



**Studio geologico, geofisico ed idrogeologico  
dell'areale compreso tra il pozzo GG3 e il  
Centro Olio Tempa Rossa, Basilicata.**

**Report intermedio**

**Riscontro alla richiesta di integrazione di Fase II –  
Ispra # 45 - #31 - #96**

**Giugno 2024**

## Richiesta d'integrazione ISPRA #45 - # 31 - #96

*"Alcuni strati con bassa permeabilità vengono correttamente identificati come aquitard o acquiclude: in virtù di questa definizione viene ritenuto, senza tener conto di prove fattuali, che esse non possano contenere acqua interstiziale."*

### Premessa

Il termine **acqua "interstiziale"**, o acqua di poro, comprende l'acqua presente all'interno dei vuoti o pori che costituiscono un terreno o una roccia (fase liquida) e ne fa (l'acqua) parte integrante assieme ai clasti/granuli che compongono la fase solida di un terreno/roccia. Una terza fase è costituita dall'aria/gas che occupano, in alternativa alla fase liquida, i vuoti. L'acqua può riempire completamente i vuoti di una roccia o terreno, in tal caso la roccia si dice satura (o falda idrica); se l'acqua riempie solo parzialmente i vuoti (comunicanti) siamo in una condizione di non saturazione o "insaturo".

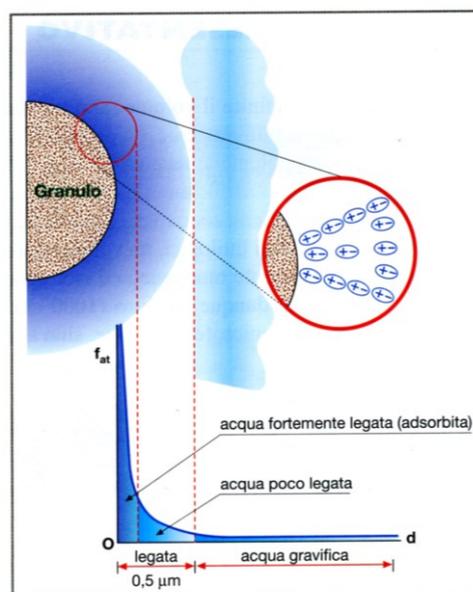
### Tipologie d'acqua e proprietà idrologiche delle rocce

**Acqua di ritenzione** (Adhesive water), vale a dire l'acqua che non si muove per l'azione della forza di gravità ma viene trattenuta all'interno del terreno, è costituita da:

- **Acqua igroscopica** che riempie i micropori ed i canalicoli che si aprono sulla superficie dei singoli granuli, **non risente della gravità e non trasmette la pressione idrostatica**. E' **inamovibile** in condizioni normali di temperatura e pressione ed il suo spessore è di circa **0.1 micron**. **Il quantitativo di questo tipo di acqua di ritenzione rispetto al volume totale della roccia varia in funzione della granulometria: si va da un 2-15% per le Sabbie (diametro > 0,62mm circa) ad un 40-50% per le argille (diametro < 2 micron circa).**
- **Acqua pellicolare**: si tratta della pellicola d'acqua che avvolge ogni granulo e la sua acqua igroscopica, ed è dovuta al fenomeno dell'adesione (attrazione da parte dei granuli) quando il granulo è saturo di acqua igroscopica. Ha uno spessore da **0,5-1 micron** ed è **difficilmente estraibile, solo per centrifugazione**.

- **Acqua capillare:** occupa tutti i vuoti intergranulari di dimensioni capillari (circa 0,1 mm) ed è dovuta all'azione combinata delle forze di adesione e coesione ed è **estraibile solo per centrifugazione**.

La restante componente d'acqua (**Acqua gravifica**, Fig. 1), “libera” di muoversi sotto l'azione della gravità (Specific yield), rappresenta l'acqua che filtra nei terreni e si muove se esiste differenza di carico idraulico o “carico piezometrico” ( $\Delta h$ , L. di Bernoulli).



**Figura 1 - Interazione acqua/roccia nelle vicinanze di un granulo (teorico) di un mezzo poroso: struttura dell'acqua di ritenzione (adhesive water); fat: forza di attrazione molecolare; d: distanza dal granulo (da Polubarinova-Cochina, 1962 ridisegnato Civita, 2005).**

In una roccia o terreno saturo l'acqua gravifica occupa una percentuale della porosità totale; la porosità efficace (cioè la porzione di porosità totale occupata dall'acqua gravifica che riempie i vuoti intercomunicanti della roccia) varia in funzione della granulometria dei clasti che compongono il terreno ed è complementare alla capacità di ritenzione (volume di acqua di ritenzione cioè acqua “intrappolata” sulla superficie dei granuli/clasti) (Figg. 2-3); di fatto, p.e. avendo una porosità totale del 30%, la porosità efficace (e quindi l'acqua gravifica in grado di circolare) dipende ed è strettamente funzione della dimensione dei granuli; per terreni con granulometria media superiore ad 1 mm, la quasi totalità della porosità totale è costituita da porosità efficace (occupata da acqua gravifica in condizioni sature); al contrario per granulometrie inferiori a qualche centesimo di mm (<

0,01 mm), la capacità di ritenzione prevale quasi completamente rappresentando la quasi totalità della porosità totale (e quindi riducendo drasticamente l'acqua libera di muoversi).

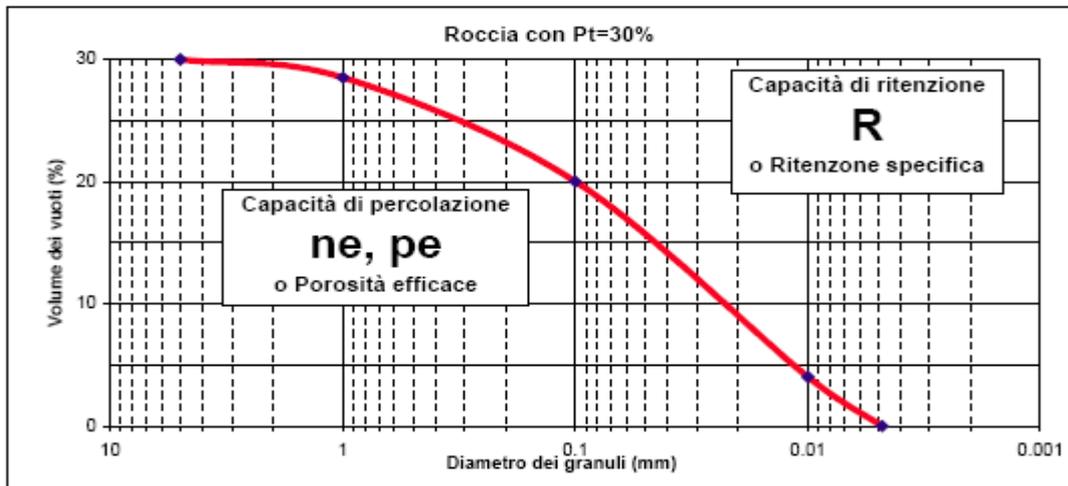


Figura 2 – Relazione tra diametro dei granuli, porosità efficace e ritenzione specifica in mezzi porosi con la medesima porosità totale (Tolman, 1937).

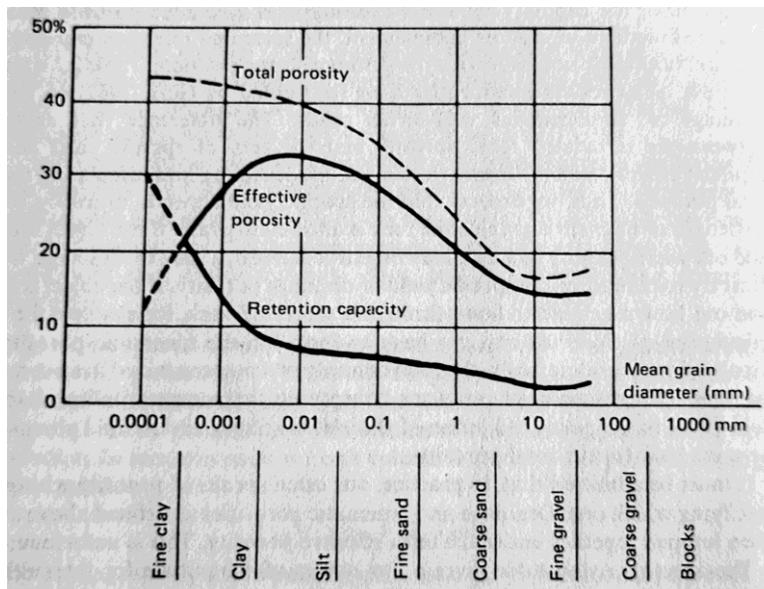


Figura 3 – Relazione tra porosità totale, efficace e ritenzione specifica in terreni porosi [da De Marsily, 1986]

**In sintesi l'acqua interstiziale nei terreni/rocce è sempre presente** in quanto essi si trovano molto spesso saturi; nei terreni a granulometria fine (limi o argille) essa risulta quasi tutta intrappolata (capacità di ritenzione elevata) e non disponibile a filtrare; la componente di acqua gravifica

contenuta in questi terreni risulta minima e ha difficoltà ad attraversare il mezzo roccioso (bassa permeabilità idraulica, aquitardo e/o aquiclude).

Un modello concettuale di circolazione idrica sotterranea che tenga conto della Legge di Darcy (con le sue approssimazioni) ci porta a stimare la velocità di un fluido idroveicolato in un campione di terreno di lunghezza unitaria (1 m), con una differenza di carico idraulico unitario ( $\Delta h = 1$  m) e un Coeff. di permeabilità di  $K = 10^{-8}$  m/s (limo argilloso) in almeno un tre anni circa (quindi 1 m in 3 anni); nelle stesse condizioni, variando il coeff. di permeabilità in  $K = 10^{-2}$  m/s (ghiaia pulita), l'acqua impiegherebbe circa 2 min (1 m in 2 min) ad attraversare il campione.

### **Richiesta ISPRA #45 (acqua interstiziale)**

Tenendo in considerazione quanto in premessa si ritiene che:

- Nelle litologie presenti nell'area in studio è sostanzialmente sempre presente dell'acqua interstiziale.
- L'acqua di ritenzione (acqua pellicolare+acqua igroscopica) non è in grado di trasmettere le pressioni idrostatiche e rappresenta quella parte di acqua non mobilizzabile. I movimenti possibili sono a scala dei grani che compongono il terreno. I fenomeni diffusivi sono molto più lenti rispetto ai movimenti dell'acqua gravifica (Castany, 1982). Infatti l'acqua gravifica, detta anche acqua mobilizzabile, è quella che circola negli acquiferi sotto l'azione dei carichi piezometrici.
- I contaminanti si possono liberare sia nell'insaturo che nel saturo. **La rete di monitoraggio proposta, composta di piezometri a tubo aperto, è in grado di individuare eventuali zone interessate da contaminazione sulle quali potrà essere effettuata apposita caratterizzazione di dettaglio ex D.Lgs. 152/06 con il dettaglio descritto anche dal documento U.S. EPA segnalato.**

### **Richiesta ISPRA #96 (scelta dei piezometri)**

Abbreviare i tempi di risposta, utilizzando i piezometri di Casagrande (idraulico a due tubi) o a trasduttore pneumatico, a corda vibrante o a resistenza elettrica, per gli scopi ambientali per cui è finalizzata la rete piezometrica progettata **non si rende, a nostro parere, necessario** sia per le fluttuazioni del livello della falda che avvengono in tempi medio-lunghi (stagionali), sia per le

frequenze di letture dei livelli previsti, ma soprattutto perché la conoscenza dei livelli di falda non risulta essere critica, come per esempio nel caso di monitoraggio delle frane. Inoltre i piezometri a tubo aperto hanno notevoli vantaggi tra i quali p.e.: **i.** l'affidabilità dei dati registrati anche per molti anni e lunghe serie di registrazioni; **ii.** l'autodegassazione avendo un diametro interno del tubo adeguato; **iii.** la possibilità di essere utilizzati per misure di permeabilità idraulica; **iv.** la possibilità di essere convertiti in piezometri a diaframma (cella di pressione).

Il piezometro di Casagrande, a fronte di una maggiore velocità di risposta, ha dimostrato di poter avere problemi d'intasamento a seguito dell'ostruzione del filtro poroso di cui è dotato per i ripetuti flussi in ingresso e in uscita dovuti alle escursioni piezometriche stagionali; lo stesso piezometro crea difficoltà durante i campionamenti ambientali delle aliquote d'acqua rappresentative.

### **Richieste ISPRA #31 #96**

Per integrare la rete di monitoraggio dello stato fisico-chimico delle acque in corrispondenza dei livelli fratturati (area pozzo) allo scopo di controllare eventuali contaminazioni si è ricorso a piezometri cluster ("multilivello") a tubo aperto (Manuale ISPRA 43/2006).

I trasduttori di pressione, i piezometri Casagrande, a corda vibrante ecc., anche se possono trovare applicazione nel monitoraggio ambientale sono principalmente usati in ambito geotecnico. La misura delle pressioni neutre con questo tipo di apparecchiature, se unita alle misure di livello statico provenienti dai piezometri a tubo aperto, rischia di causare la ricostruzione di superfici piezometriche che potrebbero essere fuorvianti in quanto potrebbero considerare livelli piezometrici non rispecchianti dati omogenei sia per i diversi tempi di risposta tra le due tipologie di sensori, sia di continuità idraulica (in quanto il Casagrande potrebbe misurare piccoli livelli idrici sostenuti da una lente di argilla isolata); oppure, nel caso di doppie celle filtranti poste all'interno dello stesso piezometro in "strati idrici" differenti, si potrebbero registrare diverse misure di pressione dell'acqua (o livelli piezometrici).

Un esempio di come realizzare una rete di monitoraggio qualitativo delle acque sotterranee in corpi idrici a media e bassa permeabilità che per le loro caratteristiche peculiari si discostano spesso dalle normali procedure di campionamento in acquiferi produttivi è riportato del documento ARPAT

“Linee Guida per la predisposizione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee in impianti produttivi” (2019).

Il monitoraggio periodico qualitativo si realizza mediante la predisposizione di un congruo numero di stazioni di monitoraggio (pozzi di monitoraggio) e la pianificazione di attività di campionamento idonee alla ricostruzione di un modello idrogeochimico (ARPAT, 2019).

La presenza di acqua nei campioni indisturbati di queste formazioni è normale. Il campione al momento del prelievo può aver intercettato un fronte saturo che attraversa la zona vadosa ed avanza verso la zona di falda sede della circolazione idrica. I campioni indisturbati possono contenere, quindi, acqua di ritenzione ed acqua gravifica. I contaminanti possono muoversi sia nel non saturo che nel saturo fino a raggiungere il letto impermeabile della formazione acquifera. Le eventuali contaminazioni in formazioni a bassa e/o bassissima permeabilità, come quello in studio, possono risultare molto complesse. Tale complessità è, ad esempio, descritta nel documento U.S. EPA segnalato (<https://ww.epa.gov/sites/default/files/202-01/documents/final-low-permeabilitu-12-2-19.pdf>) che può essere di riferimento, **in caso di contaminazione**, per una dettagliata caratterizzazione del sito. Ovviamente il dettaglio richiesto alla scala di caratterizzazione di un sito contaminato è molto maggiore rispetto a quello richiesto nel caso della rete di monitoraggio di un sito **non contaminato**.

La ricostruzione della superficie piezometrica deve essere preceduta dalla raccolta “rapida” delle misure piezometriche da piezometri a tubo aperto nel corso dell’anno idrologico (in step stagionali o semestrali), dalla verifica dell’assetto stratigrafico delle formazioni attraversate, degli spartiacque superficiali, del reticolo idrografico e delle emergenze.

In alcuni casi può risultare complessa la completa ricostruzione della superficie piezometrica per l’intera area di studio. Molto più verosimilmente, in questo tipo di acquiferi, si avrà una circolazione molto frazionata, quasi sempre dipendente dalla morfologia con possibili interconnessioni stagionali.

**Le indagini suggerite mediante l’utilizzo del metodo penetrometrico (come CPTu) posso fallire facilmente per l’eterogeneità dei materiali che presentano intercalati livelli litoidi.**

Si ritiene, pertanto, di integrare la rete di monitoraggio previsto, almeno per i primi 30 metri, con piezometri cluster a tubo aperto anche in caso di non rinvenimento di falda. In caso di alternanze di

livelli permeabili ed impermeabili, si procederà ad installare un piezometro che filtri ogni singolo livello permeabile (anche se sterile o “secco”).

La misura con PID (Photo Ionization Detector), riportata nel manuale ISPRA 43/2006 è considerata ottima “prima risposta” perchè i PID sono in grado di rilevare e monitorare un ampio target generale di VOC. Questa misura può essere fatta sia in piezometri secchi che in piezometri con presenza d’acqua. Una risposta positiva ad una misura PID attiva una serie di ulteriori determinazioni specifiche per identificare l’eventuale perdita di idrocarburi e può attivare le procedure di caratterizzazione del sito dove possono trovare correttamente applicazione le indicazioni segnalate U.S. EPA per i terreni eterogenei a bassa e bassissima permeabilità (<https://www.epa.gov/sites/default/files/202-01/documents/final-low-permeabilitu-12-2-19.pdf>).

Ulteriori sistemi di monitoraggio chimico, se il piezometro è secco, oltre alle misure con il PID non sono previste. Sono invece previste verifiche periodiche (almeno trimestrali) della presenza d’acqua con misure freaticometriche; la presenza di idrocarburi con sonde di interfaccia verrà verificata della presenza di liquidi immiscibili tramite campionatore statico a messaggero o bailer.

Nei piezometri con presenza d’acqua si procederà ad eseguire campionamenti periodici con le modalità operative previste dal manuale ISPRA 43/2006.

## **BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA**

ARPAT (2019) - Linee Guida per la predisposizione di una rete di monitoraggio delle acque sotterranee in impianti produttivi.

Castany G. (1982) – Idrogeologia: principi e metodi.

Celico P. (1986, 1988) – Prospezioni idrogeologiche I-II – Liguori Ed.

Civita M. (2005) - Idrogeologia applicata e ambientale - CEA (MI).

De Marsily G. (1986) - Quantitative Hydrogeology - Academic Press.

Decreto Legislativo n° 152/2006.

ISPRA Manuali e linea guida: n°43/2006.

ISPRA – Manuali e linea guida: n°155/2017 “Linee guida recanti la procedura da seguire per il calcolo dei valori di fondo per i corpi idrici sotterranei (D.M. 6 luglio 2016)”.

ISPRA - Protocollo per la Definizione dei Valori di Fondo per le Sostanze Inorganiche nelle Acque Sotterranee – aprile 2009.

SNPA – Linea guida per la determinazione dei valori di fondo per i suoli e per le acque sotterranee - 08/2018

Polubarinova-Cochina (1962) - Theory of ground water movement - Princeton University Press

Tolman C.F. (1937) - Ground Water - [Internetarchivebooks](#); [inlibrary](#); [printdisabled](#).

<https://www.epa.gov/sites/default/files/202-01/documents/final-low-permeabilitu-12-2-19.pdf>