



Approfondimento caratteristiche metodo VESPA per la delimitazione delle aree di salvaguardia delle sorgenti

Nota

ARPAV**Dipartimento Regionale Qualità dell'Ambiente**

Rodolfo Bassan

Progetto e realizzazione**Unità Organizzativa Qualità Acque Interne****Dirigente**

Fabio Strazzabosco

Autore

Lucio D'Alberto

Ringraziamenti

Si ringrazia Cinzia Banzato, Ilenia Butera, Roberto Revelli, Bartolomeo Vigna del Politecnico di Torino per i chiarimenti e i costruttivi suggerimenti maturati durante la stesura della presente nota.

Foto in copertina: *Sorgente Mussaia, Taibon Agordino (BL)* (foto di *Lucio D'Alberto*)

Revisione 1: corretto esponente in formula coefficiente β e sue applicazioni

Novembre 2021 e Marzo 2022

INTRODUZIONE

L'area di salvaguardia di una sorgente d'acqua ha due caratteristiche principali: orientazione e estensione geografica verso monte del flusso idrico sotterraneo.

La determinazione dell'area di salvaguardia di una sorgente si attua quindi con due principali filoni d'indagine tra loro connessi. Il primo filone, orientazione geografica, è la determinazione del bacino di alimentazione che tiene conto delle caratteristiche geologiche dell'area e di dati di monitoraggio idrochimico e/o idrofisico. Il secondo filone, estensione geografica, è la determinazione della vulnerabilità dell'acquifero principalmente mediante l'analisi dei dati di monitoraggio con il supporto di informazioni geologiche.

La presente nota approfondisce solo la componente "estensione" e nello specifico la determinazione della vulnerabilità con il metodo VESPA Index (Vulnerability Estimator for Spring Protection Areas). Questo metodo è stato proposto nel 2011 da Galliani et alii e da Banzato et alii. Ma è con la più recente pubblicazione Banzato et alii 2017 che gli autori hanno evidenziato le caratteristiche principali del metodo stesso e la sua stabilità statistica.

Visto che questo metodo è uno di quelli proposti dalla direttiva regionale per la determinazione delle aree di salvaguardia delle sorgenti (DGR 1621/2019 Regione Veneto) nei prossimi paragrafi si propongono alcuni approfondimenti metodologici per renderne l'utilizzo più efficace e più operativo.

CARATTERISTICHE di CALCOLO del METODO VESPA

Il metodo VESPA propone una classificazione della vulnerabilità in classi discrete analizzando le variazioni dei principali elementi idrofisici monitorati (portata, temperatura, conducibilità). Il calcolo è applicato alle serie di dati, a continuità annuale, raccolti con frequenza oraria o bioraria.

L'equazione di calcolo, per ottenere il valore dell'indice VESPA, moltiplica 3 coefficienti adimensionali (β , γ , $c(\rho)$) che riguardano le variazioni delle tre variabili citate e descritte di seguito.

Il coefficiente *beta* (β) è l'intervallo di variazione della temperatura.

$$\beta = \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{1^{\circ}C} \right)^2$$

Essendo generalmente la temperatura poco variabile, per questo coefficiente non si utilizza l'ordinario rapporto con il valore medio in quanto diventerebbe un numero infinitesimo. La trasformazione ad un valore adimensionale è affidata al rapporto con l'unità di gradi centigradi.

Il coefficiente *gamma* (γ) è il rapporto della massima variazione di portata sulla portata media (Q_m).

$$\gamma = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{Q_m}$$

Questo è molto simile all'indice di variabilità di Meinzer (1923)¹ che invece è espresso in percentuale.

Infine, il coefficiente $c(\rho)$ che modula la correlazione tra portata e conducibilità elettrica. Questo indice richiede tre passaggi di calcolo.

Il primo passaggio è il calcolo di ρ tramite il coefficiente di correlazione che con alcune generalizzazioni, visto il grande numero di dati usati, può essere scritto come:

$$\rho = \frac{\sum(Q_i - Q_m) \cdot (\sigma_i - \sigma_m)}{\sqrt{\sum(Q_i - Q_m)^2} \cdot \sqrt{\sum(\sigma_i - \sigma_m)^2}}$$

dove Q e σ sono rispettivamente portata della sorgente e la conducibilità elettrica della sua acqua, mentre i pedici "i" ed "m" indicano il singolo dato orario e il dato medio del periodo in indagine. In sintesi il numeratore acquisisce una grande importanza in quanto moltiplicando direttamente le contemporanee variazioni di portata e conducibilità rispetto alla media esso può dare un segno negativo a ρ se le due fluttuazioni hanno in media segno opposto. In altre parole, se in generale contemporaneamente portata e conducibilità sono sopra la media o sotto la media ρ sarà positivo, mentre se solo uno dei due parametri è inferiore alla media si avrà un valore di ρ negativo.

Il secondo passaggio del calcolo è l'attribuzione di $u(\rho)$ ai valori 0 o 1 rispettivamente se ρ è minore o maggiore di 0 con la funzione a gradino di Heaviside².

Questo passaggio è fondamentale per evitare di proseguire con valori negativi che la scala logaritmica di classificazione VESPA non potrebbe accettare.

A questo punto si arriva al terzo passaggio che è il vero e proprio calcolo di $c(\rho)$:

$$c(\rho) = [u(-\rho) + \alpha \cdot u(\rho)]|\rho|$$

che concretamente nel caso $\rho < 0$ con $u(\rho) = 0$ e $u(-\rho) = 1$

$$c(\rho) = [1 + \alpha \cdot 0]|\rho| = 1 \cdot |\rho|$$

e nel caso $\rho \geq 0$ con $u(\rho) = 1$ e $u(-\rho) = 0$

$$c(\rho) = [0 + \alpha \cdot 1]|\rho| = \alpha \cdot |\rho|$$

Quindi nel caso ρ sia inferiore a 0, $c(\rho)$ corrisponde al valore assoluto di ρ , mentre nel caso ρ sia uguale o maggiore di 0 il coefficiente $c(\rho)$ è il valore assoluto di ρ moltiplicato per un coefficiente α anch'esso nell'intervallo 0÷1. il parametro α , che cautelativamente si assume pari a 0.5, serve per evidenziare la differenza tra le condizioni di

¹ Indice di variabilità $R = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{Q_m} * 100$

² Funzione a gradino di Heaviside o funzione a gradino unitaria che può avere i valori 0 e 1 secondo lo schema: $H(x) = 0$ per $x < 0$, $H(x) = 1$ per $x \geq 0$

moderata vulnerabilità espresse dal fenomeno di pistonaggio con valori di ρ positivi e le condizioni di elevata vulnerabilità testimoniate dal fenomeno di sostituzione che presenta valori di ρ negativi.

L'indice VESPA si ottiene quindi con l'equazione

$$V = c(\rho) \cdot \beta \cdot \gamma$$

che a seconda del valore di ρ può diventare

$$\rho < 0 \quad V = |\rho| \cdot \beta \cdot \gamma = |\rho| \cdot \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{1^\circ C} \right)^2 \cdot \frac{Q_{max} - Q_{min}}{Q_m} .$$

$$\rho \geq 0 \quad V = \alpha \cdot |\rho| \cdot \beta \cdot \gamma = 0,5 \cdot |\rho| \cdot \left(\frac{T_{max} - T_{min}}{1^\circ C} \right)^2 \cdot \frac{Q_{max} - Q_{min}}{Q_m} .$$

CARATTERISTICHE e PECULIARITA' del METODO VESPA

Nella valutazione della vulnerabilità vi sono alcune osservazioni quali-quantitative (es. il rinvenimento di detriti organici nel bottino di presa, la torbidità o le analisi batteriologiche) che sono utili per l'individuazione di problematiche di protezione, ma non tutte hanno una standardizzazione che ne permetta una comparazione e quindi la definizione di metodo.

Se si analizza il metodo del «tempo di dimezzamento» (Civita 2008) si intuisce che questo si basa su un solo parametro. Inoltre le problematiche di valutazione associate ad esso si hanno quando piogge primaverili si sommano alla fase di disgelo che ha una curva di svuotamento molto lenta, oppure quando vi sono precipitazioni intense ravvicinate che spezzano la curva discendente dal picco di massimo prima che si raggiunga la portata dimezzata.

Il metodo VESPA invece analizzando più parametri riesce a separare questi casi. Come si è visto il metodo VESPA unisce tra loro più parametri idrofisici e ne evidenzia le loro interazioni.

Vi è invece nel metodo VESPA ancora l'incertezza nel differenziare alcune situazioni di «pseudo-pistonaggio».

Infatti, nella circolazione idrica sotterranea si sono schematizzati tre tipi di circolazione:

- 1- sostituzione quando i nuovi apporti idrici di precipitazione arrivano velocemente e direttamente alla sorgente abbassandone temperatura e conducibilità contestualmente all'aumento di portata;
- 2- effetto pistone quando le nuove acque non mineralizzate aumentano il carico idraulico al sistema saturo che con l'aumento di portata spinge fuori acqua residente che ha temperatura e conducibilità più alte di quelle dei periodi di magra antecedenti;
- 3- omogeneizzazione quando il reticolo di drenaggio è in generale caratterizzato da permeabilità molto ridotte o flussi lenti e i nuovi apporti non si identificano distintamente in nessuno dei tre parametri monitorati.

In alcune condizioni di contesto geologico con diversi acquiferi ad alimentare una sola sorgente e con velocità diverse può succedere che i differenti apporti diano segnali contrastanti tipo «pseudo-pistonaggio». In questi casi, ad esempio, si può avere un aumento di conducibilità contestuale all'aumento di portata, ma una contemporanea diminuzione della temperatura. Una situazione simile si può avere con un acquifero fratturato (metamorfiti, rocce ignee) che in magra fornisce acqua a bassa conducibilità associato ad un acquifero carbonatico carsificato che in piena convoglia velocemente acqua più mineralizzata e di minor temperatura.

In queste situazioni il metodo VESPA non è ancora efficacemente discriminante.

Un miglioramento potrebbe aversi paragonando il «parallelismo» tra l'andamento della conducibilità e della temperatura.

Infatti, la generalizzazione schematica in tipologie e classi dei fenomeni naturali ad un certo punto richiede un po' di «*grano salis*» cioè un'interpretazione esperta della situazione e un approfondimento nell'elaborazione.

Disponendo di pluriennali serie di dati è possibile ricalcolare l'indice VESPA per sottoinsiemi annuali di dati in modo da verificare se i vari valori dell'indice ottenuti ricadono tutti nella stessa classe o se essi cambiano (esempio figura 8 in Banzato et alii 2017). Se vi è un cambiamento di classe, esclusi problemi strumentali, è probabile che la circolazione idrica sia più complessa e che richieda maggior attenzione (es. circolazione costituita da sistemi di drenaggio diversi in serie o in parallelo).

Nel caso in cui la sorgente vada in secca per qualche giorno, diventa fondamentale immettere valore di portata 0 nel calcolo del coefficiente γ mentre tutte le variabili devono venir escluse nel calcolo del $c(\rho)$ in quanto fenomeni di emersione della sonda o ristagno d'acqua portano alla registrazione di dati non veritieri di temperatura e conducibilità. In ogni caso nell'analisi su base annuale dell'indice Vespa il numero di dati mancanti non dovrebbe superare il 20-30% del totale annuo (es. Figura 10 di Banzato et alii 2017).

Vi è però da dire che l'utilizzo del metodo VESPA, seppur possa evidenziare le tre tipologie di deflusso sotterraneo anche per sorgenti di portata molto piccola, rischia per queste sorgenti di diventare poco perseguibile nell'individuazione delle aree di salvaguardia in base alle classi di vulnerabilità. A tal proposito la DGR 1621/2019 propone questo metodo solo per sorgenti con portata superiore ad 1 l/s. Infatti, data un'esigua estensione dell'area di alimentazione, le distanze che definiscono le aree di salvaguardia (es. tabelle 9 e 10 della DGR 1621/2019 allegato A2) rischiano di essere maggiori di quelle del bacino stesso³. In questi casi l'investimento per usare il metodo VESPA è più favorevole a capire il regime della sorgente (curva di svuotamento, ritardo di risposta alle precipitazioni, range di temperatura e conducibilità) che a determinare l'area di salvaguardia in quanto per questa sono necessari altri studi, più geologici, per poter orientare correttamente la superficie da salvaguardare a monte dell'opera di presa.

³ Presupponendo che la DGR intenda "portata" come la portata media annua e simulando che essa sia di 0,1 l/s, in un'area con precipitazione efficace infiltrata di 300 mm/anno si avrebbe un bacino rettangolare di area 30m per 350 m, dimensioni inferiori ai 30x400m richiesti per una sorgente in classe di vulnerabilità media.

BIBLIOGRAFIA

- Banzato C., Butera I., Revelli R., Vigna B. (2017) Reliability of the VESPA index in identifying spring vulnerability level. *J Hydrol Eng* 22(6): 1–11.
- Banzato C., Vigna B., Galleani L., Lo Russo S. (2011): Application of the Vulnerability Estimator for Spring Protection Areas (VESPA index) in mountain quaternary aquifers. Intervento presentato al convegno GeoHydro2011 - CANQUA-IAH tenutosi a Quebec City (CA) nel 28-31 August 2011.
- Civita M.V. (2008): An improved method for delineating source protection zones for karst springs based on analysis of recession curve data. *Hydrogeology Journal*, 16, 855-869.
- Galleani L, Vigna B, Banzato C, Lo Russo S (2011) Validation of a vulnerability estimator for spring protection areas: the VESPA index. *J Hydrol* 396:233–245.
- Meinzer O. E. (1923): *Outline of Ground-Water Hydrology*. Geological Survey Water – Supply Paper 494, 93 pp. Washington. Reprint 1965 O-765-456.
- Regione Veneto (2019): Deliberazione della giunta regionale n. 1621 del 05 novembre 2019. Piano di Tutela delle Acque, art. 15 c.1. Approvazione delle Direttive tecniche per la delimitazione delle aree di salvaguardia delle risorse idriche, in aree territoriali omogenee, per punti di attingimento di acque sotterranee destinate al consumo umano tramite acquedotto. BUR n. 139 del 03/12/2019.

Unità Organizzativa Qualità Acque Interne

Via Rezzonico , 41

35131 Padova, (PD)

Italy

Tel. +39 049 7393 783

E-mail: orac@arpa.veneto.it



ARPAV

Agenzia Regionale
per la Prevenzione e
Protezione Ambientale
del Veneto

Direzione Generale
Via Ospedale Civile, 24
35121 Padova

Italy

tel. +39 049 82 39 301

fax. +39 049 66 09 66

e-mail: urp@arpa.veneto.it

e-mail certificata: protocollo@pec.arpav.it

www.arpa.veneto.it