



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

ALLEGATO

Come richiesto durante l'incontro della Cabina di Regia del Contratto del Lago di Viverone del 1° ottobre 2019, avvenuto nella sede della Provincia di Biella, si esplicitano in modo approfondito le analisi effettuate e il metodo scelto.

Esistono diversi metodi per la stima del trend statistico di un qualsiasi parametro che varia nel tempo; alcuni di questi sono stati applicati in casi in cui la variabile di interesse era una variabile climatica o ambientale. Nello studio svolto, per le analisi statistiche effettuate si è scelto il test di Mann-Kendall.

Dalla teoria, per eseguire un test statistico, è necessario definire l'ipotesi nulla H_0 e l'ipotesi alternativa H_1 ; si assume che l'ipotesi nulla sia vera e quindi si verifica se i dati osservati siano consistenti con tale ipotesi. Nel caso del test di Mann-Kendall, l'ipotesi nulla è che la serie storica in esame sia stazionaria (cioè che non esista un trend). Il test quindi verifica statisticamente la stazionarietà di una serie temporale (es. dati di temperatura, pioggia, livello del lago etc.). Se tale ipotesi è rigettata, allora si assume come vera l'ipotesi alternativa, con un determinato livello di incertezza dato dal *p-value*, ovvero si assume la presenza di un trend (Helsel & Hirsch, 1992). Le ipotesi prese in esame dal test di Mann-Kendall sono:

H_0 : assenza di trend

H_1 : presenza di un trend monotono (non necessariamente lineare)

Il test non-parametrico di Mann-Kendall al pari di altri test non parametrici, è basato sul concetto di "ranking", cioè sulle caratteristiche di ordinamento della serie storica in esame (Mann, 1945; Kendall, 1975). Intuitivamente: una serie storica che presenta una tendenza ascendente perfetta è caratterizzata dal fatto che considerata una osservazione qualsiasi effettuata al tempo t_i , $x(t_i)$, tutte le osservazioni effettuate per $t > t_i$ hanno valori superiori a $x(t_i)$ e tutte le osservazioni effettuate per $t < t_i$ hanno valori inferiori a $x(t_i)$ (Cattani et al 2014).

Detto questo, si considera la statistica di Mann-Kendall S , che presenta un modo di quantificare quanto la serie storica in esame si avvicina da una serie caratterizzata da una tendenza ascendente o discendente. Un valore molto alto di S è indicativo di un trend positivo, al contrario un valore di S molto basso indica un trend negativo.

La statistica di Mann-Kendall S è rappresentata dalla seguente formula:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad \text{Con } \text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{se } x_i > x_j \\ 0 & \text{se } x_i = x_j \\ -1 & \text{se } x_i < x_j \end{cases}$$

La statistica di Mann-Kendall S presenta la somma degli indicatori $\text{sgn}(x_i - x_j)$ con tutte le possibili combinazioni delle n osservazioni. Il test restituisce una stima della riduzione/aumento della variabile scelta su base annua cui è associata la relativa incertezza a un dato livello di confidenza ($p < 0,05$).

Questa test nella versione originaria non considerava l'esistenza di una variabilità di tipo periodico o stagionalità dei dati come accade ad esempio nel caso delle variabili meteorologiche a scala mensile. Il test di Mann-Kendall venne rielaborato da Hirsch & Slack, nel 1984 per tener conto degli effetti dovuti alla stagionalità; quest'ultimo test è noto come Seasonal Kendall Test (SK) o test di Kendall corretto per la stagionalità (Hirsch & Slack 1984). L'applicazione del test di Kendall corretto per la stagionalità prevede che ciascun anno compreso nell'intervallo temporale da analizzare, sia suddiviso in sottoperiodi (mesi - stagioni). La massima suddivisione possibile prevede 12 sotto-periodi coincidenti con i singoli mesi dell'anno e vengono individuate anche deboli tendenze.

All'interno dello studio sulle variazioni del livello del lago di Viverone, la presenza di evoluzioni significative nella serie storica del livello del lago, della falda e della precipitazione è stata valutata applicando il test di Mann-Kendall per i dati annuali (figura 5 e figura 6)

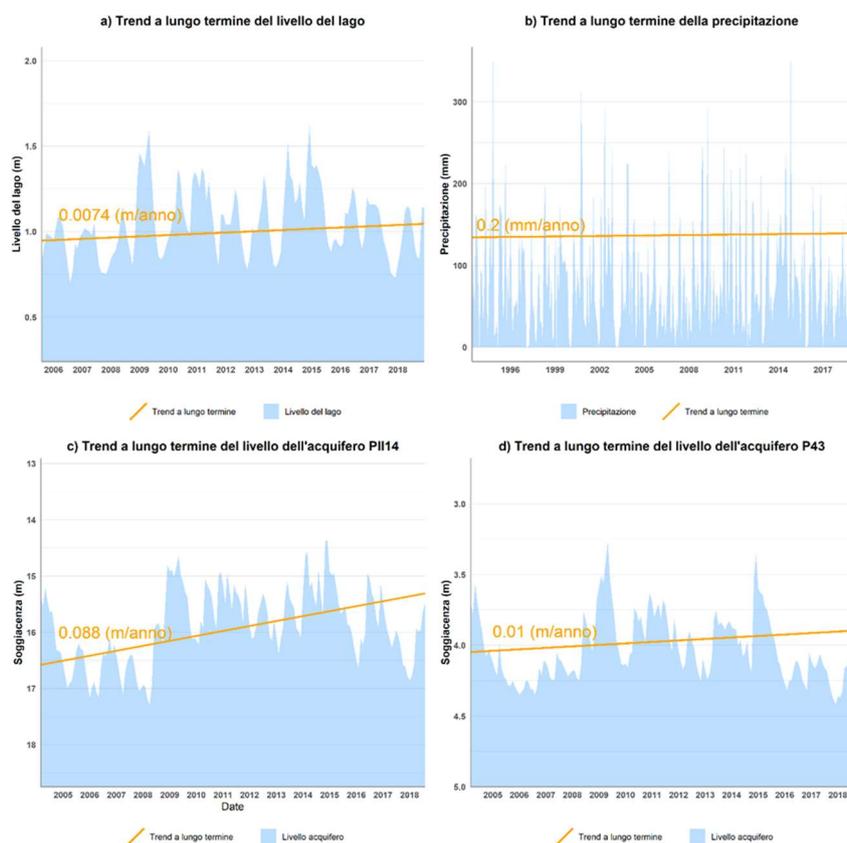


Fig.5 – Tendenza a lungo termina del a) livello lago, b) le precipitazioni e la soggiacenza misurata nei pozzi c) PII14 e d) P43.

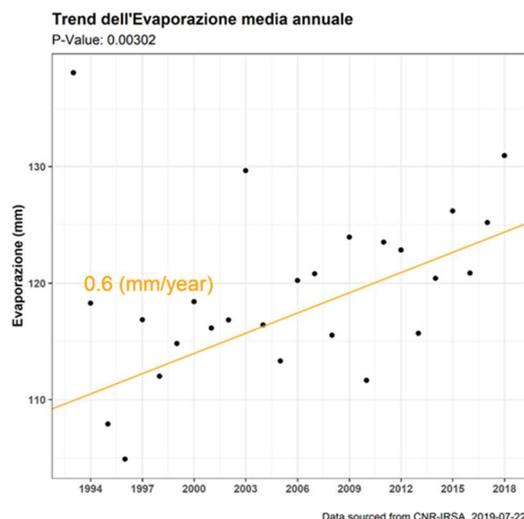


Fig.6 – Trend dell'evaporazione media annuale (1993-2018).

Nella figura 5, in particolare, non sono state eseguite delle regressioni lineari ma è stato applicato il test non-parametrico di Mann-Kendall, come abbiamo definito prima, a scala annuale, considerando per la pioggia la somma annuale e per i livelli del lago e della falda i valori della mediana; i dati utilizzati non sono di conseguenza soggetti a una correzione per la stagionalità come invece lo sono quelli utilizzati per la valutazione del trend dell'evaporazione media mensile riportati nella figura 7.

Infatti nel caso dei dati di evaporazione media mensile (figura 7) è stato applicato il test di Mann-Kendall corretto per la stagionalità attraverso l'utilizzo delle funzionalità di alcuni pacchetti del software di statistica R (zyp e EnvStats packages) che destagionalizzano in modo automatico i dati soggetti a stagionalità, restituendo una valutazione di trend corretto.

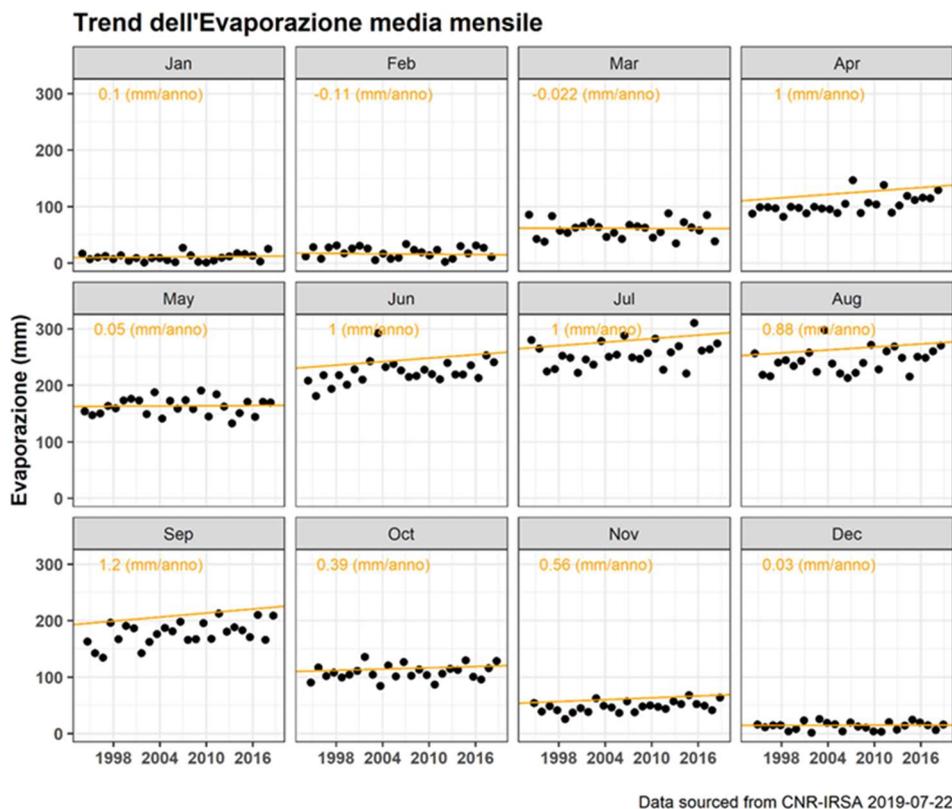


Fig.7 – Trend dell'evaporazione media mensile (1993-2018).

Bibliografia.

- Cattani, G., Bernetti, A., Caricchia, A. M., De Lauretis, R., De Marco, S., di Bucchianico, A. D. M., ... & Taurino, E. 2014. Analisi dei trend dei principali inquinanti atmosferici in Italia 2003-2012. ISPRA, Rapporti, 203.
- Helsel, D. R., & Hirsch, R. M. 1992. Statistical methods in water resources (Vol. 49). Elsevier.
- Hirsch, R. M., & Slack, J. R. 1984. A nonparametric trend test for seasonal data with serial dependence. *Water Resources Research*, 20(6), 727-732.
- Kendall MG. 1975. Rank correlation methods. Griffin, London
- Mann HB. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13:245–259