

## Variazioni del livello del mare nell'ultimo semiciclo glaciale ottenute da speleotemi in grotte sommerse di aree costiere italiane

Fabrizio ANTONIOLI

ENEA Progetto speciale Clima Globale, Via Anguillarese 301, I-00060 S. Maria di Galeria, Roma  
E-mail: [fabrizio.antonoli@casaccia.enea.it](mailto:fabrizio.antonoli@casaccia.enea.it)

**RIASSUNTO** - *Variazioni del livello del mare nell'ultimo semiciclo glaciale ottenute da speleotemi in grotte sommerse di aree costiere italiane* - In questo lavoro vengono sintetizzati tutti i dati disponibili per le coste italiane relativi a variazioni del livello del mare misurate sulla base di radiodatazioni di speleotemi sommersi e relative concrezioni marine di Serpulidi. I dati sono stati rilevati sulla base di ricerche effettuate tra il 1990 e il 2004 nella grotta dell'Argentarola (Gr), presso l'Isola di Marettimo (Tp) a Capri (Na), a Capo Caccia (SS) e a Palinuro (Sa). Oltre alle datazioni ottenute, vengono riassunte le metodologie e gli errori.

**SUMMARY** - *Sea level change during last glacial cycle from submerged speleothems on Italian coastline* - Here a review on the last 20 ka BP sea level rise history is presented, obtained using submerged speleothems sampled on the Argentarola, Marettimo and Capri islands, at Cape Caccia and Palinuro. Between 1990 and 2004 many papers were published on this issue, most of them in rare Italian journal. All published data are here reported.

*Parole chiave:* variazioni del livello del mare, Olocene, speleotemi sommersi  
*Key words:* sea level change, Holocene, submerged speleothems

### 1. INTRODUZIONE

Nell'ambito delle ricerche sulle variazioni di livello del mare occorse durante l'ultimo semiciclo glaciale (ultimi 22 ka BP) sono stati usati, per le coste italiane, numerosi tipi di marker marini, continentali e archeologici; in Lambeck *et al.* 2004, viene sintetizzata un'accurata analisi dei dati e dei margini di errore a disposizione per l'Italia. Alcune tra le serie di dati più lunghe e con buone possibilità di effettuare datazioni assolute sono costituite da sondaggi a carotaggio continuo, effettuati su depositi lagunari, e da speleotemi, campionati nella stessa cavità a diverse profondità.

Mentre i sondaggi possono presentare un ricorrente errore dovuto a compattazione, gli speleotemi (quando ben datati) hanno fornito risultati di ottima qualità.

In Antonioli *et al.* 2002 viene effettuato un excursus sugli aspetti generali del concrezionamento degli speleotemi, sul significato dei proxy data ottenibili, sul tipo di analisi ed i margini di errore, ecc.

Il campionamento e l'analisi di speleotemi attualmente sommersi dal mare in grotte che si aprono in zone costiere stabili, ha contribuito notevolmente alle conoscenze sull'innalzamento del livello del Mar Tirreno e in numerose zone costiere italiane (Antonioli

& Ferranti 1992; Alessio *et al.* 1992; Alessio *et al.* 1996; Antonioli *et al.* 2001; Bard *et al.* 2002; Antonioli *et al.* 2004).

### 2. METODOLOGIE APPLICATE

Datando la porzione di depositi di ambiente continentale vicina all'apice di speleotemi sommersi è possibile stabilire che il mare non aveva ancora raggiunto la profondità di campionamento a quella determinata età. È stato inoltre possibile ottenere dati più dettagliati, relativi alla risalita del livello del mare in aree temperate, utilizzando concrezioni marine di Serpulidi (*Serpula massiliensis*) formatesi all'arrivo del mare su speleotemi sommersi. Infatti, in poche grotte sommerse italiane, presso Palinuro (Alessio *et al.* 1996; Antonioli & Oliverio 1996; Antonioli & Ferranti 1997; Antonioli *et al.* 2001), l'Isola di Argentarola (Antonioli *et al.* 2001; 2004) e l'Isola di Marettimo (Antonioli *et al.* 2003), grazie ad alcune caratteristiche ambientali, tra cui assenza di luce e idrodinamismo quasi nullo, si sono sviluppate colonie di organismi marini del tipo Serpulidi. Tutte le stalagmiti e le stalattiti campionate presso la grotta dell'Argentarola (Grosseto) hanno rivelato la sovrapposizio-

ne di livelli di lamine calcitiche e di concrezionamenti marini relativi ad altrettante trasgressioni marine. È questo un evento eccezionale, fino ad ora unico al mondo: il concrezionamento di carbonato continentale ha evitato infatti la perdita per erosione dei depositi marini e ha permesso lo studio di dettaglio (relativo a variazioni del clima e della paleotemperatura) di serie marine e continentali a partire da circa 300 ka BP.

Sempre a proposito di concrezioni di grotte costiere, è stata recentemente messa a punto una metodologia che, datando con UTh concrezionamenti continentali di speleotemi di ambiente saturo che si formano a "tavola d'acqua", stabilisce la quota e l'età del paleo-livello del mare, e è stata applicata a speleotemi di ambiente saturo in grotte delle Baleari (Vesica *et al.* 2000). Al momento non sono disponibili dati per gli ultimi 20 ka.

### 3. CENNI SUI RISULTATI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le datazioni di speleotemi e/o concrezioni marine relative all'ultimo semiciclo glaciale sono state fino ad oggi effettuate (Fig. 1) a S. Vito Lo Capo e nella grotta della Cattedrale, nell'Isola di Marettimo (TP), a Capo Palinuro (SA, Fig. 2), a Capri, a Capo Caccia (SS) e nella Grotta dell'Argentarola (GR, Fig. 3).



Fig. 1 - L'Italia e le zone di studio citate nel testo.  
Fig. 1 - Italy and study area quoted on the paper.

Tab. 1 - Grotta dell'Argentarola: età  $^{14}\text{C}$ . I campioni con la sigla R- sono stati analizzati per il  $^{14}\text{C}$  dal Laboratorio di Fisica Università La Sapienza, Roma. I campioni OS- sono stati analizzati dal  $^{14}\text{C}$  Laboratorio di Woods Hole (USA). I campioni denominati "Van" dall'Università di Utrecht. \* fattore di diluizione: 0,85.

Tab. 1 - Argentarola Cave:  $^{14}\text{C}$  age. Samples with Lab number R- were analyzed by  $^{14}\text{C}$  Physics Lab. La Sapienza University, Roma. Samples OS - were analyzed by Woods Hole (USA) Lab. Samples "Van" by University of Utrecht. \* dilution factor: 0.85.

Speleotemi Argentarola Ultimo semiciclo glaciale	Livello	Metodologia di datazione	Profondità (m)	Numero di lab.	$\delta^{13}\text{C}$	Età convenzionale BP $1\sigma$	Età calibrata BP $1\sigma$ (Stuiver <i>et al.</i> 1998)
STT A, MIS 1	marino	$^{14}\text{C}$	-3.5	R-2144	1.39	$3270 \pm 110$	$6500 \pm 285$
STT B, MIS 1	marino	$^{14}\text{C}$	-9.5	R-2135	2.77	$3405 \pm 80$	$6770 \pm 190$
STT F, MIS 1	marino	$^{14}\text{C}$	-14	R-2386	3.50	$3507 \pm 76$	$7360 \pm 200$
STG M, MIS 1	marino	$^{14}\text{C}$	-16	R-2396	3.70	$3865 \pm 55$	$8300 \pm 150$
STG I, MIS 1	marino	$^{14}\text{C}$	-18.5	R-2352	3.14	$4384 \pm 81$	$9590 \pm 120$
STG I, MIS 1	marino	$^{14}\text{C}$ AMS	-18.5	OS-27964	3.34	$7230 \pm 50$	$7684 \pm 49$
STG I, MIS 1	marino	$^{14}\text{C}$ AMS	-18.5	OS-27963	3.19	$7590 \pm 55$	$8036 \pm 74$
STG E, MIS 1	marino	$^{14}\text{C}$	-21.5	R-2250	3.33	$4290 \pm 60$	$9430 \pm 170$
STT A, MIS 2	continentale	$^{14}\text{C}$	-3.5	R-2145	-6.20	$21800 \pm 390$	$20450 \pm 390^*$
STT B, MIS 2	continentale	$^{14}\text{C}$	-9.5	R-2147	-8.62	$24020 \pm 460$	$22670 \pm 460^*$
STG I, MIS 1	continentale	$^{14}\text{C}$ AMS	-18.5	OS-3535	-3.00	$10050 \pm 50$	$9727 \pm 326$
STG I, MIS 1	continentale	$^{14}\text{C}$ AMS	-18.5	OS-27962	-6.53	$11100 \pm 80$	$11199 \pm 33^*$
STG I, MIS 1	continentale	$^{14}\text{C}$ AMS	-18.5	OS-28505	-6.53	$11400 \pm 65$	$11638 \pm 293^*$
STG H, MIS 1	continentale	$^{14}\text{C}$ AMS	-21.5	GX-29237	-9.7	$9210 \pm 40$	$8810 \pm 80$

Tab. 2 - Grotta dell'Argentarola: i diversi livelli riscontrati negli speleotemi. Per l'ubicazione degli speleotemi vedi figura 3. Tutte le STG (stalagmiti) presentavano livelli marini e continentali più antichi di 20 ka BP (qui non inseriti); per le specifiche dei livelli più antichi vedi Antonioli *et al.* 2004.

Tab. 2 - Argentarola Cave: all the different layers studied. See Fig. 3 for the sample location. All STG (Stalagmites) show layers older than 20 ka BP (here not described); see Antonioli *et al.* 2004.

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

Tab. 3 - I dati provenienti dagli speleotemi campionati a S. Vito e **Marettimo** (Antonioli *et al.* 2003).

Tab. 3 - Data of the speleothems sampled at S. Vito and **Marettimo** (Antonioli *et al.* 2003).

Metri sotto il livello del mare	Settore	Materiale	Età (anni BP)	Metodo di datazione	Campione di laboratorio n.
-0.3	F	speleotema	7912 - 7720	<sup>14</sup> C cal 1σ	R-2580 Roma
-1.3	F	speleotema	16731 - 13331	<sup>14</sup> C cal 1σ	R-2580 Roma
-24	marittimo	lithophaga	9643 - 9485	AMS <sup>14</sup> C cal 1σ	7211-Utrecht
-24	marittimo	speleotema	39280 ± 1500	Th/U	1007-ENEA Roma
-24	marittimo	speleotema	24160 ± 900	Th/U	1007-ENEA Roma

Tab. 4 - I dati provenienti dagli speleotemi campionati a Capri, in Sicilia e Sardegna (Alessio *et al.* 1996).

Tab. 4 - Data of the speleothems sampled at Capri, Sicilia and Sardegna (SS) (Alessio *et al.* 1996).

Campione sigla	Provenienza	Profondità (m)	Sigla lab.	Età conv. (BP. 1 sigma)	δ <sup>13</sup> C %	Età vera* BP (cal. 1 sigma)
SZ-110	Ustica (Sicilia)	-0.3	R-2327	3774 ± 56	5.08	2538 ± 179
SZ-109	Stal. Ubriache Castellammare (Sicilia)	-0.3	R-2227	8344 ± 80	#-10.10	7816 ± 96
SZ-107	Stal. Ubriache Castellammare (Sicilia)	-1.3	R-2322	15094 ± 143	-10.10	16531 ± 200
SR-01	Cala Luna (Sardegna)	-9.0	R-2225	25960 ± 380	-6.0	**25377 ± 391
SR-21	Grotta Verde Capo Caccia (Sardegna)	-1.0	R-2325	5377 ± 59	-2.50	4623 ± 180
SR-113	Eurhotel Capo Caccia (Sardegna)	-1.0	R-2555	7670 ± 82	-9.88	7283 ± 85
SR-112	Eurhotel Capo Caccia (Sardegna)	-1.0	R-2556	5929 ± 70	-9.88	5371 ± 81
SR-20	Dragunara Capo Caccia (Sardegna)	-1.3	R-2248	29310 ± 450	-6.06	**28823 ± 463
SR-19	Dragunara Capo Caccia (Sardegna)	-26	R-2226	>45000	-9.50	**>45000
C-7	Capri	-0.7	R-2151	3920 ± 80	-3.51	2747 ± 28

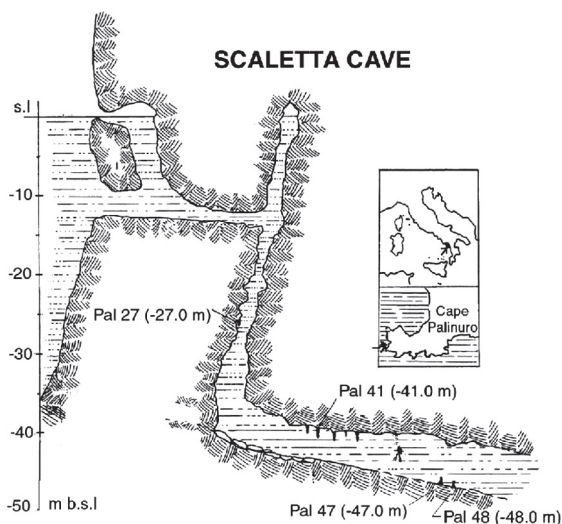


Fig. 2 - La grotta della Scaletta a Palinuro e i punti di campionamento.

Fig. 2 - The Scaletta cave at Palinuro and the sampling point.

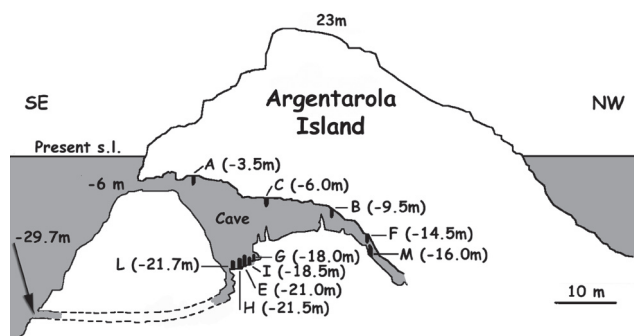


Fig. 3 - La grotta dell'Argentarola e i punti di campionamento.

Fig. 3 - The Argentarola cave and the sampling point.

Nelle tabelle 1, 2, 3 e 4 sono riportati tutti i dati. Tutte queste datazioni sono stati utilizzate (insieme ad altri marker) per calibrare il modello di risalita del mare di Lambeck (Fig. 4).

Pertanto, gli speleotemi si sono rivelati archivi paleoambientali di rilevante interesse, fondamentali per la ricostruzione dell'evoluzione recente delle fasce costiere del Mediterraneo e per la verifica delle oscillazioni del livello marino durante il Pleistocene e l'Olocene.

## BIBLIOGRAFIA

- Alessio M., Allegri L., Antonioli F., Belluomini G., Ferranti L., Improta S., Manfra L. & Proposito A., 1992 - Risultati preliminari relativi alla datazione di speleotemi sommersi nelle fasce costiere del Tirreno centrale. *Il Giornale di Geologia*, 54, 2: 165-193.
- Alessio M., Allegri L., Antonioli F., Belluomini G., Improta S., Manfra L. & Preite M., 1996 - La curva di risalita del Mare

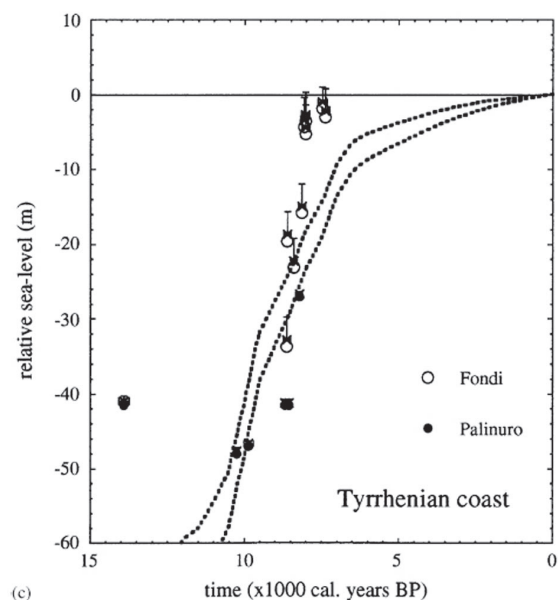


Fig. 4 - La curva predetta dal Modello di Lambeck e alcuni dati provenienti da Palinuro e Fondi (da Lambeck et al. 2004).

Fig. 4 - The sea level rise curve predicted from Lambeck model and few data from Palinuro and Fondi (Lambeck et al. 2004).

Tirreno negli ultimi 43 ka ricavata da datazioni su speleotemi sommersi e dati archeologici. *Memorie Descrittive del Servizio Geologico Nazionale*, 52: 235-256.

- Antonioli F. & Ferranti L., 1992 - Geomorfologia costiera e subacquea e considerazioni paleoclimatiche sul settore compreso tra S. Maria in Navarrese e Punta Goloritzè (Golfo di Orosei, Sardegna). *Il Giornale di Geologia*, 54, 2: 65-89.
- Antonioli F. & Oliverio M., 1996 - Holocene sea-level rise recorded by fossil mussel shells in submerged speleothem in the Mediterranean sea, *Quaternary Research*, 45: 241-244.
- Antonioli F. & Ferranti L., 1997 - Le grotte marine di Capo Palinuro (Campania). Aspetti geomorfologici e implicazioni speleogenetiche. *Atti del Convegno della Società Speleologica Italiana*, 56: 239-251.
- Antonioli F., Silenzi S. & Frisia S., 2001 - Mediterranean holocene sea surface temperature trends from spelean serpulids. *Quaternary Science Reviews*, 20/15: 1661-1670.
- Antonioli F., Cremona G., Immordino F., Puglisi C., Romagnoli C., Silenzi S., Valpreda E. & Verrubbi V., 2002 - New data on the holocenic sea level rise in NW Sicily (central Mediterranean sea). *Global and Planetary Change*, 34: 121-140.
- Antonioli F., Frisia S., Forti P. & Sauro U., 2003 - I depositi concrezionali di grotta: archivi dell'evoluzione paleoclimatica ed ambientale regionale dei geo-ecosistemi carsici. In: Biancotti A. & Motta M. (a cura di), *Risposta dei processi geomorfologici alle variazioni ambientali*. Ministero Istruzione, Università, Ricerca. Programmi di ricerca scientifica di rilevante interesse nazionale. Brigati, Genova: 31-55.

- Antonioli F., Bard E., Silenzi S., Potter E.K. & Imbrota S., 2004 - 215 kyr history of sea level based on submerged speleothems. *Global and Planetary Change*, 43: 57-78.
- Bard E., Antonioli F. & Silenzi S., 2002 - Sea-level during the penultimate interglacial period based on submerged stalagmite from Argentarola Cave (Italy). *Earth and Planetary Science Letters*, 196/3-4: 135-146.
- Lambeck K., Antonioli F., Purcell A. & Silenzi S., 2004 - Sea level change along the Italian coast for the past 10,000 yrs. *Quaternary Science Review*, 23: 1567-1598.
- Stuiver M., Reimer P.J. & Braziunas T.F., 1998 - High-precision radiocarbon age calibration for terrestrial and marine samples. *Radiocarbon*, 40 (3): 1127-1151.
- Vesica P., Tuccimei P., Turi B., Fornós J.J., Ginés J. & Ginés A., 2000 - Late Pleistocene paleoclimates and sea-level change in the Mediterranean as inferred from stable isotope and U-series studies of overgrowths on speleothems. *Quaternary Sciences Review*, 19/9: 865-879.