

Alma Mater Studiorum – Università di Bologna

---

Scuola di Ingegneria e Architettura  
Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

# **ANALISI DEL PIANO DI LAMINAZIONE E SIMULAZIONE DEL BILANCIO IDRICO DELL'INVASO DI BILANCINO (FI)**

CANDIDATA  
Giuliana Compagni

RELATORE  
Chiar.ma Prof.ssa Elena Toth  
CORRELATORI  
Dott. Geol. Paolo Grossi  
Dott. Ing. Leonardo Rossi

*Presentazione 6a edizione "Bando premio tesi di laurea"  
per tesi dedicate alle dighe*



*24 febbraio 2021*



Fiume  
Sieve

Barberino di Mugello (FI)

**INVASO DI BILANCINO (FI)**  
69.142.000 m<sup>3</sup>, anni 1998 - 2018

Publiacqua S.p.A.

Diga in  
materiali sciolti  
(a regime dal 2002)



# USI DELL'INVASO

- **Approvvigionamento idropotabile** per la città di Firenze ( $3.5 \text{ m}^3/\text{s}$  per impianti potabilizzatori dell'Anconella e di Mantignano)
- **Miglioramento caratteristiche ambientali** dei fiumi Sieve ( $Q_{\text{DMV}} = 0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e Arno ( $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$  nel tratto cittadino)
- **Laminazione delle portate di piena** in arrivo dal bacino di monte
- **Produzione di energia elettrica** (dal 2006)



### Scaricatore di superficie

- Paratoia mobile (249 – 252 m s.l.m.)
- Soglia fissa (252 m s.l.m.)



### Sbarramento in terra



### Centrale idroelettrica



# PERCHE' ITCOLD?

- **Interazione tra diga e territorio / Protezione dalle piene**
- **Impatto sociale della diga:** tutela di un piccolo centro abitato dal punto di vista idraulico, ma minori risorse a fini acquedottistici
- **Mobilità degli organi di intercettazione:** come utilizzare la paratoia mobile dello scarico di superficie?



# PIANO DI LAMINAZIONE: PERCHE'?

Reperire volume aggiuntivo all'interno dell'invaso per **scopi laminativi** e ridurre il rischio idraulico nei territori di valle, soprattutto per l'abitato di **Sagginale (FI)**, 13.6 km a valle



# APPLICAZIONE REGOLE PIANO DI LAMINAZIONE

## *SCHEMA LOGICO DI IMPLEMENTAZIONE*

<b>Ottobre – Gennaio: LAMINAZIONE STATICA</b>	Quota della paratoia: 250 m s.l.m. Fasi di allerta meteo ( <b>arancione</b> o <b>rossa</b> ): 252 m s.l.m.
<b>Febbraio – Marzo: LAMINAZIONE STATICA</b>	Quota della paratoia: 251 m s.l.m. Fasi di allerta meteo ( <b>arancione</b> o <b>rossa</b> ): 252 m s.l.m.
<b>Aprile – Settembre: LAMINAZIONE DINAMICA</b>	Quota della paratoia: 252 m s.l.m. 6 ore prima dell'allerta meteo ( <b>arancione reticolo principale</b> ): 251.5 m s.l.m. 6 ore prima dell'allerta meteo ( <b>rossa</b> ): 251 m s.l.m.



# RICOSTRUZIONE BILANCIO D'INVASO A SCALA GIORNALIERA



## EQUAZIONE DI BILANCIO DI MASSA IDRICA PER L'INVASO

$$V(t+1) - V(t) = V_e(t) - (V_{evap}(t) + V_{filtr}(t) + V_{pot}(t) + V_{para}(t) + V_{soglia}(t) + V_{deriv}(t))$$



# (1) EVAPORAZIONE MEDIA GIORNALIERA: EQUAZIONE DI PENMAN

Gradiente della  
curva di tensione  
di vapore con la  
temperatura

Radiazione solare  
netta assorbita dalla  
superficie del lago

Costante psicrometrica,  
dipendente dal calore  
specifico dell'aria umida e  
dalla pressione atmosferica

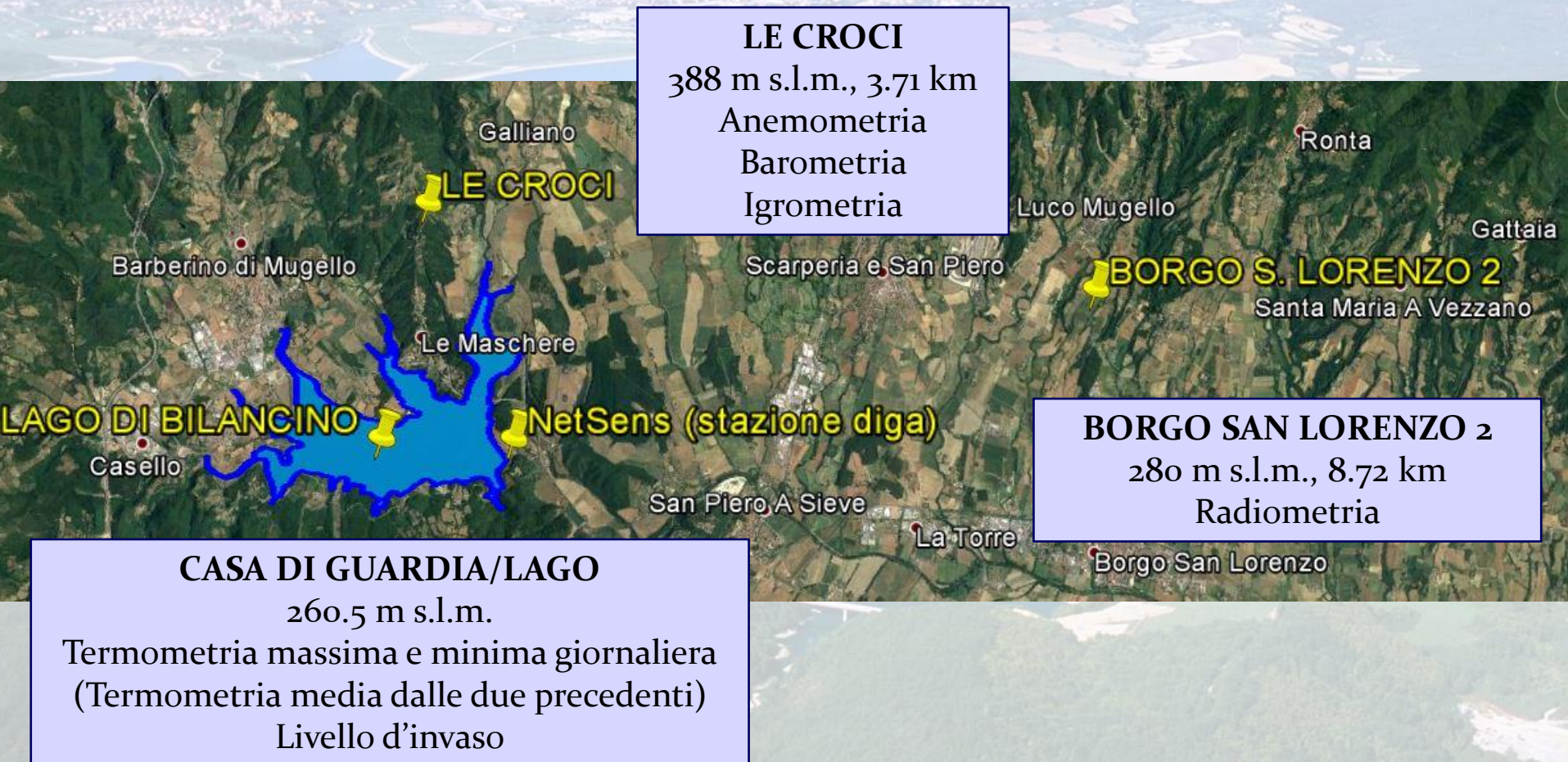
$$E_p \left[ \frac{mm}{g} \right] = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} * \frac{R_N}{\lambda} + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} * f(u) * (e_s - e_a)$$

Calore latente di  
vaporizzazione  
dell'acqua

Funzione vento

Differenza tra tensione  
di vapore a saturazione e  
quella presente nell'aria

# (1) EVAPORAZIONE MEDIA GIORNALIERA: EQUAZIONE DI PENMAN

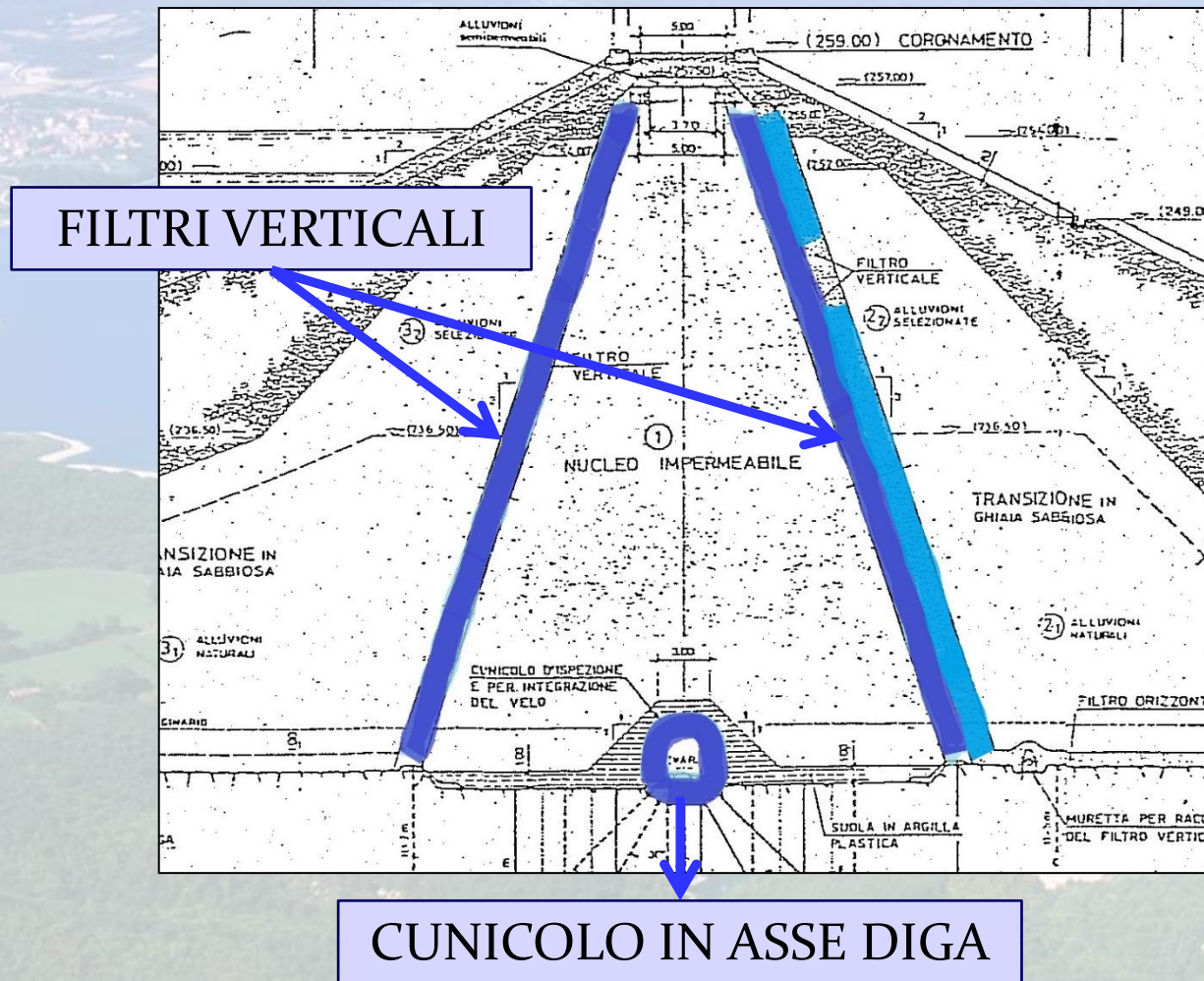




# (1) EVAPORAZIONE MEDIA GIORNALIERA: EQUAZIONE DI PENMAN

Mese	$E_{p,medio}$ [mm/g]	$V_{evap,medio}$ [m <sup>3</sup> ]
Gennaio	0.61	2724
Febbraio	1.15	5289
Marzo	2.13	9794
Aprile	3.35	15316
Maggio	4.58	21109
Giugno	5.63	26044
Luglio	6.13	27200
Agosto	5.41	23740
Settembre	3.40	13879
Ottobre	1.90	7590
Novembre	0.77	3121
Dicembre	0.46	2001

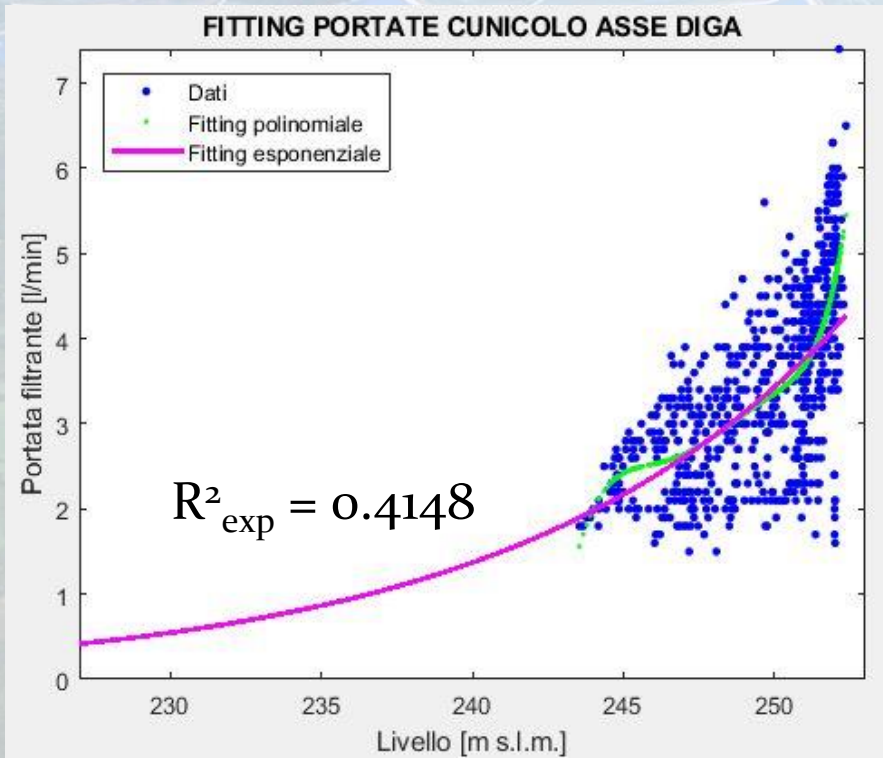
## (2) FILTRAZIONE ATTRAVERSO IL CORPO DIGA



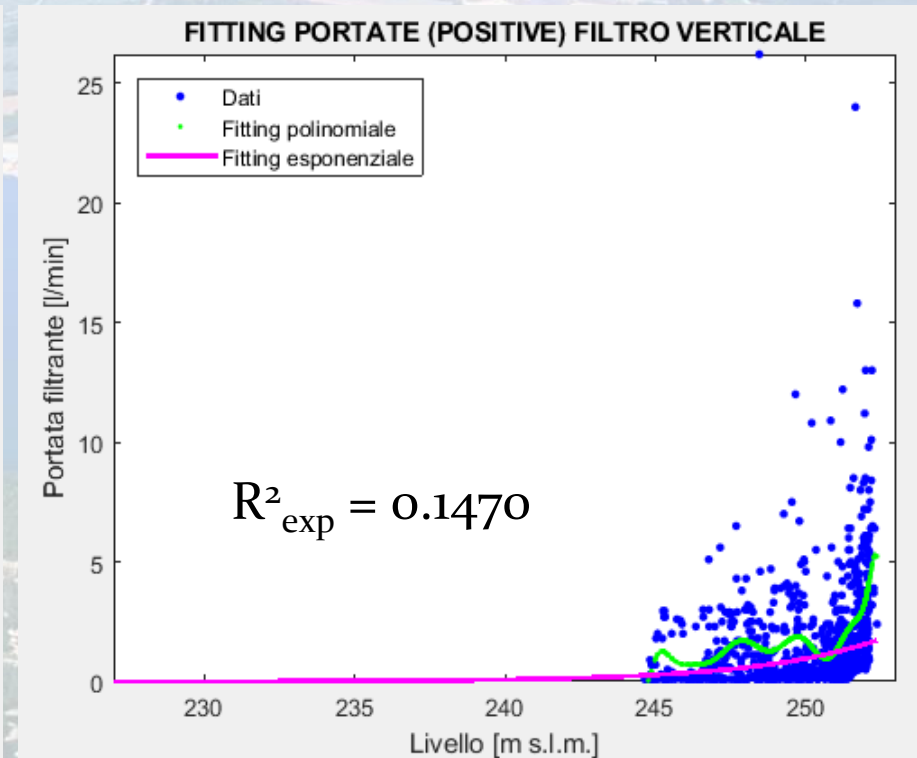


## (2) FILTRAZIONE ATTRAVERSO IL CORPO DIGA

*Curve fitting* tramite Matlab per passare da misure settimanali a misure giornaliere, con estrapolazione per livelli bassi



$$Q_{\text{cunicolo}} [l/min] = 3.6448 * 10^{-10} * e^{0.0919 * h}$$



$$Q_{\text{filtrovert}} [l/min] = 1.3654 * 10^{-27} * e^{0.2473 * h}$$

### (3) POTABILIZZATORI

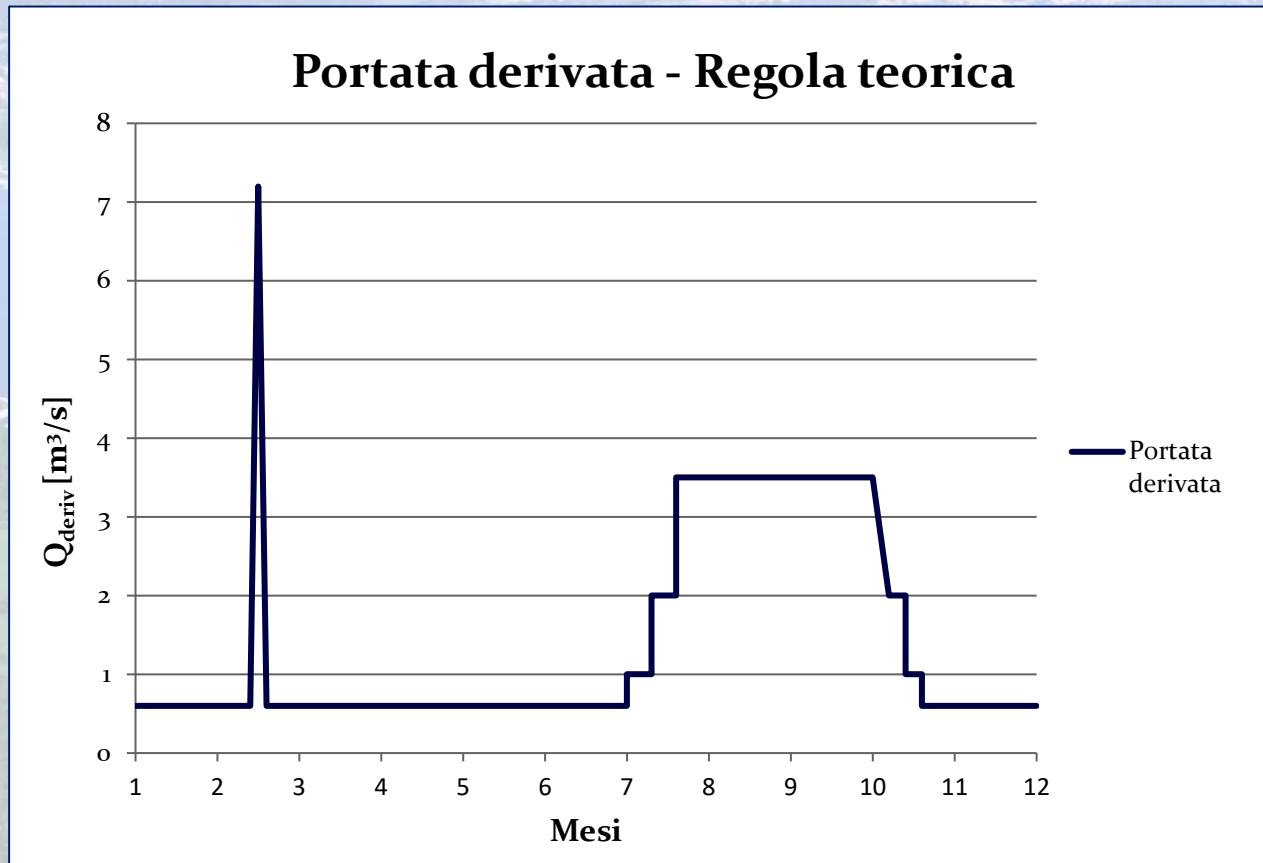
## Andolaccio, Stura, Le Maschere



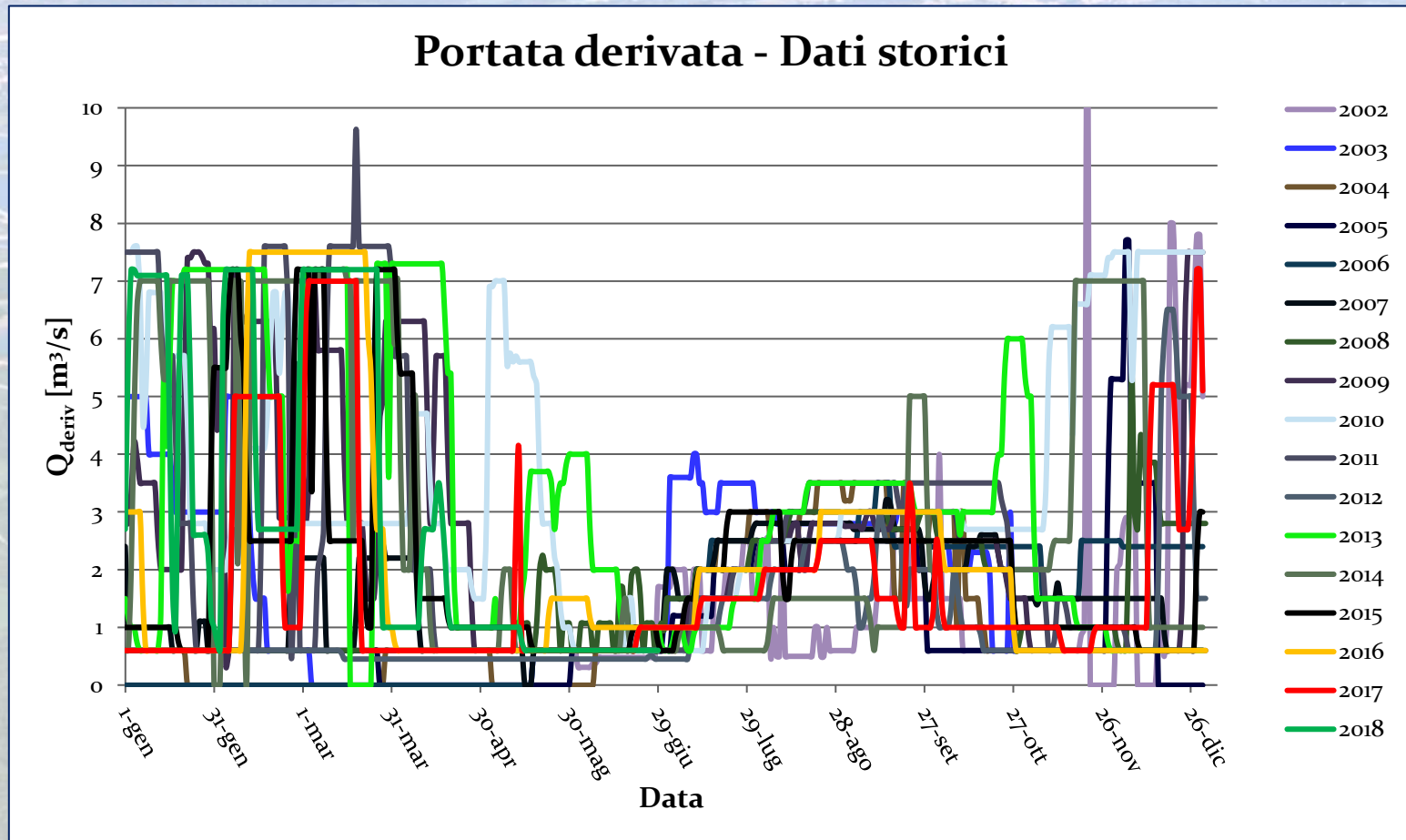
Anni	Andolaccio	Stura	Le Maschere
2003 – 2006	/		
2007 – 2010	15 [l/s]		
2011	10 [l/s]	20 [l/s]	2 [l/s]
2012	4 [l/s]	(valore medio tutto l'anno)	(valore medio tutto l'anno)
2013 – 2016	Impianto fermo		
2017 – 2018	7 [l/s] Giu – Sett 3 [l/s] Ott – Dic		



## (4) PORTATE DERIVATE



## (4) PORTATE DERIVATE





## (5) PORTATE SFIORATE

Deflusso da stramazzo:

$$Q = \mu * L * h \sqrt{2gh}$$

Paratoia a ventola:

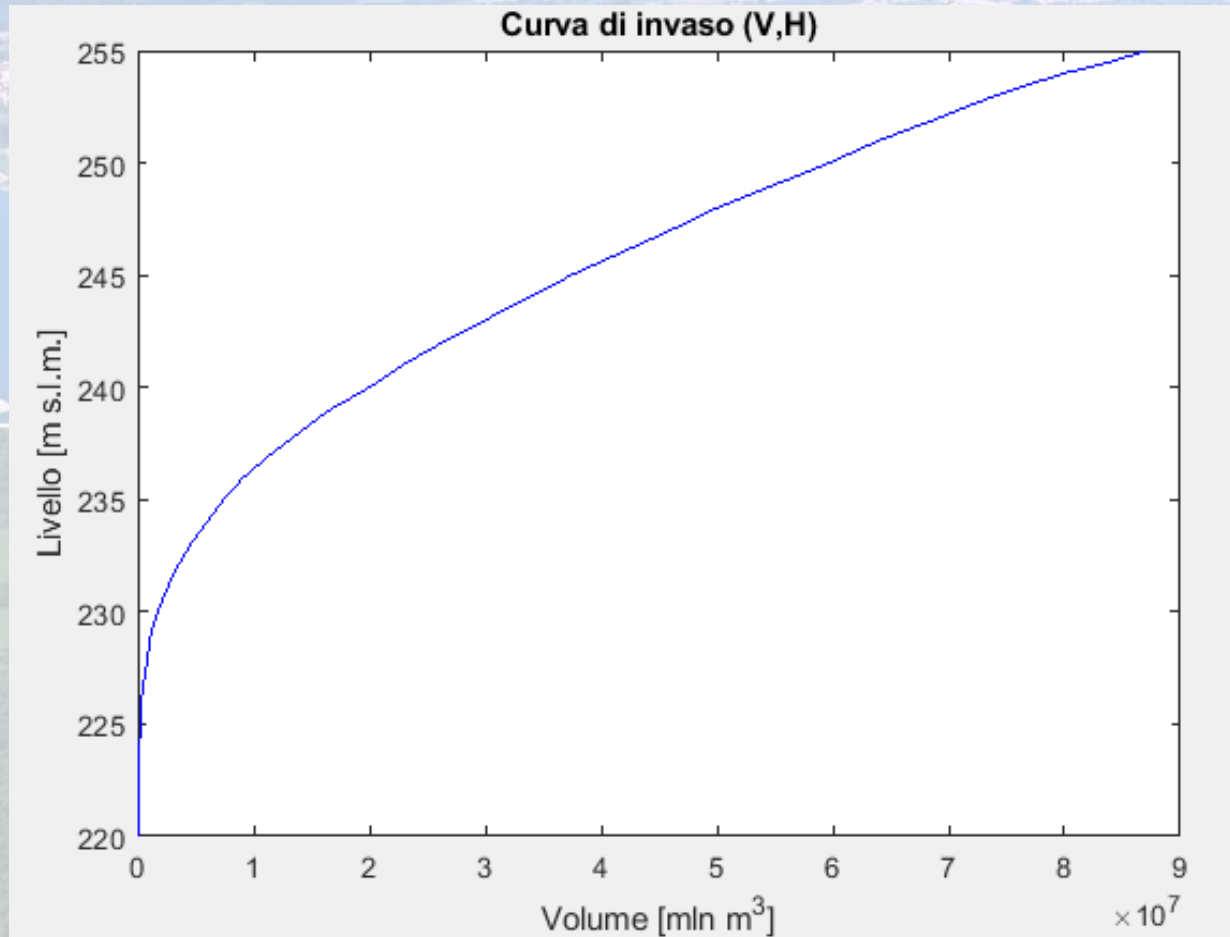
$$Q = 22.32441247 * h * h^{0.5}$$

Soglia fissa:

$$Q = 145.2047338 * h * h^{1.62}$$



## (6) LIVELLI E VOLUMI INVASATI



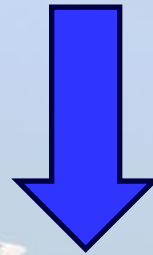


## (7) PORTATE IN INGRESSO DA MONTE

EQUAZIONE DI BILANCIO DI MASSA IDRICA PER L'INVASO

$$\Delta V(t, t+1) =$$

$$V_e(t) - (V_{evap}(t) + V_{filtr}(t) + V_{pot}(t) + V_{para}(t) + V_{soglia}(t) + V_{deriv}(t))$$



VOLUME IN INGRESSO

$$V_e(t) =$$

$$\Delta V(t, t+1) + (V_{evap}(t) + V_{filtr}(t) + V_{pot}(t) + V_{para}(t) + V_{soglia}(t) + V_{deriv}(t))$$

# APPLICAZIONE REGOLE PIANO DI LAMINAZIONE: RACCOLTA BOLLETTINI DI ALLERTA METEOROLOGICA (1)



Regione Toscana

**Centro Funzionale** di Monitoraggio Meteo Idrologico - Idraulico  
**Settore Idrologico Regionale**



2005 – 2018

## BOLLETTINO DI VALUTAZIONE DELLE CRITICITÀ

Emissione di Venerdì, 26 Febbraio 2016, ore 12.53

### AVVISO DI CRITICITÀ REGIONALE

Valido dalle ore 20.00 di Sabato, 27 Febbraio 2016 alle ore 00.00 di Martedì, 01 Marzo 2016



#### AREE INTERESSATE:

- A1-Arno-Casentino
- A2-Arno-Valdarno Sup.
- A3-Arno-Firenze
- A4-Valdarno Inf.
- A5-Valdelsa-Valdera
- A6-Arno-Costa
- B-Bisenzio e Ombr. Pt
- C-Valdichiana
- E1-Etruria
- E2-Etruria-Costa Nord
- E3-Etruria-Costa Sud
- F1-Fiora e Alb.
- F2-Fiora e Alb.-Costa e G
- I-Isole
- L-Lunigiana
- M-Mugello-Val di Sieve
- O1-Ombr. Gr-Alto
- O2-Ombr. Gr-Medio

- O3-Ombr. Gr-Costa
- R1-Reno
- R2-Romagna-Toscana
- S1-Serchio-Garf.-Lima
- S2-Serchio-Lucca
- S3-Serchio-Costa
- T-Valtiberina
- V-Versilia

Legenda criticità: VERDE, GIALLO, ARANCIONE, ROSSO

PROVINCE INTERESSATE: AREZZO, FIRENZE, GROSSETO, LIVORNO, LUCCA, MASSA-CARRARA, PISA, PISTOIA, PRATO, SIENA

#### DESCRIZIONE DELLE CRITICITÀ PREVISTE:

Sulla base delle previsioni meteorologiche odierne e delle valutazioni dei possibili effetti al suolo effettuate, si prefigurano i seguenti scenari di criticità:

ZONE DI ALLERTA	RISCHIO	TEMPI	CRITICITÀ
A4, A5, A6, B, E1 E2, E3, F2, I, L O3, R1, S1, S2, S3 V	IDROGEOLOGICO IDRAULICO RETICOLO MINORE	dalle ore 08.00 Sabato, 27 Febbraio 2016 alle ore 20.00 Sabato, 27 Febbraio 2016	GIALLO
A4, A5, A6, B, E1 E2, E3, F2, I, L O3, R1, S1, S2, S3 V	IDROGEOLOGICO IDRAULICO RETICOLO MINORE	dalle ore 20.00 Sabato, 27 Febbraio 2016 alle ore 00.00 Martedì, 01 Marzo 2016	ARANCIONE
A1, A2, A3, C, F1 M, O1, O2, R2, T	IDROGEOLOGICO IDRAULICO RETICOLO MINORE	dalle ore 12.00 Sabato, 27 Febbraio 2016 alle ore 00.00 Domenica, 28 Febbraio 2016	GIALLO
A1, A2, A3, C, F1 M, O1, O2, R2, T	IDROGEOLOGICO IDRAULICO RETICOLO MINORE	dalle ore 00.00 Domenica, 28 Febbraio 2016 alle ore 00.00 Martedì, 01 Marzo 2016	ARANCIONE
E3, F2, I, O3	MAREGGIATE	dalle ore 16.00 Sabato, 27 Febbraio 2016 alle ore 00.00 Domenica, 28 Febbraio 2016	GIALLO
E3, F2, I, O3	TEMPORALI FORTI	dalle ore 18.00 Sabato, 27 Febbraio 2016 alle ore 00.00 Domenica, 28 Febbraio 2016	GIALLO
E3, F2, I, O3	VENTO	dalle ore 16.00 Sabato, 27 Febbraio 2016 alle ore 00.00 Domenica, 28 Febbraio 2016	GIALLO



# APPLICAZIONE REGOLE PIANO DI LAMINAZIONE: RACCOLTA BOLLETTINI DI ALLERTA METEOROLOGICA (3)

- Gestione nazionale
- Previsioni macroregionali, spesso senza quantitativi di pioggia
- Nessun codice colore
- Maggiore frequenza

**Allerte arancioni**

PROT. 02024/ EME / 20216 / 1051 DEL 08 GIUGNO 2002

OGGETTO: **AVVISO CONDIZIONI METEOROLOGICHE AVVERSE.**

UN VORTICE DEPRESSIONARIO TENDE A PORTARE IL SUO MINIMO PER LA GIORNATA DI DOMANI TRA LA SARDEGNA E LE COSTE TIRRENICHE DETERMINANDO CONDIZIONI DI MARCATTA INSTABILITA' ATMOSFERICA.

1. ALLE ORE 14.00 LOCALI DI OGGI, SABATO 08 GIUGNO 2002, CNMCA DI SERVIZIO METEO A.M. HA EMESSO IL SEGUENTE AVVISO METEOROLOGICO:

"DALLE PRIME ORE DELLA GIORNATA DI DOMANI, DOMENICA 09 GIUGNO, E PER LE SUCCESSIVE 24 ORE SI PREVEDONO TEMPORALI LOCALMENTE INTENSI SU SARDEGNA OCCIDENTALE, LIGURIA, TOSCANA, LAZIO E CAMPANIA.

2. PER IL PERIODO IN QUESTIONE I MODELLI MATEMATICI INDICANO, RISPETTIVAMENTE, I SEGUENTI QUANTITATIVI DI PRECIPITAZIONE PREVISTE:

HRM DI CNMCA :  
INTORNO AI 25-40 MM CUMULATE NELLE 24 ORE DI DOMANI, CON MASSIMI DI 60 MM TRA LAZIO E CAMPANIA.

LAMBO DI SMER:  
INTORNO AI 30-40MM CUMULATE NELLE 24 ORE DI DOMANI, CON MASSIMI INTORNO AI 40 MM TRA LAZIO E CAMPANIA.

LE PRECIPITAZIONI TENDERANNO AD ESSERE PIU' CONSISTENTI SUI VERSANTI TIRRENICI E SU AREE RISTRETTE POTRANNO SUPERARE I VALORI ANZIDETTI. SEGNALE INOLTRE POSSIBILITA' VENTI INTORNO AI 30 NODI DA OVEST SU COSTE OCCIDENTALI SARDE.

PER REGIONI ET PREFETTURE INTERESSATE, SI CONFERMANO LE RACCOMANDAZIONI CONTENUTE NELLA DIRETTIVA A RIFERIMENTO.  
SI PRECISA CHE LA REGIONE LIGURIA PROVVEDERA' AD INFORMARE DIRETTAMENTE LE PREFETTURE COME DA NORMATIVA VIGENTE.

DIPARTIMENTO SEGUIRA' EVOLVERSI DELLA SITUAZIONE.

PREGASI VOLER CONFERMARE LA RICEZIONE DELLA PRESENTE COMUNICAZIONE, AT MEZZO FAX AT NUMERO 06/68202360

06 GIUGNO 2002

IL CAPO DEL DIPARTIMENTO  
GUIDO BERTOLASO

B/6 - h. 16.15  
Dr. T. M.

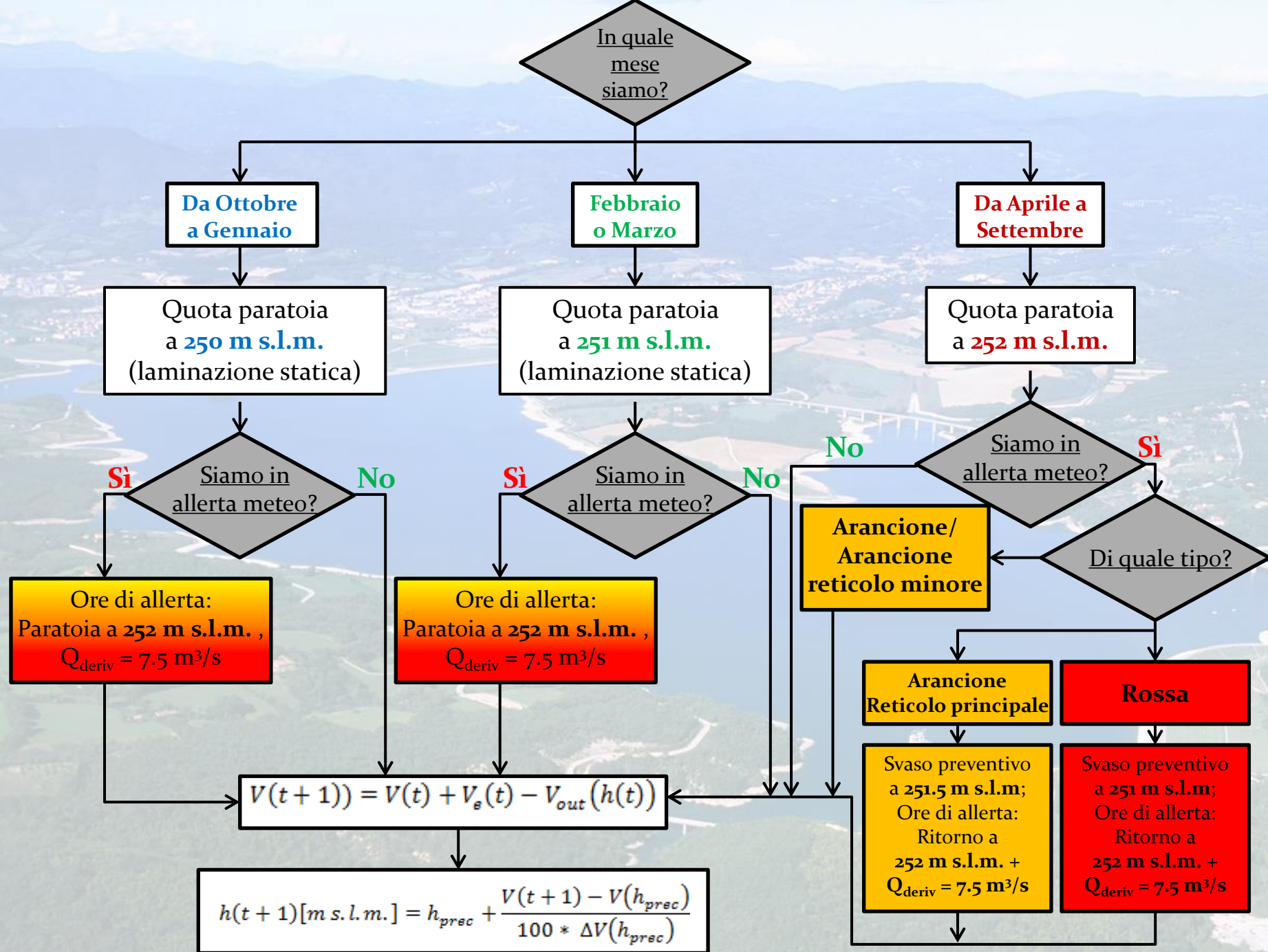
**2001 - 2005**

# APPLICAZIONE REGOLE PIANO DI LAMINAZIONE

## *SCHEMA LOGICO DI IMPLEMENTAZIONE*

<b>Ottobre – Gennaio: LAMINAZIONE STATICA</b>	Quota della paratoia: 250 m s.l.m. Fasi di allerta meteo ( <b>arancione</b> o <b>rossa</b> ): 252 m s.l.m.
<b>Febbraio – Marzo: LAMINAZIONE STATICA</b>	Quota della paratoia: 251 m s.l.m. Fasi di allerta meteo ( <b>arancione</b> o <b>rossa</b> ): 252 m s.l.m.
<b>Aprile – Settembre: LAMINAZIONE DINAMICA</b>	Quota della paratoia: 252 m s.l.m. 6 ore prima dell'allerta meteo ( <b>arancione reticolo principale</b> ): 251.5 m s.l.m. 6 ore prima dell'allerta meteo ( <b>rossa</b> ): 251 m s.l.m.

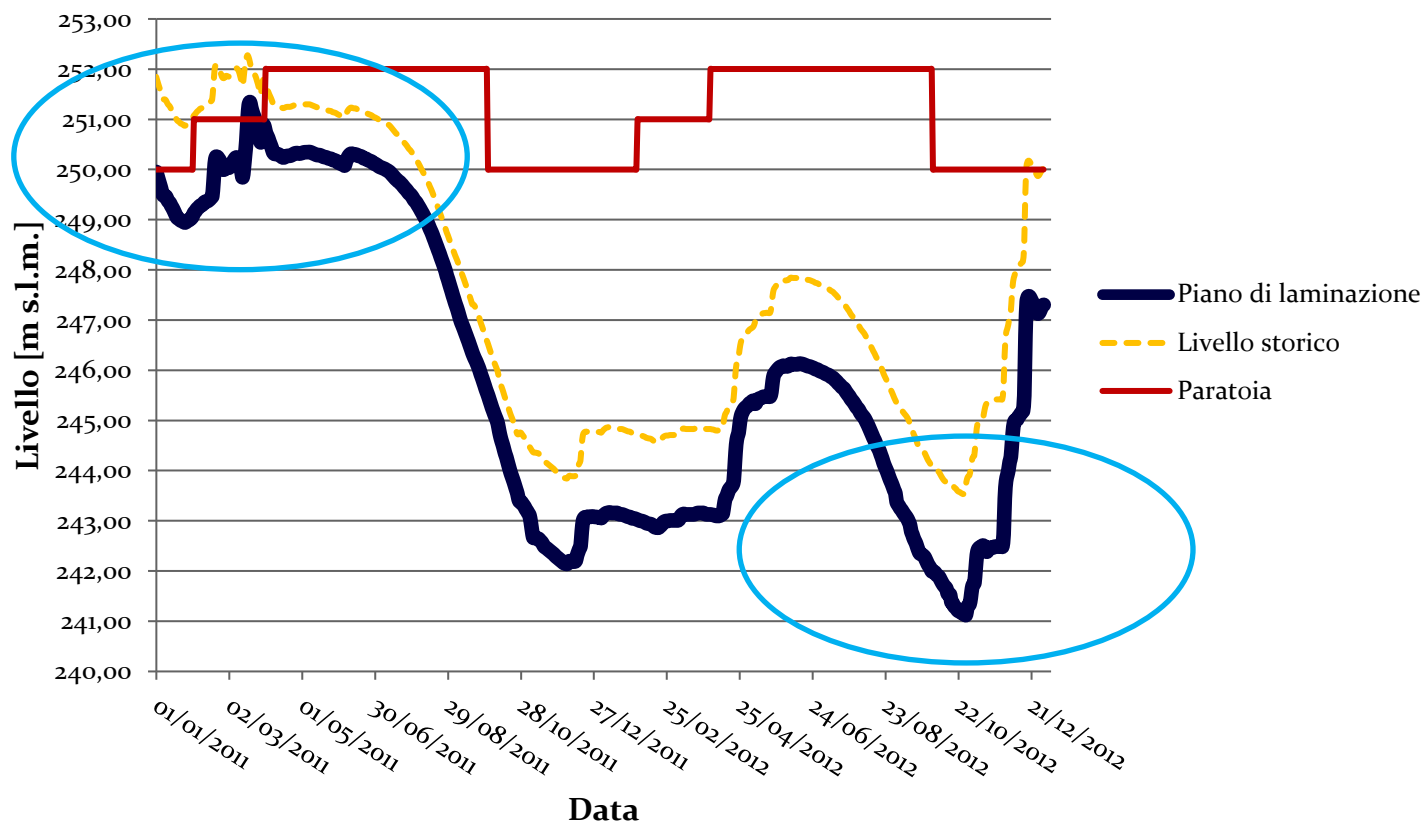




# CONCLUSIONI

## *SIMULAZIONE ANDAMENTO LIVELLI*

**Livello d'invaso anni 2011 - 2012**





## **CONCLUSIONI**

- **Discrepanza tra livello storico e simulato di 1 – 2 m**, a causa dell'imposizione di una quota inferiore della paratoia in un periodo precedente
- **Regola di derivazione da rivalutare** assieme al Gestore dell'invaso
- Nessuna possibilità di simulare **allerte meteo ravvicinate e svasi preventivi** imposti dalla Sala Operativa di Protezione Civile

An aerial photograph of a large, blue reservoir or lake. In the background, a long, white dam stretches across the frame. The surrounding landscape is a mix of green fields, forests, and small towns. The sky is blue with some clouds. The text "GRAZIE PER L'ATTENZIONE" is overlaid in the center in a large, bold, black serif font.

**GRAZIE PER  
L'ATTENZIONE**