

Tavola 8.3 Profili geologici e idrogeologici, parte 2: idrogeologia

Introduzione

Scopo della tavola è quello di illustrare in maniera schematica la circolazione idrica sotterranea all'interno dell'Altipiano svizzero (fig. 1). La principale difficoltà di rappresentazione consiste nel fatto che la circolazione sotterranea avviene in uno spazio tridimensionale. Al fine di facilitare la comprensione circa le principali direttrici di scorrimento sono state realizzate una serie di sezioni verticali e di rappresentazioni planari che riproducono l'estensione laterale di alcuni acquiferi particolarmente significativi.

Il concetto di sistema di circolazione sotterranea

L'acqua è presente nei pori e nelle fessure della roccia fino alla profondità di migliaia di metri sotto il livello del mare; si tratta dell'acqua sotterranea. L'acqua sotterranea si muove (fig. 2): essa scorre dalle zone di infiltrazione (generalmente dall'alto dei rilievi) verso le regioni di risorgenza (corrispondenti, di regola, alla rete idrografica di superficie, fiumi, valli, laghi ecc.). La direzione media del movimento dell'acqua sotterranea è schematizzata dalle linee di circolazione o dal campo di circolazione. Queste direttrici, come pure la velocità di scorrimento, sono espresse, nei casi più semplici, tramite la Legge di Darcy (vedi «definizioni»).

Secondo gli studi teorici di [9], le linee di circolazione si dispongono, tra le zone d'infiltrazione e quelle di risorgenza, in sistemi locali di scorrimento, intermedi o regionali (v. fig. 3 che presenta i sistemi di scorrimento in un bacino idrogeologico ipoteticamente omogeneo). Si comprende intuitivamente che i sistemi di circolazione costituiscono una preziosa fonte per lo studio termico, chimico e isotopico delle acque sotterranee. La loro conoscenza, per quanto approssimativa, può fornire preziose informazioni (anche se di natura qualitativa) ad esempio circa il trasporto di sostanze disciolte nell'acqua sotterranea a diverse profondità (p.es. in conseguenza dell'interazione fra roccia e acqua). Secondo la figura 3, la collocazione della fonte delle sostanze disciolte in rapporto ai sistemi locali di circolazione (siano essi intermedi o regionali) risulta di fondamentale importanza. È importante sottolineare come la gerarchia dei sistemi di circolazione sotterranea, costituisca la conseguenza di strutture gerarchiche della rete idrografica, ossia delle regioni di risorgenza).

La «misura diretta» della direzione di circolazione sotterranea in ogni punto della crosta terrestre è praticamente impossibile, lo sforzo necessario sarebbe sproporzionato rispetto al risultato. Ciò significa che, nella maggior parte dei casi, la ricostruzione dei campi di scorrimento deve essere eseguita tramite metodi indiretti, come ad esempio tramite modelli matematici (vedi «definizioni»).

Circolazione sotterranea in grandi bacini eterogenei

Nei grandi bacini idrogeologici si osservano numerosi acquiferi sovrapposti, separati da formazioni geologiche relativamente poco permeabili. La delimitazione dei sistemi di scorrimento è decisamente più difficile che non nel caso omogeneo della figura 3, ma i vettori di flusso forniscono preziose indicazioni sui percorsi dell'acqua sotterranea e sugli scambi idraulici tra le diverse formazioni geologiche. Le relazioni idrauliche fra due acquiferi sovrapposti possono variare da luogo a luogo: in un caso è l'acquifero superiore ad alimentare quello inferiore, in altri casi, è il contrario. Queste relazioni, cioè il campo di circolazione sotterraneo, sono determinate dalla struttura del bacino (distribuzione spaziale della permeabilità delle rocce [3]), della posizione delle regioni di infiltrazione e di quelle di risorgenza (condizioni limite).

Se i casi teorici bidimensionali facilitano la comprensione della natura della circolazione sotterranea e permettono di intravedere una loro utilità per gli studi idrogeologici [1], sarebbe ancora più importante sapere come, in realtà, si manifestano questi scorrimenti in acquiferi tridimensionali e quali siano le effettive possibilità di ricostruzione e di rappresentazione.

Circolazione sotterranea tra il Massiccio dell'Aar e quello della Foresta Nera

I profili idrogeologici rappresentati indicano in forma schematica la circolazione sotterranea delle acque all'interno dell'Altipiano svizzero, fra i massicci dell'Aar e della Foresta Nera. Essi permettono di illustrare il campo di scorrimento tridimensionale sotterraneo nel caso di una volumetria di elevata dimensione. I profili rappresentano inoltre una delle numerose varianti di calcolo (vedi legenda, e Tab. 1 della tavola 8.2) del modello matematico realizzato nell'ambito di uno studio precedente [5].

Nel caso teorico bidimensionale, la rappresentazione del campo di scorrimento sotterraneo è relativamente semplice, in quanto i vettori di flusso non hanno una componente perpendicolare al piano di rappresentazione. Ciò non è il caso però per sistemi di grande dimensione, dove è impossibile stabilire un piano di rappresentazione che, in un punto o nell'altro, non sia obliquo ai vettori di flusso (quindi alle linee di scorrimento). Inoltre, alcuni acquiferi il cui spessore è modesto (poche decine di metri) in rapporto alla loro estensione laterale (diverse centinaia di chilometri) sono estremamente difficili da rappresentare (sia in diagrammi a blocchi sia in sezioni verticali). Si è quindi deciso di rappresentare i risultati proiettando i vettori di flusso lungo sezioni verticali rettilinee o su carte planari corrispondenti all'estensione laterale di alcuni acquiferi particolarmente importanti. Si chiede tuttavia al lettore uno sforzo supplementare, poiché, ogni volta, esiste in effetti una componente perpendicolare dello scorrimento sotterraneo in rapporto al piano delle rappresentazioni. È chiaro che il passaggio dal sistema reale al modello idrogeologico necessita di un certo numero di semplificazioni, come da esempio nell'elaborazione della geometria delle principali formazioni geologiche e delle condizioni idrogeologiche scelte per le condizioni limite del modello.

Il modello regionale, utilizzato come base per le sezioni idrogeologiche qui rappresentate, si estende dal massiccio dell'Aar a Sud fino quello della Foresta Nera a Nord. Gli altri limiti sono costituiti dal Lago Bodanico a Est e dell'Aar a Ovest. I limiti laterali scelti per la modellizzazione corrispondono ai limiti regionali di sistemi di circolazione regionale (Valle del Reno, del Rodano, dell'Aar ecc.) che si manifestano fino a considerevoli profondità. Scopo primario di questo modello era quello di studiare la circolazione profonda nel Cristallino del Nord della Svizzera [5,6,8,10]. Il limite superiore del modello è rappresentato dalla superficie piezometrica. Le sue condizioni limite sono state stimate sulla base delle carte idrogeologiche e topografiche esistenti (rappresentazione tridimensionale). Le condizioni limite relative all'idrogeologia sono basate su valori osservati del potenziale idraulico e delle portate (infiltrazione, risorgenze) o su valori stimati. Queste condizioni costituiscono in ogni singolo caso le ipotetiche variabili introdotte nel modello. In seguito, sarà quindi necessario valutare la coerenza di questi dati analizzando i risultati simulati tramite il modello. Il diagramma a blocchi schematico (vedi legenda) evidenzia, da un lato, le semplificazioni apportate all'informazione geologica e, dall'altro, gli sforzi compiuti per la ricostruzione tridimensionale della geometria delle formazioni modellizzate.

Tutti i calcoli sono stati eseguiti in regime permanente, cioè, le condizioni imposte inizialmente non variano nel tempo. Il programma FEM301 [4] è stato applicato, nella regione di simulazione, per il calcolo dei potenziali idraulici e delle portate. I risultati sono paragonati con i valori osservati disponibili. È interessante constatare come i risultati del modello abbiano potuto essere verificati, in una certa misura, tramite sondaggi profondi. In particolare la circolazione ascensionale in prossimità di risorgenze regionali ha effettivamente potuto essere messa in evidenza tramite misure dei potenziali idraulici rilevati a diverse profondità nei citati sondaggi [2]. I risultati ottenuti permettono di dimostrare in modo schematico gli scorrimenti profondi e le relazioni tra i principali acquiferi fra i massicci dell'Aar e della Foresta Nera. Ne consegue un'immagine coerente, benché approssimativa, della circolazione delle acque sotterranee nelle falde profonde. In questo modo si è potuto riconoscere che le relazioni idrauliche tra due acquiferi sovrapposti possono variare da luogo a luogo (vedi profili), come è stato evidenziato nei casi teorici (fig. 2,3).

La rappresentazione tridimensionale mostra le aree di affioramento delle diverse formazioni come pure le zone di alimentazione (valori elevati del potenziale idraulico) e delle zone di risorgenza (valori bassi del potenziale idraulico nelle valli dalla rete idrografica).

La sezione 3, più o meno perpendicolare alle precedenti e realizzata tramite una rappresentazione tridimensionale, evidenzia i sistemi di scorrimento sotterraneo locale. Questi sistemi mettono in risalto le principali zone di risorgenza sul fondo delle valli (prevalenza dei flussi verticali).

Circolazione sotterranea nel Cristallino, Muschelkalk e Malm

Per meglio illustrare i principali tipi di circolazione delle acque sotterranee vengono discusse, a titolo di esempio, le situazioni relative a tre principali acquiferi: il Cristallino, il Muschelkalk e il Malm. Le condizioni di circolazione nel Cristallino (fig. 5) e nel Malm (fig. 4) sono rappresentate da due carte accompagnate da una descrizione; quelle del Muschelkalk sono presentate brevemente qui sotto.

Le zone di alimentazione e di risorgenza nel Muschelkalk sono legate alle zone di affioramento, cioè alle Alpi per il Sud e al Giura Tabulare per il Nord (vedi rappresentazione tridimensionale). Essendo impossibile, a questa scala, la rappresentazione grafica dei risultati in un unico profilo, ci si limita alle seguenti osservazioni. Nelle Alpi, le acque del Muschelkalk superiore si scaricano nelle valli alte dell'Aar, della Reuss e del Reno principalmente, come pure a Vättis. A Nord, da Basilea a Säckingen, le acque si scaricano nella valle del Reno, e poi nella valle della Wutach. Tra queste due regioni l'acquifero del Muschelkalk superiore è drenato dalle valli che lo tagliano: la Sisslen, l'Aar e il Reno.

Ringraziamenti

Il presente lavoro è stato realizzato su mandato del Servizio idrologico e geologico nazionale, UFAFP. L'insieme del lavoro è basato su risultati di studi commissionati precedentemente dalla Cibra (Società cooperativa nazionale per l'immagazzinamento di scorie radioattive).

Bibliografia

- [1] **Bouzelboudjen, M. (1993):** Cartographie hydrogéologique et systèmes d'écoulement souterrain. Centre d'hydrogéologie de l'Université de Neuchâtel – Service hydrologique et géologique national. Rapport inédit, Berne.
- [2] **Hufschmied, P., Frieg, B. (1989):** Observation of hydraulic heads in the Nagra boreholes in Northern Switzerland. Nagra Bulletin, Special Edition 39–49, Baden.
- [3] **Király, L. (1970):** L'influence de l'hétérogénéité et de l'anisotropie de la perméabilité sur les systèmes d'écoulement. In: Bulletin der Vereinigung schweizerischer Petroleumgeologen und -ingenieure, 37/91:50–57, Zürich.
- [4] **Király, L. (1985):** FEM301 – A three-dimensional model for groundwater flow simulation. Nagra Technischer Bericht NTB 84-49, Baden.
- [5] **Kimmeier, F. et al. (1985):** Simulation par modèle mathématique des écoulements souterrains entre les Alpes et la Forêt Noire; Partie A: Modèle régional, Partie B: Modèle local (Nord de la Suisse). Nagra Technischer Bericht NTB 84-50, Baden.
- [6] **Nagra (1988):** Sedimentstudie – Zwischenbericht 1988. Möglichkeiten zur Endlagerung langlebiger radioaktiver Abfälle in den Sedimenten der Schweiz. Nagra Technischer Bericht NTB 88-25, Baden.
- [7] **Skinner, B.J., Porter, S.C. (1991):** The dynamic earth: an introduction to physical geology. Second edition, New York.
- [8] **Thury, M. et al. (1994):** Geology and Hydrogeology of the Crystalline Basement of Northern Switzerland. Synthesis of Regional Investigations 1981–1993 within the Nagra Radioactive Waste Disposal Program. Nagra Technischer Bericht NTB 93-01, Baden.
- [9] **Tóth, J. (1995):** Hydraulic continuity in large sedimentary basins. In: Hydrogeology Journal Volume 3, Nr. 4/1995:4–16, Hannover.
- [10] **Voborny, O. et al. (1992):** Analysis of regional groundwater flow in crystalline rocks of Northern Switzerland: Results of a numerical model using an equivalent porous medium. Nagra Interner Bericht, Baden.