

➤ L'intrusione del cuneo salino

In condizioni naturali indisturbate, in un acquifero costiero si instaura una condizione di equilibrio caratterizzato da un'**interfaccia stazionaria**, al di sopra della quale l'acqua dolce scorre verso il mare.

In ogni punto dell'interfaccia la profondità e la pendenza sono determinate dalla velocità del flusso, e la continua variazione di pendenza deriva dal fatto che – avvicinandosi al mare – la portata specifica di acqua dolce tangente all'interfaccia aumenta.

Se l'emungimento dai pozzi di un acquifero costiero supera la ricarica, la superficie freatica (o la superficie piezometrica in caso di acquifero confinato) si abbassa in vicinanza della costa fino al punto che il carico piezometrico nella porzione di acqua dolce diviene inferiore a quello della porzione contigua di acqua salata.



L'interfaccia inizia ad avanzare verso l'interno fino al raggiungimento di una nuova condizione di equilibrio.

Questo fenomeno è detto **INTRUSIONE DEL CUNEO SALINO**.

Man mano che il cuneo salino avanza verso l'interno la zona di transizione si allarga, ma verrà comunque considerata un fronte netto in qualsiasi posizione.

Se l'interfaccia che avanza raggiunge i pozzi di emungimento, si verifica l'inquinamento dei pozzi da parte del cuneo salino.

➤ L'intrusione del cuneo salino

Se un pozzo di emungimento posizionato al di sopra della superficie di interfaccia è attivo, l'acqua salata risale verso il pozzo stesso. Se il tasso di emungimento non viene controllato opportunamente l'acqua salata raggiunge il pozzo.

In realtà, a causa della zona di dispersione tra l'acqua dolce e quella salata, quest'ultima raggiunge il pozzo con concentrazioni inizialmente limitate.

Grazie alla zona di transizione l'aumento di salinità in un pozzo di emungimento serve da avvertimento nei confronti del rischio di intrusione del cuneo salino.

Il problema del cuneo salino può essere affrontato mediante le equazioni complete della dispersione-diffusione, in base alla variazione di concentrazione salina e quindi di densità dell'acqua nell'acquifero.

Tuttavia, in molti casi di interesse pratico, l'approssimazione del fronte netto di interfaccia, specialmente in combinazione con le approssimazioni di flusso essenzialmente orizzontale, consente di semplificare notevolmente la modellazione.

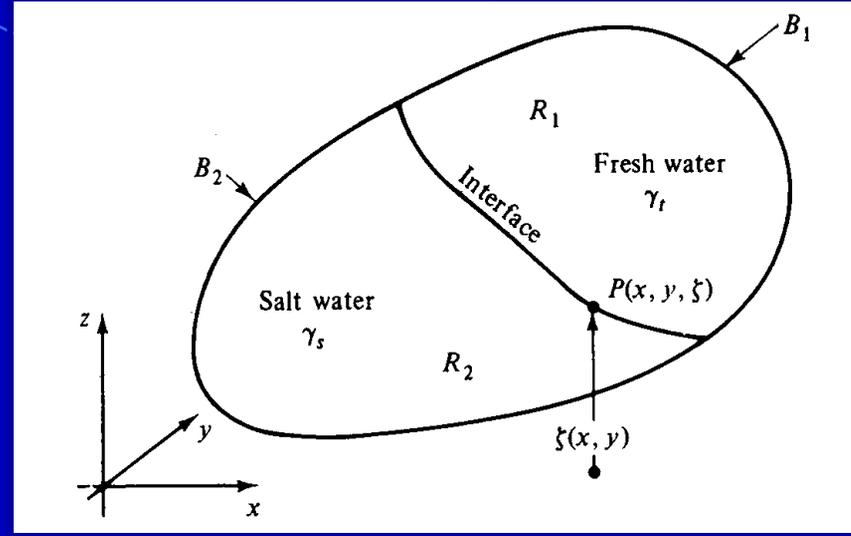
*Come vedremo, esiste una relazione tra la portata di acqua dolce verso il mare e l'entità dell'intrusione salina. Ciò rende il problema dell'intrusione salina essenzialmente un problema di **GESTIONE della RISORSA**, dal momento che la portata dell'acquifero verso il mare non è altro che la differenza tra il tasso di ricarica naturale dell'acquifero ed il tasso di emungimento.*

➤ L'intrusione del cuneo salino

$$\nabla \cdot (\mathbf{K}_f \cdot \nabla \phi_f) = S_0 \frac{\partial \phi_f}{\partial t} \quad \text{in } R_1$$

$$\nabla \cdot (\mathbf{K}_s \cdot \nabla \phi_s) = S_0 \frac{\partial \phi_s}{\partial t} \quad \text{in } R_2$$

Spesso si trascura il coefficiente di immagazzinamento S_0 poiché la variazione di immagazzinamento è qui dovuta allo spostamento dell'interfaccia.



Anche in tal caso, devono essere specificate le condizioni iniziali ed al contorno.

Oltre alle normali condizioni al contorno in questo caso sono importanti le condizioni in corrispondenza dell'interfaccia, che tuttavia è qui un'incognita del problema.

Indicando con $F(x, y, z, t) = 0$ l'equazione dell'interfaccia si ha:

- stessa portata specifica da entrambi i lati: $(q_n)_f = (q_n)_s$ su F ;
- uguale pressione da entrambi i lati: $\gamma_f \phi_f = \gamma_s \phi_s$ su F .

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \mathbf{V}_f \cdot \nabla F = 0 \quad \frac{\partial F}{\partial t} + \mathbf{V}_s \cdot \nabla F = 0$$

Pertanto le condizioni al contorno all'interfaccia assumono la forma di due equazioni non lineari alle derivate parziali in termini di ϕ_f e ϕ_s .

Per tale ragione la derivazione completa della forma e posizione dell'interfaccia mediante la risoluzione di tale sistema di equazioni è praticamente impossibile.

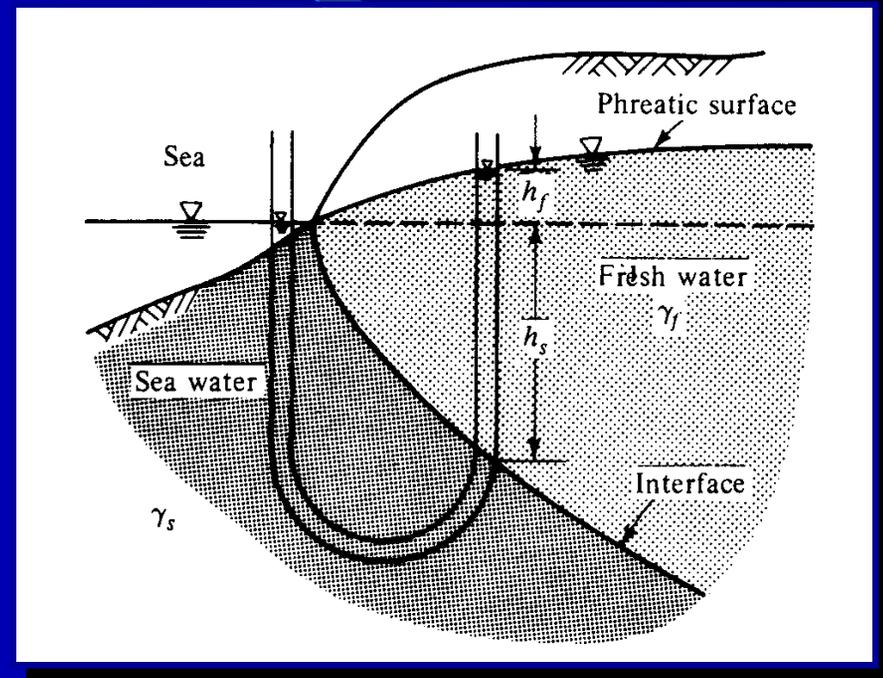
➤ L'intrusione del cuneo salino

Normalmente il problema viene risolto con il cosiddetto “**approccio idraulico**”, ovvero mediante uno schema bi-dimensionale che consente di eliminare le condizioni al contorno sull'interfaccia.

L'approssimazione di Ghyben-Herzberg

Il modello idealizzato dell'interfaccia in un acquifero costiero proposto da Ghyben-Herzberg è quello di una condizione di *equilibrio statico* con distribuzione idrostatica della pressione per l'acqua dolce e acqua salata stazionaria.

È anche possibile assumere condizioni di equilibrio dinamico, ovvero di moto permanente ma con velocità orizzontali nella regione di acqua dolce.



Ciò significa che le linee o superfici equipotenziali sono verticali, *esattamente come per l'ipotesi di Dupuit*. In tali condizioni si ha:

$$h_s = \frac{\gamma_f}{\gamma_s - \gamma_f} h_f = \delta \cdot h_f$$