

## SITI ARCHEOLOGICI SOMMERSI E LORO UTILIZZAZIONE QUALI INDICATORI PER LO STUDIO DELLE VARIAZIONI RECENTI DEL LIVELLO DEL MARE

F. Antonioli - G. Leoni

ENEA -Casaccia, Dipartimento Ambiente, via Anguillarese 301, S.M. di Galeria, 00060, I-Roma  
antonioli@casaccia.enea.it

**RIASSUNTO** - *Siti archeologici e loro utilizzazione quali indicatori per lo studio delle variazioni recenti del livello del mare.* In questo lavoro vengono discusse le principali problematiche relative alla acquisizione, elaborazione e valutazione di misure dell'antico livello del mare su reperti archeologici, finalizzate allo studio delle variazioni eustatiche recenti. Molte informazioni utili alla ricostruzione del paesaggio costiero dell'antichità si ricavano dai documenti storici e geografici (mappe e portolani) dei secoli scorsi e dal confronto con le condizioni attuali. I dati più attendibili derivano dallo studio comparato di reperti direttamente correlati all'antico livello medio del mare, o agli estremi di marea, e datati con sufficiente precisione. Gli indicatori archeologici più comuni sono rappresentati dalle tracce di occupazione di grotte marine (tombe, graffiti, resti di pasto) o di colonie marittime (piani di calpestio, strade, cave) e dai resti di strutture marittime (porti, peschiere, torri). Per separare la componente eustatica della variazione relativa terra-mare fornita da tali indicatori l'attenzione va posta nell'analisi delle dinamiche isostatiche, tettoniche e sedimentarie che possono aver influenzato in modo significativo l'evoluzione del sito. La revisione critica degli studi più significativi ed alcuni casi esemplari, frutto di ricerche recenti (degli autori) nel bacino tirrenico, contribuiscono a definire il quadro di riferimento e le soluzioni metodologiche più appropriate su cui orientare le prossime ricerche.

**ABSTRACT** - *Holocene sea level rise research using archaeological site.* In this paper the main problems in acquiring, computing and evaluating past sea level data from archaeological indicators are discussed in order to recognize recent eustatic variations. Many prehistoric peoples and historic civilisation developed during the Holocene along the Mediterranean coasts and were influenced by the natural sea level rise; those peoples could occupy coastal sites during sea level stands but the following rise, at a rate greater than one meter per century, compelled them to leave coastal planes and sea caves. Several information about the former coastal landscape could be drawn from ancient historical and geographical texts (Poems, Histories, Geography, Itineraries, portolanos and maps) and then comparing them with present conditions and with archaeological traces. In order to obtain reliable and reproducible data from geoarchaeological indicators it is necessary to fix some qualifications. First of all the archaeological remains must be datable with enough accuracy in a radiometric, AMS or archaeological way; then the altitude must be referred in one only reliable reference system (for instance the International Terrestrial Reference System); at last the isostatic, tectonic and sedimentary dynamic patterns must be known very well to understand the way that eustatic and terrestrial components affected sea level variations. The meaning of an archaeological indicator depends on its primary elevation on sea level. In fact each remain could only have been placed above or below sea level, so it could represent only a one-sided datum: for instance an emerged object could only indicate that the former sea level must be lower than the same object's present altitude increased of the amount of the great high tide. Hence an emerged indicator means an "upper allowable limit" of the former sea level as well as a submerged indicator means a "lower allowable limit". All remains of on land human activity which are placed in the lower part of the archaeological site and are also lower than present high-tide level could be reliable geoarchaeological indicators of sea level rise. In prehistoric coastal sites most common objects are tombs, hearths, paintings, stone tools, middens, walking surfaces, paths and way of access to sea caves; in marine settlement, such as Greek and Roman towns, the most useful remains are those of ancient structures as quarries, building foundations, paving, mosaic floorings, *thermae*, aqueducts, water tanks and sewer's canalization. In ports and fishing tanks (*piscinae*) there are often both emerged and submerged indicators functionally related to sea level, so that comparing their one-sided data (upper and lower limits) the ancient sea level must be included in an interval of a few centimeters; most common remains of this kinds are quays, slipways, piers, breakwaters, channels and tunnels, bottom planes of sluice-gates and platforms. In the Thyrrenian Sea the great tides (occurring just after the syzyzy, twice a month) are within +20 and -20 cm on MSL and it could mean that marine structures have been planned according to that tide amplitude, to preserve their function even during great tides. It is more difficult to think that the structures could operate during the extreme tides, that exceed  $\pm 50$  cm on MSL; however extreme tides (occurring about once a year) are less frequent than sea-storms so they couldn't represent a greater hazard. Geomorphologic and paleoclimatic studies about archaeological sites in Thyrrenian's sea caves, accompanied with radiometric and AMS dating, point out some data concerning the Holocene sea level rise: during Mesolithic time (about 10 kyr BP) the sea level was about 45-50 meters lower than today's, between Mesolithic and Neolithic time (about 8.5 kyr BP) the sea risen to -15 meters and finally reached -10 meters during early Neolithic time (about 7 kyr BP). Geoarchaeological studies about Etruscan and Roman remains along the Latium coast (central Thyrrenian Sea) point out some more eustatic data for historic time: in IV century b.C. (about 2.3 kyr BP) sea level was 1.70 meters lower than today, then in AD (1.95 kyr BP) sea level risen to -0.35 meters and reached -0.10 meters in the II century AD (about 1.75 kyr BP). In the last centuries the sea level probably continued oscillating within a few decimeters around present level, according to minor climatic variations, as tide gauge's data pointed out. The correct interpretation of geoarchaeological data is very useful in paleoclimatic researches based on eustatic curve reconstruction; however it is necessary to give the best attention in collecting, referring and evaluating these kind of data. At last it is necessary to study the details of the dynamic geology in order to separate terrestrial and eustatic components of sea level variations.

Parole chiave: siti archeologici sommersi dal mare, risalita olocenica del livello del mare.  
Key words: submerged archeological remains, holocene sea level rise.

## 1. INTRODUZIONE

Scopo della presente ricerca è quello di effettuare una sintesi sull'utilizzo di dati riguardanti siti archeologici sommersi quali indicatori negli studi sulle variazioni eustatiche del livello del mare.

L'argomento viene affrontato attraverso un excursus dei principali indicatori archeologici di variazione del livello del mare, con una revisione critica delle ricerche più rilevanti fino ad ora effettuate ed alcuni esempi recentemente pubblicati, riguardanti il mare Tirreno.

Durante l'ultimo semiciclo glaciale (l'intervallo cronologico preso in considerazione dal nostro Gruppo) si sono avvicinate diverse culture preistoriche nel corso dei periodi Paleolitico, Epipaleolitico, Mesolitico e Neolitico fino ai periodi storici della Magna Grecia e della Roma Imperiale.

I reperti più antichi del Mediterraneo che (a tutt'oggi) hanno reso indicazioni relative al livello eustatico del mare di quel periodo provengono da siti mesolitici ubicati sulle coste siciliane e da siti neolitici presso la Grotta Verde in Sardegna (NU) o della Carmel Coast in Israele. Molto frequenti dovunque, sulle coste mediterranee, indicazioni relative alla conformazione costiera dalla preistoria fino al giorno d'oggi, difficile però la loro interpretazione paleoambientale quali precisi indicatori di livello marino.

Le prime testimonianze scritte che permettono di ricavare informazioni dirette od indirette sull'assetto del territorio in epoca storica sono le opere dei classici greci e latini fra cui i Poemi di Omero, le Storie di Erodoto, Polibio, Senofonte, Virgilio, Plinio e Livio e la Geografia di Strabone.

Dalla tarda età romana imperiale in poi le notizie sullo stato del territorio sono fornite dai portolani che mostravano schematicamente la posizione dei porti lungo le coste, da appunti di viaggio come quelli di Rutilio Namaziano (De Redito suo, 416) e da rappresentazioni indicative che riportavano in pianta gli elementi significativi del paesaggio (laghi, monti, promontori, ecc.) e le informazioni utili ai viaggiatori (città, distanze, stazioni di sosta, ecc.); fra questi ultimi documenti i più importanti sono l'*Itinerarium Antonini* (del II-III sec.), la *Tabula Peutingeriana* (copia medievale di una carta del IV sec.) e l'*Itinerarium Maritimum* (di probabile età medievale). I primi studi a carattere storico-archeologico risalgono alla fine del secolo scorso, fra questi ricordiamo le brillanti ricostruzioni del popolamento e dell'evoluzione fisiografica di Terracina e delle "Terre Pontine" ad opera del francese De La Blanchère (1884). Allo stesso modo, in questo secolo, diversi autori hanno studiato l'assetto antico del territorio e del litorale abitato dagli Etruschi: gli studi più interessanti risultano quelli di Merciai (1929), Brown (1951), Cardarelli (1963), Mori (1963) e Gianfrotta (1988) i quali tentano di ricostruire, attraverso i successivi ritrovamenti archeologici, la storia di questa popolazione ed i rapporti con gli altri popoli di navigatori del Mediterraneo.

Altre ricerche essenzialmente archeologiche sono quelle di Zeri (1905) sui porti italiani dell'antichità e quelle di Del Rosso (1905) e di Jacono (1913) sulle opere marittime antiche, con particolare riguardo alle peschiere romane. Della localizzazione ed interpretazione strutturale dei principali porti italiani si occupa anche Schmiedt in diversi lavori (1964; 1978); inoltre sul fronte

dell'archeologia costiera si distinguono la rassegna di De Rossi (1971) sulle torri costiere e quella di Giacobini *et alii* (1994) sulle peschiere.

## 2. INDICATORI ARCHEOLOGICI DI LIVELLO DEL MARE

Siamo abituati a considerare come indicatori archeologici di variazione di livello del mare i porti, le peschiere e poche altre strutture antropiche costruite nei pressi di zone costiere successivamente emerse o sommerse. In realtà, attuando alcune considerazioni geomorfologiche, si possono utilizzare molti altri reperti archeologici quali indicatori, a patto che rendano una attribuzione cronologica sicura ed abbiano una relazione con il livello marino.

Per esempio graffiti e pitture che raffigurano pesci, o erbivori di grande taglia inseriti in situazioni morfologiche diverse dal presente. Oppure tombe, cave, focolari e tanti altri reperti antropici oggi sommersi dal mare, possono dare informazioni molto utili, se ben interpretate.

L'utilizzo di indicatori geoarcheologici implica comunque alcuni ragionamenti. Nel correlare la quota da attribuire ad un certo reperto x, è necessario porsi alcuni interrogativi che si trovi effettivamente in situ. Non è facile stabilire infatti se l'erosione del mare abbia comportato un abbassamento delle fondamenta di un qualsiasi reperto antropico usato come indicatore di l.m. Compattazione e subsidenza del substrato non rigido possono modificare facilmente la vera quota originale di costruzione del reperto. La stessa erosione dovuta al concorso tra il sollevamento del mare oltre a correnti costiere, può far ritrovare il reperto x al centro di un golfo che precedentemente neppure esisteva.

Può anche avvenire il fenomeno inverso, dovuto sempre a meccanismi di trasporto costieri che possono creare cospicui accumuli di sedimenti, prolungando artificialmente verso mare la linea di costa ed eliminando così la possibilità di utilizzare quel sito come indicatore. Una stretta collaborazione tra geologi ed archeologi, può certamente contribuire ad eliminare gli errori di interpretazione più grossolani.

Affrontiamo ora brevemente la definizione e l'uso di alcuni indicatori geoarcheologici comunemente utilizzati in numerose ricerche nel Mediterraneo.

I singoli elementi costruttivi dei quali sia interpretabile la funzione rispetto a variazioni di livello marino rappresentano generalmente degli indicatori "a senso unico" in quanto rispetto al livello del mare antico la loro posizione poteva essere o emersa o sommersa. Un oggetto sempre emerso, che possiamo definire un indicatore di massimo, può considerarsi tale solo se la sua quota originaria era superiore all'altezza massima delle Grandi Maree: nel Tirreno ad esempio un antico piano stradale che oggi si trovi a -50 cm s.l.m.m. indica che il livello medio del mare antico poteva raggiungere, al massimo, una quota più bassa di quella di 20 cm, ovvero l'antico livello massimo ammissibile è dato dalla differenza fra la quota attuale dell'indicatore ed il franco di massima alta marea, ovvero  $(-50) + (-20) = -70$  cm s.l.m.m. attuale. Con ragionamento analogo si stabilisce che un oggetto sempre sommerso rappresenta un indicatore di minimo tale che il livello medio del mare antico (livello minimo ammissibile) doveva trovarsi almeno a 20

cm (altezza minima delle Grandi Maree) al di sopra della attuale quota s.l.m.m. dell'indicatore: ad esempio la sommità di un cunicolo sommerso che si trovi oggi a -80 cm s.l.m.m. indica un livello minimo ammissibile di  $(-80)-(-20) = -60$  cm s.l.m. Salvo rare eccezioni, pertanto, il livello del mare antico relativo ad un sito è dato dal confronto fra indicatori di minimo e di massimo e quindi è definito da un intervallo di alcuni centimetri.

La scelta come franco di marea del valore di 20 cm s.l.m.m., corrispondente all'intervallo entro cui attualmente nel Tirreno sono comprese le Grandi Maree (maree sizigiali con occorrenza bisettimanale), risponde all'ipotesi più realistica secondo la quale le strutture marittime erano progettate per funzionare anche nelle peggiori condizioni di marea.

Fra le opere legate all'attività umana "a terra" gli indicatori utili sono costituiti dai reperti per i quali sia possibile rilevare un piano che rappresenti in un certo sito la quota più bassa possibile (indicatore di massimo ammissibile del livello marino) e che si trovi al di sotto dei +20 cm s.l.m.m. attuale (franco di massima alta marea). Ovviamente moltissimi reperti archeologici relativi ad insediamenti costieri soddisfano queste condizioni: fra i principali ricordiamo i resti di focolare o di pasto, le tombe, i piani di calpestio, i piani stradali e gli accessi a grotte marine. Per quanto riguarda le costruzioni sono testimonianze utili le fondamenta e le pavimentazioni di edifici, le vasche e gli impianti termali, gli acquedotti, le cisterne, le fognature ed in particolare i loro sbocchi a mare (fognoli). Altri indicatori utili e abbastanza diffusi sono i piani di lavoro delle antiche cave litoranee: in antichità infatti era comune aprire cave per materiali da costruzione in affioramenti lapidei adatti in riva al mare in modo da consentire l'immediato, e più agevole, trasporto navale del materiale cavato.

Un discorso a parte meritano le torri costiere in quanto la loro ubicazione era giustificata da motivi strategici in funzione della distanza dal mare, ma non della elevazione su di esso.

Per i porti e le peschiere l'interpretazione degli indicatori del livello del mare richiede una conoscenza minima delle principali soluzioni tecniche impiegate dagli antichi, perciò ne riassumiamo qui di seguito gli elementi essenziali.

Le fondamenta delle strutture sommerse (scogliere di fondazione) erano generalmente formate da accumuli caotici di pietrame di vario taglio gettati sul fondale possibilmente in corrispondenza di rilievi sottomarini (secche sabbiose, banchi arenacei, etc.). Per le costruzioni emerse Vitruvio (De Architectura, VIII) ricorda che i Greci usavano costruire le banchine ed i moli dei porti collocando su più piani i massi poligonali alternati per lungo e per largo e disponendo in ultimo delle pietre di forma particolare dette diatoni che consolidavano il muro in un unico spessore; il tutto veniva costruito a "secco" cioè senza l'impiego di malte cementizie ma solo, eventualmente, di grappe metalliche di giunzione fra i massi. I Romani invece già dal II sec a. C. conoscevano i fondamenti della tecnica di costruzione idraulica: ancora Vitruvio (De Architectura, V) infatti spiega che le opere sommerse in opera cementizia si ottenevano mescolando sabbia, malta pozzolanica e ciottoli ed erigendo i muri in acqua per mezzo di paratie lignee inchiodate (casseforme) piantate nel fondale tramite pali verticali. Fra i ciottoli delle caementa erano preferiti quelli tufacei che per la affinità con la pozzolana rendevano la costruzione più resistente all'acqua; per le murature emerse invece si usavano essenzialmente materiali locali calcarei, arenacei o vulcanici a seconda della disponibilità sul luogo. Comunemente le mura in opera cementizia venivano rivestite in blocchetti di pietra (opus reticulatum) e successivamente da paramenti in laterizi per prevenirne l'erosione marina. Caratteristici livelli in battuto (le euthyteria, fra la scogliera e gli elevati dei moli) od in cocchiopesto (marcapiani) separavano le diverse porzioni verticali delle costruzioni spianando le superfici inferiori per facilitare la costruzione degli elevati (Fig. 1). Diversi porti romani minori erano difesi da

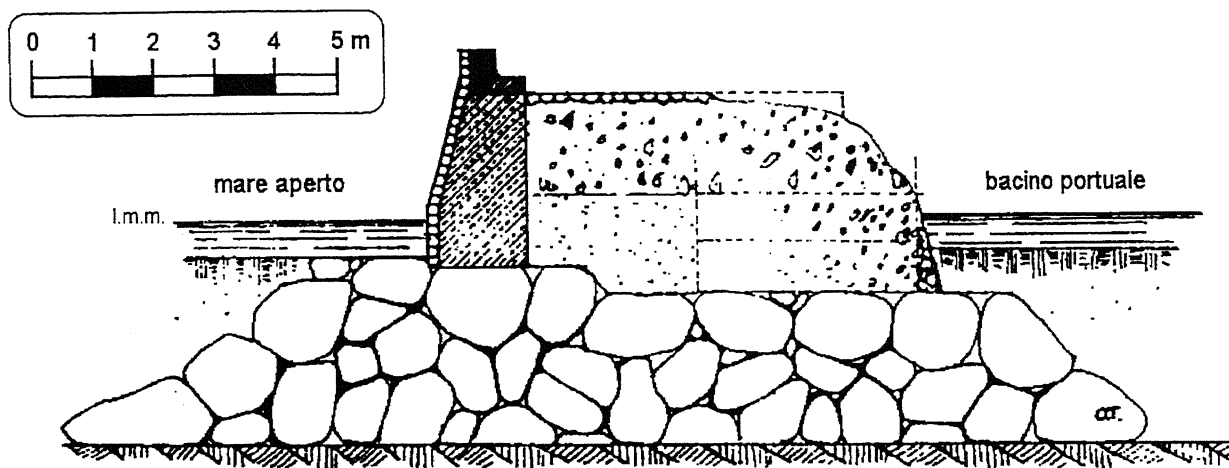


Fig. 1 - Sezione del molo sinistro del Porto di Claudio (Fiumicino). Si notino la scogliera di fondazione e il piano (euthyteria) che separa dall'elevato in gettate cementizie; inoltre il piano superiore era lastricato mentre il lato esterno del molo era protetto da un paramento in laterizio e sormontato da blocchi di travertino disposti su più file. (Da Testaguzza, 1970).

Section of the left quay at Porto di Claudio (Fiumicino, Rome). The breakwater can clearly be seen with the typical plane (euthyteria) that separate it from the upper jetty in concrete. The upper plane was paved with stones and the seaward side of the wall was covered with bricks. At the top some rows of travertine blocks were set as protection against the storm waves. (From Testaguzza, 1970).

moli su piloni (*pilae*) oppure con larghe aperture ad arco ricavate nei moli di sottoflutto per permettere alle correnti di mantenere pulito il fondale prevenendo l'insabbiamento: tali aperture dovevano essere sempre emerse e per poter essere sfruttate appieno dovevano superare -almeno- il livello di alta marea.

Stando alle dimensioni delle antiche navi etrusche e romane i piani di banchina dovevano trovarsi a circa 2 m s.l.m.m., mentre il pescaggio delle navi maggiori richiedeva profondità dei bacini portuali maggiori di 4 o 5 m. In certi casi le banchine principali potevano presentare verso mare gradini ribassati per facilitare il movimento di merci con le barche minori. Una delle regole comuni prevedeva che i piani di banchina, in particolare quelli ribassati, pendessero leggermente verso mare per evitare il ristagno dell'acqua. Lungo i moli si trovavano bitte e anelli d'ormeggio in ferro o ricavati in blocchi monolitici incassati nella muratura. Talora i porti erano dotati di scali di alaggio, ma queste piattaforme inclinate e parzialmente sommerse risultano conservate solo raramente.

Ad eccezione delle scogliere di fondazione dei

moli, delle scogliere frangiflutti esterne ai bacini e delle parti sommerse degli scali di alaggio tutte le altre strutture dovevano essere emerse (Fig. 2).

Sebbene l'allevamento del pesce in vivai ricavati nelle lagune fosse un'attività praticata già nei secoli precedenti, solo nel I sec. a.C. quella delle peschiere annesse alle ville marittime diventa una vera e propria moda che si diffonde rapidamente in tutto il Mediterraneo per poi esaurirsi, altrettanto rapidamente, poco dopo il I sec. d.C.

L'autore Columella, nel trattato *De Re Rustica*, espone con estrema chiarezza le principali soluzioni costruttive che differivano a seconda della natura della costa:

tipo A piscine scavate nella roccia, profondità consigliata 9 piedi (-266 cm s.l.m.): se necessario erano completate da parti in muratura e dotate di canali o cunicoli (condotti fin oltre la piattaforma d'abrasione) il cui sbocco in vasca doveva trovarsi alla profondità di 2 piedi (-60 cm s.l.m.);

tipo B piscine costruite in cocciopesto sul litorale, profondità consigliata 7 piedi (-207 cm s.l.m.): erano

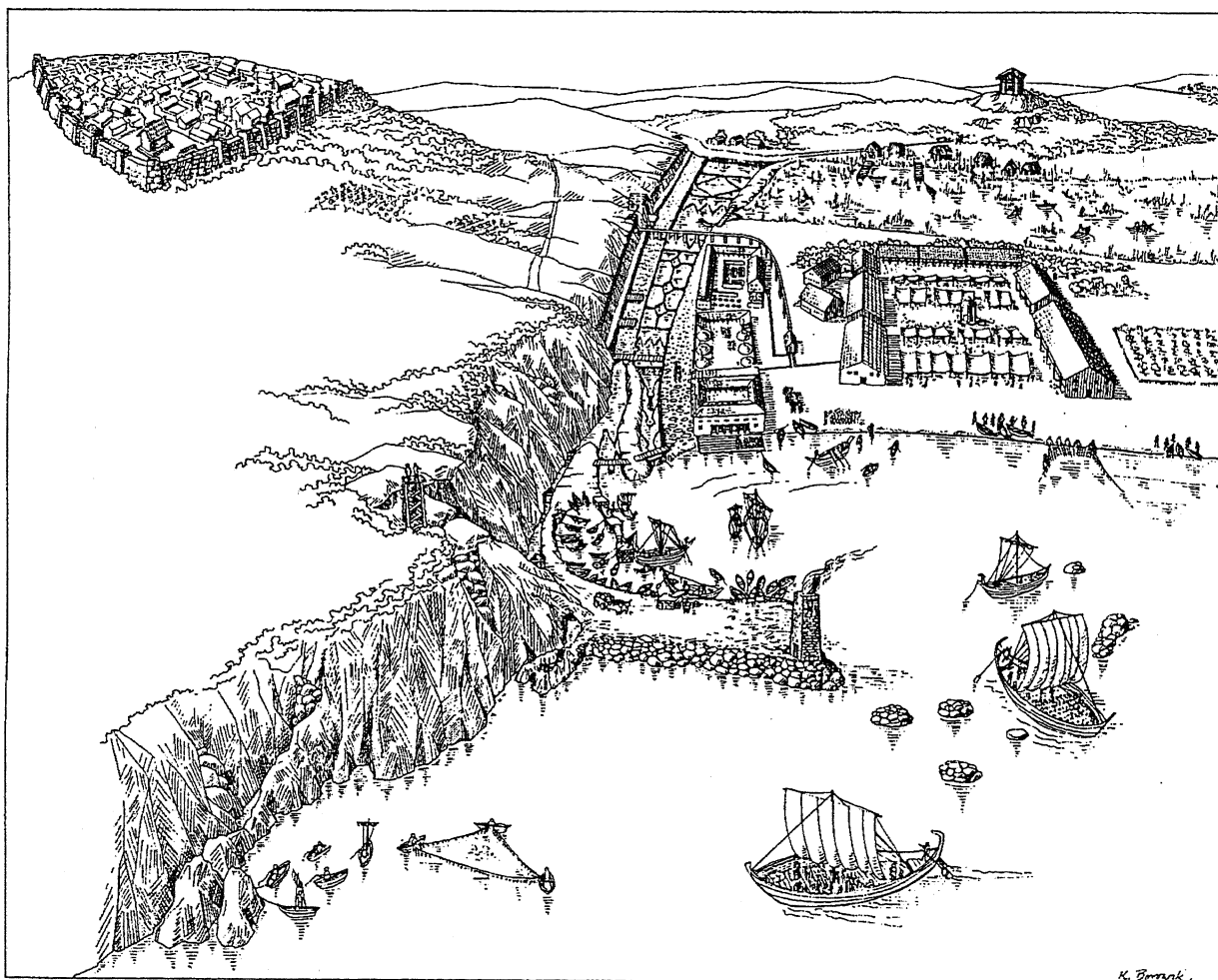


Fig. 2 - Ricostruzione dell'antico Portus Cosanus (Toscana) e della peschiera lagunare tra la fine del secondo ed il primo secolo a.C. (Da McCann, 1987).

*Hypothetical reconstruction of the Portus Cosanus (Toscana) and its fishing lagoon during the late second and first century BC (From McCann, 1987).*

impostate preferibilmente su asperità sommerse dei litorali sabbiosi per assicurarne la stabilità ed impermeabilità; i canali per l'alimentazione dovevano poggiare sul fondo in modo da pescare l'acqua più fresca degli strati profondi;

tipo C piscine simili in tutto alle precedenti ma profonde solo 2 piedi (-60 cm s.l.m.): erano destinate all'allevamento di pesci piatti (sogliole e rombi) o di molluschi e in questo caso richiedevano maggiori disponibilità d'acqua dolce, perciò si trovavano di preferenza allo sbocco di corsi d'acqua (è probabile che comunemente quest'ultimo tipo di impianto non fosse isolato, ma che tale funzione fosse assicurata da alcune vasche interne dei tipi precedenti).

I vivai erano composti da serie di vasche comunicanti attraverso cunicoli sommersi ricavati nello spessore delle pareti oppure per mezzo di cunette di scolamento intagliate sulla sommità delle pareti stesse; gli impianti erano completati da canali (o cunicoli completamente sommersi) di alimentazione e moli di protezione esterni. La molteplicità delle vasche rispondeva all'esigenza di allevare contemporaneamente specie diverse nelle condizioni ottimali per ognuna di esse.

Con la marea montante l'acqua marina pulita risaliva attraverso i canali principali, mentre la marea calante trascinava via l'acqua sporca. Generalmente sia il fondo che la sommità di canali e cunicoli era in leggera salita verso l'interno (pendenza inferiore a 2°) e nella stessa direzione diminuiva la larghezza: questo artificio facilitava l'entrata dell'acqua con l'alta marea accelerandone la risalita lungo il percorso in modo da generare un flusso sufficiente a raggiungere anche le vasche più interne. Per lo stesso motivo nelle peschiere di tipo A il fondo dei canali veniva scavato a profondità maggiore della piattaforma circostante in modo da costituire una via preferenziale alla corrente di marea.

Diversi autori antichi ricordano la necessità di miscelare l'acqua marina con acqua dolce allo scopo di attirare i pesci nei vivai, perciò si poneva particolare attenzione nell'ubicarli in prossimità di corsi d'acqua o sorgenti e, laddove ciò non era possibile, si provvedeva alla fabbricazione di cisterne ed acquedotti. Alcuni canali -non necessariamente emersi- intagliati nello spessore dei moli distribuivano l'acqua dolce alle vasche.

Intorno alle vasche correvano marciapiedi (crepidini) emersi per il passaggio del personale addetto alla manutenzione e talvolta anche su livelli inferiori eventualmente adibiti alla pulizia del fondo in occasione di svuotamenti parziali o totali.

Esaminando nel dettaglio la ricorrenza in molte peschiere di alcuni oggetti caratteristici possono dedurre alcune considerazioni circa la loro posizione originaria rispetto al livello del mare:

- le crepidini superiori dovevano essere sempre almeno emerse, sia che servissero di separazione fra le vasche sia per il transito del personale di servizio; i dati relativi ad esse si riferiscono sempre ai punti più alti e dallo stato di conservazione migliore; talvolta tali superfici erano pavimentate;

- gli sfioratoi intagliati nei moli di protezione esterni assicuravano lo smaltimento delle piene, cioè dell'acqua in eccesso rispetto all'alta marea, perciò dovevano sempre superare questo livello;

- le cunette di scolamento intagliate sulla sommità delle pareti divisorie servivano per la comunicazione

fra le vasche interne quindi potevano trovarsi all'incirca sul livello medio del mare o pochi centimetri al di sopra, in modo da attivarsi soltanto durante l'alta marea;

- i piani di battuta delle saracinesche dovevano essere sempre sommersi; in certi casi tali piani coincidono con crepidini inferiori continue;

- i cunicoli d'alimentazione coperti garantivano l'immissione d'acqua dall'esterno della peschiera e la distribuzione all'interno: poiché l'attività veniva regolata dalla manovra delle saracinesche in nessun caso occorreva che fossero emersi, quindi anche la loro sommità doveva essere sempre sommersa;

- le anfore inserite nelle pareti erano naturalmente sempre sommerse.

### 3. DATI

Sull'argomento sono state scritte decine e decine di articoli. Più di un autore ha tentato di mettere insieme i numerosi dati recuperabili per il Mediterraneo portando a termine onerosi lavori. Quella che segue è una sintesi ragionata dei dati disponibili. In primo luogo verranno elencati dati scaturiti dallo studio di zone di grande estensione areale. Seguiranno alcuni dati puntuali.

#### 3.1 Dati generali e regionali

I primi studi strettamente geo-archeologici risalgono alla fine degli anni '60, quando diversi studiosi di scienze della terra riconobbero l'utilità delle testimonianze storiche ed archeologiche per le ricostruzioni relative alla paleogeografia ed al livello del mare dell'Olocene. Flemming (1969) è fra i primi ad esaminare direttamente siti archeologici per ricavarne indicazioni sul livello del mare degli ultimi 2000 anni; tuttavia la sua analisi relativa al Mediterraneo occidentale lo porta a concludere che la sommersione dei resti sia dovuta all'abbassamento del suolo piuttosto che alla risalita eustatica del livello marino. Una prima raccolta di informazioni relative agli indicatori archeologici del livello del Mare Mediterraneo viene curata da Flemming (1979), ma solo in seguito Masters & Flemming (1983) e poi Flemming & Webb (1986) presentano elaborazioni più complete delle evidenze archeologiche di variazioni tettoniche ed eustatiche oloceniche; l'ultimo studio fa il punto delle conoscenze fino ad allora acquisite per tutto il Mediterraneo analizzando statisticamente ben 1053 dati nel tentativo di ricavare curve eustatiche valide almeno su scala regionale (Fig. 3).

A scala regionale una delle ricerche più accurate è quella di Schmiedt (1972) il quale coordina una équipe composta di archeologi, geologi e geofisici che collaborano al rilievo ed alla interpretazione di un gran numero di siti archeologici lungo la costa del Mare Tirreno, al fine di ricavarne qualsiasi informazione utile alla determinazione del suo livello antico. Il frutto di questo lavoro non è solo l'acquisizione di ottimi dati originali (viene ipotizzata una risalita eustatica di 1.7 mm/a per l'epoca romana), ma anche l'esempio che in questo campo i risultati migliori si ottengono attraverso un approccio interdisciplinare (Fig. 4).

L'esame dei dati di Schmiedt e provenienti da altri siti romani sulla costa meridionale della Francia porta Pirazzoli (1976) a distinguere fra indicatori di massimo e

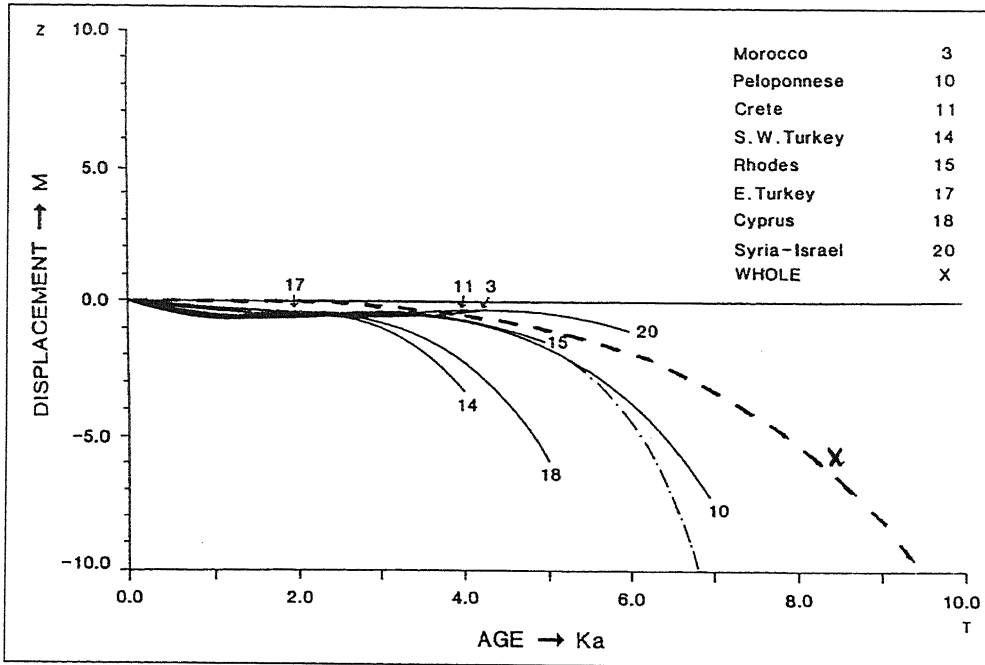


Fig. 3 - Curve di best fit delle variazioni del livello del mare ottenute dall'elaborazione di equazioni di terzo e quarto grado in base a dati archeologici, successivamente corrette dall'effetto lineare della componente verticale dei movimenti crostali propri di ogni regione. La curva a tratteggio comprende le misure di indicatori "a senso unico". (Da Flemming & Webb, 1986).

Best fit curves for site records for each region, after removal of geographically dependent components representing earth movements and correction by transfer of linear component of rate of change to or from earth movements. The dotted section of the curve is based on the inclusion of 1-sided data. (From Flemming & Webb, 1986).

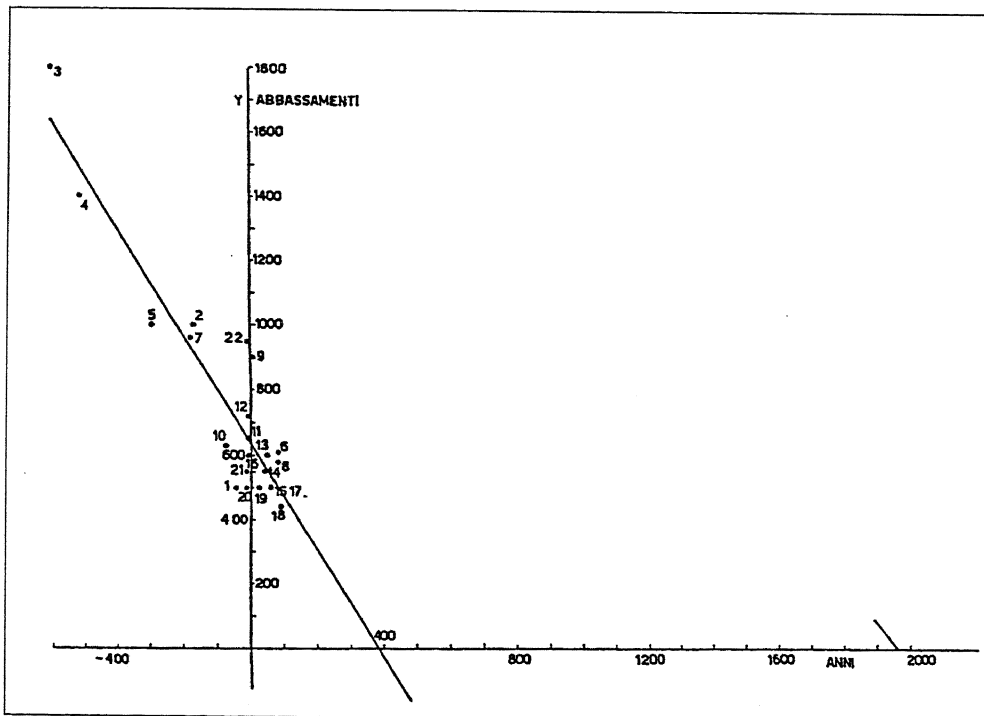


Fig. 4 - Rette di regressione degli antichi livelli del mare ricavata da dati archeologici e mareografici. (Da Schmiedt, 1972).

Regression lines of past sea level based on archaeological and tide gauges, data. (From Schmiedt, 1972).

di minimo livello del mare antico a seconda della funzionalità del reperto; l'analisi statistica dei dati relativi al Mediterraneo nord-occidentale indica un valore della risalita eustatica in epoca romana compreso fra 0.77 e 0.74 mm/a (Fig. 5). Lo stesso Pirazzoli (1979), in seguito alla rassegna di tutte le peschiere note del Mediterraneo, conferma che tali resti evidenziano una leggera risalita eustatica per il Mediterraneo occidentale, mentre i dati contrastanti del Mediterraneo orientale indicano che in quest'area i movimenti verticali della terra prevalgono su quelli eustatici.

Paskoff *et alii* (1981) e Paskoff & Oueslati (1991) studiano attentamente la costa della Tunisia nordorientale per comprendere quali movimenti eustatici e tettonici abbiano prodotto la sommersione di porti, moli, cave e tombe d'epoca romana confermando per quel periodo un livello del mare più basso dell'attuale di circa 50 cm.

Flemming & Pirazzoli (1981) interpretano la complessa evoluzione tettonica di Creta considerando anche la posizione dei resti portuali della civiltà minoica rispetto al mare: questi infatti sono emersi nel settore occidentale e sommersi in quello orientale, testimoniando la prosecuzione in epoca storica del basculamento dell'isola secondo un asse meridiano.

Infine Leoni & Dai Pra (1997) mettono a confronto indicatori, noti ed originali, di variazioni del livello del mare di natura geologica,

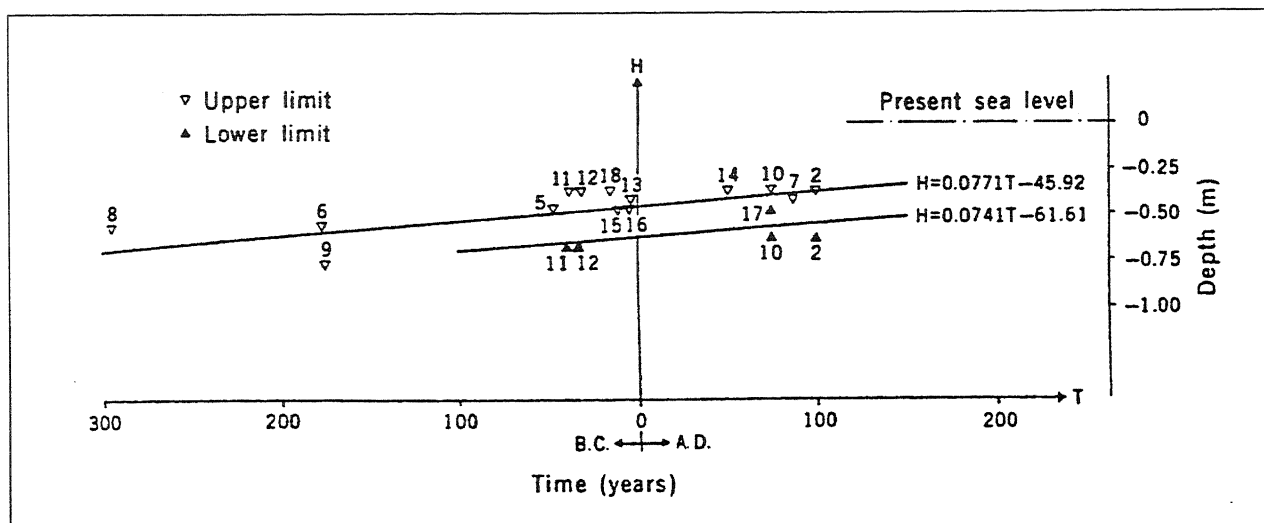


Fig. 5 - Gli indicatori archeologici di livello minimo e massimo dell'antico Mediterraneo nord-occidentale segnalano una risalita eustatica media di 0.75 mm/a senza sensibili oscillazioni. I numeri indicano i siti. (Da Pirazzoli, 1976).

Archaeological data mark upper and lower limits of past mean sea levels in the northwestern Mediterranean. They indicate an average sea level rise of 7.5 cm per 100 years without major fluctuations. (From Pirazzoli, 1976).

archeologica e strumentale (mareografica) per la costa del Lazio evidenziando in particolare le potenzialità, le principali difficoltà e le soluzioni metodologiche attualmente più indicate per l'acquisizione di dati su resti archeologici. Lo studio comparato consente, per il mare Tirreno centrale, l'individuazione di un tratto della risalita eustatica, corretta per l'effetto della neotettonica, da -170 cm nel IV sec. a.C. a -10 cm nel II sec. d.C. (quote s.l.m.m. attuale).

### 3.2 Dati riguardanti singoli siti mediterranei

A titolo indicativo accenniamo ad alcuni tra i più interessanti studi di geoarcheologia condotti su siti singoli e mirati all'acquisizione di dati sul livello del mare antico.

Rilievi geologici e geomorfologici, di superficie ed in sondaggio, intorno all'antica città di Troia hanno consentito a Kraft *et alii* (1980) di affermare che la linea di costa ha subito un notevole arretramento fra i 10 ed i 7 ka BP a causa della forte risalita eustatica che portò il livello del mare da -40 a -20 m s.l.m., mentre in seguito la sedimentazione prevalse sulla risalita eustatica e la costa avanzò gradualmente fino alla posizione attuale; a sostegno di tale ricostruzione paleogeografica vengono citate le descrizioni dell'Iliade, dell'Odissea e della Geografia di Strabone secondo cui, ai tempi della

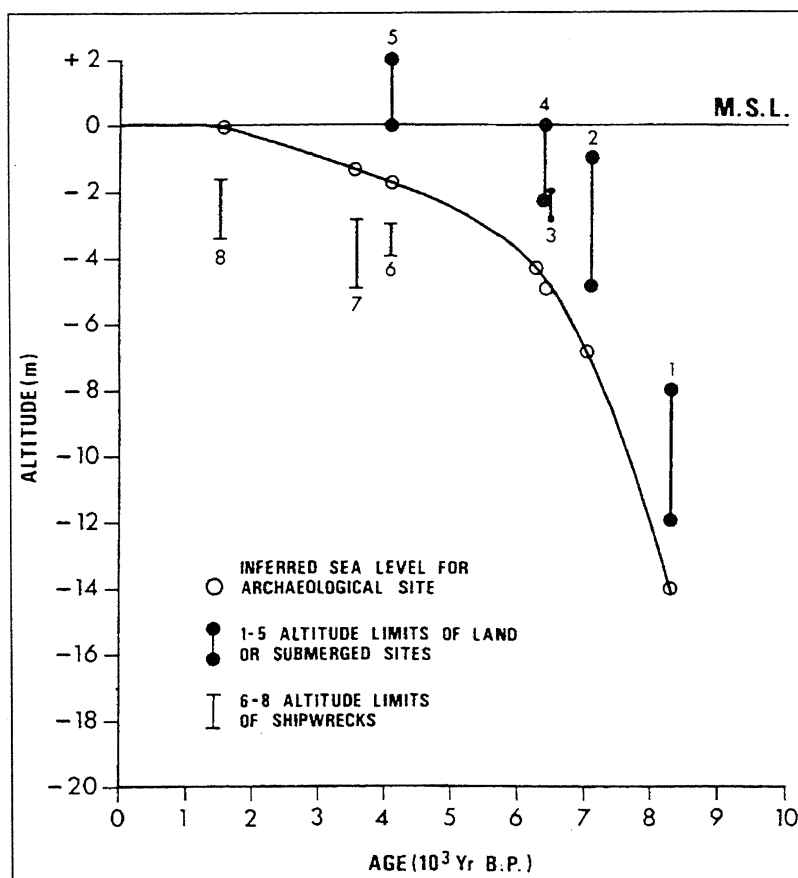


Fig. 6 - Curva di variazione del livello del mare nel corso dell'Olocene presso la Carmel coast, in Israele, sulla base di dati archeologici (Da Galili et alii, 1988).

Holocene sea level curve in the northern Carmel area (Israel) based on archaeological data. (From Galili et alii, 1988).

guerra di Troia, il mare si doveva trovare più vicino alla città di quanto non lo sia oggi.

Le Gall (1981) suggerisce che le quote dei piani stradali dell'antica colonia di Ostia indicano un livello del mare di circa un metro più basso dell'attuale nel III sec. a.C. (ca. 2200 anni BP).

McCann (1987) riassume, per il porto romano di Cosa, i risultati di molte campagne archeologiche supportate da indagini geologiche sull'evoluzione del sito allo sbocco settentrionale della antica Laguna di Burano (GR): tutte le informazioni concordano nel definire il livello del mare della tarda età repubblicana (ca. 2060 BP) più basso dell'attuale di 50-100 cm.

Pirazzoli (1987) segnala numerosi reperti lungo la costa settentrionale dell'isola di Kastellorizo (Grecia): resti di mura, moli, cave, fondazioni di edifici e bacini intagliati nella roccia appartengono alla antica colonia romana di Megisti e risultano oggi variamente sommersi fino a 4.5 m di profondità, il paleo livello del mare tuttavia non è determinabile a causa della notevole subsidenza della zona.

Galili *et alii* (1988) presentano una serie di testimonianze archeologiche, della costa a Sud di Haifa (Israele), comprese all'incirca fra gli 8000 ed i 1500 anni BP a profondità comprese tra -12 e 0 m; considerando che gli ultimi eventi tettonici riconosciuti nell'area precedono i primi reperti archeologici, gli autori propongono una risalita eustatica del livello marino piuttosto accentuata prima di 6000 anni BP e poi più lenta (rispettivamente 5.2 e 0.9 mm/a, fig. 6).

Galoppini *et alii* (1994) segnalano la presenza di due cave antiche sul litorale di Livorno: quella in località Romito, aperta nell'arenaria "Macigno", risale probabilmente ad un periodo tardo-ellenistico (ca. 2500 BP) ed è intagliata fino a -1.67 m s.l.m.

Infine Clottes & Courtin (1994) pubblicano i risultati preliminari del ritrovamento nella grotta Cosquer. Questo sito è uno degli esempi più eclatanti del Mediterraneo con reperti che hanno una diretta correlazione con il livello marino e costituisce a tutt'oggi il più profondo sito mai scoperto. La Grotta Cosquer, esplorata nel 1990, si trova in Francia, nella zona delle Calanques, si apre ad una profondità di -37 metri. Dopo alcune centinaia di metri di tortuosi cunicoli, la grotta risale fino all'attuale livello marino. In una zona quindi "in bolla d'aria" sono stati scoperti centinaia di graffiti e pitture rupestri raffiguranti paesaggi, uomini ed animali, la cui interpretazione è tuttora in corso. La datazione del pigmento delle pitture è di circa 19.000 anni fa (Fig. 7).

#### 4. DATI ORIGINALI RILEVATI SULLLE COSTE TIRRENICHE

Si riportano qui di seguito i risultati di alcuni esempi di ricerche geoarcheologiche effettuate sulle coste tirreniche italiane.

##### *Pitture rupestri nella grotta del Genovese*

La grotta del Genovese si trova nell'isola di Levanzo (Egadi) e presenta nello stesso sito testimonianze di diversi periodi: graffiti, pitture, reperti litici e ceramici e resti di pasto attribuiti al Paleolitico Superiore e al Mesolitico (Graziosi, 1962). In particolare numerose pitture riferite al Mesolitico (attraverso datazione al  $^{14}\text{C}$

su gusci di *Patella ferruginea* 10.085-10.850 cal BP) illustrano scene di natura che raffigurano animali erbivori come il cervo od alcune specie di equidi. Sono presenti anche cetacei tipo delfini. Non è giustificabile la presenza di animali erbivori di questa taglia su un'isoletta così acclive come l'attuale morfologia di Levanzo mostra. Per lo sviluppo e la nutrizione di animali di questa taglia si deve supporre una topografia ben diversa con la presenza di piane e savane rigogliose. Se proviamo ad indagare quale poteva essere l'assetto della costa circa 10.000 anni BP (sulla base della curva di Alessio *et alii* 1994), ci posizioniamo a circa 50 metri sotto l'attuale livello del mare, per l'esattezza a -47 m proprio diecimila anni fa.



Foto. 7 - Grotta Cosquer (Francia, Marsiglia), pittura rupestre con raffigurazione di pinguini, la datazione delle pitture (19ka BP) è coerente con questa fauna fredda, l'ingresso della grotta è attualmente ubicato a -37 m.

*Cosquer Cave (France, Marsiglia), penguin are painted 19 ka BP coherently with the climate of last Glacial age The entry is now at -37 m b. s. l.*



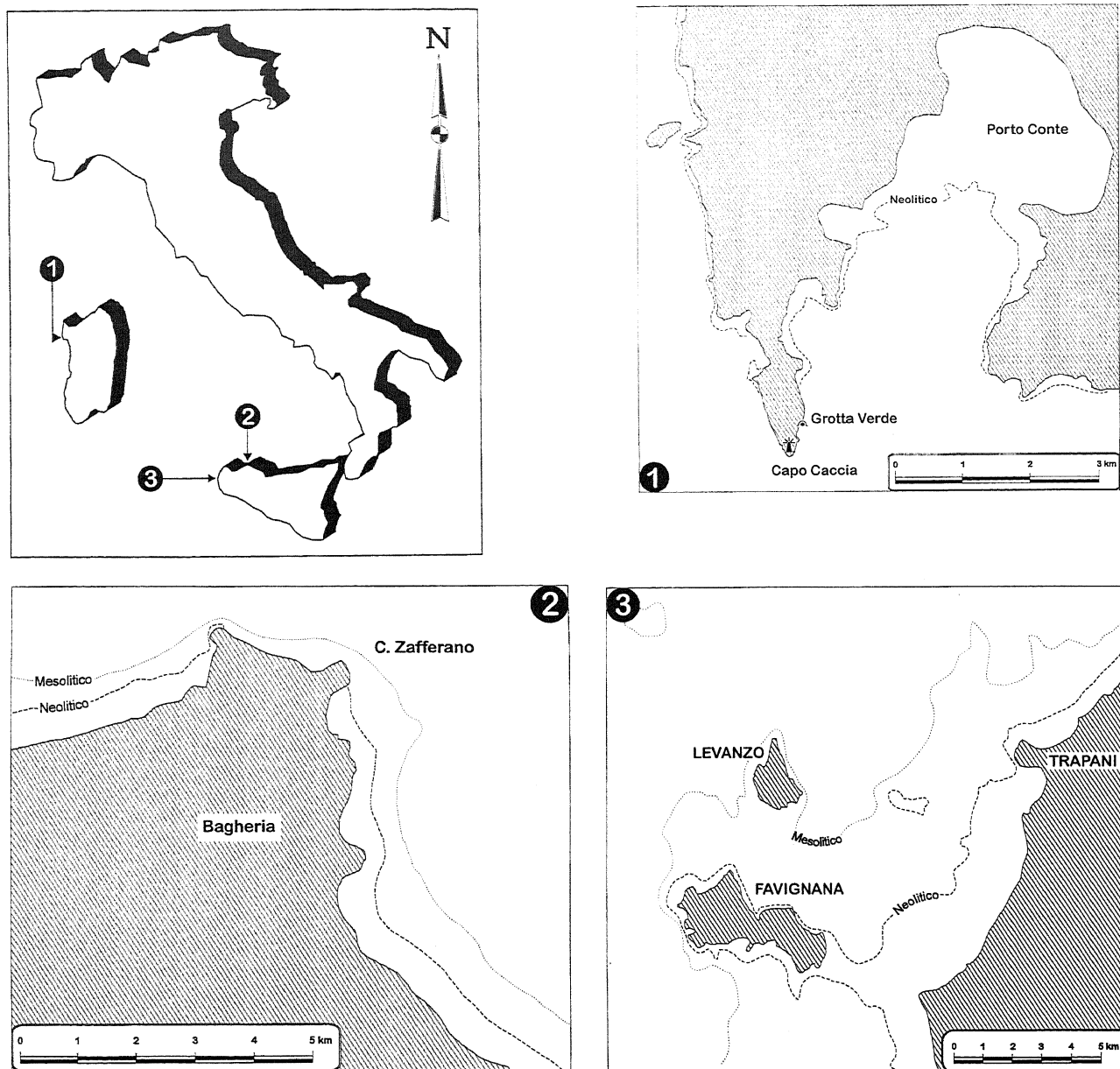


Fig. 8 - Ricostruzione della linea di riva riferita al periodo Neolitico e Mesolitico. 8.1 Zona di capo Caccia, Sardegna. 8.2 Capo Zafferano Sicilia (PA). 8.3 Isole Egadi, Sicilia (TP).

*Neolithic and Mesolithic shorelain reconstructed on the basis of geoarchaeological remains. 981 Capo Caccia, Sardinia. 982 Capo Zafferano, Sicily (PA). 983 Egadi Iland, Sicily (TP).*

Per quanto riguarda la morfologia dell'arcipelago delle Egadi, si può notare dalla curva di variazione del livello del mare (Fig. 5 di Antonioli *et alii* questo volume) come -durante il periodo Mesolitico - il livello del mare fosse circa 47 metri più basso dell'attuale, e quindi sia l'isola di Levanzo che quella di Favignana fossero unite insieme alla Sicilia a formare un unico grande promontorio, escludendo ovviamente sollevamenti tettonici recenti (Abate *et al* 1995). Tremila anni più tardi durante il periodo Neolitico invece, con un livello del mare di 15 metri più basso dell'attuale, Levanzo assume le sembianze di un'isola mentre Favignana resta unita alla ter-

raferma attraverso uno stretto istmo (Fig. 8.1). La presenza o meno di testimonianze preistoriche conferma tale successione di eventi (Antonioli 1997).

#### *S. Vito Lo Capo - la Grotta dell'Uzzo*

Nella zona di S. Vito Lo Capo (Tp) la situazione dei fondali compresa tra 0 e -50 m è caratterizzata da notevoli scarpate. I fondali sono molto scoscesi, in taluni casi si raggiungono i 100 metri di profondità a solo qualche decina di metri dalla costa. Moltissimi gli insediamenti preistorici e storici rinvenuti lungo la fascia costiera del Promontorio che presenta inoltre uno sviluppatissimo

simo sistema carsico sommerso.

Uno dei siti archeologici più importanti della zona, per la continuità della fruizione e per l'interesse dei reperti è senza dubbio la grotta dell'Uzzo. Questo sito, ubicato sul lato orientale del promontorio, è stato intensamente "abitato" per almeno 10 millenni. Gli scavi effettuati nella grotta hanno mostrato, tra l'altro, alcune particolarità legate alle abitudini alimentari: è infatti stato possibile verificare come il passaggio tra il Mesolitico ed il Neolitico abbia evidenziato una variazione della dieta, che mostra una accentuazione dell'alimentazione a base di pesce. E' possibile che questa variazione, avvenuta all'incirca 8000 anni fa, sia stata facilitata, in questa zona, per la presenza osservata con continuità di un ampio terrazzo sommerso, ubicato tra -13 e -18 metri (Antonioli *et alii*, 1994).

E' inoltre possibile effettuare altre considerazioni sul rapporto tra gli insediamenti preistorici e le variazioni del livello del mare. A poca distanza dal sito della grotta dell'Uzzo si trova, ubicata sotto l'attuale livello del mare (l'ingresso è obliquo ed è compreso tra le profondità di -15 e -28 m), la grotta della Ficarella. Si è supposto (Antonioli *et alii*, 1994 a) che questa grotta, oggi sommersa e costituita da una lunga galleria alta fino a 15 metri, potesse essere stata frequentata in considerazione della particolare morfologia assai "accogliente", vista anche la vicinanza della grotta dell'Uzzo. In considerazione dei meccanismi di risalita postglaciale ed olocenica del livello del mare e della profondità massima dell'ingresso si è supposto che se la grotta fosse stata fre-

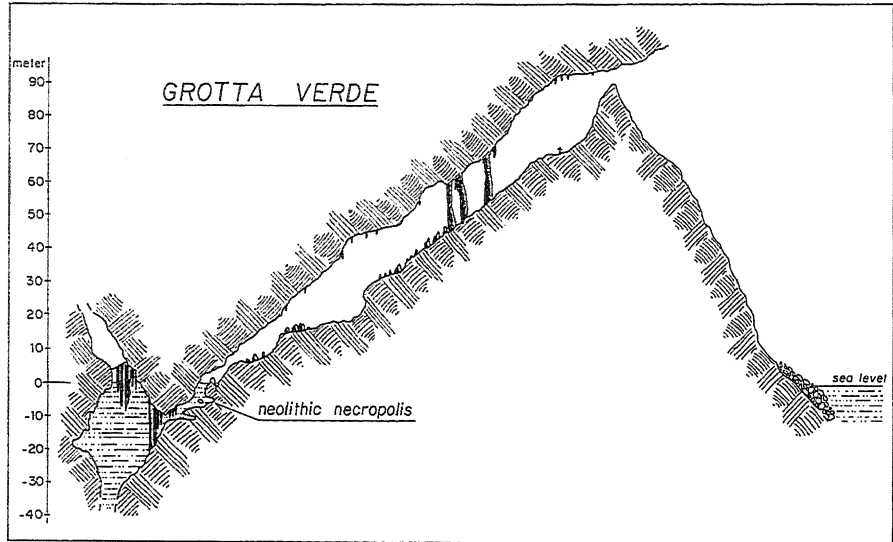


Fig. 9 - Sezione della Grotta Verde presso Capo Caccia (Sardegna).  
*Grotta Verde section near Capo Caccia (Sardinia).*

quentata, tale fruizione avrebbe potuto proseguire non oltre il periodo Mesolitico, dopo i 9000 anni BP infatti il livello del mare avrebbe cominciato (in caso di tempeste) a lambire i corridoi di accesso alla grotta e successivamente allagarla completamente.

#### *Capo Zafferano - grotta dell'Arco*

Nei pressi di capo Zafferano (Pa) si apre una grotta sotto un caratteristico arco sospeso. Nella grotta sono stati rinvenuti numerosi reperti litici e resti di pasto (patelle e trochidi) riferibili al Mesolitico. La datazione al  $^{14}\text{C}$  su di una patella (9900 anni cal BP) ha confermato l'attribuzione cronologica (Antonioli *et alii*, 1994 b) archeologica. A causa della particolare conformazione geomorfologica costituita da ripide e scoscese pareti anche sott'acqua, si esclude che i frequentatori mesolitici potessero fruire della grotta e frequentarla regolarmente con un livello del mare alto come l'attuale. Il livello marino minimo, compatibile con una regolare fruizione si trova 25-30 metri sotto l'attuale (fig. 8.2). Le ricerche effettuate a Capo Zafferano confermano quindi pienamente le ipotesi che circa 10 ka BP il livello del mare fosse 40-50 metri più basso dell'attuale.

#### *Sardegna, Grotta Verde (Alghero)*

Le ricerche sulle oscillazioni del livello marino nel corso dell'Olocene nell'area tirrenica, sono state favorite nel settore di Capo Caccia (Sardegna nord-occidentale) dal contributo dei dati archeologici provenienti dal sito sommerso della Grotta Verde, dove ricerche effettuate dalla Soprintendenza Archeologica per le provincie di Sassari e Nuoro hanno rivelato l'esistenza di una necropoli neolitica attualmente sommersa dal mare.



Foto 10 - Torre Astura: semisommersa dal mare si vede la pianta originale della piscina di allevamento.

*Torre Astura: the plan of the fish tank partly under the sea.*

La necropoli è ubicata in una piccola camera alla profondità di -9 m, raggiungibile da un "lago" terminale (in diretto contatto con il mare) posto nella porzione più bassa della grotta Verde (Figg. 8.3, 9). All'interno delle sepolture, collocate in nicchie naturali o parzialmente ricavate nella roccia, sono stati recuperati reperti ceramici ed alcune ossa appartenenti a scheletri umani. L'ornamentazione di tipo "cardiale" presente sul vasellame ha consentito di accertare che la necropoli è stata frequentata a partire da una fase avanzata del Neolitico inferiore 7300-6700 BP.

Le implicazioni paleoclimatiche legate al dato archeologico, in seguito ad una attenta valutazione geomorfologica, hanno fornito la possibilità di discriminare fra la componente eustatica e la subsidenza durante la risalita del mare nel corso dell'Olocene. Per ottenere informazioni sulla stabilità tettonica di Capo Caccia sono state effettuate numerose indagini sia di superficie che sottomarine. Forme e depositi marini, che per la loro continuità ed associazioni fossilifere sono riferibili al periodo Eutirreniano, sono stati rinvenuti in 4 località ad un'altezza costante di 3.8 metri s.l.m.. Tale quota è quindi comparabile a quella dello stadio 5e della curva isotopica dell'ossigeno. I 2 metri circa inferiori alla quota

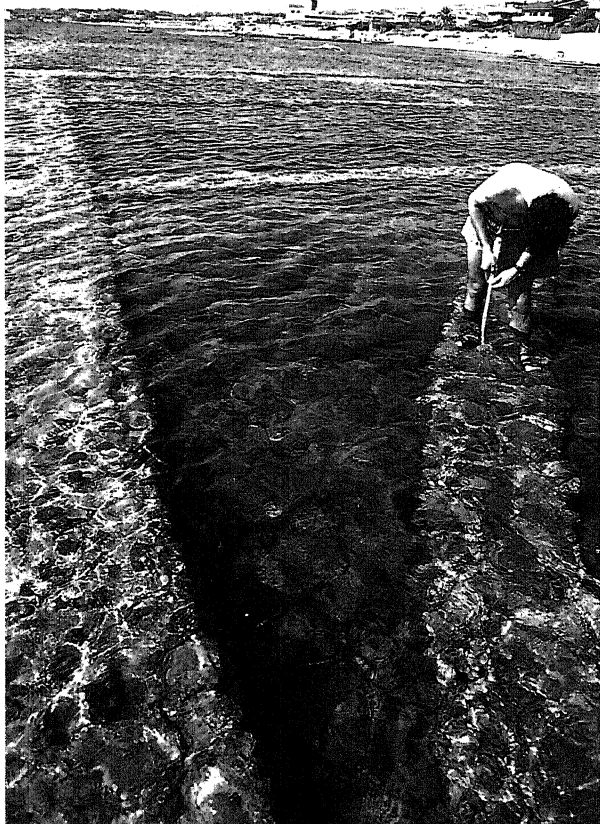


Foto 11 - Punta della Vipera: misura delle crepidini e dei cunicoli della peschiera.

*Punta della Vipera: measuring the altitude of fish tanks wall surface and channel.*

eustatica dei 7 metri attribuiti allo stadio 5e sono ininfluenti per gli ultimi 7500 anni.

L'accertamento della stabilità tettonica nell'area di Capo Caccia a partire dall'Eutirreniano (125 ka) consente di fissare il livello marino di 7300-6700 anni fa ad una profondità inferiore a -10 m, corrispondente ad una finestra-pozzo nella parte più bassa della camera sepolcrale (Antonoli *et alii* 1994 c).

#### *Marina di Tarquinia (Vt) - Gravisca*

Uno dei casi più interessanti di abitati costieri, per il sovrapporsi di costruzioni in epoche successive, è quello di Marina di Tarquinia (VT) dove gli scavi archeologici (Torelli, 1971) sul rilievo alle spalle del "Porto Clementino" individuarono:

a) il piano di calpestio in sabbia dell'abitato arcaico (VI-V sec. a.C.) a quota -147 cm s.l.m.;

b) il piano dell'abitato etrusco (V-III sec. a.C.) a quota -127 cm s.l.m.;

c) un riempimento connesso con il rialzamento del suolo praticato in occasione della deduzione coloniale romana (II sec. a.C.) da -127 a +13 cm s.l.m.; in questo livello sono chiaramente riconoscibili lastre calcaree e di peperino di pavimentazione, piani di cocciopesto e pavimenti in opera spicata (Quilici, 1968);

d) uno strato di incendio con tegole di crollo e ceramiche sigillate italiche (I sec. d.C.) da +13 a +53 cm s.l.m.

Sottraendo a tutte queste quote i 20 cm di rispetto per l'alta marea si ottengono le quote, rispetto all'attuale, di massimo livello del mare ammissibile per le epoche cui si riferiscono le singole misure, cioè rispettivamente: -167 cm (V sec. a.C., ca. 2400 BP), -147 cm (IV sec. a.C., ca. 2300 BP), -7 cm (~181 a.C., ~2131 BP). Nel medesimo sito la banchina del porto di età arcaica, di cui la parte meglio conservata si trova oggi a soli 41 cm s.l.m., supera la quota del piano di calpestio coevo di 188 cm: ciò suggerisce che la banchina stessa dovesse trovarsi in origine ad almeno +200 cm s.l.m.

La fascia costiera di Tarquinia è nota per aver subito un sollevamento tettonico nel Pleistocene, legato al ciclo del vulcanismo vulsino; tuttavia poiché tale attività si concluse verso la fine del Pleistocene superiore non dovrebbe aver interessato il periodo storico. Inoltre le notizie circa la frequentazione del sito nell'antichità e la sua elezione a scalo portuale, oltre alla morfologia di alto relativo, suggeriscono che il porto sia stato edificato su un affioramento del substrato a partire da un antico promontorio stretto fra due lagune: tale considerazione esclude l'ipotesi che il sito sia soggetto a subsidenza, pertanto le indicazioni circa il livello del mare antico dovrebbero riferirsi esclusivamente (o almeno in netta prevalenza) a variazioni di natura eustatica.

#### *Terracina (Lt)*

Presso il porto degli Antonini di Terracina è possibile distinguere un livello di separazione fra la scogliera sommersa e la muratura del molo esterno a scarpa che, rivestito in *opus incertum*, fungeva da frangiflutti. Poiché De La Blanchère (1881) sostiene che tale piano si trovava proprio sul livello del mare all'epoca della costruzione, esso testimonia un livello del mare nel II sec. d.C. (ca. 1775 BP) più basso di oggi di circa 13 cm. La vicinanza del sito all'estremità meridionale del massiccio mesozoico dei Monti Ausoni dovrebbe garantirne la

sostanziale stabilità tettonica recente; d'altra parte non si può escludere la possibilità che il sito risenta, in parte, della subsidenza che interessa tuttora la Piana Pontina.

#### Anzio (Roma)

Un tipico esempio di marcapiano fra molo a malta idraulica ed elevato a malta aerea si trova al Porto Neroniano di Anzio, sul blocco interno del braccio occidentale: tale livello orizzontale corrisponde al livello del piano pavimentale delle "grotte" e rappresenta

probabilmente il piano di banchina (Felici, 1993), perciò la sua quota attuale di 144 cm s.l.m.m. indica un livello del mare antico (60 d.C., 1890 BP) inferiore all'attuale di circa 56 cm. La fascia litoranea a Sud del Tevere e fino al Fiume Astura è stata caratterizzata nel Pleistocene medio e superiore da un sollevamento tettonico correlato al vulcanismo albano che ha determinato il delinearsi di un "alto strutturale" proprio in corrispondenza di Anzio, con l'affioramento di sedimenti pliocenici ("Macco" di Anzio); per questo motivo i dati archeologici relativi a questo sito ed al successivo potrebbero indicare un livello marino eustatico approssimato per eccesso che, corretto per l'effetto tettonico, potrebbe risultare più basso.

#### Anzio -Torre Astura (Roma)

Nella parte occidentale della splendida peschiera su cui sorge Torre Astura l'interno della vasca a losanga presenta due gradini di cui quello superiore (-9 cm s.l.m.m.) lastricato mentre quello inferiore (-70 cm s.l.m.m.) coincidente col piano di battuta delle saracinesche (Fig. 10). In questo caso, rispetto al livello del mare antico, il primo rappresenta un livello massimo ed il secondo un livello minimo perciò, applicate le correzioni relative al franco di marea, la loro combinazione evidenzia un livello del mare, intorno all'anno zero (ca. 1950 BP), compreso fra -29 e -50 cm rispetto all'attuale. L'interpretazione che propone Schmiedt (1972) del medesimo sito si basa sulla sommersione di circa 20 cm delle divisioni interne alle vasche presso il molo perimetrale, cui va aggiunto un franco d'emersione di 40 cm, per cui il livello del mare antico risulta 60 cm più basso dell'attuale. Nonostante il merito complessivo dell'analisi di Schmiedt, tuttavia quest'ultimo dato risulta chiaramente carente rispetto al precedente sia dal punto di vista della misura che dell'interpretazione tettonica (Ambrosetti et al 1981).

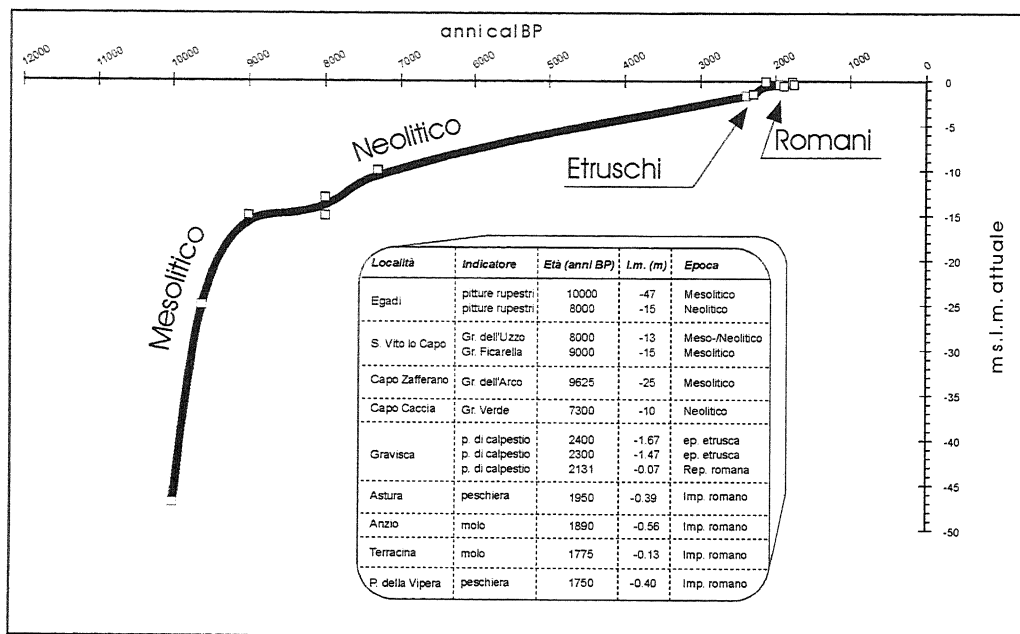


Figura 12 - Schema riassuntivo degli indicatori archeologici e del loro possibile utilizzo cronologico. *Archaeological indicators and their chronological utilization in sea level rise studies.*

#### Santa Marinella Punta della Vipera (Roma)

La peschiera di Punta della Vipera (Fig. 11) si distingue dalle altre per l'epoca di costruzione particolarmente avanzata (fine II sec. d.C., ca. 1750 BP e per la corrispondenza esemplare ai canoni costruttivi che ne rende l'esame estremamente didattico. In questo impianto gli indicatori più significativi sono rappresentati dalla crepidine superiore della vasca centrale nel punto meglio conservato (-12 cm s.l.m.m.) e dalla sommità di un cunicolo di collegamento fra due vasche perimetrali (-69 cm s.l.m.m.): la combinazione del primo elemento (livello massimo) e del secondo (livello minimo), corretta del franco di marea, restituisce un livello del mare antico compreso fra -32 e -49 cm al di sotto dell'attuale. L'impianto è completamente intagliato nei banchi di arenaria "Pietraforte" che rappresentano nell'area il substrato prepliocenico. La zona di Civitavecchia è stata interessata durante il Pleistocene da un sollevamento tettonico che sembra essersi concluso intorno agli 80-100 ka BP (Ambrosetti *et alii*, 198; Hearty & Dai Pra, 1987) perciò il dato archeologico dovrebbe indicare la sola componente eustatica della variazione relativa del livello del mare.

## 5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Da quanto sopra esposto si deduce come una corretta interpretazione di dati geoarcheologici possa rendere un contributo essenziale alle ricerche sull'eustatismo e indirettamente sulla paleoclimatologia relative alle variazioni del mare Mediterraneo. Le più dettagliate curve di risalita del mare postglaciali ottenute datando indicatori naturali, infatti, possono essere incrementate nella loro parte finale proprio da dati geoarcheologici.

Nella valutazione dell'indicatore è però necessario

porre molta attenzione e la collaborazione tra competenze geologiche ed archeologiche può sicuramente ridurre il numero di errori.

Per utilizzare dati archeologici riferiti ad una quota di livello marino, è necessario evitare il confronto di indicatori completamente diversi come le fondamenta dei porti con i canali delle peschiere. Non esistono regole seguite dai differenti autori nel calcolare la quota tra l'indicatore ed il livello del mare e questo può creare grandi discrepanze nell'interpretazione finale. Una cosa è sicura il mare nella sua risalita olocenica ha avuto un enorme impatto con le popolazioni che hanno abitato le coste del Mediterraneo a partire dal Mesolitico, modificando pesantemente, in alcuni casi, la morfologia costiera ed il paesaggio (Fig. 12).

## BIBLIOGRAFIA

- Alessio M., Allegri L., Antonioli F., Belluomini G., Improta S., Manfra L., Preite M., 1994 - *La curva di risalita del Mare Tirreno negli ultimi 43 ka ricavata da datazioni su speleotemi sommersi e dati archeologici*. Volume degli Abstract di Geosub '94, Palinuro 8-10 Giugno 1994. In stampa (1997) sulle Memorie Descrittive del Servizio Geologico Nazionale, **52**.
- Ambrosetti P., Bartolini C. & Bosi C., 1981 - *L'evoluzione geologica e morfologica quaternaria dell'area adiacente la bassa valle del Fiume Fiora (Viterbo)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., **4**, 104-134.
- Antonioli F., 1997 - *Problematice relative alle variazioni recenti del livello del mare e sue interazioni con le comunità preistoriche in Sicilia*, da "La Sicilia preistorica" a cura di S. Tusa. Catalogo della mostra "la Sicilia Preistorica", 276-285.
- Antonioli F., Puglisi C., Reitano G. & Tusa S. 1994a - *Evoluzione geomorfologica pleistocenica del settore costiero di S. Vito Lo Capo (Tp)*. Memorie Descrittive del Servizio Geologico Nazionale, **52**, 337-360.
- Antonioli F., Belluomini G., Ferranti L., Improta S. & Reitano G., 1994b - *Il sito preistorico dell'arco naturale di Capo Zafferano (Sicilia) aspetti geomorfologici e relazioni con le variazioni del livello marini olocenico*. Il Quaternario, **7(1)**, 109-118.
- Antonioli F., Ferranti L. & Lo Schiavo F., 1994c - *The submerged Neolithic burials of the grotta Verde at Capo Caccia (Sardinia, Italy) implication for the Holocene sea-level rise*. Memorie Descrittive del Servizio Geologico Nazionale, **52**, 329-336.
- Brown F.E., 1951 - *Cosa I. History and topography*. Mem. American Academy in Rome, **20**, 1-113.
- Cardarelli R., 1963 - *De ora maritima populoniensi*. St. Etr., **31**, 503-531.
- Clottes J. & Courtin J., 1994 - *La grotte Cousquer*. Ed. Seuil, Paris., 200 pp.
- De La Blanchère M.R., 1881 - *Le port de Terracine - Histoire et archéologie*. Mélanges Ecole française de Rome, **1**. In "Rocci G.R., a cura di (1984) - Terracina e le terre pontine. Ed. Coop. ALTRACITTÀ, Terracina, 1984".
- De La Blanchère M.R., 1884 - *Terracine - Essai d'histoire locale*. Ernest Thorin, Paris. In "Rocci G.R., a cura di (1984); Ed. Coop. ALTRACITTÀ, Terracina, 1983".
- De Rossi G.M., 1971 - *Torri costiere del Lazio*. Ed. De Luca, 308 pp.
- Del Rosso R., 1905 - *Pesche e peschiere antiche e moderne nell'Etruria marittima*. Firenze.
- Felici E., 1993 - *Osservazioni sul porto neroniano di Anzio e sulla tecnica romana delle costruzioni portuali in calcestruzzo*. Archeologia subacquea, **1**, 71-104.
- Flemming N.C., 1969 - *Archeological evidence for eustatic change of sea level and earth movements in the western Mediterranean in the last 2000 years*. Geol. Soc. Am., sp. pap. **109**, 59-60.
- Flemming N.C., 1979 - *Archeological indicators of sea level*. Oceanis, **5**, fasc. hors-série, 149-166.
- Flemming N.C. & Pirazzoli P.A., 1981 - *Archéologie des côtes de la Crète*. Histoire et Archeologie - Les Dossiers, **50**, 56-81.
- Flemming N.C. & Webb C.O., 1986 - *Tectonic and eustatic coastal changes during the last 10,000 years derived from archaeological data*. Zeits. Geomorph., Suppl.-Bd., **62**, 1-29.
- Galili E., Weinstein-Evron M. & Ronen A., 1988 - *Holocene sea-level changes based on submerged archaeological sites off the Northern Carmel coast in Israel*. Quat. Res., **29**, 36-42.
- Galoppini R., Mazzanti R., Taddei M., Tessari R. & Viresini L. (in stampa) - *Attività estrattiva sul litorale livornese e sue implicazioni per la determinazione dell'antico livello del mare*. Volume degli Abstract di Geosub '94, Palinuro 8-10 Giugno 1994. Memorie Descrittive del Servizio Geologico Nazionale, **52**.
- Giacopini L., Marchesini B.B. & Rustico L., 1994 - *L'orticoltura nell'antichità*. Pubbl. ENEL, 275 pp.
- Gianfrotta P.A., 1988 - *Le coste, i porti, la pesca*. In: Atti Conv. di Viterbo 1985 "Etruria Meridionale - conoscenza, conservazione, fruizione." - Ed. Quasar, 11-16.
- Graziosi P., 1962 - *Levanzo pitture ed incisioni*. **48**, Sansoni editore.
- Hearty P.J. & Dai Pra G., 1987 - *Ricostruzione paleogeografica degli ambienti litorali nei quaternari della Toscana e del Lazio settentrionale con l'impiego dell'amino-stratigrafia*. Boll. Serv. Geol. It., **106**, 189-224.
- Abate B., Ferruzza A. Incandela A. & Renda P., 1995 - *Tettonica trascorrente nelle isole Egadi (Sicilia Occidentale)*. Studi geologici Camerti, 1995/2, 9-14.
- Jacono L., 1913 - *Note di archeologia marittima*. In «Neapolis», fasc. **3/4**, 353 e sgg.
- Kraft J.C., Kayan I. & Erol O., 1980 - *Geomorphic reconstructions in the environs of ancient Troy*. Science, **209**, 776-782.
- Le Gall J., 1981 - *Les problèmes du niveau de la mer aux boches du Tibre*. Histoire et Archeologie - Les Dossiers, **50**, 46-51.
- Leoni G. & Dai Pra G., 1997 - *Variazioni del livello del mare nel tardo Olocene (ultimi 2500 anni) lungo la costa del Lazio in base ad indicatori geo-archeologici. Interazioni fra neotettonica, eustatismo e clima*. ENEA RT /AMB/97/8, 110 pp.
- Masters P.M. & Flemming N.C., 1983 - *Quaternary coastlines and marine archaeology*. London:

- Academic Press 641 pp.
- McCann A.M., 1987 - *The roman port and fishery of Cosa. A center of ancient trade*. Princeton Univ. Press 342 pp.
- Merciai G., 1929 - *Sulle condizioni fisiche del litorale etrusco tra Livorno e Civitavecchia*. Studi Etruschi, **3**, 347-358.
- Mori A., 1963 - *Problemi dell'insediamento umano e della vita marittima nell'antica Etruria centrale*. Boll. Soc. Geogr. It., **4**, 343-354.
- Paskoff R.P., Troussat P. & Dalongeville R., 1981 - *Variations relatives du niveau de la mer en Tunisie depuis l'antiquité*. Histoire et Archeologie - Les Dossiers, **50**, 52-59.
- Paskoff R.P. & Oueslati A., 1991 - *Modifications of coastal conditions in the Gulf of Gabes (Southern Tunisia) since classical antiquity*. Zeits. Geomorph., Suppl.-Bd., **81**, 149-162.
- Pirazzoli P.A., 1976 - *Sea level variations in the northwestern Mediterranean during roman times*. Science, **194**, 519-521.
- Pirazzoli P.A., 1979 - *Les vivier a poisson romains en Méditerranée*. Oceanis, **5**, fasc. hors-série, 191-201.
- Pirazzoli P.A., 1987 - *Submerged remains of ancient Megisti in Kastellorizo island (Greece): a preliminary survey*. Int. Journ. Naut. Archeol. Underwater Exploration, **16/1**, 57-66.
- Quilici L., 1968 - Graviscae. In: De Rossi, "La Via Aurelia", Ed. De Luca, 107-120.
- Schmiedt G., 1964 - *Antichi porti d'Italia*. L'Universo, 225-274.
- Schmiedt G., 1972 - *Il livello antico del Mar Tirreno. Testimonianze dei resti archeologici*. Ed. Olschki, 323 pp.
- Schmiedt G., 1978 - *I porti italiani nell'alto Medioevo*. Spoleto, 1978.
- Torelli M., 1971 - Gravisca (Tarquinia) - *Scavi nella città etrusca e romana. Campagne 1969 e 1970*. Not. Sc., **25**, 195-299.
- Zeri A., 1905 - *I porti del litorale romano*. In: Ministero della Marina: "Monografia storica dei porti dell'antichità nella penisola italiana"; Roma, 105 pp.

Ms: ricevuto il: 30 giugno 1997  
 Inviato all'A. per la revisione il: 20 ottobre 1997  
 Testo definitivo ricevuto il: 23 novembre 1997

Ms received: June 30, 1997  
 Sent to the A. for a revision: October 20, 1997  
 Final text received: November 23, 1997