

VERIFICA SU MODELLO MATEMATICO DELLA POSSIBILITÀ DI REGOLARE IL REGIME DI PORTATA DELLE EMERGENZE NATURALI TRAMITE PRELIEVI ARTIFICIALI

Si intende dimostrare, a mezzo di simulazioni matematiche, che è possibile rendere più regolare la portata di una sorgente, utilizzando le riserve permanenti immagazzinate nel suo bacino di alimentazione. Vengono presi in esame due casi ipotetici, ispirati a situazioni reali, uno relativo ad un acquifero carbonatico sufficientemente omogeneo, l'altro relativo ad un acquifero carbonatico caratterizzato da linee di drenaggio preferenziali, che simulano condotti carsici.

La simulazione matematica è stata eseguita con il programma NEWSAM. Si prevede l'esercizio di due campi pozzi che aumentano le portate di magra del 40% e dell'80% nei due casi considerati e si osserva una corrispondente riduzione delle portate di piena, nel rispetto degli equilibri di bilancio. La simulazione in regime transitorio mette in evidenza che, nei due casi, il nuovo equilibrio viene gradualmente raggiunto dopo sei anni di esercizio.

PAROLE CHIAVE: *Modello matematico, risorse idriche, regime di portata.*

KEY WORDS: *Computer simulation, water resources, spring regimen.*

Obiettivi e metodologia

Il regime di portata delle sorgenti è quasi sempre caratterizzato da notevoli variazioni stagionali; in questi casi, la risorsa idrica utilizzabile per derivazioni risulta pari al valore della portata di massima magra, che si registra generalmente in periodo estivo. Nel caso di acquiferi in cui sia disponibile un serbatoio naturale di compenso sufficientemente capace, costituito dalle "riserve permanenti", esiste la possibilità di elevare le portate naturali di magra, tramite prelievi artificiali, riducendo in egual misura le portate di piena, come già noto da studi precedenti (Boni, 1968, Celico, 1988).

L'operazione può essere condotta con vantaggio solo a condizione che, dopo gli interventi, le portate complessive restino pari a quelle erogate in precedenza, in modo da rispettare rigorosamente il naturale equilibrio fra ricarica e drenaggio. In altri termini, si tratta di rendere più regolare il deflusso senza aumentare i valori medi. Si è inteso verificare, a mezzo di simulazione matematica, la possibilità di raggiungere questi obiettivi.

Vengono presentati alcuni modelli matematici di un'ipotetica struttura idrogeologica, costituita da una sinclinale con al nucleo una formazione carbonatica debolmente piegata e parzialmente saturata da una falda che alimenta una sorgente. I carbonati passano, inferiormente, a marne impermeabili che costituisco-

no il limite a flusso nullo dell'acquifero considerato (Fig. 1). L'area di affioramento dei carbonati è di circa 80 km²; l'acquifero libero alimenta una sorgente di portata media pari a 1550 l/s, posta a quota 324 m, e simulata nel modello con una maglia a potenziale imposto. Nei diversi modelli realizzati sono stati simulati gli effetti prodotti da prelievi artificiali, in due campi pozzi, opportunamente ubicati (Fig. 2).

I modelli sono stati realizzati con il programma di simulazione matematica alle differenze finite NEWSAM, installato su mainframe 3090-600 IBM, presso l'Università di Roma "La Sapienza" (Ledoux & Levassor, 1989). Il territorio in esame è stato suddiviso in 573 maglie quadrate di dimensioni variabili (Fig. 2); la maglia principale (di 1° ordine) è di lato 1 km, mentre le altre hanno dimensioni più ridotte, pari a metà della maglia di ordine superiore, sino al minimo di 62,5 m (5° ordine). La ricarica è stata considerata pari a 600 mm/anno, uniformemente distribuiti sull'intero areale della struttura. In regime transitorio è stato considerato un passo di tempo mensile, in modo da ottenere tutti dati medi mensili. La distribuzione della ricarica risulta concentrata nel periodo autunno-inverno, con massimi nel trimestre dicembre-febbraio (Fig. 4-6); da giugno a settembre incluso, invece, si suppone una ricarica nulla. L'opzione della scansione mensile, sia per gli afflussi che per i deflussi, fa apparire il regime della sorgente più regolare di quanto non sarebbe se la scansione fosse settimanale o giornaliera. La trasmissività dell'acquifero è stata considerata in prima approssimazione costante, sebbene le oscillazioni piezometriche determinino una variabilità di circa il 5%. Si è utilizzato un coefficiente di immagazzi-

Lavoro eseguito con il contributo del Progetto Nazionale 40% M.P.I. e M.U.R.S.T. "Valutazione delle risorse idriche sotterranee nazionali".

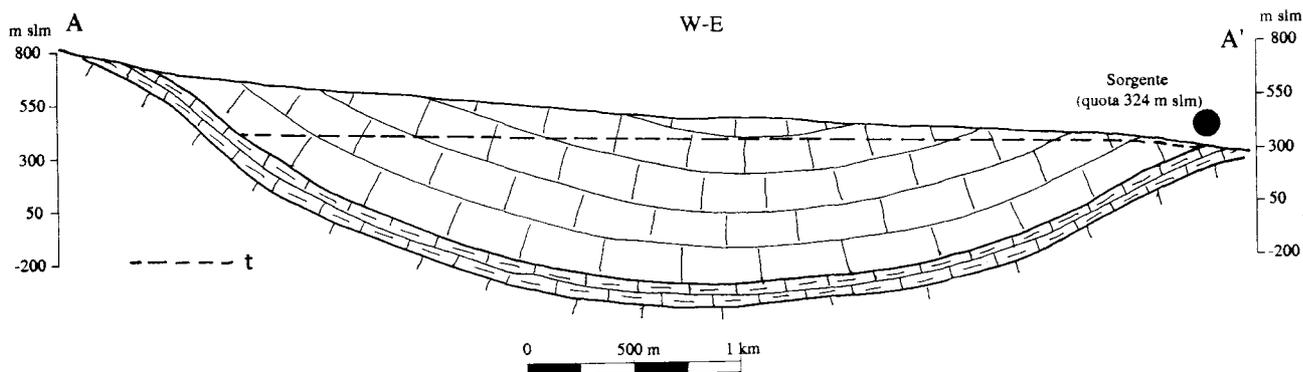


FIG. 1 — Profilo schematico trasversale (E-W) attraverso la struttura idrogeologica considerata. Al nucleo di una sinclinale affiora una formazione carbonatica debolmente piegata, permeabile per fessurazione, che passa inferiormente a marne impermeabili, che costituiscono il limite a flusso nullo dell'acquifero considerato. L'acquifero libero è delimitato da una superficie piezometrica (t) con un gradiente medio del 15 per mille; alimenta una sorgente posta a 324 m e contiene riserve permanenti, immagazzinate a quota inferiore al livello di base.

— W-E Section across a hypothetical hydrogeological structure. It shows a carbonate aquifer feeding a spring (324 m a.s.l.). t- Line of piezometric surface.

namento (S) di 5×10^{-3} , relativamente basso per una falda libera. Valori più elevati avrebbero fornito un regime di portata molto più regolare.

Simulazione di un acquifero carbonatico fessurato, privo di condotti di drenaggio preferenziale

Si è innanzitutto considerato un regime non influenzato da prelievi artificiali, con la ricarica indicata in Tab. 1 e Fig. 4 e con valori di trasmissività compresi tra $1,2 \times 10^{-1}$ e $1,2 \times 10^{-2}$ m²/s, più elevati nei pressi dell'emergenza. Si è utilizzato un coefficiente di immagazzinamento (S) di 5×10^{-3} , relativamente basso per una falda libera. Il gradiente idraulico medio ottenuto in regime stazionario è prossimo al 6 per mille ed aumenta nei pressi della sorgente sino al 20 per mille. La superficie piezometrica raggiunge massimi di 430 m s.l.m. In regime transitorio si ottiene una discreta variabilità delle portate della sorgente, confrontabile con casi reali osservati nell'Appennino Centrale. La portata più elevata (circa 2 m³/s) si registra a fine febbraio, la minima, poco superiore a 1 m³/s, si osserva in settembre, per una variabilità del 30-35% rispetto alla media (Tab. 1 e Fig. 4). La superficie piezometrica raggiunge i massimi in marzo e i minimi in settembre, evidenziando un ritardo relativo rispetto alle portate, ed oscilla di 20-30 metri intorno alla media, con depressioni massime nel periodo estivo (Fig. 3).

Al fine di regolare il regime della sorgente è stato impostato un modello in cui si è prevista la realizzazione di due campi pozzi, opportunamente ubicati (Fig. 2), attraverso i quali prelevare acque sotterranee nei periodi di magra. I pozzi, profondi circa 250 metri, erogano da giugno a novembre una portata complessiva variabile da 30 a 480 l/s, in modo da ottenere una portata pressochè costante, prossima ai 1400 l/s

(Fig. 4). Il nuovo regime di equilibrio viene raggiunto dopo sei anni di esercizio dei pozzi, con portate invernali inferiori di circa 300 l/s rispetto al regime naturale e portate estive complessive di circa 1400 l/s, con un aumento del 40% rispetto alla portata di magra in regime naturale.

La modifica del regime naturale di portata è effettuata nel pieno rispetto dell'integrità della falda e gli incrementi della disponibilità in estate sono realizzati esclusivamente a spese delle portate autunnali-invernali. Una volta raggiunto un nuovo regime di equilibrio, non si registrano variazioni significative né nella distribuzione della portata, né nell'andamento della superficie piezometrica. L'influenza dei prelievi sulla superficie piezometrica è rilevante nei mesi di agosto e settembre, quando i livelli si deprimono anche di 20-25 m rispetto al regime naturale (Fig. 5). I

(l/s)	1	2	3	4
gen	1820	1680	0	1680
feb	2000	1880	0	1880
mar	1970	1860	0	1860
apr	1850	1750	0	1750
mag	1670	1580	0	1580
giu	1440	1370	32	1402
lug	1260	1190	192	1382
ago	1110	1020	352	1372
set	1030	900	480	1380
ott	1220	1070	288	1358
nov	1450	1280	64	1344
dic	1660	1500	0	1500

TAB. 1 — Dati utilizzati per la costruzione del grafico di Fig. 4, espressi in l/s.

— Discharge data (l/s) used in Fig. 4.

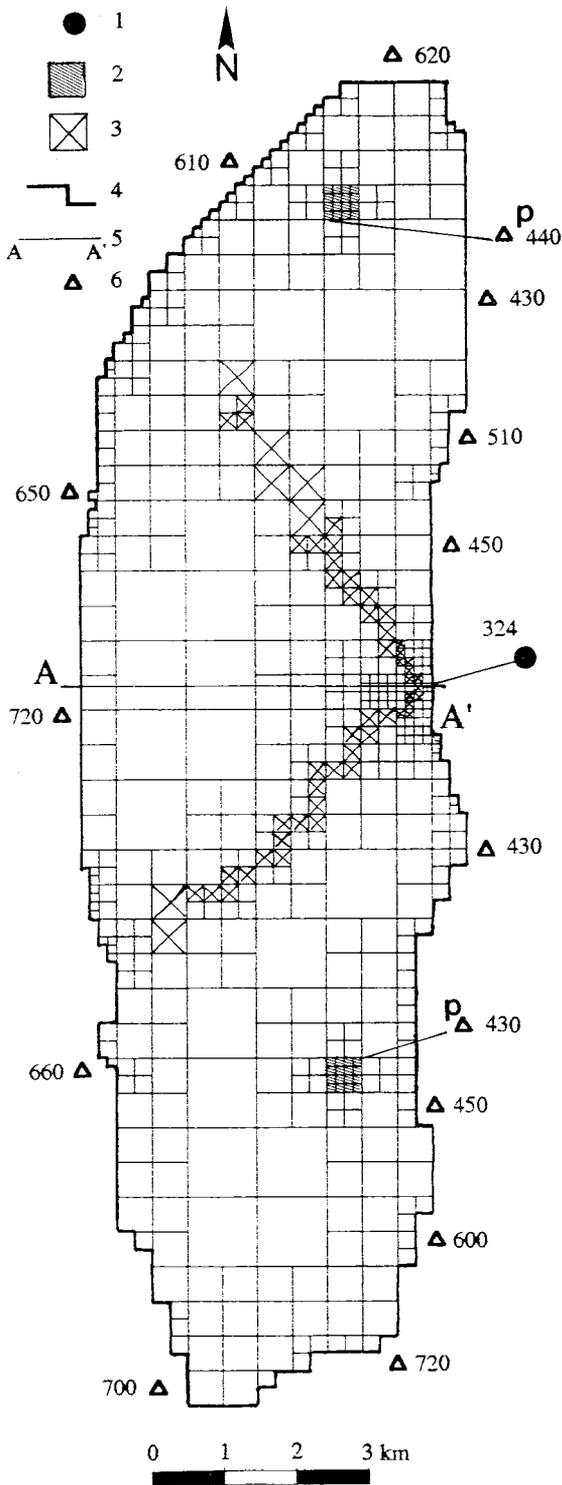


FIG. 2 — Schema dell'acquifero per la simulazione. La struttura in esame, estesa per circa 80 km², è stata suddivisa in 573 maglie quadrate di dimensioni differenti; le maggiori hanno il lato di 1 km, le minori di 62,5 m. La sorgente (1), posta a 324 metri sul livello del mare, viene identificata con una maglia a potenziale imposto. All'interno della struttura sono ubicati due campi pozzi (2), indicati con le lettere p. Le maglie contrassegnate da una X (3) rappresentano un reticolo di drenaggio preferenziale ad alta trasmissività per le acque sotterranee, presente solo nel modello di cir-

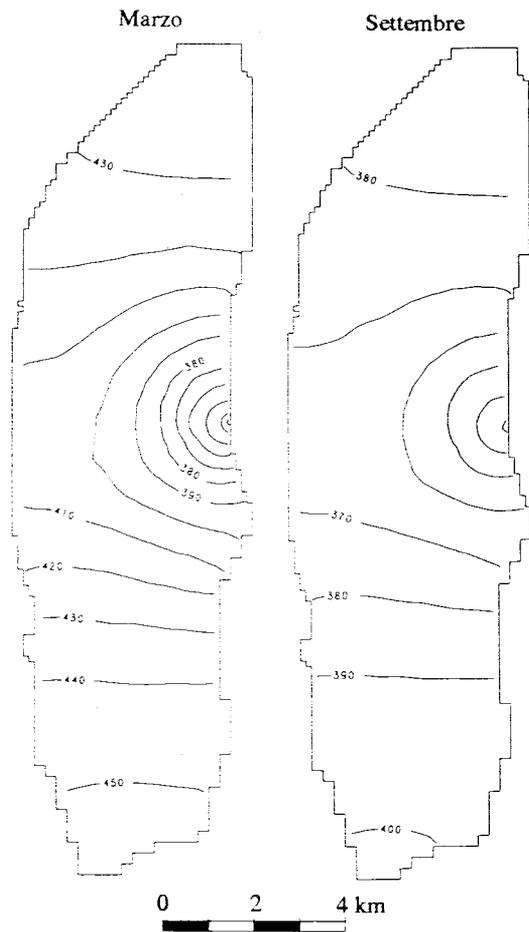


FIG. 3 — Ipotesi di un acquifero carbonatico fessurato privo di condotti di drenaggio preferenziale. Viene rappresentata la superficie piezometrica dei mesi di marzo e settembre, considerando un regime non influenzato da prelievi artificiali, con la ricarica indicata in Tab.1 e Fig. 4 e con valori di trasmissività (T) compresi tra $1,2 \times 10^{-1}$ e $1,2 \times 10^{-2}$ m²/s e coefficiente di immagazzinamento $S = 5 \times 10^{-3}$. Nel mese di marzo, si nota un gradiente idraulico medio di circa 8 per mille, che aumenta fino al 30 per mille in prossimità della sorgente; i gradienti idraulici risultano sensibilmente minori nel mese di settembre. L'oscillazione massima del livello piezometrico è di circa 50 metri, corrispondenti a circa il 10% dello spessore medio dell'acquifero.

— Hypothesis of a homogeneous carbonate aquifer. Water Table in March and September when well-fields were not working. Transmissivity 1.2×10^{-1} — 1.2×10^{-2} m²/s, Storage Coefficient 5×10^{-3} .

colazione carsica. Sono inoltre indicati il limite a flusso nullo che delimita l'acquifero (4), la traccia del profilo (5) riportato in Fig. 1 e alcune quote (6) del limite esterno dell'acquifero, espresse in metri sul livello del mare.

— Finite-difference grid: 1 - Spring; 2 - Well-Field (p); 3 - Karst Drainage Grid (high transmissibility); 4 - No-flow boundary; 5 - Geological section; 6 - Boundary altitude (m a.s.l.).

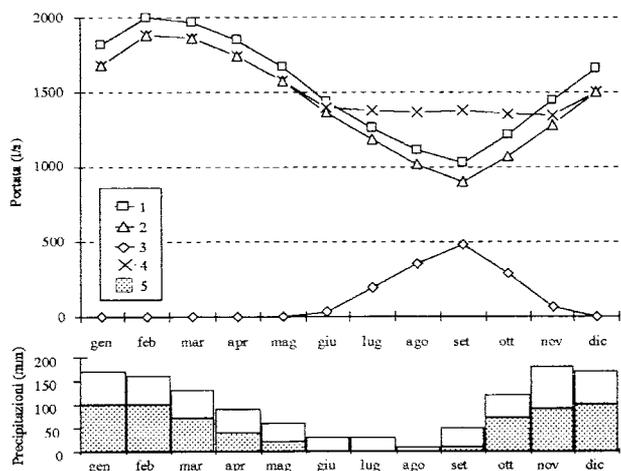


FIG. 4 — Ipotesi di un acquifero carbonatico fessurato, privo di condotti di drenaggio preferenziale, già descritto in Fig. 3. Viene rappresentato il regime di portata della sorgente (1); il prelievo complessivo (3) esercitato dai due campi pozzi indicati in Fig. 2, con massimi di 480 l/s nel mese di settembre; il regime di portata della sorgente a seguito del prelievo (2); la portata complessiva erogata dai pozzi e dalla sorgente (4). Nel grafico inferiore è riportato l'andamento medio mensile dell'infiltrazione efficace (5) e delle precipitazioni. Si considera che il prelievo medio complessivo sia pari alla ricarica media considerata. Si intende esclusivamente regolare il regime di deflusso. È visibile un decremento delle portate della sorgente di circa 300 l/s nel primo semestre e un incremento delle portate utili estivo-autunnali da valori minimi di circa 1000 l/s a valori medi prossimi a 1400 l/s, somma della portata naturalmente erogata e artificialmente prelevata. La condizione di equilibrio rappresentata in questo grafico (linee 2 e 3) si raggiunge gradualmente dopo sei anni di esercizio dei pozzi. La distribuzione dell'infiltrazione efficace nel corso dell'anno evidenzia una lunga fase di ricarica (ottobre-maggio) ed un periodo privo di alimentazione (giugno-settembre).

— Hypothesis of a homogeneous carbonate aquifer. 1) Natural discharge of the spring; 2) Discharge of the spring after pumping; 3) Wells discharge; 4) Total discharge (both spring and wells) of the aquifer, in summer period; 5) Effective infiltration. This regimen is obtained after six years of pumping. Effective infiltration is concentrated from October to May and is equal to zero in summer. Below: precipitation and infiltration regimen adopted in simulation. Summer total discharge increases from 1030 to 1400 l/s. See Tab. 1.

minimi assoluti nelle aree di esercizio dei pozzi sono di circa 354 m, sempre al di sopra della quota della sorgente. Le depressioni vengono comunque rapidamente colmate nel mese successivo al termine dell'esercizio dei pozzi, durante la fase di ricarica dell'acquifero. Nella fase transitoria di sei anni, necessaria al raggiungimento di un nuovo equilibrio (Fig. 6), si registra una graduale riduzione delle portate e un abbassamento medio della superficie piezometrica di circa 10 metri, come risulta dal confronto delle Figg. 3-5. Questo inconveniente può presumibilmente essere sensibilmente ridotto, con una più accorta gestione della portata dei pozzi, durante il periodo di transizione verso il nuovo equilibrio.

Simulazione di un acquifero carbonatico fessurato, con condotti di drenaggio preferenziale

È stata presa in esame una situazione che si differenzia dalla precedente per la presenza di vie preferenziali di scorrimento delle acque sotterranee, costituite, ad esempio, da un reticolo carsico. Si è assegnata alle singole maglie una trasmissività media compresa tra 6×10^{-2} e 6×10^{-3} m²/s. La presenza di cavità carsiche è stata simulata, lungo due direzioni preferenziali di drenaggio dirette verso la sorgente, da due serie di maglie (Fig. 2) cui è stata assegnata una trasmissività molto elevata (1 m²/s). I valori del coefficiente di immagazzinamento (5×10^{-3}) e quelli dell'infiltrazione efficace (Fig. 7) sono identiche al caso precedente.

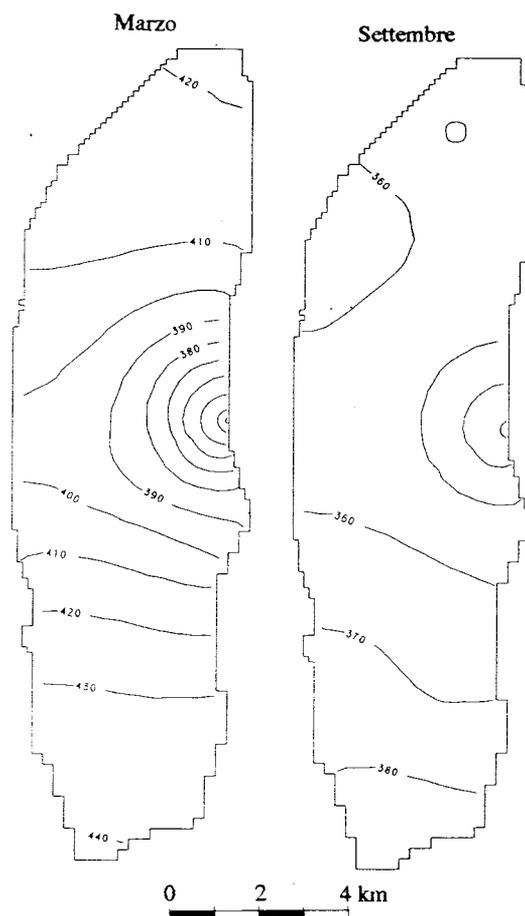


FIG. 5 — Ipotesi di un acquifero carbonatico fessurato, privo di condotti di drenaggio preferenziale, già descritto in Fig. 3. Superficie piezometrica dei mesi di marzo e settembre, relativa al raggiungimento di un nuovo equilibrio dopo sei anni di esercizio dei campi pozzi (Fig. 4). Si nota un abbassamento medio della piezometria di circa 10 metri. Le depressioni prodotte dall'esercizio dei pozzi nel secondo semestre, che non scendono mai al di sotto della quota di naturale emergenza, vengono rapidamente compensate nel primo semestre di ogni anno.

— Hypothesis of a homogeneous carbonate aquifer exploited by two well-fields. Water Table conditions in March and September, after pumping.

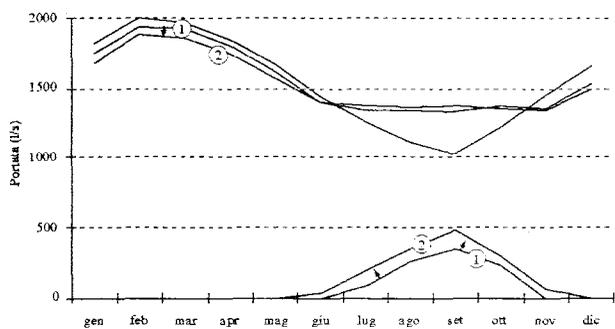


FIG. 6 — Variazione del regime di portata a seguito dei prelievi dai campi pozzi. Ipotesi di un acquifero carbonatico fessurato, privo di condotti di drenaggio preferenziale. Le curve indicate con 1, relative alla portata della sorgente (in alto) e dei pozzi (in basso), rappresentano la situazione dopo un anno di esercizio; negli anni successivi i prelievi dai pozzi aumentano e le portate della sorgente diminuiscono, fino ai valori rappresentati dalle curve indicate con 2, relative al nuovo equilibrio raggiunto dopo sei anni di esercizio.

— Spring discharge (above) changes after well pumping (below). Hypothesis of a homogeneous carbonate aquifer. 1) Spring and well discharge after one year of pumping; 2) Spring and well discharge after six years of pumping. Spring discharge decreases and well pumping increases gradually during this period. The mean discharge remains constant.

Si è ottenuto, in regime stazionario, un gradiente idraulico del 5-7 per mille, ed una superficie piezometrica generalmente più depressa, rispetto al caso precedente, con massimi di poco superiori ai 400 m s.l.m. In regime transitorio si è ottenuta una variabilità del regime della sorgente più pronunciata (60%), con picchi di 2400 l/s in febbraio e minimi di 675 l/s in settembre (Tab. 2 e Fig. 7). Il regime ottenuto è compatibile con quello osservato in alcune sorgenti dell'Appennino Centrale, alimentate da acquiferi carsici.

Anche in questo caso, si è impostato un prelievo dai due campi pozzi (Fig. 2), distribuito tra giugno e

(l/s)	1	2	3	4
gen	2190	1950	0	1950
feb	2430	2230	0	2230
mar	2210	2050	0	2050
apr	1880	1740	0	1740
mag	1510	1390	0	1390
giu	1120	1010	220	1230
lug	880	730	480	1210
ago	710	480	750	1230
set	680	340	860	1200
ott	1200	810	400	1210
nov	1650	1290	0	1290
dic	1980	1680	0	1680

TAB. 2 — Dati utilizzati per la costruzione del grafico di Fig. 7, espressi in l/s.

— Discharge data (l/s) used in Fig. 7.

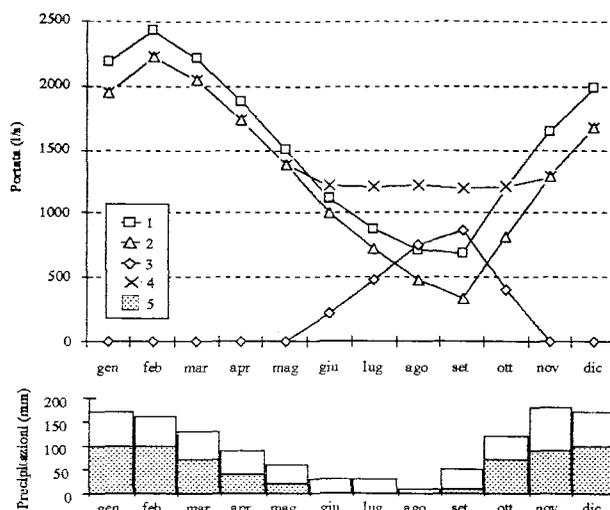


FIG. 7 — Ipotesi di un acquifero carbonatico fessurato, con condotti di drenaggio preferenziale e due campi pozzi in esercizio (Fig. 2). Si considerano valori di trasmissività (T) generalmente compresi tra 6×10^{-2} e 6×10^{-3} m²/s; nei reticoli di drenaggio la trasmissività è pari a 1 m²/s; il coefficiente di immagazzinamento (S) è di 5×10^{-3} . Viene rappresentato il regime di portata della sorgente (1); il prelievo complessivo (3) esercitato dai due campi pozzi; il regime di portata della sorgente a seguito del prelievo (2); la portata complessiva erogata dai pozzi e dalla sorgente (4). L'andamento dell'infiltrazione efficace (5) e delle precipitazioni è identico a quello di Fig. 4. In regime naturale la portata della sorgente varia da un massimo di circa 2500 l/s ad un minimo di 675 l/s. A seguito di un prelievo artificiale nel periodo giugno-ottobre, con massimi di 860 l/s in settembre, si ottiene un decremento medio delle portate autunnali e invernali di circa 200 l/s che, nel rispetto dell'equilibrio di bilancio, consentono alla struttura di erogare in periodo estivo la portata media di 1200 l/s, somma della portata naturalmente erogata dalla sorgente e del prelievo artificiale, con un incremento di oltre 500 l/s della portata di magra.

— Hypothesis of a homogeneous carbonate aquifer with two simulated karst drainage systems. Transmissivity 6×10^{-2} — 6×10^{-3} m²/s, Storage Coefficient 5×10^{-3} . 1) Natural discharge of the spring; 2) Discharge of the spring after pumping; 3) Wells discharge; 4) Total discharge of the aquifer; 5) Effective Infiltration. This regimen is obtained after six years of pumping. Effective infiltration is concentrated from October to May and is equal to zero in summer. Below: precipitation and infiltration regimen adopted in simulation. Summer total discharge increases from 675 to 1200 l/s. See Tab. 2.

ottobre, teso a regolare il regime di portata, sempre nel rispetto del bilancio medio dell'acquifero. La portata artificialmente erogata è stata gradualmente aumentata, di anno in anno, sino a raggiungere i valori indicati in Tab. 2 e Fig. 7. Dopo sei anni di esercizio dei pozzi viene raggiunto un nuovo equilibrio, in cui la portata complessivamente erogata dall'acquifero, in periodo estivo, risulta di circa 1200 l/s; rispetto alla portata di magra di 675 l/s in regime naturale, si registra un incremento della risorsa idrica utilizzabile di circa 80% (Fig. 8). Le portate del primo semestre risultano inferiori di circa 200 l/s in media rispetto al regime naturale.

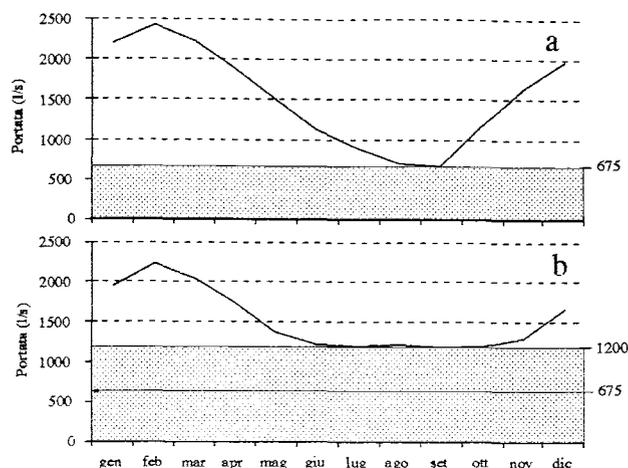


FIG. 8 — Risorse idriche disponibili. Ipotesi di un acquifero carbonatico fessurato, con condotti di drenaggio preferenziale. La risorsa idrica utilizzabile (rappresentata dall'area punteggiata) in regime naturale corrisponde alla portata di massima magra, pari a 675 l/s (a). A seguito dell'intervento, il regime delle portate complessivamente erogate diviene molto più regolare e la risorsa idrica utilizzabile si attesta sui 1200 l/s (b).

— Available water resources. Hypothesis of a homogeneous carbonate aquifer with two simulated karst drainage systems, in natural conditions. The available water resources are 675 l/s (a). After pumping, water resources increase to 1200 l/s (b).

Le depressioni prodotte dall'esercizio dei pozzi raggiungono il massimo nel mese di settembre (Fig. 9), quando i minimi assoluti si attestano sui 305 m s.l.m., valori inferiori di circa 20 metri al livello di base naturale dell'acquifero. Nei mesi successivi tali depressioni vengono rapidamente colmate, sino a giungere ai massimi relativi del mese di marzo. In questo secondo caso, l'abbassamento medio della superficie piezometrica rispetto al regime naturale risulta di circa 5 metri.

Conclusioni

I modelli matematici presentati, relativi a casi ipotetici ispirati a situazioni reali, dimostrano che è possibile usufruire delle riserve permanenti per diminuire le portate di piena, aumentare le portate di magra e rendere quindi più regolari e meglio utilizzabili le risorse erogate da una sorgente.

L'operazione deve essere eseguita con opportuni accorgimenti:

- 1 - occorre conoscere le portate medie erogate dalla sorgente e il suo regime;
- 2 - occorre dimensionare il prelievo in modo tale che la portata complessiva ottenuta non superi quella mediamente erogata in condizioni naturali;
- 3 - la regolazione del flusso avviene molto gradualmente, in un arco di tempo di alcuni anni, duran-

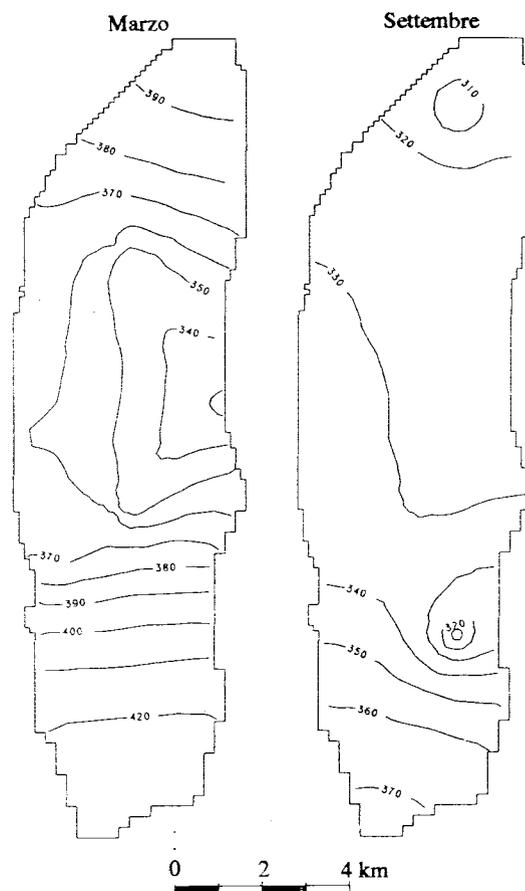


FIG. 9 — Ipotesi di un acquifero carbonatico fessurato, con condotti di drenaggio preferenziale e due campi pozzi in esercizio, già descritto in Fig. 6.

Viene rappresentata la superficie piezometrica dei mesi di marzo e settembre. Nel mese di marzo si osserva un deflusso concentrato verso le linee di drenaggio preferenziali (Fig. 2), che simulano il reticolo carsico. Nel mese di settembre si nota la presenza di pronunciate depressioni in corrispondenza dei campi pozzi; i valori minimi sono di circa 20 metri inferiori rispetto alla quota della sorgente. Nel primo semestre, le depressioni prodotte dal prelievo artificiale sono completamente compensate a seguito della ricarica dell'acquifero. L'equilibrio viene raggiunto dopo sei anni di esercizio, causando un abbassamento medio della superficie piezometrica di circa 5 metri rispetto alla situazione iniziale.

— Hypothesis of a homogeneous carbonate aquifer with two simulated karst drainage systems. Water Table conditions in March and September, after pumping.

te i quali occorre dimensionare opportunamente i prelievi artificiali, per evitare un sovrasfruttamento dell'acquifero e la conseguente caduta piezometrica.

Nei casi esaminati si è ottenuto un aumento delle portate di magra del 40% e dell'80%. L'aumento della risorsa disponibile in periodo di magra potrà essere utilizzato per aumentare la portata derivabile o per assicurare al corso d'acqua alimentato dalla sorgente una portata estiva che non alteri sensibilmente le condizioni ambientali.

SUMMARY

The AA. try to demonstrate the possibility of increasing minimum discharge and decreasing maximum discharge of a spring with an irregular regimen, fed by a carbonate aquifer. This was done by computer simulation pumping permanent reserves during the dry period. Steady-state and transient flow simulations were attempted using the finite-difference code Newsam.

Two hypothetical aquifers were simulated: the first is a homogeneous carbonate aquifer; in the second two drainage systems were introduced, simulating karst channels. Two well-fields pump a variable discharge in both models from June to October.

Minimum discharge increases from 1030 l/s to 1400 l/s in the first model and from 675 l/s to 1200 l/s in the second one. Both maximum and minimum spring discharge decrease gradually. A new state of equilibrium is reached after six years of exploitation.

The mean discharge (including both spring and wells) remains constant. Available water resources in dry period increase 40% in the first model and 80% in the second one.

Manoscritto presentato il 28 ottobre 1992.

BIBLIOGRAFIA

- ANDERSON M.P. & WASOESSNER W.W. (1992) - Applied Groundwater Modeling - Simulation of flow and advective transport. *Academic Press*, San Diego, California.
- BONI C. (1968) - Utilizzazione delle riserve idriche permanenti per regolare il regime delle sorgenti di tabacco. *Geologica Romana*, 7: 405-416.
- BONI C. & PETITTA M. (1991) - Il programma Newsam nella modellistica degli acquiferi carbonatici dell'Appennino centrale. *Atti del Primo convegno nazionale dei giovani ricercatori in Geologia Applicata, Gargnano (Bs), 22-23 ottobre 1991 - Rivista Ricerca scientifica ed educazione permanente*, suppl. 93, Milano.
- CELICO P. (1988) - Prospezioni idrogeologiche. 2: 366-377, *Liguori editore*.
- DE MARSILY G. (1986) - Quantitative hydrogeology. *Academic press*, London.
- KINZELBACH W. (1986) - Groundwater modelling. *Elsevier*, Amsterdam.
- LEDoux E. & LEVASSOR A. (1989) - Notice Newsam. *Inter. Rep. Ecole Des Mines, LHM/RD/89/57*, Paris.
- PULIDO-BOSCH A. & PADILLA-BENITEZ A. (1988) - Deux exemples de modélisation d'aquifères karstiques espagnols. *Hydrogéologie*, 4: 281-290.
- PULIDO-BOSCH A. & PADILLA-BENITEZ A. (1988) - Some consideration about the simulation of karstic aquifers. In "Proceedings of the IAH 21st congress (Guilin, China) - Karst hydrogeology and karst environment protection", 21: 583-588, Beijing, China.
- WANG H.F. & ANDERSON M.P. (1982) - Introduction to Groundwater Modeling - Finite Difference and Finite Element Methods. *Freeman and Company*, New York.