



LA GESTIONE DEI SEDIMENTI NEGLI INVASI ARTIFICIALI IN UN CONTESTO DI ECONOMIA CIRCOLARE

Analisi previsionale dell'interrimento per la gestione degli invasi

Annamaria De Vincenzo

Università della Basilicata

annamaria.devincenzo@unibas.it

La sedimentazione degli invasi

- ☐ Riduzione nel tempo della capacità utile a causa del fenomeno dell'interrimento
- ☐ Impatto sulla capacità di soddisfare le richieste idriche, soprattutto in presenza di cambiamenti climatici
- ☐ La previsione della riduzione nel tempo della capacità utile: fattore essenziale per la redazione del Progetto di gestione ai fini di una gestione ottimale della risorsa idrica

Metodi di stima del volume di sedimentazione degli invasi

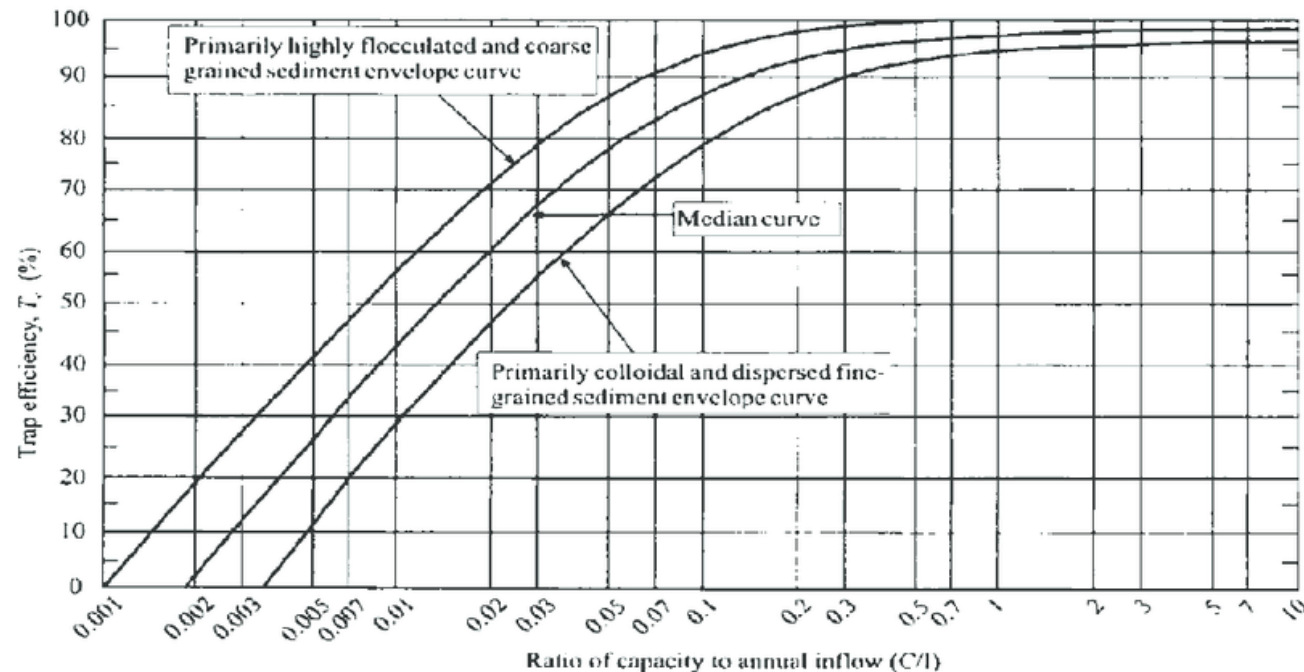
Principali approcci metodologici di letteratura per la previsione dei volumi di sedimenti nell'invaso:

- ☐ Metodi diretti: stima dei volumi di sedimento in funzione della capacità di trapping della diga
- ☐ Metodi indiretti: stima dell'apporto solido dal bacino all'invaso

Metodo diretto: il metodo di Brune (1953)

Il metodo di Brune (1953) richiede:

- la stima dell'input e dell'output di sedimenti sulla base di misure di trasporto solido a monte e a valle della diga;
- il calcolo dell'afflusso idrico medio annuo all'invaso



$$TE = \frac{LS_i - LSO}{LS_i}$$

TE trapping efficiency

LS_i sediment load flowing into the reservoir

LS_o sediment load flowing out of the reservoir

C reservoir capacity

I afflusso idrico annuo

Metodo indiretto: la procedura USLE/RUSLE

- Il modello stima l'apporto solido alla diga in funzione di sei principali fattori, che dipendono da **numerosi parametri** che sintetizzano il processo erosivo nel bacino a monte
- Il prodotto dei fattori consente la stima della perdita di suolo media annua E (t/ha) mediante la relazione

$$E = R * K * L * S * C * P$$

R fattore di erosività della pioggia;

K fattore di erodibilità del suolo;

L, S fattori dipendenti dalla topografia del bacino;

C fattore funzione dell'effetto delle colture, delle tecniche di coltivazione o della vegetazione;

P fattore effetto delle pratiche conservative.

Il modello proposto da Molino et al (2023)

Molino, B., De Vincenzo, A., Minó, A. , Ambrosone, L. Long-Term Water Management Model for Preserving Sustainable Useful Capacity of Reservoirs. *Water Resour Manage* 37, 1879–1894 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03460-w>

Il modello proposto da Molino et al (2023)

Attraverso un bilancio di massa e un bilancio di energia, si ottiene

$$\frac{dV_s}{dt} = \frac{V_\infty - V_s}{\tau(t)}$$

V_s volume di sedimento depositato al tempo t

V_∞ massimo volume possibile di sedimenti (capacità utile iniziale dell'invaso)

$V = V_s - V_\infty$ volume "libero" dal sedimento

$\tau(t)$ funzione delle caratteristiche del bacino

Il modello proposto da Molino et al (2023)

Assumendo legge di potenza per $\tau(t)$

$$\tau(t) = \frac{\tau_0}{\sigma} \left(\frac{t}{\tau_0} \right)^{1-\sigma}$$

e integrando, si ottiene

$$V_s = V_\infty \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\tau_0} \right)^\sigma \right] \right\}$$

**Equazione di base
del modello**

V_s volume di sedimento al tempo t

V_∞ capacità utile iniziale dell'invaso= capacità utile iniziale

τ_0 , σ parametri del modello

Il modello proposto da Molino et al (2023)

Peculiarità del modello:

- il volume dei sedimenti depositati nell'invaso nel tempo segue una legge di potenza
- la legge di potenza è funzione soltanto di due parametri
- i parametri riassumono in sé le caratteristiche del singolo invaso e del bacino idrografico a monte

Il modello proposto da Molino et al (2023)

Taratura dei parametri σ e τ_0 del modello

- Mediante fitting in funzione rilievi batimetrici disponibili
- Procedura di fitting diversa a seconda del numero di rilievi batimetrici disponibili

Il modello proposto da Molino et al (2023)

Taratura dei parametri σ e τ_0 del modello: **numero elevato di rilievi batimetrici**

Fitting **non lineare** in funzione dei rilievi batimetrici disponibili

Il modello proposto da Molino et al (2023)

Taratura dei parametri σ e τ_0 del modello: numero **limitato** di rilievi batimetrici

- Fitting **lineare** in funzione della variabile

$$Z = -\ln \left(1 - \frac{V_s}{V_\infty} \right)$$

che trasforma la legge di potenza del modello in

$$\ln Z = \sigma \ln t - \sigma \ln \tau_0$$

Il modello proposto da Molino et al (2023)

Stima dei parametri σ e τ_0 del modello: **due** rilievi batimetrici disponibili ai tempi t_1 e t_2

Sulla base della relazione lineare

$$\ln Z = \sigma \ln t - \sigma \ln \tau_0$$

calcolando Z_1 e Z_2 per $V_s(t_1)$ e $V_s(t_2)$ mediante

si ottiene

$$Z = -\ln \left(1 - \frac{V_s}{V_\infty} \right)$$

$$\sigma = \frac{Z_1 - Z_2}{\ln \frac{t_1}{t_2}}, \quad \tau_0 = \sqrt{t_1 t_2} \exp \left(-\frac{Z_1 + Z_2}{2\sigma} \right)$$

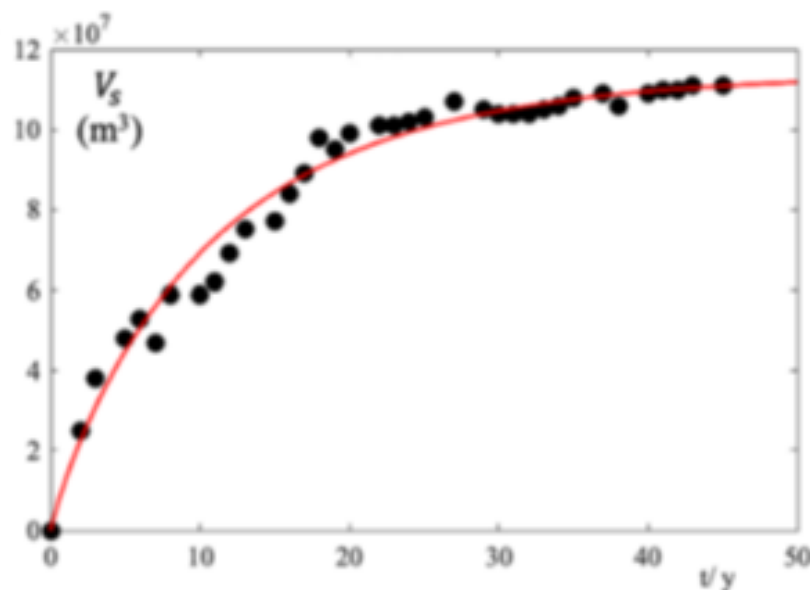
Applicazione del modello: casi studio

- Welbedacht dam (Caledon River, South Africa)
- Diga del Camastra (Fiume Basento, Italia)
- Vaigai dam (Vaigai River, India)
- Chimhanda dam (Mazowe River basin, Zimbabwe)

Fitting non lineare: diga di Welbedacht



Fitting non lineare: Welbedacht dam



$$V_{\infty} = 1.14 \cdot 10^8 \text{ m}^3$$

$$\sigma = 0.90 \pm 0.08$$

$$\tau_0 = 10.8 \pm 0.7 \text{ anni}$$

$$R^2 = 0.980$$

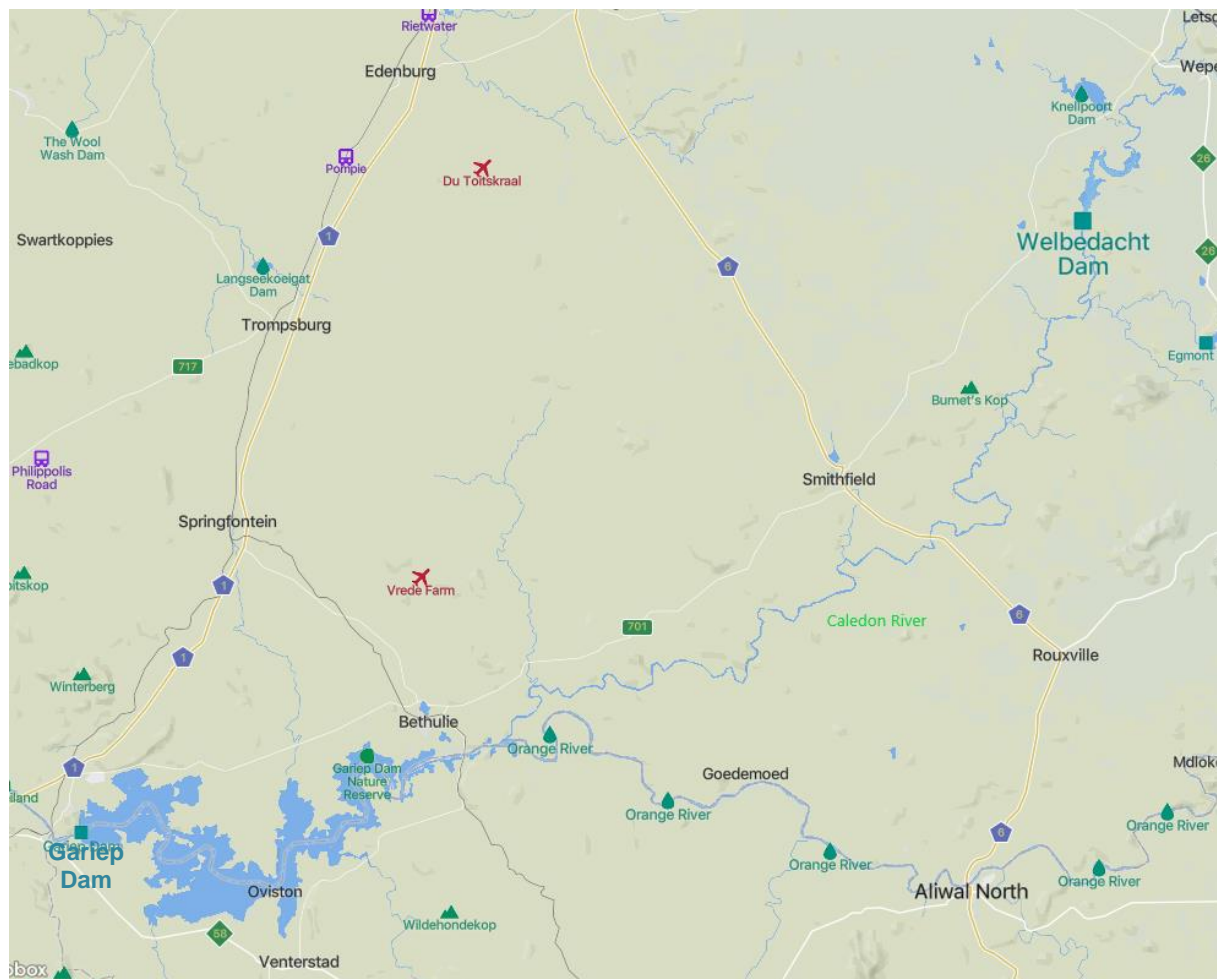
$$t_{1/2} = 7 \pm 1 \text{ anni}$$

1973

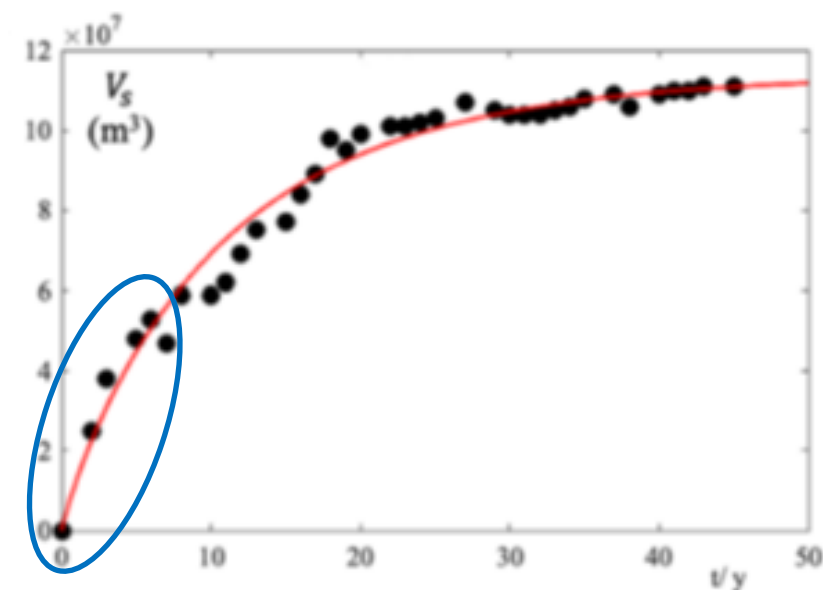
tempo riempimento 27 anni

Anno: 1973; Ente gestore: Department of Water Affairs; Tipo di diga: calcestruzzo gravità; Uso: potabile

Fitting non lineare: Welbedacht Dam



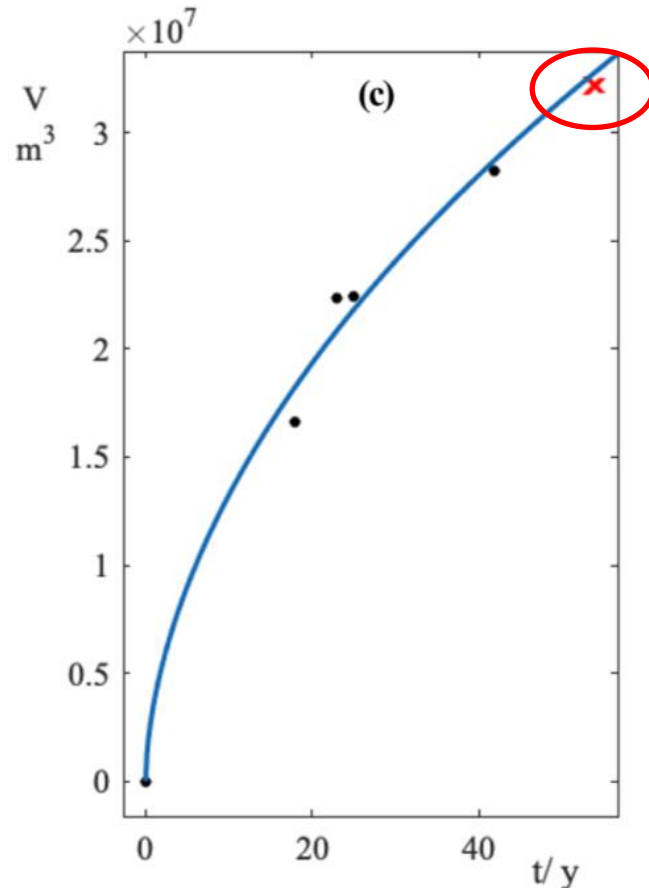
Welbedacht Dam utilizzata per laminazione piene senza flushing durante la costruzione della Gariep Dam sul fiume Orange



Fitting lineare: Vaigai dam



Fitting lineare: Vaigai dam



Rilievo satellitare 2012

$$V_{\infty} = 1.95 \cdot 10^8 \text{ m}^3$$

$$\sigma = 0.58$$

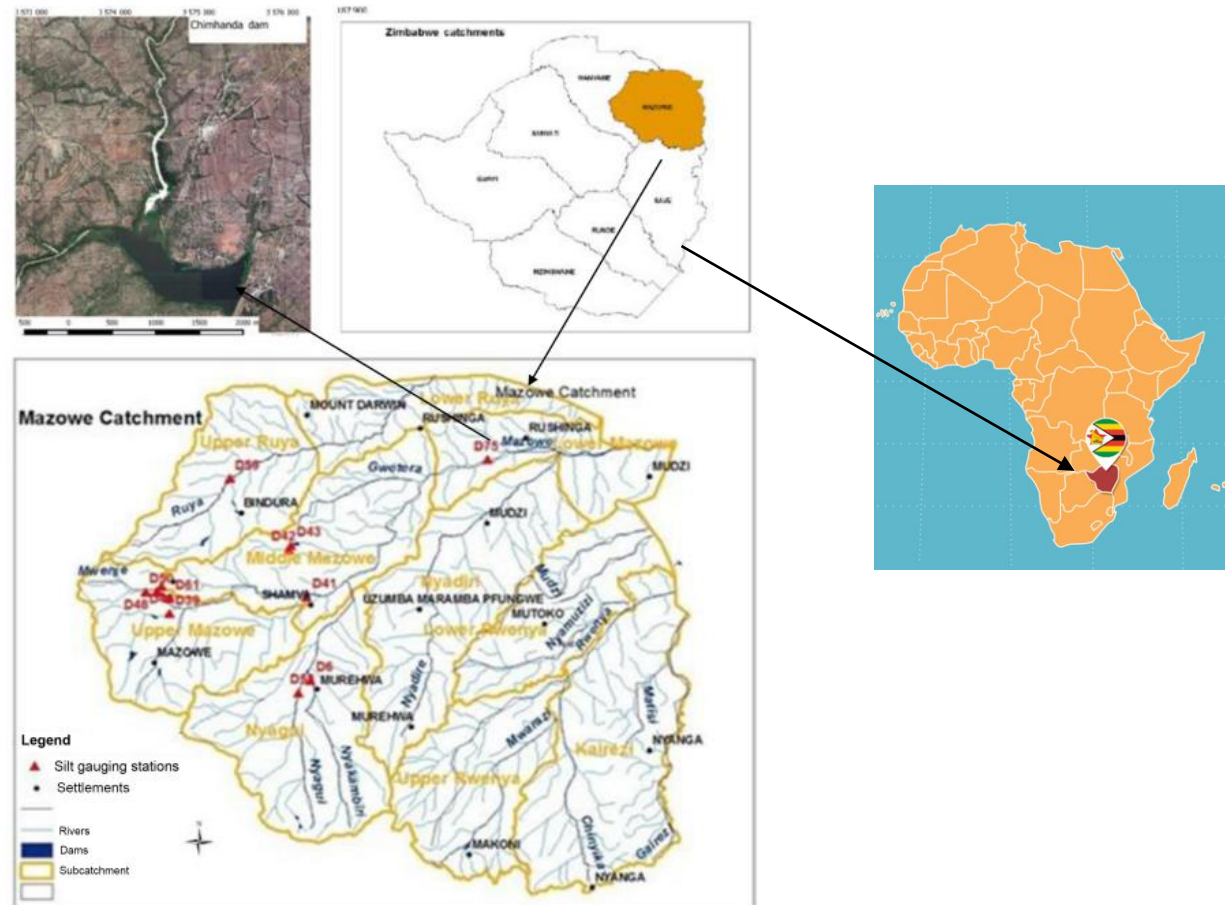
$$\tau_0 = 1003$$

$$V_s (2012, \text{curva}) = 3.3 \cdot 10^7 \text{ m}^3$$

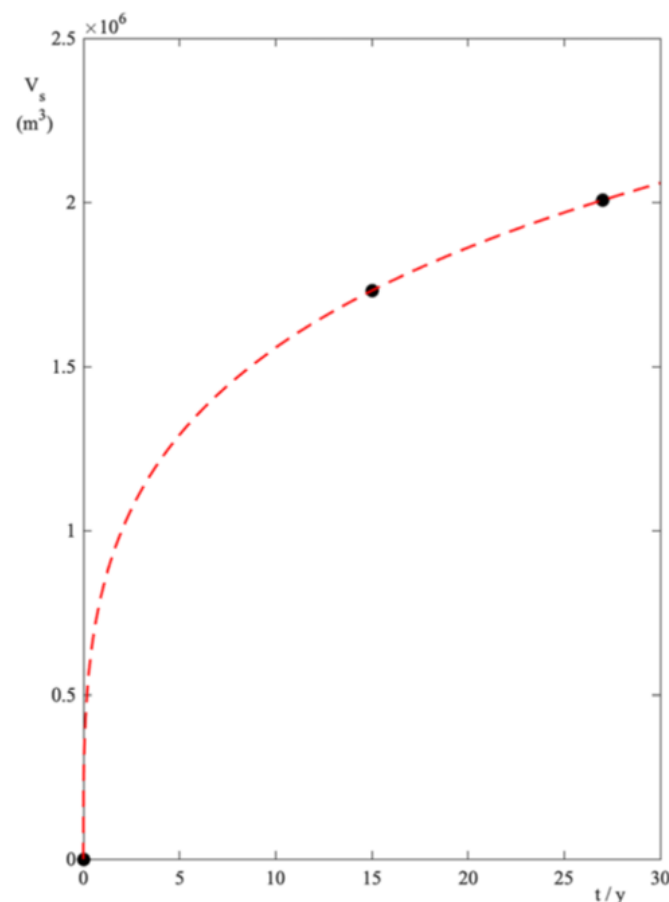
$$V_s (2012, \text{ril. satel.}) = 3.2 \cdot 10^7 \text{ m}^3$$

Anno: 1958; Ente gestore: Tamil Nadu Generation and Distribution Corp. L_{im}.; Tipo di diga: a gravità; Uso: idroelettrico

Fitting con due rilievi batimetrici: Chimhanda dam



Fitting con due rilievi batimetrici: Chimhanda dam



$$V_{\infty} = 5.2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\sigma = 0.32$$

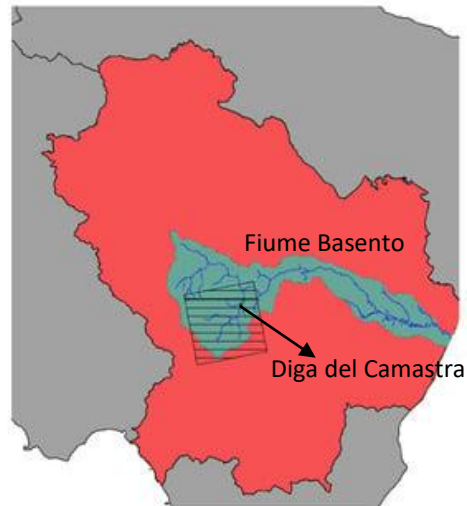
$$\tau_0 = 260 \text{ anni}$$

$$t_{1/2} = 82 \text{ anni}$$

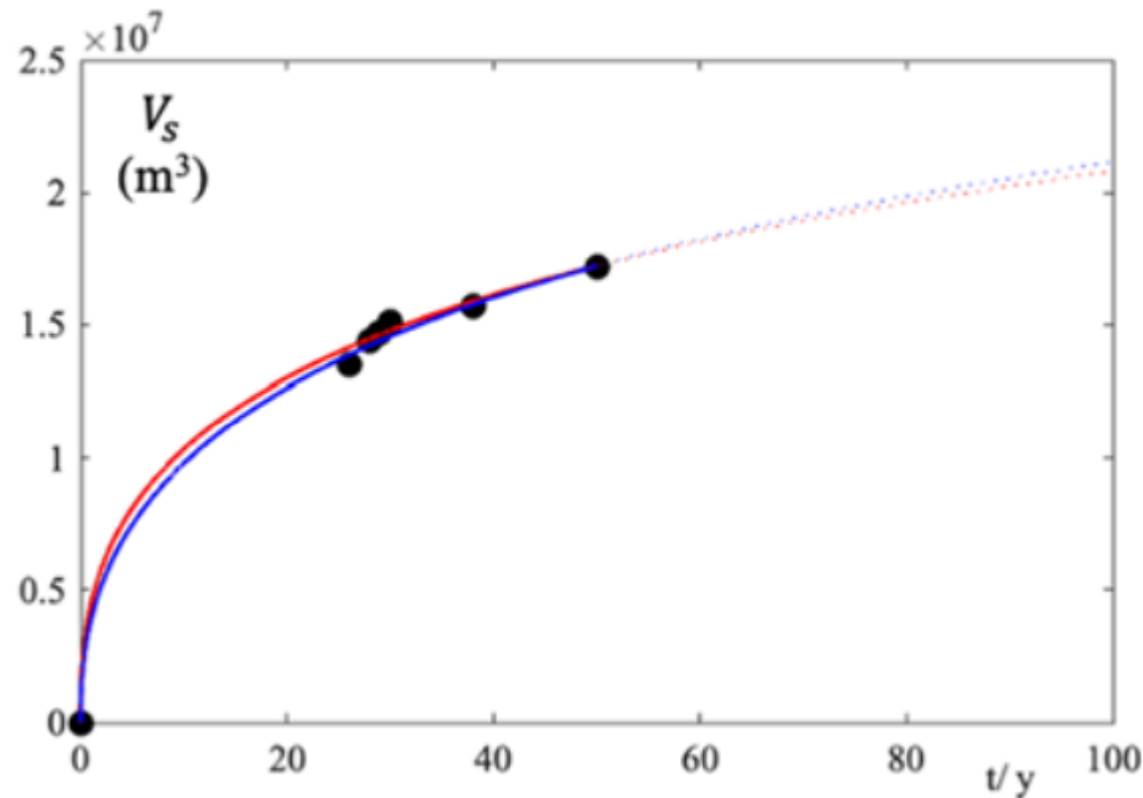
$$2015: V_s / V_{\infty} = 39\%$$

Anno: 1988; Ente gestore: Zimbabwe National Water Authority; Tipo di diga: ; Uso: Irriguo

Caso studio della diga del Camastra



Confronto fitting lineare e non lineare: diga del Camastra



$$V_{\infty} = 35.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$\sigma = 0.4 \pm 0.1$$

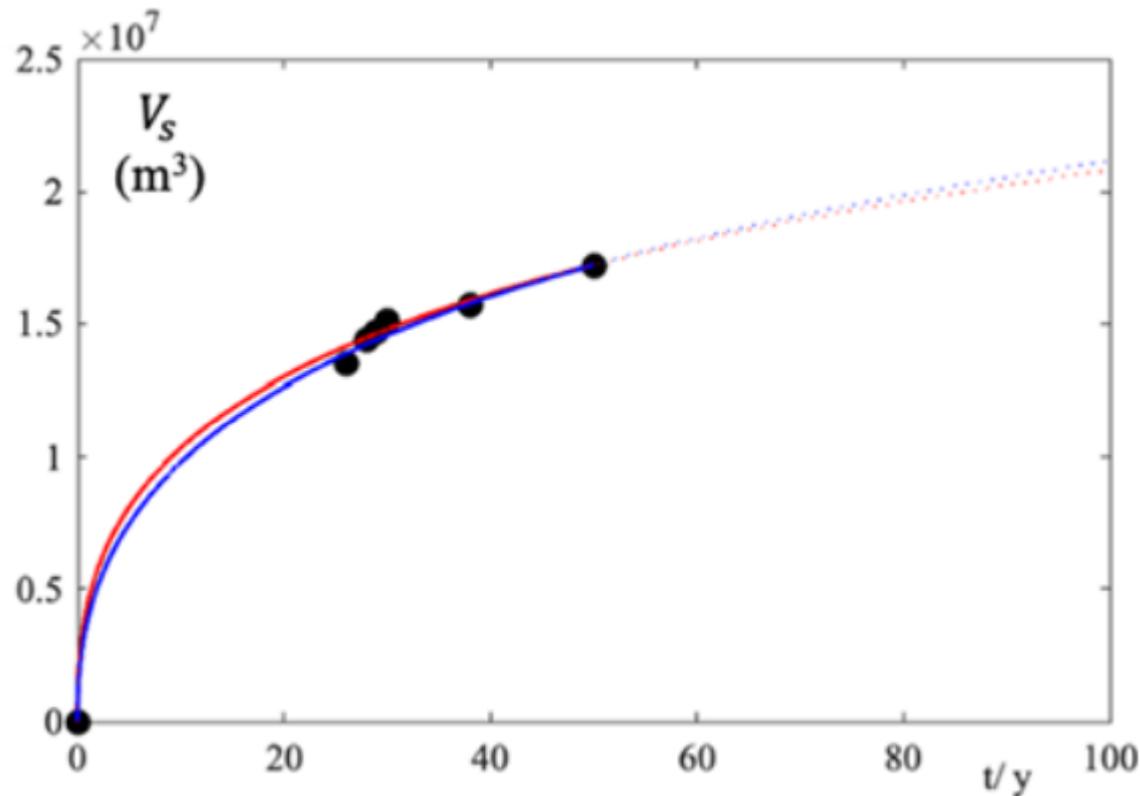
$$\tau_0 = (1.3 \pm 0.6) \cdot 10^2 \text{ anni}$$

$$t_{1/2} = 50 \text{ anni}$$

— lineare
— non lineare

Anno: 1968; Ente gestore: EIPLI (Ente per lo sviluppo dell'Irrigazione e la trasformazione fondiaria in Puglia, Irpinia e Basilicata) ; Tipo di diga: in terra zonata ; Uso: potabile (Potenza), Irriguo, industriale

Confronto fitting lineare e non lineare: diga del Camastra



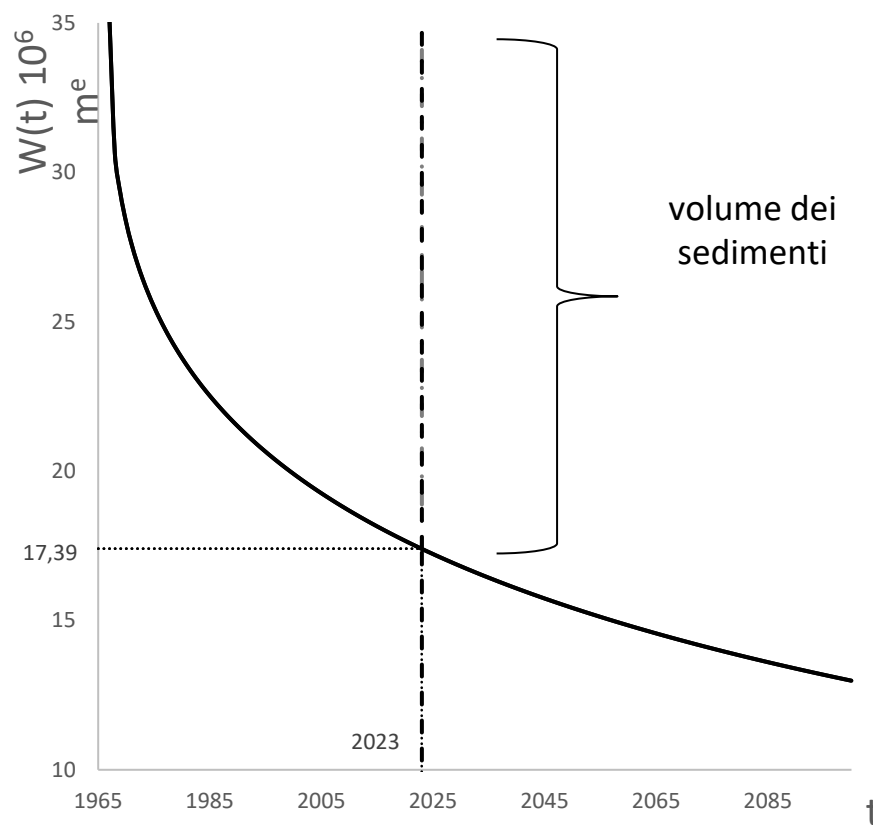
dati interpolati: fino a 2015

V_s (2017, curva) = $(17 \pm 0.5) \cdot 10^6 \text{m}^3$

V_s (2017, ril. batim.) = $18 \cdot 10^6 \text{m}^3$

— lineare
— non lineare

Il modello in forma grafica come strumento di gestione



Caso studio: diga del Camastra

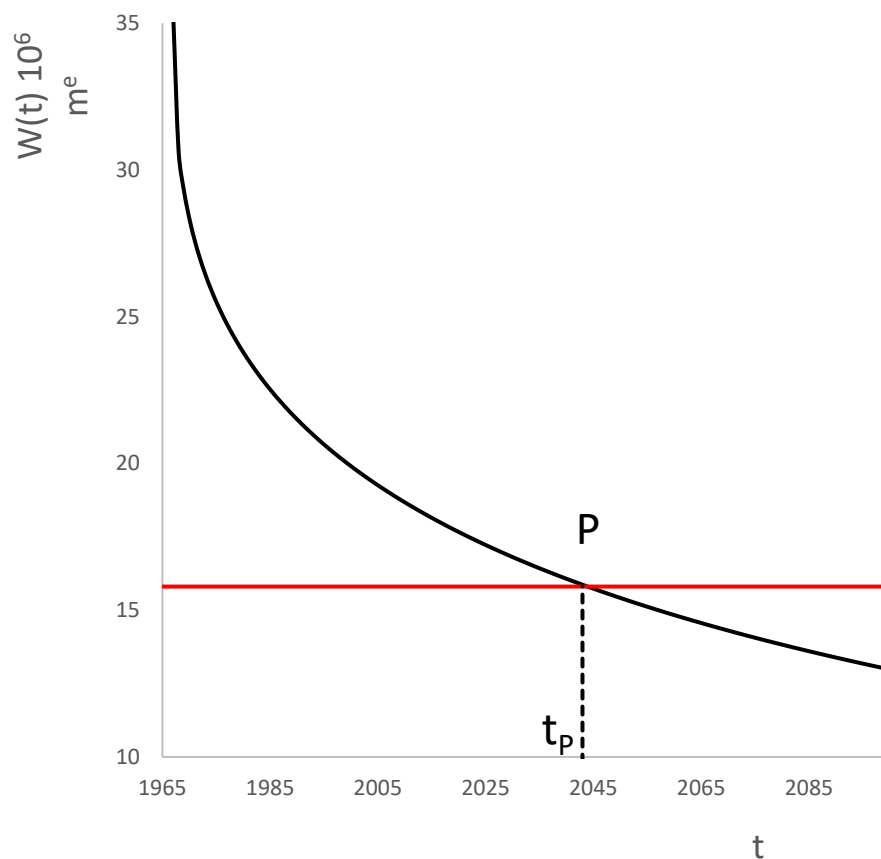
$W(t)$ =capacità utile al tempo t

$$W(t) = W_{\text{iniziale}} - V_s(t)$$

$V_s(t)$ volume sedimenti al tempo t
da modello proposto

$$W_{\text{iniziale}} = V_{\infty} = 35.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

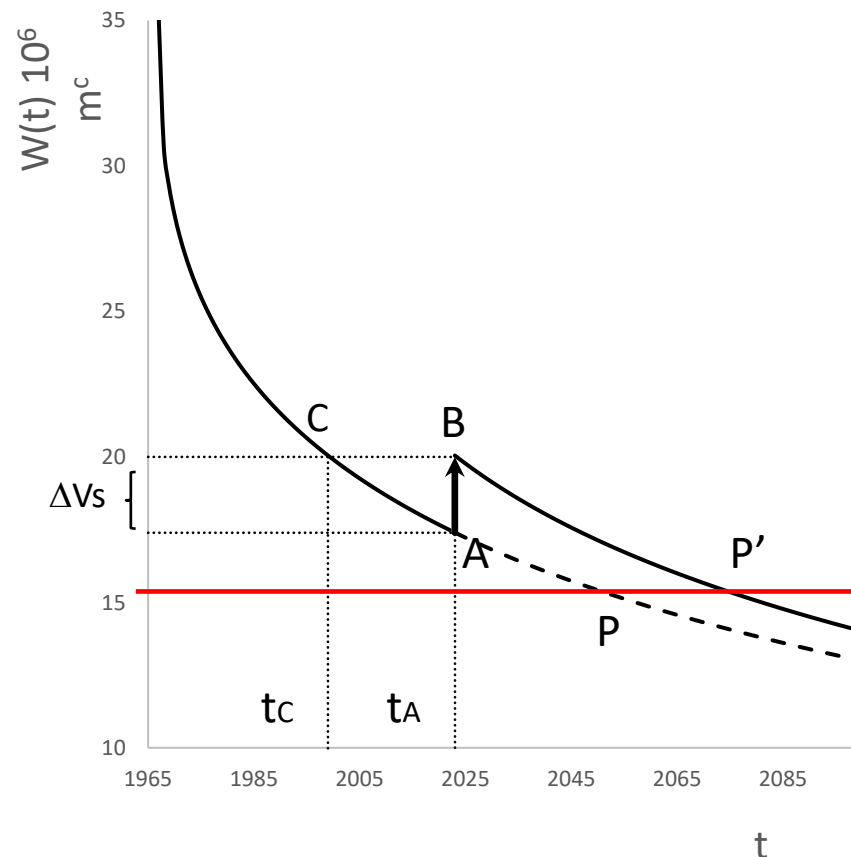
Il modello in forma grafica come strumento di gestione



— $W(t)$ da modello proposto

— Capacità Utile Sostenibile (CUS)

Il modello in forma grafica come strumento di gestione



$W(t)$ capacità utile al tempo t

$$W(t) = W_{1967} - V_s(t)$$

$$W_{1967} = V_{\infty} = 35.3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

ΔV_s volume di sedimenti da rimuovere

— CSU

Conclusioni

Il modello proposto descrive l'evoluzione temporale dei volumi di sedimentazione attraverso una legge di potenza

Il modello utilizza soltanto due parametri, che devono essere calcolati mediante una procedura di fitting sulla base di rilievi batimetrici

Le equazioni sono state testate per numerose e differenti sistemi diga-invaso ubicati in differenti regioni del mondo e gestiti secondo modalità ed esigenze diverse

Robustezza e capacità predittiva del metodo sono state valutate confrontando i risultati numerici con le rilevazioni satellitari.

Il modello in forma grafica è di facile applicabilità e consente di gestire sedimenti e risorsa idrica in maniera semplice ed efficace

E' necessario effettuare nuovi rilievi batimetrici solo in condizioni straordinarie, per una nuova taratura del modello