POLITECNICO
MILANO 1863

DIPARTIMENTO DI
INGEGNERIA CIVILE E AMBIENTALE



2024

Dam Day

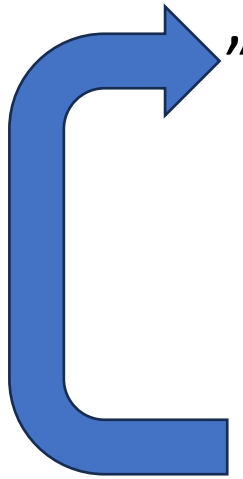
Dighe e serbatoi in Italia

“Sicurezza idrologica e problemi di sedimentazione”

Carlo De Michele

Politecnico di Milano

Milano, 29 Maggio 2024



”**Sicurezza idrologica**”

“**Sedimentazione**”

Water and **sediment** dynamics (joint behavior)/ compound events

Sicurezza idrologica delle dighe: Normativa

Decreto del Ministro delle Infrastrutture e dei Trasporti, 26 giugno 2014
Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse).

C.1. **Gli scarichi di superficie della diga devono essere dimensionati** per **l'onda con portata al colmo di piena corrispondente al periodo di ritorno**, tenendo conto dell'effetto di laminazione esercitato dal serbatoio.

Sicurezza idrologica delle dighe: Normativa

C.1. La **portata di piena** dovrà essere valutata con **metodi probabilistici basati sull'informazione pluviometrica e idrometrica completa**, desumibile dalle serie storiche e dai loro aggiornamenti, per il bacino idrografico sotteso dalla sezione dello sbarramento.

In assenza o carenza di informazioni, si potrà fare anche riferimento a dati di **bacini limitrofi** idrologicamente omogenei, utilizzando **appropriate e giustificate metodologie di calcolo**.

Le verifiche devono comprendere anche la stima della portata di piena con **periodo di ritorno** di **50, 100, 200 e 500 anni**.

Sicurezza idrologica delle dighe: Riflessioni

1. Questione legata all'incertezza

La stima del quantile T-ennale (e.g., millenario) di portata al colmo e della relativa onda sono affetti da incertezza. Come tenere conto di questa nella verifica idraulica/nella valutazione della sicurezza idrologica?

Sicurezza idrologica delle dighe: Riflessioni

2. Questione legata alla variabilità climatica

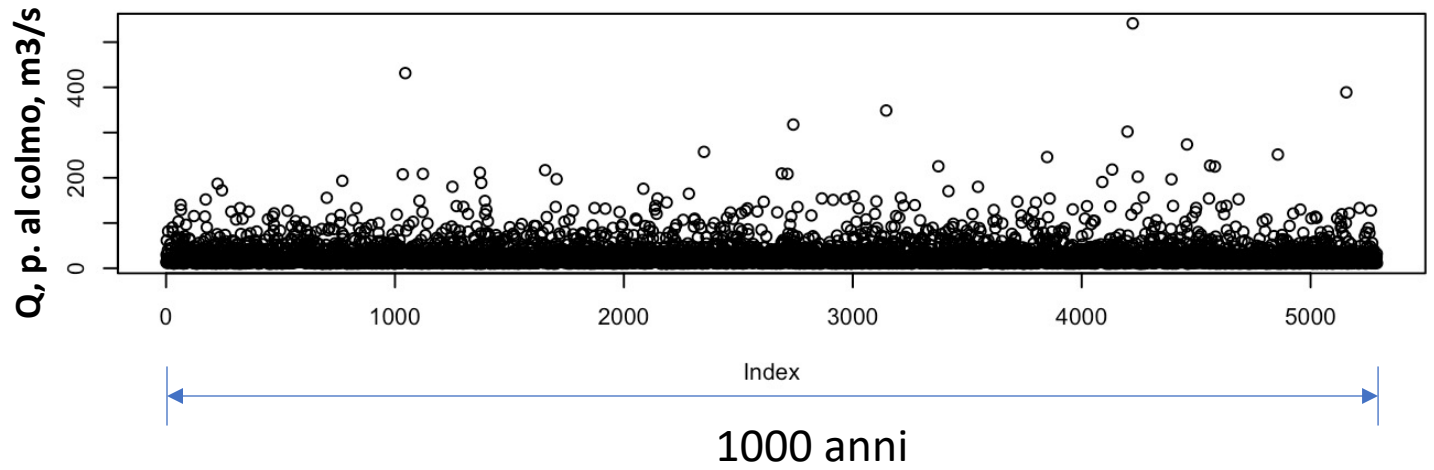
Come tener conto della variabilità climatica nella valutazione del quantile millenario e nella valutazione della sicurezza idrologica?

Sicurezza idrologica delle dighe: Riflessioni

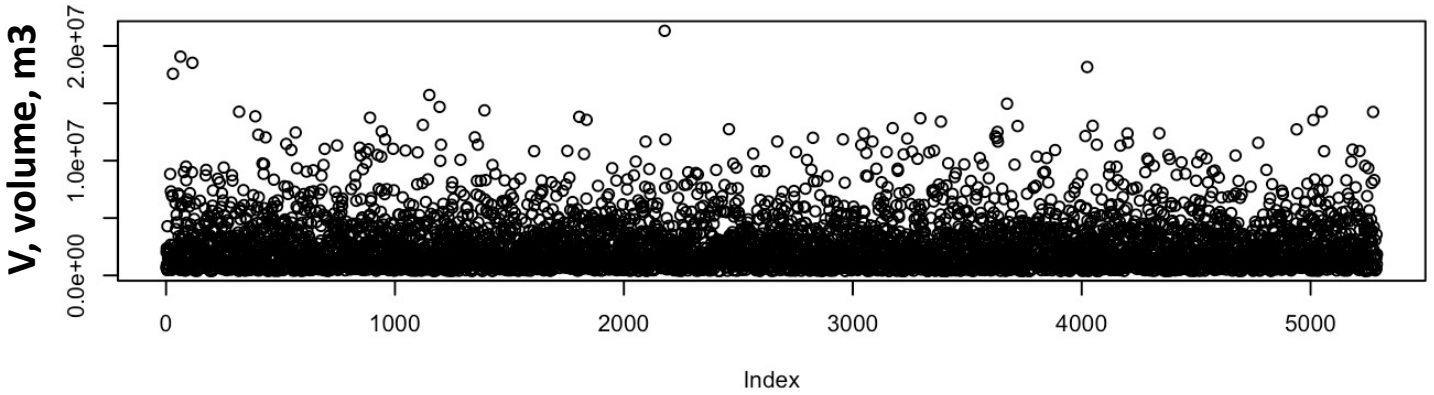
Una possibilità è simulare il comportamento del diga/serbatoio per il periodo di interesse [e.g., 1000 anni] in condizioni stazionarie/non-stazionarie (mediante scenari).

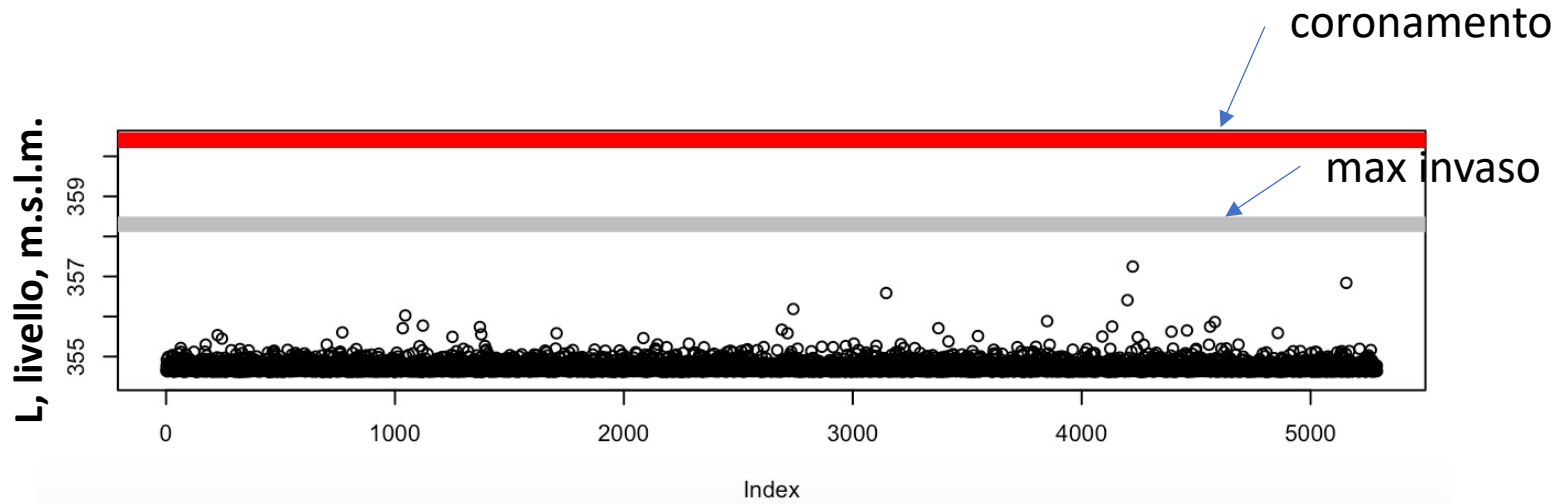
Esempio diga del Molato

Sicurezza idrologica delle dighe: Riflessioni



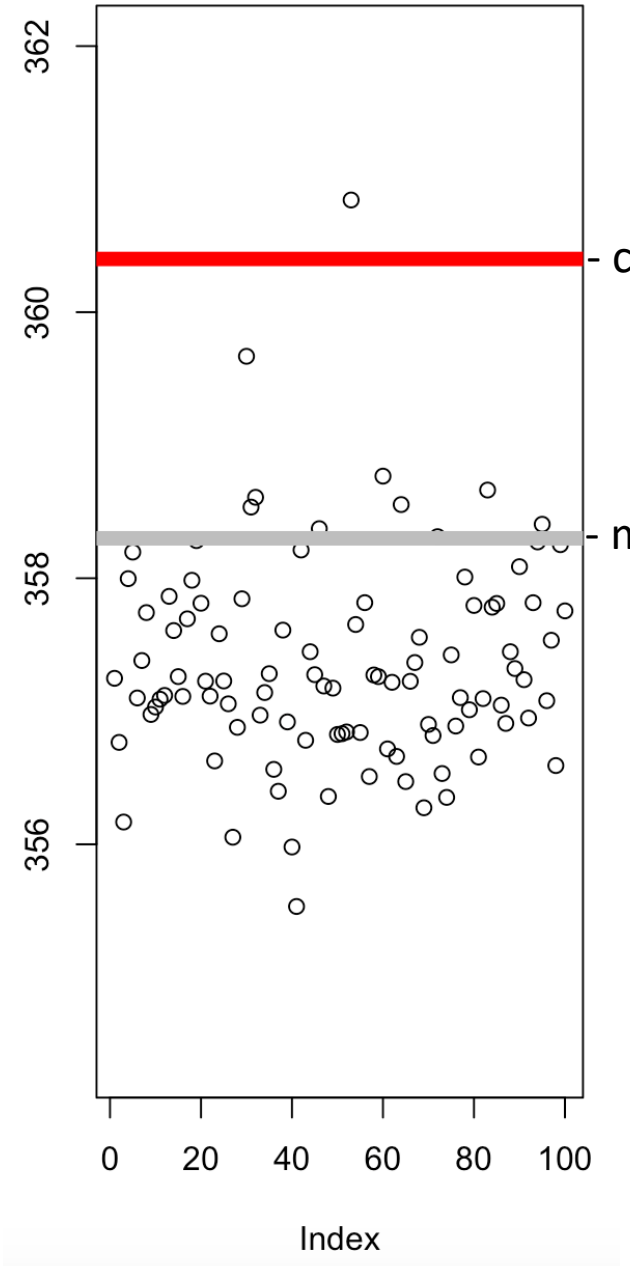
1000 anni





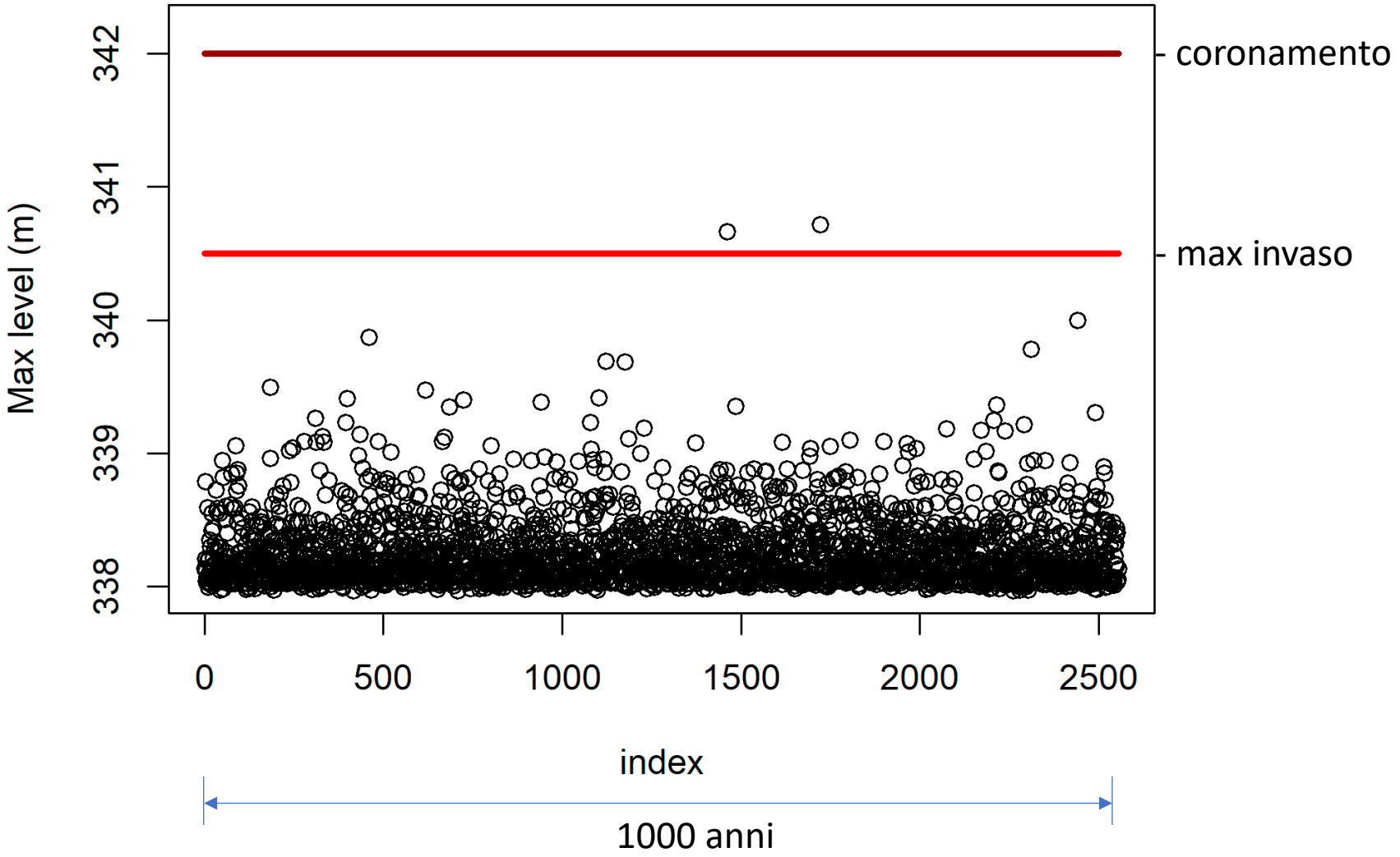
Esempio diga del Molato

Sicurezza idrologica delle dighe: Riflessioni



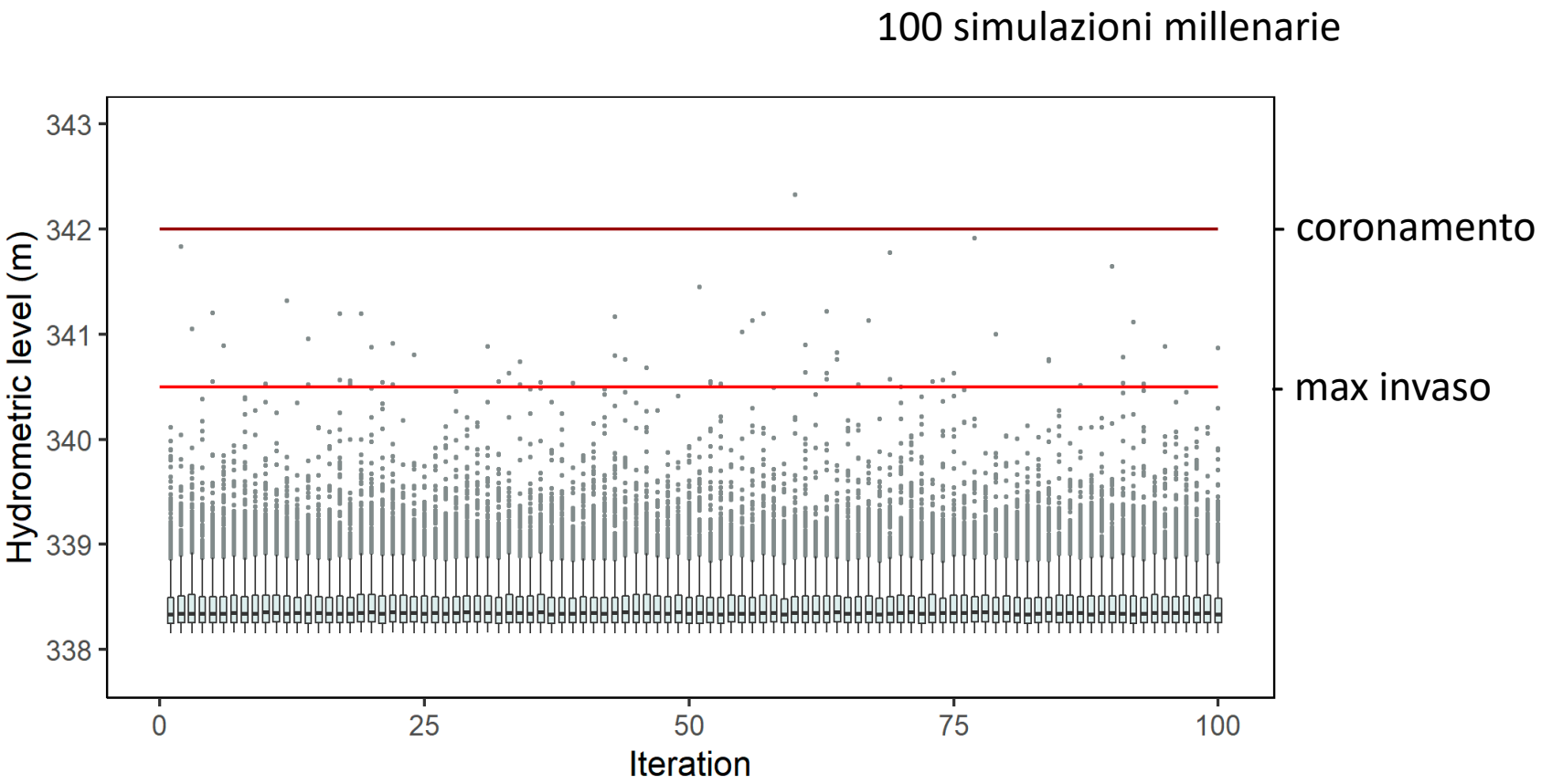
Esempio diga di Mignano

Sicurezza idrologica delle dighe: Riflessioni



Esempio diga di Mignano

Sicurezza idrologica delle dighe: Riflessioni



“Sedimenti” nelle dighe

Le Dighe e in generale sbarramenti **alterano** le naturali condizioni idriche nei corsi d’acqua e la relativa capacità di trasporto dei sedimenti.

La dimensione del problema “sedimenti”

In alcuni bacini Alpini, i valori di produzione di sedimenti superano **1000 t/(km^2 ·anno)**, in media, in Italia i valori oscillano fra **120 e 600 t/(km^2 ·anno)**.

La dimensione del problema “sedimenti”

Su un totale di **543 grandi dighe** attualmente funzionanti sul territorio italiano, sono state analizzate **50 dighe** che rappresentano circa il **9%** del totale delle dighe e corrispondono ad un volume complessivo di 0.59 miliardi m3 (circa il 4.4% del volume totale pari a 13.35 miliardi m3).

Gli invasi analizzati sono distribuiti su tutto il territorio italiano, principalmente nelle seguenti regioni:
Piemonte, Emilia-Romagna, Abruzzo, Lazio, Sicilia, Toscana, Marche, Veneto, Sardegna e Lombardia.



[Patro et al. 2022]

La dimensione del problema “sedimenti”

Per ciascun invaso, abbiamo calcolato:

- Grado di Interrimento GI [%]
- Tasso di Interrimento TI [%/yr]
- Flusso di sedimenti SY [m3/yr]
- Flusso specifico di sedimenti SSY [m3/km2/yr]

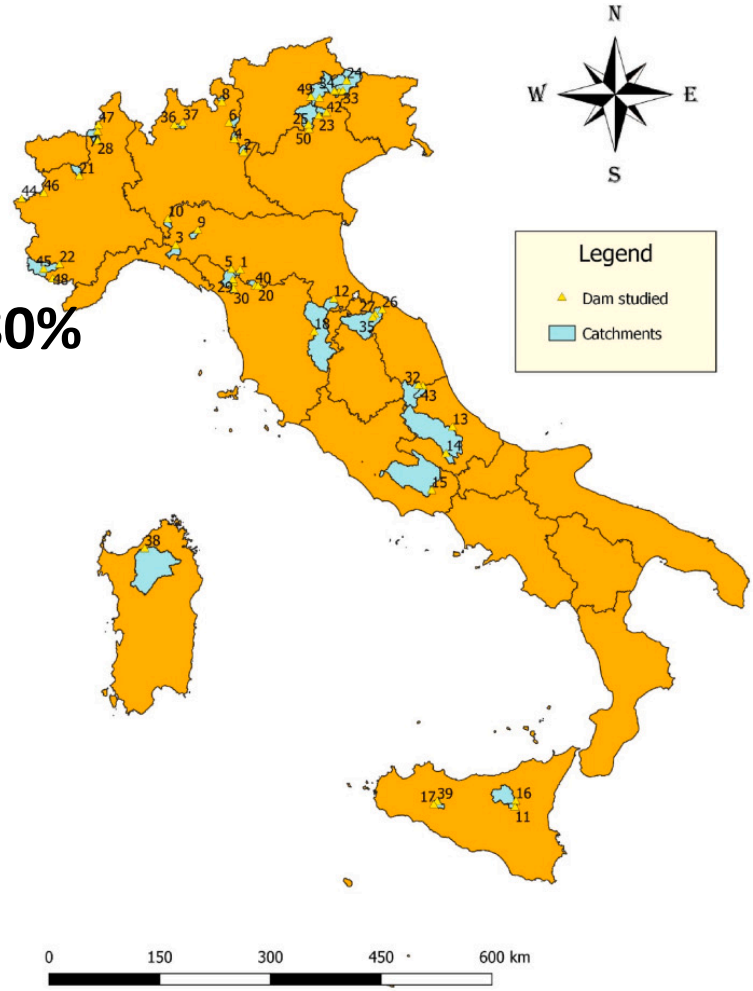


[Patro et al. 2022]

La dimensione del problema “sedimenti”

Per ciascun invaso, abbiamo calcolato:

- Grado di Interrimento GI [%] -> **v. medio 38% & per il 12% GI>80%**
- Tasso di Interrimento TI [%/yr]
- Flusso di sedimenti SY [m3/yr]
- Flusso specifico di sedimenti SSY [m3/km2/yr]



[Patro et al. 2022]

La dimensione del problema “sedimenti”

Table 2. Percentage loss of reservoir capacity, aggregation by macro-areas.

Macro-area	Number of reservoirs	$GI <$ 5 %	$GI \geq$ 5%	Average *GI*
Alpine	26	2	24	33%
Apennine	24	0	24	43%
All	50	2	48	



[Patro et al. 2022]

La dimensione del problema “sedimenti”

Per ciascun invaso, abbiamo calcolato:

- Grado di Interrimento GI [%]
- Tasso di Interrimento TI [%/yr]
- Flusso di sedimenti SY [m3/yr]
- Flusso specifico di sedimenti SSY [m3/km2/yr]

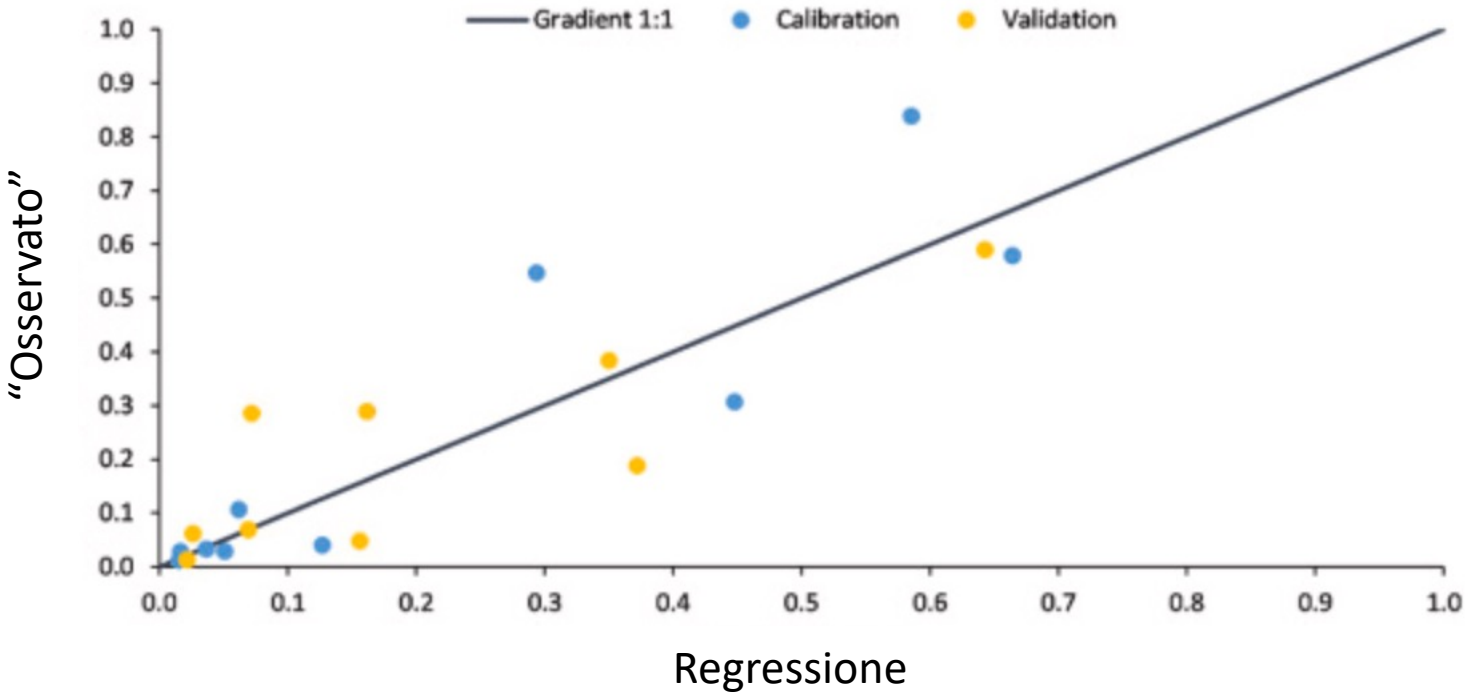
Poi

- Il tempo $t_{1/2}$ half-life year [yrs]
- La Perdita media annua di suolo GE [t/ha/yr]
- Sediment Delivery Ratio SDR=SSY/GE



[Patro et al. 2022]

La dimensione del problema “sedimenti”



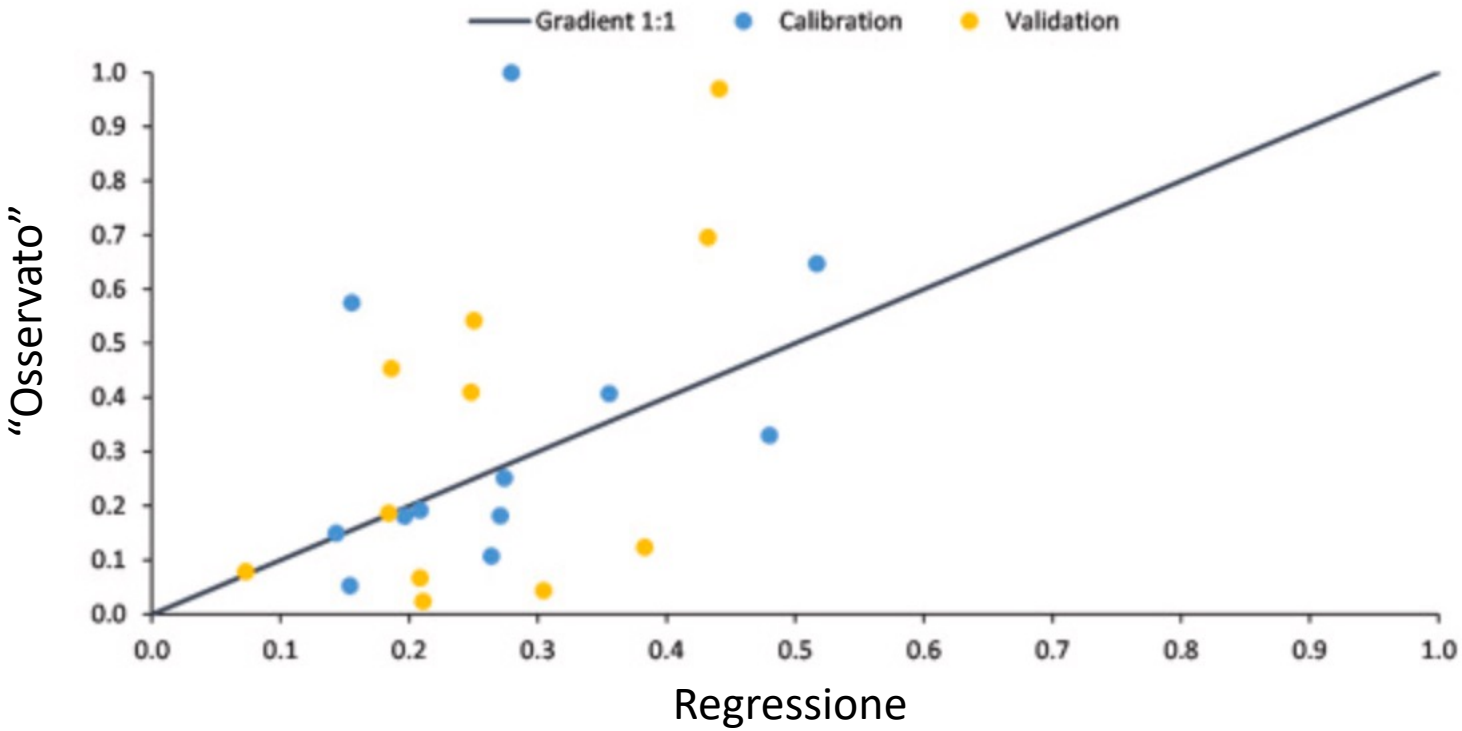
Calcolo del SDR per Bacini Alpini

SSY=SDR*GE per bacini non strumentati



[Patro et al. 2022]

La dimensione del problema “sedimenti”



Calcolo del SDR per Bacini Appenninici



[Patro et al. 2022]

Il Quadro normativo

D. MIMS [Decreto del Ministro delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili] **12 ottobre 2022, n. 205**. **Regolamento recante criteri per la redazione del progetto di gestione degli invasi** di cui all'articolo 114, commi 2, 3 e 4 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

- **produzione solida annua del bacino in base ai rilievi batimetrici dell'invaso**, interpretati tramite una caratterizzazione geologica, geomorfologica e di uso del suolo del bacino idrografico sotteso dallo sbarramento;

- **stima delle concentrazioni caratterizzanti il regime del trasporto solido in sospensione e sua stagionalità** soprattutto per gli invasi soggetti a frequenti manovre (i.e. almeno una manovra ogni 5 anni); **descrizione dei fenomeni caratterizzanti il trasporto al fondo** in particolare per i bacini ad elevata produttività del sedimento grossolano;

Il Quadro normativo

D. MIMS [Decreto del Ministro delle Infrastrutture e della Mobilità Sostenibili] **12 ottobre 2022, n. 205**. **Regolamento recante criteri per la redazione del progetto di gestione degli invasi** di cui all'articolo 114, commi 2, 3 e 4 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

- Ai fini della definizione delle modalità di gestione dell'invaso per il mantenimento/ripristino della sua capacità utile, **il progetto riporta una valutazione socio-economica e ambientale finalizzata a stabilire il ripristino della capacità di invaso utile originaria o sostenibile.**

La dimensione del problema “sedimenti”: i costi

I costi connessi alla perdita di capacità utile d’invaso derivano fondamentalmente da due contributi:

- **recupero della capacità d’invaso**
- **mancato utilizzo della risorsa idrica**

La dimensione del problema “sedimenti”: i costi

Nel luglio 2023, la Commissione Europea ha proposto una legge sul monitoraggio del suolo come strumento per la protezione del suolo nell’Unione Europea (UE).







01 Cost of 2.3 bn. euro annually — removing 135 million m^3 of sediments (EU) due to water erosion

02 5,000 reservoirs in EU — estimation of the annual capacity losses

03 2.5-8 bn. euro annually — the potential cost of all sediments removal

04 High variability of costs per country — most common methods are mechanical dredging and flushing

05 >1 billion m^3 of sediments — accounting all soil loss processes (gullies, landslides, quarrying, etc.)

[Panagos et al. 2022]

La dimensione del problema “sedimenti”: i costi

Table 1. Methodologies and costs for estimating sediment removal in European Union (EU) and Switzerland.

Methodology	Costs	Region-Location	Country	Reference
Treatments of sediments deposits	20 € per m^3	Not Available (NA)	Austria	Hauer et al. (2018)
Dredging	20 € per m^3	Locations in Danube basin	Austria	Hartl (2023)
Mechanical dredging	10-50 € per m^3	Flanders	Belgium	Verstraeten et al. (2003)
Mechanical dredging	11 € per m^3	Limburg	Netherlands	Kwaad, F.J.P.M. et al. (2006)
Mechanical dredging	20 € per m^3	Normandy	France	Patault et al. (2021)
Mechanical dredging	20-25 € per m^3	Bourgogne-Franche-Comté	France	MISEN (2010)
Mechanical and hydraulic dredging	17-20 € per m^3	Auvergne-Rhône-Alpes	France	Hydrostadium (2022)
Mechanical dredging	up to 30 CHF per m^3	NA	Switzerland	Jenzer Althaus et al. (2015)

[Panagos et al. 2022]

La dimensione del problema “sedimenti”: i costi

Table 1. Methodologies and costs for estimating sediment removal in European Union (EU) and Switzerland.

Methodology	Costs	Region-Location	Country	Reference
Mechanical dredging in wet conditions and landfill disposal	28 € per m^3	NA	Italy	ITCOLD (2009)
Hydraulic dredging	Between 5-10 and 30–40 € per m^3	NA	Italy	Personal communications with dam managers
Mechanical dredging	4.2€ per m^3	Molise	Italy	De Vincenzo et al. (2018)
Mechanical floating (fluitazione)	30 € per m^3	Lombardy (Diga di Cancano)	Italy	ITCOLD, 2016
Mechanical dredging	10-20 € per m^3		Spain	Rovira and Ibàñez (2007)
Suction dredging	6-13 € per m^3		Spain	Rovira and Ibàñez (2007)

[Panagos et al. 2022]

La dimensione del problema “sedimenti”: i costi

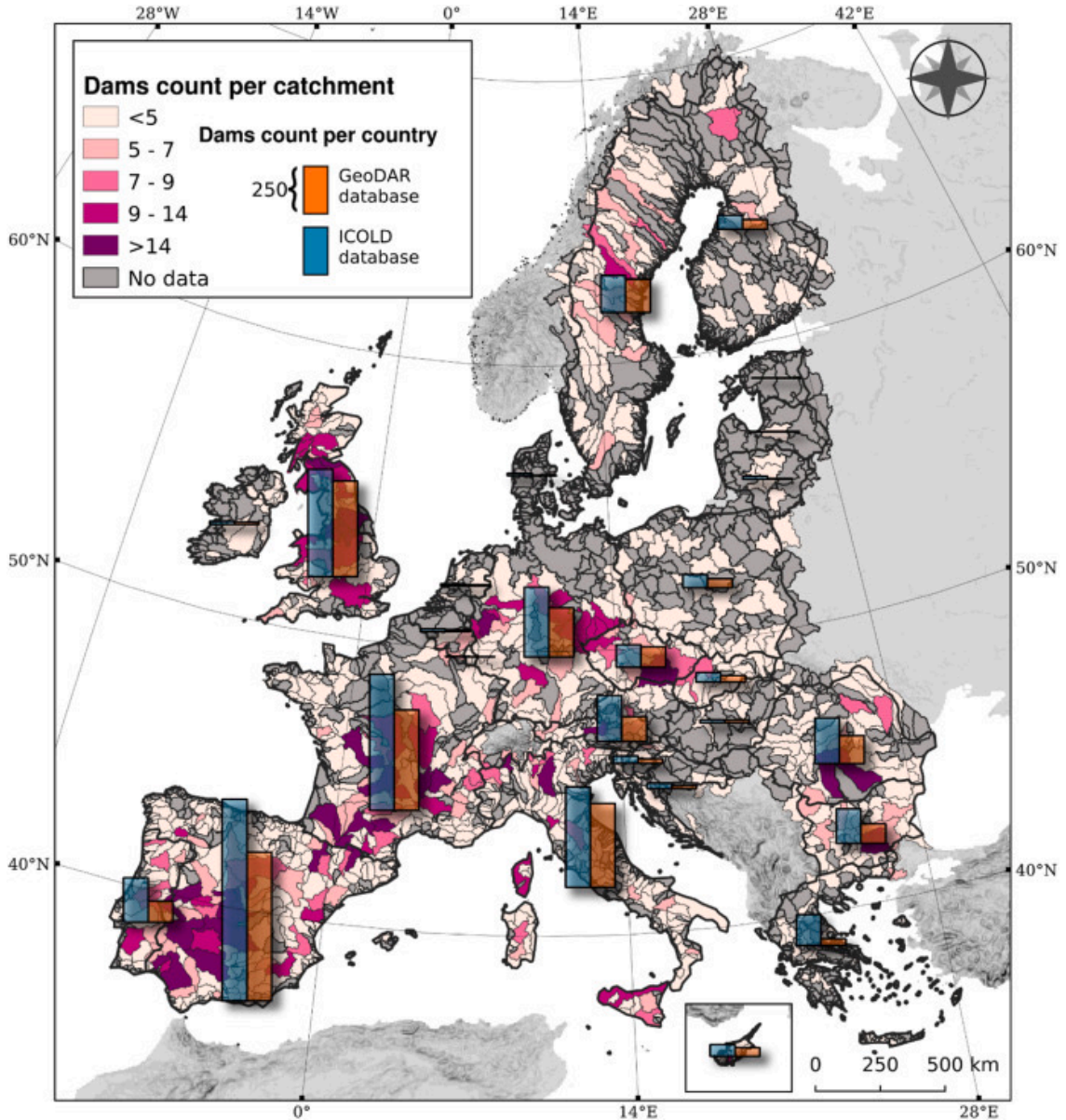
5500 dighe nella comunità europea + Uk con una capacità di 383 billion m^3 (ICOLD, 2023);

Considerando un tasso di sedimentazione di 0.26% per year [Verstraeten et al. (2006)]

1 billion m^3/anno di sedimenti accumulati nei serbatoi.

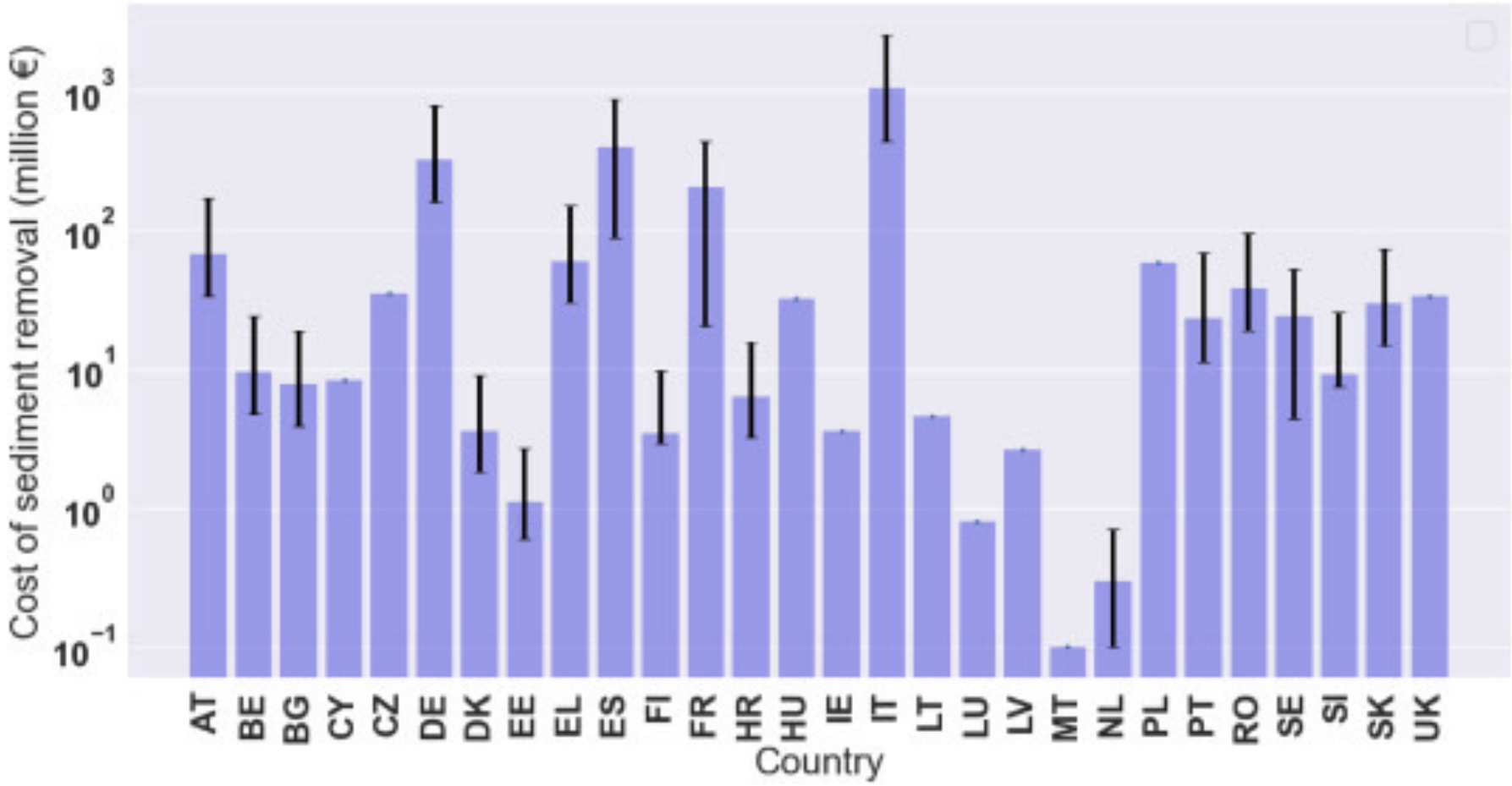
Considerando un costo di 5 Euro/m3 -> **5 billion €/anno**.

Alternativamente considerando un costo di 10.7 Euro/m3 -> **10.7 billion €/anno**.



[Panagos et al. 2022]

La dimensione del problema “sedimenti”: i costi



[Panagos et al. 2022]

Conclusioni

- Sicurezza idrologica delle dighe e confidenza nelle stime;

- Valutazione dell’apporto di sediment ai serbatoi e relativi costi per un approccio sostenibile.

Referenze

1. De Michele C., G. Salvadori, M. Canossi, A. Petaccia, & R. Rosso (2005) – Bivariate Statistical Approach to Check Adequacy of Dam Spillway, ASCE J. HYDROL. ENG. 10, (1), 50-57, 2005, https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2005)10:1(50)

2. Panagos P., Matthews F., Patault E., De Michele C., Quaranta E., Bezak N., Kaffas K., Patro E.R., Auel C., Schleiss A.J., Fendrich A., Liakos L., Van Eynde E., Vieira D., Borrelli P. (2024). Understanding the cost of soil erosion: An assessment of the sediment removal costs from the reservoirs of the European Union, Journal of Cleaner Production, Volume 434, 140183, ISSN 0959-6526, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140183

3. Patro E.R., De Michele C., Granata G., Biagini C., (2022). Assessment of current reservoir sedimentation rate and storage capacity loss: An Italian overview, Journal of Environmental Management, Volume 320, 2022, 115826, ISSN 0301-4797, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115826

La dimensione del problema “sedimenti”

Techniche di rimozione dei sedimenti:

- **flushing o fluitazione** [Consiste nell’aprire gli scarichi profondi in modo da indurre, in prossimità del fondo, condizioni idrauliche tali da causare trascinamento, ri-sospensione ed rilascio a valle dello sbarramento dei sedimenti depositati]

- **dragaggio e scavo con mezzi meccanici** [Consiste nello scavo dei materiali, trasporto ed loro smaltimento o riutilizzo]

- **idrosuzione** [(a) Idrosuzione con dragaggio; (b) Idrosuzione con bypass. Nell’idrosuzione con dragaggio i sedimenti vengono rimossi e trasportati attraverso una tubazione sfruttando il dislivello energetico tra monte e valle. Nell’idrosuzione con bypass, la tubazione il punto di ingress del corso d’acqua nell’invaso con una zona a valle della diga.].

La dimensione del problema “sedimenti”: i costi

NB: Tra le operazioni di rimozione, il flushing non è a tra le più economiche, comportando un elevato consumo d’acqua e conseguente perdita di produzione/utilizzo!

Assunto pari ad 1.0 il costo del flushing:

- il dragaggio in acqua costa circa 0.84
- lo scavo all’asciutto costa circa 0.75
- il conferimento a deposito di materiale inquinato costa 5 volte di più.

Possibilità di “riuso” dei sedimenti [Review]

- **Uso per ripascimento delle spiaggie**;
- **Creazione e/o ripristino habitat a marea, ripariali o zone umide** (wetlands);
- **Uso come materia prima per clinker** [Faure et al 2019, France];
- **Produzione di aggregati leggeri** [Junakova and Junak, 2019, Slovakia];
- **Produzione di mattoni** [Junakova and Junak, 2019, Slovakia];
- **Utilizzo del sedimento come legante nel calcestruzzo** [Junakova and Junak, 2019, Slovakia];
- **Utilizzo del sedimento nella costruzione di strade** [Benassia et al. 2016].