



**SPELEOLOGIA SUBACQUEA E
ATTIVITA SCIENTIFICA**

Raffaele Onorato

Attilio Eusebio

SPELEOLOGIA SUBACQUEA ED ATTIVITA' SCIENTIFICA

Diverse associazioni speleologiche hanno come simbolo il Proteo (*Proteus anguinus*), un anfibio vertebrato troglobio (ossia che vive e si riproduce esclusivamente in grotta). È endemico delle acque sotterranee dell'altopiano carsico, in particolare nella Slovenia meridionale, nel Friuli, nella Croazia occidentale e nella Bosnia-Erzegovina. Il Proteo, meglio di qualunque altra specie, è anche il simbolo delle forme di vita delle cavità carsiche sommerse. Esso vive e si riproduce solo nelle dolci acque sotterranee del Carso. In realtà gli acquiferi carsici, caratterizzati da acque dolci e fredde, non sono molto ricchi di vita, al contrario delle grotte sottomarine o dei laghetti di acqua salmastra che si formano in doline carsiche poco distanti (meno di un chilometro, allo stato delle attuali conoscenze) dal mare o dai sistemi anchialini. Vengono definiti habitat anchialini quei sistemi idrici sotterranei ubicati in prossimità di coste marine, a queste strettamente collegati. Le principali caratteristiche di tali ecosistemi sono: connotazione di habitat ipogeo, acque ipossiche, scarso valore energetico, assenza di luce, mancanza di connessioni dirette con il mare da cui deriva un accesso di fauna marina limitato o nullo e presenza di organismi stigobionti con scarso potenziale dispersivo. L'assenza di turbolenze in tali ambienti, inoltre, impedirebbe il rimescolamento delle acque marine e carsiche con diversa densità, le quali si stratificherebbero in livelli diversi, dando origine a gradienti verticali di temperatura, salinità e di concentrazione dell'ossigeno disciolto. In molti casi è possibile individuare un netto livello di separazione tra acque dolci e salate, influenzato dalla distanza dal mare, dalla piovosità e dalla geomorfologia del territorio. In alcune cavità, tuttavia, moto ondoso ed abbondante piovosità potrebbero produrre turbolenze con conseguente alterazione della suddetta stratificazione delle acque.

L'esperienza salentina

I primi contatti col mondo della Biospeleologia furono del tutto fortuiti e avvennero negli anni '80, grazie alle catture di forme di vita troglobia effettuate in alcuni acquiferi carsici degli Alburni. Si trattava di piccoli crostacei che vivevano nelle acque dell'Auso. All'epoca il biospeleologo salentino Salvatore Inguscio, inviò al Prof. Sandro Ruffo quei piccoli e diafani crostacei catturati dagli speleosub della Commissione Nazionale per la Speleologia Subacquea (CNPSUB) nel corso delle esplorazioni. Il grande studioso veronese ebbe l'impressione che si trattasse di *Stygiomysis* ma la classificazione non poté essere più accurata perché si trattava solo di due esemplari, non in ottime condizioni, uno dei quali catturato in maniera rocambolesca: lo speleosub che notò il piccolo crostaceo a pochi centimetri dal suo viso, mentre era in fase di decompressione, allagò la maschera riuscendo a risucchiare dentro l'animaletto e lo portò così in superficie. Se la classificazione del Prof. Ruffo fosse stata confermata, avrebbe indicato, in maniera inequivocabile, che il sistema sommerso dell'Auso aveva contatti con la falda acquifera profonda, ambiente nel quale lo *Stygiomysis* solitamente vive e si riproduce. In questo caso, la biospeleologia si dimostrò disciplina non fine a sé stessa ma utile anche per le conoscenze carsiche dell'ambiente che gli speleosub stavano esplorando.

E' raro, però, che gli speleosub si dedichino alla ricerca biospeleologica.



Foto 1 – La costa orientale del Salento tra Otranto (autore A.Eusebio)

Studi sistematici di ambienti carsici sommersi, e cioè grotte sottomarine, ecosistemi anchialini, e “spundulate” (laghetti di acqua salmastra poco distanti dal mare) sono stati invece effettuati dagli anni '90 ai nostri giorni, da speleosub della CNS della S.S.I. (non solo pugliesi ma provenienti anche da altre Regioni d'Italia) in stretta collaborazione con le Università de L'Aquila, del Salento, di Bari, con l'Istituto Italiano di Speleologia di Bologna e con il C.N.R. Le ricerche si sono svolte lungo la costa del Salento meridionale e dell'Albania. I risultati, soprattutto, nell'area salentina, sono stati a dir poco entusiasmanti. Ma tutt'altro che esaustivi, dobbiamo aggiungere!

Tale ricerca ha prodotto, fino ad oggi, una serie di oltre 230 visite in grotte diverse, da parte di una squadra di 34 sommozzatori, con configurazioni e tecniche rigorosamente speleosubacquee, ed ha consentito di approfondire gli aspetti biologici dell'ambiente di grotta marina ed anchialina della penisola Salentina. Tale attività ha consentito, inoltre, di censire e catastare 50 nuove cavità sottomarine, portando a 120 il numero delle grotte sommerse conosciute in Salento. Le ricerche hanno fornito materiale per la stesura di 19 tesi di laurea, una di specializzazione in Coastal and Marine Biology and Ecology ed un'altra in Microbiologia, 3 dottorati di ricerca, 1 master internazionale, 53 articoli scientifici pubblicati sia su riviste nazionali che internazionali.

Complessivamente, nelle ricerche sono state riconosciute circa 500 specie diverse di organismi viventi, di cui 55 nuove per la Fauna d'Italia e 18 nuove per la Scienza.

Nel febbraio 2017 la Giunta Regionale Pugliese, in forza degli studi, delle scoperte e delle pubblicazioni effettuate grazie alle attività degli speleosub della Commissione Nazionale per la Speleologia Subacquea della S.S.I., ha deciso di chiedere al Ministero dell'Ambiente l'ampliamento dei Siti di Importanza Comunitaria (S.I.C.) a tutte le grotte sommerse del Salento.

La Grotta delle Corvine e le risorgive ipotermali.

La grande avventura delle ricerche biospeleologiche in grotte sommerse inizia sul finire degli anni '80, con la scoperta e l'esplorazione della Grotta delle Corvine (Cala di Uluzzu, Nardò, Lecce).

La cavità neritina è stata la prima grotta sottomarina del Salento oggetto di un'accurata e sistematica indagine di tipo biologico. Ispezioni ed immersioni effettuate nel corso di un intero anno solare, sia di giorno che di notte, hanno consentito di delineare la presenza stagionale delle differenti specie che sono solite abitare la cavità. Ben 196 sono le forme di vita fino ad ora riconosciute e tra esse almeno due specie nuove per la fauna italiana e due nuove per la scienza.

Ai giorni nostri, la Grotta delle Corvine ha attirato l'attenzione dei geologi dell'Università di Bari.

Il primo quesito da risolvere è perché la Grotta delle Corvine sia così grande. La cavità, infatti, è praticamente costituita da un'unica, enorme sala, nella quale potrebbe essere collocata la Cattedrale di Nardò con gran parte del campanile. Un altro mistero è l'Effetto Nebbia, che si verifica nelle grandi bolle d'aria quando c'è mare mosso. E' sufficiente una piccola escursione del livello marino, dovuta al moto ondoso, a provocare in tali ambienti, nel giro di pochi secondi, la formazione di una fitta nebbia (attimo in cui il livello dell'acqua si abbassa) e la sua successiva, rapidissima, scomparsa (attimo della risalita del livello marino, con conseguente compressione dell'atmosfera nelle camere d'aria).

Ed ancora: di che natura è quella sorta di "cortina fumogena" che, in alcuni periodi dell'anno, si nota a mezz'acqua, sia all'interno che in prossimità dell'ingresso della cavità?

Su questi misteri non sono stati ancora effettuati veri e propri studi ma avanzate solo teorie. Tre grandissimi studiosi dei fenomeni carsici, il prof. Paolo Forti, il prof. Arrigo Cigna ed il prof. Giovanni Badino, recentemente ed immaturamente scomparso, hanno formulato tesi che vanno dalla presenza di particelle radioattive nella cavità, all'Ipercarsismo, che è il fenomeno di una corrosione dei calcari particolarmente aggressiva, dovuta alla miscelazione di acque con caratteristiche fisiche e chimiche diverse. Queste teorie non sono infondate, dato che nel Salento sono segnalate risorgive solfuree, e/o ipotermali (molte delle quali in grotta) che spiegherebbero sia l'Ipercarsismo, e quindi le dimensioni eccezionali della cavità, sia la "cortina fumogena", che, ad una prima analisi degli studiosi, sembrerebbe essere costituita da cristalli di natura non ancora definita. Nella provincia di Lecce, inoltre, è accertata l'esistenza di Radon, un gas radioattivo naturale, incolore e inodore. La presenza di Radon nelle camere d'aria delle Grotta delle Corvine spiegherebbe il fenomeno della nebbia. Perché la nebbia si formi e poi sparisca, in successione di tempo così rapida, è necessario, infatti, che nell'atmosfera delle zone emerse della grotta ci sia la presenza di particelle in

sospensione. Particelle radioattive, appunto. In laboratorio il fenomeno della nebbia viene creato in una sorta di camera stagna, definita “camera a nebbia” o di Wilson. Le campane d’aria della Grotta delle Corvine, pertanto, potrebbero rivelarsi una Camera di Wilson naturale! Fenomeno più unico che raro!

L’altro fenomeno che verrà presto indagato dagli studiosi dell’Ateneo barese e dai nostri speleosub è il fenomeno delle risorgive ipotermali rilevate in molte grotte sommerse del Salento, sia sulla costa orientale che su quella occidentale.

Sono questi gli interrogativi che dovranno essere svelati, in un prossimo futuro, dagli studiosi e dagli speleosub che oggi si stanno formando.

Nella Grotta delle Corvine (e non solo in quella), inoltre, gli spelosub potrebbero dare un importantissimo ed inedito contributo anche agli studiosi di preistoria.



Foto 2 – Immersione con REB nella Grotta del Ciolo (autore A.Eusebio)

La grotta de Lu Lampiune e le trays biogeniche

Scoperta ed esplorata dagli speleosub neretini nel 1989, la Grotta sottomarina de Lu Lampiune, si rivelò, fin dalle prime esplorazioni, come una delle più grandi e complesse della costa orientale salentina. La cavità è stata oggetto di studi sistematici da parte dei biologi del DiSTeBA dell’Università

di Lecce e specialisti dell'Istituto Italiano di Speleologia di Bologna, in collaborazione con gli speleosub del Gruppo SSI "Apogon" di Nardò. Uno studio morfologico e chimico effettuato su due delle concrezioni stalattitiche eccentriche, presenti un po' ovunque nella grotta, ha rivelato, per la prima volta in ambiente marino sommerso, la loro genesi inequivocabilmente organogena, trovando similitudini con altre formazioni (trays) rinvenute in grotte del Nuovo Messico (CALAFORRA e FORTI, 1994). La datazione effettuata con il metodo del 14C su un campione prelevato dagli speleosub ha fornito un valore di 6,056 anni.

Le pseudostalattiti del Lu Lampine, novità assoluta per la Scienza, sono state determinate come Trays Biogeniche Idruntine. Su tale scoperta sono state prodotte innumerevoli pubblicazioni scientifiche e sono ancora in corso studi di specialisti italiani e stranieri.



Foto 3 Trays biogeniche nella grotta de Lu Lampione (autore R.Onorato)

Il Cocito

Un altro libro aperto per gli scienziati è il Cocito e cioè la parte sommersa della Grotta Zinzulusa (Castro, Lecce). La ricerca nel Cocito è iniziata circa 20 anni fa, con la campagna esplorativa "Zinzulusa Speleosub '96 e '97" che ha permesso di mettere in luce circa 160 metri di gallerie sommerse ed un'ampia sala, intitolata al prof. Decio De Lorentiis. Furono effettuate, inoltre, importanti scoperte biologiche, come quella della spugna troglobia *Higgynsia Ciccaresei*, vero fossile vivente, ed il prelievo di uno *Stygomysis*, mai rinvenuto prima d'allora nelle acque del Cocito. Tutte le attività

speleosubacquee furono documentate con filmati, foto e topografie e diedero origine a innumerevoli pubblicazioni scientifiche. I risultati raggiunti da “Zinzulusa Speleosub ’96 e ’97”, seppur eclatanti, erano però tutt’altro che esaustivi dal punto di vista biologico. Anche la parte esplorativa non poteva dirsi conclusa.

Dopo una pausa di alcuni anni, gli studi sono ripresi con la campagna “Zinzulusa Speleosub 2013”. Dapprima si è portata a termine l’esplorazione della cavità sommersa, grazie all’utilizzo dei rebreather piuttosto che del sistema A.R.A. a circuito aperto, col quale veniva sollevata un’ingente quantità di sedimento che, entrando in sospensione, rendeva praticamente impossibile il proseguimento dell’immersione. La topografia della cavità divenne, pertanto, definitiva. In seguito, vennero posizionate, per la prima volta all’interno del Cocito, una sonda multiparametrica ed un retino per la cattura del plancton. La sonda IDROMARAMBIENTE IP046D è stata impiegata per la misurazione di parametri abiotici quali temperatura (°C), pH, Conduttività (mS/cm), emissione di luce (PAR) e variazioni del livello dell’acqua correlate alla marea (cm). I rilevamenti sono stati effettuati, di volta in volta, applicando intervalli di tempo differenti in un range compreso tra 1 secondo e 1 minuto, per capire quale fosse il più adatto per raccogliere dati in quell’ambiente, tenendo conto anche della durata della capacità di memoria e la batteria della sonda. Infine, tali misurazioni sono state scaricate e rielaborate utilizzando il software XMar (sviluppato dalla stessa società di costruzione della sonda). I dati finali sono stati tracciati con intervalli di 30 minuti per ottenere una rappresentazione grafica omogenea dell’oscillazione dei parametri. La sonda è stata fissata, tramite una rete in posizione orizzontale, sulla sommità di una lama di erosione posta al centro della prima sala sommersa del Cocito, al di sopra di una condotta ascensionale dalla quale si ipotizza che provenga una corrente di probabile influenza marina (ma la causa resta da chiarire).

La rete per la cattura del plancton (maglia 200 µm) è stata posizionata verticalmente, al di sopra dell’apertura della condotta ascensionale. È stata modificata aggiungendo nell’imbocco una parabola imbutiforme, in modo che gli organismi presenti nel flusso d’acqua potessero entrare e rimanere intrappolati nella rete.

Inoltre, gli speleosub hanno utilizzato contenitori sterili per raccogliere campioni d’acqua, sedimenti dal fondo e campioni di crosta dalle pareti.

Infine, è stata posizionata anche una telecamera a circuito chiuso, collegata ad un computer posizionato all’esterno del laghetto ipogeo, la quale ha registrato la corrente ascendente e gli organismi da essa trasportati.

Nonostante le ricerche si siano protratte fino al 2020, poche immersioni per anno sono state possibili, per preservare l’ambiente sommerso e la sua fauna. Tuttavia, i risultati sono stati sorprendenti: nuove specie animali sono state aggiunte alla lista di quelle già note nel sistema ed una specie di copepode risulta nuova per la scienza ed è tuttora in fase di classificazione. Grandi novità di sono riscontrate nel campo della microbiologia, grazie al ritrovamento di circa 600 specie di batteri, tra i quali organismi solforiduttori e bioluminescenti, anch’essi in fase di classificazione. Dai parametri abiotici rilevati dalla sonda multiparametrica, infine, si sono aperte possibilità di nuovi studi nel campo della idrogeologia, per i quali si prevedono importanti scoperte che potrebbero portare alla rideterminazione dell’idrologia del sistema stesso e dell’intera penisola Salentina.



Fig.1 Rilievo della Grotta Zinzulusa (Ramo Cocito) -1996 tratto da <http://sibaese.unisalento.it/index.php/thalassiasal/article/viewFile/i15910725v22p47/1876>

In questo capitolo abbiamo descritto gli studi in corso e le notevoli scoperte effettuate in soli tre dei sistemi carsici sommersi del Salento e lo abbiamo fatto solo a titolo di esempio, per far comprendere a quanti e quali risultati scientifici si può giungere con il contributo determinante degli speleosub. Le entusiasmanti scoperte che abbiamo illustrato e le ricerche tuttora in corso non sarebbero stati possibili senza l'indispensabile impiego e la competenza degli spelosub della Commissione Nazionale Speleosubacquea della S.S.I. Il risultato più soddisfacente, infatti, è stato quello di avere effettuato decine e decine di immersioni speleosubacquee, in ambienti anche molto diversi tra loro, caratterizzati da acque fangose ed insidiose, senza aver mai registrato incidenti. Molti dei ricercatori che hanno scritto e pubblicato sulle grotte sommerse del Salento, in tali cavità non ci sono mai entrati, ed hanno potuto portare a compimento i loro studi solo grazie ai campionamenti, alle documentazioni topografiche, fotografiche e video e alle osservazioni effettuate degli speleosub. Il prossimo futuro vedrà impegnati nella ricerca speleosub sempre più qualificati dal punto di vista scientifico, capaci di condurre in prima persona le indagini e gli studi in grotte subacquee. E' questo il nuovo livello di formazione che si propone la Scuola di Speleologia Subacquea della SSI.

Auspichiamo che, sull'esempio della Puglia, la ricerca scientifica in grotte sommerse possa incrementarsi ed estendersi anche ad altre discipline e, soprattutto, ad altre aree carsiche d'Italia.

Si ringrazia per la supervisione e la consulenza il dott. Michele Onorato, speleosub S.S.I. e specialista in Coastal and Marine Biology and Ecology.

Le grotte come archivio paleoclimatico

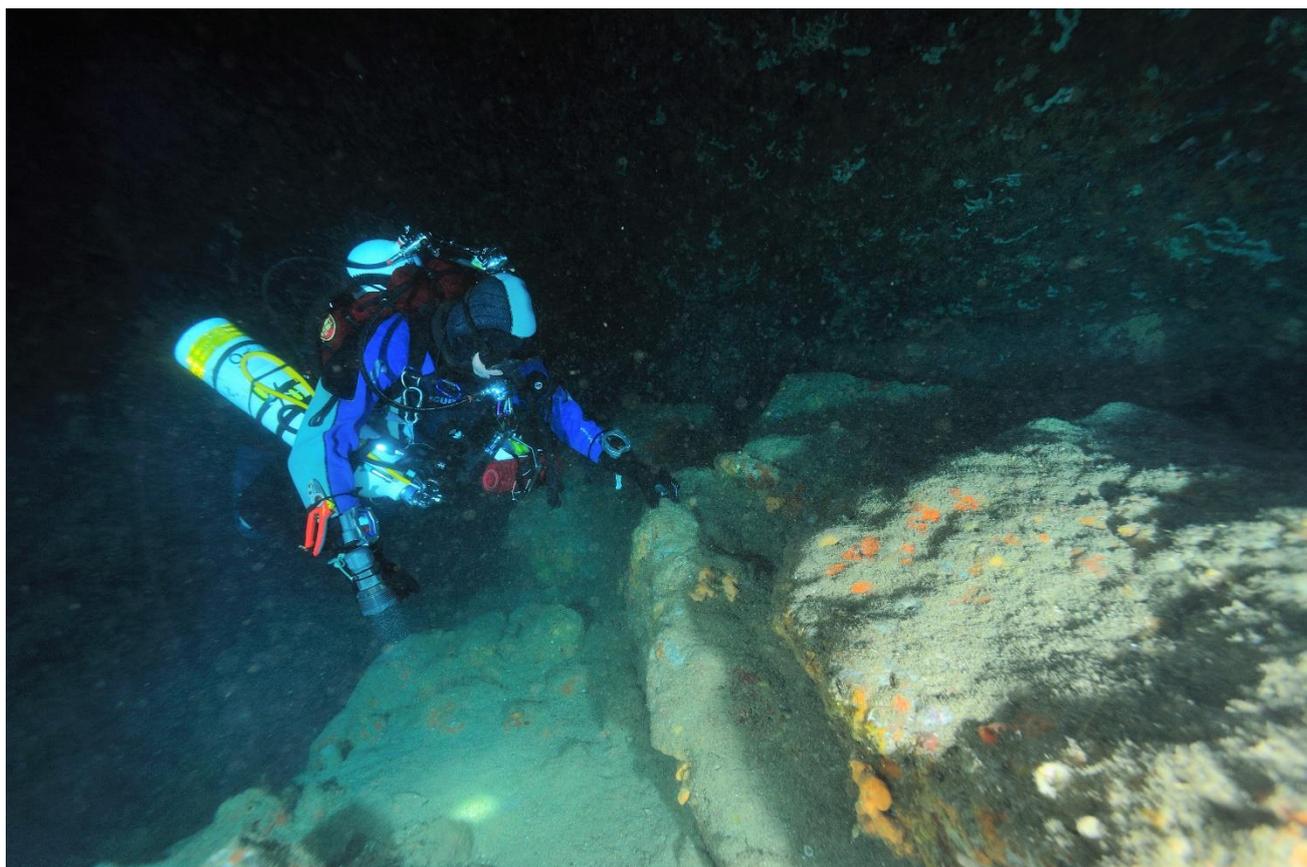


Foto 4 – Grotta dell'Argentarola – Grosseto (autore A.Eusebio)

Molte delle ricerche condotte da vari ricercatori sullo studio delle variazioni climatiche ed in particolare del livello del mare si sono basati sull'analisi delle stalattiti e stalagmiti campionate all'interno di grotte terrestri ma non solo. Uno dei primi casi più importanti nell'ambito della speleologia subacquea fu la ricerca svolta dai ricercatori dell'ENEA che sono riusciti nell'intervento di recupero e nella realizzazione del campionamento di una stalagmite di 90 kg, alta circa un metro, situata a -23 metri nella grotta sommersa dell'isola dell'Argentarola (in provincia di Grosseto, vicino al Promontorio dell'Argentario), che costituisce uno speleotema di rilevante importanza scientifica per le sue dimensioni e per il suo spessore (quadruplo rispetto a speleotemi già studiati provenienti dalla stessa grotta sommersa). La sezione operata sulla stalagmite ha permesso di rilevare una lunga serie temporale di elementi indicativi dei livelli marini e continentali impressi nelle sue stratificazioni,

Speleotemi	Tipo	Profondità (m)	Spessore (cm)	Primo livello marino (MIS 1)	Primo livello continentale (MIS 1-2)
A	STT	-3.5	44	6500 ± 285	20450 ± 390
B	STT	-9.5	36	6770 ± 190	22670 ± 460
C	STT	-6	15	Si	Si
F	STT	-14.5	18	7360 ± 200	Si
M	STG	-16	40	8300 ± 150	Si
G	STG	-18	22	Si	Si
I	STG	-18.5	36	9590 ± 120 7684 ± 49 8036 ± 74	9724 ± 135
E	STG	-21.5	52	9430 ± 170	23824 ± 398
H	STG	-21.5	28	Si	8810 ± 80
L	STG	-21.7	26	Si	Si

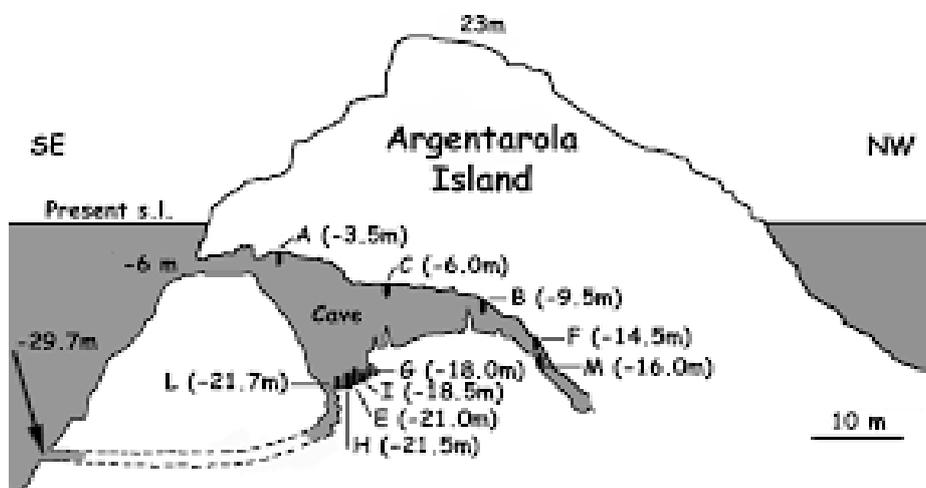


Fig. 2 -Rilievo della grotta dell'Argentarola con la posizione degli speleotemi analizzati tratto da Fabrizio Antonioli "Variazioni del livello del mare nell'ultimo semiciclo glaciale ottenute da speleotemi" Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol., 80 (2003): 49-53 ISSN 0392-0534 Museo Tridentino di Scienze Naturali, Trento 2005

in grotte sommerse di aree costiere italiane presenti in numero estremamente maggiore rispetto a precedenti campionamenti. Diversi cambiamenti del livello del mare quaternario sono registrati da speleotemi nella Grotta dell'Argentarola (Italia), attualmente inondata dal Mar Mediterraneo. Speleotemi con una sequenza di strati continentali e proliferazioni biogeniche marine (colonie serpulidi), tutti attualmente ricoperti da serpulidi viventi, sono stati campionati a profondità d'acqua comprese tra -3,5 e -21,7 m. La sequenza composta contiene cinque strati marini e quattro continentali, formati negli ultimi 215 ka.

Il Mar Mediterraneo ha allagato la grotta durante vari periodi a cui si sono alternati sottili strati continentali. Questo strato finale dello speleotema è stato interrotto durante l'innalzamento del livello del mare dell'Olocene, ma in momenti diversi in ogni speleotema. Da questo stesso strato è stata costruita una curva del livello del mare dell'Olocene. Un sottile strato marino, che si trova solo

nelle stalagmiti più profonde a -21,5 e -21,7 m, è provvisoriamente correlato da una breve trasgressione marina. Per comprendere meglio la genesi e l'evoluzione delle grotte marine, è necessario tenere conto di quanto possano avere influito le variazioni del livello del mare nel corso del tempo. Ad ogni fluttuazione climatica calda ne è derivato un innalzamento del livello marino, e viceversa, ad ogni fluttuazione fredda un abbassamento.

Ma la durata di un ciclo climatico è stata di circa 100.000 anni, con ricorrenze cadenzate. Tra i due estremi climatici i tassi di risalita dei mari hanno rilevato dei valori mediamente molto alti, tra 5 e 10 metri al secolo.

Alle Bermude nel 197 in una grotta sommersa con stalattiti fino a -8 m, vennero scoperti e per la prima volta datati (Harmon et al., 1978), alcuni speleotemi con concrezionamenti di serpulidi; le datazioni U\Th sono state effettuate con metodologia alpha sia sui depositi marini sia su quelli continentali, essenzialmente venne indagato lo stadio isotopico da 80.000 a 15.000 anni fa. Oltreché gli speleotemi, gli studiosi datarono anche i coralli e ricostruirono le variazioni del livello del mare (per profondità comprese tra +16 e -11) da 200.000 anni fino al presente. Alle Bahamas, nel 1979 nel famoso complesso carsico\marino dei Blue Holes, Gascoyne et al. (1979) datarono con il metodo U/Th alcune stalagmiti, campionate fino a -45 m dimostrando che il livello del mare era più basso di almeno 42 m in un intervallo cronologico compreso tra 160 e 139 ka.

Varie ricerche furono svolte negli anni nei mari italiani ed esteri (Bahamas, Nuova Guinea), e i dati raccolti confermano queste periodiche variazioni. In questo contesto la pur piccola grotta dell'Argentarola, (2002) evidenzia cinque trasgressioni marine in un periodo di 200.000 anni.

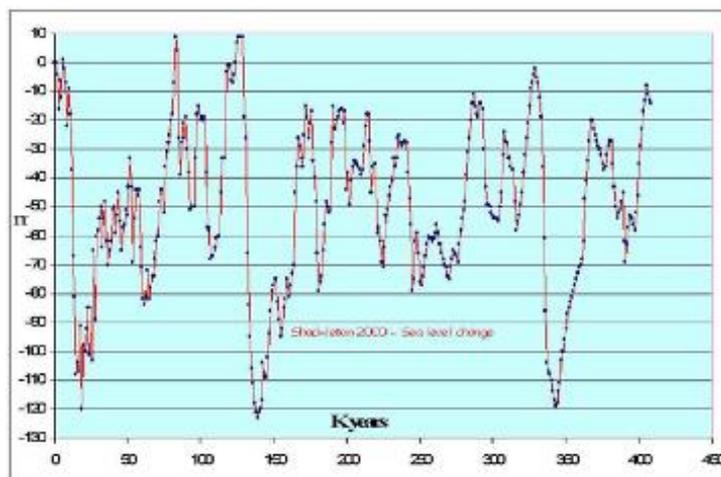


Fig 3 – Variazioni del livello marino negli ultimi 400.000 anni da (Antonoli F. & Forti P. (2003) Geologia e genesi delle grotte marine, in AA.VV. "Grotte marine: cinquant'anni di ricerca in Italia". Ed. CLEM, Ministero dell'Ambiente, Sezione Difesa Mare, 505 pp.)