scarso: portate caratteristiche delle curve di durata.

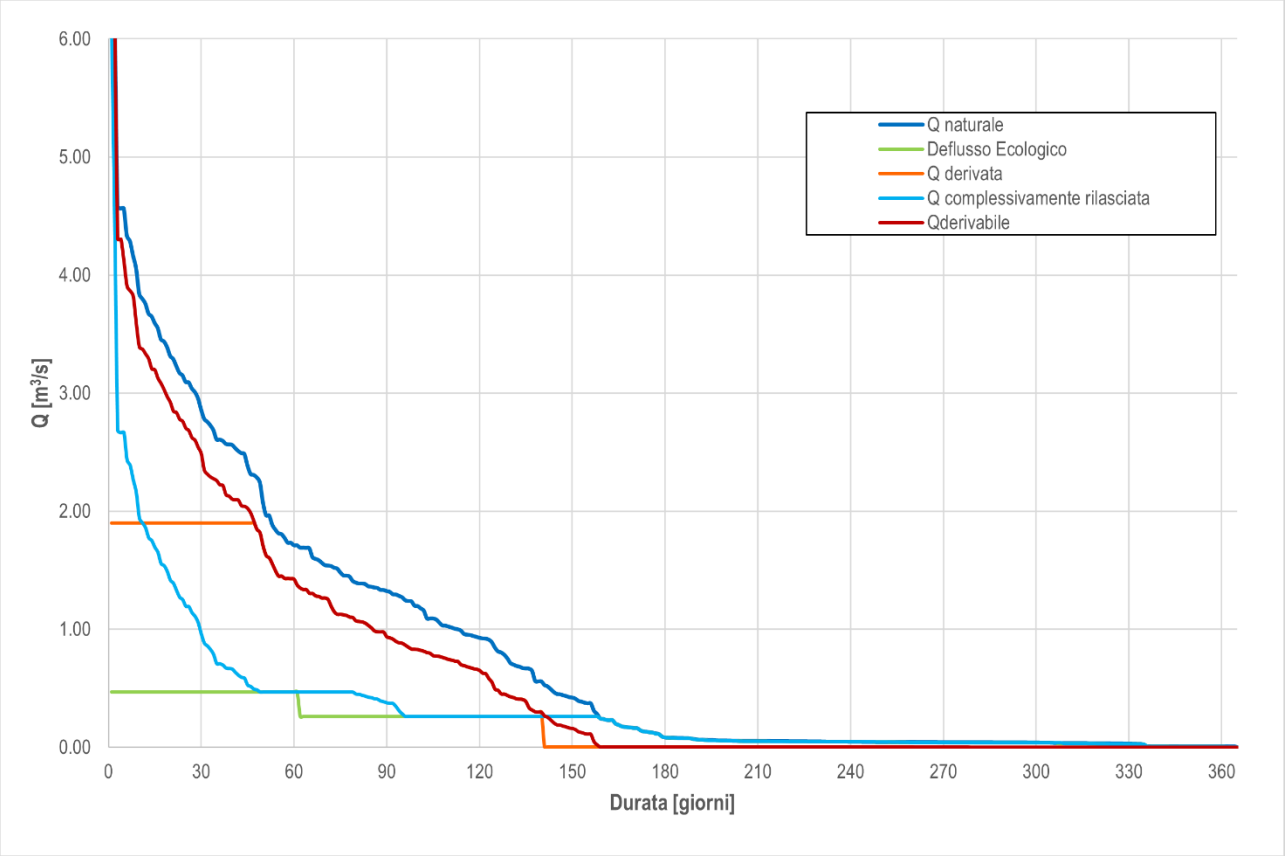


Figura 30 – Anno scarso: curva di durata della portata naturale, del Deflusso Ecologico, della portata derivata e della portata complessivamente rilasciata in alveo.

	Portata Naturale [m³/s]	Portata Derivabile [m³/s]	Portata Derivata [m³/s]	DE [m³/s]	Portata Rilasciata [m³/s]
Gennaio	0,041	0,003	0,003	0,038	0,038
Febbraio	0,032	0,003	0,003	0,029	0,029
Marzo	0,007	0,003	0,003	0,004	0,004
Aprile	0,047	0,000	0,000	0,047	0,047
Maggio	1,572	1,104	1,036	0,468	0,536
Giugno	3,161	2,693	1,895	0,468	1,266
Luglio	2,651	2,391	1,596	0,260	1,054
Agosto	1,101	0,841	0,841	0,260	0,260
Settembre	0,708	0,448	0,357	0,260	0,350
Ottobre	0,158	0,006	0,000	0,151	0,158
Novembre	0,094	0,032	0,032	0,062	0,062
Dicembre	0,055	0,003	0,003	0,052	0,052

Tabella 25 – Portate sintetizzate su base mensile per l'anno scarso.

5.2 Producibilità attesa

La producibilità attesa dall'impianto è stata valutata a partire dallo schema progettuale di base, assumendo i seguenti parametri di dimensionamento:
- curva di durata delle portate;
- applicazione DE modulato a gradini;
- portata massima di esercizio;
- salto geodetico.

Si è operato implementando la seguente procedura di calcolo:
- costruzione, a partire dalla curva di durata giornaliera delle portate naturali, della curva delle portate turbinabili a scala giornaliera, tenendo in conto i limiti imposti dal dimensionamento dell'impianto e limiti minimi imposti dal rilascio del DE;
- costruzione a scala giornaliera dei valori di salto idraulico netto disponibile sul gruppo di produzione tenendo in conto le perdite di carico dovute alle effettive condizioni di funzionamento della condotta forzata;
- determinazione della producibilità e dei parametri di produzione e concessione.

Oltre ai dati caratteristici dello schema progettuale, per l'elaborazione sono stati assunti anche i seguenti parametri:
- coefficiente "c" di Strickler della tubazione, pari a 90 $m^{1/3}/s$, che tiene in conto anche l'invecchiamento della tubazione;
- portata minima turbinabile, congruente con il limite tecnico di funzionamento del gruppo di produzione previsto;
- rendimento complessivo (cautelativo) dell'impianto, pari a 0,82, che tiene in conto il rendimento di turbine, generatori, trasformatori nonché il consumo dei servizi ausiliari.

Riferendosi alla soluzione di progetto assunta, l'impianto dimensionato con una portata massima pari a 1,90 m^3/s arriva a produrre circa 9,58 GWh/anno. Nel seguito si sintetizzano i principali dati caratteristici dell'impianto, con riferimento al calcolo della producibilità media annua riportato in Allegato 2.

Dati di esercizio dell'impianto		
Quota di regolazione	m s.l.m.	1.733,55
Quota restituzione= quota asse turbina	m s.l.m.	1.475,65
Diametro condotta	mm	1.000
Lunghezza condotta	m	1.699,00
Portata massima turbinabile	m^3/s	1,90
Portata media di concessione	m^3/s	0,558
Portata media turbinata	m^3/s	0,547
Potenza media di concessione	kW	1.435,57
Salto di concessione	m	262,20
Producibilità media annua	GWh	9,58
Periodo di funzionamento (concessione)	--	1/01 – 31/12

Tabella 26 - Dati caratteristici di esercizio dell'impianto.

5.3 Parametri di concessione

Ai fini della concessione della derivazione risulta un salto geodetico pari a h=262,2 m (quota soglia trappola di presa 1.735,20 m s.m.; quota fondo canale di scarico 1473,00 m s.m.) ed una portata media di concessione (determinata dunque unicamente in funzione della massima derivabile e del rilascio del DE) pari a Q=0,558 m^3/s.

Ne consegue una potenza di concessione pari a:

$$P = \frac{Q \cdot h}{0{,}102} = 1.435{,}57\ kW$$

ALLEGATO 1 - Nota sulle formule di regionalizzazione “SIMPO”

L'utilizzo di formule di regionalizzazione idrologica permette di poter rappresentare omogeneamente le caratteristiche dei deflussi su ambiti predefiniti.

Nel campo della regionalizzazione delle portate naturali, sono state definite da Hydrodata formule valide sull'intero bacino padano[4], (applicate in numerosi progetti e studi), aventi struttura semplice e flessibile, tale da permettere di conseguire ulteriori guadagni, in termini di rispondenza ed affidabilità, con aggiornamenti delle stesse anche a scala locale.

Le formule, ottenute mediante modelli statistici a regressione multipla per ricercare le leggi di dipendenza delle portate da fattori fisico-climatici, calibrate sulla base dei risultati dell'analisi sui dati storico-statistici, consentono di determinare i valori caratteristici di deflusso per qualsiasi sezione del reticolo idrografico del bacino padano, noti i dati di base.

Le formule per il calcolo dei contributi specifici di portata riferiti ai valori caratteristici del deflusso (portata media annua, portate medie mensili e valori della curva di durata delle portate) sono espresse in funzione delle principali grandezze dei bacini idrografici considerati.

Le caratteristiche strutturali delle espressioni sono:
- riferimento al valore del deflusso per unità di superficie del bacino sotteso (q in l/s/km^2);
- numero limitato di variabili indipendenti, cioè non intercorrelate;
- esplicitazione del grado di verosimiglianza nella simulazione (correlazione e deviazione standard);
- esplicita significatività idrologica dei parametri fisiografici considerati;
- principali parametri climatici e fisiografici presumibilmente utilizzati: afflusso (A in mm), altitudine media del bacino sotteso (H in m s.m.), temperatura media del bacino sotteso (T in °C), superficie degli invasi e delle aree glaciali (S in km^2)…
- struttura delle formule: lineare o esponenziale;
- possibilità di limitata (artificiosa, in caso diverso) "zonatura" delle formule e/o dei singoli coefficienti;
- identificazione della modalità di separazione tra la condizione di regime naturale e quella di regime regolato o alterato artificialmente;
- identificazione della modalità di passaggio del dato simulato dal modello di regionalizzazione al dato "di progetto" (per utilizzazioni di vario genere, tenendo conto del grado di verosimiglianza del singolo valore simulato);
- calibratura anche in base a misure istantanee di portata disponibili.

Le formule di regionalizzazione denominate SIMPO sono state sviluppate differenziando il bacino padano in tre zone:
- Zona A: zona "alpina", comprendente tutti i bacini idrografici in sinistra e destra Po dal sistema Sarca-Mincio fino al sistema Tanaro-Bormida-Orba compreso.
- Zona B: zona dell'"asta del Po", comprendente tutte le porzioni di bacino residue di pianura affluenti direttamente all'asta del Po.
- Zona C : zona "appenninica", comprendente tutti i bacini in destra Po dallo Scrivia al Panaro.

Si riportano di seguito, a titolo di esempio, solo le espressioni per il calcolo dei contributi specifici di portata riferiti ai valori caratteristici relativi alla zona A (alpina) del bacino padano:

[4] "Studio e progettazione di massima delle sistemazioni idrauliche dell'asta principale del Po" , Convenzione Magistrato per il Po/ S.I.M.P.O. - H.C. Hydrodataconsult, 1980/81.

- qMEDA = -24.5694 + 0.00860*H + 0.03416*A (l/s/km^2)
- qGEN = 14.16232 - 0.00683*H + 0.36918*DS (l/s/km^2)
- qFEB = 16.49263 - 0.00824*H + 0.37478*DS "
- qMAR = 22.74646 - 0.01111*H + 0.46902*DS "
- qAPR = 13.85406 - 0.01101*H + 1.15662*DS "
- qMAG = -9.83665 + 0.00797*H + 1.63288*DS "
- qGIU = -34.9228 + 0.02826*H + 1.62190*DS "
- qLUG = -24.4942 + 0.02066*H + 1.04446*DS "
- qAGO = -16.0687 + 0.00955*H + 0.95881*DS "
- qSET = -13.0179 + 0.00232*H + 1.21272*DS "
- qOTT = -4.54832 - 0.00479*H + 1.33784*DS "
- qNOV = 16.50714 - 0.01604*H + 1.25843*DS "
- qDIC = 18.06197 - 0.01030*H + 0.56036*DS "

- q10 = $5.06749 * S^{-0.057871} * DS^{0.965037}$ (l/s/km^2)
- q91 = $1.29772 * S^{0.009539} * DS^{0.976926}$ "
- q182 = $0.54425 * S^{0.049132} * DS^{0.980135}$ "
- q274 = $0.18670 * S^{0.069105} * DS^{1.108675}$ "
- q355 = $0.07560 * S^{0.068232} * DS^{1.234733}$ "

in cui:
S = superficie del bacino (km^2);
H = altitudine media del bacino (m s.m.);
A = afflusso medio annuo sul bacino (mm);
DS = deflusso medio annuo specifico (l/s/km^2)=qMEDA.

ALLEGATO 2 - Calcolo della producibilità

ALPEN 2.0 - CIAVANETTE
VERIFICA DIMENSIONAMENTO IMPIANTO

Dati idrologici di interesse alla sezione di presa

Q10	**1.90**	[m^3/s]
Q91	**1.12**	[m^3/s]
Q182	**0.00**	[m^3/s]
Q274	**0.00**	[m^3/s]
Q355	**0.00**	[m^3/s]

Caratteristiche del salto

Quota regolazione presa	**1 733.55**	[m s.m.]
Quota restituzione max	**1 475.65**	[m s.m.]
Quota restituzione min	**1 475.65**	[m s.m.]
Salto netto max	**257.90**	[m]
Salto netto min	**247.15**	[m]

Caratteristiche condotta forzata

Lunghezza condotta	**1 699.00**	[m]
Diametro condotta	**992.00**	[mm]
Coeff Strickler condotta	**90.00**	[$m^{1/3}/s$]
Perdita carico con 1 gruppo	**8.14**	[m]
Perdita carico massima	**8.14**	[m]

Caratteristiche macchinario

Portata max impianto	**1.90**	[m^3/s]
Portata massima gruppo	**1.90**	[m^3/s]
Rendimenti		
η totale impianto	**0.816**	[-]
η turbina	**0.85**	[-]
η alternatore	**0.98**	[-]
η trasformatore	**0.99**	[-]
η per autoconsumo S.A.	**0.99**	[-]
Potenza massima generatore	**3 878**	[kW]

Caratteristiche di produzione

Periodo di concessione	**01/01 - 31/12**	[-]
Volume annuo turbinato	**17249993**	[m^3]
Portata media turbinata	**0.547**	[m^3/s]
Salto idraulico medio	**255.27**	[m]
Producibiltà	**9 576 404**	[kWh]
Potenza media annua	**1 093**	[kW]
Potenza massima	**3 761**	[kW]

Caratteristiche di concessione

P.L. morto monte	**1 735.20**	[m s.m.]
P.L. morto valle	**1 473.00**	[m s.m.]
Salto di concessione	**262.200**	[m]
Volume annuo concessione	**17 611 646**	[m^3]
Portata media concessione	**0.558**	[m^3/s]
Portata media concessione	**5.6**	[moduli]
Potenza media	**1435.57**	[kW]

