

A. CIAMPALINI (*), L. CIULLI (*), G. SARTI (*), G. ZANCHETTA (*)

NUOVI DATI GEOLOGICI DEL SOTTOSUOLO DEL «TERRAZZO DI LIVORNO»

Riassunto - In questo lavoro sono presentati i risultati relativi a nuove indagini del sottosuolo effettuate nell'area del «Terrazzo di Livorno». Sono state individuate complessivamente otto unità litostratigrafiche correlate, ove possibile, con le unità affioranti precedentemente descritte in letteratura. Per la prima volta è stato riportato l'andamento di alcune di queste unità nel sottosuolo. Inoltre è discusso il significato della presenza dei due livelli principalmente arenitici di ambiente marino costiero («Panchina» I e II *Auct.*) depositi durante lo stadio isotopico marino 5. Lo studio effettuato ha anche evidenziato la presenza di alcune *unconformity* che permettono la definizione di almeno un'unità allostratigrafica.

Parole chiave - Terrazzo di Livorno, Quaternario, stratigrafia, MIS 5.

Abstract - *New geological data from the subsurface of the «Terrazzo di Livorno».* This paper illustrates the new subsurface investigation performed on the area of the «Terrazzo di Livorno» allowing the identification of eight lithostratigraphic units, which were correlated with known sedimentary units previously described for the area. The subsurface geometries of some of these units were defined for the first time. The implications for the presence of the two coastal marine arenitic beds («Panchina» I and II, *Auct.*), deposited during the marine isotope stage 5 are also discussed. This study also identified some important unconformities which can allow the definition of at least one allostratigraphic unit.

Key words - Leghorn Terrace, Quaternary, stratigraphy, MIS 5.

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni le propaggini occidentali del Valdarno Inferiore e le aree contermini sono state oggetto di nuove indagini geologico-stratigrafiche che hanno riguardato principalmente la geologia del sottosuolo (Ciampalini 2002; Dall'Antonia *et al.*, 2004; Zanchetta *et al.*, 2004, 2006). Se da un lato questi lavori hanno ulteriormente confermato ed arricchito di dettagli le ricostruzioni stratigrafiche tradizionalmente proposte per questa area durante l'ultima parte del Quaternario, dall'altro hanno evidenziato la complessità delle successioni stratigrafiche ivi presenti. Tuttavia, da questi studi si manifestano anche i numerosi problemi ancora aperti relativamente alla stratigrafia delle successioni quaternarie presenti nel sottosuolo. Il presente lavoro si inserisce nel quadro della corrente attività di revisione della stratigrafia dell'area costiera Toscana portata avanti dagli scriventi (Dall'Antonia *et al.*, 2004;

Sarti *et al.*, 2005; Amorosi *et al.*, 2004; Aguzzi *et al.*, 2005, 2006; Zanchetta *et al.*, 2004, 2006). In particolare in questo lavoro viene discussa la stratigrafia del sottosuolo del «Terrazzo di Livorno» (Fig. 1) come desunta, principalmente, dallo studio di perforazioni a carotaggio continuo effettuate in anni recenti. In questo contesto si propone la prima carta di dettaglio dell'andamento nel sottosuolo di alcune delle unità stratigrafico-deposizionali descritte.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area di studio (Fig. 1) corrisponde all'elemento morfologico noto tradizionalmente in letteratura come «Terrazzo di Livorno» (Malatesta, 1942; Barsotti *et al.*, 1974). Secondo Federici & Mazzanti (1995) il «Terrazzo di Livorno» è interpretabile come un terrazzo marino policiclico sviluppatosi durante lo stadio 5 della stratigrafia isotopica marina («marine isotope stage 5» o MIS 5).

La successione stratigrafica completa dei depositi costituenti il terrazzo, come ricostruibile dai dati di letteratura, dal basso verso l'alto comprende:

- arenarie di ambiente marino costiero («Panchina» I o «Calcareniti sabbiose di Castiglioncello» di Lazzarotto *et al.*, 1990), contenenti tipiche faune calde «senegalesi» (Barsotti *et al.*, 1974) e correlato al MIS 5e (Hearty *et al.*, 1986; Federici & Mazzanti, 1995);
- argille siltose, silt e sabbie di ambiente prevalentemente continentale, contenenti malacofaune terrestri indicative di una fase di deterioramento climatico (Malatesta, 1942; Barsotti *et al.*, 1974; Zanchetta *et al.*, 2004) e correlabile al MIS 5d (Mazzanti, 2000-2001);
- arenarie di ambiente variabile, dal marino costiero all'eolico («Panchina» II; Malatesta, 1942; Barsotti *et al.*, 1974; Lazzarotto *et al.*, 1990) che potrebbero corrispondere al MIS 5c (Federici & Mazzanti, 1995; Zanchetta *et al.*, 2004);
- sabbie e limi sabbiosi prevalentemente continentali, spesso fortemente arrossati («Sabbie di Ardenza» di Lazzarotto *et al.*, 1990) contenenti industrie litiche del Paleolitico Medio (Malatesta, 1940; Sammartino, 1984). Alcuni autori suggeriscono che la deposizione di questa unità sia avvenuta durante i MIS 3-4 (Zanchetta *et al.*, 2006).

(*) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Pisa, via S. Maria 53, 56126 Pisa.

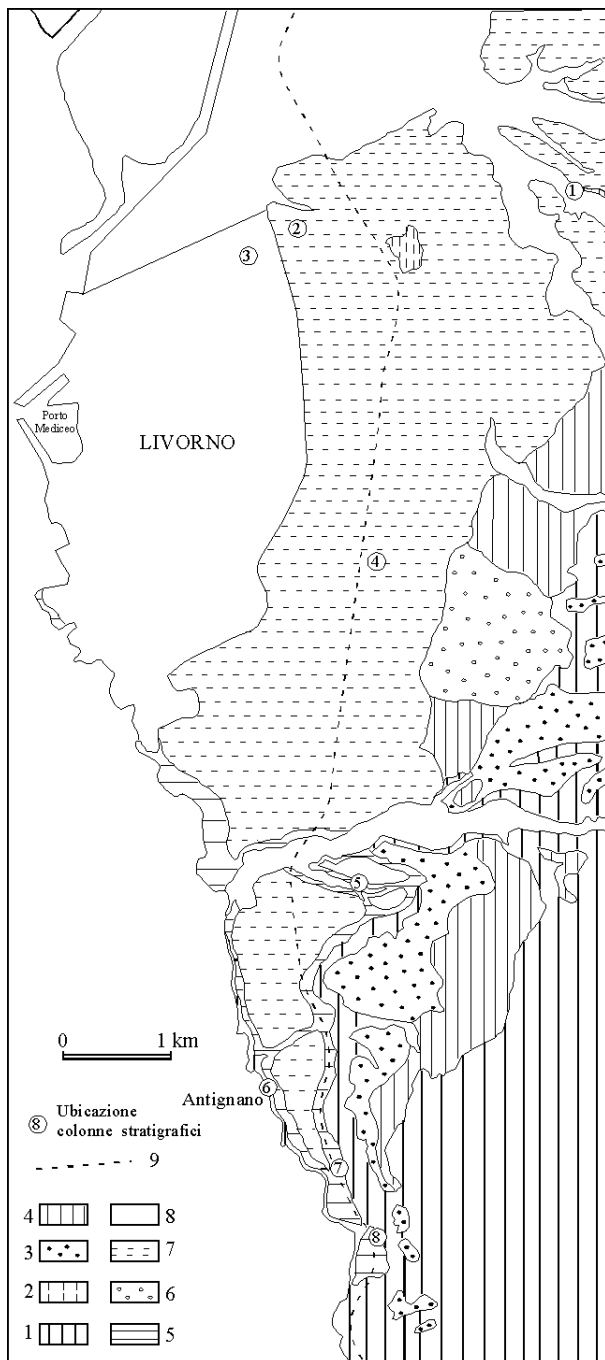


Fig. 1 - Schema semplificato della geologia dell'area oggetto di studio (modificato da Lazzarotto *et al.*, 1990). 1: Substrato pre-Neogene; 2: Pliocene marino; 3: Conglomerati di Villa Umberto I (Pleistocene medio); 4: Calcareniti sabbiose di Villa Padula (Pleistocene medio); 5: Calcareniti sabbiose di Castiglioncello (Pleistocene superiore); 6: Fm di Rio Maggiore (Pleistocene superiore); 7: Sabbie Rosse dell'Ardenza (Pleistocene superiore); 8: Alluvioni recenti, depositi di piana alluvionale (Olocene).

In giacitura eteropica alla successione descritta, ma in una posizione stratigrafica non completamente chiarita nel dettaglio, si trovano i conglomerati di Rio Maggiore (Lazzarotto *et al.*, 1990). A nord del Rio Ardenza, tutta la successione giace in discordanza sui depositi pliocenici delle «Argille azzurre» (principalmente ad E della linea ferroviaria), sui depositi marini delle «Sabbie e argille ad *Arctica islandica*» (datate al Santerniano, Lazzarotto *et al.*, 1990), più ad occidente, su successioni sabbioso-limose correlabili con la formazione di «Nugola Vecchia» (datata all'Emiliano) o su un'unità marino-salmastra databile al Siciliano (Dall'Antonia *et al.*, 2004). Nella zona più settentrionale del terrazzo, tra i depositi marini del Plio-Pleistocene inferiore e la successione del Pleistocene superiore, si interpone la «Formazione di Corea» di ambiente prevalentemente continentale (Zanchetta *et al.*, 2006) e attribuita al tardo Pleistocene Medio (MIS 6 e MIS 5/6). A sud del Rio Ardenza il substrato è invece costituito dalle argilliti e calcari del Cretaceo appartenenti alla formazione di Antignano (Lazzarotto *et al.*, 1990).

MATERIALI E METODI

I dati di base di questo lavoro provengono dallo studio di sondaggi e scavi effettuati negli ultimi anni da vari soggetti pubblici e privati operanti nell'area di studio. Alcuni sono stati direttamente seguiti dagli scriventi ed i dati stratigrafici e paleontologici sono in parte pubblicati (Dall'Antonia *et al.*, 2004; Zanchetta *et al.*, 2006). Un numero rilevante di dati, invece, proviene dalla raccolta di stratigrafie di cui non è stato possibile rintracciare le carote. Com'è esperienza comune degli scriventi, in questi casi la qualità delle stratigrafie e la loro affidabilità è molto variabile. Per la gestione delle informazioni è stato costruito un apposito database contenente i dati principali riguardanti oltre 200 stratigrafie. In particolare per questa nota sono stati selezionati quei sondaggi (93), nei quali è stato possibile identificare senza ambiguità il contatto tra il primo livello arenitico («Panchina» I) ed il substrato e che consentivano, inoltre, una accettabile risoluzione della parte superiore della successione formante il «Terrazzo di Livorno».

RISULTATI

I dati acquisiti hanno permesso di definire otto unità litostratigrafiche (I-VIII) separate da 5 superfici di *unconformity* (Fig. 2).

L'unità inferiore (unità I) è formata da sabbie, limi sabbiosi e limi argillosi di ambiente marino. Questi depositi corrispondono ai livelli marini delle successioni plio-pleistoceniche più volte descritte in letteratura (Barsotti *et al.*, 1974; Dall'Antona *et al.*, 2004; Zanchetta *et al.*, 2006) che costituiscono il substrato del Terrazzo di Livorno.

L'unità II è formata alla base da ghiaie di fluviali a cui seguono sabbie e sabbie limose di piana alluvionale. Nei depositi di piana alluvionale sono frequenti ostra-

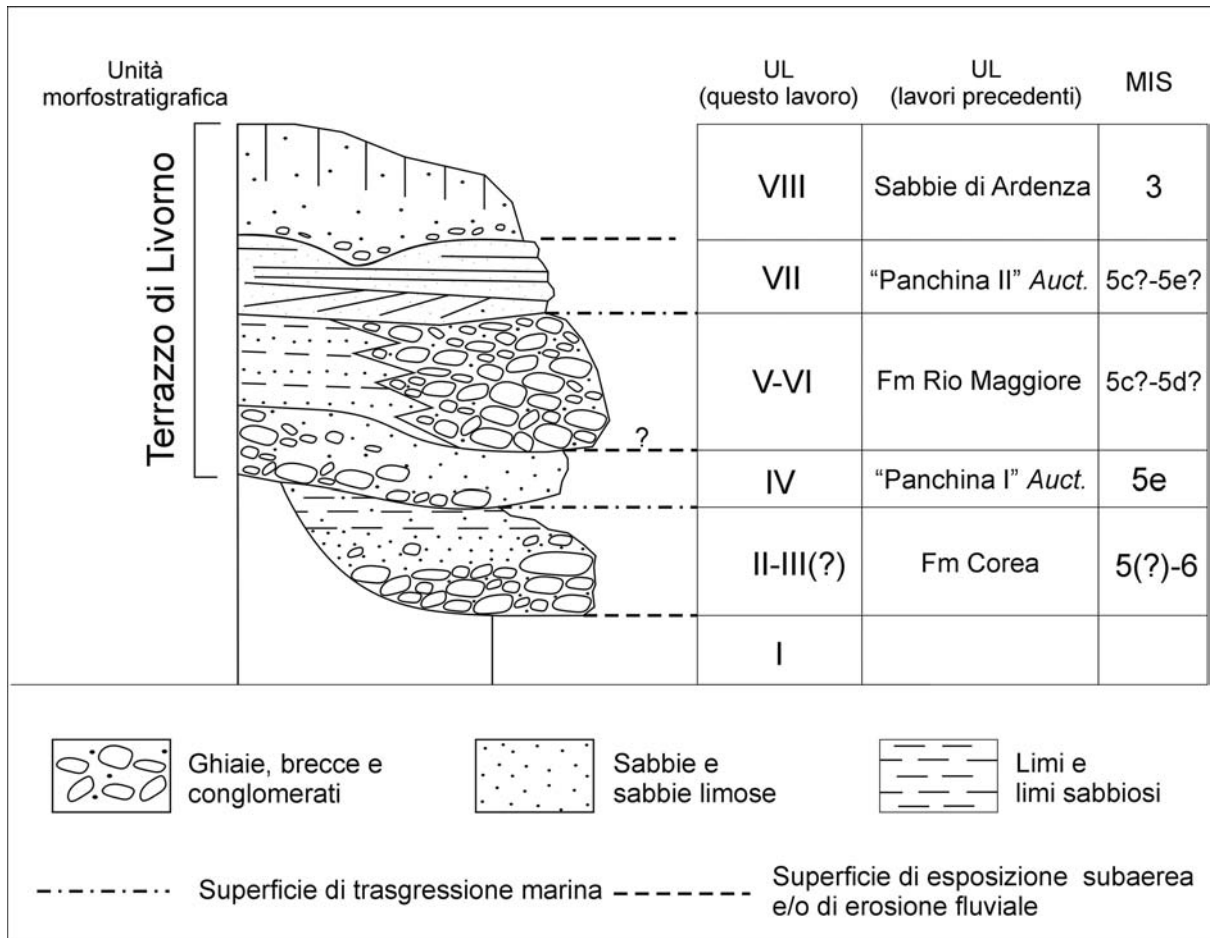


Fig. 2 - Schema dei rapporti stratigrafici delle unità individuate in questo lavoro e le correlazioni con le unità litostratigrafiche descritte in letteratura.

codi dulcicoli e molluschi terrestri. I depositi di questa unità sono riconducibili alla formazione Corea (Zanchetta *et al.*, 2006).

La terza unità (unità III) è stata identificata principalmente lungo la scarpata della variante Aurelia in prossimità dell'uscita per Montenero (Fig. 3). Si tratta di ghiaie e conglomerati poligenici a cui si alternano livelli sabbioso limosi. Di questi depositi è stata fatta menzione anche in Zanchetta *et al.* (2004). È possibile che questa unità sia una variazione laterale della formazione Corea (Fig. 2), vista la sua giacitura sotto l'unità IV. L'unità IV è formata prevalentemente da arenarie di ambiente marino costiero. Localmente queste arenarie hanno un livello basale ruditico o sono sostituite da veri e propri conglomerati a matrice più o meno sabbiosa. Queste arenarie corrispondono alla formazione delle «Calcareniti sabbiose di Castiglioncello» di Lazzarotto *et al.* (1990). È importante notare che l'analisi in sezione sottile di alcuni campioni di questo livello indica che il termine comunemente usato di «calcareniti» è improprio dal momento che i campioni analizzati sono da classificare come litoareniti (Ciulli, 2006).

Superiormente alla unità IV sono state distinte due unità (unità V e VI), verosimilmente in parziale rapporto di eteropia come suggeriscono l'analisi di campagna e i dati di sottosuolo. L'unità V è costituita dall'alternanza di livelli ghiaiosi con livelli limo-sabbiosi e limo argillosi interpretabili come depositi di canale fluviale e della relativa piana di esondazione. In superficie, buone esposizioni sono visibili alla rotonda di Coteto (Fig. 3) e nella zona del Maroccone, tra l'uscita della variante Aurelia, il cimitero e in corrispondenza del sottopasso ferroviario. I clasti sono per lo più arrotondati e costituiti prevalentemente da argilliti e calcari e subordinatamente da selci nere, arenarie ed ofioliti (Ciampalini, 2002). Nella zona del Maroccone i livelli grossolani sono costituiti da ghiaie grossolane (da ciottoli fino a blocchi) poco elaborate, spesso organizzati in banchi di spessore pluridecimetrico da *matrix-supported* a *clast-supported* alternati a livelli più fini pelitici e in questo caso interpretati come depositi di conoide alluvionale (Ciampalini, 2002). Invariabilmente il tetto di questa unità è caratterizzato da un orizzonte fortemente concrezionato ricco in noduli car-

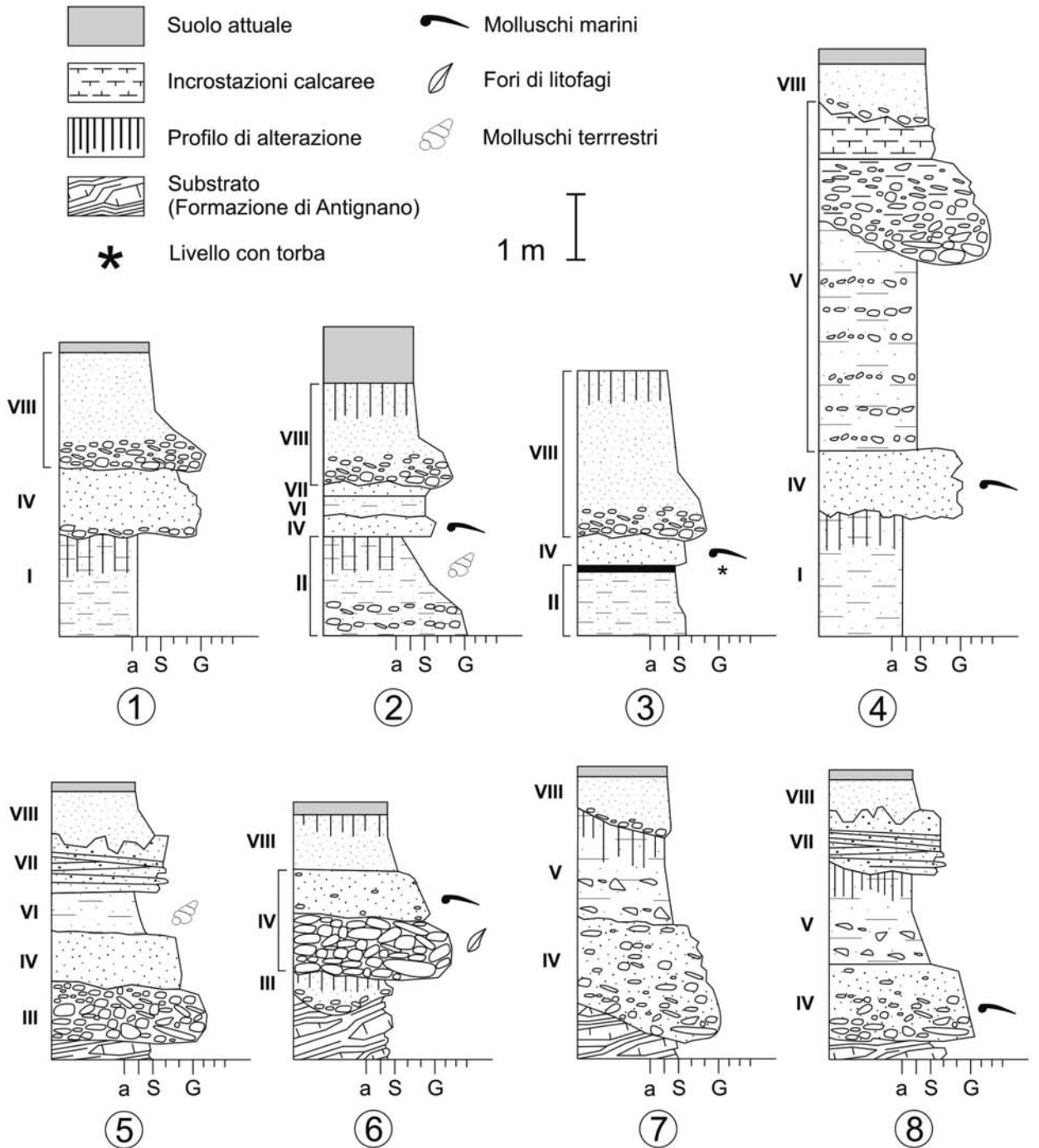


Fig. 3 - Colonne stratigrafiche rilevate nell'area di studio. Per l'ubicazione si veda Figura 1. 1: Pian di Rota; 2: Corea; 3: Shangai; 4: Cote-to; 5: Uscita Montenero Variante Aurelia; 6: Spiaggia Pendola; 7: Hotel Rex (Variante Aurelia); 8: Case Firenze (Variante Aurelia). Numeri romani (I-VIII): unità litostratigrafiche discusse nel testo e riportate in Figura 2.

bonatici (orizzonte Bk, Retallack, 1990) e troncato a sua volta da una superficie erosiva. Lo spessore totale di questi depositi localmente può raggiungere anche i 7-8 m. Dal punto di vista stratigrafico l'unità V corrisponde ai Conglomerati di Rio Maggiore di Lazzarotto *et al.* (1990) e permette di precisare la posizione di questi ultimi, finora incerta, come episodio posteriore al primo livello di «Panchina» (quindi post MIS 5e) ma anteriore alla deposizione del secondo.

L'unità VI è formata da sabbie e sabbie limose continentali spesso ricche di malacofaune terrestri, ben descritte ripetutamente in passato (Malatesta, 1942; Barsotti *et al.*, 1974; Zanchetta *et al.*, 2004). Anche in questo caso buone esposizioni ancora visibili sono presenti allo svincolo per Montenero della variante Aurelia (Fig. 3). Lo spessore di questa unità è sempre molto esiguo e dell'ordine massimo del metro. Non sono mai visibili direttamente i rapporti laterali con l'unità V ma le litofacies della unità VI sono compatibili con un corrispondente distale delle facies di esondazione della unità V. Comunque le due unità occupano la stessa posizione stratigrafica essendo comprese tra i due livelli di «Panchina».

Superiormente alle unità V e VI, o talvolta direttamente sull'unità IV è presente un secondo livello di arenarie (unità VII) che risulta prevalentemente caratterizzato da stratificazione incrociata di origine eolica (Ciulli, 2006). Tuttavia, in alcune sezioni i depositi sono ancora riferibili ad un ambiente marino costiero (Malatesta, 1942; Barsotti *et al.*, 1974; Ciampalini, 2002). Questa unità corrisponde alla «Panchina» II degli autori precedenti.

L'ultima unità litostratigrafica descritta (unità VIII) è costituita prevalentemente da limi e limi sabbiosi di colore variabile dal giallo all'arancio ricchi in noduli di Fe-Mn con sporadiche intercalazioni decimetriche di ghiaie che talora riempiono tasche di erosione. La base di questa unità è sovente marcata da una superficie erosiva che taglia le unità sottostanti su cui spesso giace un sottile livello di ghiaie poligeniche (Fig. 3). L'unità, corrispondente alla formazione delle Sabbie dell'Ardenza di Lazzarotto *et al.* (1990), restituisce frequentemente resti di industrie litiche di tradizione musteriana o tardo-musteriana (Malatesta, 1940; Sammartino, 1984) che ne suggeriscono una deposizione non più recente di ca. 40 ka.

Integrando i dati a disposizione è stata costruita una carta delle isobate di alcune delle unità litostratigrafiche descritte tra cui la base della unità II (formazione Corea), la base della unità IV («Panchina» I *Auct.*) e il tetto dell'unità V (formazione di Rio Maggiore) (Fig. 4). La base della formazione Corea permette di identificare l'andamento di un sistema di paleodrenaggio, ben inciso, almeno nella porzione settentrionale del Terrazzo di Livorno. L'andamento della base della unità IV rappresenta la superficie basale di trasgressione relativa alla fase di innalzamento del livello del mare successiva al penultimo massimo glaciale (MIS 6). L'andamento generale suggerito dalle isobate della base dell'unità IV è abbastanza regolare nella sua porzione orientale verso monte, ma appare abbastanza articolato verso costa. Sembrano essere identificabili alcuni paleodrenaggi,

seppure poco incisi, sui quali si appoggia il primo livello marino arenitico (Fig. 4). A sud del Rio Ardenza le isobate evidenziano un innalzamento repentino, di alcuni metri, della base dell'unità. Questo innalzamento corrisponde al passaggio tra il substrato tardo neogenico e quello dalla formazione di Antignano e potrebbe anche essere associato alla presenza di una dislocazione tettonica riattivata in tempi relativamente recenti.

All'estremità settentrionale del Terrazzo di Livorno i sedimenti unità IV terminano all'altezza di una scarpata, oggi non più visibile a causa dell'urbanizzazione, conosciuta come la «Gronda dei Lupi» e secondo Mazzanti (2000-2001) incisa dal Paleoarno probabilmente sin dall'inizio della glaciazione Wurmiana.

DISCUSSIONE

L'analisi di nuovi sondaggi integrati sia con le stratigrafie di sondaggi esistenti sia con i dati provenienti da nuove sezioni rilevate permette di definire con maggior dettaglio alcune fasi evolutive dell'area. La trasgressione «Tirreniana» (MIS 5e) si imposta su una morfologia articolata (Fig. 4) in cui erano presenti alcuni sistemi di drenaggio il cui andamento generale sembra ricostruibile utilizzando sia la base della formazione Corea (unità II) sia la base dell'unità IV («Panchina» I *Auct.*).

Utilizzando come indicatore la base della «Panchina» inferiore l'espressione «morfologica» di questi paleodrenaggi risulta, tuttavia, poco marcata. La scarsa incisione può essere spiegata sia posizionando l'area in zone di testata di piccoli sistemi fluviali sia ipotizzando precedenti episodi di parziale riempimento della valle stessa con depositi continentali durante le prime fasi di risalita del livello marino. La presenza di sequenze di riempimento di paleovalli è peraltro documentata dai depositi della formazione Corea (Zanchetta *et al.*, 2006). Purtroppo il riconoscimento della formazione Corea nel sottosuolo con il solo ausilio di stratigrafie e senza uno studio diretto dei sondaggi non è agevole e quindi una carta dell'andamento di questa unità non è disponibile per tutta l'area del Terrazzo di Livorno.

Durante il MIS 5 si sviluppano le unità V e VI. La possibilità che tra di esse esista una sostanziale eteropia è sostenuta sia dal fatto che sono ambedue confinate tra i due livelli di «Panchina» (unità IV e VII) sia dalla compatibilità delle facies deposizionali. È inoltre importante notare che i Conglomerati di Rio Maggiore (unità VI) presentano al tetto, ove conservato, un orizzonte fortemente concrezionato di carbonato di calcio con tipici noduli pedogenetici, che indicherebbe un deterioramento climatico in senso arido non compatibile con una possibile parziale eteropia di Rio Maggiore con il secondo livello di panchina come suggerito da Lazzarotto *et al.* (1990) sulla base della presenza di alcune «calcareniti sabbiose» intercalate nella parte alta delle ghiaie. Resta il sospetto che questi supposti livelli calcarenitici altro non siano che il nostro orizzonte Bk. L'unità VII marca il secondo evento trasgressivo riferito ad una delle oscillazioni positive del livello del mare successive al MIS 5e

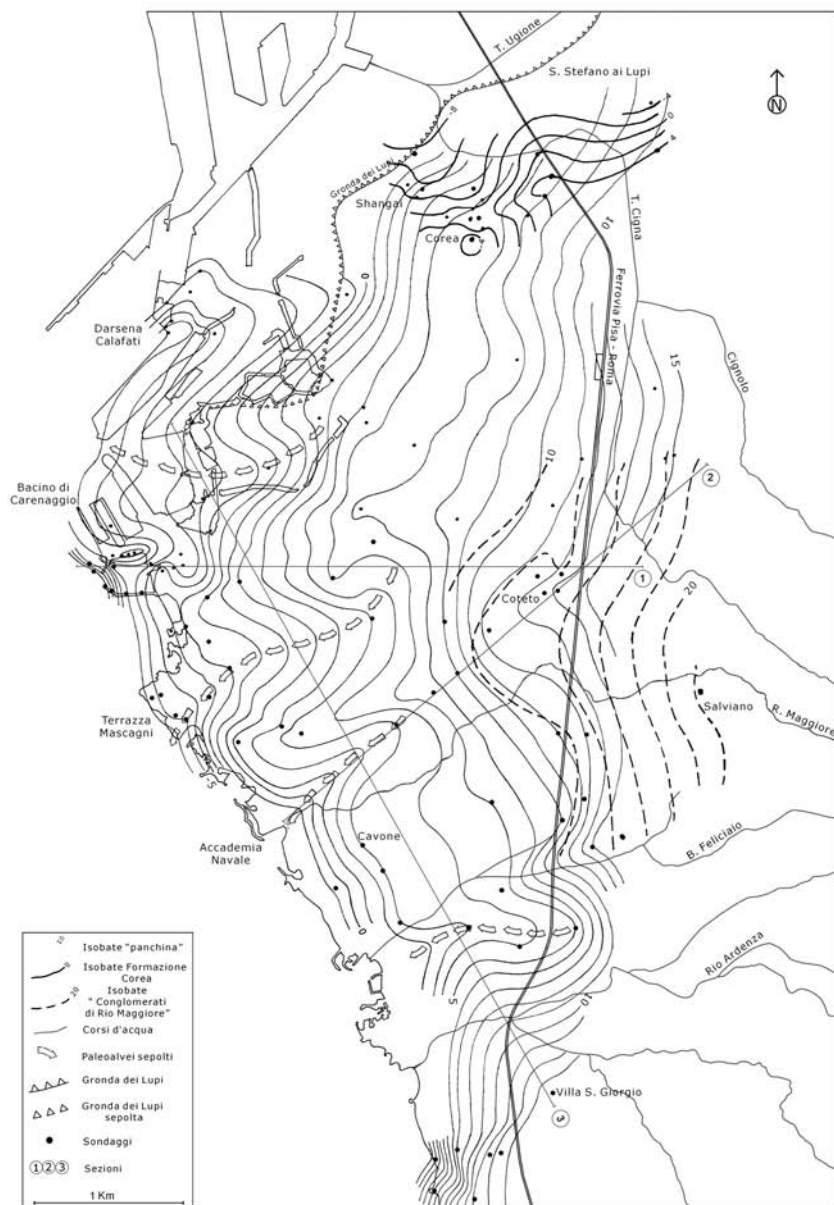


Fig. 4 - Andamento di alcune delle unità litostratigrafiche nel sottosuolo come dedotte dai sondaggi e scavi.

(Federici & Mazzanti, 1995). Su questa interpretazione si sono sostanzialmente uniformati altri autori (es. Zanchetta *et al.*, 2004, 2006) anche sulla base dei dati cronologici successivamente riportati da Mauz (1999) per sezioni vicine. Tuttavia, la comparazione con le curve eustatiche più accreditate nella letteratura recente (per es. Rohling *et al.*, 1998) pone una serie di problemi che non sono stati presi in considerazione dagli autori precedenti. Infatti il livello marino del MIS 5e è considerato più elevato dell'attuale e per il Mediterraneo viene proposto, da alcuni autori, un livello di 6 ± 3 m sopra il livello dello zero attuale (Antonioli *et al.*,

2006; Nisi *et al.*, 2003). Gli stage isotopici successivi (MIS 5a e 5c) sono complessivamente considerati sostanzialmente più bassi (anche di parecchi metri) sotto all'attuale livello del mare (Rohling *et al.*, 1998). Come è possibile avere quindi due livelli marini distinti sovrapposti che dovrebbero, in un'area di sostanziale stabilità tettonica o di lento sollevamento (Nisi *et al.*, 2003), essere individuabili come due distinti terrazzi sviluppatasi a quote anche sensibilmente diverse? In questa nota ci limitiamo a segnalare il problema con alcuni brevi commenti. Il modello di aggiustamento isostatico dovuto alla variazione del carico

eustatico proposto da Antonioli *et al.* (2006) per spiegare la presenza di doppi solchi di battente durante il MIS 5e potrebbe rappresentare una soluzione ragionevole. In questa ottica i due livelli di «Panchina» risulterebbero tutti e due relativi al MIS 5e. Tuttavia, questo modello si scontra con l'evidenza che tra i due livelli di «Panchina», esiste una successione continentale che contiene indicazioni di raffreddamento (Malatesta, 1942; Barsotti *et al.*, 1974; Zanchetta *et al.*, 2004) compatibile con un'origine climatica dell'oscillazione eustatica e non riconducibile ad un semplice aggiustamento isostatico. Da un altro punto di vista è importante notare che in letteratura sono riportate evidenze, anche a livello del bacino del Mediterraneo, della presenza di alcune oscillazioni del livello del mare all'interno del MIS5e (Jedoui *et al.*, 2003). Non può quindi essere esclusa l'ipotesi che la successione del Terrazzo di Livorno costituita da due livelli marini separati da un episodio di sedimentazione continentale registri cicli ad alta frequenza all'interno del MIS 5e. In questa ipotesi non sarebbero richiesti sostanziali mutamenti del regime tettonico dell'area. A questo proposito giova sottolineare che l'associazione malacologica rinvenuta nei depositi dell'unità V, interposto ai due livelli marini («Panchina» I e II *Auct.*), non possiede caratteristiche ambientali tali da implicare condizioni climatiche estreme (Zanchetta *et al.*, 2004, 2006; Sarti *et al.*, 2005) come confermato anche dai dati isotopici (Zanchetta *et al.*, 2004).

In alternativa per spiegare la sovrapposizione stratigrafica di due depositi litorali associati a quote diverse del livello marino è necessario ammettere che dopo la deposizione del primo livello una fase di subsidenza, tale da permettere la trasgressione del secondo livello marino (compatibile, in questo caso con il MIS 5a o 5c) seguita da una fase di sollevamento che avrebbe portato all'assetto attuale. Questa seconda soluzione, come la precedente, è certamente interessante ma presupporrebbe un'attività tettonica complessa per cui non esistono dati indipendenti. Problematiche simili esistono non solo per questa zona. Sempre per la Toscana costiera Sarti *et al.* (2005), utilizzando l'analisi di facies e i dati radiometrici disponibili, hanno evidenziato un'evoluzione del Golfo di Baratti che implicherebbe fasi di subsidenza e fasi *uplift*, tra il Pleistocene superiore e l'Olocene.

Dopo la deposizione del secondo livello di «Panchina» si sviluppa una vasta fase di erosione subaerea che è seguita dalla deposizione delle Sabbie dell'Ardenza (Unità VIII). Secondo la nostra interpretazione, quindi, le sabbie di Ardenza non sono eteropiche alla successione delle «Panchine» (Lazarotto *et al.*, 1990) ma posteriori ad esse (Fig. 2). Definita così la posizione stratigrafica della Sabbie dell'Ardenza e, tenendo conto dei dati cronologici e stratigrafici derivanti dal ritrovamento di industrie musteriane al loro interno, sembra plausibile un'attribuzione della fase erosiva al MIS 4. È interessante notare che durante il MIS 4 Sarti *et al.* (2005) segnalano la deposizione di depositi loessici nell'area di Baratti. In quest'interpretazione, dunque, le sabbie di Ardenza si svilupperebbero principalmente durante il MIS 3.

Da un punto di vista più generale sembrano quindi identificabili superfici erosive di significato e di ordine gerarchico diverso. Ad un'erosione subaerea legata alla caduta del livello del mare del MIS 6 è imputabile la formazione di paleovalli in seguito riempite dai depositi della formazione Corea. La successiva trasgressione marina (unità IV) del MIS5e modella la base del «Terrazzo di Livorno» (Fig. 4). Tra le due «Panchine» si sviluppa una ulteriore superficie di discontinuità il cui ordine gerarchico non sembra ancora definibile con precisione. La questione non è banale, in quanto l'ordine ed importanza gerarchica relativa di una discontinuità erosiva subaerea tra i due livelli di «Panchina» può anche essere dirimente per optare tra le varie ipotesi proposte sull'origine della successione stratigrafica dei due livelli. Una discontinuità ben maggiore sembra essere precedente alla deposizione delle sabbie dell'Ardenza ed è messa, in questo lavoro, in corrispondenza della fase di vasta erosione subaerea avvenuta durante la fase di raffreddamento climatico e di caduta del livello del mare avvenuta durante il MIS 4. Quindi sembrerebbe possibile definire nell'area di studio almeno un'unità allostratigrafica di ordine maggiore contenente la successione di unità litostratigrafiche comprese tra la superficie di erosione identificabile alla base della formazione Corea e la superficie di erosione alla base delle Sabbie di Ardenza. Tra i due livelli di panchina esiste quasi certamente una superficie di discontinuità erosiva, probabilmente di ordine inferiore, che potrebbe anche essere, localmente, caratterizzata da un suolo di cui l'orizzonte Bk descritto potrebbe essere l'espressione. Una nuova superficie di erosione importante deve essere avvenuta durante l'ultimo glaciale (MIS 2), in cui certamente la porzione settentrionale del Terrazzo di Livorno viene ad essere rimodellata («Gronda dei Lupi»; Mazzanti, 2000-2001). Sul terrazzo di Livorno l'espressione di questa erosione va cercata nelle scarpate di incisione delle valli dei torrenti maggiori ed in particolare nella Valle del Rio Ardenza ma i dati a questo riguardo sono ad oggi, purtroppo, molto scarsi.

CONCLUSIONI

La raccolta di nuovi dati del sottosuolo relativi al Terrazzo di Livorno, integrati con lo studio dettagliato di nuove sezioni, ha permesso di migliorare e ridefinire alcuni dettagli riguardanti l'evoluzione geologica di questa area. In sintesi:

- sono state individuate otto unità litostratigrafiche separate da superfici di *unconformity* di vario ordine;
- è stata definita la posizione stratigrafica dei conglomerati di Rio Maggiore (unità VI) che risulta intercalata alle due «Panchine» ed eteropica all'unità V contenente le malacofaune continentali più volte descritte in letteratura;
- l'unità VIII, corrispondente alle Sabbie dell'Ardenza e separata dalle altre unità del «Terrazzo di Livorno» da una importante superficie di *unconformity* e non può essere considerata eteropica alle due «Panchine» come da alcuni autori suggerito;

– è stato definito nel sottosuolo l'andamento della superficie basale del primo livello di «Panchina» che sia pur in modo diacronico, separa i depositi del Pleistocene superiore da quelli più antichi, e quello della Formazione di Rio Maggiore.

Infine, come già riportato da Sarti *et al.* (2005), l'integrazione tra dati cronologici e dati stratigrafici evidenzia la possibile presenza di una tettonica recente articolata ancora da definire soprattutto per la mancanza di un robusto quadro cronologico di riferimento.

RINGRAZIAMENTI

Ci sentiamo in dovere di ringraziare il dott. L. Michelucci per l'aiuto prestato nella raccolta dei dati, il prof. F.P. Bonadonna per le proficue discussioni e la prof.ssa M. Pappalardo per l'utile revisione del testo.

BIBLIOGRAFIA

- Aguzzi M., Amorosi A., Colalongo M.C., Ricci Lucchi M., Rossi V., Sarti G., Vaiani S.C., 2006. Late Quaternary climatic evolution of the Arno coastal plain (Western Tuscany, Italy) from subsurface data. *Sedim. Geol.* in stampa.
- Aguzzi M., Amorosi A., Sarti G., 2005. Stratigraphic architecture of Late Quaternary deposits in the Lower Arno plain (Tuscany, Italy). *Geol. Rom.* 38: 1-10.
- Antonoli F., Ferranti L., Kershaw S., 2006. A glacial isostatic adjustment origin for double MIS 5.5 and Holocene marine notches in the coastline of Italy. *Quat. Int.* in stampa.
- Amorosi A., Ricci Lucchi M., Sarti G., Vaiani S.C., Prandin S., Muti A., 2004. Late Quaternary sedimentary evolution of the Piombino alluvial plain (western Tuscany) as revealed by subsurface data. *GeoActa* 3: 97-106.
- Bacci A., Malatesta A., Tongiorgi E., 1939. Di una formazione glaciale rissiana riscontrata a Livorno nei sedimenti della fase costruttiva del ciclo tirreniano. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Proc. Verb.* 48: 74-85.
- Barsotti G., Federici P.R., Giannelli L., Mazzanti 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: 425-475.
- Ciampalini A., 2002. Studio sul Quaternario Livornese con particolare riferimento alla trasgressione Versiliana. *Tesi inedita, Facoltà SMNF, Università di Pisa*, 172 pp.
- Ciulli L., 2005. Analisi di facies dei depositi tardo quaternari nel tratto costiero tra Livorno e Piombino: implicazioni paleoambientali e neotettoniche. *Tesi inedita, Facoltà SMNF, Università di Pisa*, 237 pp.
- Dall'Antonia B., Ciampalini A., Michelucci L., Zanchetta G., Bossio A., Bonadonna F.P., 2004. New insights on the Quaternary stratigraphy of the Livorno area as deduced by boreholes investigations. *Boll. Soc. Paleont. It.* 43: 155-172.
- Federici P.R., Mazzanti R., 1995. Note sulle pianure costiere della Toscana. *Mem. Soc. Geogr. It.* 53: 165-270.
- Hearty P.J., Miller G.H., Stearns C.E., Szabo B.J., 1986. Aminostratigraphy of Quaternary shorelines in the Mediterranean basin. *Geol. Soc. Am. Bull.* 97: 850-858.
- Jedoui Y., Reyss J.-L., Kallel N., Montacer M., Ismail H.B., Davaud E., 2003. U-series evidence for two high Last Interglacial sea levels in southeastern Tunisia. *Quat. Sc. Rev.* 22: 343-351.
- Lazzarotto A., Mazzanti R., Nencini C., 1990. Geologia e morfologia dei Comuni di Livorno e Collesalveti. *Quad. Mus. St. Nat. Livorno* 11: 1-85.
- Malatesta A., 1940. L'industria musteriana di Livorno. *Soc. It. Progress. Sc.* 18: 367-370.
- Malatesta A., 1942. Le formazioni pleistoceniche del Livornese. *Atti Soc. Tosc. Nat. Mem.* 51: 145-206.
- Mauz B., 1999. Late Pleistocene records of littoral processes at the Tyrrhenian Coast (Central Italy): depositional environments and luminescence chronology. *Quat. Sc. Rev.* 18: 1173-1184.
- Mazzanti R., 2000-2001. Geomorfologia del bacino versiliese-pisano con particolare riferimento alla «Gronda dei Lupi», scarpata fossile che separa le colline livornesi, con i loro terrazzi eustatici, dalla pianura alluvionale di Pisa. *Atti Soc. Tosc. Sci. Nat. Ser. A*: 165-189.
- Nisi M., Antonoli F., Dai Pra G., Leoni G., Silenzi S., 2003. Coastal deformation between Versilia and the Garigliano plains (Italy) since the last interglacial stage. *J. Quat. Sc.* 18: 709-721.
- Retallack G.J., 1990. *Soils of the Past*. Unwin Hyman, Boston.
- Rohling E.J., Fenton M., Jorissen F.J., Bertrand P., Ganssen G., Cautlet J.P., 1998. Magnitudes of sea-level lowstands of the past 500,000 years. *Nature* 394: 162-165.
- Sammartino F., 1984. La stazione preistorica di Stagno (Livorno). *Quad. Mus. St. Nat. Livorno* 5: 169-176.
- Sarti G., Zanchetta G., Ciulli L., Colonese A., 2005. Late Quaternary oligotypical non-marine mollusc fauna from southern Tuscany: climatic and stratigraphic implications. *GeoActa* 4: 159-167.
- Zanchetta G., Bonadonna F.P., Ciampalini A., Fallick A.E., Leone G., Marcolini F., Michelucci L., 2004. Intra-Tyrrhenian cooling event deduced by non-marine mollusc assemblage at Villa S. Giorgio (Livorno, Italy). *Boll. Soc. Pal. It.* 43: 347-359.
- Zanchetta G., Beccatini R., Bonadonna F.P., Bossio A., Ciampalini A., Colonese A., Dall'Antonia B., Fallick A.E., Leone G., Marcolini F., Mariotti Lippi M., Michelucci L., 2006. Late middle Pleistocene cool non-marine mollusc and mammal faunas from Livorno (Italy). *Riv. It. Pal. Str.* 112: 135-155.

(ms. pres. il 1° settembre 2006; ult. bozze il 1° febbraio 2007)