

# UNA POSSIBILE SIMULAZIONE NUMERICA DELL'ACQUIFERO BASALE DI M.COSCERNO - M.ASPRA (BACINO DEL FIUME NERA)

Carlo Boni \* & Elisabetta Preziosi\*\*

\*Dipartimento di Scienze della Terra, Università degli Studi di Roma "La Sapienza

\*\* C.N.R. Centro di Studio per il Quaternario e l'Evoluzione Ambientale - Roma

**RIASSUNTO:** in questo lavoro viene proposto un tentativo di simulazione numerica di un acquifero carbonatico di un'area corrugata (Appennino umbro-marchigiano) di cui sono noti i limiti di permeabilità e le condizioni al contorno. La simulazione numerica bidimensionale è stata effettuata sia in regime stazionario che transitorio. Dal confronto fra portate fornite dalla simulazione e portate sperimentali si tenta di definire il più probabile campo di valori di trasmissività e coefficiente d'immagazzinamento.

## 1. INTRODUZIONE

Viene presentato un tentativo di simulazione numerica di un acquifero carbonatico che alimenta una sorgente lineare (fiume Nera). Questo esempio, come altri simili (PULIDO-BOSCH & PADILLA-BENITEZ, 1988), vuole valutare la possibilità di applicazione di un modello concepito per la simulazione del flusso in un mezzo poroso, omogeneo e isotropo ad un acquifero carbonatico di un'area corrugata. Nel caso presentato sono note: le portate erogate, misurate in 9 campagne nel periodo ottobre '91-luglio '93; le quote di drenaggio; gli afflussi meteorici; i limiti dell'acquifero; l'assetto geologico-strutturale. Le principali incognite che si tenta di determinare sono: i livelli piezometrici all'interno della struttura; i valori di trasmissività e di coefficiente d'immagazzinamento. Dalle varie elaborazioni effettuate risulta possibile definire un campo di valori delle trasmissività, piuttosto ristretto, al di fuori del quale i risultati delle simulazioni non sono più attendibili.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E GEOLOGICO

L'area studiata si trova in Umbria meridionale, tra la piana reatina a Sud, le piane di Leonessa e Cascia ad Est e la Valnerina a Nord-Ovest. La sequenza stratigrafica affiorante, la ben nota successione umbro-marchigiana (DECANDIA, 1982), è caratterizzata da depositi di ambiente pelagico calcareo-silico-marnosi di età compresa fra il Lias medio ed il Miocene, poggianti su calcari neritici massivi del Lias inferiore, potenti 500-700m (Calcarea massiccio). Lo spessore complessivo della sequenza è di circa 2000m. Alla base della successione affiorano, al margine sud-orientale dell'area in studio, dolomie di età retica. La successione sedimentaria compresa tra il tetto del Calcarea massiccio (Lias inf.) e il letto della Maiolica (Malm) può presentare, come è noto, eteropie di facies e variazioni di spessore. Nella zona in esame (Fig. 1a), secondo la cartografia ufficiale, la serie risulta generalmente completa. Solo nel settore meridionale è indicata la Maiolica in contatto stratigrafico con la Corniola. Per gli scopi di questa ricerca si è preferito raggruppare i termini giurassici compresi tra la Corniola e la Maiolica (Rosso Ammonitico - Marne del M. Serrone - Calcari e marne a Posidonia - Calcari diasprini) nel "Complesso calcareo-silico-marnoso" che determina l'isolamento tra l'acquifero del Calcarea massiccio e quello della Maiolica sovrastante. Le formazioni di facies marina oligo-mioceniche (Scaglia cinerea, Bisciario, Marnoso-arenacea) vengono raggruppate nel "Complesso marnoso-calcarenitico". Anche questo complesso, che affiora ai margini dell'area, svolge il ruolo di acquiclude.

L'assetto tettonico è quello di una struttura a thrusts (Fig. 2), separati da superfici di sovrascorrimento anche ad alto angolo (COSENTINO et alii, 1991).

Nell'area non sono noti rilevanti fenomeni di carsismo ipogeo ma solo tipiche forme carsiche epigee particolarmente diffuse sul M. Coscerno.

## 3. LINEAMENTI IDROGEOLOGICI DELL'AREA

Tutti gli affioramenti carbonatici hanno il ruolo di aree di ricarica. La circolazione sotterranea interessa le formazioni calcaree (Calcarea massiccio-Corniola; Maiolica; Scaglia rosata), separate da formazioni meno permeabili (Complesso calcareo-silico-marnoso; Marne a Fucoidi) che determinano la suddivisione della successione in acquiferi potenziali sovrapposti che possono essere localmente connessi. Questo assetto stratigrafico-strutturale dà origine a sorgenti puntuali, generalmente con portata modesta, anche in alta quota, mentre la maggior parte delle acque sotterranee emerge direttamente lungo i corsi d'acqua che incidono i carbonati tanto da raggiungere il livello di saturazione (sorgenti lineari, BONI et alii, 1986).

Lavoro eseguito con il contributo del Progetto Nazionale MURST 40% "Valutazione delle risorse idriche sotterranee nazionali" e MURST 60% "Modelli matematici di acquiferi regionali".

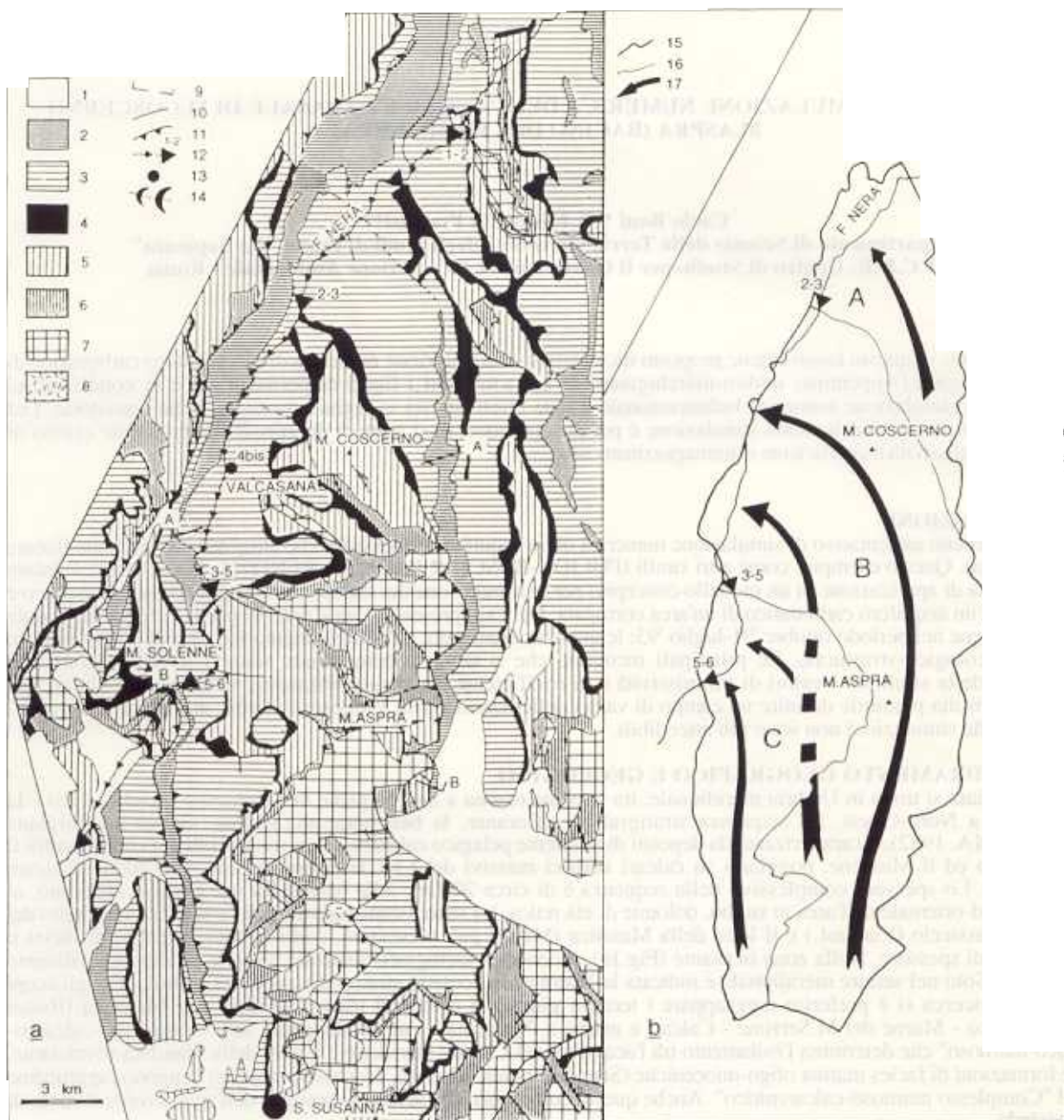


Fig.1 - Schema idrogeologico (a) e limiti degli acquiferi individuati (b)

1 = Detrito, alluvioni (Olocene); 2 = Complesso marnoso-calcarenitico (Tortoniano-Eocene sup.); 3 = Scaglia rosata (Eocene medio-Cenomaniano); 4 = Marne a Fucoidi (Albiano-Aptiano); 5 = Maiolica (Cretacico inf.-Malm p.p.); 6 = Complesso calcareo-silico-marnoso (Malm p.p.-Toarciano p.p.); 7 = Complesso del Calcare massiccio e della Corniola (Lias inf.-medio); Dolomie (Hettangiano p.p.-Retico); 9 = traccia di profilo geologico; 10 = faglia; 11 = faglia inversa, sovrascorrimento; 12 = sorgente lineare; 13 = sorgente puntuale; 14 = perdita in alveo; 15 = affioramento dei limiti a flusso nullo dell'acquifero M.Aspra-M.Coscerno; 16 = affioramento dei limiti a flusso nullo fra gli acquiferi A, B, C; 17 = direttrici di flusso delle falde.

Hydrogeological scheme (a) and no-flow boundaries of the aquifers (b).

1 = Detrital and alluvial deposits (Olocene); 2 = Marly-calcarenitic complex (Tortonian-Upper Eocene); 3 = Scaglia rosata (Middle Eocene-Cenomanian); 4 = Marne a Fucoidi (Albian-Aptian); 5 = Maiolica (Lower Cretaceous-Malm p.p.); 6 = Marly-cherty-limestone Complex (Malm p.p.-Toarcian p.p.); 7 = Calcare massiccio and Corniola Complex (Lower and middle Lias); Dolomites (Hettangian p.p.-Retic); 9 = line of geologic section; 10 = fault; 11 = reverse fault, overthrust; 12 = linear spring; 13 = punctual spring; 14 = canal seepage loss; 15 = outcrop of the M.Aspra-M.Coscerno aquifer no-flow boundaries; 16 = outcrop of the no-flow boundaries between aquifers A, B, C; 17 = direction of ground water flow.

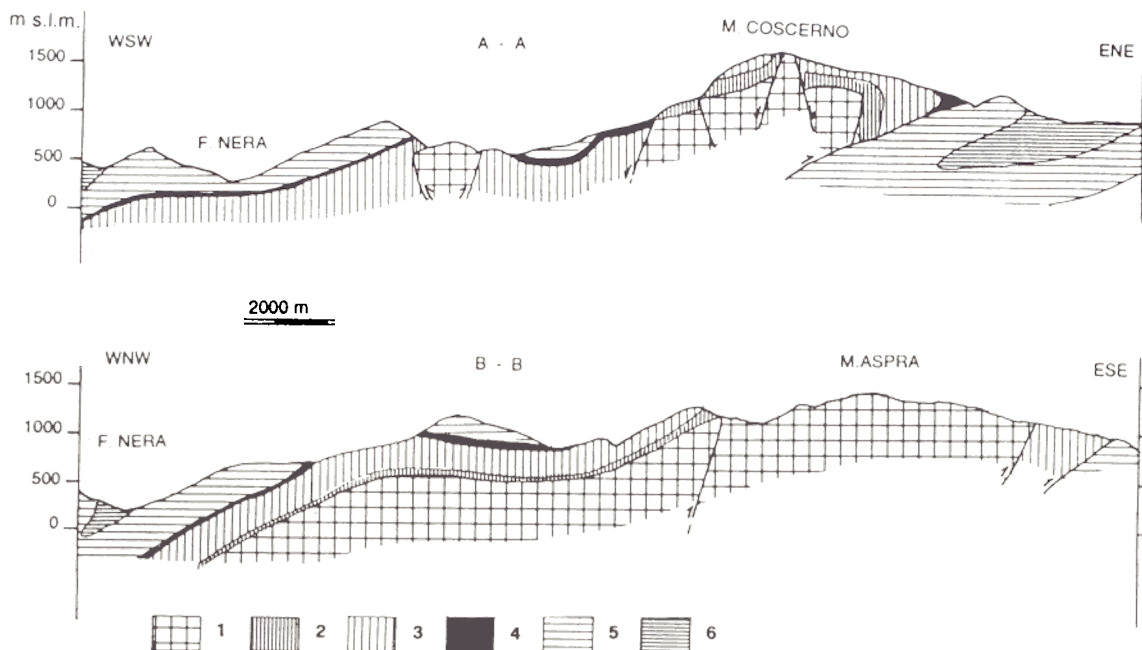


Fig.2 - Sezioni geologiche

1 = Complesso del Calcarea massiccio e della Corniola (Lias inf.-medio); 2 = Complesso calcareo-silico-marnoso (Malm p.p.-Toarciano p.p.); 3 = Maiolica (Cretacico inf.-Malm p.p.); 4 = Marne a Fucoidi (Albiano-Aptiano); 5 = Scaglia rosata (Eocene medio-Cenomaniano); 6 = Complesso marnoso-calcarenitico (Tortoniano-Eocene sup.).

Geologic sections

1 = Calcarea massiccio and Corniola Complex (Lower and middle Lias); 2 = Marly-cherty-limestone Complex (Malm p.p.-Toarcian p.p.); 3 = Maiolica (Lower Cretaceous-Malm p.p.); 4 = Marne a Fucoidi (Albian-Aptian); 5 = Scaglia rosata (Middle Eocene-Cenomanian); 6 = Marly-calcareous complex (Tortonian-Upper Eocene).

Il Nera, caratterizzato da una notevole stabilità delle portate, è da tempo riconosciuto come sorgente lineare (BONI et alii, 1986). Il deflusso di base (CENCETTI et alii, 1989) alla stazione idrometrica di Torre Orsina (Terni), è risultato pari al 94% dei deflussi totali; il ruscellamento è risultato variabile, durante l'anno, tra il 5 e il 15% dei deflussi (BONI et alii, 1993).

#### 4. MISURE DI PORTATA

Dal 1991 sono in corso campagne di misura della portata di magra del corso d'acqua in tutto il bacino a monte della stazione idrometrica di Torre Orsina. In questa nota verrà descritto il settore sud-orientale, che alimenta il Nera tra quota 364m (Stazione di pompaggio ENEL di Borgo Cerreto) e quota 238m (Ferentillo, TR).

Sono state effettuate misure seriate della portata in alveo, in periodi non influenzati da precipitazioni significative, allo scopo di identificare i tratti in cui il corso d'acqua è certamente alimentato dalle acque sotterranee e di misurare la portata complessivamente erogata (Tab.1 e Fig.3). Le sezioni sono ubicate lungo l'asta del Nera, ad eccezione della sezione 4bis che misura la portata della sorgente Valcasana. La portata misurata non corrisponde al naturale deflusso del fiume poiché impianti idroelettrici derivano, a monte del tratto considerato, circa 12 m<sup>3</sup>/s (BONI & PETITTA, in stampa) e rilasciano in alveo solo 600-900 l/s. In Fig.4 viene confrontata la variazione di portata media registrata lungo l'alveo del Nera col profilo longitudinale. Nel tratto compreso fra la stazione di pompaggio di Borgo Cerreto (sezione 1) e l'abitato di Ponte (sezione 2) si registra un incremento di portata di 1,68 m<sup>3</sup>/s (pari a 88 l/s per m di dislivello); l'incremento misurato fra le sezioni 1 e 2 viene indicato come sorgente lineare 1-2, nel seguito s.l. 1-2 (Tab.2). Tra Ponte e Vallo di Nera (sezione 3) l'incremento medio è di soli 0,43 m<sup>3</sup>/s (pari a 9 l/s/m). Si registra un ulteriore incremento di 2,84 m<sup>3</sup>/s, pari a 55 l/s/m, fra le sezioni 3 e 6. Tra questa e la sezione 7 (Ferentillo), la portata del Nera diminuisce sensibilmente, con una perdita media di 0,61 m<sup>3</sup>/s.

In Fig.5 è raffigurato il regime di portata misurato alle sezioni da 1 a 6. Le portate erogate assommano complessivamente a circa 5 m<sup>3</sup>/s e gli incrementi osservati nei vari tratti sono costanti durante l'anno.

#### 5. L'ACQUIFERO DI M.COSCERNO - M.ASPRA

Lungo il corso del Nera, fra quota 345m (sez.2) e quota 242m (sez.6), s'identifica un tratto drenante ben definito dove è stato misurato un incremento medio di circa 3,3 m<sup>3</sup>/s, con minimi di 2,5 (ott.'91) e massimi di 4,0 (dic.'92), esclusivamente dovuto agli apporti di acque sotterranee. L'area di ricarica è stata identificata nella dorsale Monte Coscerno - Monte Aspra - Monte La Pelosa, per una estensione di circa 230km<sup>2</sup> (Fig.1b). La struttura corrisponde ad un'anticlinale con asse circa meridiano (BARCHI, 1991). Il fianco occidentale è costituito da una monoclinale

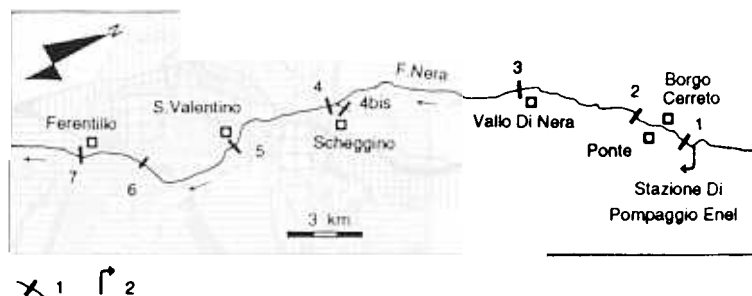


Fig.3 - Ubicazione delle sezioni di misura della portata. 1 = sezione di misura; 2 = derivazione per uso idroelettrico. Location of the discharge measurement sites. 1 = discharge measurement site; 2 = hydroelectric power station diversion.

immergente ad Ovest, dislocata da numerose faglie NW-SE e WNW-ESE, mentre il fianco orientale appare ribaltato e sovrascorso verso oriente. Le quote dell'area vanno dai 240-350m s.l.m. del fondo valle sino a valori superiori ai 1600m.

L'acquifero considerato risulta libero, con limiti a flusso nullo identificati:

- dalla stretta fascia di deformazioni orientata SW-NE, associata alla linea tettonica della Valnerina (DECANDIA et al., 1980; DECANDIA, 1982), che si sviluppa lungo la destra orografica del Nera;
- dal sovrascorrimento di M.La Pelosa-M.Coscerno (BARCHI, 1991; COSENTINO et alii, 1991) sul lato orientale, quindi dalle formazioni marnoso-argillose oligoceniche e cretatiche che si proseguono verso Nord fino all'abitato di Ponte in Valnerina;
- dal sovrascorrimento M.S. Angelo-M.Solenne (DECANDIA e TAVARNELLI, 1990) e dalla sua prosecuzione meridionale fino alla piana reatina (COSENTINO et alii, 1991) a Sud-Ovest.

L'infiltrazione efficace media, calcolata in base agli incrementi di portata misurati, è pari a 450 mm/anno.

## 6. SIMULAZIONE NUMERICA

La simulazione bidimensionale è stata realizzata con il programma alle differenze finite Newsam (LEDOUX & LEVASSOR, 1989).

I modelli realizzati sono costituiti da maglie quadrate con lato pari a 250, 500 e 1000m. La simulazione delle condizioni di emergenza è stata realizzata utilizzando delle maglie di tipo "a dreno imposto" di lato pari a 250m. Il modello calcola la portata  $Q$  in uscita come:

$$(1) Q=C(Hm-Hd)$$

dove  $Hm$ =livello piezometrico della maglia drenante in m, calcolato in relazione alla ricarica;  $Hd$ =quota del dreno in m;  $C$ =coefficiente di dreno, espresso in  $m^2/s$ , quindi con le dimensioni di una trasmissività. La portata  $Q$  può quindi avere un valore positivo o negativo, a seconda che il livello piezometrico calcolato sia maggiore o minore della quota di drenaggio, nel caso rispettivamente di un corso d'acqua drenante o perdente. Nelle simulazioni sono stati utilizzati valori di  $C$  pari a  $5,0E-2$  e  $8,0E-2m^2/s$ .

## 7. SIMULAZIONE 1: REGIME STAZIONARIO - ACQUIFERO UNICO

Nella prima fase è stato allestito un modello preliminare esteso all'intera struttura decscritta; è stato inoltre considerato un regime di flusso stazionario, che prevede un afflusso e un deflusso medio pari a quello misurato nel periodo '91-'93. L'area è stata discretizzata in 886 maglie quadrate (Fig.6a).

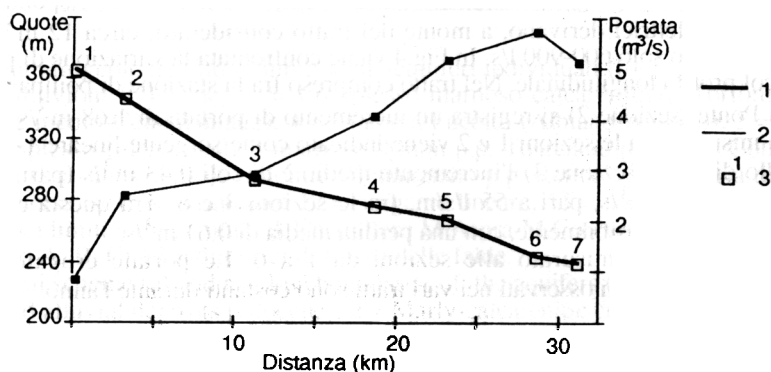


Fig.4 - Confronto fra la variazione di portata media misurata lungo il corso del Nera e la pendenza dell'alveo fra quota 364 e 238m. 1 = profilo longitudinale del corso d'acqua; 2 = variazione della portata media misurata. The variation of the average measured discharge is compared to the longitudinal slope of the river bed between 364 and 238m a.s.l. 1 = longitudinal slope of the river bed; 2 = average measured discharge variation.

Sezione	sez.1	sez.2	sez.3	sez.4	sez.5	sez.6	sez.7	sez.4b.
quota	364 m	345 m	293 m	275 m	266 m	242 m	238 m	275 m
ott-91	0,79	2,66	2,62	3,54	4,52	* 5,08	4,31	0,17
feb-92						* 5,46	4,91	
giu-92	§ 0,81	2,49		3,92		5,66	5,06	
lug-92	§ 0,65	2,28	2,56	3,53	5,11	5,65	5,13	0,16
set-92	0,57	2,33						
dic-92	0,65	2,37	3,08	4,45	5,52	6,4	5,67	0,22
feb-93	0,84	2,5	2,96	4,3	5,23	5,84	5,69	0,21
mar-93	0,85	2,37	2,83	3,85	5,07	5,73	4,77	0,17
giu-93	0,93	2,75	3,26	4,51	5,57	5,9	5,55	0,19
lug-93	0,89	2,34	2,91	3,96	4,83	5,55	4,74	0,20
media	0,78	2,45	2,89	4,01	5,12	5,7	5,09	0,19

§ = valori non misurati direttamente ma calcolati detraendo il prelievo dichiarato dall'ENEL (1,5m<sup>3</sup>/s) dalla portata misurata a monte della stazione di pompaggio B. Cerreto.

\* = misure effettuate a quota 254m. circa 2km a monte della sezione; il valore riportato in tabella è comprensivo di un incremento pari a 0,1m<sup>3</sup>/s. stimato tra q. 254 e 242m.

Tab. 1 - Portata misurata alle sezioni considerate nel periodo ottobre '91-luglio '93.

Measured discharge in the period october '91-july '93.

Sorgente	sl 1-2	sl 2-3	sl 3-5*	sl 5-6	sp.4bis
Quota (m)	364-345	345-293	293-266	266-242	275
ott-91	1,87	0	1,90	0,56	0,17
feb-92					
giu-92	1,68				
lug-92	1,63	0,28	2,55	0,54	0,16
set-92	1,76				
dic-92	1,72	0,71	2,44	0,88	0,22
feb-93	1,66	0,46	2,27	0,61	0,21
mar-93	1,52	0,46	2,24	0,66	0,17
giu-93	1,82	0,51	2,31	0,33	0,19
lug-93	1,45	0,57	1,92	0,72	0,20
media	1,68	0,43	2,23	0,61	0,19

sl = sorgente lineare

sp = sorgente puntuale (Valcasana)

\* = comprende la portata erogata dalla s.p. Valcasana (4bis)

Tab.2 - Portata delle sorgenti puntuali e lineari

Discharge of the linear and punctual springs.

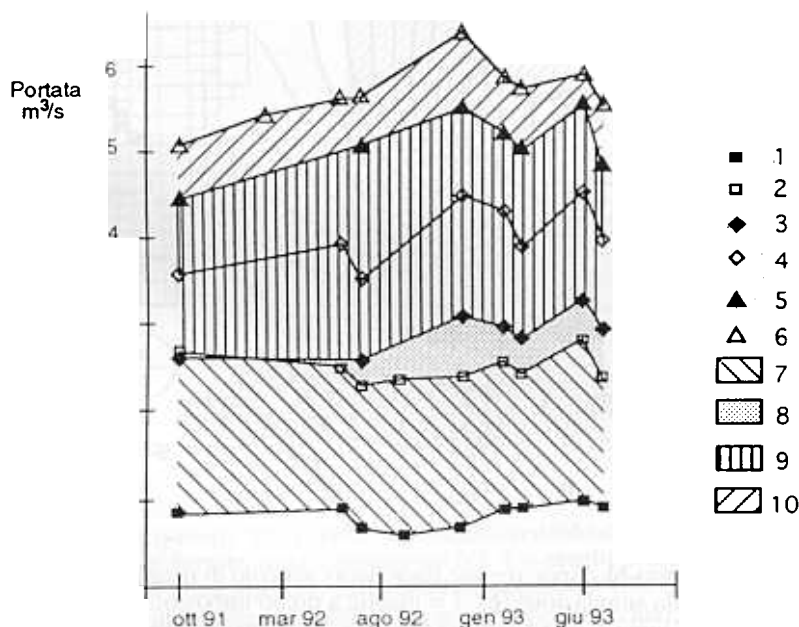


Fig.5 - Variazione degli incrementi di portata fra le sezioni 1 e 6 nel periodo ottobre '91-luglio '93. 1-6 = sezioni di misura della portata da 1 a 6; 7 = portata della sorgente lineare 1-2; 8 = portata della s.l. 2-3; 9 = portata della s.l. 3-5; 10 = portata della s.l. 5-6.

Fluctuation of the discharge increments between measurement sites 1 to 6, during the period october '91-july '93. 1-6 = stream measurement sites numbered from 1 to 6; 7 = discharge of the linear spring 1-2; 8 = discharge of the l.s. 2-3; 9 = discharge of the l.s. 3-5; discharge of the l.s. 5-6.

E' stato inizialmente attribuito all'acquifero un valore di trasmissività uniforme pari a  $2,0E-2 \text{ m}^2/\text{s}$ .

La distribuzione delle portate fornita dalla prima simulazione è incongruente con quella sperimentale (Fig.6b). In particolare il programma Newsam calcola un incremento di portata fortemente in eccesso, rispetto ai dati sperimentali disponibili, nel settore di valle. Successivi tentativi, effettuati modificando la distribuzione dei valori di T e inserendo valori compresi tra  $5,0E-3$  e  $5,0E-1 \text{ m}^2/\text{s}$ , non hanno fornito risultati soddisfacenti.

La struttura non risulta pertanto omogenea, ma è probabilmente suddivisa al suo interno in settori, che alimentano diversi tratti del fiume. Sono stati quindi realizzati separatamente i modelli relativi a tre settori, nell'ipotesi che siano completamente isolati tra di loro. I limiti di permeabilità, indicati in Fig.1b, corrisponderebbero al Complesso marnoso-argilloso-siliceo e alle Marne a Fuocidi aptiano-albiane. Nel seguito vengono presentati i risultati ottenuti per l'acquifero B, in regime stazionario e transitorio.

### 8. SIMULAZIONE 2: ACQUIFERO "B" - REGIME STAZIONARIO

Questo acquifero alimenta il fiume tra quota 293 e 266m dove il Nera incide esclusivamente la Scaglia rosata. La portata media erogata dall'acquifero "B" nel tratto di fiume considerato è pari  $2,23 \text{ m}^3/\text{s}$ , alimentata da un bacino che si estende su un'area di circa  $140 \text{ km}^2$ , dove affiorano la Scaglia, la Maiolica, la Corniola e il Calcere massiccio. I limiti a flusso nullo identificati (Fig. 1b) corrispondono al Complesso marnoso-calcarenitico oligo-miocenico a NW e E, alle Marne a Fuocidi a NE e al Complesso calcareo-silico-marnoso a SW.

La connessione idraulica tra i diversi complessi sarebbe assicurata localmente da motivi tettonici con direzione NW-SE e WNW-ESE, e da un retroscorrimento ad alto angolo, con direzione circa Nord-Sud (BARCHI, 1991) che interessa il fianco occidentale della struttura. L'elevata concentrazione in solfati nelle acque sorgive dovuta ad apporti provenienti dal Calcere massiccio (GIAQUINTO, in REGIONE UMBRIA 1988-89) confermerebbe la locale connessione idraulica fra acquiferi sovrapposti.

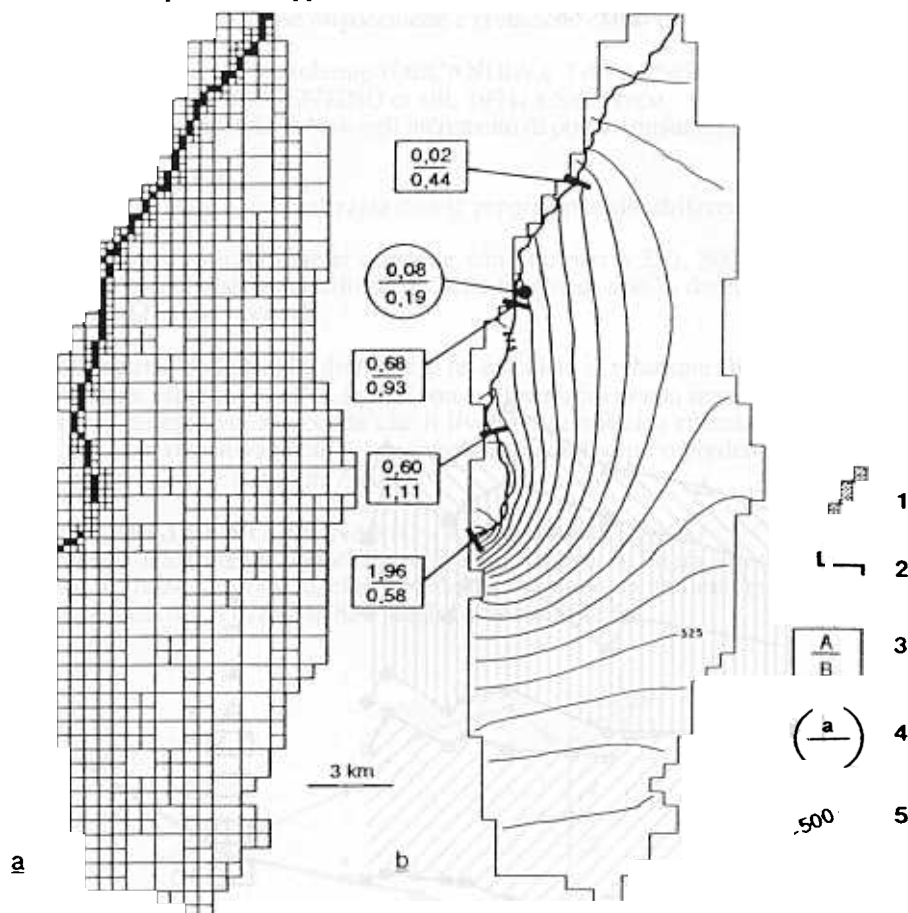


Fig.6 - Simulazione 1, struttura M.Coscerno-M.Aspra, regime stazionario: reticolo di maglie quadrate (a), andamento della superficie piezometrica fornito dalla simulazione (b). 1 = maglie a dreno imposto; 2 = limite a flusso nullo; 3 = incrementi di portata ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) lungo il Fiume Nera (A=valore simulato, B=valore reale); 4 = portata ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) erogata dalla sorgente Valcasana (a=valore simulato, b=valore reale); 5 = isopieze fornite dalla simulazione.

Simulation 1, M.Coscerno-M.Aspra structure, steady-state conditions: finite-difference grid for numerical model (a), computed potentiometric contours (b). 1 = discharging node; 2 = no-flow boundaries; 3 = discharge increments ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) along the Nera river bed (A=simulated discharge; B=observed discharge); 4 = Valcasana spring discharge ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) (a=simulated discharge; b=observed discharge); 5 = computed potentiometric contours.

E' stato realizzato un modello di 569 maglie (Fig.7a). La simulazione in regime permanente è stata tarata sulle portate medie misurate, considerando gli incrementi registrati fra le sezioni 3-4 e 4-5 e la portata della sorgente Valcasana. I risultati ottenuti utilizzando una distribuzione di T pari a  $2,5E-2 m^2/s$  nel settore meridionale e  $7,0E-2$  nel settore settentrionale (Fig.7b) sono soddisfacenti. La piezometria (Fig.7c) digrada da S verso N da quote di 365m fino ai 270m circa della chiusura della sorgente lineare, ubicata all'estremità NW dell'area. Il gradiente varia dal 3 al 10 per mille.

### 9. ACQUIFERO B: SIMULAZIONE IN REGIME TRANSITORIO

In questa fase sono stati utilizzati i dati di portata del periodo luglio '92 - luglio '93, considerando l'incremento complessivo tra Vallo di Nera (sez.3) e S.Valentino (sez.5).

La stima dell'infiltrazione efficace mensile è stata effettuata a partire da dati registrati in 5 pluviometri, forniti dal Serv.Idrografico - Sez.di Roma. L'area di ricarica è stata divisa in 5 topoi. L'afflusso medio sul bacino risulta di 1003 mm per i 12 mesi considerati. La pioggia efficace è stata calcolata col metodo di Thornthwaite, con una capacità di campo di 100 mm. Le temperature medie mensili relative alla quota media delle singole aree sono state ricavate dal gradiente termico regionale. Il ruscellamento è stato considerato, in prima approssimazione, trascurabile. L'infiltrazione efficace calcolata per i 12 mesi considerati è pari a 503 mm, con valori nulli nei tre mesi estivi e un massimo pari a 162 mm nel mese di dicembre.

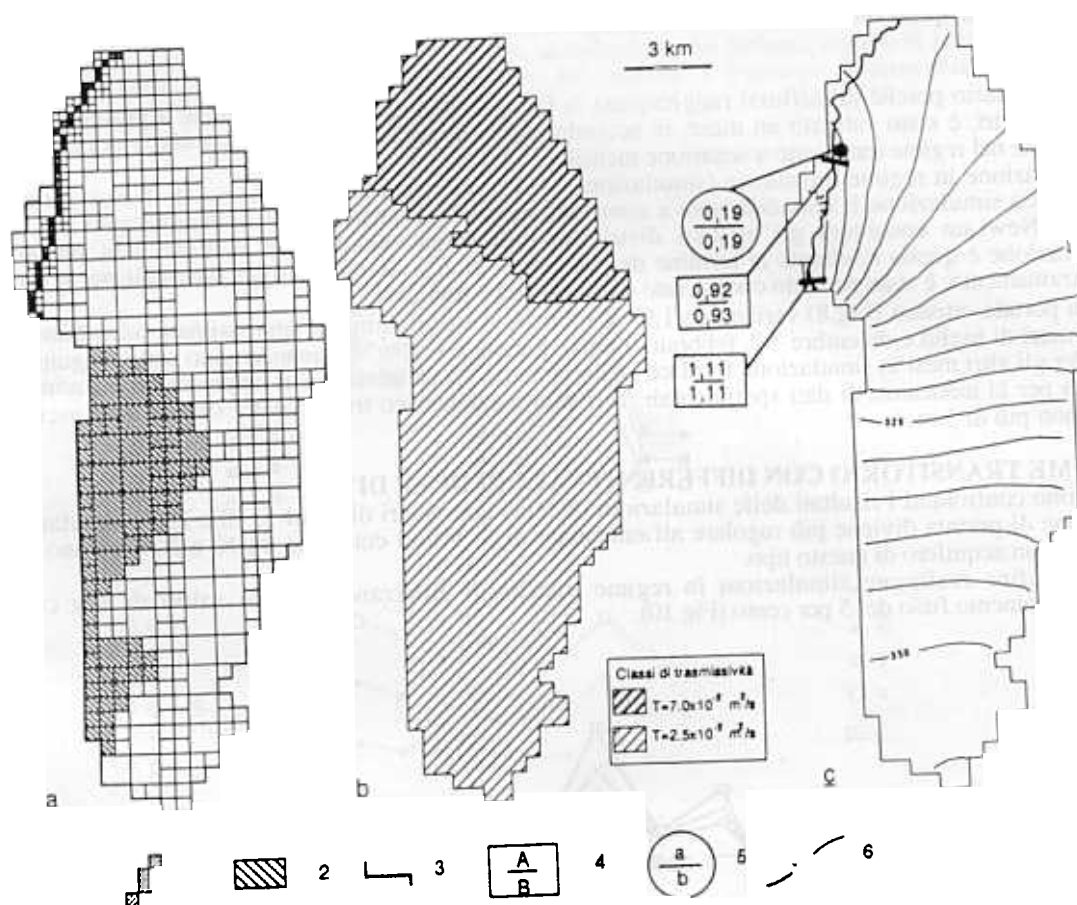


Fig.7 - Simulazione 2, acquifero "B", regime stazionario: reticolo di maglie quadrate (a), distribuzione dei valori di trasmissività (b), isopieze fornite dalla simulazione (c). 1 = maglie a dreno imposto; 2 = settore in cui l'acquifero "B" è coperto dall'area di alimentazione dell'adiacente acquifero "C"; 3 = limite a flusso nullo; 4 = incrementi di portata ( $m^3/s$ ) lungo il Fiume Nera (A=valore simulato, B=valore reale); 5 = portata ( $m^3/s$ ) erogata dalla sorgente Valcasana (a=valore simulato, b=valore reale); 6 = isopieze fornite dalla simulazione.

Simulation 2, "B" aquifer, steady-state conditions: finite-difference grid for numerical model (a), transmissivity value distribution (b), computed potentiometric contours (c). 1 = discharging node; 2 = area where the "B" aquifer underlies the contiguous "C" aquifer; 3 = no-flow boundaries; 4 = discharge increments ( $m^3/s$ ) along the Nera river bed (A=simulated discharge; B=observed discharge); 5 = Valcasana spring discharge ( $m^3/s$ ) (a=simulated discharge; b=observed discharge); 6 = computed potentiometric contours.

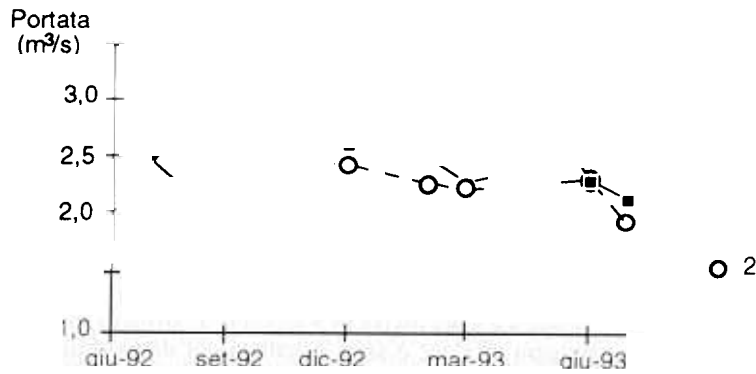


Fig.8 - Simulazione 3: acquifero "B", regime transitorio. Confronto fra i valori di portata forniti dalla simulazione in regime transitorio, a scansione mensile, e la portata misurata della s.l.3-5. 1 = valori di portata simulata; 2 = valori di portata sperimentali.

Simulation 3: "B" aquifer, transient conditions. Monthly regimen computed discharges are matched to the observed discharges of linear spring 3-5. 1 = simulated discharge; 2 = observed discharge.

Il tempo necessario perché gli afflussi raggiungano la falda, che si trova quasi ovunque a profondità di diverse centinaia di metri, è stato valutato un mese, in accordo con la migliore corrispondenza fra le portate osservate e quelle simulate nel regime transitorio a scansione mensile.

Per la simulazione in regime transitorio (simulazione 3) si è utilizzata la distribuzione di T ricavata nel regime stazionario. La simulazione è stata elaborata a scansione mensile partendo dai livelli piezometrici calcolati per il luglio '92. Newsam considera gli afflussi distribuiti uniformemente durante il mese e la portata fornita dall'elaborazione è quella risultante al termine dei 30 giorni. Non sono noti dati sperimentali per il coefficiente d'immagazzinamento; è stato pertanto considerato un valore del 5 per cento.

I valori di portata ottenuti (Fig.8) variano da 1,99 a 3,2 m<sup>3</sup>/s. I valori simulati approssimano sensibilmente quelli reali nei mesi di luglio e dicembre '92, febbraio, marzo, giugno e luglio '93, quando sono state eseguite misure di portata. Per gli altri mesi la simulazione fornisce una portata molto variabile la cui rappresentatività non può essere controllata per la mancanza di dati sperimentali. Il livello piezometrico fornito dalla simulazione oscilla durante l'anno di non più di 5 m.

#### 10. REGIME TRANSITORIO CON DIFFERENTI VALORI DI S E DI T

In Fig.9 sono confrontati i risultati delle simulazioni ottenute con valori di S del 5, 10 e 20% (simulazioni 3, 4 e 5). Il regime di portata diviene più regolare all'aumentare di S. Valori compresi tra 10 e 20% paiono comunque eccessivi per un acquifero di questo tipo.

Sono state infine realizzate simulazioni in regime transitorio utilizzando diversi valori di T e coefficiente d'immagazzinamento fisso del 5 per cento (Fig.10).

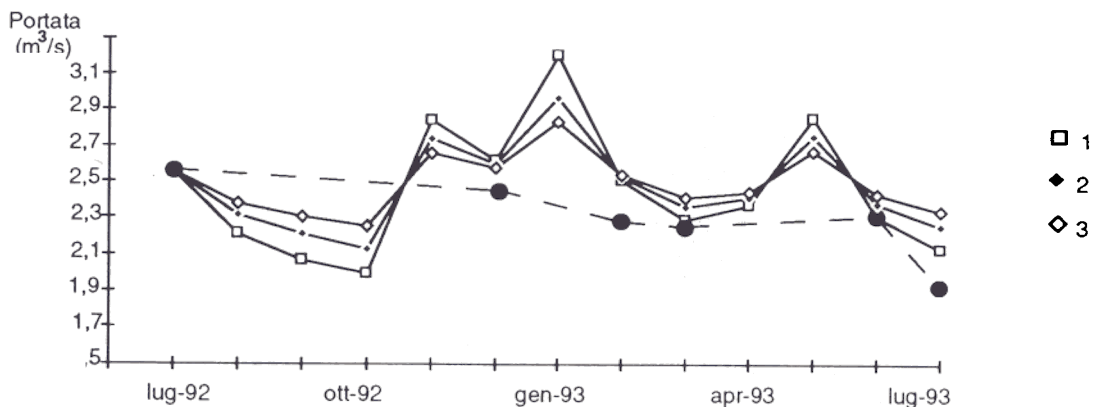


Fig.9 - Acquifero "B", regime transitorio. Confronto fra i valori di portata forniti dalla simulazione con diversi coefficienti d'immagazzinamento. 1 = simulazione 3, S pari al 5%; 2 = simulazione 4, S pari al 10%; 3 = simulazione 5, S pari al 20%; 4 = portata misurata della s.l.3-5.

"B" aquifer, transient conditions. Comparison between monthly regimen discharges computed with different values of storage coefficient. 1 = simulation 3, S: 5%; 2 = simulation 4, S: 10%; 3 = simulation 5, S: 20%; 4 = measured discharge of the l.s.3-5.



Nel primo caso (simulazione 6) i valori di  $T$  sono pari a  $5,0E-2$  e  $9,0E-2m^2/s$ . Le portate fornite dall'elaborazione (Fig.10a), aumentano sensibilmente al crescere dei valori di trasmissività. Nella simulazione 6 la portata in eccesso viene erogata a spese del volume immagazzinato (Fig.10b) che risulta, alla fine dei 12 mesi, in deficit di 42 milioni di metri cubi. Di conseguenza anche la piezometria fornita dalla simulazione dopo un anno (luglio '93) risulta più bassa di circa 10 m rispetto al valore iniziale (luglio '92).

Nella simulazione 7 sono stati usati dei valori di  $T$  più bassi ( $1,0E-2$  e  $4,0E-2m^2/s$ ): le portate risultanti sono nettamente più basse di quelle sperimentali e il volume immagazzinato al termine della simulazione è aumentato di 21 milioni di metri cubi.

Valori di trasmissività maggiori o minori di quelli considerati nella simulazione 3 (Par.9) determinano rispettivamente un aumento o una diminuzione delle portate erogate dall'acquifero a spese o a vantaggio delle riserve immagazzinate, con risultati considerati incompatibili coi dati sperimentali. Ne deriva che i possibili valori di  $T$  risultano compresi fra  $1,0E-2$  e  $5,0E-2m^2/s$  nel settore meridionale e fra  $4,0E-2$  e  $9,0E-2$  nel settore settentrionale. I valori ottenuti tramite le simulazioni esprimono la trasmissività media di vasti settori dell'acquifero e non corrispondono necessariamente (TIBBALI, 1990) con i valori di trasmissività determinati sperimentalmente con prove di emungimento, i cui risultati hanno uno specifico interesse locale.

## 11. CONCLUSIONI

Questi esempi mostrano che un modello, concepito per la simulazione del flusso in un mezzo omogeneo e isotropo, può essere utilizzato anche per la simulazione del flusso di un acquifero carbonatico, dove la circolazione avviene prevalentemente in un reticolo di fessure. E' molto buona la simulazione del regime di portata delle emergenze mentre non è valutabile l'attendibilità dei livelli piezometrici calcolati. Quando si conosce con sufficiente definizione la situazione al contorno di un acquifero (geometria, limiti, distribuzione dei deflussi, regime di portata delle sorgenti, afflussi) le simulazioni numeriche forniscono un campo dei valori di  $T$  piuttosto ristretto al di fuori del quale si

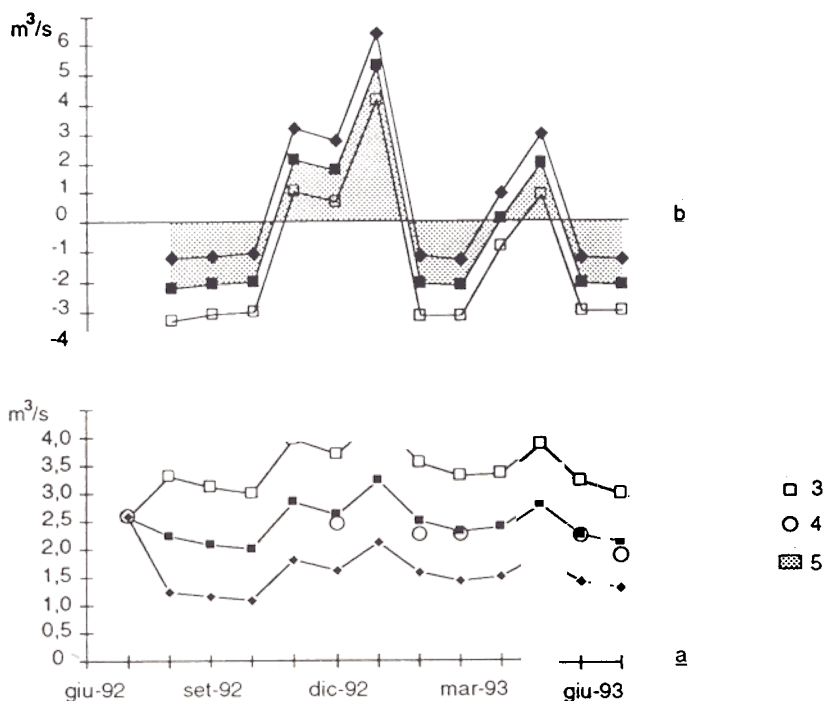


Fig.10 - Acquifero "B", regime transitorio. Confronto fra i valori di portata forniti dalla simulazione con diverse distribuzioni dei valori di trasmissività,  $S$  pari al 5% fisso, e i valori di portata sperimentali della s.l.3-5: regime della portata erogata (a), variazione dell'immagazzinato (b). 1 = simulazione 7,  $T$ :  $1,0-4,0E-2m^2/s$ ; 2 = simulazione 3,  $T$ :  $2,5-7,0E-2m^2/s$ ; 3 = simulazione 6,  $T$ :  $5,0-9,0E-2m^2/s$ ; 4 = portata misurata della s.l.3-5; 5 = volume immagazzinato.

"B" aquifer, transient conditions. Comparison between monthly regimen discharges computed with different values of transmissivity and the observed discharge of the l.s. 3-5; the storage coefficient is 5% in all cases: discharge regimen (a), storage variation (b). 1 = simulation 7,  $T$ :  $1,0-4,0E-2m^2/s$ ; 2 = simulation 3,  $T$ :  $2,5-7,0E-2m^2/s$ ; 3 = simulation 6,  $T$ :  $5,0-9,0E-2m^2/s$ ; 4 = observed discharge of the l.s. 3-5; 5 = storage.

ottengono risultati incongruenti coi dati sperimentali e con logiche considerazioni di bilancio. Maggiore incertezza permane sulla possibilità di valutare il coefficiente d'immagazzinamento. Nel contesto idrogeologico esaminato, per valutare l'attendibilità del modello, sarebbe utile una rete di piezometri, che consentirebbe la definizione del reale campo dei potenziali e quindi la possibilità di definire meglio il campo dei valori medi di T e di S.

#### BIBLIOGRAFIA

- BARCHI M. (1991) - Una sezione geologica bilanciata attraverso il settore meridionale dell'Appennino umbromarchigiano: l'Acquasparta-Spoleto-Accumuli. *Studi Geol. Camerti*, Vol.spec. 1991/1. CROP 03, 347-362.
- BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1986) - Schema idrogeologico dell'Italia centrale. *Mem.Soc.Geol.It.*, (35), 991-1012, 2 tav., Roma.
- BONI C. & PETITTA M. (in stampa) - Sorgenti lineari e valutazione dell'infiltrazione efficace in alcuni bacini dell'Italia centrale. Presentato ai "Seminari sui temi di ricerca attuali nel campo geologico applicativo e nelle discipline affini". Politecnico di Milano 2-5 maggio 1991.
- BONI C., PETITTA M., PREZIOSI E. & SERENI M. (1993) - Genesi e regime delle acque continentali del Lazio. CNR, Roma.
- CENCETTI C., DRAGONI W. & NEJAD MASSOUM M. (1989) - Contributo alle conoscenze delle caratteristiche idrogeologiche del Fiume Nera (Appennino centro-settentrionale). *Geol.Appl.e Idrogeol.*, 24: 191-210, Bari.
- COSENTINO D., SCOPPOLA C., SCROCCA D. & VECCHIA P. (1991) - Stile strutturale dei Monti Sabini settentrionali (Appennino centrale) a confronto. *Studi Geologici Camerti*, Vol.spec., 1991/2, CROP 11, 55-61.
- DECANDIA F.A. (1982) - Geologia dei Monti di Spoleto. *Boll.Soc.Geol.It.*, 101, (2), 291-315.
- DECANDIA F.A., GIANNINI E. & MICHELUCCHINI M. (1980) - I fenomeni sismici ed il recente terremoto in Valnerina - Umbria. *Geologia tecnica*, 1, 37-46.
- DECANDIA F.A. & TAVARNELLI E. (1990) - Il sovrascorrimento di M.S.Angelo-M.Solenne (Ferentillo-Terni). *Studi Geol. Camerti*, Vol.spec., 51-56.
- LEDoux E. & LEVASSOR A. (1989) - Notice Newsam. *Inter.Rep.Ecole des Mines de Paris*, LHM/RD/89/57, Paris.
- PULIDO-BOSCH A. & PADILLA-BENITEZ A. (1988) - Deux exemples de modélisation d'aquifères karstiques espagnols. *Hydrogéologie*, 4, 281-290.
- REGIONE UMBRIA (1988-89) - Piano ottimale di utilizzazione delle risorse idriche della Regione. Studio dei massicci carbonatici. Lavoro inedito, Perugia.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1955) - Carta geologica d'Italia 1:100.000 Foglio 139, L'Aquila. Poligrafico dello Stato.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1968) - Carta geologica d'Italia 1:100.000 Foglio 131, Foligno. Poligrafico dello Stato.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1970) - Carta geologica d'Italia 1:100.000 Foglio 138, Terni. Poligrafico dello Stato.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1941) - Carta geologica d'Italia 1:100.000 Foglio 132, Norcia. Poligrafico dello Stato.
- TIBBALS C.H. (1990) - Hydrology of the Floridan Aquifer System in East-Central Florida. *U.S. Geological Survey Professional Paper 1403-E*.

#### ABSTRACT

In this work the numerical simulation of a carbonate aquifer is attempted using the finite difference code Newsam. M.Coscerno - M.Aspira anticline (Fig.1a and 2) is located in the Umbria-Marche Apennine. The outcropping sequence consists of calcareous formations (Calcere massiccio, Maiolica, Scaglia rosata) interbedded with cherty-marly impervious formations. Since 1991 several hydrogeological surveys have been carried out in order to define the hydrogeological boundaries of the structure and to evaluate ground-water discharge regimen (Fig.4, 5 and Tab.1, 2). Numerical simulation was conducted both in steady-state and transient conditions. The results of the first step (Fig.6) show that the main aquifer is not homogeneous but divided by impervious formations (aquifers A, B, C in Fig.1b). Secondly, another step (aquifer B) allowed to define a possibile distribution of model-derived transmissivity values, which range from  $2.5E-2$  m<sup>2</sup>/s in the South to  $7.0E-2$  m<sup>2</sup>/s in the North (Fig.7). The computed potentiometric surface slopes from South to North on a gradient ranging from 3 to 10 per mill. Thirdly, the simulation of ground-water discharge regimen during the period July '92-July '93 was attempted in transient conditions. The monthly recharge was evaluated from the rainfall using the Thornthwaite method. For the storage coefficient a 5% value was estimated. The results obtained fulfill the requirements: the match between simulated and observed discharges is satisfactory (Fig.8). Finally these results were matched to those obtained with different values of T and S (Fig.9 and 10): the computed discharges obtained with distributions of T which slightly differ from the previous one, disagree with the observed data; at the moment the available information do not allow to evaluate the real values of S.