

RELAZIONE SULLE VARIAZIONI METEO-CLIMATICHE E IDROLOGICHE E LORO INTERAZIONI CON LE FLUTTUAZIONI DEL LIVELLO DEL LAGO DI VIVERONE.

Premessa

Durante la riunione del Gruppo di lavoro 03, inerente la valutazione di uno sbarramento sulla roggia Fola, del 20/09/2018, è stato affrontato il problema della diminuzione dei livelli del Lago di Viverone. La preoccupazione di tale diminuzione, soprattutto negli ultimi anni, ha portato alla ricerca di una soluzione vista nello sbarramento dell'emissario. In considerazione però del fatto che il sistema idrogeologico del Lago di Viverone risulta complesso e ancora poco noto, come si evince da un precedente studio "Progetto di recupero del Lago di Viverone" (2004-2005) (Calderoni et al., 2006), optare per uno sbarramento quale unica e migliore soluzione per limitare l'abbassamento dei livelli del lago, risulta ad oggi prematuro e non assicura la risoluzione del problema. Si è così deciso di cercare di capire meglio le interazioni tra le piogge, le escursioni di livello del lago e la variazione della falda che intercetta il lago, attraverso analisi dedicate, allo scopo di trovare una relazione, tra le fluttuazioni dei livelli, le piogge e la falda. A tal proposito viene chiesto al CNR IRSA, attraverso l'affidamento di un incarico, prot. 0001582 del 26/03/2019, da parte della Gestione Associata del Lago di Viverone di sviluppare uno studio sulle variazioni meteo-climatiche e idrogeologiche e le loro interazioni con le fluttuazioni del livello del Lago di Viverone. Tale studio dovrà portare a:

- 1. Raccolta e omogeneizzazione di dati meteo-climatici e idrogeologici (pioggia, temperatura, livello del lago, livello falda sotterranea, prelievi/immissioni di acqua, portate immissari/emissario se disponibili) per gli anni a disposizione;
- 2. Analisi statistiche dei dati raccolti per definire le relazioni/interazioni tra le acque sotterranee e le fluttuazioni del livello del Lago di Viverone;
- 3. Valutazioni sul funzionamento del sistema acque superficiali-acque sotterranee e sull'adeguatezza o meno di una regolazione della Roggia Fola per la gestione dei livelli del Lago di Viverone.

Dati raccolti

Con il supporto della Regione Piemonte e della Città Metropolitana di Torino, in particolare con l'aiuto della dott.ssa Emauela Sarzotti, si sono rintracciati i dati necessari per la valutazione delle interazioni tra le caratteristiche meteo-climatiche e quelle idrogeologiche del Lago di Viverone. In particolare è emerso che i dati utilizzabili per le analisi necessarie per rispondere alle valutazioni richieste sono quelli mensili e annuali e che quelli a disposizione, soprattutto per quanto riguarda i livelli del lago e quelli della falda non sono molti.

Nella tabella 1 si riporta una sintesi dei dati disponibili e la loro provenienza.

Tab.1 – Metadati delle stazioni meteorologiche, idrologiche e dei pozzi presenti all'interno del bacino del Lago di Viverone e utili per la valutazione delle relazioni tra parametri meteo-climatici e idrogeologici. P=pioggia; T=temperatura X=presente;U=umidità.

Dati Ufficio idrografico del Po – cartacei (giornalieri)





	1		I				
Anni	Ivrea	Mazze	Viverone	Lago di Bertignano	Zimone	Viverone livello lago	Santhià
1937-1994	P,T	P,T					
1975-1994			P				
1939-1972				P			
1936-1978					P		
1977-1990						X	
1936-1958							P
		Da	ti ARPA Pie	emonte – digi	tali		
		Piverone					
1993-2019		P, T, U					
2005-2019	Livello Lago						
	Dati 1	rete agromete	eorologica de	ella Regione	Piemonte –	digitali	
		Viverone		Borgo d'Ale		Alice Castello	
2002-2019		P,T,U					
1999-2019				Р,7	T,U		
2007-2019						P,T,U	
		Dati poz	zi rete Regio	one Piemonte	– digitali		
		PII14		P43		P44	
2004-2019		Livello falda					
2004-2019				Livello	o falda		
2004-2019						Livello	o falda

Come si può notare dalla tabella 1 i dati di pioggia, temperatura, livello lago e livello falda presenti contemporaneamente e quindi adatti alle analisi da sviluppare sono quelli dal 2005 al 2019, in totale solo 14 anni di dati e per sole tre stazioni.

Un ulteriore scelta fatta rispetto ai pozzi da prendere in considerazione per le analisi da sviluppare è stata data dalla loro posizione rispetto al lago. A questo proposito si riporta in figura 1 la posizione dei pozzi e quella delle stazioni idro-meteorologiche i cui dati sono disponibili dal 2005. Data la lontananza del pozzo P44, si sono utilizzati per le analisi solo i pozzi P43 e PII14.

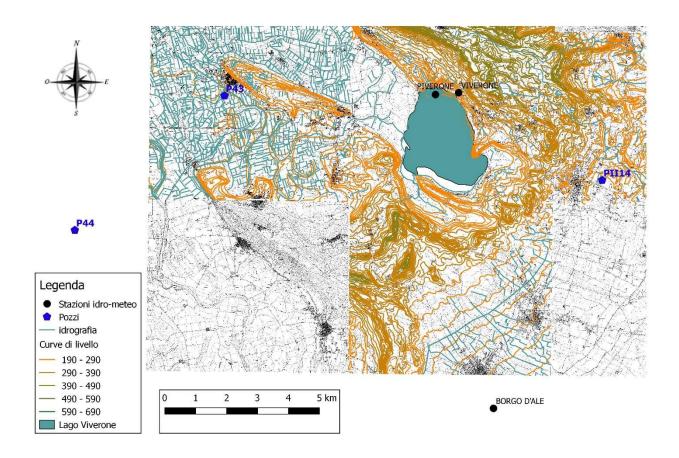


Fig.1 – Bacino del Lago di Viverone stazioni mete-idrologiche e pozzi.

I dati delle stazioni di Piverone, Viverone e Borgo D'Ale e quelle dei pozzi P43 e PII14 sono quindi stati scaricati dai rispettivi siti web e si è proceduto con la loro analisi.

Non essendo più presenti dati di portata né delle rogge immissarie né della Roggia Fola in uscita dal lago, non è stato possibile inserire anche questi dati nelle successive analisi.

Elaborazioni

• Analisi mensili e annuali

Le elaborazioni sono quindi state effettuate valutando i parametri misurati dalle stazioni di monitoraggio presenti ed evidenziando le correlazioni tra il livello del lago e il livello piezometrico nel bacino del lago Viverone, riferendosi in particolare alla stazione di Piverone e ai punti di monitoraggio della soggiacenza P43 e PII14, sia per quanto riguarda dati mensili che annuali.

La figura 2 riassume e permette di visualizzare i valori mensile del livello del lago, della soggiacenza (pozzi P43 e PII14) dal 2005 al 2018 e della pioggia dal 1993 al 2018 (stazione di Piverone).

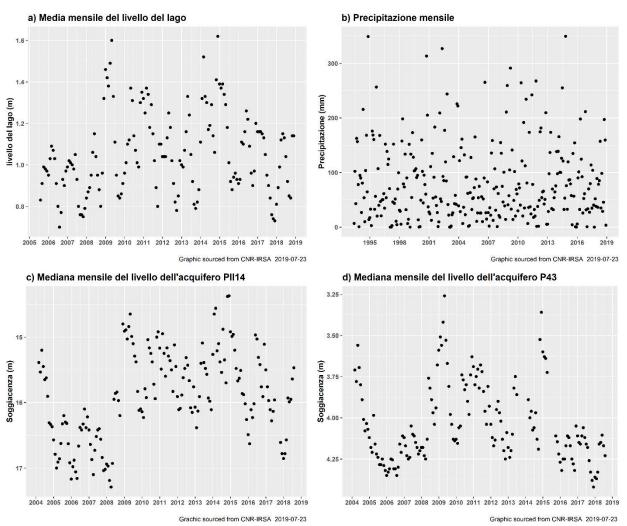


Fig.2 – Valori mensili a) livello del lago, b) precipitazione, c) soggiacenza PII14 e d) soggiacenza P43.

Possiamo osservare che i dati mensili dal 2009 al 2015 per quanto riguarda l'acquifero e il livello del lago (figura 2a 2c e 2d) subiscono un aumento nel valore medio e nella mediana, raggiungendo valori più alti rispetto a quelli dell'intero periodo di analisi, senza che la pioggia mensile abbia un andamento simile (figura 2b).

In figura 3 sono riportati lo scarto cumulato dalla media stagionale, che rappresenta un'indicazione dell'andamento di un parametro nel tempo, considerando i dati ottenuti da un monitoraggio in continuo durato più di 13 anni. Lo scarto cumulato dalla media rappresenta la somma progressiva degli scarti dalla media, ovvero delle differenze tra ogni singolo valore preso in considerazione e la media pluriannuale presa a riferimento. Per quanto riguarda le analisi effettuate, si è calcolata la media per ogni stagione (autunno, estate, inverno, primavera) dal 2005 al 2018 per ciascuno dei parametri presi in considerazione (livelli lago e falda e pioggia) e si è presa come riferimento. Si è poi valutata la differenza tra la media di riferimento per ciascuna stagione e i singoli valori stagionali annuali, per tutti gli anni e per tutti i parametri, facendo poi la somma dei valori ottenuti, generando così lo scarto cumulato dalla media riportato in figura 3.

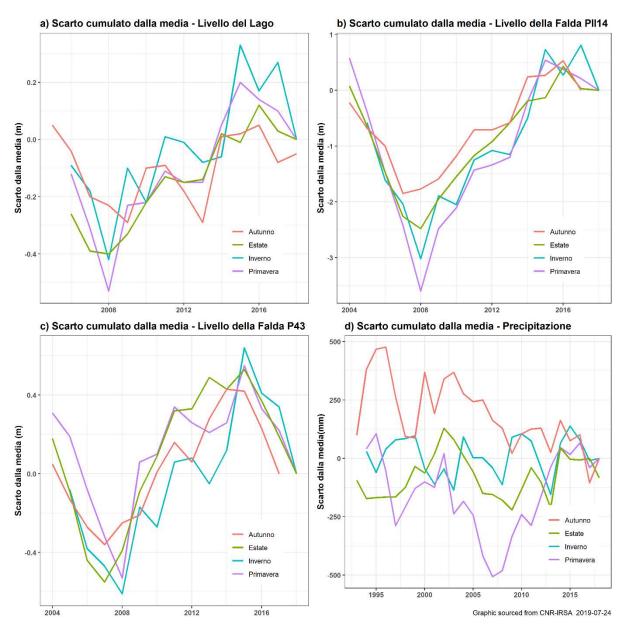


Fig.3 – Scarto Cumulato stagionale dalla media per: a) il livello del lago, b) livello della falda PII14 c) livello della falda P43 e d) precipitazione.

Dall'analisi degli scarti cumulati dalla media si può stabilire che, per quanto riguarda la pioggia (figura 3d) si registra una stabilità in quella invernale, una decrescita di quella autunnale e una crescita di quella primaverile negli ultimi anni, dal 2007.

Lo scarto cumulato rispetto alla media del livello del lago (figura 3a) mostra valori positivi dopo il 2014 eccetto per l'autunno dove lo scarto rimane vicino allo zero. Quando lo scarto cumulato si attesta a volari intorno allo zero significa che i valori del parametro oscillano intorno a valori medi senza evidenziare particolari trend, né in aumento né in diminuzione. Il livello piezometrico (PII14 e P43) è decrescente duranti i primi anni fino al 2008 poi subisce un incremento fino a raggiungere un valore massimo nel 2015 (figura 3b). Possiamo notare che l'andamento del livello del lago e quello del

livello dell'acquifero sono molto simili. Nel 2011, De Luca et al. (2011) hanno mostrato come l'acquifero superficiale alimenta il lago e quello intermedio ha lo stesso ruolo fino a un livello di 180 m s.l.m (livello del fondo lago), quando la direzione di flusso diventa dal lago alla falda. A livello dell'acquifero profondo sembra che il lago alimenta sempre la falda.

Per avere una descrizione dettagliata dell'andamento dell'anno pluviometrico nel bacino del Lago di Viverone si riporta in figura 4 una rappresentazione delle distribuzioni delle piogge misurate alla stazione di Piverone, per i diversi mesi, unitamente alla loro variabilità interannuale (1993-2018). I rettangoli azzurri rappresentati in figura comprendono il 50% dei dati, mentre i segmenti verticali rappresentano l'intero intervallo di valori, ad eccezione di alcuni valori di *outlier* che sono indicati con i punti. Quanto più lunghi sono i rettangoli tanto più grande è la variabilità stagionale come nel caso del mese di novembre.

Precipitazione Mensile

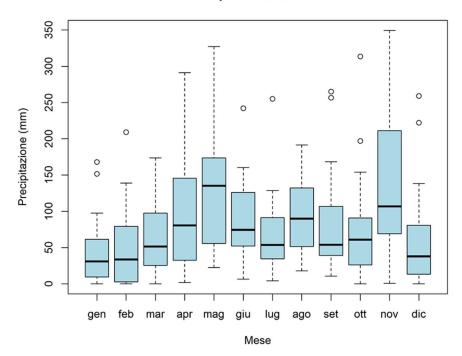


Fig.4 – Boxplot dell'andamento delle cumulate mensili della pioggia (mm) registrate nella stazione Piverone per il periodo 1993-2018.

Dalla figura 4 si evince che i mesi meno piovosi in assoluto sono dicembre e gennaio con un valore mediano inferiore a 35 mm di pioggia, mentre maggio e novembre sono i mesi più piovosi con mediane che oscillano fra i 100 mm e i 135 mm di pioggia. Si può notare che novembre è il mese che presenta il maggior numero di casi con grandi quantità di pioggia, che potrebbero avere un impatto sul livello del lago e sull'acquifero. La figura 4 mostra anche che la pioggia diminuisce in inverno e in estate, che cresce molto rapidamente in primavera e a fine autunno, ritornando a valori massimi in poco tempo.

• Analisi di tendenza

Per eseguire un'analisi dell'andamento a lungo termine (trend) a scala annuale, figura 5, è necessario garantire la presenza di serie temporali regolari e complete senza dati mancanti. Per questo motivo,





il primo passo è stato quello di rimuovere i valori mancanti consecutivi e vicini all'inizio o alla fine delle serie che possono influenzare l'analisi del trend. Il secondo passo è stato quello di fare un'interpolazione per quanto riguarda i valori mancanti restanti.

In letteratura, Russo and Lall (2017) hanno considerato dieci anni come la lunghezza minima delle serie temporali per un'analisi significativa delle tendenze a lungo termine del livello piezometrico di un acquifero. Oltre a controllare che i nostri dati di livello verificano questo criterio abbiamo anche controllato che per ogni serie temporale sia presente una quantità ammissibile di dati mancati. Per le precipitazioni, abbiamo scelto la stazione con la serie temporale più lunga che coincide con lo stesso periodo di misura del livello del lago e dell'acquifero: la stazione di Piverone dove abbiamo raccolto dati di pioggia dal 1993 al 2018.

Analizzando nel dettaglio i dati disponibili possiamo in sintesi dire che sono presenti:

- 1) Oltre 14 anni di dati consecutivi di livello piezometrico raccolti nei pozzi PII14 e P43 con dati mancanti minimi ,7% per P43 e 2% per PII14;
- 2) Oltre 13 anni dai dati di livello del lago senza dati mancanti;
- 3) Oltre 25 anni di dati di precipitazione con dati mancanti <1%.

Si può concludere quindi che i dati a nostra disposizione possono essere utilizzati per un'analisi di trend.

Esistono varie tecniche matematico/statistiche che permettono di individuare al meglio la presenza di eventuali trend di lungo periodo per le serie storiche; tra tali tecniche la nostra scelta è ricaduta sul test non parametrico di Mann-Kendall (Mann 1945; Kendall 1975) per la stima del segno e del livello di significatività del trend. Per questi tipi di analisi, è spesso utile verificare le tendenze con i dati annuali. Abbiamo considerato quindi l'andamento nel tempo dei livelli (lago e falda) e pioggia, calcolando poi la retta di trend. Infine per ogni serie temporale ottenuta sono state ottenute anche le linee di tendenza (Figura 5).

La figura 5 mostra che il livello del lago e le precipitazioni a scala annuale sono pressoché stabili mentre il livello dell'acquifero superficiale PII14 ha fatto registrare una crescita di 8.8 cm/anno, anche se la tendenza statistica non è significativa (P = 0.73).

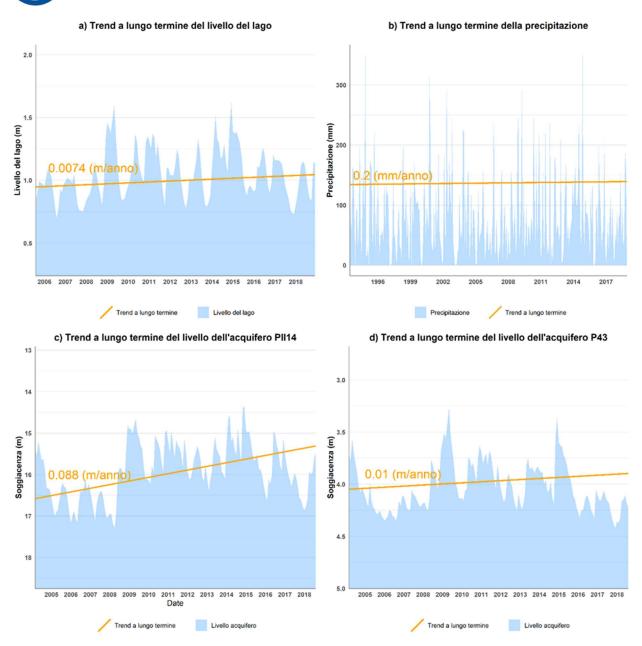


Fig.5 – Tendenza a lungo termina del a) livello lago, b) le precipitazioni e la soggiacenza misurata nei pozzi c) PII14 e d) P43.

Per un'ulteriore verifica di quelle che possono essere le cause di un cambiamento nell'andamento dei livelli del lago di Viverone si è anche indagata l'evaporazione dallo specchio lacustre utilizzando la formula di Visentini (Dragoni et Valigi 1994):

$$EVAP = 2.25*Tm^{1.5}$$

Dove EVAP è l'evaporazione media mensile (mm/mese); Tm è la temperatura media mensile (°C).

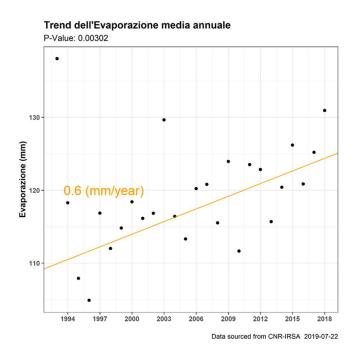


Fig.6 - Trend dell'evaporazione media annuale (1993-2018).

In figura 7 è riportato il trend mensile dell'evaporazione, dalla quale si evince la presenza di una crescita da aprile a settembre con valori da 0.5 a 1.2 mm/anno. Anche l'evaporazione va quindi ad incidere sulla diminuzione del livello del lago nel periodo estivo.

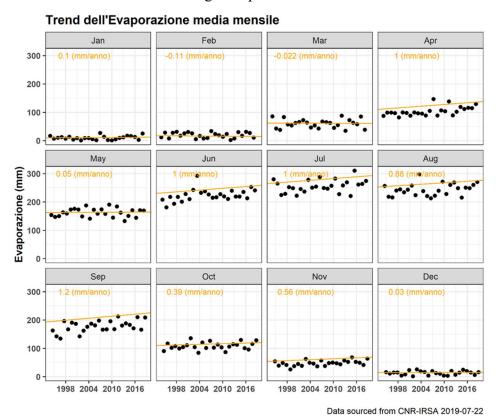


Fig.7 – Trend dell'evaporazione media mensile (1993-2018).



Relazione tra la variazione dei livelli e della pioggia

Un ulteriore approfondimento delle variazioni dei livelli (lago e falda) e della pioggia è stato indagato utilizzando la seguente formula (Jones et al. 2016):

$$\Delta L = L_{t-} L_{t-1}$$

Dove ΔL , è la differenza tra il livello medio L durante l'anno t e quello all'anno t-1.

Il grafico riportato in figura 8, rappresenta le variazioni di livello e le precipitazioni annue cumulate registrate presso la stazione meteorologica di Piverone, allo scopo di verificarne l'andamento e la presenza di eventuali correlazioni.

Si rileva in generale una elevata dipendenza tra i livelli (lago e acquifero) e la pioggia caduta, ad eccezione dell'anno 2010. L'acquifero misurato al pozzo PII14 risulta aver raggiunto livelli massimi negli anni 2009 e 2014, mentre nell'anno 2012 ha fatto registrare un elevato abbassamento. Si può anche notare come la falda misurata al pozzo PII14 sia molto più variabile e risenta molto di più dell'influenza della pioggia rispetto a quanto risentano i livelli del lago e la falda misurata al pozzo P43. Inoltre il livello della falda misurato al pozzo PII14 e il lago hanno lo stesso andamento; nell'ultimo anno di confronto, il 2018, non è stato registrato nessun cambiamento di livello ΔL , né per quanto riguarda il lago, né per quanto riguarda il livello della falda misurato nei due pozzi (ΔL =0).

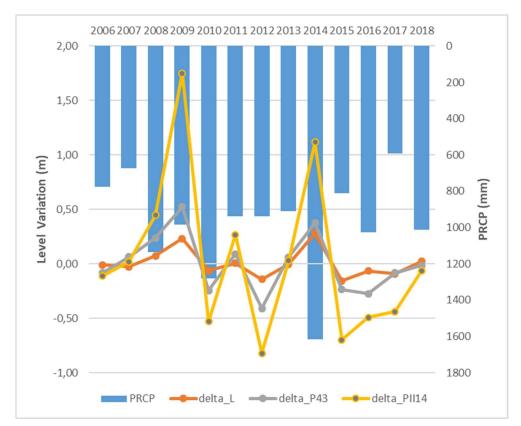


Fig.8 – Andamento della variazione di livello (lago e acquifero) e della precipitazione dal 2006 al 2018 (PRCP = precipitazione, $\Delta L = lago$, $\Delta P43 = pozzo 43$, $\Delta PII14 = pozzo PII14$).



Nell'anno 2010 si può notare che, nonostante la grande quantità di precipitazione (pioggia diretta e contributo superficiale) arrivata al lago, si è registrato un abbassamento del livello del lago e dell'acquifero rispetto a quanto registrato nell'anno precedente. Questo abbassamento è dovuto a un grande sfruttamento della risorsa idrica avvenuta nel 2009 (Regione Piemonte, 2017). Infatti secondo quanto stabilito da precedenti studi (Regione Piemonte 2017; Bellomo 2009) nel 2009 l'oscillazione di livello delle acque del lago osservata ha indicato un abbassamento complessivo superiore ai 100 cm. In conseguenza nel periodo 2009-2010 l'aumento dei prelievi idrici insieme al deficit idrico stagionale hanno portato a una situazione di crisi idrica particolarmente grave.

• Analisi della correlazione tra i diversi parametri

In ultima analisi sono state valutate le correlazioni tra i diversi parametri scelti (Fig.9). Analizzando tali relazioni si segnala e si evidenzia la stretta correlazione significativa esistente tra il livello del lago e il livello dell'acquifero. Questo legame è molto più evidente tra lago e acquifero misurato al pozzo PII14 (R=0.94) che lago e pioggia (R=0.73). Questo risultato potrebbe essere interpretato affermando che la variabilità del livello del lago spiega bene la variabilità del livello dell'acquifero e viceversa.

Passando da una scala annuale a una scala mensile, il legame tra lago e pioggia si indebolisce e la correlazione passa da R=0.73 a R=0.32. Il lago risponde quindi meglio agli apporti di pioggia a scala annuale che non mensile. Per quanto riguarda il legame tra la pioggia e la variazione di livello dell'acquifero aumenta fino ad arrivare a un coefficiente di correlazione R=0.49 per il pozzo PII14 e R=0.51 per il pozzo PII43 (Figura 9b).

In generale si può dire che la correlazione tra il livello del lago e quello della falda non è trascurabile ed è superiore a quella della pioggia.

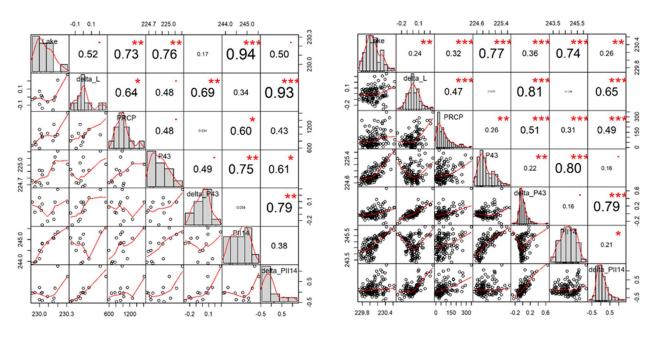


Fig.9 – Cross-Correlazione a scala (a) annua e (b) mensile tra diversi parametri (Lake = livello del lago, delta_L = variazione del livello del lago, PRCP = precipitazione cumulativa, P43 = livello piezometrico pozzo P43, delta_P43 = variazione di livello pozzo P43, PII14 = livello piezometrico pozzo PII14 e delta_PII14 = variazione di livello pozzo PII14.





Conclusioni

Considerando i parametri presi in considerazione tra tutti quelli possibili, sia rispetto alla continuità dei dati nel tempo che alla sovrapposizione temporale di ciascun parametro si sono sviluppate analisi sulle piogge registrate alla stazione di Piverone dal 1993 al 2018, sui livelli del lago di Viverone registrati sempre alla stazione di Piverone dal 2005 al 2018 e sui livelli della falda misurata nei pozzi PII14 e P43 dal 2005 al 2018.

Le analisi sviluppate hanno riguardato, i) l'andamento annuale dei parametri scelti; ii) la valutazione dei trend di ciascun parametro; iii) la relazione tra la variazione dei livelli, del lago e della falda, e quella della pioggia; iv) la valutazione della correlazione tra i diversi parametri.

I risultati ottenuti hanno mostrato che mediamente l'andamento del livello del lago non ha subito notevoli variazioni nel periodo analizzato ad eccezione degli anni 2009-2010. La pioggia non ha fatto identificare particolari trend, ma un andamento stagionale dove le minori piogge si registrano in estate. Il livello della falda registrato nel pozzo PII14 segue molto da vicino quello del lago, con un valore di correlazione R molto elevato (R=0.94). L'evaporazione dallo specchio lacustre è aumentata da aprile a settembre. Inoltre, dall'analisi dello scarto cumulato dalla media stagionale si evince che si ha una diminuzione dei livelli del lago negli ultimi due anni nella sola stagione autunnale, così come anche per la pioggia.

Prendendo anche in considerazione studi e analisi pregresse effettuate sia da ARPA Piemonte che dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Torino, si può concludere e sottolineare quanto segue:

1) Che il sistema idrogeologico a cui afferisce il Lago di Viverone è complesso e non ancora abbastanza conosciuto; la correlazione tra l'andamento dei livelli del lago e la falda è molto forte ma la dipendenza dagli acquiferi superficiale, medio e profondo dipende dalla quota degli acquiferi stessi e senza delle misure continuative su tutti e tre non è possibile ad oggi stabilire la dinamica di tale dipendenza né quantificarla in modo tale da valutare quanto dell'escursione dei livelli del lago sia legata all'escursione dei livelli della falda.

Si propone di conseguenza la messa in campo di misuratori in continuo in pozzi adeguati per una maggior conoscenza delle dinamiche degli acquiferi presenti.

2) L'escursione dei livelli del lago non sembra essere notevolmente cambiata dal 2005 ad oggi. Non ci sono dati continuativi pregressi per allungare la valutazione, soprattutto da sovrapporre a quelli di pioggia e di livello della falda. Senza una valutazione della portata in uscita dall'emissario, Roggia Fola, non è comunque possibile quantificare la quantità d'acqua fuoriuscita dal lago e quindi quanto uno sbarramento della roggia possa portare benefici alla diminuzione dei livelli del lago.

Si propone di rimettere in funzione il misuratore di portata installato sulla Roggia Fola e di valutare le portate in uscita unitamente alle variazioni di livello del Lago.

3) Data la presenza di numerosi pozzi all'interno del bacino imbrifero del Lago di Viverone dei quali non si conosce esattamente la quantità di acqua emunta e che hanno sicuramente un'influenza sulla variazione di livello del lago, soprattutto nel periodo estivo, risulta necessaria una valutazione di un bilancio della risorsa idrica e di una sua gestione comprensiva di tutti gli interessi in gioco, anche di quelli dell'ecosistema lacustre.



Bibliografia

Bellomo M. 2009. - Allarme a Viverone: Agricoltura a rischio per la siccità del lago. La Sentinella del Canavese, 29 ottobre 2009.

Calderoni A., Ciampittiello M., de B. R., Galanti G., Oggioni A., Massara M., Vietti F. 2006. Progetto di recupero del Lago di Viverone. CNR ISE & ARPA, 76 pp.

De Luca, D., Barbero, E., Forno, M. G., Gianotti, F. 2011. Hydrogeology of the Viverone Lake area (Piedmont, NW Italy). In GEOITALIA 2011-VIII Forum Italiano di Scienze della Terra (Vol. 4, pp. 23-23).

DRAGONI W., VALIGI D.1994. Contributo alla stima dell'evaporazione dalle superfici liquide nell'Italia Centrale. Geologica Romana, 1994, 30: 151-158.

Jones, PM., et al. 2016. Statistical analysis of lake levels and field study of groundwater and surface-water exchanges in the northeast Twin Cities Metropolitan Area, Minnesota, 2002 through 2015: chapter A of water levels and groundwater and surface-water exchanges in lakes of the northeast Twin Cities Metropolitan Area, Minnesota, 2002 through 2015. No. 2016-5139-A. US Geological Survey, 2016.

Kendall MG. 1975. Rank correlation methods. Griffin, London

Mann HB. 1945. Nonparametric tests against trend. Econometrica 13:245–259

Regione Piemonte. 2017. Relazione - Piano di Gestione del Lago di Viverone - Zona speciale di conservazione e zona di protezione speciale IT1110020.

Russo TA., and Lall U. 2017. Depletion and response of deep groundwater to climate-induced pumping variability. Nature Geoscience 10.2: 105.