

Morfologie relitte e antiche linee di riva delle “Secche della Meloria”

Nicola Casarosa¹, Monica Bini² e Anna Maria De Biasi³

¹Servizio Difesa del Suolo (Ufficio della Costa), Provincia di Pisa.

²Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa.

³ Centro Interuniversitario Biologia Marina ed Ecologia Applicata, Livorno.

Riassunto

Questo lavoro si propone di studiare la geomorfologia sommersa di un'area situata circa 3 miglia al largo di Livorno e nota come “Secche della Meloria”. La topografia di quest'area è stata ricostruita grazie ad analisi *single beam* e *multi beam*. Sui nuovi dati topografici, si è basato uno studio geomorfologico di dettaglio che ha permesso di individuare i principali elementi morfologici sommersi. Anzitutto è stato ipotizzato l'andamento della paleoidrografia dell'area durante l'Ultimo Periodo Glaciale quando le Secche, per effetto dell'abbassamento del livello marino, erano emerse. Inoltre sulla superficie delle Secche sono state riconosciute diverse depressioni già descritte da altri autori. Queste depressioni, note come “catini”, sono state studiate con analisi di dettaglio che hanno permesso di approfondire le conoscenze sulla loro topografia e di sostenere per la loro genesi, ancora ampiamente discussa, l'ipotesi carsica. Nella porzione occidentale delle Secche sono state identificate 3 scarpate e 3 piattaforme interpretate come marine. Il margine interno di queste piattaforme è ubicato a quota -6, -12 e -15 m sotto il livello del mare attuale. Questi livelli sono stati utilizzati come indicatori della curva di risalita del livello marino durante l'Olocene e sono stati confrontati con i dati provenienti dalle vicine Piana della Versilia e Grotta dell'Argentarola con i quali si evidenzia una buona correlazione.

Questo lavoro, pur in assenza di un preciso quadro cronologico di riferimento, porta nuove conoscenze alla morfologia delle Secche della Meloria ed apre nuove prospettive agli studi di questo settore costiero.

Parole chiave: morfologia sommersa, carsismo, paleoidrografia, indicatori di stazionamento, Olocene.

Abstract

This paper aims to study the submerged geomorphology of an area located 3 miles off the modern coastline of Livorno. Single-beam and multibeam analyses allowed to reconstruct the submerged topography of the area. The study of topography was used as basis for new geomorphological analyses.

The study was first centred on the palaeohydrography of the area during the last glaciation, when the area was emerged. On top of shoals several hollows were recognised, which had been described by previous authors. In this article, we detail the topography of those hollows, locally named “catini”, and suggest their origin, still largely discussed, to be karstic. In the western part of the shoals we identified 3 cliffs and 3 shore platforms. The inner margins of those shore platforms are located at -6m, -12 m and -15 m below sea level. These inner margins were used as markers of sea level during Holocene. Comparison between data derived from this area and those coming from the Apuo-versilian plain and the Argentarola cave demonstrates good correlation.

Although this study does not provide a precise chronological frame of the elements described, it provides data that could represent a valuable starting point for future studies in this coastal area.

Keywords: *submerged geomorphology, karstification, palaeohydrography, sea level marker, Holocene.*

Introduzione

Le Secche della Meloria, costituiscono un alto morfologico ampio circa 40 km² la cui forma ricorda quella di un triangolo equilatero (Bacci et al., 1969). Note fin dall'antichità come pericolo per la navigazione (Mazzanti et al. 1984), sono situate nel tratto di mar Ligure compreso tra l'isola Gorgona e il litorale livornese, dal quale distano circa 3,5 miglia (Fig. 1). Costituiscono un banco roccioso ubicato ad una profondità variabile da un minimo di -1,5 metri, fino ad un massimo di -50 metri, la cui genesi è ancora ampiamente discussa. Se dal punto di vista tettonico le secche rappresentano molto probabilmente un alto strutturale legato alla genesi distensiva del bacino tettonico neogenico versiliese – pisano (Ghelardoni et al., 1968), dal punto di vista stratigrafico, numerosi autori indicano le Secche della Meloria come un affioramento di “panchina” generatasi durante gli episodi tirreniani ed intertirreniani (Federici e Mazzanti, 1995; Mazzanti, 1983; Mazzanti et al., 1984; Boschian et al., 2006). Con il termine “panchina” si intende localmente un deposito che va da arenaceo a calcareo arenaceo con notevole cemento calcareo legato a circolazione di acque dure in fase di diagenesi precoce (Mazzanti, 1983). Per le caratteristiche del substrato premiocenico delle secche, che esulano dagli scopi di questo lavoro, si rimanda a Boschian et al. 2006. Per quanto riguarda le caratteristiche del deposito tirreniano è noto che l'alternanza di livelli di panchina e depositi continentali evidenzia diversi cicli trasgressivo – regressivi, tutti comunque più bassi del massimo trasgressivo della prima fase tirreniana che vede ciottoli alla base del terrazzo di Livorno ad una quota massima di circa +15 m sul livello del mare attuale (Mazzanti et al., 1984; Boschian et al., 2006). A seguito della trasgressione tirreniana si sarebbe creato un ambiente marino di bassofondo caratterizzato da un substrato detritico organogeno. La deposizione di sabbie calcaree si sarebbe conclusa nella fase regressiva, accompagnata dalla litificazione del sedimento e formazione del plateau calcareo, che costituisce la panchina. Che cosa sia avvenuto dopo la deposizione della panchina e come questa sia stata modellata dagli agenti esogeni è ancora oggi poco noto.

Il presente lavoro si propone di portare un contributo alle conoscenze della batimetria dell'area delle Secche della Meloria e di indagare le morfologie sommerse fino ad ora poco conosciute come quelle legate ai processi fluviali e carsici o del tutto trascurate come forme quelle legate ai processi costieri. Per le morfologie individuate, in assenza di datazioni assolute, è stata ipotizzata una correlazione con altri indicatori della pianura pisano versiliese e del terrazzo livornese, basata sul solo criterio altimetrico.

Studi pregressi sulla morfologia delle Secche

I lavori pregressi che hanno interessato le Secche si sono concentrati prevalentemente sulla genesi e le caratteristiche della “panchina” tirreniana. A questo riguardo, un'ampia rielaborazione dei dati stratigrafici del Pleistocene Superiore della Toscana costiera compiuta da Boschian et al. nel 2006, indica “l'inizio del Pleistocene Superiore con la trasgressione eustatica del Tirreniano culminata circa 125 ka e riconosce nella Toscana costiera tre fasi di trasgressioni glacioeustatica, attribuibili al Tirreniano I, II, III e corrispondenti agli stadiali

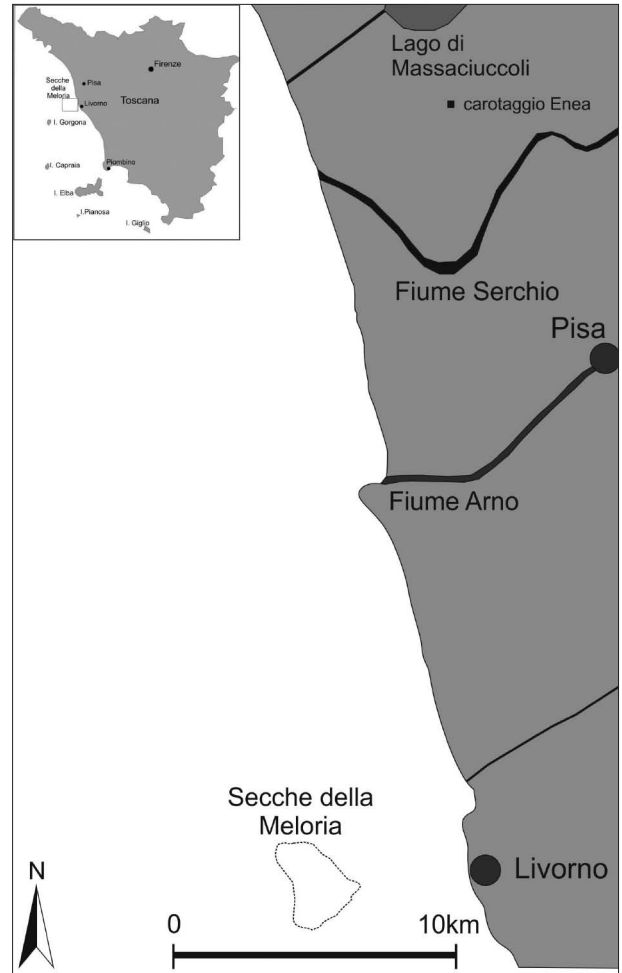


Figura 1 - Ubicazione dell'area di studio.

alti OIS 5e (circa 125 ka), OIS 5c (circa 110 ka) e OIS 5a (circa 90 ka). Secondo questa scansione temporale la parte inferiore della panchina, per le tipiche faune calde e le quote massime raggiunte nel terrazzo di Livorno (+15 m) è riferibile al primo episodio trasgressivo tirreniano (Tirreniano I, oggi OIS 5e), la porzione regressiva ed i sovrastanti sedimenti lagunari e continentali sono collegati alla fase eustatica negativa intertirreniana immediatamente successiva (OIS 5d). Il secondo livello di panchina in parte marino ed i soprastanti livelli lagunari, palustri, eolici sono da riferirsi ad un nuovo episodio trasgressivo (Tirreniano II?, OIS 5c), infine, i sedimenti sovrastanti regressivi e continentali sono legati alla fase eustatica negativa immediatamente successiva (OIS 5b)". Secondo Barsotti et al. (1974), la geologia delle Secche sarebbe legata ai cicli sedimentari marini tirreniani responsabili della deposizione e del modellamento della cosiddetta panchina fossilifera del tutto analoga a quella presente sul litorale livornese e presso le Secche di Vada. Alcuni studi più recenti interpretano questo deposito come record di stazionamento post tirreniano (Mauz, 1990; Ciampalini et al., 2006).

I lavori che hanno avuto come oggetto la geomorfologia delle Secche della Meloria sono molto più limitati ed hanno riguardato quasi esclusivamente le morfologie depresse di forma circolare e subcircolare che si aprono, con dimensioni variabili, sulla parte sommitale di questo alto morfologico sottomarino. Queste depressioni, note come "catini", hanno catalizzato l'attenzione di diversi studiosi che ne hanno ipotizzato la genesi, che presenta ancora margini d'incertezza. Il termine "catino" secondo Fierro et al. (1969) andrebbe riferito solo a quelle depressioni sviluppatasi in seno alla panchina e non a quelle incisioni aperte nelle mattes (sedimento misto detritico organogeno formato in parte da fanghi e resti di posidonie) concentrate nella porzione orientale e nord orientale delle Secche ed a SE dello ship light (Fig. 2). Secondo alcuni autori i catini, sarebbero assimilabili alla più piccole "marmitte" livornesi. Fancelli Galletti (1974) sostiene, infatti, che i catini differiscono dalle "marmitte" solo per le dimensioni ritenendo, dunque, omologabili i due termini. Dato che i primi hanno un diametro che si aggira intorno alle decine di metri, mentre gli altri raggiungono decine di decimetri (Aiello et al., 1982) si può ipotizzare che i catini rappresentino lo stadio evolutivo delle marmitte stesse (Giannelli et al., 1982). Secondo Barsotti et al. (1974), i catini sono da interpretare come forme di erosione subacquea originatesi in una fase di regressione quando la panchina sarebbe stata intaccata e scavata nelle zone in cui l'azione dinamica delle acque era più forte. Secondo Mazzanti e Parea (1979), invece, i catini sarebbero legati all'evoluzione di una costa in sommersione nella quale si osservano sulla panchina esposta i vari passaggi che vanno da un'area con superficie spugnosa fino ai catini veri e propri (nella fascia sopratidale); per questi ultimi non si esclude, in fase di sommersione, l'azione di erosione meccanica ad opera di vortici circolari di acque con ghiaia. Infine secondo Fierro et al. (1969), presupponendo un ambiente subaereo sottoposto all'azione degli agenti atmosferici, l'origine dei catini potrebbe essere attribuita a fenomeni di carsismo sviluppatosi in ambiente litologicamente favorevole. La successiva sommersione della morfologia continentale avrebbe costituito un supporto per le concrezioni organogene attuali che avrebbero ereditato la morfologia preesistente. Oltre a questo ampio dibattito sui catini, la geomorfologia sommersa delle Secche non ha visto praticamente altri studi se si eccettuano i rari lavori relativi alla paleo rete idrografica. In particolare, Segre (1955) evidenzia che la morfologia dei fondali al contorno delle Secche è caratterizzata dallo sviluppo di numerosi canali incisi nei depositi marini. Diversi autori (Segre, 1955; Mazzanti e Parea, 1979; Federici e Mazzanti, 1988) studiando la morfologia dei fondali prospicienti la costa toscana hanno ipotizzato, attraverso l'interpretazione della isobatimetriche della carte nautiche, alcuni tratti di paleoidrografia probabilmente attiva durante l'ultima glaciazione, fra cui il solco vallivo del paleo-Arno e nei fondali antistanti le Secche della Meloria molti torrenti minori.

Se diversi studi (Boschian et al., 2006) hanno investigato la geologia delle Secche della Meloria con particolare riguardo alla genesi del deposito di panchina, non ci sono studi specifici sulla geomorfologia legata ai processi marini ed in particolar modo a quelli olocenici.

Metodi

Il presente studio si basa su analisi batimetriche derivanti da dati acquisiti negli anni 1956, 1957, 1958 e nel 2009. Le indagini batimetriche sulla secca sono state effettuate utilizzando due diversi criteri di analisi: *single beam* e *multi beam*. Le prime sono state estese a tutta la secca ed ad un suo intorno significativo, le seconde sono state concentrate su una sua piccola porzione.

I dati inerenti alle indagini *single beam* (Grafici di scandaglio digitalizzati del 1950 e punti di inquadramento in coordinate metriche GB) sono stati acquisiti dall'Istituto Idrografico della Marina di Genova. Mentre il

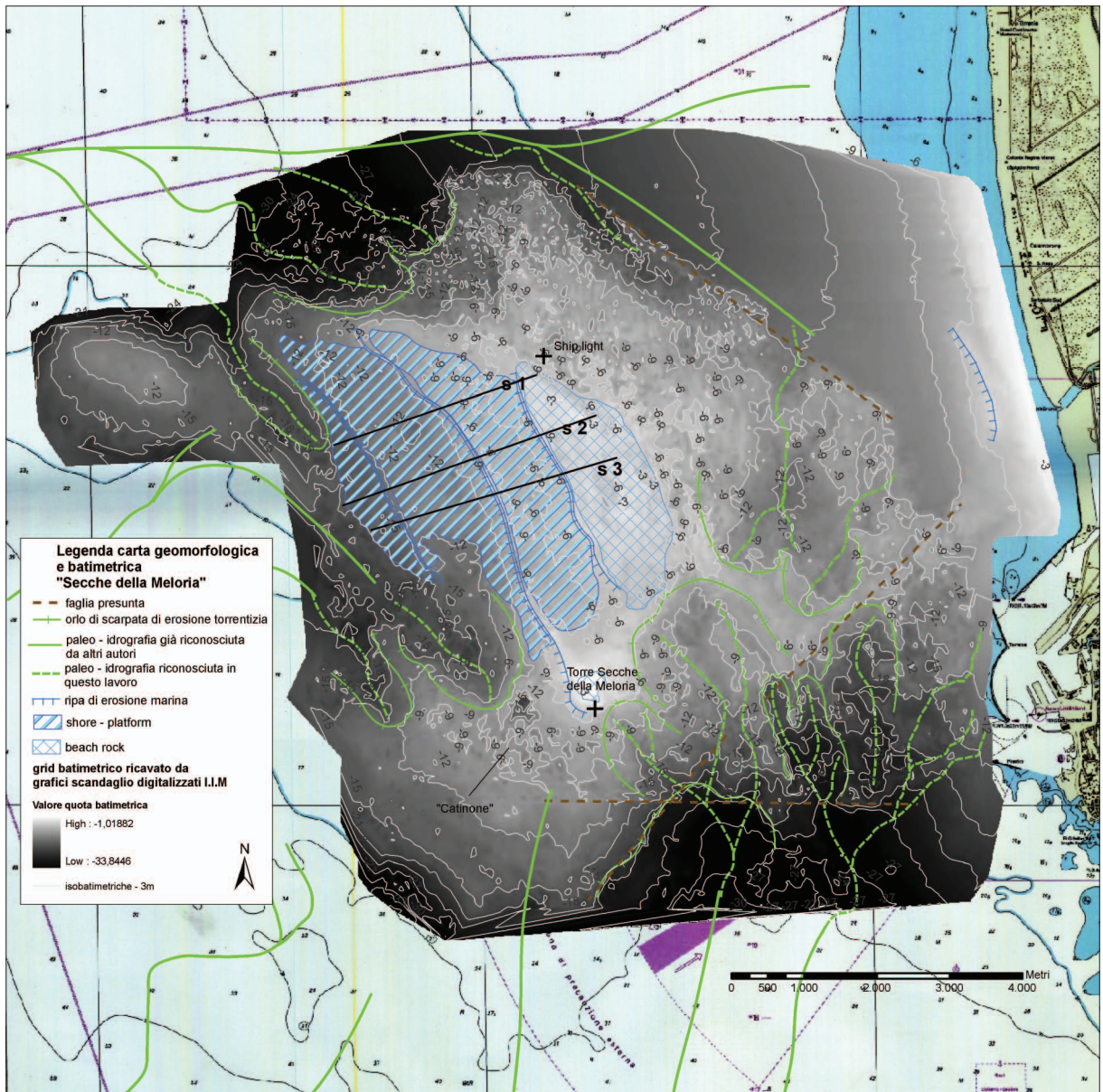


Figura 2 - Carta geomorfologica e batimetrica delle Secche della Meloria (derivata dai grafici di scandaglio digitalizzati IIM anni 1956, 1957, 1958). Le linee S1, S2 ed S3 indicano le sezioni utilizzate per la costruzione dei profili di Figura 3.

rilievo *multi beam* associato ad un rilievo SBP (Sub Botton Profiler) e SSS (Side Scan Sonar) è stato eseguito ad *hoc* nell'ambito di questo studio dalla GeoPolaris S.r.l nel 2009 e presenta un errore massimo, sui dati altimetrici, di 10 cm.

Tutti i dati acquisiti in formato digitale ed uniformati sono stati processati tramite software per la gestione dei sistemi territoriali (GIS) Arc Map 9.2.

I dati vettoriali appartenenti ai due rilievi batimetrici hanno permesso di ricostruire modelli digitali del terreno (Figg. 2, 4), sia 2D che 3D, (Triangular Irregular Network) e Grid. L'utilizzo di modelli digitali ha permesso di accentuare la scala altimetrica della rappresentazione spaziale della secca, consentendo di evidenziare particolari morfologie subacquee poco percepibili dalle semplice analisi delle carte batimetriche. L'errore delle carte batimetriche per quanto riguarda il posizionamento (longitudine e latitudine) è di circa 3 m. I dati di scandaglio hanno un errore altimetrico trascurabile (considerando che si tratta di mari relativamente calmi e fondali poco profondi).

Risultati

Topografia delle Secche

La carta di Figura 2 derivante dall'elaborazione dei dati batimetrici degli anni '50 dell'IIM di Genova e le relative sezioni (Fig. 3) permettono di dettagliare con maggior precisione rispetto agli studi precedenti la topografia delle Secche ed il contatto con i fondali sabbiosi adiacenti.

Morfologicamente la parte centrale delle Secche, estesa in direzione SSE – NNW tra la Torre della Meloria ed il fanale bianco Nord (o *ship light*), è costituita dai fondali più bassi con quote variabili da -1 m e -4 m. Rappresenta l'alto topografico sottomarino che ha il suo culmine nei pressi del Faro della Meloria dove il fondale raggiunge i minimi valori batimetrici (Fig. 2).

Mentre ad E la secca digrada uniformemente verso le coste livornesi, ad W si registra la presenza di tre scarpate, ubicate tra -5 m e -17 m, ed intervallate da superfici piane. Infine, sia a Nord che a Sud, il raccordo tra l'alto morfologico delle Secche ed il fondale è assai brusco, ed avviene attraverso una scarpata che porta da -8 m a -25 m a NW e da -9 m a -27 m a SE. Per spiegare questo andamento, in Figura 2, sono stati evidenziati alcuni lineamenti tettonici, interpretati come faglie sepolte in accordo con quanto mostrato da Structural Model of Italy (Bigi et al., 1992), questi potrebbero rappresentare elementi associati al lineamento tettonico principale verosimilmente bordanti il substrato pre-miocenico.

Paleoidrografia e morfologia fluviale

Questo studio ha consentito di identificare il tracciato della paleoidrografia di quest'area sommersa. In Figura 2 sono evidenziati gli elementi riconducibili alla paleoidrografia che deve aver caratterizzato l'area durante l'ul-

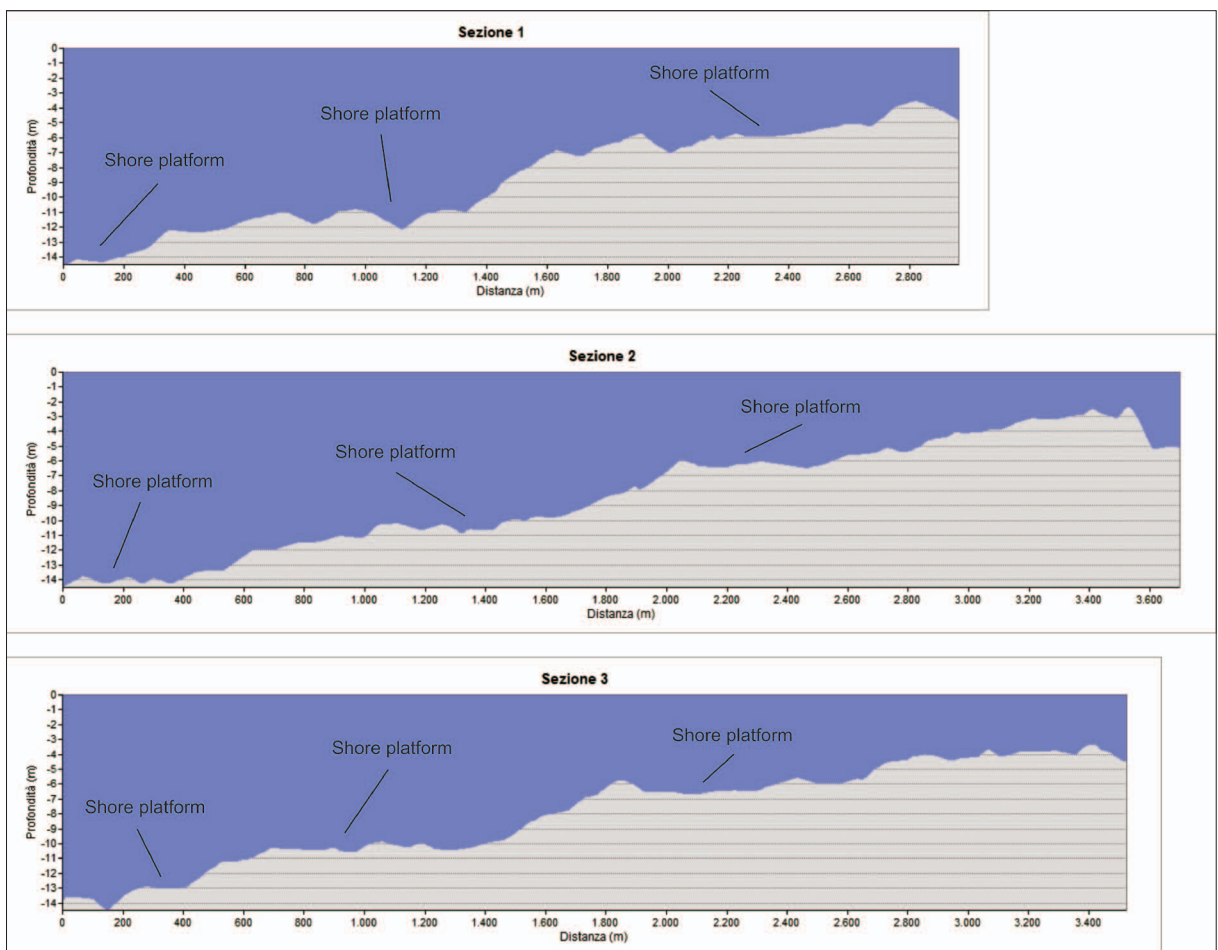


Figura 3 - Profili batimetrici eseguiti lungo le sezioni indicate in Figura 2.

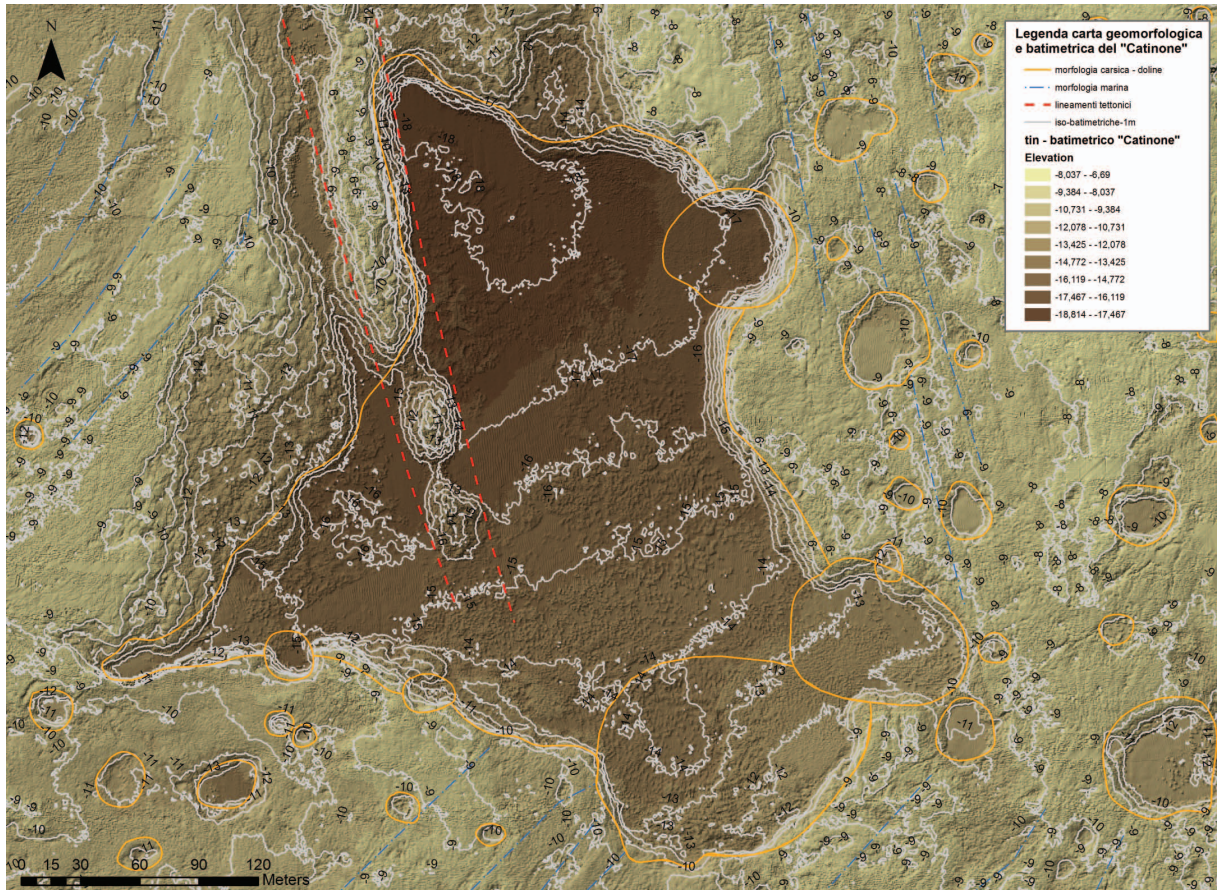


Figura 4 - Geomorfologica e batimetria del "Catinone" derivata dal rilievo batimetrico multi beam eseguito nel 2009.

timo periodo glaciale. Nella porzione SE delle Secche, ad una quota di circa -9 m, si riconoscono 4 scarpate con orlo arcuato e concavità rivolta verso le aree con fondale più profondo ubicate a sud. Tali scarpate, condizionate anche dal controllo strutturale (Fig.2), costituiscono probabilmente i resti di orli di degradazione legati all'erosione torrentizia e definiscono il limite dell'area di alimentazione dei torrenti. Al loro interno si individuano, infatti, morfologie valliformi con il tipico profilo topografico a V, riconducibili a tracce di una paleoidrografia caratterizzata da corsi d'acqua diretti, in questo caso, verso Sud. Nella parte occidentale delle Secche, a quota -9 m, si individuano 2 scarpate arcuate con concavità rivolta verso Nord, all'interno delle quali si riconoscono tratti di un reticolo idrografico relativo ad un corso d'acqua che potrebbe aver costituito un affluente del paleo-Arno (Segre, 1954; Mazzanti, 1979; Federici e Mazzanti, 1988).

Analogamente, nei pressi del limite Nord delle Secche, 3 scarpate arcuate con concavità rivolta a Nord, ubicate a quota -12 m, sembrano delimitare l'area di alimentazione di piccoli torrenti connessi con affluenti del paleo-Arno.

I canali e le depressioni valliformi mostrano una morfologia molto addolcita in relazione alla bassa pendenza e ai processi deposizionali ed erosivi marini che nel tempo ne hanno smussato i contorni. Particolarmente interessante è l'unione dei dati rilevati con quelli derivanti da studi pregressi e da vecchie carte batimetriche. I reticoli idrografici individuati rappresentano il proseguimento verso monte (sull'alto morfologico costituito dalle Secche) di bacini fluviali dei quali è stato possibile dettagliare il limite della zona di alimentazione rappresentato dalle scarpate di erosione mai descritte prima di questo studio.

Morfologia carsica

Le nuove elaborazioni dei dati batimetrici (Figg. 2 e 4) consentono di identificare sulla superficie delle Secche numerose depressioni, circolari, sub circolari e allungate. Tali depressioni come precedentemente accennato

sono note come catini. Questi mostrano dimensioni e profondità variabili e si sviluppano maggiormente nella dorsale ubicata nella porzione sud occidentale delle Secche, mentre l'entità del loro sviluppo, nel versante occidentale, sembra più limitata, anche se, al momento non facilmente leggibile dalle sole analisi *single beam*. Per poter evidenziare con maggiore precisione la morfologia dei catini ed in particolare quella della forma più rappresentativa tra questi, nota con il nome di "catinone", è stata eseguita un'indagine *multi beam* su di una piccola area delle Secche. La ristretta area indagata si estende per circa 2,5 km² ed è ubicata circa 600 m a WSW del Faro delle Melorie (Fig. 4). Le sue coordinate indicative sono:

43° 33',00 N, 10° 12',00E	43° 33',00 N, 10° 13',00E
43° 32',00 N, 10° 12',00E	43° 32',00 N, 10° 13',00E

Lo scopo dell'indagine *multi beam* è stato quello di dettagliare al meglio le caratteristiche morfologiche del catinone, ma anche quelle dei catini minori presenti nei dintorni, per poterle poi estendere anche agli altri catini presenti nelle aree delle Secche, delle quali si hanno solo rilievi di minor dettaglio.

Questa depressione è ubicata a circa 1 km a WSW della Torre della Meloria e presenta un'area di 74500 m² ed una lunghezza media di 450 m e larghezza media di 250 m. Il fondale della depressione è caratterizzato da una superficie subpianeggiante blandamente inclinata verso Nord, la cui profondità massima raggiunge i -19 m nella porzione Nord, mentre la porzione a Sud mostra una profondità media di -11,5 m. La differenza di quota tra la culminazione pianeggiante della depressione ed il fondo è di 8 m a N e 4 m a S. Il perimetro della depressione risulta molto irregolare. Le porzioni Nord e Sud orientale sono caratterizzate da diverse superfici sub circolari interrotte, che sembrano rappresentare i resti di singole depressioni inglobate successivamente nel perimetro del catinone. Il bordo Nord occidentale, a cui corrisponde la maggior profondità, presenta, invece, un netto andamento lineare orientato NNW - SSE.

L'elevata risoluzione raggiunta dall'indagine *multi beam* ha permesso di riconoscere sulla superficie del fondale i seguenti aspetti caratteristici:

- l'area al contorno del catinone nel tratto orientale e sud occidentale mostra la presenza di depressioni minori di perimetro variabile tra i 10 e 60 m e profondità compresa tra 1 e 3 m.
- nel tratto sud occidentale ed in tutto il lato orientale il fondale risulta caratterizzato da una serie di striature e fratture orientate SW - NE e N - S. Questi aspetti sono assimilabili alle morfologie descritte da Mazzanti e Parea (1979), nelle attuali coste in sommersione interessate da deposizione di panchina (Fig. 5).
- la superficie subpianeggiante dei catini più piccoli analogamente a quanto riscontrato nel catinone risulta inclinata verso Nord. L'inclinazione generalizzata del fondo delle depressioni verso Nord potrebbe essere associata alla presenza di un lineamento tettonico che ha favorito il basculamento e la cui espressione

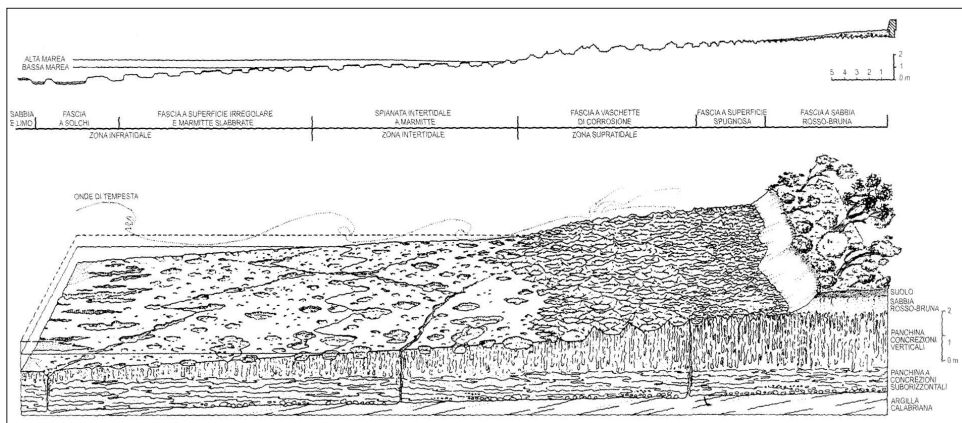


Figura 5 - Stereogramma per mostrare le strutture sedimentarie delle Calcareni di Castiglioncello e le fasce di erosione che si sviluppano sopra la loro superficie per azione, nella fascia sopratidale, dell'aerosol marino nei giorni di vento di mare in cui si mescolano le acque dolci dei giorni di pioggia e, nelle fasce sommerso per le azioni della dinamica marina (Mazzanti e Parea, 1979).

ne topografica può essere rappresentata dalla presenza della scarpata rettilinea che borda a NW il catinone. Le analisi eseguite in questa ricerca non permettono di risolvere con certezza il problema legato alle caratteristiche del substrato pre – miocenico delle Secche e di evidenziare se queste morfologie possano rappresentare processi carsici ereditati da un substrato carsificabile o processi direttamente impostati sulle calcareniti della panchina. Tuttavia, le evidenze geomorfologiche sembrano confermare una genesi carsica in ambiente emerso per queste depressioni.

A conferma di questa ipotesi l'aspetto delle pareti, ma in particolare il perimetro del catinone che sembra derivare dalla coalescenza di più catini minori. Le maggiori dimensioni (in ampiezza e profondità) rispetto ad altri catini possono essere associate anche alla presenza di sistemi di fatturazione e debolezza che possono aver favorito i processi di infiltrazione e percolazione di acqua. La similitudine tra le morfologie individuate sulla superficie delle Secche nei dintorni del catinone e quelle descritte da Mazzanti e Parea (1979) sulla panchina livornese in area infratidale (Fig. 5) farebbe propendere per processi instauratisi sulle coste livornesi durante la fase di sommersione, dove, in seguito alla risalita del mare, le depressioni ubicate su superfici a bassa pendenza sono state in parte riempite e colonizzate da materiale organogeno. L'ipotesi che tali morfologie siano collegate ad erosione meccanica da vortici circolari di acque con ghiaia direttamente sulla panchina in condizioni di semi emersione risulta, invece, difficilmente sostenibile, viste le dimensioni e la profondità delle depressioni che supera nel caso del catinone gli 8 m (infatti la profondità del catinone risulta 8 m, ma è probabilmente maggiore, visto che non siamo in grado di stimare lo spessore dei depositi organogeni presenti attualmente all'interno nella depressione).

Morfologia costiera

L'analisi dei dati batimetrici ha permesso di evidenziare nella porzione occidentale delle Secche la presenza di almeno due superfici pianeggianti bordate da altrettante scarpate verticali con andamento sub parallelo alla linea di costa attuale (Fig. 2).

La prima superficie pianeggiante, ubicata ad una quota di circa -12 m, ha una lunghezza di circa 5,5 km ad una larghezza di circa 1,2 km ed ha una leggera pendenza verso Ovest, cioè verso il mare aperto. Verso Est si raccorda ad una scarpata lunga poco più di 5 km, che presenta un dislivello di circa 6 m.

La seconda superficie pianeggiante, ubicata a quota -6 m, ha una lunghezza di circa 5 km, una larghezza di circa 1 km. E' delimitata ad est da una scarpata che ha una lunghezza di quasi 4 km ed un dislivello di circa 3 m. Queste due aree pianeggianti possono essere interpretate come *shore-platforms* i cui margini interni possono rappresentare importanti *markers* dei livelli di stazionamento del mare durante la risalita olocenica. In particolare, tenendo conto dell'errore solitamente attribuito a questo tipo di indicatori (Pirazzoli, 2007) la quota dei due margini interni sarebbe stata individuata rispettivamente a $-12 \pm 1,5$ m e $-6 \pm 1,5$ m sul livello del mare attuale.

Lembi residui di una piattaforma analoga a quelle precedentemente descritte sono individuabili con maggior margine d'incertezza a quota -15 m. Anche in questo caso la piattaforma risulterebbe bordata verso est

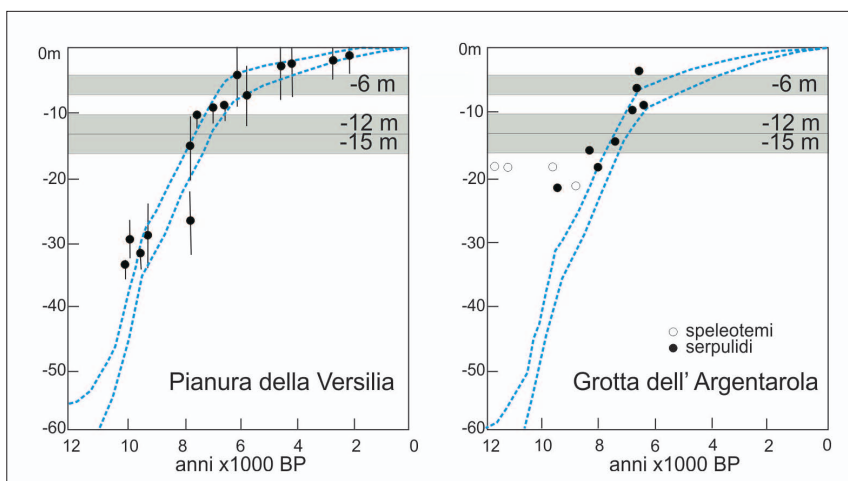


Figura 6 - Curve di risalita del livello marino osservate e previste in base a modelli nella piana della Versilia (carotaggio Enea 43°48'N - 10°19'E) e nella grotta dell'Argentarola (42°26'N - 11°07' E). Le due linee indicano i valori massimi e minimi previsti in base a modelli. In nero ubicazione dei markers di stazionamento del livello del mare con la relativa barra di errore. Le barre grigie indicano le quote dei markers individuati alle secche della Meloria (l'ampiezza della barra indica l'errore).

da una scarpata con dislivello di circa 3 m e lunghezza di qualche chilometro. La presenza di tracce paleo idrografiche e della relativa scarpata di erosione torrentizia rendono, in questo caso, più difficile la lettura del dato topografico. Tuttavia la quota del margine interno è stata individuata a $-15 \pm 1,5$ m sul livello del mare attuale.

Per quanto riguarda le piattaforme oloceniche con quota dei margini interni individuata a -15, -12, -6 m allo stato attuale delle ricerche non esistono datazioni dirette dei depositi. Ma riportando i 3 livelli sulle curve di risalita del livello marino negli ultimi 10.000 osservate e previste in base a modelli nella piana della Versilia (Lambeck et al., 2004; Nisi et al., 2003) e all'Argentarola (Antonioli et al., 2004) si osserva che i livelli individuati sono compatibili con quelli di stazionamenti registrati nella piana della Versilia e all'Argentarola tra 8000 e 4000 anni BP (Fig. 6). L'ipotesi che queste morfologie, mai descritte precedentemente, siano effettivamente legate a fasi di stazionamento del mare durante la risalita olocenica sembra dunque plausibile. Non si può tuttavia escludere una morfogenesi avvenuta durante una caduta eustatica, cioè prima dell'Ultimo Massimo Glaciale. In quest'ottica una datazione assoluta potrebbe portare un sicuro contributo alla curve locali di risalita.

Conclusioni

Il presente lavoro ha consentito di portare un contributo alla conoscenza della geomorfologia sommersa delle Secche della Meloria con particolare riguardo agli aspetti morfologici dei catini, allo sviluppo della rete idrografica e alla paleo morfologia costiera.

In particolare sono state identificate tracce di una antica idrografia probabilmente riferibile all'ultimo periodo glaciale. L'andamento dei principali corsi d'acqua che hanno interessato questo alto morfologico è stato ricostruito fino al bacino di alimentazione identificato dalla presenza di scarpate di erosione (mai segnalate prima di questo lavoro).

E' stata ricostruita in modo dettagliato la morfologia delle forme depresse, note come catini, per le quali si è ipotizzata una genesi casca condizionata dalla tettonica.

Nel versante SW delle Secche della Meloria, sono state individuate tre piattaforme bordate da tre scarpate. Queste morfologie sono state interpretate rispettivamente come shore platformes e paleofalesie. E' stata osservata una buona correlazione dei dati altimetrici di questi markers (-6 m, -12 m, -15 m) con i dati di stazionamento del livello del mare registrati tra 8000 e 4000 anni BP nella grotta dell'Argentarola e nella pianura della Versilia. Tuttavia, è importante segnalare che queste morfologie potrebbero essere state formate dal mare in fase regressiva, cioè prima dell'Ultimo Massimo Glaciale. Solo l'ausilio di un preciso riferimento cronologico potrà chiarire questo punto e consentire di ipotizzare l'evoluzione paleogeografica delle Secche della Meloria. Questo aspetto costituisce la prospettiva futura di questo lavoro che ha fornito nuovi dati morfologici utili per lo studio di questo settore costiero.

Ringraziamenti

Questo lavoro è stato svolto grazie al finanziamento della Fondazione Cassa di Risparmio di Livorno.

Bibliografia

- Aiello E., Bartolini C., Gabbani G., Mazzanti R., Pranzini E., Valleri G. (1981) - *Morfologia e geologia delle Secche di Vada*. Boll. Soc. Geol. It., 100: 339-368.
- Antonioli F., Bard E., Potter E.-K., Silenzi S., Impronta 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.
- Bacci G., Badino G., Lodi E., Rossi L. (1969) - *Biologia delle Secche della Meloria I - Prime ricerche e problemi di conservazione e di ripopolamento*. Boll. Pesca Piscic. Idrobiol., 24: 5-30.
- Barsotti G., Federici P.R., Giannelli L., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G. (1974) - *Studio del quaternario livornese, con particolare riferimento alla stratigrafia ed alle faune delle formazioni del Bacino di carenaggio della Torre del Fanale*. Mem. Soc. Geol. It., 13: 425-495.
- Bigi G., Cosentino D., Parotto M., Sartori R. e Scandone P. (1991) - *Structural model of Italy. Scala 1:500.000*. CNR-PFG.
- Boschian G., Bossio A., Dell'Antonia A., Mazzanti R. (2006) - *Il Quaternario della Toscana Costiera*. Studi

- Costieri, 12: 1-207.
- Fancelli Galletti M.L. (1974) - *Analisi pollinica di sedimenti sovrastanti la panchina tirreniana di Torre del Fanale in Livorno*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem. Serie A 81: 222-226.
- Federici P.R., Mazzanti R. (1988) - *L'evoluzione della paleogeografia e della rete idrografica del Valdarno Inferiore*. Boll. Soc. Geogr. It., 5: 573-615.
- Federici P.R., Mazzanti R. (1995) - *Note sulle pianure costiere della Toscana*. Mem. Soc. Geogr. It., 13: 165-270
- Fierro G., Maglietta F., Piacentino G.B. (1969) - *Biologia delle Secche della Meloria*. Boll. Pesca Piscic. Idrobiol. - Vol XXIV - f.2 116-149.
- Giannelli L., Mazzanti R., Mazzei R., Salvatorini G. e Sanesi G. (1982) - *Nuove osservazioni sul Quaternario di Livorno*. In Studi sul Territorio Livornese, Archeologia, Antropologia, Geologia, entro Livornese di studi archeologici, Livorno.
- Ghelardoni R., Giannini E. e Nardi R. (1968) - *Ricostruzione paleogeografica dei bacini neogenici e quaternari nella bassa valle dell'Arno sulla base dei sondaggi e dei rilievi sismici*. Mem. Soc. Geol. It., 7: 91-106.
- Lambeck K., Anzidei M., Antonioli F., Benini A, Esposito E.(2004) - *Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for modern sea level rise*. Earth and Planetary Science Letter, 224 563-575
- Mazzanti R., Parea G. C. (1979) - *Erosione della "Panchina" sui litorali di Livorno e Rosignano*. Boll. Soc. Geol. It., 96: 457 - 489.
- Mazzanti R. (1983) - *Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'arcipelago della Toscana*. Boll.Soc.Geol. It., 102.
- Mazzanti R., Pasquinucci M., Salghetti Drioli U. (1984) - *Il sistema Secche della Meloria - Porto pisano: geomorfologia e biologia marina in relazione ai reperti archeologici*. In AA.VV., 1284. L'anno della Meloria, Pisa, pp. 7-54.
- Nisi M., Antonioli F., Dai Pra G., Leoni G. e Silenzi S. (2003) - *Coastal deformation between the Versilia and the Garigliano plains (Italy) since the last interglacial stage*. Journal of Quaternary Science, 18(8): 709-721
- Pirazzoli, P.A. (2007) - *Sea level studies - Geomorphological indicators*. Enciclopedia of Quaternary Science Elsevier, pp. 2974-2983.
- Segre A. G. (1955) - *Nota sulla idrografia continentale e marina*. Note illustrative C.G.I II ediz., F° 111 - Livorno .Serv. Geol. D'It: 20-26.

Ricevuto il 08/10/2010, accettato il 13/5/2011.