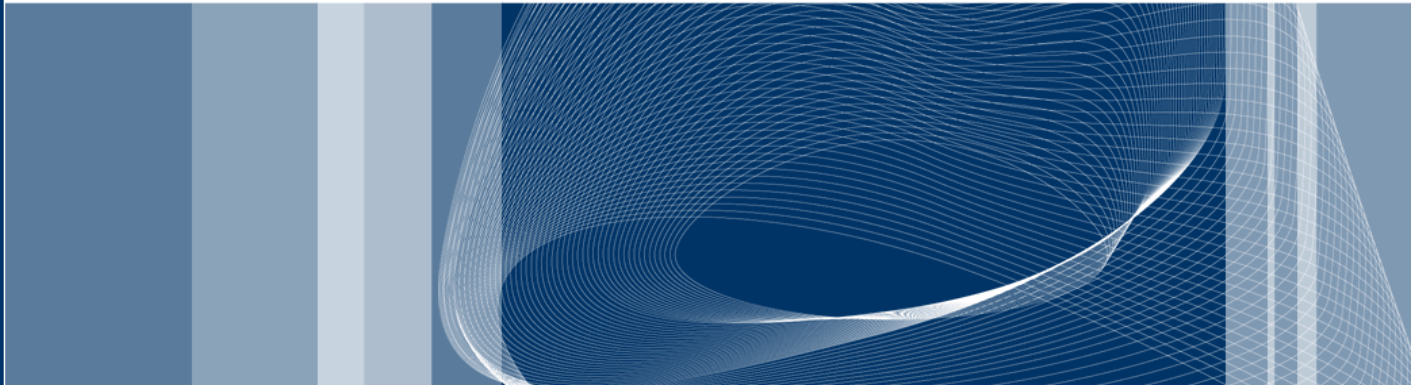




 POLITECNICO DI MILANO



# PROSPETTIVE FUTURE DELL'IDROELETTRICO IN ITALIA

*Federico Marca – federicomarca01@gmail.com*

*Andrea Terret – andreaterret@gmail.com*

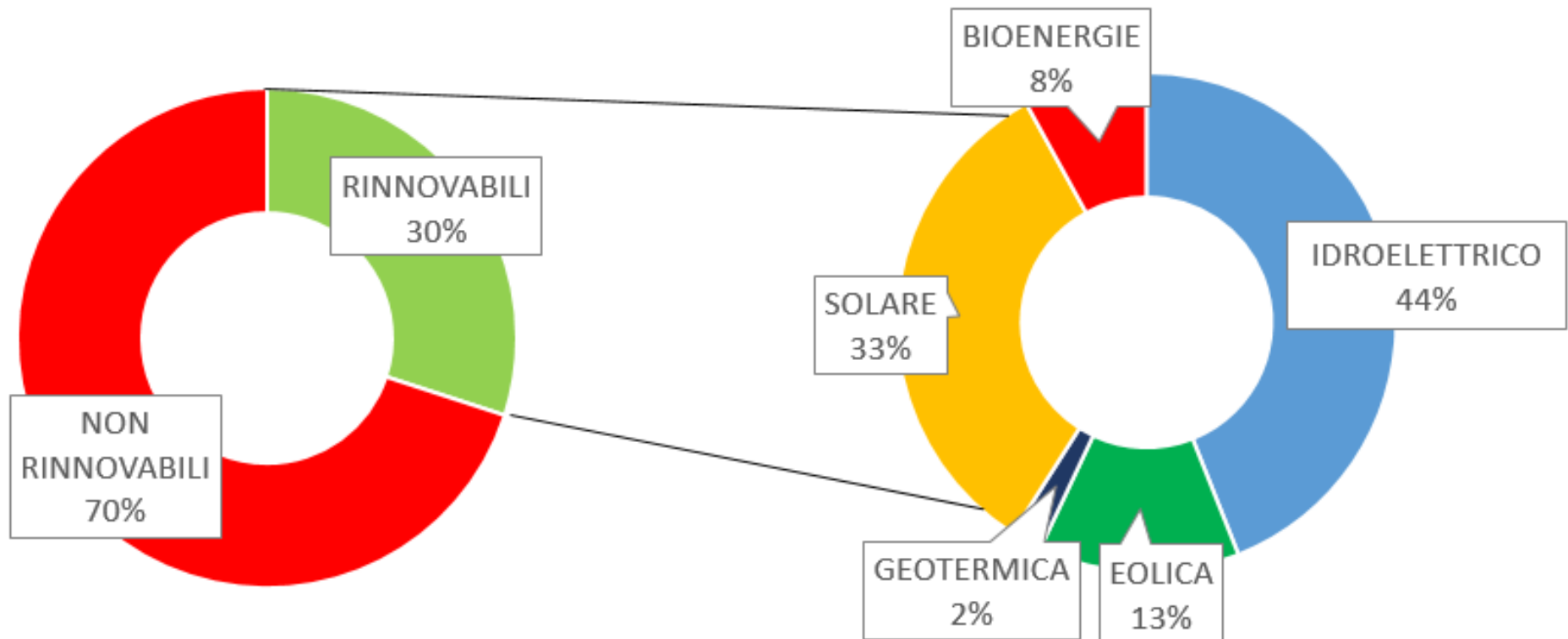
*Relatore: Prof. Ing. Carlo De Michele*

*Correlatore: Ing. Francesco Avanzi*

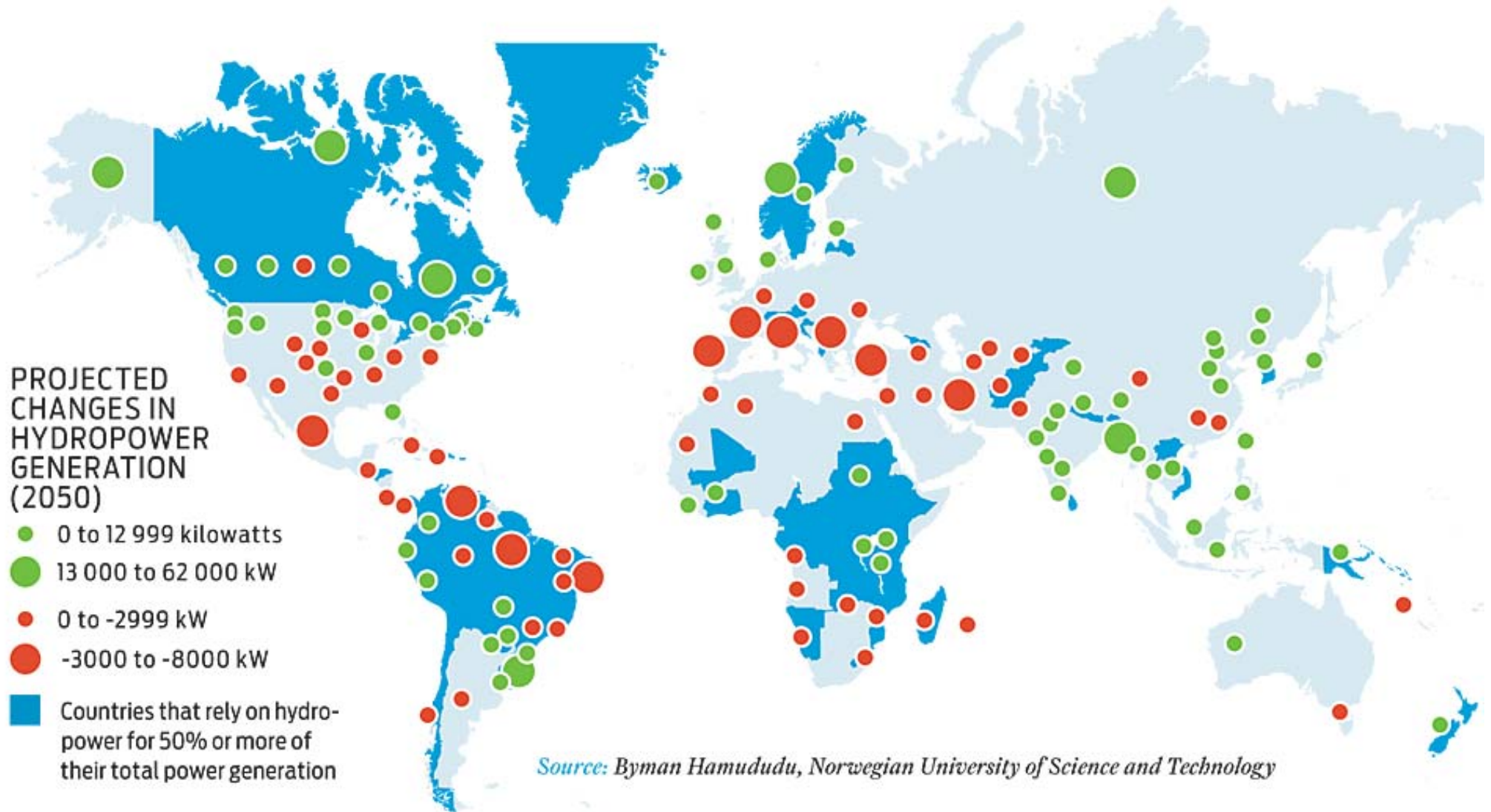


## LA PRODUZIONE IDROELETTRICA IN ITALIA

- Idroelettrico: **13%** della **produzione nazionale** di energia
- Potenza installata in Italia (2015): **22.4 GW** (11° nel Mondo)
- Energia prodotta (2015): **58.5 TWh** (18% della richiesta nazionale)

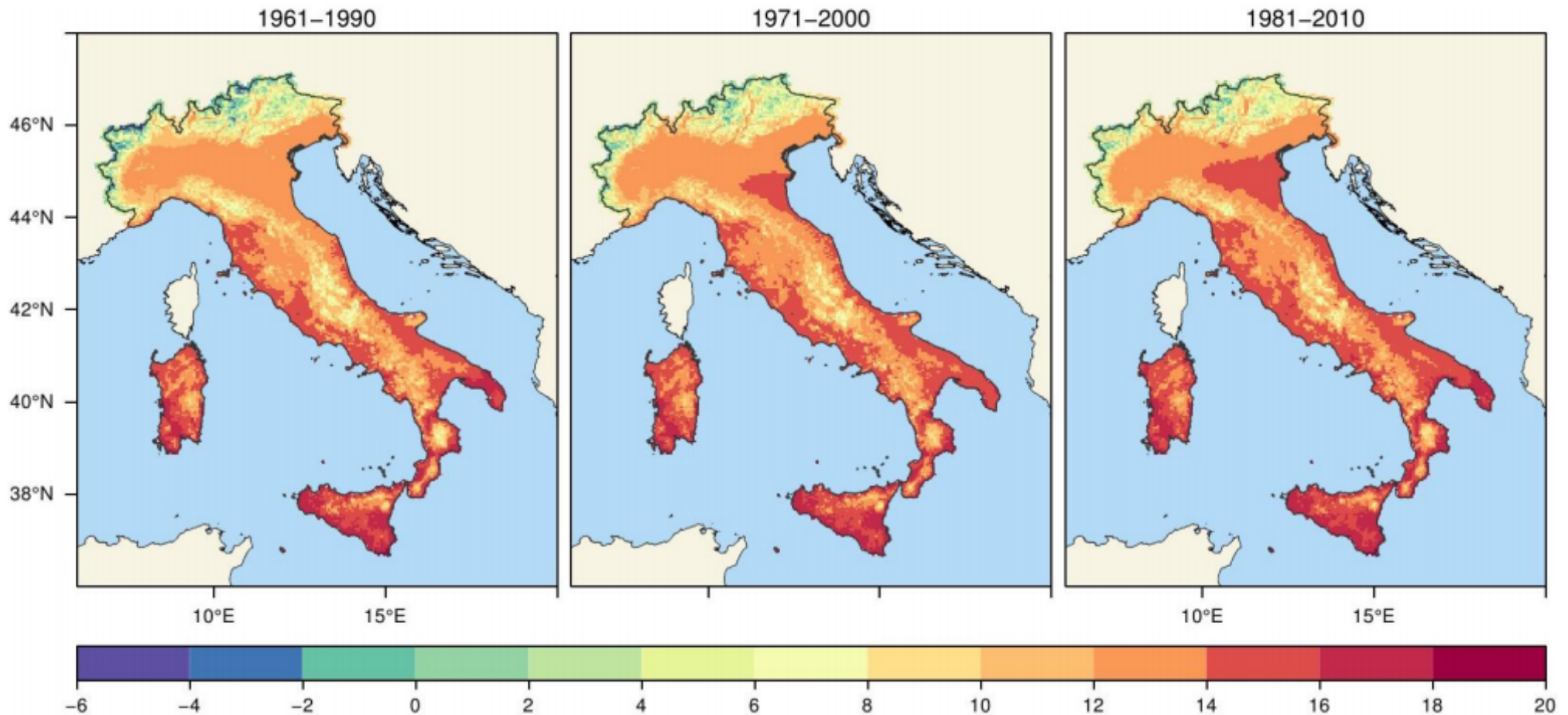


*Produzione di energia in Italia nel 2014. Fonte: GSE*





# IL CAMBIAMENTO CLIMATICO IN ITALIA



*Variazioni della temperatura media annua globale. Fonte: ISPRA*

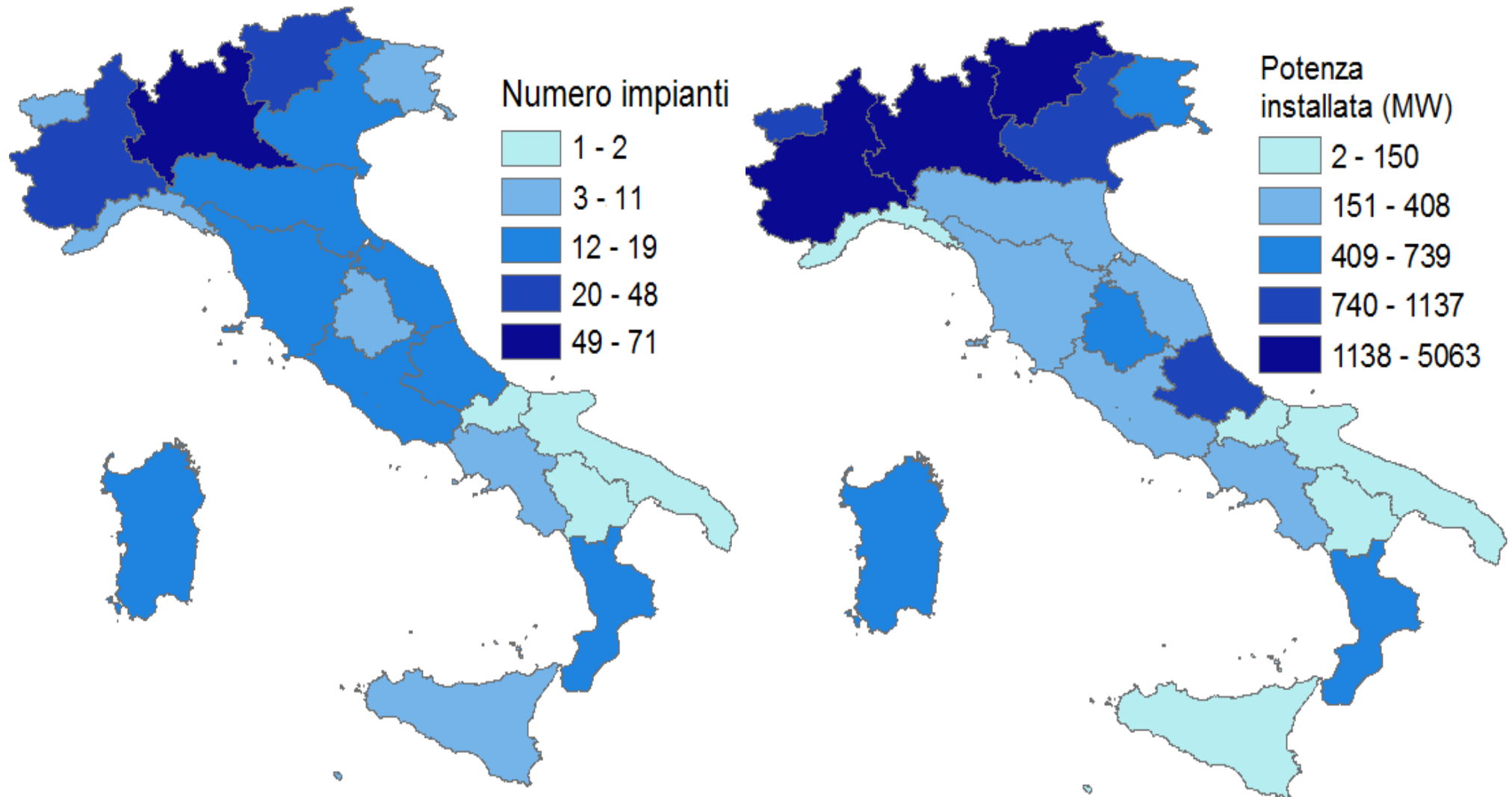
- Negli **ultimi 50 anni**:
- Aumento di **+1.4°C** della T media (+0.03°C/y)
  - Riduzione dell'**area glaciale** del **-30%**



Valutare la **produzione idroelettrica futura** a scala nazionale in risposta a scenari di possibile **cambiamento climatico**.

### METODO:

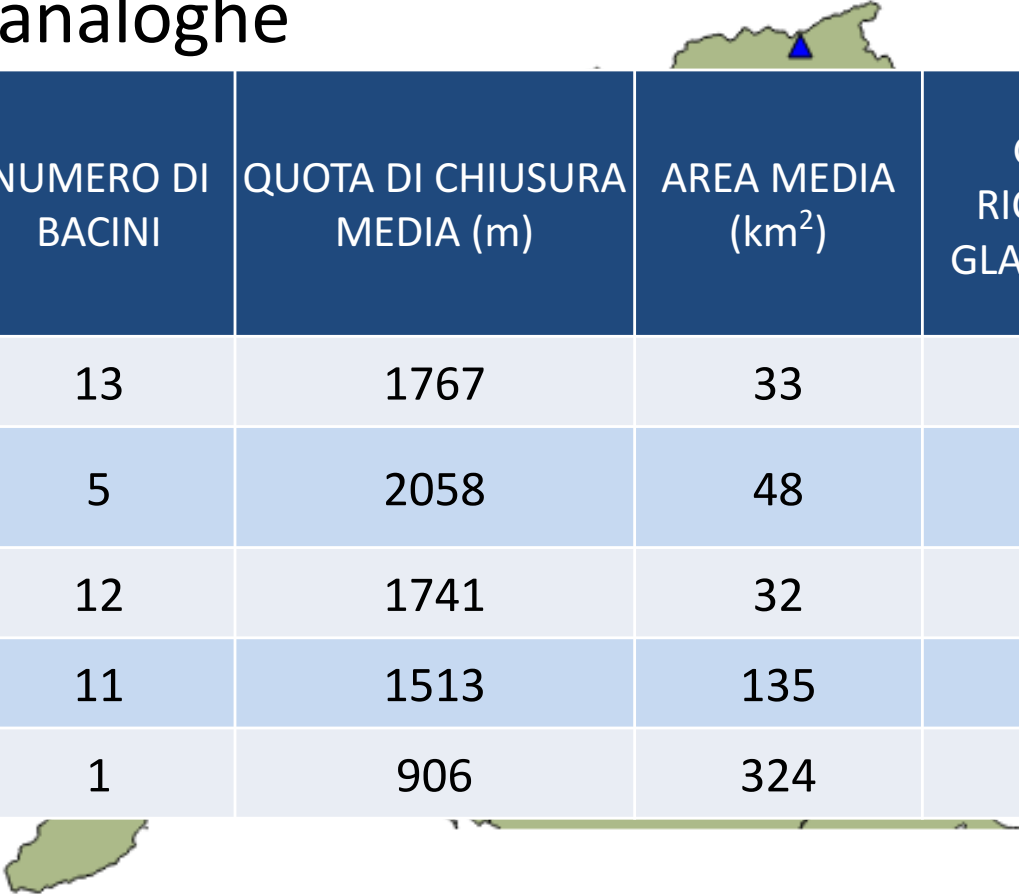
1. Modello idrologico applicabile in **bacini non strumentati**
  - Determinazione dei parametri
  - Validazione
2. Modello di impianto per influenza su idroelettrico



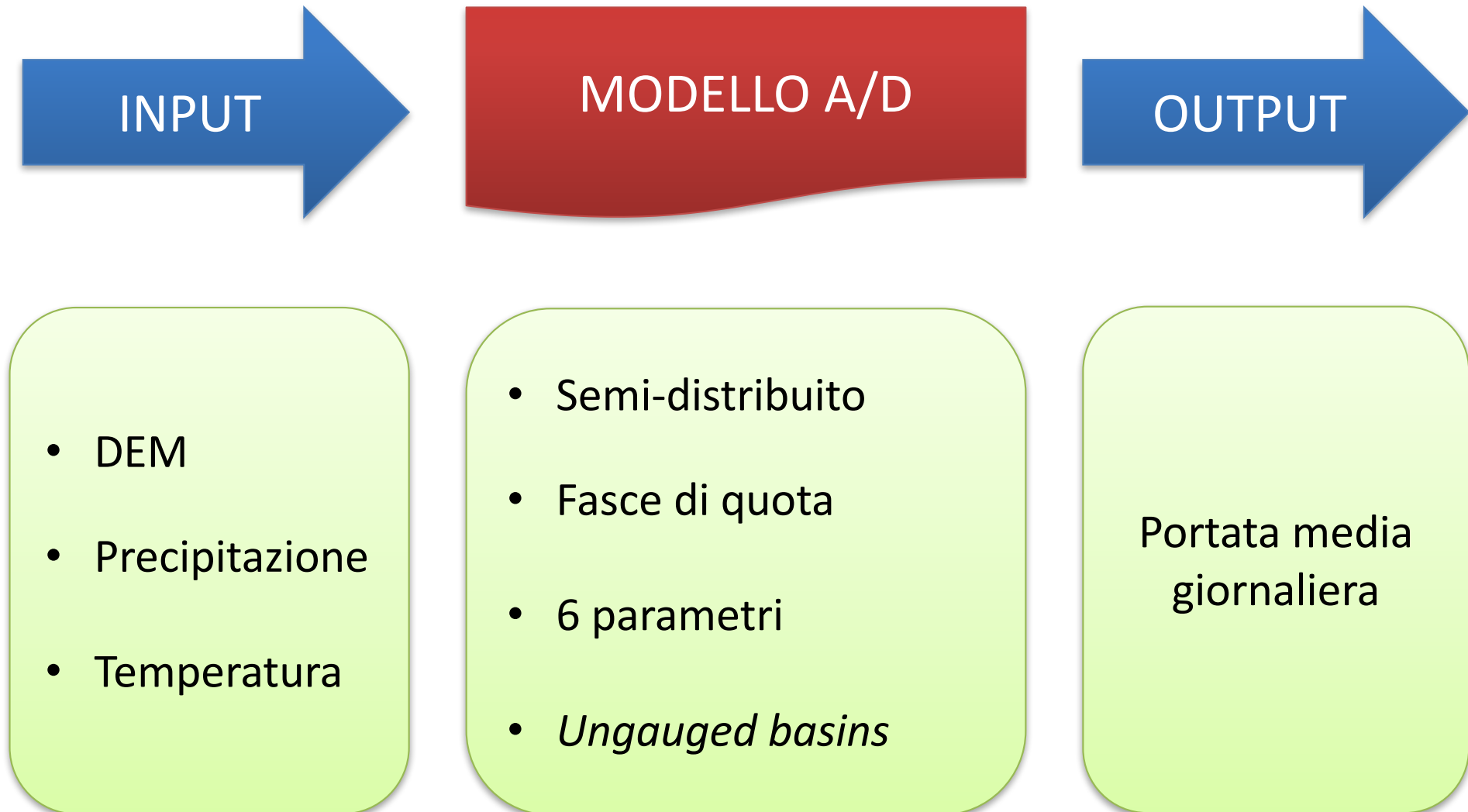


## METODI - I BACINI OGGETTO DI STUDIO/2

Oggetto di studio: campione di **42 bacini glacializzati** considerati **rappresentativi della risposta media nazionale** in condizioni analoghe



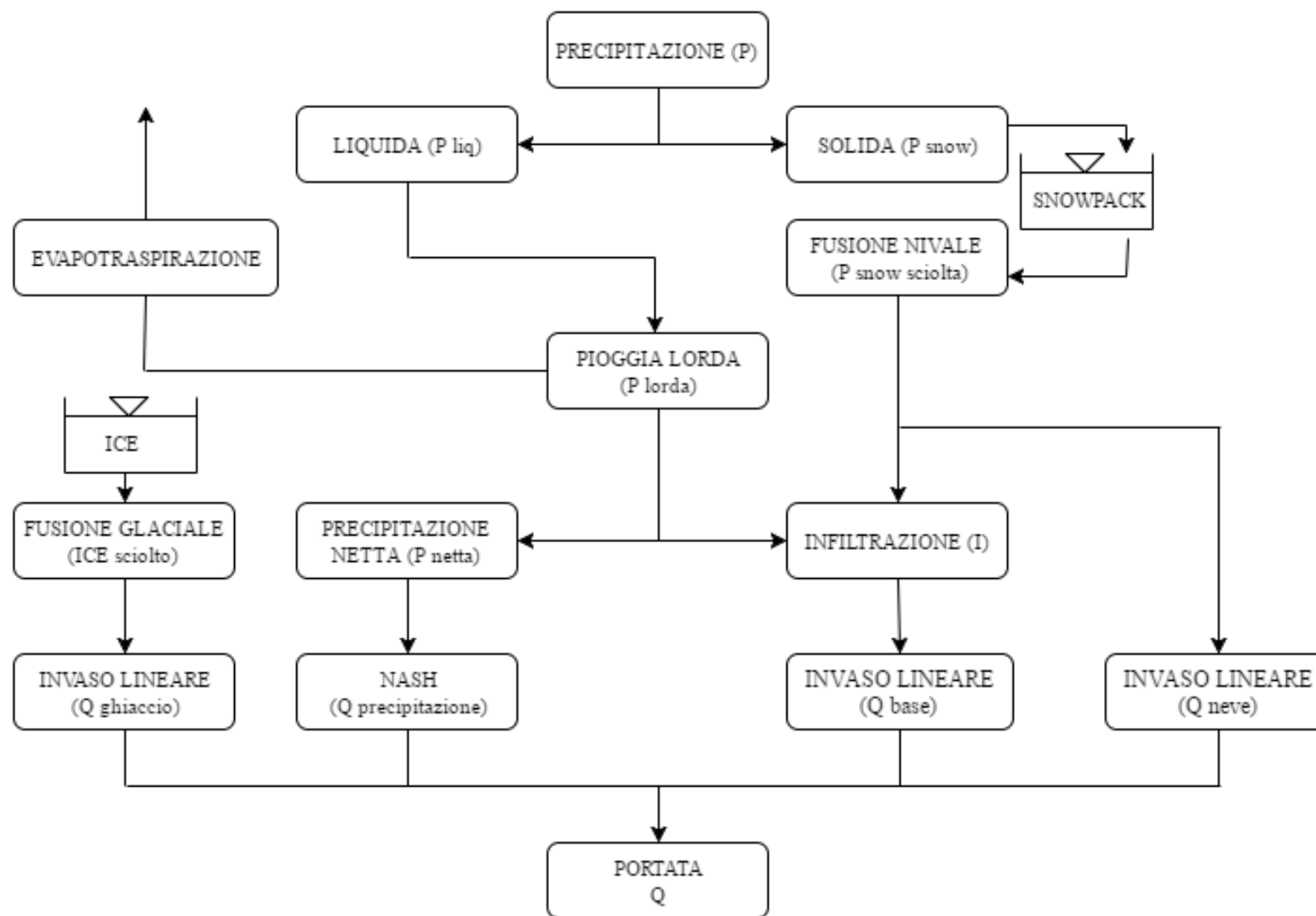
REGIONE	NUMERO DI BACINI	QUOTA DI CHIUSURA MEDIA (m)	AREA MEDIA (km <sup>2</sup> )	GRADO DI RICOPERTURA GLACIALE MEDIA
Piemonte	13	1767	33	7.4%
Valle d'Aosta	5	2058	48	10.7%
Lombardia	12	1741	32	8.6%
Trentino	11	1513	135	7.5%
Veneto	1	906	324	0.2%







## METODI - IL MODELLO IDROLOGICO/2



*Schema del modello idrologico applicato in bacini non strumentati*



Il volume del singolo apparato glaciale è stimato con una **legge allometrica**:

$$V = c \cdot A^\gamma$$

$c, \gamma$  costanti empiriche  
(*Farinotti et al. 2009*)

La dinamica del ghiacciaio è simulata con un **bilancio di massa semplificato**. Al generico anno  $k$  la variazione volumetrica del ghiacciaio è data da:

$$\Delta V_k = \Delta V_{SNOW,k} - \Delta V_{ICE,k}$$

↑  
Accumulo nevoso al termine  
dell'anno idrologico

←  
Perdita volumetrica dovuta  
alla fusione del ghiacciaio



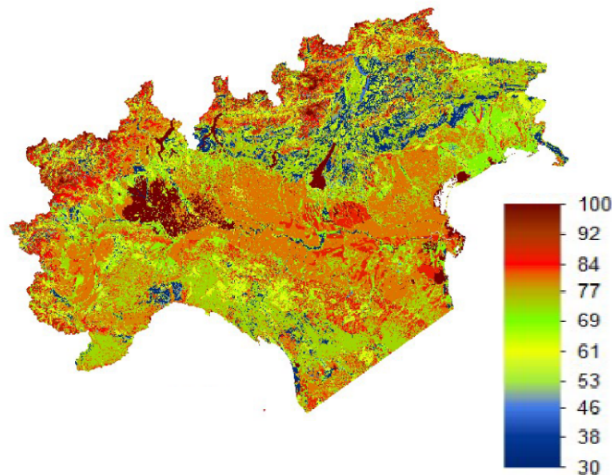
# METODI - I PARAMETRI

## Temperature Lapse Rate

$$T(h) = T(h_0) - TLR \cdot (h - h_0)$$

REGIONE	TLR	r <sup>2</sup>	NSE
LOMBARDIA	0.53	0.89	0.87
PIEMONTE	0.53	0.91	0.90
TRENTINO	0.50	0.91	0.90
VAL D'AOSTA	0.43	0.93	0.80
VENETO	0.34	0.79	0.74

## Curve Number



## Degree Day Factor neve

Calibrato su serie di  
**SWE locale**

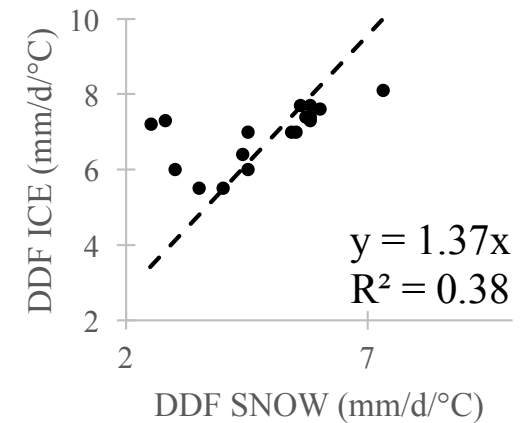
$$\frac{dSWE}{dt} = P - DDF_{SNOW} \cdot (T - T_0)$$

## Comparto liquido

$$n_{LIQ} = 3.29 \left( \frac{R_B}{R_A} \right)^{0.78} R_L^{0.07}$$

$$k_{LIQ} = 0.70 \left( \frac{R_A}{R_B R_L} \right)^{0.48} \frac{L_\Omega}{3.6 \cdot V}$$

$$\beta = DDF_{ICE} / DDF_{SNOW}$$



## Altri comparti

$$k_{NEVE} = 300 \cdot k_{LIQ}$$

$$k_{ICE} = 1.3 \cdot n_{LIQ} \cdot k_{LIQ}$$

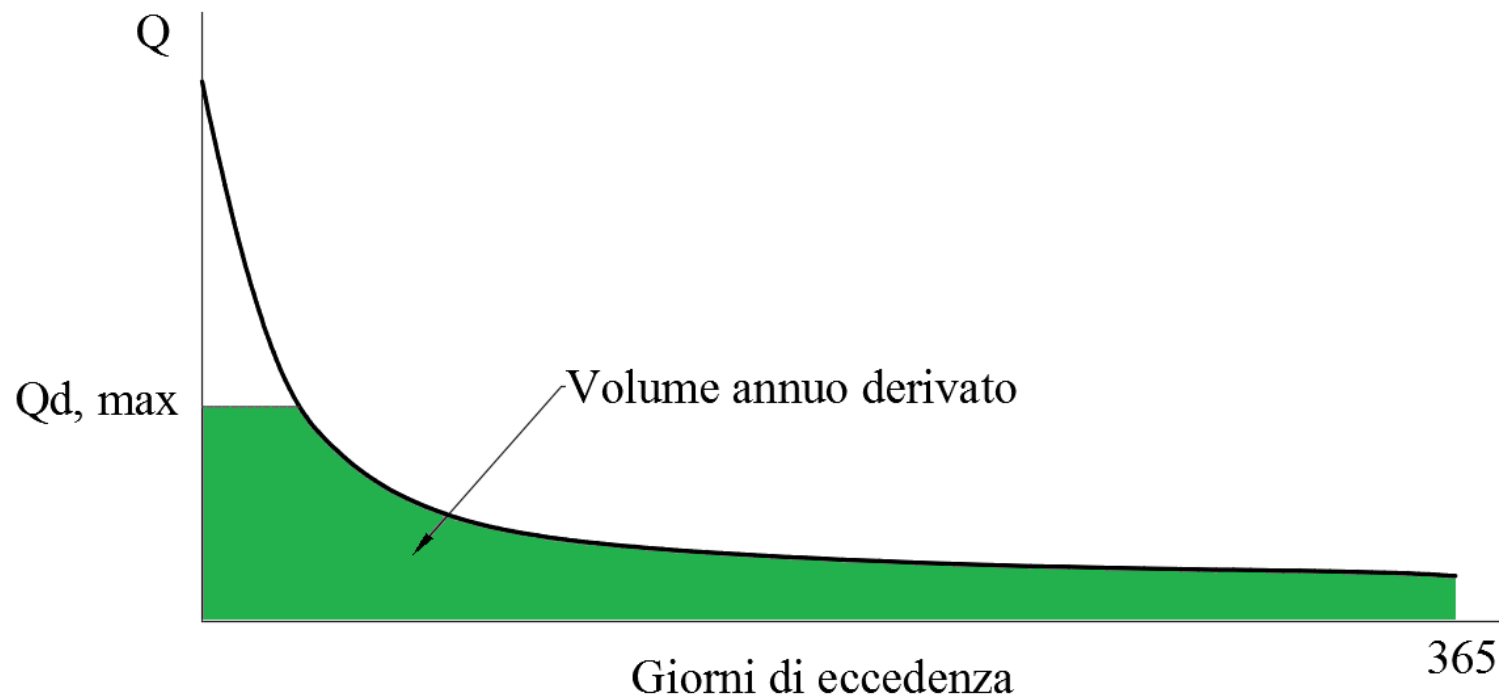
$$k_{BASE} = 14 \text{ giorni}$$



IPOTESI:

1. Regolazione annuale
2. Condizione iniziale di serbatoio pieno (1 Ottobre)
3. Considera l'energia producibile dall'afflusso naturale

La produttività è espressa in termini di **volume annuo derivato**





## METODI - LA VALIDAZIONE DEL MODELLO/1

L'accuratezza del modello è stata testata in bacini in cui è disponibile una serie delle portate osservate.

BACINO	REGIONE	DIGA	ANNI A DISPOSIZIONE
1	Valle d'Aosta	✓	10
2	Valle d'Aosta	✓	10
3	Valle d'Aosta	✓	10
4	Valle d'Aosta	✓	10
5	Valle d'Aosta	✗	5
6	Piemonte	✗	4

Bacino	RMSE giornaliero (m <sup>3</sup> /s)	RMSE mensile (m <sup>3</sup> /s)	NSE giornaliero	NSE mensile	Sottostima Pluviometro	Scarto volume cumulato	Scarto volume turbinato
1	3.75	2.27	0.39	0.73	-29%	17%	8%
2	0.75	0.44	-0.83	0.21	-27%	31%	16%
3	0.37	0.28	0.65	0.77	-30%	9%	10%
4	4.04	2.11	0.50	0.84	-28%	-20%	-20%
5	3.52	1.86	-1.42	0.33	-17%	-25%	-
6	2.92	0.96	-0.11	0.88	-17%	-3%	-
MEDIE	2.56	1.32	-0.14	0.63	-25%	2%	3%



## METODI - LA VALIDAZIONE DEL MODELLO/2

- Buona approssimazione a **scala mensile**
- Il dato grezzo del pluviometro sottostima il volume affluente
- **Accuratezza migliora** se i parametri del modello fossero calibrati sulle **serie di portata osservate**

Bacino	RMSE giornaliero (m <sup>3</sup> /s)	RMSE mensile (m <sup>3</sup> /s)	NSE giornaliero	NSE mensile	Sottostima Pluviometro	Scarto volume cumulato	Scarto volume turbinato
1	3.75	2.27	0.39	0.73	-29%	17%	8%
2	0.75	0.44	-0.83	0.21	-27%	31%	16%
3	0.37	0.28	0.65	0.77	-30%	9%	10%
4	4.04	2.11	0.50	0.84	-28%	-20%	-20%
5	3.52	1.86	-1.42	0.33	-17%	-25%	-
6	2.92	0.96	-0.11	0.88	-17%	-3%	-
MEDIE	2.56	1.32	-0.14	0.63	-25%	2%	3%



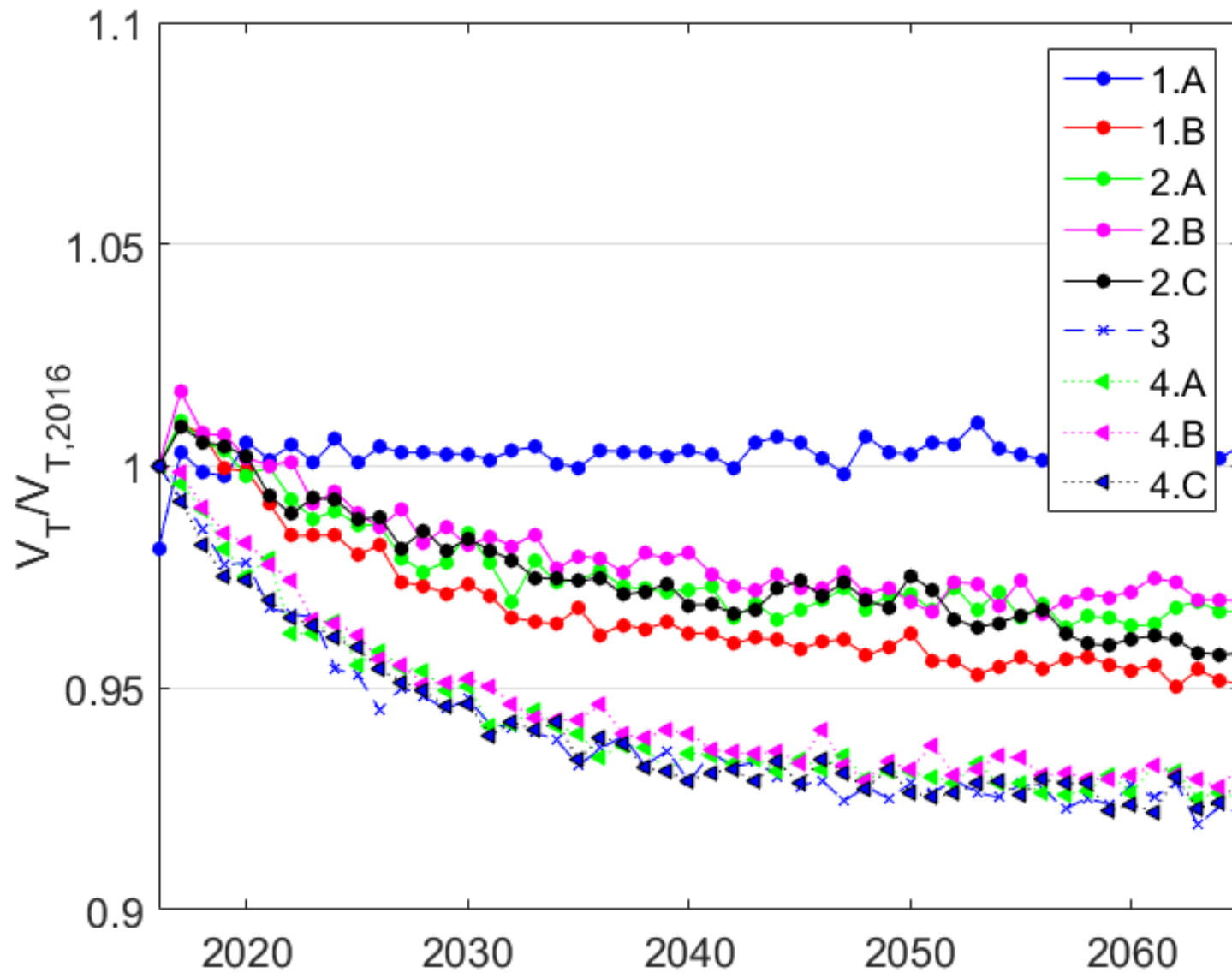
## METODI - SCENARI FUTURI

- Scenari basati su ipotesi di variazione delle principali forzanti meteorologiche (temperatura e precipitazione) a scala locale
- Ogni scenario copre un arco temporale di **50 anni** (1/10/2015 - 30/09/2065)
- Ciascuno scenario è composto da **500 diverse simulazioni** dello stesso
- L'incertezza dei risultati è valutata mediante tecnica Montecarlo
- Gli intervalli di confidenza sono calcolati con **livello di significatività  $\alpha=5\%$**

Scenario	Aggiornamento del ghiacciaio	Incremento T			Precipitazioni solo liquide
		+0.03°C/y	+0.06°C/y	+0.09°C/y	
1.A	X	X	X	X	X
1.B	✓	X	X	X	X
2.A	✓	✓	X	X	X
2.B	✓	X	✓	X	X
2.C	✓	X	X	✓	X
3	✓	X	X	X	✓
4.A	✓	✓	X	X	✓
4.B	✓	X	✓	X	✓
4.C	✓	X	X	✓	✓



# RISULTATI - I VOLUMI TURBINATI/1



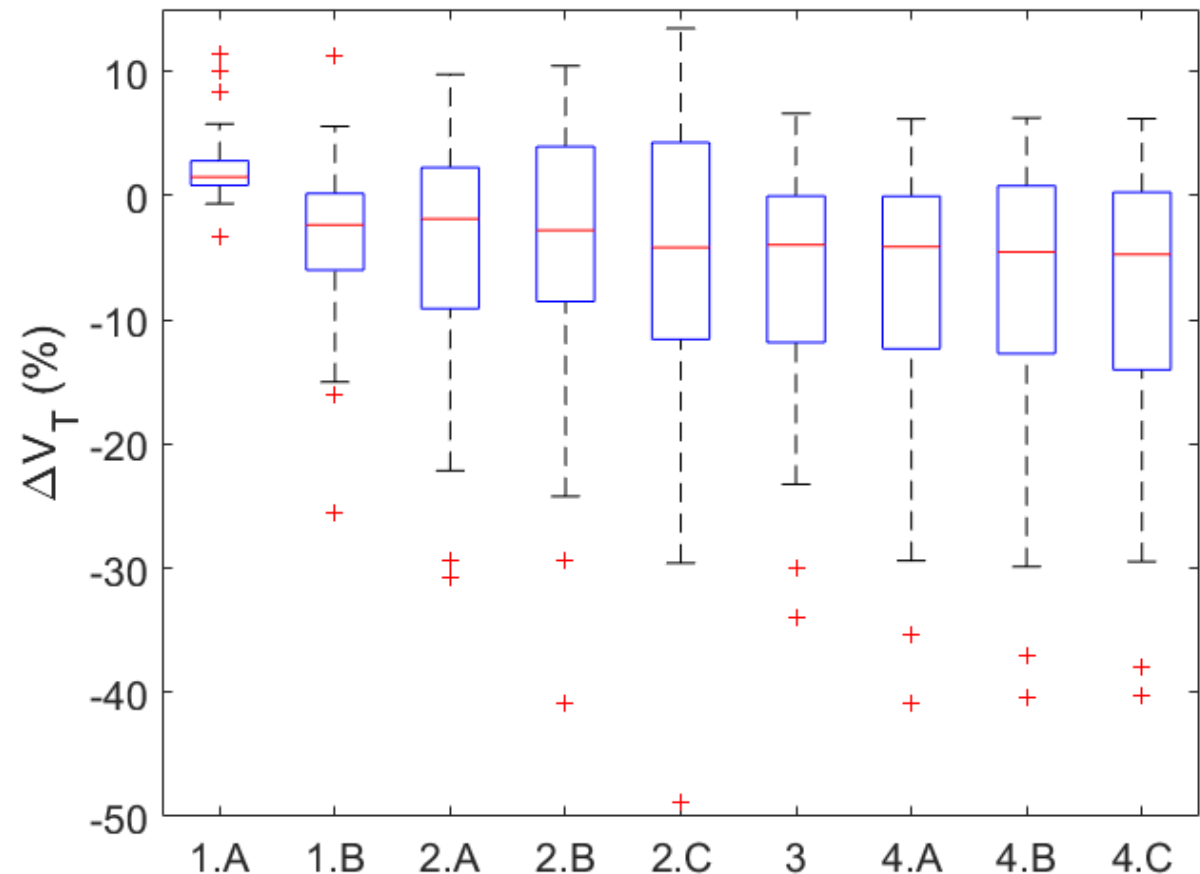
*Andamento della produzione idroelettrica in termini di volume turbinato annuo*





## RISULTATI - I VOLUMI TURBINATI/2

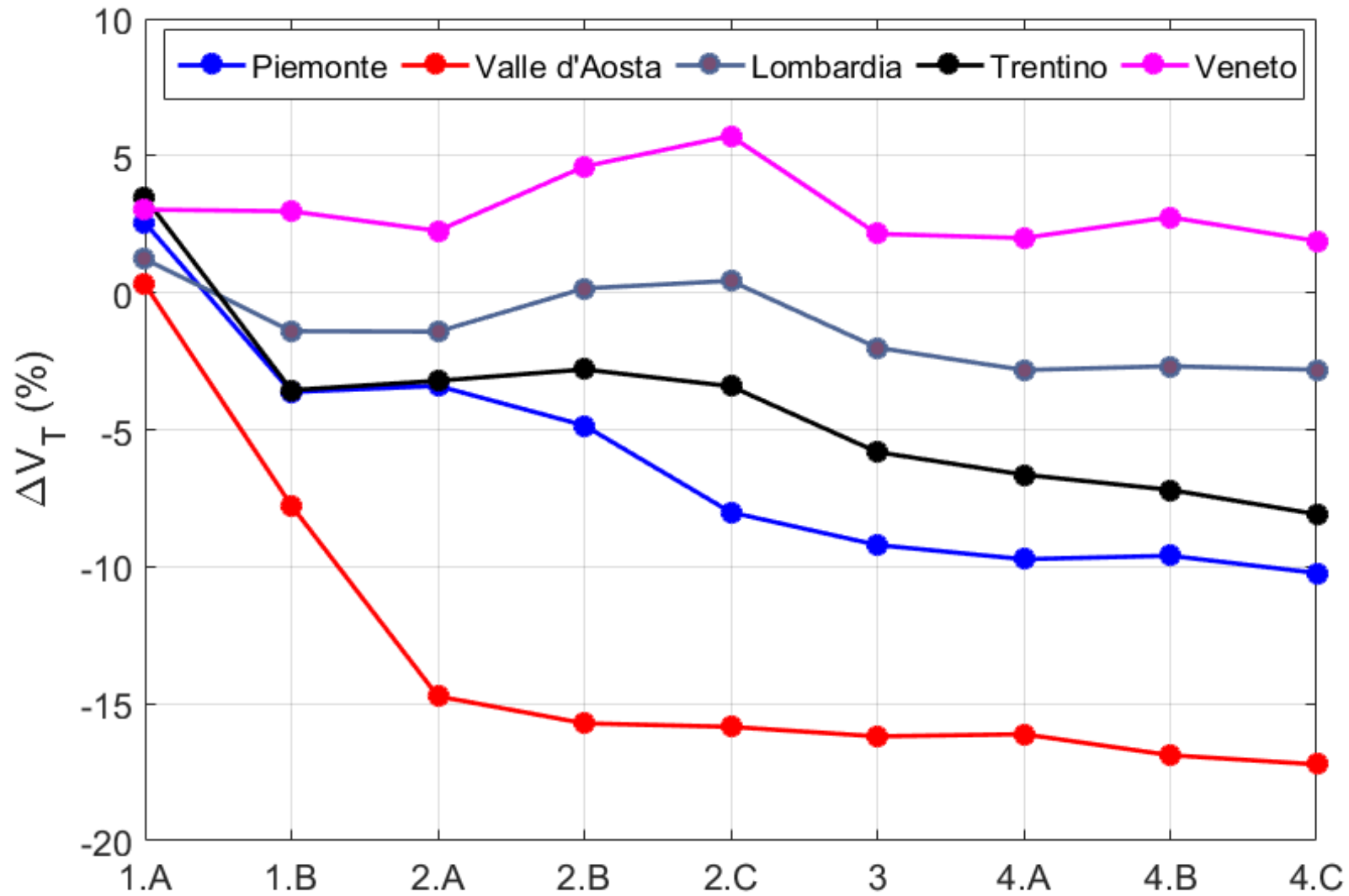
- La **mediana** della riduzione del volume turbinato è quindi **pressoché invariata** da scenario a scenario
- Notevole **dispersione** dei risultati



Scenario	1.A	1.B	2.A	2.B	2.C	3	4.A	4.B	4.C
Prc25	0.8%	-6.0%	-9.1%	-8.5%	-11.6%	-11.8%	-12.3%	-12.7%	-14.0%
Prc75	2.8%	0.2%	2.3%	4.0%	4.3%	0.0%	-0.1%	0.8%	0.3%
Media	2.2%	-3.3%	-4.0%	-4.0%	-5.0%	-6.8%	-7.4%	-7.6%	-8.1%
Mediana	1.5%	-2.4%	-1.9%	-2.8%	-4.2%	-4.0%	-4.1%	-4.5%	-4.7%



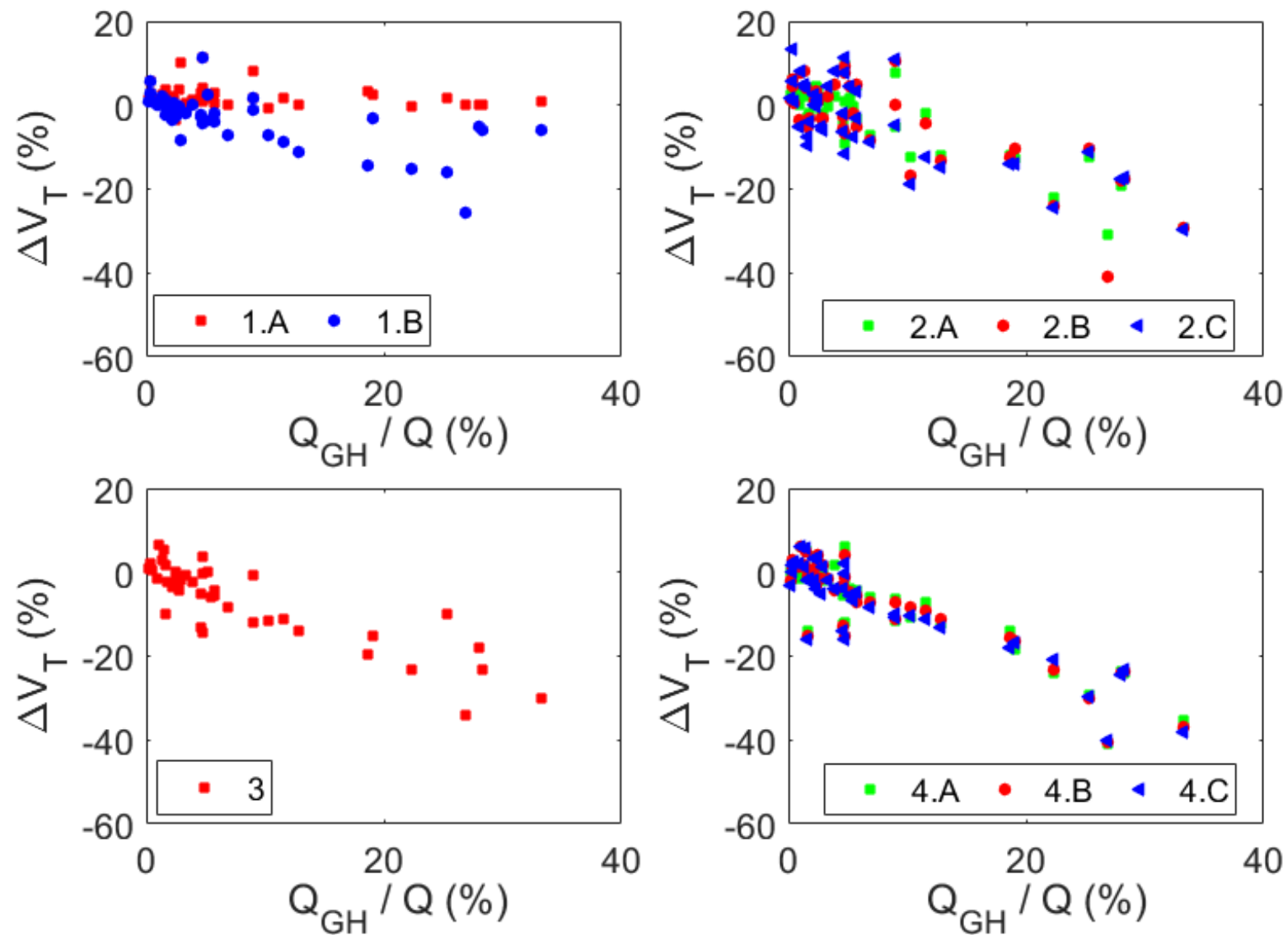
## RISULTATI - I VOLUMI TURBINATI/3



*Variazione del volume turbinato al 2065 a scala regionale*



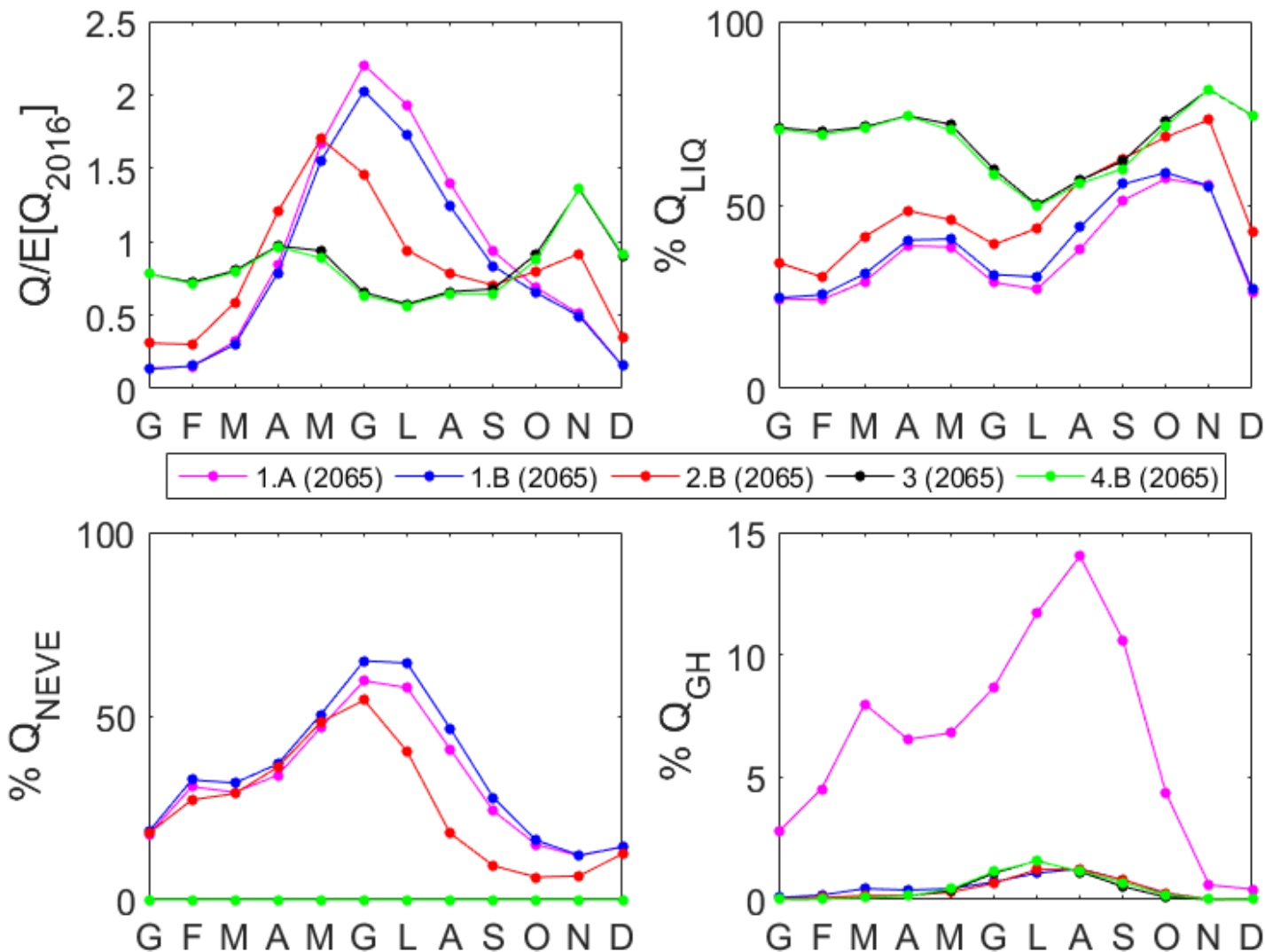
## RISULTATI - I VOLUMI TURBINATI/4



*Variazione del volume turbinato annuo rispetto al 2016 in funzione del contributo glaciale medio al 2016*



# RISULTATI - LE PORTATE MEDIE MENSILI



## Scenario 2:

- Snow-dominated
- Anticipo del **picco estivo**

## Scenario 3 e 4:

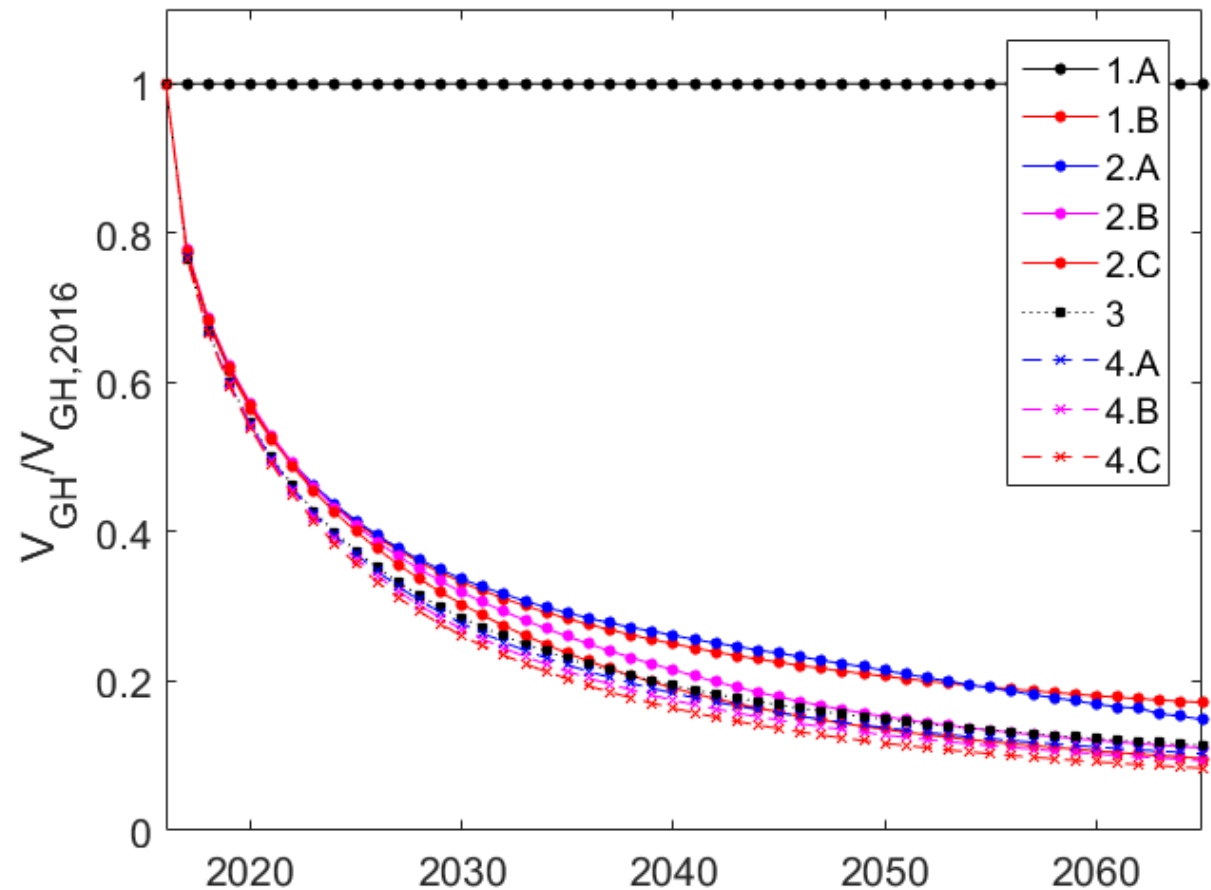
- Regime pluviale
- **Assenza di stagionalità**

Confronto tra deflussi totali medi mensili al 2065, contribuiti liquidi, nivali e glaciali



## RISULTATI - L'EVOLUZIONE GLACIALE

- La **regressione** è pressoché **indipendente dallo scenario**
- Processo **rapido** nei **primi anni** di simulazione



*Variazione volumetrica media in funzione dei diversi scenari*



- La **variazione di volume turbinato** è pressoché **indipendente dallo scenario** climatico considerato attestandosi mediamente al **-5%**
- Bacini con **maggior contributo di fusione glaciale** risultano **più vulnerabili** al climate change
- Incremento di temperatura → regime nivale
- Assenza di precipitazioni solide → regime pluviale
- Il **processo di regressione** dei ghiacciai risulta **indipendente dallo scenario** considerato e mediamente si attesta al **-95%** sull'area



- Si è inquadrato il problema a **scala nazionale**
- Il modello è stato applicato in **bacini non strumentati** e tutti i parametri sono assunti costanti per l'intero periodo di simulazione
- Politica di gestione dell'impianto a **regolazione annuale** con serbatoio pieno all'inizio dell'anno idrologico (1 Ottobre)
- Valutata l'energia derivante da **afflusso naturale**
- Si è **trascurato il movimento del ghiacciaio** → sovrastima della riduzione dello stesso accelerandone i tempi di fusione
- Non si è considerata l'evoluzione nella domanda di energia elettrica e i parametri



- Estendere l'analisi a tutti gli altri impianti nazionali, compresi quelli **non glacializzati**
- Considerare non solo l'energia producibile dall'**afflusso naturale**
- La **calibrazione** dei parametri descrittivi la risposta idrologica del bacino su **serie di portate** aumenterebbe l'**affidabilità** del modello anche a scala giornaliera
- Implementare una **gestione dinamica dei rilasci** in funzione del regime idrologico e della richiesta futura di energia



POLITECNICO DI MILANO



## Contatti



*Federico Marca – federicomarca01@gmail.com*  
*Andrea Terret – andreaterret@gmail.com*