

ANNALI

DEL

GRUPPO GROTTI DELL'ASSOCIAZIONE XXX OTTOBRE
SEZIONE DI TRIESTE DEL CLUB ALPINO ITALIANO

FONDATA NEL 1918

VOLUME VI - 1977

TRIESTE

INTRODUZIONE

Il VI volume degli «*Annali*» rappresenta, per il Gruppo Grotte, il simbolo evidente di un momento che non esiterei a definire estremamente impegnativo.

Ritengo infatti che questa pubblicazione rappresenti il termine del periodo, per molti aspetti pionieristico, durante il quale abbiamo dovuto più volte convincere per primi noi stessi che era possibile svolgere un'attività di ricerca, con una metodologia rigorosamente scientifica, nell'ambito del nostro Gruppo, armonizzandola con la tradizionale attività esplorativa in termini di mentalità e di bilancio.

Tralasciando l'aspetto puramente economico posso affermare che la più grossa difficoltà l'abbiamo incontrata nell'organizzare un ampio lavoro d'équipe che coinvolgesse una gran parte dei nostri speleologi mediante lo studio di quei problemi che tradizionalmente catalizzano l'attenzione degli studiosi del nostro Carso e, contemporaneamente, nell'evitare di cadere nella diffusa tendenza di svolgere delle ricerche fini a sè stesse, spesso superficiali, pur di nobilitare la propria attività attraverso una qualsiasi parvenza scientifica.

I risultati odierni sono stati ottenuti mediante la specializzazione data ai nostri indirizzi di ricerca. L'idrologia del Carso triestino, studiata senza la minima tesi precostituita, alla luce dei più recenti dati raccolti, costituisce infatti un campo di studio valido per la sua originalità e per l'interesse che riesce a suscitare.

La periodicità degli «*Annali*» ultimamente non è stata rispettata. Il motivo di tali ritardi va ricercato esclusivamente in motivi di ordine economico. E' nostra convinzione comunque che se dovesse accadere in futuro, ma ci auguriamo non accada, che ci trovassimo ancora una volta nella condizione di dover scegliere tra il potenziamento della nostra attrezzatura di ricerca e la pubblicazione dei dati raccolti, sceglieremmo la prima strada facendo ben

attenzione a non confondere la causa con l'effetto della ricerca scientifica, pur riconoscendo l'obbligo morale di rendere partecipi i ricercatori interessati alle nostre esperienze.

Il primo lavoro, dovuto ad Enrico Merlak, esamina la distribuzione della durezza delle acque in seno al «Complesso dolomitico» del Carso triestino e rappresenta uno dei primi studi basati sulla utilizzazione delle acque di percolazione come traccianti naturali allo scopo di definire i reali problemi della ritenzione idrica e dell'arricchimento delle acque nella compagine carbonatica, presupposti fondamentali per le differenziazioni idrochimiche alle risorgive del Carso nord-occidentale. Riveste particolare importanza in tali ricerche lo studio del «Complesso dolomitico» che lo stesso autore va da anni conducendo.

Fabio Gemiti e Giuseppe Milani espongono i risultati di due anni di misure continue alla stazione sperimentale della grotta A. F. Lindner di S. Pelagio ponendoli in relazione con dati delle risorgive del III ramo del fiume Timavo. E' il primo lavoro del genere svolto nella Regione e, probabilmente, in Italia. I risultati ottenuti consentono, oltre che a formulare delle valide interpretazioni sulle caratteristiche idrologiche del Carso triestino nord-occidentale, la ripresa degli studi idrologici nel settore, importantissimo, del nostro approvvigionamento idrico, troppo spesso liquidato in base a teorie prive del supporto di dati derivati da strumentazioni valide e precise dislocate nella totalità dell'area interessata, in relazione anche alle nuove conoscenze geologiche.

Segue il lavoro di Manzoni e Marchesini, entrambi dell'Istituto di Geodesia dell'Università di Trieste. Viene illustrato in modo esauriente e completo il funzionamento dell'estensimetro-laser posto in una stazione sperimentale sotterranea presso Aurisina. L'apparecchiatura, di eccezionale validità scientifica, è composta da un interferometro che registra costantemente le variazioni di distanza di due punti fissi nel terreno. Tali variazioni, imputabili a più fenomeni, vengono qui correlate con episodi di piena della grotta Lindner secondo un principio finora mai adottato nello studio dell'idrologia generale.

Gemiti e Licciardello, infine, sono gli autori di un importante lavoro, svolto sotto la guida del prof. Mosetti, direttore dell'Istituto di Mineralogia dell'Università degli Studi di Trieste. In tale studio vengono esposti ed elaborati i risultati di un anno di analisi riguardanti i principali tipi di acque presenti ai margini nord-occidentali dell'altipiano e nel Carso monfalconese, dalle sorgenti di Aurisina a Redipuglia. In particolare le proprietà fisico-chimiche di tali acque carsiche costituiscono i presupposti per l'individuazione dei loro bacini di alimentazione.

Infine il Gruppo di Ricerche di Paleontologia Umana espone i risultati della campagna di scavi svolta nell'abisso Cesca presso Gabrovizza.

Si può quindi osservare che, con l'eccezione del lavoro dei paleontologi, i rimanenti quattro studi sono finalizzati da un unico indirizzo di ricerca, ma ciò non significa da parte nostra una necessaria rinuncia ad altri indirizzi, bensì la consapevolezza che abbiamo raggiunto dell'importanza di tali studi ed è in tal senso che ci proponiamo di operare costruendo mattone su mattone un edificio solido aperto a tutti coloro che condividono i nostri indirizzi di ricerca.

IL CAPOGRUPPO

Bruno Baldassi

DISTRIBUZIONE DELLA DUREZZA DELLE ACQUE
NEL «COMPLESSO DOLOMITICO» DEL CARSO TRIESTINO

PREMESSA

La presente nota ha per oggetto lo studio della durezza delle acque di origine meteorica in seno al complesso di rocce carbonatiche che, con la denominazione di «Complesso Dolomitico Cenomaniano», costituiscono una unità stratigrafica ben definita, rappresentata da una successione di dolomie, calcari dolomitici e calcari, stratigraficamente compresa tra i sottostanti termini albiani e i sovrastanti Calcari a Rudiste del Cretacico superiore.

In particolare viene esaminata la possibilità di individuare l'idrodinamica profonda di tali acque attraverso le possibili correlazioni tra i dati di durezza rilevati nelle acque entro il Complesso dolomitico e le caratteristiche chimiche delle acque delle risorgive del Timavo e delle sorgenti di Aurisina, del Sardos e delle Moschenitze, ai margini nord-occidentali del Carso triestino.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le indagini condotte da precedenti autori (3, 4) sul Complesso calcareo-dolomitico del Carso triestino permettono di definire con una certa esattezza i limiti stratigrafici ed areali che assegnano al «Complesso» stesso un'età cenomaniana con potenza variabile tra i 250 ed i 450 metri. Questa unità si estende in superficie, entro un'area di circa 20 kmq, dal versante nord-orientale del Carso centrale (presso Monrupino) alle estreme propaggini occidentali all'altezza delle Foci del F. Timavo (fig. 1).

Il «Complesso», costituente parte integrante del fianco meridionale dell'anticlinale del Carso triestino, si sviluppa con immersione sud-ovest ed inclinazione media variabile tra 0° e 45°, lungo una direttrice approssimativa est-ovest. Ad est esso si prolunga entro il territorio jugoslavo assumendo parzialmente, con inclinazioni decrescenti, caratteristiche strutturali diverse da quelle della nostra zona. Ad

ovest esso raggiunge il settore di San Giovanni al Timavo, all'altezza delle risorgive del F. Timavo e delle sorgenti del Sardos e delle Moschenizze.

A questa altezza è indispensabile notare che il tetto del «Complesso» affiora ad alcune centinaia di metri dalle risorgive stesse e dalla linea di costa (fig. 1).

La morfologia è tipica di una zona collinare con frequenti rilievi ben raccordati tra loro ed il solco di Aurisina, rilievi talora interessati da brevi valli e solcature torrentizie.

Questo terreno si discosta morfologicamente dal Carso triestino con affioramenti carbonatici poco accentuati e scarso sviluppo di forme carsiche superficiali e profonde.

CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

L'unità stratigrafica esaminata è costituita da una serie calcareo-dolomitica che presenta caratteristiche sedimentologiche e potenze variabili.

La potenza massima calcolata è, all'altezza di Rupingrande, di 430 metri, quella minima, in corrispondenza di Samatorza, di 255 metri (dati dell'autore). Si può comunque tener conto di una potenza media di circa 300 metri che decresce da est verso ovest.

Le ricerche finora condotte hanno consentito di accertare mediamente che, in seno alla stessa formazione, le facies dolomitiche prevalgono su quelle calcaree ad est mentre avviene il contrario ad ovest. Ciò è particolarmente sintetizzabile nella figura 2 dove sono esposti, in funzione dello spessore stratigrafico delle serie esaminate, i rapporti $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$ riscontrati dalla composizione media dei litotipi presenti.

Un'esame dei diagrammi frequenza = funzione di $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$ procedendo dalla serie di Rupingrande (n1) a quella di Dosso Giulio (n6), consente di assistere da est ad ovest al progressivo aumento qualitativo e quantitativo del rapporto $\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$.

Nelle successioni stratigrafiche orientali i termini calcarei e calcareo-dolomiti sono presenti soprattutto nelle parti superiori ed inferiori mentre le dolomie costituiscono una grande frazione del «Complesso» stesso.

Nelle successioni occidentali, da Slivia a Dosso Giulio, si assiste alla sempre più diffusa distribuzione dei termini calcarei che sostituiscono quindi eteropicamente le dolomie.

Ciò equivale ad affermare che, in seno ad un'unica struttura, il «Complesso dolomitico cenomaniano» presenta ampie variazioni laterali di litofacies con passaggio da unità prettamente dolomitiche ad unità calcaree procedendo da est verso ovest.

Il «Complesso dolomitico» risulta costituito da un'alternanza di litotipi tra loro diversi, identificabili in breccie calcareo-dolomitiche, dolomie calcaree, calcari dolomitici e calcari compatti. Intercalati a questi litotipi si rilevano talora livelli di breccie calcaree e dolomie lamellari mm-ritmiche.

Comune inoltre a tutta l'unità è la presenza di frequenti intercalazioni di ossidi ed idrossidi di ferro ed alluminio.

<i>Breccie calcareo-dolomitiche</i>	Costituite da clasti di varie dimensioni dal cm. al dm. I clasti sono calcareo-dolomitici e calcarei. Il cemento è costituito da mosaico dolomitico anedrale a grana fine (0,05-0,1 mm) e, in alcuni livelli, da micrite interessata da diffuse impurità.
<i>Dolomie e dolomie-calcaree</i>	Presenti in due litotipi fondamentali: <ol style="list-style-type: none"> a) Dolomie friabili costituite da un mosaico cristallino dolomitico anedrale con dimensioni dell'ordine di 0,1 mm. b) Dolomie calcaree, cristalline, compatte, interessate dalla presenza di cristalli subuedrali di dolomite inclusi in una diffusa pasta micritica.
<i>Calcari e calcari-dolomitici</i>	Costituiti generalmente da micrite parzialmente ricristallizzata in cui sono spesso presenti nuclei di ricristallizzazione a grana grossa. Frequente in questo litotipo la presenza di idrossidi insolubili e pigmentazioni limonitiche. Abbondanti, oltre alla frazione organica, i frammenti intraclastici.
<i>Breccie calcaree</i>	Presenti a determinati livelli, risultano composte da frammenti micritici a cemento calcitico a varia grana, immersi in pasta di fondo micritica generalmente ricristallizzata.
<i>Calcari lamellari</i>	Trattasi di rocce carbonatate a stratificazione lamellare centimetrica e millimetrica che devono la loro struttura ad alternanze sedimentologiche di micriti ed intramicriti.

Nella descrizione generale dei litotipi sono state trascurate le caratteristiche paleontologiche e cronostatigrafiche in quanto esulano dal significato e dai fini della presente ricerca.

Nella tabella I vengono riportate le composizioni medie dei litotipi presenti in seno al «Complesso dolomitico»:

TABELLA I

	CaCO ₃	MgCO ₃	Insolubile
Dolomie cristalline	59%	39%	2%
Dolomie friabili	59%	39%	2%
Dolomie calcaree	68%	30%	2%
Calcarei dolomitici	90%	8%	2%
Calcarei in genere	96%	2%	2%

La conoscenza delle caratteristiche chimiche dei litotipi presenti si rivela indispensabile oltre che per lo studio dell'evoluzione sedimentologica dell'unità stratigrafica anche per le ricerche specifiche sull'influenza del «Complesso» sulle variazioni di durezza delle acque di circolazione superficiali e profonde.

Dall'esame della tabella I si osserva per le dolomie compatte e per le dolomie friabili un'analogia composizione con un rapporto CaCO₃/MgCO₃ = 1,5 rapporto che si mantiene costante entro tutto il «Complesso». Tale rapporto sale a 2,3 nelle dolomie calcaree.

Nei calcari dolomitici è presente un rapporto medio CaCO₃/MgCO₃ = 11.

Nei calcari in genere si rilevano piccole quantità di magnesio in soluzione solida, sostituito isomorficamente al calcio, con un contenuto medio del 2%.

E' presente inoltre in tutti i litotipi carbonatici del «Complesso» una frazione di prodotto insolubile dell'ordine del 2%.

ASPETTI DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA NEL «COMPLESSO DOLOMITICO CENOMANIANO»

L'esame superficiale dei terreni consente di accertare che il «Complesso» presenta caratteristiche di circolazione idrica che si discostano dalle altre unità stratigrafiche del Carso triestino.

A causa delle condizioni litologiche, si è instaurata, lungo il versante sud-occidentale del «Complesso», una circolazione idrica superficiale, attiva solamente durante abbondanti precipitazioni.

Tale circolazione idrica si estingue in corrispondenza di avvallamenti imbutiformi o comunque in zone di maggior assorbimento.

1 2 4 8 16 32 64 128 = RAPPORTO $\frac{CaCO_3}{MgCO_3}$ VALORI DA 1 A 128

GRAFICI DEI RAPPORTI



NELLE SERIE STRATIGRAFICHE

(VEDI FIG. 1)

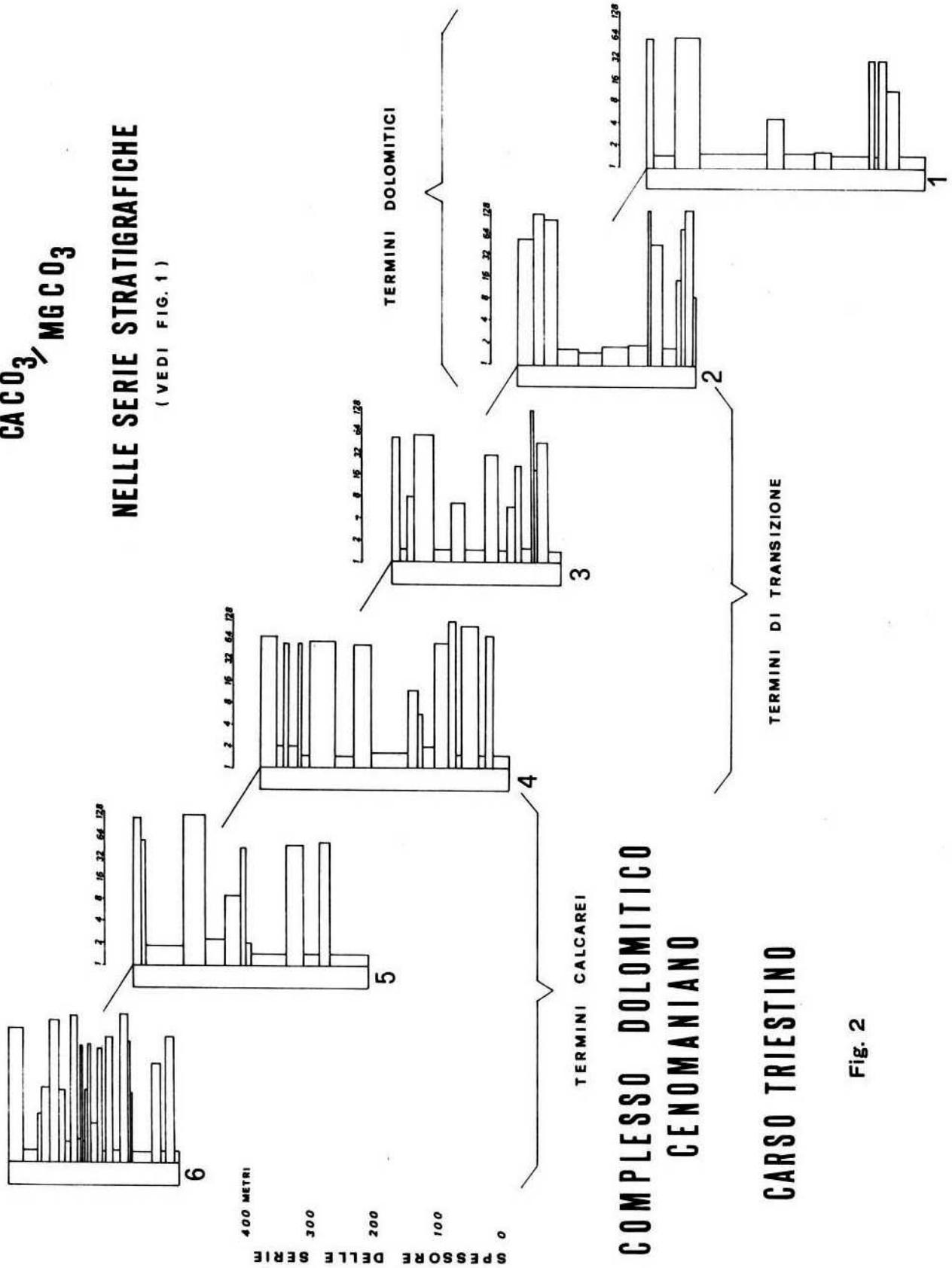


Fig. 2

Comunque l'assorbimento idrico delle rocce dolomitiche presenta in genere, ad eccezione di piccoli episodi torrentizi, le caratteristiche di assorbimento diffuso e lento.

Ciò a causa di alcuni fattori quali l'estrema diffusione di fratture poco beanti e parzialmente obliterate, l'abbondanza di un suolo che copre gran parte del «Complesso» determinando una ritenzione iniziale delle acque di percolazione ed infine la porosità elevata della roccia che agisce in parte da freno allo scorrimento idrico sulla superficie della roccia stessa.

Affioramenti dolomitici

Nel «Complesso dolomitico» gli effetti immediati derivanti dal contatto dell'acqua meteorica con gli affioramenti si manifestano con un arricchimento della soluzione in calcio e magnesio derivante da processi di equilibrio e di cinetica chimica.

Nel caso specifico degli affioramenti dolomitici, trattandosi di rocce ad elevato grado di porosità rispetto ai calcari, è sempre in atto un'elevata dissociazione derivante soprattutto del tempo di contatto dell'acqua sulla roccia.

Tuttavia è estremamente difficile quantizzare tale fenomeno anche perchè l'acqua sperimentalmente raccolta deriva da superfici non esattamente misurabili, con scorrimenti a diverse velocità e diverse concentrazioni.

I dati sperimentali ricavati sul terreno danno, per affioramenti superficiali, concentrazioni medie variabili tra 7 e 15 D° F (gradi di durezza francese) con un rapporto Ca/Mg dell'ordine di 8-12, rapporto questo che si discosta nettamente da quello ricavato dagli affioramenti calcarei dove, per durezza di 8-10 D° F, si ritrova un rapporto medio Ca/Mg di 30 unità.

Suoli

Un maggior ruolo nell'arricchimento delle soluzioni è svolto dal suolo presente con uno strato variabile di copertura terroso-argillosa particolarmente diffusa nel «Complesso dolomitico».

Ricerche in tal senso compiute da Gemit-Merlak (2) rivelano un arricchimento sostanziale dell'acqua che, attraverso lo strato superficiale, assume caratteristiche chimiche particolari.

Nella tabella II vengono riportati i valori medi tipici delle caratteristiche chimiche delle acque derivanti da percolazione attraverso campioni di suoli medi di terreno, presenti nel Carso triestino. I dati si riferiscono all'insieme dei valori medi per campioni raccolti rispettivamente in terreni flyschiodi, calcarei e dolomitici:

TABELLA II

	D° F	Ca	Mg	Ca/Mg
Flysch	20	70-80	4-5	15-18
Calcari	15	50-60	4-5	12-14
Dolomie	7	20	3-4	5-6

I valori della durezza sono espressi in gradi francesi, Ca e Mg sono espressi in mg/l ed il rapporto Ca/Mg in unità. Si tratta di dati desunti da analisi derivanti da percolazione lenta attraverso suoli campione superficiali di acqua di origine meteorica, seguendo una metodologia già espressa in (2).

Si dimostra una particolare tendenza del suolo dolomitico a cedere magnesio secondo un rapporto Ca/Mg = 5-6 rispetto ai termini calcarei che influiscono con un rapporto 12-14.

Percolazione attraverso la roccia

Le analisi delle acque di stillicidio e di percolazione in genere condotte in seno alle dolomie del Carso triestino, rivelano la presenza di sensibili durezza (30-40 °F) raramente riscontrate in acque di percolazione di terreni prettamente calcarei del Carso triestino. A queste durezza corrispondono concentrazioni medie di 90-100 mg/l di Ca e 20-30 mg/l di Mg.

Questi elevati valori di magnesio rappresentano un costante contributo alla falda freatica del Carso triestino con un apporto che deve considerarsi mediamente sull'ordine di 20 mg/l di magnesio.

Dato l'elevato prodotto di solubilità del carbonato di magnesio, tale contributo può intendersi praticamente costante in quanto poco influenzato dai fenomeni di precipitazione che interessano invece il carbonato di calcio.

A tal proposito va ricordato che la recente scoperta del «Gruppo Speleologico Triestino» di una serie di cavità in dolomia in prossimità di Samatorza ed i prelievi condotti in una di queste cavità (Grotta Packera), consente di verificare, attraverso un ottimo esempio naturale, le caratteristiche chimiche di un'acqua superficiale scorrente attraverso piani di stratificazione e raccolta ad una ventina di metri di profondità dopo un percorso di un centinaio di metri nella dolomia.

L'acqua, di origine meteorica, raccolta sul fondo della cavità, presenta caratteristiche chimiche con valori di magnesio variabili tra 15 e 20 mg/l con rapporti Ca/Mg di 2,5-6. Tali valori confermano la media ottenuta dagli studi finora condotti sulle acque di percolazione in dolomie del Carso triestino (Gemiti-Merlak, 1975) (1).

La circolazione idrica negli strati più profondi del «Complesso» e superiormente al livello base del Carso triestino, alimentata dall'insieme delle acque di origine meteorica e condizionata dalla particolare struttura stratigrafica, presenta caratteristiche chimiche legate ai fattori su esposti, meglio sintetizzati in tab. III, con concentrazioni medie di $Mg = 15-25 \text{ mg/l}$ e $Ca = 30-60 \text{ mg/l}$ con un rapporto calcio/magnesio da 3 a 30.

Nel «Complesso dolomitico» la relativa impermeabilità degli strati dolomitici, la scarsità di fratture beanti, la costante giacitura stratigrafica verso sud-ovest, determinano l'afflusso predominante di queste acque verso il livello base del Carso triestino, nella sua parte nord-occidentale.

In questo caso, data l'estensione areale del «Complesso», l'influenza delle precipitazioni meteoriche si manifesta con un sostanziale arricchimento in magnesio dell'acqua di fondo che riceve dal «Complesso» stesso un contributo valutabile approssimativamente nella misura di $40.000-70.000 \text{ m}^3$ giornalieri.

TABELLA III

DOLOMIE	Ca/Mg		CALCARI
Affioramenti dolomitici superficiali	8/12	30	Affioramenti calcarei superficiali
Suoli in terreni dolomitici	5/6	12/14	Suoli in terreni calcarei
Percolazione in terreni dolomitici	3/5	15/30	Percolazione in terreni calcarei

Schema della distribuzione media dei rapporti Ca/Mg nelle acque del «Complesso dolomitico cenomaniano».

OSSERVAZIONI SULLE RISORGIVE DEL CARSO TRIESTINO NORD-OCCIDENTALE

La conoscenza delle caratteristiche chimiche medie delle acque delle risorgive nord-occidentali del Carso triestino, prospicienti la costa (sorgenti d'Aurisina, risorgive del F. Timavo, sorgenti del Sardos e Moschenizze) permette di effettuare correlazioni tra il contributo medio delle acque provenienti dal «Complesso dolomitico cenomaniano» e le acque delle risorgive stesse.

Tenuto conto del fatto che le risorgive sono interessate in modo variabile e sensibile dalle precipitazioni, è necessario considerare che nelle variazioni di portata si registrano variazioni di caratteristiche chimiche in primo luogo nelle concentrazioni di calcio e magnesio.

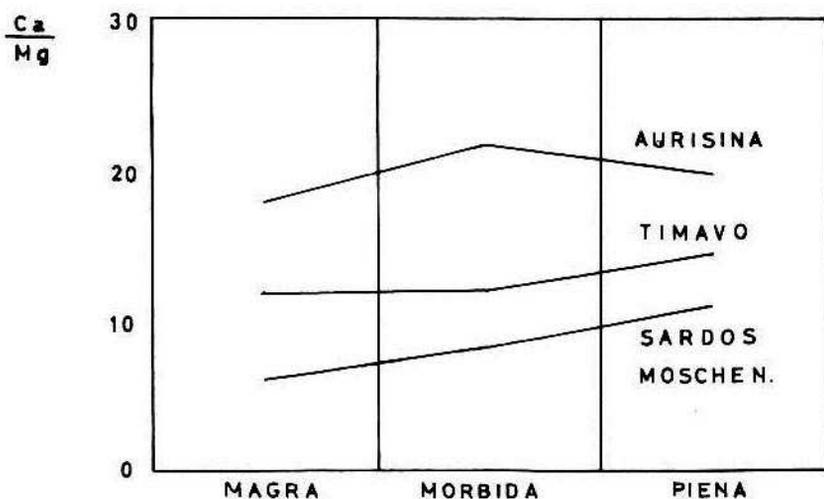
Tali variazioni medie sono espresse in tab. IV dove sono riportate, in funzione dei regimi di magra, morbida e piena, le concentrazioni di Ca ed Mg in mg/l ed i rapporti Ca/Mg.

TABELLA IV

	Magra				Morbida				Piena			
	D	Ca	Mg	Ca/Mg	D	Ca	Mg	Ca/Mg	D	Ca	Mg	Ca/Mg
Aurisina	25	92	5	18	25	94	4,3	22	25	94	5	19
Timavo	21	70	8,3	12	21	75	6,5	12	21	76	5,5	14
Sardos	19	61	10	6	21	70	8,4	8	23	80	7,3	11

Appare evidente che, rispetto alle sorgenti di Aurisina ed alle risorgive del F. Timavo, le sorgenti del Sardos, analogamente a quelle di Moschenizze, non riportate in questa tabella, rimangono sempre caratterizzate da un basso tenore di Ca e da un elevato tenore di Mg. Tale situazione è ancora più evidenziata dalla tabella V dove sono riportati, in funzione del regime idrico, i rapporti Ca/Mg, rapporti che, mentre per il Sardos e Moschenizze si mantengono tra valori di 6 e 11, per le altre acque sono sempre compresi tra 12 e 22.

TABELLA V



In tab. VI viene riportato l'andamento dell'incremento di tale rapporto in relazione ai regimi di magra, morbida e piena. In questo grafico si evidenziano, per il Sardos e per il Timavo, due situazioni differenti:

1) Nelle risorgive del Timavo il rapporto Ca : Mg si mantiene costante e subisce un incremento del 15% solamente durante le piene.

2) Nelle sorgenti del Sardos l'incremento dalla magra alla piena è continuo ed elevato rispetto a quello registrato al Timavo.

TABELLA VI

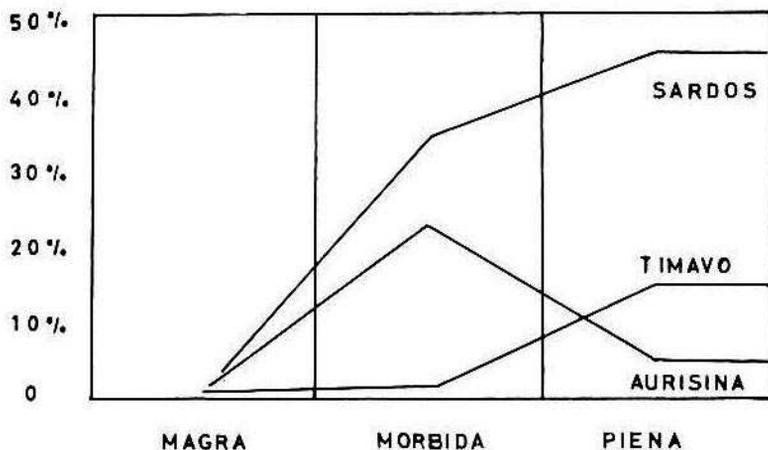


Grafico degli incrementi del rapporto Ca/Mg in funzione dei regimi di magra, morbida e piena alle risorgive del Carso triestino NW.

CONCLUSIONI

L'esame delle caratteristiche chimiche delle acque del «Complesso dolomitico» e delle risorgive del Carso triestino nord-occidentale consente di trarre alcune conclusioni.

a) In seno al «Complesso dolomitico» si verifica un sostanziale arricchimento in magnesio dell'acqua di origine meteorica che, con percolazione attraverso la superficie e gli strati profondi, raggiunge il livello base dell'acqua di fondo.

Dai dati a disposizione si può affermare che, in media, le acque percolanti attraverso la compagine dolomitica del Carso triestino assumono concentrazioni di 20 mg/l di magnesio e 80 mg/l di calcio con un rapporto medio Ca/Mg di 4 unità.

Parallelamente, in terreni calcarei, a parità di condizioni, si rilevano concentrazioni di 2-4 mg/l di magnesio e di 60-80 mg/l di calcio con un rapporto Ca/Mg di 15-30 unità.

In questi dati si può riassumere il contributo medio dell'acqua di percolazione del «Complesso dolomitico».

b) Le sorgenti del Sardos e Moschenitze nord, con una portata media giornaliera di 200.000 metri cubi, ubicate ai margini estremi nord-occidentali del Carso triestino, nel punto in cui il tetto del «Complesso» si avvicina maggiormente alla costa, presentano una concentrazione di magnesio di 8-10 mg/l, relativamente alta rispetto a quella riscontrata alle risorgive del F. Timavo che presenta tenori di 5-8 mg/l di Mg.

L'esame del rapporto Ca/Mg in queste acque durante i regimi di magra, morbida e piena confermerebbe l'influenza determinante delle acque di percolazione del «Complesso dolomitico cenomaniano» del Carso triestino nell'alimentazione delle sorgenti del Sardos.

c) L'esame delle sorgenti di Aurisina esclude che le stesse possano risentire dell'influenza delle acque drenanti attraverso il «Complesso dolomitico».

I valori di magnesio riscontrati in queste sorgenti sono giustificati dalle concentrazioni medie di Mg nell'acqua di fondo e nell'acqua proveniente dalla superficie.

BIBLIOGRAFIA

- (1) GEMITI F., MERLAK E.: *Nota sulle caratteristiche chimiche di acque di percolazione del Carso triestino* - Atti del II convegno di speleologia del Friuli-Venezia Giulia, Udine, 1975.
- (2) GEMITI F., MERLAK E.: *The influence of the surface ground on the chemical characteristic of the percolation water in karst soils* - International Symposium of karst denudation (corrosion), Lubiana, 1975.
- (3) MASOLI M., ULCIGRAI F.: *Termini albiani della serie stratigrafica del Carso triestino* - Studi trent. di Sc. Nat., sez. A, XLVI, n. 1, Trento, 1969.
- (4) ULCIGRAI F.: *Prime osservazioni sui termini calcareo-dolomitici cenomaniani del Carso triestino* - Boll. bibliot. Musei Civ. e Bienn. d'Arte Ant., Udine, 1969.

CORRELAZIONI TRA I LIVELLI D'ACQUA
DELLA GROTTA A. F. LINDNER ED IL FIUME TIMAVO

Due anni di osservazioni idrologiche alla grotta sperimentale A. F. Lindner (*)

PREMESSA

Nel presente lavoro vengono descritti i risultati di due anni di misure idrologiche effettuate nella cavità A. F. Lindner (*) posta sull'altipiano del Carso triestino all'altezza di S. Pelagio. I risultati ottenuti da queste osservazioni vengono correlati con i dati acquisiti da periodiche misure giornaliere di livello d'acqua eseguite alle foci del fiume Timavo e con i dati pluviometrici registrati alla stazione di Borgo Grotta Gigante (3).

L'ASPETTO IDROLOGICO DEL CARSO TRIESTINO NORD- OCCIDENTALE

La scoperta della cavità A. F. Lindner interessata da periodici riempimenti d'acqua di fondo (a circa 5 metri s.l.m.) e la creazione in questa cavità di una stazione idrometrica (Favretto - Milano 1972) permette di superare alcune delle difficoltà riscontrate nello studio del complesso sistema idrico esistente nel Carso triestino, nella sua parte nord-occidentale. Difficoltà dovute particolarmente al fatto che, nel tratto abisso di Trebiciano - risorgive di Duino, non si conoscevano altre cavità che raggiungessero la quota di fondo interessata dalla presenza di tali acque.

La maggior parte delle acque del Carso triestino, assieme a quelle provenienti dall'alto bacino del Timavo, emergono e defluiscono a mare nel tratto di costa compreso tra le sorgenti di Aurisina e S. Giovanni di Duino. A questa altezza sono presenti le risorgive del fiume Timavo, raccolte in tre rami principali, e le sorgenti Sardos e Moschenizze che defluiscono nel canale del Lisert.

Dall'analisi dei fattori idrici fondamentali, quali portate e regimi, e sulla base delle esperienze precedenti, la presente ricerca si è concentrata particolarmente

(*) Stazione sperimentale idrometrica di proprietà dell'Associazione XXX Ottobre C.A.I. Trieste.

sulle correlazioni tra le risorgive del fiume Timavo e le misure dei livelli d'acqua condotte nella grotta A. F. Lindner.

Nel presente studio è stato scelto il III ramo del fiume Timavo in quanto lo stesso, con una portata maggiore e con una rosta di scarico fissa, presenta maggiori e più significative variazioni di livello in concomitanza alle variazioni di portata.

LA MISURA DEI LIVELLI D'ACQUA

Grotta A. F. Lindner

Nella cavità è installata una stazione di rilevamento che registra ad intervalli regolari di un'ora i livelli dell'acqua eventualmente presente nel pozzo terminale il cui fondo è posto ad una quota di circa 5 metri s.l.m. Tale quota è derivata da misure eseguite con metodi tradizionali ed è suscettibile di variazioni. La determinazione di una quota precisa sarà eseguita in un prossimo futuro con una nuova rilevazione, vista l'importanza dell'esatta quota di fondo.

La strumentazione consente di effettuare il rilevamento dei livelli da 0.5 metri iniziali (corrispondenti a circa 5.5 metri s.l.m.) ad un massimo di 30 metri (1), (2).

III ramo del fiume Timavo

I dati relativi al livello sono stati ottenuti attraverso rilievi giornalieri effettuati all'idrometro sistemato al III ramo, a monte della rosta (soglia fissa), posta ad una quota di m 1.67 s.l.m. Questi dati vengono rilevati giornalmente da personale dell'acquedotto di S. Giovanni di Duino (ACEGAT).

STUDIO E CORRELAZIONE DEI DATI IDROMETRICI

Nei diagrammi riportati in fig. 1 e 2 vengono esposti i dati raccolti rispettivamente nei periodi 23 dicembre 1972 - 15 dicembre 1973 e 16 dicembre 1973 - 11 gennaio 1975. In tali diagrammi sono riportate le curve dei livelli d'acqua del III ramo del fiume Timavo, dei livelli registrati sul fondo della cavità sperimentale e gli istogrammi relativi alle rilevazioni di piovosità effettuate presso la Stazione Meteorologica di Borgo Grotta Gigante di proprietà della Società Alpina delle Giulie.

a) III ramo del Timavo

Dalle osservazioni dei dati relativi al III ramo si rilevano sensibili variazioni di livello, attorno al valore di rosta di m 1.67 s.l.m., da un massimo di m 2.32 ad un minimo di m 1.15.

FIGURA 1

DIAGRAMMA LIVELLI

DAL 23 DICEMBRE 1972

AL 15 DICEMBRE 1973

LIVELLO INDESTRUO
IN BARRIO TRINIDAD
4 m. in height.

LIVELLO INDESTRUO
GROTTA A 7 LIGHESE
4 m. in height.

PRECIPITAZIONE
mm.

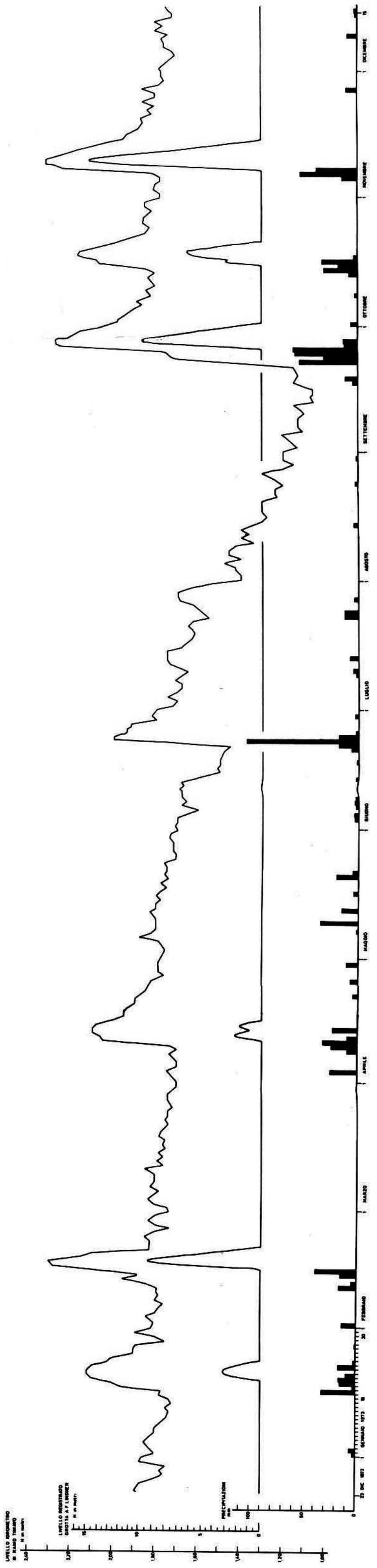


FIGURA 2

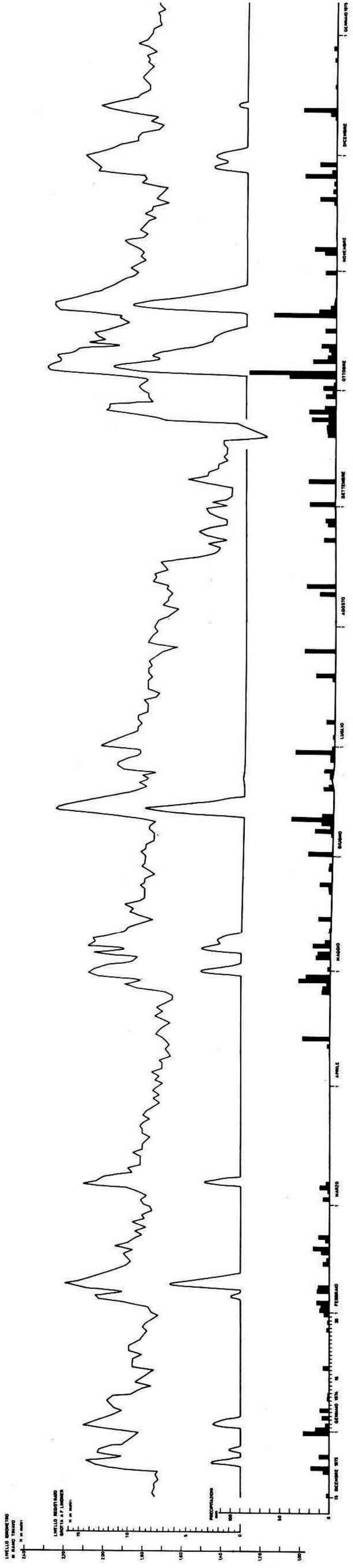
DIAGRAMMA LIVELLI

DAL 15 DICEMBRE 1973
ALL' 11 GENNAIO 1975

LIVELLO BAROMETRICO
IN MILLEGGI TORRADO
M. H. IN METRI

LIVELLO REGISTRO
SQUOTA A F. LUMBER
M. H. IN METRI

PRECIPITAZIONE
M. H. IN METRI



Data la comune alimentazione dei tre rami, i valori esaminati sono influenzati dall'apertura del portellone al I ramo durante il periodo di piena e dalle perdite dei tre bacini di raccolta.

b) *I livelli d'acqua nella cavità sperimentale*

I livelli d'acqua misurati sul fondo della grotta A.F. Lindner presentano variazioni da un minimo di 0.5 metri (corrispondenti allo zero strumentale) ad un massimo registrato di 14.6 metri.

c) *Piovosità*

Sono riportati gli istogrammi relativi alle precipitazioni misurate a Borgo Grotta Gigante a monte delle risorgive del Timavo e della grotta sperimentale. (E' stata scelta questa stazione in quanto i dati forniti rispecchiano approssimativamente le caratteristiche di piovosità del Carso triestino nord-occidentale).

Da un esame dei grafici appare evidente uno stretto legame tra gli innalzamenti di livello nella cavità sperimentale e le variazioni di livello al III ramo. Esiste infatti una marcata similitudine tra le forme d'onda del III ramo e della cavità sperimentale ed una stretta relazione temporale. Parallelamente a questo fenomeno si registra costantemente la presenza di precipitazioni.

I dati relativi sono esposti nella tabella 1.

Nella prima colonna sono riportati i valori delle precipitazioni complessive registrate nella fase di aumento del livello d'acqua al III ramo. Sono inoltre riportati tre episodi caratterizzati da sensibili precipitazioni cui non corrispondono altrettanti aumenti di livello.

Nelle colonne 2 e 3 si riportano i dati del livello del III ramo corrispondenti all'inizio del fenomeno e, rispettivamente, al massimo livello raggiunto.

Nella colonna 4 sono indicati i livelli massimi registrati nella grotta sperimentale.

L'analisi dei dati consente di affermare che gli innalzamenti d'acqua alla grotta Lindner sono legati alle precipitazioni solo quando queste provocano al III ramo innalzamenti di livello superiori ai 2 metri s.l.m. Ciò equivale a dire che la presenza d'acqua sul fondo della cavità non è un fenomeno locale legato alle precipitazioni.

Il grafico in fig. 3, ricavato dai dati della tab. 1, riporta i valori dei livelli massimi registrati alla grotta Lindner in funzione dei livelli misurati al III ramo. Dal grafico si rileva che ad ogni livello registrato nella cavità sperimentale corrisponde sempre un livello, al III ramo, superiore ai 2 metri s.l.m.

Tutti i punti compresi nel campo delle ascisse superiore ai 2 metri, inclusi i due punti isolati (2.01 e 2.04), che non hanno dato riscontro alla grotta Lindner,

TABELLA 1

Data	Pioggia mm	Livello Duino - m	Livello Duino + m	Livello Lindner m
1973				
Gennaio	10.1	1.80	1.85	—
	75.3	1.73	2.12	3.2
Febbraio	13.8	1.80	1.84	—
	20.2	1.79	1.95	—
	54.3	1.88	2.31	9.4
Marzo	—	—	—	—
Aprile	25.8	1.70	1.74	—
	66.8	1.70	2.10	2.2
Maggio	34.9	1.80	1.83	—
	14.5	—	—	—
	24.5	—	—	—
Giugno	129.3	1.45	2.00	—
Luglio	28.1	1.55	1.70	—
Agosto	—	—	—	—
Settembre	85.0	1.15	1.74	—
	129.8	1.74	2.27	9.8
Ottobre	91.4	1.75	2.17	6.3
Novembre	105.0	1.78	2.32	14.7
	9.1	1.80	1.86	—
	8.8	1.74	1.80	—
Dicembre	23.7	1.72	2.09	2.7
	9.6	1.91	2.03	1.0
Dic. - Gennaio	40.0	1.82	2.10	2.50
1974				
Gennaio	10.3	1.90	1.98	—

Data	Pioggia mm	Livello Duino - m	Livello Duino + m	Livello Lindner m
Febbraio	35.8	1.72	2.04	0.8
	22.7	1.91	2.20	6.4
	23.0	1.85	1.94	—
	13.8	1.80	1.84	—
Marzo	14.5	1.78	2.10	3.3
Aprile	29.8	1.67	1.73	—
	17.4	1.65	1.89	—
	55.3	1.82	2.08	3.6
Maggio	26.5	1.83	2.08	3.6
	10.2	1.75	1.90	—
Giugno	23.8	1.80	1.83	—
	21.5	1.75	1.78	—
	64.4	1.75	2.26	8.8
	12.9	1.80	1.84	—
	14.6	1.75	1.95	—
	45.3	1.84	2.04	—
Luglio	21.3	—	—	—
	30.5	1.65	1.80	—
Agosto	28.7	1.70	1.78	—
	11.9	1.40	1.54	—
	17.8	1.40	1.51	—
Settembre	25.3	1.40	1.48	—
	26.8	1.37	1.60	—
	88.5	1.25	2.02	—
Sett. - Ottobre	25.6	1.80	1.85	—
Ottobre	134.2	1.80	2.32	12.1
	86.6	1.94	2.28	10.0
	10.2	1.85	1.89	—
Novembre	33.0	1.83	1.93	—
	16.9	1.70	1.76	—
	35.0	1.82	2.12	3.1
Dicembre	40.8	1.75	2.04	0.8

vengono considerati per il calcolo di un'eventuale funzione. Delle tre possibili equazioni che ne derivano (lineare, quadratica, cubica) la quadratica è quella che dà lo scarto minore con i dati in questione.

Da cui la formula:

$$y = f(x) = ax^2 + bx + c$$

con

$$a = 12.56$$

$$b = -4.416$$

$$c = 0.0118$$

Ne deriva una curva teorica di andamento parabolico che indica le relazioni tra i due fenomeni. La dispersione dei punti rispetto a tale curva può essere giustificata dalle variazioni di livello dovute alle manovre di apertura al I ramo del Timavo.

Dalla funzione su esposta ne consegue che per livelli del III ramo inferiori ai 2 metri s.l.m. non possono corrispondere innalzamenti d'acqua alla grotta A. F. Lindner.

CONCLUSIONI

Da quanto sopra esposto si rilevano quattro dati essenziali:

1. Esiste una relazione costante tra le piene che si verificano alle foci del Timavo ed i livelli registrati alla grotta Lindner; questa relazione ha inizio per livelli del III ramo superiori ai 2 metri.
2. L'esame dei dati assunti rivela una decisa relazione tra l'incremento di livello al III ramo e quello dei livelli alla grotta Lindner.
3. Nel campo di esistenza delle registrazioni comuni a Duino e alla grotta sperimentale si evidenzia una stretta relazione temporale.
4. Le precipitazioni locali, influenzando sul regime idrico delle acque di fondo, non sono mai direttamente responsabili dell'innalzamento dei livelli alla grotta Lindner.

Si deduce, in conseguenza di quanto detto, che il fenomeno che provoca direttamente gli innalzamenti d'acqua sul fondo della cavità A. F. Lindner è originato nella sua totalità dal regime idrico delle acque che sgorgano ai margini nord-occidentali del Carso triestino e che alimentano le risorgive del fiume Timavo.

metri LIVELLO GROTTA
A.F. LINDNER

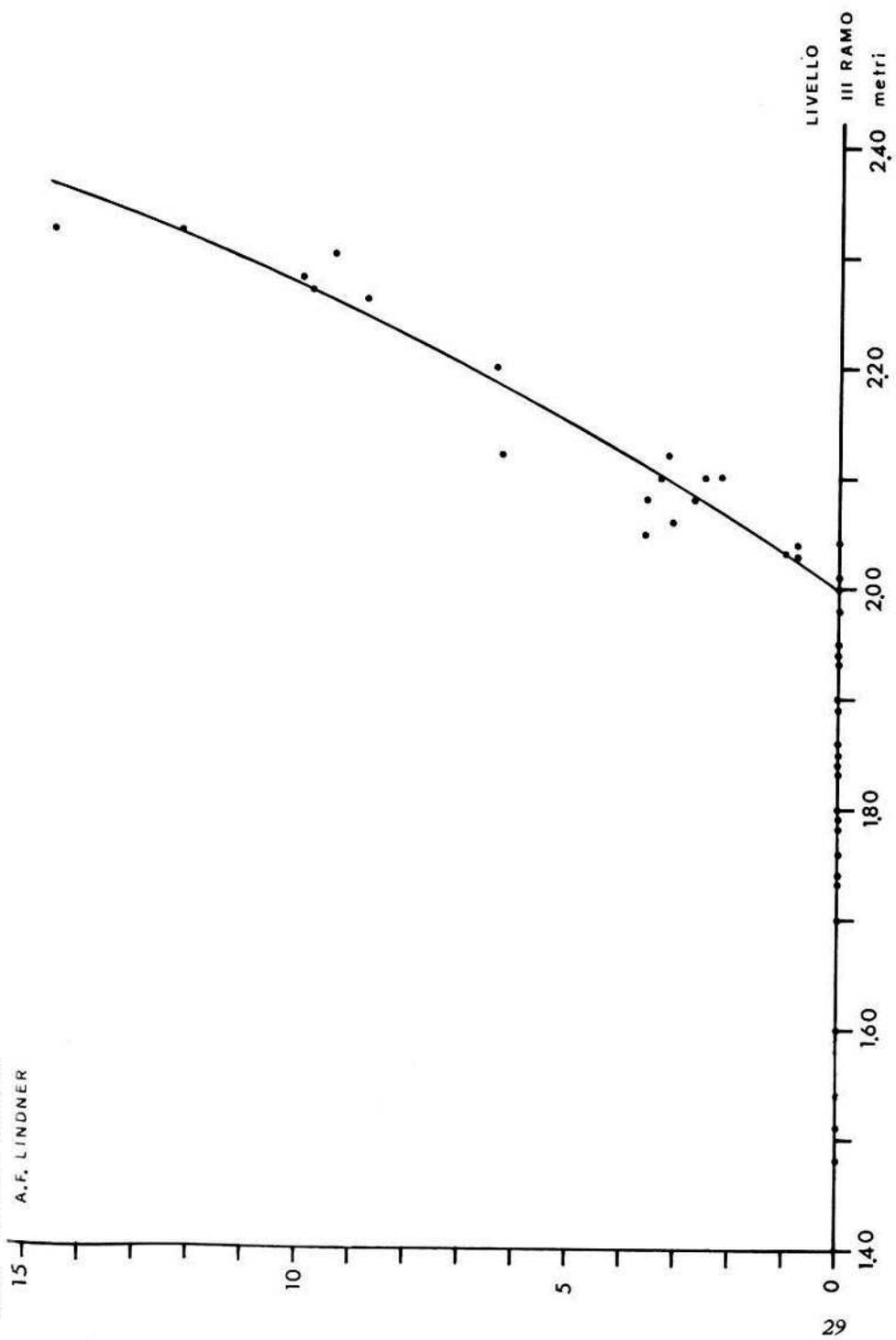


Fig. 3

BIBLIOGRAFIA

- (1) FAVRETTO D., MILANI G.: *Misura dei livelli d'acqua nella grotta A.F. Lindner 3988 VG* - Annali Gruppo Grotte Ass. XXX Ott. Trieste, vol. V, 1971-72.
- (2) FAVRETTO D., MILANI G.: *Rilievi idrometrici alla grotta Lindner* - Atti I Conv. Speleol. del Friuli - Venezia Giulia, Trieste, 1975.
- (3) TOMMASINI T.: *Osservazioni meteoriche* - Suppl. Atti e Mem. Comm. Grotte «E. Boegan». S.A.G., Sez. Trieste C.A.I., Trieste, 1973-74.

POSSIBILI CORRELAZIONI FRA PIENE REGISTRATE
NELLA CAVERNA LINDNER DI S. PELAGIO E TRANSIENTI
REGISTRATI DALL'ESTENSIMETRO A LASER DI AURISINA

1. Nel Carso triestino è in funzione fin dal 1970 una Stazione per la sperimentazione di strumenti di misura e registrazione delle deformazioni del suolo indotte dalle variazioni dell'attrazione del Sole e della Luna nel loro moto relativo alla Terra, dalle variazioni del livello dell'Adriatico, dai grandi terremoti, ecc.

La Stazione si trova in una galleria orizzontale ad una profondità minima di 15 metri. L'asse della galleria ha azimut $7^{\circ} 10'$ (fig. 1).

Tra gli strumenti ivi sperimentati in diverse riprese il più importante è un estensimetro a laser (G. Manzoni, 1971): un laser a gas emettente nel rosso sulla lunghezza d'onda di 0,633 micron è la sorgente in un interferometro del tipo di Michelson (fig. 2); il fascio laser viene inviato su una lamina semiriflettente che lo divide in due parti propagantisi ortogonalmente l'una all'altra; la prima parte compie un percorso molto breve, dell'ordine di qualche centimetro; tale percorso è detto braccio corto e termina con un riflettore che fa tornare il fascio indietro mantenendone immutata la direzione. L'altra parte del fascio compie un percorso di 60 metri, detto braccio lungo, e colpisce un riflettore che pure lo fa tornare indietro con direzione immutata. I due fasci, ritornando indietro colpiscono di nuovo la lamina semiriflettente ricombinandosi e dando così luogo a frange di interferenza.

Poichè il braccio corto si sviluppa tutto su di un unico banco di marmo appoggiato alla roccia sottostante il pavimento della galleria, la sua lunghezza non varia nel tempo. Al contrario il braccio lungo parte dallo stesso banco di marmo del braccio corto, si sviluppa per tutti i suoi 60 metri lungo la galleria e termina su di un altro banco di marmo appoggiato alla roccia (fig. 3): pertanto la lunghezza del braccio lungo varia al variare della distanza fra i due banchi seguendo le defor-

(*) Istituto di Geodesia e Geofisica, Università di Trieste.

Il presente lavoro fa parte di un programma di ricerca finanziato dal Consiglio Nazionale delle Ricerche.

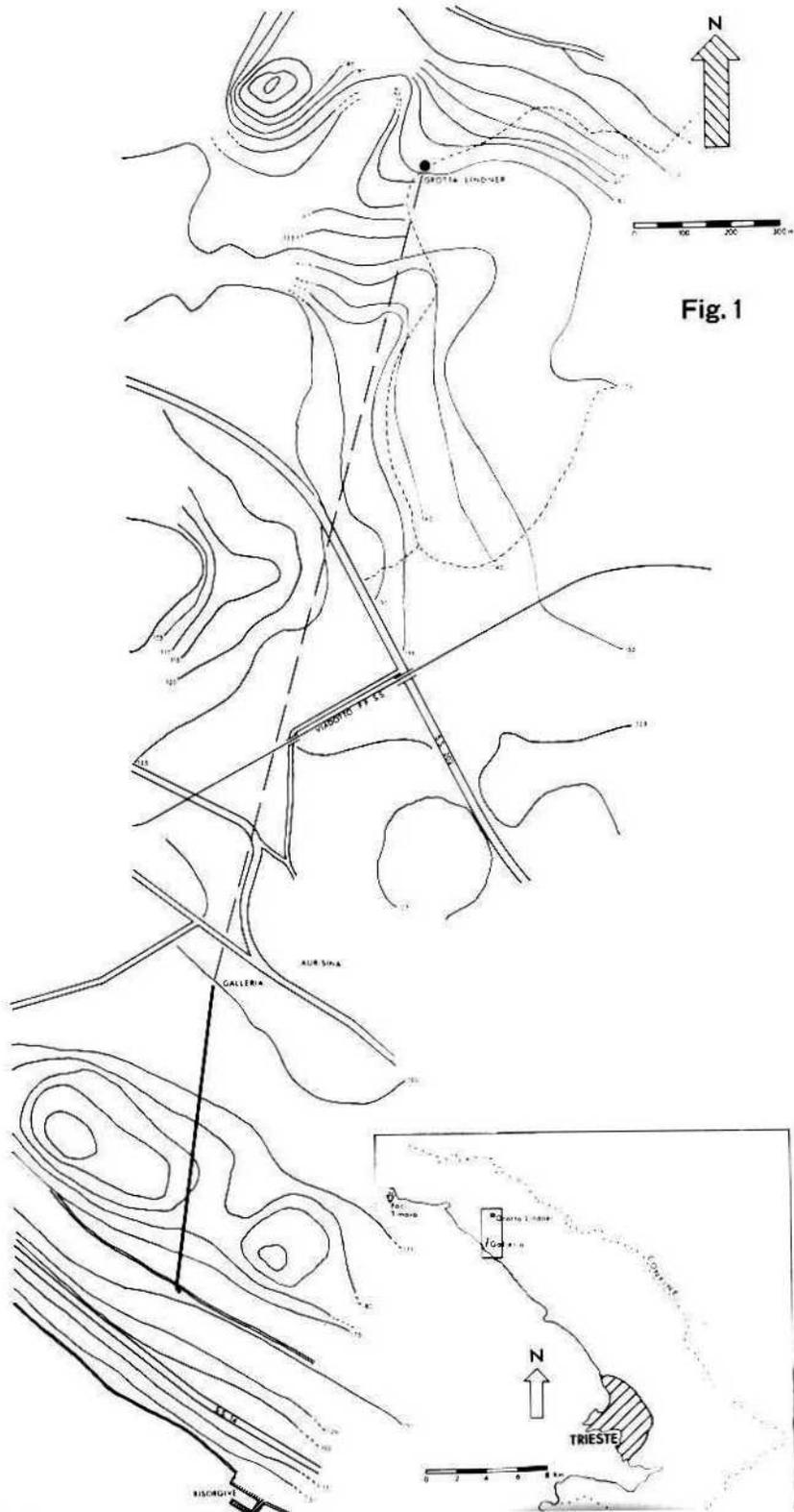


Fig. 1

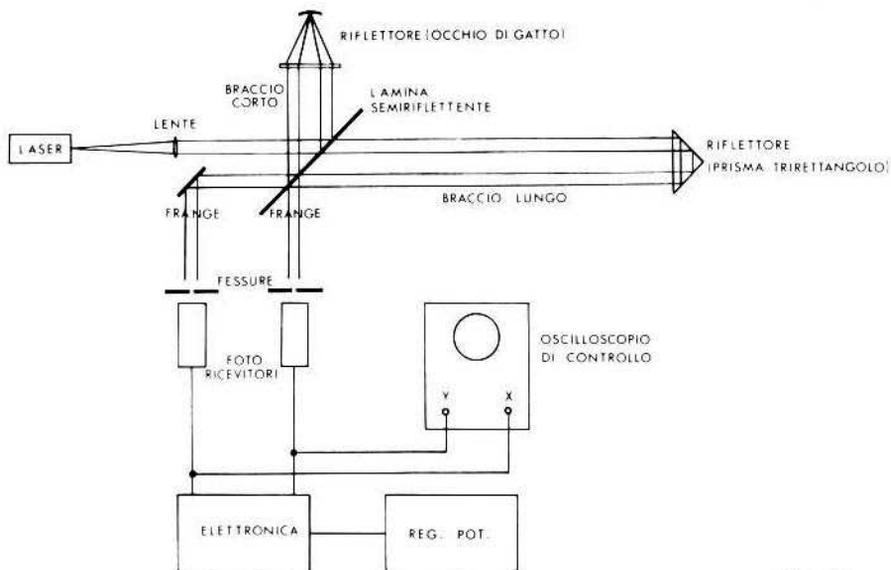


Fig. 2

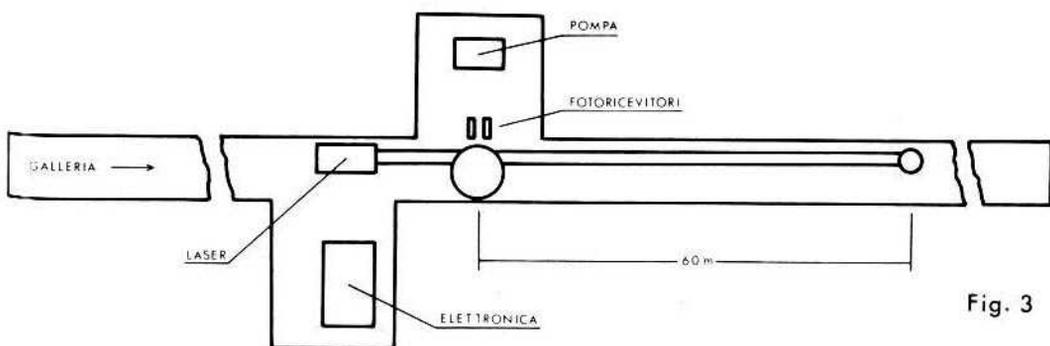


Fig. 3

mazioni alle quali è sottoposta la roccia nella direzione dell'asse della galleria. Se varia la lunghezza del braccio lungo mentre quella del braccio corto resta fissa, allora le frange di interferenza si muovono; mediante un opportuno sistema elettroottico vengono contate quante ne transitano attraverso una fessura fissa e in che verso; il transito di una frangia corrisponde ad una variazione della lunghezza del braccio lungo pari a metà della lunghezza d'onda del laser; il verso di transito indica se il braccio lungo si è accorciato o allungato. Mediante un discriminatore si possono contare i transiti di ogni quarto di frangia e quindi la risoluzione del sistema è di 0,08 micron; la risoluzione relativa è $1,3 \times 10^{-9}$ unità di deformazione.

Scopo di questa nota è di esaminare la possibilità che l'estensimetro a laser di Aurisina registri deformazioni della roccia indotte dalle piene delle acque sotterranee del Carso triestino.

2. Confrontando (fig. 4) le registrazioni delle variazioni del livello d'acqua sul fondo della grotta Lindner (Favretto-Milani, 1975) con le registrazioni dell'estensimetro a laser si è visto che transienti presenti nelle seconde iniziavano e decadevano quasi contemporaneamente all'alzarsi e all'abbassarsi del detto livello.

Prima di affermare che può esistere una relazione fra i due fenomeni, è necessario approfondire quantitativamente l'incidenza sull'estensimetro delle variazioni termiche ambientali: infatti, come si vede nella figura 4, anche tra la registrazione della temperatura all'interno della galleria e la registrazione dell'estensimetro appare esistere una relazione. A questo argomento è dedicato il presente paragrafo.

Le curve in figura 5 riproducono in scala temporale compressa le registrazioni estensimetriche e termografiche all'interno e all'esterno (Borgo Grotta Gigante) della galleria per un periodo di 17 mesi. Le curve in figura 6 riproducono in scala temporale compressa le registrazioni estensimetriche, termografiche all'interno e all'esterno della galleria e pluviometriche (Borgo Grotta Gigante) in un periodo di 15 giorni. In linea generale tra le curve estensimetriche e quelle termometriche appare esistere una correlazione. Ciò non stupisce perchè le variazioni di temperatura ambientale possono in principio agire sull'estensimetro in diversi modi:

a) come variazioni della lunghezza del braccio lungo per dilatazioni e contrazioni della roccia,

b) come variazioni della lunghezza d'onda della radiazione emessa dal laser dovute alle dilatazioni e contrazioni della cavità risonante ottica che fa parte del laser; tali variazioni danno luogo ad un movimento di frange e quindi vengono registrate come deformazioni apparenti della roccia,

c) come variazioni dell'indice di rifrazione dell'aria nel braccio corto e nel braccio lungo; anche queste variazioni vengono registrate come deformazioni apparenti della roccia.

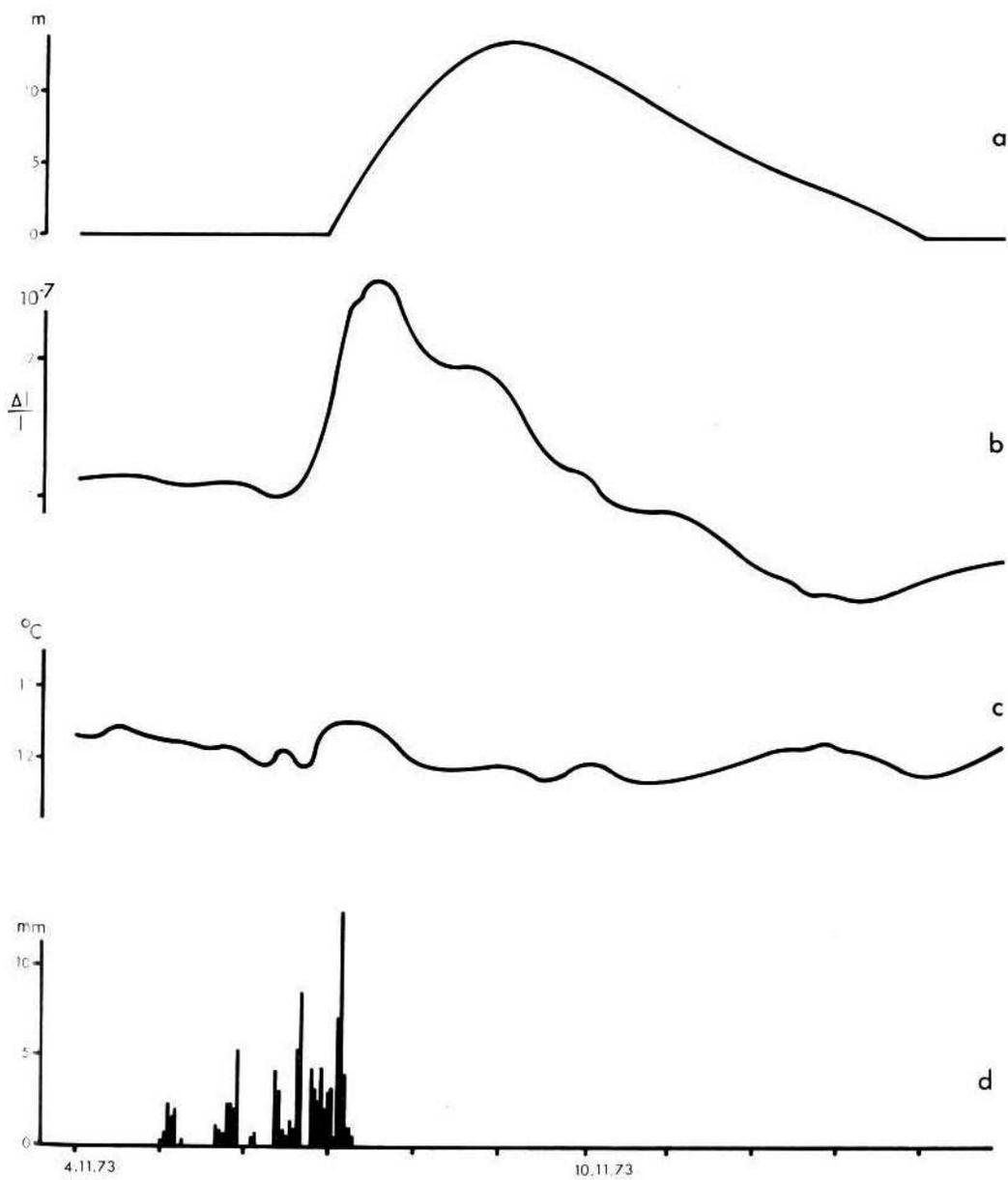


Fig. 4

Per quanto riguarda il punto c) si è provveduto a proteggere i percorsi dei fasci laser con una camicia metallica entro cui è praticato un vuoto moderato dell'ordine di qualche 10^{-2} torr: l'indice di rifrazione dell'aria rarefatta risente infatti delle variazioni di temperatura molto meno che nell'aria a pressione standard; si può vedere (C. Marchesini, 1969) in base alla formula di Barrel-Sears che già in un'aria rarefatta a 0,3 torr un'escursione termica di 3°C , pari a quella registrata nella galleria in 17 mesi, dà luogo a una variazione dell'indice di rifrazione pari a $1,2 \times 10^{-9}$ che nel caso dell'estensimetro di Aurisina dà luogo ad una deformazione apparente della roccia pari a $1,2 \times 10^{-9}$ unità di deformazione; questa è inferiore di più di due ordini di grandezza alla deformazione registrata e addirittura inferiore alla risoluzione dell'estensimetro stesso. Pertanto consideriamo trascurabile l'effetto di cui al punto c).

Per quanto riguarda il punto a) osserviamo subito che le registrazioni mostrano che se correlazione c'è, allora ad un aumento della temperatura nella galleria e all'esterno, corrisponde una contrazione del braccio lungo, mentre ad una diminuzione della temperatura corrisponde un suo allungamento. Ciò appare già a prima vista alquanto strano e noi abbiamo cercato invano un modello che lo potesse spiegare. Certamente la spiegazione non può venire dalla legge di sfasamento di un'onda termica di periodo T che si propaghi a profondità z in un terreno di diffusività termica K

$$\varphi(z) = z \sqrt{\frac{\pi}{KT}}$$

con K in cm^2/sec e T in sec. Per giustificare le registrazioni, l'onda termica annua dovrebbe essere sfasata di π alla profondità di 35 cm, che è lo spessore tra il pavimento della galleria e la roccia su cui appoggiano le estremità dell'estensimetro. Si trova invece mediante la suddetta legge uno sfasamento di 0,17 radianti avendo assunto per K il valore $0,004 \text{ cm}^2/\text{sec}$, che abbiamo determinato per la roccia nella grotta Doria in base ai dati di meteorologia ipogea in essa rilevati (S. Polli, 1962). Abbiamo di conseguenza supposto, almeno come ipotesi di lavoro, che se c'è stata contrazione e se c'è stata dilatazione del braccio lungo esse sono state mascherate da altri effetti; ciò vuol dire che il coefficiente di dilatazione macroscopico della roccia carsica è molto piccolo, inferiore a $3 \times 10^{-7} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ se consideriamo le registrazioni in figura 5, cioè quelle a più lungo periodo, e inferiore a $6 \times 10^{-8} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ se consideriamo le registrazioni in figura 6; questi limiti vengono ulteriormente abbassati se si tien conto della legge di attenuazione dell'ampiezza di un'onda termica

$$\frac{\Delta t(z)}{\Delta t(0)} = \rho - z \sqrt{\frac{\pi}{KT}}$$

La discordanza fra i due valori dati sopra per il coefficiente di dilatazione può essere dovuta al fatto che le lente variazioni estensimetriche riportate in figura 5 possono avere cause sconosciute del tutto diverse da quella termica, come per esempio lente derive di assestamento della roccia nella galleria. Peraltro il valore dedotto dalla figura 6 è confermato da altri campioni di registrazione della stessa scala temporale.

Abbiamo lasciata per ultima la trattazione del punto b) perchè esso è l'unico che spieghi come ad un aumento della temperatura ambiente possa corrispondere un accorciamento apparente del braccio lungo: la lunghezza d'onda d'emissione del laser sta un numero intero di volte nel doppio della lunghezza della cavità risonante ottica; dunque se tale cavità si allunga la lunghezza d'onda aumenta e quindi l'estensimetro registra un apparente accorciamento. Siccome la cavità risonante ottica è costituita da due specchi posti alle estremità di un tubo di quarzo se la temperatura ambiente aumenta, sicuramente la lunghezza della cavità aumenta e quindi l'estensimetro registra un apparente accorciamento, proprio come le registrazioni denunciano. Il rapporto tra le deformazioni apparenti registrate dall'estensimetro e le variazioni della temperatura ambiente è, considerando la figura 6, 6×10^{-8} unità di deformazione/ $^{\circ}\text{C}$. Dalla figura 5 dedurremmo un valore più elevato, ma, come si è detto, le variazioni lente registrate dall'estensimetro possono avere altre cause. Il valore di 6×10^{-8} del suddetto rapporto è più basso di quello che ci si aspetterebbe in base al coefficiente di dilatazione che viene di solito attribuito al quarzo cioè 5×10^{-7} $1/^{\circ}\text{C}$. Ciò può essere giustificato dal fatto che il laser possiede un sistema di autostabilizzazione elettronica che dovrebbe consentirgli di emettere sempre sulla stessa lunghezza d'onda; l'ipotesi di lavoro che qui facciamo è che tale autostabilizzazione non sia migliore di 6×10^{-8} $\lambda/^{\circ}\text{C}$, λ essendo la lunghezza d'onda.

Riassumendo, scartata la possibilità che le variazioni della temperatura ambiente siano risentite dall'estensimetro a causa di variazioni indotte nell'indice di rifrazione, abbiamo fatto tre ipotesi di lavoro: che il coefficiente di dilatazione macroscopico della roccia sia inferiore a 6×10^{-8} $1/^{\circ}\text{C}$, che le variazioni termiche agiscano attraverso il laser e che la stabilità della lunghezza d'onda su cui emette il laser non sia migliore di 6×10^{-8} $\lambda/^{\circ}\text{C}$.

3. Siamo ora in grado di commentare le registrazioni in figura 4: la variazione della temperatura ambiente registrata il giorno 7 novembre 1973 giustificherebbe un allungamento apparente registrato dall'estensimetro pari a sole 3×10^{-8} unità di deformazione; invece la deformazione registrata è stata sì un allungamento ma di ben $1,5 \times 10^{-7}$ unità di deformazione. Allora se la registrazione della temperatura all'interno della galleria non giustifica il transiente registrato dall'estensimetro bisogna cercare un'altra causa. Osserviamo che la grotta Lindner è quasi allineata con l'asse del braccio lungo dell'estensimetro (fig. 1); non è allora irragionevole

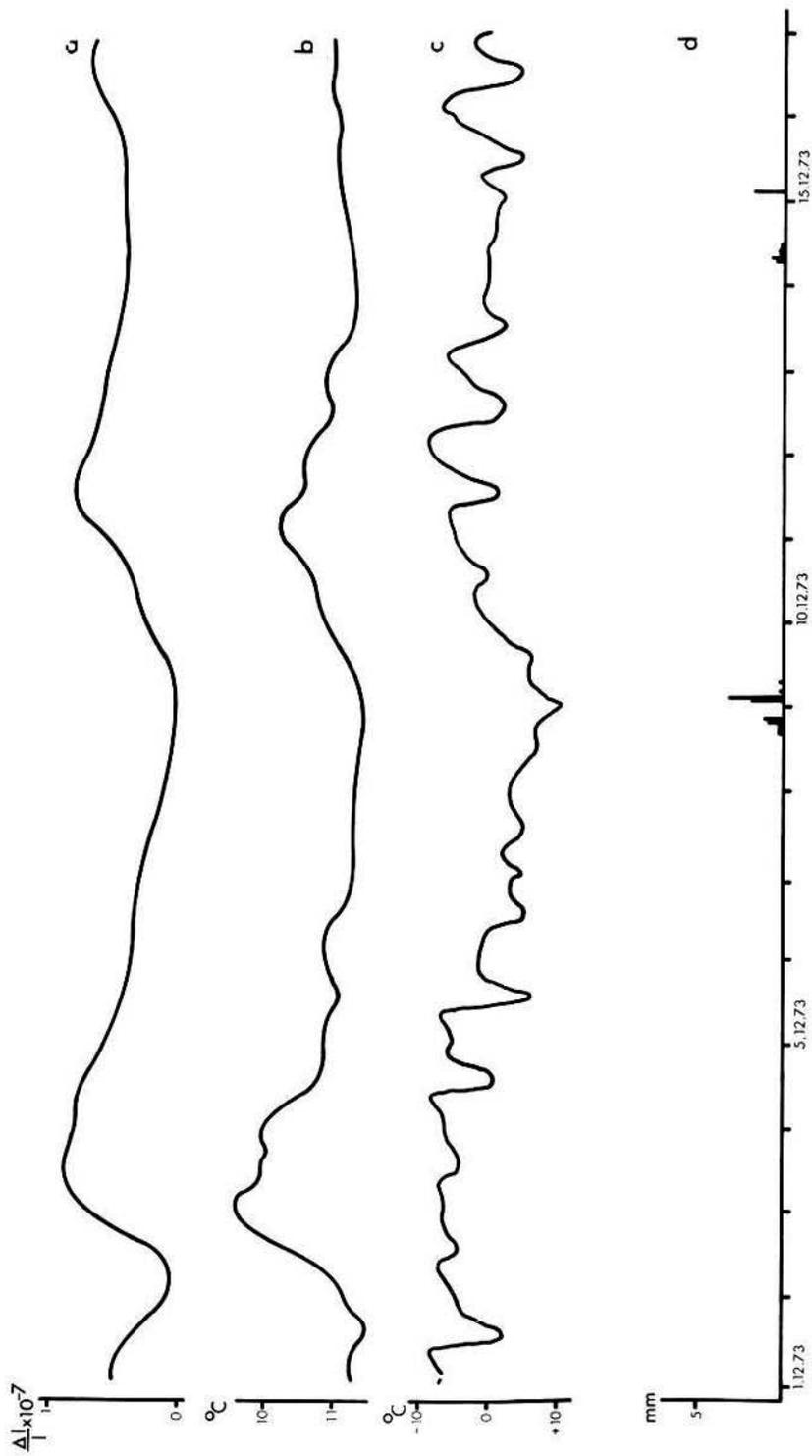


Fig. 6

pensare che il transiente sia una deformazione indotta nella roccia dalla piena delle acque sotterranee del Carso triestino, di cui la piena della grotta Lindner è un sintomo. Questa spiegazione è in accordo con quanto proposto per giustificare transienti registrati dai pendoli della Grotta Gigante (A. Marussi, 1960).

Nel periodo di contemporanea attività dell'estensimetro a laser e dell'idrografo della grotta Lindner si sono registrati altri fenomeni simili a quello centrato sul giorno 7 novembre 1973, ma non così imponenti; essi confermano l'ipotesi fatta ma non consentono ancora di studiare la struttura del bacino sotterraneo tra Aurisina e S. Pelagio come appare possibile fare esaminando le registrazioni del giorno 7 novembre 1973: la piena del bacino sotterraneo sembra avvenire prima del riempimento della grotta Lindner; infatti la rampa registrata dall'estensimetro precede quella della piena della Lindner ed è più ripida di quest'ultima. Ciò è in accordo con quanto mostrato in altro articolo del presente fascicolo (Gemiti-Milani, Correlazioni tra i livelli d'acqua della grotta A. F. Lindner ed il fiume Timavo) cioè che le onde di piena del Timavo alle foci di S. Giovanni di Duino sono sempre in anticipo rispetto all'inizio della piena della Lindner.

Ringraziamo il dott. Tullio Tommasini per i dati meteorologici della Stazione di Borgo Grotta Gigante della Società Alpina delle Giulie. Ringraziamo il dott. Enrico Merlak e il signor Giuseppe Milani per le stimolanti discussioni.

SOMMARIO

Tra le registrazioni dell'estensimetro a laser installato ad Aurisina e quelle dell'idrografo installato nella grotta Lindner di S. Pelagio potrebbe esservi una correlazione, che, se confermata darebbe informazioni sulla struttura del bacino sotterraneo del Carso triestino occidentale.

BIBLIOGRAFIA

- FAVRETTO D., MILANI G.: *Rilievi idrometrici alla grotta Lindner* - Atti Conv. Speleol. Friuli-Venezia Giulia, Trieste, 1975.
- GEMITI F., MILANI G.: *Correlazioni tra i livelli d'acqua della grotta A. F. Lindner ed il fiume Timavo* -
- MANZONI G.: *The laser strainmeter installed near Trieste* - Boll. Geod. e Sc. Aff., III, 3, 1971.
- MARCHESINI C.: *Tesi di laurea in Fisica* - Trieste, 1969.
- MARUSSI A.: *I primi risultati ottenuti nella stazione per lo studio delle maree della verticale della Grotta Gigante* - Boll. Geod. e Sc. Aff., XIX, 4, 1960.
- POLLI S.: *Tre anni di meteorologia ipogea nella grotta sperimentale C. Doria* - Atti e Mem. Soc. Alpina delle Giulie, suppl. 1962.
- TOMMASINI T.: *Osservazioni meteoriche* - Suppl. Atti e Memorie Comm. Grotte «E. Boegan», S.A.G. Sez. Trieste C.A.I., Trieste, 1973-74.

INDAGINE SUI RAPPORTI DI ALIMENTAZIONE DELLE ACQUE
DEL CARSO TRIESTINO E GORIZIANO
MEDIANTE L'UTILIZZO DI ALCUNI TRACCIANTI NATURALI

PREMESSA

Nella zona compresa tra il porto di S. Croce presso Trieste ed il canale del Lisert presso Monfalcone vengono alla luce numerose acque sotterranee alimentate non solo dalle acque di drenaggio dell'altipiano carsico ma anche da corsi d'acqua superficiali esterni al complesso carsico (alto Timavo e forse Vipacco e Isonzo). Gli studi idrologici effettuati in passato si sono interessati soprattutto dei rapporti idrici intercorrenti tra l'alto e basso Timavo mentre è stata trascurata la caratterizzazione delle altre sorgenti, in particolare Sardos e Moschenizze che, con Aurisina, sono state considerate piuttosto semplicisticamente «scarichi secondari del Timavo». Per le acque dei laghi carsici di Doberdò, Pietrarossa e Sablici le conoscenze attuali si basano su di un esperimento di marcatura (1), su alcune osservazioni idrologiche (3), su indagini geologiche e geofisiche svolte nella pianura goriziana (8). Solo intorno al 1967 è stata intrapresa un'interessante indagine, basata sull'utilizzo dei traccianti naturali, allo scopo di differenziare un certo numero di acque comprese tra l'Isonzo e la Rosandra (10).

Motivi di ordine pratico, quali la necessità di accertare per tempo possibili fenomeni di inquinamento alle risorgive che alimentano gli acquedotti di Trieste (Randaccio e Aurisina), nonché la ricerca di nuove fonti di approvvigionamento idrico in sostituzione dell'acqua del Timavo, hanno dato un notevole impulso alla ricerca idrologica ed in particolare alla parte idrochimica. Sono emersi dati molto interessanti (4) circa i rapporti di alimentazione Sardos-Timavo-Aurisina ed inoltre è stato possibile individuare un metodo per distinguere le acque del Timavo superiore dalle altre acque carsiche in base alla presenza, durante le piene, di alcune sostanze inquinanti (2).

In considerazione dei risultati ottenuti si è deciso di estendere la ricerca idrochimica anche alle altre sorgenti carsiche nonché ad alcuni corsi d'acqua che con esse potrebbero avere connessione.

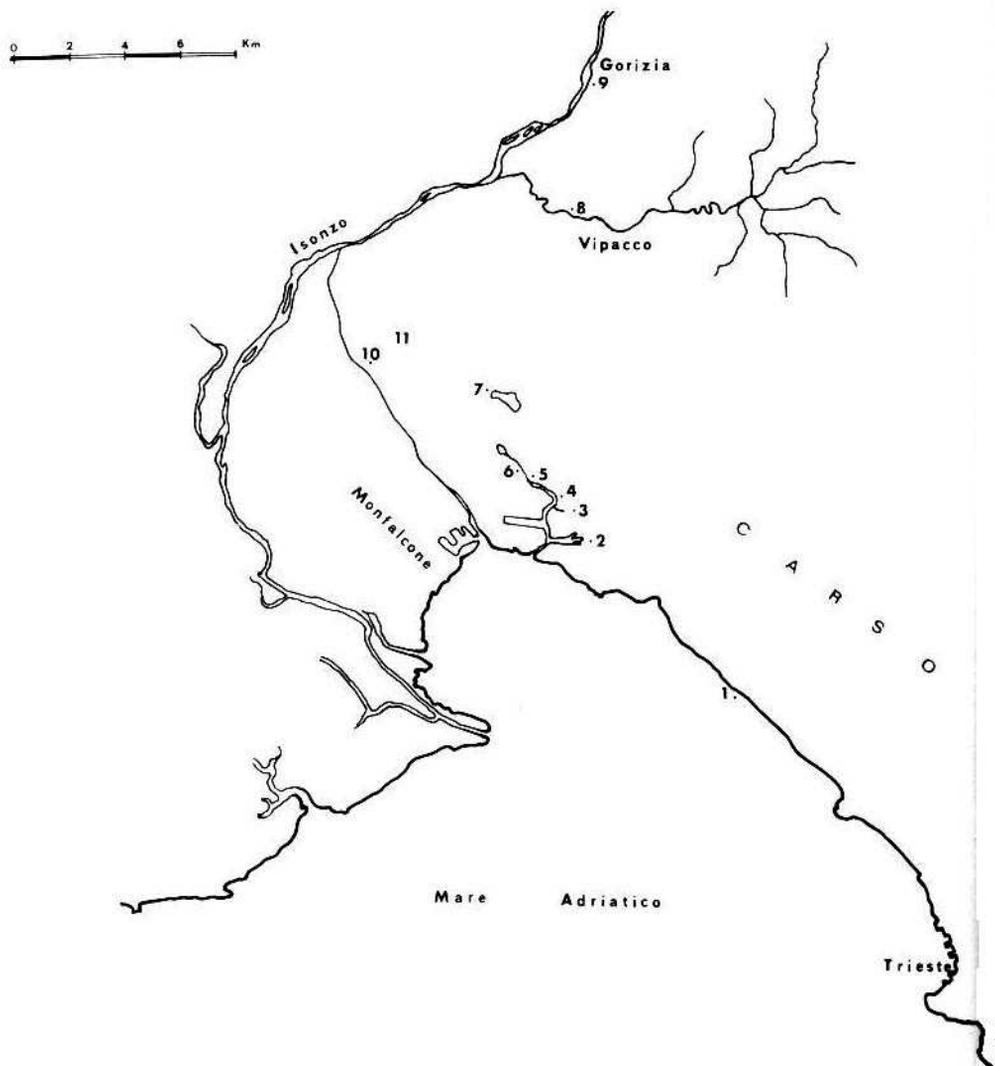


Fig 1 - Particolare della zona esaminata

L'indagine è stata condotta nell'ambito di un lavoro sviluppato sotto la guida del chiar.mo prof. F. Mosetti ed eseguito, per la parte sperimentale, presso il laboratorio chimico dell'ACEGAT (7).

IMPOSTAZIONE DELLA RICERCA E SUOI OBIETTIVI

E' stata svolta un'indagine chimico-fisica sistematica, protrattasi nell'arco di un intero anno, su 11 acque del territorio compreso fra i fiumi Vipacco e Isonzo, la pianura basso isontina ed il Carso triestino all'altezza di Aurisina (fig. 1).

Nel periodo che va dal gennaio 1975 al gennaio 1976 sono stati eseguiti 36 prelevamenti di campioni d'acqua, di questi 13 in periodo di regime idrico normale, 11 in magra, 6 in morbida e 6 in piena.

Si elencano qui di seguito le 11 località con l'esatta ubicazione del punto di prelievo.

- | | |
|---------------------------|--|
| 1. <i>Aurisina</i> | Dal collettore Ø 700 mm presso la stazione di filtrazione. |
| 2. <i>Timavo</i> | Alla polla situata tra il 1° e 2° ramo. |
| 3. <i>Sardos</i> | Nel bacino di presa, a monte dello sfioro. |
| 4. <i>Moschenizze S</i> | Alla sorgente indicata dal Boegan (1) con il n. 12. |
| 5. <i>Moschenizze N</i> | Alla sorgente situata entro l'anello autostradale (autostrada Trieste - Venezia), allo svincolo per Gorizia. |
| 6. <i>Sablici</i> | In prossimità del casello autostradale. |
| 7. <i>Doberdò</i> | Alle sorgenti nei pressi della «Trattoria al lago». |
| 8. <i>Vipacco</i> | Al ponte di Rupa. |
| 9. <i>Isonzo Gorizia</i> | Al ponte IX agosto. |
| 10. <i>Isonzo Sagrado</i> | Al canale Dottori, presso Redipuglia. |
| 11. <i>Fornace</i> | Alla fornace di Redipuglia (pozzo). |

In loco è stata fatta la determinazione della temperatura dell'acqua, presso il laboratorio chimico dell'ACEGAT l'analisi della durezza totale, del calcio, del magnesio, dei bicarbonati, dei solfati, dei cloruri, del pH. La scelta di questi parametri è stata fatta in base ai risultati di ricerche effettuate in precedenza e ad indagini preliminari condotte presso il laboratorio aziendale.

Scopo della ricerca è stato quello di utilizzare i parametri sopra elencati quali traccianti naturali per differenziare tra loro le acque ed eventualmente per riconoscere per alcune di esse possibili alimentazioni da parte dell'Isonzo e del Vipacco.

In particolare interessava conoscere la composizione media e possibilmente l'origine delle acque che si immettono nel vallone di Moschenizze (sorgenti Mosche-

nizze e collettore Sablici) in quanto è previsto il loro sfruttamento per l'approvvigionamento idrico della provincia di Trieste in sostituzione dell'acqua del Timavo soggetta a torbide ed inquinamenti improvvisi.

Un secondo obiettivo era quello di fornire un quadro sufficientemente completo sulla composizione chimico-fisica di dette acque secondo criteri statistici, creando così le basi per ulteriori ricerche idrochimiche future.

ESPOSIZIONE DEI RISULTATI

Nel presente lavoro nelle figure 2, 3, 4, 5 vengono riportate rispettivamente l'andamento della temperatura in funzione del tempo e le correlazioni calcio-magnesio, cloruri-solfati, equilibrio bicarbonatico per le più importanti acque esaminate. Nella tabella 1 vengono riassunti tutti i dati numerici raccolti sotto forma di medie relative a regimi idrici di magra, normali, di morbida, di piena nonché la media annuale.

DISCUSSIONE DEI RISULTATI ANALITICI RELATIVI A CIASCUN PUNTO DI PRELIEVO

Aurisina

La temperatura dell'acqua si mantiene tra 12.1 e 13.5° C con un valore medio di 13.0° C.

La concentrazione media del calcio risulta elevata (93.8 mg/l) e variabile nel tempo (82-102 mg/l) con massimi sia in periodi di piena che di magra. Collegata alla concentrazione del calcio è quella dei bicarbonati che presentano lo stesso andamento in funzione del tempo. Anche il magnesio varia corrispondentemente con il calcio ed i bicarbonati, però in modo diverso: ad elevati valori di calcio corrispondono bassi valori di magnesio e viceversa; la sua concentrazione risulta mediamente bassa (4.3 mg/l) e piccolo l'intervallo di variazione (2.6-6.8 mg/l).

L'aumento di durezza calcica riscontrato durante le piene per questa e le altre sorgenti carsiche è causato dall'apporto delle acque di scorrimento sub-verticale e da quelle di più rapido percolamento, rapidamente smaltite verso il fondo da più ampie fessure e canalizzazioni, e caratterizzate da una maggior durezza rispetto alle acque di stillicidio (che alimentano le sorgenti carsiche in periodi di magra) in quanto poco soggette al fenomeno della deposizione di carbonato di calcio (5).

Anche i cloruri seguono a grandi linee, ma con qualche eccezione, l'andamento del calcio; il loro valore oscilla tra 6 e 15 mg/l. I solfati presentano valori relativamente elevati (media = 17.9 mg/l) ed un andamento più irregolare, ma in definitiva simile a quello del bicarbonato di calcio. In conclusione si può affermare

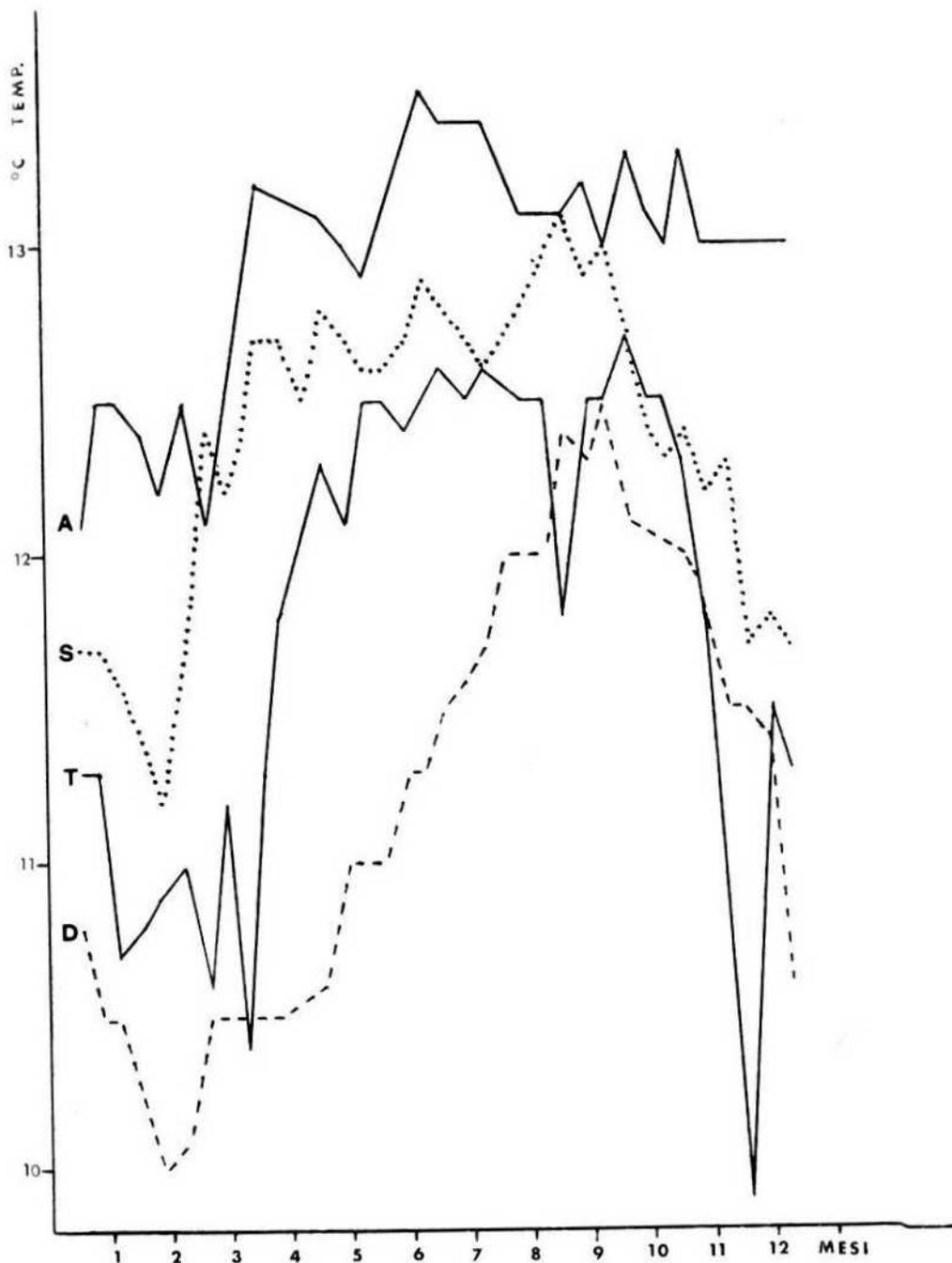


Fig. 2 - Variazione annuale della temperatura di alcune acque carsiche

che ogni aumento di salinità dell'acqua è accompagnato da un aumento di concentrazione dei principali ioni presenti, eccezion fatta per il magnesio.

Di particolare interesse il confronto dei dati ottenuti durante le tre maggiori piene di marzo, aprile, novembre. Nel primo episodio si ha una diminuzione della salinità, negli altri due invece un aumento, si assiste cioè ad una evidente diversità di alimentazione delle sorgenti durante le piene: in aprile e novembre è prevalsa l'acqua carsica, povera di magnesio, ma più dura ed in genere più ricca di sali; in marzo invece il contributo dell'alto Timavo, con una salinità nettamente più bassa, specialmente in periodo di piena.

Questa constatazione è avvalorata dai dati di inquinamento delle acque in possesso dell'ACEGAT.

Timavo

La temperatura dell'acqua presenta oscillazioni piuttosto ampie con minimi di 9.9° C e massimi di 12.3°, il valore medio risulta di 11.8° C. I valori più bassi sono stati riscontrati durante le piene di aprile e dicembre.

La concentrazione media del calcio (74.8 mg/l) è inferiore a quella di Aurisina, mentre quella del magnesio (6.5 mg/l) risulta superiore.

Durante le piene si osserva il fenomeno riscontrato ad Aurisina, ma con maggiore frequenza: in certe occasioni la durezza dell'acqua aumenta, in altre subisce notevolissime diminuzioni. Nell'aprile si constata una nettissima diminuzione del calcio e dei bicarbonati, causata dall'arrivo dell'onda dell'alto Timavo (vedi inquinamento ed abbassamento della temperatura); la stessa cosa si nota nel mese di dicembre con una diminuzione molto netta anche per cloruri e magnesio (l'acqua di S. Canziano in piena è infatti povera di magnesio rispetto al Timavo ma pur sempre ricca rispetto ad Aurisina). Nel novembre invece si constata un notevolissimo aumento della salinità in generale, cui corrisponde una forte diminuzione del magnesio: in questo caso evidentemente prevaleva nettamente l'acqua carsica su quella proveniente da S. Canziano. Da notare, durante i periodi di magra, il progressivo aumento del magnesio (fino a 10 mg/l) e la diminuzione del calcio (fino a 68 mg/l), forse dovuti a cambiamenti nei rapporti di alimentazione delle risorgive. I solfati si mantengono durante tutto l'anno abbastanza costanti con un valore medio di circa 12 mg/l; il valore più elevato è stato constatato in dicembre, allorchè l'acqua presentava una certa torbidità per argille rosse.

Sardos

La temperatura varia tra 11.2 e 13.1° C, il valore minimo è stato riscontrato - come per Aurisina - alla fine di febbraio, quello massimo in settembre.

La concentrazione del calcio varia tra 57 e 87 mg/l, quella del magnesio tra 4.7 e 10.7 mg/l; si tratta di variazioni piuttosto ampie che avvengono con grande regolarità: durante le piene si ha sempre un aumento del calcio (e bicarbonati) ed una diminuzione del magnesio, durante le magre succede il contrario.

Poichè esistono queste ampie fluttuazioni nella concentrazione del magnesio e poichè quest'ultimo si trova in concentrazioni superiori a quelle riscontrabili nelle acque che percolano attraverso i calcari, è da ritenere probabile per queste sorgenti una doppia alimentazione: di un'acqua carsica con molto calcio e poco magnesio (soprattutto durante le piene) accanto ad un'acqua particolarmente ricca di magnesio e povera di calcio (acqua carsica proveniente da dolomie oppure acqua di origine diversa). I solfati si presentano abbastanza costanti intorno al valore medio di 12.7 mg/l, con maggiori escursioni invece, intorno al valore di 6.8 mg/l, i cloruri.

Moschenizze S

Con questa dizione sono state indicate alcune sorgenti che mandano la loro acqua nel vallone di Moschenizze e si trovano a valle del manufatto che convoglia, sotto l'autostrada, l'acqua del Sablici e di una (o due) sorgenti (Moschenizze N), oggi di portata molto modesta ma che un tempo alimentavano un mulino.

La sorgente tenuta sotto osservazione nell'arco di un anno presenta caratteristiche chimico-fisiche praticamente eguali a quella delle sorgenti Sardos. Si riscontra soltanto una temperatura media leggermente più elevata (12.5° C) ed un contenuto di magnesio lievemente superiore, specialmente durante le piene (valore medio = 8.7 contro 8.4 mg/l del Sardos).

Viene dimostrato quindi in modo inequivocabile che questa sorgente ha la stessa alimentazione del Sardos, anche se misure torbidimetriche hanno fornito per essa valori di torbidità inferiori. Probabilmente si tratta di fenomeni legati alla velocità di scorrimento e turbolenza dell'acqua. Poichè analisi comparate effettuate dal laboratorio chimico dell'ACEGAT avevano in precedenza dimostrato l'identità della composizione chimica per tutte le sorgenti Moschenizze ancora attive (fatta eccezione quella designata come Moschenizze N), il risultato ottenuto per questa sorgente va esteso a tutte le altre.

Moschenizze N

Questa sorgente ha costituito una grossa sorpresa in quanto si poteva prevedere per essa (quantunque un'indagine termometrica effettuata recentemente (14) avesse rilevato un comportamento anomalo) una composizione non molto diversa da quella delle altre sorgenti Moschenizze. E' risultato invece che essa è alimentata in modo completamente diverso come risulta dalle seguenti constatazioni:

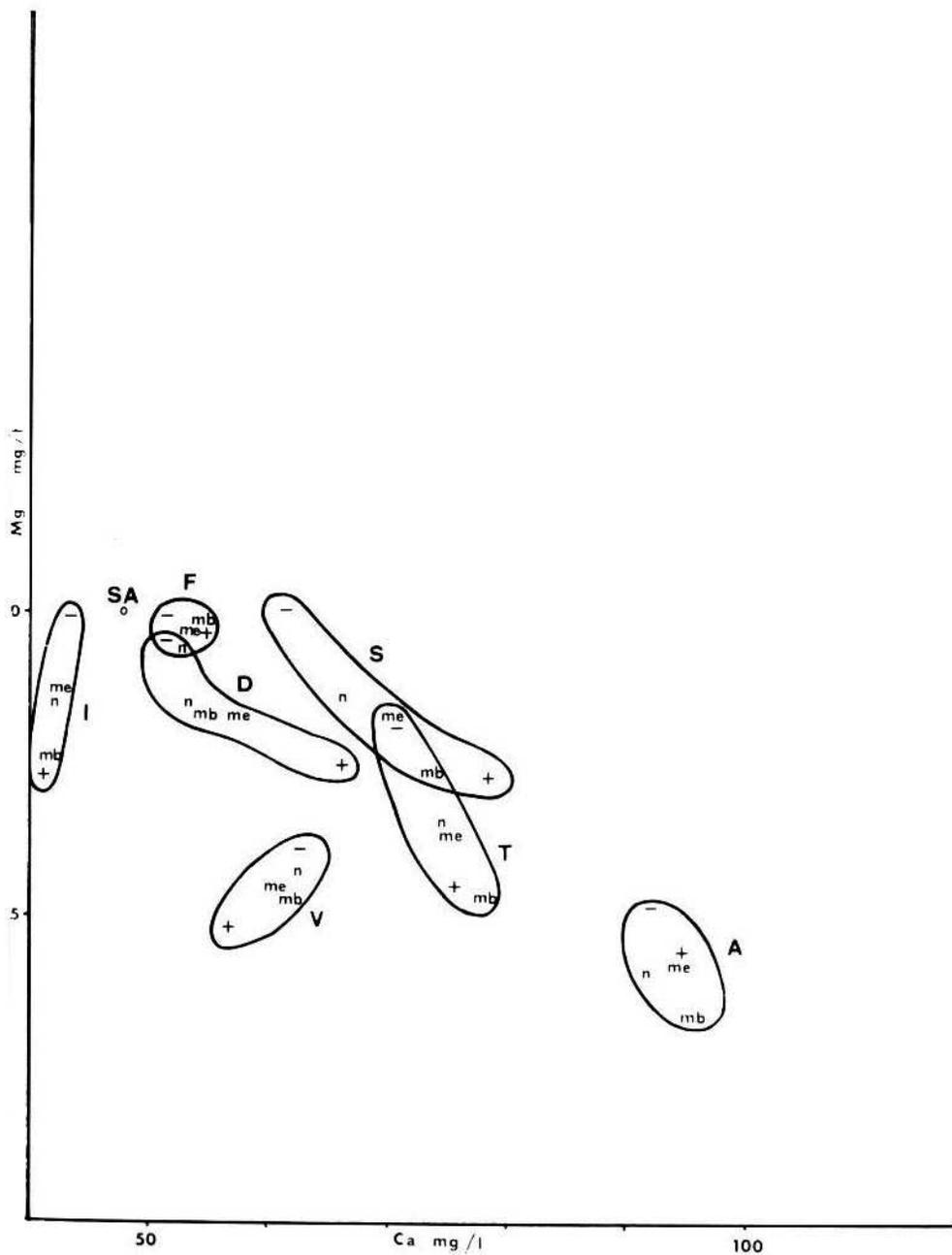


Fig. 3 - Distribuzione del contenuto di calcio in funzione del contenuto di magnesio

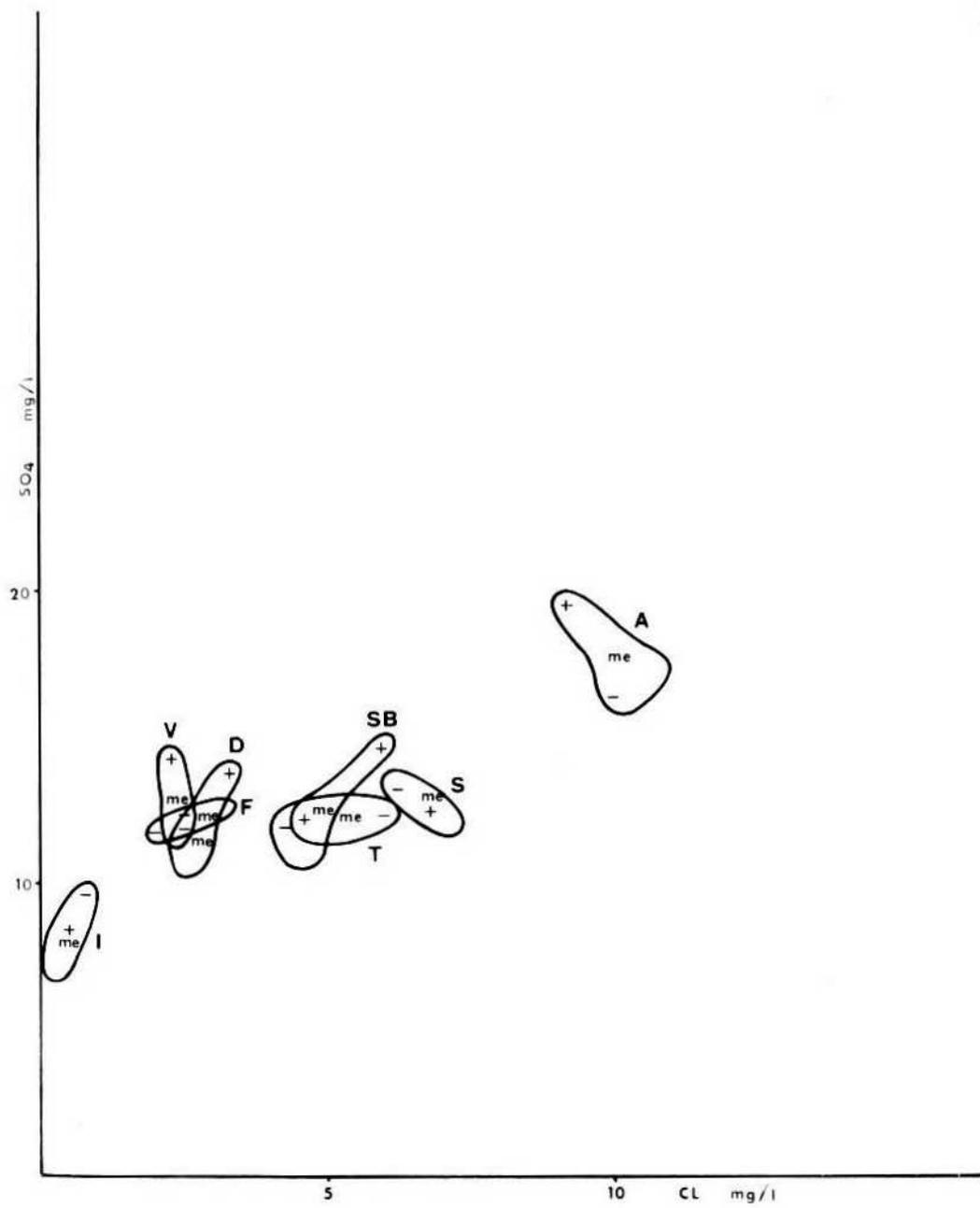


Fig. 4 - Distribuzione del contenuto di solfati in funzione del contenuto di cloruri

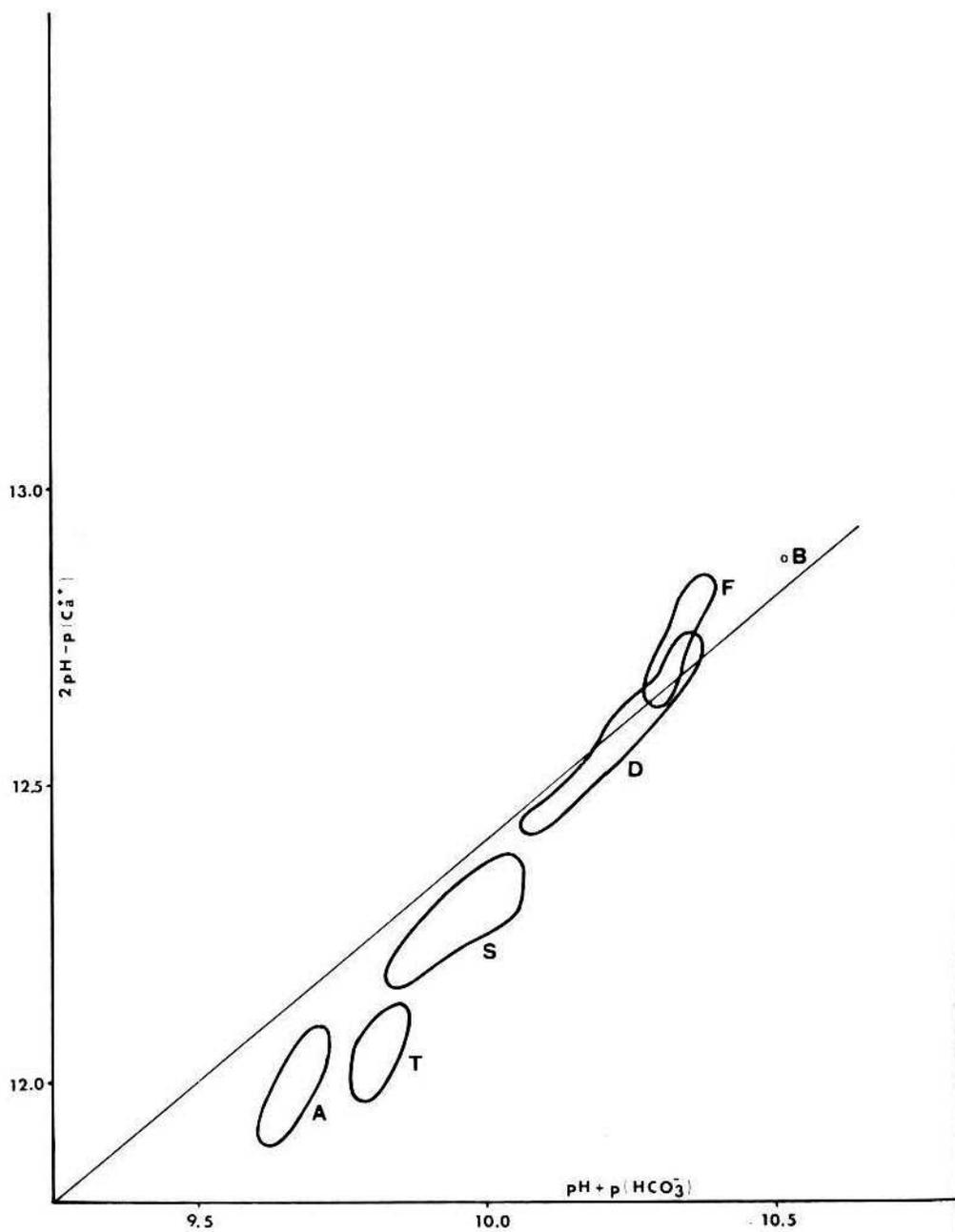


Fig. 5 - Rappresentazione dell'equilibrio bicarbonatico

— La temperatura varia tra 10.7 e 12.8° C e presenta un valore medio di 11.8° C, inferiore a quello delle altre sorgenti carsiche (Sardos = 12.3, Aurisina = 13.0° C).

— Il calcio e i bicarbonati risultano, durante i periodi a regime di magra o normale notevolmente bassi (Ca = 52-54 mg/l), il magnesio invece piuttosto elevato (9-10 mg/l). Durante le piene però si osserva un netto aumento del calcio (e dei bicarbonati) e dello ione solfato che in tali occasioni, dal valore di magra di 50 e 10 mg/l, possono arrivare fino ad 81 e 17 mg/l rispettivamente. La corrispondenza nell'aumento di queste due grandezze è pressochè perfetta. Nel contempo si osserva una netta diminuzione del magnesio che può scendere da 10 fino a 6 mg/l.

Si manifesta cioè un comportamento molto simile a quello delle sorgenti Sardos, con la differenza che in questo caso, prima delle piene, sono in gioco concentrazioni di calcio meno elevate ed inoltre esiste un andamento molto significativo della concentrazione in solfati. Si deve ammettere pertanto che anche in questo caso venga modificata la normale alimentazione della sorgente dall'apporto di acque carsiche ricche di calcio e solfati e povere di magnesio.

Da notare infine la bassa concentrazione in cloruri (in media 3.6 mg/l) nettamente inferiore a quella delle altre acque finora esaminate.

Doberdò

La temperatura media risulta di 11.2° C, nettamente più bassa di tutte le altre sorgenti; il suo andamento durante l'anno è abbastanza regolare con un valore minimo di 10° C a fine febbraio ed un massimo di 12.5° in ottobre. La composizione chimica risulta molto simile a quella riscontrata per l'acqua del Moschenizze N e l'andamento dei parametri chimici in funzione del tempo è pressochè eguale.

Vale anche per le sorgenti di Doberdò l'ipotesi di una doppia alimentazione, con la differenza che in questo caso le caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua che alimenta costantemente le sorgenti, specialmente in periodi di magra, sono più nettamente distinte: basso contenuto di calcio (inferiore a 50 mg/l) e di cloruri (2 mg/l), concentrazione piuttosto elevata di magnesio (10 mg/l).

Sablici

Le analisi effettuate sull'acqua dell'emissario del lago hanno fornito risultati molto simili a quelli ottenuti per le sorgenti di Doberdò e Moschenizze N, dimostrandone inequivocabilmente l'identità di alimentazione. La temperatura ha un valore relativo in quanto si tratta di un'acqua che scorre in superficie e quindi termicamente non protetta; l'escursione annuale è di 4° C, il valore medio è di 11.7° molto simile a quello della sorgente Moschenizze N (11.8° C).

I valori del calcio, magnesio, bicarbonati risultano intermedi tra quelli delle altre due sorgenti, i cloruri invece più elevati, forse per cessioni da parte del terreno argilloso e torboso attraversato.

Da notare infine che l'acqua del Sablici, come quella di Doberdò e Moschenizze N, si mantiene sempre perfettamente limpida ed esente da inquinamenti anche quando le risorgive del Timavo e, più raramente, Sardos e Moschenizze S presentano forti torbidità e inquinamenti.

Un'altra caratteristica di queste acque è data dalle forti escursioni di portata, quali risultano dai dati relativi agli anni 1975-76, rilevati dall'ACEGAT: in regime normale la portata del collettore Sablici si aggira intorno ai 110-130 mila m³/giorno, in magra scende fino a 60 mila, in piena supera addirittura i 500 mila m³/giorno.

Fornace di Redipuglia

Per l'acqua della falda sotterranea ubicata in questa località non si dispone purtroppo dei dati di temperatura relativi all'intero ciclo dei prelievi. Valutando i dati in possesso, che coprono il periodo che va da fine luglio ai primi di gennaio, si osserva un andamento termico regolare e con modeste escursioni.

Anche l'andamento dei parametri chimici è abbastanza regolare con oscillazioni frequenti ma poco ampie.

La concentrazione media del calcio è di 52.8 mg/l, quella del magnesio di 9.8 mg/l; l'escursione per il calcio è compresa tra 49 e 60 mg/l, per il magnesio tra 9 e 11 mg/l. I cloruri presentano valori oltremodo modesti, compresi tra 1.5 e 3.5 mg/l, i solfati invece oscillazioni abbastanza ampie. I periodi di piena sono caratterizzati anche per quest'acqua da un aumento, anche se molto più modesto, del calcio, dei bicarbonati, dei solfati; il magnesio invece si mantiene abbastanza costante.

Si tratta evidentemente di un'acqua con una alimentazione abbastanza costante nel tempo e con una composizione praticamente eguale a quella riscontrabile - durante i periodi a regime normale o di magra - per le acque di Doberdò, Sablici, Moschenizze N.

Vipacco

L'acqua del fiume, al ponte di Rupa, presenta una temperatura media di 11.4° C, con un massimo di 22° C durante l'estate ed un minimo di 4° C alla fine dell'inverno. La composizione chimica, considerato il regime torrentizio del fiume, è abbastanza costante nel tempo. Il calcio varia tra 55 e 72 mg/l, il magnesio tra 3.7 e 7.7 mg/l, il rapporto Ca/Mg dei valori annuali si aggira intorno ad 11, cioè risulta nettamente superiore a quello (6.5) riscontrato per le sorgenti del Carso goriziano-monfalconese. I solfati presentano fluttuazioni ampie (9.3-16.6 mg/l), mediamente

TABELLA I
COMPENDIO DEI RISULTATI ANALITICI ESPRESSI COME MEDIA ARITMETICA

			<i>Aurisina</i>	<i>Timavo</i>	<i>Sardos</i>	<i>Mosche- nizze S</i>	<i>Mosche- nizze N</i>	<i>Sablici</i>	<i>Doberdò</i>	<i>Vipacco</i>	<i>Isonzo Go</i>	<i>Isonzo Sa</i>	<i>Fornace</i>
TEMPERA- TURA	° C	MEDIA	13.0	11.8	12.3	12.5	11.8	11.7	11.2	11.4	9.6	10.3	—
		magra	25.4	21.0	19.4	19.4	16.9	16.9	16.8	18.3	14.8	14.9	16.9
DUREZZA TOTALE	° F	normale	24.9	21.3	20.2	20.3	17.1	16.9	16.9	17.9	13.7	14.0	17.0
		morbida	25.6	21.9	21.4	21.5	17.9	17.4	16.9	17.6	13.5	13.6	17.5
		piena	25.5	21.3	22.9	22.8	20.4	20.1	19.8	16.5	13.2	14.0	17.8
		MEDIA	25.3	21.4	21.0	21.0	18.1	17.8	17.6	17.6	13.8	14.1	17.3
		magra	92.3	70.2	60.8	60.6	51.5	51.4	51.4	62.3	42.8	43.3	50.8
CALCIO	Ca mg/l	normale	92.3	74.2	66.5	66.5	53.9	52.9	53.2	61.8	41.3	43.0	52.4
		morbida	96.7	78.6	73.0	73.4	57.5	55.8	53.7	61.8	41.5	42.9	53.4
		piena	94.1	76.1	79.6	78.7	69.2	67.3	66.8	56.5	40.7	45.1	54.8
		MEDIA	93.8	74.8	70.0	69.8	58.0	56.9	56.3	60.6	41.6	43.6	52.8
		magra	5.2	8.3	10.1	10.1	9.9	9.9	9.6	6.3	10.0	9.9	10.0
MAGNESIO	Mg mg/l	normale	4.1	6.6	8.7	8.9	8.8	8.9	8.6	5.8	8.1	7.7	9.5
		morbida	3.4	5.4	7.6	7.6	8.5	8.4	8.3	5.2	7.5	6.9	9.9
		piena	4.7	5.5	7.3	8.1	8.3	8.0	7.6	4.9	7.3	6.8	9.8
		MEDIA	4.3	6.5	8.4	8.7	8.9	8.8	8.5	5.5	8.2	7.8	9.8
		magra	276	233	208	209	184	184	184	200	162	165	185
BICARBO- NATI	HCO ₃ mg/l	normale	271	235	221	222	187	186	184	193	151	152	187
		morbida	276	245	236	238	195	191	184	198	146	153	189
		piena	276	234	246	248	220	216	216	167	147	155	190
		MEDIA	275	237	228	229	196	194	192	189	152	156	188
		magra	16.4	12.4	13.3	13.4	12.0	12.2	12.0	12.1	9.8	11.9	11.7
SOLFATI	SO ₄ mg/l	normale	17.3	12.2	12.5	12.5	11.2	11.0	11.2	11.5	8.2	9.2	11.5
		morbida	18.4	11.6	12.3	12.3	11.5	11.2	10.5	12.5	7.1	7.9	12.4
		piena	19.6	12.5	12.6	12.8	14.7	14.7	13.8	14.3	8.4	10.5	13.0
		MEDIA	17.9	12.2	12.7	12.7	12.4	12.3	11.9	12.6	8.4	9.9	12.1
		magra	10.0	6.1	6.2	6.2	3.5	4.2	2.6	2.6	0.8	1.0	2.1
CLORURI	Cl mg/l	normale	10.8	5.7	7.0	6.9	3.4	4.6	2.6	2.4	0.3	0.4	2.4
		morbida	9.8	5.1	7.2	7.1	3.4	4.7	2.6	2.5	0.3	0.5	2.7
		piena	9.2	4.7	6.7	6.7	3.9	6.0	3.3	2.3	0.5	0.9	3.1
		MEDIA	10.0	5.4	6.8	6.7	3.6	4.9	2.8	2.4	0.5	0.7	2.6
		magra	7.28	7.38	7.56	7.58	7.70	7.75	7.78	8.17	8.33	8.32	7.76
PH		normale	7.34	7.43	7.58	7.59	7.74	7.78	7.81	8.28	8.33	8.39	7.86
		morbida	7.30	7.39	7.51	7.51	7.69	7.75	7.74	8.19	8.23	8.35	7.82
		piena	7.36	7.40	7.44	7.48	7.61	7.70	7.61	8.11	8.37	8.34	7.82
		MEDIA	7.32	7.40	7.52	7.54	7.68	7.74	7.73	8.19	8.31	8.35	7.80

i valori più elevati si osservano in piena; i cloruri si mantengono bassi (in media 2.4 mg/l), con valori medi praticamente simili in tutti i regimi.

Una caratteristica del fiume durante le piene è la sua fortissima torbidità, causata da materiale argilloso che sedimenta molto lentamente; da prove di laboratorio effettuate in cono Imhoff è risultato che sono necessarie due settimane di riposo affinché l'acqua raggiunga un grado di torbidità simile a quello delle sorgenti del Carso goriziano-monfalconese.

Isonzo

L'acqua dell'Isonzo al ponte IX Agosto di Gorizia presenta una temperatura nettamente più bassa di quella del Vipacco (media annuale 9.6° contro 11.4° C) in quanto proveniente da un bacino di alimentazione ubicato in una zona climaticamente più fredda. Durante il suo percorso attraverso la pianura alluvionale la sua temperatura aumenta ed a Sagrado si aggira intorno ai 10.3° C.

Il contenuto di calcio dell'acqua è piuttosto basso (in media 41.6 mg/l) e costante; quello del magnesio invece risulta mediamente abbastanza elevato (8.3 mg/l) con valori medi più elevati in magra (10 mg/l) e più bassi in piena (7.3 mg/l). Il rapporto Ca/Mg dei valori medi risulta di circa 5, quindi inferiore a quello di tutte le altre acque esaminate. Anche i solfati (media = 8.4 mg/l) risultano più elevati in periodi di magra e presentano un andamento generale molto simile a quello del calcio, dei bicarbonati, del magnesio. Di particolare interesse il contenuto molto basso di cloruri che mediamente non superano i 0.5 mg/l.

In genere si osserva per tutti i principali componenti chimici una maggiore concentrazione in periodi di magra.

Per quanto concerne la composizione del fiume a Sagrado si osservano modeste variazioni dovute agli apporti del Vipacco ed a scarichi industriali. Durante i periodi di magra la composizione risulta pressochè eguale (tranne per i solfati scaricati da industrie); in piena invece si fanno sentire più nettamente gli apporti del Vipacco che fanno diminuire la concentrazione di calcio, bicarbonati, magnesio.

CORRELAZIONI TRA LE ACQUE

MEDIANTE L'UTILIZZO DI ALCUNI PARAMETRI CHIMICO-FISICI

Temperatura

La rappresentazione (fig. 2) dell'andamento annuale della temperatura dell'acqua di Aurisina, Sardos, Timavo e Doberdò mostra un andamento sinusoidale con minimi e massimi alla fine dell'inverno e dell'estate rispettivamente. Oscillazioni infrastagionali, caratterizzate da brusche diminuzioni di temperatura, sono frequenti per l'acqua del Timavo, rare per Aurisina, assenti per le altre sorgenti.

Queste escursioni di temperatura sono evidentemente provocate da considerevoli apporti dell'alto Timavo la cui acqua, durante le piene, non fa a tempo a raggiungere l'equilibrio termico nel sottosuolo. La temperatura dell'acqua di Aurisina si mantiene sempre superiore a quella del Sardos forse perchè il suo bacino alimentatore (che con ogni probabilità si trova a ridosso della costa) presenta una temperatura media annua maggiore. La temperatura di Doberdò, il cui andamento in funzione del tempo si presenta molto regolare, risulta invece nettamente inferiore a quella delle altre sorgenti carsiche specialmente durante il periodo invernale e primaverile caratterizzato da abbondanti portate e quindi tempi di permanenza nel sottosuolo limitati; verso la fine dell'estate invece (periodo di magra) le differenze tra le sorgenti risultano modeste. Da notare che le temperature medie annuali riscontrate per Timavo, Moschenizze S e Moschenizze N sono identiche a quelle ottenute in un periodo più lungo di osservazioni termometriche da altri autori (11).

Calcio - magnesio

Nella fig. 3 sono riportati i valori medi del calcio e del magnesio registrati nei periodi di magra (—), normale (n), morbida (mb), piena (+), nonchè il valore medio annuale (me) per alcuni «tipi di acque».

Il campo di esistenza di tali valori, per ogni acqua, è stato delimitato con una linea chiusa.

E' possibile in tal modo distinguere alcuni gruppi di acque:

A) Acque superficiali:

1. L'acqua dell'Isonzo, con poco calcio ma piuttosto ricca di magnesio; il campo di esistenza è allungato in senso verticale denotando una certa costanza del calcio ed una netta diminuzione del magnesio nel passaggio dalle magre alle piene.
2. L'acqua del Vipacco, con meno magnesio ma più ricca di calcio, con un campo di esistenza allungato trasversalmente, cioè con una contemporanea diminuzione delle due sostanze andando dalle magre verso le piene.

B) Acque sotterranee:

1. L'Acqua di Aurisina, ed in senso più generale le acque carsiche che percolano attraverso calcari sufficientemente puri, ricche di calcio e povere di magnesio, con un campo di esistenza abbastanza limitato.
2. L'acqua del Sardos, notevolmente ricca sia di calcio che di magnesio; potrebbe rappresentare nei periodi a regime normale le acque carsiche che percolano attraverso calcari dolomitici. Il campo di esistenza molto allungato trasversalmente indica un forte apporto di acque carsiche (tipo Aurisina) durante le piene, mentre durante le magre si osserva una certa similitudine con le acque

del Carso goriziano o per apporti di queste acque o per variazione della composizione chimica delle acque di più lento percolamento.

3. L'acqua della falda sotterranea, diretta dal Carso verso la pianura isontina, rappresentata dall'acqua della Fornace di Redipuglia, con un contenuto basso di calcio ed elevato di magnesio, cioè con una composizione molto simile a quella dell'Isonzo in magra, e con un campo di esistenza piuttosto limitato.
4. L'acqua di Doberdò (ed anche del Sablici e del Moschenizze N), che in periodo di regime normale o di magra risulta molto simile all'acqua della Fornace, mentre in piena risente di apporti carsici.
5. L'acqua del Timavo, che potrebbe essere considerata la risultante di tre diversi apporti: le acque carsiche del tipo di Aurisina, le acque carsiche del tipo del Sardos, le acque dell'alto Timavo, chimicamente simili a quelle del Vipacco.

Si è voluto segnare sul grafico con un punto (SA) anche la concentrazione del calcio e magnesio dell'acqua del pozzo di Savogna, esaminata in un precedente studio idrologico (8). Esso viene a cadere tra l'Isonzo e l'acqua della Fornace, dimostrando così, in modo piuttosto evidente, l'alimentazione della falda isontina verso il Carso goriziano.

Solfati-cloruri

La rappresentazione grafica (fig. 4) è la stessa di quella adottata per il magnesio. Si osserva anche in questo caso una progressiva differenziazione delle acque andando dall'Isonzo verso Aurisina.

Si nota che il campo di esistenza del Sablici è spostato rispetto a quello di Doberdò in quanto le sue acque presentano un maggior contenuto di cloruri; si registra inoltre un forte aumento di solfati e degli stessi cloruri in piena.

Calcio-bicarbonati-pH

La fig. 5 mostra la relazione esistente in alcune delle acque esaminate fra $2\text{pH} - \text{p}(\text{Ca}^{++})$ e $\text{pH} + \text{p}(\text{HCO}_3)$ ove p rappresenta il logaritmo negativo in base 10.

Tutti i punti che cadono sopra la linea che rappresenta l'equilibrio anidride carbonica-bicarbonato di calcio sono campioni sovrasaturi di calcio (acque incrostanti), i punti situati al di sotto sono invece campioni non saturi (acque aggressive). La rappresentazione dell'area di esistenza per ogni acqua è la stessa di quella usata nei grafici precedenti. Esaminando la disposizione delle aree si osserva che quasi tutte le acque sono in equilibrio o leggermente aggressive nei confronti del carbonato di calcio; si osserva anche in questo caso una graduale e progressiva differenza delle acque andando da Aurisina verso la Fornace.

E' stato riportato anche il valore determinato in base a numerose analisi per l'acqua del pozzo di Begliano (di proprietà dell'ACEGAT), sicuramente alimentato dall'acqua dell'Isonzo; esso si dispone sopra la linea di equilibrio, in prossimità dell'area della Fornace, dimostrando una volta di più l'importanza del contributo della falda isontina alle acque che scorrono nel sottosuolo del Carso goriziano-monfalconese.

CONCLUSIONI

La vasta mole di dati (4350) raccolti con questa indagine idrologica ha permesso di fornire un quadro sufficientemente dettagliato della composizione chimica delle principali sorgenti del Carso triestino e goriziano ed inoltre di fare delle correlazioni tra le acque esaminate, confermando conoscenze acquisite e smentendone delle altre, approfondendo e sviluppando precedenti ipotesi, rivelando per alcune sorgenti nuove alimentazioni.

E' stata confermata per Aurisina un'alimentazione prevalentemente carsica con influenze massicce dell'alto Timavo solo in periodi di forti piene.

Per il Timavo le indagini termometriche e chimiche hanno ribadito l'importanza dell'alimentazione dell'alto Timavo durante i periodi di piena; in magra prevarrebbe l'alimentazione carsica, mentre il contributo di acque isontine, se pure esiste, dovrebbe essere di modesta entità.

Per l'acqua del Sardos, che sgorga in prossimità del Timavo e che da questo è influenzato solo in casi eccezionali, rimane aperto il problema del suo bacino di alimentazione; in base alle analisi chimiche di cui si è in possesso riteniamo che il contributo delle acque che drenano il complesso calcareo-dolomitico di confine sia determinante, inoltre che esista una certa possibilità di alimentazione da parte della falda sotterranea del Carso goriziano.

Viene confermata l'identità di alimentazione delle sorgenti Sardos con quelle del Moschenizze S e quindi la disponibilità di queste ultime per l'approvvigionamento idrico. Viene messa in evidenza per la prima volta la differente alimentazione della sorgente Moschenizze più settentrionale. La sua composizione chimica risulta praticamente eguale a quella dell'acqua che alimenta il lago di Doberdò e gli altri laghi carsici.

Di particolare interesse le caratteristiche chimico-fisiche del collettore Sablici in quanto destinato allo sfruttamento ad uso potabile per la città di Trieste. Le analisi chimiche dimostrano la bontà di quest'acqua, sempre limpida, priva di inquinamenti, con minore durezza ed in genere salinità di quella delle altre sorgenti ora utilizzate per l'approvvigionamento idrico. Il bacino alimentatore di questo e

degli altri laghi carsici va ricercato nella zona carsica circostanze e negli spandimenti della falda isontina in direzione del Carso. Durante i periodi di magra sarebbe prevalente quest'ultimo tipo di alimentazione, mentre in morbida e piena il contributo delle acque carsiche dovrebbe essere rilevante.

L'acqua che dal Carso fuoriesce nella zona di Redipuglia è acqua isontina (composizione chimica molto simile a quella del pozzo di Begliano e soprattutto di Savogna) e meno influenzata durante le piene da contributi carsici.

Non è stato riscontrato alcun contributo significativo del Vipacco alle acque del Carso goriziano-monfalconese, quantunque non sia escluso che esistano dei modesti apporti (vedi esperienze passate con traccianti artificiali) che non possono venir messi in evidenza con l'analisi chimica.

Risulta infine misterioso ed affascinante il fatto che quasi tutte le acque che interessano una vasta zona, che va dall'Isonzo al Monte Nevoso, convergano tutte verso S. Giovanni di Duino, ove nell'arco di due chilometri si riscontrano ben tre tipi diversi di acque:

1. L'acqua del Timavo;
2. L'acqua del Sardos e delle sorgenti Moschenizze S;
3. L'acqua del Lisert, della sorgente Moschenizze N e del Sablici.

Queste acque presentano caratteristiche idrologiche ben differenziate il che, oltre che da un punto di vista scientifico, risulta molto importante al fine di un loro razionale sfruttamento per scopi potabili. E' infatti possibile, durante i periodi di piena, approvvigionarsi prevalentemente da una sola delle tre acque, eliminando quasi del tutto, se fenomeni di inquinamento o torbida lo rendano necessario, il prelievo dalle altre due.

BIBLIOGRAFIA

- (1) BOEGAN E.: «Il Timavo» - Studio sull'idrografia subaerea e sotterranea - Mem. Ist. Ital. di Spel. Serie Geol. e Geof. Mem. II, Trieste, 1938.
- (2) FAZIO G., GEMITI F.: *L'utilizzazione di alcuni traccianti naturali nello studio della idrologia ipogea del Carso triestino, in relazione al corso sotterraneo del Timavo* - Atti I Conv. di Spel. del Friuli - Venezia Giulia, Trieste, 1973.
- (3) FORNASIR D.: *Progetto di prosciugamento dei laghi carsici di Doberdò, Pietrarossa, Sablici e Mucile* - Cons. per la bonifica del Lisert, Monfalcone, 1928.
- (4) GABUCCI G., GEMITI F., MOSETTI F.: *Contributo alla conoscenza dell'idrologia delle risorgive carsiche di S. Giovanni di Duino presso Trieste* - Boll. Lab. Chim. Prov., XXIV, n. 4, 1973.

- (5) GEMITI F., MERLAK E.: *Caratteristiche chimiche delle acque di percolazione del Carso triestino* - Atti II Conv. di Spel. del Friuli-Venezia Giulia, Udine, 1975, in corso di stampa.
- (6) GEMITI F., MERLAK E.: *The influence of the surface ground on the chemical characteristic of the percolation water in karst soils* - Proceedings of the on the International Symposium on Karst Denudation, Ljubljana, 1975.
- (7) LICCIARDELLO M.: *Studio idrochimico sulla differenziazione delle acque del Carso goriziano e triestino, mediante l'uso di nuovi traccianti naturali, in relazione alla ricerca di nuove fonti di approvvigionamento idrico della città di Trieste* - Tesi sper. in misure ocean., Univ. di Trieste, anno acc. 1975-76.
- (8) MORGANTE S., MOSETTI F., TONGIORGI E.: *Moderne indagini idrologiche nella zona di Gorizia* - Boll. di geof. teor. ed appl., vol. VIII, n. 30, 1966.
- (9) MOSETTI F., D'AMBROSI C. - *Alcune ricerche preliminari in merito a supposti legami di alimentazione fra il Timavo e l'Isonzo* - Boll. di geog. teor. ed appl., vol. V, n. 17, 1963.
- (10) MOSETTI F., POMODORO P.: *Nuove indagini con traccianti naturali sulla provenienza delle acque carsiche del sistema del Timavo* - L'Acqua, XLV, n. 4, 1967.
- (11) TOMMASINI T.: *Indagine termometrica alle risorgive del Timavo a S. Giovanni di Duino ed alle sorgenti del Vallone di Moschenitze (Carso triestino)* - Anni 1965-67-68 - Atti e Mem. Comm. Grotte «E. Boegan», vol. V, VII, VIII, 1966-68-69.

I RINVENIMENTI PREISTORICI
NEL POZZO INIZIALE DELL'ABISSO CESCA

Gabrovizza - Carso triestino

L'abisso G. Cesca è situato ad ovest del paese di Gabrovizza, a fianco di una antica carrareccia che porta a Bristie.

E' stato scoperto ed esplorato nel 1971 dagli speleologi della Società Alpina delle Giulie che riuscirono a raggiungere la base del pozzo iniziale, completamente ostruito, attraverso un sistema di vani secondari (1).

Nel corso dell'esplorazione furono rinvenute numerose ossa umane, frammenti di ceramica e una piccola ascia in pietra verde, risalenti con molte probabilità alla età del bronzo.

La maggior parte di questi reperti furono raccolti a 14 metri dal piano di campagna, in un passaggio orizzontale limitato da un lato da una frana che costituiva la base del pozzo d'accesso. Altri resti furono rinvenuti nei vani laterali e lungo i salti con i quali la grotta continua.

A quattro anni di distanza dalla scoperta della cavità il Gruppo Ricerche di Paleontologia Umana dell'Associazione XXX Ottobre decise di effettuare la disostruzione completa del pozzo iniziale per poter stabilire la successione stratigrafica dei reperti.

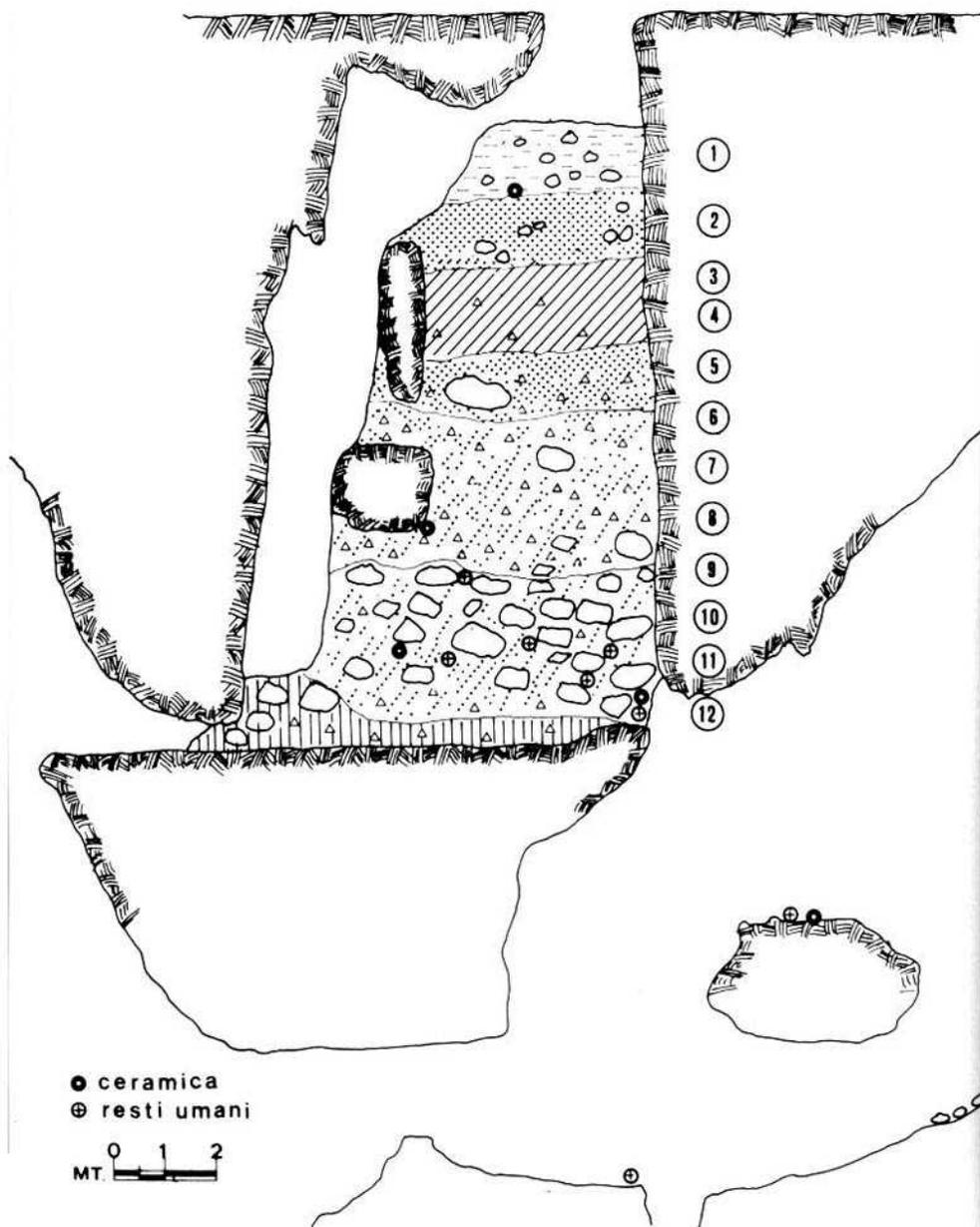
Lo scavo è stato reso possibile grazie ad un permesso della Soprintendenza alle Antichità di Trieste, sensibilizzata anche da un esauriente lavoro di Dario Marini sul problema delle antiche sepolture del Carso (2).

I lavori di scavo si sono protratti per parecchi mesi anche per il fatto che il pozzo, che all'inizio misura mt. 2 x 1, a sei metri di profondità si allarga fino a

(1) MARINI D.: *Grotte della Venezia Giulia* - Supplemento di Atti e Memorie della S.A.G., vol. X, Trieste, 1971.

(2) MARINI D.: *Il problema delle antiche sepolture sul Carso triestino alla luce di alcune recenti scoperte* - Alpi Giulie, vol. 69°/1, 1975.

POZZO INIZIALE



● ceramica
⊕ resti umani

0 1 2
MT.

raggiungere mt. 7 x 1. Tutto il materiale estratto è stato inoltre vagliato con setacci con maglie da 10 mm.

La stratigrafia dall'alto verso il basso è la seguente:

TAGLIO 1 spessore mt. 1,20 circa
Terreno bruno, con pietrisco proveniente dai campi vicini
Fauna resti di almeno 2 cavalli e 3 buoi, con tracce di macellazione
Resti umani nessuno
Ceramica alla base del taglio, frammenti di un vasetto color rosso mattone

TAGLIO 2 spessore mt. 1,30 circa
Terreno grigiastro, soffice, con poche pietre
Fauna aumentano i resti di cavallo e di bue
Resti umani nessuno
Ceramica nessuna

TAGLIO 3-4 spessore mt. 1,70 circa
Terreno rosso-bruno, argilloso, a grumi, compatto
Fauna pochi resti con prevalenza di caprovini
Resti umani nessuno
Ceramica nessuna

TAGLIO 5 spessore mt. 1
Terreno grigiastro con pietrisco a spigoli vivi
Fauna pochi resti di capra, cervo, cinghiale
Resti umani nessuno
Ceramica nessuna

TAGLIO 6-7 spessore mt. 2
Terreno come sopra, con abbondante pietrisco di medie e piccole dimensioni
Fauna nessuna
Resti umani nessuno
Ceramica nessuna

TAGLIO 8 spessore mt. 1 circa
Terreno come sopra, con molto pietrisco
Fauna bue, poco cavallo, cervo, cinghiale
Resti umani nessuno
Ceramica pochi frammenti

TAGLIO 9 spessore mt. 1
Terreno come sopra, con numerosi massi provenienti dall'esterno
Fauna poco bue, cinghiale, capra
Resti umani 1 mandibola e alcune falangi nella parte superiore del taglio
Ceramica pochi frammenti

TAGLIO 10	spessore mt. 1
Terreno	come sopra, con molti massi anche di notevoli dimensioni
Fauna	pochissimi resti
Resti umani	numerosi frammenti
Ceramica	frammenti di un orlo con impressioni a punti e a triangoli
TAGLIO 11	spessore mt. 1
Terreno	come sopra, con massi nella parte superiore
Fauna	pochissimi resti spesso indeterminabili
Resti umani	numerosi frammenti, specialmente nella parte vicina all'accesso agli altri pozzi
Ceramica	pochi frammenti dello stesso recipiente
TAGLIO 12	spessore mt. 1 circa
Terreno	argilloso, giallastro, con abbondante pietrisco a spigoli vivi, privo di massi
Fauna	nessuna
Resti umani	pochi frammenti solo nella parte superiore del livello
Ceramica	nessuna

Altri resti umani e frammenti di ceramica sono stati raccolti in superficie nei pozzi sottostanti.

I resti umani rinvenuti si possono così riassumere:

- 3 mascellari inferiori
- 4 frammenti di mascellare superiore
- 16 denti
- 2 frammenti di calotta cranica
- 2 frammenti di omero
- 1 scapola
- 6 ulne
- 2 radi
- 2 clavicole
- 3 femori
- 2 patelle
- 2 fibule
- 2 tali
- 10 elementi metacarpali
- 14 frammenti di costole
- 1 sterno
- 82 falangi
- 34 vertebre

Si desume che questi resti appartengano solamente a tre individui.

I frammenti del vasetto rinvenuti nel taglio 1 sono atipici e non si possono assegnare ad un preciso periodo.

La restante ceramica è rappresentata da pochi frammenti di quattro recipienti non ricostruibili.

Solo un orlo è ornato con motivi puntiformi e triangoli impressi a crudo. Questo tipo di decorazione si riscontra sia nella cultura palafitticola di Lubiana che in quella padana di Polada e ci dà la possibilità di assegnare anche gli altri reperti all'età del bronzo.

Dalla stratigrafia si può inoltre rilevare che i corpi sono stati gettati in un periodo in cui il pozzo iniziale incominciava a riempirsi naturalmente ma l'accesso agli altri pozzi era ancora possibile.

Insieme ai corpi sono stati gettati numerosi massi di notevoli dimensioni che hanno ostruito l'accesso agli altri pozzi formando così la base per il successivo deposito di altro materiale che ha riempito nel corso dei secoli il pozzo iniziale.

RIASSUNTO

Con il presente lavoro si prende in esame la stratigrafia del riempimento del pozzo iniziale dell'Abisso Cesca, sul Carso triestino.

Si descrivono inoltre i reperti preistorici rinvenuti durante l'opera di svuotamento.

SUMMARY

This is the report of the stratigraphical results obtained while digging the upper pit of Abyss Cesca on the Trieste Karst.

The prehistorical findings discovered while emptying the pit are described in detail.

Introduzione pag. 5

ENRICO MERLAK

Distribuzione della durezza delle acque nel «complesso
dolomitico» del Carso triestino „ 9

FABIO GEMITI - GIUSEPPE MILANI

Correlazioni tra i livelli d'acqua della grotta A. F.
Lindner ed il fiume Timavo „ 23

GIORGIO MANZONI - CLAUDIO MARCHESINI

Possibili correlazioni fra piene registrate nella caverna
Lindner di S. Pelagio e transienti registrati dall'esten-
simetro a laser di Aurisina „ 31

FABIO GEMITI - MICHELE LICCIARDELLO

Indagine sui rapporti di alimentazione delle acque del
Carso triestino e goriziano mediante l'utilizzo di alcuni
traccianti naturali „ 43

GIORGIO MARZOLINI

I rinvenimenti preistorici nel pozzo iniziale dell'abisso
Cesca „ 63