

BRUNO DELLA ROCCA (*), RENZO MAZZANTI (**), ENZO PRANZINI (***)

STUDIO GEOMORFOLOGICO DELLA PIANURA DI PISA (****)

ABSTRACT: DELLA ROCCA B., MAZZANTI R. & PRANZINI E., *Geomorphology of the Pisa plain (Tuscany)*. (IT ISSN 0084-8948, 1987).

In this note we present a geomorphologic study of the Pisa plain which was prepared on the basis of field studies and the study of historic documents, areal photographs, and satellite images. We have defined the Pisa plain as a unit in terms of its physiography, administration, history, Geology, and Geomorphology. We began by studying the substratum of the plain, which we divided into three parts: inferior (underlying the upper Miocene sediments, which in Tuscany represent the beginning of the neoautochthonous sedimentary complex), intermediate (which is made up of the sediments of the neoautochthonous complex that date through the lower Pleistocene), and upper (includes middle and upper Pleistocene and Holocene sediments, all of which were strongly affected by glacio-eustatic variations in sea level). The examination of the substratum was followed by a study of the surface of the plain, for which the data supplied by historic sources as well as that derived from the interpretation of areal photographs and satellite images proved very important.

Most of the Pisa plain lies within the Pisa-Versilia basin, a graben bounded by the Alpi Apuane and Monte Pisano to the East, and the Meloria-Maestra submarine crest to the West. The Livorno and Casciana Terme mountains close off the basin to the South. During the middle-upper Pleistocene this region emerged and was crossed by rivers from the Apennines that drained into the Tyrrhenian Sea. Unfortunately, the stratigraphic, documentation of this phase is scanty.

The development of the Pisa-Versilia basin reached its maximum extent in the beginning of the lower-middle Pliocene, after which the basin became associated with a large emerged region that seems to have extended as far as Corsica and Sardegna during the upper Pliocene (as is indicated by the vertebrate faunas of the islands), and then subsided considerably in the lower Pleistocene.

The upper-middle Pleistocene (Mindel-Riss Interglacial) marks the beginning of a period of intense fluvial activity on the part of the Arno and the branch of the Serchio that passed to the East of Monte Pisano. During the Würm II there was a second phase of fluvial activity on the part of the Arno and the Serchio, whose bed has been mapped at depths between 40 and 60 meters below the surface of the plain to the East of Monte Pisano. In the latter phases of Würm II aeolian sediments were also deposited, which have undergone pedogenesis and contain Musterian remains. These sediments line the southern border of the plain (Sabbie di Vicarello), and form a transverse

barrier (Sabbie dell'Isola di Coltano) behind the Holocene littoral sediments produced by the Versilian transgression.

The first overflow of the Serchio through the Ripafratta gorge to the sea seems to have occurred during Würm I. The gorge had been dug much earlier, before the upper Miocene in fact, by a stream flowing in the opposite direction. It had then become inactive when the Pisa-Versilia basin subsided.

We have also been able to make a satisfactory reconstruction of the evolution of the coastline with the help of historic documents, photointerpretation, and satellite imagery. The shore reached its most inland position during the Versilian transgression between the end of the Atlantic Dak Phase and the first and second centuries B.C. Its present position is the result of the intense erosion of the cusp of the Arno delta since the 18th century, which is probably due to human activities. Photointerpretation and the study of satellite imagery has also allowed us to retrace many sections of the paleostream channels of both the Arno and the Serchio, the locations of which are confirmed by historic documents. We were also able to trace the histories of the areas that were covered by swamps during the Middle Ages through the time they were drained in the 1930s. On the other hand, we were only able to propose hypotheses as to the locations of rivers and marshes in antiquity.

RIASSUNTO: DELLA ROCCA B., MAZZANTI R. & PRANZINI E., *Studio geomorfologico della pianura di Pisa*. (IT ISSN 0084-8948, 1987).

Questa nota presenta uno studio geomorfologico della pianura di Pisa, svolto sulla base del rilevamento di campagna e di un esame della letteratura storica, delle fotografie aeree e delle immagini da satellite. La pianura di Pisa è stata definita come unità fisiografica, amministrativa, storica, geologica e geomorfologica. Inizialmente è stato preso in considerazione il substrato della pianura con la determinazione di tre parti: inferiore (al di sotto dei sedimenti del Miocene sup. con i quali in Toscana inizia il complesso sedimentario neoautoctono), intermedio (rappresentato dai sedimenti del complesso neoautoctono fino a tutto il Pleistocene inf.) e superiore (che comprende i sedimenti del Pleistocene medio e sup. fino a quelli olocenici, tutti ampiamente dipendenti dalle oscillazioni del livello del mare per eustatismo glaciale). In seguito è stato svolto l'esame della superficie nel quale hanno avuto grande importanza i dati storici e quelli derivati dall'interpretazione delle fotografie aeree e delle immagini da satellite.

La maggior parte della pianura di Pisa rientra nel Bacino Pisano-Versiliese, Graben compreso fra le Alpi Apuane e il Monte Pisano ad Est e la dorsale della Meloria-Maestra, sommersa dal mare, ad Ovest. I Monti Livornesi e quelli di Casciana Terme chiudono questo bacino verso Sud, che, nel Pleistocene medio-sup., ha corrisposto ad una zona emersa traversata dai fiumi provenienti dall'Appennino e scaricatisi nel Mare Tirreno; tuttavia disponiamo di scarsi documenti stratigrafici di questa fase.

(*) ENEA, Casaccia, Roma.

(**) CNR, Centro di Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino, Pisa.

(***) Dipartimento di Scienze della Terra, Università di Firenze.

(****) Lavoro eseguito con i fondi 40% del M.P.I. Progetto: Genesi ed evoluzione geomorfologica delle pianure dell'Italia peninsulare ed insulare.

Il Bacino Pisano-Versiliese ha avuto massimo sviluppo nel Pliocene inf.-medio iniziale; in seguito è entrato a far parte dell'ampia regione emersa che si estendeva verosimilmente fino alla Corsica e alla Sardegna nel Pliocene sup. (come documentato dalle faune a Vertebrati di queste località), per poi subire un nuovo notevole sprofondamento nel Pleistocene inf.

L'inizio di una intensa attività fluviale, riferibile contemporaneamente all'Arno e al ramo del Serchio passante ad Est del Monte Pisano, risale al tardo Pleistocene medio (Interglaciale Mindel-Riss). Al Würm II corrisponde una seconda fase fluviale attribuibile all'Arno e al corso del Serchio ad Est del Monte Pisano, ampiamente rintracciata sui 40-60 m di profondità nel sottosuolo superiore della pianura. Ancora alle fasi tarde del Würm II corrispondono i depositi in prevalenza colici, pedogenizzati e a industrie musteriane, che bordano l'orlo meridionale della pianura (Sabbie di Vicarello) e formano uno sbarramento trasversale (Sabbie dell'Isola di Coltano) posto all'interno dei sedimenti litoranei olocenici della trasgressione versiliana.

Al Würm I sembra corrispondere la prima tracimazione del Serchio verso il mare attraverso la gola di Ripafratta, di escavazione assai precedente, avvenuta in senso inverso a quello dell'attuale scorrimento delle acque, addirittura prima del Miocene sup. e che era rimasta inattiva con lo sprofondamento del Bacino Pisano-Versiliese.

Le notizie storiche, la fotointerpretazione e le immagini da satellite hanno permesso di ricostruire con buona approssimazione l'evolversi della linea di riva dalla posizione più interna, raggiunta dalla trasgressione versiliana tra la fine della fase atlantica del Querceto e il II-I secolo a.C., a quella attuale, risultante da una notevole erosione ottocentesca della cuspidi delizia dell'Arno verosimilmente legata ad attività antropiche. Ancora la fotointerpretazione e le immagini da satellite hanno permesso di rintracciare numerosi tratti di paleoalvei sia dell'Arno sia del Serchio per molti dei quali è stato possibile richiamare le corrispondenti documentazioni storiche. Altrettanto è stato eseguito per la ricostruzione delle aree occupate dai paduli dal Medioevo e per i loro prosciugamenti fino agli anni '30 di questo secolo, mentre è stato possibile solo proporre delle ipotesi per l'andamento di fiumi e paduli nell'antichità.

TERMINI CHIAVE: Geomorfologia; Fotogeologia; Quaternario; Toscana.

INTRODUZIONE

Per delimitare la pianura di Pisa, a parte i limiti fisiografici ben definiti del Monte Pisano a Nord e delle Colline Pisane ⁽¹⁾ - terrazzo di Livorno a Sud, non esiste un criterio che sia accettabile da tutti i punti di vista. Vi è infatti continuità morfologica lungo la pianura litoranea verso la Versilia, lungo l'alveo prosciugato del Lago di Bientina verso la pianura di Lucca, e infine lungo la pianura alluvionale dell'Arno a Est di Pontedera verso Empoli e, oltre, fino alla stretta della Gonfolina.

Il problema ha vari aspetti (tav. I e figg. 1 e 2):

— l'attuale confine amministrativo settentrionale della Provincia di Pisa lambisce la riva SW del Lago di Massaciuccoli e passa poco a Nord del Fosso della Bufalina, lungo un suo antico percorso; si addentra poi ampiamente nell'alveo prosciugato del lago-palude di Bientina fin quasi sotto Altopascio; traversa a metà le Cer-

baie e, più verso Est, la pianura alluvionale dell'Arno fino alla confluenza con l'Elsa;

- il confine storico è quasi identico a quello amministrativo fra il Lago di Massaciuccoli e il mare (antico corso del Fosso della Bufalina) dove ha separato il litorale pisano da quello lucchese; coincide ancora in corrispondenza del lago-palude prosciugato di Bientina; è tuttavia preferibile limitarlo al territorio di Pontedera, verso Est, come a quello più strettamente legato all'influenza pisana;
- dal punto di vista geologico il limite Lago di Massaciuccoli - Fosso della Bufalina è privo di significato in quanto non corrisponde ad alcuna differenza nel grande bacino di sprofondamento a direzione appenninica e a forma triangolare (sfenocasma) con vertice presso Santo Stefano Magra e base lungo il bordo settentrionale delle Colline Pisane — terrazzo di Livorno; questo bacino, detto pisano-versiliese, ha andamento molto unitario (appunto come un grande triangolo) ed è limitato, verso Est, dal fascio di faglie di distensione al piede del Monte Pisano e delle Alpi Apuane, e, verso Ovest, verosimilmente da altre faglie (sub-parallele ma a immersione opposta alle precedenti) al piede delle strutture rialzate, ma sommerse dal mare, dette della Meloria e di Maestra, come risulta dalle isobate del tetto del substrato pre-miocenico ricostruite con indagini geofisiche ⁽²⁾;
- dal punto di vista geomorfologico si può cogliere invece una certa differenza nel Bacino Pisano-Versiliese di nuovo più o meno all'altezza del Lago di Massaciuccoli - Fosso della Bufalina. Infatti il settore a Sud è traversato dai due fiumi maggiori, Arno e Serchio, con andamento trasversale, mentre quello a Nord riceve solo i piccoli torrenti che scendono dalle Alpi Apuane e, al suo vertice, il Magra, terzo fiume per importanza e che percorre il bacino stesso con andamento longitudinale. La deposizione dei sedimenti all'interno di questo bacino è, ed è stata, influenzata grandemente da questa disposizione dei fiumi alimentatori per cui è risultato un riempimento maggiore nel settore meridionale, più direttamente rifornito dall'Arno e dal Serchio e nel quale la pianura è più ampia.

Sulla base delle argomentazioni storiche e geomorfologiche di cui sopra, fissiamo i confini della pianura di Pisa nelle zone a delimitazione incerta prima definite: alla riva meridionale del Lago di Massaciuccoli - attuale Fosso della Bufalina; all'altezza dell'abitato di Bientina; alla confluenza dell'Era con l'Arno.

Nello studio di una pianura i metodi e le tecniche d'indagine differiscono notevolmente se rivolti alla morfologia e Geologia di superficie o a quelle del substrato (morfologie e successioni stratigrafiche sepolte). Nel passato la pianura di Pisa è stata oggetto di alcuni studi di grande

⁽¹⁾ Intendiamo per Colline Pisane tutta la fascia collinare che si estende lungo l'orlo meridionale della pianura di Pisa dalla Val d'Era al terrazzo di Livorno (indicato nella Carta Geomorfologica dall'affioramento delle Sabbie di Ardenza).

⁽²⁾ Ringraziamo vivamente il prof. Paolo SCANDONE per averci messo a disposizione le bozze di stampa della *Neotectonic Map of Italy* e dello *Structural Model of Italy* dai quali abbiamo tratto le isobate del tetto del substrato profondo della parte a mare nella fig. 1.

interesse fra i più generali dei quali ricordiamo quelli di TREVISAN & TONGIORGI (1953), di GHELARDONI & *alii* (1968) e di FANCELLI & *alii* (1986). Tuttavia nessuno di questi è comprensivo dell'esame del sottosuolo e della superficie o si estende su tutta l'area della pianura come sopra definita. I recenti studi di Geofisica condotti nell'antistante Mar Ligure nell'ambito del Progetto Finalizzato Geodinamica del CNR (carte a scala 1/500 000: *Neotectonic Map of Italy* e *Structural Model of Italy*) forniscono nuovi interessanti spunti di ricerca anche nello studio di questa pianura. Inoltre la disponibilità di nuove fotografie aeree a varie scale e di immagini rilevate da satellite, offre la possibilità di migliorare l'esame di superficie.

In quest'ottica di rinnovamento affrontiamo, ancora una volta, un tema ormai classico della Geomorfologia, cimento per tanti studiosi fra i quali non è mancato ovviamente LEONARDO DA VINCI con la sua vivissima rappresentazione del *Piano di Pisa* non priva di spunti di chiara interpretazione naturalistica (?).

Lo studio si compone di un quadro sintetico sulla Geologia e Geomorfologia, seguono l'analisi delle fonti storiche, quella delle fotografie aeree e quella delle immagini da satellite e, infine, un confronto fra i risultati ottenuti con queste diverse metodologie.

QUADRO SINTETICO SULLA GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

IL SUBSTRATO

Nello studio della pianura di Pisa è utile suddividere il substrato in tre parti (FANCELLI & *alii*, 1986):

- il substrato profondo, con tutte le formazioni litostratigrafiche che stanno al di sotto dei primi sedimenti del complesso neautoctono, il cui inizio varia da zona a zona, ma non è anteriore al Miocene sup. (Tortoniano sup.? Messiniano inf., secondo GIANNELLI & *alii*, 1981a);
- il substrato intermedio, comprensivo dei sedimenti neautoctoni fino a tutto il Pleistocene inf., caratterizzati da una deposizione prevalentemente controllata dalla subsidenza di origine tettonica;
- il substrato superiore, formato dai sedimenti posteriori al Pleistocene inf. e legati a una deposizione controllata principalmente dalle variazioni eustatiche del livello del mare e da quelle degli apporti fluviali conseguenti alle prime e alle modificazioni climatiche.

Il substrato profondo.

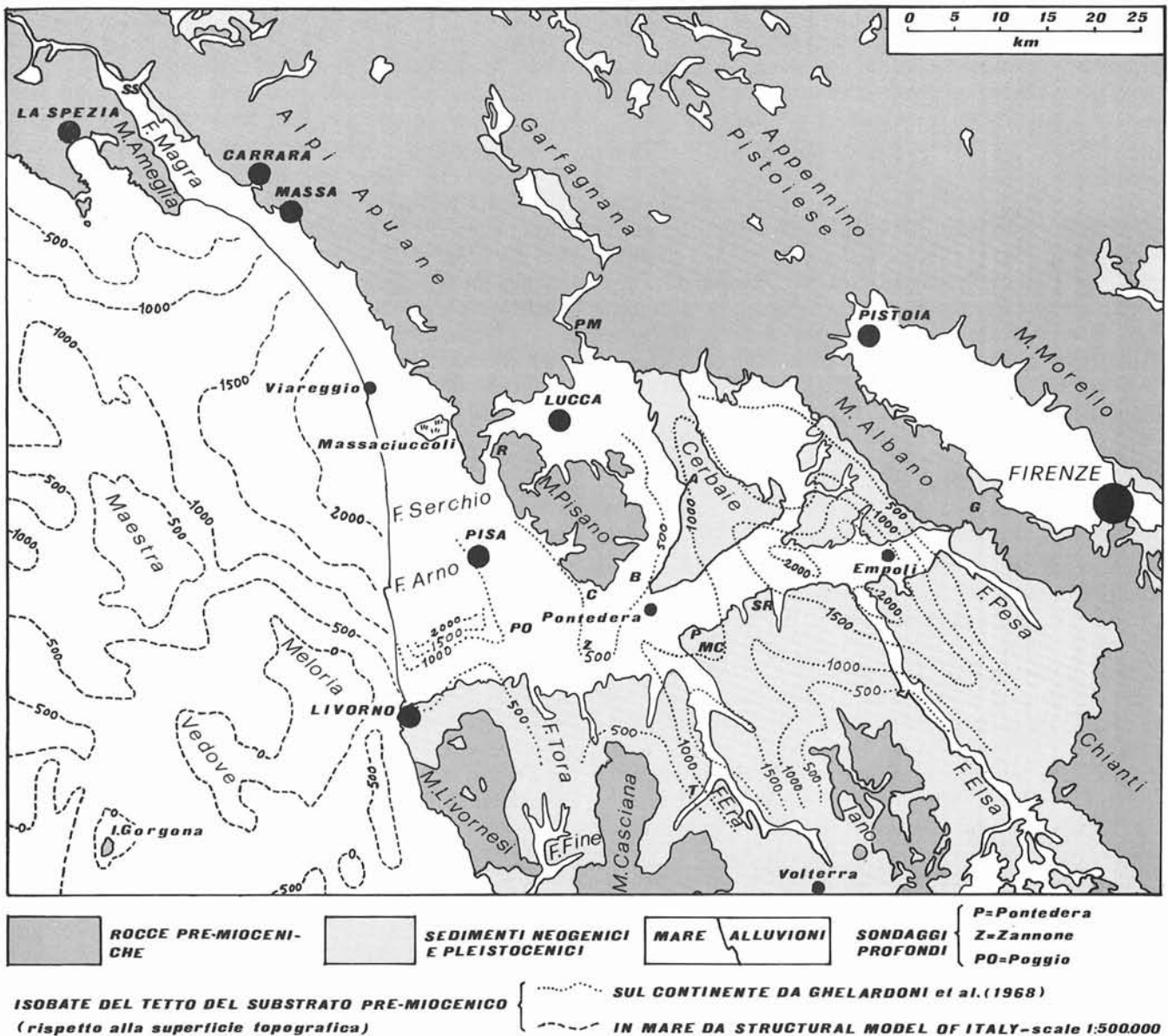
Per il sottosuolo della pianura di Pisa le conoscenze più dirette del substrato profondo sono offerte dai tre sondaggi

(?) Per la cartografia di LEONARDO DA VINCI nella pianura di Pisa si può consultare il recente lavoro di CALECA & MAZZANTI (1982).

(GHELARDONI & *alii*, 1968): Poggio, con calcari grigi del Lias a -690 m; Zannone, con scisti filladici del Trias superiore a -387 m; Pontedera, con calcari, calcari dolomitici, cavernosi e brecciati del Trias sup. a -706 m. Tutti questi pozzi rientrano in un'area non lontana dal Monte Pisano e sembrano indicarne la continuazione della struttura verso Sud con formazioni della Serie Toscana; in modo più diretto in corrispondenza dello Zannone e del Pontedera, assai più decentrato nei pressi del Poggio. È tuttavia probabile che nel substrato profondo dell'area centrale del Bacino Pisano-Versiliese, a Ovest di Pisa, compaiano anche formazioni dell'Alloctono Ligure. La ricostruzione della natura del substrato profondo non è comunque un argomento che può riguardare questo studio oltre le brevissime informazioni di cui sopra e la constatazione del fatto che i materiali che lo compongono presentano in genere una risposta alle indagini geofisiche ben diversa da quella dei sedimenti dei substrati intermedio e superiore.

Su questi elementi la superficie superiore del substrato profondo, o base dei bacini di sprofondamento neautoctoni, è stata ben delineata dagli studi dell'AGIP MINERARIA per la parte a terra e del Progetto Finalizzato Geodinamica del CNR per quella a mare (fig. 1). È appunto l'andamento di questa superficie che ha un grande interesse per seguire fin dagli inizi lo sviluppo di quelle strutture che hanno permesso in seguito la formazione della pianura di Pisa. Questa si trova quasi tutta in corrispondenza dell'angolo SE del Bacino Pisano-Versiliese, solo la parte più orientale, a Est della congiungente Cascina con il pozzo Zannone, è estranea a questo bacino e sembra corrispondere alla continuazione profonda del Monte Pisano e alla parte settentrionale e terminale del Bacino di Volterra (MAZZANTI & NENCINI, 1986).

L'andamento molto ravvicinato delle isobate dei 500, 600 e 700 m del tetto del substrato profondo lungo il margine della pianura presso il Monte Pisano (non riportato in fig. 1 per omogeneità nei confronti degli altri dati disponibili ma molto evidente nella tav. I di GHELARDONI & *alii*, 1968) mette in evidenza una parete molto ripida sepolta dai sedimenti neautoctoni e dovuta al fascio di faglie ad andamento appenninico del margine occidentale di questo monte. Analogamente il raffittirsi delle isobate dei 1 000, 1 500 e 2 000 m circa 5 km a Nord di Livorno rivela un'altra netta parete molto ripida collegata verosimilmente con un importante fascio di faglie ad andamento anti-appenninico. Queste ultime, già esattamente indicate (α in fig. 8 del lavoro di GHELARDONI & *alii*, 1986), potrebbero proseguire come trascorrenti nella piattaforma continentale lungo l'orlo SE della struttura sollevata della Meloria e delle Vedove; tanto più che, sebbene interrotte dalle strutture longitudinali appenniniche, potrebbero continuare, ancora al di sotto della pianura di Pisa, fra il sondaggio del Poggio e Cascina e fra il sondaggio Zannone e Pontedera con un andamento non molto dissimile da quello degli elementi vicarianti β e δ già supposti da GHELARDONI & *alii*, (1968).



SS=S.Stelano Magra; R=Ripaltratta; C=Cascina; B=Bientina; MC=Montecastelli; T=Terricciola; PM=Ponte a Moriano; A=Attopascio; SR=San Romano; G=Gonfolina

Fig. 1 - Isobate del tetto del substrato pre-miocenico in relazione ai principali affioramenti di rocce pre-mioceniche, di sedimenti neogenici e pleistocenici e di alluvioni.

Il substrato intermedio.

La successione stratigrafica del substrato intermedio si può agevolmente seguire nelle Colline Pisane a partire dall'orlo settentrionale dei Monti Livornesi e dei Monti di Casciana in quanto forma una semplice monoclinale che si immerge sotto la pianura di Pisa (FANELLI & alii, 1986). Particolarmente ben esposta e significativa è la successione della Strada degli Archi fra Livorno e la Via Emilia (all'altezza del Fiume Tora) studiata nei dettagli strati-

grafici e paleontologici da BOSSIO & alii (1981a) e riproposta con descrizione schematica ed essenziale da FANELLI & alii (1986) secondo l'ordine di sovrapposizione delle formazioni:

«— Conglomerati sabbiosi di base. Non hanno rivelato macrofossili, né sono stati campionati per la ricerca di microfossili, vista la grossolanità degli elementi detritici e della matrice. Hanno spessori modesti di poche decine di metri.

— Argille lagunari. La loro facies è messa in evidenza

dalle faune a Molluschi (*Cerithium* e *Cardium*) e dalle microfaune a Foraminiferi specialmente bentonici e ad Ostracodi (elenco in BOSSIO & *alii*, 1981a). È stato possibile eseguire misure di spessore solo per 39 metri, ma l'insieme del sedimento raggiunge spessori senza dubbio maggiori, non misurabili tuttavia completamente per le cattive esposizioni.

— Gessi, presenti in sottilissimi strati alternati ad argille («balatino») o in banchi di grossi cristalli geminati («spicchiolino» o «selenitico»), sempre associati a banchi di argille. Rappresentano il livello più propriamente evaporitico della successione del Miocene sup., noto in tutto il bacino del Mediterraneo Occidentale e la cui precipitazione viene oggi fatta coincidere con la diminuzione o l'interruzione totale delle comunicazioni fra quest'area e l'Oceano Atlantico in un clima tropicale.

— Sabbie, argille e conglomerati del tetto del Miocene sup. ⁽⁴⁾; rappresentano la sedimentazione di un bacino senza comunicazioni con i mari aperti, con acque poco profonde e a debole salinità; la caratteristica presenza di *Dreissena* e *Melanopsis* fra i Molluschi e di *Cyprideis* e *Candona* fra gli Ostracodi (BOSSIO & *alii*, 1981a) permette il loro riferimento alla facies e al livello del «lagomare», qui presente per uno spessore di 150 metri al tetto del Miocene sup.

— Argille azzurre (I banco di circa 50 m di spessore) con microfauna di mare franco e associazione caratteristica della Biozona a *Sphaeroidinellopsis* (parte basale del Pliocene inf.). Queste argille si sovrappongono in concordanza agli strati del Miocene sup. del livello sottostante. Per la loro facies francamente marina e denotante già un ambiente di deposizione relativamente profondo, in netto contrasto con la facies dulcicola degli strati miocenici sottostanti, vengono interpretate come un deposito legato ad un veloce innalzamento del livello delle acque del Bacino Mediterraneo e al ripristinarsi di ampie comunicazioni con l'Oceano Atlantico.

— Sabbie gialle (I banco di poco più di 50 m di spessore) con microfauna caratteristica della Biozona a *Globorotalia margaritae*. Malgrado questo sedimento presenti nell'insieme granulometrie maggiori del precedente, per il carattere risedimentato dei banchi sabbiosi, per l'alternanza frequente con strati e banchi di argille e per la presenza di microfaune planctoniche, è stato considerato come tipico di mare profondo e dovuto a risedimentazione di depositi più litorali. La sua presenza starebbe quindi a significare non tanto una diminuzione della profondità del bacino di sedimentazione, quanto un suo allargamento e approfondimento.

— Argille azzurre (II banco di circa 30 m di spessore).

— Sabbie gialle (II banco di circa 50 m di spessore).

— Argille azzurre (III banco di circa 150 m di spessore). Tutti questi sedimenti hanno microfaune riferibili alla Biozona a *Globorotalia puncticulata*, quindi ancora ap-

partenenti al Pliocene inf., tranne gli ultimi 10 metri del III banco di argille attribuibili alla Biozona a *Globorotalia* gruppo *crassaformis*, indicante la parte basale del Pliocene medio. I tre ultimi livelli sono considerati depositi in ambiente francamente marino: quelli argillosi per la ricchezza di microfaune planctoniche, quello sabbioso per le stesse ragioni viste in precedenza per il I banco di Sabbie gialle. Da questa valutazione si discostano leggermente solo gli ultimi metri del III banco di Argille azzurre (quelli caratterizzati, fra l'altro, dalla presenza di *Globorotalia* gruppo *crassaformis*) in quanto contengono microfaune denotanti una notevole diminuzione della profondità delle acque.

— Sabbie gialle (III banco di spessore originario non valutabile perché sormontato dagli strati di base della trasgressione del Pleistocene inf.). Questo sedimento rappresenta la chiusura del ciclo di sedimentazione marina cominciato con l'inizio del Pliocene inf. (Biozona a *Sphaeroidinellopsis*), fortemente ampliato in corrispondenza della Biozona a *Globorotalia margaritae* e già in netta fase di regressione in corrispondenza dell'inizio della biozona a *Globorotalia* gruppo *crassaformis* (BOSSIO & *alii*, 1981a).

— Sabbie e Argille ad *Arctica*, sedimento di mare poco profondo, formato da banchi sabbiosi, calcareo-arenacei e da strati argillosi, caratterizzato paleontologicamente dalla presenza di *Arctica islandica* che ne garantisce l'appartenenza al Pleistocene. Per una più precisa collocazione cronologica di questo sedimento nei dintorni di Nugola è stato prezioso l'esame del nannoplancton calcareo (BOSSIO & *alii*, 1981a) che ne ha permesso l'attribuzione alla Biozona a *Cyclococcolithus macintyreii*, vale a dire al piano Santerniano del Pleistocene inf. Come abbiamo già accennato in precedenza la base di questo livello delle Sabbie e argille ad *Arctica* viene considerata trasgressiva per questi motivi fondamentali:

- a) nella sezione della Strada degli Archi (come del resto in tutta la Toscana) non sono mai state rinvenute microfaune della Biozona a *Globorotalia inflata* tipiche del Pliocene sup., né biozone corrispondenti del nannoplancton calcareo;
- b) i sedimenti superiori del ciclo pliocenico (III livello di Sabbie gialle) mostrano facies nettamente di mare basso, di spiaggia e, in alcuni casi, probabilmente continentali;
- c) gli strati basali del livello delle Sabbie ed Argille ad *Arctica*, se considerati non solo lungo la sezione della Strada degli Archi rivelano con sufficiente chiarezza la loro giacitura trasgressiva con discordanza angolare (anche se di pochi gradi) sopra livelli diversi della successione del ciclo pliocenico.

— Sabbie di Nugola Vecchia; rappresentano il ritorno ad una sedimentazione di mare assai basso dopo l'acme dell'episodio trasgressivo del livello precedente; indicano quindi la regressione del ciclo sedimentario marino del Pleistocene inf. ».

Da quanto riportato sopra risulta che la successione della Strada degli Archi non corrisponde a un ciclo stratigrafico unico comparendovi fasi regressive dal terzo superiore della serie del Miocene sup. e all'inizio della Biozona a

⁽⁴⁾ Questa formazione è stata indicata di recente lungo l'orlo meridionale dei Monti Livornesi (BARTOLETTI & *alii*, 1985) come «Sabbie e Conglomerati della Villa di Poggio Piano».

Globorotalia gruppo *crassaformis*, essendo inoltre caratterizzata da una lacuna comprendente parte di quest'ultima Biozona, di tutta quella a *Globorotalia inflata* e di una porzione non ben quantificabile della parte basale del Santerniano. Bisogna inoltre tener presente che, in questa successione stratigrafica, vi sono ben tre trasgressioni: quella del Messiniano (che ha portato alla deposizione dei gessi dopo un episodio lacustre o lacustre-salmastro), quella della base del Pliocene inf. (Zona a *Sphaeroidinellopsis*) e quella del Pleistocene inf. (Santerniano). Nei confronti con le serie neoautoctone delle altre località della Toscana marittima (GIANNELLI & *alii*, 1981a), nella successione della Strada degli Archi appare più accennata che evidente la trasgressione dei sedimenti della Biozona a *G. margaritae* — *G. puncticulata*, molto estesa e netta in tanti altri luoghi; presenta invece la trasgressione santerniana che è limitata, in superficie, alle Colline Pisane fino a Montecastelli (NENCINI, 1983) e al bacino di Rosignano Solvay — Cecina fino a Riparbella in Val di Cecina (GIANNELLI & *alii*, 1981b). La conoscenza che la deposizione dei sedimenti neoautoctoni è stata intervallata da fasi regressive con lacune di sedimentazione, corrispondenti verosimilmente ad altrettante fasi di erosione, suggerisce cautela nel prospettare la successione della Strada degli Archi come estrapolabile nella sua integrità al substrato intermedio di tutto il Bacino Pisano-Versiliese. Infatti i dati geofisici sembrano attestare la mancanza del Miocene sup. sui fianchi degli alti della Meloria e di Maestra dove anche gli spessori dei sedimenti del «Plio-Quaternario» sono molto sottili o assenti (*Structural Model of Italy*, in stampa; CORRADI & *alii*, 1984); il Miocene sup. è invece segnalato, sempre su interpretazione di dati geofisici, al centro del bacino in corrispondenza di Viareggio (sez. 2 di fig. 1 in TONGIORGI (1978), su indicazioni di F. FANUCCI), ma non è presente negli affioramenti neoautoctoni di Val di Magra, pur corrispondenti a zone non marginali del bacino e che sono stati datati al Villafranchiano inf., come dimostrato da FEDERICI (1973). Resta poi l'incognita se il Bacino Pisano-Versiliese e quello di Volterra furono comunicanti nel Miocene sup. oppure, come indicato nella fig. 9 di GHELARDONI & *alii* (1968), se rimasero isolati fino alla trasgressione pliocenica e, secondo le più approfondite conoscenze attuali, a quale dei due maggiori episodi di questa (se a quello della Zona a *Sphaeroidinellopsis* o a quello della Zona a *G. margaritae* — *G. puncticulata*). Quanto è attualmente visibile in superficie intorno al piede settentrionale dei Monti di Casciana sembra suggerire quest'ultima eventualità (BOSSIO & *alii* 1981b) anche se non può del tutto escludere le altre perché la presenza di sedimenti trasgressivi corrispondenti alla zona a *G. puncticulata* non garantisce che sedimenti del Miocene sup., o anche del Pliocene iniziale, siano sepolti nella pianura di Pisa a Sud dei pozzi Poggio e Zannone e, tanto meno, che vi siano stati depositi e in seguito totalmente erosi.

Il substrato superiore.

Le formazioni litostratigrafiche che affiorano nelle Colline Pisane e che è possibile si immergano al di sotto della pianura di Pisa a costituire parte del substrato superiore, secondo la definizione data di questo come dell'insieme dei sedimenti posteriori al Pleistocene inf., sono i Calcari Arenacei di Luciana e i Conglomerati di Casa Poggio ai Lecci.

I Calcari Arenacei di Luciana affiorano in quantità minime e sono stati considerati (BOSSIO & *alii*, 1986) eteropici della parte alta delle Sabbie di Nugola Vecchia e quindi, secondo un modo di vedere anche assai recente, ancora appartenenti al Pleistocene inf. Tuttavia non è escluso, anzi da nuovi rilievi di campagna sembra molto probabile, che siano sovrapposti e non laterali ai sedimenti di quest'ultima formazione e di conseguenza del tutto indipendenti. In questo caso potrebbero rappresentare, per la giacitura e l'ambiente tipicamente marino costiero, l'equivalente delle Calcareniti di Grotti dei dintorni di Rosignano e della Formazione di Bibbona del retroterra di Cecina, ormai riferibili al Pleistocene medio (parte inferiore) da quando sono state riconosciute, al di sotto delle prime, le Sabbie delle Fabbriche sicuramente riferite al Siciliano (BARTOLETTI & *alii*, 1985). Il riconoscimento dei piccoli livelli dei Calcari Arenacei di Luciana, privi di fossili cronologicamente significativi, è comunque da considerarsi in pratica impossibile attraverso le carote dei sondaggi; l'eventualità di una loro localizzazione nel sottosuolo della pianura di Pisa sembra più teorica che reale.

I Conglomerati di Casa Poggio ai Lecci, di ambiente fluviale o marino strettamente costiero si trovano sul I terrazzo, o terrazzo alto (fino a 96 m presso Fauglia) sulle Colline Pisane, sulle Colline di Montecastelli, su quella di San Romano e sulle Cerbaie. A Ovest di Collesalveti vi sono stati rinvenuti alla base piccoli banchi di calcareniti con Ostreidi, Pectinidi, *Glicimeris*, tutti taxa di ambiente marino anche se estremamente costiero; tuttavia la maggior parte del sedimento è conglomeratica a matrice sabbiosolimoso di deposizione fluviale con frequenti parti alterate in alfuoli; notevole vi è stato pure il rinvenimento di industrie del Paleolitico inf. (due bifacciali di tipo acheuleano evoluto) non lontano da Casa Poggio ai Lecci (SAMMARTINO & *alii*, 1985) e presso La Rotta (DANI & MANFREDINI, 1980). Un'altra caratteristica di questo sedimento è di essere formato in prevalenza da ciottoli di anageniti, quarziti rosa, violette e verdi, calcari cavernosi, calcari saccaroidi bianchi, calcari cristallini grigi a selci nere di sicura provenienza dal Monte Pisano e di dimensioni in genere non superiori a 10 cm. Ad una prima considerazione questa caratteristica può sembrare utile per il suo riconoscimento nel sottosuolo ma, come vedremo, esiste un altro conglomerato fatto con gli stessi materiali e sicuramente più recente (würmiano Conglomerato dell'Arno e del Serchio da Bientina); inoltre NENCINI (1983) ha riconosciuto, presso Montecastelli, piccoli ciottoli di Verrucano anche nel poco potente banco conglomeratico-sabbioso alla base delle Sabbie e Argille ad *Arctica*, segno evidente che il Verru-

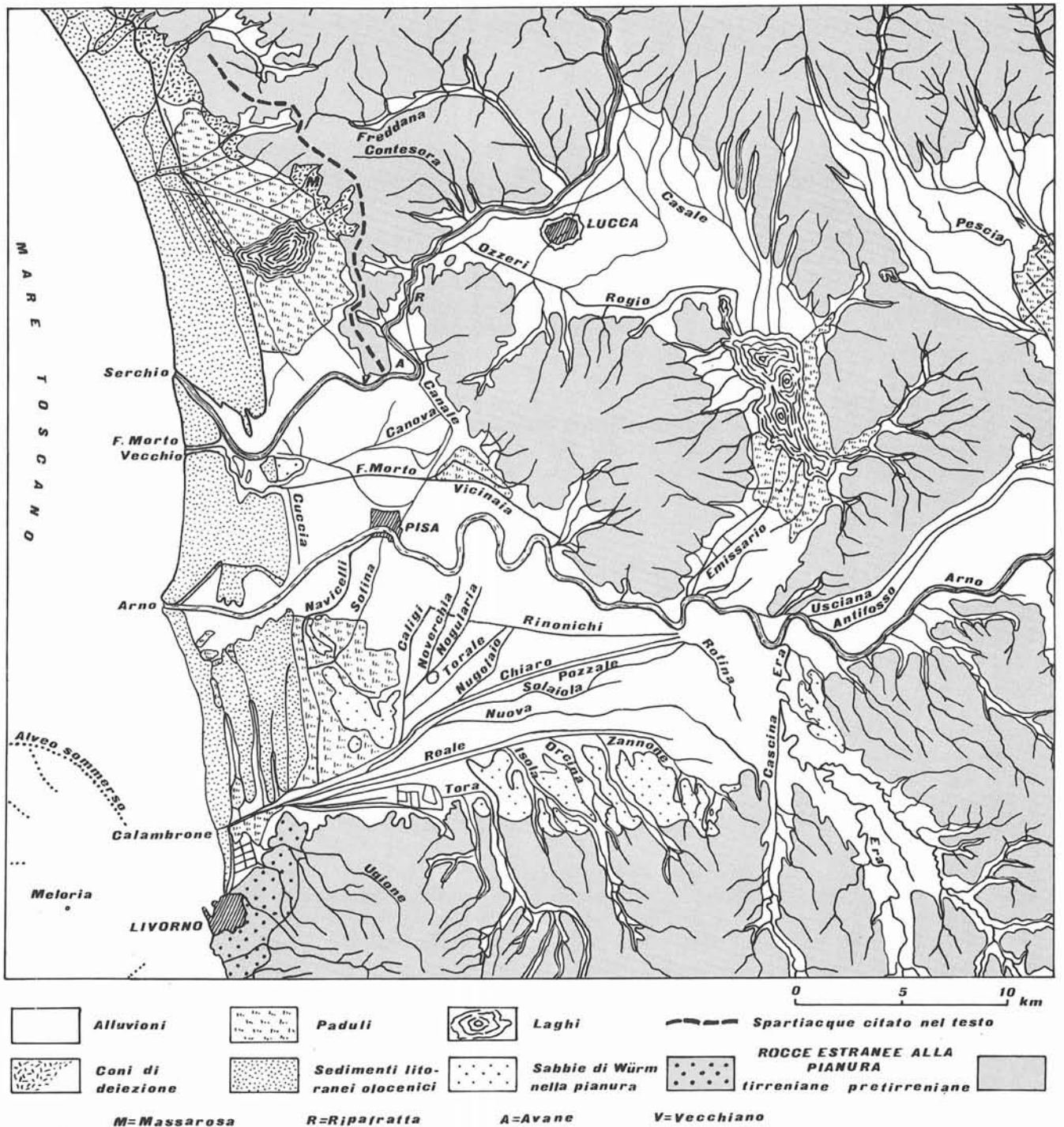


FIG. 2 - Carta idrografica della pianura di Pisa e dei suoi dintorni; fondo topografico tratto dalla carta di Giovanni INGHIRAMI del 1830.

cano del Monte Pisano era già in affioramento nel Pleistocene inf. Così il riconoscimento dei Conglomerati di Casa Poggio ai Lecci nel substrato superiore della pianura di Pisa è assai incerto, almeno con i mezzi attualmente disponibili. Non va poi trascurato che la sua presenza certa nel sottosuolo della pianura porrebbe problemi di Neotetto-

nica assai complessi perché la sua dislocazione attuale fino a circa 96 m nelle Colline Pisane richiede la necessità di un sollevamento epirogenetico (BARSOTTI & alii, 1974; MAZZANTI, 1983). Se fosse presente nella pianura, necessariamente a quote inferiori ai -40/-60 m del würmiano Conglomerato dell'Arno e del Serchio da Bientina, com-

porterebbe dislivelli tettonici di grande entità in un arco cronologico che sembra non poter risalire oltre l'Interglaciale Mindel-Riss (BARSOTTI & *alii*, 1974). Considerando questa insicurezza nelle concrete possibilità di riconoscere questo conglomerato nel sottosuolo, abbiamo preferito tralasciare ogni tentativo di interpretare i banchi conglomeratici noti dalle perforazioni al di sotto del würmiano Conglomerato dell'Arno e Serchio da Bientina.

Il Conglomerato di Casa Poggio ai Lecci riveste una notevole importanza nell'interpretazione geomorfologica del Valdarno inf. perché rappresenta il più antico documento pervenutoci dell'impostazione del grande sistema fluviale del paleo-Serchio ad Est del Monte Pisano lungo l'attuale pianura di Lucca, dalla quale i sedimenti corrispondenti devono essere stati asportati dalla successiva profonda incisione würmiana, e nelle Cerbaie e Colline di San Romano. La confluenza fra paleo-Serchio e paleo-Arno avveniva probabilmente fra queste ultime colline ma, mentre dei sedimenti del primo, per la presenza di ciottoli ben caratteristici, è rimasta testimonianza, per quelli del secondo, vistane la banalità, non abbiamo affidabili indicazioni documentarie.

La deposizione del Conglomerato di Poggio ai Lecci ha coinciso sicuramente con una fase di notevole sollevamento delle aree di alimentazione (Monte Pisano e, probabilmente, Alpi Apuane) mentre non necessariamente deve aver coinciso con la subsidenza delle aree dove fu deposto. Infatti, considerato il modesto spessore (in genere inferiore ai 10 m) dei depositi di questo conglomerato, queste aree dovettero corrispondere più a una zona di transito che non di deposito dei sedimenti, in accordo con il loro prevalente carattere fluviale (MAZZANTI, 1983). Se poi osserviamo che, a parte il breve e limitato episodio della deposizione dei Calcari Arenacei di Luciana (di datazione piuttosto incerta), non disponiamo nel Valdarno inf. di documenti sicuri della presenza del Pleistocene medio anteriormente al Conglomerato di Casa Poggio ai Lecci, possiamo dedurre che il Pleistocene medio abbia corrisposto ad una fase di sollevamento epirogenetico e di conseguente forte erosione fluviale, probabilmente estesa anche ad ampi settori dell'attuale piattaforma continentale del Mare Tirreno attraverso la parte emersa della quale (tra la fine del Villafranchiano sup. e il Cromeriano) faune continentali sarebbero passate in Corsica e in Sardegna (AZZAROLI, 1971). Il Conglomerato di Casa Poggio ai Lecci nel retroterra meridionale di Livorno passa lateralmente a quello di Villa Umberto I (GIANNELLI & *alii*, 1982) che giace sulla spianata di abrasione del terrazzo eustatico della Fattoria Pianacce, datato all'Interglaciale Mindel-Riss (BARSOTTI & *alii*, 1974). Viste le quote alle quali la spianata di questo terrazzo si trova (fino a 120 m) sembra indispensabile ammetterne il sollevamento posteriore alla incisione (BARSOTTI & *alii*, 1974; MAZZANTI, 1983); si giunge così, per altra via, a riconoscere un generale sollevamento epirogenetico della Toscana costiera durante il Pleistocene medio, con fenomeni di trasgressione marina di non grande entità (specialmente negli spessori), limitati strettamente alla fascia litoranea e corrispondenti ai maggiori episodi di gla-

cioeustatismo positivo: Formazione di Luciana nel Valdarno inf., Calcareniti di Grotti nel retroterra di Rosignano, formazione di Bibbona in quello di Cecina riferibili all'Interglaciale Günz-Mindel; Conglomerati di Casa Poggio ai Lecci del Valdarno inf. Conglomerati di Villa Umberto I del retroterra di Livorno, Sabbie e ciottoli delle Spianate di Castiglioncello e Conglomerati di Bolgheri del retroterra di Cecina riferibili all'Interglaciale Mindel-Riss.

Il fatto che la scarsità, o completa mancanza a seconda delle località, di sedimenti del Pleistocene medio nella Toscana occidentale ha portato all'individuazione di una fase di sollevamento epirogenetico molto esteso non vuol dire che non siano rimaste aree sommerse per subsidenza (a parte ovviamente quelle in temporanea trasgressione marina per sollevamento eustatico del livello del mare). Una di queste aree può corrispondere al Bacino Pisano-Versiliese, aperto verso il mare e provvisto di un potente pacco di sedimenti neoautoctoni per la maggior parte più recenti del Miocene sup. Le argille e sabbie in prevalenza di mare sottile (vedi la sezione alla base della Carta Geomorfologica in tav. I), messe in evidenza dai sondaggi di media profondità della SAINT GOBAIN (ROMAGNOLI, 1957) nei pressi di Pisa e quelle della Bigattiera (SARTORI, 1978) nelle vicinanze di San Piero a Grado, probabilmente sono riferibili a sprofondamenti tettonici ancora attivi nel Pleistocene medio nell'ambito del Bacino Pisano-Versiliese; ma, per la mancanza di fossili cronologicamente indicativi, non si può escludere l'ipotesi che questi sedimenti corrispondano ad un passaggio laterale delle Sabbie di Nugola Vecchia (FANCELLI & *alii*, 1986) e risalgano al Pleistocene inf.

Fanno parte del substrato superiore, al di sopra di quelle già illustrate e presenti anche nelle Colline Pisane, altre formazioni che si trovano invece in corrispondenza della sola pianura di Pisa perché deposte contemporaneamente o dopo le grandi fasi würmiane di erosione fluviale, dovute al forte abbassamento eustatico del livello marino e responsabili dell'ampia vallata che fu incisa fra il Monte Pisano e le Colline Pisane (vedi nota 1) e il cui riempimento alluvionale, sbarrato dai lidi e dalle dune del litorale, ha portato alla definitiva costruzione della pianura stessa nelle fasi di risalita del livello del mare.

I Conglomerati dell'Arno e Serchio da Bientina (vedi la sezione di tav. I) costituiscono anch'essi un livello di fondamentale importanza nella ricostruzione stratigrafica del sottosuolo della pianura di Pisa in quanto ampiamente presenti da quello di Bientina e di Calcinaia (verso i 40 m di profondità) a quello della fascia litoranea (sui 60 m di profondità presso Stagno). Facilmente riconoscibili per l'abbondanza di ciottoli dei tipi litologici del Monte Pisano, questi conglomerati sono stati incontrati con grande regolarità da innumerevoli pozzi che attingono dalla falda artesianica associata per cui è stato possibile tracciare la carta delle isobate del letto, qui riportata in fig. 3 dal lavoro di FANCELLI & *alii* (1986). Questa figura mette in evidenza come il letto di questa formazione non corrisponda semplicemente ad un piano inclinato verso il mare perché vi si aprono dei solchi chiaramente legati ad antichi percorsi fluviali: a SW di Cascina, a Sud di Pisa, alle Case Fossa-

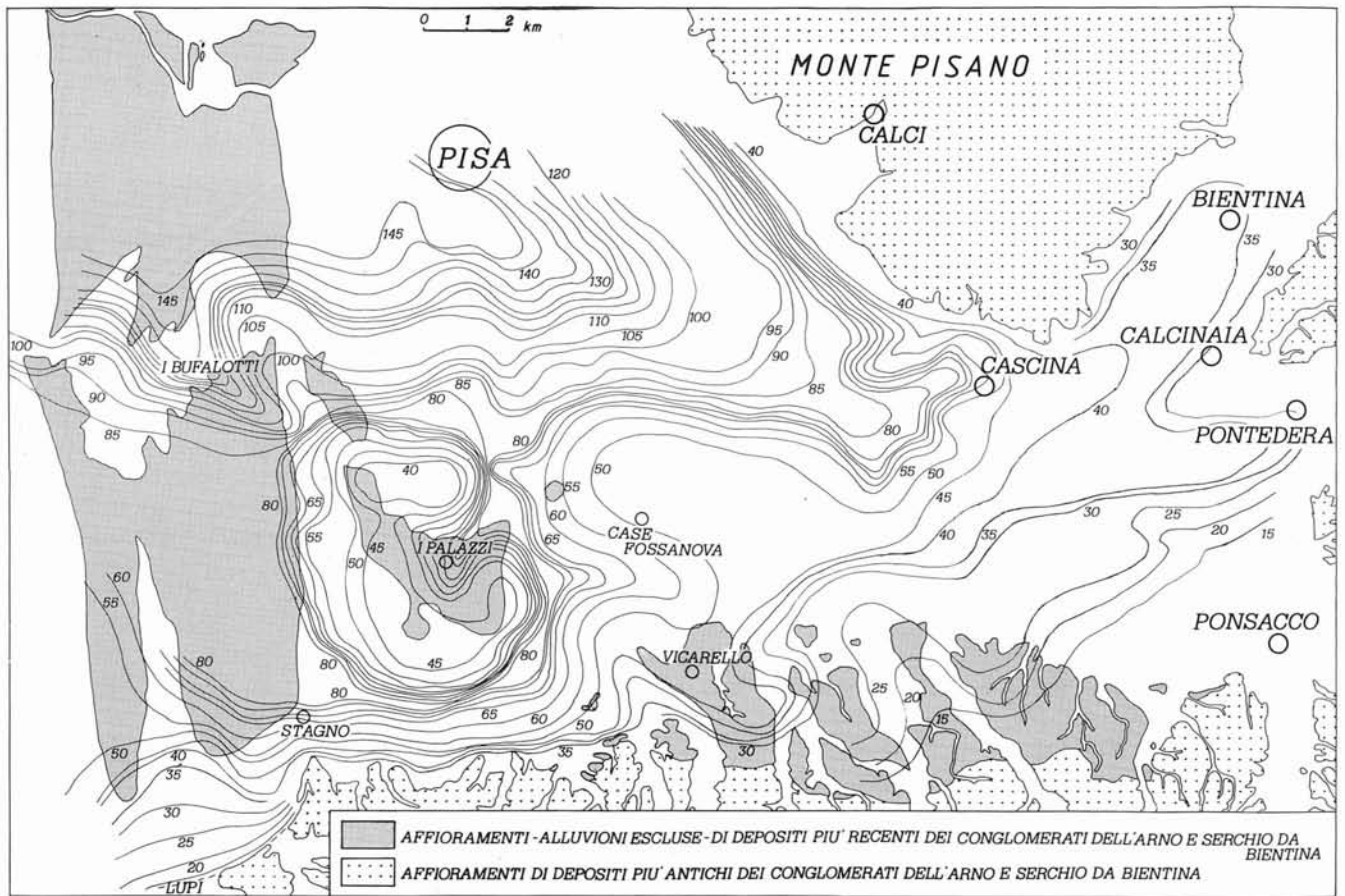


FIG. 3 - Isobate del fondo del livello del Conglomerato dell'Arno e Serchio da Bientina nella pianura di Pisa (da FANCELLI & alii, 1986).

nova, ai Palazzi di Coltano, ai Bufalotti. I pozzi hanno ancora indicato che questo conglomerato si trova al di sotto delle Sabbie dell'Isola di Coltano e delle Sabbie di Vicarello, attribuibili al Pleistocene sup. (FANCELLI & alii, 1986) perché contengono industrie del Paleolitico medio e vanno considerate quindi non più recenti di 40 000 anni fa, vale a dire ancora riconducibili nell'ambito del Würm II. Infatti la superficie di erosione corrispondente alla Gronda dei Lupi, al limite fra pianura di Pisa e terrazzo di Livorno, operata dal paleo-Arno-Serchio da Bientina dei 60 m di profondità (fig. 4) taglia, quindi è più recente, una piccola serie comprensiva di un conglomerato del Tirreniano I, di un'argilla continentale del Würm I e di sabbie molto fini, pedogenizzate, con industria musteriana (BARSOTTI & alii, 1974); si tratta di un'erosione risalente alla prima fase anaglaciata di grande decrescita del livello del mare del Würm II (FANCELLI & alii, 1986).

Al di sopra dei Conglomerati dell'Arno e Serchio da Bientina si trovano i limi fluvio-palustri del sottosuolo (vedi sezione in tav. I) che corrispondono ad un forte calo del trasporto fluviale come indicato dalla diminuzione drastica delle dimensioni dei clasti rispetto a quelle della formazione sulla quale poggiano. Questa diminuzione di trasporto può essere collegata alla riduzione dell'erosione fluviale per cessazione dell'abbassamento eustatico del livello del ma-

re, per la risalita del limite della foresta nelle aree montane dopo il superamento dell'acme del Würm II e per il rafforzamento dello stesso manto forestale in conseguenza del



FIG. 4 - Sezione stratigrafica della «Gronda dei Lupi» (da FANCELLI & alii, 1986); 15) conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina; 16) limi fluvio-palustri del sottosuolo; 18) limi fluvio-palustri di superficie.

decremento erosivo. È anche possibile che la diminuzione del trasporto sia dipesa da quella delle piene fluviali conseguente, a sua volta, a una variazione climatica verso la fase cataglaciale e quindi meno umida del tardo Würm II.

I limi fluvio-palustri del sottosuolo sono a loro volta sormontati dalle Sabbie eoliche dell'isola di Coltano e dalle Sabbie di Vicarello che indicano, da una parte, il riavvicinarsi del litorale per sollevamento eustatico con formazione di depositi puramente eolici (Isola di Coltano, Coltano, Castagnolo, Palazzetto) e, dall'altra, quella di sedimenti misti eolico-palustri di retroduna e di piana di esondazione fluviale (Vicarello e affioramenti al piede delle Colline Pisane) in una fase climatica con tendenza all'ulteriore diminuzione dell'umidità. La sedimentazione di questi depositi deve essere avvenuta sullo scorcio del Würm II, a fase cataglaciale avanzata, come del resto indicato dalla presenza delle industrie musteriane (MENCHELLI, 1984) che pongono un limite *ante quem* di 40 000 anni da oggi.

Mentre i sedimenti del Würm II si deponevano con una potenza di circa 100 m nell'area della pianura di Pisa scavata in profondità dall'incisiva azione dell'Arno e dei suoi affluenti, a Sud della Gronda dei Lupi, per la mancanza di corsi d'acqua notevoli, rimaneva quasi integra la spianata di abrasione formatasi durante la trasgressione eustatica tirreniana e si deponevano, al di sopra di un velo di depositi marini, le continentali (in prevalenza eoliche e colluviali) Sabbie di Ardenza, con spessori di pochi metri (quindi molto minori nei riguardi di quelli delle coeve Sabbie dell'Isola di Coltano e di Vicarello). Questa differenza di spessori fra le sabbie delle due formazioni può rispecchiare quelle dell'ambiente di sedimentazione nel senso che, pur trattandosi di sedimenti prevalentemente eolici, le prime si sono deposte in un ripiano che il ritiro del mare aveva posto in condizioni di altopiano collinare, le seconde in un'area che l'erosione fluviale aveva mantenuto più o meno al livello decrescente del mare. Queste considerazioni, se valgono per i sedimenti eolici (Sabbie dell'Isola di Coltano e Sabbie di Ardenza), valgono a maggior ragione per quelli di esondazione fluviale che possono aver raggiunto spessori cospicui ovviamente solo nelle aree provviste di corsi d'acqua notevoli (Sabbie di Vicarello).

Terminato l'episodio di sedimentazione delle Sabbie dell'Isola di Coltano e delle Sabbie di Vicarello, un nuovo imponente ciclo di erosione ha prodotto nuovi profondi solchi fluviali nella pianura di Pisa in corrispondenza dell'anaglaciale del Würm III. È a questa fase che si deve attribuire la morfologia fluviale, sommersa dal sollevamento eustatico olocenico, ricostruita sul fondo attuale del mare a Nord delle Secche della Meloria fino a profondità di circa 100 m (SEGRE, 1955) con direzione che sembra (sotto costa, per il riempimento dei sedimenti più recenti, questo alveo sommerso perde di identità) provenire dalla zona del Calambrone e, quindi, di Stagno. Risalgono a questa fase, verosimilmente scavati da rami dell'Arno, i solchi in corrispondenza dei quali mancano le Sabbie dell'Isola di Coltano in prossimità di Stagno, fra Castagnolo e il Palazzetto e, con maggiore incertezza, fra Coltano e

Castagnolo. Ancora a questa fase di profonda erosione fluviale sono da attribuire i numerosi solchi che suddividono in tanti lembi separati gli affioramenti delle Sabbie di Vicarello e che corrispondono alle valli dei corsi d'acqua che raggiungevano la pianura di Pisa dalle Colline Pisane. Sembra così verosimile che in corrispondenza del Würm III l'Arno, dopo la confluenza con l'Era, avesse seguito almeno due percorsi: uno (meridionale con l'alveo circa corrispondente agli attuali Latignano-Nuovo Scolmatore, in un primo tempo, e Chiesanuova-Arnaccio, in un secondo tempo) riceveva direttamente come affluenti di sinistra il Cascina, lo Zannone, il Crespina, l'Orcina, l'Isola, il Tora e il Tanna; l'altro (settentrionale e vicino al corso odierno) riceveva presso l'attuale Calcinaia o un ramo «orientale» del Serchio o, con maggiore probabilità, un emissario del lago-palude di Bientina. Quest'ultimo si andava formando per lo sbarramento operato dalle stesse alluvioni dell'Arno e per il cattivo drenaggio della parte meridionale della pianura di Lucca. Il ramo settentrionale dell'Arno riceveva inoltre, più o meno all'altezza del luogo dove in seguito doveva sorgere Pisa, il ramo «occidentale» del Serchio che sembra avesse già raggiunto il passaggio in corrispondenza della stretta di Ripafratta fin dal Würm I (MAZZANTI, in stampa b).

Dopo l'acme del Würm III il livello del mare ha iniziato quella risalita che, sicuramente con episodi di stasi e verosimilmente con qualche oscillazione negativa, continua tuttora. È noto come intorno ai 10 000 anni or sono (ai quali si fa risalire l'inizio dell'Olocene) il clima era ormai nettamente mutato rispetto alle fasi glaciali e il livello del mare, in continua risalita per lo scioglimento dei ghiacciai, si avviava ad avvicinarsi a quello attuale durante l'episodio dell'«optimum climatico postglaciale» del 4 000 a.C. (PINNA, 1984). È questa la trasgressione versiliana, responsabile di gran parte dell'aspetto attuale della pianura di Pisa. Le ultime tappe di questa trasgressione sono state rintracciate in una serie di sondaggi ubicati fra il Calambrone e Coltano (GALETTI FANCELLI, 1978). Questi hanno messo in evidenza come, prima del sopraggiungere dei sedimenti marini (presenti per uno spessore massimo di circa 10 m e assottigliantisi a bietta in prossimità della linea di massima trasgressione lungo il limite occidentale del Campolungo, a Sud, e di quello del cordone sabbioso a Est del Cotone delle Cascine, a Nord dell'Arno) le valli, scavate durante la fase di forte incisione dell'Anaglaciale Würm III, si sono andate riempiendo di limi palustri e alluvionali caratterizzati, nella parte alta, da associazioni polliniche indicanti l'inizio e la fine della fase atlantica del Querceto (da 5 000 a 2 500 anni a.C.) (MAZZANTI & *alii*, 1984a). Con la deposizione dei lidi e dune litoranei del cordone più interno, quello sopraccitato di Campolungo e quello ad Est del Cotone delle Cascine, si passa dallo studio dei sedimenti del sottosuolo a quello dei depositi di superficie che saranno esaminati nel paragrafo successivo.

La superficie della pianura di Pisa è rappresentata in dettaglio nei quadranti 104-II, 105-III, 112-IV e 111-I della Carta Topografica Regionale a scala 1:25 000 con aggiornamento al 1978 delle aree urbanizzate, viabilità, cave, linee di riva, corsi d'acqua, ecc. La Carta Geomorfologica di tav. I è stata tracciata sui sopraddetti quadranti e quindi ridotta a scala 1:50 000. Per questioni di semplicità e di resa del disegno nella Carta Geomorfologica non sono state riportate le curve di livello, né la viabilità, né le diffusissime aree urbanizzate ad eccezione di quelle interne alla cinta medievale di Pisa e a quella ottocentesca di Livorno; la rappresentazione dell'idrografia è stata ridotta al minimo essenziale e cioè ai due maggiori corsi d'acqua naturali (Arno e Serchio) e ai quattro più importanti canali drenanti (Arnaccio, Nuovo Scolmatore d'Arno, Nuovo Canale dei Navicelli e Fiume Morto Nuovo e Vecchio).

La Carta Geomorfologica si presta ad una precisa delimitazione della pianura di Pisa in quanto a quest'ultima spettano solo le aree corrispondenti alle «Sabbie dell'Isola di Coltano», alle «Sabbie di Vicarello», alle «Sabbie argillose di le Rene», ai «Limi e argille alluvionali», ai «Limi, argille, torbe palustri e depositi di colmata», ai «Lidi e dune litorali» oltre ovviamente agli «Alvei e greti attuali e abbandonati», salvo il breve tratto del Serchio a monte della stretta di Ripafratta e quello dell'Arno a monte della confluenza con l'Era. Per quanto riguarda la toponomastica è stata riportata solo quella relativa alle località citate nel testo; risulta quindi enormemente diminuita rispetto a quella indicata nella Carta Topografica Regionale ma, al contrario di quanto offerto da questa, sono stati riportati i nomi dei più importanti lidi e dune litorali sulla base di precise indicazioni tratte dalla cartografia antica.

Dalla lettura della Carta Geomorfologica si trae che la superficie della pianura di Pisa si compone di affioramenti di depositi del Pleistocene sup. e dell'Olocene. I primi, tutti descritti nelle pagine precedenti, si continuano in profondità fino ad una trentina di metri (eccezionalmente fino a 50 m) e rappresentano i residui scampati all'erosione del Würm III; i secondi, solo parzialmente descritti nelle pagine precedenti, si spingono fino ad un massimo di circa 10 m sotto la parte più occidentale dei «Lidi e dune litorali», di circa 30 m (eccezionalmente 50) in corrispondenza dei riempimenti olocenici di valli del Würm III con «Limi e argille alluvionali» e con «Limi, argille, torbe palustri e depositi di colmata» o, ancora, con le superficialissime «Sabbie argillose di le Rene». Come abbiamo visto in precedenza i «Lidi e dune litorali» rappresentano i sedimenti della fase versiliana collegata all'innalzamento del livello del mare che, nella pianura di Pisa, si è spinto fino al limite occidentale del Campolungo e del cordone ad Est del Cotone delle Cascine, verosimilmente poco dopo la fine della fase atlantica del Querceto. Nel II-I secolo a.C. la linea di riva è attestabile (MAZZANTI & PASQUINUCCI, 1983) lungo il bordo occidentale del cordone ad Est della Macchia dei Cipollini e del limite occidentale del Cotone delle Cascine, con modifiche lievissime nei confronti del-

la precedente. Ma dal II-I secolo a.C. l'avanzamento del litorale diviene progressivamente maggiore tanto che nel corso dell'epoca storica (cioè nei circa 2 000 anni che intercorrono fra il II-I secolo a.C. e la metà del XIX secolo d.C.) si avvicina a 8 km con un'evoluzione che seguiremo nel capitolo dedicato all'esame delle fonti storiche. Qui interessa precisare che questo notevole avanzamento delle spiagge, in un periodo peraltro caratterizzato da un innalzamento del livello del mare, sia pure non uniforme e con qualche possibile modesta inversione, è stato collegato con un grande aumento degli apporti solidi specialmente dell'Arno per interventi antropici sul bacino idrografico (MAZZANTI, 1983; MAZZANTI & PASQUINUCCI, 1983; PRANZINI, 1983), considerata anche l'inconsistenza dei cambiamenti climatici.

Le «Sabbie Argillose di le Rene» sono un sedimento di esondazione fluviale depositosi non lontano dall'attuale corso dell'Arno e del Serchio o da corsi antichi, oggi abbandonati (come presso Latignano, Chiesanova, le Rene). Il primo è ovviamente olocenico, i secondi, corrispondenti ai percorsi più antichi, possono variare tra la fase cataglaciale del Würm III e l'Olocene. Formano aree leggermente rilevate nella pianura nei confronti di quelle che furono occupate dai paduli e dai sedimenti alluvionali più fini (limi e argille).

I «Limi e le Argille alluvionali» formano la frazione più fine dei depositi di esondazione fluviale; possono essersi depositi anche in specchi palustri nelle zone basse di pianura.

I «Limi, argille, torbe palustri e depositi di colmata» sono stati differenziati dai sedimenti precedenti più che altro perché compresi in aree segnate come palustri nelle carte antiche anteriori ai prosciugamenti. Talora presentano colore grigio scuro o nero per ricchezza di torba e sono quindi ben riconoscibili ma, spesso, specialmente nelle aree che corrisposero a casse di colmata, il loro riconoscimento per soli elementi litologici sarebbe stato problematico.

Gli «Alvei e greti attuali e abbandonati» sono stati riconosciuti sulla base dell'analisi delle foto aeree e delle immagini da satellite.

I «Lidi e dune attuali» sono prevalentemente sabbiosi; i lidi, detti localmente cotoni, sono più bassi e riconoscibili soprattutto perché allineati esattamente secondo gli antichi andamenti del litorale, sono da correlare a barre emerse successivamente stabilizzate dalla vegetazione; le dune, dette localmente tomboli, sono più alte dei precedenti, più frammentarie e a direzioni meno dipendenti dall'allineamento del litorale in quanto accumulate dal vento. Queste due unità non sono state separate cartograficamente per le difficoltà di riconoscimento presentate dalla copertura boschiva e dalle restrizioni di accesso cui la zona è soggetta. Fra lidi e dune si interpongono aree morfologicamente più basse, dette lame, in origine tratti di mare separati in lagune o paduli al momento dell'emersione in lidi delle barre antistanti per sovraccumulo di sedimenti trasportati dalla deriva litoranea e portati sulla berma dal getto di riva.

LE FONTI STORICHE E IL LORO APPORTO ALLA CONOSCENZA DELLA PIANURA

La moderna Geomorfologia richiede un'attenzione particolare alle fonti storiche, siano esse letterarie, epigrafiche, archeologiche, numismatiche, toponomastiche, cartografiche, iconografiche, ecc., perché indicative dell'impatto dell'uomo sull'ambiente e della sua organizzazione del territorio. Questa attenzione è tanto più necessaria nelle pianure in quanto luoghi di prevalente deposizione di sedimenti e quindi adatti a conservare, sepolti o semiseppolti, molti manufatti umani e, in particolare, in una pianura come quella di Pisa, centro di vita civilmente organizzata ininterrottamente da un'antichità remota ad oggi ⁽⁵⁾.

Gli studi sull'evoluzione storica del litorale pisano, ora condotti anche sulla base di precise indicazioni geomorfologiche, hanno potuto documentare, attraverso la specificazione dei siti contenenti manufatti di età sempre più recenti dai lidi più interni a quelli più esterni, la progressione della linea di riva dal II-I secolo a.C. fino alla metà del XIX secolo (quando era quasi ovunque più avanzata di quella attuale) e il successivo arretramento, a parte il tratto più meridionale a Sud del Fortino di Mezzapiaggia e quello più settentrionale a Nord di Bocca di Serchio che sono stati sempre in avanzamento (anche attuale sebbene assai diminuito). Così, sulla base della mancanza di manufatti del II-I secolo a.C., o più antichi, ad Ovest di una linea che passa lungo il bordo occidentale del cordone sabbioso ad Est della Macchia dei Cipollini, a Sud dell'Arno, e del bordo occidentale del Cotone delle Cascine, a Nord dell'Arno, è ricostruibile l'antica linea di riva del II-I secolo a.C. Per essa la Gronda dei Lupi, San Piero a Grado e la Cava Mori costituiscono i principali, ma non i soli, punti di riferimento, essendo invece riccamente forniti di tali manufatti. La linea di riva del XII secolo è stata indicata da MAZZANTI & *alii* (1984) sul fianco orientale del Cotone del Bassetto a Sud dell'Arno, per cui dovrebbe aver corrisposto al fianco orientale del Cotone Ferdinando a Nord dell'Arno; ciò sulla base dell'esistenza, nel Medioevo, dei meandri delle Cascine Nuove che furono tagliati nel 1338

(REDI, 1986). Secondo questi dati la Bocca d'Arno si sarebbe dovuta trovare ad almeno 7 km da Pisa, ma già nel 1406, sulla base della cronaca di GORO DI STAGIO DATI, è indicata a 8,6 km dalla città (PASQUINUCCI & MAZZANTI, 1985). Con la prima carta corografica della pianura di Pisa (la carta di LEONARDO DA VINCI del Codice Madrid II (52 v, 53 r) databile al 1503) la posizione della Bocca d'Arno è precisabile a 9,5 km dal Ponte di Mezzo di Pisa (PASQUINUCCI & MAZZANTI, 1985) in vicinanza della «Torre a Foce» le cui sostruzioni sono ancora esistenti (MAZZANTI, 1980). La linea di riva doveva così passare sul cotone immediatamente ad Ovest della Lama Larga a Sud dell'Arno e lungo il fianco orientale del Cotone dei Ginepri a Nord dell'Arno. Con il XVII secolo le carte topografiche della pianura di Pisa (MAZZANTI & PULT QUAGLIA, 1986a) si moltiplicano e divengono sempre più precise per cui lo sviluppo del litorale è ricostruibile in dettagli sempre maggiori tanto più che è possibile fare confronti tra i cordoni sabbiosi, in queste carte rappresentati con i loro nomi, e quelli indicati, ancora con i loro nomi, nella molto particolareggiata «Pianta-guida della Reale Tenuta di Tombolo per uso dei cacciatori», risalente probabilmente al 1903 (MAZZANTI & *alii*, 1984) e comunque geometricamente esatta ma realizzata prima dei lavori che hanno profondamente modificato il paesaggio compreso fra l'Arno e Livorno. È così stato possibile precisare la linea di riva degli inizi del Seicento sul primo cordone sabbioso ad Ovest del Lamone (a Sud dell'Arno) e sul fianco occidentale del Cotone dei Ginepri, ai piedi della Torre Riccardi (a Nord dell'Arno). La linea di riva della metà del Settecento è collocabile sul bordo orientale del cordone sabbioso della Pinetina Selvatica a Sud dell'Arno (il Fortino di Mezzapiaggia è indicato nelle carte a partire dal 1786), in corrispondenza del Fortino di Bocca d'Arno, a Nord dell'Arno, lungo il Cotone del Mare con i suoi fortini. Indicazioni ancora più precise sulla posizione della linea di riva si possono trarre dalle mappe del Catasto Leopoldino-Ferdinando, terminate nel 1825 e che servirono alla compilazione della «Carta Geometrica della Toscana...» a scala 1:200 000 di Giovanni INGHIRAMI del 1830 ⁽⁶⁾. Quest'ultima presenta una linea di riva più avanzata in corrispondenza della Bocca d'Arno fino ad oltre 1 km rispetto alla situazione attuale, del resto protetta con ogni tipo di difesa dall'incalzante erosione del mare. È noto che quest'ultima, iniziata già verso la fine del XIX secolo, ha trovato la massima espansione negli ultimi trent'anni (PRANZINI, 1983) per l'aggravio nelle estrazioni di inerti dall'alveo dell'Arno, operazione che era stata preceduta, a partire dagli anni '30 del XIX secolo, da una abbondante deviazione dei materiali solidi trasportati dai fiumi nelle casse di colmata allestite per il prosciugamento dei paduli.

⁽⁵⁾ Questa moderna tendenza ad affrontare lo studio della pianura di Pisa con sistemi interdisciplinari, cioè con la partecipazione coordinata di diversi specialisti di materie tradizionalmente circoscritte in ambiti culturali piuttosto separati, si può considerare iniziata nel 1980 con l'allestimento della «Mostra su Pisa e Contado... sotto i Medici», nell'ambito delle manifestazioni della XVI Esposizione Europea di Arte, Scienza e Cultura promossa dal Consiglio d'Europa. I notevoli risultati conseguiti in quella occasione stimolarono alle ricerche interdisciplinari che furono ovviamente estese oltre l'ambito storico del dominio mediceo della Toscana; prese origine così quella serie di ricerche che, vedendo riuniti geomorfologi (già in relazione con i paleontologi), paleontologi e storici del periodo classico, medievale e moderno, ha condotto ad una serie di studi sull'evoluzione storica del litorale pisano (MAZZANTI & PASQUINUCCI, 1983; MAZZANTI & *alii*, 1984; PASQUINUCCI & MAZZANTI, 1985) su alcune variazioni idrologiche (CALECA & MAZZANTI, 1980; 1982), sullo sviluppo e prosciugamento dei paduli della zona meridionale, oggi ricadente in parte nella Provincia di Livorno (CHERUBINI & *alii*, in stampa) e alla monografia sul territorio di Coltano, completa di studi naturalistici e storici, curata dalla Circoscrizione n. 9 del Comune di Pisa.

⁽⁶⁾ Con la carta dell'INGHIRAMI si apre una nuova fase negli studi per la ricostruzione delle linee di riva in Toscana in quanto si moltiplicano le carte topografiche «geometricamente corrette» alle quali affidarsi direttamente senza bisogno di cercare riferimenti sul terreno (come torri e fortini della Guardia Costiera, tratti abbandonati di foci fluviali, ecc.) per confrontarli con le non esatte indicazioni delle carte antiche.

Questa erosione subita da Bocca d'Arno non ha interessato solamente la linea di riva, ma anche i fondali antistanti fino almeno all'isobata dei 12 m, come messo in evidenza dal confronto fra i grafici di scandagliamento eseguiti nel 1881 per la realizzazione della Carta Nautica e nel 1977 per il suo aggiornamento (PRANZINI, 1983).

Sempre a proposito delle variazioni della linea di riva avvenute in tempi storici, un'attenzione particolare è stata rivolta da numerosi studiosi alla parte più meridionale della pianura di Pisa, a Sud del Calambrone, per la localizzazione dell'antico Porto Pisano citato dall'*Itinerarium Maritimum* (501) e descritto da RUTILIO NAMAZIANO (*de red.* 1, 527 ss.). A questo proposito non citeremo che il più recente, e completo, di questi lavori (PASQUINUCCI & ROSSETTI, in stampa) che si è avvalso, per l'interpretazione dello sviluppo naturalistico del sito di una serie di studi moderni (MAZZANTI, 1983 e 1984; MAZZANTI & PASQUINUCCI, 1983; MAZZANTI & alii, 1984; PASQUINUCCI & MAZZANTI, 1985) nei quali i dati dei rilievi geomorfologici di campagna sono stati accompagnati da quelli offerti dalla cartografia pregeodetica del Seicento e Settecento. È stato così possibile precisare lo sviluppo dei lidi e delle lagune di retro-lido al piede della Gronda dei Lupi o scarpata del terrazzo di Livorno (fig. 5). L'imbocco del famoso porto fu assicurato dalle correnti di ritorno delle acque che le maree apportavano nell'ampio sistema lagunare-palustre e che impedirono l'attestarsi dei lidi ai piedi della scarpata del terrazzo di Livorno lasciando aperto un canale naturale (probabilmente mantenuto con palizzate) il cui ingresso veniva chiuso con catene dai Pisani (MAZZANTI, 1983) e che fu ostruito dai Genovesi, dopo la famosa battaglia della Meloria del 1284, affondandovi navi cariche di mattoni murati con l'intenzione precisa di causare l'interrimento di tutto il porto e del sistema lagunare. La posizione di questo porto è logico abbia seguito l'evoluzione verso Ovest della laguna man mano che emergevano nuove barre per i sedimenti che la deriva litoranea trasportava da Bocca d'Arno. Così è probabile che inizialmente si sia trovato in corrispondenza della località «Altura» (toponimo di chiaro riferimento a un fondale notevole), dove sembra si trovasse ancora nel Medioevo; successivamente in corrispondenza del «Paduletto» (ma già aveva perduto importanza in seguito alla decadenza economica di Pisa e alla non ancora avviata fortuna di Livorno) e infine, in pieno XVIII secolo, ai «Portacci» sotto la Torre del Marzocco (7), ormai con funzioni del tutto marginali nei confronti del ben costruito Porto Mediceo di Livorno.

Di carattere letterario (STRABONE, 5, 2, 5) sono le prime informazioni che ci sono pervenute sugli antichi corsi dell'Arno in età imperiale. Premesso che STRABONE non viaggiò a Nord di Populonia e che quindi ha trasmesso notizie ricevute da altre fonti letterarie, va ricordato che egli ha indicato come le correnti dell'Arno e dell'«Aidāes» (vale

a dire del Serchio o di un suo ramo) si unissero in Pisa e come l'Arno si dividesse in tre rami nel suo delta.

La prima di queste indicazioni sembra confermata sia dalla presenza delle Sabbie Argillose di le Rene fra Pisa e Pappiana, sia dagli alvei fluviali abbandonati messi in evidenza in questa zona con le immagini da satellite e con le fotografie aeree. Questa indicazione è attestata anche da un cospicuo numero di notizie medioevali sulla presenza di un corso d'acqua, ormai arginato, detto «Auser» o «Auserculus» che dalle vicinanze del Monte Pisano giun-

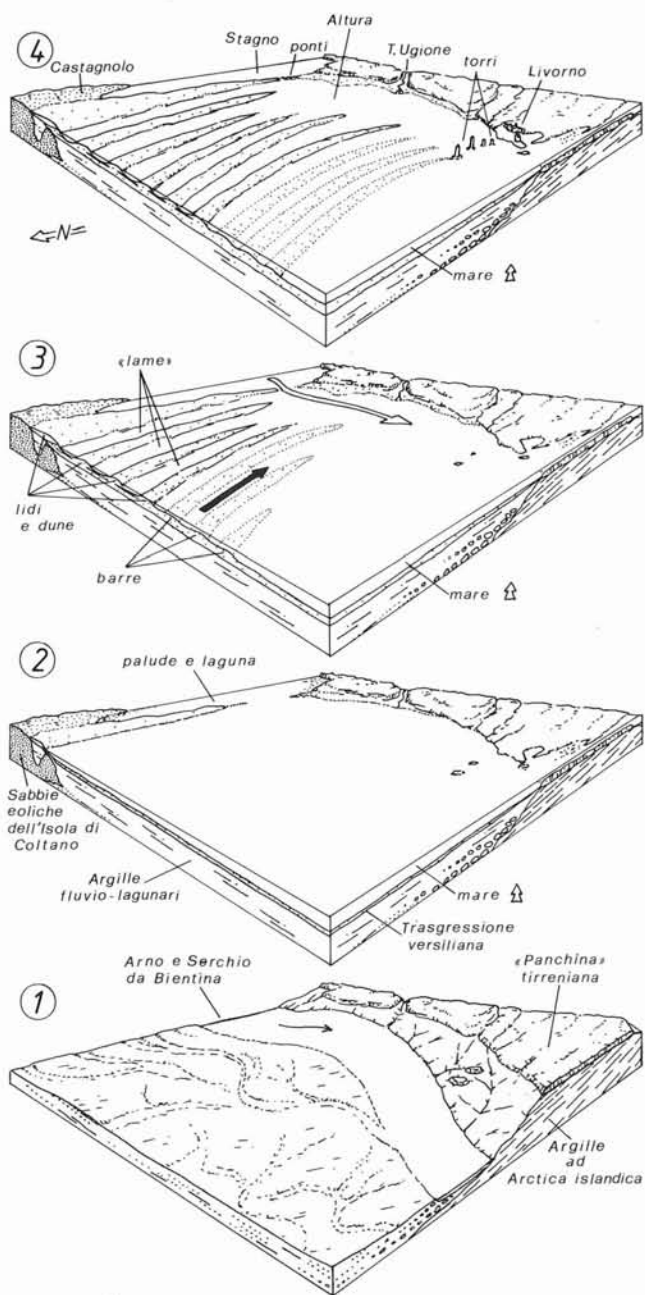


Fig. 5 - Evoluzione paleogeografica dell'area di Porto Pisano: 1) nel Würm III; 2) nel II-I secolo a.C.; 3) in una fase intermedia; 4) nel XII secolo (da MAZZANTI & alii, 1984).

(7) Questa torre fu costruita nel Quattrocento dai fiorentini per difendere l'imboccatura del Porto Pisano quando ancora non avevano capito che il suo interrimento, naturale e artificiale, era ormai divenuto irreversibile.

geva a lambire le mura settentrionali di Pisa (REDI, 1981) che hanno appunto la forma leggermente arcuata per assecondarne il corso.

Meno documentabile risulta la seconda indicazione di STRABONE sulla suddivisione del tratto terminale dell'Arno in tre rami. Fisso restando il ramo passante per Pisa, che molto probabilmente sfociava in mare poco a Sud di San Piero a Grado (lungo un alveo abbandonato individuabile con le fotografie aeree e in buon accordo con una foce fluviale in corrispondenza di questa località nella quale la tradizione vuole sia sbarcato l'apostolo Pietro nel suo viaggio dalla Palestina a Roma), rimane incertezza sulla reale consistenza e andamento degli altri due. Questi, a giudicare dalle protuberanze delle «Sabbie argillose di le Rene», attestanti percorsi fluviali, nella parte più bassa della pianura argillosa, potrebbero essere ubicati, appunto, nella zona di le Rene e in quella di Chiesanova e, oppure, di Latignano. Queste ultime si dirigono verso Stagno. Si ripropone così l'idea di un corso dell'Arno attraverso questa località ancora attivo in tempi storici dopo quelli, documentati dalla Stratigrafia e dalla Paleomorfologia, risalenti al Würm II e al Würm III. Ma quando sarebbero stati abbandonati questi corsi? Nel Medioevo già non esistevano più come alvei costantemente percorsi dall'acqua anche se viene ricordato spesso che, durante le piene maggiori, l'Arno giungeva a Stagno sia attraverso rotte a monte di Pisa sia attraverso la via di San Piero a Grado-Padule di Castagnolo. Questi interrogativi ci trovano per adesso sprovvisti di informazioni concrete per cui assai diverse sono le soluzioni possibili come non ancora noto è il ruolo che l'intervento antropico, specialmente quello collegato alla colonizzazione romana, ha avuto nell'assetto idraulico di questa pianura. Fra queste incertezze un fatto è ormai sicuro: la pianura di Pisa fu ampiamente centuriata (FRACCARO, 1939; CIAMPOLTRINI, 1981; PASQUINUCCI, 1986) almeno nella fascia che da Ponsacco e Pontedera, attraverso Cascina e Pisa, giunge fino a Gello e Pappiana. Ma tracce di centuriazione sono state individuate (MENCHELLI, 1984) anche presso l'Isola di Coltano in località in seguito impaludate e che hanno mostrato sedimenti torbosi anche nel sottuolo (CHERUBINI & *alii*, in stampa). Un altro interrogativo per adesso senza risposta è quello se la colonizzazione romana ha comportato l'arginatura dell'Arno e, in caso affermativo, se di tutti gli eventuali rami oppure se solo di quello passante per Pisa. È probabile che un'arginatura limitata a quest'ultimo abbia ben presto comportato il disordine degli altri e la conseguente riduzione a una serie di paduli. Va ricordato, a questo proposito, come lungo il ramo meridionale, che in pratica avrebbe potuto corrispondere al corso dell'attuale Nuovo Scolmatore d'Arno, è documentata l'esistenza dei paduli di Lavaiano, di Grecciano, di Mortaiolo e di Stagno. Essi dovettero la loro origine al mancato drenaggio in pianura delle acque dei torrenti che vi sboccarono dalle Colline Pisane, ma non si sarebbero formati se ad accogliere questi ultimi fosse stato un ramo dell'Arno ricco di acque e capace di solcare profondamente la pianura. Tuttavia, a parte le ipotesi, le uniche indicazioni sicure dei percorsi dell'Arno in

periodo romano sono il suo passaggio per Pisa e un tratto, assai diverso da quello attuale, indicato nella campagna di Cascina dalla toponomastica ancora in uso nel Medioevo (GARZELLA & CECCARELLI LEMUT, 1986) ma risalente ai milari, Quarto, Quinto, Sesto, Settimo, Ottavo, Nono, della strada romana che si affiancava e risaliva il corso dell'Arno conformato a meandri (tav. I).

Se grandi incertezze rimangono sull'andamento dell'Arno nella pianura di Pisa nell'antichità, ben maggiori sono quelle sul corso, o i corsi, del Serchio. Per questo argomento esiste una bibliografia assai vasta composta da studi di geografi, letterati, e, in ultimo, dell'ing. MASINI (1956) che ha riassunto le principali opinioni precedenti affacciandone di personali appoggiate da una buona conoscenza dei luoghi. Poiché riteniamo superfluo entrare nei dettagli di tante opinioni spesso contraddittorie rimandiamo per le conoscenze bibliografiche al lavoro di MASINI e cerchiamo di estrarre, dallo stuolo assai confuso di notizie, gli elementi concreti utili a organizzare un quadro accettabile di questa intricata questione, tenendo di conto ovviamente delle maggiori conoscenze di cui oggi disponiamo.

Per iniziare con delle certezze ricordiamo come un ramo del Serchio nell'Anaglaciale Würm II si unisse all'Arno presso Calcinai trasportando la grande massa di ciottoli del Conglomerato dell'Arno e Serchio da Bientina. Ciò significa che nella pianura di Lucca era ben attivo il ramo del Serchio che dalla gola di Ponte a Moriano, attraverso le località dove in seguito furono edificate Lammari, Lunata e Capannori, aggirava il fianco orientale del Monte Pisano lungo la valle di Bientina, allora non occupata dal lago che avrebbe, con la sua presenza, impedito il transito all'ingente quantità di ciottoli. D'altra parte i dati sulle stratigrafie dei pozzi degli acquedotti di Pisa e di Livorno presso la stretta di Ripafratta indicano, nella massa prevalentemente formata da limo delle alluvioni di quel ramo del Serchio, tre livelli di ghiaia (da 9 a 11 m, da 27 a 40 m, da 47 a 55 m presso i quali è stato infine trovato il Macigno del substrato). Questi livelli di ghiaia è verosimile che corrispondano rispettivamente alle tre fasi anaglaciali di Würm III, II, I (MAZZANTI, in stampa b); in modo particolare va rilevata la corrispondenza della quota (—22 m e cioè 40 m sotto il piano di campagna) alla quale si trova la base del secondo di questi livelli di ghiaia con quello presente nel sottosuolo di Cascina (—30 m di quota e cioè 50 m sotto il piano di campagna), attribuito al Würm II, del braccio di Serchio che lambiva il Monte Pisano da Est. Da quanto sopra si arriva ad una prima indicazione: il Serchio nel Würm II presentava già una suddivisione, a valle della gola di Ponte a Moriano, in un ramo orientale (di Bientina) e in un ramo occidentale (di Ripafratta) non necessariamente attivi nello stesso tempo. Ciò non significa che quest'ultimo fosse del tutto uguale al corso di oggi, anzi, con ogni probabilità si discostava dal piede del Monte San Quirico, poco a Nord di Lucca, per passare a Sud dell'area oggi occupata dalla città e giungere fino quasi al piede del Monte Pisano da dove volgeva a Ponente più o meno secondo il percorso dell'attuale Canale Ozzeri che si getta in Serchio presso Ripafratta (fig. 2).

La stretta di Ripafratta richiede un'attenzione particolare in quanto non è possibile sia stata scavata completamente dal ramo occidentale del Serchio che adesso la traversa e nel cui materasso alluvionale sembra possibile rintracciare elementi tutt'al più riferibili dal Würm I in poi (MAZZANTI, in stampa b). D'altra parte la precisa carta geologica e la sezione in questa contenuta di GIANNINI & NARDI (1965) ci permettono di escludere l'eventualità di una impostazione di questa stretta su di un accidente tettonico. Ciò premesso, va osservato che i Monti d'oltre Serchio (fig. 2) da Massarosa a Vecchiano presentano spartiacque molto vicino alla pianura Versiliese che raggiungono in una fascia di non più di 2 km da quest'ultimo, a ridosso quindi del fascio di faglie che separa il piede dei monti dalla pianura. Di conseguenza il versante versiliese di questi monti ha corsi d'acqua cortissimi, precipitosi, poveri di confluente e solcanti impluvi poco profondi; al contrario il versante lucchese ha ampie valli assai lunghe, ordinate in un sistema complesso ricco di confluente, a deboli pendenze, con alluvioni fin sotto le testate, a direzione W-E o SW-NE nelle principali (Freddana, Contesora, di San Pietro, di Balbano). A questo sistema riteniamo abbia appartenuto inizialmente anche il tratto di valle che da Avane si allunga fino alla stretta di Ripafratta. Questa ipotesi rientra molto bene nel quadro evolutivo della rete idrografica dell'Appennino centro-settentrionale proposto da MAZZANTI & TREVISAN (1978) che prevede come le valli, originate inizialmente a direzione antiappenninica in corrispondenza della Tettonica di compressione, vengano troncate dallo sprofondamento dei *Graben* sul retro degli spartiacque al momento dell'instaurazione della Tettonica di distensione (fig. 7 in MAZZANTI & TREVISAN, 1978). Secondo questo modello l'inizio dell'escavazione della valle tra Avane e Ripafratta potrebbe aver avuto luogo addirittura prima del Miocene sup. ed essere stato operato da un fiume che scorreva verso NE. Rimasta con poche acque in conseguenza dello sprofondamento (Miocene sup.?) del Bacino Pisano-Versiliese, che ne avrebbe tagliato via tutto il percorso iniziale, questa valle sarebbe stata raggiunta, verosimilmente solo nel Würm I, dal ramo occidentale del Serchio per il sovralluvionamento della pianura di Lucca, operato anche dagli altri rami di questo fiume. Questo tratto di valle avrebbe così ricevuto una rivivificazione con lo scorrimento del fiume addirittura in senso inverso a quello che ne modellò inizialmente i versanti.

Proposto il passaggio del ramo occidentale del Serchio dalla stretta di Ripafratta con le modalità di cui sopra fin dal Würm I, resta da vedere quali elementi ci sono per indicarne il percorso, o i percorsi, a valle di Pappiana. A questo proposito le notizie storiche in nostro possesso si limitano al già menzionato scritto di STRABONE, secondo il quale, per congiungersi con l'Arno in Pisa, il Serchio doveva scendere verso San Giuliano e Gello (percorso confermato dall'esame delle fotografie aeree e delle immagini da satellite). Viene da chiedersi, a questo punto, se il ramo del Serchio da Pappiana a Migliarino, vale a dire quello attuale ma ancora dotato del meandro di Metato, possa aver coesistito con il precedente, oppure se non si sia svi-

luppato con l'abbandono di questo, come sembra più plausibile. Si è forse trattato di un'altra operazione idraulica collegata alla centuriazione romana? In questo caso si sarebbe ottenuto il vantaggio di allontanare da Pisa, già sottoposta alle pericolose piene dell'Arno, i danni delle piene del Serchio, contribuendo inoltre a prosciugare tutta la fertile pianura fra Pappiana e Pisa. Ma queste non sono, per adesso, che congetture al pari di quelle che indicherebbero la deviazione del Serchio nell'alveo attuale come dovuta, nel VI secolo, all'operazione idraulica del «miracolo di San Frediano», vescovo di Lucca, secondo il mitico racconto datone da papa GREGORIO MAGNO. È comunque probabile che la deviazione verso Migliarino abbia inizialmente solo alleggerito l'apporto di acque nell'Auser diretto verso Pisa. Questo è nominato ancora negli Statuti Pisani del 1286 e del 1313-37 per le necessità che si presentavano per difenderlo dall'insabbiamento nel tratto dai Bagni del Monte Pisano ai dintorni della città dove finiva in canali arginati che ne scaricavano le acque eccedenti in Arno, dopo aver traversato i paduli che si estendevano poco a Nord della città stessa (REDI, 1981).

A valle delle Cascine Vecchie, in terreni più recenti del II-I secolo a.C., il Fiume Morto Vecchio rappresenta un corso abbandonato del Serchio che non può essere più antico, appunto, della data di cui sopra, ma che non conosciamo quando abbia iniziato a formarsi né quando sia stato abbandonato dalla corrente principale per l'alveo attuale. A questo corso in epoca comunale era già collegato tutto il sistema di fossi che drenava la pianura di Pisa a Nord dell'Arno, come del resto avviene tuttora anche se con una migliore razionalizzazione dei tracciati.

Le prime notizie su lavori idraulici nella pianura di Pisa, come abbiamo in parte veduto, si riferiscono a tempi molto antichi tanto che in alcuni casi hanno il sapore della leggenda; più precise, ovviamente, sono quelle a partire dall'istituzione degli annali e degli archivi. Per quanto riguarda il corso dei principali fiumi sono perfettamente documentati i tagli di alcuni meandri per accelerare la velocità delle acque e favorire lo smaltimento delle piene; per l'Arno i due tagli delle Cascine Nuove operati nel 1338 (REDI, 1986), quello nei pressi di Calcinaià eseguito circa nel 1563-64 (MAZZONI & PARDINI, 1980) e quello di Barbaricina risalente al 1771-74 (FIASCHI, 1938), per il Serchio quello di Metato operato nel 1579 (PARDINI, 1980a).

Pure note con precisione sono le deviazioni artificiali di tratti delle foci. Per l'Arno quella del 1606 (PARDINI, 1980b) con la quale fu abbandonato il tratto, detto in seguito «Arnino», per dare alla bocca una direzione verso Ponente, più defilata nei riguardi dei mari dominanti di libeccio che ostacolavano lo scorrimento oltre la foce delle piene e causavano grandi esondazioni; quelle del Fiume Morto nel Serchio risalenti al 1560 e al 1612 e quelle in mare risalenti al 1588 e al 1623 (PARDINI, 1980c); quella del Calambrone di mezzo miglio verso Nord operata nel 1716 (MAZZANTI, 1984).

Di grande importanza furono anche i fossi scolmatori con adatte prese in Arno «... per alleviare e diminuire la massa d'acqua del fiume affinché questa non recasse alcun

danno in città o nei dintorni» (BONAINI, 1854-57, *vide* REDI, 1986). Sembra che nel Trecento se ne volesse scavare uno in comune di Fasciano dove ne era esistito un altro in precedenza. È noto come questi scolmatori furono realizzati in periodo medico prima a Putignano nel 1558 (PARDINI, 1980d) e quindi a Fornacette nel 1568 (MORELLI, 1980), visto lo scarso successo del precedente. Le acque del fiume in piena e torbide venivano fatte trascinare da un tratto di argine appositamente attrezzato e riversate in un canale che le portava al mare o nelle casse di colmata dove decantavano posando al fondo il carico solido secondo un procedimento di innalzare il fondo dei paduli che sembra sia già stato impiegato nella pianura di Pisa nel XII secolo (TARGIONI TOZZETTI, 1761).

È noto che risalgono pure a tempi molto antichi le tecniche di costruzione degli argini (con i loro rinforzi di muraglioni, piantate di alberi, strade), di allestimento di steccaie, briglie, cateratte, di escavazione di fossi (anche delle dimensioni di canali navigabili) e quelle, più raffinate, della realizzazione di incroci di corsi d'acqua attraverso sottopassaggi in «botte». Queste tecniche erano già in uso nel periodo romano e la vasta centuriazione della pianura di Pisa suggerisce che vi siano state messe in opera almeno dal periodo augusteo, ma di esse finora non ci sono giunte tracce sicure. Precisi riferimenti dell'esistenza in tutta la pianura di Pisa di un'ampia rete di fossi, in gran parte arginati, si hanno invece dagli Statuti Pisani del 1286 (BONAINI, 1854) che indicano anche le modalità per il mantenimento e chi dovesse provvedervi come magistero e finanziariamente. Per alcuni di questi fossi sono documentate citazioni molto precedenti a questi statuti: 1031 per la Fossa Cucci, 1136 per la Fossa Magna, 1162 per la Fossa di Asciano (REDI, 1981) ma non riteniamo possibile in questa sede scendere a dettagli né sulla localizzazione, né sulla costruzione e sulle varie e complesse vicende di questa rete idrica. Qui è indispensabile schematizzare al massimo rilevando che nel periodo comunale la pianura di Pisa appare già solcata da una rete di fossi di scolo che non sono fondamentalmente diversi (REDI, 1981 e 1986) da quelli che sono citati nell'elenco del 1475 dell'Opera della Riparazione del Contado, appositamente costituita per le questioni idrauliche (FIASCHI, 1938), e rappresentati, in seguito, nelle carte pregeodetiche del Seicento e del Settecento (MAZZANTI & PULT QUAGLIA, 1986a). Nessuno di questi fossi scaricava le acque in Arno, che già era più alto del resto della pianura almeno fino all'altezza di Pisa, ma ognuno, attraverso una rete di confluente talora molto complicata, portava le proprie acque ai due emissari con bocche al mare: il Fiume Morto, per la pianura a Nord, e il Calambrone, per quella a Sud dell'Arno (fig. 2).

Va precisato che molto diverse furono le condizioni della rete idrica della pianura di Pisa per quanto riguarda il mantenimento nei vari periodi, malgrado l'esistenza, e il continuo rinnovo, di leggi anche assai severe per la difesa delle opere dall'uomo e dagli animali (era, per esempio, rigorosamente proibito il pascolo sugli argini alle «bestie dal piè tondo»). È così evidente che nell'infausto periodo dei lunghi assedi fiorentini che portarono alle sconfitte pisa-

ne del 1406 e del 1509, le campagne, specie nella pianura intorno alla città, furono abbandonate e devastate. Ma non solo le guerre contribuirono ad abbassare o ad annullare la rigorosa manutenzione e il continuo restauro necessari al buon funzionamento delle opere idrauliche, in quanto sembra che vi abbiano influito fattori ben diversi: fra questi la diminuzione demografica dovuta alla peste del 1630-32, le difficoltà economiche del Granducato a partire dal quarto decennio del Seicento (MAZZANTI & PULT QUAGLIA, 1986b) o, ancora, quello del periodo della Reggenza nel quarto decennio del Settecento e della dominazione napoleonica dei primi anni dell'Ottocento. Quest'ultima, malgrado abbia risvegliato tanti fervori di idee nuove nella società toscana, ormai provinciale e forse appagata dall'«assolutismo illuminato» dei principi di Casa Asburgo-Lorena, comportò grandi spoliazioni nelle casse dello Stato, e in quelle dei privati cittadini, per far fronte alle continue campagne europee degli eserciti francesi.

Le condizioni idrauliche della pianura di Pisa fin verso la metà del XIX secolo risentirono, in modo diretto e profondo, delle congiunture economiche e politiche coincidenti con le fasi di depressione cui abbiamo accennato in precedenza, alternate da periodi di ripresa come quelli conseguenti ai principati di Cosimo I e di Ferdinando I dei Medici (tra la fine del Cinquecento e gli inizi del Seicento) e di Pietro Leopoldo e di Leopoldo II di Asburgo-Lorena (rispettivamente nella seconda metà del Settecento e nella prima dell'Ottocento). Di pari passo con la buona manutenzione della rete dei fossi e degli scoli si svolsero le vicende del contenimento e, oppure, del prosciugamento dei paduli, altra grande impresa che il Comune di Pisa, prima, e i Governi di Firenze e di Roma, in seguito, dovettero intraprendere per il mantenimento delle condizioni di vivibilità di questa pianura. Anche sull'esistenza dei paduli le prime notizie certe risalgono al periodo comunale (REDI, 1981; 1986) con le disposizioni rivolte alla difesa e restauro delle fosse di scolo per mezzo delle quali si cercò di provvedere al prosciugamento dei terreni più bassi intorno alla città. In questi terreni si favoriva con sgravi fiscali l'insediamento abitativo utile per il mantenimento della bonifica. La lotta contro i paduli dovette essere lunga, visti i mezzi disponibili fino quasi alla fine del XIX secolo, e costosa, ma, nella prospettiva storica e contrariamente a certe tendenze attuali di demonizzazione dei prosciugamenti, da considerarsi, in questo caso, assolutamente necessaria. Infatti, come abbiamo già accennato, essa corrispose a tutte le fasi storiche di «buon governo», al contrario l'abbandono della manutenzione delle opere idrauliche, con il conseguente riformarsi o allargarsi dei paduli, è venuto dietro a guerre, pestilenze e depressioni economiche; non va poi dimenticato che le acque dolci stagnanti sono l'habitat delle larve delle zanzare, veicolo dell'endemia malarica, altro flagello per le popolazioni fino a tutto il XIX secolo e oltre, cioè fino a quando non furono scoperte origine e cura del male e i mezzi per diminuire il proliferare delle zanzare.

La pianura di Pisa ha avuto vari tipi di paduli. Converrà prenderli in esame a partire dal mare verso l'interno

perché, come è stato fatto osservare di recente (CHERUBINI & *alii*, in stampa) se le pianure sono per eccellenza zone di formazione di paduli, è con l'innalzamento del livello del mare di almeno 100 m iniziato dopo l'acme glaciale di Würm III che la pianura di Pisa ha visto arretrare continuamente la barriera operata dal complesso di cordoni sabbiosi litorali, specie di diga all'agevole scorrimento in mare delle acque di esondazione fluviale. In una simile situazione è ovvio che si siano formati numerosi paduli. E infatti le due raccolte d'acqua maggiori, il Lago di Massaciuccoli, con l'ampia zona paludosa di la Costanza, e il Padule di Stagno, si formarono dietro il limite interno di questa barriera operata dai sedimenti del massimo della trasgressione versiliana in questa località. Ma dietro a questa barriera si raccolsero anche altri specchi d'acqua minori: il Paduletto tra Barbaricina e il Cotone delle Cascine a Nord dell'Arno e il Padule della Ballerina (o di Castagnolo) a Sud dell'Arno in comunicazione con il Padule Maggiore che era sbarrato maggiormente dai deboli rilievi di Coltano e di Castagnolo risalenti, come abbiamo visto, al Würm II. Da un punto di vista strettamente naturalistico l'inizio della formazione delle zone umide sopra nominate risale, appunto, alla formazione dei cordoni litoranei di Campolungo, di quelli ad Est del Cotone delle Cascine e di quelli più orientali del gruppo di Migliarino da riferirsi, come abbiamo visto in precedenza, al periodo compreso tra la fine della fase atlantica del Querceto (rinvenuta nel sottosuolo) e il II-I secolo a.C. Da un punto di vista storico sono però possibili maggiori precisazioni nel senso che il rinvenimento, anche in zone posteriormente occupate dalle acque del padule di Stagno, di resti di insediamenti abitativi del I secolo a.C. — IV-V secolo d.C. e di tracce di centuriazione (MENCHELLI, 1984), suggerisce quanto meno una assai minore dimensione dell'area inondata nell'antichità rispetto a quella rilevabile con i sedimenti di superficie e con le rappresentazioni cartografiche pregeodetiche e dell'inizio della cartografia «geometrica». Una minore dimensione dei paduli in periodo romano può essere suggerita anche da una posizione del livello del mare di almeno 1 m più bassa dell'attuale (SCHMIEDT, 1972; MAZZANTI, 1983) e da un regime più regolare dei fiumi collegato ad una maggiore diffusione del manto forestale nelle zone montane almeno fino all'età repubblicana (CHERUBINI & *alii*, in stampa).

Dopo il II-I secolo a.C. è cominciata quella veloce avanzata del litorale che, malgrado il presunto innalzamento del livello marino e verosimilmente per un grande accrescimento del trasporto solido dei fiumi, ha ampliato la pianura di Pisa di tutti quei terreni più occidentali anche oltre il limite della linea di riva attuale. Questa è il risultato dell'erosione dell'apparato apicale del delta dell'Arno iniziata verso la fine del secolo scorso (ALBANI, 1940; RAPETTI & VITTORINI, 1974; AIELLO & *alii*, 1975; PRANZINI, 1983). Si sono così formate, con le modalità illustrate, le lame intercalate ai cordoni dei lidi e delle dune ed altri paduli, aggreganti più lame, alle bocche d'Arno e di Serchio e sotto la Gronda dei Lupi (quest'ultimo più spesso laguna che padule) fra Stagno e la Torre del Marzocco.

Contemporaneamente ai paduli di cui sopra, altri si formavano ai lati Sud e Nord della pianura. I primi erano collegati alla perdita di velocità dei corsi d'acqua che dalle valli delle Colline Pisane entravano nell'ampia pianura di Pisa e non trovavano un fiume capace di raccogliarli. Si tratta del Prato della Contessa (l'unico ancora esistente e mantenuto come riserva di un habitat ormai perduto) allo sfocio del Botro di San Giovanni; del Padule di Mortaiolo, allo sfocio dei torrenti Tanna e Tora; del Padule di Greciano, allo sfocio del Torrente Isola; del Padule di Lavaiano, allo sfocio del Rio Zannone. Il Padule di Gamberonci, nell'ambito della Valle dell'Orcina, aveva caratteristiche leggermente diverse, di tipo intravallivo, non collocandosi propriamente nella pianura di Pisa olocenica ma nell'ambito dell'area di quella che dovette essere la pianura alla fine del Würm III. I secondi si allinearono lungo il lato settentrionale dell'Arno che stava via via sviluppando un alveo pensile. Così il Campaldo e il Pratale, poco a Nord di Pisa, furono separati verosimilmente dalle alluvioni e dal percorso dell'Auser; il Padule di Agnano si formò stretto fra il Monte Pisano e i rialzi alluvionali dovuti ai corsi dell'Auser a NW e dell'Arno a Sud; il Padule di Bientina fu sbarrato dal sovralluvionamento dell'Arno fra Calcinai, Bientina e Vicopisano, nella vecchia valle scavata nel Würm II fra il Monte Pisano e le Cerbaie.

Oggi tutti questi paduli sono prosciugati, tranne ovviamente il Lago di Massaciuccoli, d'altra parte al confine ed esterno alla Pianura di Pisa, e il Prato della Contessa, che per le piccole dimensioni e la posizione appartata non ha interessato nessuno ed è ormai diventato, giustamente, una specie di piccolo paradiso per gli ornitologi.

La storia dei prosciugamenti dei paduli della pianura di Pisa non è stata ancora scritta in modo integrale; sarebbe forse più interessante di quella della pianura di Grosseto perché rintracciabile in un arco di tempo maggiore, sotto gli ambienti culturali e i regimi politici più disparati e collegata a due dei maggiori fiumi della Toscana. Le dimensioni entro le quali deve ragionevolmente rimanere questa nota ci costringono ancora una volta a schematizzare al massimo un argomento che meriterebbe una trattazione molto più ampia; diremo così, brevemente, che la storia dei prosciugamenti di questa pianura può essere suddivisa nei quattro periodi: antico, medievale, moderno, contemporaneo.

Per quanto riguarda il periodo antico abbiamo, per adesso, più indizi che certezze. Verosimilmente la pianura era più asciutta che nei periodi medievale e moderno; è probabile che le depressioni al piede delle Colline Pisane fossero drenate da un corso dell'Arno, mentre non si può escludere che la riunione dell'Auser con l'Arno in Pisa sia stata almeno arginata, se non del tutto allontanata, per ridurre i pericoli che ne derivavano alla città.

Con il Medioevo le informazioni aumentano e ci rivelano come Pisa avesse paduli al piede delle mura settentrionali, ancora lambite dal corso dell'Auser e che lo stesso quartiere cittadino di Chinzica, a Sud dell'Arno, sia stato in origine un padule. Ci rivelano ancora il grande sforzo di costruire fossi ed argini, in terreni spesso di cattiva

tenuta e in continuo smottamento, per drenare tutta questa grande quantità di acqua che attanagliava la città quando addirittura non la sommergeva e come le aree meridionali della pianura fossero poco popolate proprio perché di continuo raggiunte dalle esondazioni dell'Arno che rompeva, talora spontaneamente altre volte artificialmente, a monte di Pisa. La disposizione delle Sabbie Argillose di le Rene tutto intorno all'Arno e la fitta presenza di chiese medievali in loro corrispondenza segnalano quale dovesse essere la campagna più popolata della pianura di Pisa. Fra Pontedera, Pisa e Vecchiano i terreni si prestano a buone colture, tuttavia erano tutti soggetti alle disastrose esondazioni dell'Arno di cui eccezionale fu quella del 1333, grandi furono quelle del 1167, 1269, 1282, 1284, 1334, 1345, 1380, 1454, 1465 e medie quelle del 1261, 1305, 1362, 1368, 1378, 1406, 1434, 1490, 1491 (CACIAGLI, 1970). La rete dei fossi drenanti la pianura di Pisa nel Medioevo era già in pratica organizzata come quella del periodo moderno (fig. 2); alcuni di questi canali sembra che abbiano servito come immissari per colmate oltre che per scolmare l'eccesso delle acque durante le piene. Con tutto ciò risultano prosciugati nel XIII e XIV secolo solo i dintorni immediati della città, il Campaldo, il Pratale e il Padule di Agnano (REDI, 1981).

Il periodo moderno si apre per Pisa in condizioni drammatiche per i noti fatti d'arme che comportarono devastazioni nella pianura e specialmente nelle opere idrauliche alle quali bastava l'abbandono per diventare inutili. La carta del 1503 di LEONARDO DA VINCI, ripresa nel pieno dei combattimenti appena i fiorentini ebbero espugnato il castello della Verruca sul Monte Pisano (CALECA & MAZZANTI, 1982), ci mostra con immediatezza una situazione verosimilmente peggiorata nei confronti della precedente del tardo Medioevo: un enorme padule a Nord di Castagnolo e di Coltano, il Padule di Agnano esteso fin sotto la Valle di Calci, un altro padule fra Arno e Fiume Morto che può corrispondere al Paduletto fra Barbaricina e il Cotone delle Cascine. Disfatta definitivamente Pisa nel 1509 e confermata in Firenze la Signoria dei Medici, inizia una nuova fase di operazioni idrauliche nella pianura di Pisa. Viene scavata una grande quantità di fossi di drenaggio (un tempo detti «nuovi» ma la critica storica moderna sta mettendo in luce che si è trattato quasi sempre di riadattamenti di strutture che erano già esistite) e si inizia ad usare più ampiamente il metodo di prosciugamento attraverso colmate. Progressi importanti seguono intanto nel metodo di affrontare la sistemazione idraulica nelle pianure di pari passo a quelli della rappresentazione topografica dei territori; l'Idrologia diventa campo d'azione dei matematici e l'Università di Pisa e l'Ufficio dei Fossi ne hanno di illustri: Benedetto CASTELLI, Alfonso BORELLI, Francesco DELLA NAVE, Cosimo PUGLIANI, Fiamiano MICHELINI, Vincenzo VITALI; altri sono chiamati a consulta dall'Olanda: Cornelio HINDT e Cornelio MEYER. I piani di prosciugamento iniziano a diventare progetti integrali su tutta la pianura, ma le esondazioni dell'Arno aumentano: eccezionali nel 1547, 1557, 1589; grandi nel 1515; 1532, 1539, 1544, 1646, 1676, 1677, 1680, 1687, 1688; medie nel

1520, 1538, 1550, 1621, 1641, 1651, 1660, 1674, 1683, 1685, 1698 (CACIAGLI, 1970); del 1624 è poi l'ultima piena del Serchio che si scarica nel Lago di Bientina (MASINI, 1956). Non è escluso che ciò sia in connessione con gli anni più piovosi della «piccola era glaciale», ma il disordine idraulico si era sempre più andato propagando nel bacino idrografico dell'Arno per l'irrazionale sfruttamento del suolo, malgrado i principi di Casa Medici abbiano difeso i boschi con l'accanimento dei grandi cacciatori. Dal punto di vista delle tecniche più dirette di difesa dalle inondazioni si fortificano e completano gli argini; nel 1616 risultano arginate completamente le sponde dell'Arno da Pontedera a Pisa in sinistra, e da Caprona a Pisa in destra (MAZZANTI & PULT QUAGLIA, 1986b), si abbandonano i trabocchi con canali scolmatori che si erano rivelati disastrosi per le campagne dove conducevano l'acqua e poco risolutivi per evitare le alluvioni in Pisa; si cerca, con successo, di favorire lo scorrimento in mare delle piene con il taglio («ferdinandeo») della Bocca d'Arno del 1606 suggerito dal PUGLIANI.

Il Settecento vede l'affinamento della teoria e della pratica del prosciugamento dei paduli per colmata, adatto a restituire terreni di buona fertilità per l'agricoltura in auge in una Toscana dove ormai le industrie che ne fecero la fortuna (quelle della lana e della seta) non sono concorrenti, malgrado la qualità estremamente migliore, con quelle straniere. Compaiono le teorie della bonifica integrale, vale a dire le proposte secondo le quali i prosciugamenti dei paduli non vanno considerati isolatamente come rimedio per il riscatto dei territori spopolati e malarici, bensì in un sistema che li integri con le attività produttive di persone capaci di farli fruttare e si comincia anche a teorizzare le possibili relazioni fra l'ambiente di pianura con quello di collina (per il quale si sperimentano apposite tecniche di bonifica in funzione antierosiva) e quello montano da considerare come interdipendenti per la buona conduzione di entrambi. I nuovi idraulici dell'Ateneo Pisano e dell'Ufficio dei Fossi sono Guido GRANDI, Tommaso PERELLI, Antonio FALLERI nella prima metà del secolo, che vide più che altro una nuova sistemazione della parte terminale del Calambrone, e Leonardo XIMENES, Antonio BOMBARDIERI, Michele PIAZZINI, Camillo RUSCHI, Donato SAMMINIATELLI e Pietro FERRONI nella seconda metà, tutta compresa, dal 1765 al '90, dalla figura del granduca PIETRO LEOPOLDO, che riuscì a stimolare l'azione dei «privati possessori» al miglioramento fondiario e, quindi, alle bonifiche eseguite con le più moderne e raffinate tecniche delle colmate. Le acque «alte», con potenzialità di trasportare torbide in quanto provenienti dalle colline o dai monti, erano accuratamente separate da quelle «basse», in genere prive di torbide in quanto piovute o sgorgate da falde sotterranee in loco; veniva poi con molta attenzione curato che le acque marine non entrassero negli stagni e paludi costieri nella convinzione, dimostrata in seguito erronea, che l'endemia malarica derivasse dalla miscela delle acque dolci con le salate. Comunque l'opera di bonifica, specialmente nella seconda metà del Settecento, nella pianura di Pisa fece un salto qualitativo con l'impostazione «calcolata» delle

colmate dei bassofondi del Faldo e del Gonfo, nel settore meridionale, portate a conclusione nel 1797 e nel 1807-1808 rispettivamente (MAZZANTI, 1983). In teoria le colmate avrebbero potuto prosciugare anche aree con fondi più bassi del livello del mare perché capaci di innalzare i fondi stessi con i loro apporti sedimentari; in pratica il loro funzionamento si dimostrò estremamente lento perché spesso i terreni di deposito, in origine molto ricchi d'acqua e sciolti, asciugandosi e costipandosi perdevano di spessore e tornavano ad impaludarsi. Con tutto ciò le colmate hanno avuto una notevole importanza nella bonifica della pianura di Pisa fino sotto la Gronda dei Lupi nei terreni delle lagune impaludate dell'antico Porto Pisano.

I primi quattordici anni dell'Ottocento sono quelli della dominazione francese della Toscana che corrispose con un grande movimento di idee ...e di denari ed opere d'arte (ovviamente verso la Francia). Di questo periodo sarebbe interessante esaminare più che le opere (che furono poche per la mancanza di mezzi finanziari) la nuova organizzazione che fu data ai servizi tecnici; ma ciò è al di fuori dei limiti che ci siamo imposti. Con la Restaurazione in Toscana viene ripreso un programma di grandi bonifiche, specialmente sotto LEOPOLDO II negli anni '30, che si avvalgono finalmente di una cartografia «geometricamente esatta», ancora poco fornita di punti quotati ma comunque costituente un ottimo supporto di base per rilievi più dettagliati. In questo periodo gli sforzi maggiori del granduca sono rivolti alla redenzione della Maremma; la pianura di Pisa è interessata da una serie di studi, moderni e di alto livello, per la soluzione dei problemi del Lago di Bientina che fu favorita notevolmente dall'unione del Ducato di Lucca alla Toscana. Dopo il susseguirsi per molti decenni di tanti progetti idraulici «lucchesi» e «toscani» fu realizzato quello di Alessandro MANETTI, direttore generale delle acque e strade e delle fabbriche civili della Toscana, che comportò lo «svuotamento» del lago attraverso un canale emissario che venne fatto passare «in botte» sotto l'Arno, presso San Giovanni alla Vena, e quindi collegato all'«Arnaccio», rimodellato nell'occasione sulla base del percorso del Rio Pozzale, fino al Calambrone e al mare. A parte la scelta drastica dell'essiccamento completo del lago, l'opera risultò tecnicamente perfetta ed entrò in funzione nel 1859 alla vigilia dell'Unità d'Italia, con la quale riteniamo concluso il periodo moderno.

Il periodo contemporaneo nel campo idrologico presenta notevoli perfezionamenti nelle conoscenze teoriche e grosse innovazioni tecniche nel campo applicativo. Per quest'ultimo basterà pensare che l'avvento dei motori (inizialmente a vapore, in seguito a scoppio ed elettrici) e la loro applicazione alle pompe idrauliche ha risolto il maggior problema di tutta l'Idraulica precedente: quello del sollevamento di grandi quantità di acqua. Prosciugare un padule è diventata un'operazione molto semplice ed infatti nonostante l'abbandono dei programmi di bonifica seguito all'Unità d'Italia, nella pianura di Pisa le operazioni furono riprese, ovviamente secondo nuovi disegni, e rapidamente condotte a termine, almeno per quanto riguarda il puro e semplice prosciugamento, entro la fine degli anni '30. In pochi an-

ni furono prosciugati i paduli rimasti ancora quasi integri (Maggiore, della Ballerina, di Stagno, di Agnano) e i residui ancora esistenti di quelli tanto faticosamente messi in colmata per decenni. Queste operazioni di prosciugamento per «esaurimento meccanico» degli anni '30 furono accompagnate dallo scavo di una grande quantità di fossi, molti ancora sui tracciati degli antichi, alcuni completamente diversi come quello del Nuovo Canale dei Navicelli sul quale, a differenza dell'antico che ebbe solo funzioni di canale commerciale, fu, ed è, imperniato il drenaggio dei terreni circostanti. Queste operazioni di scavo furono condotte da una grande quantità di braccianti con ...la vanga e la carriola; vale a dire con mezzi che, rispetto a quelli utilizzati fin da epoca immemorabile, erano progrediti solo nella sostituzione della carriola, da spingersi a braccia, rispetto alla gerla, da portarsi sopra le spalle nello spostamento della terra dai fossi agli argini. L'introduzione delle macchine escavatrici e per il movimento di terra è la seconda innovazione tecnica di grande portata che, nel dopoguerra, ha rivoluzionato, se non le basi teoriche, certamente le modalità e possibilità di realizzazioni pratiche nelle grandi opere idrauliche: lo scavo del Nuovo Scolmatore è stato realizzato negli ultimi anni su un tracciato completamente nuovo con estrema facilità di esecuzione. Schematizzando possiamo affermare che oggi la pianura di Pisa ha acque «alte» che sono condotte in mare dall'Arno, dal Serchio e dall'Arnaccio (quest'ultimo per quanto gli proviene dall'emissario di Bientina al di fuori della pianura di Pisa) e quelle «basse» che sono drenate dal Fiume Morto (tra Serchio e Arno) e dai canali afferenti al Calambrone (tra Arno e Colline Pisane); il Nuovo Scolmatore, a quanto pare non ancora funzionante, dovrebbe servire a scongiurare le esondazioni dell'Arno nella fertile pianura corrispondente alle Sabbie Argillose di le Rene tra Pontedera e il mare e, ovviamente, in Pisa. Di queste esondazioni completiamo qui l'elenco ripreso da CACIAGLI (1970): eccezionali nel 1740, 1758, 1844, 1966; grandi nel 1705, 1709, 1714, 1719, medie nel 1715, 1745, 1761, 1866, 1904, 1916, 1949.

L'ESAME DELLE FOTOGRAFIE AEREE

Per lo studio della pianura di Pisa attraverso fotografie aeree si dispone di un materiale abbondante fra il quale si trovano riprese di eccezionale valore storico come quelle del 1929, 1930, 1937, 1938 e 1942, le prime delle quali sono dei veri e propri prototipi sperimentali risalenti alle prime esperienze di messa a punto dell'indagine con strisciate stereoscopiche operate dall'IGM. Il primo volo completo è comunque quello «G.A.I.» del 1954 con pellicola pancromatica bianco/nero, fotogrammi 23 x 23 cm a scala 1:30 000, quota di volo 4 500 m e focale 150 mm. Esistono poi, ancora su pellicola pancromatica b/n e diapositive 23 x 23, riprese parziali del 1965 e del 1973 e quelle generali (cioè eseguite su tutta la Toscana su ordinazione della Regione) del 1975-76, a scala 1:13 000 e a quota media di volo di 2 000 m, e del 1977-78, a scala 1:33 000 e a quota di volo di 5 000 m. Il nostro studio è stato eseguito

sul volo «G.A.I.» del 1954 e su quelli della Regione Toscana del 1975-76 e del 1977-78.

Da un punto di vista naturalistico i fotogrammi di questi voli ripresi in anni diversi sono praticamente uguali, salvo nel dettaglio della linea di riva che d'altra parte non è oggetto di questo studio; molto notevoli sono invece le differenze dei manufatti: case, strade, canali, strutture portuali, ecc. Ma anche lo studio di questi ultimi non rientra in argomento per cui riteniamo di poter esprimere una valutazione unica su quanto è possibile riconoscere sui tre voli utilizzati.

Malgrado la disponibilità di eccellenti riprese aerofotogrammetriche, lo studio geomorfologico della pianura di Pisa non è agevolato per la frequenza di aree oscurate in quanto ritenute obiettivi militari e per la grande diffusione delle costruzioni, ormai generalmente estese al di fuori di ogni ordinato limite di sviluppo storico rintracciabile attraverso cerchie di mura, viali di circoscrizione, quartieri periferici organizzati, ecc. Le costruzioni sono sorte anche all'interno degli antichi perimetri cittadini, confondendone spesso le direttrici storico-urbanistiche, ed hanno invaso a macchia disordinata molte campagne, addirittura nelle aree un tempo occupate dai paduli dove ora sorgono centri industriali, commerciali e portuali. Con tutto ciò alcuni tratti geomorfologici risultano ancora molto evidenti: i contatti fra le alluvioni della pianura con le rocce del Monte Pisano, con le Sabbie dell'Isola di Coltano, con i sedimenti del terrazzo di Livorno e di quello delle Cerbaie.

I contatti di cui sopra appaiono tutti molto evidenti anche al rilevamento sul terreno; assai meno chiari risultano invece, se osservati in campagna, i contatti fra i lidi, dune e lame in tutta l'ampia fascia litoranea, quelli fra le Sabbie Argillose di le Rene e Limi e Argille alluvionali, così come il riconoscimento degli alvei abbandonati. È nell'individuazione di queste entità poco emergenti del paesaggio che è particolarmente utile l'esame delle fotografie aeree.

La distinzione fra lidi, dune e lame è resa difficoltosa da differenze nei sedimenti assai sfumate, forse per parziali rimobilizzazioni delle sabbie dopo la prima sedimentazione, e comunque perché il manto boschivo è spesso molto manipolato e solo in casi limitati indicativo del tipo del substrato pedologico, a sua volta collegato con il tipo originale di sedimento. Abbiamo la sensazione di essere riusciti a cartografare solo parzialmente le distinzioni all'interno del sistema di cordoni sabbiosi e delle lame. Questo sarebbe stato in origine composto di gruppi di lidi e lame molto stretti separati da lame più larghe (per esempio la «Lama Larga» e il «Lamone»), le dune sviluppandosi sopra ai gruppi di lidi e lame strette ne avrebbero parzialmente confuso i singoli tratti tanto che adesso, come accade ai rilevatori delle carte antiche, questi gruppi appaiono in genere come cordoni unici, anche perché il folto bosco ne nasconde i lineamenti di più fine dettaglio. Ma dove il bosco è meno folto, come nelle Lame delle Gelsie a Nord dell'Arno, questa struttura risulta ancora leggibile sia sul terreno sia sulle fotografie aeree. C'è da chiedersi se la formazione di un così gran numero di lidi e di lame non abbia avuto una valenza ciclica e, nel caso, quale sia

il suo periodo. Ma questi interrogativi sembrano di soluzione molto problematica non solo per le obiettive difficoltà attuali di esaminare con estremo dettaglio questi sedimenti e le loro morfologie, quanto per la complessità degli elementi in gioco nella formazione dei lidi e delle lame: apporti solidi fluviali, dinamica costiera e sue variazioni, azione eolica sulle dune.

Alcuni episodi sedimentari di grande spicco sono tuttavia ancora leggibili: il Cotone delle Paglie e il gruppo di sottili cotoni che gli si affiancano a monte fino a quello del Mancino accentuano nei tratti settentrionali le loro curvature in modo da raccordarsi con i successivi avanzamenti del tratto terminale dell'Arno prima della deviazione del 1606, in quello che fu il lobo sinistro del fiume fin dal Medioevo. L'innesto fortemente obliquo, nel Cotone dei Ginepri, dei cotoni che si intercalano alle Lame delle Gelsie rivela lo sconvolgimento dell'apparato deltizio in destra d'Arno che seguì alla brusca deviazione artificiale del tratto terminale sempre nel 1606 e mostra come, ancora una volta, l'azione umana abbia avuto un impatto notevolissimo nei fattori geomorfologici agenti nella pianura di Pisa. D'altra parte altrettanto evidente è l'erosione, risalente a dopo la metà del XIX secolo, di gran parte dell'apparato apicale, specialmente sul lato destro d'Arno, non protetto, evidenziata dal taglio brusco della parte più esterna dei cotoni intercalati alle Lame delle Gelsie.

Il riconoscimento delle Sabbie Argillose di le Rene dai Limi e Argille Fluviali è facilitato, alla fotointerpretazione, dalla più fitta suddivisione dei campi con prode vignate ed alberate, presenza di vigne nelle prime; questi elementi mancano completamente nei secondi che sono suddivisi invece in campi più estesi e morfologicamente più bassi come accentuato dall'osservazione stereoscopica.

La presenza di alvei abbandonati risulta molto evidente per quelli derivati da operazioni avvenute nei periodi del basso Medioevo e moderno: meandri delle Cascine Nuove, di Bientina-Vico Pisano, di Metato, di Barbaricina. Assai più incerti sono gli indizi per i tratti di alvei che possono corrispondere a percorsi fluviali più antichi: alto medioevali, romani e anteriori. Questi ultimi consistono in genere in una particolare disposizione dei campi accennante a curvature meandriche anche se piuttosto frammentarie, come nel caso dell'antico corso dell'Auser fra Pappiana e Gello, o dell'Arno ad Est di San Piero a Grado e fra Putignano e Cascina.

Un'attenzione particolare va infine dedicata all'antico corso del Cascina nei dintorni e a valle di Ponsacco, cioè al di fuori dell'incisione valliva aperta nei sedimenti pleistocenici e più antichi. Sono osservabili alcuni tronchi di meandri all'altezza di questo paese, spostati molto più sulla sinistra rispetto al corso attuale, che sembra legato ad un'antica canalizzazione in quanto nell'insieme circa rettilineo ma presentante piccole deviazioni leggermente curve che è possibile la corrente abbia sviluppato col tempo da un canale inizialmente rettilineo. Va poi tenuta presente la possibilità, affacciata in linea teorica da MAZZANTI (in stampa, a) in un quadro generale dell'Idrografia dell'Era e dei suoi affluenti, che il Cascina confluiva direttamente

in Arno e non nell'Era come attualmente. A questa confluenza diretta in Arno, priva di un riferimento cronologico nell'ipotesi di MAZZANTI, è stata di recente conferita una precisa indicazione di età da GARZELLA & CECCARELLI LEMUT (1986) che indicano come nel XII secolo il Torrente Cascina entrava in Arno vicino alla località Domiculta di Cascina con corso canalizzato, in quanto denominato «doccia» o «fovea».

Se torniamo all'esame delle fotografie aeree tenendo presenti queste indicazioni possiamo rintracciare un alveo appena percettibile che dai meandri abbandonati nelle vicinanze di Ponsacco si spinge, con qualche interruzione, fino un poco a Nord di Latignano dove non è più visibile verosimilmente per il gran numero di edifici che si trovano fra questa località e Cascina. Questo paleoalveo è stato nominato «Paleorotina» nella Carta Geomorfologica di tav. I, in quanto si affianca ad una strada chiamata «Via di Rotina» che da Cascina conduce a Ponsacco. È questa un'antica strada con percorso quasi rettilineo ma non privo di piccole ondolazioni; essa, nel tratto immediatamente a Sud dei due fossi appaiati Chiaro e Pozzale, è affiancata da un piccolo fosso, interrotto ormai dai due maggiori di cui sopra e dal recente Nuovo Scolmatore d'Arno. Non va poi trascurato che esiste tuttora un Fosso Rotina che, con percorso tutto un poco più a monte della strada precedente, da poco a Nord di Ponsacco si immetteva in Arno circa 2 km ad Est di Cascina fino al 1859, quando fu tagliato nel tratto terminale e immesso nel canale Arnaccio, nuovo emissario del Lago di Bientina dopo l'apertura della «Botte» sotto l'Arno.

Se riordiniamo tutti questi indizi di diversa natura appare possibile che l'attuale Fosso Rotina sia stato spostato più a monte quando l'antico Fosso Rotina, parallelo alla Via di Rotina tuttora esistente, perse di funzionalità verosimilmente per il taglio di uno dei numerosi canali che attraversano la zona. Sembra ancora probabile che l'antico Fosso Rotina abbia tratto origine da un più antico percorso del Cascina, canalizzato e anteriore al momento nel quale la corrente principale di questo corso d'acqua fu deviata artificialmente nell'Era secondo l'andamento attuale.

L'ESAME DELLE IMMAGINI LANDSAT

L'utilizzazione di immagini telerilevate si è dimostrata di grande utilità per lo studio dell'evoluzione recente delle pianure costiere (ALESSANDRO & PRANZINI, 1986; PRANZINI & DELLA ROCCA, 1986).

Opportune elaborazioni digitali dei dati originali hanno infatti consentito di ottenere immagini facilmente interpretabili in chiave geologica e geomorfologica e direttamente correlabili con le informazioni acquisite a terra con i tradizionali metodi d'indagine.

Analoghe metodologie sono state applicate allo studio di una parte della pianura di Pisa sia per verificare ulteriormente la validità del metodo, sia per ottenere eventuali informazioni aggiuntive rispetto a quelle date dall'analisi delle fonti storiche e delle fotografie aeree.

Le immagini utilizzate sono state acquisite dai sensori MSS (13 Settembre 1978 e 8 Febbraio 1980) e TM (18 Marzo 1986) rispettivamente installate sui satelliti Landsat 2 e 3, e Landsat 5.

L'area studiata è stata limitata a quella coperta dai 512×512 pixels dello schermo, corrispondenti a circa 30×30 chilometri per le immagini MSS e a circa 15×15 chilometri per quelle TM.

Tutte le immagini sono state trattate presso il centro ENEA della Casaccia per mezzo di un elaboratore d'immagini Gould De Anza IP 8500 collegato ad un VAX 785; *hard copies* delle immagini elaborate sono state ottenute con un sistema Log E-DUNN 635.

Di ciascuna immagine sono state elaborate le singole bande per mezzo di *stretching* lineari e di equalizzazioni dalle quali si sono ottenuti successivamente i vari *color composites* ⁽⁸⁾.

Dai dati MSS è stata inoltre prodotta l'immagine dell'Indice di Biomassa $[(B7-B5) / (B7 + B5)]$ e quella delle componenti principali. Abbiamo quindi proceduto al confronto fra l'Indice di Biomassa e la II Componente Principale per mezzo della sottrazione delle due immagini. Questa elaborazione si è dimostrata infatti idonea alla distinzione fra suoli umidi e suoli asciutti anche in aree con una copertura vegetale relativamente densa (PRANZINI & DELLA ROCCA, 1986).

Abbiamo infine proceduto all'interpretazione delle singole immagini lasciando distinti i risultati ottenuti dai dati MSS da quelli TM per consentire una loro reciproca valutazione.

Nelle figg. 8 e 10 compaiono le interpretazioni effettuate sulle varie elaborazioni prodotte dai dati MSS e TM, mentre di queste vengono riportate solo le immagini della banda 7 per l'MSS e della banda 5 per il TM, nonché quella dell'Indice di Biomassa meno la II Componente Principale per l'MSS.

L'interpretazione è stata basata sia sulle firme spettrali delle varie superfici che sulla loro forma e tessitura. Ad esempio il limite fra i cordoni sabbiosi di I e di II generazione, caratterizzati quest'ultimi da una maggiore velocità di accrescimento, è stato tracciato sulla base del loro allineamento dato che non esistono fra i due differenze di riflettività.

I paleoalvei identificati in quest'area sono al contrario generalmente caratterizzati da una minore umidità facilmente osservabile in quasi tutte le bande per una riflettività maggiore.

Solo in alcuni casi non è stata registrata una differenza di riflettività nel tratto percorso da un paleoalveo che è stato riconosciuto solo sulla base dell'allineamento dei campi o di altri elementi morfologici come nel caso del meandro delle Cascine Nuove, rettificato nel 1338 e identificabile oggi solo grazie alla forma con cui aveva tagliato le dune più antiche.

⁽⁸⁾ Non è stato possibile effettuare il confronto diretto fra l'immagine MSS rilevata d'estate e quella invernale dato che quest'ultima è risultata affetta da un forte spostamento delle linee di scansione impossibile da essere corretto; l'immagine (estate-inverno) avrebbe quindi rappresentato non solo le variazioni intervenute, ma anche gli errori di posizionamento dei *pixels*.



FIG. 6 - Immagine Landsat MSS del 13-9-1978; Banda 7 con *stretching* lineare.

Le aree asciutte sono state considerate «antiche» quando non sono in continuità con altre direttamente associabili alle attuali alluvioni dell'Arno e del Serchio.

Sulla base di tutto ciò si intuisce che la legenda che accompagna le interpretazioni deve essere considerata come uno strumento di lavoro provvisorio e qui viene proposta unicamente per permettere una valutazione dei risultati raggiunti e non pretende certo di accompagnare un prodotto finito che nel nostro caso è costituito dalla Carta Geomorfologica di tav. I.

IMMAGINI MSS

Le varie elaborazioni tradizionali delle immagini MSS consentono un buon riconoscimento delle varie litologie affioranti nella pianura sulla base della loro umidità.

In particolare è possibile discriminare le Sabbie Argillose di le Rene, caratterizzate da sedimenti a granulometria un po' maggiore, con minore umidità, da quelli, più fini, che hanno colmato le aree ad esse marginali durante le varie fasi di costruzione della pianura.



FIG. 7 - Immagine Landsat MSS del 13-9-1978; [(B7-B5)/(B7+B5) - II Componente Principale].

Sotto al Monte Pisano è evidente un cuneo di sedimenti più asciutti che punta verso la città di Pisa; la sua continuità verso NW con i sedimenti lasciati dal Serchio permette di ipotizzare che questo fiume sia stato il responsabile della loro deposizione. Ciò confermerebbe ulteriormente un'antica confluenza del Serchio nell'Arno in prossimità di Pisa.

I limiti delle alluvioni del Serchio sono facilmente tracciabili e concordano con quelli rilevati per altre vie; unica differenza di rilievo è data dalla presenza di un'area leg-

germente più asciutta a NW di Pisa in località Campaldo. Se questo toponimo derivasse da «Campo alto» vi sarebbe la conferma che una zona più elevata fosse presente nella palude.

Ben riconoscibili sono anche le due ramificazioni dei sedimenti più grossolani deposti dall'Arno a le Rene e a Chiesanova e corrispondenti forse a due delle tre vecchie foci di cui parla STRABONE.

Evidente è anche il limite fra la parte di pianura costruita direttamente dalle alluvioni dei due fiumi mag-

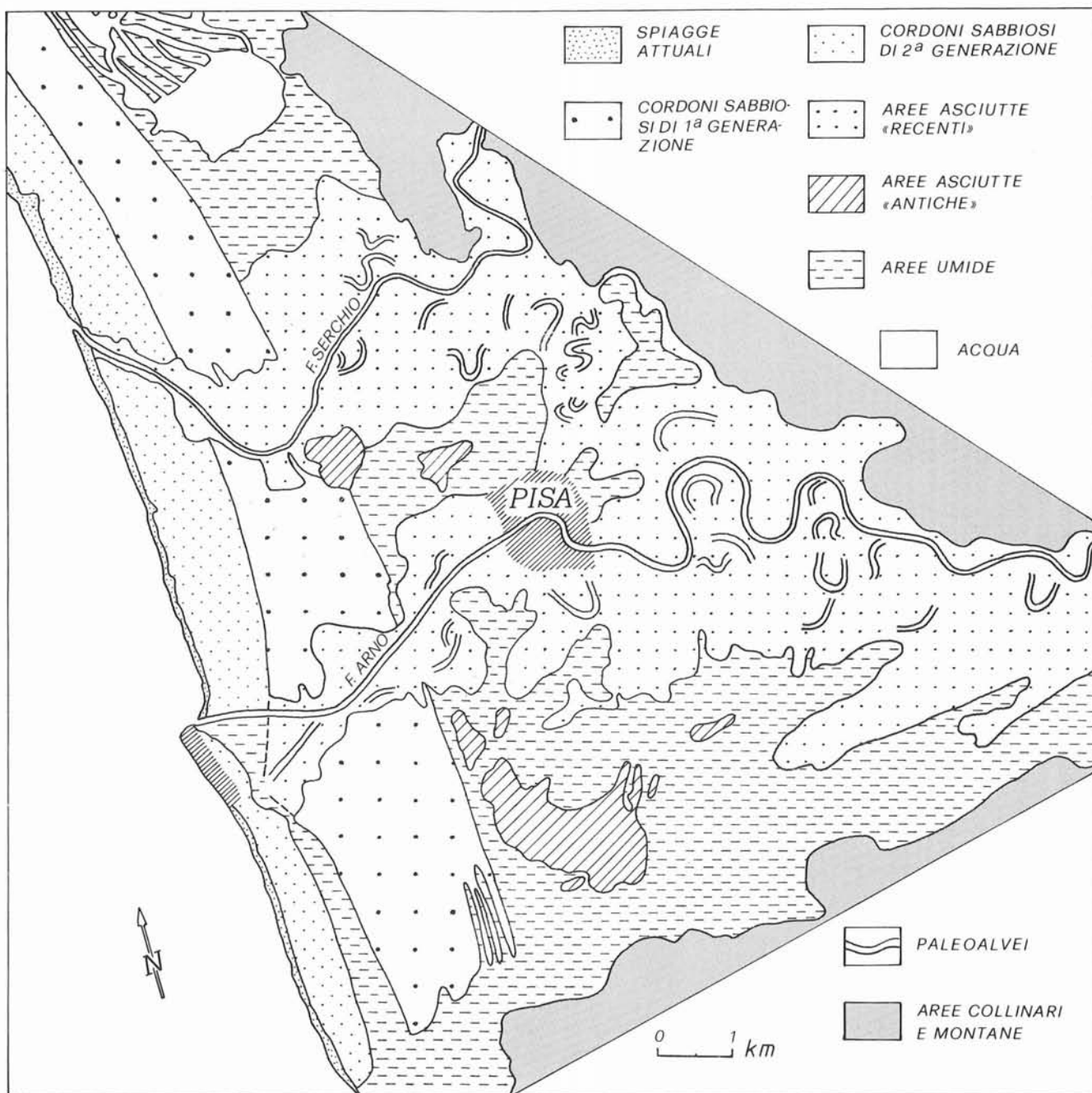


FIG. 8 - Interpretazione delle immagini Landsat MSS.

giori e quella formatasi per accrescimento di cordoni sabbiosi.

Sul delta dell'Arno i cordoni sabbiosi mostrano angoli diversi a testimonianza della diversa velocità di costruzione dell'apparato deltizio negli ultimi secoli (PRANZINI, 1983).

Il cordone più interno è facilmente seguibile dal Calambrone fino al Lago di Massaciuccoli e corrisponde probabilmente alla linea di riva dell'acme della trasgressione versiliana.

All'interno di questa sono riconoscibili alcune aree asciutte corrispondenti agli affioramenti delle Sabbie dell'Isola di Coltano e Vicarello.

Contrariamente a quanto c'era da attendersi, molte incertezze esistono sulla delimitazione del bordo meridionale della pianura in particolar modo in quei punti in cui i sedimenti palustri sono in contatto con i sedimenti fini del Pliocene inf. e medio e del Pleistocene.

Non è stato inoltre possibile riconoscere se non alcuni dei numerosi paleoalvei presenti in questa pianura sulle



FIG. 9 - Immagine Landsat TM del 18-3-1986; Banda 5 con *stretching* lineare.

elaborazioni standard delle immagini. Questi sono invece evidenti in gran numero nell'elaborazione (Indice di Biomassa - II Componente Principale) sulla quale si vedono non solo i meandri di dimensioni maggiori, ma anche forme minute al limite della risoluzione del sensore. Il fatto che buona parte di questi sia stata evidenziata anche sulle foto aeree e sulla cartografia storica dimostra la validità di questo metodo.

Una particolare cautela deve essere comunque tenuta nell'interpretazione di queste forme dato che la distribu-

zione anche casuale di vari elementi (i limiti di campi, strade, edifici, fossi, ecc.) può talvolta simulare forme arcuate associabili a paleovalvei.

Sul significato fisico di questa elaborazione è inoltre necessario fare ulteriori studi; sembra comunque che la II Componente Principale sia legata alla quantità di vegetazione in modo diverso da come lo è l'Indice di Biomassa; l'umidità del suolo entrerebbe nell'informazione contenuta nelle due immagini in modo diverso e il loro confronto metterebbe appunto più in evidenza questo elemento.

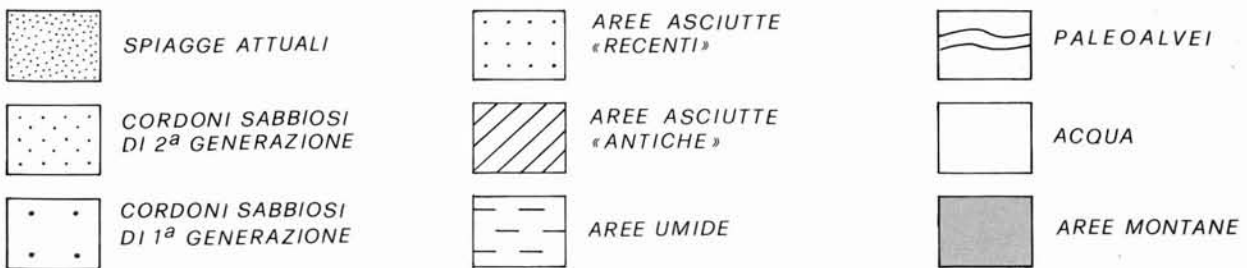
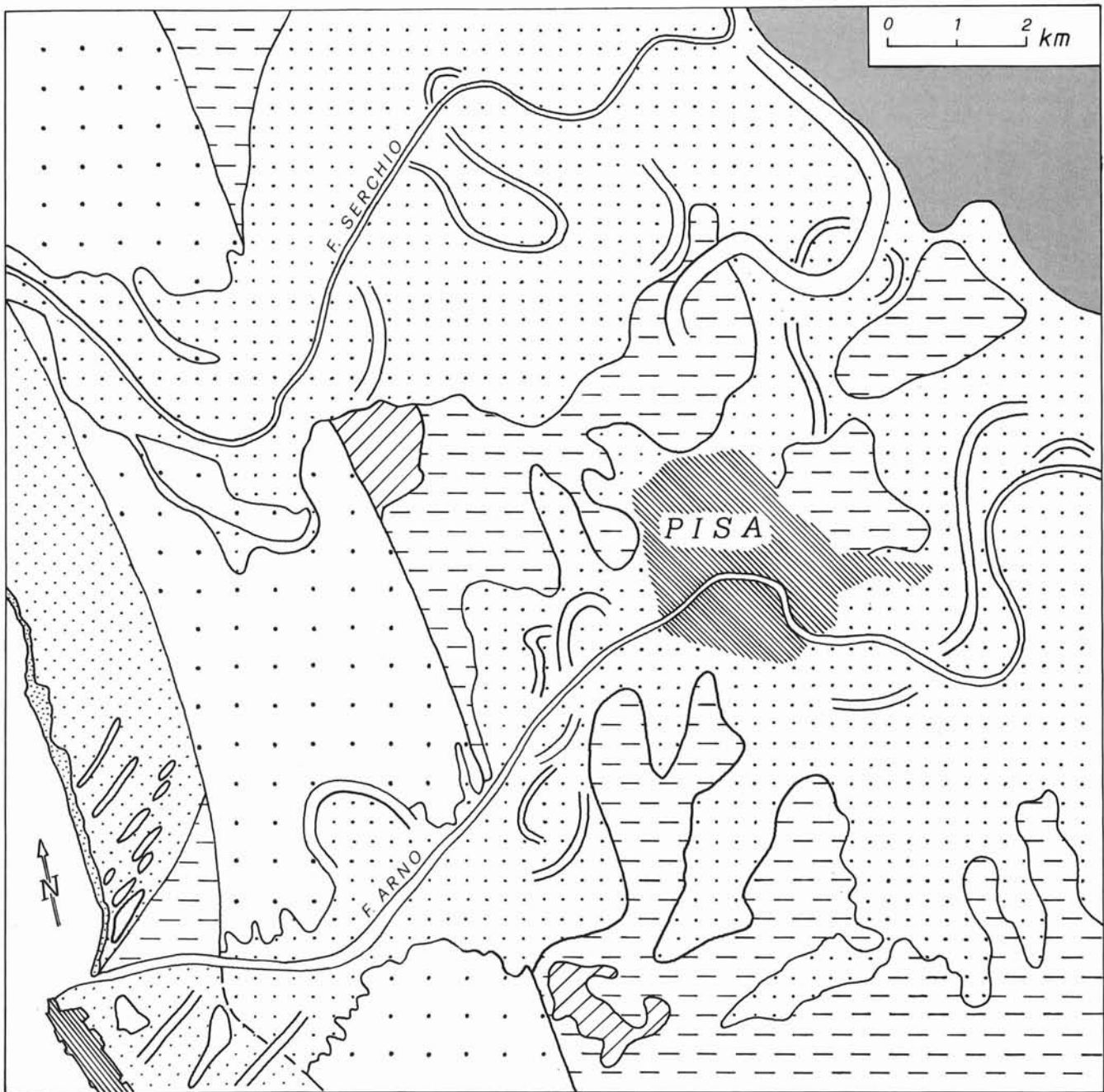


FIG. 10 - Interpretazione delle immagini Landsat TM.

IMMAGINI TM ⁽⁹⁾

La più alta risoluzione e l'espansione del campo d'indagine ad un infrarosso riflesso più lontano ⁽¹⁰⁾ che caratterizza il sensore TM consente di ottenere risultati decisamente migliori.

Su queste immagini il riconoscimento delle varie litologie e dei paleovalvi è immediato già sulle singole bande e sulle elaborazioni tradizionali.

Ciò che al contrario è risultato più problematico è stato il tracciamento, alla scala in cui è stata prodotta l'*hard copy* (1:50 000), dei limiti fra aree asciutte e aree umide ove questi avvengano su piani sub-orizzontali. L'esiguo spessore dei sedimenti superficiali, talvolta notevolmente diversi da quelli sottostanti, fa sì che quest'ultimi fanno sentire la loro presenza anche in superficie e i limiti tracciati sull'immagine di una banda possono non concordare con quelli tracciati su di un'altra.

Grazie a ciò è comunque stato possibile seguire un paleovalve al di sotto dei sedimenti che hanno colmato il Palude di Campaldo.

Questo paleovalve ha inoltre un notevole interesse per la ricostruzione dell'evoluzione della pianura di Pisa: inizia ad essere percettibile a Sud di Ripafratta, corre poi alla base del Monte Pisano, entra in quel cuneo di sedimenti più asciutti cui abbiamo in precedenza accennato, per perdersi poi, con un ampio meandro, all'interno dell'area umida.

Si tratta evidentemente di un antico percorso del Fiume Serchio precedente all'instaurarsi dell'area palustre. Quest'ultima deve così essersi formata per il sovralluvionamento dell'Arno e del Serchio quando quest'ultimo si era già spostato nella posizione attuale.

Il fatto che questo paleovalve non sia evidente nelle immagini MSS può derivare non tanto dalla differenza del sensore quanto dal periodo della ripresa. Le dimensioni del meandro sono tali che questo dovrebbe essere evidenziato anche sulle immagini a più bassa risoluzione, ed esso è visibile non solo in Banda 5 e 7, ma anche nella 2, 3 e 4, corrispondenti grosso modo alle bande dell'MSS. Si può quindi pensare che esso appaia nell'immagine TM perché ripresa in un periodo (Marzo) in cui più forte era la differenza di umidità fra i sedimenti ad esso sovrastanti e quelli laterali.

Se ciò fosse vero potrebbe inoltre significare che lo spessore dei sedimenti lacustri non è molto forte e che lo stagno in questione ha avuto una vita effimera come è ipotizzabile anche dalle modalità della sua formazione.

⁽⁹⁾ I dati Landsat TM sono stati messi a disposizione dalla Provincia di Livorno nell'ambito di una Convenzione di Ricerca fra questa Amministrazione e l'Università di Firenze.

⁽¹⁰⁾ Purtroppo la qualità della banda 6 (infrarosso termico da 10,4 e 12,5 μm) dell'immagine a disposizione è affetta da un evidente «stripping» che non ne ha permesso la utilizzazione non solo nel confronto con le altre bande, ma anche da se sola. Sembra che questa sia una caratteristica frequente delle immagini TM tanto che l'Agenzia Spaziale Europea non riconosce neppure questo difetto.

Un altro paleovalve di notevole interesse è visibile sulle immagini TM a partire dal corso attuale del Serchio poco a Sud di Vecchiano, in direzione Sud, fino nei pressi del Monastero di San Iacopo. Questo antico percorso del Serchio è stato indicato da REDI (1981) come la «fovea sedii monasterii S. Iacobi», citato nelle Cronache Pisane (BONAINI, 1854).

Altri paleovalvi sono inoltre evidenti sulle immagini TM, in particolar modo in quelle riprese nell'infrarosso riflesso, e gran parte di essi sono presenti anche sulla cartografia storica. Anche gli altri elementi morfologici o litologici appaiono in queste immagini con un migliore dettaglio e la possibilità di identificare i limiti dei campi e le strade riduce le possibilità di commettere errori dovuti alla distribuzione casuale degli elementi.

Si può in definitiva affermare che il confronto fra le interpretazioni fatte sulle immagini telerilevate e i dati ottenuti dalla cartografia storica e dalla foto interpretazione permette di concludere che esiste una buona concordanza nei risultati. Alcune differenze esistono, ed esistono anche fra le interpretazioni dei dati MSS e TM. Ciò può venire spiegato anche alla luce della diversa stagione in cui le immagini sono state riprese se si tiene conto del fatto che spesso ad essere mappate non sono tanto le diverse litologie quanto la loro umidità.

In conclusione appare che i dati rilevati dai satelliti Landsat costituiscono un valido strumento per lo studio della evoluzione recente delle pianure. Ove i dati a terra siano scarsi e le informazioni da fonti storiche carenti, le immagini Landsat sono una fonte d'informazione preziosa per una indagine preliminare; ove al contrario essi siano abbondanti, come nel caso della pianura di Pisa, oltre a costituire una conferma e un riferimento a scala maggiore, possono anche fornire importanti elementi di novità.

Fattore comunque di grande importanza è dato dalla possibilità di effettuare alcune elaborazioni che normalmente non vengono prodotte dalle agenzie addette alla diffusione di questi dati.

BIBLIOGRAFIA

- ALBANI D. (1940) - *Le spiagge toscane*. In: «Ricerche sulle variazioni delle spiagge italiane, CNR, Roma».
- ALESSANDRO V. & PRANZINI E. (1986) - *Confronto fra dati rilevati da aereo nell'infrarosso vicino e termico e verità al suolo nella fascia costiera fra San Vincenzo e Follonica (Toscana)*. Quad. Mus. St. Nat. Livorno, 7.
- AIELLO E., BARTOLINI C., CAPUTO C., D'ALESSANDRO L., FANUCCI F., FIERRO G., GNACCOLINI M., LA MONICA G.B., LUPIA PALMIERI E., PICCAZZO M. & PRANZINI E. (1975) - *Il trasporto litoraneo lungo la costa toscana tra la foce del Fiume Magra e i Monti dell'Uccellina*. Boll. Soc. Geol. It., 95.
- AMBROSETTI P., BOSI C., CARRARO F., CIARANFI N., PANIZZA M., PAPANI G., VEZZANI L. & ZANFERRARI A. (in stampa) - *Neotectonic map of Italy - scale 1:500 000*. CNR Progetto Finalizzato Geodinamica, Sottoprogetto Neotettonica. Roma.
- AZZAROLI A. (1971) - *Il significato delle faune insulari quaternarie*. Le Scienze, 30.

- BARSOZZI 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.
- BARTOLETTI E., BOSSIO A., ESTEBAN M., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G., SANESI G. & SQUARCI P. (1985) - *Studio geologico del territorio comunale di Rosignano Marittimo in relazione alla Carta Geologica alla scala 1:25.000*. In: «La Scienza della Terra, nuovo strumento per lettura e pianificazione del territorio di Rosignano Marittimo Suppl. n. 1 al vol. 6 dei Quad. Mus. St. Nat. Livorno».
- BIGI G., COSENTINO D., PAROTTO M., SCANDONE P. & SARTORI R. (in stampa) - *Structural model of Italy - scale 1:500.000*. CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica, Sottoprogetto Modello Strutturale Tridimensionale, Roma.
- BONAINI F. (1854) - *Statuti inediti della città di Pisa*. Firenze.
- BOSSIO A., GIANNELLI L., MAZZANTI R., MAZZEI R. & SALVATORINI G. (1981a) - *Gli strati alti del Messiniano, il passaggio Miocene-Pliocene e la sezione plio-pleistocenica di Nugola nelle colline a NE dei Monti Livornesi*. In: «9° Conv. Soc. Pal. It. 3-8 Ottobre, 1981».
- BOSSIO A., MAZZANTI R., MAZZEI R., MENESINI E., NENCINI C., SALVATORINI G. & UGHI R. (1981b) - *Nuove osservazioni sulla Stratigrafia delle formazioni plioceniche e pleistoceniche di Casciana Terme*. In: «9° Conv. Soc. Pal. It. 3-8 Ottobre 1981».
- BOSSIO A., MAZZANTI R., MAZZEI R., NENCINI C., PASQUINUCCI M., SALVATORINI G. & SANESI G. (1986) - *Schéma stratigraphique et morphologique du Pleistocène et de L'Holocène de la Toscane còtière a l'aide de la Paléontologie, de la Palethnologie, de la Pédologie, de l'Archéologie et de la Cartographie pré-géodésique*. L'Anthropologie, 90.
- CACIAGLI G. (1970) - *Pisa*. In: «Istituto Storico delle Province d'Italia, Vol. 1, Pisa».
- CALECA A. & MAZZANTI R. (1980) - *Immagini del territorio pisano: le carte di Leonardo*. In: «Pisa e contado, una città e il suo territorio nella Toscana dei Medici. Livorno e Pisa: due città e un territorio nella politica dei Medici, Pisa».
- CALECA A. & MAZZANTI R. (1982) - *Le carte del Valdarno inferiore e della Toscana marittima di Leonardo da Vinci: sintesi di un territorio agli inizi del XVI secolo*. Boll. Soc. Geogr. It., 11.
- CHERUBINI L., DEL RIO A. & MAZZANTI R. (in stampa) - *Sviluppo e prosciugamento dei paduli nella Provincia di Livorno*. In: «La gestione delle risorse idriche, Edizioni delle Autonomie, Roma».
- CIAMPOLTRINI M. (1981) - *Note sulla colonizzazione augustea nell'Etruria settentrionale*. Studi Class. Orient.
- CORRADI N., FANUCCI F., FIERRO G., FIRPO M., PICCAZZO M. & MIRABILE L. (1984) - *La piattaforma continentale ligure: caratteri, struttura ed evoluzione*. CNR, Progetto Finalizzato Oceanografia e Fondi Marini, Sottoprogetto Risorse Minerarie. Rapporto tecnico finale, Roma.
- DANI A. & MANFREDINI R. (1980) - *Ritrovamento di manufatti litici del Paleolitico inferiore nel Basso Valdarno*. Atti I Conv. Naz. Preist., Pesca, 1980.
- FANCELLI R., GRIFONI R., MAZZANTI R., MENCHELLI S., NENCINI C., PASQUINUCCI M. & TOZZI C. (1986) - *Evoluzione della pianura di Pisa*. In: «Il contesto geomorfologico» in «Terre e paduli, reperti, documenti, immagini per la storia di Coltano», Circoscrizione n. 9, Comune di Pisa.
- FEDERICI P.R. (1973) - *La Tettonica recente dell'Appennino: I - Il bacino villafranchiano di Sarzana e il suo significato nel quadro dei movimenti distensivi a Nord-Ovest delle Alpi Apuane*. Boll. Soc. Geol. It., 92.
- FIASCHI R. (1938) - *Le Magistrature Pisane delle Acque*. Pisa.
- FRACCARO G. (1981) - *La centuriazione romana dell'agro pisano*. Studi Etruschi, 3.
- GALLETTI FANCELLI M.L. (1978) - *Ricerche sulla subsidenza della pianura pisana. Analisi polliniche di sedimenti quaternari della pianura costiera tra Pisa e Livorno*. Boll. Soc. Geol. It., 97.
- GARZELLA G. & CECCARELLI LEMUT M.L. (1986) - *Il Medioevo (secoli VIII-XII)*. In: «Cascina dall'antichità al Medioevo, Pisa».
- GHELARDONI R., GIANNINI E. & NARDI R. (1986) - *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.
- GIANNELLI L., MAZZANTI R., MAZZEI R. & SALVATORINI G. (1981a) - *Breve quadro stratigrafico e paleogeografico del Neogene e del Quaternario del Valdarno inferiore, della Val di Fine e della Val di Cecina*. In: «9° Conv. Soc. Pal. It., 3-8 Ottobre 1981, Pisa».
- GIANNELLI L., MAZZANTI R., MAZZEI R. & SALVATORINI G. (1981b) - *I sedimenti del Pleistocene inferiore della zona compresa fra Riparbella e Bibbona (province di Pisa e Livorno)*. Boll. Soc. Geol. It., 100.
- GIANNELLI L., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G. & SANESI G. (1982) - *Nuove osservazioni sul Quaternario di Livorno*. In: «Studi sul Territorio Livornese, Archeologia, Antropologia, Geologia, Centro Livornese di Studi archeologici, Livorno».
- GIANNINI E. & NARDI R. (1965) - *Geologia della zona nord-occidentale del Monte Pisano e dei Monti d'Oltre Serchio (prov. di Pisa e Lucca)*. Boll. Soc. Geol. It., 84.
- MASINI R. (1956) - *L'Idrografia del Serchio nell'epoca preistorica e storica*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., 63.
- MAZZANTI R. (1980) - *Il litorale pisano*. In: «Pisa e contado, una città e il suo territorio nella Toscana dei Medici. Livorno e Pisa: due città e un territorio nella politica dei Medici, Pisa».
- MAZZANTI R. (1983) - *Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'arcipelago di Toscana*. Boll. Soc. Geol. It., 102.
- MAZZANTI R. (1984) - *Il Capitanato nuovo di Livorno (1606-1808) due secoli di storia del territorio attraverso la cartografia*. Mem. Soc. Geogr. It., 35.
- MAZZANTI R. (in stampa a) - *Geomorfologia della Valdera*. A cura del Centro Studi Economici Finanziari, Pisa.
- MAZZANTI R. (in stampa b) - *L'approvvigionamento idrico di Livorno. Riferimenti storici e considerazioni geologiche*. Atti Conv. Ambiente Comune Livorno, 7-8 Novembre, 1986.
- MAZZANTI R. & NENCINI C. (1986) - *Geologia della Val d'Era*. Quad. Mus. St. Nat. Livorno, 7.
- MAZZANTI R. & PASQUINUCCI M. (1983) - *L'evoluzione del litorale lunense-pisano fino alla metà del XIX secolo*. Boll. Soc. Geogr. It., 10-12.
- 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, Pisa».
- MAZZANTI R. & PULT QUAGLIA A.M. (1986a) - *L'evoluzione cartografica nella rappresentazione della pianura di Pisa*. In: «L'età moderna», in «Terre e Paduli, reperti, documenti, immagini per la storia di Coltano», Circ. n. 9, Comune di Pisa.
- MAZZANTI R. & PULT QUAGLIA A.M. (1986b) - *Il territorio e la sua bonifica*. In: «L'età moderna», in «Terre e paduli, reperti, documenti, immagini per la storia di Coltano», Circ. n. 9, Comune di Pisa.
- MAZZANTI R. & TREVISAN L. (1978) - *Evoluzione della rete idrografica nell'Appennino centro-settentrionale*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 1.
- MAZZONI P. & PARDINI P. (1980) - *Taglio di Calcinaia*. In: «Pisa e contado, una città e il suo territorio nella Toscana dei Medici, Livorno e Pisa: due città e un territorio nella politica dei Medici, Pisa».
- MENCHELLI A. (1984) - *Contributo allo studio del territorio pisano: Coltano e l'area dell'ex Padule di Stagno*. Studi classici e orientali, 34.
- MORELLI P. (1980) - *Trabocco di Fornacette e Arnaccio*. In: «Pisa e contado, una città e il suo territorio nella Toscana dei Medici, Livorno e Pisa: due città e un territorio nella politica dei Medici, Pisa».
- NENCINI C. (1983) - *Il passaggio Plio-Pleistocene e i sedimenti pliocenici e pleistocenici delle Colline di Monte Castello (Pisa)*. Boll. Soc. Geol. It., 102.
- PARDINI P. (1980a) - *Taglio di Serchio a Metato*. In: «Pisa e contado, una città e il suo territorio nella Toscana dei Medici, Livorno e Pisa: due città e un territorio nella politica dei Medici, Pisa».
- PARDINI P. (1980b) - *Taglio della foce dell'Arno, detto «Taglio Ferdinando»*. In: «Pisa e contado, una città e il suo territorio nella Toscana dei Medici, Pisa e Livorno: due città e un territorio nella politica dei Medici, Pisa».
- PARDINI P. (1980c) - *Foci del Fiume Morto e del Serchio*. In: «Pisa e contado, una città e il suo territorio nella Toscana dei Medici, Pisa e Livorno: due città e un territorio nella politica dei Medici, Pisa».
- PARDINI P. (1980d) - *Trabocco di Putignano*. In: «Pisa e contado, una città e il suo territorio nella Toscana dei Medici, Pisa e Livorno: due città e un territorio nella politica dei Medici, Pisa».

- PASQUINUCCI M. (1986) - *L'area di Cascina nell'antichità*. In: «Cascina dall'antichità al medioevo, Pisa».
- PASQUINUCCI M. & MAZZANTI R. (1985) - *Le fonti «storiche» nello studio delle aree costiere*. In: «La gestione delle aree costiere» Roma.
- PASQUINUCCI M. & ROSSETTI G. (in stampa) - *The harbour infrastructure of Pisa and Porto Pisano from ancient times to Middle Ages*. In: «Atti Congr. Cities on the Sea. Past and Present. Halifax 1986, in B.A.R., international series».
- PINNA M. (1984) - *La storia del clima - Variazioni climatiche e rapporto clima-uomo in età postglaciale*. Mem. Soc. Geogr., It., 98.
- PRANZINI E. (1983) - *Studi di Geomorfologia costiera IX - L'erosione del delta dell'Arno*. Quad. Mus., St. Nat. Livorno, 4.
- PRANZINI E. & DELLA ROCCA B. (in stampa) - *The analysis of the evolution of coastal plains through remote sensing: a case study*. Mem. Soc. Geol. It.
- RAPETTI F. & VITTORINI S. (1974) - *Osservazioni sulle variazioni dell'ala destra del delta dell'Arno*. In: «L'erosione del suolo in Italia e i suoi fattori, Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., 81».
- REDI F. (1981) - *Opere di bonifica dei terreni agricoli nel territorio pisano-lucchese a cavallo fra i secc. XIII e XV*. In: «Civiltà ed Economia agricola in Toscana nei secc. XIII-XV: Problemi della vita delle campagne nel tardo Medioevo, Bologna».
- REDI F. (1986) - *L'intervento dell'uomo*. In: «Il Medioevo», in «Terre e Paduli, reperti, documenti, immagini per la storia di Coltano», Circ. n. 9, Comune di Pisa, Pontedera.
- ROMAGNOLI L. (1957) - *Sondaggi a 200 m di profondità nel Quaternario recente presso Pisa. Studio delle facies attraversate e considerazioni sulla sedimentazione costiera a carattere ciclico*. Boll. Soc. Geol. It., 76.
- SAMMARTINO F., BUONACCORSI G. & TESSARI R. (1985) - *Due manufatti acheuleani rinvenuti a Case dei Ghiacci nella tenuta di Suesse presso Livorno*. Quad. Mus. St. Nat. Livorno, 6.
- SARTORI F. (1978) - *Studi sedimentologici e mineralogici delle alluvioni recenti della pianura di Pisa. I sedimenti del sondaggio della Bigattiera, presso S. Piero a Grado (Pisa)*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., 85.
- SEGRE A. (1955) - *Nota sulla Idrografia continentale e marina*. In: «Note illustrative della C.G.I., scala 1:100 000, foglio 111 Livorno. Serv. Geol. It., Roma».
- SCHMIEDT G. (1972) - *Il livello antico del Mar Tirreno, testimonianze dei resti archeologici*. Arte e Archeologia, Studi e Testimonianze, 4.
- TARGIONI TOZZETTI G. (1761) - *Ragionamento ... dell'insalubrità dell'aria della Valdinievole*. Firenze.
- TONGIORGI M. (1978) - *La subsidenza nella bassa pianura dell'Arno e del Serchio: una prima valutazione quantitativa dei fenomeni osservati, in rapporto ai problemi della difesa del suolo*. In: «I problemi della subsidenza - Politica del territorio e della difesa del suolo, Pisa, 9-10 Novembre 1978».
- TREVISAN L. & TONGIORGI E. (1953) - *Le acque del sottosuolo della regione pisana*. La Provincia Pisana, 9-10.