

GUIDO
NANNARONE



Foto, Ezio Farina

Bilancio idrico del bacino del Lago di Scanno

Edizione Ass. L'Atelier

Indice

1	Considerazioni generali	pag. 3
2	Premessa	pag. 8
3	La superficie del lago	pag. 9
4	Afflussi e deflussi	pag. 9
5	Equazione del bilancio idrico per $\Delta t = 1$ anno	pag. 14
6	Equazione del bilancio idrico per $\Delta t = 31$ giorni (agosto)	pag. 14
7	Considerazioni sulle variazioni di livello	pag. 16
8	Ulteriori considerazioni sui grafici di livello	pag. 19
9	Conclusioni	pag. 22
10	Bibliografia	pag. 23

Prima Edizione: Dicembre 2018

A cura dell'Associazione Culturale
L'Atelier - Villalago

In omaggio con la rivista
Il Gazzettino della Valle del Sagittario, n. 3 - Inverno 2018

1. Considerazioni generali

1.1 Il presente lavoro intende indagare sul bilancio idrico del lago di Scanno al fine di descrivere attraverso opportuni grafici le variazioni stagionali ed annuali del livello delle acque.

Le foto che seguono mostrano il lago al suo massimo livello (foto 1 - marzo 2018) e ad un livello di magra conseguente ad una prolungata siccità (foto 2 - novembre 2017).



Foto 1

Foto 2



Le principali variabili che intervengono sul bilancio idrico sono le portate di tutti gli immissari ed emissari, le temperature ed i valori pluviometrici dell'intero bacino imbrifero del lago. Lo studio del problema richiede la disponibilità di dati affidabili e questo non è possibile per tutte le variabili. Per tale motivo si farà riferimento alle serie dei dati storici gestiti dal Servizio Idrografico e Mareografico della Regione Abruzzo, che li acquisisce dalle stazioni di Scanno, Passo Godi, Frattura, Villalago ed Anversa. Va tuttavia precisato che la serie dei dati disponibili presenta ampie lacune, che rendono ancora più difficoltoso un approccio rigoroso al problema.

1.2 Una ricerca specifica sul lago di Scanno è stata condotta nel 2012 dal Prof. E. Miccadei, che, partendo dai dati storici disponibili, è pervenuto ad alcune sintesi molto interessanti sugli andamenti della temperatura e delle precipitazioni nel bacino imbrifero del lago:

- la temperatura media dell'area di Scanno tende a salire: dal 1962 al 2003 è cresciuta di 2° C (Figura 1);
- nella stessa area sono state registrate precipitazioni medie annue di 1.000-1.200 mm, con una tendenza degli ultimi anni verso i 900-1.000 mm (Figura 2);
- negli ultimi anni l'azione combinata di temperature più alte e minori precipitazioni ha concorso a determinare una riduzione media del livello del lago.

Lo studio analitico del bilancio idrico del lago di Scanno verrà condotto attingendo ampiamente ai dati ed ai grafici della ricerca del Prof. Miccadei.

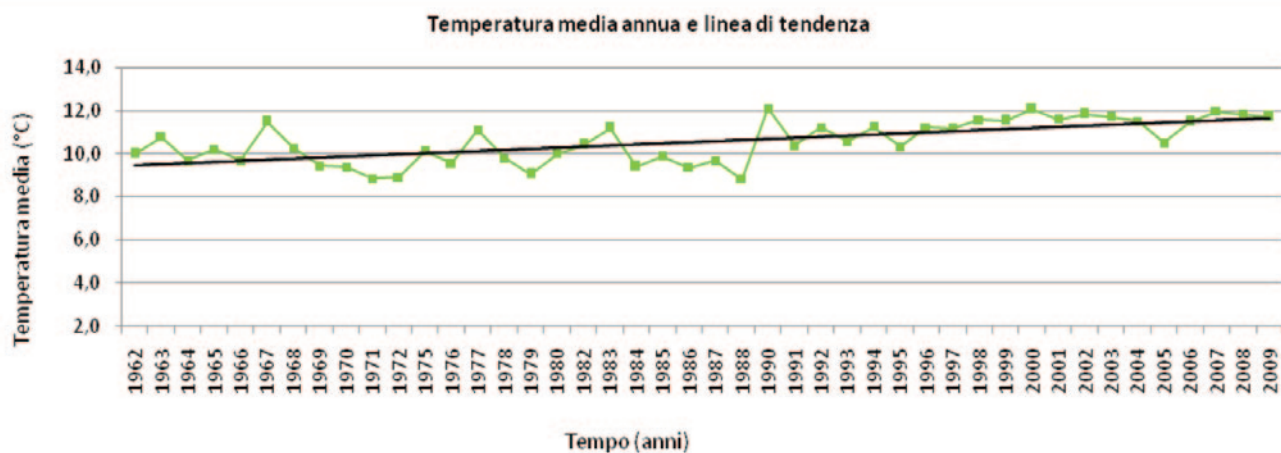


Figura 1 - Temperature medie annue, relative al periodo 1962-2003, stazione di Scanno.

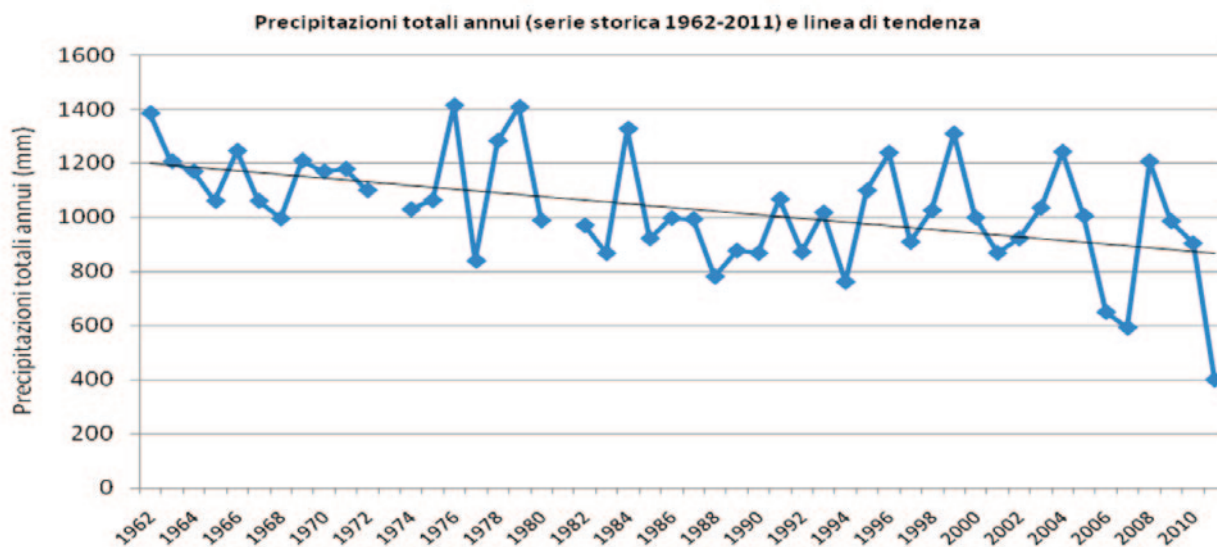


Figura 2 - Andamento delle precipitazioni totali annue e linea di tendenza lineare. In ordinate la precipitazioni (altezze di pioggia espresse in mm), in ascisse gli anni. Periodo di osservazione 1962-2011 stazione pluviometrica di Scanno.

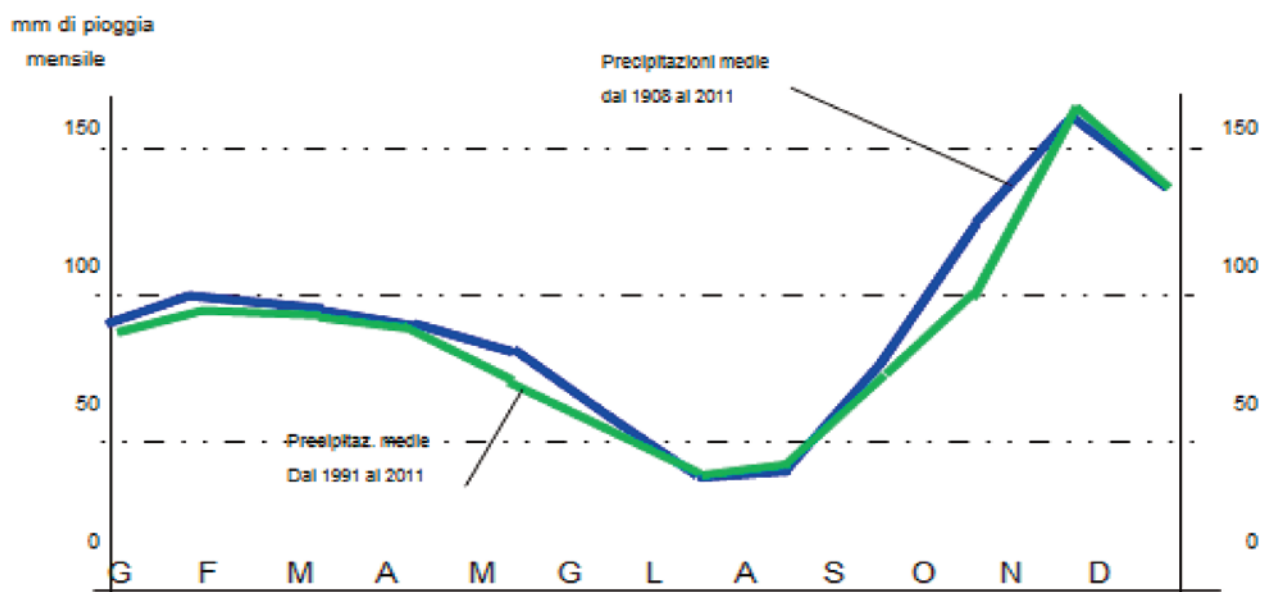


Figura 3 - Precipitazioni medie mensili (in mm) rilevate dalla stazione pluviometrica di Scanno.

1.3 La foto 3 (marzo 2018) mostra il deflusso superficiale in atto lato Villalago, mentre la foto 4 mostra il corrispondente livello del lago misurato dall'idrometro installato presso la chiesetta.

Tenendo conto che lo zero idrometrico (foto 6) si trova ad una quota di 923,00 m s.l.m. e che la misura del battente che alimenta il deflusso (foto 3) è risultata essere 10 cm, è possibile determinare il **livello di guardia** del lago, cioè quello oltre il quale si attiva il deflusso superficiale. Basta aggiungere ai **923,00 m** la quota **0,7 m**, che deriva dalla quota effettiva di 0,8 m (indicata dalla freccia della foto 4) a cui vanno sottratti i 10 cm del battente.

Il livello di guardia risulta essere **923,70 m**. Sarà questo il valore che verrà assunto nei calcoli.



Foto 3



Foto 4



Foto 5



Foto 6

**Zero idrometrico
(923,00 m s.l.m.)**

La foto 5 riporta un dettaglio dell'idrometro che consente una lettura più chiara della scala, mentre la foto 6 mostra lo zero idrometrico.

1.4 Per completezza si riportano i livelli altimetrici di alcuni punti dell'area circostante il lago, alcuni misurati direttamente con riferimento alla quota dello zero idrometrico, altri desunti dalla cartografia militare scala 1:25.000:

- Piano stradale presso la chiesetta: 926,74 m (3,74 m sopra lo zero idrometrico);
- Piano stradale del ponte di deflusso lato Villalago: 926,2 m (3,2 m sopra lo zero idrometrico);
- Fiume Tasso in corrispondenza del ponte La Marca: 931 m (cartografia militare);
- Bivio di Frattura: 942 m (cartografia militare);
- Fiume Tasso/ponte stradale Aia del Fiume: 943 m (cartografia militare).

Nel lontano passato il deflusso superficiale era in parte impedito dagli sbarramenti naturali a valle del lago che fissavano il livello di guardia ben al di sopra degli attuali 923,7 m s.l.m. e poteva accadere che le acque del lago raggiungessero perfino l'Aia del Fiume (943 m).

L'attuale conformazione orografica subito a valle del lago lascia immaginare che anticamente ci fosse un rilievo continuo intorno ai 940-950 m che costituiva lo sbarramento naturale al deflusso e innalzava il livello di guardia fino a quelle quote. In queste condizioni era normale che il livello raggiungesse e superasse abbondantemente lo zero idrometrico (nelle Figure 9 ed 11 raggiunge in un solo anno rispettivamente 4 ed 8 m). Veniva così impedito a persone e mezzi di raggiungere Scanno lungo la direttrice che segue l'attuale SR 479. Anticamente erano normali livelli anche più alti dovuti agli accumuli di acqua degli anni precedenti e, per raggiungere Scanno da Villalago, veniva utilizzata la direttrice Valle Silvana - Le Vallocchie - S. Egidio.

Per curiosità si riporta un fotogramma (foto 7) tratto da un filmato del 1947 che probabilmente si riferisce ad una esondazione del fiume Tasso e mostra l'Aia del Fiume completamente allagata. La foto lascia immaginare come potevano apparire il lago e l'abitato di Scanno nel lontano passato in anni di copiose precipitazioni.



Foto 7

2. Premessa

Il livello del lago dipende in primo luogo dalla quantità di acqua che si riversa nel bacino e da quella che ne defluisce. Dipende inoltre dalla temperatura che determina l'entità dell'evaporazione e dalla superficie del pelo libero, la cui variazione dovuta alla pendenza delle rive influenza la capacità espansiva del lago.

Lo zero idrometrico è di **923,00 m s.l.m.** mentre il livello di guardia è di **923,7m s.l.m.**

La Figura 4 rappresenta schematicamente tutti gli apporti di acqua, positivi e negativi, che entrano in gioco nel bilancio idrico del lago. La trattazione rigorosa richiede di circoscrivere il problema in un determinato intervallo di tempo (Δt), durante il quale vengono raccolti i valori assunti dalle diverse variabili attraverso misure specifiche condotte direttamente sul campo. Va tuttavia precisato che alcune di queste misure (portata delle sorgenti subalvee e deflusso sotterraneo non noto) sono di difficile esecuzione se non impossibili.

In alternativa a queste misure ed accettando alcune approssimazioni sui risultati, si può ugualmente procedere facendo riferimento ai dati storici registrati negli anni dal Servizio Idrografico e Mareografico della Regione Abruzzo ed a quelli riportati nei tanti lavori sul tema presenti in letteratura (E. Perrone, R Riccardi, G. Tanturri, C. Galante, E. Miccadei, ecc.). Ovviamente utilizzando i dati storici si perde l'attualità e la precisione dei risultati, ma viene comunque assicurato l'inquadramento generale del problema di descrivere le variazioni stagionali ed annuali del livello delle acque del lago.

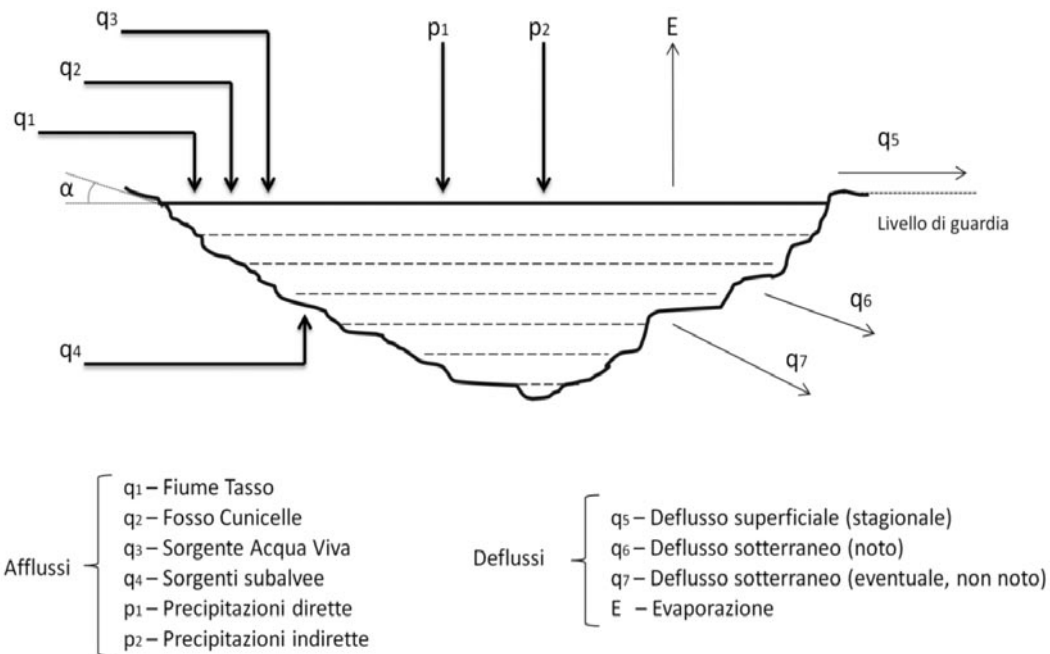


Figura 4

3. La superficie del lago

La superficie del lago varia in funzione del livello dell'acqua (a causa della pendenza delle rive), ma nei calcoli, per praticità, verrà considerata costante in quanto l'errore che ne consegue può essere ritenuto trascurabile. Per esempio, nell'ipotesi di rive con pendenza costante di $\alpha=30^\circ$ rispetto al pelo libero, un aumento del livello di 1 m produce un aumento della superficie dello 0,6%.

Nel presente lavoro verrà utilizzato il valore riportato in letteratura: $S_m = 930.000 \text{ m}^2$

4. Afflussi e deflussi

Come mostrato in Figura 4, nel problema entrano in gioco 10 apporti, di cui 6 afflussi e 4 deflussi, alcuni considerati costanti, altri variabili in base alle precipitazioni ed alla temperatura e quindi da calcolare a partire dai valori assunti da questi parametri. Tutti gli apporti verranno esaminati singolarmente ed espressi in termini di volumi di acqua (in m^3) che si producono in un determinato intervallo di tempo (anno, mese, ecc.).

Per esempio, se ci riferiamo ad un intervallo $\Delta t = 1$ anno, si ha:

- Una portata di $q(\text{m}^3/\text{s})$ riversa in un anno un volume $V(\text{m}^3) = q(\text{m}^3/\text{s}) * 31.536.000 (\text{s})$.
- Una precipitazione di $h(\text{mm})$ riversa in un anno un volume $V(\text{m}^3) = h(\text{mm}) * 10^{-3} * S_m(\text{m}^2)$.
- Una evaporazione annua di $E(\text{mm})$ sottrae un volume di $V(\text{m}^3) = E(\text{mm}) * 10^{-3} * S_m(\text{m}^2)$.

Dove $E(\text{mm})$ si determina sommando le evaporazioni mensili E_m . Queste si calcolano partendo dalla temperatura media mensile T_m ed usando la formula di Visentini: $E_m(\text{mm}) = 2,25 * T_m^{1,5}$.

4.1 Fiume Tasso

L'afflusso che qui consideriamo è quello dovuto alla portata permanente dovuta alle sorgenti, senza considerare il contributo dovuto alle precipitazioni, che verrà valutato a parte. Si ipotizza che questo afflusso rimanga costante nel tempo.

La Tab. 1 riporta le registrazioni del Servizio Idrografico e Mareografico della Regione Abruzzo riferite a 5 anni consecutivi (1997 - 2001).

Tab. 1

Anno	Mese	Portata (m^3/s)
1997	Marzo	0,43
1998	Marzo	0,37
1999	Marzo	0,65
2000	Marzo	0,68
2001	Marzo	0,63

Valore medio: 0,55

Purtroppo le portate della Tab. 1 contengono anche il contributo delle precipitazioni e quindi non sono utili al nostro caso. Un altro dato interessante è quello fornito dal Perrone (1900), che attribuisce al fiume Tasso la portata di $0,28 (\text{m}^3/\text{s})$, ma anch'esso influenzato dalle precipitazioni.

Ai nostri fini risulta molto utile invece la misura sperimentale condotta dal Prof. Miccadei il 30

marzo 2012 in condizioni di cielo sereno ed assenza di pioggia nel giorno e nei giorni precedenti. Questa misura ha fornito una portata $q_1 = 0,17 (\text{m}^3/\text{s})$. Sarà questa la portata che verrà utilizzata nei calcoli, sia perché è la più recente, sia perché è quella che meglio approssima la portata perenne (massima magra). Essa infatti è pari alla somma delle portate di tutte le sorgenti a monte del lago (vedi Relazione Miccadei, pag. 31). Pertanto il contributo del fiume Tasso al volume di acqua riversato nel lago in un anno risulta essere:

$$q_1 * \Delta t = 0,17 (\text{m}^3/\text{s}) * 31.536.000 \text{ s} = 5.361.120 (\text{m}^3)$$

4.2 Fosso Cunicelle

Si tratta di un flusso permanente che raccoglie le acque delle sorgenti omonime poste a circa 400 m dal lago. Secondo Galante/Miccadei la loro portata q_2 in condizione di massima magra è di circa **0,062 (m³/s)**, che si ipotizza costante nel tempo. Il loro contributo al volume riversato in un anno sarà:

$$q_2 * \Delta t = 0,062 \text{ (m}^3/\text{s)} * 31.536.000 \text{ s} = \mathbf{1.955.232 \text{ (m}^3)}$$

4.3 Sorgenti Acqua Viva

Nell'insenatura S-O, ai piedi del colle di S. Egidio, sgorgano le sorgenti Acqua Viva, che hanno un percorso di circa 60 m. Secondo Galante/Miccadei la loro portata q_3 in condizioni di massima magra è di circa **0,003 (m³/s)**, che si ipotizza costante nel tempo. Il loro contributo al volume riversato in un anno sarà:

$$q_3 * \Delta t = 0,003 \text{ (m}^3/\text{s)} * 31.536.000 \text{ s} = \mathbf{94.608 \text{ (m}^3)}$$

4.4 Sorgenti subalvee

Sempre sul lato S-O del lago vi sono piccole sorgenti subalvee, ben visibili d'inverno, quando le loro acque, più calde di quelle del lago, risalgono velocemente in superficie, manifestandosi come polle. Secondo Perrone/Galante la loro portata massima q_4 si può ritenere pari a **0,01 (m³/s)**, che si ipotizza costante nel tempo. Esse riversano in un anno il volume:

$$q_4 * \Delta t = 0,01 \text{ (m}^3/\text{s)} * 31.536.000 \text{ s} = \mathbf{315.360 \text{ (m}^3)}$$

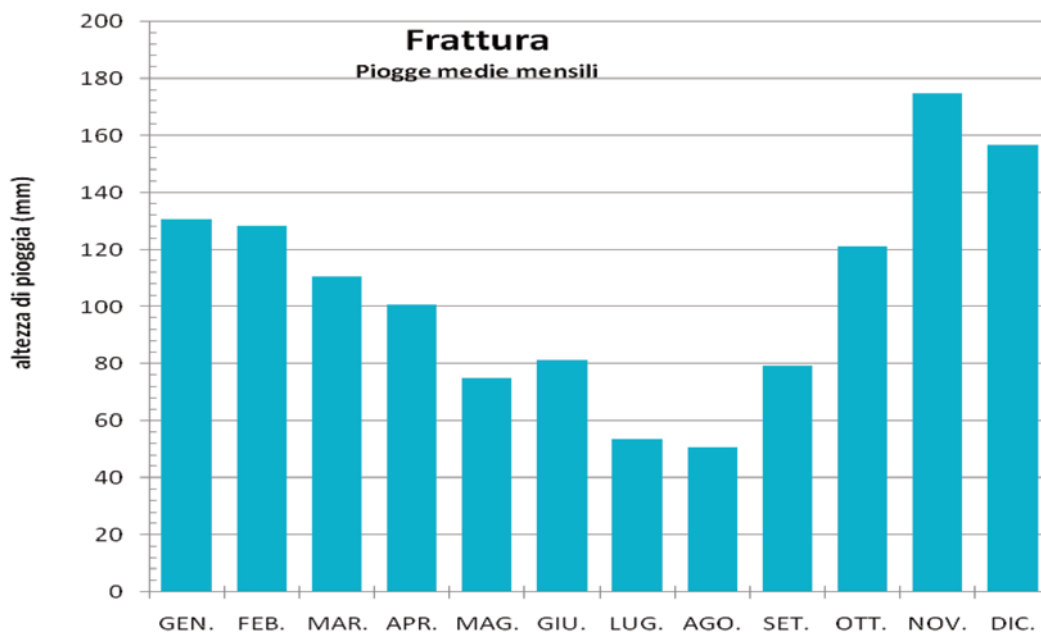


Figura 5 – Andamento delle precipitazioni medie mensili. In ordinate le precipitazioni (altezze di pioggia espresse in mm), in ascisse i mesi. Periodo di osservazione 1962-1987 stazione pluviometrica di Frattura. La media annua è di 1.260 mm.

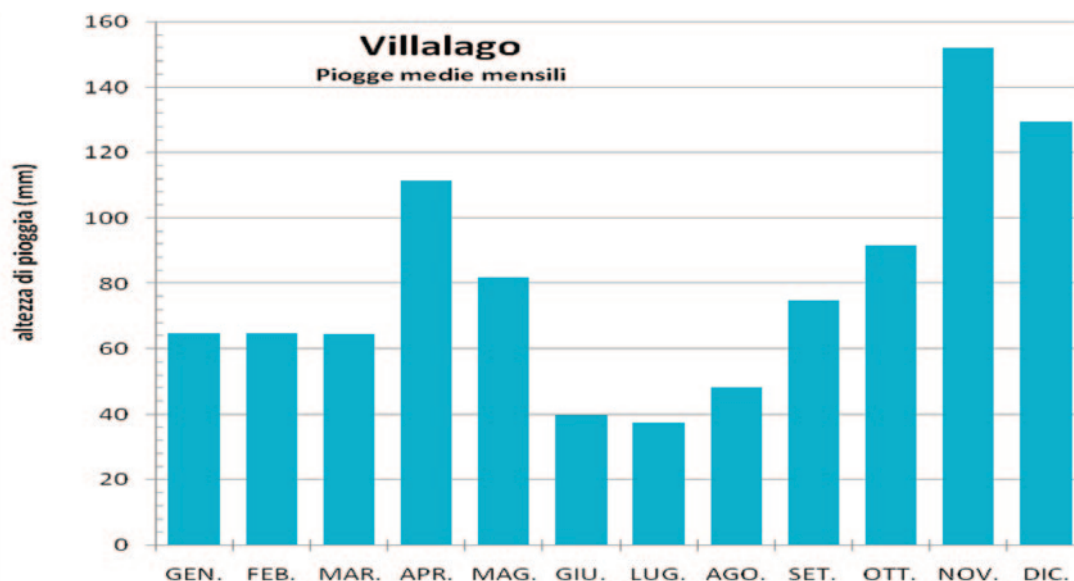


Figura 6 – Andamento delle precipitazioni medie mensili. In ordinate le precipitazioni (altezze di pioggia espresse in mm), in ascisse i mesi. Periodo di osservazione 1989-2002 stazione di Villalago. La media annua è di 1.046 mm.

4.5 Precipitazioni dirette sul lago

Facendo riferimento alle registrazioni più recenti effettuate presso le stazioni pluviometriche di Frattura e Villalago dal Servizio Idrografico e Mareografico della Regione Abruzzo, si può ritenere con buona approssimazione che le precipitazioni p_1 che avvengono direttamente sulla superficie del lago in un anno siano pari a 1.150 (mm), pari alla media delle registrazioni delle due stazioni (vedi Figura 5 e Figura 6). Il loro contributo al volume totale sarà:

$$p_1 * S_m = 1,15 \text{ (m)} * 930.000 \text{ (m}^2\text{)} = \mathbf{1.069.500 \text{ (m}^3\text{)}}$$

4.6 Precipitazioni indirette

Si tratta delle precipitazioni che cadono in un anno sull'intero bacino imbrifero del lago, cioè su una superficie S di circa 100 Km² (Perrone), che comunica per via sotterranea con il sottostante bacino del fiume Sagittario. Nell'arco dell'anno tali precipitazioni presentano due periodi di piena, febbraio-aprile e novembre-dicembre (vedi Figura 3). Le registrazioni effettuate dalla stazione pluviometrica di Scanno negli ultimi anni (1991-2011) sono rappresentate in Figura 7. La media annua è di **980 mm**. Tale media viene scelta come il valore (storico) delle precipitazioni totali annue p_2 che avvengono attualmente nel bacino, a cui si associa un volume totale di acqua pari a:

$$p_2 * S = 0,98 \text{ (m)} * 100 * 10^6 \text{ (m}^2\text{)} = 98.000.000 \text{ (m}^3\text{)}$$

Le precipitazioni indirette giungono al lago attraverso molteplici percorsi (il principale è il fiume Tasso). Il volume annuo effettivo che esse riversano nel lago si determina applicando al volume totale il coefficiente di deflusso $k = 0,11$ (Perrone). Tale coefficiente di riduzione tiene conto di diverse cause: infiltrazioni, evaporazioni, assorbimenti dovuti al terreno ed ai vegetali, ristagni, ecc. (*).

Il contributo delle precipitazioni indirette al volume totale è pari a:

$$k * p_2 * S = 0,11 * 98.000.000 \text{ (m}^3\text{)} = 10.780.000 \text{ (m}^3\text{)}$$

(*) Per terreni caratterizzati da "verde su suolo profondo, prati, orti, superfici agricole" il valore di k varia tra 0,10 e 0,15 (Paolo Montin - Acque meteoriche di dilavamento).

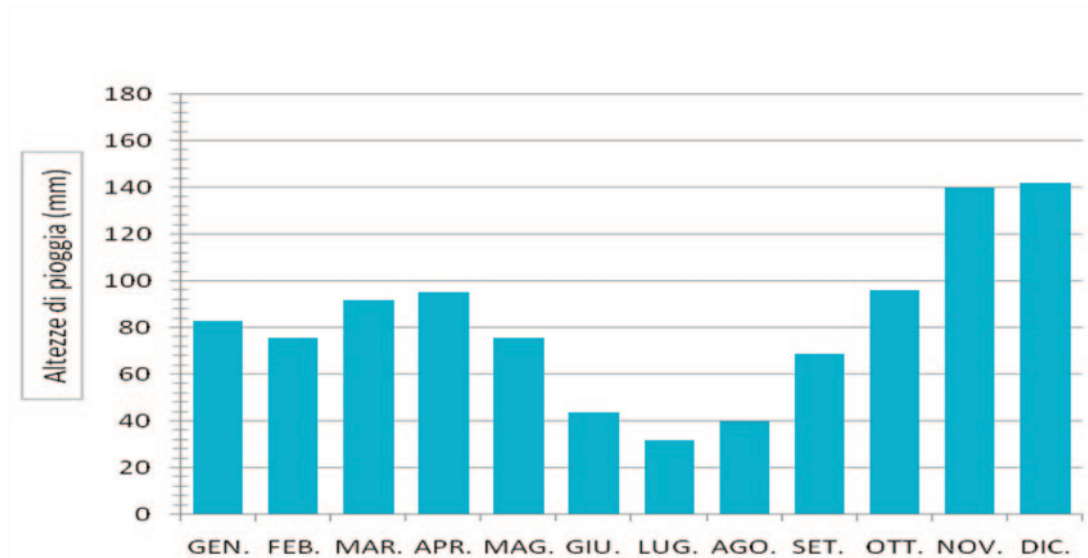


Figura 7 – Andamento delle precipitazioni medie mensili. In ordinate le precipitazioni (altezze di pioggia espresse in mm), in ascisse i mesi. Periodo di osservazione 1991-2011 stazione pluviometrica di Scanno.

La media annua è di 980 mm, mentre le precipitazioni medie in agosto sono di 40 mm.

4.7 Evaporazione

Le temperature medie mensili (T_m) registrate nella zona del lago consentono di calcolare la quantità di acqua che evapora mensilmente E_m (mm/mese). Il calcolo viene condotto con la formula empirica di Visentini, riportata al punto 4. Sommando tutti i contributi mensili si trova la quantità di acqua E (mm) che evapora in un anno.

Dalle registrazioni delle temperature medie mensili della stazione di Villalago (Figura 8), quella più prossima al lago, si calcola (Tab. 2) l'evaporazione annua del lago, che risulta essere $E = - 1.087$ (mm). Il segno meno indica che si tratta di una riduzione del livello.

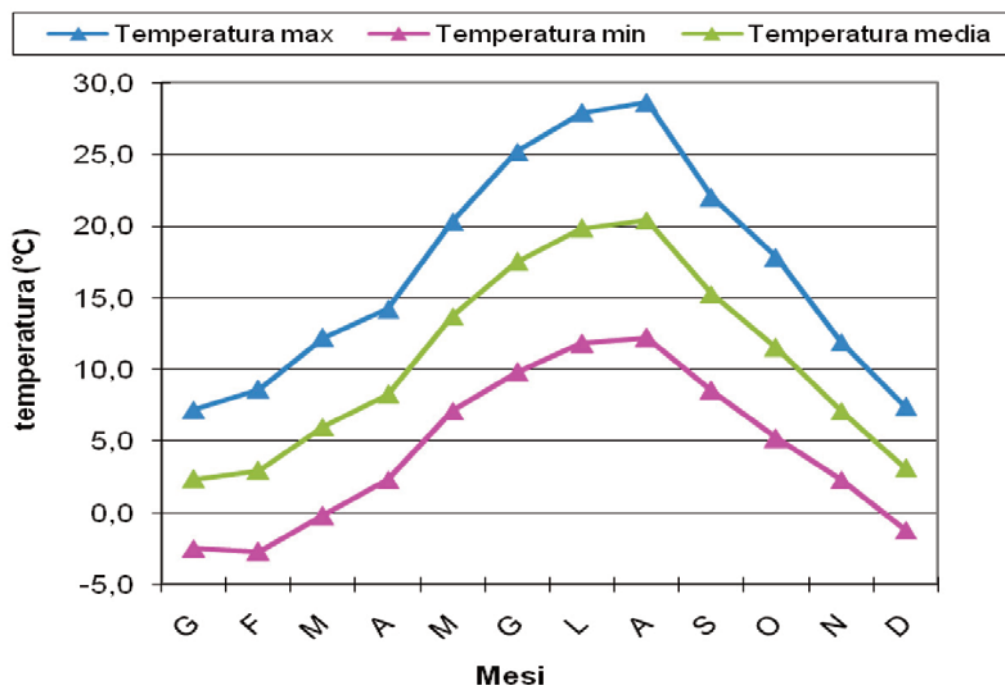


Figura 8 – Temperature massime (blu), medie (verde) e minime (rosa) mensili. In ascisse sono indicati i mesi; in ordinate i valori medi delle temperature relativi al periodo 1994-2003 stazione di Villalago.

Tab. 2: Riduzioni di livello E_m (mm).

Mesi	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
T_m (°C)	2,5	3	6	8	14	17,5	20	21	15	12	7,5	3
E_m (mm)	- 8,9	-11,7	-33,1	-50,9	-117,9	-164,7	-201,2	-216,5	-130,7	-93,5	-46,2	-11,7

E= -1.087mm

Il contributo dell'evaporazione alla riduzione annua del volume è pari a:

$$E * S_m = - 1,087 \text{ (m)} * 930.000 \text{ (m}^2\text{)} = - \mathbf{1.010.910 \text{ (m}^3\text{)}}$$

4.8 Deflusso superficiale stagionale

Il deflusso superficiale si attiva solo in caso di piena, generalmente nei periodi febbraio-aprile e novembre-dicembre, quando viene superato il livello di guardia e le acque defluiscono nell'emissario (lato N-O) e si riversano a valle.

Il volume di acqua che abbandona il lago per questa via in un anno non è noto; è variabile durante la piena e varia negli anni in base all'entità delle precipitazioni che interessano l'intero bacino imbrifero. Questo parametro costituisce la prima incognita (x_1) del problema e si può scrivere:

$$\int q_5 * dt = x_1 \text{ (m}^3\text{)}$$

4.9 Deflusso sotterraneo noto

Negli anni 1898-1899 E. Perrone dimostrò con misure sperimentali che tra le diverse sorgenti che sgorgano a valle di Villalago ce ne sono due, quelle più a monte (Fonte Vecchia e Molino), che traggono origine dal lago di Scanno. Esse presentano un comportamento termico che ripete quello delle acque superficiali del lago ed hanno una portata costante. Le altre sorgenti invece hanno temperature costanti intorno ai 7 - 9 °C e portate variabili con oscillazioni annue anche del 20% e con valori massimi anche di 2,5 (m³/s).

Secondo Galante/Miccadei le due sorgenti Fonte Vecchia e Molino hanno una portata costante q_6 di **-0,468 (m³/s)**. Esse in un anno sottraggono un volume pari a:

$$q_6 * \Delta t = - 0,468 \text{ (m}^3\text{/s)} * 31.536.000 \text{ s} = - \mathbf{14.758.848 \text{ (m}^3\text{)}}$$

4.10 Deflusso sotterraneo non noto

Il Perrone non esclude che vi possano essere altri deflussi sotterranei, ma non li quantifica. Tuttavia esclude che vi possano essere infiltrazioni dal fondo, perché il lago è reso impermeabile da una spessa coltre di fanghiglia proveniente dalla decomposizione delle rocce argillose del bacino imbrifero. Queste infiltrazioni, qualora esistessero, costituiscono la seconda incognita (x_2) del problema:

$$\int q_6 * dt = x_2 \text{ (m}^3\text{)}$$

4.11 Tabella riassuntiva dei 10 apporti

Tab. 3 ($\Delta t = 1$ anno)

N.	Apporti positivi	Apporti negativi	Volumi (m^3)
1	$q_1^* \Delta t$		5.361.120
2	$q_2^* \Delta t$		1.955.232
3	$q_3^* \Delta t$		94.608
4	$q_4^* \Delta t$		315.360
5	$p_1^* S_m$		1.069.500
6	$p_2^* k^* S$		10.780.000
7		$E^* S_m$	- 1.010.910
8		$q_6^* \Delta t$	-14.758.848
9		$q_5^* \Delta t$	x_1
10		$q_7^* \Delta t$	x_2

3.806.062 m^3

con x_1 e x_2 espressi da numeri negativi in quanto volumi di deflusso

5. Equazione del bilancio idrico per $\Delta t = 1$ anno

La Tab. 3 consente di scrivere l'equazione del bilancio idrico riferito ad un anno:

$$3.806.062 (m^3) + (x_1 + x_2) = \Delta h * S_m; \quad (1)$$

Dove Δh è la variazione del livello ed S_m la superficie del lago.

Questa equazione ha tre incognite x_1 , x_2 e Δh e per risolverla richiede due ulteriori informazioni.

6. Equazione del bilancio idrico per $\Delta t = 31$ gg (agosto)

Circoscrivendo il problema al solo mese di agosto possono essere acquisite le due informazioni mancanti. La prima è ovvia: nel mese di agosto non c'è deflusso superficiale e quindi $x_1 = 0$. La seconda si ottiene applicando la (1) al solo mese di agosto. Per scrivere questa equazione bisogna costruire la tabella dei 10 degli apporti riferita ai 31 giorni di agosto.

I primi quattro apporti positivi ed il deflusso sotterraneo noto q_6 , che abbiamo ipotizzati costanti nel tempo, nei 31 giorni di agosto adducono/sottraggono al lago volumi di acqua che si calcolano immediatamente con una semplice proporzione.

Il volume dovuto alle precipitazioni dirette sul lago si determina a partire dalle registrazioni pluviometriche di Frattura (Figura 5) e Villalago (Figura 6), da cui risulta che le precipitazioni medie che cadono direttamente sul lago nel mese di agosto ammontano a 49 mm. Il loro contributo al volume riversato nel solo mese di agosto sarà:

$$p_1 * S_m = 0,049 (m) * 930.000 (m^2) = 45.000 (m^3)$$

Il volume dovuto alle precipitazioni indirette si calcola partendo dalle registrazioni della stazione pluviometrica di Scanno (Figura 7), da cui risultano **40 mm**.

L'effetto di queste piogge arriva al lago molto attenuato. Per il calcolo si procede come al punto 4.6, utilizzando lo stesso coefficiente di deflusso $k = 0,11$. Il volume riversato nel solo mese di agosto sarà:

$$k * p_2 * \underline{S} = 0,11 * 0,040 \text{ (m)} * 100 * 10^6 \text{ (m}^2\text{)} = \mathbf{440.000 \text{ (m}^3\text{)}}$$

La riduzione di volume dovuta all'evaporazione si calcola partendo dalle registrazioni della temperatura media in agosto nell'area del lago (Figura 8), che risulta essere 21 °C. Applicando la formula empirica di Visentini si trova che la quantità di acqua evaporata nel mese è pari a - 216,5 mm. Il volume sottratto nel solo mese di agosto sarà:

$$E * S_m = - 0,2165 \text{ (m)} * 930.000 \text{ (m}^2\text{)} = \mathbf{- 201.345 \text{ (m}^3\text{)}}$$

Tab. 4 ($\Delta t = 31$ giorni)

Apporti positivi	Apporti negativi	365 gg Volumi (m ³)	31 gg Volumi (m ³)
$q_1 * \Delta t$		5.361.120	455.328
$q_2 * \Delta t$		1.955.232	166.061
$q_3 * \Delta t$		94.608	8.035
$q_4 * \Delta t$		315.360	26.784
$p_1 * S_m$		1.069.500	45.570
$p_2 * k * \underline{S}$		10.780.000	440.000
	$E * S_m$	- 1.010.910	-201.345
	$q_6 * \Delta t$	-14.758.848	-1.253.491
	$q_5 * \Delta t$	x_1	0
	$q_7 * \Delta t$	x_2	x_2

} - 313.058 m³

La somma algebrica dei primi 9 apporti noti è pari a - 313.058 m³

La (1) applicata al mese di agosto diventa:

$$- \mathbf{313.058 \text{ (m}^3\text{)}} + x_2 = \Delta h * S_m; \quad (2)$$

Nell'equazione (2) le incognite sono solo due, x_2 e Δh , ma quest'ultima è facilmente misurabile. Basta registrare il livello del lago il 1° agosto (h_1) ed il 31 agosto (h_2) e farne la differenza ($\Delta h = h_2 - h_1$).

In base al valore di Δh si possono trarre le seguenti conclusioni:

- a) $\Delta h = -33,7$ cm; ne consegue $x^2 = 0$, cioè non ci sono ulteriori afflussi o deflussi oltre a quelli considerati;
- b) $\Delta h > -33,7$ cm; esistono ulteriori apporti positivi non considerati nell'impostazione generale del problema. La loro entità, ipotizzata costante, può essere calcolata con la (2).
- c) $\Delta h < -33,7$ cm; esistono ulteriori deflussi, anch'essi calcolabili con la (2).

Va sottolineato che queste conclusioni possono ritenersi esatte solo se si verificano tutte le ipotesi adottate finora e cioè che i valori realmente assunti da tutti i parametri durante l'intervallo tra le due misure coincidano con quelli utilizzati nei calcoli.

7. Considerazioni sulle variazioni di livello

Per determinare l'andamento del livello del lago nell'arco dei 12 mesi, si adottano le seguenti ipotesi:

- assenza del deflusso superficiale: $q_5 = 0$ e quindi $x_1 = 0$;
- assenza del deflusso sotterraneo $q_7 = 0$ e quindi $x_2 = 0$.

La (1) riferita ad un anno diventa:

$$3.806.062 \text{ (m}^3\text{)} = \Delta h * S_m; \quad (3)$$

La (3) ci dice che il lago raccoglie in un anno 3.806.062 m³ di acqua e che, in assenza dei deflussi x_1 e x_2 , produrrebbe l'innalzamento teorico del livello di $\Delta h = 4,09$ m. Nella realtà, quando si supera il livello di guardia, si attiva il deflusso superficiale che stabilizza il livello.

Si consideri ora l'equazione del bilancio idrico riferita ad un intervallo di tempo generico Δt , rimanendo sempre nelle ipotesi $q_5 = q_7 = 0$. Si ha:

$$\Delta t * (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_6) + S_m * p_1 + S_m * E + p_2 * k * \underline{S} = \Delta h * S_m; \quad (4)$$

Le cinque portate entro parentesi sono tutte costanti, in quanto si riferiscono ad afflussi/deflussi permanenti. La loro somma algebrica vale:

$$(q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_6) = (0,17 + 0,062 + 0,003 + 0,01 - 0,468) \text{ m}^3/\text{s} = - 0,223 \text{ m}^3/\text{s};$$

quindi la (4) diventa:

$$- 0,223 \text{ (m}^3/\text{s)} * \Delta t + S_m * p_1 + S_m * E + p_2 * k * \underline{S} = \Delta h * S_m; \quad (5)$$

La (5) ci dice che, fissato un determinato intervallo di tempo Δt (per esempio un mese), le variazioni di livello Δh (in quel mese) dipendono esclusivamente da tre soli parametri p_1 , p_2 ed E . Si ha infatti:

$$\Delta h = 1/ S_m * \left\{ S_m * p_1 + S_m * E + p_2 * k * \underline{S} - (0,223 \text{ m}^3/\text{s} * \Delta t) \right\}; \quad (6)$$

La variazione di livello del lago (Δh) che si produce in un determinato mese si calcola inserendo nella (6) i valori assunti da p_1 , p_2 ed E in quel mese. La Figura 9, riferita ad un anno caratterizzato da precipitazioni medie (quelle riportate nelle serie storiche), riporta i grafici che descrivono gli andamenti del livello del lago mese per mese.

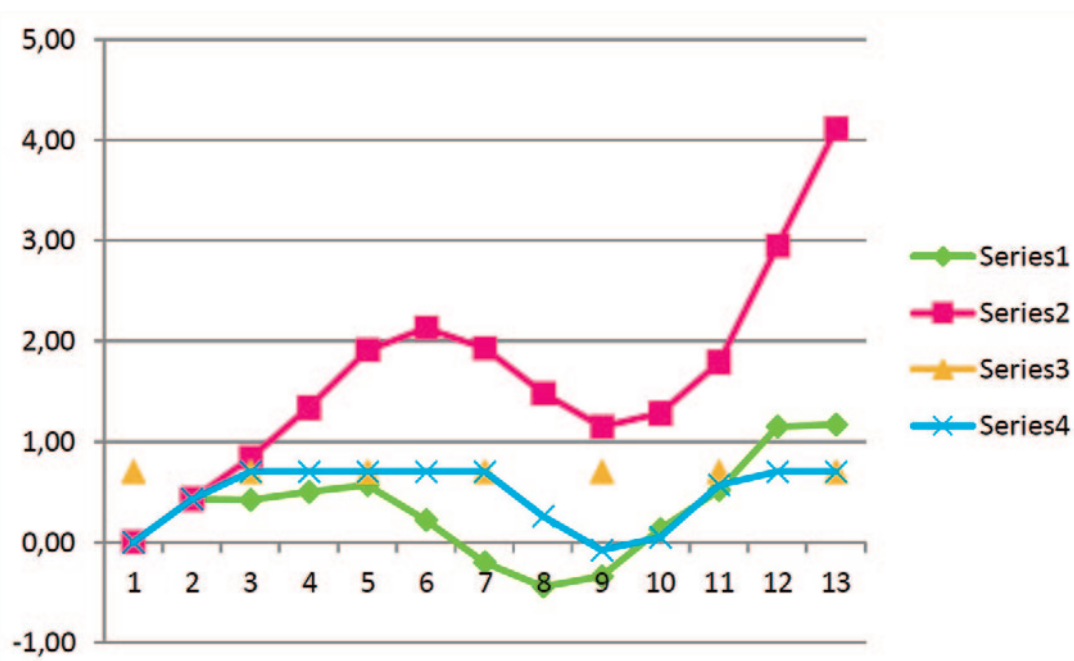


Figura 9

Legenda per la lettura dei grafici delle Figure 9, 10, 11 e 12:

- Ordinate: livello del lago in metri. L'ordinata 0,00 m corrisponde allo zero idrometrico.
- Ascisse: mesi dell'anno. L'ascissa 1 indica il giorno 01 gennaio; l'ascissa 13 indica il giorno 31 dicembre.
- Series 1: grafico dei valori Δh prodotti in ogni singolo mese (calcolati con la (6)).
- Series 2: grafico del livello cumulativo ottenuto sommando i valori di Δh della Series 1 prodotti mese per mese. Il livello iniziale al 1° gennaio è fissato per praticità allo zero idrometrico. Si tratta di un grafico teorico, in quanto, in base all'ipotesi $q_5 = 0$, non considera l'effetto stabilizzante del deflusso superficiale. Fornisce invece una utile indicazione sul livello che poteva essere raggiunto in passato, quando il deflusso superficiale era impedito o limitato dalla presenza dello sbarramento naturale. Il grafico mostra che, in condizioni di precipitazioni medie, il livello del lago si poteva alzare di circa 4 m/anno.
- Series 3: livello di guardia (0,7 m al di sopra dello zero idrometrico) oltre il quale si attiva il deflusso superficiale.
- Series 4: grafico del livello cumulativo in presenza di deflusso superficiale. Esso mostra l'effettiva variazione del livello del lago. Questo grafico, valutato per le diverse tipologie di precipitazioni, fornisce il risultato finale del presente lavoro.

Per completezza si determinano anche gli andamenti del livello del lago in tre casi con precipitazioni diverse da quelle medie di Figura 9:

- In Figura 10 si considera un anno con precipitazioni pari al **70% di quelle medie**;
- In Figura 11 si considera un anno con precipitazioni pari al **130% di quelle medie**;
- In Figura 12 si considera un anno con precipitazioni pari al **50% di quelle medie**.

Nei tre casi si è scelto di adottare per le temperature i valori medi della serie storica, già utilizzati per costruire la Figura 9.



Figura 10

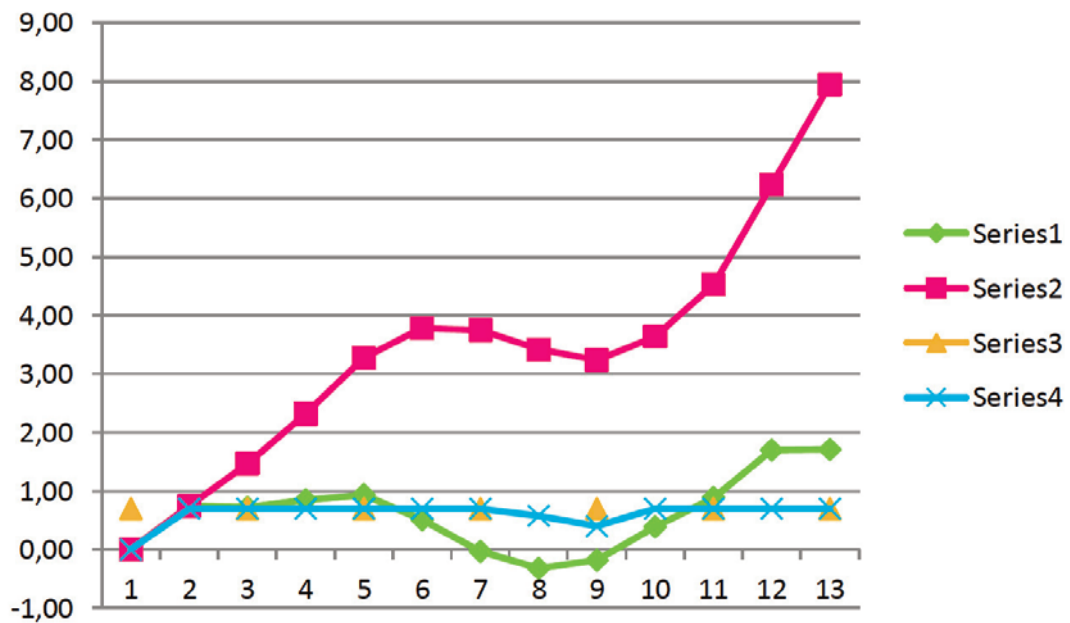


Figura 11

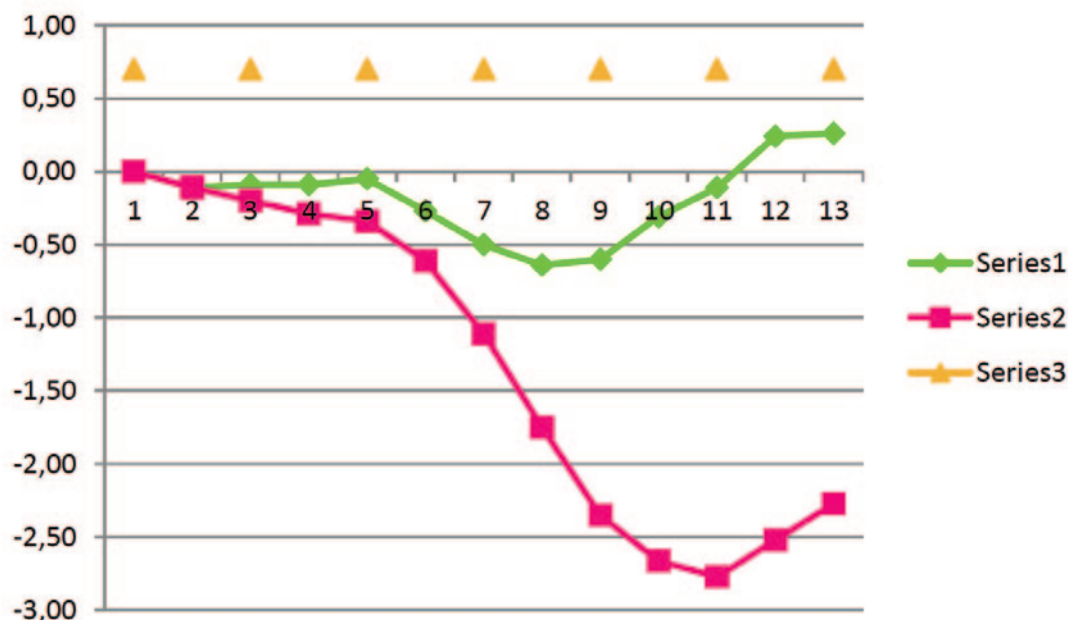


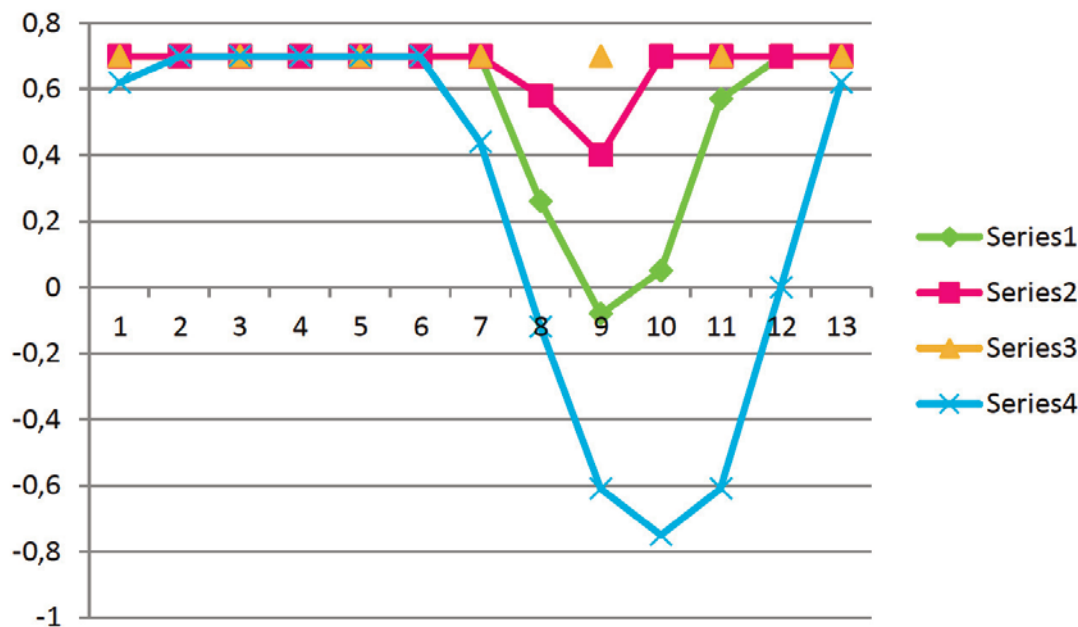
Figura 12

8. Ulteriori considerazioni sui grafici di livello

Per il tracciamento dei grafici è stata adottata l'ipotesi di fissare allo "zero idrometrico" il livello del lago ad inizio anno. Per ottenere l'andamento a regime del livello cumulativo è necessario estendere l'esame ad un periodo di due o più anni, ipotizzando che la tipologia di precipitazioni rimanga la stessa.

La Figura 13 riporta i livelli cumulativi a regime per le diverse tipologie di precipitazioni.

Figura 13



Legenda per la lettura dei grafici della Figura 13:

- Series 1: precipitazioni **medie**. Il regime si raggiunge il secondo anno.
- Series 2: precipitazioni pari al **130% di quelle medie**. Il regime si raggiunge il secondo anno.
- Series 3: livello di guardia.
- Series 4: precipitazioni pari al **70% di quelle medie**. Il regime è raggiunto il terzo anno (Figura14).

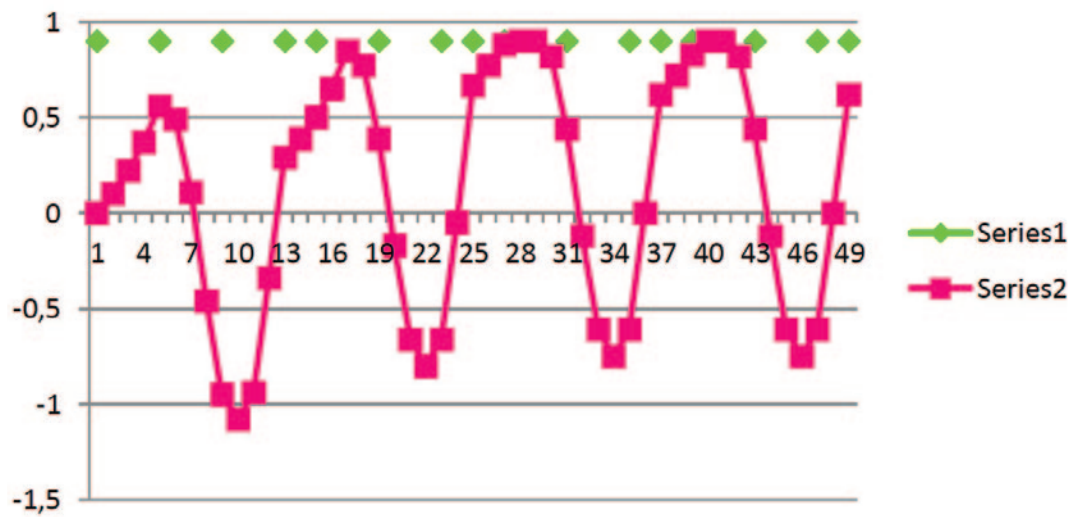


Figura 14

Nel caso di **precipitazioni pari al 50%** di quelle medie, la situazione di regime non viene raggiunta nella figura 15.

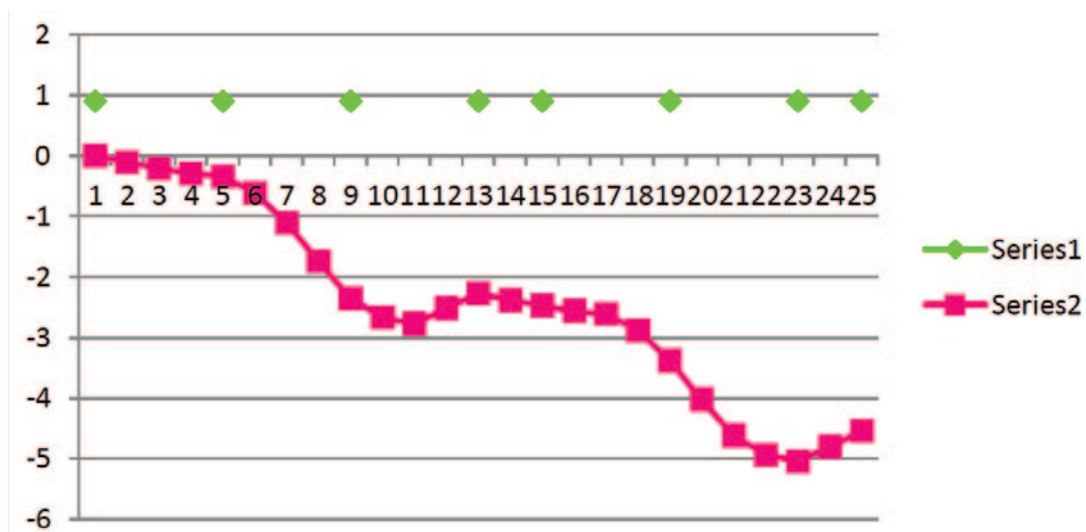


Figura 15

E' interessante osservare nella Figura 16 i grafici dei livelli cumulativi per cinque tipologie di precipitazioni inferiori a quelle medie:

- Series 1: precipitazioni del 70% di quelle medie.
- Series 2: precipitazioni del 67,8% di quelle medie.
- Series 3: precipitazioni del 60% di quelle medie.
- Series 4: precipitazioni del 55% di quelle medie.
- Series 5: precipitazioni del 50% di quelle medie.

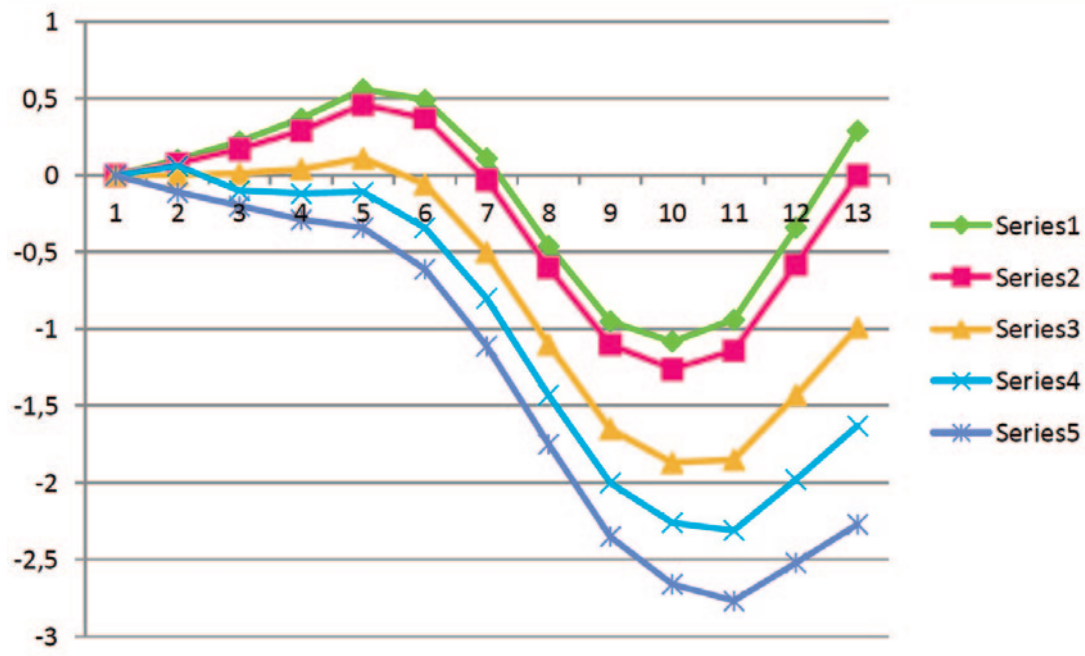


Figura 16

I cinque grafici hanno lo stesso livello di partenza (lo zero idrometrico), ma a fine anno si trovano a livelli diversi. Quelli che a fine anno si trovano al di sotto del livello di partenza, negli anni successivi tenderanno a scendere ulteriormente senza raggiungere mai il regime (come è mostrato in Figura 15 per il caso di precipitazioni del 50% di quelle medie).

La Series 2 mostra il caso in cui il livello di partenza coincide con quello di fine anno. Il relativo valore di **67,8%** può considerarsi un valore di precipitazione critico per la stabilità del livello del lago.

Normalmente accade che negli anni non si ripete la stessa tipologia di precipitazioni e pertanto la situazione reale sarà una opportuna combinazione di quelle fin qui esaminate.

9. Conclusioni

Lo studio del bilancio idrico del lago di Scanno conferma che il livello delle acque ha un andamento ciclico annuale, come mostra la Figura 13-bis.

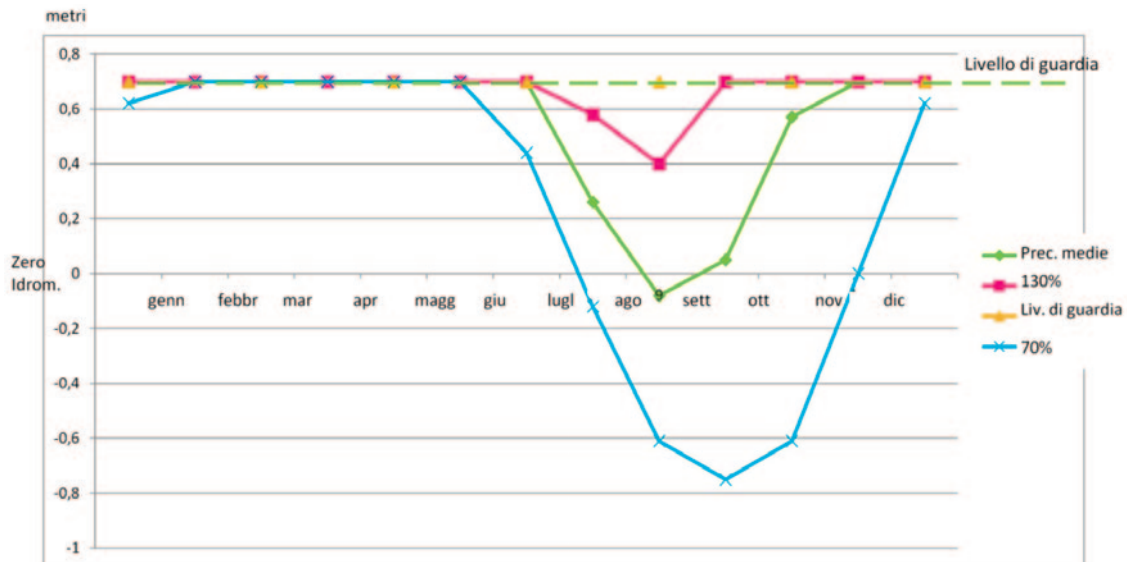


Figura 13-bis: livelli del lago mese per mese "a regime" per alcune tipologie di precipitazioni.

Nei mesi invernali, quando le precipitazioni innescano il deflusso superficiale, il livello si mantiene costante, pari a quello massimo stabilito dal livello di guardia. Nei mesi successivi si osserva dapprima un graduale abbassamento con punte minime nel periodo agosto-settembre e successivamente un graduale recupero fino alla successiva attivazione del deflusso superficiale.

Il livello di guardia ha una funzione stabilizzatrice e viene normalmente raggiunto quando le precipitazioni rientrano nella norma. Quando scendono al di sotto di questi valori, il lago può non raggiungere il livello di guardia per uno o più anni (Figura 14) e, in alcuni casi, presentare dei vistosi abbassamenti (foto 2). La Figura 15 mostra il caso estremo di due anni consecutivi con precipitazioni molto ridotte (50%) rispetto a quelle medie, ma si tratta di casi assai improbabili sia per l'entità della siccità, sia per la sua durata.

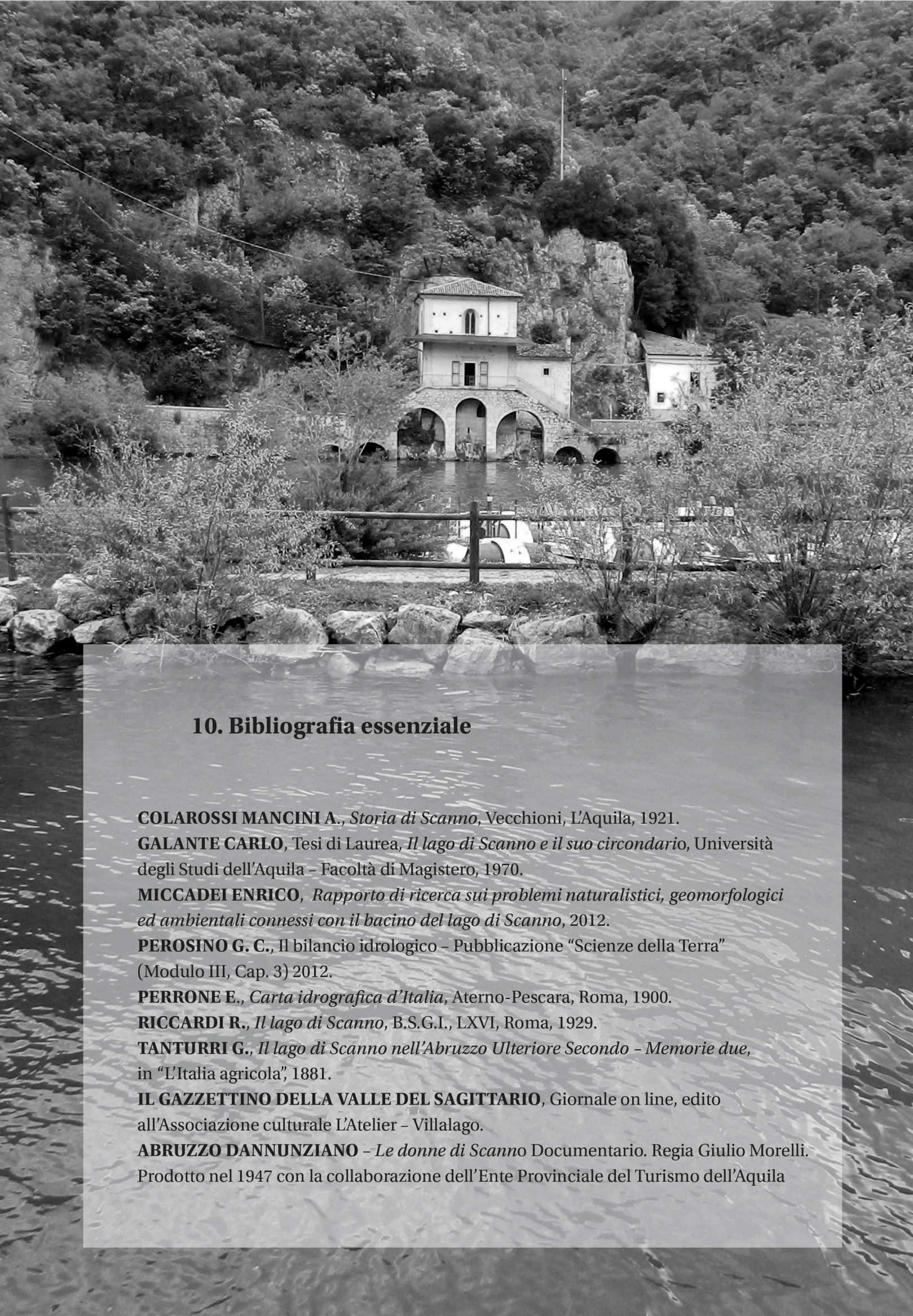
Il valore limite della siccità al di sotto del quale si perde la stabilità del livello si ha con precipitazioni annue del 67,8% di quelle medie. Si tratta del valore minimo che garantisce il ripetersi regolare del ciclo annuale. Con precipitazioni annuali inferiori, il livello tende gradualmente ad abbassarsi.

A volte tale abbassamento può sembrare eccessivo ed indurre a qualche preoccupazione circa la presenza di eventuali deflussi non noti. La spiegazione logica di questo fenomeno si trova esaminando i valori delle registrazioni delle precipitazioni e delle temperature raccolte sistematicamente dagli Enti preposti. Oppure attraverso specifiche misure sul campo (di temperatura, pluviometriche e di livello) limitatamente al mese di agosto, come indicato al punto 6.

A seguito di prolungati periodi di siccità il lago può assumere aspetti antiestetici (vedi foto 2). Al fine di evitare che il livello si abbassi eccessivamente, può essere utile installare opportune paratie mobili in corrispondenza dell'imbocco dell'emissario superficiale che sopraelevino in modo artificiale il livello di guardia. Ovviamente in casi di piene eccezionali il livello di guardia potrà essere facilmente riportato al valore originario azionando opportunamente le paratie mobili.

Le considerazioni sviluppate nel presente lavoro non si basano su dati misurati direttamente sul campo nel periodo di riferimento, ma attingono ai dati storici riportati negli Annali Idrologici pubblicati dal Servizio Idrografico e Mareografico - sezione di Pescara per gli anni 1951-2011, a quelli riportati in letteratura e ad alcune misure effettuate direttamente dal Prof. Miccadei nel 2012.

Pertanto i risultati ottenuti dai calcoli vanno valutati con riferimento a queste fonti.



10. Bibliografia essenziale

COLAROSSO MANCINI A., *Storia di Scanno*, Vecchioni, L'Aquila, 1921.

GALANTE CARLO, Tesi di Laurea, *Il lago di Scanno e il suo circondario*, Università degli Studi dell'Aquila - Facoltà di Magistero, 1970.

MICCADEI ENRICO, *Rapporto di ricerca sui problemi naturalistici, geomorfologici ed ambientali connessi con il bacino del lago di Scanno*, 2012.

PEROSINO G. C., Il bilancio idrologico - Pubblicazione "Scienze della Terra" (Modulo III, Cap. 3) 2012.

PERRONE E., *Carta idrografica d'Italia*, Aterno-Pescara, Roma, 1900.

RICCARDI R., *Il lago di Scanno*, B.S.G.I., LXVI, Roma, 1929.

TANTURRI G., *Il lago di Scanno nell'Abruzzo Ulteriore Secondo - Memorie due*, in "L'Italia agricola", 1881.

IL GAZZETTINO DELLA VALLE DEL SAGITTARIO, Giornale on line, edito all'Associazione culturale L'Atelier - Villalago.

ABRUZZO DANNUNZIANO - *Le donne di Scanno* Documentario. Regia Giulio Morelli. Prodotto nel 1947 con la collaborazione dell'Ente Provinciale del Turismo dell'Aquila

Foto, Roberto Grossi

