

Geomorfologia subacquea lungo la penisola di Olgiasca del lago di Como

Subaqueous geomorphology along Olgiasca peninsula in Como lake (Lombardia, northern Italy)

ROSSI S. (*), BINAGHI M.A. (**), FOZZATI L. (***)

RIASSUNTO – A partire dalla fine del 1992 è stata ampiamente diffusa dai mezzi di informazione la notizia del presunto ritrovamento di una cava romana estesa fino a 42 m di profondità sotto il livello del Lago di Como nella penisola di Olgiasca. Per confermare nei fatti tale ritrovamento, sono state compiute da geologi subacquei una serie di immersioni lungo le vene di marmo sommerse. Il controllo effettuato direttamente in immersione da geologi ed archeologi subacquei ha consentito di avere una visione complessiva degli affioramenti, e di osservare l'esatta dimensione delle morfologie in precedenza fotografate. Il pendio subacqueo osservato è caratterizzato da morfologia ripida ed irregolare guidata da famiglie di fratture; le vene di marmo, che hanno giacitura concordante con quella del paragneiss, sono intensamente carsificate. Sono presenti anche condotte troncate dall'erosione del pendio. Questo è il primo esempio di carsismo subacqueo lacustre descritto in letteratura.

È stato così possibile stabilire che parte delle strutture carsiche ed alcune morfologie date dalla fratturazione erano state scambiate per tracce dell'attività di cava.

PAROLE CHIAVE: Geomorfologia, archeologia, immersioni, Lago di Como.

ABSTRACT - Since late 1992 media fully reported the discovery of roman quarries to a depth of 40 m below the surface of Como Lake along peninsula of Olgiasca (Lombardy, Northern Italy). A team of geologists and archaeologists made this interpretation of photographs taken by divers. To confirm (with better data) this discovery, which creates many geological and archeological problems, diver geologists made several immersions to the depth of 48 m along marble veins. The checks made with these dives by geologists and archaeologists allowed us to have an overall view of the outcrops and the true dimension of structures already photographed. Underwater slope was observed characterized by steep and irregular morphology driven by sets of fractures perpendicular between themselves and schistosity of paragneiss. The marble is heavy karstified with

karst micromorphologies as solution pipes, karren and well developed laminae of silicates; it has got negative relief along the slope and all involved silicates, both laminae and nodules, are outlined by karst corrosion. This one is the first example of underwater lacustrine karst described in literature. Fractures virtually perpendicular complicate the morphology of the underwater slope with dihedrals, little ledges and jutting roofs. Thus it was possible define that some karst structures and fracture-driven morphologies were to be considered as traces of quarry activity. An important consideration that emerged from this paper is that only direct observation by diving technicians guaranties good site interpretation.

KEY WORDS: Geomorphology, archaeology, diving, Lago di Como.

1. – INTRODUZIONE

Il Lago di Como è uno dei grandi laghi delle Prealpi Lombarde. Presso il termine settentrionale del lago, a 5 km da Colico, si trova la Penisola di Olgiasca, detta anche Penisola di Piona dal nome dell'omonima abbazia, che sorge sulla estrema punta settentrionale. Sul versante verso lago della penisola, che ha andamento N-S parallelo alla costa, si trova un'antica villa detta La Malpensata. Pochi metri a Sud sono localizzate due vene di marmo, che è stato cavato fino al 1945 (fig.1).

A partire dalla fine del 1992 i mezzi di informazione (quotidiani, periodici e notiziari televisivi a diffusione nazionale) diedero pieno risalto al ritrovamento di tracce di attività estrattiva lungo il

(*) Geologo Professionista; Gruppo Quaternario, Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Milano, via Mangiagalli 34, 20133 Milano.

(**) Soprintendenza ai Beni Archeologici della Lombardia, via De Amicis 14, 20123 Milano.

(***) Servizio Tecnico per l'Archeologia Subacquea, via S.Michele 22, Roma.

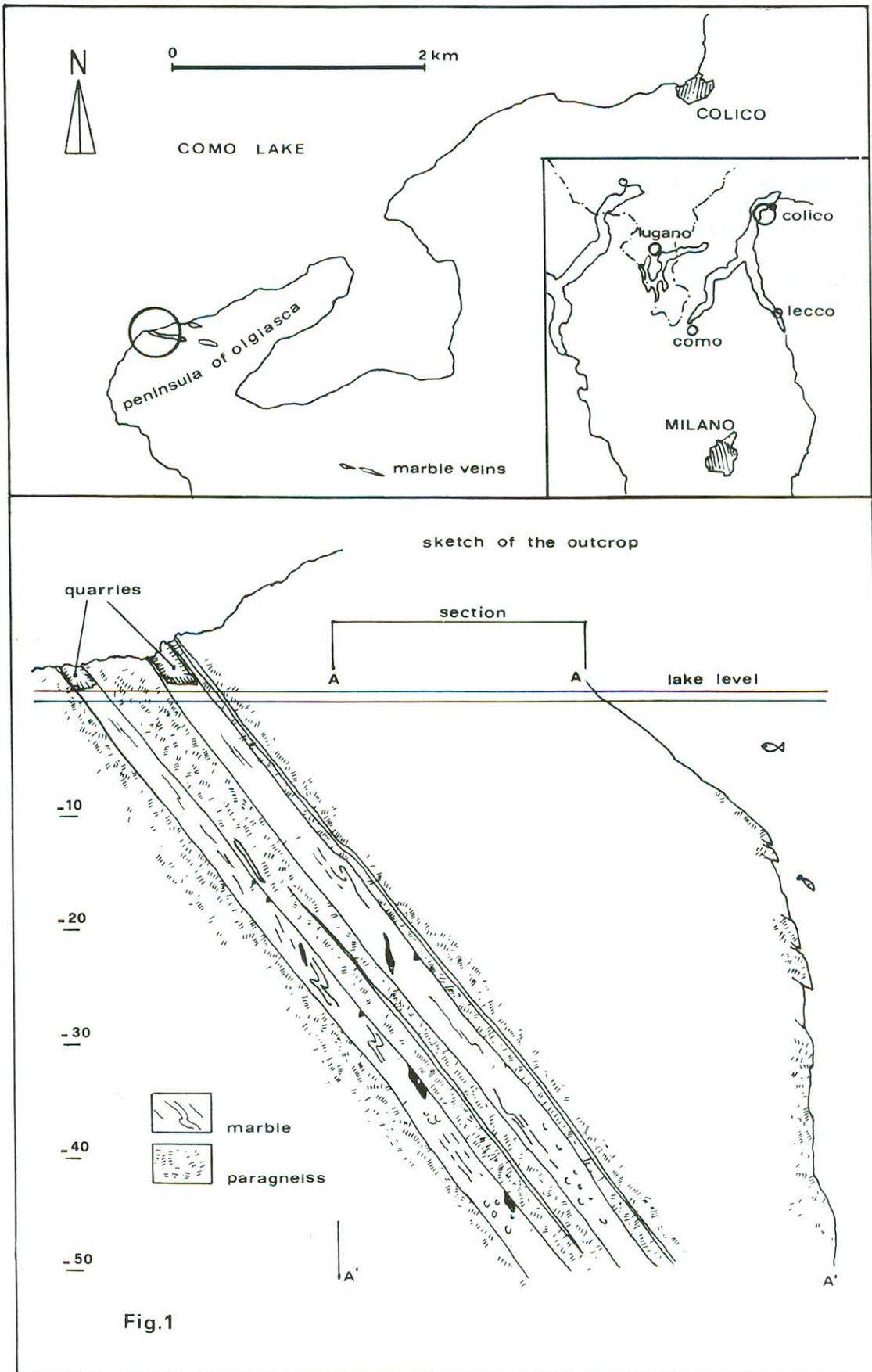


Fig.1

Fig.1 - Localizzazione geografica del sito; prospetto schematico delle vene di marmo e profilo verticale della parete.
Ubication of the site; sketch of the marble veins and vertical section of the slope.

proseguimento sommerso di queste vene, fino alla profondità di 42 m; tali presunte cave vennero ritenute di età romana in base a varie considerazioni, giustificando il repentino innalzamento del livello del lago di oltre 40 m con modelli geologici. Questa interpretazione sollevava innumerevoli problemi di ordine strutturale, stratigrafico e geomorfologico, nonché sismotettonico, scatenando un acceso dibattito negli ambienti scientifici e non. Occorre specificare che l'individuazione delle cave sommerse è stata effettuata dai tecnici (geologi ed archeologi) non sulla base di osservazioni dirette, ma di documentazione fotografica e video prodotta da sommozzatori sportivi.

Per avere dati diretti che potessero fornire sostegno ad una ipotesi o ad un'altra, sono state effettuate numerose immersioni fino alla profondità di 48 m. Una parte delle immersioni per la documentazione è stata effettuata in collaborazione con il Servizio Tecnico per l'Archeologia Subacquea (STAS) del Ministero dei Beni Culturali, incaricato dalla Soprintendenza ai Beni Archeologici della Lombardia; in questo caso il supporto logistico è stato fornito da squadre del Nucleo Operativo Carabinieri Sommozzatori di Genova Voltri.

2. – UBICAZIONE

Le vene di marmo osservate sono ubicate lungo la costa occidentale della Penisola di Olgiasca, circa 50 m a S dell'imbarcadero della Malpensata; sono ben visibili in superficie, dove sono state cavate, ed anche sott'acqua; quando le condizioni di visibilità sono buone, risultano fortemente per il colore bianco.

Il versante ha un andamento NNW-SSE abbastanza regolare, con un susseguirsi di valloncelli e costoni a morfologia piuttosto blanda (BINI *et alii* 1994), ed in generale molto ripido (50° - 70°) salvo rari punti. Sott'acqua la morfologia del pendio si mantiene del tutto analoga; l'inclinazione invece è mediamente a 40° - 45° tra la superficie media del lago ed i 12 m di profondità, poi diviene molto ripida (70° - 80°) fino ai -23 m; al disotto varia da subverticale con brevi cenge a 45° - 50° fino a strapiombante con tetti sporgenti (fig. 1). Localmente, verso S, la parete è subverticale fino quasi alla superficie. L'andamento della parete è stato osservato direttamente fino all'isobata dei -48 m, ma in condizioni di buona visibilità (oltre 10 m) appare costante fino ai limiti di visibilità con faro alogeno.

Sono state individuate due vene di marmo principali, distinte come vena N e vena S, spesse ri-

spettivamente 4 e 6 m; sono separate da uno spessore stratigrafico di circa 6 m di paragneiss, in cui sono comunque intercalate vene minori di marmo con spessore da 10 a 40 cm; vene di calcescisti con spessore fino ad 1 m seguono poi verso S. La giacitura dei singoli litosomi è di circa $190^{\circ}/45$ - 50° ; tuttavia la presenza di magnetite nell'area rende difficili le misure a bussola, producendo addirittura inversione dell'ago magnetico nel settore più a N. La giacitura resta abbastanza costante scendendo in profondità, nonostante alcuni disturbi tettonici, ma le due vene principali, pur aumentando leggermente di spessore con la profondità, si mantengono a distanza regolare (fig.1).

3. – MORFOLOGIA

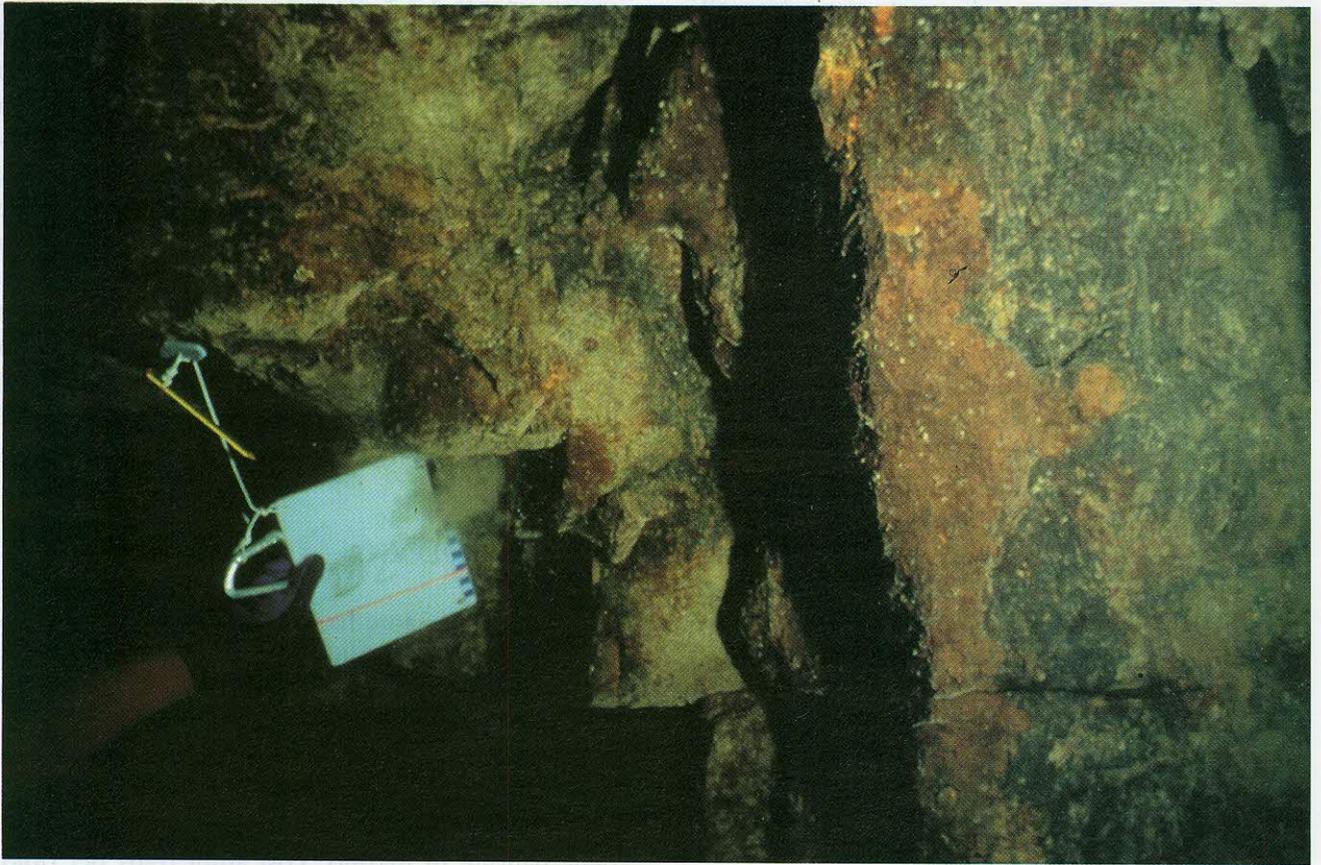
Tutto il versante ha morfologia aspra e irregolare, dovuta principalmente a distacco gravitativo di blocchi: la forma dominante è quella dei diedri, con frequenti tetti e cenge.

Esistono due famiglie di fratture pressoché perpendicolari tra di loro ed alla scistosità, con giacitura circa $200^{\circ}/50^{\circ}$, che corrisponde alla giacitura delle bancate di marmo: così ampi tratti dei ripidi fondali (e delle coste emerse) sono caratterizzati da diedri con facce pressoché perpendicolari (figg. 2, 3, 4), e le vene di marmo presentano fratture sempre perpendicolari alla loro giacitura (fig. 7).

Sia le cenge che i tetti hanno una larghezza massima di 1-1.5 m, con lunghezza di 2-3 m; tuttavia le sporgenze sono prevalentemente più piccole, ed i campi di fratturazione creano superfici fittamente interessate da piccoli gradini, talvolta molto regolari.

Lungo tutta la costa le uniche superfici lisce sono costituite da fasce di miloniti subverticali verso S e, in parte, dalle vene di marmo.

Il marmo di Olgiasca presenta rilievo negativo su tutta la lunghezza delle vene: si presenta cioè incassato rispetto ai paragneiss circostanti, per una profondità che va da 20 cm ad un massimo di circa 1 m (fig. 7); i numerosi boudin di paragneiss inglobati entro il marmo sporgono sempre, fino ad un'ampiezza di oltre 30 cm. Vene di marmo di circa 10 cm di spessore sono incassate nei paragneiss per circa 25 cm. Le venature scure del marmo, contenenti silicati, che hanno uno spessore da pochi millimetri fino a 5-6 cm, sporgono dalla massa di fondo bianca del marmo, creando delle creste in rilievo con un'altezza che va da pochi centimetri fino ad oltre 25 cm (PERNA, 1974; PERNA & SAURO, 1978)



Figg.2, 3 – Morfologie a gradini e piani verticali nel paragneiss. Scala: 20 cm. Profondità: -36 m.
"Steps" morphologies and vertical planes in the paragneiss. Scale: 20 cm. Depth: -36 m.



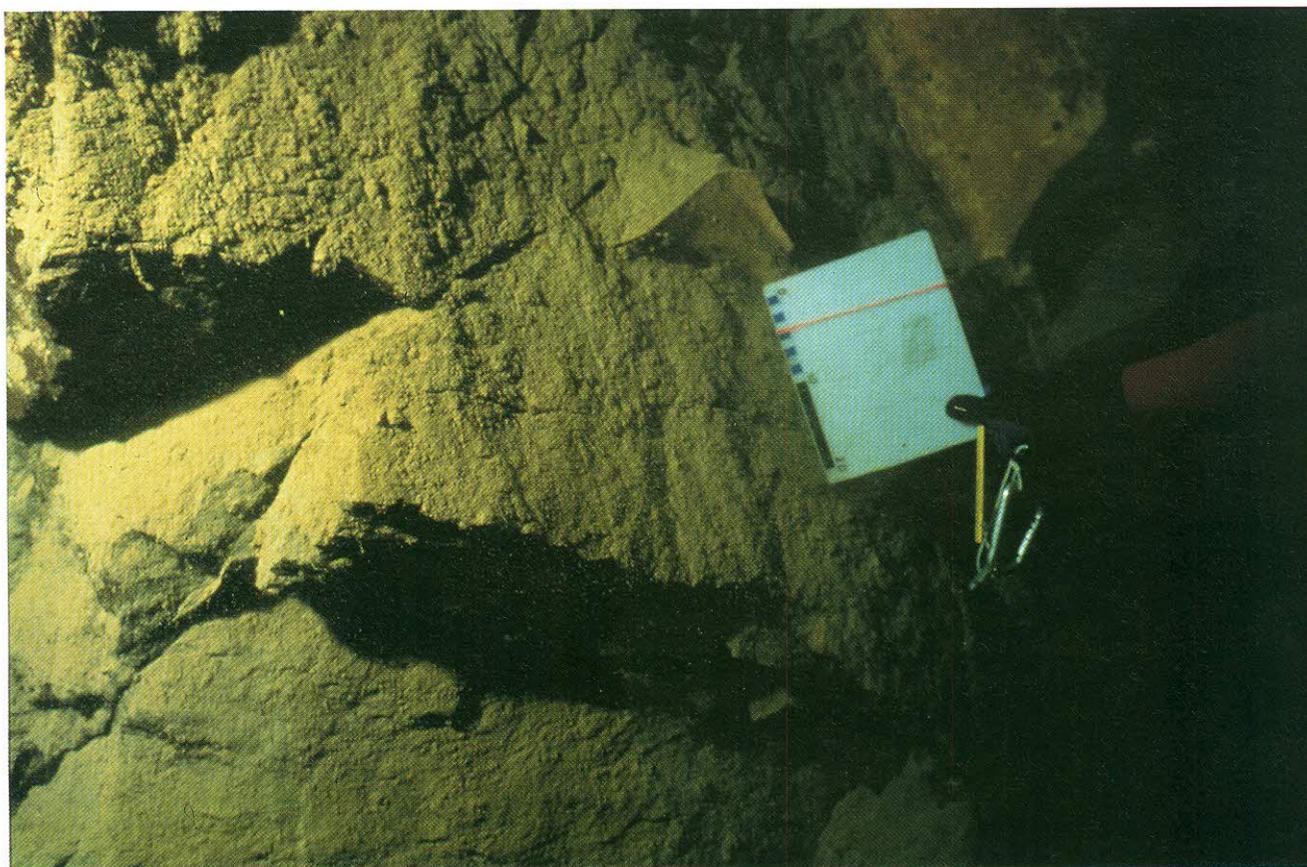


Fig. 4 – Forme carsiche residuali al contatto con il paragneiss, vena S, limite inferiore. Piccoli tetti sporgenti e diedro impostati sulla fratturazione. Scala: 20 cm. Profondità: -35 m.
Residual karst morphologies at the contact with paragneiss, S vein, lower limit. Small jutting roofs and dihedra fracture driven. Scale: 20 cm. Depth: -35 m.

(figg. 5, 6). Comportamento analogo presentano anche le vene di calcescisti, con un rilievo marcatamente negativo (fino a 50 cm di profondità in vene con uno spessore di 40-50 cm), ed una superficie molto scabra costituita da lamine fillosilatiche che sporgono per diversi centimetri.

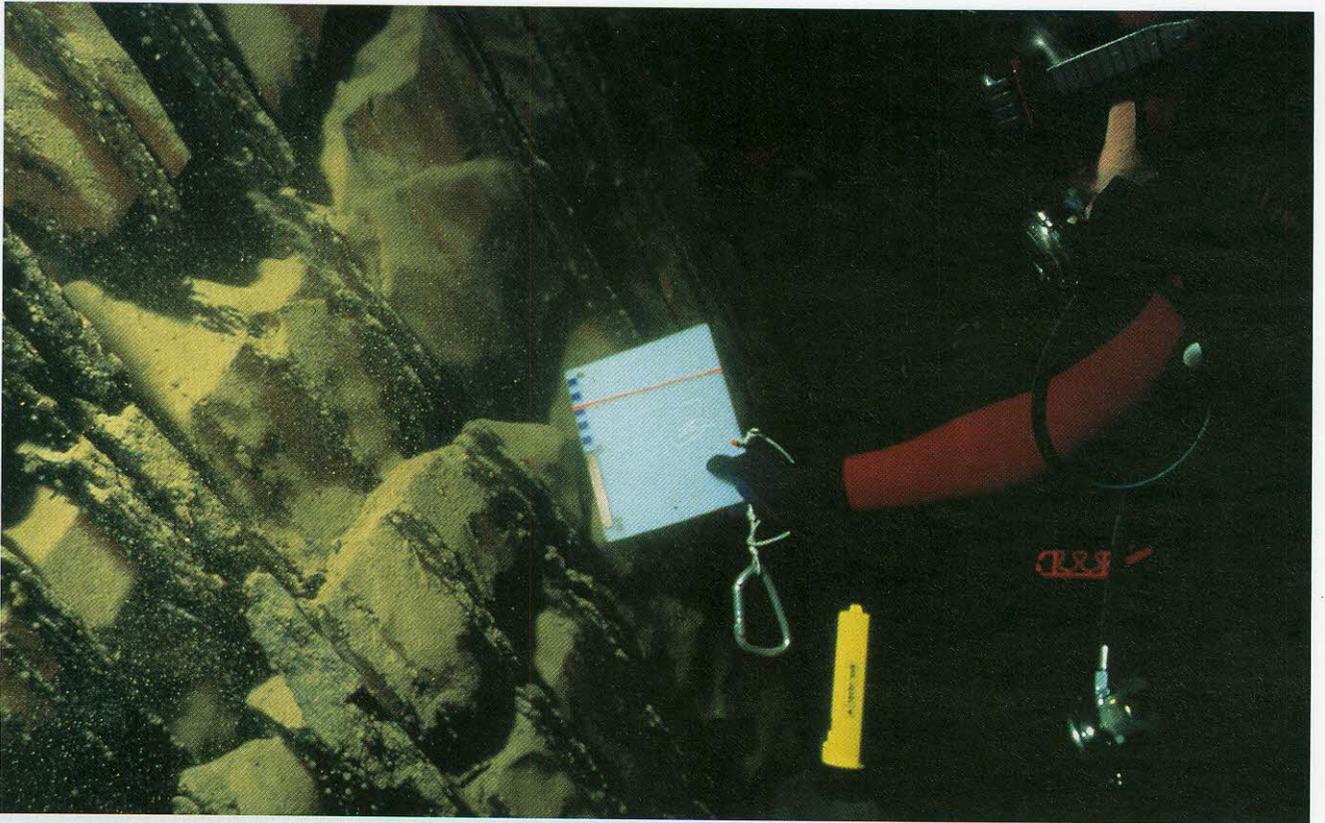
Appena a N della vena settentrionale, in un banco dolomitico a circa 30 m di profondità, le lamine in rilievo sono invece costituite da un reticolo pressoché ortogonale di fratture cementate da silicati.

La particolare associazione di micromorfologie appare dovuta a corrosione carsica superficiale, che ha risparmiato i silicati.

Oltre alla fitta emergenza di lamine silatiche sono state evidenziate altre micromorfologie superficiali. Nei marmi più puri si osservano coppelle isolate e solchi diffusi ad ogni profondità e coppelle coalescenti verso la superficie; sulla linea di riva sono presenti, in tutti i carbonati, fori ogivali ed alveolature. Forme di carsismo profondo sono testimoniate dalla presenza di condotte carsiche, diffuse a tutte le profondità.

Coppelle isolate: si tratta di depressioni circolari o ellittiche, leggermente allungate nel senso della scistosità, di dimensioni variabili tra 5 e 12 cm, con profilo concavo edpresso, profonde fino a 3-4 cm. Gli spigoli con le superfici circostanti sono smussati (figg. 7, 8). La distribuzione è arealmente disomogenea, limitata ai marmi più puri al disotto dei 25 m di profondità. Le coppelle sono talvolta a contatto, ma in piccoli gruppi, si osservano isoorientazioni guidate dalla scistosità del marmo.

Solchi su frattura (PERNA, 1974; PERNA & SAURO, 1978): sono in prevalenza perpendicolari alla vena di marmo, e sono molto diffusi; di lunghezza variabile fino ad interessare l'intero spessore delle vene, hanno profilo a «V» aperta con fondo stretto e appena arrotondato (il cosiddetto profilo a doccia svasata); l'ampiezza massima oscilla tra 7 e 15 cm, per una profondità fino a 10 cm (figg. 5, 6, 7, 8). Si sviluppano lungo fratture che attraversano il marmo e che sono frequentemente estese al paragneiss incassante. Al momento queste micromorfologie carsiche appaiono interpreta-



Figg. 5, 6 – Lamine silicatiche a corrosione differenziale e solchi su frattura, vena S.

Il moschettone e la torcia indicano la verticale. Scala: 20 cm. Profondità: -33m.

Laminae of silicates with differential corrosion and furrows on fracture, S vein. The snap-book and the torch point to the vertical. Scale: 20 cm. Depth: -33 m.



bili come strutture analoghe ai klufthkarren di ambiente subaereo.

Coppelle coalescenti: si tratta di depressioni di dimensioni abbastanza omogenee comprese tra 3 e 5 cm di diametro, di forma circolare o raramente appena allungata nel senso della scistosità, con profilo concavo depresso e profondità di 1-2.5 cm. Sono coalescenti e delimitate da creste acute. Si trovano sul marmo più puro di alcuni blocchi localizzati entro la batimetrica dei 12 m, ma sono piuttosto rare, e perlopiù mascherate dal detrito. Si tratta probabilmente di morfologie sublitorali.

Fori ogivali (PERNA & SAURO, 1978; TRUDGILL, 1985): intorno alla linea media di battigia del lago sono molto diffusi fori circolari con diametro fino a 4 cm, anch'essi riconducibili a carsismo, ed hanno la caratteristica di essere generalmente più profondi che larghi. Sono concentrati nei marmi e nella calcite impura a tetto e a letto delle vene principali, allineati secondo la foliazione; talvolta sono coalescenti (fig. 9). Sono diffusi in un intervallo di circa 2 m intorno al livello medio del lago.

Alveolature (PERNA & SAURO, 1978; FORD & WILLIAMS, 1989; TRUDGILL, 1985): queste micromorfologie interessano la superficie di blocchi in una fascia raramente raggiunta dal livello di piena del lago, che appare butterata da numerosi piccoli alveoli coalescenti. Vengono interpretate come forme di origine biologica.

Condotte: oltre alle morfologie carsiche superficiali sono presenti numerose condotte con andamento perpendicolare alla superficie topografica; sono sviluppate su sistemi di fratture ben individuabili, che ne guidano sviluppo e morfologia. Le condotte più piccole misurano pochi centimetri, con un diametro medio di circa 15-20 cm. Frequentemente sono sviluppate all'intersezione delle fratture con l'interfaccia del paragneiss incassante, dove maggiore è la circolazione di acqua; ne risulta una sezione geometrica, tendenzialmente triangolare o quadrangolare, con il lato più ampio costituito dalla superficie del paragneiss. Si osserva talvolta una condotta di questo tipo seguita da

uno «sciame» di condotte minori (2-3), a volte semplici fori carsici, allineate lungo le medesime fratture e progressivamente più distanti dal limite della vena di marmo. A questa tipologia di condotte a contatto con il paragneiss appartengono le cavità di maggiori dimensioni, solitamente larghe da 30 cm ad 1 m, lunghe fino a circa 2 m e profonde oltre i due metri; sono svasate, si restringono cioè in profondità. Sui fianchi, se presenti nel marmo, sporgono nettamente le lamine di silicati scuri. Le condotte di minori dimensioni distanti dai margini della vena sono invece poco o nulla svasate, ed hanno sezione circolare o allungata lungo le fratture.

4. - CONSIDERAZIONI IDROGEOCHIMICHE

Per verificare la reale aggressività delle acque del lago nei confronti dei carbonati, nel mese di febbraio 1994 sono stati raccolti due campioni di acqua, uno in superficie ed uno a 35 m di profondità, per effettuare analisi chimiche. In letteratura non esistono dati idrogeochimici sul Lago di Como nel settore a N di Bellano, cioè in tutto il terzo settentrionale del lago.

Le analisi sono state effettuate presso il Laboratorio Chimico del Dipartimento di Scienze della Terra di Milano, e sono riportate in Tabella 1. Non sono state determinate alcune specie anioniche (NO_3^- , Cl^- , SO_4^{--}).

In base ai dati disponibili le acque analizzate sono definibili come acque oligominerali carbonato-calciche a pH leggermente basico. Le concentrazioni misurate evidenziano una sostanziale identità delle concentrazioni idrochimiche dei due campioni, come prevedibile perché entrambi sono stati prelevati in periodo invernale, e quindi in condizioni di rimescolamento per assenza del termoclino.

I bassi valori di mineralizzazione sono un chiaro indice della scarsità di rocce carbonatiche nei bacini di alimentazione degli affluenti; inoltre le acque non sono tamponate da carbonati affioranti in quantità

TABELLA 1

	pH	Cond.uS	HCO ₃ ⁻	Durezza	Ca	Mg	Na	K
	25°C	25°C	meq/l°F	ppm	ppm	ppm	ppm	
In sup.	7.61	167	1.1631	8.25	24.05	5.47	3	1.77
A -33 m	7.63	164.8	1.1432	8.21	24.05	5.37	2.9	1.65



Fig. 7 – Coppelle isolate, solo localmente coalescenti e solco su frattura.

Il rilievo negativo rispetto al paragneiss incassante, nella parte alta della fotografia, è evidenziato dal contatto con il lato corto della tavoletta; la frattura su cui è impostato il solco prosegue entro il paragneiss. Vena S, scala 20 cm. Profondità: -33 m.

Isolated cupels, locally coalescent, and furrow on fracture. The negative relief compared with the embanking paragneiss, in the higher part of the photograph, is pointed out by the contact of the short side of the board; the fracture continues in the paragneiss. S vein. Scale: 20 cm. Depth: -33 m.

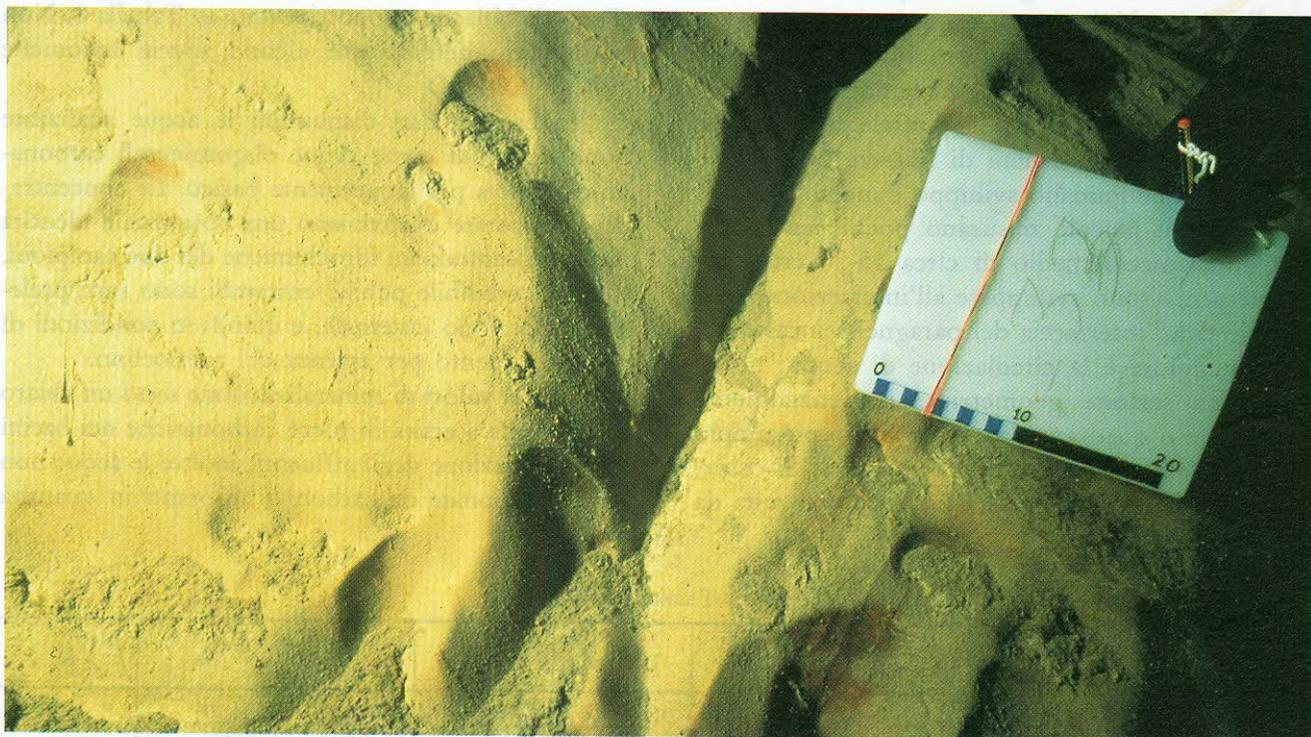


Fig. 8 – Particolare della precedente fig. 7: si osserva meglio il solco impostato sulla frattura, e si evidenzia un accenno di corrosione anche sulla frattura coniugata; è inoltre evidente il deposito di limo nella parte bassa delle cospelle.

Detail of fig. 7: it is better shown the furrow fracture driven and it's highlighted a corrosion also on the conjugate fracture; the silt deposit in the lower part of the cupels is evident.

rilevante lungo le sponde del lago, come avviene invece più a S.

In base al diagramma di Tillsman, che tiene conto esclusivamente delle concentrazioni delle fasi del sistema carbonato-calcico, le acque in esame sono da considerarsi sottosature rispetto al carbonato di calcio, e quindi in grado di produrre i fenomeni carsici subacquei.

5. – MORFOGENESI ED ETA'

Le morfologie e le micromorfologie osservate nei marmi, nelle dolomie e nei calcescisti adiacenti sono un chiaro indice di corrosione superficiale di tipo carsico; la sottigliezza e la delicatezza delle lamine di silicati, nonché il totale svincolo da morfologie legate al ruscellamento o a percorsi gravitativi di acque superficiali, fanno ragionevolmente supporre che l'evoluzione carsica superficiale di questi litotipi sia avvenuta esclusivamente in ambiente subacqueo; le condotte invece fanno parte di un

sistema freatico più antico, troncato dall'erosione del versante. Il carsismo superficiale subacqueo ha poi allargato l'imboccatura delle condotte principali. Attualmente la presenza di limo sedimentato al fondo indica un'assoluta inattività delle condotte.

Le morfologie collegate alla linea di battigia sono presenti solo sull'attuale livello del lago. Per la maggior parte si trovano su blocchi, che sono stati rimossi in un recente passato per facilitare l'approdo alle imbarcazioni che trasportavano il marmo cavato. Nei rari tratti privi di detrito entro l'isobata dei 12 m non sono presenti strutture o morfologie di sorta.

Ad un primo esame tutte le micromorfologie appaiono guidate da scistosità e fratturazione, oltre che dalla litologia.

Considerando la posizione topografica in relazione all'ultimo episodio glaciale, ed osservando la distribuzione delle rocce montonate, è ipotizzabile che l'evoluzione carsica superficiale di questi marmi sia avvenuta in età posteriore alla deglaciazione (15 ka BP).



Fig. 9 – Fori ogivali coalescenti su di un blocco appena al disopra della superficie del lago in periodo di magra.
Ogival coalescent holes on a block only just on the lake's surface in low-water mark period.

6. - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'insieme delle osservazioni, effettuate direttamente sott'acqua sugli affioramenti, ha rivelato come naturali tutte le morfologie attribuite ad attività estrattiva sulla base di documentazione indiretta. Anche in questo caso si è dimostrata innanzitutto essenziale la collaborazione interdisciplinare tra geologi ed archeologi, persistendo problemi di carattere morfologico; è stata inoltre ribadita la necessità, per i tecnici di settore, di poter operare direttamente sott'acqua, al fine di entrare in possesso di tutti gli elementi utili per la valutazione di un sito, ed eventualmente un'istanza di tutela del patrimonio archeologico o paesistico.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano gli amici subacquei Franco Aldeghi, Umberto D'Angeli, Giorgio Gilardoni e Gianfranco Torri per l'assistenza subacquea, Eraldo Aldeghi ed Ernestina Pellegrini per l'assistenza logistica e Gabriele Ingrosso, titolare del negozio e Centro Immersioni Winter & Summer di Mandello del Lario, per l'indispensabile supporto tecnico. Il lavoro di esplorazione e documentazione dell'area non sarebbe stato possibile senza il loro valido aiuto. Le riprese video e le fotografie, di difficile esecuzione per la forte sospensione, sono di Franco Aldeghi.

Si ringraziano inoltre S. Uggeri per le considerazioni sulle analisi chimiche ed A. Bini per la rilettura critica del testo.

BIBLIOGRAFIA

- BINI A., CHINAGLIA N. & SOLDI L. (1994) - *Stabilità dei versanti prospicienti la Penisola di Olgiasca (Lago di Como, Italia)*. Boll. Soc. Tic. Sc. Nat., **82** (1).
- FORD D. & WILLIAMS P. (1989): *Karst geomorphology and hydrology*. Unwin Hyman, London.
- PERNA G. (1974): *Fenomeni di dissoluzione carsica superficiale*. XII Congr. Naz. Speleologia. S. Pellegrino Terme.
- PERNA G. & SAURO U. (1978): *Atlante delle microforme di dissoluzione carsica superficiale del Trentino e del Veneto*. Mem. Museo Tridentino Sc. Nat. **22** (NS):1-176.
- ROSSI S. (1994): *Carsismo subacqueo lungo la Penisola di Olgiasca (CO, Italia)*. Boll.Soc.Tic.Sc.Nat., **82** (1).
- TRUDGILL S.T. (1985): *Limestone geomorphology*. London, Longmann.