

Possibilità di misura di antichi livelli del mare nel litorale tra le foci dei fiumi Arno e Fine in Toscana

Possibility of quantifying ancient sea levels along the coast between Arno and Fine rivers mouths (Tuscany, Italy)

GALOPPINI R. (*), LETTA C. (**), MAZZANTI R. (***),
TADDEI M. (*), TESSARI R. (*), VIRESINI L. (*)

RIASSUNTO – In questa nota vengono esaminate le possibilità di misurare antichi livelli del mare nell'area compresa tra le foci dei fiumi Arno e Fine sul litorale toscano.

I riferimenti per questa indagine sono offerti dalle quote alle quali si trovano le spianate di abrasione sotto falesia di massima trasgressione marina per i cicli sedimentari del Pleistocene medio e del Pleistocene superiore. Per la parte di quest'ultimo intervallo cronologico spettante all'ultima glaciazione altre informazioni provengono dalle conoscenze sui tratti di paleoalvei fluviali sommersi rintracciati nel fondale marino prospiciente il litorale in esame.

Per l'Olocene i riferimenti utilizzabili sono offerti dalla posizione di una tomba tardo-ellenistica rinvenuta nel mare di Castiglioncello e dalle cave inondate presenti nella costa tra la Torre del Boccale e Calignai a sud di Livorno.

Il livello del mare di circa 2.300 anni or sono è stato calcolato 1,65 m più basso di quello attuale. È stata inoltre ribadita la mancanza di indizi di una posizione del livello del mare più alta dell'attuale per tutto l'Olocene e la posizione fino intorno quota -120 dei paleoalvei sommersi risalenti all'ultima fase glaciale.

La spianata di abrasione del Tirreniano si trova fino a quota 11 e i sedimenti marini ad essa sovrapposti non raggiungono quota 15. La spianata di abrasione del terrazzo del Pleistocene medio si eleva fino a quota 145. Quest'ultima posizione comporta un notevole sollevamento tettonico del substrato che vanifica le possibilità di misura del corrispondente livello del mare.

PAROLE CHIAVE – Geomorfologia, Antichi livelli del mare, Pleistocene medio e superiore, Olocene, Costa Toscana

SUMMARY – This paper deals with the possibility of quantifying the ancient sea levels in the area between the mouths of the rivers Arno and Fine along the Tuscany Coast.

The enforcing aspects of this investigation are represented by the heights a.s.l. of the abrasion platforms under maxi-

mum-transgression cliffs of the sedimentary cycles in the middle and upper Pleistocene. For the last glaciation of the latter one, other informations arise from the knowledge of the submerged rivers paleobeds on the sea-floor off the cited coast.

For the period of Holocene, the imputing source of informations arises from the position of a late-hellenistic grave on the sea-floor off Castiglioncello and from the submerged quarries between Boccale Tower and Calignai, south of Livorno.

2.300 years ago, the sea level is estimated to have been 1.65 m below the present one. There is no evidence of a sea level higher than now during the whole Holocene, but the position of the submerged paleobeds of the last glacial period is known (-120 m).

The Tyrrhenian abrasion platform can be found up to 11 m, whereas the marine sediments over it reach 15 m. The middle Pleistocene abrasion platform turns up to 145 m. This last position displays a substantial uplift of the substrate which prevents the possibility of estimating the corresponding sea level.

KEY WORDS – Geomorphology, Ancient sea levels, Middle and upper Pleistocene, Holocene, Tuscany Coast.

1. – INTRODUZIONE

Il litorale tra le foci dei fiumi Arno e Fine è tra i più favorevoli della Toscana per la misura di antichi livelli del mare pleistocenici ed olocenici. Infatti esso presenta un tratto centrale, tra Ardenza e Castiglioncello, nel quale spianate di abrasione marina pleistoceniche sono scolpite su rocce molto più antiche (di età comprese tra il Giurassico superiore e l'Oligocene) costituenti il nucleo dei Monti Li-

(*) Museo di Storia Naturale di Livorno, Via Roma, 234, Livorno.

(**) Dipartimento di Scienze Storiche del Mondo antico dell'Università di Pisa, Via Galvani, 1, 56100 Pisa.

(***) Centro di Geologia strutturale e dinamica dell'Appennino del C.N.R., Via S. Maria, 53, 56100 Pisa.

vornesi, completamente diagenizzate e poco o per niente permeabili per le quali è possibile escludere un'attività di subsidenza per compattazione e/o perdita d'acqua. Ai margini NW, W e SE di queste rocce pre-neogeniche dei Monti Livornesi, sulle spianate di abrasione marina di cui sopra, si appoggiano sedimenti del Pleistocene medio e del superiore con spessori piccoli, metrici o, addirittura, centimetrici e disposizione «a mantello»: i più recenti addossati «base contro base» ai più antichi, secondo la classica giacitura dei terrazzi. A NW e SE di questi ultimi si aprono le pianure rispettivamente del fiume Arno e del Fine con notevoli possibilità di datazioni nell'ambito dell'Olocene.

Il litorale tra le foci dell'Arno e del Fine si allunga così in un primo tratto basso e sabbioso da Marina di Pisa fino a Livorno, per il quale è ampiamente nota l'evoluzione dall'VIII sec. a.C. ad oggi (MAZZANTI & PASQUINUCCI, 1983; MAZZANTI *et alii*, 1984; MAZZANTI *et alii*, 1990; FEDERICI & MAZZANTI, in stampa); in un secondo tratto tra Livorno e Ardenza, nel quale corrisponde a una costa bassa ma rocciosa nei sedimenti del Terrazzo di Livorno del Pleistocene superiore; in un terzo tratto tra Ardenza e Castiglioncello nel quale corrisponde a una falesia di rocce pre-neogeniche affioranti al di sotto del Terrazzo del Pleistocene superiore (salvo i due piccoli affioramenti rispettivamente in sinistra della Foce d'Ardenza e nella Punta di Castiglioncello, costituiti da calcari del Miocene superiore); in un quarto tratto tra Castiglioncello e la Punta Lillatro di Rosignano Solvay, nel quale corrisponde di nuovo a una costa bassa ma rocciosa dei sedimenti del Terrazzo di Rosignano Solvay del Pleistocene superiore; infine in un quinto tratto tra la Punta Lillatro e la Foce di Fine, nel quale corrisponde a una spiaggia ormai prevalentemente "chimica" in quanto fortemente rifornita dai reflui di lavorazione degli Stabilimenti Solvay (fig. 1).

I due piccoli affioramenti sedimentari del Miocene superiore nei punti dove il litorale incontra le rocce costituenti i Monti Livornesi, rispettivamente al limite NW, sotto il Terrazzo di Livorno, e al limite SE alla Punta di Castiglioncello, sotto il Terrazzo di Rosignano Solvay, sono un indizio, confermato da numerosissimi sondaggi e scavi, della presenza di successioni stratigrafiche del Neogene e Pleistocene inferiore al di sotto di questi terrazzi in località più distanti dagli stessi Monti Livornesi. Questa presenza di rocce facilmente erodibili e di morfologie poco elevate è stata indicata (MAZZANTI, 1983) come essenziale causa predisponente per una notevole estensione nell'entroterra delle trasgressioni eustati-

che. Così queste ultime hanno potuto svilupparsi per alcuni chilometri nel retroterra di Livorno (LAZZAROTTO *et alii*, 1990) e di Rosignano Solvay (BARTOLETTI *et alii*, 1985a), appunto al di sopra di sedimenti neogenici e del Pleistocene inferiore a morfologia già subpianeggiante fino a dove non hanno incontrato rocce a morfologia più ripida e meno erodibili, pre-neogeniche, sulle quali hanno scolpito spianate di abrasione solo per alcune decine di metri, come è avvenuto tra Ardenza e Castiglioncello, cioè nel tratto «ridossato al monte» del litorale.

Più alti della spianata e dei sedimenti del terrazzo del Pleistocene superiore si trovano quelli riferibili al terrazzo del Pleistocene medio, sia nell'entroterra di Livorno sia in quello di Rosignano Solvay, vale a dire rispettivamente verso il limite NW e il limite SE dei Monti Livornesi (fig. 1). La presenza di questi terrazzi, malgrado le tante incertezze che ancora rimangono al loro riguardo, è molto utile per indicare la tendenza dei movimenti tettonici a iniziare dalla loro formazione.

Per limitarci il più possibile alla descrizione degli argomenti più strettamente riguardanti questa nota, rimandiamo ai recenti lavori di BARTOLETTI *et alii* (1985a) e di LAZZAROTTO *et alii* (1990), forniti di carte geologiche a scala 1:25.000 di tutte le località citate, e al lavoro di FEDERICI & MAZZANTI (in stampa) per il più recente inquadramento cronostratigrafico del Pleistocene medio-superiore ed Olocene della Toscana costiera(1). Non ci dilungheremo quindi a descrivere i particolari su stratigrafie e morfologie già ampiamente e recentemente esaminati nei lavori suddetti. Al nostro argomento interessano infatti:

- la sicurezza della natura marina e della datazione delle morfologie o dei sedimenti di riferimento nei terrazzi;
- la mappatura con le quote delle linee di riva di massima espansione delle trasgressioni (traibili dalle carte geologiche di LAZZAROTTO *et alii*, 1990 e di BARTOLETTI *et alii*, 1985a) che consideriamo affidabili solo nel caso dei solchi di battigia e delle piattaforme di abrasione sotto falesia (BOSSIO *et alii*, 1993);
- la misura delle eventuali inclinazioni dei terrazzi;
- la possibilità di escludere l'esistenza di moti subsidenti, ovviamente negli ambiti cronologici considerati;

(1) Consideriamo il Pleistocene superiore come l'arco di tempo compreso tra la trasgressione tirreniana — di circa 125.000 anni or sono — e il veloce innalzamento del livello del mare registrato a partire da 10.000 anni or sono (ALESSIO *et alii*, 1992).

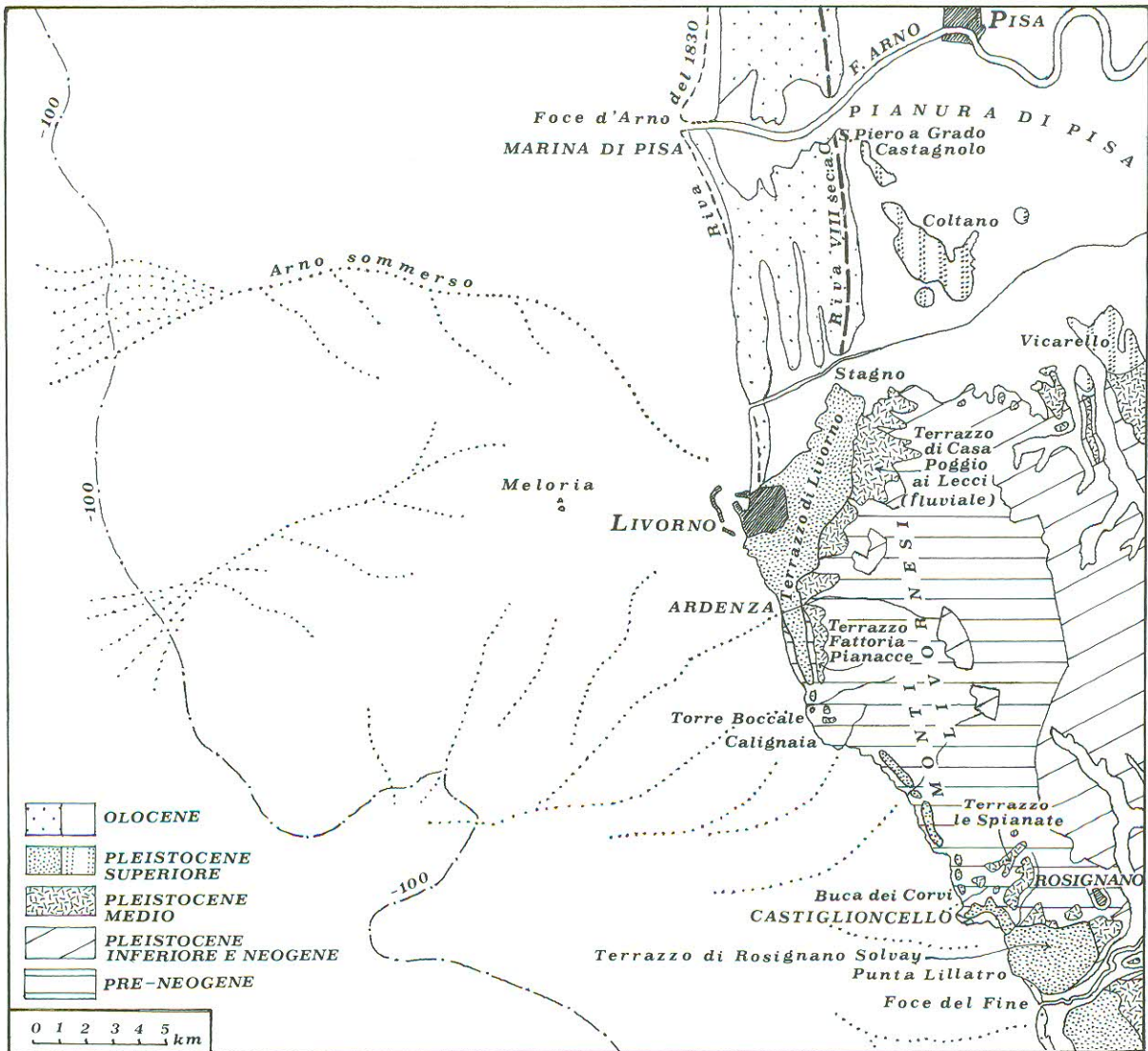


Fig. 1 - Carta geomorfologica schematica del litorale compreso tra le foci dei fiumi Arno e Fine.
Schematic geomorphological map of the coastal area between the mouths of the rivers Arno and Fine.

- la precisazione della natura, entità e durata dei movimenti tettonici;
- la sicurezza della localizzazione e dell'età dei reperti archeologici citati in terra e in mare.

2. - MISURE NEI TERRAZZI DEL PLEISTOCENE MEDIO

Nell'entroterra di Livorno il Terrazzo della Fattoria Pianacce è riferibile al Pleistocene medio, per presenza di industrie del Clactoniano e dell'Acheuleano (SARTI & STODUTI, 1984) nei sedimenti continentali che lo sormontano direttamente. Esso presenta piattaforma di abrasione marina (con fori di litofagi negli strati e ciottoli calcarei del substrato e della base) sotto paleofalesia a Monte Burrone (a

quota 125), a Villa Franceschi (a quota 90) e a Monte Rotondo (a quota 70). Queste differenze delle quote sotto paleofalesia sono di per sé significative che questo terrazzo ha subito una dislocazione tettonica lungo la linea di massima ingressione. BARSOTTI *et alii* (1974) della base di questo terrazzo hanno misurato la maggiore inclinazione nel senso trasversale alla paleocosta in $4^{\circ}40'$, lungo il fianco sinistro della Valle dell'Ardenza, e la minore inclinazione in $1^{\circ}10'$ in corrispondenza del Rio della Valletta. Queste differenze di valori sono difficilmente attribuibili a originarie variazioni della morfologia del substrato che appare ben livellato; è quindi molto probabile che siano dovute a movimenti tettonici differenziali.

Nell'entroterra di Rosignano Solvay il terrazzo delle Spianate è riferibile al Pleistocene medio, per

presenza di industria del Clactoniano (SAMMARTINO, 1985) nei sedimenti continentali che lo sormontano direttamente.

Esso presenta piattaforma di abrasione sotto paleofalesia a Case le Spianate (a quota 145), a Casa Campofreno (a quota 124) e alle Sughere (a quota 100). Anche queste differenze sono indicative di dislocazioni tettoniche subite dalla linea di massima ingressione e, quindi, dal terrazzo. Per la frammentarietà degli affioramenti non è possibile misurare con precisione l'inclinazione della base di questo terrazzo che si aggira comunque intorno a 2° in corrispondenza del lembo delle Spianate.

Tenendo presente che i diversi tipi di calcoli che sono stati effettuati nell'ipotesi di uno scioglimento completo dei ghiacciai della Terra sono concordi nell'ammettere un sollevamento del livello del mare rispetto a quello attuale di non più di 50-60 m (FAIRBRIDGE, 1966 - PATTULLO, 1966), la presenza di una spianata d'abrasione sotto paleofalesia a quota 145 richiede un sollevamento tettonico non minore di 95-85 m. Questo valore è tuttavia vanificato dalla considerazione che molto difficilmente nelle fasi interglaciali pleistoceniche è possibile che si siano sciolti completamente tutti i ghiacciai della Terra. Né, d'altra parte, disponiamo di un riferimento preciso dell'età, in anni, durante la quale si è svolto l'evento trasgressivo che ha modellato la base di questi terrazzi, che riteniamo di potere considerare formati contemporaneamente ed essere stati in seguito dislocati per tettonica in modo non completamente uniforme (MAZZANTI, 1979 e 1983).

Le considerazioni di cui sopra inficiano la possibilità di calcoli precisi. Con questa premessa riteniamo che una valutazione del tutto approssimativa dei fenomeni collegati a questo episodio trasgressivo e alle vicende tettoniche posteriori può essere tentata su queste basi:

- per analogia con la quota non sorpassata della trasgressione tirreniana, ipotizziamo in 15 m la quota della massima ingressione marina che ha modellato questi terrazzi;

- indichiamo in 400.000 anni l'età di questo evento in quanto intermedia tra la base (circa 700.000) e il tetto (circa 125.000) del Pleistocene medio.

Secondo queste premesse, il sollevamento tettonico massimo del terrazzo risulterebbe di 130 m (cioè di 0,32 mm/anno se fosse avvenuto uniformemente) e, per una quota meno estrema di 115 m, più frequente negli affioramenti, risulterebbe di 100 m (cioè di 0,28 mm/anno per uno sviluppo uniforme).

A parte questi tentativi di quantificazione di un fenomeno con tante variabili per adesso non perfettamente conosciute, la presenza dei terrazzi eustatici del Pleistocene medio a quote superiori a 50-60 m sui Monti Livornesi è comunque indicativa di un loro lento sollevamento tettonico nell'arco cronologico a partire dalla metà del Pleistocene medio.

3. - MISURE NEI TERRAZZI E NEI SEDIMENTI DEL PLEISTOCENE SUPERIORE

Il terrazzo di Livorno, con base sicuramente del Tirreniano per la bella fauna di tipo «senegalese» del Bacino di carenaggio di Torre del Fanale (BARSOTTI *et alii*, 1974), è conservato in modo migliore e più unitario dei precedenti, con circa 40 km² di affioramenti. La paleofalesia di massima ingressione marina dell'evento eustatico che lo ha formato è visibile lungo alcuni chilometri in molte località (Podere Aiaccio di Suese, limite orientale di Pian di Rota, Casa Bagnoli, Fabbrica di Cheddite, Villa Leccia, La Scopara, Fattoria La Leccia, Villa San Giorgio; località segnalate nella carta geologica di LAZZAROTTO *et alii*, 1990) ma in nessuna è apparsa la spianata di abrasione basale, essendo presenti ricoprimenti eolici fino a quote di 30 m. Possiamo solo precisare che lungo tutta questa paleofalesia non sono stati osservati sedimenti marini a quote superiori a 15 m.

Tra Ardenza e Castiglioncello, lungo circa 14 km di costa, il terrazzo del Pleistocene superiore presenta buoni affioramenti anche se molto incisi dai corsi d'acqua trasversali e se sviluppati per poche centinaia di metri verso l'interno. E' questa la zona nella quale la spianata di abrasione basale, in genere sugli 11 m di quota, e la paleofalesia di culmine trasgressivo, appaiono con migliore evidenza mentre il corpo dei sedimenti marini e continentali sovrapposti è assai frammentario. La successione più completa di questi ultimi si trova alla Buca dei Corvi di Castiglioncello sovrapposta a una spianata di abrasione basale a 11 m di quota sotto paleofalesia. Un banco potente fino a 1,5 m (OTTMAN, 1954) a fauna «senegalese» caratteristica del Tirreniano (BLANC, 1953) sormonta la spianata di trasgressione e suggerisce che il livello del mare può essersi spinto fino a quota 12,5. Conchiglie di *Glycymeris* prelevate da questo banco hanno permesso un'attribuzione all'Aminozone E corrispondente a circa 125.000 anni or sono (HEARTY *et alii*, 1986).

BARSOTTI *et alii* (1974) hanno rilevato che la superficie di base di questo terrazzo lungo la distanza di 3.000 m da quota 11 presso la Torre di Calafuria raggiunge il livello del mare presso la Foce d'Ardenza con una inclinazione di 20'.

Il Terrazzo di Rosignano Solvay, in continuità di giacitura con i sedimenti del Pleistocene superiore di Castiglioncello, presenta bei tratti della paleofalesia di massima ingressione marina (Case Bini, Strada di Lungomonte, Fiammetta, la Casa, Marmontana; località segnalate nella carta geologica di BARTOLETTI *et alii*, 1985a) ma, come per il Terrazzo di Livorno, la presenza di depositi eolici fino a quote intorno a 30 m nasconde la spianata di abrasione basale. Quest'ultima è stata messa in buona evidenza dall'incisione del Fiume Fine tra l'Argine del Colle (quota 10) e la Fornace (quota 15). I 5 m di dislivello su una distanza di 1.000 m corrispondono anche qui a un'inclinazione di 20' che, data l'immersione verso SW — cioè verso mare — della superficie d'abrasione, può corrispondere a quella originaria legata alla risalita del livello del mare durante lo sviluppo della trasgressione tirreniana sopra un substrato facilmente erodibile (*Argille ad Arctica islandica*) e molto probabilmente a morfologia poco elevata. L'insieme dei dati di cui sopra indica che il terrazzo del Pleistocene superiore, suddiviso nelle tre sezioni di Livorno, del tratto «ridossato al monte» di Ardenza-Castiglioncello e di Rosignano Solvay, è molto regolare. Salvo le incisioni trasversali dei corsi d'acqua in corrispondenza delle quali è stato eroso nel corso delle fasi di grande abbassamento del livello del mare corrispondenti all'ultima glaciazione, esso si estende per circa 25 km lungo la costa tra gli inizi delle spiagge corrispondenti alle pianure di Pisa, a NW, e del fiume Fine, a SE (fig. 1). Chi ne osservi la giacitura dal mare può constatare che da orizzontale tra la Torre di Calafuria e Castiglioncello si flette con inclinazione di 20' rispettivamente verso NW, fino a Livorno, e verso SE, fino alla Punta Lillatro di Rosignano Solvay, località in corrispondenza delle quali è ricoperto dai sedimenti olocenici. Per spiegare questa debole arcuatura non è indispensabile ipotizzare movimenti di subsidenza diagenetica e/o tettonica, infatti i terrazzi di Livorno e di Rosignano Solvay si addentrano per alcuni chilometri nell'entroterra dove terminano, nei sedimenti marini, alla quota di 15 m molto vicina a quella di 12,5 m alla quale termina la sequenza marina dello stesso terrazzo tirreniano nel tratto «ridossato al monte» tra Ardenza e Castiglioncello. Di conseguenza questa arcuatura può essere attribuita semplicemente a un

effetto della natura diacronica della trasgressione tirreniana collegato al fatto che lungo il litorale non affiorano sedimenti esattamente coevi anche se appartenenti allo stesso ciclo trasgressivo. Coeva va ritenuta invece, in una trasgressione eustatica, la linea di massima ingressione marina ricostruibile al piede dei vari tratti della paleofalesia. Questa linea, malgrado presenti in pianta un ampio protendimento verso mare di più di 3 km fra l'area «ridossata al monte» (tra Ardenza e Castiglioncello) e quelle corrispondenti alle piane di Livorno e di Rosignano Solvay, si allunga come abbiamo veduto su quote che non raggiungono 15 m né sono minori di 11 su 25 km di paleocosta: essa è quindi molto regolare. Ciò non toglie, tuttavia, che abbia subito un debole sollevamento in blocco, solidale con tutti i Monti Livornesi e con le piane di Livorno e di Rosignano Solvay.

Per valutare quest'ultima eventualità attualmente non disponiamo di molti argomenti, tanto più che ormai è chiarito che la superficie del mare non può essere assimilata esattamente a un ellissoide di rotazione presentando aree che si discostano notevolmente da questa forma ideale, per cui diventano poco attendibili confronti tra zone molto distanti (PIRAZZOLI, 1981). L'argomento è stato trattato di recente da BOSSIO *et alii* (1993) con il confronto delle quote più attendibili per il sollevamento massimo del livello del mare nel Pleistocene superiore lungo la fascia litorale toscana. Si tratta della quota di 12,5 m alla Buca dei Corvi di Castiglioncello e di 9,4 m alla Baia dei Turchi dell'Isola di Pianosa. La differenza di 3,1 m tra queste due quote non trova giustificazione in un diverso livello del mare tra la Costa Livornese e quella di Pianosa; di conseguenza non resta che dedurre o un innalzamento tettonico della prima o un abbassamento della seconda salvo situazioni intermedie di più problematica definizione. Il valore di questa differenza, calcolata nell'arco di 125.000 anni, è di 0,0248 mm/anno nel caso di uno sviluppo uniforme dei fenomeni.

In conclusione il Terrazzo del Pleistocene superiore tra la piana di Livorno e quella di Rosignano Solvay può essere considerato stabile, o sottoposto a un lentissimo sollevamento epirogenetico, nell'ambito cronologico degli ultimi 125.000 anni. Della fascia costiera tra le foci dell'Arno e del Fine disponiamo di una notevole quantità di informazioni anche per quanto riguarda i fondali marini. In questa sede ci interessa essenzialmente il tratto di questi ultimi che si estende tra l'attuale linea di riva e i 120 m di profondità, cioè quello nel quale sono stati rintracciati indizi di morfologia fluviale

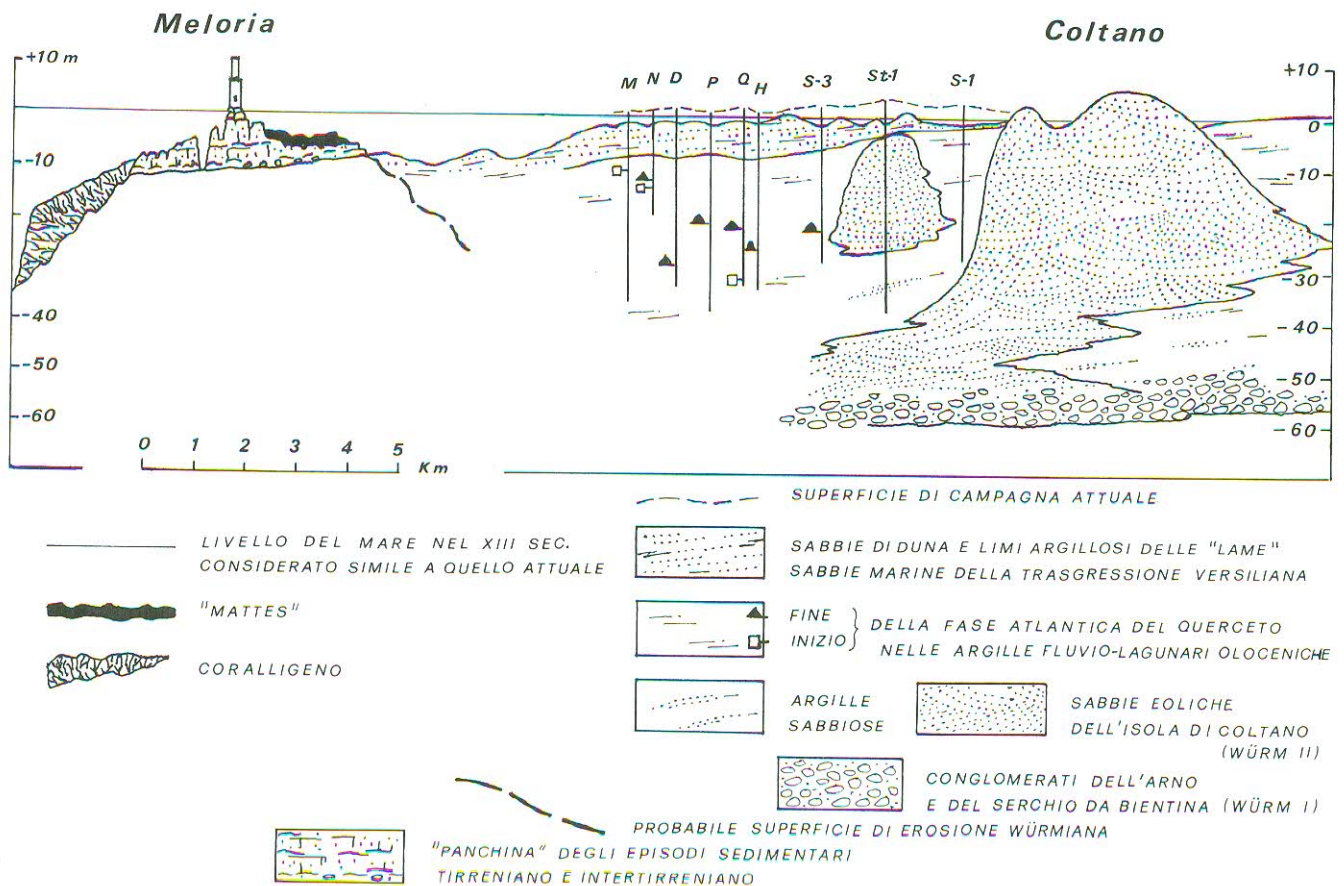


Fig. 2 - Sezione geologica tra la Meloria e Coltano, le altezze sono ingrandite di 100 volte rispetto alle lunghezze (da MAZZANTI *et alii*, 1984).
*Geological cross section between Meloria and Coltano; the vertical scale is magnified 100 times respect to the horizontal one (from MAZZANTI *et alii*, 1984).*

(SEGRE, 1955; MAZZANTI, 1979, 1983 e 1985) come mostra la fig. 1. Il fenomeno, segnalato in moltissimi altri fondali marino-costieri di altre località della Terra, è attribuito a un abbassamento del livello del mare di 110 m, mentre l'attuale posizione di queste morfologie fino a quota -120 viene interpretato come conseguenza del peso della colonna d'acqua che si è sovrapposta sui fondali durante la deglaciazione olocenica.

Alcuni dati di sondaggi nelle pianure di Pisa e del Fine confermano e precisano le precedenti notizie di geomorfologia subacquea.

Nel sottosuolo della Pianura di Pisa innumerevoli perforazioni (TREVISAN & TONGIORGI, 1953) hanno permesso di ricostruire l'antico deposito del fiume denominato «Arno e Serchio da Bientina» da SEGRE (1955) a profondità di circa 60 m in corrispondenza di Stagno. FEDERICI & MAZZANTI (in stampa), in una revisione generale delle possibili attribuzioni cronologiche dei sedimenti della Toscana costiera dal Pleistocene medio ad oggi, ritengono che questi depositi cor-

rispondano al primo stazionamento basso dell'ultima grande glaciazione. Al di sopra sono state incontrate dai sondaggi le Sabbie eoliche dell'Isola di Coltano (dette anche di Vicarello, DELLA ROCCA *et alii*, 1987), direttamente o dopo strati e/o intercalazioni di limi palustri, dai -50 m del sottosuolo ai 16 m in superficie, come mostra la fig. 2. Questo sedimento continentale, ma di deposizione vicina a un litorale sabbioso, avendo rivelato abbondante industria del Musteriano (MENCHELLI, 1984) si è deposto non dopo lo stadiale «alto» (-20 m, secondo ALESSIO *et alii*, 1992) dei 35.000 anni da oggi e di conseguenza rientra ancora nell'ambito del Pleistocene superiore.

Nella pianura del Fine disponiamo solo di dati di perforazioni in corrispondenza della sezione, ad essa trasversale, tra Marmentana e Casa Argine (fig. 3), a circa 4 km dalla foce. Il solco fluviale, scavato nelle Argille ad *Artica islandica* del Pleistocene inferiore ma intersecante anche i terrazzi del Pleistocene medio e superiore, giunge fino a quota -20. Esso dimostra così di essere stato inciso in corrispon-

denza di un livello del mare notevolmente inferiore a quello attuale. La presenza al fondo di uno spessore di 10 m di ghiaie ben assortite, da centimetriche a decimetriche (4 di fig. 3), può indicare una fase fluviale regolare, verosimilmente vicina al primo stazionamento basso dell'ultima grande glaciazione. Al di sopra di 15 m di argille e limi (3 di fig. 3), denunciati la diminuzione del trasporto fluviale, i pozzi hanno incontrato un altro livello di ghiaie (2 di fig. 3) da quota 2,5 a quota 5, sormontato dalle argille e limi superiori (1 di fig. 3) fino alla quota 10 del piano di campagna. È probabile che il banco di ghiaia tra quota 2,5 e 5 sia stato deposto nell'ambito della variazione climatica caratterizzata dallo stazionamento basso del livello del mare di circa 18.000 anni fa.

Concludendo sulle informazioni che ci provengono da morfologie e sedimenti attribuibili al Pleistocene superiore si può rilevare come il terrazzo eustatico che ne caratterizza l'inizio con la trasgressione tirreniana e le tipiche forme «senegalesi», non sembra avere subito fenomeni di subsidenza neppure dove appoggia su sedimenti argillosi e sabbiosi neogenici e del Pleistocene inferiore. Un suo sollevamento in blocco, comunque di entità molto lieve, è possibile ma resta da provare.

Molto più incerte sono le indicazioni disponibili sull'intervallo cronologico del Pleistocene superiore a partire dall'inizio dell'ultima grande glaciazione. I dati dei sondaggi hanno rivelato profondi solchi fluviali dell'Arno e del Fine che si spingono per

decine di metri al di sotto del livello attuale del mare (figg. 2 e 3). I sedimenti che si sovrappongono a questi solchi fluviali, almeno nelle parti inferiori, sono ancora attribuibili sicuramente al Pleistocene superiore ma, per gli scopi per i quali furono effettuate le perforazioni, non è stato possibile eseguirvi esami completi. D'altra parte la presenza frequente di lenti di limo e di torba lascia supporre uno sviluppo differenziato della subsidenza diagenetica che rende problematiche le correlazioni tra le stratigrafie dei diversi pozzi.

4. - MISURE NEI SEDIMENTI E NELLE COSTRUZIONI UMANE DELL'OLOCENE

I metodi di ricerca per la determinazione di antichi livelli del mare dell'Olocene sono più numerosi di quelli impiegabili per il Pleistocene. Infatti ai metodi di misura che si servono delle quote di morfologie caratteristiche e dei livelli stratigrafici di superficie o risultanti dalle perforazioni se ne aggiungono altri, legati allo sviluppo delle costruzioni umane, in precedenza non esistenti, individuabili sia in superficie sia nel sottosuolo o sott'acqua.

Per quanto riguarda la presenza di spianate di abrasione oloceniche a quote più alte del livello del mare attuale nel tratto di litorale in esame, possiamo affermare che non è stata mai incontrata nelle nostre

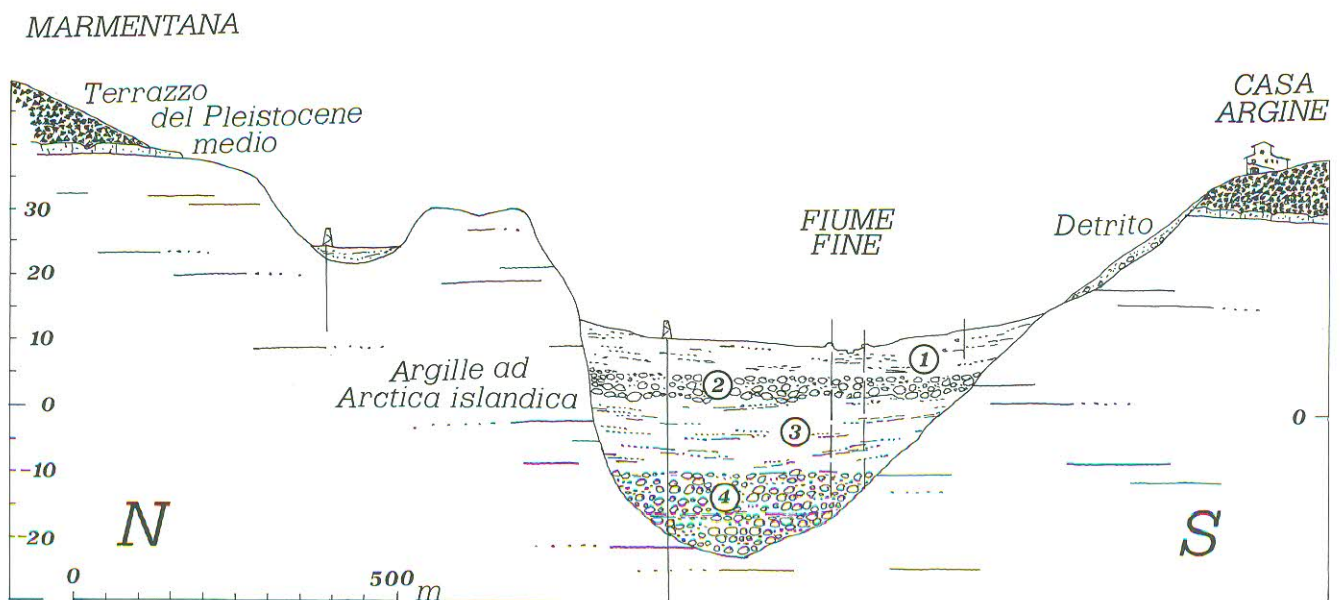


Fig. 3 - Sezione geologica tra la Marmentana e Casa Argine attraverso la Valle del Fine (da BARTOLETTI et alii, 1985b).
Geological cross section between Marmentana and Casa Argine along the Fine valley (from BARTOLETTI et alii, 1985b).

ricognizioni né è stata segnalata da altri. Se consideriamo che la costa lungo i Monti Livornesi, secondo quanto visto in precedenza, va considerata stabile o soggetta a un lentissimo sollevamento tettonico durante il Pleistocene medio-superiore, eventuali spianate di abrasione oloceniche avrebbero dovuto trovarsi alle quote di formazione o, addirittura, a quote un poco maggiori.

Per chiarire possibili equivoci precisiamo che la spianata che, a tratti piuttosto discontinui e ormai sempre più rari per l'invadenza delle costruzioni cittadine, è stata individuata al di sopra del Terrazzo di Livorno (LAZZAROTTO *et alii*, 1990) fino a circa quota 8, è sormontata da sabbie eoliche con industria del Musteriano ed è risultata incisa dall'erosione fluviale dell'ultima glaciazione, per cui la sua formazione rientra nell'ambito del Pleistocene superiore. Analogamente al di sopra del Terrazzo di Rosignano Solvay compare una scarpata poco rilevata intorno a quota 9, che è stata segnalata da MAZZANTI (1985) come possibile paleofalesia di massima trasgressione di un ciclo eustatico posteriore al Tirreniano a forme «senegalesi» ma anteriore al grande sviluppo dell'ultima glaciazione durante la quale il Fiume Fine incise profondamente sia questa paleofalesia sia i poco potenti depositi ad essa ridossati.

Per quanto risulta dalle considerazioni di cui sopra e dalla mancanza di altri indizi il livello del mare durante l'Olocene nel tratto compreso tra le foci dell'Arno e del Fine non è stato mai superiore a quello attuale. Al limite meridionale della Pianura di Pisa diciotto sondaggi nei dintorni di Stagno hanno incontrato tra i -30 e i -13 m di profondità sedimenti limosi e torbosi con associazioni polliniche indicanti l'inizio e la fine della olocenica fase atlantica del Querceto (GALLETTI FANCELLI, 1978). Si tratta di depositi di piana di esondazione nel retropaese della rapida trasgressione eustatica versiliana i cui sedimenti, di spiaggia sommersa, sono stati incontrati al di sopra di quota -10 nelle perforazioni poste più a Occidente e di quota -2 in quelle più orientali, segnalando molto bene il senso dello sviluppo dell'ingressione marina (fig. 2).

Nel tratto del litorale tra la foce d'Arno e Livorno il limite massimo della trasgressione versiliana non è ancora definito con esattezza. È comunque molto probabile che questa ingressione marina si sia fermata al piede occidentale delle dune (ancora del Pleistocene superiore) di Castagnolo e di Coltano in corrispondenza dello stadiale alto di circa 5.000 anni or sono, raggiunto intorno alla fine della fase atlantica del Querceto e con livello del mare di

poco inferiore a quello attuale (ALESSIO *et alii*, 1992). In seguito il piccolo abbassamento del livello del mare di circa 2 m, registrato intorno al 3.500 da oggi (ALESSIO *et alii*, 1992), avrebbe facilitato l'emersione del lido rintracciabile in tutti i litorali bassi della Toscana (FEDERICI & MAZZANTI, in stampa) e frequentato a partire dall'VIII sec. a.C.. Nella pianura meridionale di Pisa questo lido corrisponde al Campolungo tra S. Piero a Grado e Stagno (si veda la «Carta degli elementi naturalistici e storici» in scala 1:50.000 nel volume: «La pianura di Pisa e i rilievi contermini. La natura e la storia», a cura di MAZZANTI, 1993).

Le vicende del Litorale Pisano a partire dalla formazione di questo lido frequentato dall'VIII sec. a.C. (MAZZANTI *et alii*, 1990) sono ormai assai ben conosciute. Si tratta della progradazione per l'emersione di sempre nuovi lidi dovuti a un cospicuo aumento del trasporto solido dell'Arno determinato da un'ampia deforestazione di origine antropica del suo bacino (FEDERICI & MAZZANTI, 1988). Questo protendimento è durato fino circa al 1850 raggiungendo un massimo di 7 km e si è sviluppato con accelerazioni diverse, maggiori tra Cinquecento e Settecento, minori nell'alto medioevo. Per la forte dipendenza da fattori antropici e per la notevole variabilità della subsidenza diagenetica nella coltre dei sedimenti olocenici della Pianura di Pisa (si veda al proposito i notevoli sbalzi del riferimento alla fine della fase atlantica del Querceto in fig. 2) riteniamo tuttavia che i numerosi dati provenienti da quest'area non siano affidabili per la misura precisa di antichi livelli del mare.

Tra Livorno e la Punta Lillatro di Rosignano Solvay il litorale è quasi completamente roccioso sia nei tratti alti, in corrispondenza degli affioramenti di rocce più antiche del Pleistocene superiore, sia nei tratti bassi, in corrispondenza delle calcareniti sabbiose («Panchina») di quest'ultima sotto-epoca. La linea di riva attuale deriva dal sollevamento del livello del mare collegato alla trasgressione versiliana, iniziata con la deglaciazione seguita allo stazionamento basso di circa quota -110 di questo livello intorno a 18.000 anni or sono (fig. 1). In questo tratto di litorale risulta in pratica trascurabile l'apporto detritico fluviale, limitato alle foci dei piccoli corsi d'acqua che giungono al mare al fondo di minuscole baie a «tasca» munite di strettissime spiaggette.

In una di queste, la piccola Baia Miramare di Castiglioncello, alla fine degli anni '50 fu dragata una tomba 6 m a WSW del trampolino dei Bagni Italia nell'operazione di scavo di un canale subac-

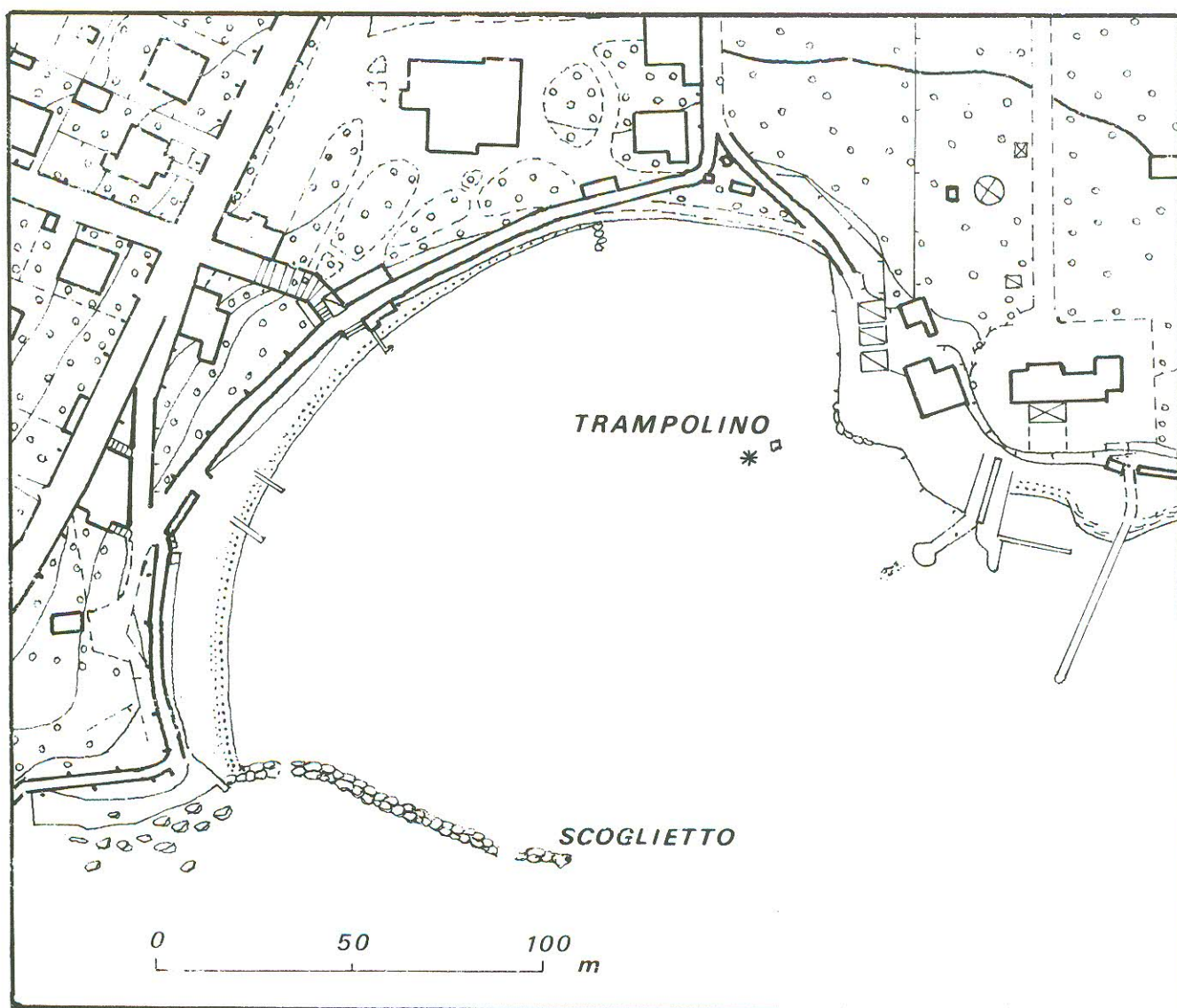


Fig. 4 – La Baia Miramare di Castiglioncello con l'indicazione del sito di rinvenimento della tomba tardo ellenistica (asterisco).
The Miramare Bay of Castiglioncello with the finding site of the late-hellenistic grave (marked with the star).

queo per favorire il passaggio di un peschereccio nello specchio d'acqua più riparato (fig. 4). Il dragaggio è avvenuto su un fondale di 1,20 m che ha rivelato, dopo una sottilissima copertura di limo, la presenza di roccia gabbriaca analogamente a quanto affiora nella falesia a 60 m di distanza (2).

L'impiego della «Panchina» e la presenza di un abbondante corredo funebre per questa tomba sug-

(2) Questa notizia è stata data a Renzo Mazzanti dal sig. Bruno Faccenda, del quale ci è caro qui ricordare la memoria, esperto palombaro del luogo. Il dragaggio avvenne da un pontone di una ditta livornese attrezzato con benna in quanto, per la piccola profondità, non era possibile operare con i palombari. Vennero alla luce quattro pesanti lastre di «Panchina» ben squadrate, lunghe 1,10 m, delle quali una parzialmente rivestita di intonaco, inoltre frammenti fittili in quantità da riempire un corbello. Tutto questo materiale, nel timore di dovere interrompere i lavori, fu portato a largo e scaricato in mare.

geriscono un'attribuzione al periodo tardo ellenistico, del resto in accordo con il pozzo e i reperti effettuati quasi al livello del mare al lato opposto della stessa baia nel 1956 (MASSA, 1974). Sulla base delle considerazioni precedenti circa la sostanziale stabilità tettonica dei Monti Livornesi (esprimibile al limite in un possibile innalzamento tettonico di 5,70 cm nei 2.300 anni dal periodo ellenistico) riteniamo che il rinvenimento di questa tomba documenti per l'età repubblicana un livello del mare comunque inferiore a 1,20 m.

Tra la Torre del Boccale e la Foce di Calignaia (fig. 5) la falesia dei Monti Livornesi fino a quote di 50 m presenta moltissime impronte di cave aperte nel Flysch arenaceo di Calafuria (LAZZAROTTO *et alii*, 1990). Questa pietra, sebbene si presenti in

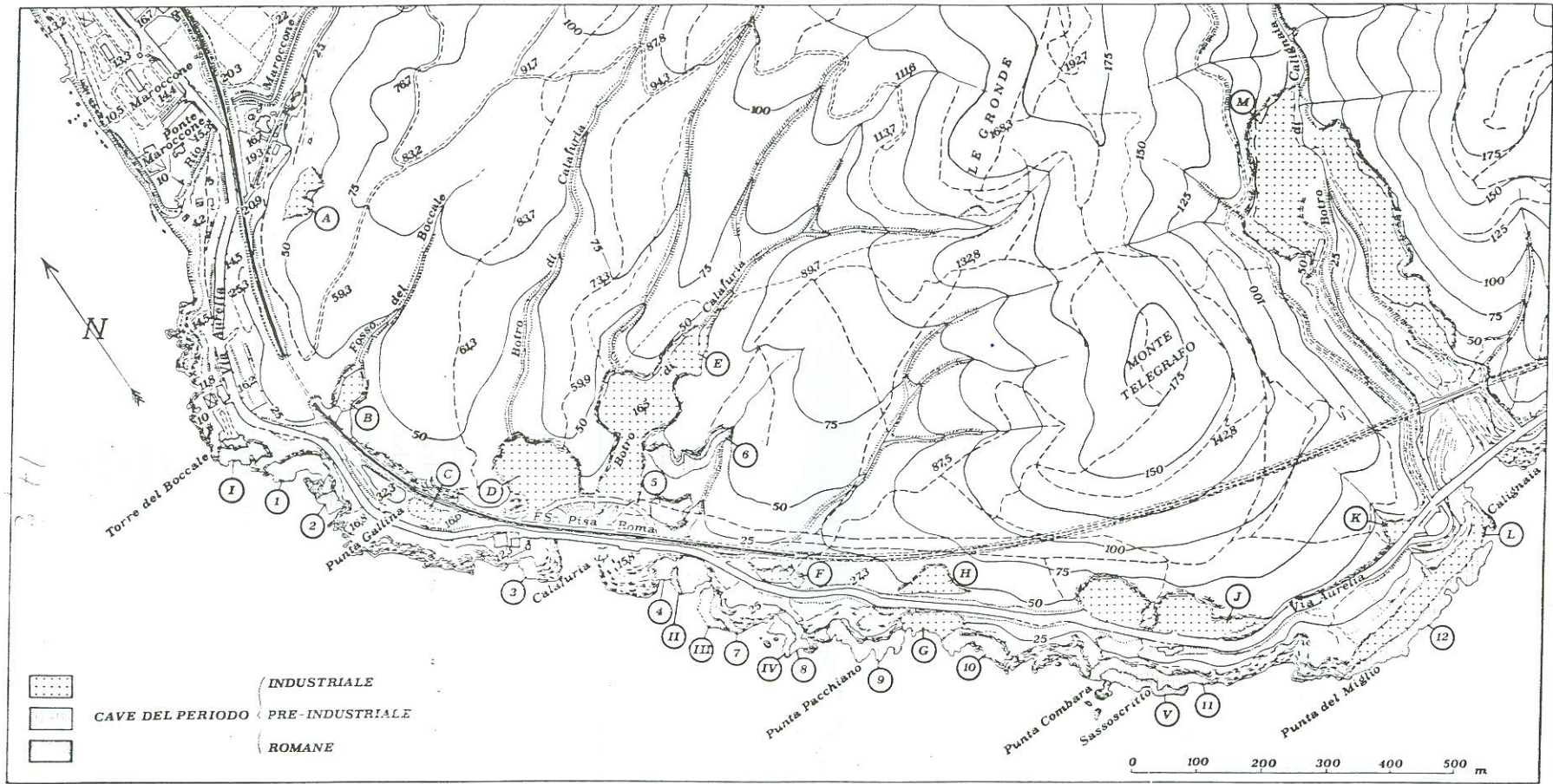


Fig. 5 - Posizione topografica delle cave tra la Torre del Boccale e Calignai.
Topographic position of the quarries between Boccale Tower and Calignai.

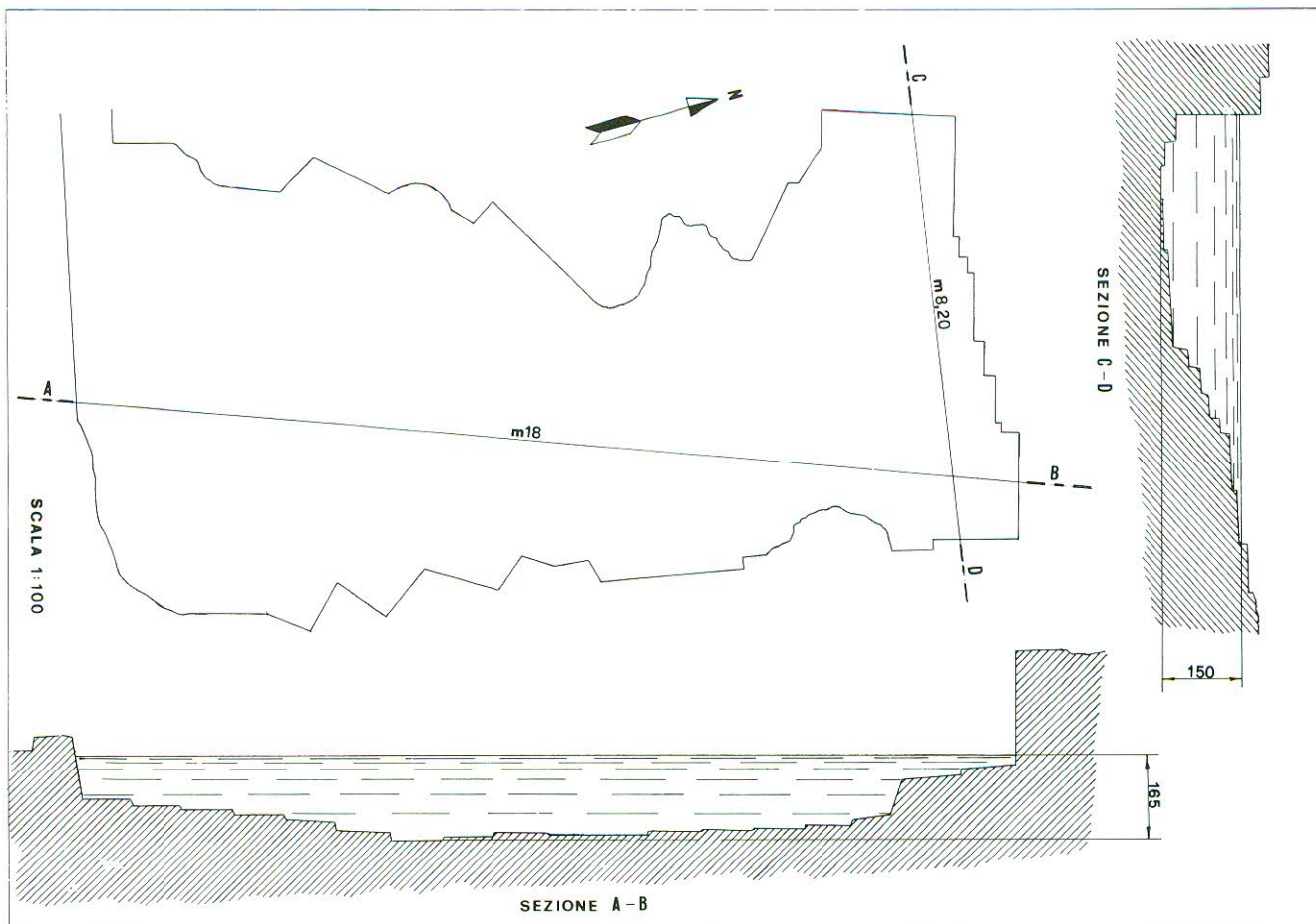


Fig. 6 - Rilievo di un taglio di cava attualmente al di sotto del livello del mare.
Sketch of a quarry artificial cut nowadays below sea level.

genere più grossolana, ha un'origine comune alla «Serena fiorentina» di largo uso nel Valdarno dal Quattrocento all'Ottocento. Molte delle cave aperte in essa (I-V e 1-12 di fig. 5), presentano superfici di distacco caratteristiche del periodo pre-industriale, operate con l'impiego di cunei e scalpelli. Le parti inferiori di alcune di queste cave (I-V di fig. 5), avendo la base al di sotto del livello del mare fino a 1,65 m (fig. 6), risultano sempre allagate (figg. 7 e 8).

Anche in questo tratto «ridossato al monte» del Litorale Livornese la presenza a quota 11 della abrasione tirreniana garantisce una fondamentale (nei limiti già discussi) stabilità tettonica nell'arco degli ultimi 125.000 anni. Di conseguenza la sommersione fino a 1,65 m delle cave più vicine al mare (figg. 6, 7 e 8), in accordo con l'indicazione offerta dalla tomba della Baia Miramare di Castiglioncello, è spiegabile con l'aumento del livello del mare dal periodo ellenistico. Ciò, malgrado non si disponga della disponibilità di conoscere differenze tra le tec-

niche di estrazione e conduzione nelle cave fino all'introduzione dell'impiego della polvere da sparo, qui avvenuto nelle cave industriali non prima dell'Ottocento (A-M di fig. 5) (3).

(3) Per la datazione diretta di queste cave non abbiamo trascurato l'esame epigrafico su un'iscrizione rupestre incisa grossolanamente con lo scalpello su una parete verticale tagliata artificialmente alla maniera antica. Si nota un insieme di segni, ad altezza d'uomo rispetto al pelo dell'acqua, con solchi piuttosto irregolari probabilmente anche per l'usura della roccia.

Entro un riquadro alto cm 22 e largo 16,3, il cui margine inferiore si trova a m 1,60 circa dal pelo dell'acqua, si riconoscono alcune lettere. Innanzi tutto una sigla alta cm 13,5, che appare come una croce monogrammatica (una lettera P con l'asta verticale tagliata a metà altezza da un'asta orizzontale), con alla base un tratto quasi orizzontale che potrebbe essere un'apicatura troppo sviluppata della lettera P o, più probabilmente, parte di una L. A destra c'è poi una F molto netta, alta cm 8,6, la cui base si trova all'altezza della traversa orizzontale della presunta croce.

Al di fuori del riquadro, a destra, c'è una rozza testa umana di profilo sulla sinistra, alta cm 19 e larga 14, con una linea obliqua che, come una corda di cerchio, taglia la calotta cranica e può essere interpretata come indicazione schematica dei capelli o come copricapo. I caratteri epigrafici non presentano sicuri elementi di datazione, per cui non si può escludere a prima vista che si tratti di un'iscrizione di età romana. Anche la lettura e l'interpretazione appaiono problematiche. Poiché la supposta croce monogrammatica ha un'altezza pressoché doppia di quella della F, si potrebbe anche sospettare che il presunto



Fig. 7 - Immagine di una porzione del taglio di fig. 6.
Picture of a portion of the cut in fig. 6.



Fig. 8 - Panoramica di alcuni tagli di cava attualmente al di sotto del livello del mare.
View of some quarry artificial cuts now below sea level.

5. – CONCLUSIONI

Per concludere non ci rimane che constatare quanto siano piccole le possibilità di eseguire misure certamente affidabili sui livelli nei quali il mare ha stazionato anche in periodi relativamente recenti come il Pleistocene medio-superiore e l'Olocene.

Le difficoltà nascono dal fatto che tutti gli elementi in gioco sono variabili in un contesto nel quale i punti di raccolta di questi elementi sono estremamente pochi per cui sono inapplicabili metodi statistici.

Né, per aumentare la disponibilità dei punti di raccolta degli elementi, sembra possibile estendere notevolmente l'area geografica delle correlazioni da quando è stato dimostrato lo scostamento della superficie del mare dalla forma ideale del geoide di rotazione.

D'altra parte sarebbe un grave errore abbandonare i tentativi di perfezionare le conoscenze proprio perché riteniamo che nei confronti di quanto era noto per esempio trent'anni or sono, al momento della pubblicazione della II edizione della Carta Geologica d'Italia, sono stati eseguiti indubbi progressi:

– l'affinamento delle ricerche sedimentologiche e dei rilevamenti geologici di campagna (con estensione anche alle aree di pianura un tempo troppo spesso trascurate) ha permesso il riconoscimento delle facies sicuramente marine da quelle di transizione e continentali con la conseguenza di un notevole progresso nella precisazione delle quote alle quali si trovano i depositi marini dei diversi cicli sedimentari;

– il perfezionamento dei metodi di datazione radiometrica ha consentito l'infittirsi di dati cromo-

logici sfruttando supporti in precedenza ritenuti non idonei per queste ricerche;

– la diffusione dei rilievi geofisici del fondo marino e del suo substrato ha enormemente allargato il campo di indagine;

– l'introduzione delle indagini subacquee ha permesso di esplorare direttamente aree un tempo escluse da una ricerca visiva;

– il superamento del frazionismo dei gruppi di ricerca ha visto collegamenti sempre maggiori fra gli studiosi di provenienza culturale naturalistica e quelli di provenienza culturale storica, con significativi risultati nel progresso generale delle conoscenze.

Molto ci attendiamo dal perfezionamento delle conoscenze sulla tettonica regionale per il quale sono stati compiuti notevolissimi progressi negli ultimi anni. Infatti se fossero disponibili maggiori conoscenze sulle modalità di sviluppo dei movimenti tettonici (continuità, alternanza, ricorrenza, discontinuità completa, ecc.) si ridurrebbe il campo di una delle variabili e di conseguenza aumenterebbero le possibilità di precisione nei calcoli.

BIBLIOGRAFIA

- ALESSIO M., ALLEGRI L., ANTONIOLI F., BELLUOMINI G., FERRANTI L., IMPROTA S., MANFRA L. & PROPOSITO A., (1992) - *Risultati preliminari relativi alla datazione di speleotemi sommersi nelle fasce costiere del Tirreno centrale*. *Giornale di Geologia*, ser. 3, **6**(2): 165-193, Bologna.
- BARSOTTI G., FEDERICI P.R., GIANNELLI L., MAZZANTI R. & SALVATORINI G. (1974) - *Studio del Quaternario livornese con particolare riguardo alla stratigrafia e alle faune delle formazioni del Bacino di carenaggio della Torre del Fanale*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **13**: 425-495, Pisa.
- BARTOLETTI E., BOSSIO A., ESTEBAN M., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G., SANESI G. & SQUARCI P. (1985a) - *Studio geologico del territorio comunale di Rosignano Marittimo in relazione alla carta geologica alla scala 1:25.000*. *Suppl. 1 Quad. Museo Storia Naturale Livorno*, **6**: 33-127, Livorno.
- BARTOLETTI E., MAZZANTI R. & SQUARCI P. (1985b) - *Idrogeologia del territorio del Comune di Rosignano M^e*. *Suppl. 1 Quad. Museo Storia Naturale Livorno*, **6**: 274-283, Livorno.
- BLANC A.C. (1953) - *Plage Tyrrhénienne et dunes fossiles de la Buca dei Corvi (Castiglioncello)*. *IV^{ème} Congrès International pour l'étude du Quaternaire*, Roma-Pisa: 7-15, Pisa.
- BOSSIO A., COSTANTINI A., LAZZAROTTO A., LIOTTA D., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G. & SANDRELLI F. (1993) - *Rassegna delle conoscenze sulla stratigrafia del Neoaustro-toscane*. *Mem. Soc. Geol. It.*, **49** «Scritti in onore di L. Trevisan»: 17-98, Pisa.
- DELLA ROCCA B., MAZZANTI R. & PRANZINI E. (1987) - *Studio geomorfologico della Pianura di Pisa*. *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, **10**: 56-84, Torino.

braccio orizzontale della croce sia solo una separazione tra due linee: P F alla prima linea, L alla seconda.

Sembra però più probabile che l'insieme dei segni sulla sinistra costituisca un monogramma.

Se il tratto orizzontale in basso è solo un'apicatura, avremmo effettivamente una croce monogrammatica, simbolo del nome di Cristo nella tradizione paleocristiana a partire dalla metà del IV sec. d.C. In tal caso si potrebbe ipotizzare una formula *Chr(isto) f(eliciter)*, che troverebbe riscontro in analoghe acclamazioni pagane per l'imperatore o per il *Genius populi Romani*.

Se invece il tratto inferiore è da riferire a una L, l'interpretazione del nesso si fa più difficile. Non sembra possibile una legatura PHIL, che potrebbe a tutta prima richiamare alcune iscrizioni di cava delle Apuane (DOLCI, 1980) perché mancherebbe del tutto il secondo tratto verticale della H. Inoltre le formule in uso nelle iscrizioni delle cave lunensi in cui compare il nome *Phil(o)* in legatura sono più complesse e completamente diverse; va anche osservato che il personaggio che compare con quel nome, essendo uno schiavo pubblico del *collegium* dei cavatori di Luni (negli anni di Tiberio), non potrebbe certo figurare anche nelle cave della Costa Livornese, che invece erano situate nel territorio della Colonia Iulia Opsequens Pisana.

In definitiva, dal punto di vista dell'epigrafia antica, gli elementi di perplessità prevalgono nettamente e riteniamo di non potere usare questa iscrizione rupestre per la datazione della cava.

- DOLCI E. (1980) - *Carrara, cave antiche. Materiali archeologici*. Carrara.
- FAIRBRIDGE R.W. (1966) - *Mean sea level changes, longtermustatic and other*. In: "The Encyclopedia of Oceanography", **1**: 19-36. London.
- FEDERICI P.R. & MAZZANTI R. (1988) - *L'evoluzione della paleogeografia e della rete idrografica del Valdarno inferiore*. Boll. Soc. Geol. It., **5**: 573-615, Roma.
- FEDERICI P.R. & MAZZANTI R. (in stampa) - *Note sulle pianure costiere della Toscana*. Mem. Soc. Geogr. It., Genova.
- GALLETTI FANCELLI M.L. (1978) - *Sulla subsidenza della Pianura di Pisa. Analisi polliniche di sedimenti quaternari della pianura costiera tra Pisa e Livorno*. Boll. Soc. Geol. It., **98**: 197-245, Roma.
- HEARTY P.J., MILLE G. H., STEARNS C.E. & SZABO B.J. (1986) - *Aminostratigraphy of Quaternary Shorelines in the Mediterranean Basin*. Geol. Soc. Am. Bull., **97**: 221-227, New York.
- LAZZAROTTO A., MAZZANTI R. & NENCINI C. (1990) - *Geologia e morfologia dei Comuni di Livorno e Collesalveti*. Suppl. 2 Quad. Museo Storia naturale Livorno, **11**: 1-85, Livorno.
- MASSA M. (1974) - *Tombe tardo-repubblicane di Castiglioncello e Vada*. Riv. Studi Liguri, **40**.
- MAZZANTI R. (1979) - *Foglio 111 Livorno*. In: «Contributi preliminari alla realizzazione della Carta Neotettonica d'It.», Pubbl. n. 251 del Progetto Finalizzato Geodinamica: 537-552, Roma.
- MAZZANTI R. (1983) - *Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'Arcipelago di Toscana*. Boll. Soc. Geol. It., **102**: 419-556, Roma.
- MAZZANTI R. (1985) - *Geomorfologia del territorio comunale di Rosignano M^e*. Suppl. 1 Quad. Museo Storia Naturale Livorno, **6**: 207-246, Livorno.
- MAZZANTI R. (1993) - *La pianura di Pisa e i rilievi contermine, la natura e la storia*. A cura di R. MAZZANTI, Mem. Soc. Geogr. It., **50**, pp 491, Pisa.
- MAZZANTI R., PARIBENI E., STORTI S. & VAGGIOLI M.A. (1990) - *La pianura versiliese nel contesto geomorfologico*. In: «Etruscorum ante quam Ligurum. La Versilia tra VII e III secolo a. C.»: 33-43, Pontedera.
- MAZZANTI R. & PASQUINUCCI M. (1983) - *L'evoluzione del litorale lunense - pisano fino alla metà del XIX secolo*. Boll. Soc. Geogr. It., **12**: 605-628, Roma.
- 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: «1284. L'anno della Meloria»: 9-53, Pisa.
- MENCHELLI S. (1984) - *Contributo allo studio del territorio pisano: Coltano e l'area dell'ex Padule di Stagno*. St. Class. Orient., **34**: 225-270, Pisa.
- OTTOMAN F. (1954) - *Le Quaternaire dans la region de Quercianella - Rosignano (Livorno)*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem. ser. A, **61**: 39-45, Pisa.
- PATTULLO J. G. (1966) - *Mean sea level*. In: "The Encyclopedia of Oceanography". **1**: 37-45, London.
- PIRAZZOLI P. A. (1981) - *Le variazioni del livello del mare durante il post-glaciale*. Riv. Geogr. It., **88**: 154-164, Firenze.
- SAMMARTINO F. (1985) - *Ritrovamenti preistorici nel territorio di Rosignano M^e*. Suppl. 1 Quad. Museo Storia Naturale Livorno, **6**: 185-193, Livorno.
- SARTI A. & STODUTI P. (1984) - *Un giacimento del Paleolitico inferiore scoperto nei pressi di Montenero Basso (Livorno)*. Rass. Archeol., **4**: 9-35, Firenze.
- SEGRE A.G. (1955) - *Nota sull'idrografia continentale e marina*. Note illustrative della Carta Geol. d'It., scala 1:100.000, Foglio 111 - Livorno: 20-29, Roma.
- TREVISAN L. & TONGIORGI E. (1953) - *Le acque del sottosuolo della regione pisana*. La Provincia Pisana, **9/10**: 3-8, Pisa.