

Workshop Dighe e Territorio La realtà della Sardegna

Cagliari
6-7 giugno 2025

Ricostruzione dei
deflussi naturali alle
dighe da bilancio
idrologico.

Prof. Roberto Deidda
Università degli studi di Cagliari
rdeidda@unica.it



REGIONE AUTONOMA
DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA
DELLA SARDEGNA



Enas

Ente Abbas de Sardinia
Ente Acque della Sardegna

Dams & Reservoirs DAY



2025



Water and Energy security for Europe



UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

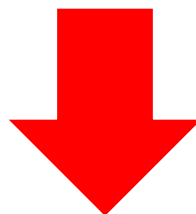
Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura



Sulla scelta del titolo

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

~~Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.~~

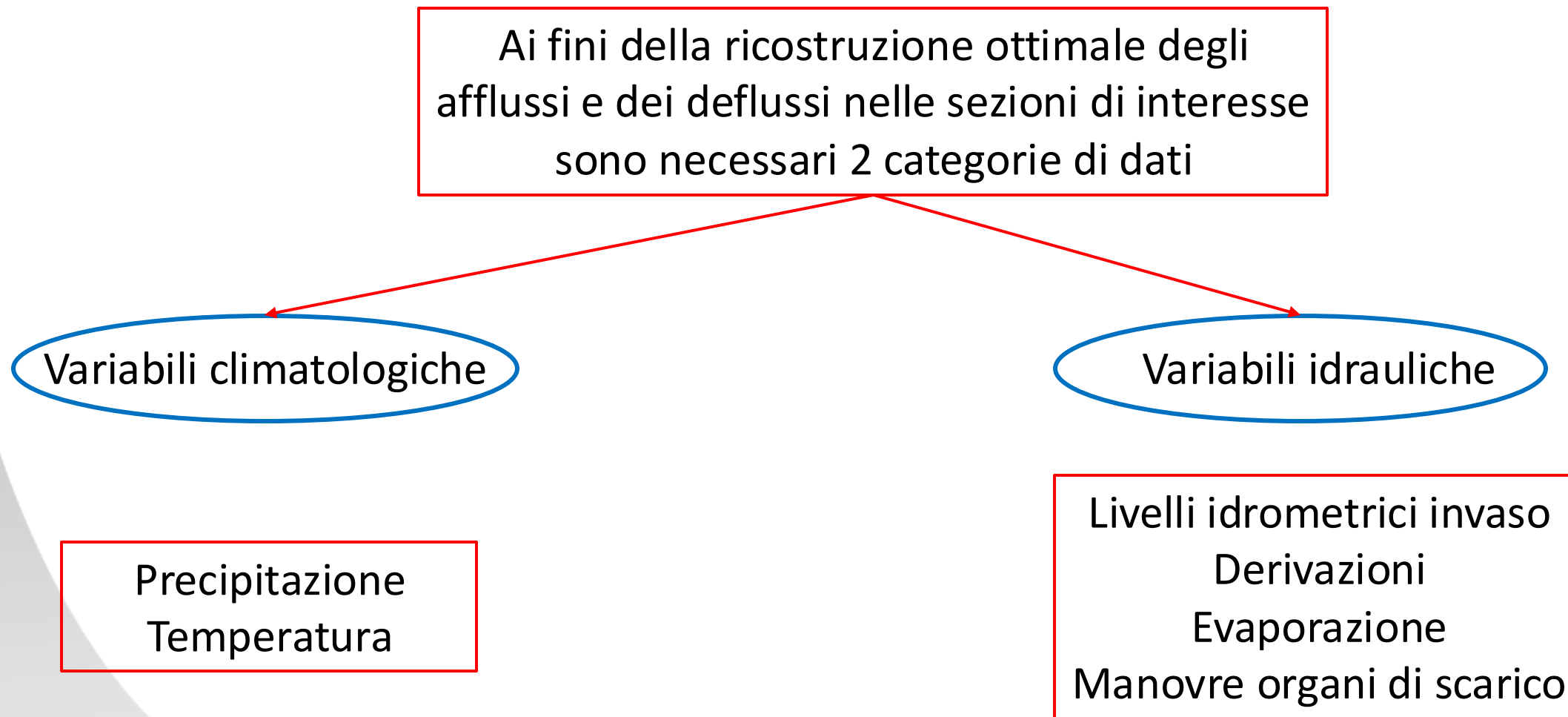


Affidabilità delle misure idrologiche e non solo.



Censimento variabili

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.



Censimento variabili climatologiche

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

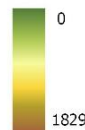
Rete fiduciaria:

- 113 stazioni termo-pluvio in tempo reale
- Anno installazione della rete: 2007
- Dt precipitazione: 1 minuto
- Dt temperatura: 30 minuti

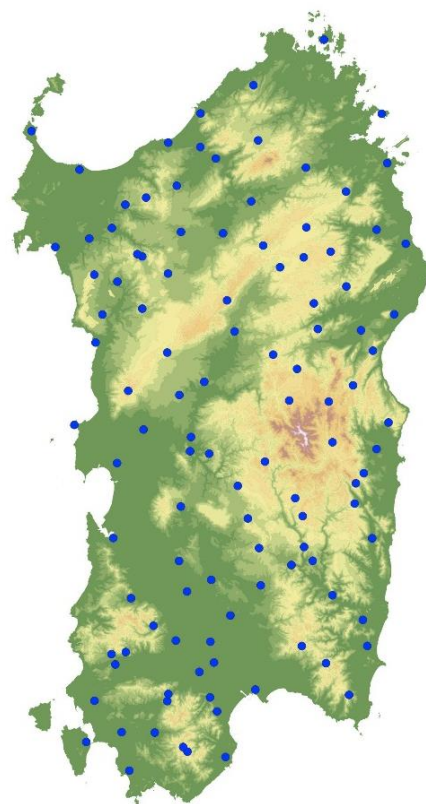


• Stazioni Termo-Pluvio

Orografia



0 25 50 km



Serie storiche precipitazione giornaliera fornite da ARPAS circa 270 stazioni



Censimento variabili idrauliche

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

Sono presenti 56 dighe nel territorio regionale gestite da ENAS, ENEL e altri enti

Variabili da acquisire:

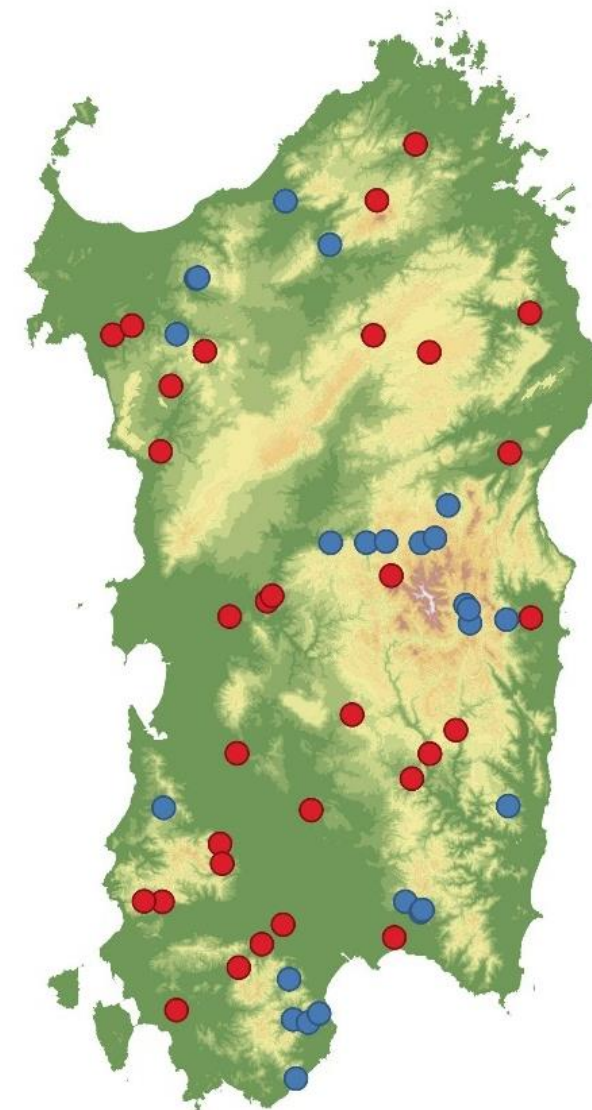
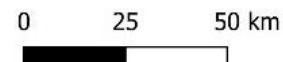
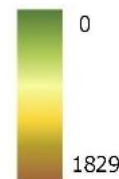
- Livelli invasati
- Erogazioni civili, irrigue, industriali e idroelettriche
- Evaporazione
- Manovre di scarico
- Perdite
- Trasferimenti verso altri invasi

Prodotte **32 schede monografiche** per ogni diga di interesse.



- Dighe altri gestori
- Dighe ENAS

Orografia



Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

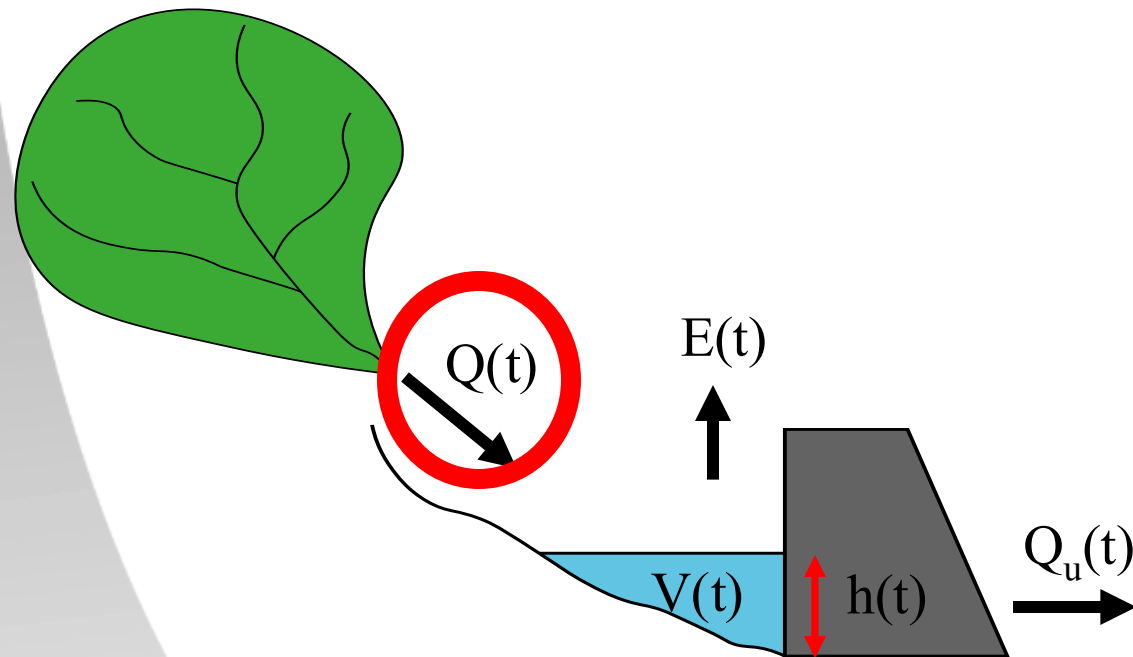


Metodologia per la stima del deflusso superficiale

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

Equazione di continuità

$$\frac{\Delta V(t)}{\Delta t} = Q(t) - Q_u(t) - E(t)S(t) \pm Q_{inv}(t)$$



Bilancio ricostruito per il periodo
2012-2023

$$Q(t) = \frac{\Delta V(t)}{\Delta t} + Q_u(t) + E(t)S(t) \pm Q_{inv}(t)$$

- $Q(t)$ = Deflusso superficiale [L^3/T] ?
- $V(t)$ = Volume invasato [L^3]
- $Q_u(t)$ = Deflusso in uscita [L^3/T]
- $E(t)$ = Tasso di evaporazione da superficie liquida [L/T]
- $S(t)$ = Superficie specchio liquido [L^2]
- $Q_{inv}(t)$ = Portata trasferita altro invaso [L^3/T]

$Q_u(t)$: { Scarichi
Sfiori
Erogazioni civili/industriali/irrigue/idroelettriche
Perdite (?)

... la qualità della ricostruzione dipende dalla bontà dei flussi in gioco

Metodologia per la stima del deflusso superficiale

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

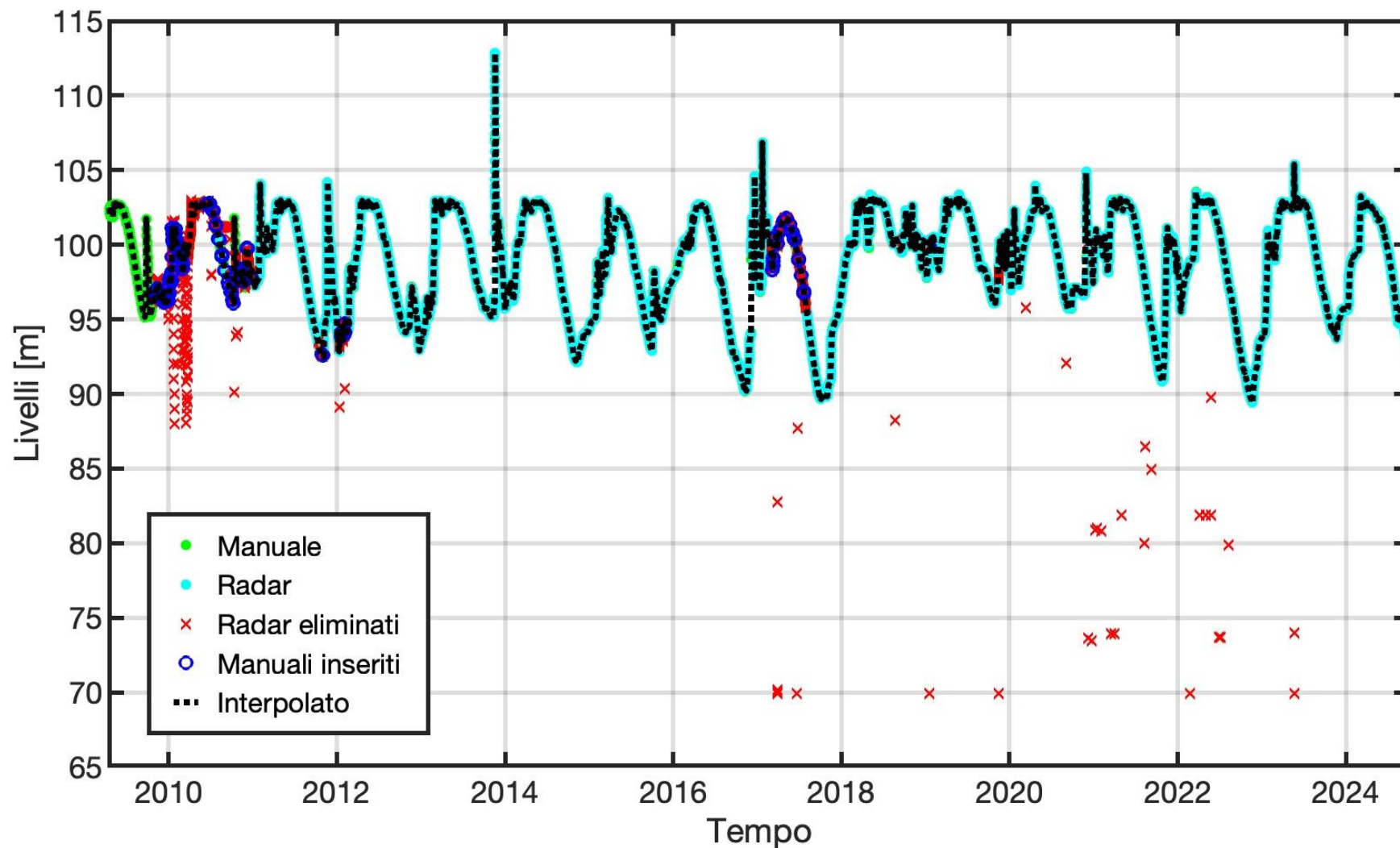
- **Considerate solo le dighe ENAS.**
- La maggior parte dei dati è disponibile in formato digitale con inizio rilevazioni dal **2008**.
- Per alcune dighe è stato acquisito il registro diga (manoscritto): i livelli sono stati trascritti in digitale.
- Alcuni dati, come gli ingressi da altri invasi o le perdite, raramente vengono misurati.
- Le registrazioni delle manovre degli organi di scarico sono spesso imprecise (es. assenza orari o gradi di apertura).
- Molti dati sono incompleti e poco affidabili (es. evaporimetri mal posizionati, scarsa manutenzione)
- **Tutti i dati necessitano di un lungo lavoro di pre-processing.**





Ricostruzione serie storica dei volumi invasati (livelli + scala volumi)

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.



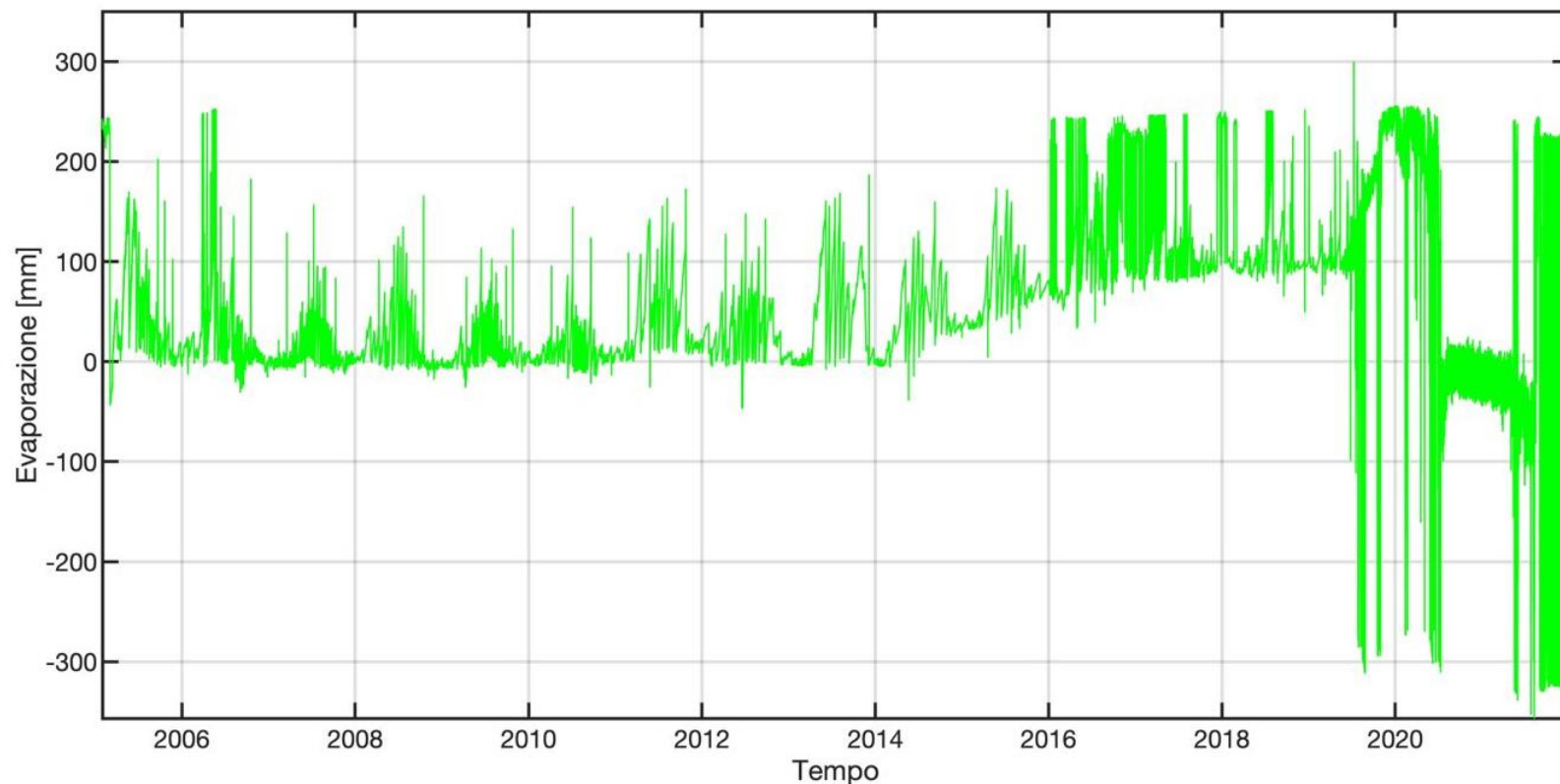
1) Integrazione tra dati radar e dati rilevati da lettura su asta idrometrica.

2) Ricampionamento del segnale con passo temporale al minuto.



Ricostruzione serie storica di evaporazione

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.



Per la stima dell'evaporazione da specchio liquido, sfruttando i dati registrati tramite evaporimetro in diga, si è studiata la correlazione con l'evaporazione stimata mediante la formula di Thornthwaite.

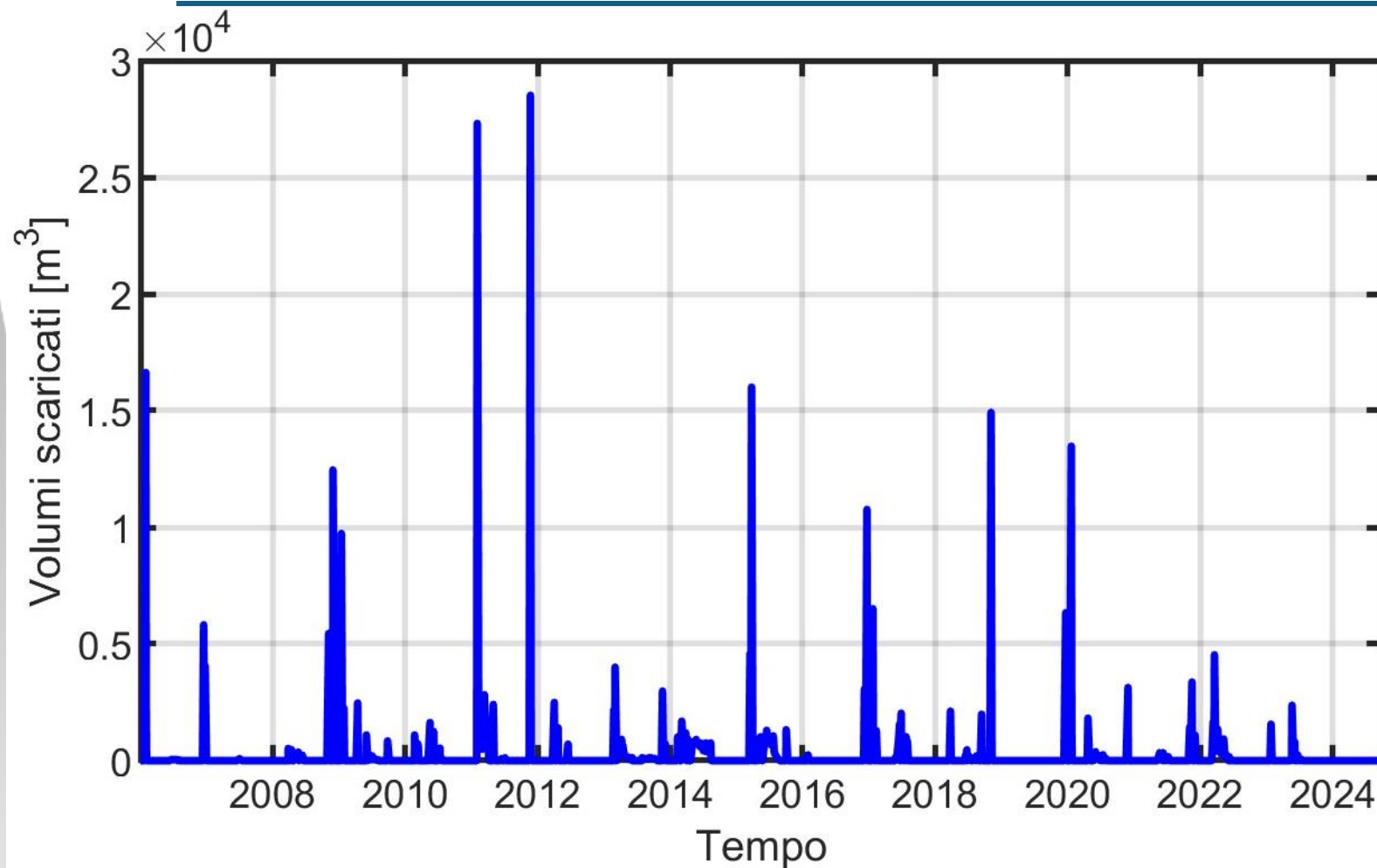
Evaporimetro
di classe A





Ricostruzione serie storica dei volumi scaricati

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.



Registro diga

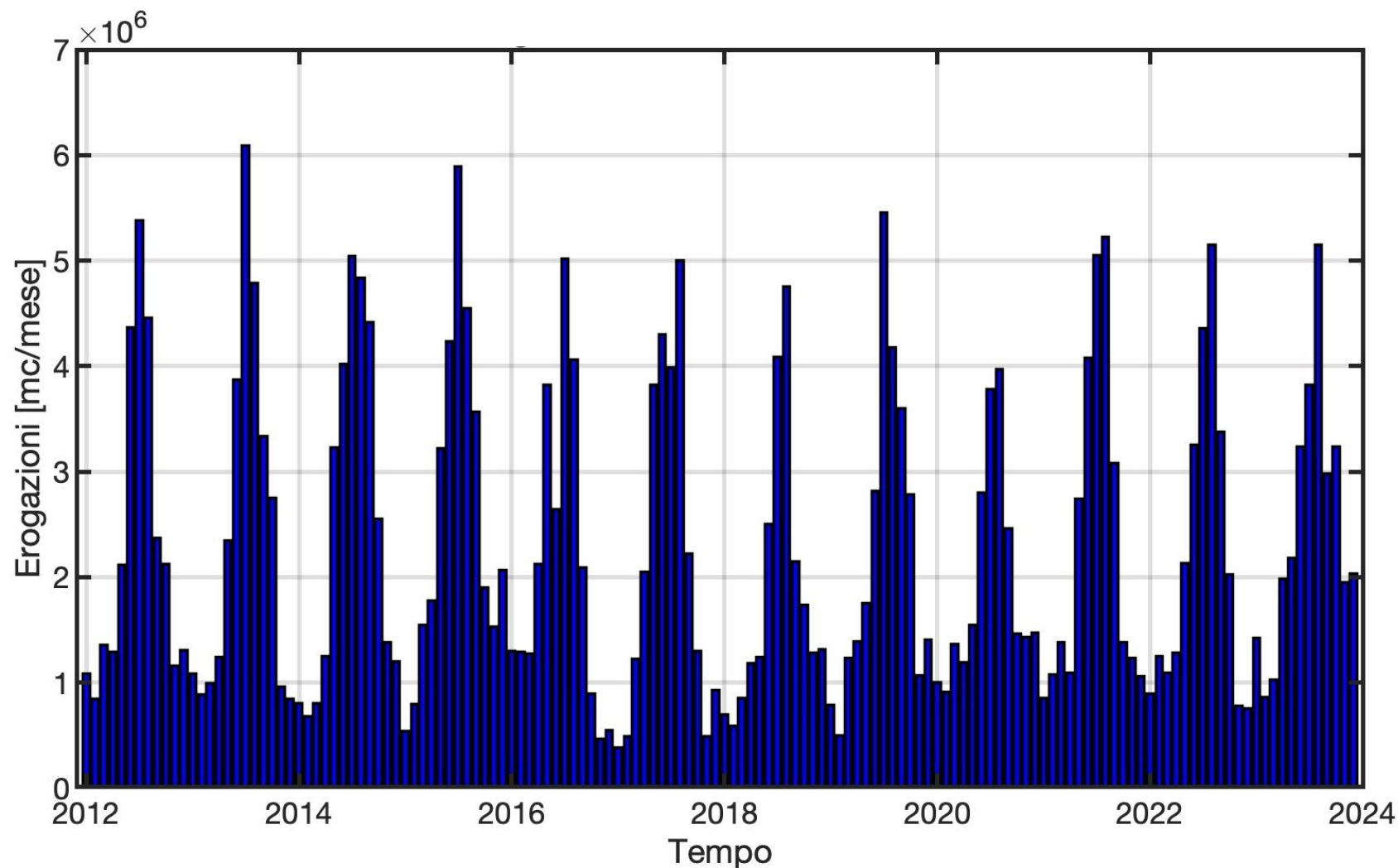
Le informazioni sono state recuperate dal registro diga.
Le informazioni mancanti sulle date di apertura e chiusura degli organi di scarico sono state ricostruite (quando possibile) dall'analisi dei livelli invasati.

Data	26 Febbraio 2013	ore 9:00
Quota invaso	555,77	m s.l.m.
Apertura scarico di fondo	A = 10	cm
Portata scaricata	Q = 7,76	m³/s
Data	27 Febbraio 2013	ore 8:00
Quota invaso	Q = 555,57	m s.l.m.
Apertura scarico di fondo	A = 10	cm
Portata scaricata	Q = 7,75	m³/s
Volume scaricato (nelle 23 ore prec.)	V = 642,528	m³
Data	28 Febbraio 2013	ore 8:00
Quota invaso	q = 555,44	m s.l.m.
Apertura scarico di fondo	A = 10	cm
Portata scaricata	Q = 7,73	m³/s
Volume scaricato (nelle 24 h prec.)	V = 668,600	m³
Data	1 Marzo 2013	
Quota invaso	q = 555,25	m s.l.m.
Apertura scarico di fondo	A = 10	cm
Portata scaricata	Q = 7,72	m³/s
Volume scaricato (nelle 24 h prec.)	V = 667,872	m³
Data	2 Marzo 2013	
Quota invaso	q = 555,34	m s.l.m.
Apertura scarico di fondo	A = 10	cm
Portata scaricata	Q = 7,73	m³/s
Volume scaricato (nelle 24 h prec.)	V = 667,008	m³



Ricostruzione serie storica dei volumi erogati

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.



Si è fatto riferimento ai volumi fatturati dal gestore multisettoriale a scala mensile.

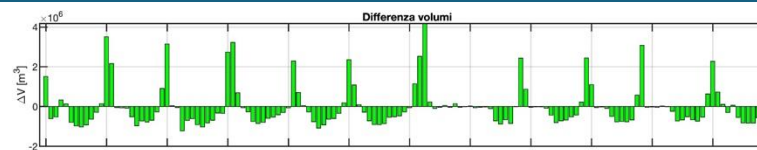
Dati forniti dall'ADIS.



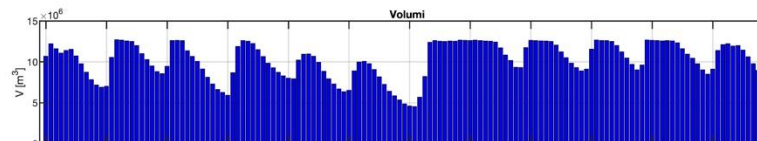
Implementazione delle variabili nell'equazione di continuità

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

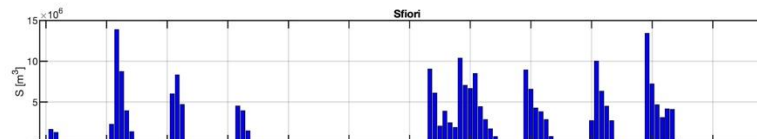
Variazione volume



Volumi invasati



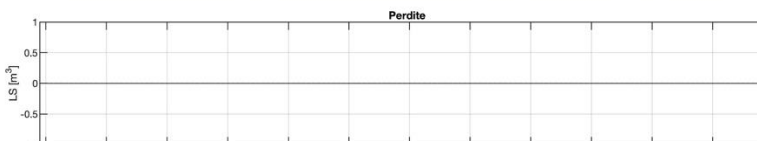
Volumi scaricati



Volumi evaporati



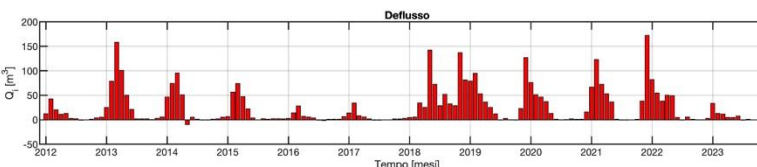
Perdite corpo diga



Volumi erogati



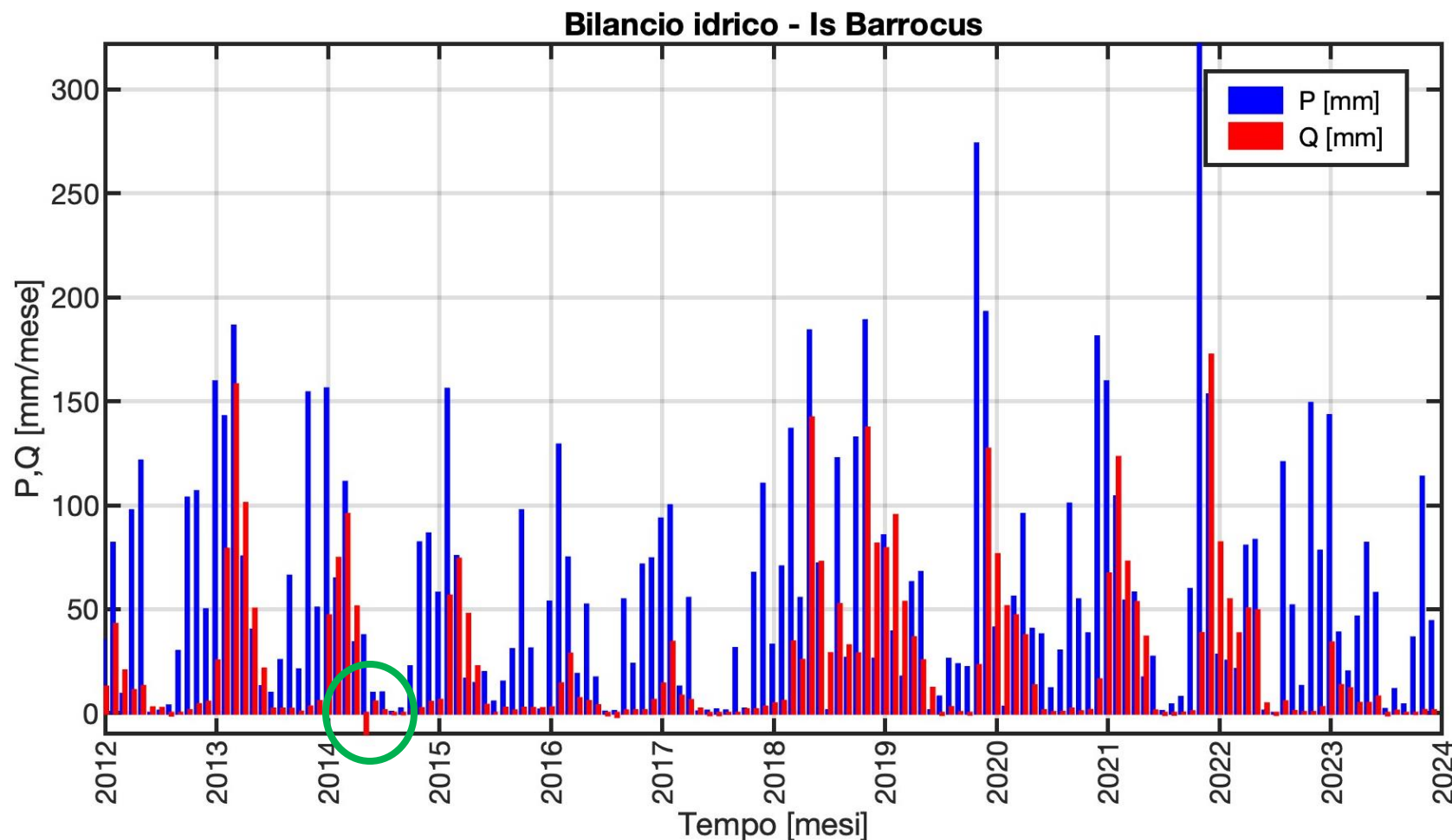
Deflusso ricostruito





Risultati: deflusso superficiale alla diga Is Barroccus

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.



**Risultati di un caso
semplice:**

Is Barroccus.

L'invaso non presenta
interconnessioni.

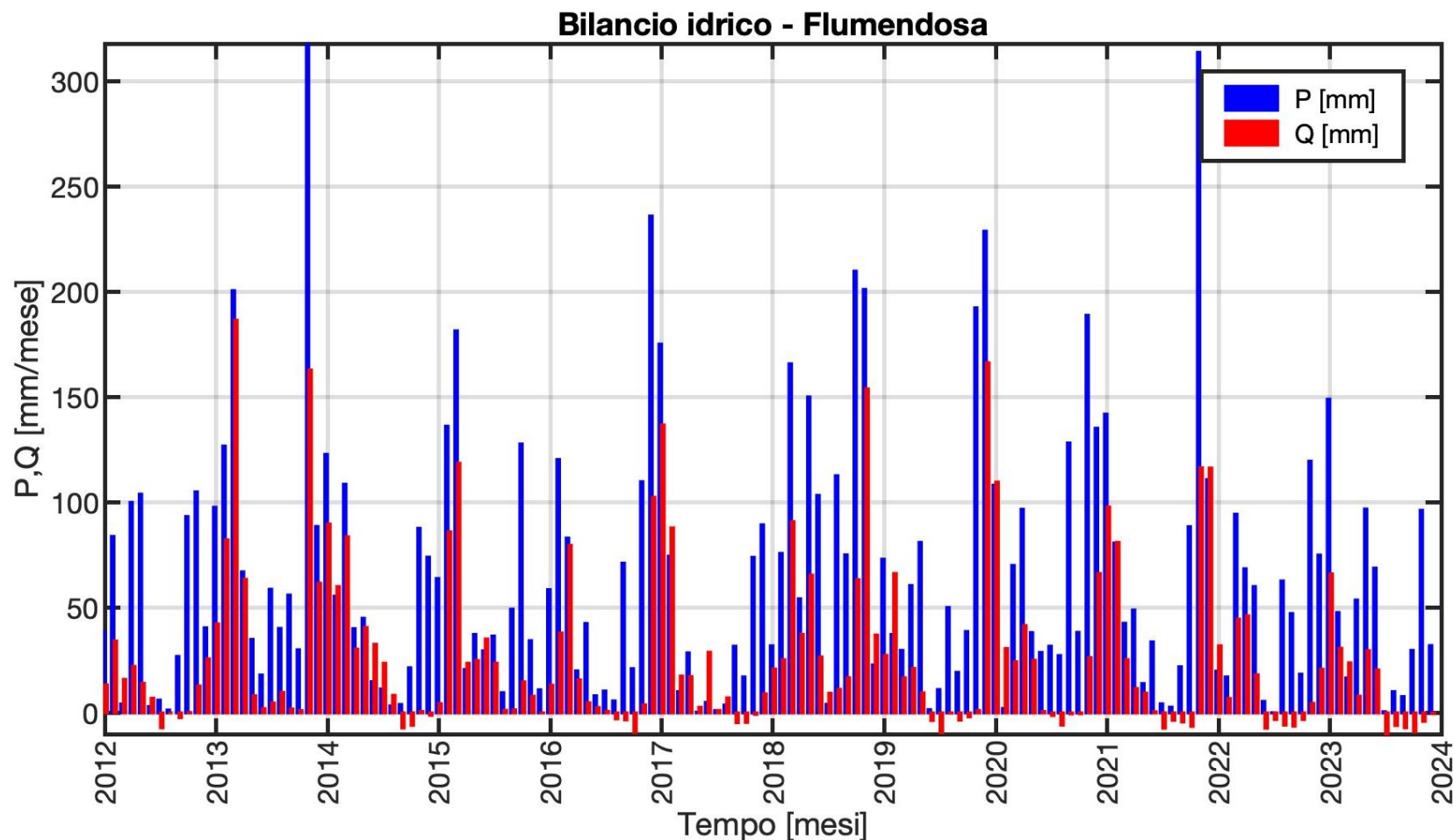
I risultati sono buoni.

*... il cerchio verde evidenzia
una criticità dovuta alla
mancanza di registrazione
manovra (poi ipotizzata
dalla analisi dei livelli)*



Risultati: deflusso superficiale del Flumendosa

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.



Risultati di un caso complesso: Flumendosa

Ai fini della ricostruzione è stato ipotizzato un invaso virtuale dato dalla somma dei volumi invasati nelle dighe di Capanna Silicheri, Nuraghe Arrubiu e Mulargia

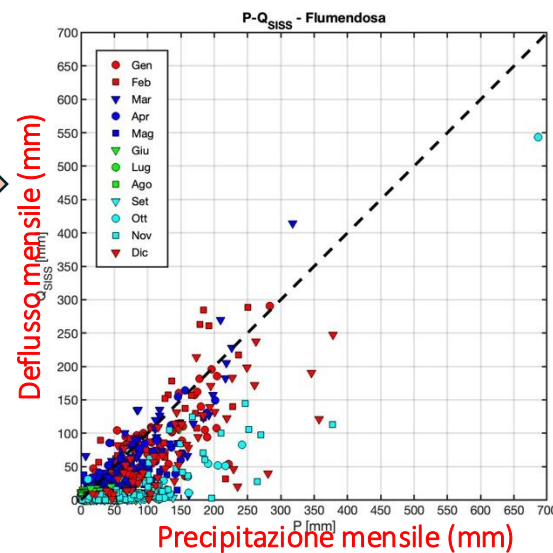
... anche in questo caso sono presenti anomalie prevalentemente nei mesi estivi



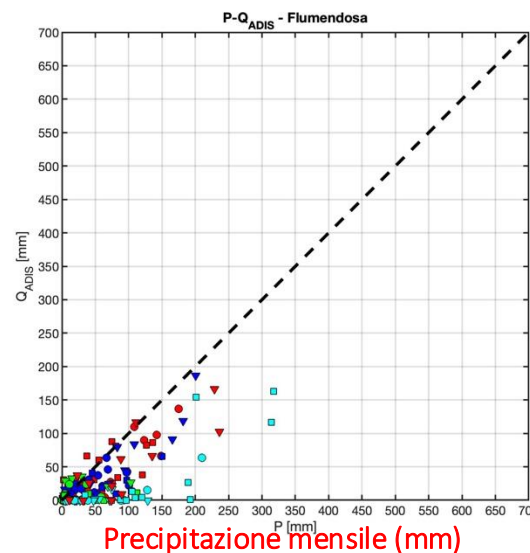
Risultati: confronto con le serie di deflusso del SISS. Risultati Flumendosa

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

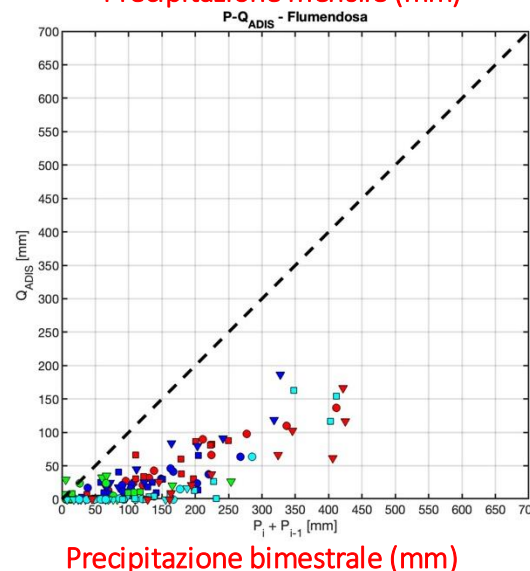
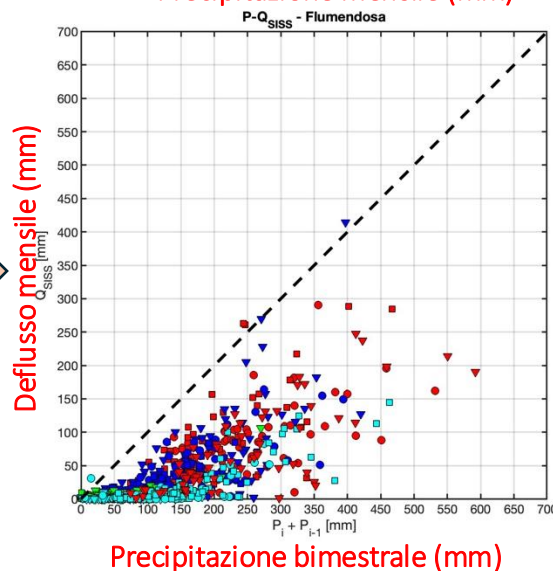
Serie SISS
a scala mensile



Serie DICAAR
a scala mensile



In ascissa si ha la
somma delle
precipitazioni





Risultati: elenco dei bilanci agli invasi ricostruiti

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

Bilanci ricostruiti ai seguenti invasi:

- Bau Pressiu
- Bidighinuzu
- Capanna Silicheri
- Genna is Abis
- Flumendosa aggregato
- Is Barrocos
- Liscia
- Maccheronis
- Monte Lerno
- Monte Pranu
- Pedra e Othoni
- Rio Leni
- Sos canales
- Torrei

Ancora in fase di verifica

Alcuni risultati appaiono poco attendibili a causa della bassa qualità delle misure o perché mancano registrazioni di alcuni flussi necessari per il bilancio.

... verifiche fatte e in programma:

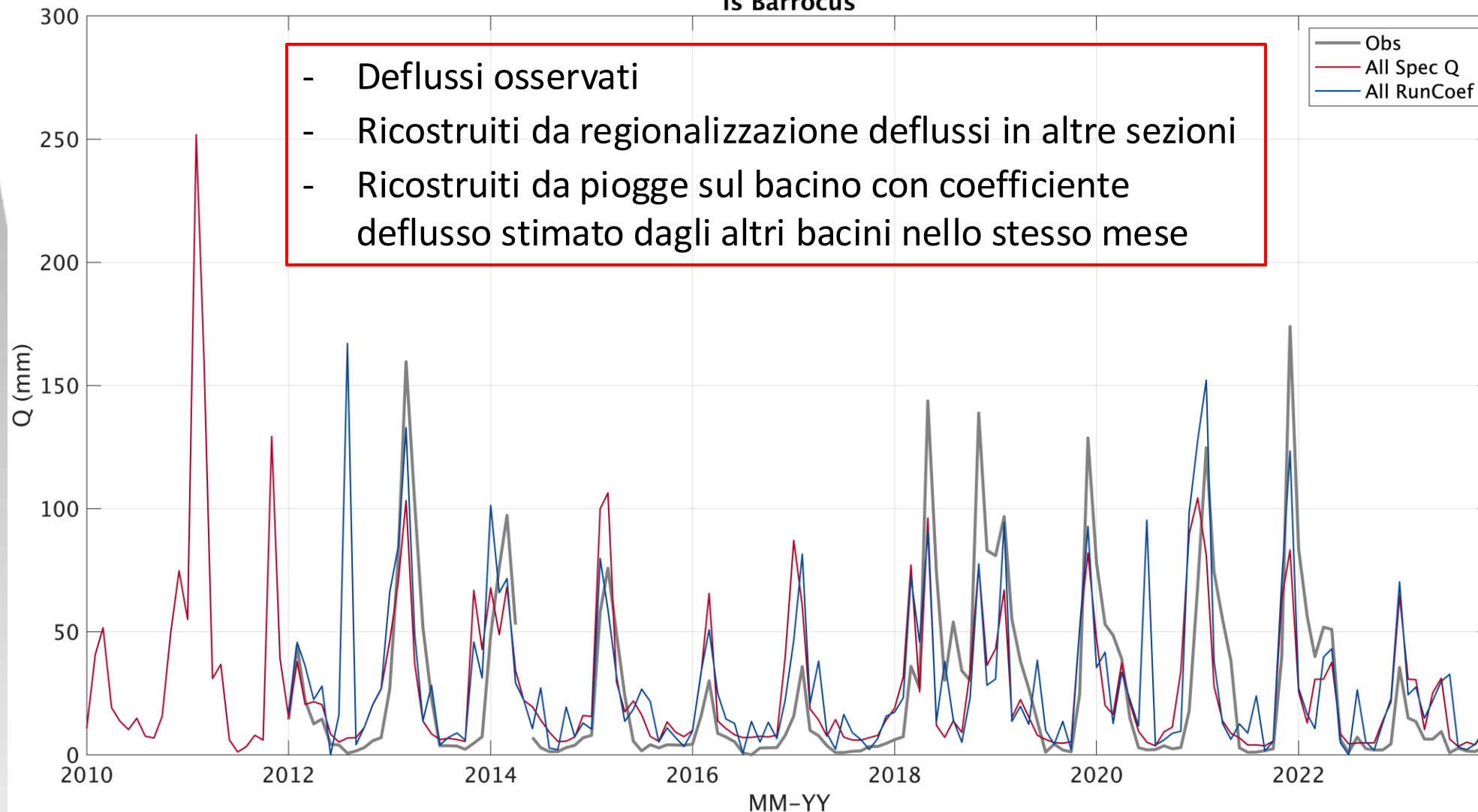
- di tipo visivo: analizzando nel dettaglio le anomalie es. verificando a piccola scala temporale le incongruenze
- con ausili automatici: correlazioni, tecniche di ricostruzione etc.



Confronti con deflussi ricostruiti da regionalizzazione

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

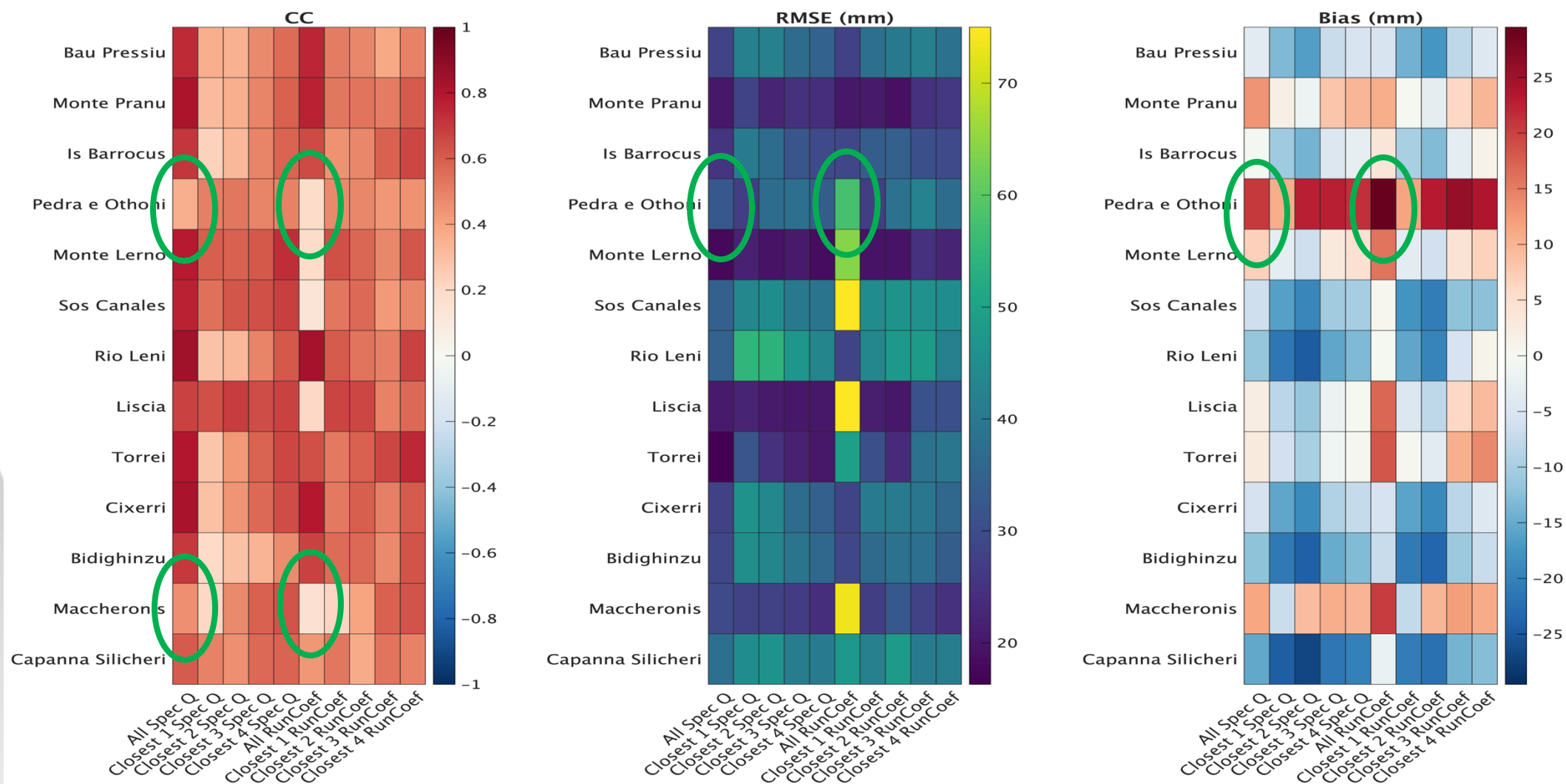
Is Barroccus





Metriche di coerenza con i deflussi ricostruiti da regionalizzazione

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.



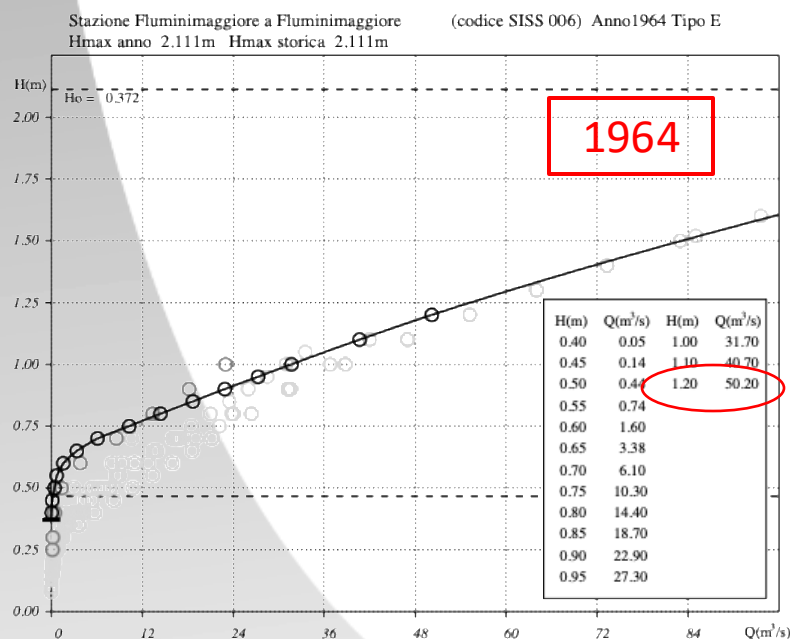


Almeno sulle misure dirette di portata possiamo riporre fiducia?

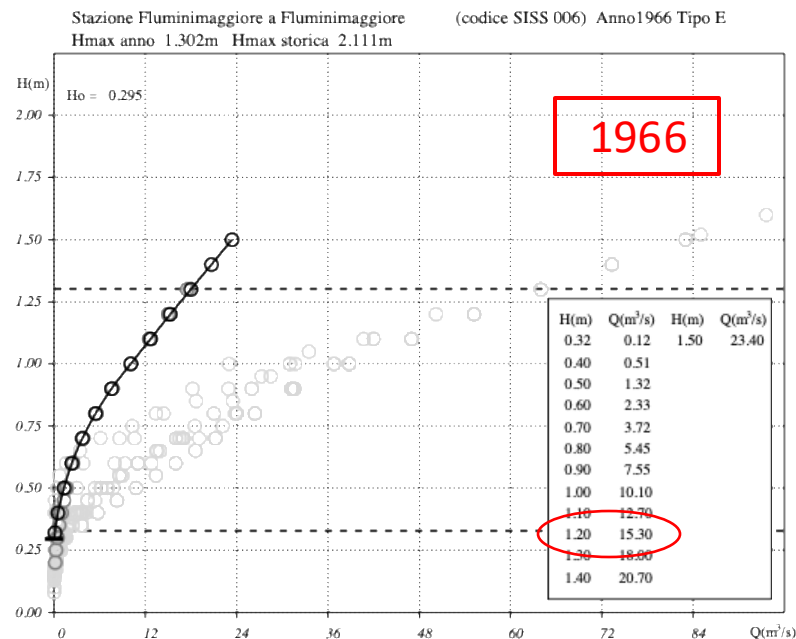
Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

Scale di deflusso nella sezione di Fluminimaggiore

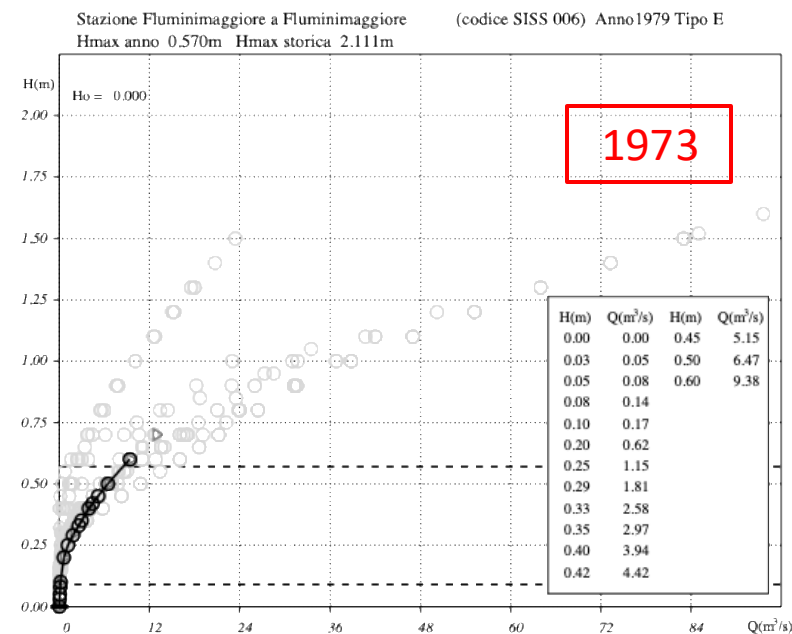
Per il livello idrometrico $H = 1,0$ m $\rightarrow$ intervallo di portate $Q = 10-38$ mc/s



$H=1,2$ m $\rightarrow$ $Q = 50$ mc/s



$H=1,2$ m $\rightarrow$ $Q = 15$ mc/s



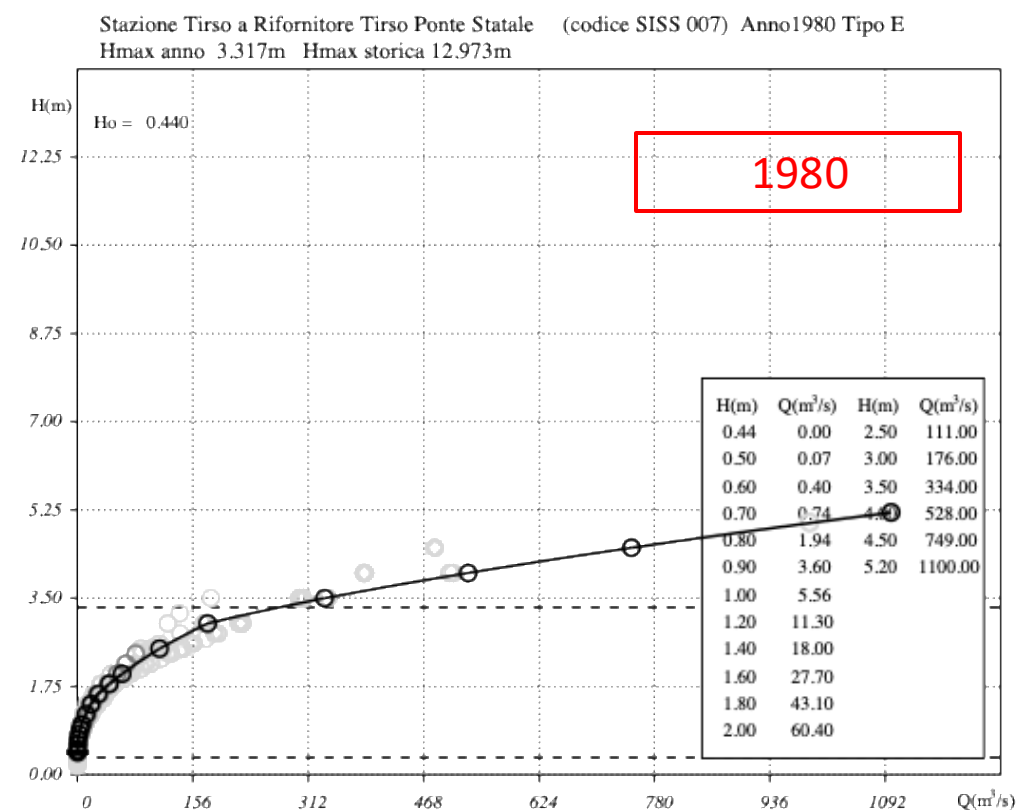
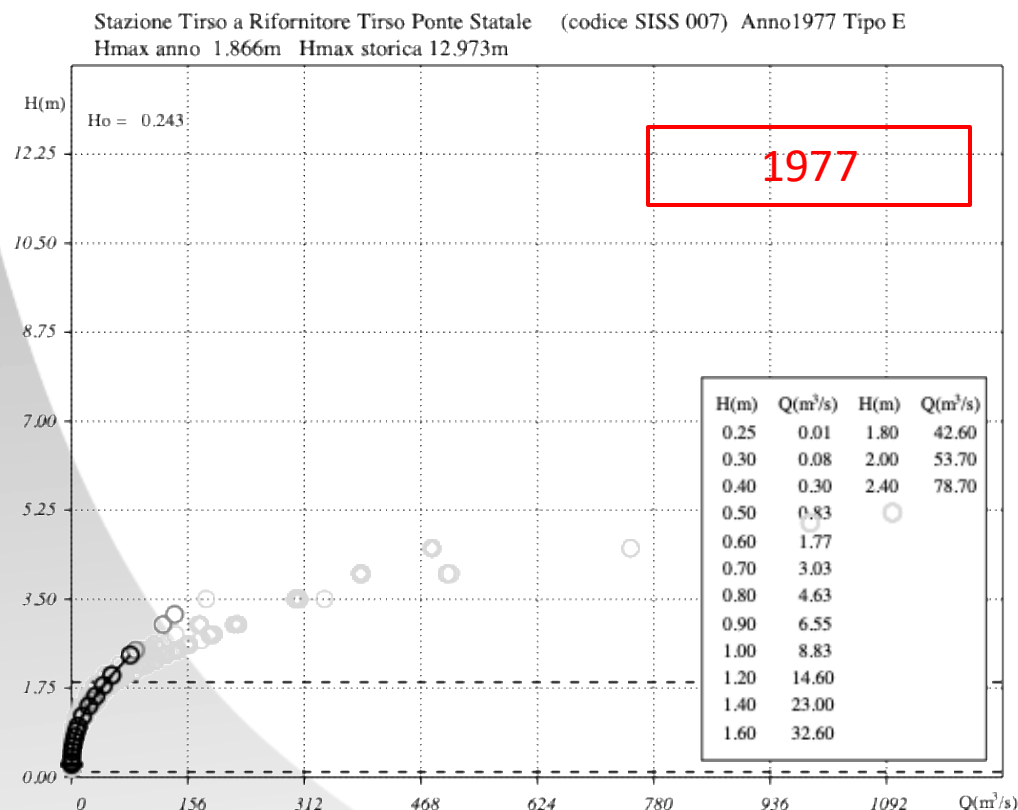


Altro esempio di scale ballerine

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

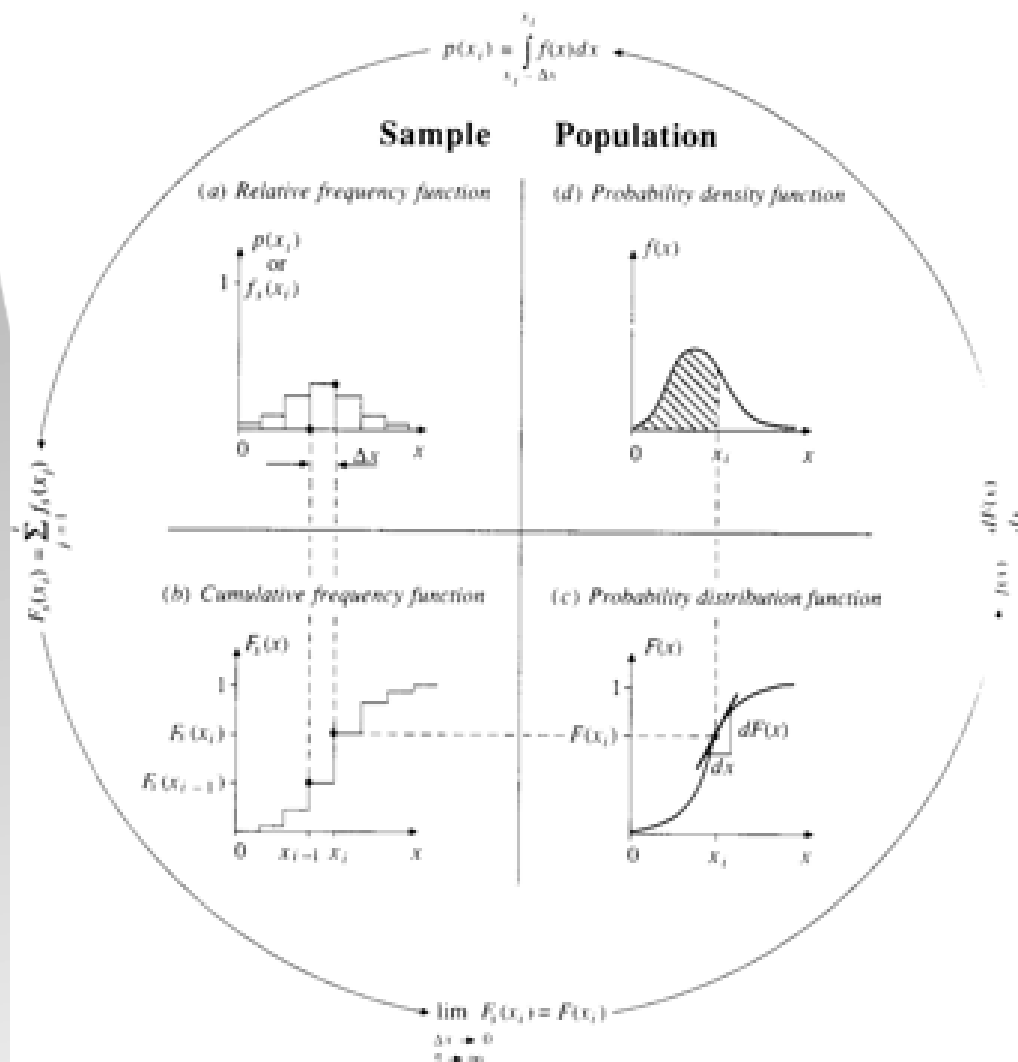
Scale di deflusso nella sezione di Rifornitore Tirso

Per il livello idrometrico $H = 3,5$ m $\rightarrow$ intervallo di portate $Q = 160$ - 330 mc/s

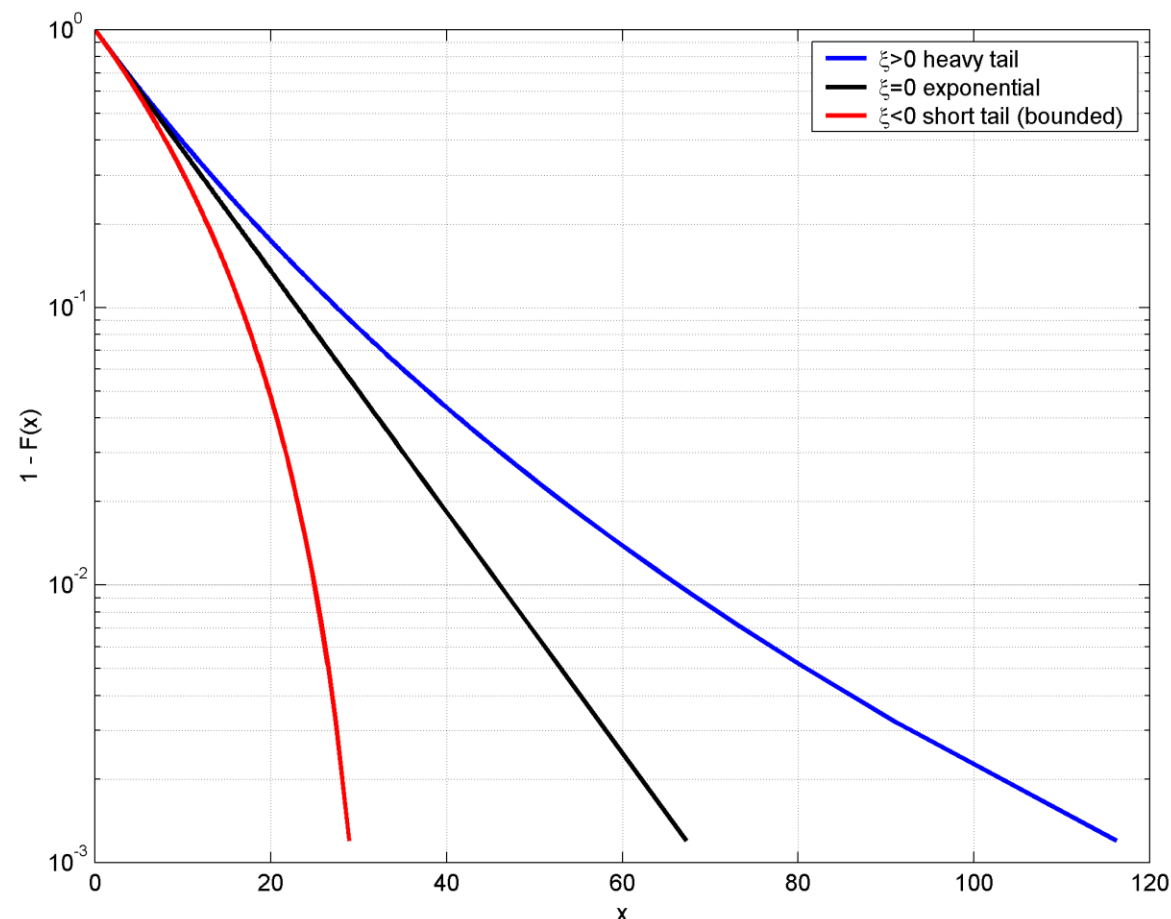


Almeno della misura della pioggia possiamo fidarci?

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.



Carta probabilistica per distribuzioni esponenziali:
nelle ordinate si riporta $\log(1-F(x))$



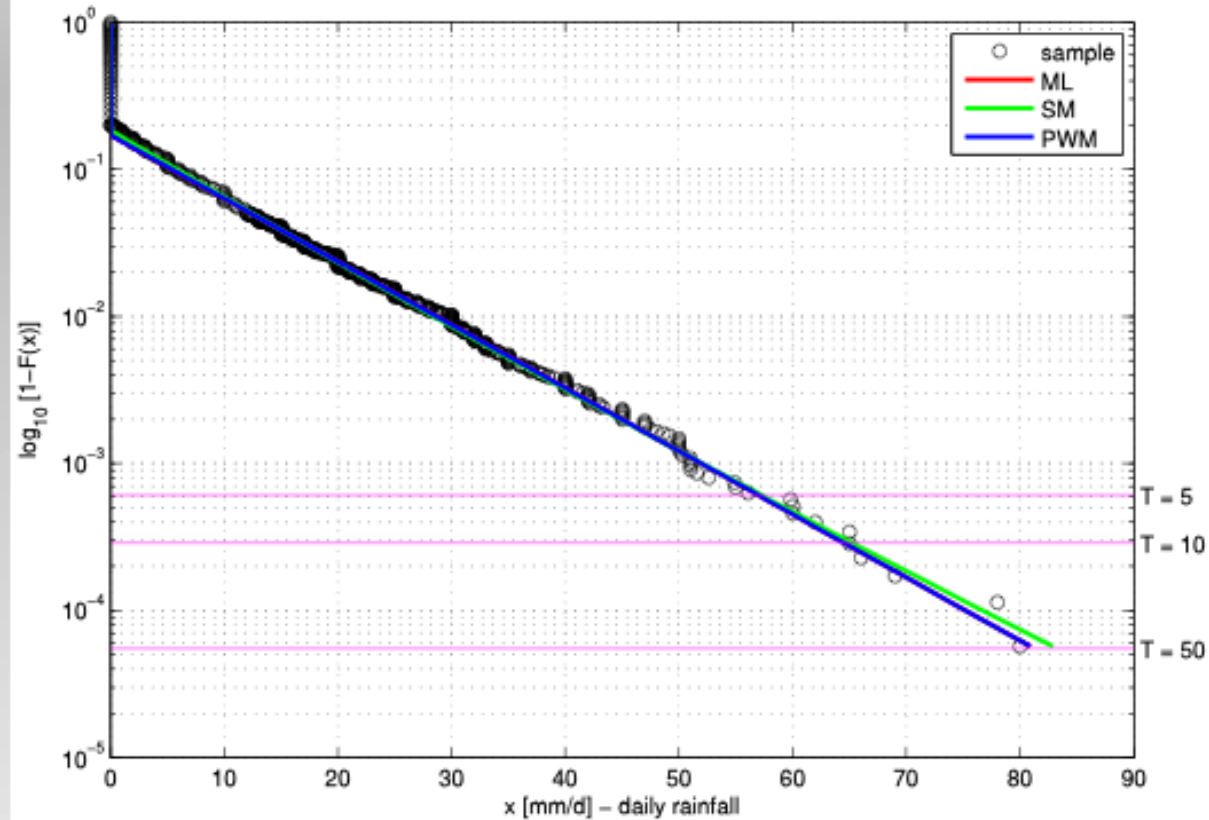


Almeno della misura della pioggia possiamo fidarci?

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

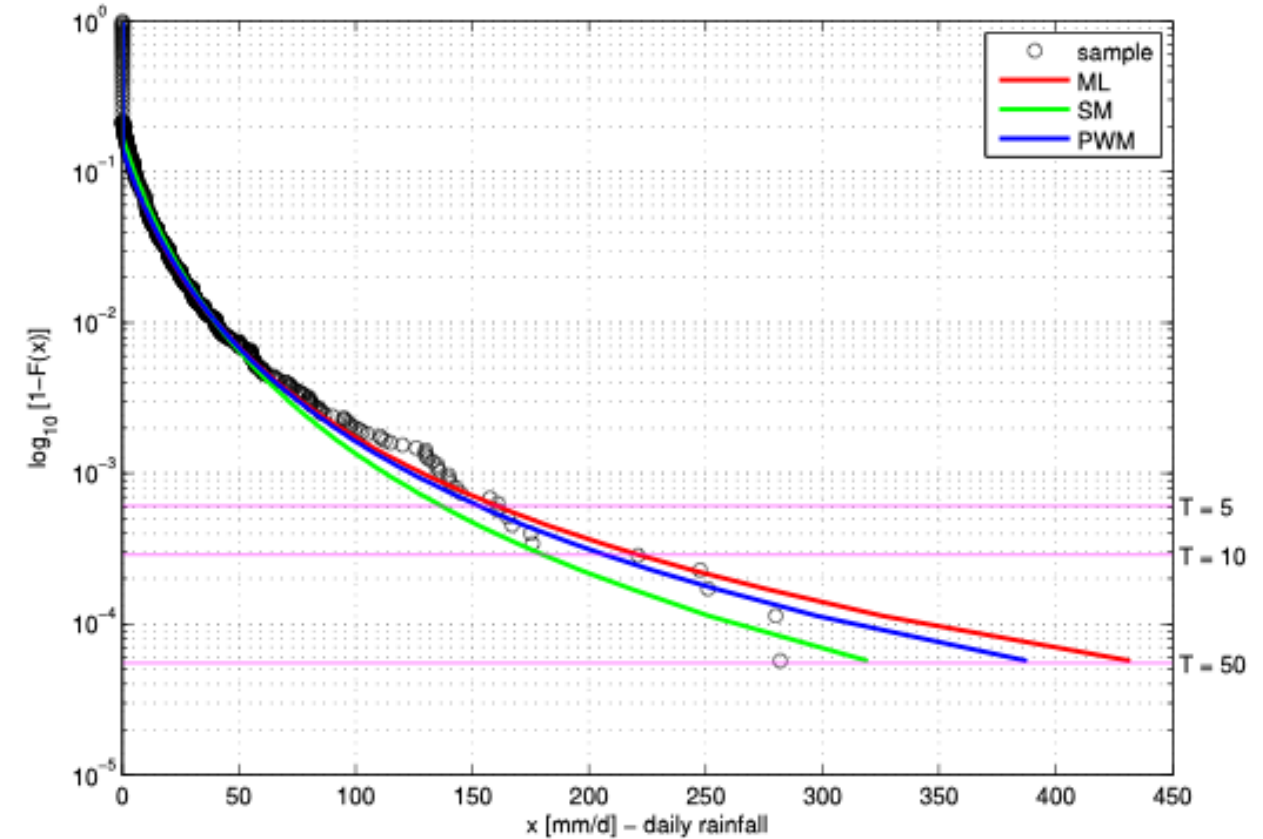
CDF of MTM GPD fit – st 004 [Gergei] – 48 years – ML ($\xi_0 = 0.00 - \alpha_0 = 10.11 - \zeta_0 = 0.17$)

SM ($\xi_0 = 0.02 - \alpha_0 = 9.49 - \zeta_0 = 0.18$) – PWM ($\xi_0 = 0.00 - \alpha_0 = 10.11 - \zeta_0 = 0.17$)



CDF of MTM GPD fit – st 295 [Lula] – 48 years – ML ($\xi_0 = 0.39 - \alpha_0 = 8.27 - \zeta_0 = 0.16$)

SM ($\xi_0 = 0.32 - \alpha_0 = 8.76 - \zeta_0 = 0.17$) – PWM ($\xi_0 = 0.36 - \alpha_0 = 9.10 - \zeta_0 = 0.14$)





Almeno della misura della pioggia possiamo fidarci?

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

ISILI												Giorno	GERGHI											
Bacino: FLUMINIMANNU													Bacino: FLUMINIMANNU											
(127 m s. m.)													(124 m s. m.)											
G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D		G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
30.0	20.0	—	30.0	—	—	—	—	—	—	2.5	25.0	1	4.0	8.0	8.0	30.0	—	—	—	—	—	—	1.0	35.0
25.0	2.5	15.0	17.5	—	—	—	—	—	—	—	7.0	2	7.0	30.0	—	17.0	—	—	—	—	—	—	—	3.0
20.0	10.0	—	—	11.5	—	—	—	—	—	—	12.0	3	6.0	5.0	—	1.0	30.0	—	—	—	—	—	—	6.0
—	—	3.0*	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	4	—	—	25.0	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0
—	—	4.2*	15.0	—	—	—	—	—	—	—	—	5	—	—	6.0	10.0	—	—	—	—	—	—	—	1.0
—	—	18.0*	7.5	—	—	—	—	—	—	—	—	6	—	—	13.0*	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	—	—	0.0*	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9	—	—	—	—	—	—	—	45.0	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10	—	—	7.0	5.0	—	—	—	—	—	28.0	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	—	—	—	—	30.0	48.0	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16.0	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	13	—	—	—	—	—	—	—	5.1	—	17.0	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	14	—	—	—	—	—	—	—	0.1	11.0	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15	5.0	—	17.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	16	—	—	13.0	20.0	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	17	—	—	30.0	5.0	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	18	—	—	7.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	19	—	—	20.0	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	20	5.0	—	—	—	5.0	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	21	20.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	22	18.0	—	—	—	—	—	—	—	—	8.0	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	23	20.0	—	15.0	—	—	—	—	—	—	10.0	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	25	5.0	—	—	—	—	10.0	—	—	—	11.0	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	27	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	28	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	29	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
186.0	125.5	117.2	116.5	25.0	—	—	—	127.0	17.5	137.5	56.0	Totale mese N. gg pioggia	40.0	88.0	124.0	44.0	46.0	—	103.0	—	102.2	23.0	188.0	63.0
9	7	10	9	3	—	—	—	5	3	12	6	Giorni piovosi 43	4	7	11	3	6	—	1	—	5	3	13	8
Totale annuo: 1010.2 mm												Totale annuo: 802.2 mm												

Giorno	IS ACQUAS (Sarcidano)											
	Bacino: FLUMINIMANNU											
	(100 m s. m.)											
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
1	6.3	6.2	1.2	18.0	—	—	—	—	—	—	—	25.0
2	3.8	—	—	11.0	—	—	—	—	—	—	—	1.0
3	—	6.0	5.0	6.2	3.0	—	—	—	—	—	—	10.0
4	11.0	61.0	36.2*	—	—	—	—	—	—	3.0	—	7.0
5	—	—	11.0*	10.0	—	—	—	—	21.0	—	—	1.0
6	—	—	20.0*	1.0	—	—	—	—	—	—	—	—
7	—	—	5.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	—	—	1.0	—	—	—	3.0	—	20.0	—	—	—
9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5.0	—
10	—	—	4.0	—	—	—	—	—	—	—	15.0	—
11	—	—	—	5.0	—	—	—	—	—	6.0	5.0	—
12	—	—	—	1.2	—	—	—	—	—	—	10.0	—
13	—	—	—	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	10.0	—	3.1	—	—	—	—	2.0	—	—
15	—	—	5.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	1.2	3.0	10.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	—	30.0	7.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	—	25.0	—	—	—	—	—	—	—	—	10.0	—
19	—	15.0	—	—	—	—	—	—	—	—	1.3	—
20	5.0	—	—	—	2.0	—	—	—	—	—	10.0	—
21	11.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	25.0	—	6.0	—	—	—	—	—	—	—	1.0	—
23	6.0	—	10.0	—	—	—	—	—	—	—	1.0	—
24	—	—	2.0	—	—	—	1.0	—	—	—	1.2	—
25	—	—	5.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26	—	—	—	—	—	—	—	—	15.0	—	—	—
27	—	—	—	—	5.0	—	—	—	6.1	—	21.1	—
28	—	—	—	—	15.0	—	—	—	1.0	1.0	15.0	—
29	—	—	1.0	—	—	—	—	—	—	—	5.0	2.0
30	—	—	—	—	—	—	—	—	1.0	—	1.0	8.0
31	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11.3
Totale mese N. gg pioggia	72.7	125.2	117.4	62.4	28.1	—	4.0	—	63.3	14.0	105.6	65.3
	8	7	17	8	3	—	2	—	6	4	14	8
Totale annuo: 578.0 mm												
Giorni piovosi 79												

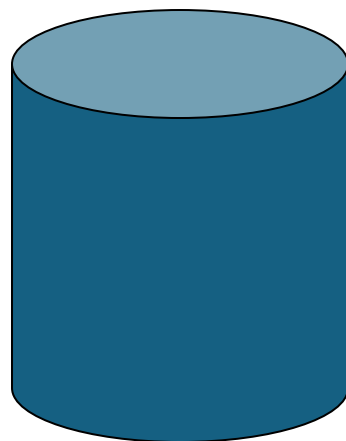


Almeno della misura della pioggia possiamo fidarci?

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

La bocca dei pluviografi ha una superficie di 0.1 m^2 orifice, quindi a 10 mm corrisponde un volume di 1 litro

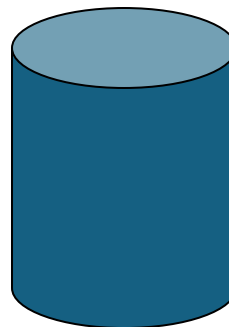
Le misure giornaliere devono essere effettuate con tre misurini.



1 litro



10 mm



$\frac{1}{2}$ litro



5 mm



0.1 litro



1 mm

$\frac{1}{10}$ ticks



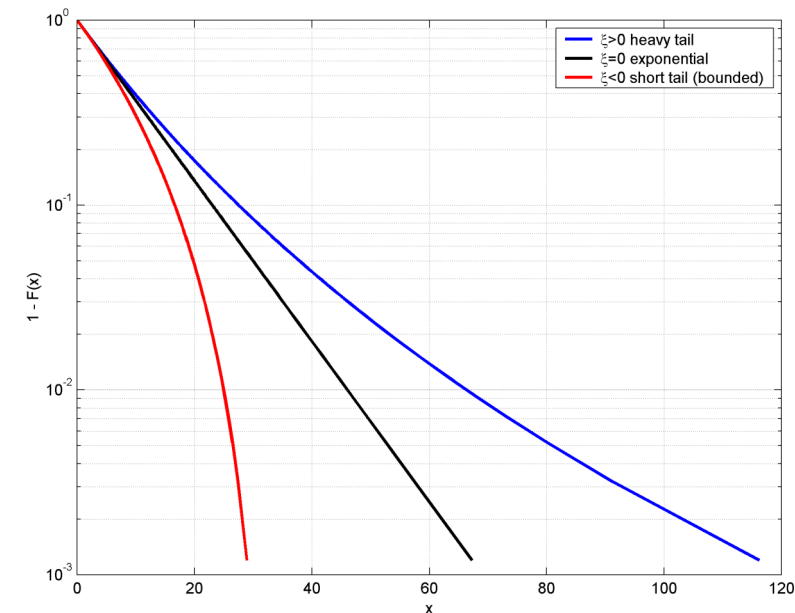
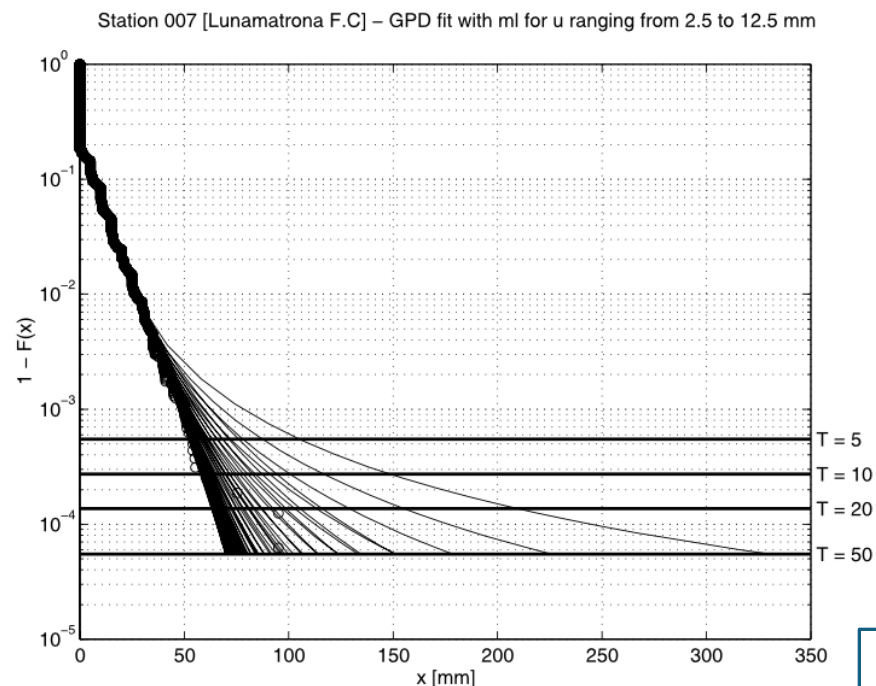
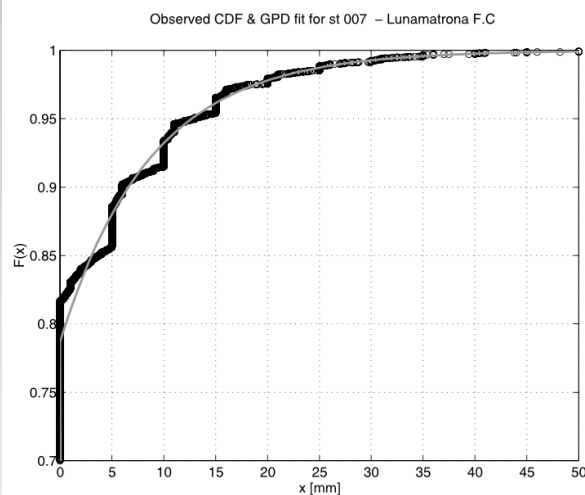
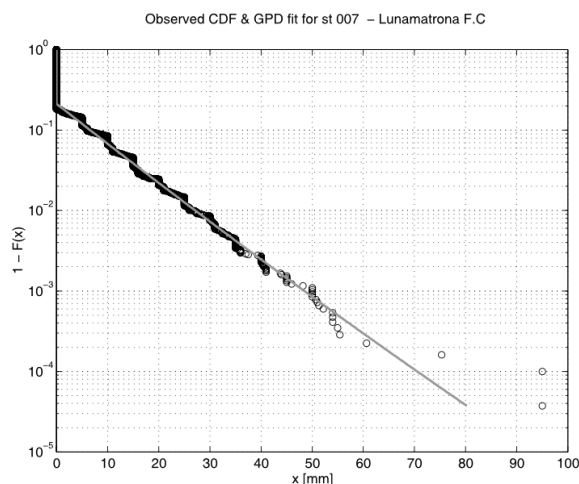
0.1 mm



Almeno della misura della pioggia possiamo fidarci?

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

Problemi di arrotondamento



Hydrol. Earth Syst. Sci., 14, 2559–2575, 2010
www.hydrol-earth-syst-sci.net/14/2559/2010/
doi:10.5194/hess-14-2559-2010
© Author(s) 2010. CC Attribution 3.0 License.



A multiple threshold method for fitting the generalized Pareto distribution to rainfall time series

R. Deidda

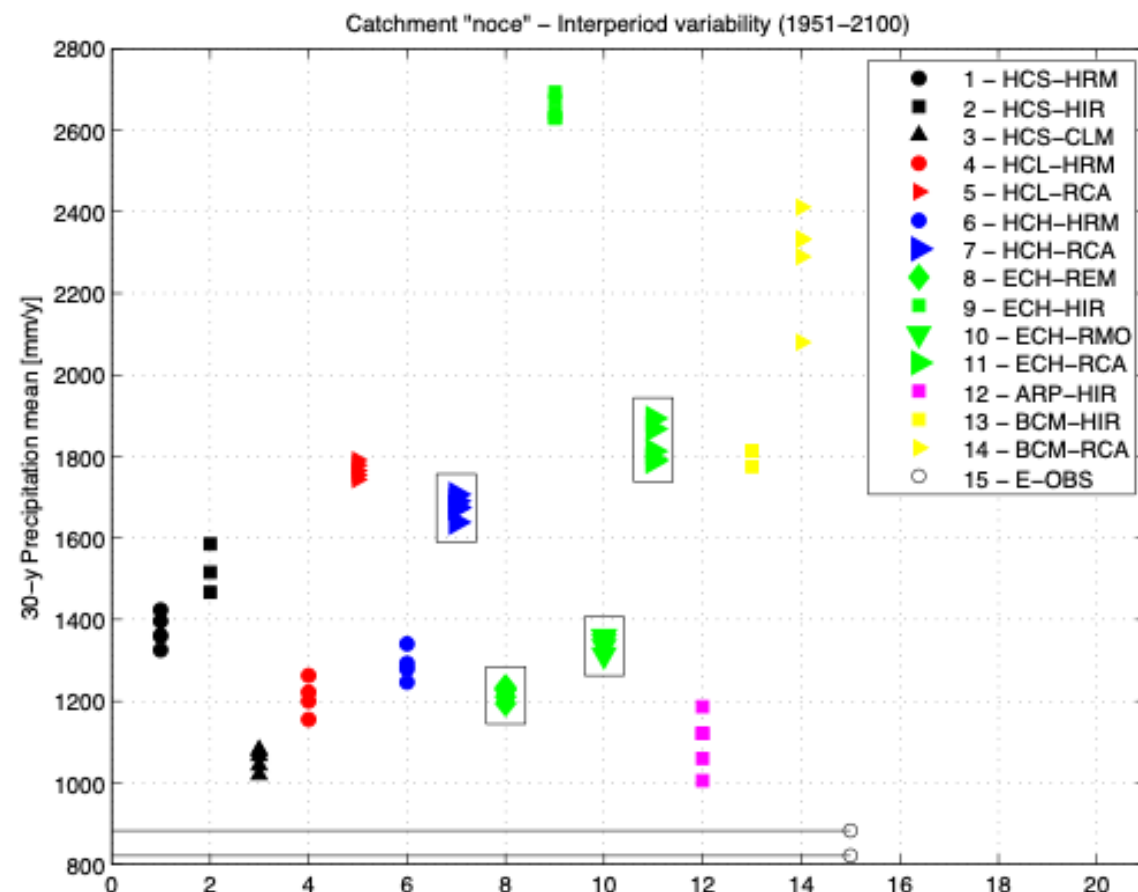
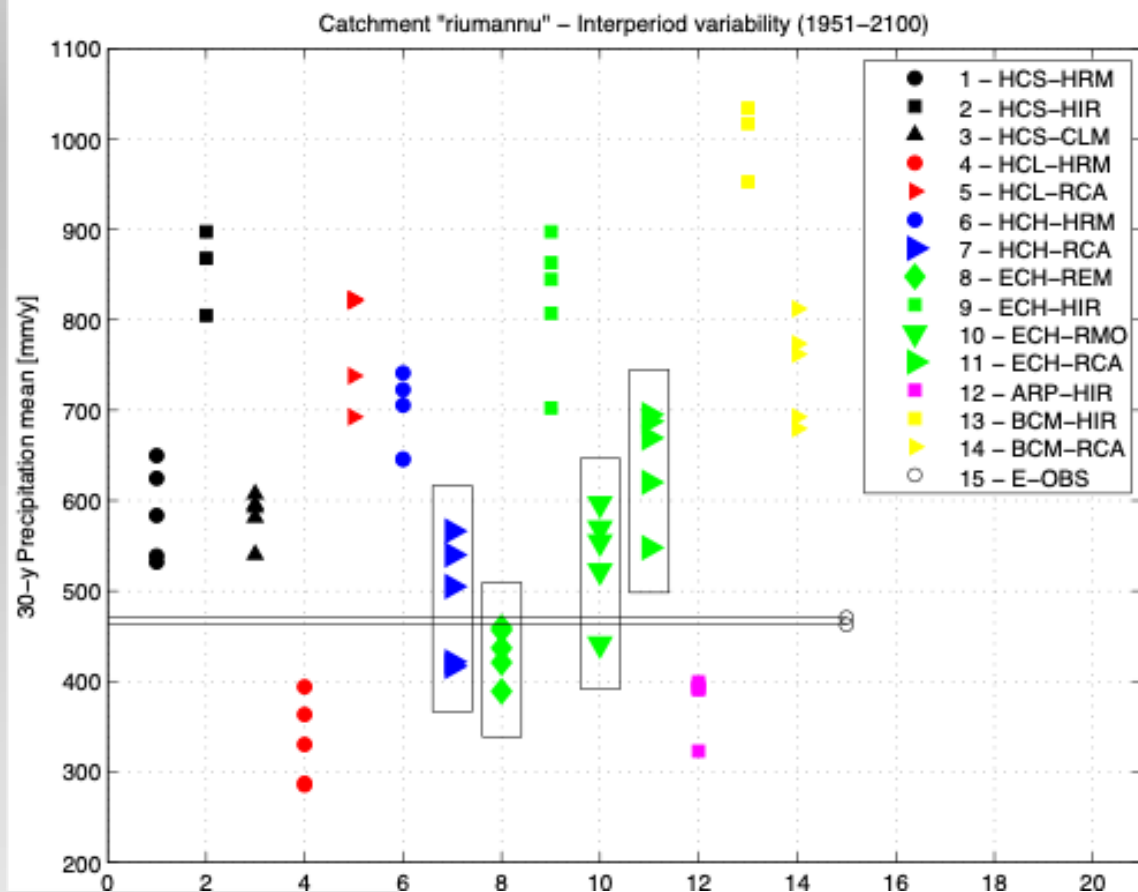
Dipartimento di Ingegneria del Territorio, Università di Cagliari, Cagliari, Italy



E quanto sono realistici i modelli climatici?

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

Modelli vecchi (PCMDI/CMIP3)





UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI

Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura

E quanto sono realistici i modelli climatici?

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

Uniche proiezioni climatiche attualmente disponibili in continuo con modello CPM in Italia

www.nature.com/scientificdata

scientific **data**

Check for updates

OPEN

DATA DESCRIPTOR

Very High Resolution Projections over Italy under different CMIP5 IPCC scenarios

Mario Raffa¹, Marianna Adinolfi¹, Alfredo Reder¹, Gian Franco Marras², Marco Mancini³,
Gabriella Scipione², Monia Santini⁴ & Paola Mercogliano¹✉

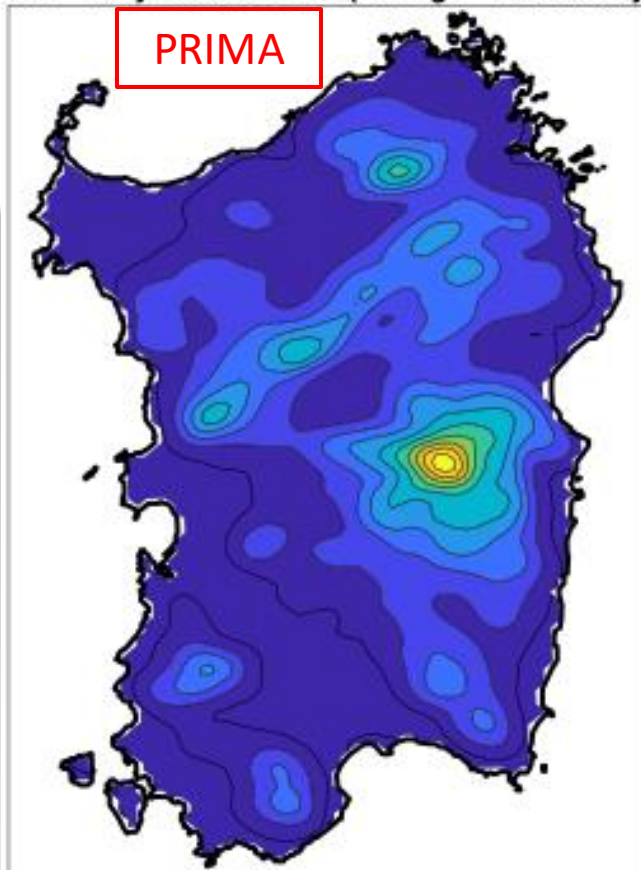
E quanto sono realistici i modelli climatici?

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

Confronto di medie annue di precipitazione (prima e dopo Bias Correction, BC)

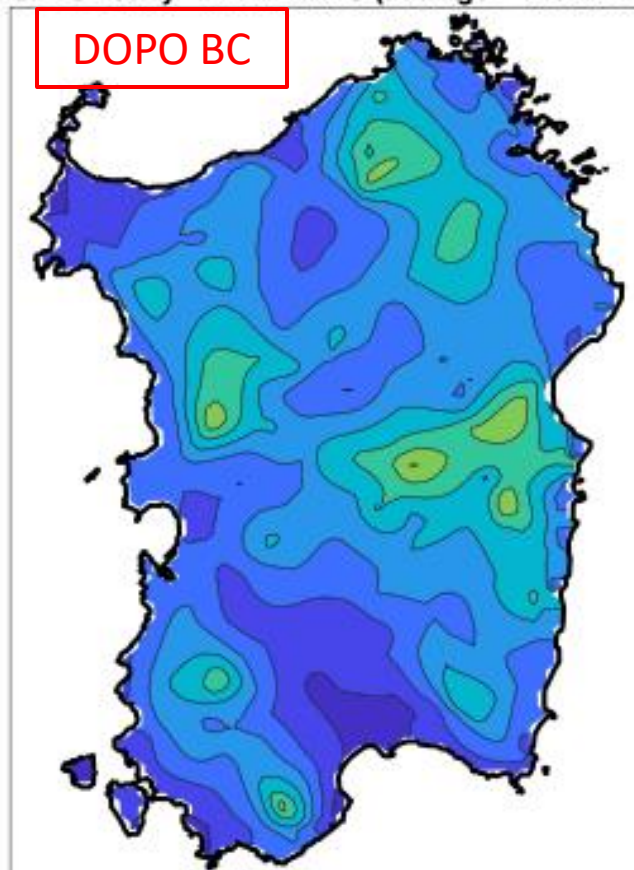
"hist - daily" MEAN PREC (average = 504.4 mm/y)

PRIMA



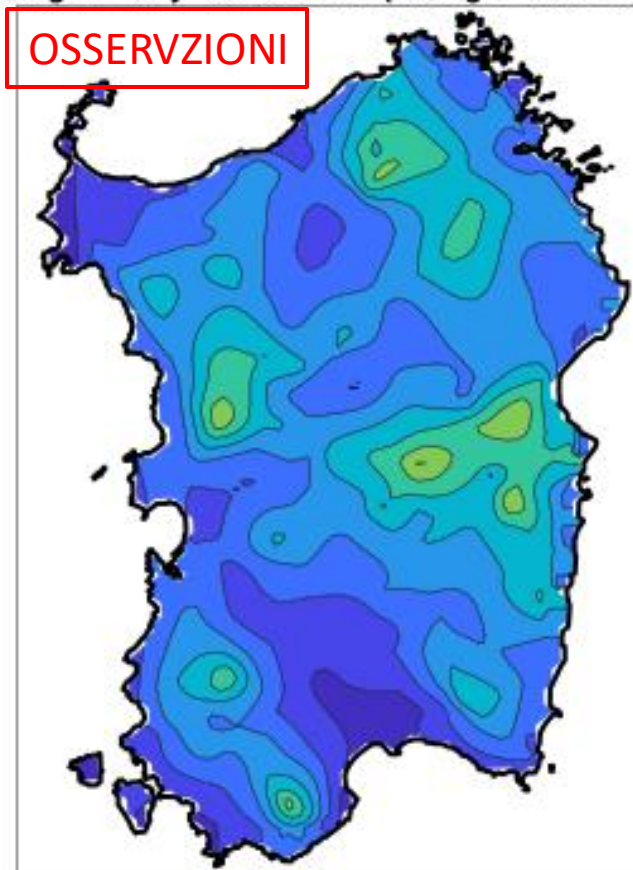
"hist-BC - daily" MEAN PREC (average = 718.4 mm/y)

DOPO BC



"Gauges - daily" MEAN PREC (average = 715.6 mm/y)

OSSERVZIONI

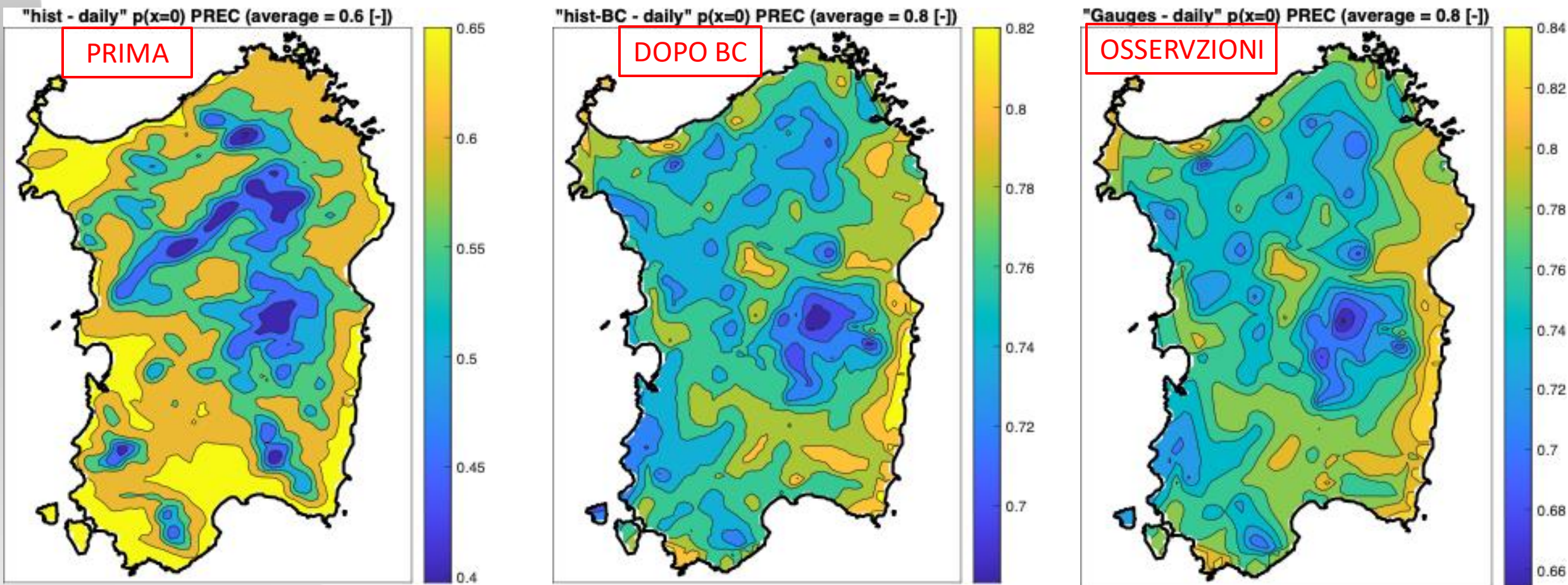




E quanto sono realistici i modelli climatici?

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

Confronto delle probabilità di non pioggia (prima e dopo Bias Correction)





Alcune considerazioni finali

Ricostruzione dei deflussi naturali alle dighe da bilancio idrologico.

- Una maggiore cura nelle misure non necessariamente implica un maggiore onere.
- La grande disponibilità di misure automatiche è benvenuta, ma richiede attente analisi di postprocessing.
- L'intelligenza umana ha ancora dei margini di vantaggio su quella artificiale (IA) nella individuazione di misure correttive delle anomalie (IA non ha capacità di analisi critica dei dati iniziali e dei risultati, e manca di creatività)
- Sulla base delle informazioni disponibili, seppure con tante/poche? incertezze, si devono prendere decisioni in modo responsabile.