

P. FORTI* - F. FRANCAVILLA** - E. PRATA***
E. RABBI** - A. GRIFFONI*

EVOLUZIONE IDROGEOLOGICA DEI SISTEMI CARSI DELL'EMILIA-ROMAGNA: IL COMPLESSO RIO STELLA - RIO BASINO (RIOLO TERME, ITALIA)

RIASSUNTO - Il sistema carsico di Rio Stella - Rio Basino si sviluppa nei gessi messiniani triassici della "Vena del Gesso Romangola" in località Riolo Terme e rappresenta uno dei più vasti trafori idrogeologici di tutte le evaporiti italiane.

Le analisi sistematiche condotte per un intero anno solare hanno permesso di identificare l'andamento stagionale dei vari parametri idrochimici delle acque sotterranee e di osservare come alcuni di essi siano stati pesantemente modificati da effetti antropici.

Nel presente lavoro, dopo una breve discussione dei dati idrochimici viene presentato lo schema idrogeologico per l'area oggetto dello studio.

ABSTRACT - The Rio Basino - Rio Stella karst system develops inside the messinian gypsum of the "Vena del Gesso Romangola" outcrop near Riolo Terme and is one of the largest hydrogeological tunnels in all the Italian evaporites.

Systematic analyses, carried out over one year, show that the principal chemical parameters of the karst waters underwent seasonal variations, but some of them were also deeply affected by anthropic causes.

In the present paper, firstly hydrochemical data are shortly discussed, then the hydrogeological sketch for the whole karst area is presented.

INTRODUZIONE

Il sistema Rio Stella-Rio Basino presso Riolo Terme è il più importante traforo idrogeologico carsico nei gessi messiniani della "Vena del Gesso" romagnola ed è percorso nel suo tratto ipogeo da un corso d'acqua perenne che, in periodo di piena, può raggiungere portate anche di 1 m³/s. Per questo motivo, nel momento di iniziare lo studio di dettaglio sulla evoluzione dei sistemi idrogeologici carsi-

* Istituto Italiano di Speleologia, via Zamboni 67, 40127 BOLOGNA.

** Dipartimento di Geografia, P.zza Scaravilli 2, 40127 BOLOGNA.

*** Dipartimento di Geologia, Via Zamboni 67, 40127 BOLOGNA.

ci dell'Emilia Romagna (FORTI et al., 1985), il sistema Rio Stella-Rio Basino venne scelto quale rappresentante di tutti quelli presenti nella Vena del Gesso romagnola.

L'interesse idrogeologico dell'area del Rio Stella-Rio Basino era già nota agli inizi del novecento (DE GASPERI, 1912) anche se si doveva attendere oltre mezzo secolo perchè venisse dimostrata l'effettiva connessione tra i due corsi d'acqua epigei attraverso una sola cavità carsica che risultò esser lunga quasi un chilometro e mezzo (BENTINI et al., 1964).

Nel presente lavoro, dopo aver brevemente tratteggiato la situazione geologico-strutturale dell'area, si discutono i risultati delle analisi idrochimiche che, con cadenza mensile, sono state condotte nell'arco di un intero anno solare in punti dislocati lungo tutto il sistema idrogeologico. I dati così ottenuti sono quindi serviti per costruire uno schema idrogeologico per il sistema carsico Rio Stella-Rio Basino ed anche per poter evidenziare un caso, abbastanza grave, anche se limitato nel tempo, di inquinamento antropico delle acque che fluiscono all'interno del sistema.

CENNI GEOLOGICI-STRUTTURALI

Stratigraficamente (v. Fig. 1) l'area studiata è costituita da quattro unità litostratigrafiche ben definite (RICCI LUCCHI, 1975; VAI & RICCI LUCCHI, 1976, 1977; CREMONINI & MARABINI, 1982; MARABINI & POLUZZI, 1977):

- 1 — Parte alta della F. Marnoso Arenacea (Messiniano inferiore)
- 2 — Formazione Gessoso-Solfifera (Messiniano inferiore)
- 3 — Formazione a Colombacci (Messiniano superiore)
- 4 — Argille grigio-azzurre (Pliocene)

Tra il Monte della Volpe ed il Torrente Sintria, e quindi anche nella valle cieca del Rio Stella, alle peliti torbiditiche della parte sommitale della F. Marnoso-Arenacea si sovrappongono "peliti pre-evaporitiche" su interposti livelli carbonatici di spessore da centimetrico a decimetrico.

Seguono quindi i "cicli deposizionali evaporitici", che presentano le facies tipiche descritte da VAI & RICCI LUCCHI (1976-1977) e MARABINI & VAI (1985) e a questi lavori rimandiamo per la

loro descrizione dettagliata.

Nella falesia che chiude a Nord il bacino imbrifero del Rio Stella affiorano 15 banchi appartenenti sia ai cicli evaporitici maggiori basali (sensu VAI & RICCI LUCCHI, 1977), che quelli minori sommitali.

Alla base della falesia si ritrovano brandelli di calcari stromatolitici ("calcare di base"), molto mascherati dal detrito di falda, ed anche frammenti di calcari a Lucina provenienti da olistoliti inglobati nelle peliti pre-evaporitiche.

A chiudere il ciclo Messiniano si ha la Formazione a "Colombacci", che in questa zona si presenta come una successione alquanto irregolare di peliti varicolori contenente corpi lenticolari sabbiosi e conglomeratici, con intercalate sottili bande di peliti carbonatiche. A contatto con i gessi si trovano spesso argille azzurro-scuro contenenti corpi lentiformi di brecciole; tali argille sono molto fossilifere con faune tipiche di ambiente laguare di bassa salinità. L'affioramento più significativo di questa zona si trova in località i Crivellari, poche centinaia di metri sulla destra della risorgente carsica del Rio Basino. Si possono notare qui lenti conglomeratiche costituite da una alternanza di livelli sabbiosi e di ciottoli ben cementati ed arrotondati, la cui embriatura indica chiaramente un trasporto verso Nord.

A questa formazione seguono le argille grigio-azzurre plioceniche in contatto nettamente discordante.

Poichè l'area oggetto del presente studio idrogeologico è troppo esigua per poter fornire un quadro tettonico di ampio respiro, ci limiteremo a segnalare e descrivere le strutture più importanti e significative (v. fig. 1 e 2). Tali lineazioni comprendono:

- 1 - Faglie ad andamento appenninico, verticali o subverticali.
- 2 - Faglie ad andamento antiappenninico (con direzione NE-SW), trasversali destre e sinistre.
- 3 - Faglie ad andamento appenninico, inverse, debolmente immergenti verso la pianura, responsabili di frequenti raddoppiamenti all'interno della formazione evaporitica.
- 4 - Riattivazione dei sistemi precedenti soprattutto lungo faglie inverse e trascorrenti.

Faglie del primo e del secondo tipo sono chiaramente visibili nel bacino imbrifero del Rio Stella; infatti la loro intersezione provoca lo smembramento dell'area in numerosi "blocchi" variamente dislocati.

Il fascio di faglie trascorrenti antiappenniniche che dalla valle cieca del Rio Stella si prolunga nella Formazione Gessoso-Solfifera, pro-

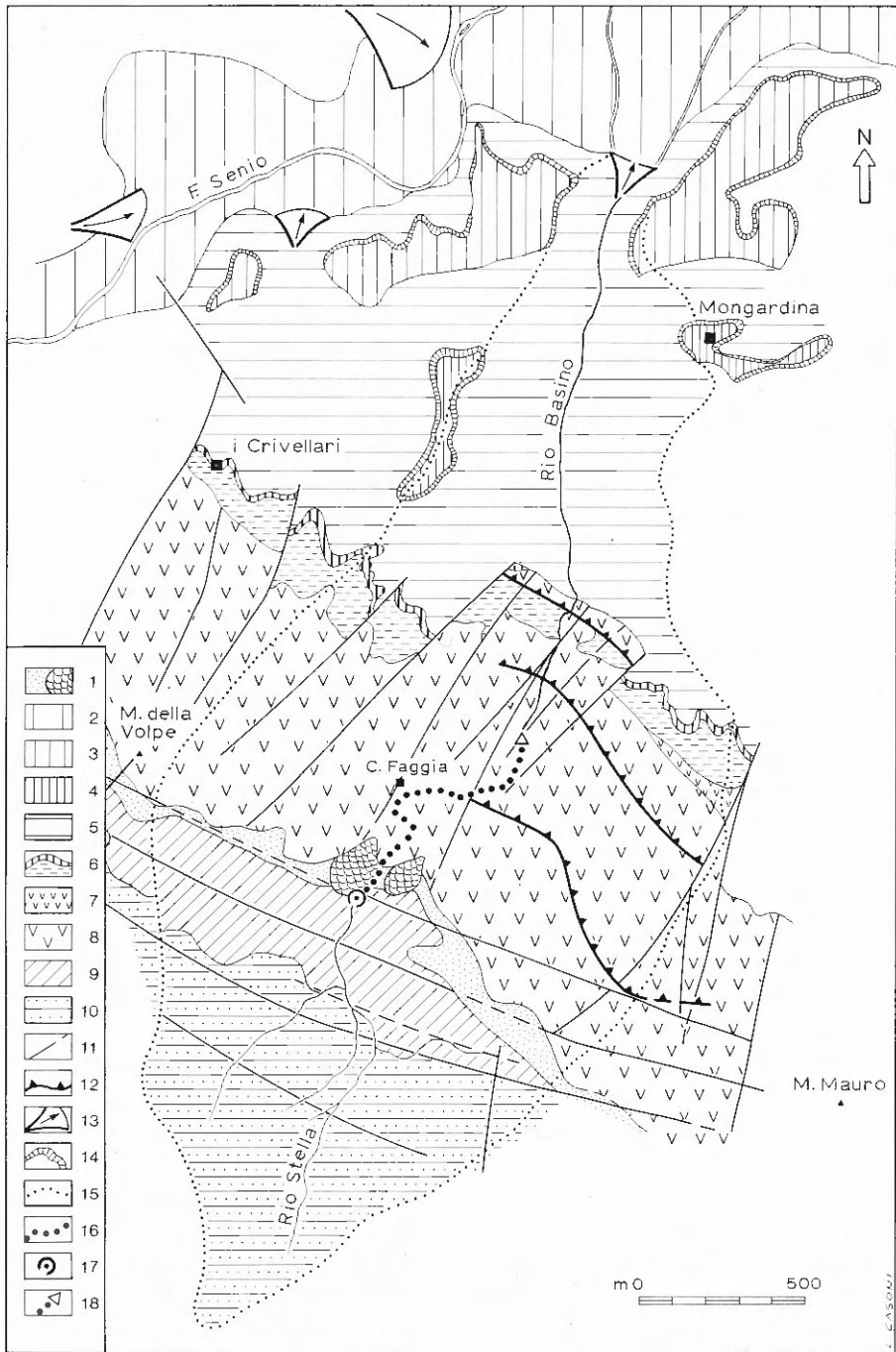


Fig. 1 - Schema geologico dell'area: 1 - depositi detritici e per frana; 2 - depositi alluvionali terrazzati del IV e III ordine; 3 - depositi alluvionali terrazzati del II ordine; 4 - depositi alluvionali terrazzati del I ordine; 5 - argille azzurre (Pliocene inferiore-medio); 6 - Formazione a colombacci (Messiniano superiore); 7 - formazione gessoso-solfifera (banchi superiori p.p.); 8 - formazione gessoso solfifera; 9 - marne di letto (Messiniano inferiore); 10 - formazione marmoso-arenacea; 11 - faglie; 12 - sovraccorrimenti; 13 - coni di deteazione; 14 - scarpate dei terrazzi fluviali; 15 - spartiacque; 16 - gallerie carsiche ipogee; 17 - inghiottitoio principale; 18 - risorgente.

voca un abbassamento del blocco centrale della falesia in corrispondenza dell'inghiottitoio, con formazione di un "mini-graben" secondo MARABINI & VAI (1985).

Queste trascorrenti vengono sempre suturate dal pliocene, e costituiscono quindi una fase prettamente intramessiniana.

In prossimità della risorgente carsica del Rio Basino si è rinvenuto anche il terzo tipo di dislocazioni; si ha infatti un modesto sovrascorrimento per faglia inversa dei banconi del primo e del secondo ciclo su quelli superiori. La vergenza di tale sovrascorrimento è SSW.

In questa zona si nota anche una probabile dislocazione della base dell'onlap pliocenico per faglie trascorrenti trasversali con direzione molto prossima a quelle delle trascorrenti intramessiniane. Non si può escludere infatti che esse rappresentino una semplice riattivazione di queste ultime.

Le lineazioni strutturali sopra descritte hanno determinato e controllato l'impostazione e la successiva evoluzione del bacino idrogeologico del Rio Stella - Rio Basino.

MORFOLOGIA DI SUPERFICIE

Il Rio Stella ed il Rio Basino sono in effetti un unico corso d'acqua che ha inizialmente un percorso subaereo (Rio Stella), successivamente sotterraneo quando attraversa la "Vena del Gesso" romagnola, e poi ancora a cielo aperto sino alla confluenza nel Fiume Senio (Rio Basino) (v. fig. 3).

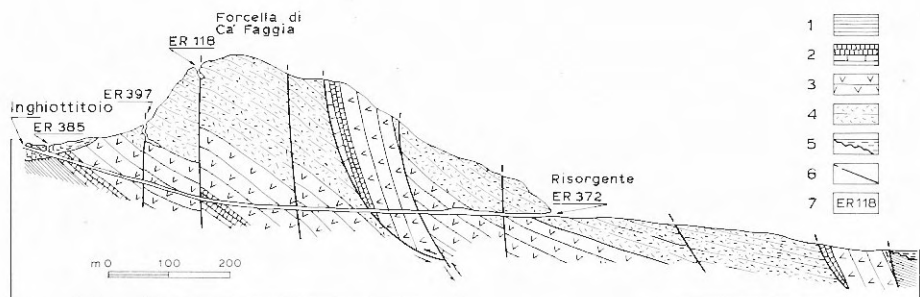


Fig. 2 - Sezione idrogeologica lungo l'asse Rio Stella-Rio Basino: 1 - Marne di letto (Messiniano inferiore); 2 - Intercalazioni marnoso-calcaree; 3 - Formazione gessoso solfifera gessi macro-cristallini; 4 - Formazione gessoso solfifera gessi microcristallini; 5 - argille plioceniche; 6 - faglie; 7 - Ingressi delle cavità con il loro numero catastale.

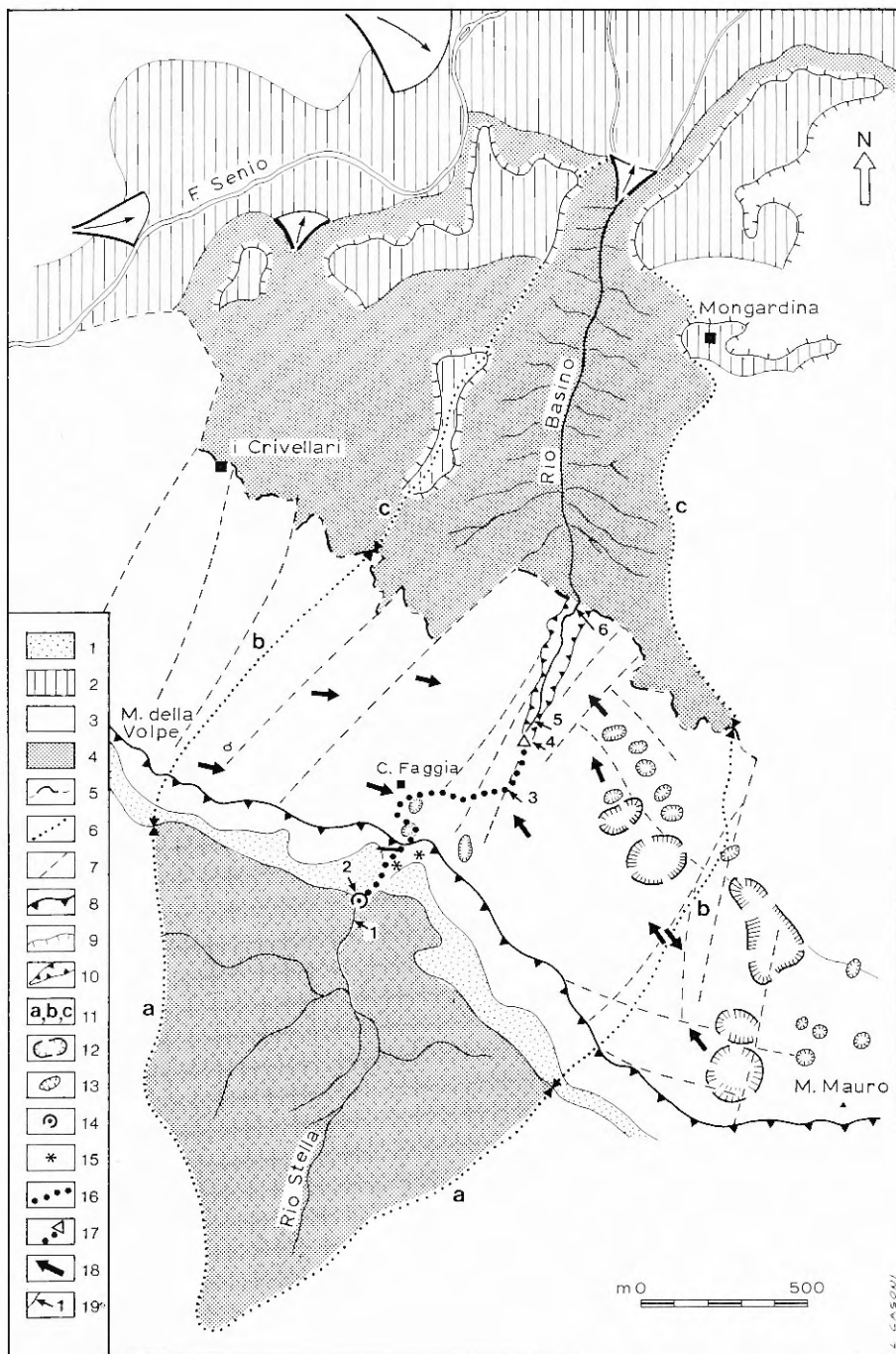


Fig. 3 - Schema idro-geomorfologico per l'area in oggetto: 1 - depositi detritici e per frana; 2 - depositi alluvionali terrazzati; 3 - area di affioramento dei "gessi" e del marne della "Formazione a colombacci"; 4 - Formazioni sovra e sottostanti i gessi; 5 - limite con le formazioni argillose pioceniche sovrastanti; 6 - limite con le formazioni marmose e arenacee sottostanti; 7 - linee e campi di fratture; 8 - orlo di scarpata strutturale; 9 - orlo di scarpata di erosione; 10 - forra; 11 - spartiacque del sistema carsico; A) valle cieca del Rio Stella, B) spartiacque sotterraneo; C) spartiacque del Rio Basino; 12 - doline principali; 13 - doline avventizie; 14 - inghiottitoio del Rio Stella; 15 - inghiottitoi fossili; 16 - gallerie carsiche ipogee; 17 - risorgente del Rio Basino; 18 - principali linee di deflusso per le acque carsiche; 19 - stazioni di campionamento delle acque del sistema carsico.

Questo sistema carsico comprende pertanto, da un punto di vista morfologico, 4 sottounità:

- 1 - La valle cieca del Rio Stella, di 1.56 Km², ampia a monte e imbutiforme verso il contatto con i gessi.
- 2 - Il traforo carsico dei gessi, che si sviluppa per 1450 m lungo l'asta principale.
- 3 - La forra del Rio Basino dopo la risorgente, con uno sviluppo di 450 m circa.
- 4 - Il bacino imbrifero del Rio Basino, che, una volta attraversati i gessi, si apre nelle argille del Pliocene sino alla confluenza nel Senio, dopo circa 1.8 Km, la cui ampiezza è di 2 Km² circa.

Lo spartiacque del Rio Stella si mantiene attorno a quote di 400 m slm ed il punto più basso si ha laddove le acque del rio scompaiono (247 m slm) inghiottite da una fenditura principale e da alcuni meati entro i depositi di frana accumulatisi al piede della "falesia" gessosa che sbarra la valle dello stesso Rio Stella.

La forma della valle circa è stata probabilmente controllata da tutta una serie di dislocazioni i cui orientamenti principali (v. paragrafo precedente) sono chiaramente riconoscibili nei gessi.

La monoclinale dei "gessi", che si incontra successivamente, ha quote che si elevano sino ai 407 m di Monte della Volpe e ai 515 di Monte Mauro. Lungo la parete della monoclinale vi sono numerosi inghiottitoi e fratture beanti. Gli inghiottitoi sono per lo più ubicati su delle balconate naturali formatesi in corrispondenza di interstrati argillosi tra un bancone e l'altro di gesso.

Tra la cima arrotondata di Monte della Volpe e le guglie di Monte Mauro il crinale si abbassa sino ai 363 m della Sella di Ca' Faggia. DE GASPERI (1912), osservando la morfologia di questa soglia, ipotizzò che il Rio Stella, inizialmente, scavasse i gessi nel punto più basso del rilievo, appunto la sella di Ca' Faggia; questo autore sosteneva anche di aver trovato i segni di tale percorso subaereo, sotto forma di solchi erosivi sulle pareti della forcilla: attualmente però tali segni non sono più visibili, forse anche a causa dei lavori di sbancamento operati per allargare la strada che porta all'interno della valle cieca.

Più recentemente MARABINI & VAI (1985) hanno invece spiegato l'esistenza di questa sella con motivi strutturali (mini-graben). È nostra opinione che le due ipotesi non siano in contrasto tra loro, potendo la sella strutturale aver funzionato per un certo periodo di tempo, da sfioratore idraulico per il Rio Stella, prima del suo ina-

bissamento nei gessi.

Lungo le pareti della "falesia" dei gessi sono riconoscibili tre distinti livelli di inghiottimento delle acque, attualmente fossili: questi corrispondono abbastanza bene ai tre ordini di terrazzi riconosciuti nella contigua valle del Senio.

La forra iniziale del Rio Basino si compone di una profonda incisione, la cui velocità di formazione, dovuta all'alta solubilità e alla scarsa tenacità del gesso, ha permesso che in alcuni punti si creassero brevi tunnel analoghi, se non per le dimensioni, alla grotta principale.

La forra suddetta non è mai più ampia di 10 m e presenta le massime sezioni in corrispondenza delle zone tettonicamente disturbate.

Il Rio Basino, infine, presenta un bacino a carattere calanchivo nelle argille plioceniche che si trovano tra i gessi ed il fondovalle.

L'area carsica è caratterizzata dalla presenza di doline, più o meno ampie, a volte chiaramente allineate lungo linee tettoniche; le microforme, invece, non sono molto abbondanti e si limitano ad alcuni karren ove affiora il gesso a grana fine e a grandi candele vicino ad alcuni inghiottitoi sulla "falesia".

MORFOLOGIA E IDROLOGIA SOTTERRANEA

Come per gli altri sistemi carsici nei gessi messiniani dell'Emilia-Romagna (FORTI et Al., 1985; FINOTELLI et Al., 1986), la speleogenesi è stata controllata dall'assetto strutturale degli affioramenti.

Il collettore sotterraneo che è orientato come la forra esterna del Rio Basino, si sviluppa lungo una linea disgiuntiva del sistema di faglie antiappenninico; i principali piani verticali di drenaggio, cui in superficie corrispondono allineamenti di doline, si sono invece sviluppati in corrispondenza di campi di fratture collegate a faglie orientate in senso appenninico.

Il sistema sotterraneo raccoglie non solo le acque del bacino idrografico del Rio Stella, ma, almeno in parte, anche quelle drenate dagli affioramenti gessosi fra Monte della Volpe e Monte Mauro. Solo nel 1964 è stata trovata la comunicazione tra le grotte di ingresso e di uscita del sistema, anche se già in precedenza ne era stato riconosciuto il collegamento idrologico mediante prove con traccianti.

Il bacino nel suo insieme comprende numerosi sottobacini carsici che fanno capo alle numerose doline ed inghiottitoi distribuiti in su-

perficie, con circuiti, però, non del tutto percorribili dall'uomo e a tutt'oggi solo parzialmente noti per quanto riguarda i reciproci rapporti.

Il regime idrico del corso d'acqua sotterraneo è caratterizzato da alta velocità di scorrimento e ritenzione praticamente nulla, essendo i condotti dimensionati per il massimo deflusso. Solo in occasione di forti afflussi meteorici gli inghiottitoi e le fratture beanti sul fondo della valle cieca, non riescono a smaltire tutta l'acqua precipitata.

Inoltre, saltuariamente, le acque sotterranee invadono anche gran parte degli ambienti ipogei, come testimonia la presenza di detriti e altri resti di piena sulle pareti e sul soffitto di piccole sale le quali, normalmente vuote e percorribili, sono state palesemente invase dalle acque in pressione per tutto il loro volume. Pertanto alcuni tratti della grotta, specie i primi dopo l'inghiottitoio, nei periodi di piena possono assumere il carattere di condotte forzate, come del resto anche alcune morfologie presenti suggeriscono.

Il sistema carsico è divisibile, da un punto di vista morfologico e idrodinamico, in due parti: la prima con inizio presso l'inghiottitoio ove scompaiono le acque del Rio Stella ha condotti stretti e un gradiente maggiore rispetto alla seconda, che si estende sino alla risorgente, dove gli ambienti sono molto più grandi e le acque del torrente fluiscono sempre liberamente non raggiungendo mai condizioni di allagamento totale dei condotti.

BENTINI et Al. (1964) e FRATTINI (1954) hanno misurato all'ingresso della Grotta sorgente del Rio Basino in piena (Maggio) portate di 485 l/s, mentre in magra (Agosto) la portata si riduceva solo a soli 4-5 l/s.

Il rapporto tra portata di colmo e di magra risulta quindi essere di 120:1 e indica che il sistema carsico può esser classificato come parzialmente inomogeneo ma con caratteristiche molto simili a un sistema totalmente inomogeneo (FORTI, 1986): in pratica questo significa che la grande maggioranza delle acque che fluiscono all'interno dell'acquifero carsico sono canalizzate in ampie condotte caratterizzate da velocità di flusso elevate (0.5-1 m/s), anche se ha ancora un certo peso l'alimentazione attraverso le leptoclasti e le microfratture dei blocchi gessosi con velocità di flusso nettamente minori (0.1-1 m/h).

I valori di portata misurati, poi, corrispondono a contributi unitari del bacino sotteso (Rio Stella ed area carsica interessata) di 310.9

l/s per Km² (Maggio), di 18.6 l/s per Km² (Giugno) e 2.6-3.2 l/s per Km² (Agosto). Questi valori risultano mediamente superiori all'afflusso meteorico nel bacino considerato e lasciano intendere che il rio sotterraneo oltre alle acque del Rio Stella ed a quelle infiltratesi attraverso doline ed inghiottitoi, riceve anche acque drenate dai rilievi adiacenti Monte Mauro e Monte della Volpe, tramite due affluenti ipogei, che raggiungono il sistema principale circa a metà strada tra l'inghiottitoio e la risorgente e che ancora non sono stati esplorati direttamente.

Tuttavia anche ammettendo l'apporto di questi affluenti sotterranei, l'effetto della condensazione, specialmente nei mesi estivi è sicuramente cospicua, come è stato recentemente dimostrato per i gessi bolognesi (FORTI & CIGNA, 1986), contribuendo in modo rilevante all'alimentazione del corso d'acqua sotterraneo soprattutto nei mesi estivi.

I PARAMETRI IDROCHIMICI DELLE ACQUE CARSIICHE

Per definire l'evoluzione spazio-temporale dei parametri chimici delle acque circolanti nell'acquifero carsico, sono stati scelti 6 punti di controllo:

- 1 - Nel Rio Stella, prima che questo arrivasse all'inghiottitoio.
- 2 - Subito all'interno dell'inghiottitoio, sotto il pozzo di ingresso.
- 3 - Circa a metà strada del percorso ipogeo tra l'inghiottitoio e la risorgente.
- 4 - Sempre all'interno del sistema ma a pochi metri dalla risorgente.
- 5 - Nel Rio Basino pochi metri dopo la risorgente.
- 6 - Nel Rio Basino nel punto in cui questo abbandona la formazione gessosa al termine della forra.

Analogamente a quanto fatto per gli altri sistemi carsici già studiati (CUCCHI et Al., 1987; FORTI et Al., 1985; 1986), si sono eseguiti campionamenti e misure in tutti i punti di controllo con cadenza mensile e per un intero anno solare (Novembre 1982-Novembre 1983).

I metodi di campionamento e di analisi sono gli stessi messi a punto per le ricerche precedenti (FORTI et A., 1985, 1986) e si rimanda alle relative pubblicazioni per i dettagli analitici.

Qui di seguito verranno brevemente descritti i più importanti trends osservati per i principali parametri analitici misurati.

1 - *Temperatura*

L'andamento annuale della temperatura dell'acqua di scorrimento nel sistema Rio Stella - Rio Basino segue in generale un trend normale, con maggiori escursioni termiche all'esterno rispetto ai punti interni.

Nonostante questa "normalità" di comportamento, tuttavia, è possibile osservare alcuni andamenti stagionali "anomali" che necessitano di una sia pur breve spiegazione.

Innanzitutto il fatto che in inverno la temperatura dell'acqua sia inferiore all'interno dell'inghiottitoio che all'esterno nel Rio Stella è da mettersi in relazione alla particolare circolazione d'aria esistente in questo primo tratto di grotta, ove l'inghiottitoio vero e proprio funge da bocca bassa e il pozzo di accesso verticale, iniziando da una quota di circa 10 metri superiore, da bocca alta. La circolazione d'aria che ne consegue (dalla bocca alta a quella bassa in estate e viceversa in inverno) causa una notevole evaporazione dell'acqua che conseguentemente tende a raffreddarsi. In questo modo si spiega perchè in inverno la temperatura delle acque appena all'interno dell'inghiottitoio siano lievemente più fredde e la maggiore differenza termica si abbia in estate.

Questo effetto era stato anche osservato nel sistema Spipola-Acquafredda nei gessi bolognesi (FORTI et Al., 1985) e si conferma così del tutto generale per i sistemi carsici gessosi della nostra regione.

Da ultimo va anche notato come la forra esterna del Rio Basino si comporti, climaticamente, in maniera intermedia tra gli ambienti realmente ipogei e quelli francamente esterni: infatti le escursioni termiche misurate nell'arco dell'anno sia al suo inizio presso la grotta sorgente di Rio Basino, sia al passaggio all'esterno dei gessi, risultano essere molto minori di quelle registrate nei corsi esterni anche se maggiori di quelle misurate in grotta. Questo comportamento climatico la rende un "unicum" nel suo genere all'interno di tutte le forme carsiche della regione Emilia-Romagna.

2 - *Diagrammi di Schoeller*

I diagrammi di Schoeller cumulativi per i dodici mesi di osservazioni effettuate e relativi a ciascun punto di controllo all'interno dell'acquifero studiato sono riportati in fig. 4.

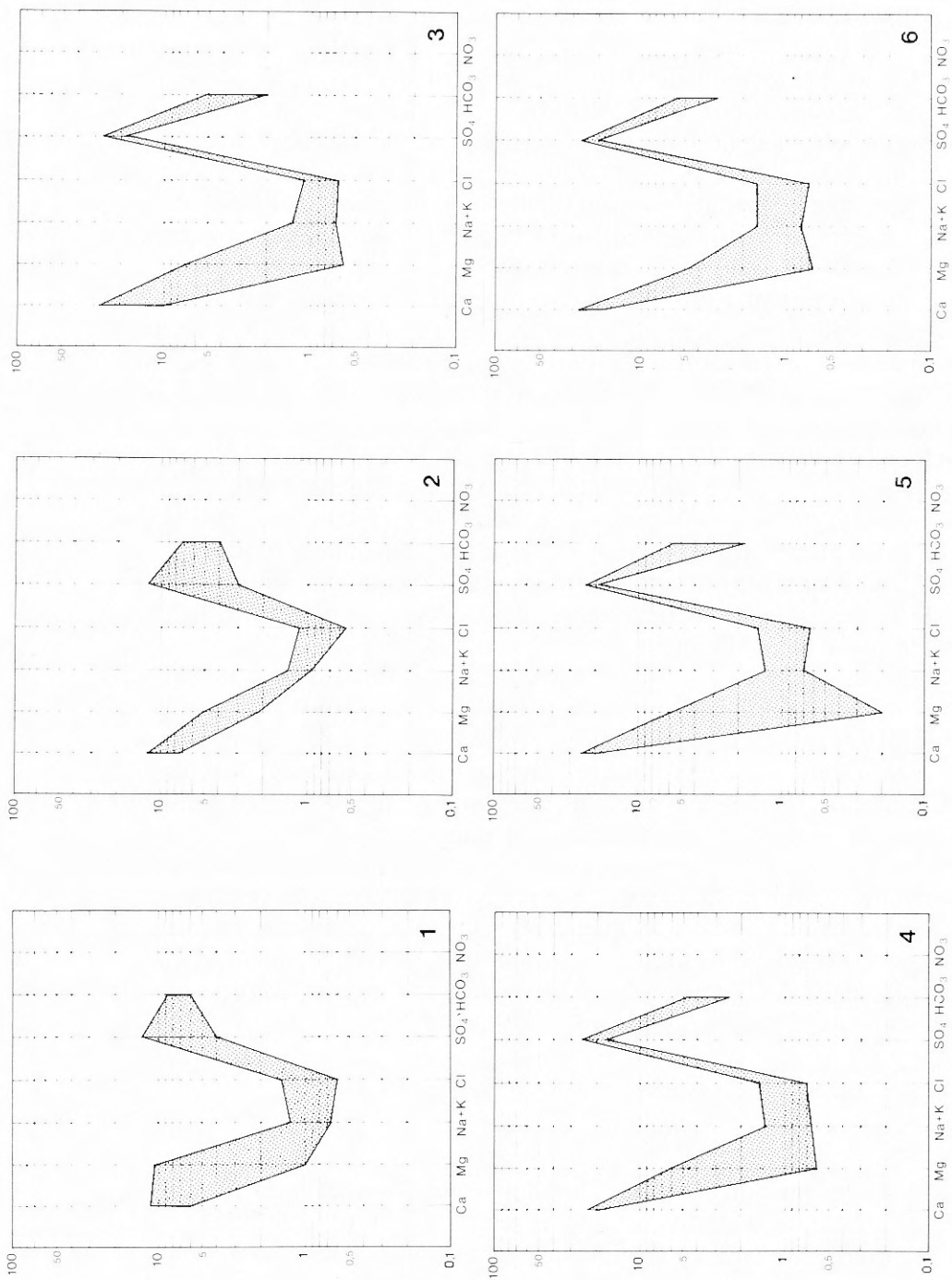


Fig. 4 - Diagrammi di Schoeller per le acque del sistema Rio Stella-Rio Basino: sono riportate le massime variazioni annuali per ciascuna ionazione in milliequivalenti litro. 1 - Rio Stella esterno; 2 - Rio Stella grotta; 3 - Rio Stella-Rio Basino grotta; 4 - Rio Basino interno; 5 - Rio Basino ingresso; 6 - Rio basino al termine della forra.

Dalle analisi comparative di questi diagrammi si rileva subito una caratteristica che rende questo acquifero differente dagli altri sin ora studiati nell'Emilia Romagna: infatti questo sistema mostra una molto maggior variabilità nel chimismo delle sue acque, soprattutto per alcuni ioni, quali il magnesio e, anche se non qui tabulati, i nitrati, e subordinatamente per altri ioni quali i cloruri ed il sodio e potassio.

Questa accentuata variabilità del contenuto ionico ci indica come questo acquifero sia molto più sensibile alle variazioni esterne ad esso e quindi in ultima analisi potenzialmente molto più vulnerabile.

Per il resto i diagrammi di Schoeller ci indicano una progressiva concentrazione ionica da monte a valle, come era logico aspettarsi in sistemi di questo tipo ove la dissoluzione carsica procede dall'ingresso delle acque nella formazione carsificabile.

3 - *Contenuto in Solfati*

L'analisi del contenuto in solfati (v. fig. 5) mostra come essi si mantengano su valori piuttosto bassi e lontani dalla saturazione nelle acque del Rio Stella (punto 1) e all'interno dell'inghiottitoio (punto 2), mentre dal punto 3 (sistema carsico interno) essi raggiungono la saturazione. La concentrazione di saturazione viene mantenuta anche nel tratto subaereo della forra sino all'ingresso nei terreni non carsificabili di valle.

Questi risultati ci indicano, da una parte che il raggiungimento dell'equilibrio di solubilità per lo ione solfato è sufficientemente rapido e inoltre che gli apporti dal bacino imbrifero del Rio Basino sono scarsamente importanti dato che non portano a una diluizione notevole di questo ione.

Quest'ultimo fatto, poi, è confermato dalle misure fatte su alcuni pozzi di fondo valle ove è stata ancora riscontrata una alta concentrazione di solfati anche a distanze di 500-1000 metri dal limite dei gessi.

Un'altra osservazione che può esser fatta è la proporzionalità diretta esistente tra temperature delle acque e contenuto in solfati: tale proporzionalità, dovuta alla maggiore solubilità del gesso alle temperature più elevate riscontrate nel sistema, è costantemente rispettata dal punto 3 al punto 6 di controllo, mentre per i punti 1 e 2 in alcuni casi si è notata una inversione. Tali variazioni "anomale" sono da ricollegarsi alla possibilità che in queste prime parti

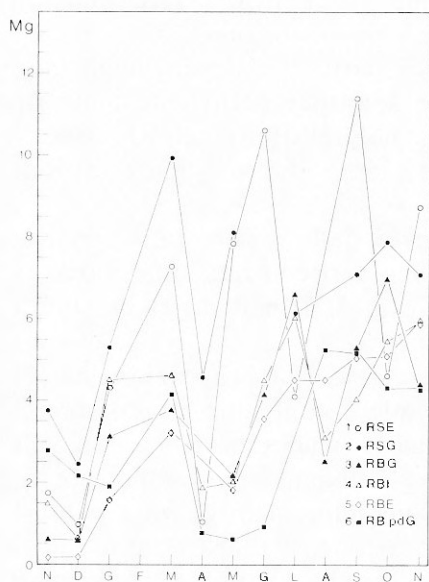
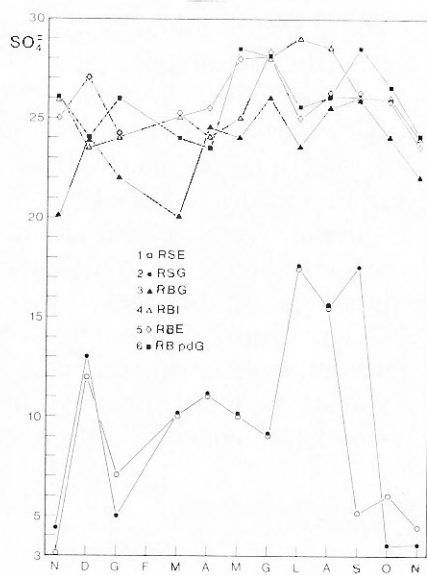
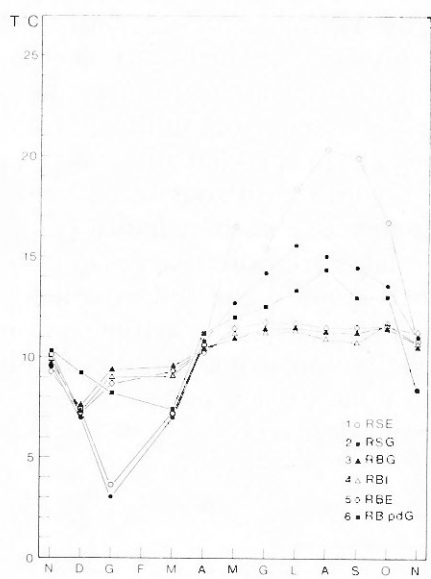


Fig. 5 - Evoluzione annuale della temperatura delle acque e del contenuto in magnesio e solfati nel sistema carsico Rio Stella-Rio Basino: 1 Rio Stella esterno; 2 Rio Stella Grotta; 3 Rio Stella-Rio Basino Grotta; 4 Rio Basino interno; 5 Rio Basino ingresso; 6 Rio Basino al termine della forra.

del sistema improvvisi apporti meteorici possano sconvolgere, con acque di scorrimento rapido, il normale processo di concentrazione dei sali.

Un caso particolare, degno di nota, è la misura effettuata nel gennaio 1983 che ha evidenziato per la stazione 2 un valore in solfati inferiore a quello misurato nella stazione 1, cioè prima dell'inghiottimento delle acque. Lo stesso fenomeno si è poi ripresentato nell'ottobre dello stesso anno e in tutti e due i casi il campionamento era stato effettuato in un periodo di forti precipitazioni meteoriche. Pertanto la spiegazione del fenomeno può essere la seguente: a livello del punto 2 o poco prima di esso le acque del fiume sotterraneo ricevono un apporto diretto da acque meteoriche di infiltrazione veloce, che quindi praticamente diluiscono il contenuto in solfati delle acque provenienti dal Rio Stella, che vengono inghiottite dalla frattura di quota 247.

5 - *Contenuto in magnesio*

Tra tutti gli ioni considerati nel presente studio il Magnesio è quello che ha mostrato maggiore variabilità nell'arco di tempo considerato, con variazioni anche molto repentine da un mese all'altro (v. fig. 5).

I massimi valori di concentrazione si riscontrano nelle due stazioni a monte del complesso carsico. L'attraversamento delle acque in grotta determina uno smorzamento di tali valori, i quali si attenuano man mano che il torrente si addentra nel corpo gessoso.

Da un'attenta analisi del diagramma relativo si può constatare poi che l'andamento delle concentrazioni subisce costantemente un "ritardo" di circa 30 giorni nell'attraversamento del sistema carsico.

Questo dimostra che una componente non indifferente delle acque all'uscita del sistema carsico derivano da apporti meteorici di infiltrazione e da condensa e che quindi non tutta l'acqua proviene dall'infiltrazione rapida delle acque del Rio Stella, che infatti raggiungono la risorgente in meno di un giorno.

Le concentrazioni massime per questo ione si osservano in marzo, giugno e settembre, in concomitanza con le concimazioni operate dai contadini in questi particolari periodi, soprattutto nella valle cieca del Rio Stella.

Per questo motivo possiamo ritenere che le variazioni della con-

centrazione del magnesio siano in toto ascrivibili alle attività agricole, che sono assai intense in tutto il bacino sotteso dal sistema Rio Stella - Rio Basino.

Da ultimo va osservato che i valori di magnesio osservati nella stazione 2 sono superiori a quelli della stazione 1. Questo comportamento sembra quindi confermare quanto già supposto per i solfati e che cioè al punto 2 giungano anche acque diverse da quelle del Rio Stella, provenienti da dispersioni a livello dei campi coltivati subito al di sopra dell'ingresso all'inghiottitoio.

LO SCHEMA IDROGEOLOGICO

Lo schema idrogeologico del sistema carsico è relativamente semplice e corrisponde all'attraversamento e drenaggio della porzione della "Vena del Gesso" romagnola compresa tra Monte della Volpe e Monte Mauro da parte del Rio Stella-Rio Basino. L'assetto strutturale generale è qui monoclinale verso la pianura.

Per effetto di dislocazioni ad andamento appenninico, si sono evidenziati più blocchi variamente traslati tra loro. Due di questi vengono drenati dal corso sotterraneo congiungente il Rio Stella e il Rio Basino, che decorre lungo una delle suddette linee di dislocazione; gli afflussi laterali, almeno in destra del collettore principale, avvengono invece secondo linee orientate NO—SE, cioè lungo linee antiappenniniche, lungo le quali in superficie si osservano allineamenti di doline.

La circolazione idrica sotterranea ha la più importante zona di alimentazione nella valle cieca del Rio Stella, ed inoltre nelle doline e cavità minori ricordate, che dalla superficie dei gessi concentrano le acque meteoriche verso il collettore sotterraneo.

Il bacino sotterraneo può esser considerato unico, senza articolazioni o sottobacini importanti, con uno spartiacque che è all'incirca coincidente con quello di superficie.

Non sono infatti provati apporti da doline o inghiottitoi lontani, nè è possibile individuare, allo stato attuale delle conoscenze, sottobacini ben definiti, anche se è probabile per motivi di bilancio idrico, come accennato precedentemente, che il drenaggio del complesso dei gessi si estenda almeno a zone "a spina di pesce" in direzione del collettore sotterraneo.

Le acque che escono dal sistema vengono canalizzate inizialmente

te in una forra che taglia ancora i gessi; successivamente, sino alla confluenza nel Senio del Rio Basino, le acque ora superficiali scorrono su di un basamento poco o nulla permeabile di natura argillosa.

Il Senio diluisce rapidamente le acque selenitose, ma ancora da alcuni chilometri in pianura, nelle acque fluviali è avvertibile la presenza dei solfati in quantità superiore alla norma.

L'IMPATTO ANTROPICO

L'alta velocità di flusso delle acque circolanti nel sistema carsico del Rio Stella-Rio Basino rende particolarmente vulnerabile l'acquifero da parte di un qualunque inquinante eventualmente immessovi. A questo si deve aggiungere l'assoluta mancanza di potere autodepurante del sistema, in cui filtri naturali sono del tutto assenti, assieme alla presenza di varie potenziali trappole di accumulo (FORTI, 1986) lungo il percorso ipogeo. Tutti questi fattori concorrono a rendere notevolmente critica la risposta di questo acquifero ad un eventuale inquinamento.

Proprio durante lo svolgimento del presente studio, abbiamo infatti avuto la possibilità di osservare l'effetto a livello del sistema carsico dell'immissione a monte di agenti chimici "inquinanti".

In quel periodo, infatti, in gran parte della valle cieca del Rio Stella veniva impiantata una nuova coltivazione intensiva a frutteto, che comportava, tra l'altro, un elevato utilizzo di fertilizzanti chimici.

Con risposta praticamente immediata abbiamo osservato la repentina variazione di alcuni parametri chimici (da 2 a 10 meq/l NO_3^- ; da 2 a 10 meq/l di Mg^{++} a livello dell'inghiottitoio del sistema). Probabilmente, comunque, lo squilibrio dovuto alle sostanze chimiche immesse nel terreno è da ritenersi solamente temporaneo: infatti supponiamo che, una volta giunte a regime le nuove coltivazioni, la situazione a livello dell'acquifero carsico tornerà a ristabilirsi su valori normali, anche se, certamente, in un tempo di gran lunga superiore a quello che è stato sufficiente ad alterarlo.

A livello della risorgente, poi, le nostre analisi hanno evidenziato differenze nell'elettroneutralità abbastanza significative e tali da non poter esser giustificate da errori sperimentali di misura. Il disequilibrio sembrava esser collegato allo ione NO_3^- : in questo caso la variazione del chimismo è, con ogni probabilità, da imputare al nitrato ammonico, largamente utilizzato nei fertilizzanti, di cui noi trascu-

ravamo il catione (infatti le nostre misure non prevedevano il controllo quantitativo dello ione ammonio). Pertanto anche per le acque della risorgente l'inquinamento è di natura agricola.

Nell'ambito della nostra regione, quindi, il sistema carsico Rio Stella Rio Basino rappresenta attualmente (FORTI & FRANCAVILLA, 1987) l'esempio più vistoso di acquifero carsico, il cui equilibrio è stato alterato da attività agropastorali (v. tab. 1).

Sist. carsico	Antropizzazione	A. Estrattiva	A. Agro-pastorale
Spipola	*	***	----
Rio Basino	----	----	**
Ris. Tubi	***	----	----
Tanone	*	----	----
Poiano	----	----	----

CONCLUSIONI

Lo studio idrogeologico del sistema carsico Rio Stella-Rio Basino nella "Vena del Gesso" romagnola ha innanzitutto confermato, in analogia con quelli precedenti, le peculiari caratteristiche idrodinamiche ed idrochimiche di questi acquiferi: alta velocità di scorrimento, nessun bacino di ritenzione interno, condotti carsici dimensionati per il massimo deflusso possibile, rapida saturazione in solfati delle acque sotterranee.

Le analisi condotte in questo caso specifico hanno messo in evidenza la presenza di un tratto del sistema assolutamente "unico", con comportamenti assai differenti da tutti quelli sino ad oggi osservati: ci riferiamo alla forra del Rio Basino subito dopo la risorgente. Qui, per oltre quattrocento metri, il corso d'acqua infatti ha caratteristiche e comportamenti esattamente intermedi tra il corso ipogeo e quello epigeo: si viene pertanto a creare un particolarissimo ecosistema che, almeno sulla base delle conoscenze attuali, è assolu-

tamente originale non solo per la nostra Regione, ma anche per tutto l'ambiente carsico nelle evaporiti italiane.

Purtroppo, a fronte di questo indubbio interesse generale, lo "stato di salute" dell'acquifero è risultato molto critico per i pesanti episodi di inquinamento cui è stato sottoposto proprio nel periodo del nostro studio. Questi fenomeni, dovuti essenzialmente alle intense attività agricole impostate soprattutto nella valle cieca del Rio Stella, hanno evidenziato l'estrema vulnerabilità del sistema carsico Rio Stella-Rio Basino.

Alla luce di queste esperienze, vista l'importanza di tutta l'area bisognerà che per il futuro ogni attività umana che insista su questo sistema carsico venga attentamente programmata e controllata al fine di impedire il degrado o addirittura la definitiva perdita del singolare patrimonio naturale qui rappresentato.

BIBLIOGRAFIA

- BENTINI L., BENTIVOGLIO A., VEGGIANI A., 1965 - *Il complesso carsico Inghiottito del Rio Stella - Grotta sorgente del Rio Basino*. Atti Conv. Spel. It. Centro-Merid., Firenze p. 94-109.
- CIGNA A.A., FORTI P., 1986 - *The speleogenetic role of air flow caused by convection. 1st contribution*. Int; J. of Speleol. 15, p. 41-52.
- CREMONINI MARABINI S., 1982 - *La formazione a Colombacci nell'Appennino romagnolo (Italia)*. Rend. Soc. Geol. It. 1-1978, p. 7-8.
- CUCCHI F., FORTI P., BOCCALON G., 1987 - *The hydrogeology of the Montello karst area*. Act. Int. Symp. on karst of Atlentic Border, Tomar, Portogallo, in stampa.
- DE GASPERI G.B. 1912 - *Appunti sui fenomeni carsici nei gessi di Monte Mauro (Casola Valsenio)*. Riv. Geogr. It. 29, p. 319-326.
- FINOTELLI F., GIRALDI E., PINI G.A. 1986 - *Genetical analyses of natural cavities in the Messinian evaporites of the Bologna area (Italy)*. Atti Int. Symp. on "Evaporite Karst", Bologna, p. 247-257.
- FORTI P., 1986 - *Problemi di inquinamento e di salvaguardia degli acquiferi carsici*. In "Ambiente": protezione e risanamento", Pitagora, Bologna, v. 1, p. 491-506.
- FORTI P., FRANCAVILLA F., PRATA E., RABBI E., 1985 - *Evoluzione idrogeologica dei sistemi carsici dell'Emilia Romagna. 1 - Problematica generale. 2 - Il complesso Spipola-Acqua Fredda*. Tip. Moderna, p. 1-60.
- FORTI P., FRANCAVILLA F., PRATA E., RABBI E., CHIESI M., 1986 - *Hydrogeology and hydrogeochemistry of the triassic evaporites in the upper Secchia valley (Reggio Emilia, Italy) and the Poiano karst springs*. Atti "Int. Symp. on Evaporite karst", Bologna 1985, p. 267-278.
- FORTI P., FRANCAVILLA F., 1987 - *Gli acquiferi carsici dell'Emilia-Romagna: attuali conoscenze e problematiche*. XXI Congr. IAH, Roma, 1987, in stampa.
- FRATTINI M., 1954 - *L'esplorazione della Grotta sorgente del Rio Basino*. Atti VI Congr. Naz. Spel., Trieste, p. 80-83.

- GRIFFONI A., 1984 - *Evoluzione geochimica del bacino idrogeologico carsico del Rio Stella - Rio Basino nei gessi messiniani romagnoli. Tesi di laurea inedita (Rel. P. Forti) Univ. di Bologna*, p. 1-173.
- MARABINI S., POLUZZI A., 1977 - *Le Crisia (Bryzoa, Cyclostomata) del Messiniano inferiore della Romagna occidentale*. Giorn. Geol. 42, p. 165-180.
- MARABINI S., VAI G.B., 1985 - *Analisi di facies e neotettonica della Vena del Gesso in Romagna*. Boll. Soc. Geol. It., 114, p. 21-42.
- MARINELLI O. 1917 - *Fenomeni carsici nelle regioni gessose d'Italia*. Mem. 3, suppl. Riv. Geogr. It. 34, p. 307-311.
- RICCI LUCCHI F., 1975 - *Miocene palaeogeography and basin analysis in the periadriatic Apennines*. In: Squires C. (ed.) "Geology of Italy" 2, p. 129-236. E.S.S.L.A.R., Tripoli.
- VAI G.B., RICCI LUCCHI F., 1976 - *The Vena del Gesso in Northern Apennines: growth and mechanical breakdown of gypsified algal crusts*. Mem. Soc. Geol. It., 16, p. 217-249.
- VAI G.B., RICCI LUCCHI F., 1977 - *Algal Crusts autochthonous and clastic gypsum in a cannibalistic evaporite basin; a case history from the Messinian of Northern Apennines*. Sedimentology 24, p. 211-244.