

L'APPENNINO MERIDIONALE

Annuario del Club Alpino Italiano
Sezione di Napoli



Napoli Castel dell'Ovo
1988

Responsabile: Alfonso Piciocchi

Appendice del Notiziario sezionale

Autorizzazione Tribunale di Napoli n. 576 del 18-5-1954

Proprietà letteraria riservata

ISSN 0394-6002

COMITATO SCIENTIFICO:

Ludovico Brancaccio, Pietro Celico, Italo Sgrosso, Maria Zei Moncharmont

COMITATO DI REDAZIONE:

Direttore: Alfonso Piciocchi

Francesca Bellucci, Angelo De Cindio, Nicoletta Santangelo, Antonio Santo

TRADUTTORI:

Lucia Cinque, Patrizia Malato

CELICO P.

INTERPRETAZIONE DI ALCUNE PROVE DI EMUNGIMENTO IN ACQUIFERI CARBONATICI

INTERPRETATION OF PUMPING-TESTS IN CARBONATIC AQUIFERS

RIASSUNTO

Nel corso del lavoro vengono interpretati i risultati apparentemente anomali di alcune prove di emungimento.

Le cause delle anomalie sono state ricercate e trovate nell'assetto strutturale del territorio, nelle caratteristiche litostratigrafiche dell'acquifero e nella particolare idrodinamica sotterranea locale.

ABSTRACT

The present paper reports the apparently anomalous results of some pumping tests carried out on carbonatic reliefs of Southern Italy.

The causes of the observed anomalies were searched for and discovered in the structural setting of the area in the lithostratigraphic characteristics of aquifer and in the particular underground hydrodynamics of the study area.

1. Premessa

Com'è noto, per l'impostazione delle prove di emungimento da pozzi e per l'interpretazione dei dati relativi, possono essere utilizzate metodologie e formule diverse che si ispirano a due teorie differenti dovute a Dupuit (deflusso in regime di equilibrio) ed a Theis (deflusso in regime di non equilibrio).

Anche se le suddette teorie si riferiscono ad acquiferi ed a situazioni idrodinamiche ideali, i risultati che si ottengono nelle applicazioni pratiche rientrano quasi sempre nei limiti propri di approssimazione dei calcoli idrogeologici e dei dati di base disponibili.

Non sempre, però, l'interpretazione delle prove di emungimento è priva di ostacoli e non sempre può essere effettuata senza una conoscenza sufficientemente approfondita della stratigrafia, della struttura e dell'idrodinamica sotterranea esistenti nell'area interessata dal pozzo. E ciò è particolarmente valido nei massicci carbonatici dove sono spesso presenti, tra l'altro, fenomeni carsici che rendono l'acquifero molto eterogeneo ed anisotropo.

Nel corso del presente lavoro, senza entrare nel merito dei calcoli idrologici (sui quali esiste un'ampia bibliografia specialistica), vengono riportati alcuni esempi di prove di emungimento per la cui interpretazione è risultata indispensabile una buona conoscenza della situazione idrogeologica locale.

2. Risultati e interpretazione delle prove di emungimento

Uno dei grafici di maggiore interesse, tra quelli che si ricavano dai dati delle prove di emungimento, è quello che si ottiene ponendo su un diagramma cartesiano

le coppie di valori portate-depressioni piezometriche (curva caratteristica del pozzo).

Se il pozzo è completo (cioè, se raggiunge in profondità il substrato impermeabile) ed è ubicato in un acquifero sufficientemente omogeneo ed isotropo e se, inoltre, la falda può essere considerata illimitata e di spessore costante, la suddetta curva caratteristica assume configurazioni ben definite. Nelle falde libere viene infatti rappresentata da una parabola di secondo grado mentre, in quelle confinate (non caratterizzate da moto turbolento), è costituita da una retta. Se esiste il suddetto regime turbolento, diventa una parabola anche nella falda confinata.

A titolo di esempio, prendiamo in considerazione una prova di emungimento (i cui dati sono sintetizzati in fig. 1/a) eseguita in un pozzo attestato nella falda del substrato carbonantico della piana di Fondi, nel Lazio.

Trattandosi di una falda confinata, dall'andamento della curva caratteristica (fig. 1/b) si evince l'esistenza di perdite di carico quadratiche (legate al moto turbolento).

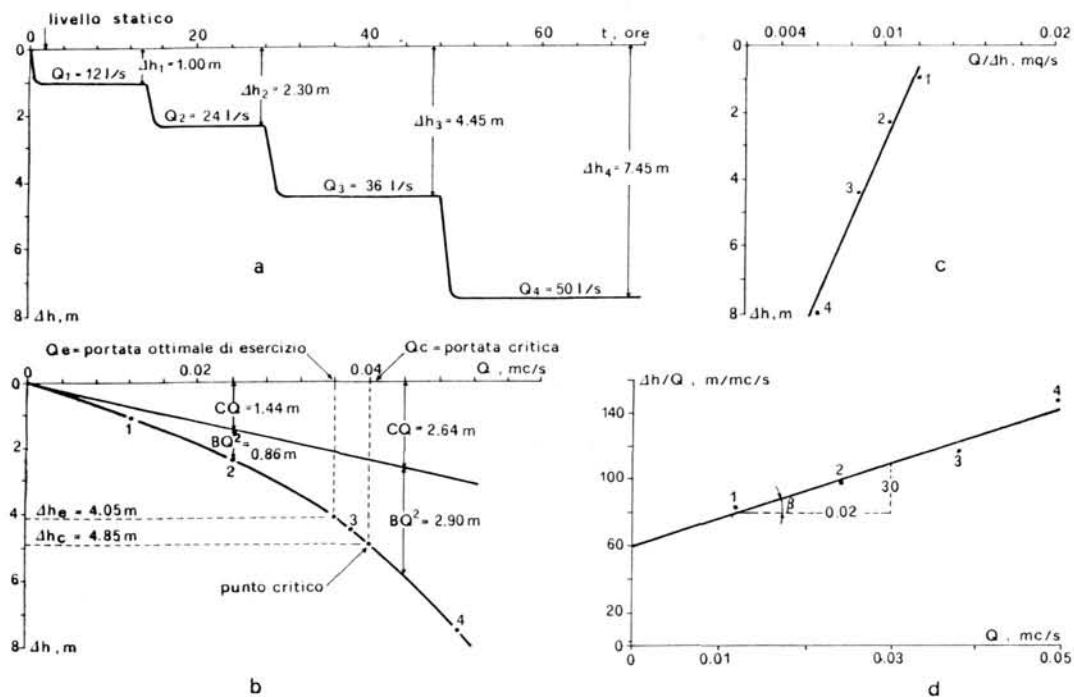


Figura 1.

Quest'ultimo fenomeno è pure evidenziato dal diagramma portate specifiche/depressioni (fig. 1/c); infatti, in assenza di perdite di carico elevate, la retta che interpola i punti avrebbe dovuto essere parallela all'asse delle depressioni.

Quanto sopra viene ulteriormente confermato dal diagramma depressioni specifiche/portate (fig. 1/d); infatti, per essere indicativa di un deflusso laminare (con perdite di carico quadratiche nulle), la retta avrebbe dovuto essere parallela all'asse delle ascisse.

La fenomenologia precedentemente descritta è normale negli acquiferi carbonatici. Le perdite di carico quadratiche possono essere legate sia al condizionamento del pozzo che alle caratteristiche proprie della roccia-serbatoio.

Discutiamo, ora, i risultati di un'altra prova di emungimento eseguita in un pozzo perforato nello stesso substrato carbonatico della piana di Fondi (fig. 2/a).

In questo caso particolare si può osservare che il primo tratto del grafico $Q/\Delta h$ è rappresentato da una retta, mentre nel secondo tratto compaiono le perdite di carico quadratiche (fig. 2/b).

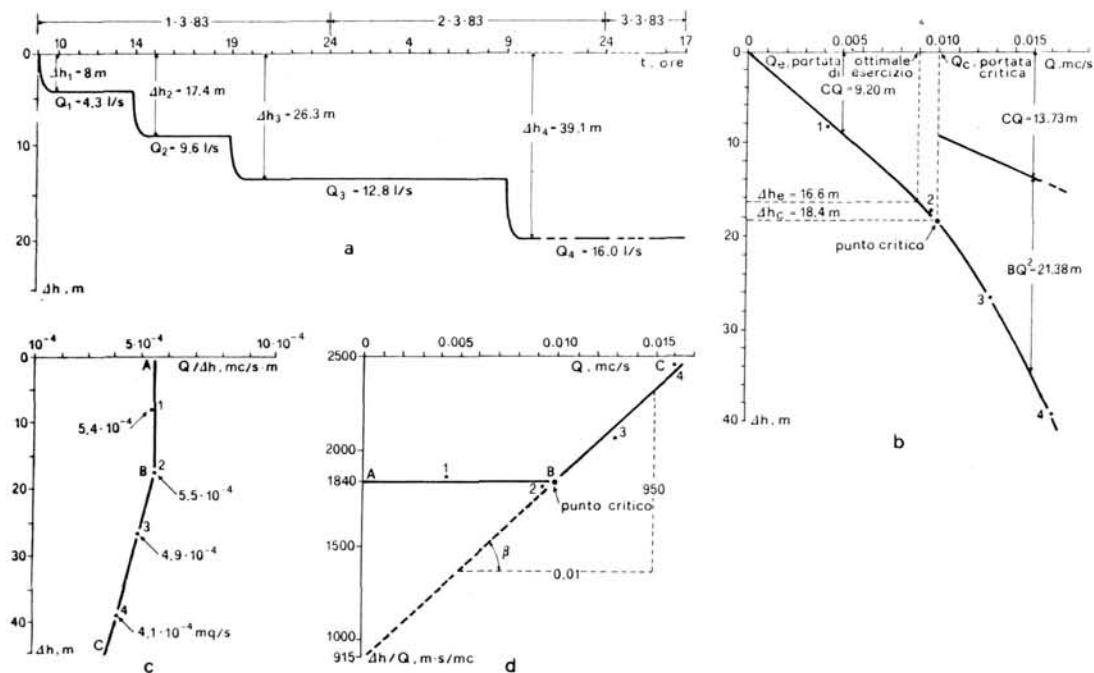


Figura 2.

Contrariamente all'esempio precedente ed in armonia col particolare andamento della curva caratteristica (fig. 2/b), sul diagramma portate specifiche/depressioni piezometriche (fig. 2/c) si ottiene una spezzata. Il tratto parallelo all'asse delle ordinate è tipico del deflusso in regime laminare e corrisponde al tronco rettilineo del diagramma $Q/\Delta h$; il secondo tratto, con andamento identico a quello di figura 1/c, è tipico della presenza di moto turbolento e corrisponde al tronco parabolico della curva $Q/\Delta h$.

Il fenomeno si può spiegare ammettendo che, contrariamente a quanto osservato nell'esempio precedente, l'acquifero carbonatico interessato dall'emungimento non possa considerarsi omogeneo ed isotropo neanche a grande scala. Pertanto, con portate inferiori a quella critica, si emungono preferenzialmente le acque che circolano nelle fratture beanti (cioè, le acque facilmente mobilizzabili senza eccessive perdite di carico); con portate superiori vengono mobilizzati maggiori quantitativi d'acqua circolanti in microfratture (dove gli attriti sono maggiori) e, probabilmente, compaiono i moti turbolenti anche in quelle beanti.

Nel caso specifico, il fenomeno è confermato dalle evidenze idrogeologiche locali. Basti considerare che il pozzo ha una portata specifica molto bassa ($5,4 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$), nonostante si trovi a qualche decina di metri di distanza dalla sorgente Valmaiuri (Fondi) le cui acque (in media, circa 100 l/s) scaturiscono da un condotto paleocarsico attualmente sottoposto alla piezometrica della falda di base dell'acquifero carbonatico. È quindi evidente l'esistenza di fratture beanti, così come è chiaro che localmente abbondano le microfratture e che proprio queste determinano la scarsa resa del pozzo.

Un'ulteriore conferma della validità dell'interpretazione si ha dal diagramma depressioni specifiche/portate (fig. 2/d). In esso si può distinguere un primo segmento AB (parallelo all'asse delle ascisse) che, in armonia con quanto osservato in precedenza, indica l'assenza di perdite di carico quadratiche; è inoltre visibile un secondo segmento BC, che è analogo ed ha lo stesso significato di quello riportato in figura 1/d.

Un altro caso di comportamento piuttosto particolare di falda confinata circolante in un acquifero carbonatico eterogeneo ed anisotropo è quello riportato in figura 3, riferito ad un pozzo perforato nel substrato carbonatico della piana di Cassino (Lazio).

La prima prova di emungimento, eseguita con il fondo foro a - 200 m dal piano di campagna (quando il pozzo impegnava 73 m di calcare con marne a permeabilità media e 52 m di calcare a permeabilità elevata) ha dato delle curve (figg. 3/c, d, e) tipiche delle falde confinate con alte perdite di carico.

Con la seconda prova (quando l'approfondimento della perforazione ha portato a 100 m lo spessore di calcare ad alta permeabilità impegnato dal pozzo) si sono avute delle curve anomale che possono essere scisse in due tronchi aventi andamento completamente diverso tra loro.

Sul diagramma portate specifiche/depressioni (fig. 3/d) si osserva un grafico piuttosto particolare, in parte ricostruito con l'ausilio di punti le cui coordinate (Q e Δh) sono state misurate sulla curva caratteristica (II prova, in fig. 3/c).

Il suo andamento si può spiegare ammettendo che la portata Q sia dovuta al mescolamento tra acque che circolano con facilità nelle fratture beanti dei calcari inferiori ed altre che subiscono maggiori attriti nelle microfratture di tutto l'acquifero carbonatico. Infatti, al di sopra dei 100 l/s circa si ha una retta molto simile a quella della prima prova, quando il pozzo non aveva probabilmente impegnato delle macrofratture ed era relativamente elevato l'apporto idrico dovuto all'acquifero superiore. Al di sotto dei 50 l/s circa si dovrebbe avere un segmento verticale, perché sulla curva caratteristica (fig. 3/c, II prova) è chiara l'esistenza di proporzionalità tra Q e Δh (quindi, le acque circolano preferenzialmente nelle macrofratture, con perdite di carico limitate). Tra i 50 ed i 100 l/s circa, ci si trova nella zona di passaggio tra i due regimi; infatti, la portata specifica tende a diminuire man mano che diventa progressivamente trascurabile l'apporto idrico legato alle macrofratture rispetto alla portata totale.

Tale apporto, che potrebbe essere dovuto anche ad un solo canale carsico, si può valutare in poco meno di 50 l/s. Basti osservare che le curve caratteristiche riferite alle due prove mantengono pressoché costante questa differenza.

Tutta la fenomenologia (che peraltro è stata osservata in altri pozzi della stessa zona) viene confermata dal diagramma depressioni specifiche / portate (fig. 3/e), dove

la retta rappresentativa della curva caratteristica della prima prova ha quasi lo stesso coefficiente angolare del secondo tratto di curva relativo alla seconda prova.

C'è da osservare che entrambe le prove sono state eseguite con il foro scoperto e, quindi, non vi sono disturbi dovuti a condizionamenti di alcun tipo.

Un altro caso particolare, anch'esso osservato in più pozzi della piana di Cassino (sempre con prove eseguite a foro scoperto), è quello riportato in fig. 4 dove la portata specifica risulta più bassa con il primo gradino di portata che con il secondo (fig. 4/b).

Per spiegare il fenomeno è necessario ricostruire le particolari condizioni idrodinamiche esistenti in loco.

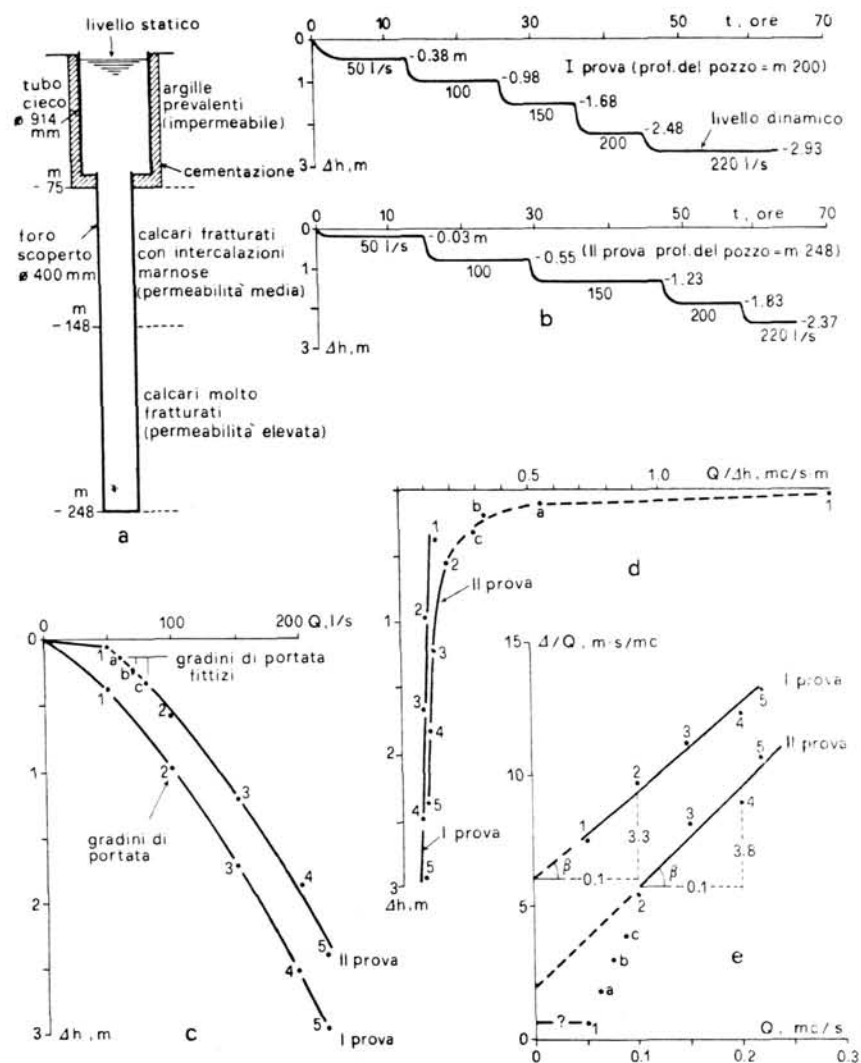


Figura 3.

La falda del substrato carbonatico circola preferenzialmente nel calcare fratturato e con maggiore difficoltà in quello sovrastante, caratterizzato da un minore grado di permeabilità relativa per la presenza di intercalazioni marnose (fig. 4/e).

La faglia riportata in fig. 4/f rappresenta un ostacolo per le acque che devono attraversarla sub-perpendicolarmente; infatti, in condizioni di deflusso naturale, essa costituisce un dreno preferenziale (fig. 4/f) da cui trae alimentazione una sorgente della portata media di alcune centinaia di litri al secondo (posta a circa 100 m di distanza dal pozzo n. 22 in emungimento); inoltre, non è da escludere la presenza di

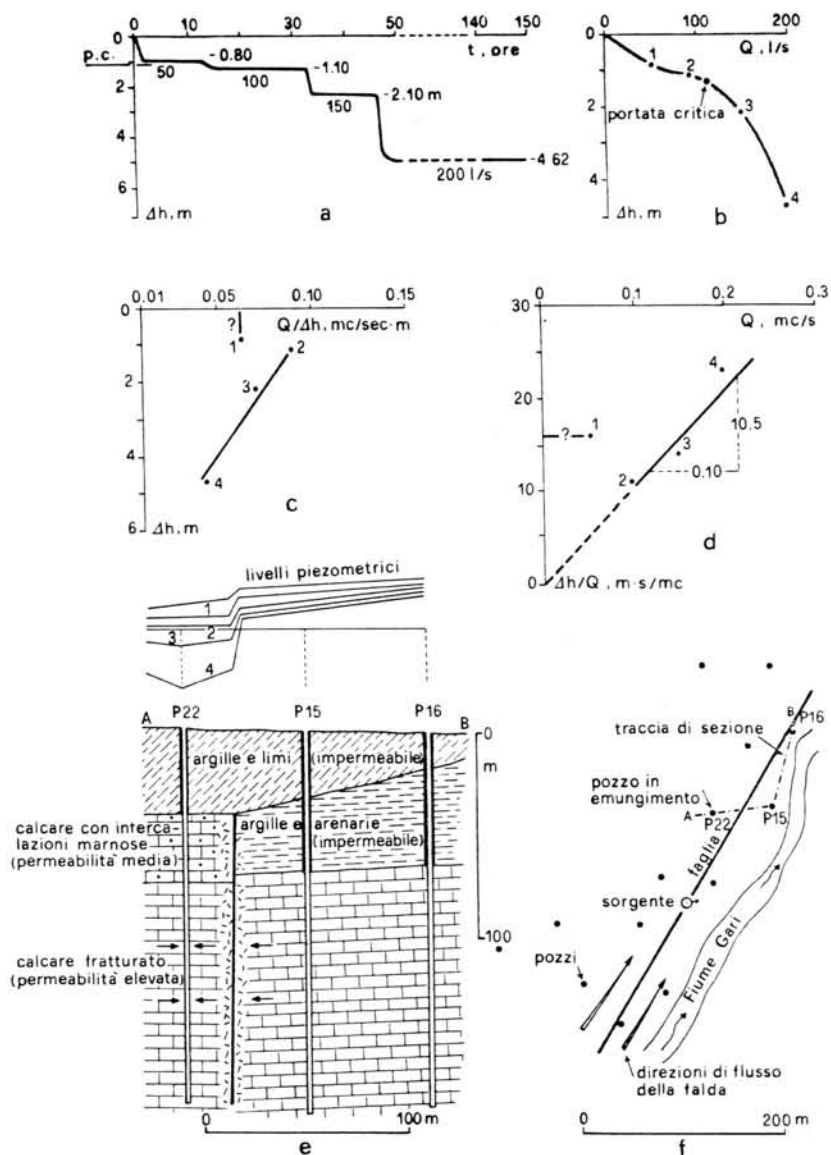


Figura 4.

ulteriori ostacoli (al libero deflusso delle acque verso il pozzo n. 22) per la presenza di cataclasiti lungo la stessa faglia (fig. 4/e, f), così come non è da sottovalutare il ruolo che può svolgere lo spessore carbonatico a minore permeabilità relativa.

Si può quindi presumere che, con la portata di 50 l/s, l'emungimento non abbia interessato in modo marcato le acque a circolazione preferenziale della zona di faglia. Con l'emungimento di 100 l/s, la portata specifica aumenta perché migliora l'assorbimento dalla zona a deflusso agevolato. Con i gradini di portata maggiori di 100 l/s, l'aliquota d'acqua relativa a quest'ultimo assorbimento diventa sempre più trascurabile rispetto all'emungimento globale e la portata specifica tende a diminuire velocemente.

La progressiva diminuzione dell'incidenza del contributo idrico della faglia all'aumentare delle portate emunte è da mettere in relazione soprattutto con le crescenti perdite di carico che si verificano, sia nella parte alta dell'acquifero carbonatico (dove sono presenti intercalazioni marnose), sia in corrispondenza della fascia cataclastica probabilmente connessa alla faglia, sia nelle stesse microfratture che collegano il pozzo con la zona di discontinuità tettonica.

La fenomenologia è evidenziata dai diagrammi delle figure 4/c, d dove si osserva che il comportamento della falda, con portata di 50 l/s circa, è completamente diverso da quello riferito ai 100 l/s ed oltre. Il passaggio tra i due tipi di regime è presumibilmente graduale.

In particolare, dalla fig. 4/d si evince che, fino a 50 l/s, esistono soltanto perdite di carico lineari mentre, dai 100 l/s in su, si hanno perdite di carico dovute a moto turbolento.

Nella fig. 4/e è stato ricostruito il presumibile andamento della piezometrica, prima e nel corso della prova di emungimento.

Un altro caso, in cui si possono ottenere informazioni interessanti mediante la correlazione tra la situazione idrogeologica locale e l'interpretazione di una curva caratteristica apparentemente anomala, è quello riportato in figura 5.

In detto esempio si osserva un incremento della portata specifica del pozzo n. 9 all'aumentare dell'emungimento. Il fenomeno si può spiegare ammettendo che vengano emunti crescenti quantitativi d'acqua circolanti preferenzialmente nella faglia adiacente al pozzo (fig. 5/e).

Tale interpretazione ha trovato conferma nei risultati di apposite indagini; è stato infatti evidenziato che la faglia viene alimentata da un vicino corso d'acqua (il fiume Rapido), in quanto essa lo attraversa proprio nella zona in cui l'acquifero carbonatico è sub-affiorante.

3. Conclusioni

Nel corso del lavoro sono stati interpretati i dati relativi ad alcune prove di emungimento, eseguite in acquiferi carbonatici, che hanno dato risultati apparentemente anomali. Infatti, grafici del tipo riportato nelle varie figure del testo possono essere dovuti anche a prove condotte in modo errato, ad errori di osservazione dei dati di base o al condizionamento difettoso dei pozzi.

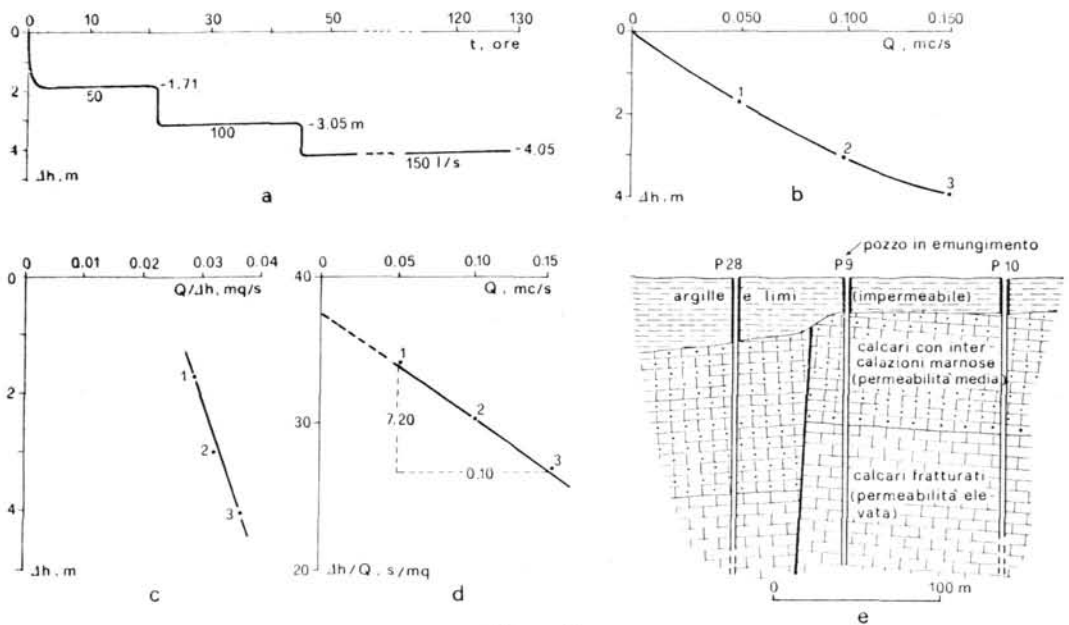


Figura 5.

Negli esempi precedenti ciò è da escludere perché i dati sono stati rilevati con apparecchi registratori e sono stati sistematicamente controllati con sistemi di misura manuali; si è già detto, inoltre, che le prove sono state eseguite a foro scoperto (e, quindi, in assenza di qualsiasi tipo di condizionamento).

Pertanto le cause delle anomalie sono state ricercate nell'assetto strutturale, nelle caratteristiche litostratigrafiche degli acquiferi e nell'idrodinamica sotterranea (quest'ultima condizionata, talvolta, anche dalla presenza di condotti carsici).

L'interpretazione dei dati ha consentito di ritenere valide le suddette correlazioni. È quindi risultato evidente che prove di emungimento correttamente eseguite possono anche non dare risposte soddisfacenti, se gli elementi acquisiti non vengono correttamente inquadrati nel contesto idrogeologico locale.

PIETRO CELICO