

Note tecniche

ATTUALITA' DELLE RICERCHE D'ACQUA SOTTERRANEA

Le necessità irrigue di alcune zone agricole d'Italia, e quelle per uso industriale e potabile, venute alla luce in questi ultimi anni di pari passo con gli sforzi volti ad aumentare la produttività in generale del nostro Paese, hanno richiamato l'attenzione degli idraulici sui metodi intesi a stabilire « quanta acqua possa con sicurezza, in modo continuo o discontinuo, estrarsi dal sottosuolo di una data regione », e cioè hanno riproposto il tema se sia possibile accertare le caratteristiche di emungimento di un dato strato acquifero senza correre pericoli derivanti da determinazioni in eccesso e senza ingiustificate limitazioni dovute a valutazioni in difetto. In altri termini, oggi più che mai è d'attualità la ricerca del quantitativo *perenne* che può essere fornito da un dato strato permeabile, problema strettamente collegato a quello di prevedere, entro determinati limiti, quale sarà il comportamento di quel dato strato permeabile in seguito all'emungimento, continuo o discontinuo, di una data portata d'acqua sotterranea: è infatti evidente che tale previsione è l'elemento fondamentale, ad es., per il progetto irriguo di una determinata zona che si voglia irrigare con le acque del sottosuolo.

A tali quesiti oggi è possibile rispondere in modo meno vago e meno costoso che nel passato, grazie a progressi fatti dagli studi sulle acque sotterranee nell'ultimo trentennio e, in particolare, grazie alle ricerche effettuate negli Stati Uniti d'America.

Tra i metodi classici adoperati a tale scopo, quello del THIEM (1906) può considerarsi il più aderente all'effettivo svolgersi del fenomeno di filtrazione: i precedenti metodi (l'applicazione della formula del DUPUIT, la misura della velocità di filtrazione con metodi chimici o elettrici) risultano o d'incerta applicazione o di limitato campo d'impiego, di talché non vengono comunemente adoperati. Se però è vero che il metodo del THIEM è sufficientemente preciso, è altrettanto vero ch'esso risulta piuttosto costoso: richiede numerosi pozzi spia per individuare l'andamento del cono di depressione, e inoltre esige che l'emungimento venga prolungato sino a che siano con sicurezza raggiunte condizioni di moto permanente sin presso il più lontano pozzo spia. E' infatti ormai accertato [1] che, allorché nel pozzo in emungimento si stabilisce la permanenza del moto (in

senso idraulico), questa può non essersi stabilita nelle vicinanze, ove invece tale condizione può raggiungersi dopo un tempo più o meno lungo in dipendenza della natura dello strato permeabile e delle condizioni di alimentazione. Dato che tale fenomeno si verifica in specie per le falde artesiane, recentemente ha avuto buona diffusione il metodo cosiddetto « *del non equilibrio* » derivato dalle seguenti osservazioni ed elaborazioni.

Nel 1924 due studiosi americani, MEINZER e HARD, studiarono le acque sotterranee del Nord Dakota [2], cioè del più esteso bacino artesiano degli Stati Uniti, e giunsero alla conclusione che gli strati artesiani posseggono notevoli quantitativi di elasticità di volume: possono cioè ritenersi compressibili. Il fenomeno può brevemente spiegarsi osservando che uno strato permeabile artesiano trovasi, allorché indisturbato, in condizioni di equilibrio formatosi nel corso dei secoli e relativo sia alla natura dello strato stesso sia al peso delle rocce sovrastanti, peso che può assumere un ruolo importantissimo quando, come avviene per bacini di grande estensione ove la falda artesianica trovasi a discreta profondità, esso sia rilevante. Il peso infatti viene equilibrato in parte dalla pressione alla quale trovasi l'acqua nello strato e in parte dagli sforzi che i granelli del materiale permeabile si trasmettono reciprocamente: lo scheletro solido del materiale, per effetto di tali sforzi, risulta costipato e il costipamento è tanto maggiore quanto minori sono le dimensioni dei granuli costituenti lo strato.

Ne consegue che, allorché in uno strato artesianico, composto di granuli incoerenti e piccoli, la pressione idrostatica decresce per un motivo qualsiasi (ad es., per l'abbassamento del livello piezometrico dovuto a pompaggio da pozzi), l'acqua che prima concorreva ad equilibrare il peso della roccia sovrastante, ora non lo equilibra più nella stessa misura: ciò provoca una compressione dello scheletro solido costituente lo strato permeabile, compressione che, a sua volta, provoca la fuoriuscita dallo strato stesso di altra acqua prima immagazzinata nei pori compresi tra i granelli. Ne consegue altresì che, allorché cessa il pompaggio dal pozzo e si ricostituisce la pressione idrostatica prima esistente nello strato in quel punto, il mezzo poroso, che nel corso del pompaggio si era compresso, ora si espande.

E' proprio con questa serie di compressioni e di espansioni, provocate dalle intermittenze del pompag-

gio, che si giustifica la soprariscontrata elasticità di volume (1).

Uno dei suddetti autori chiari in seguito con maggiori particolari il fenomeno [3], del quale una evidente constatazione si ebbe [4] in un pozzo distante m 16 da un binario ferroviario: il peso del treno in transito comprimeva lo strato e provocava un aumento del livello d'acqua in pozzo, aumento che era in rapporto con la velocità e col peso del treno. Dall'elaborazione dei lavori relativi a tale fenomeno risultò che allorché un pozzo artesiano viene sottoposto a emungimento, nella fase di avviamento l'acqua ch'esso fornisce viene data, oltre che dalla vera e propria filtrazione, dall'immagazzinamento prima avvenuto negli spazi porosi, i quali, in occasione dello emungimento, vengono a comprimersi.

Risultò anche che gli effetti quantitativi delle variazioni di pressione, prodotte dalle perforazioni di pozzi e dagli emungimenti, pur nella loro modesta entità sono spesso grandi abbastanza per influire radicalmente sulle conclusioni circa il rifornimento, il moto e l'emungimento dell'acqua nelle falde artesiane.

E' stato necessario perciò introdurre una unità di misura per il computo dell'acqua proveniente dall'immagazzinamento: a tale unità è stato dato il nome di « *coefficiente d'immagazzinamento* (S) », indicando con tale unità il volume d'acqua che si ottiene dallo strato artesiano allorché la pressione, in un punto di esso, diminuisce di una unità. Poiché l'immagazzinamento decresce col tempo (in una falda in emungimento) il processo di filtrazione viene ad essere anch'esso funzione del tempo, elemento che, in precedenza, non veniva considerato nella trattazione dei moti di filtrazione.

Nel 1935 l'americano THEIS, applicando per analogia al moto delle acque filtranti un metodo, elaborato da un suo connazionale, per effettuare calcoli quantitativi sul moto vario del calore nei corpi solidi [5], giunse alla seguente espressione [6] dell'abbassamento di livello, *s*, in un pozzo in cui si voglia determinare le caratteristiche di emungimento, in funzione della permeabilità e dell'immagazzinamento:

$$s = K \frac{Q}{T} W(u) \quad (1)$$

ove:

K è un coefficiente che tiene conto delle unità di misura adoperate;

Q è la portata costante di emungimento;

T denominato « *coefficiente di trasmissibilità* », rappresenta il prodotto della permeabilità per lo spessore dello strato acquifero;

W(u) rappresenta l'integrale esponenziale:

$$W(u) = \int_u^\infty \frac{e^{-u}}{u} du$$

in cui *e* è la base dei logaritmi naturali, ed *u* è dato da:

$$u = K' \frac{r^2 S}{T t}$$

ove:

r è la distanza del pozzo in emungimento dal pozzo di osservazione;

t è il tempo dall'inizio del pompaggio;

K' è un coefficiente di proporzionalità che tiene conto del sistema di unità di misura adottato.

Le unità di misura adoperate dagli operatori statunitensi sono:

per le unità di lunghezza: i piedi;

per le portate: i galloni al minuto primo;

per la trasmissibilità: i galloni che attraversano in un giorno una striscia di strato acquifero larga un piede e alta quanto lo spessore dello strato, sotto il gradiente unitario.

L'immagazzinamento invece risulta una frazione decimale.

La (1) è stata ottenuta in base ai seguenti presupposti:

a) omogeneità ed isotropia della formazione permeabile;

b) pozzo al centro di una falda di spessore costante e di grandi dimensioni;

c) pozzo penetrante nell'intero spessore dello strato;

d) costanza della permeabilità in tutti i punti dello strato e nel tempo;

e) diametro piccolissimo del pozzo da cui si emunge;

f) l'acqua proveniente dall'immagazzinamento per riduzione del livello artesiano fuoriesce istantaneamente.

Tuttavia è stato riscontrato che essa può essere adoperata anche in casi ove le suddette condizioni non siano completamente verificate. Esse, introducendo nei calcoli il fattore *T*, sostituiscono alla indicazione della permeabilità quella di un fattore globale che rappresenta la permeabilità di una intera striscia verticale di larghezza unitaria, e poiché possono essere adoperate allorché il moto trovasi ancora nella

(1) Nella Meccanica delle terre il fenomeno trova più agevole esplicazione grazie alla distinzione delle pressioni in totali, effettive, neutre.

fase di moto vario, il metodo assume la denominazione, già menzionata, « Del non equilibrio ».

Ma le formule del THEIS non rappresentano solo un adattamento della teoria della conduzione del calore ai moti idraulici di filtrazione: esse risultano altresì dalla rigorosa teoria idrodinamica in mezzi artesiani elastici, come è stato dimostrato da C. E. JACOB [7], il quale in un successivo lavoro di rielaborazione di prove fatte presso Meadville trovò che, ad es., in quel caso la compressibilità dello strato risultava cinque volte maggiore di quella dell'acqua, e che in seguito introdusse per il rapporto T/S la denominazione di « Diffusività », per analogia con la diffusività termica di lord KELVIN.

Le equazioni sopra riportate possono risolvere due problemi:

1) dalla conoscenza dei valori di T e di S possono desumersi gli abbassamenti di livello che si verificheranno in un pozzo, cavato in un qualsiasi punto della formazione acquifera, dopo un certo periodo di pompaggio ininterrotto;

2) conoscendo la curva $s(t)$ per una data prova di pompaggio, si può risalire alla conoscenza di T e di S .

Il secondo problema però risulterebbe di laboriosa soluzione se il THEIS prima, e lo JACOB dopo, non avessero escogitato semplici metodi grafici per la sua soluzione.

Pur essendovi oggi buon numero di pubblicazioni ove tali metodi sono esposti, riteniamo che, per quello del THEIS, la più esauriente e convincente esposizione trovisi in una pubblicazione del *Geological Survey* (U.S.A.) del 1942 [8]: in essa detto metodo è applicato per l'elaborazione di un esteso ciclo di prove di pompaggio e i risultati sono confrontati con quelli ottenuti dall'applicazione di altri metodi. In tale pubblicazione vengono anche riportati sia il grafico della funzione $W(u)$ per valori di u da 1 a 0,000025, sia una tabella contenente i valori di $W(u)$ per u variabile da 9,9 a 10^{-15} .

Il metodo grafico del JACOB è stato invece esposto dall'autore in una pubblicazione del 1946 [9]; è stato recentemente anche messo in luce [10] in quali casi sia opportuno adoperare il primo e in quali il secondo.

Un'applicazione recente di tale metodo è stata fatta in Campania, per la determinazione del quantitativo d'acqua emungibile nel distretto di Licola per conto del *Consorzio Generale di Bonifica del Basso Volturno* (2). Il distretto, costituito da una striscia di terreno quaternario piroclastico corrente in direzione nord-sud e bagnato a ovest dal mare, presentava in superficie una non piccola coltre di pozzolana, sotto cui in generale si trovava ghiaia acquifera mista a sabbia. Per determinare il quantitativo di acqua emungibile furono provati quattro pozzi a distanza quasi uguale fra loro sulla direzione normale

a quella di provenienza dell'acqua sotterranea. Le indagini geotecniche facevano prevedere una permeabilità variabile da punto a punto della formazione e un coefficiente d'immagazzinamento piuttosto basso, data l'esiguità del peso dello strato asciutto sovrastante quello acquifero. Le prove confermarono in pieno tali previsioni, in quanto si ottennero trasmissibilità variabili da 500 a 12.000 $l/1' m$, mentre $l'S$ risultò variabile da $1,8 \cdot 10^{-11}$ a $1,2 \cdot 10^{-14}$. Solo per un pozzo, sito piuttosto a monte della zona, S risultò circa 0,0001, dimostrando un lieve effetto d'immagazzinamento, peraltro trascurabile (3).

Tenendo poi conto delle diverse trasmissibilità esistenti lungo la direttrice prescelta, si ottenne il quantitativo d'acqua defluente nello strato in condizioni di falda indisturbata, elemento di primaria importanza ai fini della determinazione del quantitativo massimo emungibile. Infine si calcolò il livello che si sarebbe riscontrato nei singoli pozzi in emungimento dopo 90 giorni di pompaggio ininterrotto: si ottennero maggiori valori degli abbassamenti (rispetto a quelli desunti dalle prove) variabili da m 0,35 a m 0,44, mentre a distanza di 2 Km da detti pozzi la falda avrebbe abbassato il suo livello di quantità variabili da m 0,25 a m 2,45.

Dette conclusioni sarebbero state difficilmente raggiungibili ove si fosse applicato il metodo del THEIS: sarebbero state in tal caso necessarie maggiori spese di ricerca, mentre la previsione del futuro comportamento della falda non sarebbe stata altrettanto soddisfacente.

Beninteso, i dati ottenuti si riferiscono a pozzi distanziati tra loro sufficientemente perché sia evitata la più piccola interferenza: ove questa si verifici e dalle condizioni di emungimento sopraconsiderate si passi a quelle provocate da una fila di pozzi, piuttosto ravvicinati tra loro, tali da far considerare il moto dell'acqua come piano (come si verificherebbe, cioè, per una galleria filtrante), allora cessano di aver vigore le formule sovrariportate, e il procedimento di calcolo andrebbe riesaminato.

Consegue da quanto sopra che:

a) se le particelle costituenti lo strato acquifero sono sufficientemente piccole, varierà il loro stato di aggregazione in conseguenza delle variazioni della pressione dell'acqua. Poiché queste sono a loro volta provocate dagli emungimenti, col variare dell'entità di questi varierà la pressione cui è sottoposto lo strato e quindi la permeabilità di questo. Si ottiene così che ad ogni portata di emungimento corrisponde un valore della permeabilità;

b) in effetti, l'acqua proveniente dall'immagazzinamento per riduzione del livello artesianesimo non fuoriesce istantaneamente, bensì fuoriesce in un tempo che può essere anche abbastanza lungo, come è emer-

(2) Lo studio fu eseguito dal Prof. Ing. Michele VIPARELLI, Ordinario d'Idraulica nell'Università di Napoli, con la collaborazione dello scrivente.

(3) Notisi che la sola compressibilità dell'acqua provoca l'aumento del 5 per centomila allorché la pressione diminuisce di 10 metri. Ne consegue che per ammassi permeabili di grande estensione e spessore, sottoposti a notevole pressione, può risultare non trascurabile il quantitativo d'acqua ottenibile per effetto della sola comprimibilità di questa.

so da apposite sperimentazioni. E' infatti da tener presente che la variazione dello strato di aggregazione delle particelle può verificarsi non solo nello strato interessato dalla falda, ma anche negli strati adiacenti, che pur risentono delle variazioni di pressione dovute agli emungimenti. Ciò può ripercuotersi sfavorevolmente ai fini della determinazione del quantitativo perenne attingibile, nel senso di far concludere per un quantitativo maggiore del vero. Spetta al ricercatore (sempre, beninteso, nel caso di bacini artesiani di grande entità) mettere in luce il solo apporto dovuto alla trasmissibilità.

Nel mentre in Italia non risulta che i metodi descritti siano all'attenzione degli studiosi, essi continuano ad essere fonte di ricerca e di applicazione negli Stati Uniti: è recente la realizzazione di un apposito abaco [11] per ottenere T ed S rapidamente, sul posto stesso delle prove, senza effettuare calcoli numerici; altro abaco era stato già realizzato [12] per ricavare, in base alla conoscenza di T e S , gli abbassamenti previsti in pozzi, o in punti dello strato acquifero, in seguito al pompaggio in altri pozzi.

Se però l'applicazione delle formule è resa molto facile, resterà sempre laborioso il lavoro materiale di misura in campagna, a sua volta preceduto dall'appropriata scelta dei luoghi, dall'accurata esecuzione delle indagini preliminari geologiche e geofisiche, dall'oculata ubicazione dei pozzi d'osservazione, dalla precisa conoscenza geotecnica dello strato nel quale si opera. Non è azzardato affermare che, tra gli altri, uno dei più gravi problemi che si presenta al ricercatore è la possibilità di rinvenire il personale atto alla esecuzione delle operazioni materiali in campagna.

E' auspicabile che detti metodi vengano largamente impiegati anche in Italia, in considerazione dell'attualità del problema da essi risolto.

Napoli, settembre 1957.

Ing. Franco Mercogliano

Bibliografia

- [1] WENZEL, L. K.: *Recent investigations of Thiem's method for determining permeability of water bearing materials* - American Geophysical Union Transaction (A.G.U.T.), giugno 1932.
- [2] MEINZER, O. E., e HARD, H. A.: *Artesian water supply of Dakota sandstone* - U.S.G.S., W.S.P. 520, 1925.
- [3] MEINZER, O. E.: *Compressibility and elasticity of artesian aquifer* - Economic Geology, maggio 1928.
- [4] JACOB, C. E.: *Fluctuations in artesian pressure produced by passing railroad trains as shown in a well on Long Island*. N. Y. - A.G.U.T., agosto 1939.
- [5] SMITH, L. P.: *Heat flow in an infinite solid bounded internally by a cylinder* - Journ. Appl. Phys., v. 8, 1937.
- [6] THEIS, C. V.: *The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground water storage*. A.G.U.T., 1935.
- [7] JACOB, C. E.: *On the flow of water in an elastic artesian aquifer*. A.G.U.T., 1940. Lo stesso autore ha compilato secondo i criteri suesposti il capitolo delle acque sotterranee nel noto manuale del ROUSE (1950).
- [8] WENZEL L. K.: *Methods for determining permeability of water bearing materials*. Geol. Survey, W.S.P. n. 887.
- [9] JACOB C. E.: *Drawdown test to determine effective radius of artesian well*. Trans. A.S.C.E. maggio 1946.
- [10] CHOW V. T.: *On the determination of transmissibility and storage coefficients from pumping test data*. A.G.U.T., giugno 1952.
- [11] REMSON J, e VAN HYLCKAMA T. E. A.: *Nomographs for the rapid analysis of aquifer tests* - Journ. A.W. W.A., maggio 1956.
- [12] CHOW, V. T.: *Drawdown in artesian well computed by nomograph*. Civil Eng., ottobre 1951.

IV CONVEGNO DI GEOTECNICA

PADOVA, 1959

Nel maggio 1959 verrà tenuto a Padova il IV Convegno di Geotecnica. I temi che verranno trattati nel Convegno sono:

FR AN E
CAN AL I

Il termine ultimo per la presentazione delle comunicazioni è stato fissato al 15 GENNAIO 1958.

Ulteriori particolari sullo svolgimento del Convegno e sui temi sono contenuti a pag. 52 del precedente fascicolo.