



RAPPORTO

USO AZIENDALE

APPROVATO

C5003032

Cliente Enel Green Power Italia S.r.l.

Oggetto Impianti idroelettrici Bosco di Corniglio e Marra di Corniglio (PR)
Variante in sanatoria per le derivazioni di acque pubbliche superficiali ad uso idroelettrico
Relazione idrologica

Ordine A.Q. JA10124307 del 18.11.2022, Attivazione N.3500668073 del 30.01.2025

Note A1300005608 – Lettera di trasmissione C5004692

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

N. pagine 47

N. pagine fuori testo -

Data 31/03/2025

Elaborato **STC - Izzi Daniele**
C5003032 2069429 AUT

Verificato **ENV - Granata Tommaso**
C5003032 3744 VER

Approvato **ENV - Il Responsabile - Mozzi Riccardo**
C5003032 2809622 APP

Firmato digitalmente da

Tommaso Granata
CN = Tommaso Granata
O = Ordine degli Ingegneri
di Pavia
T = Ingegnere
C = IT

PAD C5003032 (3112710) - USO RISERVATO

Mod. RAPP v. 1

CESI S.p.A.

Via Rubattino 54
I-20134 Milano - Italy
Tel: +39 02 21251
Fax: +39 02 21255440
e-mail: info@cesi.it
www.cesi.it

Capitale sociale € 8.550.000 interamente versato
C.F. e numero iscrizione Reg. Imprese di Milano 00793580150
P.I. IT00793580150
N. R.E.A. 429222

© Copyright 2025 by CESI. All rights reserved

Pag. 1/47

Indice

1	PREMESSA	3
2	DESCRIZIONE DEGLI IMPIANTI IDROELETTRICI EGP DELL'ASTA PARMA	4
2.1	Inquadramento territoriale	4
2.2	Descrizione dell'impianto idroelettrico di Bosco di Corniglio	6
2.3	Descrizione dell'impianto idroelettrico di Marra di Corniglio	10
3	CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI SOTTESI AGLI IMPIANTI.....	13
4	CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA	18
4.1	Aspetti idrologici generali.....	18
4.2	Dati termopluviometrici	18
4.3	Dati idrometrici	21
5	ANALISI DEI DATI STORICI DI PRODUZIONE	22
6	CALCOLO DELLA PORTATA MEDIA ANNUA NATURALE.....	24
6.1	Approccio metodologico: modellazione afflussi-deflussi.....	24
6.1.1	Dati a disposizione.....	24
6.1.2	Modalità generali di implementazione della modellistica	24
6.1.3	Parametrizzazione del modello e rappresentazione della neve	26
6.1.4	Definizione dell'input meteorologico.....	27
6.1.5	Calibrazione del modello.....	27
6.2	Altre metodiche di calcolo.....	29
6.3	Stima della portata media naturale.....	30
6.4	Curva di durata delle portate	38
7	VALORI DI DEFLUSSO MINIMO VITALE	43
8	CALCOLO DELLA PORTATA MEDIA ANNUA DERIVABILE	44
8.1	Metodologia di calcolo	44
8.2	Risultati.....	45
9	CONCLUSIONI	47

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
0	31/03/2025	C5003032	Prima emissione del documento

1 PREMESSA

Enel Green Power Italia Srl gestisce gli impianti idroelettrici di Bosco e Marra di Corniglio, ubicati nel bacino imbrifero del T. Parma, nel comune di Corniglio, in Provincia di Parma.

In riferimento alle due concessioni vigenti relative ai due impianti sopracitati (Decreto n. 773 del 21/01/1928 e Decreto n.7764 del 16/09/1926), per le quali sono state richieste modifiche riguardanti l'aumento della portata media, della portata massima e la potenza nominale dei due prelievi, oltre a nuove opere di presa minori non ricomprese negli atti concessori originali e alla dismissione di un'opera esistente, ARPAE ha richiesto al concessionario (nota ARPAE del 28/11/2024) la presentazione di istanza di verifica di assoggettabilità a VIA (screening), a livello regionale, in sanatoria.

Ai fini della presentazione dell'istanza citata, sarà quindi predisposto uno Studio Preliminare Ambientale ai sensi dell'art. 19 del D.Lgs. 152/2006 e ss.mm. e ii., di cui la presente relazione idrologica costituisce parte integrante.

Nella presente relazione sono riportate le caratteristiche principali degli impianti idroelettrici, nonché dei bacini idrografici di riferimento, l'analisi dei dati di produzione, la valutazione dei deflussi disponibili messi a confronto con quelli richiesti nell'istanza di variazione della concessione in sanatoria.

A tal proposito si precisa che nella richiesta di variazione della concessione:

- non è prevista la realizzazione di nessuna nuova opera idraulica;
- non è previsto di derivare portate maggiori rispetto a quelle che già vengono derivate da molti anni, ma di adeguare i valori di portata di concessione alle reali disponibilità idriche dei corsi d'acqua poiché le stesse si sono rivelate, sulla base delle produzioni, maggiori rispetto a quelle previste negli atti concessori vigenti.

Inoltre, nell'istanza è prevista la regolarizzazione di alcune opere di presa non ricomprese negli atti concessori originari e alla dismissione di un'opera esistente.

2 DESCRIZIONE DEGLI IMPIANTI IDROELETTRICI EGP DELL'ASTA PARMA

2.1 Inquadramento territoriale

Gli impianti idroelettrici di Bosco e Marra di Corniglio sono situati sugli Appennini emiliani nella parte meridionale della provincia di Parma, a ridosso del confine con la Regione Marche. Le due centrali, poste in serie tra di loro, sfruttano le acque derivate dal torrente Parma e dai suoi apporti minori ubicati nella parte alta del bacino imbrifero del torrente Parma, affluente di destra del fiume Po. I bacini imbriferi sottesi alle due centrali si estendono complessivamente su una superficie di circa 42 km².

L'impianto di Bosco di Corniglio preleva le acque da 3 prese principali (Parma di Badignana, Parma di Francia e Parma di Lago Santo) e due captazioni minori (Rio Sesta e Francia), che vengono convogliate verso una vasca di carico a servizio della Centrale. Le acque turbinate dalla centrale sono scaricate direttamente nel canale di derivazione dell'impianto di Marra dove, assieme agli apporti dei Rii Re, Costa, Brea, Roncovecchio, vengono inviate, passando attraverso una vasca di carico, verso la centrale e successivamente scaricate nel torrente Parma.

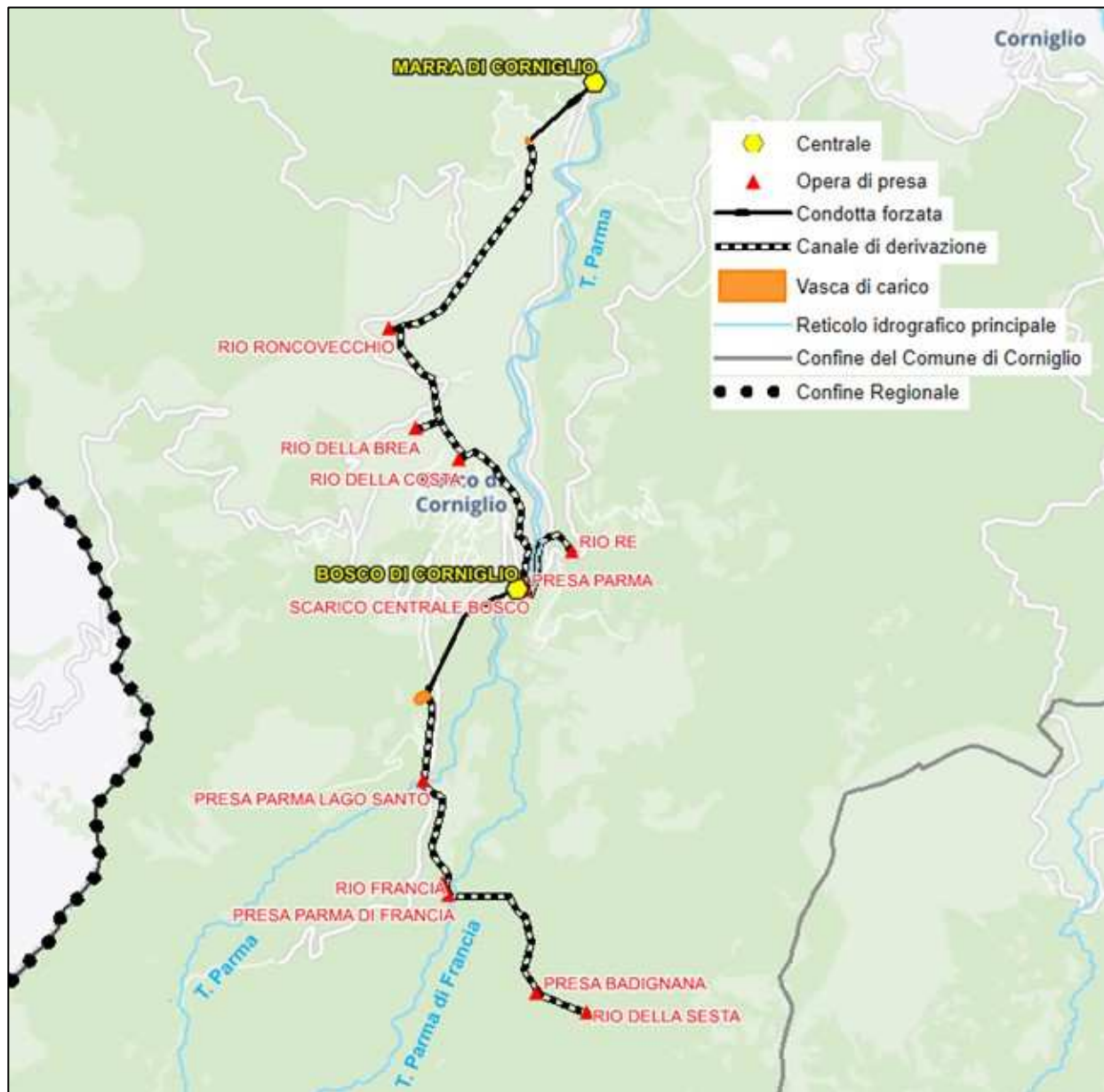


Figura 2-1: rappresentazione planimetrica degli impianti idroelettrici di Bosco e Marra di Corniglio



Dal bacino di carico si diparte la condotta forzata in lamiera di acciaio della lunghezza di 1083 m circa. La condotta è installata all'aperto ed è munita in testa di una valvola a farfalla con chiusura a contrappeso. Nella Centrale realizzata all'aperto con edificio sopra terra è installato il gruppo turbina Francis-alternatore ad asse orizzontale. A ridosso del fabbricato di Centrale è ubicato il trasformatore elevatore. L'opera di scarico avviene a pelo libero con restituzione dell'acqua nella derivazione Bosco-Marra.

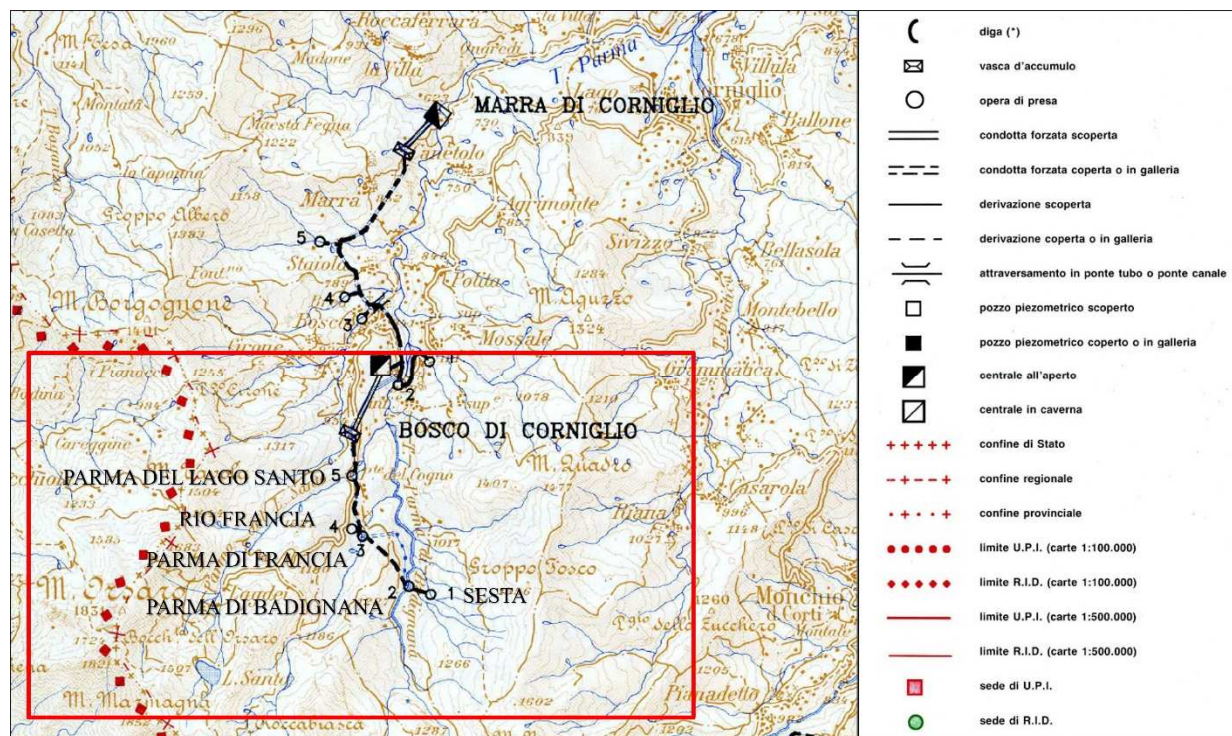


Figura 2-3: corografia dell'impianto di Bosco di Corniglio

Tabella 1: impianto di Bosco di Corniglio – dati di riferimento

Dati caratteristici della centrale	
Numero gruppi	1
Salto lordo Hg	195.36 m
Portata massima derivabile Qd	2.63 m ³ /s
Potenza efficiente Pe	4000 kW
Potenza installata generatori Pi	5000 kVA
Potenza installata turbine Pt	4000 kW
Producibilità media annua naturale Em	13.88 GWh

Dati caratteristici delle macchine	
Tipo turbina	Francis orizzontale
costruttore	De Pretto EW
Anno di costruzione	1955
Tipo regolatore	meccanico
Salto H	195.36 m
Portata massima Q	2.63 m ³ /s
Potenza resa Pr	4000 kW
Velocità n	1000 g/min

Dati idraulici	
bacino	Bosco di Corniglio
Quota max regolazione	975.80 m s.l.m.
Quota min regolazione	972.35 m s.l.m.
Capacità utile	28'000 m ³
Lunghezza canale di derivazione	2617 m
Portata massima derivabile	2.63 m ³ /s
Lunghezza condotta forzata	1083 m
Diametro condotta forzata	1
Quota massima vasca di carico	975.80 m s.l.m.
Quota di restituzione	780.44 m s.l.m.

Dati amministrativi	
Bacino idrografico	T. Parma
Corso d'acqua	Torrenti Parma di Badignana, di Francia e di Lago Santo
Disciplinare	D.S. 1552 del 18/04/1915 da G.C. PR
Decreto di concessione	D. Min. LL.PP. n. 773 del 21/01/1928
Collaudo definitivo	C.D.D. 5198 del 15/09/27 da G.C. PR
Approvazione collaudo	D. Min. LL.PP. n. 773 del 21/01/28
Portata media di concessione	0.7 m ³ /s
Portata massima di concessione	1.0 m ³ /s
Salto di concessione	190.4 m
Potenza nominale media di concessione	1306 kW



2.3 Descrizione dell'impianto idroelettrico di Marra di Corniglio

La centrale idroelettrica di Marra è ubicata nel comune di Corniglio, in provincia di Parma, e fa parte degli impianti del Nucleo Idroelettrico di Parma situati sull'asta fluviale del torrente Parma. Il bacino imbrifero sotteso dall'impianto presenta un'estensione di circa 42 km².

La centrale è in grado di fornire una potenza efficiente complessiva di 5700 kW e una producibilità media annua di 19.56 GWh.

L'impianto, costruito nel 1918 e ricostruito nel 1960, è stato automatizzato nel 1984, la conduzione è di tipo automatica autonoma.

La centrale è alimentata dalle acque dello scarico della centrale di Bosco, con l'apporto, subito a monte di quest'ultima, delle portate residue del Torrente Parma e del rio Re, captate mediante traverse fisse. L'opera di derivazione, lunga circa 4145 m, del tipo a pelo libero, è costituita da canale a mezza costa alternato da tratti in galleria. Lungo il percorso si immettono le prese secondarie sui rii Costa, Brea e Roncovecchio. Al termine dell'opera di derivazione è ubicata la vasca di carico (capacità 3'000 m³) provvista di sgrigliatore automatico per la pulizia della griglia di presa.

Dal bacino di carico si diparte la condotta forzata costituita da una tubazione metallica in lamiera di acciaio della lunghezza di 850 m circa. La condotta è installata all'aperto ed è munita, in testa, di una valvola a farfalla con chiusura a contrappeso.

Nella centrale realizzata all'aperto con edificio sopra terra è installato il gruppo Turbina Francis-Alternatore ad asse orizzontale. A ridosso del fabbricato di Centrale è ubicata la stazione di trasformazione a 132 kV in semplice sbarra costituita da due stalli trasformatore (TR1BIS e TR2) e due stalli linea (n° 650 – n°962).

L'opera di scarico avviene a pelo libero con restituzione dell'acqua nel torrente Parma.

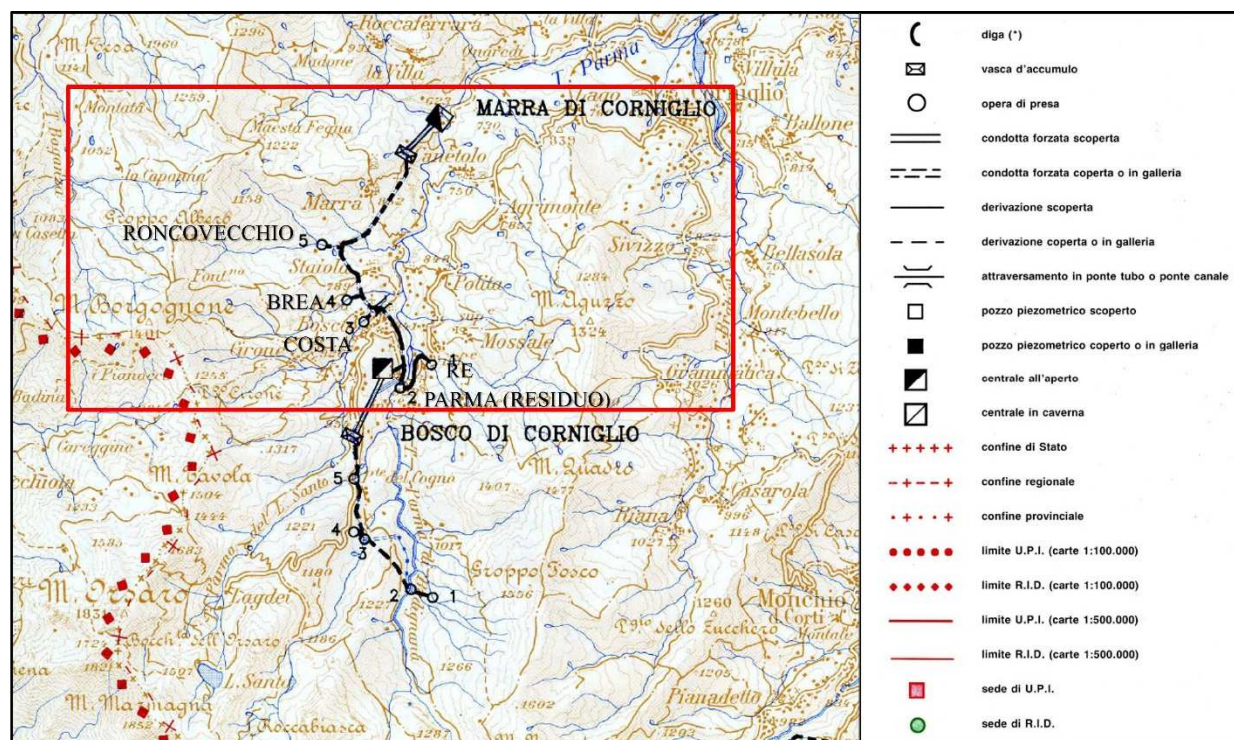


Figura 2-5: corografia dell'impianto di Marra di Corniglio

Tabella 2: impianto di Marra di Corniglio – dati di riferimento

Dati caratteristici della centrale	
Numero gruppi	1
Salto lordo Hg	152.52 m
Portata massima derivabile Qd	4.8 m ³ /s
Potenza efficiente Pe	5700 kW
Potenza installata generatori Pi	7500 kVA
Potenza installata turbine Pt	5700 kW
Producibilità media annua naturale Em	19.56 GWh

Dati caratteristici delle macchine	
Tipo turbine	2 Francis orizzontali
costruttore	Ansaldo
Anno di costruzione	1960
Tipo regolatore	meccanico
Salto H	152.52 m
Portata massima Q	2.4+2.4 m ³ /s
Potenza resa Pr	2850*2 kW
Velocità n	1000 g/min

Dati idraulici	
Lunghezza galleria/canale di derivazione	4850 m
Portata massima derivabile	4.77 m ³ /s
Lunghezza condotta forzata	650 m
Diametro condotta forzata	1.2 m
Quota vasca di carico	773.6 m s.l.m.
Quota di restituzione	621.08 m s.l.m.

Dati amministrativi	
Bacino idrografico	T. Parma
Corso d'acqua	Torrenti Parma, Brea, Costa, Roncovecchio
Disciplinare	D.S.S. 1268 del 10/02/1926 da G.C. PR
Decreto di concessione	D.R. n. 7764 del 16/09/1926 da Re d'Italia
Collaudo definitivo	A.C.D. 3623 del 10-10-27 da M.L.P.
Approvazione collaudo	A.C.D. del 01-02-22 da M.L.P.
Portata media di concessione	1.64 m ³ /s
Portata massima di concessione	3.28 m ³ /s
Salto di concessione	152 m
Potenza nominale media di concessione	2446.46 kW



3 CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI SOTTESI AGLI IMPIANTI

I bacini idrografici sottesi dai due impianti appartengono alla parte alta del bacino idrografico del torrente Parma. Le sorgenti del corso d'acqua del Parma traggono origine dal Lago Santo (Parma del Lago Santo) e dai laghetti Gemio e Scuro (Parma di Badignana), posti sul crinale nei settori dei Monti Orsaro (1830 m slm) e Sillara (1861 m slm). Il Parma del Lago Santo e il Parma di Badignana confluiscono a monte della località Bosco per dare origine al torrente Parma propriamente detto.

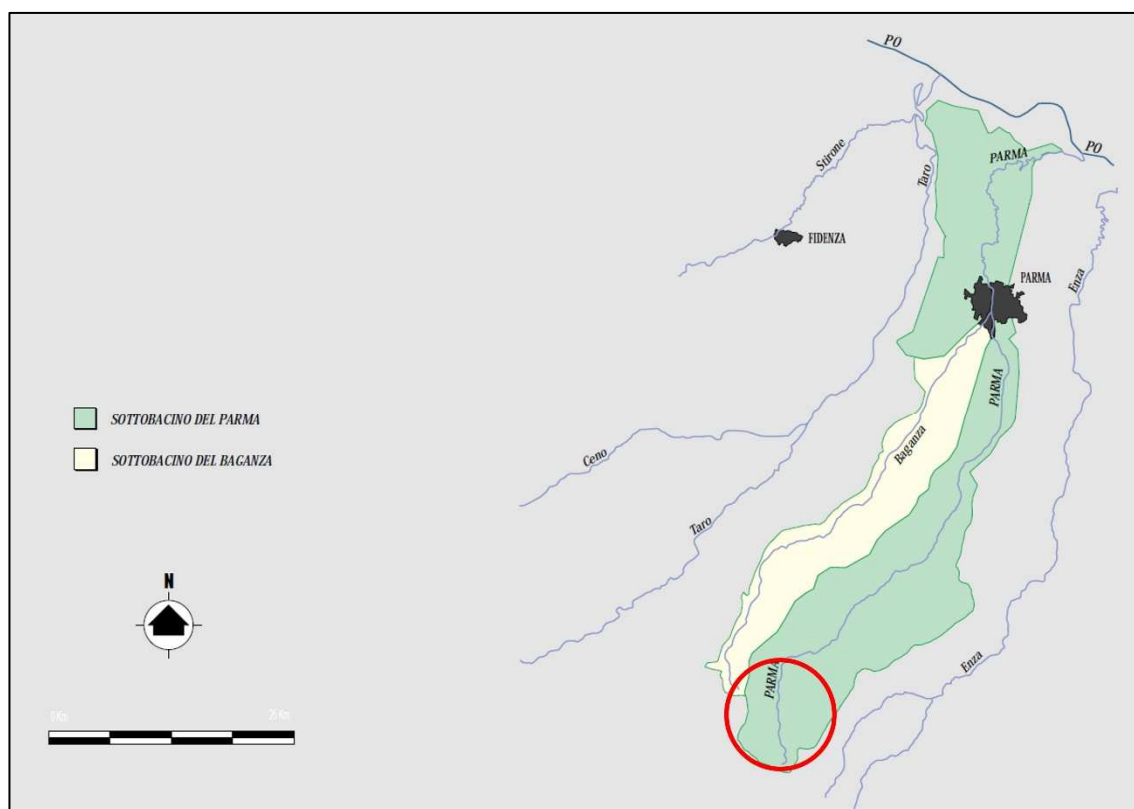


Figura 3-1: rappresentazione del bacino idrografico del Parma con evidenziato in rosso l'area di bacino interessata dagli impianti di Bosco e Marra di Corniglio

Per la definizione delle caratteristiche dei bacini idrografici sottesi ai due impianti (superficie, estensione areale, quote medie, ...) sono state eseguite alcune elaborazioni spaziali tramite software ArcGIS partendo dai seguenti dati territoriali:

- modello digitale del terreno del dominio (DTM). Il prodotto è stato acquisito dal Geoportale della Regione Emilia-Romagna e rappresenta l'altimetria attraverso un modello a celle di 5x5m a cui è associata l'informazione di quota. Come da specifiche riportate nel Geoportale, il modello è derivato dalle informazioni altimetriche ricavate dalla Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000 (Curve di Livello e Punti Quotati) e aggiornato sul rilievo Lidar del 2009, con taglio cartografico al 10K;
- tematismo vettoriale (shapefile) del reticolo idrografico principale e secondario del torrente Parma nel tratto in analisi (prodotto DBTR - Corso d'acqua naturale - (FIU_GLI) acquisito dal Geoportale della Regione Emilia-Romagna);

- tematismo vettoriale (shapefile) della posizione geografica di ubicazione delle stazioni di monitoraggio meteorologico presenti sulla porzione di bacino di interesse;
- tematismi vettoriali (shapefile) relativi alla posizione degli impianti, dei punti di presa e traccia delle condotte di gronda.

La creazione dei bacini idrografici ha comportato una serie di elaborazioni spaziali utilizzando i comandi GIS di seguito riassunti:

- 1) *Fill*: verifica della compattezza e dell'integrità del nuovo DTM generato ed eventuale completamento automatico dello stesso;
- 2) *Flow direction*: determinazione delle direzioni di flusso sulla base del DTM caricato;
- 3) *Flow accumulation*: determinazione delle aree di accumulo;
- 4) *Stream*: definizione del reticolo idrografico;
- 5) *Watershed*: determinazione dell'estensione dei sottobacini in corrispondenza dei punti di presa degli impianti e del reticolo idrografico creato in precedenza.

La determinazione del file vettoriale di ciascun sottobacino ha poi permesso di ritagliare il DTM estratto dal geoportale nella sola area di interesse e di procedere alla relativa analisi spaziale.

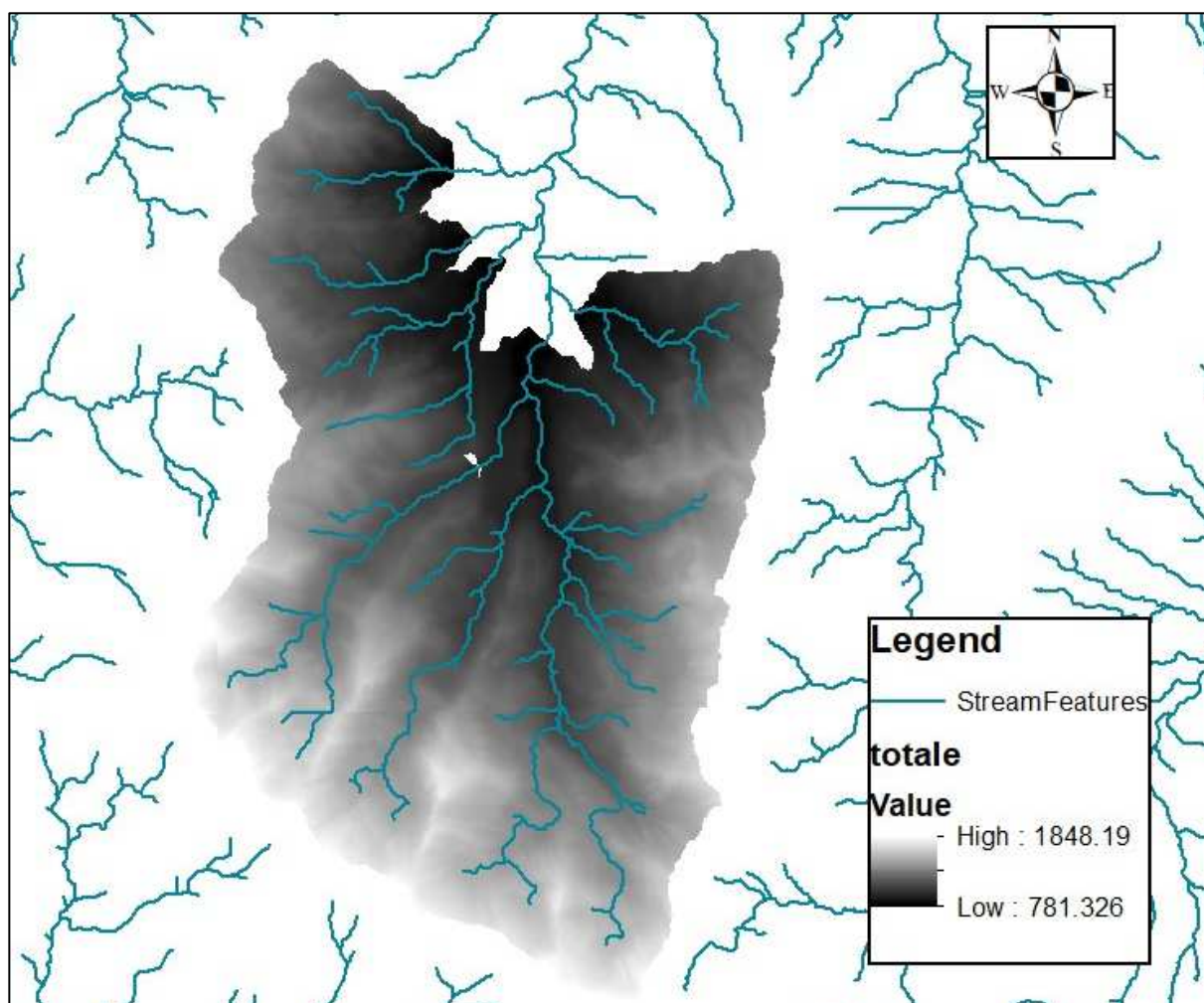


Figura 3-2: estensione del DTM 5x5 m ritagliato sul bacino idrografico sotteso dai due impianti

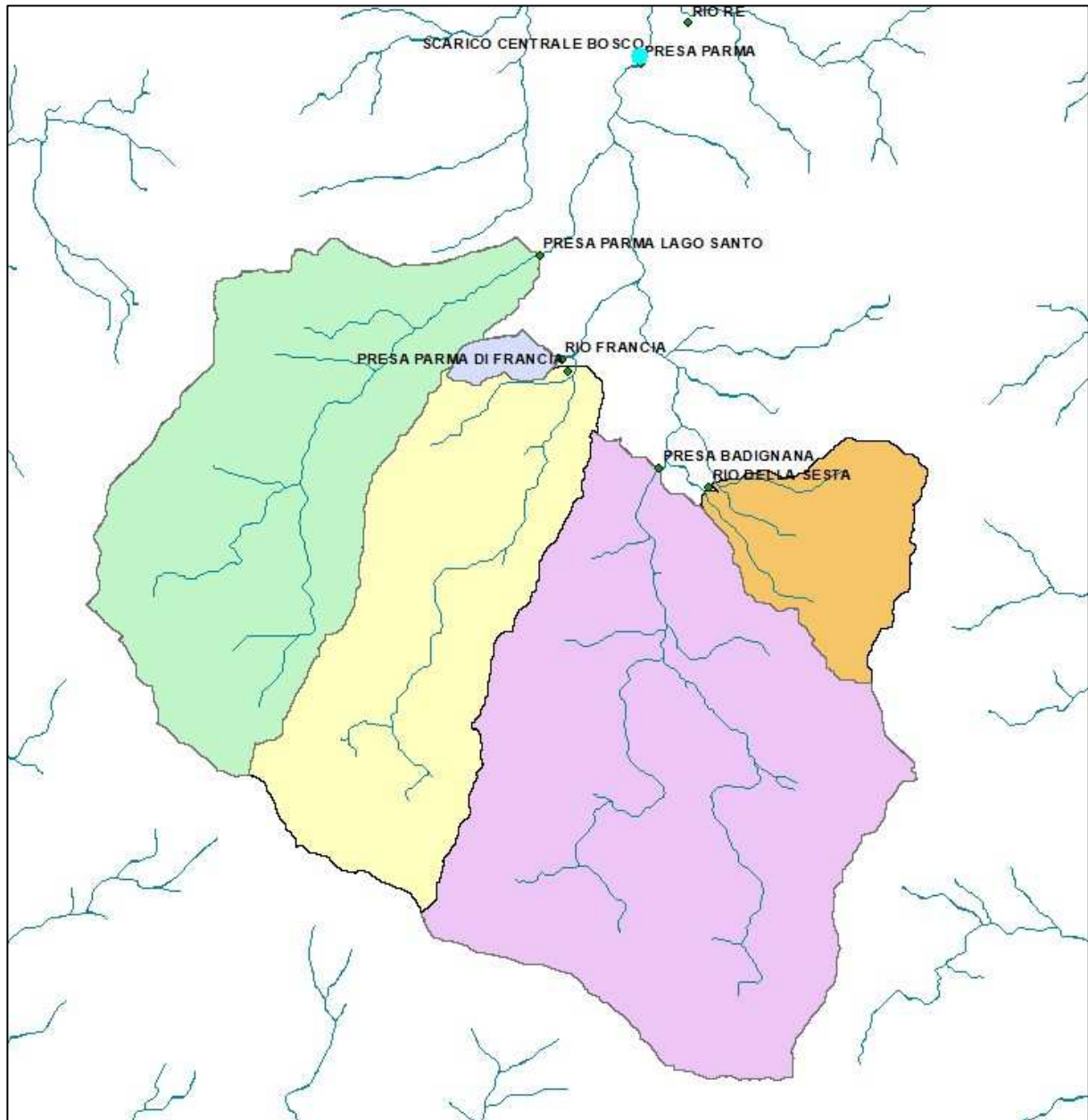


Figura 3-3: rappresentazione dei sottobacini appartenenti al bacino idrografico sotteso all'impianto di Bosco di Corniglio

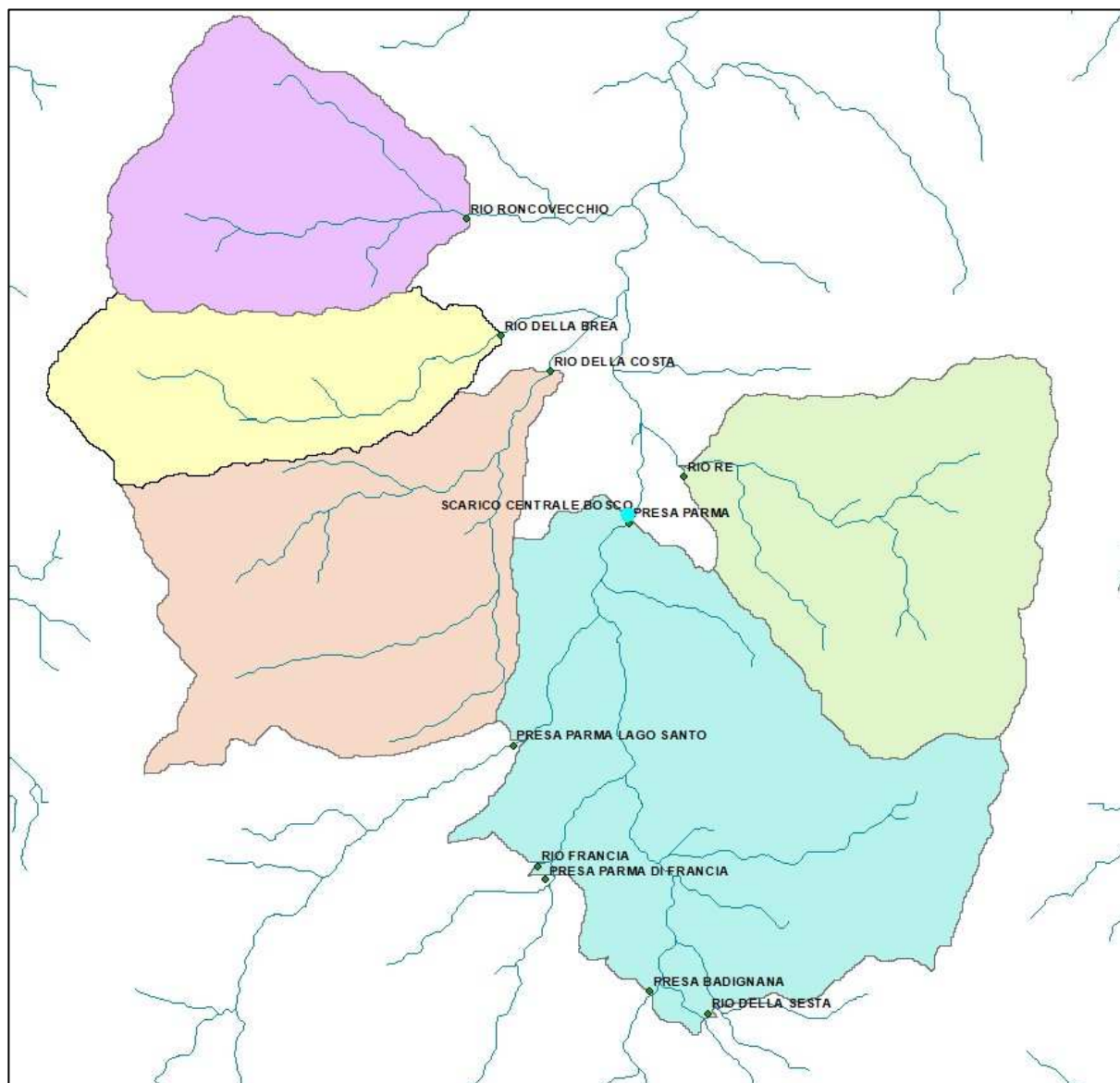


Figura 3-4: rappresentazione dei sottobacini appartenenti al bacino idrografico sotteso all'impianto di Marra di Corniglio

Attraverso le elaborazioni svolte in ambiente GIS sono state ricavate le caratteristiche dimensionali e altimetriche dei sottobacini riportate nelle seguenti tabelle.

Tabella 2: caratteristiche dei sottobacini sottesi da ciascuna opera di presa dell'impianto di Bosco di Corniglio. I valori riportati in tabella sono stati determinati dall'analisi spaziale effettuata sul DTM di ciascun bacino.

Opera di presa	Superficie [km ²]	Quota minima m s.l.m.	Quota massima m s.l.m.	Quota media m s.l.m.	Dev st. quota
R. della Sesta	1.68	1075.02	1587.10	1362.93	125.04
T. Parma di Badignana	9.52	1001.36	1832.30	1404.91	185.95
T. Parma di Francia	4.89	985.15	1787.84	1365.56	198.37
R. Francia	0.2	1004.37	1214.91	1115.86	43.99
T. Parma del Lago Santo	6.11	984.33	1848.19	1419.41	198.27
Centrale di Bosco di Corniglio	22.40	984.33	1848.19	1394.53	190.71

Tabella 3: caratteristiche dei sottobacini sottesi da ciascuna opera di presa dell'impianto di Marra di Corniglio. I valori riportati in tabella sono stati determinati dall'analisi spaziale effettuata sul DTM di ciascun bacino.

Opera di presa	Superficie [km ²]	Quota minima m s.l.m.	Quota massima m s.l.m.	Quota media m s.l.m.	Dev st. quota
Scarico impianto di Bosco di Corniglio	22.40	984.33	1848.19	1394.53	190.71
R. Re	4.10	799.26	1475.67	1098.14	138.43
F. Parma (residuo)	6.31	785.71	1552.79	1089.61	172.35
R. della Costa	4.29	781.33	1494.68	1111.39	154.56
R. Brea	2.35	807.09	1399.38	1102.79	138.50
R. Roncovecchio	2.91	784.37	1385.24	1117.54	144.10
Centrale di Marra di Corniglio	42.36	781.33	1848.19	1256.54	227.69

4 CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA

4.1 Aspetti idrologici generali¹

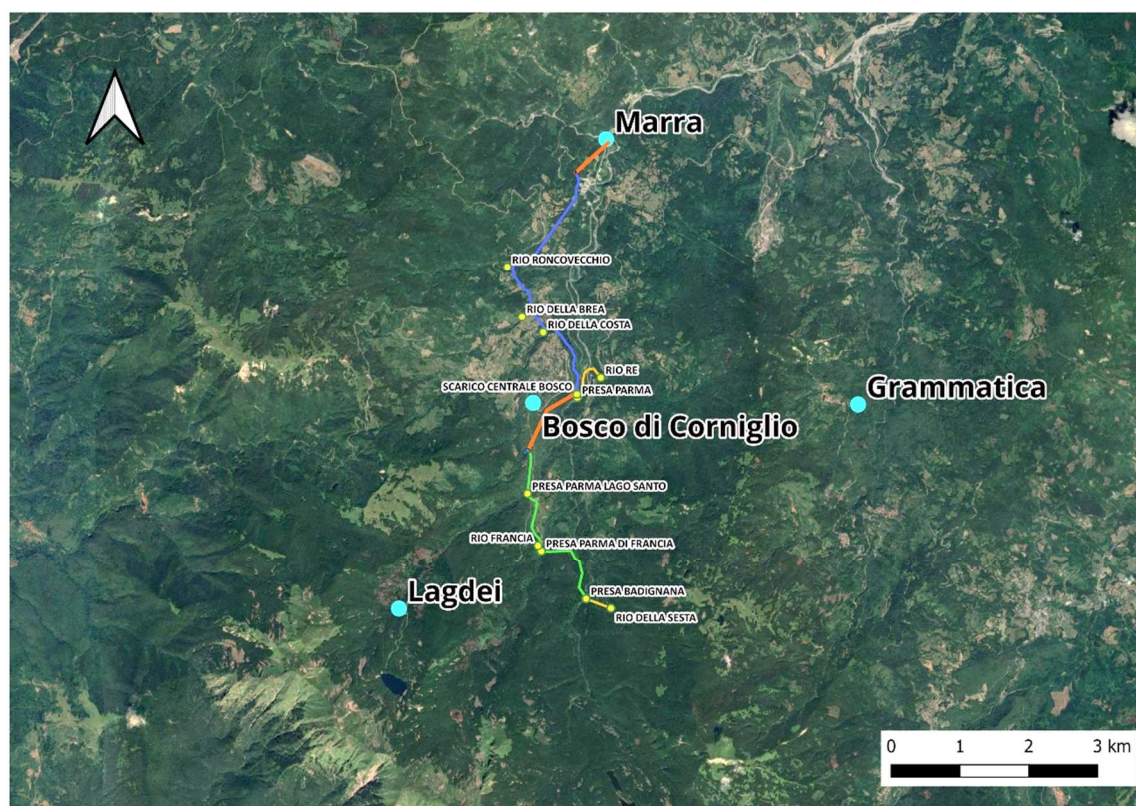
Il bacino idrografico di riferimento è caratterizzato da rilievi non molto elevati, a quota massima di poco inferiore a 2000 m s.l.m.; il regime pluviale, di tipo torrentizio con piene nei periodi autunnali e primaverili e magre più accentuate nel periodo estivo, è contraddistinto da elevata piovosità solo nelle zone prossime al crinale, dovuta alla particolare intensità dei fronti, che per ragioni orografiche e per la vicinanza del mar Ligure tendono ad amplificare la loro azione; nella parte collinare e di pianura la piovosità è invece modesta. Le portate più elevate risultano più ricorrenti nella stagione autunnale; in relazione alla forma particolarmente allungata e stretta del bacino, sia il Parma che il Baganza sono tipicamente soggetti a idrogrammi di piena con picchi ripidi ed elevati. Nel bacino idrografico le precipitazioni medie variano da 800 mm/anno a circa 2000 mm/anno.

4.2 Dati termopluviometrici

I dati della sensoristica a terra di pioggia e temperatura relativi alle stazioni meteorologiche ricadenti nella porzione del bacino idrografico del torrente Parma sotteso dai due impianti sono stati acquisiti dal portale web pubblico *Dext3r* che consente l'estrazione dei dati meteo registrati dalla rete di rilevamento regionale RIRER gestita da ARPAE-SIMC.

I dati sono stati acquisiti per il massimo periodo di disponibilità delle informazioni registrate sul portale, ovvero a partire dal 2001 fino ad oggi, con la risoluzione temporale giornaliera in accordo con la granularità temporale dei dati di portata turbinata fornita per i due impianti.

¹ Fonte: AdBPO – Linee Generali di Assetto Idrogeologico e Quadro degli interventi -bacino del Parma



Nome stazione ARPAE	Data inizio attività	Lat [°]	Long [°]	Altitudine [m s.l.m.]
Lagdei	01/01/2000	44.412286	10.008542	1252
Bosco di Corniglio	07/07/2000	44.439008	10.033529	902
Grammatica	01/08/2002	44.438257	10.092887	980
Marra	01/01/2000	44.473424	10.047463	618

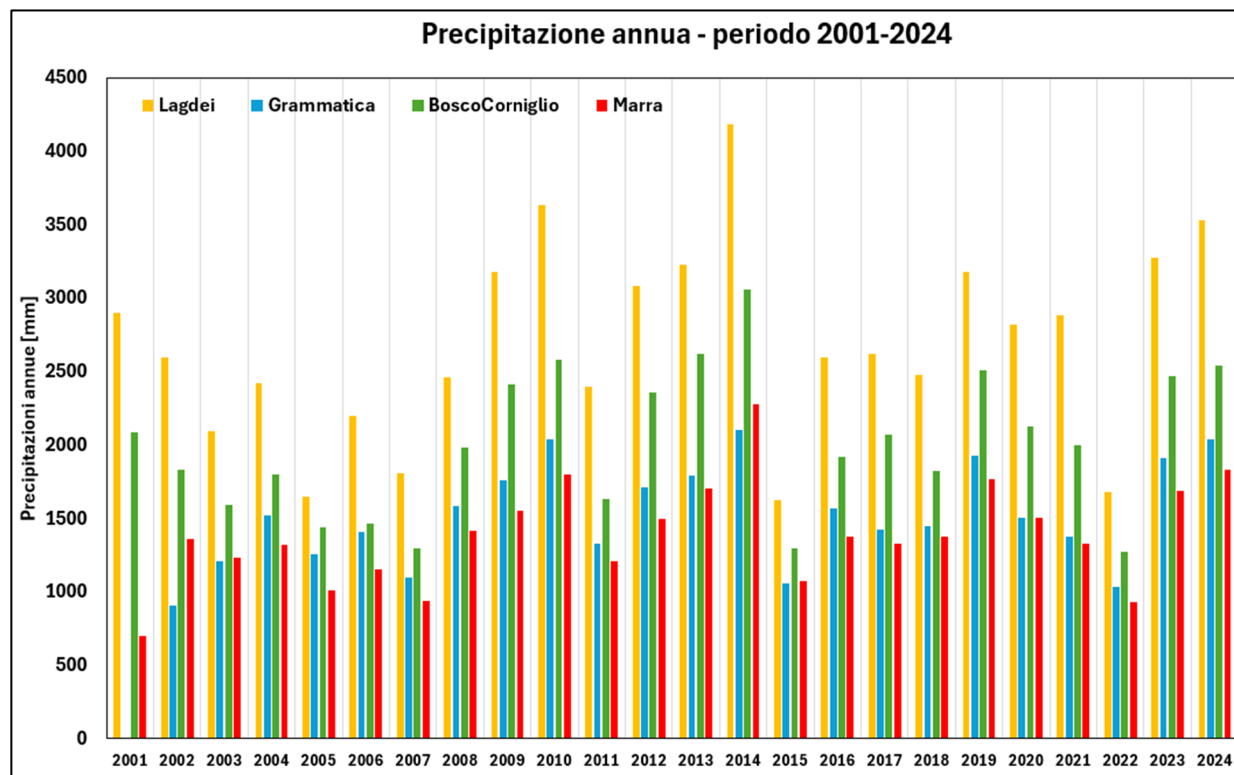


Figura 4-1: precipitazioni annue rilevate nelle stazioni di Lagdei, Bosco di Corniglio, Grammatica e Marra – periodo 2001-2024

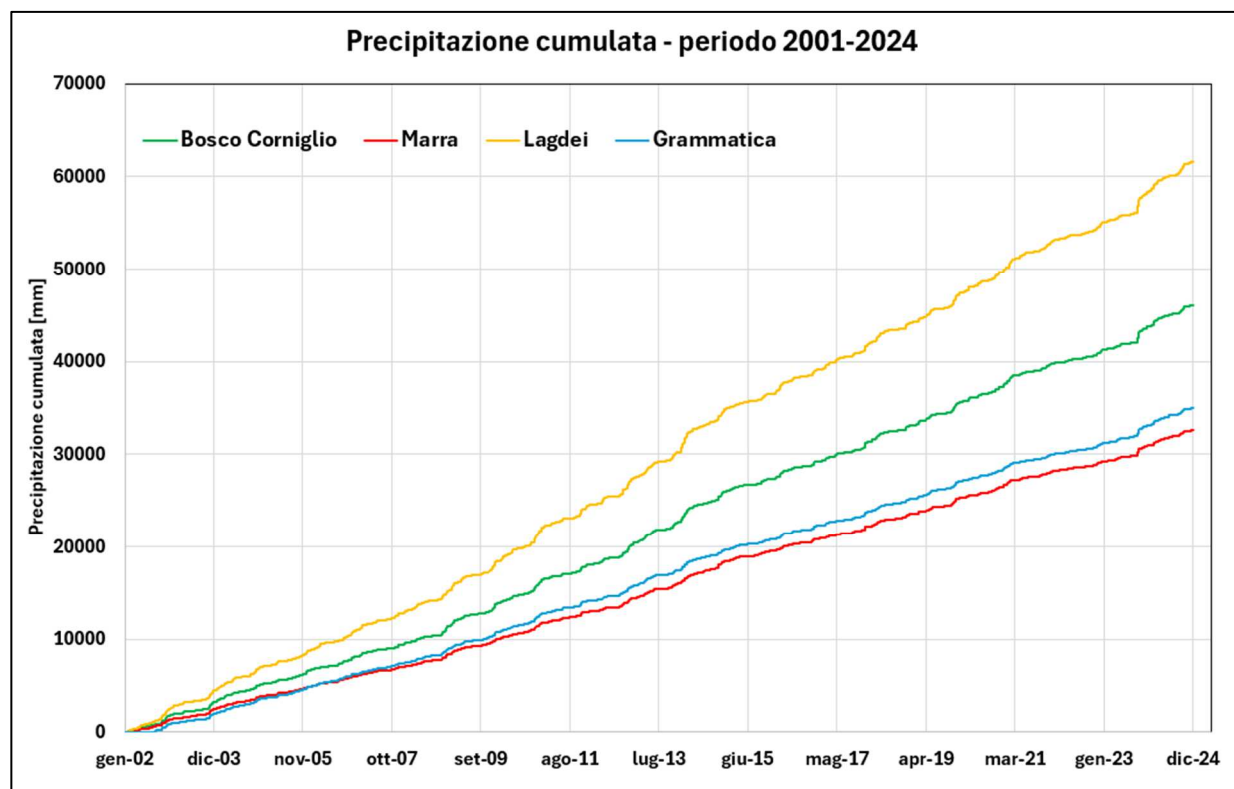


Figura 4-2: andamento delle precipitazioni cumulate rilevate nelle stazioni di Lagdei, Bosco di Corniglio, Grammatica e Marra – periodo 2001-2024

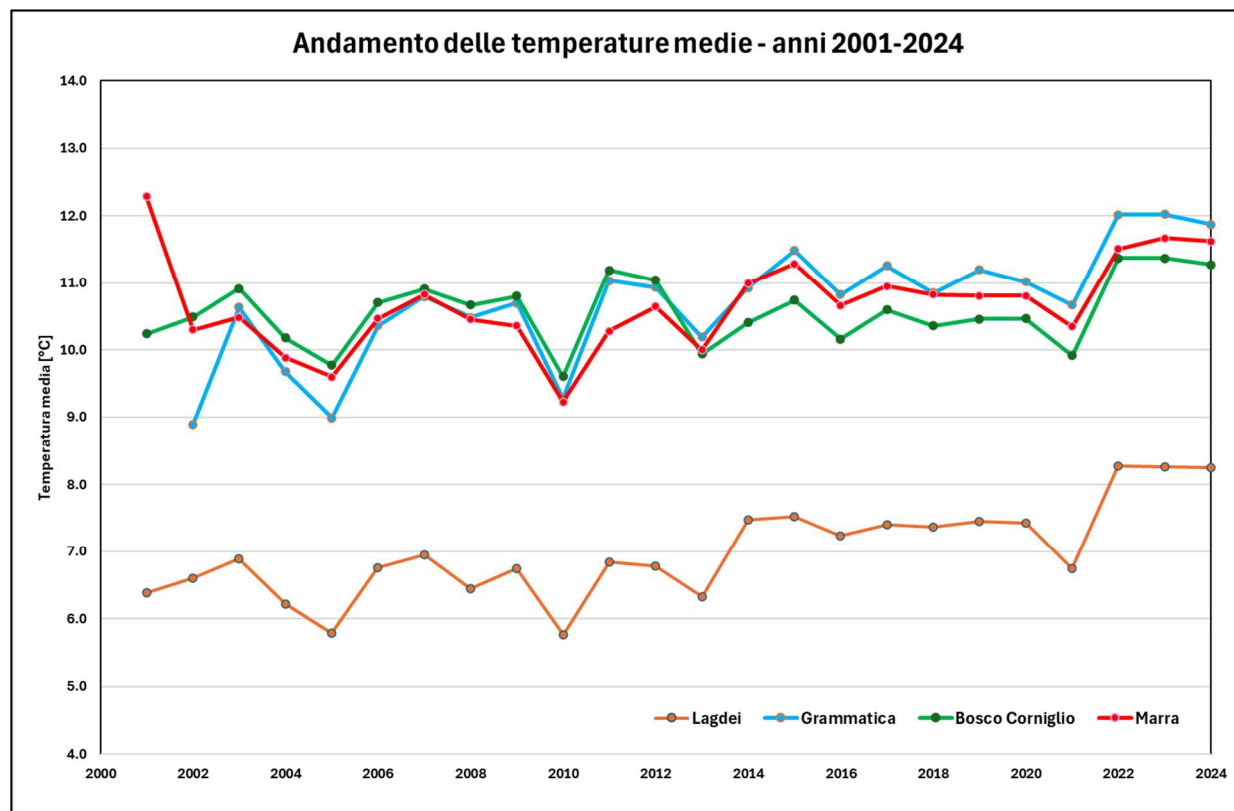


Figura 4-3: temperature medie annue rilevate nelle stazioni di Lagdei, Bosco di Corniglio, Grammatica e Marra – periodo 2001-2024

4.3 Dati idrometrici

Circa 4.5 km a valle della centrale di Marra, sul torrente Parma, subito a valle dell'immissione in destra orografica del torrente Bratica, è presente la stazione idrometrica ARPAE di Corniglio.

La serie idrometrica acquisita dal portale Dexter è stata convertita in portata mediante l'applicazione della scala di deflusso propria della stazione di misura. Il dataset risultante costituisce il riferimento per la taratura del modello afflussi-deflussi per la stima delle portate medie naturali, in particolare per i regimi di portata elevati.

5 ANALISI DEI DATI STORICI DI PRODUZIONE

Nel presente capitolo sono riportati in forma completa e aggregata i valori di produzione lorda relativa alle due centrali di interesse per il periodo 2009-2024.

Oltre ai valori di produzione lorda mensile e annuale di ciascuna centrale, nelle tabelle che seguono sono riportate le portate medie mensili e annue turbinate da ciascuna centrale, ottenute dividendo la produzione lorda per il coefficiente energetico CEG, parametro caratteristico di ogni impianto, che mette in relazione portata e potenza prodotta. Nel caso specifico sono stati adottati i seguenti coefficienti CEG:

- 0.438 kWh/m³ per la centrale di Bosco di Corniglio;
- 0.320 kWh/m³ per la centrale di Marra di Corniglio.

Tabella 4: produzione lorda mensile e annuale (GWh) della centrale di Bosco di Corniglio – anni 2009-2024

anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	media	anno
2009	1.46	1.37	1.26	2.94	2.32	0.45	0.36	0.21	0.20	0.21	1.56	2.41	1.23	14.74
2010	1.17	1.16	1.67	2.18	2.52	0.91	0.40	0.35	0.95	1.75	2.87	2.51	1.54	18.45
2011	1.93	0.67	1.56	1.82	0.73	1.17	0.34	0.14	0.55	0.87	1.01	2.13	1.08	12.93
2012	1.06	0.32	1.06	2.34	1.91	0.83	0.28	0.12	0.81	1.42	2.30	1.93	1.20	14.39
2013	1.21	1.07	1.97	3.02	2.83	1.15	0.24	0.15	0.09	0.77	1.31	1.26	1.26	15.09
2014	2.80	2.69	2.16	2.77	1.90	0.85	0.43	0.14	0.43	0.85	2.44	1.77	1.60	19.23
2015	1.11	0.61	1.45	2.50	1.32	0.34	0.17	0.06	0.26	1.77	0.65	0.36	0.88	10.60
2016	1.84	2.31	2.00	2.09	2.13	1.46	0.22	0.20	0.12	0.48	1.43	0.55	1.24	14.83
2017	0.40	1.71	2.15	1.00	1.64	0.34	0.09	0.15	0.66	0.20	0.96	2.04	0.94	11.33
2018	2.03	1.24	1.89	2.96	2.20	0.55	0.16	0.13	0.12	0.47	1.47	1.01	1.19	14.23
2019	0.51	1.46	1.23	2.34	2.87	0.95	0.19	0.13	0.12	0.67	2.75	2.56	1.31	15.77
2020	1.10	1.71	2.11	0.85	1.79	1.34	0.32	0.35	0.19	1.95	0.69	2.34	1.23	14.74
2021	1.74	1.57	0.28	2.10	2.50	0.32	0.09	0.08	0.09	0.18	0.49	0.95	0.87	10.40
2022	1.24	0.69	0.40	1.23	1.01	0.24	0.26	0.09	0.14	0.25	0.75	1.97	0.69	8.27
2023	2.01	0.81	1.74	0.84	1.68	0.98	0.28	0.15	0.12	1.08	2.07	1.60	1.11	13.36
2024	2.09	1.68	2.34	1.82	1.67	1.09	0.38	0.21	0.54	2.11	0.95	1.33	1.35	16.22

Tabella 5: portata media mensile e annua [m³/s] della centrale di Bosco di Corniglio – anni 2009-2024

anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	media
2009	1.24	1.30	1.08	2.59	1.97	0.39	0.31	0.18	0.18	0.17	1.37	2.05	1.07
2010	1.00	1.10	1.43	1.92	2.15	0.80	0.34	0.30	0.84	1.49	2.53	2.14	1.34
2011	1.65	0.63	1.33	1.60	0.62	1.03	0.29	0.12	0.49	0.74	0.89	1.82	0.93
2012	0.91	0.29	0.90	2.06	1.63	0.73	0.24	0.10	0.71	1.21	2.02	1.65	1.04
2013	1.03	1.01	1.68	2.66	2.41	1.02	0.21	0.13	0.08	0.66	1.15	1.07	1.09
2014	2.38	2.54	1.84	2.44	1.62	0.75	0.36	0.12	0.38	0.72	2.15	1.51	1.40
2015	0.94	0.57	1.24	2.20	1.12	0.30	0.15	0.05	0.23	1.51	0.57	0.31	0.77
2016	1.57	2.10	1.71	1.84	1.81	1.28	0.19	0.17	0.10	0.41	1.26	0.47	1.08
2017	0.34	1.61	1.83	0.88	1.40	0.30	0.08	0.13	0.58	0.17	0.84	1.74	0.82
2018	1.73	1.17	1.61	2.61	1.87	0.49	0.14	0.11	0.11	0.40	1.29	0.86	1.03
2019	0.43	1.37	1.05	2.06	2.44	0.84	0.17	0.11	0.11	0.57	2.42	2.18	1.15
2020	0.94	1.56	1.80	0.75	1.52	1.18	0.27	0.30	0.16	1.66	0.61	1.99	1.06
2021	1.48	1.48	0.24	1.85	2.13	0.28	0.08	0.07	0.08	0.15	0.44	0.81	0.76
2022	1.06	0.65	0.34	1.08	0.86	0.21	0.23	0.08	0.12	0.22	0.66	1.68	0.60
2023	1.71	0.76	1.48	0.74	1.43	0.87	0.24	0.13	0.11	0.92	1.83	1.36	0.96
2024	1.79	1.53	2.00	1.60	1.42	0.96	0.33	0.18	0.48	1.80	0.84	1.13	1.17

Tabella 6: produzione lorda mensile e annuale (GWh) della centrale di Marra di Corniglio – anni 2009-2024

anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	media	anno
2009	2.25	2.18	2.14	3.96	2.72	0.43	0.39	0.15	0.07	0.18	1.75	2.81	1.58	19.01
2010	1.64	1.68	2.65	2.98	2.83	0.87	0.21	0.12	0.74	1.81	3.43	2.31	1.77	21.26
2011	1.67	0.49	1.63	1.57	0.51	1.13	0.42	0.23	0.26	0.94	1.09	1.46	0.95	11.39
2012	0.88	0.16	0.71	2.23	1.94	0.63	0.15	0.11	0.56	1.29	1.96	1.47	1.01	12.09
2013	0.87	0.82	1.63	0.48	0.29	0.21	0.31	0.16	0.22	2.28	0.86	1.43	0.80	9.56
2014	3.33	2.96	3.27	3.17	3.28	3.18	1.01	0.43	0.56	0.66	2.91	2.15	2.24	26.91
2015	1.39	0.93	1.81	2.57	1.35	0.34	0.19	0.08	0.26	1.94	0.79	0.44	1.01	12.07
2016	2.03	2.75	2.38	2.07	2.30	1.45	0.68	0.78	0.75	0.70	0.67	0.42	1.42	16.99
2017	0.24	0.34	0.36	0.17	0.18	0.12	0.12	0.11	0.12	0.12	0.16	0.40	0.20	2.44
2018	0.40	0.35	0.51	0.39	0.23	0.36	0.14	0.13	0.11	0.12	0.20	0.26	0.27	3.20
2019	0.17	0.31	0.19	0.21	0.32	0.12	0.08	0.07	0.09	0.23	0.85	0.82	0.29	3.45
2020	0.36	0.51	0.67	0.26	0.55	0.38	0.10	0.08	0.10	0.64	0.37	0.81	0.40	4.83
2021	0.62	0.75	0.43	0.63	0.89	0.24	0.20	0.08	0.12	0.22	0.55	0.67	0.45	5.40
2022	0.49	0.27	0.18	0.45	0.38	0.12	0.08	0.08	0.18	0.24	0.19	0.61	0.27	3.27
2023	0.74	0.34	0.63	0.28	0.64	1.32	0.35	0.13	0.13	1.21	2.35	2.44	0.88	10.58
2024	2.66	2.25	2.97	2.22	1.92	1.50	0.39	0.21	0.41	2.39	1.42	1.66	1.67	20.00

Tabella 7: portata media mensile e annua [m³/s] della centrale di Marra di Corniglio – anni 2009-2024

anno	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic	media
2009	2.62	2.81	2.50	4.78	3.17	0.52	0.45	0.17	0.09	0.20	2.11	3.27	1.89
2010	1.91	2.17	3.10	3.59	3.30	1.05	0.24	0.14	0.89	2.12	4.13	2.69	2.11
2011	1.94	0.64	1.90	1.89	0.60	1.37	0.49	0.26	0.31	1.09	1.32	1.70	1.13
2012	1.03	0.20	0.83	2.69	2.27	0.76	0.17	0.13	0.68	1.50	2.36	1.72	1.19
2013	1.02	1.06	1.90	0.58	0.33	0.25	0.36	0.18	0.27	2.67	1.04	1.67	0.94
2014	3.88	3.82	3.81	3.82	3.82	3.84	1.17	0.51	0.68	0.77	3.51	2.51	2.68
2015	1.62	1.20	2.11	3.10	1.58	0.41	0.23	0.09	0.31	2.26	0.95	0.51	1.20
2016	2.36	3.43	2.78	2.50	2.69	1.75	0.79	0.91	0.90	0.82	0.81	0.50	1.69
2017	0.29	0.44	0.42	0.20	0.21	0.15	0.14	0.13	0.15	0.14	0.20	0.46	0.24
2018	0.47	0.45	0.59	0.47	0.27	0.43	0.17	0.15	0.14	0.14	0.24	0.31	0.32
2019	0.20	0.39	0.23	0.25	0.37	0.15	0.09	0.09	0.11	0.27	1.02	0.95	0.34
2020	0.42	0.64	0.78	0.31	0.64	0.46	0.12	0.09	0.12	0.75	0.44	0.94	0.48
2021	0.72	0.97	0.50	0.76	1.04	0.29	0.23	0.09	0.15	0.26	0.66	0.78	0.54
2022	0.58	0.34	0.20	0.55	0.45	0.14	0.09	0.09	0.22	0.27	0.23	0.71	0.32
2023	0.86	0.44	0.74	0.34	0.75	1.59	0.41	0.15	0.16	1.41	2.84	2.85	1.05
2024	3.10	2.81	3.46	2.68	2.24	1.81	0.46	0.24	0.50	2.79	1.71	1.93	1.98

6 CALCOLO DELLA PORTATA MEDIA ANNUA NATURALE

6.1 Approccio metodologico: modellazione afflussi-deflussi

Per la ricostruzione delle portate medie naturali in ingresso ai due impianti è stato applicato un modello afflussi-deflussi su scala di bacino. Il modello numerico è stato implementato utilizzando il modulo *Rainfall-Runoff Module - NAM* del codice di calcolo MIKE+, appartenente alla famiglia dei software MIKE by DHI, utilizzato a scala mondiale per l'alto livello tecnologico, specialmente nel campo dell'idraulica-idrologia.

Lo studio ha previsto una prima fase di implementazione del modello idrologico basata sui dati meteorologici storici registrati presso le stazioni pluviometriche ARPAE di Lagdei, Grammatica, Bosco di Corniglio e Marra, seguita dalla calibrazione del modello sulla base delle serie di portate complessive in arrivo alle due centrali, ricostruite dal gestore a partire dai dati di energia prodotta.

Nello specifico lo studio è stato articolato nelle seguenti fasi di lavoro:

- acquisizione dei dati territoriali, meteorologici e di produzione degli impianti;
- tracciamento dei sottobacini utili alla schematizzazione del modello afflussi-deflussi;
- costruzione dell'input pluviometrico, termometrico e di evapotraspirazione potenziale per ogni sottobacino;
- taratura del modello idrologico sulla base delle portate in arrivo agli impianti ricostruite dal gestore;
- restituzione dell'output in termini di portate naturali in arrivo ad ogni presa che alimenta le gronde di approvvigionamento ai due impianti; la somma dei contributi delle varie prese corrisponde alla portata naturale di ciascun impianto.

6.1.1 Dati a disposizione

Per l'implementazione del modello numerico sono stati raccolti e resi disponibili i seguenti dati:

- dati territoriali riferiti ai bacini idrografici sottesi dai due impianti (vedi Capitolo 3);
- dati idrologici (vedi Capitolo 4);
- dati impiantistici quali l'ubicazione opere idrauliche (vedi Capitolo 2) e i dati di produzione (vedi Capitolo 5).

6.1.2 Modalità generali di implementazione della modellistica

Per la simulazione afflussi-deflussi è stato impiegato il modello MIKE+ Rainfall Runoff NAM, un modello idrologico deterministico, fisicamente basato e a parametri concentrati, costituito da un insieme di relazioni matematiche interconnesse atte a descrivere quantitativamente la fase terrestre del ciclo idrologico.

Il modello opera in regime continuo, simulando la variazione del contenuto idrico (sia in fase liquida che in fase vapore) all'interno di serbatoi distinti e interconnessi, i quali rappresentano i principali elementi fisici del bacino idrografico. Nello specifico, i serbatoi modellano i seguenti processi idrologici: accumulo e fusione nivale, intercettazione, infiltrazione, immagazzinamento nella falda, come illustrato nella sottostante figura.

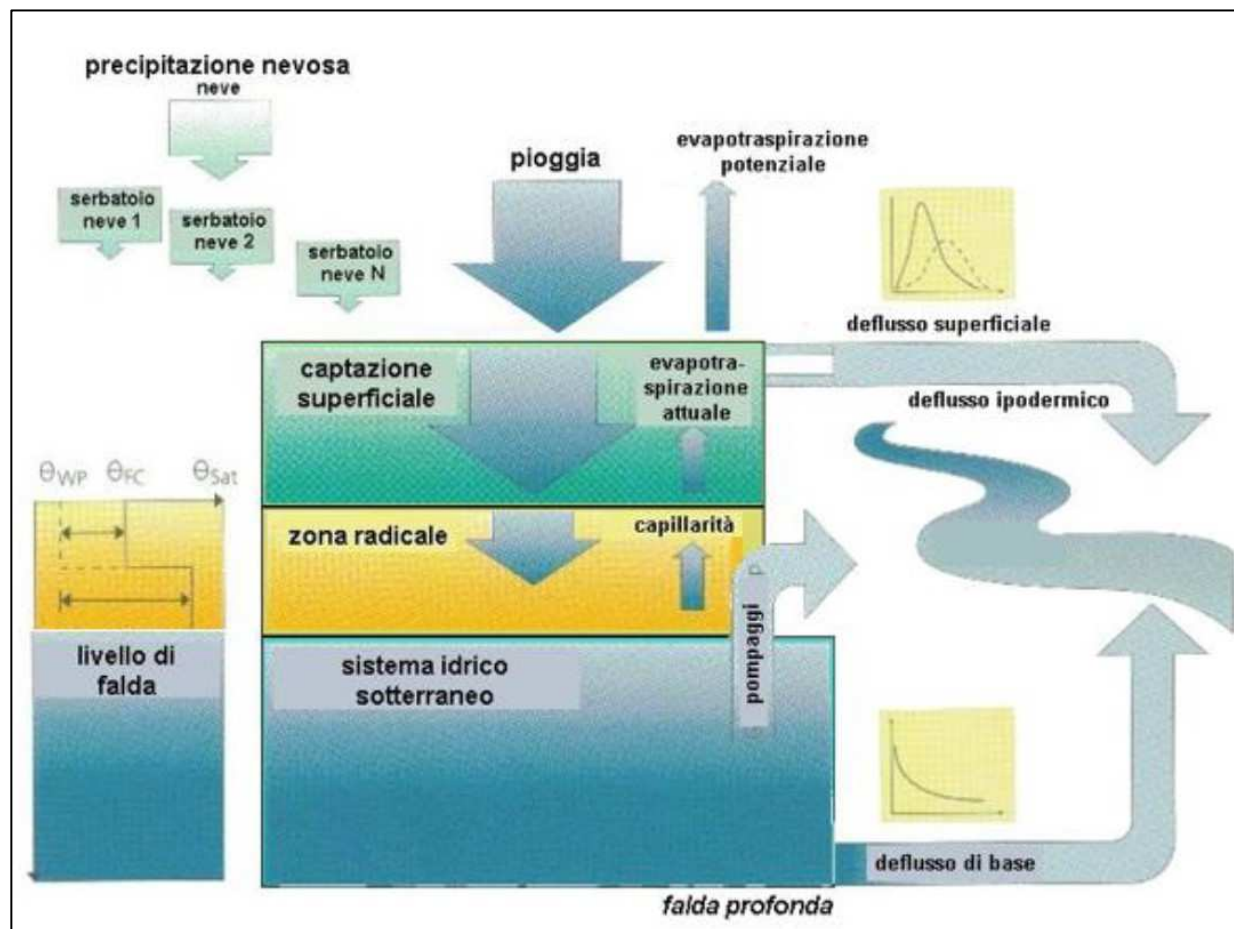


Figura 6-1: schema concettuale di funzionamento di MIKE+ RR NAM

Considerata la natura "concentrata" del modello, si è reso necessario suddividere la porzione di bacino del torrente Parma oggetto di studio in distinti sottobacini elementari, ciascuno dei quali corrispondente all'area afferente a un singolo punto di presa.

Tutti i dati cartografici acquisiti e processati sono stati quindi organizzati all'interno della piattaforma GIS integrata nello strumento modellistico, come illustrato nell'immagine seguente. Nella rappresentazione grafica:

- i contorni rossi delineano la suddivisione in sottobacini idrologici elementari;
- i pallini rossi indicano i punti di presa,
- i triangoli blu sono relativi all'ubicazione delle stazioni meteorologiche,
- le linee nere riportano il tracciato delle gronde;
- le linee blu rappresentano il reticolo idrografico.

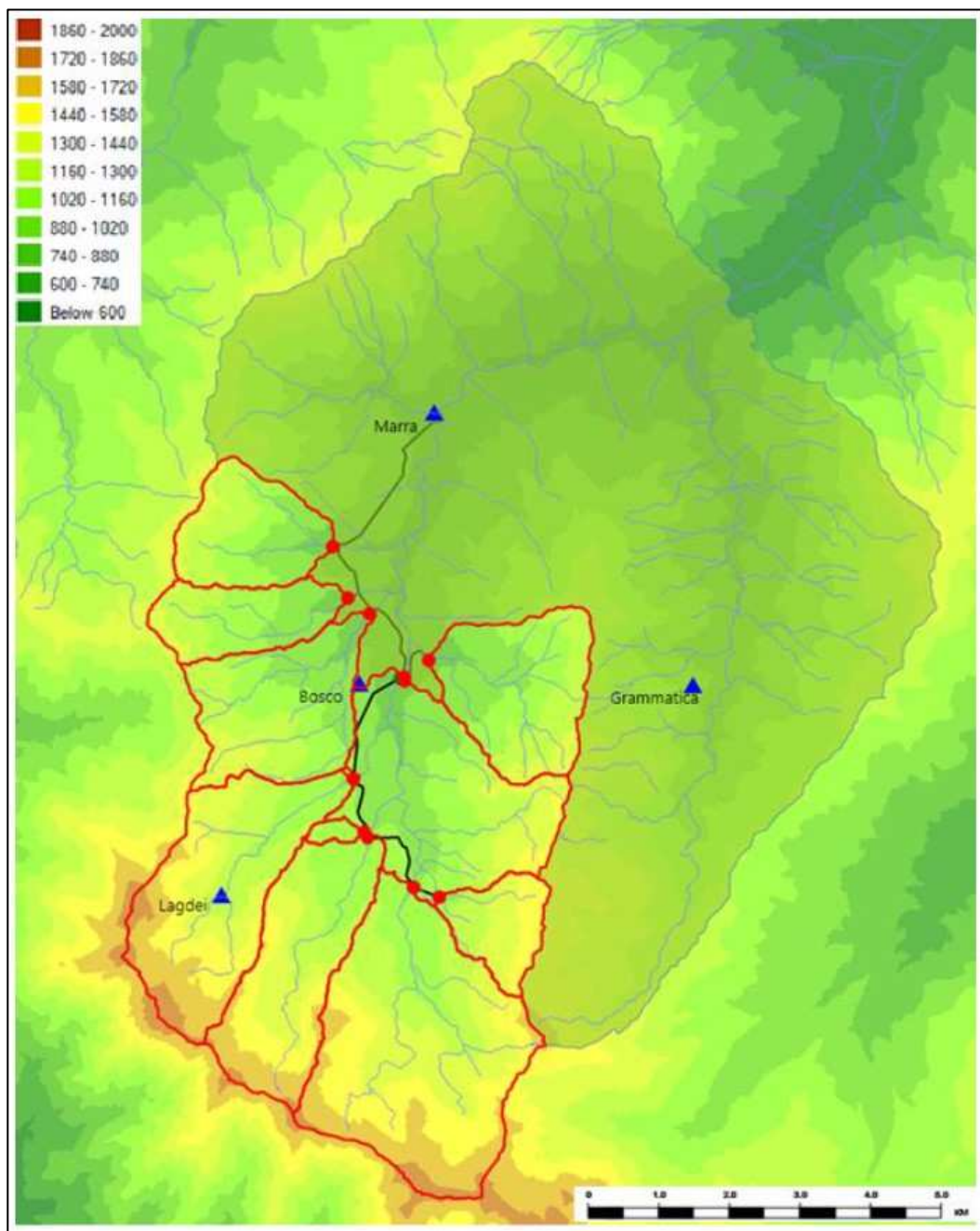


Figura 6-2: suddivisione del bacino del torrente Parma in sottobacini idrologici elementari. In rosso sono evidenziati i contorni dei sottobacini, con i pallini rossi i punti di presa, con i triangoli blu le stazioni meteorologiche, con la linea nera le condotte di gronda e con la linea blu il reticolo idrografico

6.1.3 Parametrizzazione del modello e rappresentazione della neve

Ad ogni bacino elementare che costituisce il modello corrisponde un set di parametri di tipo concettuale atto a rappresentare il comportamento idrologico medio del singolo bacino contribuente; alcuni parametri sono stati stimati dai dati fisici del bacino, altri sono stati definiti attraverso valori guida determinati in funzione delle caratteristiche del territorio e successivamente oggetto di calibrazione.

Per garantire una rappresentazione accurata dei processi nivali, ogni sottobacino è stato ulteriormente suddiviso in fasce altimetriche, consentendo di modellare con maggiore precisione le dinamiche di accumulo, fusione e rilascio della neve alle diverse quote.

La corretta rappresentazione del bilancio nivale risulta di fondamentale importanza nel contesto idrologico in esame, in quanto la portata turbinata dagli impianti idroelettrici nel periodo primaverile è direttamente influenzata dall'accumulo nivale invernale e dal successivo processo di fusione indotto dall'aumento delle temperature. Una rappresentazione dettagliata della distribuzione altimetrica della neve, e delle correlate fenomenologie di accumulo e scioglimento, si è rivelata essenziale per il conseguimento dell'obiettivo dello studio, ovvero la ricostruzione di lungo periodo della disponibilità idrica per gli impianti.

6.1.4 Definizione dell'input meteorologico

L'input pluviometrico e termometrico per ciascun bacino elementare è stato determinato mediante la tecnica della poligonazione di Thiessen, utilizzando i dati storici acquisiti dalle quattro stazioni meteorologiche presenti nell'area di studio: Lagdei, Bosco di Corniglio, Grammatica e Marra di Corniglio. Sulla base della distribuzione spaziale dei pluviometri, è stata quantificata l'influenza relativa delle singole stazioni nella ricostruzione dell'input pluviometrico per ciascun sottobacino. In particolare, i dati della stazione di Lagdei contribuiscono per circa il 94% alla stima dell'apporto pluviometrico nei sottobacini afferenti all'impianto di Bosco di Corniglio, mentre la stazione di Bosco di Corniglio incide per circa l'80% sulla ricostruzione dell'input nei sottobacini contribuenti all'apporto verso l'impianto di Marra di Corniglio. Le restanti percentuali sono attribuite ai contributi delle stazioni di Grammatica e Marra di Corniglio, che integrano il quadro informativo complessivo.

Un ulteriore input fondamentale per il modello idrologico è rappresentato dall'evapotraspirazione potenziale ETP, una variabile determinante nella ricostruzione dei deflussi. Poiché la misura non è direttamente disponibile, la sua stima è stata effettuata mediante la formula di letteratura di Hargreaves, basata sulle temperature massime, minime e medie giornaliere, nonché sulla latitudine del bacino. Tale metodologia è stata adottata in quanto ritenuta affidabile in contesti idrologici analoghi.

$$ETP \left[\frac{mm}{giorno} \right] = 0.023 \times R_a \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} \times (T_{media} + 17.8)$$

dove:

- ETP [mm/giorno] = evapotraspirazione potenziale;
- R_a [mm/giorno] = radiazione extraterrestre media, funzione della latitudine;
- T_{max} [°C] = temperatura massima giornaliera;
- T_{min} [°C] = temperatura minima giornaliera;
- T_{media} [°C] = temperatura media giornaliera.

6.1.5 Calibrazione del modello

La calibrazione del modello idrologico è stata eseguita attraverso l'ottimizzazione dei parametri del modello idrologico per ciascun sottobacino.

L'assenza di informazioni relative agli sfiori delle prese ha negato un approccio di taratura mirato alla ricostruzione degli apporti a scala di singolo punto di prelievo rendendo necessario un approccio focalizzato sulla stima dell'apporto idrologico complessivo in arrivo agli impianti, vincolato dalla capacità massima delle gronde.

L'obiettivo dello studio modellistico è stato quindi la ricostruzione delle portate naturali dei bacini idrografici sottesi dalle varie prese a partire dalle serie storiche ricostruite delle portate turbinare dagli impianti di Bosco di Corniglio e Marra di Corniglio, fornite dal gestore. Pertanto, l'apporto complessivo

affidente a ciascun impianto è stato realizzato attraverso l'aggregazione dei contributi idrologici simulati per ciascuna delle due gronde di derivazione, tenendo conto della quota parte di deflusso minimo vitale che alcune prese sono tenute a garantire verso valle.

Operativamente, la somma dei contributi idrologici simulati per i sottobacini del Rio della Sesta, Parma di Badignana, Parma di Francia, Rio Francia e Parma del Lago Santo, chiusi alle rispettive prese, ha rappresentato il contributo idrologico complessivo alimentante la gronda di Bosco.

Analogamente, il contributo idrologico complessivo alimentante la gronda di Marra è stato determinato sommando l'apporto massimo simulato derivabile dalla gronda di Bosco con i contributi idrologici simulati per i bacini del Rio della Costa, Rio della Brea e Rio Roncovecchio, chiusi alle prese afferenti alla gronda di Marra, e l'apporto del bacino residuo del Parma, comprendente il Rio Re e l'area situata a valle delle derivazioni verso Bosco fino alla presa che contribuisce alla gronda di Marra.

In assenza di informazioni dettagliate sul reale esercizio di ogni singola presa durante il periodo di analisi, la calibrazione del sistema modellistico è stata condotta assumendo un funzionamento continuo delle prese, ovvero considerando sempre attive tutte le derivazioni. Questa scelta metodologica è stata necessaria per compensare la mancanza di dati operativi dettagliati e ha permesso di definire un quadro di riferimento coerente per l'analisi delle portate.

Il processo di calibrazione è stato strutturato in tre fasi principali:

1. Confronto grafico sul lungo periodo

Nella prima fase, è stato effettuato un confronto tra le portate simulate in arrivo alle gronde di Bosco e Marra e i dati di portata turbinata forniti dal gestore. L'obiettivo è stato verificare la coerenza tra il modello idrologico e la realtà operativa degli impianti, valutando l'andamento delle portate su un arco temporale esteso.

Per questa analisi, si è adottata l'ipotesi che la capacità di accumulo delle vasche di carico fosse trascurabile, ovvero che la portata turbinata dagli impianti fosse rappresentativa dell'afflusso complessivo proveniente dalle gronde di derivazione.

Inoltre, per garantire una rappresentazione più accurata del bilancio idrologico, la serie simulata è stata opportunamente corretta sottraendo il deflusso minimo vitale (DMV) imposto alle prese, pari a:

- 46 l/s per la gronda di Bosco, rilasciato dalla presa sul Torrente Parma del Lago Santo;
- 84 l/s per la gronda di Marra, rilasciato dal bacino residuo del Parma.

2. Limitazione alla capacità massima di prelievo

Una volta ottenuta una rappresentazione soddisfacente dell'andamento delle portate sul lungo periodo, si è passati alla seconda fase della calibrazione, volta a un'analisi più dettagliata del confronto tra le portate simulate dal modello numerico e quelle ricostruite a partire dai dati di produzione degli impianti. In questa fase, il confronto è stato effettuato su base mensile, considerando la portata media per ciascun mese del periodo di analisi. Per garantire la coerenza tra i dati simulati e quelli derivati dalle produzioni, l'apporto idrologico modellato è stato limitato alla massima capacità di prelievo delle condotte di adduzione degli impianti. In altri termini, pur in presenza di abbondanti disponibilità idriche, si è tenuto conto del fatto che gli impianti non possono prelevare quantità superiori alla loro capacità massima di captazione e trasporto.

L'obiettivo di questa seconda fase era valutare con maggiore precisione l'accuratezza della modellazione rispetto a quella che, sulla base delle produzioni, si presume sia stata la reale disponibilità della risorsa idrica prelevata complessivamente alle prese. Tuttavia, questa ipotesi non si è rivelata del tutto valida. L'analisi delle serie di produzione ha infatti evidenziato la presenza di periodi caratterizzati da una produzione scarsa o nulla, anche in condizioni in cui, sulla base delle precipitazioni registrate, sarebbe stato lecito attendersi una maggiore disponibilità idrica, come peraltro suggerito dalla risposta del modello idrologico.

Queste discrepanze possono essere attribuite a diversi fattori operativi non direttamente modellabili, come eventuali limitazioni gestionali, interventi di manutenzione sugli impianti o variazioni nei criteri di esercizio delle derivazioni. Tale incertezza ha rappresentato un elemento critico nell'interpretazione dei risultati per alcuni mesi specifici, evidenziando la necessità di integrare l'analisi con informazioni più dettagliate sulla gestione effettiva degli impianti nel periodo di studio.

3. Rappresentazione dei regimi di portata di sfioro

Per verificare l'affidabilità del modello nella rappresentazione dei regimi di portata superiori alla massima portata turbinabile dai due impianti, il modello idrologico è stato esteso alla porzione del bacino del Parma chiusa alla prima sezione di monitoraggio idrometrico di Corniglio, situata a circa 4.5 km a valle della centrale di Marra subito a valle dell'immissione in destra orografica del torrente Bratica.

La serie idrometrica acquisita dal portale Dexter è stata convertita in portata mediante l'applicazione della scala di deflusso propria della stazione di misura. Il dataset risultante ha costituito il riferimento per la taratura del modello per i regimi di portata elevati, permettendo di affinare ulteriormente la rappresentazione del regime idrologico dell'area, con particolare riferimento alle portate superiori al limite indagato con le prime due fasi di calibrazione.

Una volta ricostruiti i regimi di portata in ingresso ai due impianti è stato possibile risalire alla relativa curva di durata delle portate e al valore di portata medio annua.

6.2 Altre metodiche di calcolo

Oltre alla metodica proposta nel precedente paragrafo è stata applicata anche la metodologia proposta nel documento tecnico redatto da ARPA Emilia-Romagna dal titolo "Individuazione del deflusso minimo vitale di riferimento" – allegato D del PTA approvato con delibera n°40 del 21 dicembre 2005. Tale metodica, utilizzando le misure di portata storica effettuate dal Servizio Idrografico negli anni 1920-80 e da ARPA negli anni 2003-2014, ha implementato una legge di regionalizzazione di lungo periodo che permette la stima dei deflussi medi in relazione a grandezze caratterizzanti gli areali imbriferi.

Nello specifico la metodologia proposta permette la stima dei deflussi medi annui naturali per una data sezione fluviale sulla base della superficie drenata S (km²), della quota media del bacino sotteso H_{media} (in m s.l.m.) e della piovosità media P (in mm/anno), proponendo 3 diverse formulazioni:

$$\begin{aligned} Q_{media} &= 10^{-6} \times 1.609 \times S^{1.019} \times H_{media}^{0.472} \times (P - 400)^{0.944} && \text{(lungo periodo storico)} \\ Q_{media} &= 10^{-6} \times 1.609 \times S^{1.019} \times H_{media}^{0.472} \times (P - 455)^{0.944} && \text{(medio periodo 1991 - 2001)} \\ Q_{media} &= 10^{-6} \times 1.609 \times S^{1.019} \times H_{media}^{0.472} \times (P - 480)^{0.944} && \text{(medio periodo 2002 - 2011)} \end{aligned}$$

Con tale formula è possibile fornire una stima dei deflussi medi naturali per bacini caratterizzati da un'areale montano almeno apprezzabile e da una superficie non eccedente i 2000 km², e, in tali condizioni dovrebbe garantire un errore medio dell'ordine del 10-15% su archi temporali pluriennali.

Un'altra metodica proposta sempre da ARPAE fornisce una formula parametrica per il calcolo dei valori più caratteristici della curva di durata (1, 10, 91, 182, 274, 355, 365 giorni), precisando che la formula restituisce valori più attendibili (errori medi dell'ordine del 15%) per durate comprese fra 10 e 182 giorni; per durate maggiori gli errori tendono a crescere, raggiungendo il 28% per 274 giorni e circa il 35% per 355 e 365 giorni.

$$\begin{aligned} Q_D &= e^{k(D)} \times S^{\alpha(D)} \times H_m^{\beta(D)} \times H_{max}^{\gamma(D)} \times (P - 400)^{\rho(D)} && \text{(lungo periodo storico)} \\ Q_D &= e^{k(D)} \times S^{\alpha(D)} \times H_m^{\beta(D)} \times H_{max}^{\gamma(D)} \times (P - 455)^{\rho(D)} && \text{(medio periodo 1991 - 2001)} \\ Q_D &= e^{k(D)} \times S^{\alpha(D)} \times H_m^{\beta(D)} \times H_{max}^{\gamma(D)} \times (P - 480)^{\rho(D)} && \text{(medio periodo 2002 - 2011)} \end{aligned}$$

I parametri k, alfa, Beta, gamma e delta sono differenziati per le diverse durate; per i valori tabellari si faccia riferimento al documento di ARPA citato in precedenza.

6.3 Stima della portata media naturale

Di seguito si riportano alcuni grafici relativi alla ricostruzione, tramite modellazione, delle portate complessive simulate in arrivo alle gronde di derivazione di Bosco di Corniglio e Marra di Corniglio. I risultati sono stati confrontati con i dati di portata turbinata dagli impianti forniti dal gestore, assumendo che la capacità di accumulo delle vasche di carico sia trascurabile e che quindi la portata turbinata sia rappresentativa dell'afflusso complessivo proveniente dalle gronde.

Il confronto è presentato su alcuni periodi idrologicamente significativi, diversi nei grafici per i due impianti, al fine di mettere in evidenza la capacità del modello di riprodurre correttamente le dinamiche idrologiche del sistema.

Inoltre, sono riportati alcuni dei confronti relativi alle analisi di dettaglio condotte nella seconda fase di calibrazione del modello a scala di portata media mensile sulle portate derivabili alle gronde.

L'analisi si conclude con alcuni grafici di confronto tra le portate simulate dal modello, esteso a un dominio più ampio chiuso alla stazione idrometrica di Corniglio, e le portate storiche ricostruite alla medesima sezione.

L'estensione del dominio di modellazione fino alla stazione di Corniglio è stata funzionale alla calibrazione dei risultati ottenuti in questo studio, consentendo di valutare anche i regimi di portata superiori ai limiti imposti dalle capacità massime delle gronde. Questo approccio ha permesso di migliorare l'affidabilità della stima dei volumi di risorsa idrica disponibili sull'orizzonte temporale di lungo periodo.

Pertanto, sebbene la scala di deflusso della stazione di Corniglio sia caratterizzata da un grado di attendibilità incerto, come indicato da ARPAE, l'utilizzo del dato ricostruito a Corniglio si è comunque rivelato utile al fine della validazione dei risultati conseguiti.

Nei grafici presentati a seguire, la serie simulata è sempre riportata in blu, mentre quella "ricostruita" è rappresentata in verde.

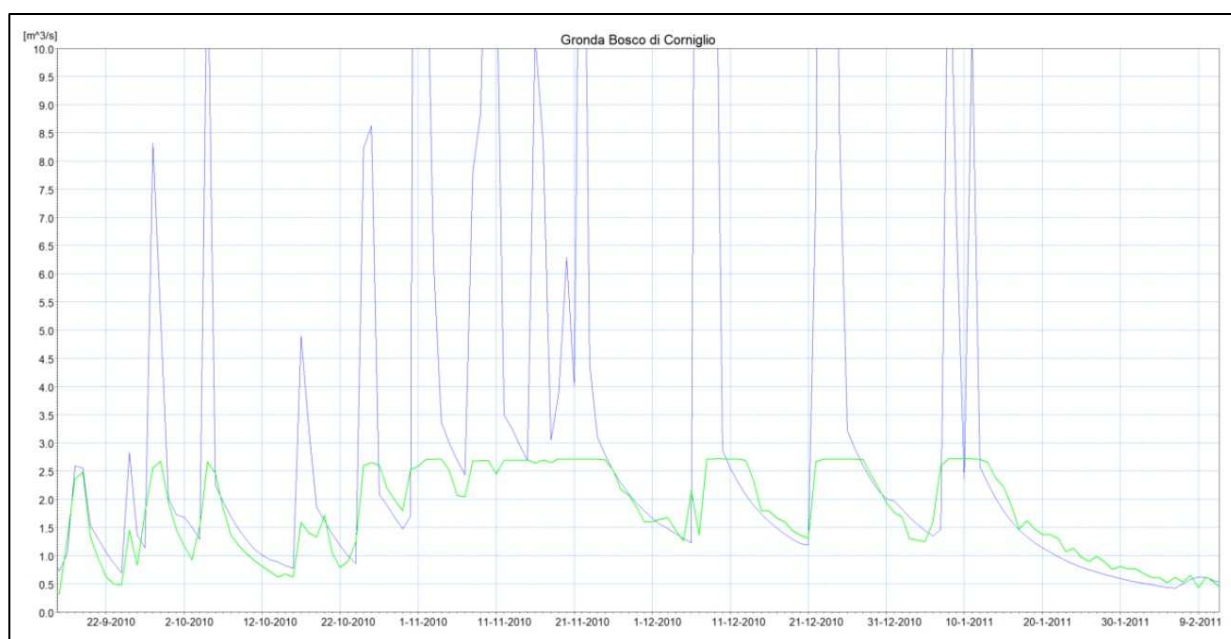


Figura 6-3: Bosco di Corniglio – periodo 15.09.2010 – 10.02.2011. Confronto tra le serie di portata complessiva simulata (in blu) e la "ricostruzione" di quanto realmente derivato dalla gronda (in verde)

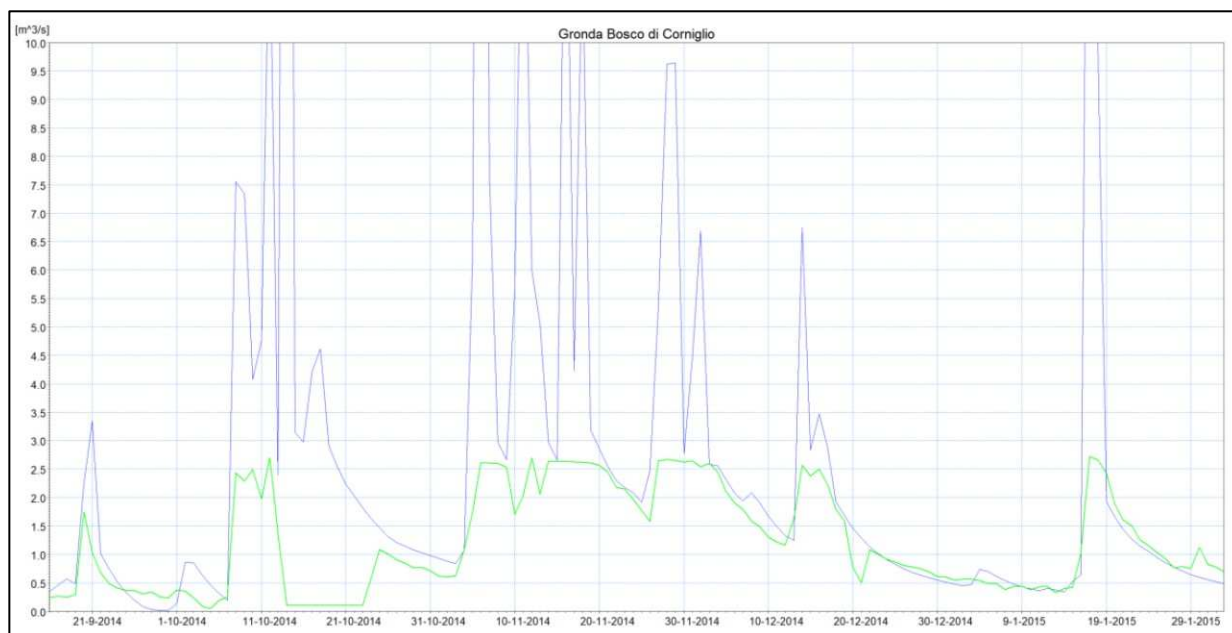


Figura 6-4: Bosco di Corniglio – periodo 15.09.2014 – 01.02.2015. Confronto tra le serie di portata complessiva simulata (in blu) e la “ricostruzione” di quanto realmente derivato dalla gronda (in verde)

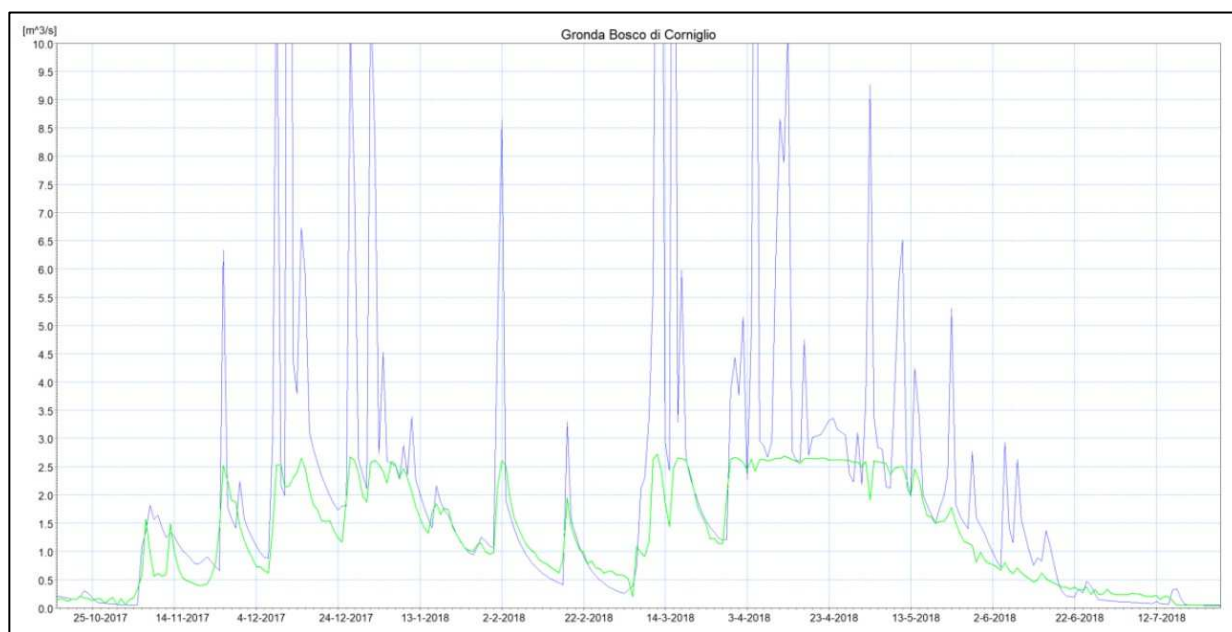


Figura 6-5: Bosco di Corniglio – periodo 10.10.2017 – 15.07.2018. Confronto tra le serie di portata complessiva simulata (in blu) e la “ricostruzione” di quanto realmente derivato dalla gronda (in verde)

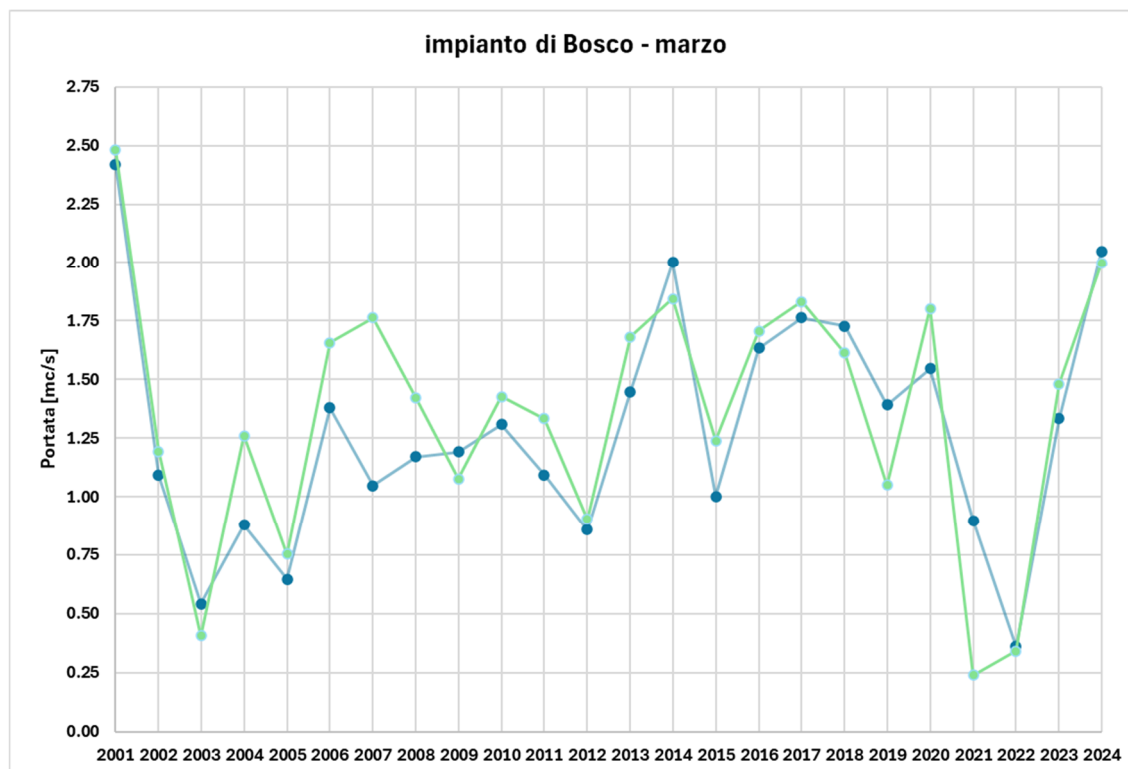


Figura 6-6: Bosco di Corniglio – mese di marzo. Confronto tra le portate medie mensili simulate (in blu) e quelle ricostruite rispetto a quanto realmente derivato dalla gronda (in verde)

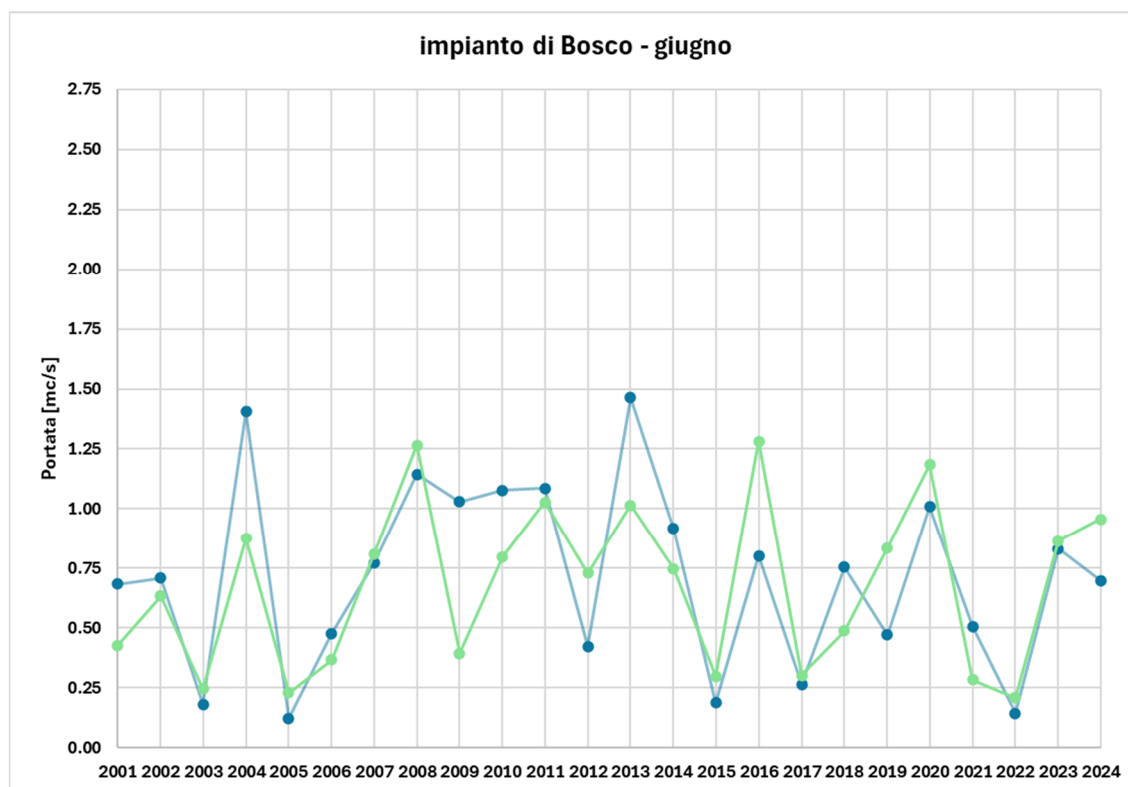


Figura 6-7: Bosco di Corniglio – mese di giugno. Confronto tra le portate medie mensili simulate (in blu) e quelle ricostruite rispetto a quanto realmente derivato dalla gronda (in verde)

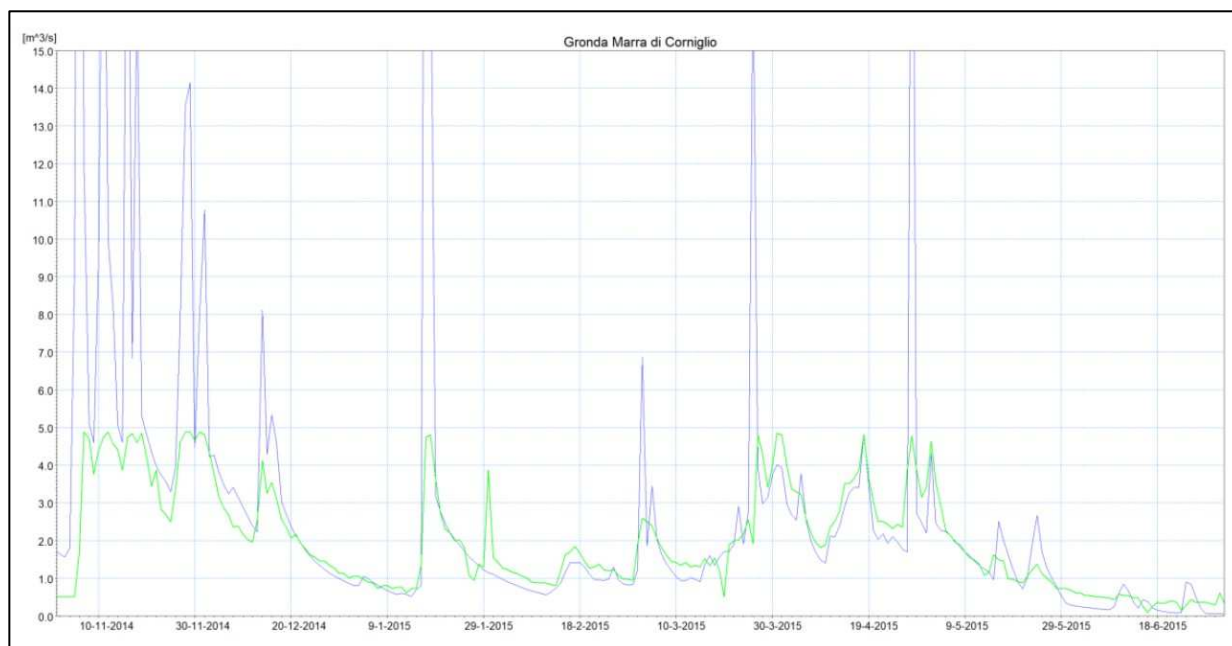


Figura 6-8: Marra di Corniglio – periodo 01.11.2014 – 01.07.2015. Confronto tra le serie di portata complessiva simulata (in blu) e la “ricostruzione” di quanto realmente derivato dalla gronda (in verde)

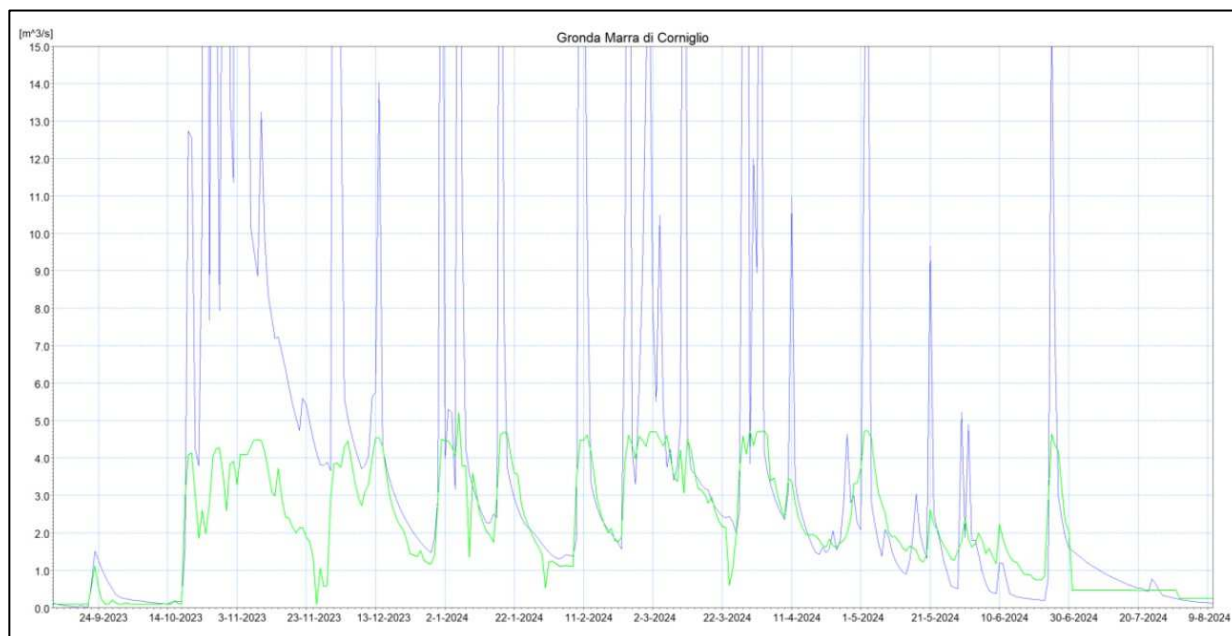


Figura 6-9: Marra di Corniglio – periodo 10.09.2023 – 10.08.2024. Confronto tra le serie di portata complessiva simulata (in blu) e la “ricostruzione” di quanto realmente derivato dalla gronda (in verde)

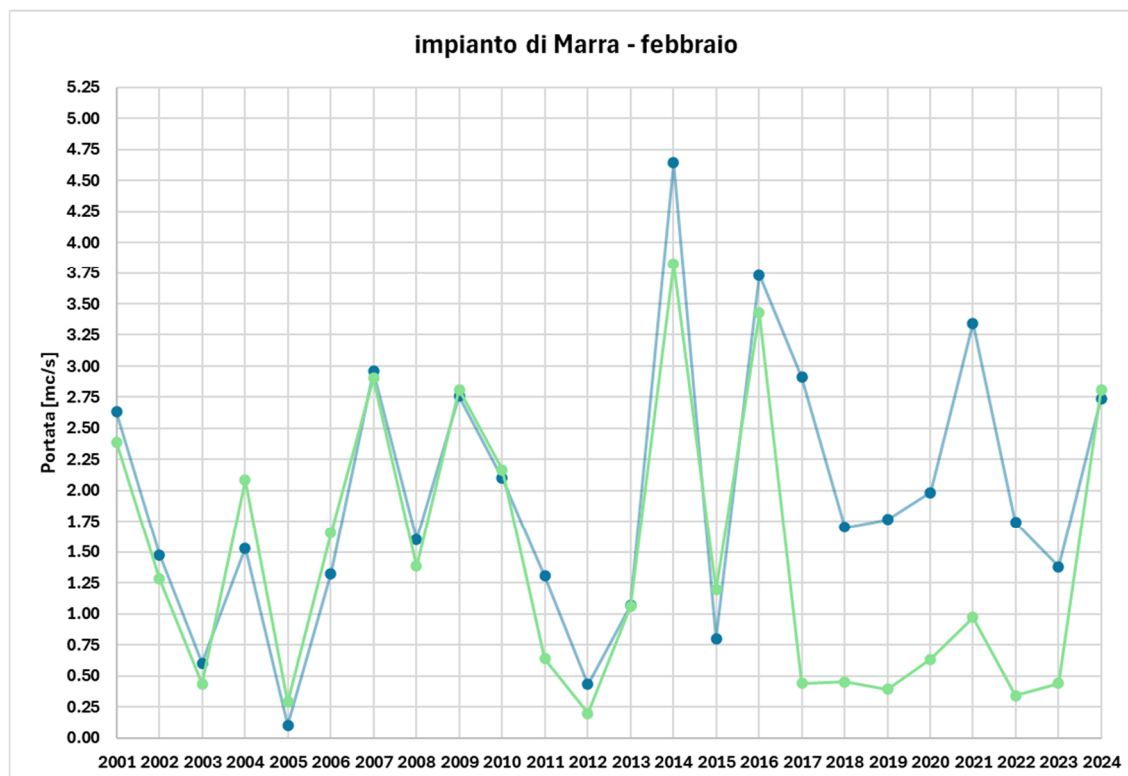


Figura 6-10: Marra di Corniglio – mese di febbraio. Confronto tra le portate medie mensili simulate (in blu) e quelle ricostruite rispetto a quanto realmente derivato dalla gronda (in verde)

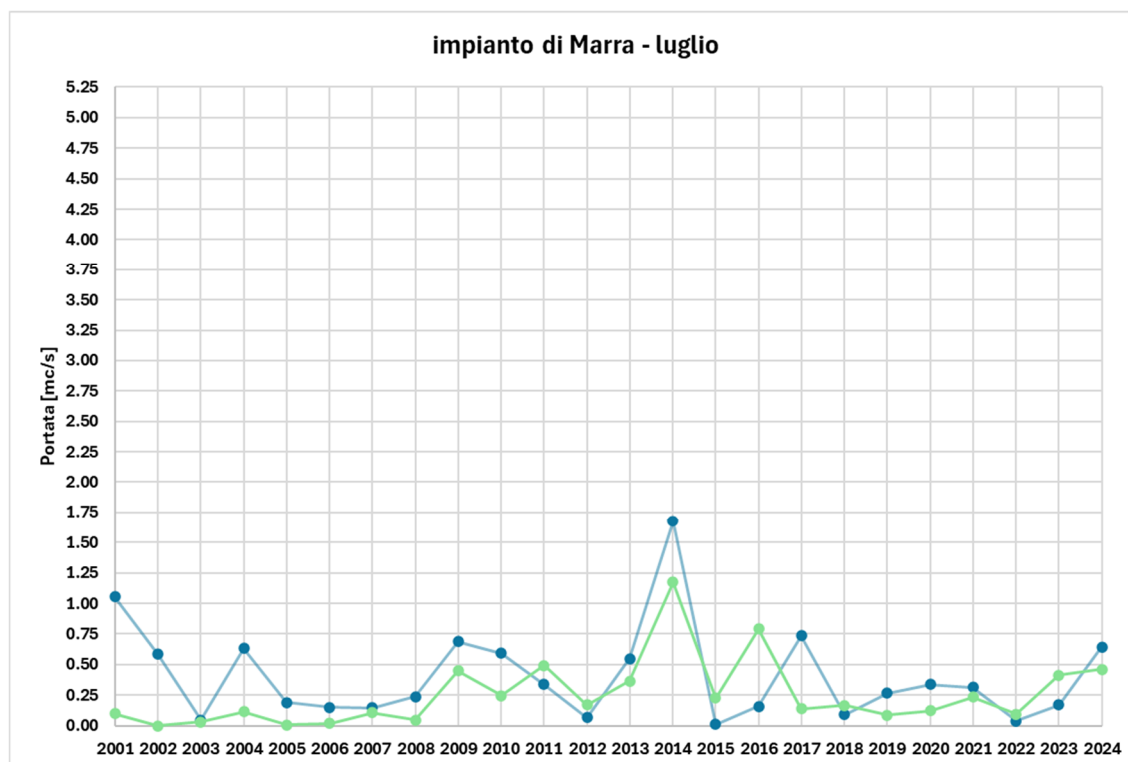


Figura 6-11: Marra di Corniglio – mese di luglio. Confronto tra le portate medie mensili simulate (in blu) e quelle ricostruite rispetto a quanto realmente derivato dalla gronda (in verde)

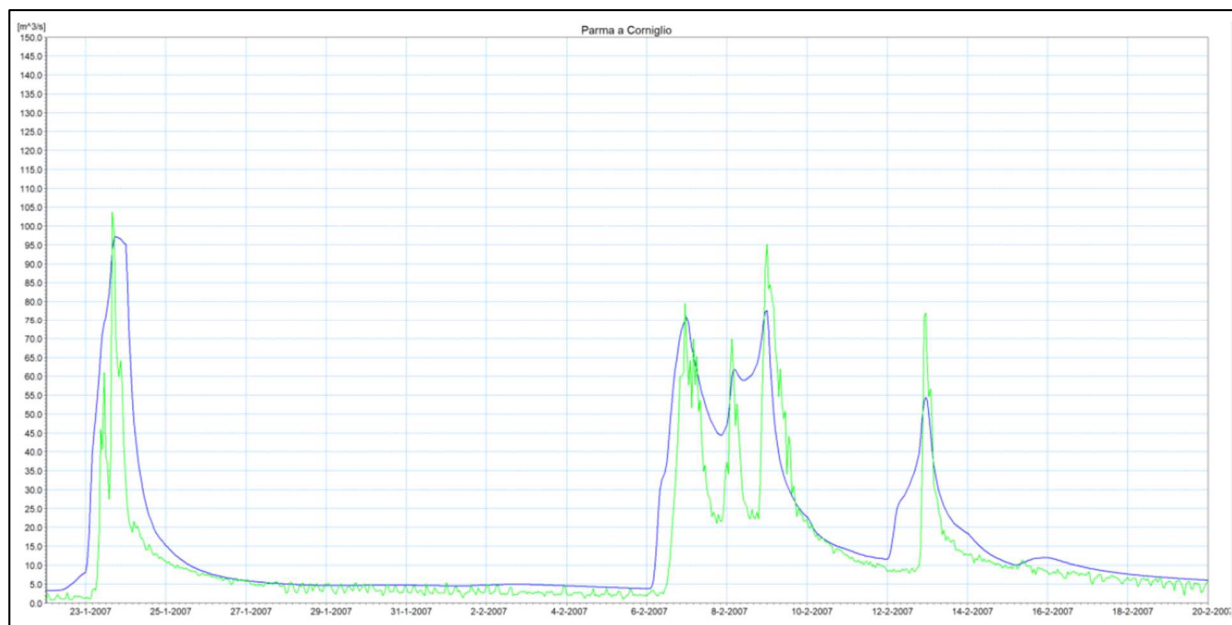


Figura 6-12: Parma di Corniglio – periodo 22.01.2007 – 20.02.2007. Confronto tra le serie di portata complessiva simulata (in blu) e la “ricostruzione” degli eventi (in verde)

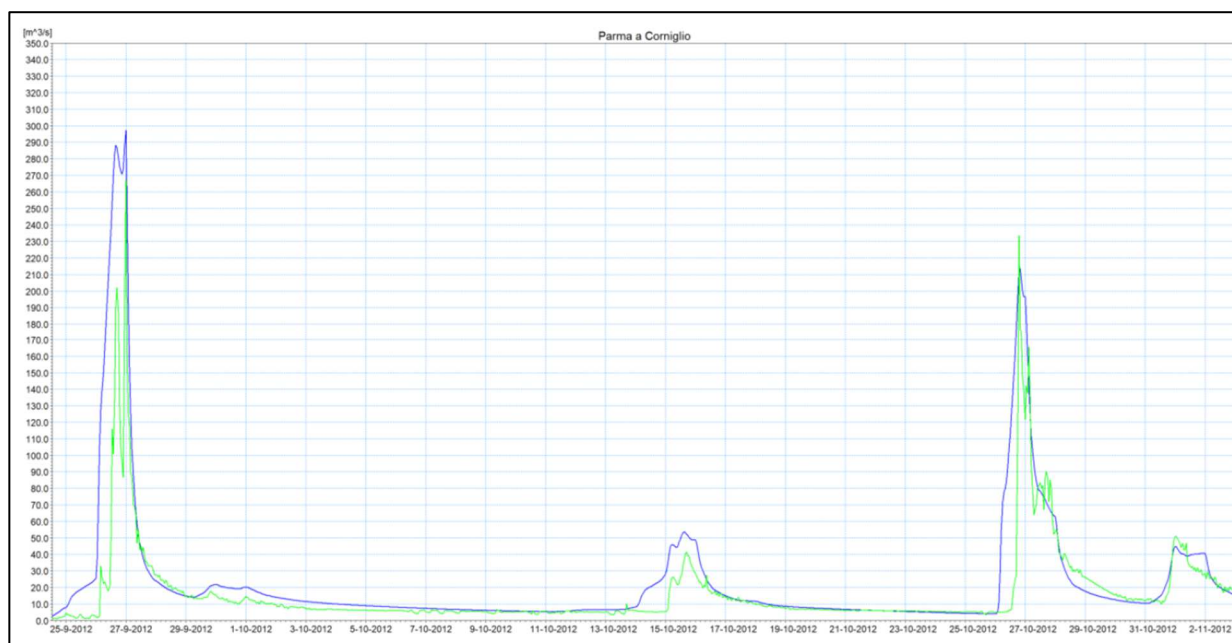


Figura 6-13: Parma di Corniglio – periodo 25.09.2012 – 03.11.2012. Confronto tra le serie di portata complessiva simulata (in blu) e la “ricostruzione” degli eventi (in verde)

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori di portata media naturale ottenuti per i sottobacini derivati da ciascun impianto. Si specifica che:

- il contributo relativo alla presa F. Parma (residuo) non tiene conto anche dei contributi non derivati dalle derivazioni verso l'impianto di Bosco di Corniglio;

- il contributo relativo alla presa R. Brea, utilizzato nella calibrazione del modello afflussi-deflussi, non è stato riportato in tabella in quanto tale contributo non viene considerato nelle successive analisi idrologiche essendo la presa dismessa.

Tabella 8: stima delle portate medie naturali attese in corrispondenza di ciascuna opera di presa dell'impianto di Bosco di Corniglio

Opera di presa	Superficie bacino sotteso [km ²]	Portata media naturale [m ³ /s]
R. della Sesta	1.68	0.129
T. Parma di Badignana	9.52	0.746
T. Parma di Francia	4.89	0.376
R. Francia	0.2	0.014
T. Parma del Lago Santo	6.11	0.476
Centrale di Bosco di Corniglio	22.40	1.742

Tabella 9: stima delle portate medie naturali attese in corrispondenza di ciascuna opera di presa dell'impianto di Marra di Corniglio

Opera di presa	Superficie bacino sotteso [km ²]	Portata media naturale [m ³ /s]
Scarico impianto di Bosco di Corniglio	22.40	-
R. Re	4.10	0.198
F. Parma (residuo)	6.31	0.304*
R. della Costa	4.29	0.208
R. Brea	2.35	-
R. Roncovecchio	2.91	0.142
Centrale di Marra di Corniglio	42.36	2.593

*il valore di portata riportato in tabella non tiene conto dei deflussi non derivati dalle prese della centrale di Bosco di Corniglio

Per quanto riguarda l'applicazione della metodica proposta da ARPAE nell'ambito del PTA della Regione Emilia-Romagna (allegato D del PTA dal titolo "Individuazione del deflusso minimo vitale di riferimento"), è stata applicata la terza formula ovvero quella calibrata sui dati di piovosità media relativi al periodo 2002-2011, considerando come valori di piovosità:

- per il calcolo della Q media riferita al bacino sotteso dalla centrale di Bosco di Corniglio la media pesata della piovosità cumulata delle stazioni di Lagdei (94%), Bosco di Corniglio (4%) e Grammatica (1%);
- per il calcolo della Q media riferita al bacino sotteso dalla centrale di Marra di Corniglio la media pesata della piovosità cumulata delle stazioni di Lagdei (54%), Bosco di Corniglio (38%), Grammatica (6%) e Marra (2%).

Tabella 10: valori di piovosità media cumulata utilizzati per l'applicazione del metodo di regionalizzazione di ARPAE

Nome stazioni/impianti	Bosco di Corniglio	Marra di Corniglio
Lagdei	94	54
Bosco di Corniglio	4	38
Grammatica	1	6
Marra	0	2
Anno	Precipitazione annua [mm]	
2001	2824	2365
2002	2538	2174
2003	2063	1832
2004	2378	2107
2005	1633	1530
2006	2157	1852
2007	1780	1553
2008	2430	2207
2009	3125	2767
2010	3570	3101
2011	2349	2018
2012	3026	2687
2013	3185	2881
2014	4106	3590
2015	1602	1453
2016	2550	2252
2017	2580	2311
2018	2436	2144
2019	3131	2819
2020	2771	2448
2021	2821	2421
2022	1656	1470
2023	3221	2854
2024	3472	3030
media	2642	2328

I dati di piovosità media sono stati utilizzati per il calcolo delle portate medie specifiche, riportate nella tabella seguente, a confronto con quelle determinate con il metodo afflussi-deflussi.

Tabella 11: dati riassuntivi degli afflussi e dei deflussi medi annui e specifici determinati con le diverse procedure di calcolo

Descrizione/Nome impianti	Bosco di Corniglio	Marra di Corniglio
Superficie bacino sotteso [km ²]	22.40	40.01
Quota media [m s.l.m.]	1395	1266
Precipitazione media [mm]	2642	2328
Metodo di calcolo	Portata media annua naturale [m ³ /s]	
Metodo afflussi-deflussi	1.74	2.59
Formula ARPAE	1.64	2.44
	Deflusso medio specifico [m ³ /s/km ²]	
Metodo afflussi-deflussi	0.08	0.06
Formula ARPAE	0.07	0.06

I valori di portata media annua ottenuti tramite il metodo afflussi-deflussi presentano stime leggermente superiori rispetto alla formulazione proposta da ARPAE (+6%).

Tali differenze sono da ricercare nel diverso approccio insito in ciascuna delle metodiche utilizzate, ampiamente illustrate nei paragrafi 6.1 e 6.2. Pur considerando entrambe le metodiche rappresentative delle condizioni idrologiche medie dei bacini appartenenti a ciascun impianto, si ritiene che l'approccio modellistico abbia permesso di rappresentare con un maggiore dettaglio quelli che sono i valori di portata naturali attesi alle varie opere di presa.

In particolare, l'analisi modellistica ha permesso di ricostruire l'andamento delle portate medie giornaliere in tutte le diverse condizioni di regime, attraverso una calibrazione che ha riguardato sia i regimi di portata in arrivo agli impianti fino alla capacità massima delle relative gronde di approvvigionamento, sia i regimi di portata superiori al limite verificabile con la calibrazione a scala di impianto tramite confronto con la stazione idrometrica ARPAE di Corniglio.

Pertanto, i valori di portata media naturale determinati per via modellistica sono stati utilizzati per la definizione delle portate medie derivabili da ciascun bacino.

6.4 Curva di durata delle portate

A partire dai valori di portata media giornaliera disponibile è stato possibile ricavare la corrispondente curva di durata delle portate. La curva di durata mette in relazione l'intensità e la frequenza dei deflussi idrici in un'assegnata sezione fluviale. Nello specifico, la curva permette di individuare la durata (o percentuale) di tempo, in un particolare periodo di osservazione, in cui un valore di portata è uguagliato o superato e, dunque, risulta essere disponibile per il corso d'acqua in esame.

Da un punto di vista statistico, la curva di durata può essere vista come il complemento a uno della funzione di distribuzione cumulata dei deflussi (o funzione di probabilità di non superamento). Ad ogni valore di portata Q è associata una probabilità di superamento p .

Per la definizione di una curva di durata rappresentativa per i siti in oggetto sono stati utilizzati i valori medi giornalieri di portata per l'intero periodo di analisi (2001-2024) in modo da determinare la frequenza di accadimento degli eventi passati e, in contemporanea, definire la probabilità di accadimento di eventi futuri.

Le curve annuali determinate a partire dai valori di portata media giornaliera sono state successivamente mediate in modo da ricavare un'unica curva di durata caratteristica, rappresentativa dell'andamento delle portate in un anno "tipico" ma ipotetico per la sezione in esame.

Utilizzando le curve di durata annuali si perdono tuttavia alcune informazioni come i valori massimi e minimi assoluti di portata. È però possibile individuare eventuali caratteristiche stagionali dei regimi fluviali ed eventuali periodi di alte o basse portate che si verificano nell'arco di un anno. Inoltre, tali curve non sono influenzate dai periodi secchi o umidi che possono caratterizzare gli n anni di osservazione.

La definizione della curva di durata media ha comportato:

- la definizione dei valori di portata media giornaliera in ingresso in n anni di osservazione tramite il modello idrologico;
- la suddivisione dei valori di portata in m campioni ciascuno contenente i valori di portata media giornaliera di un solo anno;
- l'ordinamento dei dati di ogni campione in ordine decrescente (dal massimo al minimo valore di portata) e il calcolo della durata relativa associata ad ogni valore di portata mediante la Plotting Position di Weibull (Weibull,1951), definita come $d_i = i/(N+1)$;
- il tracciamento di n curve di durata, relative a ciascun anno, in un diagramma cartesiano riportando in ascissa la durata relativa e in ordinata le portate medie giornaliere per poi ricavare la curva di durata annuale facendo corrispondere, ad ogni passo di durata, un valore di portata mediato per gli n valori disponibili (uno per ogni anno);
- costruzione della curva di durata annuale media, che si ottiene associando ad ogni valore di durata relativa o probabilità di superamento la media statistica degli n valori di portata corrispondenti a quella durata.

La rappresentazione delle curve di durata di riferimento per gli impianti di Bosco e Marra di Corniglio sono riportati nelle figure seguenti.

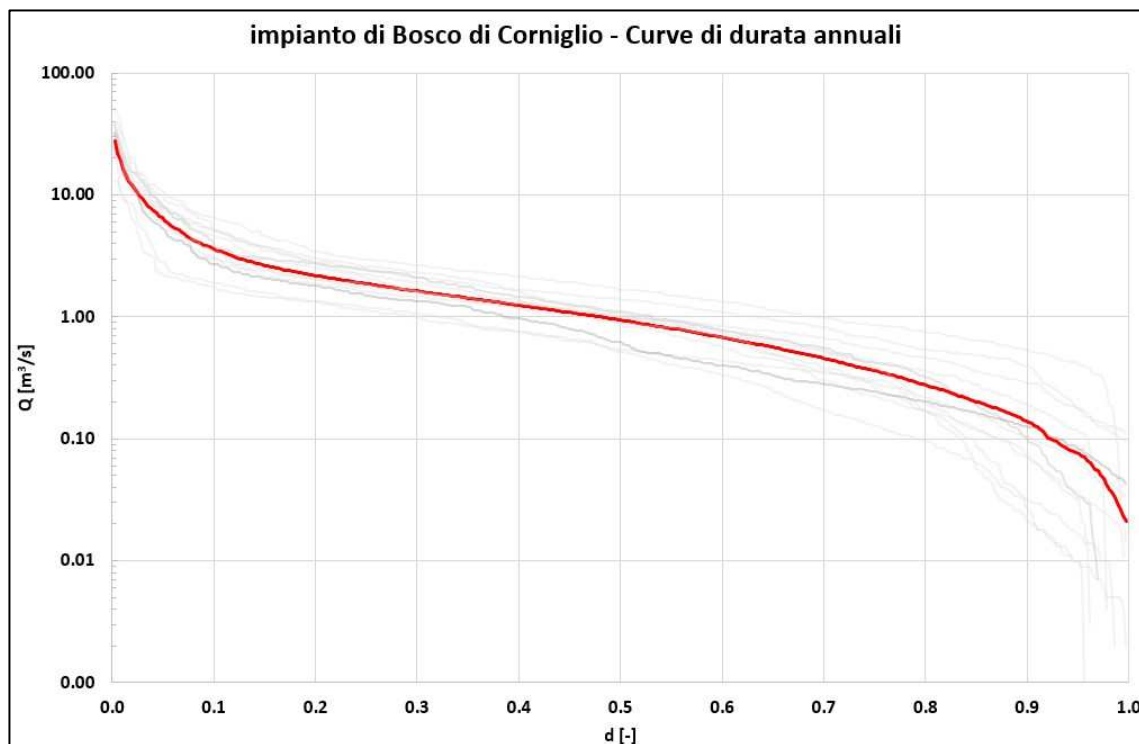


Figura 6-14: impianto di Bosco di Corniglio - curva di durata media (linea in rosso) a confronto con le curve di durata annuali (linee in grigio) su base giornaliera

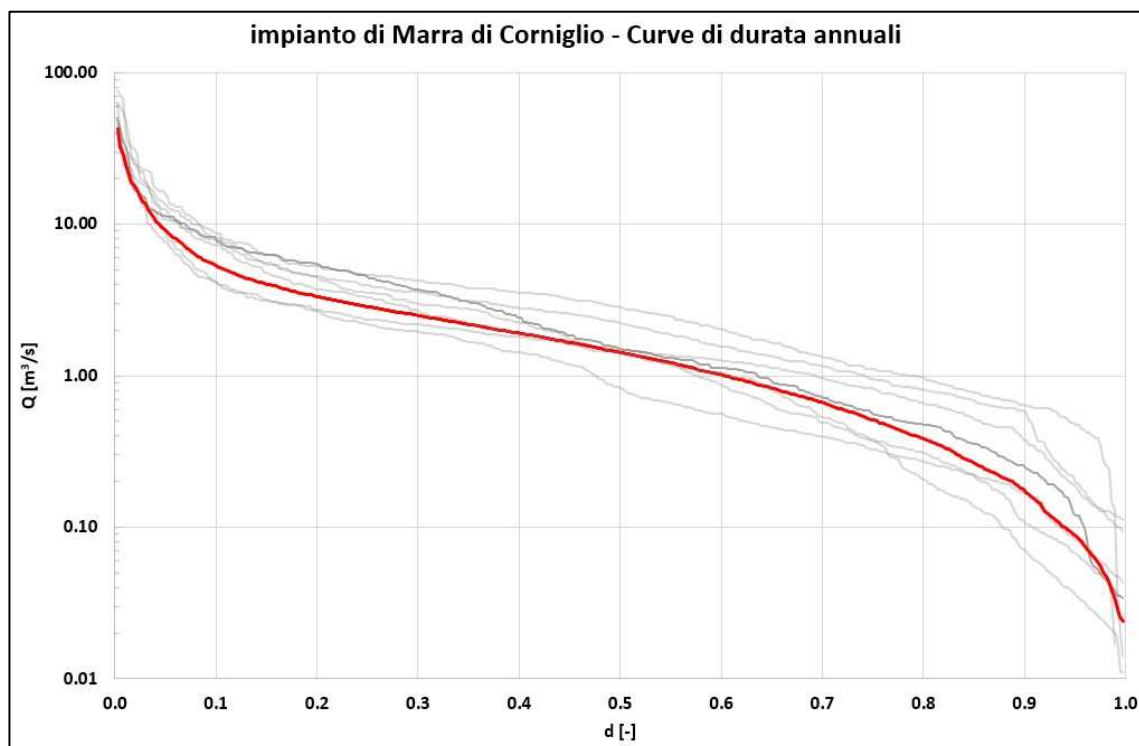


Figura 6-15: impianto di Marra di Corniglio - curva di durata media (linea in rosso) a confronto con le curve di durata annuali (linee in grigio) su base giornaliera

La curva di durata ottenuta è stata confrontata con i valori caratteristici calcolati con la formula parametrica proposta da ARPA Emilia-Romagna e riportata nel paragrafo 6.2.

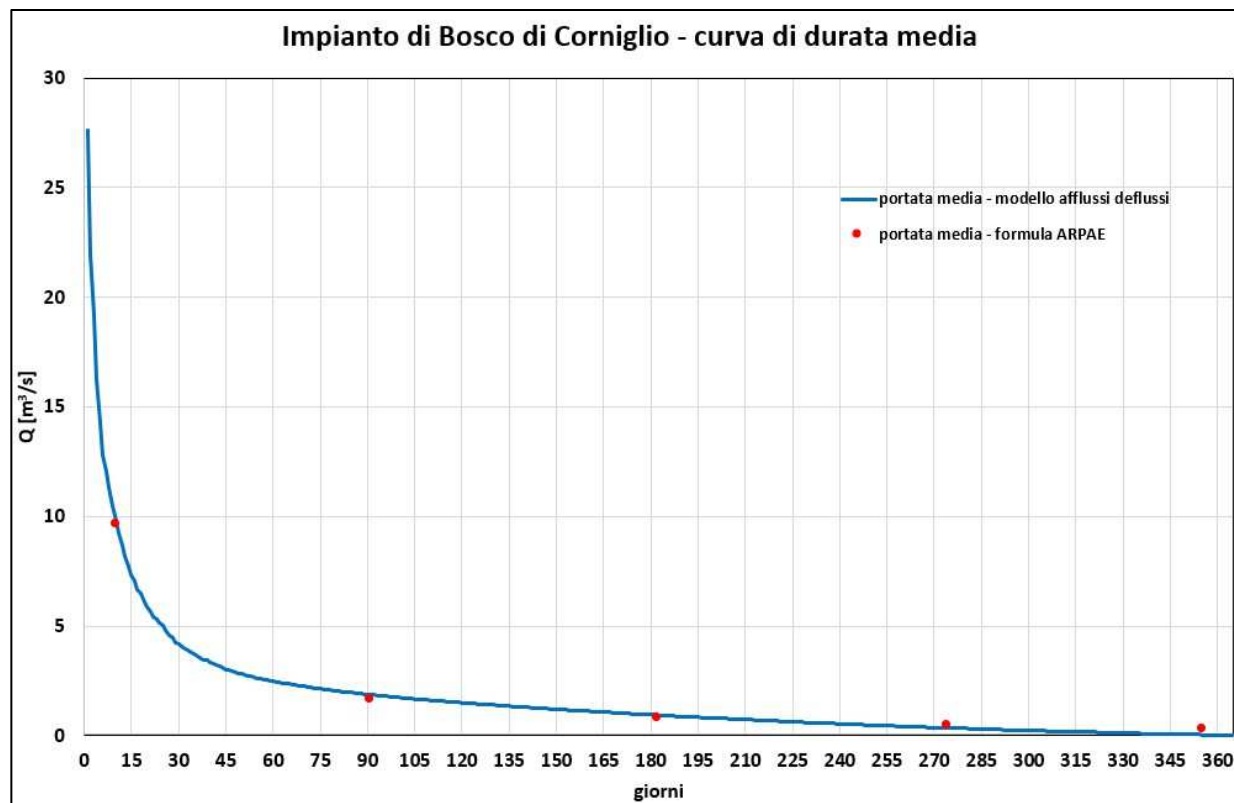


Figura 6-16: impianto di Bosco di Corniglio – confronto tra la curva di durata media corrispondente alla media degli n valori di portata nel periodo 2001-2024 e le portate medie ottenute tramite il metodo di regionalizzazione di ARPAE

Tabella 12: impianto di Bosco - confronto tra le portate ottenute dalla curva di durata elaborata con la stima modellistica e quelli ottenuti con la formula parametrica proposta da ARPAE

n° giorni	Frequenza di superamento	Portata da curva di durata [m³/s]	Portata da formula ARPAE [m³/s]
10	3%	9.83	9.63
91	25%	1.87	1.66
182	50%	0.95	0.82
274	75%	0.36	0.49
355	97%	0.05	0.30

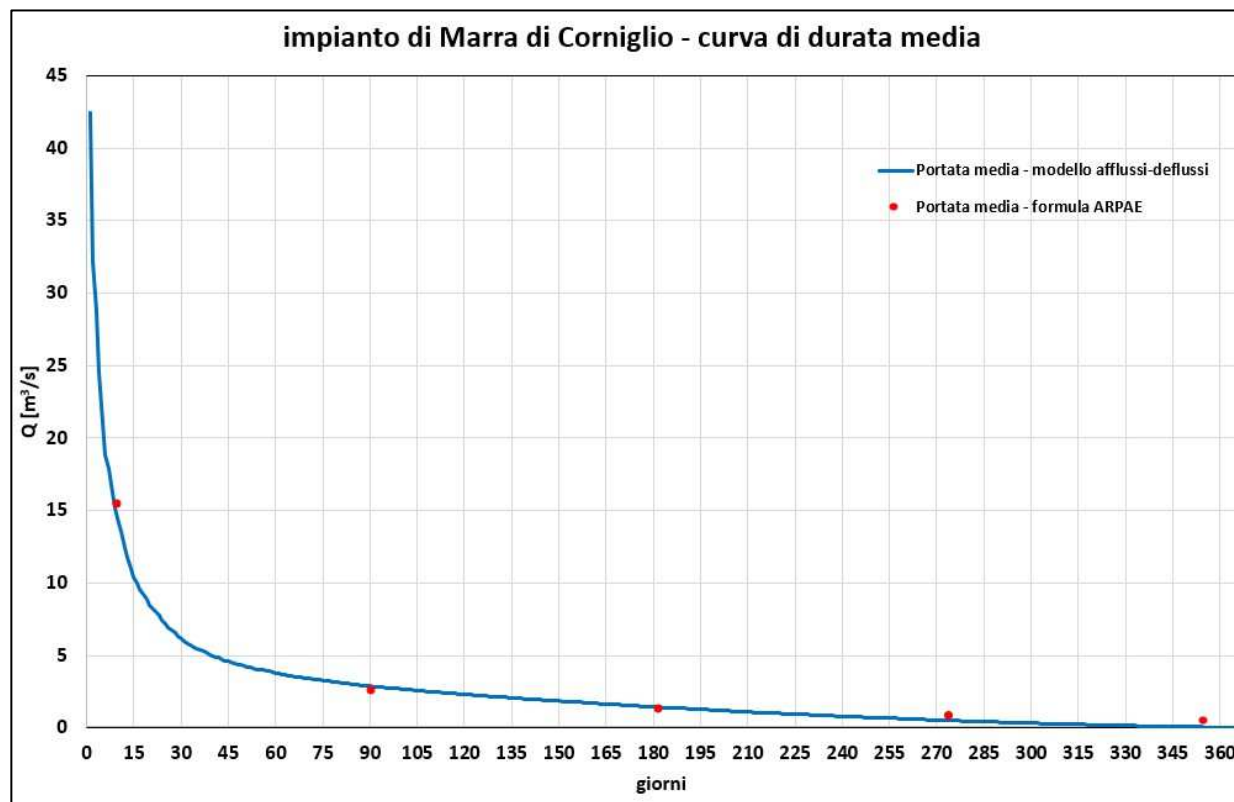


Figura 6-17: impianto di Marra di Corniglio – confronto tra la curva di durata media corrispondente alla media degli n valori di portata nel periodo 2001-2024 e le portate medie ottenute tramite il metodo di regionalizzazione di ARPAE

Tabella 13: impianto di Marra - confronto tra le portate ottenute dalla curva di durata elaborata con la stima modellistica e quelli ottenuti con la formula parametrica proposta da ARPAE

n° giorni	Frequenza di superamento	Portata da curva di durata [m³/s]	Portata da formula ARPAE [m³/s]
10	3%	14.15	15.37
91	25%	2.86	2.51
182	50%	1.44	1.24
274	75%	0.51	0.78
355	97%	0.06	0.48

7 VALORI DI DEFLUSSO MINIMO VITALE

Nella tabella seguente sono riportati gli attuali contributi teorici di DMV calcolati per ogni opera di presa e quelli reali effettivamente rilasciati dalle opere di presa T. Parma del Lago Santo per l'impianto di Bosco di Corniglio e F. Parma (residuo) per l'impianto di Marra di Corniglio.

Infatti, poiché il PTA prevede compensazioni tra le varie opere di presa lungo la derivazione e la concentrazione dei rilasci per evitare la dispersione di contributi insignificanti da un punto di vista ambientale, e in considerazione dell'assetto impiantistico e delle procedure di esercizio attualmente in atto, il rilascio del DMV risulta concentrato in una sola presa per ciascun impianto.

Tabella 14: contributi del DMV di tutte le prese degli impianti di Bosco di Corniglio e Marra di Corniglio

Derivazione	Opera di presa	DMV teorico [l/s]	DMV rilasciato [l/s]
Bosco di Corniglio	R. della Sesta	2	-
	T. Parma di Badignana	21	-
	T. Parma di Francia	9	-
	R. Francia	1	-
	T. Parma del Lago Santo	13	46
Marra di Corniglio	Scarico impianto di Bosco di Corniglio	-	-
	R. Re	8	-
	F. Parma (residuo)	57	84
	R. della Costa	9	-
	R. Brea	4	-
	R. Roncovecchio	6	-

8 CALCOLO DELLA PORTATA MEDIA ANNUA DERIVABILE

8.1 Metodologia di calcolo

Come descritto al capitolo 2 gli impianti idroelettrici oggetto di studio non sono caratterizzati dalla presenza di dighe o equivalenti opere idrauliche in grado di accumulare la risorsa idrica. Inoltre, nonostante gli impianti siano dotati di vasche di carico, la situazione delle singole opere di presa e lo scarso volume delle vasche stesse rendono l'asta totalmente a fluente.

Stante la situazione sopra rappresentata, risulta necessario che la potenza concessoria per utilizzo idroelettrico debba assolutamente tener conto delle singolarità e dei limiti operativi-tecnici dell'asta e debba essere quindi calcolata rispetto alla portata che operativamente si riesce ad utilizzare.

Nel caso specifico la portata derivabile da ciascun impianto non può essere:

- superiore alla portata massima derivabile Q_{max} caratteristica di ciascun impianto e pari a 2.64 m³/s per l'impianto di Bosco e 4.8 m³/s per l'impianto di Marra; ciò avviene nei periodi di maggiore idraulicità, con conseguente sfioro delle portate in eccesso rispetto a quelle massime captabili da ogni singola presa;
- inferiore alla portata minima tecnica Q_{min} di 0.15 m³/s per entrambi gli impianti; ciò si verifica nei periodi di maggiore scarsità d'acqua (principalmente nel periodo estivo) e comporta un arresto preventivo delle centrali per evitare problemi tecnici e ridurre stress eccessivi ai macchinari idraulici. Questi arresti spesso coincidono con i periodi di manutenzione ordinaria e/o straordinaria dei gruppi idroelettrici. Anche in questo caso la risorsa idrica non può essere derivata per uso idroelettrico ma rilasciata a valle quale contributo aggiuntivo al DMV.

Pertanto, per la determinazione della portata media annua che può essere derivata da ciascun impianto idroelettrico si è tenuto conto delle seguenti informazioni:

- portata media naturale Q_{nat} desunta dai risultati del modello afflussi-deflussi relativi al periodo 2001-2024 (vedi capitolo 6);
- curva di durata delle portate naturali (vedi capitolo 6);
- portata massima derivabile Q_{max} , che dipende dalla capacità massima di captazione delle opere idrauliche di ciascun impianto (vedi capitolo 2 -tabelle 1 e 2);
- portata minima derivabile Q_{min} , al di sotto della quale si verifica un fermo impianto per prevenire problemi tecnici e/o effettuare manutenzioni ordinarie e/o straordinarie ai macchinari idraulici;
- deflusso minimo vitale Q_{DMV} attualmente rilasciato da ciascun impianto.

Il valore di portata media derivabile è stato calcolato a partire dalla curva di durata delle portate medie naturali e considerando come riferimenti sia il valore di DMV sia le portate minime e massime derivabili dall'impianto.

Pertanto, una volta definita la curva di durata delle portate naturali, e tenendo conto sia di una distribuzione costante del DMV nell'anno idrologico medio sia dei valori di portata minima e massima derivabile dell'impianto, è stato possibile risalire ai volumi derivabili, oltre a quelli non derivabili, ovvero quelli rilasciati a valle dalle prese perché superiori a quelli massimi derivabili o inferiori a quelli ammissibili in impianto. Successivamente, distribuendo il volume derivabile sull'intero anno idrologico, si è ottenuta la portata media annua derivabile.

Si specifica che, poiché l'opera di presa R. Brea risulta dismessa, nelle stime delle portate naturali nonché di tutte le altre elaborazioni è stato escluso il contributo dei deflussi afferenti a tale presa.

8.2 Risultati

Di seguito sono riportati i risultati ottenuti applicando la metodologia di calcolo descritta in precedenza.

Tabella 15: calcolo della portata media annua derivabile

	Bosco di Corniglio	Marra di Corniglio
Portata media annua disponibile Q_{nat} [m ³ /s]	1.742	2.593
Portata massima derivabile dall'impianto Q_{max} [m ³ /s]	2.639	4.800
Portata di deflusso minimo vitale Q_{DMV} [m ³ /s]	0.046	0.084
Portata media annua derivabile Q_{DER} [m ³ /s]	1.014	1.703

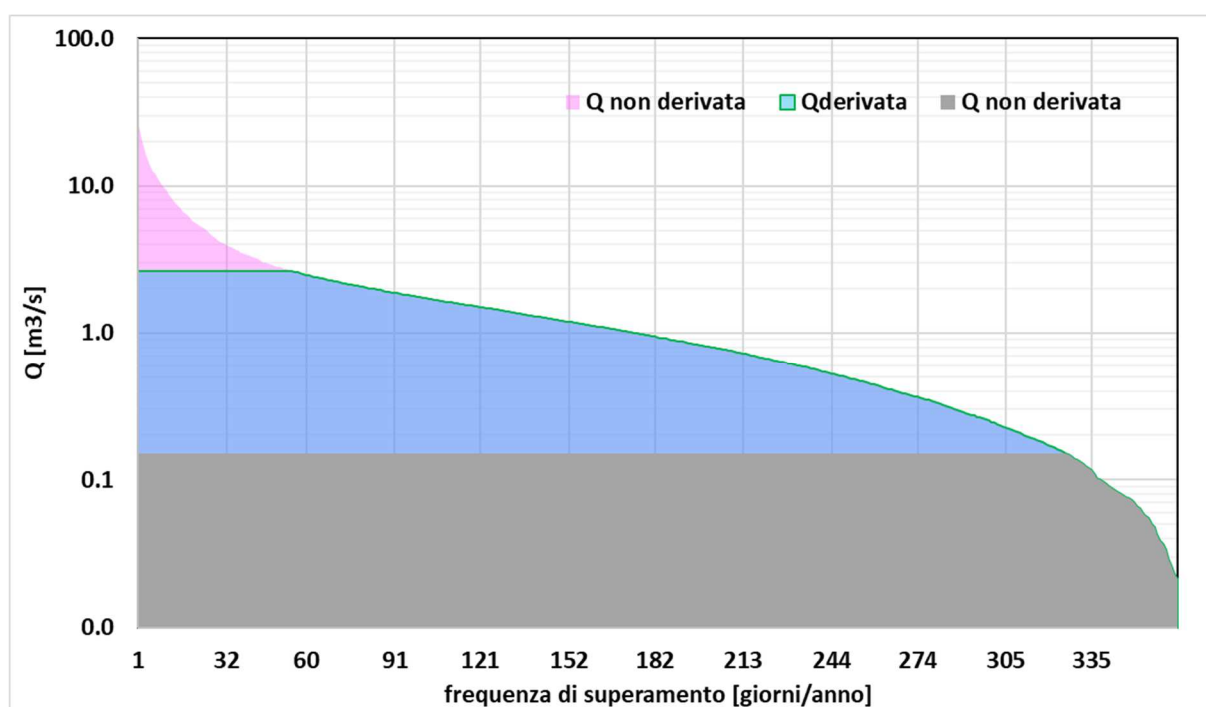


Figura 8-1: impianto di Bosco di Corniglio - rappresentazione della curva di durata con indicazione dei volumi derivabili e non derivabili per portate superiori alle massime derivabili o inferiori al limite tecnico d'impianto

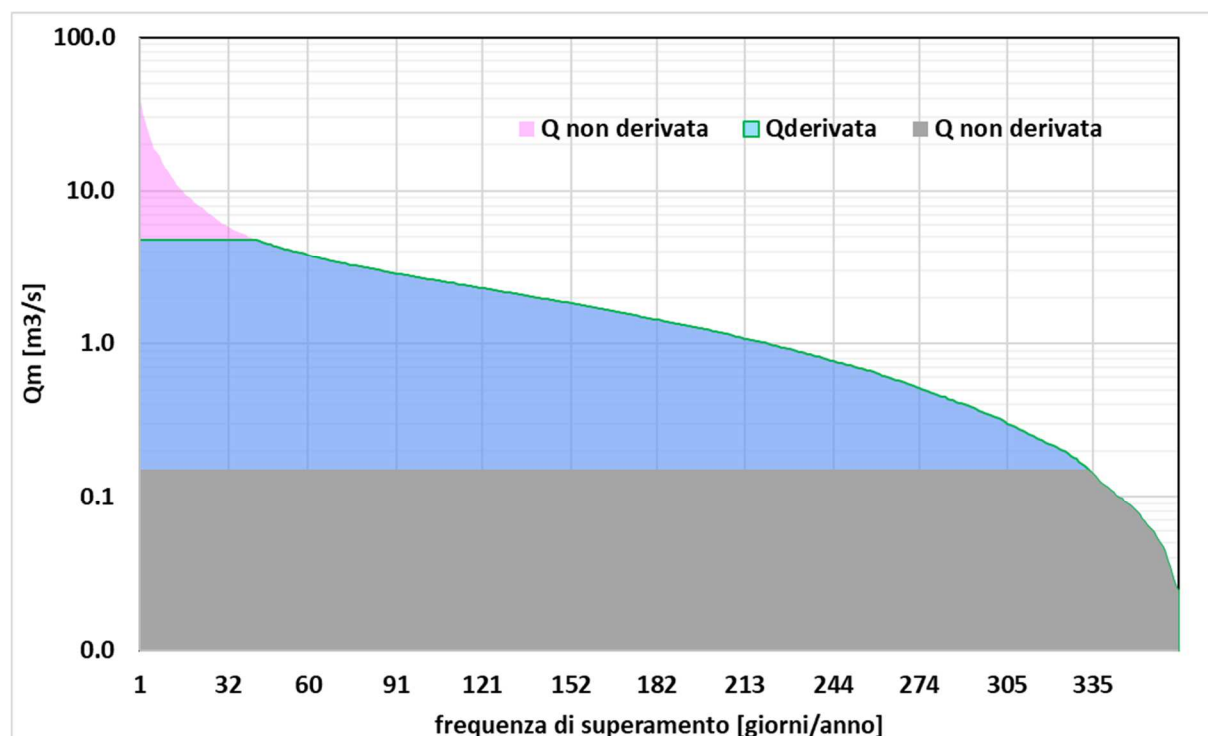


Figura 8-2: impianto di Marra di Corniglio - rappresentazione della curva di durata con indicazione dei volumi derivabili e non derivabili per portate superiori alle massime derivabili o inferiori al limite tecnico d'impianto

Dall'analisi dei dati di portata media annua derivabile risulta che:

- per l'impianto di Bosco di Corniglio la portata media derivabile risulta sensibilmente superiore alla portata media di concessione attuale (+45%) e leggermente inferiore alla portata media di concessione richiesta da Enel nell'ambito della portata di concessione in sanatoria presentata in data 26/10/2001 (-8%);
- per l'impianto di Marra di Corniglio la portata media derivabile risulta leggermente superiore alla portata media annua di concessione attuale (+4%) e inferiore alla portata media di concessione richiesta da Enel nell'ambito della portata di concessione in sanatoria presentata in data 26/10/2001 (-9%).

Tabella 16: calcolo delle portate medie annue derivabili e confronto con le portate di concessione

	Bosco di Corniglio	Marra di Corniglio
Portata media annua di concessione attuale [m³/s]	0.700	1.640
Portata media annua di concessione richiesta [m³/s]	1.100	1.878
Portata media annua derivabile Q_{DER} [m³/s]	1.014	1.703

9 CONCLUSIONI

Alla luce delle informazioni e delle analisi riportate nel seguente documento si ritiene che i valori di portata derivabile dagli impianti di Bosco di Corniglio e Marra di Corniglio possano essere aggiornati come riportato nella seguente tabella.

	Bosco di Corniglio	Marra di Corniglio
Valori di concessione attuale		
Portata media di concessione	0.700 m ³ /s	1.640 m ³ /s
Portata massima di concessione	1.000 m ³ /s	3.280 m ³ /s
Salto di concessione	190.40 m	152.00 m
Potenza nominale di concessione	1306 kW	2446.46 kW
Risultati relazione idrologica		
Portata media naturale	1.742 m ³ /s	2.593 m ³ /s
Valori di concessione proposti		
Portata media di concessione	1.014 m ³ /s	1.703 m ³ /s
Portata massima di concessione	2.639 m ³ /s	4.800 m ³ /s
Salto di concessione	190.40 m	152.00 m
Potenza nominale di concessione	1893.2 kW	2538.3 kW