Atti Soc. tosc. Sci. nat., Mem., Serie A, 113 (2008)
pagg. 25-37, figg. 8

A. CHELLI (*), M. PAPPALARDO (**), F. CALLEGARI (**)

RAPPORTI FRA LIVELLI DI CARSIFICAZIONE E PALEO-LINEE DI RIVA NELLE ISOLE DEL GOLFO DELLA SPEZIA (LIGURIA ORIENTALE)

Riassunto - Il lavoro presenta i primi risultati derivanti dal nuovo catasto delle grotte carsiche modellate nei calcari e nelle dolomie del Trias superiore-Giurassico inferiore appartenenti alla Falda Toscana che si trovano sulle isole Palmaria, Tino e Tinetto, al limite occidentale del Golfo della Spezia, nella Liguria orientale. Partendo dalla base di dati contenuta all'interno di due catasti precedenti, uno datato alla fine degli anni '50 del secolo scorso e l'altro pubblicato circa vent'anni dopo, è stato eseguito un nuovo rilevamento delle grotte, per ognuna delle quali sono state misurate quota, lunghezza (intesa come sviluppo planimetrico totale), altezza e larghezza massima e minima oltre alla quota dell'ingresso. Per ogni grotta è stata redatta una scheda, appositamente costruita per questo studio, nella quale, oltre ai dati sopra menzionati, sono state descritte le caratteristiche morfologiche delle cavità e indicata la presenza o meno di depositi al loro interno. Alle schede sono state allegate, per ciascuna grotta, anche la planimetria e la sezione, riprese dai catasti precedenti e, in alcuni casi, corrette e implementate sulla base del nuovo rilevamento. Il lavoro ha permesso di censire 21 grotte, risultate dopo l'abbandono di un certo numero di cavità che erano indicate nei vecchi catasti ma non più accessibili o distrutte dall'attività di cava, legata soprattutto all'estrazione del «marmo» Portoro cessata negli anni '80 del novecento, e l'aggiunta di una mai individuata prima perché sommersa. La maggior parte delle grotte sono emerse, 5 sono semisommerse e soltanto due sono totalmente al di sotto del livello del mare attuale. L'acquisizione dei dati morfometrici ha permesso di classificare le cavità in due famiglie: una che comprende grotte con sviluppo prevalentemente orizzontale e l'altra caratterizzata da grotte sostanzialmente equidimensionali. I dati altimetrici sembrano indicare una concentrazione di grotte in corrispondenza di alcuni livelli principali, 4 dei quali si collocano a -5, +3, +12 e +32 metri s.l.m.; questi dati, confrontati con quelli di quota degli indicatori dei paleolivelli del mare noti per la Liguria orientale, permettono di avanzare l'ipotesi che questi livelli della passata carsificazione possano essere legati a diversi stazionamenti del livello del mare nel Quaternario. Il nuovo catasto delle grotte carsiche delle isole Palmaria, Tino e Tinetto si configura, inoltre, come lo strumento fondamentale per la loro valorizzazione e fruizione in chiave geoturistica, nell'ambito della più ampia offerta in termini di risorse ambientali del territorio del Parco Naturale Regionale di Porto Venere.

Parole chiave - Grotta, carsismo, livello del mare, Liguria orientale.

Abstract - *Cave levels and palaeo shorelines in the islands of the La Spezia Gulf (Eastern Liguria)*. In this paper the first results are presented of a new inventory of the karst caves in the Palmaria, Tino and Tinetto Islands, bordering westward the Gulf of La Spezia. These caves are modelled in the upper Triassic-lower Jurassic limestones and dolomites belonging to the Tuscan Nappe. The two existing inventories, one worked out in the 1950s and the other one twenty years later, have been revised. A data base has been created with the results of a recent survey. Morphometric parameters of the caves (elevation, maximum and minimum width and height and total length) and the elevation of their entrance have been measured. Data have been organized in a specially designed worksheet (one for each cave), containing, in addition to the morphometric parameters, a description of the caves morphology and of the different kinds of deposits filling them. Each spreadsheet includes also a map and one or more sections of the cave, obtained updating the old inventories' maps. The total number of inventoried caves is 21: some of those present in the old inventories have meanwhile been destroyed by quarrying activities and a submerged cave never described before has been added. Most of the caves are above sea level, five are partly flooded by the sea and only two are totally submerged. From a morphometric point of view they have been grouped in two families: one includes those caves that are developed mostly in horizontal and the other those that are equally developed in each dimension. Elevation data cluster suggesting the existence of four cave levels, at -5, +3,+12 and +32 m a.s.l., that are consistent with the height at which past sea-level markers are reported for eastern Liguria; in this area, therefore, cave levels could be considered due to different Quaternary sea-levels. The new inventory of the karst caves of the Gulf of La Spezia Islands should be regarded as well as a basic tool for their exploitation from a geo-touristic point of view: they should be considered, in fact, part of the natural heritage of the Natural Regional Park of Porto Venere.

Key words - Cave, karst, sea-level, eastern Liguria.

INTRODUZIONE

È stato realizzato un moderno censimento delle cavità sotterranee naturali nelle isole antistanti il promontorio di Porto Venere, che chiudono a occidente il Golfo della Spezia. In questo articolo se ne presenta una sintesi ed un preliminare tentativo di utilizzo dei dati che da esso si possono estrapolare.

I rilievi circostanti il Golfo della Spezia sono ricchi di cavità naturali legate allo sviluppo del carsismo che assume un certo rilievo tra le morfogenesi che improntano l'area, come è stato messo in evidenza da non molti lavori sull'argomento (Capellini, 1896; Caselli, 1919; Federici, 1970, 1987; Razzoli, 2000).

Le forme carsiche di superficie sono diffuse, anche se con densità e tipologie variabili in funzione della specifica litologia del substrato sul quale si impostano.

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Parma, viale G.P. Usberti 157/A, 43100 Parma.
(**) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, via S. Maria 53, 56126 Pisa.

Si trovano, come noto (Federici, 1987), macroforme tipiche di un carsismo tropicale che arrotondano le sommità dei rilievi, mentre lungo i versanti si sviluppa una morfologia tipica dei paesaggi carsici mediterranei, fatta di valli cieche, polje, uvala e doline fino ad una varietà di microforme. L'orientazione delle forme carsiche è qui fortemente condizionata dalla struttura geologica (Federici, 1970).
Per quel che riguarda in particolare il carsismo ipogeo un certo numero di grotte si aprono lungo i versanti costieri dei promontori che bordano il golfo spezzino e in passato la redazione di due lavori monografici dedicati alla speleogenesi dell'area (Cigna, 1967; Barbagelata, 1978-80) ne hanno messo in luce, in maniera sistematica sottoforma di catasto, le caratteristiche morfologiche.
Alcune di queste grotte che sono attualmente in parte o del tutto sommerse, vengono nell'accezione comune considerate grotte marine, in quanto il loro pavimento e le pareti portano i segni di un rimodellamento da parte dell'agente meteo-marino. Tuttavia, nell'accezione di Forti (2003), si definiscono marine solo le cavità create dal mare, che vanno opportunamente distinte da quelle carsiche sommerse considerate in questo studio.
Le grotte carsiche costiere costituiscono un potenziale archivio di dati che può fornire, sia attraverso la presenza di depositi (sequenze stratigrafiche, speleotemi, Antonioli *et al*., 2004) sia attraverso il rinvenimento al loro interno di indicatori del livello del mare (solchi di battente, Pirazzoli, 2007), informazioni circa le variazioni di quest'ultimo durante il Pleistocene e l'Olocene. Inoltre i sistemi carsici costieri portano in se un potenziale come indicatori delle variazioni del livello del mare per gli ovvi rapporti che gli acquiferi che essi sostengono hanno con il livello di base (Fleury *et al*., 2007) e data la relativa rapidità con la quale i sistemi acquiferi carsici costieri si sviluppano (Bakalowicz, 1975) essi hanno reagito prontamente alle variazioni anche minime del livello del mare piuttosto che ai più lenti movimenti tettonici (Fleury *et al*., 2007).
Il Golfo della Spezia è caratterizzato da un litorale costituito in prevalenza da versanti rocciosi cui si intercalano spiagge a tasca di limitata estensione (Federici, 1992). I versanti rocciosi sono per la maggior parte conformati in elevate falesie oppure sono modellati da frane (Arozarena Llopis, 2004; Chelli & Tellini, 2001). A queste forme si aggiungono profili costieri complessi con terrazzi marini posti, in alcuni casi, in gradinata e a cui si associano, ma spesso si rinvengono anche da sole, superfici in roccia di limitata estensione collocate entro i primi dieci metri di altezza rispetto al livello del mare attuale (Arozarena Llopis, 2006; Chelli & Pappalardo, 2008). In generale queste forme rappresentano o, soprattutto per quanto riguarda le superfici in roccia a quote più basse, potrebbero rappresentare indicatori di stazionamento del livello del mare. Tuttavia la totale mancanza di depositi marini associati ad esse determina per questo tratto della costa ligure la sostanziale impossibilità di attribuire cronologicamente queste forme ai livelli di alto stazionamento conosciuti per il mediterraneo (Ferranti *et al*., 2006) se non attraverso correlazioni di quota con gli indicatori del livello del mare di età nota (Carobene & Firpo, 2002; Federici & Pappalardo, 2006; Biagioni *et al*., 2007), tuttavia con le limitazioni dovute alla sostanziale indeterminazione sul comportamento nel Quaternario della costa ligure di levante dal punto di vista tettonico (Fanucci, 1978).
La costa dell'Isola Palmaria presenta diversi esempi di grotte che si aprono sulle falesie e in particolare nella sua porzione sud-occidentale. Alcune cavità sono presenti anche nelle isole del Tino e del Tinetto. È stato intrapreso un lavoro sistematico di revisione delle grotte partendo dai dati contenuti nei catasti sopra citati i quali, prediligendo la descrizione morfologica generale delle cavità, hanno riservato scarsa attenzione all'individuazione di archivi naturali di dati e alla determinazione della morfometria e della distribuzione altimetrica delle grotte o delle loro parti significative per stabilire le relazioni tra il loro sviluppo e il livello del mare (livello di base) corrispondente.
Il presente lavoro focalizza l'attenzione sui dati altimetrici delle grotte derivanti dalla revisione dei catasti precedenti mettendo in evidenza la distribuzione di quota e le corrispondenze con gli indicatori del livello del mare presenti nel golfo spezzino e nella Liguria orientale, contribuendo ad implementare la base di dati esistente.

Inquadramento geografico e geologico

Le isole del Golfo della Spezia si trovano di fronte alla terminazione sudorientale del promontorio di Porto Venere, che costituisce il limite occidentale del golfo (Fig. 1).
L'Isola Palmaria ha una forma in pianta generalmente triangolare e copre una superficie di circa 1,65 km^2, raggiungendo la quota massima di 185 m s.l.m. in corrispondenza della sua parte occidentale. L'Isola del Tino ha una forma molto simile alla precedente, dalla quale dista circa 500 metri verso SE, mentre le dimensioni sono decisamente inferiori e la sua quota massima è circa pari a 100 m s.l.m. L'Isola del Tinetto, la più piccola delle tre, è molto prossima a quella del Tino ed è poco più di uno scoglio (Fig. 1).
L'assetto geologico delle tre isole è riconducibile, in generale, alla struttura della ben nota piega della Spezia (Capellini, 1862a; Federici & Raggi, 1975; Giammarino & Giglia, 1990), un'anticlinale rovesciata a vergenza tirrenica il cui asse immerge leggermente verso NW, nella quale sono implicati, in quest'area, i terreni della Falda Toscana.
Nelle isole affiora il fianco rovesciato della piega e si trovano impilate, in successione inversa, alcune delle rocce più antiche tra quelle che costituiscono la Falda Toscana. Infatti, procedendo dal basso verso l'alto, nelle isole Palmaria e Tino affiorano le Dolomie di Monte Castellana (Retico superiore?-Hettangiano), il Portoro (Retico superiore-Hettangiano) e, infine, la Formazione di La Spezia (Norico-Retico superiore). L'Isola del Tinetto è quasi interamente costituita da Portoro, salvo una piccolissima porzione in cui affiora un lembo di Strati di Grotta Arpaia (Retico), una litofacies argillitico-marnosa della Formazione di La Spezia (Abbate *et al*., 2005).

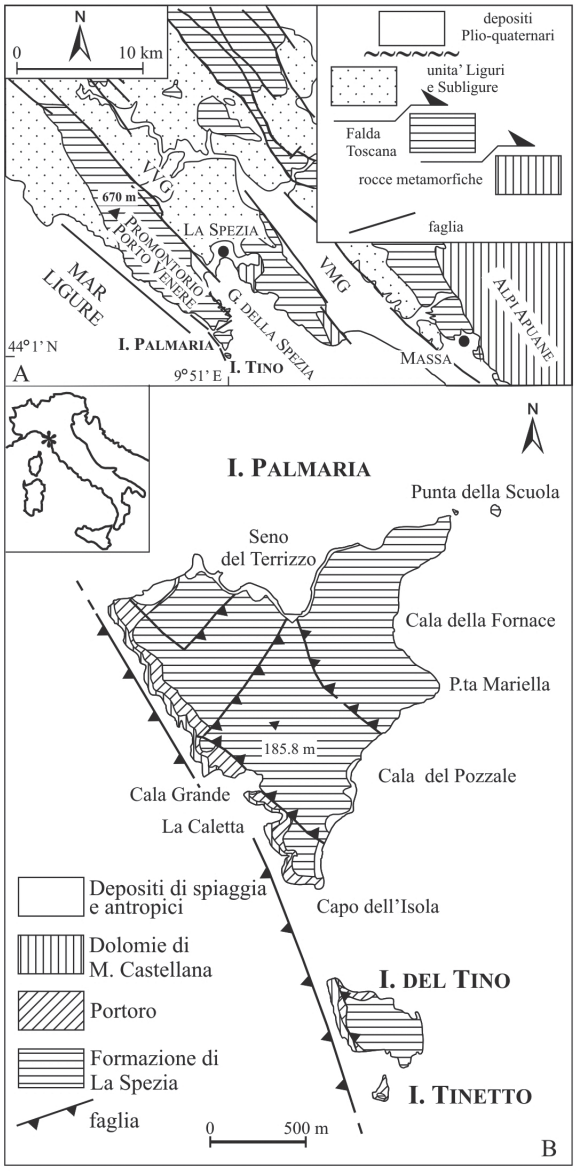

Fig. 1 - In (A) è mostrato l'inquadramento geografico e geologico dell'area del Golfo della Spezia. VMG: graben della bassa Val di Magra; VVG: graben della Val di Vara. In (B) è mostrato l'inquadramento geologico delle isole antistanti il promontorio occidentale del golfo spezzino (modificata da Chelli & Pappalardo, 2008).

Le Dolomie di Monte Castellana affiorano in corrispondenza della base dei versanti costieri occidentali delle due isole maggiori. Si tratta di dolomie calcaree, saccaroidi, biancastre o giallastre, massive o grossolanamente stratificate, con plaghe di varia estensione ed irregolari di protolite, costituito da calcilutiti grigie con tracce dell'originaria stratificazione. Il Portoro affiora in una fascia ristretta lungo i medesimi versanti costieri e corrisponde in parte al ben noto «marmo» in senso commerciale. Esso è costituito da banchi di calcari grigio scuri fino a neri, con strutture nodulari e macchie dolomitiche bianche e gialle, alternati con banchi metrici di dolomie biancastre o giallastre. Infine la Formazione di La Spezia costituisce la restante parte degli affioramenti delle isole Palmaria e Tino ed è formata da strati di spessore variabile di calcari grigio-scuri intercalati a livelli marnosi o dolomitici (Membro dei calcari di Portovenere), che talvolta raggiungono la conformazione di veri e propri strati di marne o di dolomie saccaroidi (Membro dei calcari e marne di Monte S. Croce).

Nel complesso l'immersione degli strati è rivolta generalmente verso E-SE, anche se pieghe di importanza minore determinano, a luoghi, variazioni dell'assetto generale determinando immersioni opposte alle precedenti e le inclinazioni sono variabili tra 10° e 45°.

Le isole sono percorse da faglie, la maggior parte dirette, che si dispongono secondo le direzioni riferibili ai principali sistemi presenti nell'area del golfo spezzino e imputabili alle diverse fasi di strutturazione dell'area.

I versanti costieri occidentali delle isole sono evidentemente orientati secondo la direzione NNW-SSE che in quest'area coincide grossomodo con quella delle faglie dirette immergenti verso SO e responsabili della dislocazione del substrato pre-pliocenico della piattaforma continentale (Fanucci, 1978; Abbate *et al*., 2005). Sono presenti poi faglie dirette con direzione circa NW-SE e immersione opposta rispetto alle precedenti, cioè verso l'asse del golfo spezzino. Queste si bloccano contro la grande faglia che borda a occidente il Golfo della Spezia (Abbate *et al*., 2005), appartenente ai sistemi di faglie dirette responsabili della strutturazione del sistema di graben costituito dalla Val di Magra e Val di Vara-Golfo della Spezia (Bernini, 1991; Federici, 1973; Raggi, 1985) che per la bassa Val di Magra si sarebbe strutturato a partire dal Miocene superiore. A queste si aggiungono inoltre faglie a direzione prevalente NE-SW (antiappenninica) che si rinvengono lungo tutto il promontorio di Porto Venere e ne hanno condizionato la morfologia della costa. Infatti in corrispondenza delle faglie si rinvengono le principali baie modellate lungo il profilo costiero occidentale del golfo e, nel caso dell'Isola Palmaria, il Seno del Terrizzo, lungo la sua costa settentrionale.

Per quanto riguarda la storia geologica recente delle isole del Golfo della Spezia, la particolare morfodinamica alla quale sono soggette le piccole isole in un clima meteomarino come quello mediterraneo non favorisce, in generale, la conservazione dei depositi sciolti o di cementazione recente. Nell'area di studio, infatti, a parte i depositi colluviali e quelli antropici legati soprattutto alle attività estrattive, sono conservati esclusivamente, lungo il versante sud-occidentale della Palmaria, lembi di un deposito di versante stratificato che è antecedente all'Ultimo Massimo Glaciale (Chelli & Pappalardo, 2006). Non si trovano, come d'altronde in buona parte della Liguria Orientale, depositi marini né pliocenici né tantomeno successivi. Tuttavia alle più recenti fasi di alto stazionamento marino possono in via ipotetica essere riferiti lembi di terrazzi marini e piattaforme in roccia che si rinvengono a quote di circa 5, 25 e 40 m s.l.m. (Chelli & Pappalardo, 2008).

METODI

In una prima fase del lavoro si è provveduto a verificare sul terreno l'esistenza e l'accessibilità delle grotte già censite dagli autori precedenti; fra di esse alcune sono state riconosciute come non più esistenti in quanto smembrate da attività di cava, altre sono diventate inagibili o inaccessibili in quanto ubicate in un terreno privato o di pertinenza militare.
Occorre infatti tenere conto che dal 1957, data in cui sono stati ultimati i rilievi per la realizzazione del più completo dei due catasti precedenti, quello del Cigna (1967), il paesaggio di questa zona è parzialmente cambiato; soprattutto nell'Isola Palmaria, ma anche in quella del Tino, sono state aperte, sin dal XIX sec. cave di pregiatissimo «Portoro» (Cento, 1994-95; Del Soldato & Pintus, 1985); questa attività è terminata definitivamente negli anni 80 del secolo scorso, cioè anni dopo le attività di ricognizione condotte dal Cigna e, in questo arco di tempo, alcune grotte sono state profondamente rimodellate se non completamente distrutte dall'azione dell'uomo. Oltre all'attività estrattiva molte aree delle isole sono state, ed alcune sono tuttora, sottoposte a servitù militare. A partire dagli anni '70 esse sono state lasciate in stato di forte abbandono e la vegetazione, composta per la maggior parte da fitti roveti, rende inaccessibili tali zone ed impossibile l'accesso ad alcune grotte.
Le grotte prese effettivamente in considerazione sono 21, per ciascuna delle quali è stata approntata una scheda descrittiva. Il modello della scheda è stato messo a punto con la finalità da un lato di caratterizzare le cavità dal punto di vista geologico e geomorfologico, con un approccio spiccatamente quantitativo, dall'altro di fornire dati utili anche per un impiego del catasto come base per la valorizzazione geoturistica delle grotte stesse, nell'ottica di una più consapevole fruizione delle caratteristiche ambientali del territorio del Parco Naturale Regionale di Porto Venere (Brettanico, 2008).
Il catasto del Cigna (1967) includeva piante e sezioni della maggior parte delle grotte. Queste tuttavia in diversi casi risultavano ambigue, in quanto non sempre era chiara la loro scala e la loro orientazione, e comunque non risultavano esaustive per consentire una compiuta caratterizzazione della forma delle cavità. La scheda, quindi, oltre a contenere una rielaborazione dei vecchi rilievi del Cigna, include un numero di parametri, effettivamente misurati ex novo, utili anche per eventuali elaborazioni morfometriche (Fig. 2). In particolare sono state acquisite per ciascuna cavità la quota massima e minima, l'altezza massima e minima, la larghezza massima e minima e la lunghezza, intesa come sviluppo planimetrico totale, oltre all'orientazione dell'asse di massimo allungamento. I termini altezza massima e minima indicano la distanza tra il pavimento e il soffitto di una cavità in corrispondenza, rispettivamente, della sua sezione verticale massima e minima. Nella scheda è stato indicato anche il dislivello della cavità, intendendo con esso la differenza tra la quota massima e minima rilevate sul livello del mare. Inoltre sono state misurate la quota massima e minima, l'altezza e la larghezza dell'ingresso. Per la localizzazione di ciascuna grotta, ai fini di una loro eventuale inclusione in un database georeferenziato, sono state rilevate le coordinate dell'ingresso.
Oltre alla descrizione del contesto geologico nel quale le cavità si aprono viene fornita un'interpretazione dei processi in atto e dei processi genetici e di modellamento secondario non più attivi. Pur non essendo le forme carsiche ipogee del territorio spezzino ricche di concrezioni, si è cercato di fornire una dettagliata descrizione dei depositi associati alle cavità, includendo sia gli speleotemi che gli altri depositi, continentali o marini, rilevati all'interno della grotta.
Per quanto riguarda la strumentazione utilizzata nella raccolta dati è necessario fare una distinzione tra le grotte che si trovano in ambiente sub aereo da quelle parzialmente o totalmente sommerse. Nel primo caso le misure di quota sono state effettuate tramite altimetro digitale SUUNTO con una accuratezza di ±1 m. Le dimensioni delle cavità sono state rilevate utilizzando la rotella metrica e per l'altezza della volta tramite un nastro graduato sistemato su un supporto telescopico tenuto in tensione tramite un piombo applicato alla sua estremità. Nel secondo caso è stato necessario immergersi all'interno della cavità con un'opportuna attrezzatura e per misurare le quote è stato utilizzato un computer da immersione Mares modello M1 con accuratezza pari a ±1% del fondo scala entro i primi 80 metri di profondità.
Alla scheda è allegata un'appendice descrittiva, che contiene anche un ricco apparato iconografico, comprendente oltre la pianta e le sezioni del vecchio catasto revisionati, fotografie e disegni storici eventualmente esistenti e fotografie attuali.

IL CATASTO

La maggior parte delle grotte è ubicata (Fig. 3) sull'Isola Palmaria. Sull'Isola del Tino è stata riconosciuta una sola cavità (Grotta-camino del Tino), mentre una seconda cavità indicata dal Cigna sull'isola è stata trascurata nel presente censimento, in quanto non riconosciuta di natura carsica. Sul Tinetto sono state censite due grotte, entrambe completamente sommerse: la Fossa del Tinetto e la Grotta Perora, quest'ultima non inclusa nel catasto del Cigna.
Alla Palmaria la densità delle cavità censite aumenta nella zona occidentale dell'isola. Questa zona è caratterizzata da una notevole continuità degli affioramenti rocciosi, essendo assai scarsa la copertura della vegetazione. In queste condizioni è più facile che l'erosione porti a giorno le cavità ed è più agevole la loro individuazione.
Come appare dalla Figura 4, che evidenzia per ciascuna cavità l'intervallo altimetrico all'interno del quale essa si sviluppa, la maggior parte delle grotte si trova totalmente al di sopra del livello del mare attuale, alcune sono parzialmente sommerse e solo due sono totalmente sommerse. Quest'ultima categoria, tuttavia, potrebbe essere maggiormente rappresentata, in quanto è probabile che vi siano ulteriori cavità sommerse mai esplorate o almeno mai censite a causa delle difficoltà

NUMERO	*84 LI SP*	**NOME**	*Grotta Azzurra*		
LATITUDINE	**LONGITUDINE**	**COORDINATE NEL SISTEMA U.T.M. ED1950**			
44°02'38,5" N	*009°50'08,4" E*	*32T NP 6715 7729*			
QUOTA CAVITA' m s.l.m.		min	*-13*	max	*11*
QUOTA INGRESSO m s.l.m.		min	*-13*	max	*10*
DIMENSIONI (m):					
INGRESSO:	ALTEZZA	*23*	LARGHEZZA		*2,8*
SVILUPPO CAVITA'	ALTEZZA MAX	*24*	ALTEZZA MIN		*7*
	LARGHEZZA MAX	*3*	LARGHEZZA MIN		*2,2*
	LUNGHEZZA	*58*	DISLIVELLO		*24*
ORIENTAZIONE	*160° N*				
INTERPRETAZIONE GENETICA:		*L'origine è carsica come testimoniano le concrezioni calcaree presenti nella parte emersa delle pareti. Ciò dimostra che tale grotta si è formata in ambiente subaereo e solo in seguito ad un innalzamento del livello marino l'acqua è penetrata al suo interno.*			
NATURA DEI DEPOSITI:					
DEPOSITI DETRITICI AUTOCTONI					
DEPOSITI DETRITICI ALLOCTONI					
	MARINI	*Una coltre continua di ciottoli arrotondati ricopre il fondo della grotta.*			
	CONTINENTALI	*Davanti all'ingresso si trovano dei grandi blocchi franati dalla falesia.*			
DEPOSITI CHIMICI		*Concrezioni calcaree di colore rosato ricoprono la falesia a lato dell'ingresso e buona parte dell'interno della grotta.*			
CONTESTO GEOLOGICO:					
FORMAZIONE		*Dolomie di Monte Castellana (Retico sup?-Hettangiano)*			
LITOLOGIA		*Dolomie calcaree massive o grossolanamente stratificate con plaghe di protolite costituito da calcilutiti grigie con tracce di stratificazione.*			
PRESENZA E ORIENTAZIONE DI FAGLIE		*La cavità si sviluppa lungo una faglia subparallela alla falesia, con direzione nord ovest - sud est.*			
COME ACCEDERE ALLA GROTTA:		*La grotta è accessibile soltanto via mare con un'imbarcazione di piccole dimensioni e in condizioni meteo-marine ottimali.*			
BIBLIOGRAFIA:	*Barbagelata, 1978/1980; Cicogna et al., 2003; Cigna, 1967.*				

Fig. 2 - La figura mostra, a titolo esemplificativo, la prima parte della scheda compilata per la Grotta Azzurra, una delle grotte dell'Isola Palmaria inclusa nel catasto, che contiene la sintesi delle informazioni e dei dati morfometrici e altimetrici della grotta.

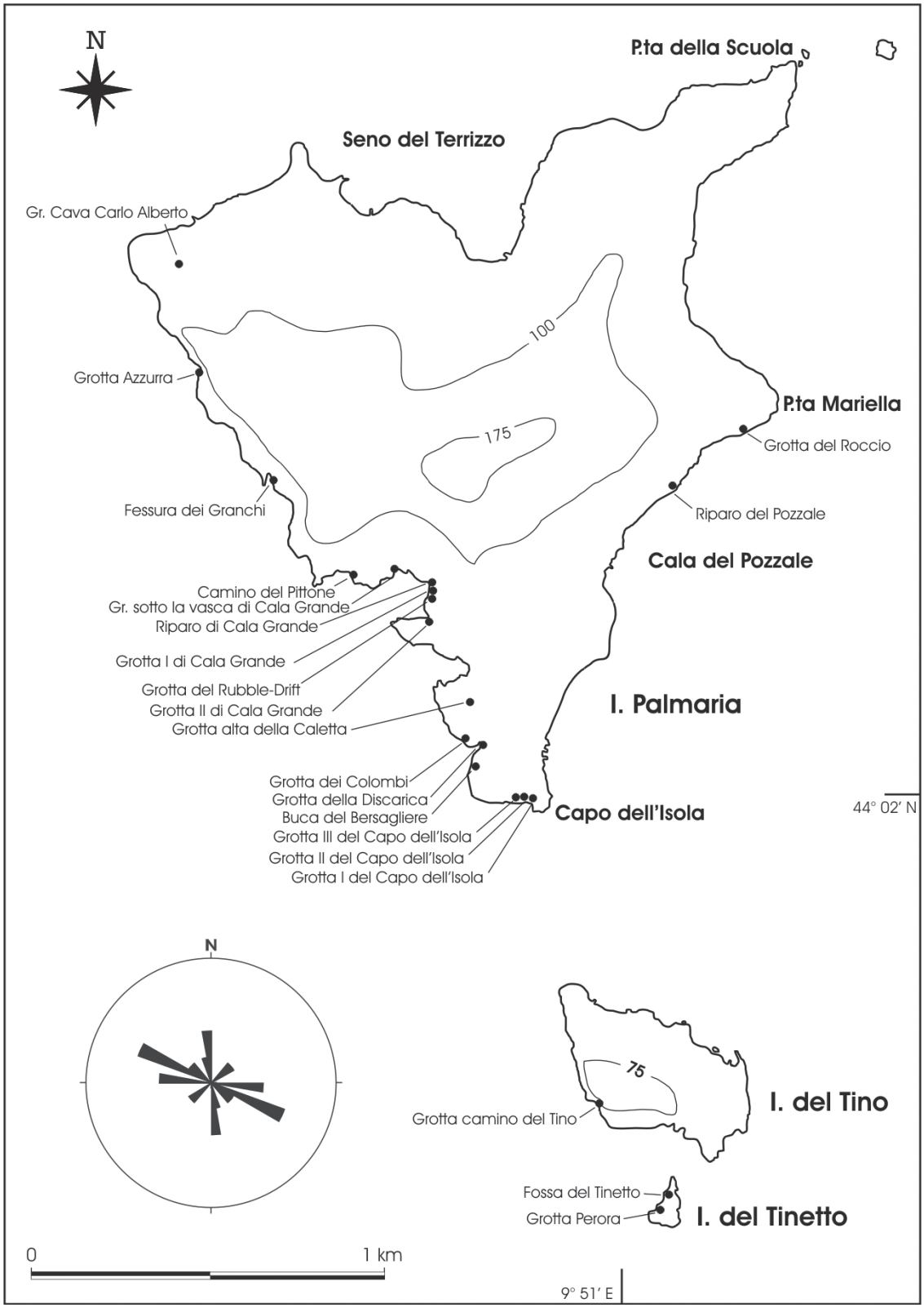

Fig. 3 - Ubicazione delle grotte censite. Il diagramma a rosa mostra le direzioni di sviluppo prevalente di parte delle grotte studiate (n = 12; Reticolo di Schmidt emisfero inferiore).

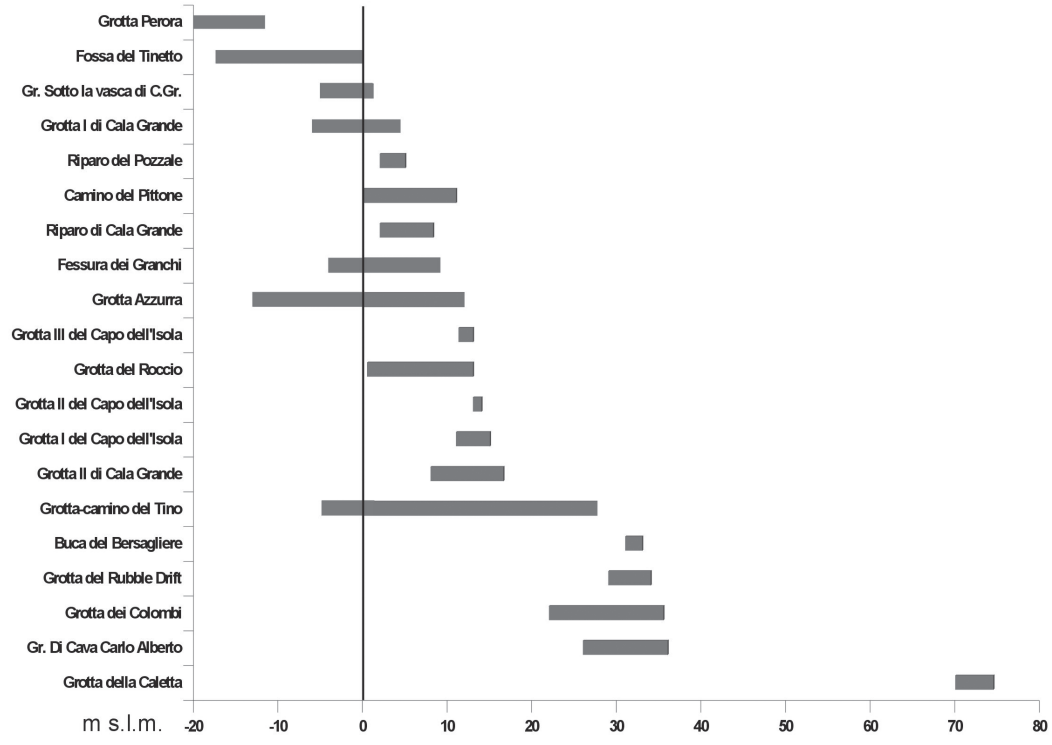

Fig. 4 - Grafico degli intervalli altimetrici coperti dalle grotte censite. Per ogni grotta l'intervallo altimetrico mostrato è compreso tra la quota minima e la quota massima rilevate rispetto al livello del mare. La differenza tra queste due quote rappresenta il dislivello della grotta. Non è stata presa in considerazione la Grotta della Discarica della quale non si è potuto accertare la quota minima.

nell'effettuare ricognizioni in questo tipo di ambiente. La fascia altimetrica in cui si trova il maggior numero di cavità è quella fra i -5 e i +15 m s.l.m., mentre una sola grotta è censita oltre i +37 m di quota.

Sulla base del dislivello coperto possiamo suddividere le grotte in tre gruppi: un primo gruppo che comprende circa il 15% di quelle censite, con dislivelli di alcune decine di metri; si tratta di grotte almeno in parte sommerse, sviluppate prevalentemente secondo una sola delle dimensioni massime rilevate. Gli altri due gruppi, rappresentati circa dallo stesso numero di grotte, includono l'uno piccole cavità, equamente sviluppate nelle tre dimensioni e ad andamento pressoché orizzontale (dislivello sui 5 m), l'altro gallerie ben sviluppate in lunghezza che coprono in totale dislivelli fra gli 8 e i 13 metri. Fa eccezione la Grotta di Cava Carlo Alberto, talmente rimaneggiata dall'attività estrattiva che la sua forma originaria non è più riconoscibile. La Fessura dei Granchi e il Camino del Pittone, anche queste sull'Isola Palmaria, si sviluppano lungo due piani di faglia, rispettivamente perpendicolare e subparallelo alla falesia.

Considerando le cavità soltanto in base ai loro caratteri morfometrici, cioè considerando le loro dimensioni indipendentemente dall'intervallo di quote all'interno del quale si sviluppano, possiamo raggrupparle in due categorie: quella caratterizzata da grotte sviluppate prevalentemente secondo una dimensione (Fig. 5a), e quella che invece presenta grotte con dimensioni variabili, da piccole a grandi cavità, ma nelle quali lo sviluppo secondo le tre dimensioni rilevate mostra un certo equilibrio (Fig. 5b). Il primo gruppo include le grotte sviluppate prevalentemente secondo la lunghezza, che varia da caso a caso tra 30 e 80 m. In questo gruppo rientra anche la Grotta-camino del Tino, l'unica che si sviluppa prevalentemente secondo l'altezza e quindi secondo la verticale. Le relazioni esistenti tra queste grotte e i caratteri geologici non sono sempre chiare, anche se per alcune di esse, la stretta relazione con elementi della tettonica dell'area è più che sospetta (ad es. la Grotta dei Colombi si sviluppa secondo una direzione grossomodo assimilabile a quella del sistema di faglie antiappenniniche NE-SW una delle quali è riconoscibile lungo la falesia SW dell'Isola Palmaria poco distante dall'ingresso della grotta) (Fig. 6).

Al secondo gruppo appartengono sia piccole cavità (inferiori ai 10 m in ogni dimensione) legate a fenomeni di dissoluzione carsica secondari sia grotte nelle quali l'agente morfogenetico che ne ha condizionato principalmente la forma non è il carsismo, indipendentemente dalle loro dimensioni. Così il Camino del Pittone e la Fessura dei Granchi presentano un dominante controllo strutturale nel loro assetto morfologico, mentre la Grotta I di Cala Grande si apre al contatto fra i Calcari di Portovenere e il deposito di falda stratificato cementato che si appoggia a tratti al versante occidentale dell'Isola Palmaria.

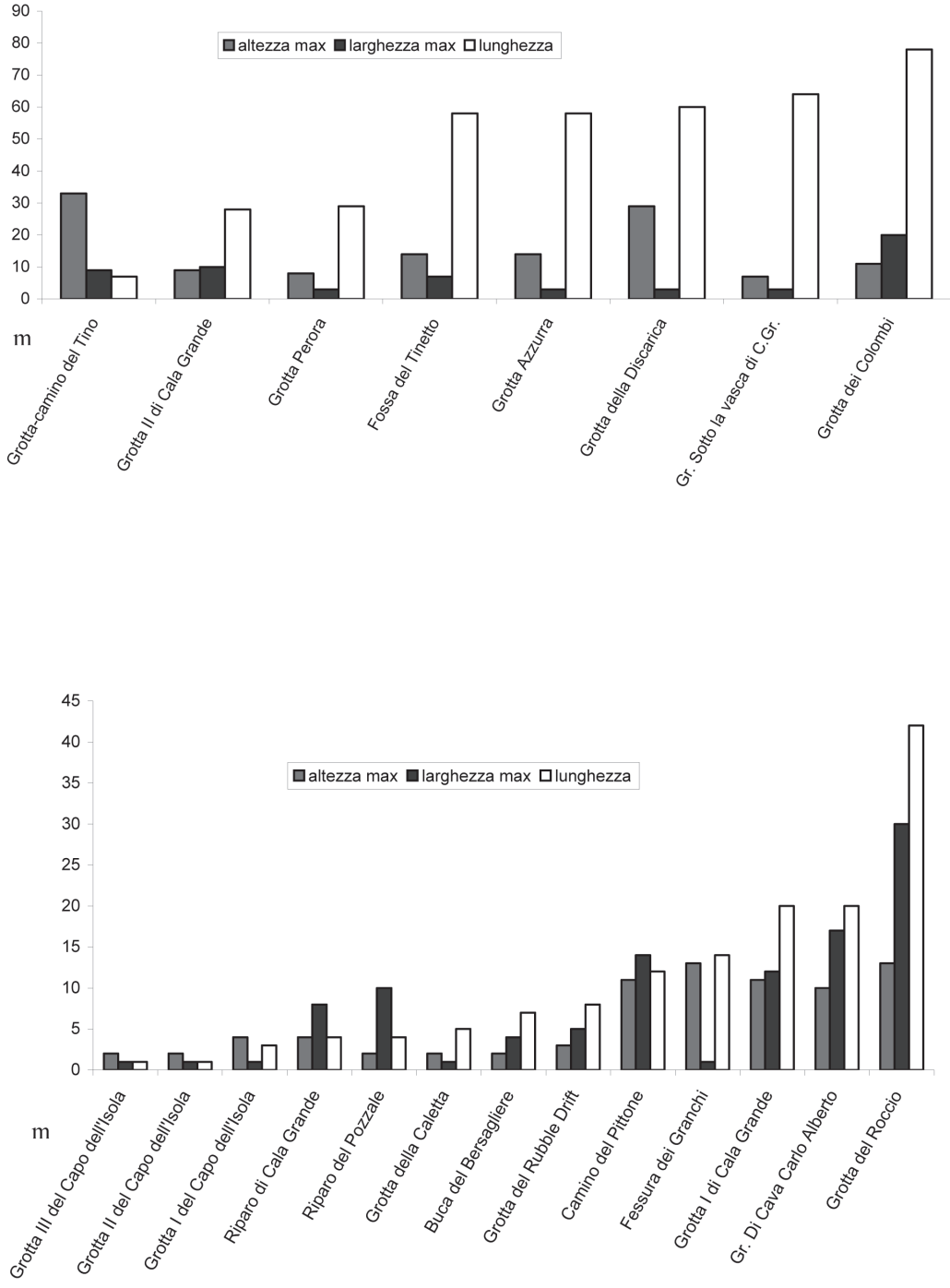

Fig. 5 - I grafici mostrano la larghezza, altezza e lunghezza per ciascuna grotta censita. In 5a sono state raggruppate le grotte che si sviluppano prevalentemente secondo una delle dimensioni considerate, mentre in 5b sono mostrate quelle che hanno uno sviluppo simile in almeno due delle tre dimensioni.

Fig. 6 - La fotografia mostra la costa occidentale dell'Isola Palmaria e l'ubicazione di alcune delle grotte censite.

Tutte le grotte censite, con la sola eccezione della Buca del Bersagliere, presentano modeste concrezioni, per lo più di parete. Queste, pur non essendo spettacolari nelle dimensioni, potrebbero essere promettenti come archivi paleoclimatici e meriterebbero di essere studiate nel dettaglio, allo scopo di verificare almeno la loro potenzialità come fonte di dati cronologici. Una loro datazione, infatti, potrebbe essere utile per fornire qualche vincolo temporale allo sviluppo del fenomeno carsico nei Monti della Spezia. Inoltre le pareti o le porzioni di parete attualmente al di sotto del livello del mare potrebbero presentare concrezioni alternate a biocostruzioni. Queste alternanze potrebbero evidenziare fasi di alto e basso stazionamento del livello del mare e, se opportunamente datate, potrebbero fornire un importante contributo nella determinazione della curva locale di variazione del livello del mare (Antonioli *et al*., 2004). Nell'ambito delle attività di ricognizione per la realizzazione di questo catasto sono state osservate biocostruzioni che sembrerebbero sovrapposte a concrezioni di parete nella Fossa Perora e nella Fossa del Tinetto, che si sviluppano sino a profondità di 18-20 m dal livello del mare. La Fossa del Tinetto, inoltre, presenta nella parte più prossima all'ingresso, a una profondità di 18 m al di sotto del livello del mare attuale, un deposito sciolto costituito da una sabbia grossolana ad elementi subarrotondati con ciottoli arrotondati di diametri attorno agli 0,5 cm, molto ricco in frammenti di molluschi fluitati e rielaborati. Litologicamente il deposito è monogenico e costituito dai Calcari di Portovenere. Questa sabbia litorale potrebbe essere penetrata all'interno della grotta durante la risalita olocenica del livello del mare. Depositi sabbioso-ciottolosi sono stati osservati anche sul fondo della Grotta Azzurra, a -13 m, della Grotta sotto la vasca di Cala Grande, a -5,5 m e della Grotta I di Cala Grande, a -6,5 m. Un deposito di spiaggia, che però attualmente risulta sepolto al di sotto di materiali di risulta di cava, è stato messo in luce da Chelli *et al*. (2005) all'interno del Riparo del Pozzale, ed attribuito ad una linea di riva di Età Romana.
Sul soffitto della Grotta Azzurra è presente una concrezione più sviluppata rispetto alle altre; tuttavia, essendo la grotta invasa dal mare e con il pavimento a -13 m di quota, l'osservazione nel dettaglio di questa concrezione ed un suo eventuale campionamento presentano alcune difficoltà tecniche, date anche le modeste condizioni di illuminazione della grotta.
Depositi detritici alloctoni sono associati ad alcune cavità. Due grotte, la già menzionata Grotta I di Cala Grande (Fig. 7) e la cosiddetta Grotta del Rubble Drift si sviluppano all'interno del deposito di versante stratificato già citato in precedenza. Essendo nota l'età minima del deposito, pari a 38,5 ± 1,8 ka (Chelli & Pappalardo, 2006), ne consegue che le grotte si sono formate successivamente a quella data. Queste due grotte, comunque, si trovano a quote molto diverse fra loro, e non possono pertanto essere riferite ad un medesimo livello di carsificazione; probabilmente, data la facilità con la quale i depositi di versante stratificati e cementati danno luogo a forme di dissoluzione carsica al loro interno (si veda ad esempio Pappalardo & Spagnolo, 1999), esse si sono formate contemporaneamente nell'ambito dei fenomeni di degradazione che hanno interessato, durante la risalita olocenica del mare, il deposito.
Coltri argillose residuali dovute alla dissoluzione carsica sono state osservate in diverse cavità. Un deposito continentale di particolare interesse ricopre il pavimento della Grotta dei Colombi, probabilmente la più nota fra le grotte dell'Isola Palmaria. Il suo ingresso, di forma triangolare, si apre sulla falesia a picco sul mare ad un'altitudine di 32 metri. L'ingresso immette direttamente in una camera, lunga 11,5 m e larga 4,6 m per un'altezza di 3,5 m, a partire dalla quale si sviluppa uno stretto cunicolo in discesa di forma semicircolare, lungo complessivamente poco più di 30 m, che immette in una grande sala lunga 20,3 m e larga 10,2 m per un'altezza di circa 10 m; da quest'ultima si dipartono due ulteriori brevi cunicoli. La grande sala più interna e il cunicolo che la collega alla camera più esterna sono stati oggetto di diverse campagne di scavo fra il 1869 ed il 1946 (Capellini, 1873; si veda Tozzi, 1967 per una completa rassegna dei dati), in quanto vi venne riconosciuto un deposito continentale di rilevante interesse paletnologico ed archeologico contenente, infatti, industria litica, frammenti di ceramica, resti di faune continentali di ambiente freddo e di animali domestici, conchiglie impiegate ad uso ornamentale e numerosi frammenti di scheletri umani. Le informazioni sulla

Fig. 7 - L'ingresso della Grotta I di Cala Grande modellato in parte nei Calcari di Portovenere e in parte nel soprastante deposito di versante.

stratigrafia di tale deposito sono necessariamente sommarie e incomplete, mentre sono stati molto ben studiati sia le faune che i resti scheletrici umani rinvenuti in tempi diversi e dispersi in varie collezioni.
Come risulta da Tozzi (1967) il deposito si presenta sostanzialmente bipartito, con un livello inferiore, argilloso, ricco in resti di animali di ambiente freddo ed uno superiore, organico, contenente faune domestiche e frammenti ceramici. Allo stato attuale delle conoscenze non è possibile dire con certezza se nel livello inferiore fossero presenti industria litica e resti umani. Di questi ultimi, gli unici reperti che sono stati analizzati in epoca recente (Formicola, 1980) sono stati senz'altro attribuiti alla fine dell'Eneolitico o all'inizio dell'età del Bronzo, e quindi all'Olocene. Dal punto di vista paleoambientale, comunque, si può affermare che la grotta contiene un deposito pleistocenico, che potrebbe essere grossomodo contemporaneo al deposito di versante stratificato del quale si conservano tracce non lontano dall'ingresso della grotta, e da un soprastante livello olocenico con sicure tracce di frequentazione umana. Un moderno studio di questo riempimento potrebbe contribuire a una migliore conoscenza dell'evoluzione morfologica dell'Isola Palmaria nel tardo Pleistocene e nell'Olocene. Tuttavia durante il sopralluogo non è stato possibile appurare (sul sito grava infatti il vincolo archeologico) se esista un lembo del deposito sufficientemente integro così da consentire un nuovo studio.
Purtroppo non è stato possibile rinvenire la breccia ossifera che Giovanni Capellini descrisse nel 1896: «Una interessante breccia ossifera fu scoperta al Capo dell'Isola nella Cava Ragghianti all'Isola Palmaria. Vi ho trovato innumerevoli resti molto simili a quelli che si raccolsero nella Grotta dei Colombi. Una caverna scoperta ivi presso restò di nuovo sepolta sotto i detriti della cava, ma potrà essere in seguito esplorata». Cigna (1967) descrive la Grotta Ragghianti (non considerata in questo studio date le sue esigue dimensioni) come «relitto di un'antica cavità ridotta attualmente a fessura nella roccia riempita da deposito osseo cementato».

Discussione e conclusioni

Il fine della realizzazione di questo catasto non è solo quello di documentare lo stato attuale di un particolare fenomeno geologico quale il carsismo ipogeo delle isole Palmaria, Tino e Tinetto, ma anche quello di esplorare la possibilità di utilizzare le grotte dei Monti della Spezia come strumenti per la ricostruzione dell'evoluzione morfologica e climatica di quest'area.
Si è ad esempio provato, applicando la metodologia utilizzata da Florea *et al*. (2007), a rappresentare (Fig. 8) la frequenza di sviluppo delle cavità carsiche censite in funzione della quota, utilizzando la base di dati creata includendo tutti i punti quotati battuti nelle cavi-

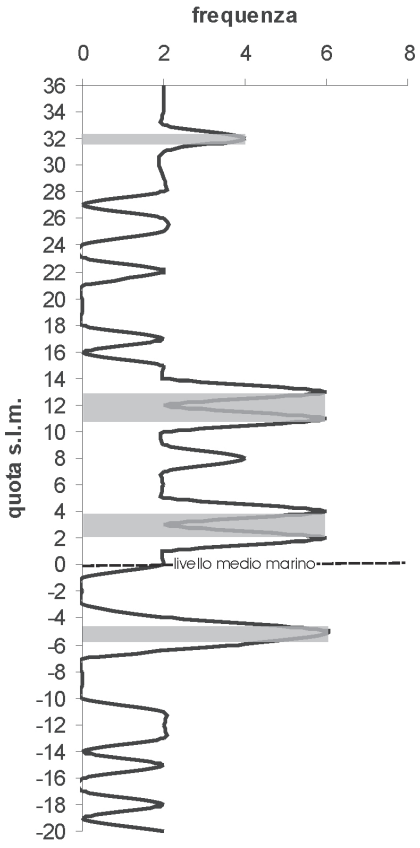

Fig. 8 - Il grafico mostra la frequenza delle cavità carsiche censite in funzione della quota rispetto al livello medio attuale del mare. I tratti ombreggiati evidenziano le corrispondenze di quota con gli indicatori di linee di riva noti per l'area.

tà. Grazie agli strumenti di misura impiegati sono stati ottenuti valori di quota con un'accuratezza pari a ±1 m, più che sufficiente per una comparazione con le quote degli indicatori di linee di riva aventi valori di accuratezza confrontabili.

Secondo alcuni autori (ad esempio Palmer, 1987) le quote di sviluppo delle condotte carsiche che si sono formate in condizioni epifreatiche nei massicci carbonatici costieri sono in relazione con la posizione della superficie della falda, che a sua volta è in equilibrio con quella del livello medio marino; inoltre la dissoluzione sarà favorita in corrispondenza dei livelli di miscelazione delle acque dolci che defluiscono verso il mare con l'acqua salata.

Già Federici (1970) aveva suggerito che ci fosse un rapporto tra livelli di carsificazione nei Monti della Spezia e linee di riva. Razzoli (2000) individua tre livelli di carsificazione a 10-50, 150-250 e 450-500 m s.l.m., il più basso dei quali viene geneticamente riferito all'ultimo interglaciale; purtroppo la metodologia applicata in quel lavoro non consente un'elevata risoluzione altimetrica del dato di frequenza e quindi i risultati sono relativamente comparabili con quelli della nostra analisi con i quali, tuttavia, non sono in contraddizione.

Tra i picchi di frequenza mostrati in Figura 8, che potrebbero in prima approssimazione essere identificati con altrettanti livelli di carsificazione, ne sono stati individuati quattro che presentano una correlazione con le quote di linee di riva note per l'area (Federici, 1987; Biagioni, 2008; Chelli & Pappalardo, 2008).

Uno dei quattro picchi si colloca alla quota di -5 m s.l.m. Esso potrebbe essere rappresentativo di una linea di riva formatasi in condizioni di basso eustatico e poi sollevata dalla tettonica oppure indicare una fase di stazionamento nella risalita del livello del mare durante l'Olocene. Purtroppo non si dispone, per quest'area, di dati di terreno relativi alla posizione di linee di riva oloceniche al di sotto del livello del mare attuale derivati da indicatori rilevati sulla falesia sommersa, come quelli noti ad esempio per le vicine Corsica e Provenza (Collina-Girard, 1999). Alcuni dati cronologici sui livelli trasgressivi dell'Olocene superiore sono noti per la piana Lunense (Bini *et al*., 2008), ma non sono correlabili con gli indicatori su costa rocciosa in quanto non sono al momento noti i tassi di subsidenza della bassa Val di Magra. Per quanto riguarda i tre picchi al di sopra del livello del mare attuale, rispettivamente a +3, +12 e +32 m s.l.m., le loro quote possono essere confrontate con quelle delle linee di riva identificate da Biagioni (2008) in base all'analisi altimetrica della posizione dei margini interni dei terrazzi marini lungo la costa della Liguria Orientale: tali linee di riva si attestano a +27, +12,5 e +5 m s.l.m. Considerando che il numero di punti quotati battuti all'interno delle grotte è di 53 unità (da 3 a 4 punti quotati per ogni grotta) e che non sono state prese in considerazione le cavità sul Promontorio di Porto Venere, che pure esistono, il risultato di questa correlazione è sorprendentemente buono e la base di dati utilizzata merita di essere implementata.

Nello specifico gli indicatori di linee di riva presenti nelle isole del Golfo della Spezia (Federici, 1987; Chelli & Pappalardo, 2008) sono costituiti da un terrazzo marino con margine interno a quota +12 m s.l.m. presso la Punta della Scuola, sull'Isola Palmaria, mentre di attribuzione più incerta è una spianata, in gradinata con il terrazzo di cui sopra, alla quota di circa +40 m s.l.m. Un probabile livello di stazionamento marino è marcato inoltre da una serie di piattaforme in roccia, sviluppate a tratti lungo il perimetro della Palmaria, anche se in parte rimaneggiate dalle attività di cava. Queste piattaforme si sviluppano a partire dalla quota di +5 m s.l.m., che corrisponde all'elevazione del margine interno di quella meglio conservata, che si trova all'interno della Cala Piccola. Attualmente le piattaforme sono in smantellamento e la superficie di quelle più verso mare risulta anche notevolmente ribassata.

In sostanza è verosimile ipotizzare che le grotte delle isole del Golfo della Spezia si addensino in tre fasce altimetriche corrispondenti a livelli di carsificazione a loro volta coincidenti con altrettanti livelli di stazionamento della superficie del mare.

Per quanto riguarda le età è lecito ipotizzare, seppure in via preliminare, che il livello di grotte più basso si sia sviluppato a partire dal MIS 5. Infatti la piattaforma di Cala Piccola è sormontata dal deposito di versante

stratificato che risale almeno al MIS 3 (e forse al MIS 4) (Chelli & Pappalardo, 2006). Le due grotte che si sviluppano all'interno del deposito, tuttavia, si devono considerare più giovani, come discusso nel paragrafo precedente. Quanto ai livelli più elevati Biagioni (2008) data la linea di riva a 27 m al MIS 9, mentre per quella a 12,5 m suggerisce un'età corrispondente al MIS 7. Dati indipendenti sul carsismo dei Monti della Spezia (Federici, 1970) e delle Alpi Apuane (Piccini, 1997) attribuiscono al Pliocene lo sviluppo del carsismo di tipo tropicale che interessa le sommità dei rilievi. La morfologia carsica che probabilmente si creò durante la trasgressione pliocenica giace ora sotto la coltre di sedimenti della piattaforma continentale, a causa dei collassi tettonici che hanno interessato a partire dal Pliocene superiore il margine continentale. Due o più livelli di carsificazione si sarebbero sviluppati in relazione alle variazioni eustatiche del livello marino per miscelazione tra l'acqua di mare e le acque dolci d'infiltrazione lungo la linea di costa e si sarebbero conservati anche grazie al sollevamento tettonico che ha interessato la catena almeno ancora durante parte del Pleistocene. Tuttavia i sistemi carsici ipogei dei Monti della Spezia non possono per il momento essere inquadrati cronologicamente in maniera più precisa.

Nel futuro, tuttavia, uno studio degli aspetti morfologici delle cavità ma anche delle forme carsiche di superficie, condotto in parallelo con una caratterizzazione, anche cronologica, degli speleotemi e dei depositi di grotta, potrebbe fornire dati utili per incrementare le conoscenze sull'evoluzione morfologica e la dinamica recente del margine continentale ligure.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è dedicato al prof. Paolo Roberto Federici, al quale va la gratitudine degli autori per averli da sempre incoraggiati ad approfondire, con la sua preziosa collaborazione, le ricerche geomorfologiche nel territorio spezzino.
Il catasto delle grotte nelle isole del Golfo della Spezia è stato realizzato nell'ambito di una convenzione fra il Parco Naturale Regionale di Porto Venere e il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa (resp. M. Pappalardo).

BIBLIOGRAFIA

Abbate E., Fanucci F., Benvenuti M., Bruni P., Cipriani N., Falorni P., Fazzuoli M., Morelli D., Pandeli E., Papini M., Sagri M., Reale V., Vannucchi P. (eds.), 2005. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000-Foglio 248-La Spezia. Regione Liguria-Dipartimento Ambiente Edilizia e Lavori Pubblici, Servizio Politiche dell'Assetto Territoriale, Genova, 204 pp.

Antonioli F., Bard E., Potter E.K., Silenzi S., Improta S., 2004. 215-ka History of sea-level oscillations from marine and continental layers in Argentarola Cave speleothems (Italy). *Global and Planetary Change* 43: 57-78.

Arozarena Llopis I., 2004. Cartografia geomorfologica delle coste alte liguri: il caso del Promontorio orientale del Golfo della Spezia. *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia* 121-122: 227-244.

Arozarena Llopis I., 2006. Controls and factors in development of rocky coasts between Lerici and Tellaro (Gulf of La Spezia, Eastern Liguria, NW Italy). *Geog. Fis. Dinam. Quat.* 29: 71-81.

Bakalowicz M., 1975. Géochimie des eaux karstiques et karstification. *Ann. Spél.* 30 (4): 581-589.

Barbagelata M., 1978/1980. Catasto delle cavità sotterranee naturali della Provincia della Spezia. *Mem. Acc. Lunig. Sc.* 48/50: 3-146.

Bernini M., 1991. Le strutture estensionali della Lunigiana (Appennino settentrionale): proposta di un modello deformativo. *Atti Tic. Sc. Terra* 34: 29-38.

Biagioni F., Federici P.R., Pappalardo M., 2007. Contributo alla conoscenza dei terrazzi marini della Liguria fra Genova Nervi e Camogli. *Boll. Soc. Geol. It.* 126 (3): 581-586.

Biagioni F., 2008. Identificazione ed analisi di antichi livelli di stazionamento del mare nella Liguria Orientale. Tesi di Dottorato in Scienze della Terra inedita, Università di Pisa.

Bini M., Chelli A., Durante A.M., Gervasini L., Pappalardo M. Geoarchaeological sea-level proxies from a silted up harbour: a case study of the Roman colony of Luni (northern Tyrrhenian Sea, Italy), *Quat. Int.* (2008), doi:10.1016/j.quaint.2008.08.003.

Brettanico F., 2008. La geomorfologia del territorio del Parco Naturale Regionale di Porto Venere (La Spezia): un contributo alla realizzazione di una carta geoturistica. Tesi di Laurea in Scienze Naturali inedita, Università di Pisa.

Capellini G., 1862a. Etude stratigraphiques et paleontologiques sur l'infralias dans les montagnes du Golfe de La Spezia. *Bull. Soc. Géol. Fr.* 19 ser 2: 675-678.

Capellini G., 1873. Grotta dei Colombi à l'île Palmaria, Golfe de La Spezia, Station de Cannibales à l'époque de la Madeleine. CR V Session, Congr. Intr. Anthr., Arch., Préhist.: 392, Bologna.

Capellini G., 1896. Caverne e Breccie Ossifere nei dintorni del golfo di Spezia. *Mem. R. Acc. Sc. Ist. Bologna* 6: 199-215.

Carobene L., Firpo M., 2002. Forme terrazzate relitte di genesi marina lungo la costa ligure tra Genova e Savona (Liguria Occidentale). *Il Quaternario* 15: 53-68.

Caselli C., 1919. Grotte e caverne della Lunigiana. *Mem. Acc. Lunig. Sc.* 1 (3/4): 105-131.

Cento C., 1994/1995. Analisi petrografiche del marmo Portoro della Spezia. *Mem. Acc. Lunig. Sc.* 64/65 (2): 95-106.

Chelli A., Federici P.R., Pappalardo M., 2005. Geomorphological and archaeological evidence of Roman Times shoreline in the La Spezia Gulf. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* Suppl VII: 97-103.

Chelli A., Pappalardo M., 2006. Isola Palmaria (Liguria Orientale). In: Chelli A., D'Aquila P., Firpo M., Ginesu S., Guglielmin M., Pappalardo M., Pecci M., Piacentini T., Queirolo C., Robustelli G., Scarciglia F., Sias S., Tellini C. (a cura di), Testimoni di una montagna scomparsa: 50-54. Bonomia University Press, Bologna.

Chelli A., Pappalardo M., 2008. Geomorphological mapping, a basic tool for interpreting rock coasts landforms: an example from Eastern Liguria (Italy). *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* 31: 3-19.

Chelli A., Tellini C., 2001. Scree slope deposits during a cold-damp climatic phase in the early Middle Ages in the Gulf of La Spezia (Liguria, Italy). *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* 24: 25-28.

Cicogna F., Nike Bianchi C., Ferrari G., Forti P. (a cura di), 2003. Grotte marine: cinquant'anni di ricerca in Italia: 505. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del territorio e del Mare.

Cigna A., 1967. Ricerche speleologiche nelle isole Palmaria, del Tino e del Tinetto. Rassegna Speleologica Italiana, Memoria VIII: 66, Como.

Collina-Girard J., 1999. Les replats littoraux holocènes immergés en Provence et en Corse: implications eustatiques et néotectoniques. *Quaternarie* 10: 121-131.

Del Soldato M., Pintus S., 1985. Studio geologico-storico delle attività e delle tecniche estrattive nella Liguria orientale (Area compresa tra Genova e La Spezia). *Mem. Acc. Lunig. Sc.* 45-47: 1-138.

Fanucci F., 1978. Neotettonica dei margini continentali del mar Ligure. *Mem. Soc. Geol. It.* 19: 535-542.

Federici P.R., 1970. Sui rapporti tra fenomeni carsici e tettonica nella Liguria Orientale. *Mem. Acc. Lunig. Sc.* 40: 7-18.

Federici P.R., 1973. La tettonica recente dell'Appennino: I - Il bacino villafranchiano di Sarzana e il suo significato nel quadro dei movimenti distensivi a nord-ovest delle Alpi Apuane. *Boll. Soc. Geol. It.* 92: 287-301.

Federici P.R., 1987. Uno sguardo alla struttura e alla morfologia del Golfo della Spezia. *Quaderni Ist. Geol. Univ. Genova* 5: 293-306.

Federici P.R., 1992. Il Golfo della Spezia. In: Atti preparatori del XXVI Congresso Geografico Italiano, Associazione dei Geografi Italiani, Genova: 215-228.

Federici P.R., Raggi G., 1975. Una nuova interpretazione della tettonica dei monti della Spezia. *Boll. Soc. Geol. It.* 94: 945-960.

Federici P.R., Pappalardo M., (2006). Evidence of Marine Isotope stage 5.5 highstand in Liguria (Italy) and its tectonic significance. *Quat. Int.* 145-146: 68-77.

Ferranti L., Antonioli F., Mauz B., Amorosi A., Dai Pra G., Mastronuzzi G., Monaco C., Orrù P., Pappalardo M., Radtke U., Renda P., Romano P., Sansò P., Verrubbi V., 2006. Markers of the last interglacial sea-level high stand along the coast of Italy: tectonic implications. *Quat. Int.* 145-146: 30-54.

Fleury P., Bakalowicz M., de Marsily G., 2007. Submarine springs and coastal karst aquifers: a review. *Journ. Hydr.* 339: 79-92.

Florea L.J., Vacher H.L., Donahue B., Naar D., 2007. Quaternary cave levels in peninsular Florida. *Quat. Sc. Rev.* 26: 1344-1361.

Formicola V., 1980. Gli uomini preistorici della regione apuana all'inizio dell'età dei metalli. Pacini, Pisa.

Forti P., 2003. Le cavità di origine continentale e la loro evoluzione marina. In: Cicogna F., Nike Bianchi C., Ferrari G., Forti P. (a cura di). Grotte marine: cinquant'anni di ricerca in Italia: 11-17. Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Giammarino S., Giglia G., 1990. Gli elementi strutturali della piega di La Spezia nel contesto geodinamico dell'Appennino settentrionale. *Boll. Soc. Geol. It.* 109: 683-692.

Palmer A.N., 1987. Cave levels and their interpretation. *National Speleological Society Bullettin* 45: 50-66.

Pappalardo M., Spagnolo M., 1999. A peculiar stratified slope deposit in the Val Grande di Palanfré (Southern Maritime Alps). *Acc. Sc. Torino-Atti Sc. Fis.* 133: 1-11.

Piccini L., 1997. Evolution of karst in the Alpi Apuane (Italy): relationship with the morphotectonic history. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.* Suppl III: 21-31.

Pirazzoli P., 2007. Sea level studies/Geomorphological indicators. Enciclopedia of Quaternary Science: 2974-2983. Elsevier.

Raggi G., 1985. Neotettonica ed evoluzione paleogeografica pliopleistocenica del bacino del fiume Magra. *Mem. Soc. Geol. It.* 30: 35-62.

Razzoli P., 2000. Morfologia carsica del Promontorio occidentale del Golfo della Spezia. Tesi di Laurea in Scienze Geologiche inedita, Università di Pisa.

Tozzi C., 1967. Paleontologia e preistoria. In: Cigna A.A. (a cura di), Ricerche speleologiche nelle isole Palmaria, Tino e Tinetto. Rassegna Speleologica Italiana, Memoria VIII: 28-45, Como.

(ms. pres. il 17 novembre 2008; ult. bozze il 10 aprile 2009)