

L'INFLUENZA DELLA TETTONICA, DELLE OSCILLAZIONI CLIMATICHE E DELL'IMPATTO ANTROPICO NELLA COSTRUZIONE DEL LITORALE VERSILIESE - PISANO

Renzo Mazzanti

Centro di Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino del C.N.R. - Pisa

Cenni di tettonica

L'Arno, nel suo tragitto verso il mare, traversa una successione di bacini sprofondati e di dorsali tettoniche relativamente più alte, tutti allungati in "direzione appenninica" (NW-SE).

Infatti esso prende origine dalle falde del crinale appenninico il cui sollevamento maggiore risale a non prima del Pliocene superiore (periodo di tempo compreso tra 3 e 1,7 MA = milioni di anni), discende nel bacino del Casentino, che ha iniziato a formarsi a partire dal Pleistocene inferiore (compreso tra 1,7 e 0,7 MA), incide, presso la gola di Subbiano, la dorsale del Pratomagno e penetra nel bacino del Valdarno Superiore, che percorre fino a raggiungere il bacino di Firenze attraverso la gola di Pontassieve.

Di questi ultimi due bacini, il primo ha iniziato a sprofondare durante il Pliocene inferiore (compreso tra 5 e 3 MA), il secondo in corrispondenza del Pleistocene inferiore.

Dal bacino di Firenze l'Arno, superata la dorsale del Monte Albano attraverso la gola della Gonfolina, raggiunge il bacino del Pesa-Elsa, sprofondato a partire dal Miocene superiore (compreso tra 7,5 e 5 MA), e, lambito il Monte Pisano (parte della antica e semi-demolita "Dorsale Medio-Toscana") in corrispondenza della soglia sepolta di Pontedera, entra nel bacino versiliese-pisano, che ha anch'esso iniziato a sprofondare nel Miocene superiore.

Quanto detto sopra richiama che lo sviluppo dei bacini di sprofondamento tettonico sui quali - a partire dalla grande regressione del Pliocene superiore - ha iniziato ad impostarsi il Bacino fluviale dell'Arno, è avvenuto da SW verso NE per aggiunta progressiva di sempre nuovi bacini di sprofondamento tettonico che si sono formati dal Miocene superiore al Pleistocene inferiore sul retro dell'onda orogenetica appenninica. Questa si è spostata portando sempre più ad Oriente il crinale principale e lo spartiacque, cioè nello stesso senso dell'accrescimento del Bacino fluviale dell'Arno ma in senso contrario allo scorrimento delle acque di questo fiume.

Quest'ultima circostanza è di per sé favorevole alla formazione di ristagni d'acqua palustri e lacustri. Tuttavia più importante fu, per l'Arno, la coincidenza del suo bacino fluviale con un'alternanza in successione di bacini e di dorsali tettoniche. Così i bacini del Casentino, del Valdarno Superiore e di Firenze, racchiusi rispettivamente tra le dorsali del Crinale Appenninico e del Pratomagno, di quest'ultimo e del Chianti, di Monte Morello e di Monte Albano, furono occupati da laghi per buona parte del Quaternario mentre il secondo di questi bacini aveva avuto anche un precedente episodio lacustre pliocenico.

L'evoluzione dei bacini tettonici che l'Arno incontra a valle della gola della Gonfolina è stata più complessa di quella dei bacini a monte, sia perché i primi hanno iniziato a sprofondare precedentemente (con formazione di depositi lacustri del Miocene superiore), sia perché sono stati raggiunti da diversi cicli sedimentari marini ("Neoautoctono"):

- del Miocene superiore, quelli situati a Occidente della "Dorsale Medio-Toscana";
- del Pliocene inferiore-medio, che si è esteso anche a Oriente della "Dorsale Medio-Toscana" ormai parzialmente demolita proprio in corrispondenza dell'area nella quale in seguito si svilupperà il Valdarno inferiore;
- del Pleistocene inferiore, che ha interessato il bacino versiliese-pisano, debordandolo un poco verso SE fino nel bacino della Valdera (area delle Colline Pisane).

Lo sprofondamento tettonico dei bacini ha richiamato la deposizione di successioni sedimentarie maggiori (fino a oltre 2.000 m di spessore) in quelli più occidentali, maggiormente vicini all'area di ampia

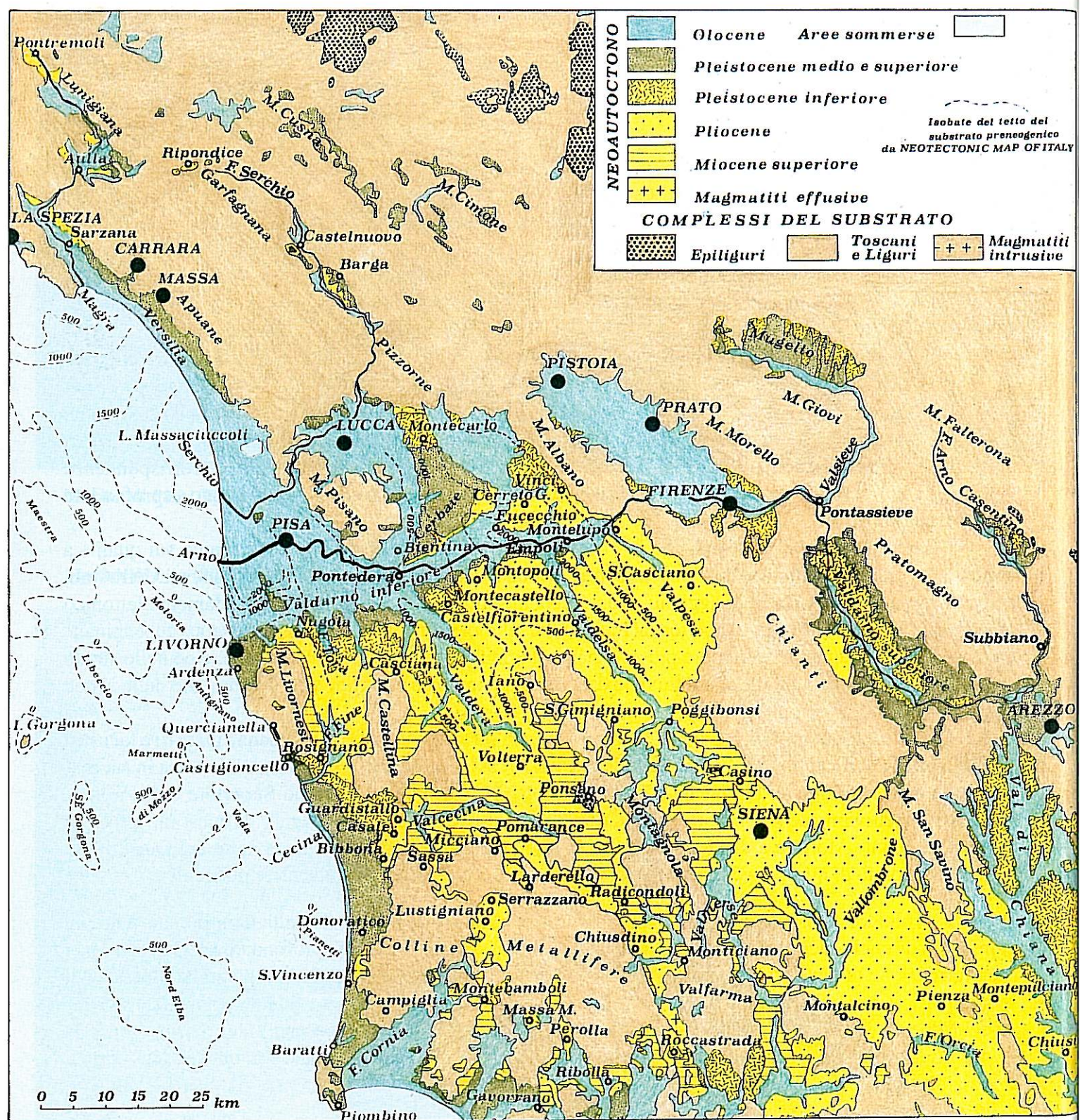


Fig. 1 - Isobate del tetto del substrato pre-miocenico (quando note). Le isobate sono tracciate anche nell'area attualmente ricoperta dal mare, a largo del litorale versiliese - pisano.

distensione del Mare Tirreno e attivi fin dal Miocene superiore, e minori (nell'ordine di alcune centinaia di metri) in quelli man mano più orientali, cioè nel bacino di Firenze, nel Valdarno superiore e nel Casentino.

Le più recenti successioni stratigrafiche sicuramente documentanti sprofondamenti di natura tettonica risalgono al Pleistocene inferiore. Nell'ambito del bacino fluviale dell'Arno la deposizione di tutti i sedimenti posteriori è stata fortemente influenzata dalle forti variazioni climatiche degli ultimi 0,7 MA e, anche quando questi sedimenti sono sicuramente stati interessati da dislocazioni tettoniche, non è stato per ora possibile stabilire se furono soggetti a sprofondamenti oltre che a sollevamenti. Questi sono invece documentati nei dintorni di Livorno (Barsotti et al., 1974) con sicurezza dalle quote raggiunte da alcuni terrazzi di eustatismo marino del Pleistocene medio (compreso tra 0,7 e 0,125 MA), quote alle quali non è possibile sia giunto il mare neppure negli episodi interglaciali di stazionamento più alto. Rimane comunque l'incertezza che nel sottosuolo della Pianura versiliese-pisana si trovino sedimenti del Pleistocene medio sprofondati a quote più basse di quelle di deposizione (Della Rocca et al., 1987).

La fig. 1 mostra l'asta principale dell'Arno in relazione alle dorsali e ai bacini che traversa. Nella rappresentazione di questi ultimi - quando note da perforazioni o da rilievi geofisici - sono state tracciate le linee isobate del tetto del substrato pre-miocenico per evidenziarne le profondità. Queste isobate sono state tracciate anche nell'area attualmente ricoperta dal mare a largo del litorale versiliese-pisano.

La posizione delle isobate del tetto del substrato pre-miocenico permette di riconoscere l'andamento a truogolo del bacino di sprofondamento versiliese-pisano, ad asse appenninico, con il fianco orientale marcato dalle Alpi Apuane - Monti d'Oltre Serchio - Monte Pisano - Monti di Casciana e il fianco occidentale delimitato dai Monti Livornesi - bassofondo marino/dorsale della Meloria - dorsale di Maestra, sepolta e sommersa dal mare.

La soglia sepolta di Pontedera - rivelata dalla continuazione verso Sud dell'alto tettonico del Monte Pisano al di sotto delle alluvioni dell'Arno - mette in evidenza una "uncinatura" trasversale alla "Dorsale Medio-Toscana" quando si rapporti con l'allineamento che quest'ultima assume in corrispondenza dell'alto tettonico di Iano (fig. 1).

Le successioni stratigrafiche del bacino versiliese-pisano e del bacino della Valdera sono nettamente differenziabili fino a tutto il Miocene superiore (Bossio et al., 1993). Ciò comporta l'indipendenza dei due bacini per la separazione opposta dalla soglia di Pontedera che collega il Monte Pisano con i Monti di Casciana e non con la struttura di Iano, come verosimilmente è avvenuto prima del Miocene superiore sia pure attraverso una linea di separazione trasversale (Marroni et al., 1990). Quest'ultima linea di dislocazione trasversale, lungo la quale è avanscorso il segmento di "Dorsale Medio-Toscana" di Iano rispetto a quello del Monte Pisano, non risulta così essere stata in attività, almeno come componente trascorrente, durante le fasi tettoniche tardive. Infatti i sedimenti pliocenici che ricoprono la "Dorsale Medio-Toscana" tra San Miniato e Iano non sono minimamente interessati da faglie di nessun tipo, secondo quanto è documentato dai recenti rilievi geologici di grande dettaglio di Dominici et al. (1994).

Il litorale versiliese-pisano, con la sua spiaggia da Bocca di Magra al Calambrone di Livorno, con i suoi lidi e le sue dune, si adagia sul bordo orientale del bacino versiliese-pisano del quale marca il maggiore interrimento nell'angolo di SE, raggiunto dai fiumi Arno e Serchio, nei confronti dell'angolo di NE, raggiunto - come corso d'acqua principale - solo dal Fiume Magra, i torrenti delle Apuane avendo solo importanza secondaria nel rifornimento di sedimenti.

L'apporto fluviale differenziato ha sicuramente determinato la formazione di una pianura a Sud del Serchio (Pianura di Pisa) più ampia di quella a Nord (Pianura della Versilia). Ma altri fattori sono entrati in gioco nel favorire il maggior accumulo di sedimenti nell'angolo SE del bacino di sprofondamento versiliese-pisano.

Molto importante deve essere stata la presenza della dorsale della Meloria, sul tratto SW del bacino investito dal moto ondoso predominante di Libeccio. Questa dorsale oggi è sommersa dal mare ma ha corrisposto a un'area emersa nelle fasi di stazionamento basso del livello marino dei periodi glaciali. D'altra parte nei periodi di stazionamento alto del livello marino, corrispondenti agli interglaciali, come bassofondo sommerso deve avere influito sulla deriva litoranea diminuendo la dispersione dei sedimenti verso il

largo e indirizzandone parzialmente il rientro verso costa, e, inoltre, rompendo l'energia delle onde con la fitta prateria di *Posidonia* che l'ammantava.

Nella descrizione delle cause che hanno contribuito a formare il litorale versiliese-pisano finora abbiamo esaminato principalmente quelle relative alla struttura tettonica dell'area sulla quale questa unità fisiografica è localizzata e di quelle che le si affiancano a Oriente, fino al Crinale Appenninico, e a Occidente, fino a circa 25 km al largo della linea di riva (fig. 1). Queste aree sono state prese in considerazione perché rientrano entrambe nelle zone di influenza sulla formazione di questo litorale: la prima come bacino

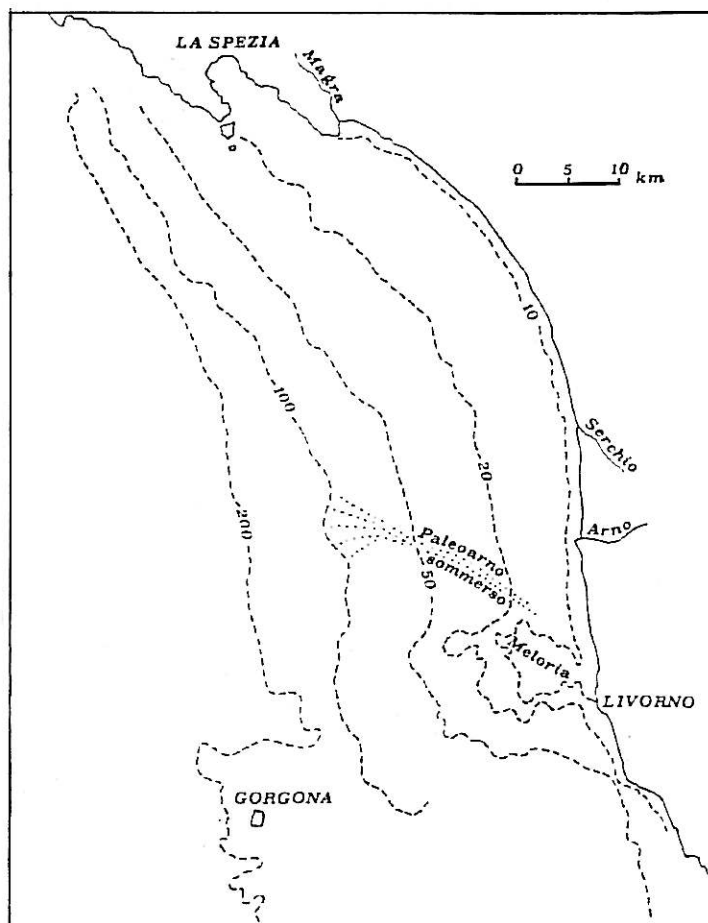


Figura 2 - Carta della batimetria del mare prospiciente il litorale tra La Spezia e Livorno.

La piattaforma continentale si estende, approssimativamente, fino all'isobata dei -200 metri. E' evidenziato a NW della Meloria il corso del Paleoarno, oggi sommerso, formatosi durante l'ultima oscillazione glaciale (culminata circa 18.000 anni fa), quando il livello del mare era più basso di almeno 110 metri rispetto a quello attuale.

imbrifero di raccolta delle acque fluviali che vi confluiscono, la seconda come piattaforma continentale prospiciente e quindi luogo di attività della dinamica marina cui lo stesso litorale è sottoposto (fig. 2).

Documenti ed importanza delle oscillazioni climatiche nella costruzione del litorale

Sulle influenze delle oscillazioni del clima nello sviluppo dei cicli sedimentari e di conseguenza della paleogeografia disponiamo attualmente di conoscenze molto diverse a seconda degli intervalli cronologici, della natura marina, di transizione o continentale dei sedimenti e dei tipi di clima dei quali sono rimasti documenti.

Sul primo dei punti di cui sopra va ammessa la carenza di documentazione nei sedimenti del Valdarno sulle possibili influenze di oscillazioni climatiche fredde rientranti nel Miocene superiore e nel Pliocene. Ma anche per il Pleistocene inferiore le conoscenze sulle oscillazioni climatiche dell'area in esame non vanno oltre la presenza degli "ospiti nordici" in alcuni livelli stratigrafici, ritenuti indicativi di una temperatura delle acque marine minore di quella attuale e assai minore rispetto a quella rivelata dalle associazioni fossili del Pliocene medio, età con cui termina, in Toscana, la serie pliocenica. D'altra parte già abbiamo

informato che lo sviluppo delle successioni stratigrafiche fino al Pleistocene inferiore è stato di certo ampiamente determinato dagli sprofondamenti tettonici per cui non è agevole la ricerca di indizi di eventuali componenti climatiche.

Il Pleistocene medio in facies marina è noto, nel bacino versiliese-pisano, solo all'estremità meridionale, nel Livornese, sul Terrazzo della Fattoria Pianacce (o Terrazzo I) (Barsotti et al., 1974; Lazzarotto et al., 1990) e sul medesimo Terrazzo I nella Formazione di Casa Poggio ai Lecci presso Collesalveti (Lazzarotto et al., 1990), la quale tuttavia ha in prevalenza origine fluviale. Il modestissimo spessore dei sedimenti di questo ciclo ne suggerisce il collegamento con un'oscillazione climatica interglaciale e la quota di 125 m, cui si spinge questo Terrazzo I, garantisce che è stato sollevato per tettonica. L'entità di questo sollevamento rimane purtroppo sconosciuta non essendo nota la quota di formazione originaria che, comunque, non sembra possibile sia stata superiore a 50 o 60 m (Mazzanti, 1983 cum bibliographia).

I sedimenti del Pleistocene medio in facies dunare, palustre e/o lagunare retro-litoranea, di piana di esondazione fluviale, ecc. hanno rivelato situazioni climatiche diverse - da sub-aride a molto umide - mai apparse tuttavia secondo sviluppi sequenziali chiaramente ricostruibili per cui attualmente disponiamo solo di indicazioni piuttosto frammentarie derivanti dagli studi nella Cava di Casa Poggio ai Lecci (Barsotti et al., 1974) e presso la Casa Bianca a Sud di Collesalveti (Lazzarotto et al., 1990).

Molto migliori, rispetto a quelle sul Pleistocene medio, sono le attuali conoscenze sul Pleistocene superiore al limite meridionale del bacino versiliese-pisano, cioè sul Terrazzo di Livorno. Quest'ultimo, indicato anche come Terrazzo II è stato definito recentemente (Federici & Mazzanti, in stampa) come "poli-ciclico". Infatti è formato da un ciclo sedimentario marino inferiore con fauna "calda" a *Strombus bubonius* (Tirreniano I), sormontato da un ciclo continentale Intratirreniano (con livelli ad associazioni polliniche e malacologiche denotanti un clima freddo-umido), sormontato a sua volta da un secondo ciclo sedimentario marino (Tirreniano II), cui infine si sovrappongono depositi continentali con industrie del Paleolitico medio e quindi ancora rientranti nell'ambito del Pleistocene superiore.

La modestia degli spessori di questi cicli sedimentari (dell'ordine di pochi metri quando, addirittura, solo di qualche centimetro) contrapposta alla loro dispersione geografica su una decina di km² di superficie, non permette di distinguervi i relativi terrazzi per cui si è preferito fare riferimento a un terrazzo unico "poli-ciclico". Tanto più che, malgrado una piuttosto regolare disposizione "base contro base" dei sedimenti di ciascun ciclo nei confronti del sottostante, non sono percettibili chiare paleofalesie di culmine di trasgressione, salvo quella del ciclo inferiore riferibile al Tirreniano I.

Le spianate di abrasione marina della base di questi cicli, sicuramente originate dalla risalita trasgressiva del livello del mare fino in corrispondenza di episodi di stazionamento alto del Tirreniano, sono inclinate di qualche grado verso mare e raggiungono - sotto falesia di culmine trasgressivo - i 15 m di quota quella inferiore (Tirreniano I) e gli 8 m di quota quella sovrapposta (Tirreniano II) (fig. 3).

Sulle quote raggiunte negli stazionamenti alti del mare negli episodi del Tirreniano e sui problemi generali di questo piano in Toscana si sono intrattenuti di recente Federici & Mazzanti (in stampa). La fig. 4, tratta dal lavoro di questi autori, rappresenta - in modo schematico - la situazione stratigrafico-morfologico-tettonica dal Pleistocene medio all'attuale nella Toscana costiera.

Lo schema di fig. 4 non differisce, rispetto alla sezione geologica di fig. 3 (non in scala per esigenze di disegno ma rintracciabile sul terreno) in nient'altro che per la presenza di un terzo ciclo del Tirreniano, rintracciato a S. Vincenzo e a Piombino ma non rinvenuto a Livorno, probabilmente perché del tutto eroso o sepolto dai fabbricati della città.

I rapporti tra Tirreniano I e II sono stati documentati con chiarezza nella sezione del grande scavo del bacino di carenaggio di Torre del Fanale nel Porto di Livorno. Barsotti et al. (1974) hanno indicato il passaggio continuo dai conglomerati e calcareniti di base del ciclo del Tirreniano I, con ricca fauna marina tipica di acque calde, a strati di limo, sabbia argillosa e argilla torbosa nera con associazioni polliniche e di Gasteropodi dulcicoli e terrestri oggi caratteristiche del piano montano. Questo passaggio corrisponde a una netta diminuzione della temperatura rispetto alle indicazioni traibili dal livello di facies marina sottostante e documenta l'abbassamento del livello marino per il sopraggiungere di un episodio intratirreniano caratterizzato, nel Livornese, dalla comparsa degli abeti e dei faggi nella foresta di querce. Come abbiamo già

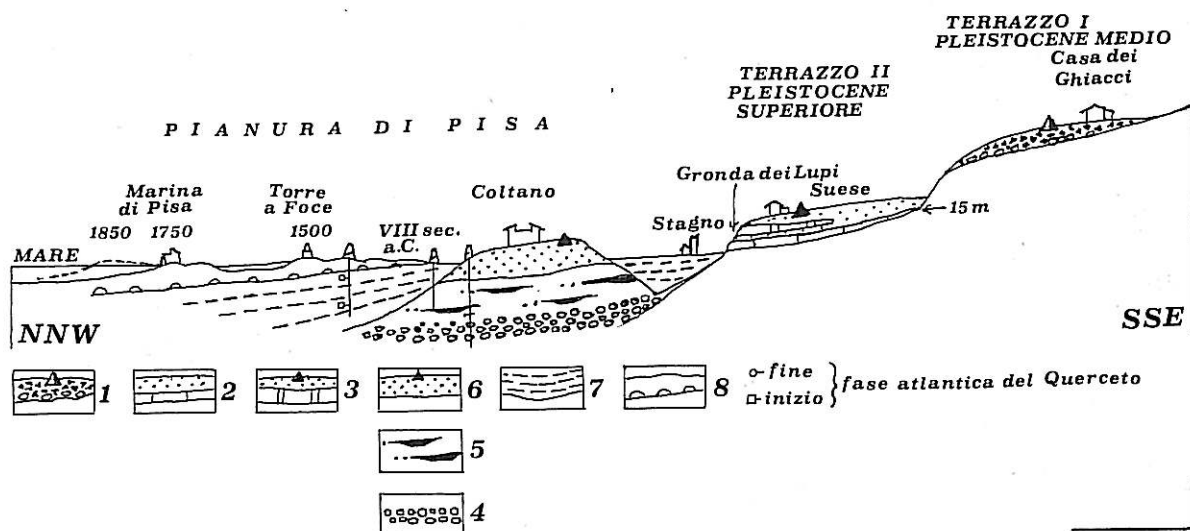


Fig. 3 - Sezione geologica (non in scala) fra Marina di Pisa e l'interno di Livorno.

- 1 - Conglomerati di Casa Poggio ai Lecci con industrie del Paleolitico inferiore sul terrazzo del Pleistocene medio.
- 2 - "Panchina" marina e sabbie eolico-colluviali con industrie del Paleolitico medio del I ciclo Tirreniano sul Terrazzo II.
- 3 - "Panchina" marina e sabbie eolico-colluviali con industrie del Paleolitico medio del II ciclo Tirreniano sul Terrazzo II.
- 4 - Conglomerati fluviali dell'Arno e Serchio da Bientina del Würm (Pleistocene superiore).
- 5 - Limi e torbe palustri.
- 6 - Sabbie eoliche di Vicarello con industrie del Paleolitico medio.
- 7 - Limi e torbe lagunari - palustri e fluviali dell'Olocene.
- 8 - Sedimenti litoranei della trasgressione versiliana dell'Olocene.

La linea tratteggiata presso Marina di Pisa indica il punto di maggior sviluppo del litorale raggiunto nel 1850 circa prima dell'inizio dell'arretramento ancora in atto.

accennato un secondo livello di calcareniti, talora con fossili di facies di spiaggia, talora con strutture di duna e Molluschi polmonati, documenta, in molte località del Livornese (Barsotti et al., 1974), il secondo ciclo sedimentario del Tirreniano con giacitura trasgressiva sui sedimenti del ciclo intratirreniano o - direttamente - sopra quelli del Tirreniano I.

Facendo riferimento a una situazione stratigrafica più generale, desunta da un pozzo del settore tropicale dell'Oceano Atlantico occidentale (Shackleton, 1969), Federici & Mazzanti (in stampa) hanno ritenuto di identificare il primo episodio trasgressivo del Livornese (Tirreniano I) con il sub-stadio isotopico 5e e il secondo episodio trasgressivo (Tirreniano II) con il sub-stadio isotopico 5c, di Shackleton (1969) i cui acmi vengono indicati a circa 125000 e 110000 anni or sono. Nella stratigrafia del Terrazzo di Livorno sono state quindi ben documentate alcune importanti variazioni sedimentarie collegate a oscillazioni climatiche notevolmente influenzanti la quota del livello marino, tanto più che la posizione raggiunta dalle spiagge trasgressive di questi cicli tirreniani non può aver subito notevoli variazioni per movimenti tettonici, come specificamente sostenuto da Mazzanti (1983) e in seguito ripetutamente confermato con altri argomenti da Lazzarotto et al. (1990) e da Federici & Mazzanti (in stampa).

Se la stratigrafia dei cicli tirreniani, assai ben conosciuta nella fascia costiera toscana del Livornese e della Maremma, ha permesso di documentare che si sono verificate oscillazioni di alcuni metri del livello del mare per variazioni climatiche, la posizione dei "Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina" (secondo la denominazione introdotta da Segre nel 1955) a circa 60 m di profondità al di sotto di Coltano (fig. 3) documenta l'avvento di un'incisione fluviale di grande entità conseguente l'abbassamento del livello del mare collegato ad uno stazionamento basso dell'ultimo glaciale. La "Gronda dei Lupi" (fig. 3), al limite fra Terrazzo di Livorno e Pianura di Pisa e già descritta a metà XVIII secolo dal naturalista Giovanni Targioni Tozzetti, marca la netta fase erosiva di cui sopra. Questa, dai rapporti di giacitura presenti nel

Livornese, risulta necessariamente posteriore al Tirreniano II ma, per quanto presumibile in generale, è verosimile sia posteriore anche al Tirreniano III e corrisponda al grande approfondimento del livello del mare denunciante il sopraggiungere dell'ultimo glaciale (raffreddamento delle acque oceaniche dello stadio isotopico 4 del $\delta^{18}\text{O}$ di Emiliani, 1955), corrispondente a circa 75000 anni or sono. Infatti deve essere più antica dello stadio isotopico 3 di Emiliani (conclusosi circa 35000 anni or sono) che coincide con la fine dell'industria del Paleolitico medio, ritrovata sulle Sabbie di Coltano (Menchelli, 1984), sia di Suese (Bacci et al., 1939) (fig. 3).

L'ultima glaciazione (Würm), che attualmente viene collocata in un arco cronologico compreso tra due stadi molto bassi del livello del mare di circa 75000 e di circa 18000 anni fa, si è sviluppata in più fasi verosimilmente dipendenti da oscillazioni climatiche minori. Le tracce di queste ultime, per le quali gli studiosi sono sostanzialmente in accordo che si siano sviluppate con il livello del mare assai più basso di quello attuale, sono sepolte sotto le pianure alluvionali o nei sedimenti dei fondali marini e non sono quindi direttamente osservabili. Il loro studio è necessariamente mediato dalle perforazioni o dai rilievi geofisici.

La fig. 3 riporta la stratigrafia ricostruita per l'area di Coltano attraverso i dati di perforazioni. I depositi corrispondenti all'ultimo glaciale sono presenti, in facies continentali, a iniziare dai "Conglomerati dell'Arno e Serchio da Bientina" (4 di fig. 3) intorno a -60 m di quota, per i quali la fig. 5 riporta la ricostruzione paleogeografica dell'area di provenienza. Al di sopra giacciono i "Limi fluviali e palustri" (5 di fig. 3) e le "Sabbie eoliche" dell'Isola di Coltano o di Vicarello (6 di fig. 3) con industrie del Paleolitico medio. Queste sabbie rappresentano una facies di transizione probabilmente collegata a uno stazionamento "relativamente alto" del livello del mare durante uno interstadiale dell'ultima glaciazione (stadio isotopico 3 del $\delta^{18}\text{O}$ di Emiliani). La porzione marina dei sedimenti di questo episodio, verosimilmente localizzata più verso il largo e a quote inferiori rispetto a quelle dei depositi degli ambienti di transizione, sarebbe rimasta sepolta sotto sedimenti più recenti o potrebbe essere stata erosa da incisioni fluviali posteriori. Queste ultime, corrispondenti con ogni probabilità allo stadio isotopico 2 del $\delta^{18}\text{O}$ di Emiliani (con culmine a 18000 anni da oggi), sono rintracciabili in superficie nei solchi erosivi fluviali aperti nelle "Sabbie eoliche" di Vicarello (fig. 6) e sono inoltre indicate dall'alveo fluviale - in seguito sommerso dal mare - segnalato da Segre (1955) fino a largo delle Secche della Meloria fino su fondali di circa 110 m, secondo

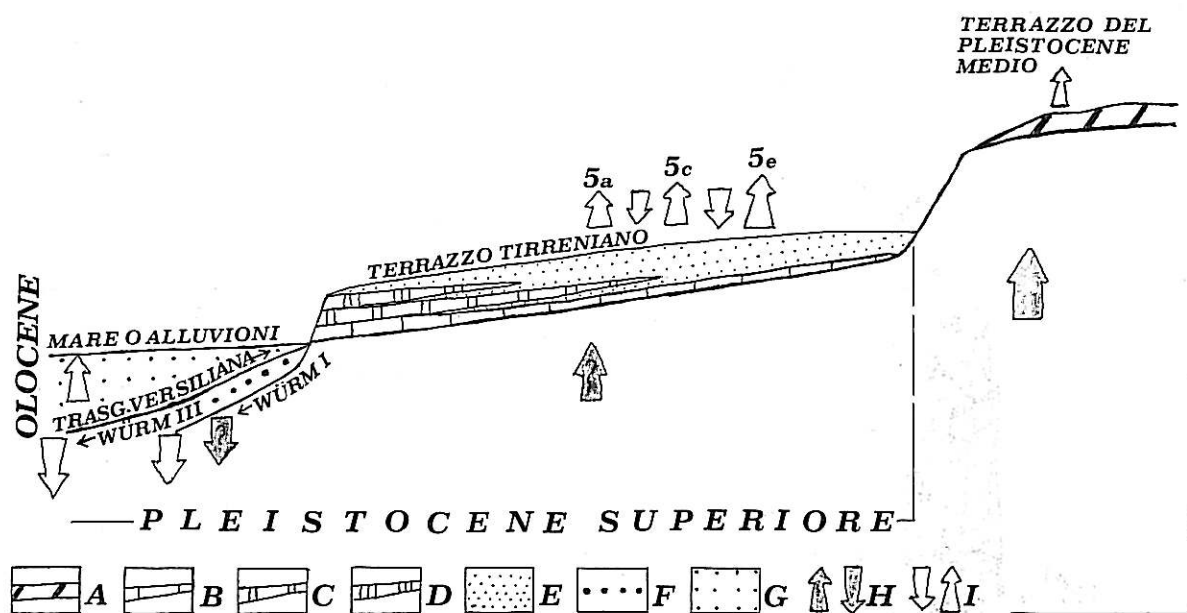


Fig. 4 - Schema stratigrafico - morfologico - tettonico del Pleistocene medio - superiore ed Olocene della fascia costiera toscana (da Federici & Mazzanti, in stampa).

A - Sedimenti del Pleistocene medio. B - Sedimenti della trasgressione del Tirreniano I. C - Sedimenti della trasgressione del Tirreniano II. D - Sedimenti della trasgressione del Tirreniano III. E - Sedimenti eolico - colluviali delle fasi regressive intertirreniane. F - Depositi fluvio - palustri della regressione di Würm. G - Depositi continentali e marini (al tetto) dell'Olocene. H - Sollevamenti ed abbassamenti delle terre. I - Sollevamenti ed abbassamenti del livello del mare.

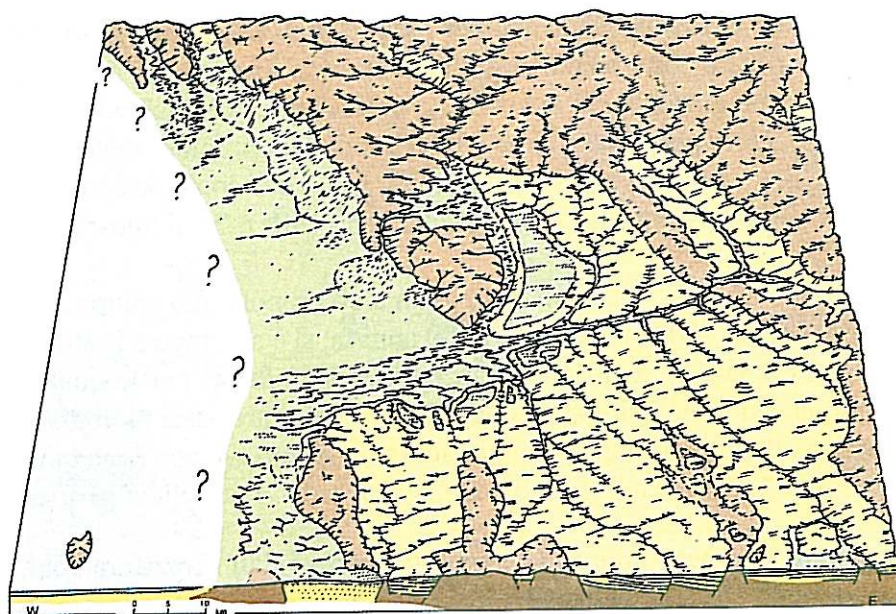


Fig. 5 - Ricostruzione dei corsi dell'Arno e del Serchio e della pianura versiliese - pisana agli inizi del Würm (da Federici & Mazzanti, 1988).

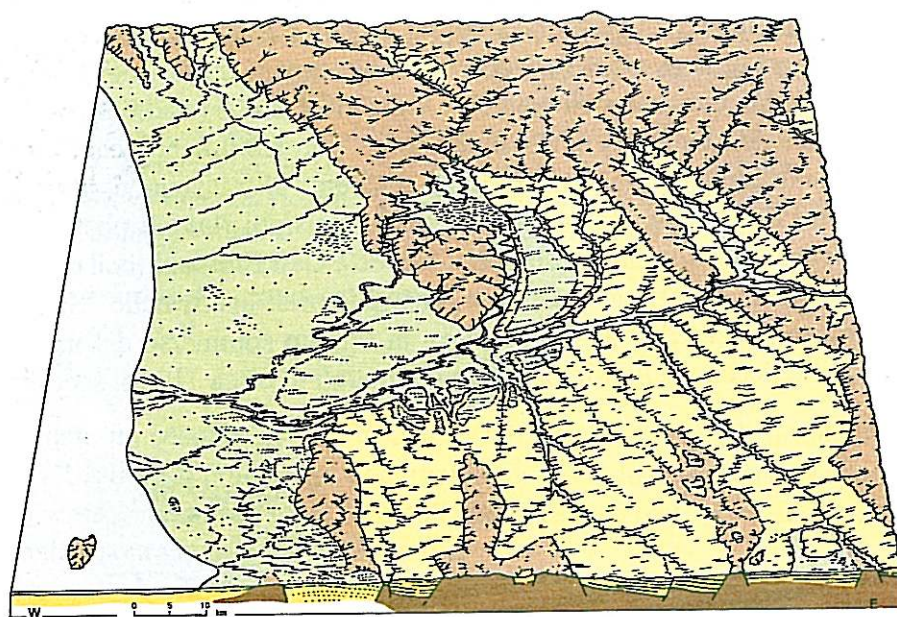


Fig. 6 - Stereogramma rappresentante la situazione geomorfologica dell'ultimo Würm.

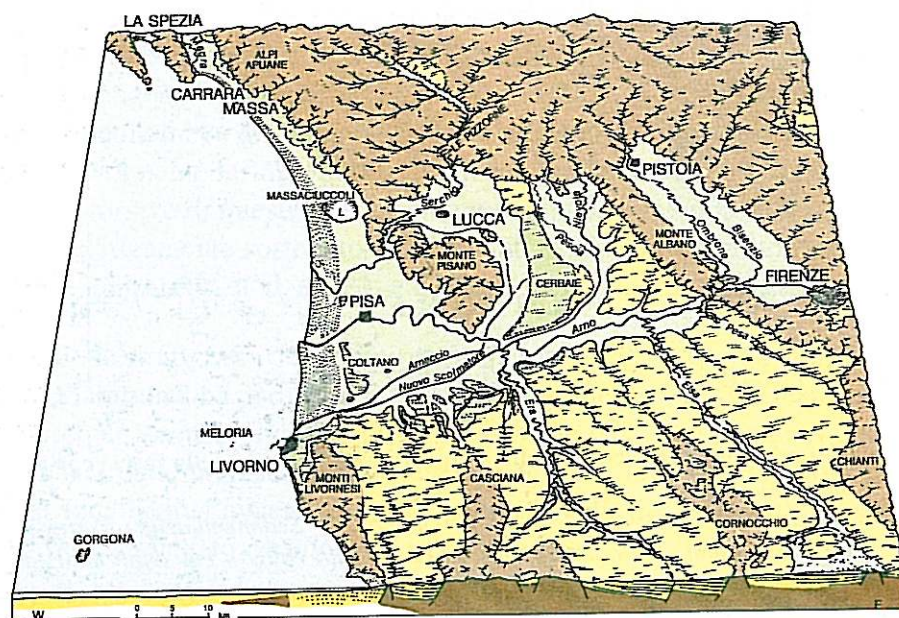


Fig. 7 - Stereogramma geomorfologico della situazione attuale.

Celeste: mare ed acque interne.

Verde chiaro: sedimenti olocenici di pianura.

Verde scuro: sedimenti del pleistocene medio e superiore.

Giallo: sedimenti neogenici e del Pleistocene inferiore.

Marrone: rocce premioceniche.

quanto ricostruito nello stereogramma di fig. 6. Inoltre in profondità le perforazioni hanno messo in evidenza una superficie di discontinuità tra una successione fluvio-palustre olocenica (7 di fig. 3) e le sottostanti formazioni del Pleistocene superiore (4, 5, e 6 di fig. 3).

La successione fluvio-palustre olocenica di cui sopra, formata in prevalenza da limi, all'esame pollinico (Galletti, 1978) ha rivelato l'inizio e la fine della Fase Atlantica del Querceto (considerata compresa tra 5000 e 2500 anni a.C.) in numerosi sondaggi tra i -30 e i -20 m di profondità. Al di sopra i sondaggi (a partire dai -13/-10 m di quota) hanno incontrato i depositi marini di spiaggia dell'ultima trasgressione eustatica, detta versiliana. Infatti, oltre che nei dintorni di Coltano, la successione stratigrafica alto pleistocenica e olocenica è stata traversata da numerosi sondaggi per la ricerca delle sabbie silicee nell'area tra Viareggio e Massarosa con la precisazione del significato della trasgressione eustatica versiliana. Gli studi su questo argomento, iniziati da Blanc (1934 e 1942), reinterpretati da Trevisan et al. (1971) sulla base di alcune prime determinazioni di età radiometriche (Broecker et al., 1956; Ferrara et al., 1959; Ferrara et al., 1961, Alessio et al., 1964), sono stati ripresi di nuovo da Federici (1987) anche sulla base di ulteriori determinazioni radiometriche di età (Campione R-1046 dell'Istituto di Geochimica di Roma) fino alla recentissima elaborazione di Federici & Mazzanti (in stampa). Questi ultimi autori presentano (si veda la fig. 8 del presente articolo) una sezione geologica schematica attraverso il Lago di Massaciuccoli che tiene conto dei più recenti dati archeologici di superficie (Mazzanti et al., 1990) oltre che dei dati delle numerose perforazioni e delle determinazioni di età radiometriche operate in più occasioni.

Dal basso la successione stratigrafica di fig. 8 inizia da - 137 m di profondità ed è così costituita:

1 - Ghiaia e conglomerato passanti, in alto verso il largo, ad argille cineree lacustri. Il notevole spessore di questi conglomerati, traversati per 30 m, indica una deposizione durante una fase climatica di notevole umidità che, in rapporto alle conoscenze sulla successione stratigrafica soprastante, è stata attribuita (Federici, 1987) alla fase anaglaciale dell'ultima glaciazione. Le argille cineree lacustri sono state interpretate come il risultato di uno sbarramento di un lido verso il largo, sviluppatosi probabilmente all'attenuarsi delle condizioni di grande trasporto solido di ghiaie fluviali coincidente con la deposizione dei conglomerati.

2 - Sabbie e ghiaie con Gasteropodi marini. Questo livello, potente pochi metri, documenta una trasgressione marina corrispondente a un breve interstadiale a clima temperato nell'ultima glaciazione.

3 - Argille lacustri e salmastre potenti fino a 20 m con associazioni di Molluschi dulcicoli e terricoli. La loro deposizione corrisponde ad una seconda variazione nel senso dell'aumento dell'umidità del clima con verosimile eustatismo negativo del livello del mare, cioè a una nuova oscillazione oceanica nel clima dell'ultimo glaciale.

4 - Sabbie marine con Molluschi e semi di *Vitis vinifera* per uno spessore di pochi metri. Questo nuovo episodio trasgressivo per eustatismo positivo denunciante di per sé un clima temperato, confermato dalla presenza di *Vitis vinifera* (Blanc et al., 1953), è stato attribuito ad un notevole interstadiale dell'ultima glaciazione che potrebbe corrispondere con lo Stadio isotopico 3 del $\delta^{18}\text{O}$ di Emiliani (1955).

5 - Argille lacustri con torbe caratterizzate dall'associazione pollinica a *Pinus*, *Abies*, *Picea* e *Betula* (Marchetti, 1934; Marchetti & Tongiorgi, 1936). Blocchi di torba, strappati da questa formazione ed inglobati in quella soprastante, hanno rivelato età radiometriche col metodo del ^{14}C di 18350 ± 350 anni (Broecker et al., 1956) e di 18800 ± 400 anni (Alessio et al., 1964) ben rapportabili a quelle dello Stadio isotopico 2 del ^{18}O di Emiliani, coincidente con il picco finale dell'ultima glaciazione.

6 - Sabbie silicee con fauna marina a *Thais haemastoma*, potenti fino a 30 m (livello a). Corrispondono alla trasgressione versiliana e sono state datate, su conchiglie prelevate a quota - 47, di 8940 ± 273 anni (Ferrara et al., 1959), a quota -26, di 5646 ± 200 anni (Ferrara et al., 1961) e su legno di *Pinus silvestris* prelevato a quota -15 e risultato di 5280 ± 50 anni. Lateralmente questo livello passa, verso terra, al b

(conglomerati di conchiglie di ostriche) mentre è chiuso verso il largo dal *c* (depositi di lido con resti archeologici a partire dall'VIII sec. a.C.). Questi depositi di lido, verso l'interno sbarrano i depositi del livello *d* (torbe attuali del Lago di Massaciuccoli, ad associazione vegetale simile a quella contemporanea e sottostanti argille lacustri con associazione pollinica ad *Abies*, *Alnus*, *Picea* della fase olocenica sub-Boreale, considerata iniziare circa 2500 anni a.C.) mentre verso il mare fanno passaggio ai depositi *e* di facies di spiaggia e di duna che corrispondono alla evoluzione del litorale fino alla linea di riva attuale. Questi ultimi depositi si prestano, a iniziare dal lido frequentato dall'VIII secolo a.C., ad essere studiati in superficie e quindi in orizzontale.

Quanto esposto nelle pagine precedenti richiama la grande influenza che le oscillazioni climatiche hanno avuto in passato sull'organizzazione del litorale versiliese-pisano e, dal momento che in precedenza era stata illustrata l'influenza della tettonica, possiamo in breve schematizzare che quest'ultima ha avuto un grande ruolo nell'impostazione del bacino dal Miocene superiore al Pleistocene inferiore mentre le prime hanno agito principalmente nello sviluppo del litorale vero e proprio dal Pleistocene superiore all'Olocene.

Lo studio del Pleistocene medio, come intervallo cronologico intermedio, ha conservato le maggiori incertezze: difficoltà di riconoscimento nelle successioni stratigrafiche di quanto collegato a movimenti tettonici o a variazioni climatiche; dubbi sull'esistenza di depositi di questa età sepolti sotto le pianure; minore risoluzione dei criteri paleontologici e radiometrici nelle determinazioni cronologiche.

L'importanza della tettonica, anche se ancora non del tutto esaurita, con i suoi tempi lunghi è senza dubbio progressivamente diminuita man mano che, con il Pleistocene superiore, diventavano più incisive le oscillazioni climatiche.

Con l'Olocene (che vien fatto coincidere con il miglioramento climatico dell'ultimo post-glaciale) l'ambiente naturale si avvicina progressivamente a quello attuale. Tuttavia molto forti sono i cambiamenti in particolare nella fascia litoranea per un duplice ordine di cause.

Il primo, strettamente climatico, riguarda il superamento dell'apice glaciale dei 18000 anni or sono, con un progressivo processo di deglaciazione che ha comportato un rapido e forte aumento del livello del mare (trasgressione versiliana in parte già esaminata), l'innalzamento dei limiti altimetrici della vegetazione, la variazione del livello di base e, verosimilmente, del regime dei fiumi.

Il secondo ordine di cause riguarda l'impatto antropico sul paesaggio, impatto particolarmente invadente in regioni di antica civilizzazione come la Toscana.

L'attenuazione delle oscillazioni climatiche e l'impatto antropico sul paesaggio negli ultimi 6.000 anni

Per l'evoluzione delle vicende climatiche nel Valdarno durante gli ultimi 6000 anni sono ancora frammentarie le conoscenze disponibili su elementi di provenienza locale. Nel contesto più generale della paleoclimatologia europea l'intervallo compreso tra circa 6000 e circa 4500 anni or sono viene indicato come l' "*optimum*" climatico, seguito alla deglaciazione, già sensibile nel Mediterraneo intorno a 15000 anni fa (Vergnaud Grazzini et al., 1989), responsabile della trasgressione marina nota come "versiliana" (Blanc, 1934), o come posteriore all'ultimo "picco" glaciale di circa 18000 anni or sono.

Il recente studio di Alessio et al. (1992), eseguito sulle stalattiti e stalagmiti di grotte attualmente sommerse dal mare nel Tirreno centrale (Sardegna, Toscana, Campania) ha permesso di tracciare la curva delle oscillazioni del livello marino negli ultimi 40000 anni (fig. 9), corrispondenti al limite di applicabilità del metodo di determinazione radiometrica delle età basato sul ^{14}C .

La curva di fig. 9 è l'elemento più concreto, attualmente disponibile, per i riferimenti alle variazioni più essenziali del clima in Toscana negli ultimi 40000 anni. Infatti essa registra queste variazioni, anche se in modo indiretto perché non basato sulla determinazione di elementi dei paleoclimi bensì mediato sulle conseguenze collegate al glacioeustatismo marino. Sono ben evidenti:

- l'innalzamento del livello del mare conseguente alla fase di deglaciazione compresa tra 18000 e 6500 anni fa;
- un abbassamento di circa 2 m tra 6500 e 6000 anni or sono (fase climatica "Boreale");
- il rapido innalzamento tra 6000 e 5000 anni fa (fase "Atlantica" del Querceto dell'*optimum* climatico);
- un nuovo abbassamento di circa 2 m, culminato circa 3500 anni fa (fase climatica "sub-Boreale");
- l'ultimo innalzamento, rapido fino a circa 2000 anni or sono (fase climatica "sub-Atlantica") e in seguito meno pronunciato.

Pinna (1984) riferisce sulle conoscenze dello sviluppo paleoclimatico più recente che, per l'area europea e gli ultimi circa 3000 anni, indica in un'oscillazione "fredda" fra 900 e 300 a.C., in una "calda" fra 800 e 1150-1200 d.C. e nella "piccola età glaciale" fra 1590 e 1850 alla quale è seguita un'ultima fase "calda" da alcuni studiosi ritenuta terminare nel 1950. Nessuna di queste ultime fasi è apparsa registrata dallo sviluppo degli speleotemi delle grotte del Tirreno centrale. Verosimilmente questa mancata registrazione è imputabile a una non forte entità di queste ultime oscillazioni climatiche le cui implicazioni sul livello marino devono comunque essere rimaste molto minori dei circa -2 m registrati in corrispondenza dei 3500 anni or sono. D'altra parte proprio in Toscana esistono notevoli indicazioni (posizione sul litorale e quote delle Arenarie di S. Vincenzo - Punta del Molino; Mazzanti et al., 1980) che il livello del mare nei secoli della maggiore produzione metallurgica di Populonia (intorno al IV-III sec. a.C.) non era più basso di 2 m rispetto a quello attuale.

Tutte le precedenti indicazioni confermano un andamento generale del livello marino in innalzamento negli ultimi 3000 anni. Sicuro nei valori medi, può essere avvenuto con pause o lievi inversioni tuttavia non ancora registrate con sicurezza esatta da studi riferiti a situazioni locali.

Le perforazioni nei dintorni del Lago di Massaciuccoli hanno dimostrato che la trasgressione versiliana si è spinta fino al piede occidentale dei Monti d'Oltre Serchio, lambito in corrispondenza dell'*"optimum"* climatico di 5000 anni or sono (Federici e Mazzanti, in stampa). L'impostazione del Lago di Massaciuccoli è seguita all'abbassamento relativo (circa 2 m) del livello del mare di circa 3500 anni or sono (livello di argille lacustri *d6* di fig. 8, caratterizzato da un'associazione pollinica indicante un raffreddamento climatico) ed è proseguita durante l'ultima fase di risalita - posteriore ai 3000 anni da oggi - specialmente con la formazione del lido frequentato a partire dall'VIII sec. a.C. (Mazzanti et al., 1990).

La cartina di fig. 10 (tratta da Mazzanti et al., 1990) mostra come la trasgressione versiliana con culmine di 5000 anni or sono non può aver risalito i coni di deiezione pleistocenici della Versilia oltre la paleofalesia (già riconosciuta da Sestini, 1957) incisa sui coni alluvionali compresi tra Carrara e Massa. La

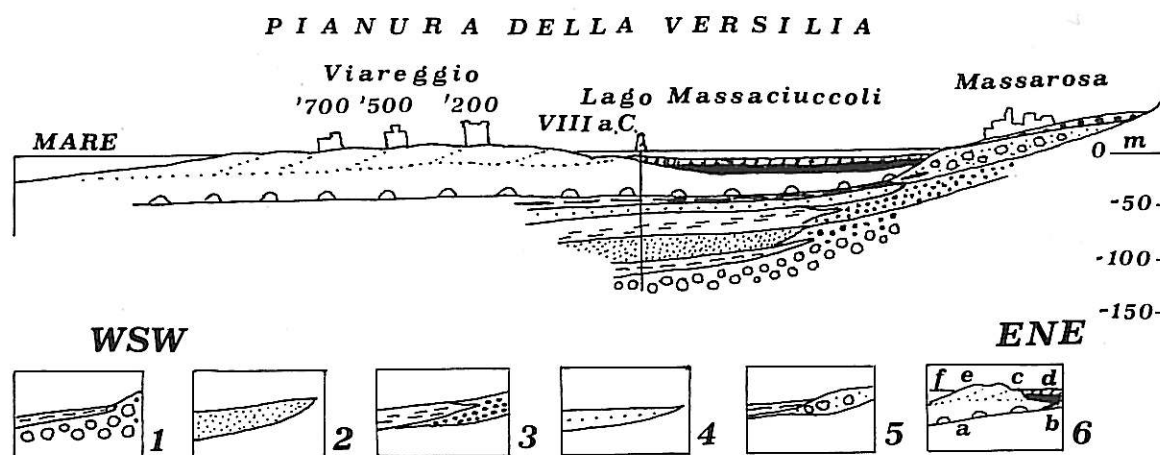


Fig. 8 - Sezione geologica (non in scala) tra Viareggio e Massarosa

1 - Depositi del Würm I. 2 - Depositi dell'interstadio Würm I-II. 3 - Depositi del Würm II. 4 - Depositi dell'interstadio Würm II-III. 5 - Depositi del Würm III (18.000 anni fa). 6 - Depositi olocenici (a-trasgressione versiliana, b-cono di deiezione, c-lido frequentato dal VIII sec. a.C., d-torbe del Lago di Massaciuccoli; e-depositi di spiaggia; f-mare).

medesima fase trasgressiva è stata rintracciata - come esposto qui sopra - nell'area del Massaciuccoli fino al piede dei Monti d'oltre Serchio, mentre non sembra che, nella Pianura di Pisa, sia andata oltre la linea dei bassi rilievi di sabbie pleistoceniche del Palazzetto, Castagnolo e Coltano (Federici e Mazzanti, in stampa).

Ancora la fig. 10 indica l'andamento del lido con documenti di frequentazione tra VIII e V sec. a.C. (siti 15, 18, 19, 20 e 24) e quindi formatosi durante la fase della trasgressione versiliana, sviluppatasi dopo lo stazionamento "basso" del livello marino (- 2 m) culminato circa 3500 anni or sono. Nella linea di riva impostata sul lato a mare di questo lido è significativa la mancanza di ogni accenno di protuberanze deltizie dell'Arno. D'altra parte è noto (Strabone, 5.2.5) che il ramo principale del Serchio si riuniva in Arno nel sito dove sorse il centro abitato di Pisa per cui non aveva una bocca propria in mare. Vaste zone umide dovettero rimanere racchiuse all'interno di questo lido come è documentato dallo strato di torba con materiali archeologici databili tra il tardo VII e il VI sec. a.C. a S. Rocchino (16 in fig. 10) (Vaggioli, 1990) e dalle stratigrafie delle perforazioni della zona del Massaciuccoli (livello 6d di fig. 8 descritto in precedenza).

Infine la fig. 10 presenta la ricostruzione delle linee di riva del litorale versiliese-pisano di età basso-medievale e moderne (secoli XVI, XVII, XVIII), ricostruite sulla base della posizione di manufatti, tuttora esistenti o di sicura localizzazione, nei pressi delle rispettive linee di riva, e riporta inoltre la linea di riva del 1830 tracciata nella carta di Giò Inghirami, la prima "geometricamente" esatta che rappresenti la Toscana. E' evidente la notevole progradazione del litorale versiliese-pisano in un periodo nel quale il livello del mare è risalito, mediamente, almeno di 1 m. Quest'ultimo fatto e la chiara conformazione a delta della Bocca d'Arno fin da età basso-medievale rivelano che la progradazione del litorale è stata determinata dal forte incremento di materiali detritici trasportati dal fiume, malgrado quest'ultimo abbia perduto nel frattempo l'apporto delle acque del Serchio.

Il forte incremento del trasporto solido dell'Arno non è spiegabile con le variazioni climatiche succedutesi negli ultimi 3000 anni, che non hanno comunque provocato forti oscillazioni del livello del mare. Di conseguenza la spiegazione del fenomeno va ricercata, in netta prevalenza, nelle attività antropiche.

I bacini imbriferi dell'Arno, Serchio e Magra, i corsi d'acqua principali influenti sul litorale versiliese-pisano, sono stati oggetto di frequentazione antropica fin dal Paleolitico inferiore. Anche se non possiamo

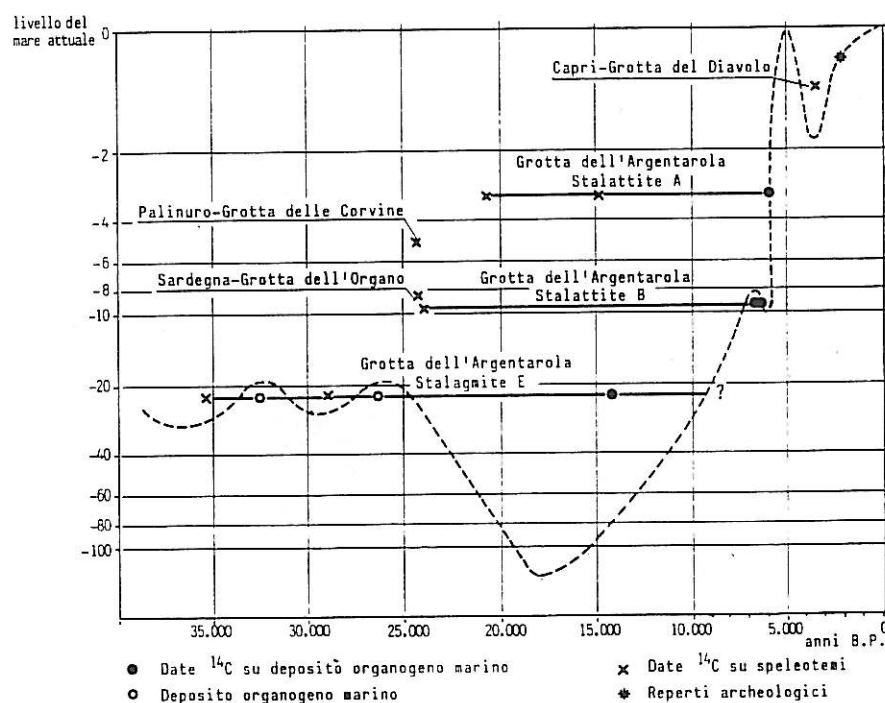


Fig. 9 - Oscillazioni del livello marino nel Tirreno centrale negli ultimi 40.000 anni (Pleistocene superiore - Olocene). Le ordinate sono in scala logaritmica (da Alessio et alii, 1992).

escludere un primo, debole, impatto sugli equilibri naturali dei cacciatori paleolitici dal momento che furono in grado di usare il fuoco a loro piacimento, è con le “scoperte” neolitiche dell’allevamento del bestiame e dell’agricoltura che le attività umane assumono una rilevanza del tutto particolare in questi equilibri. Infatti nell’agricoltura primitiva fu diffusa la pratica del “debbio”, o incendio degli appezzamenti da deforestare, con lo scopo non solo di eliminare gli alberi ma di fornire ceneri capaci di rendere i terreni fertili per alcuni anni. E malgrado sembri che le popolazioni neolitiche non abbiano superato una densità di un abitante per km² (Deevey, 1960) e abbiano dissodato i terreni con il solo uso di zappe, le loro attività agricole si sono protratte per circa 4000 anni, ovviamente senza prevedere alcuna reintegrazione di fertilità e rigenerazione dei terreni sfruttati (abbandonati del tutto o lasciati a magri pascoli dopo il ciclo produttivo agricolo) per cui è impensabile non abbiano influito negli assetti dei territori.

Gli studi più recenti hanno rivelato che il popolamento neolitico in Toscana (Grifoni, Cremonesi e Tozzi, 1994) è stato piuttosto intenso soprattutto nelle valli alluvionali, con terreni più adatti alle attività agricole e conseguentemente deforestati per primi, e lungo la costa, in relazione all’inizio dei rapporti marittimi tra la regione e le isole del Tirreno.

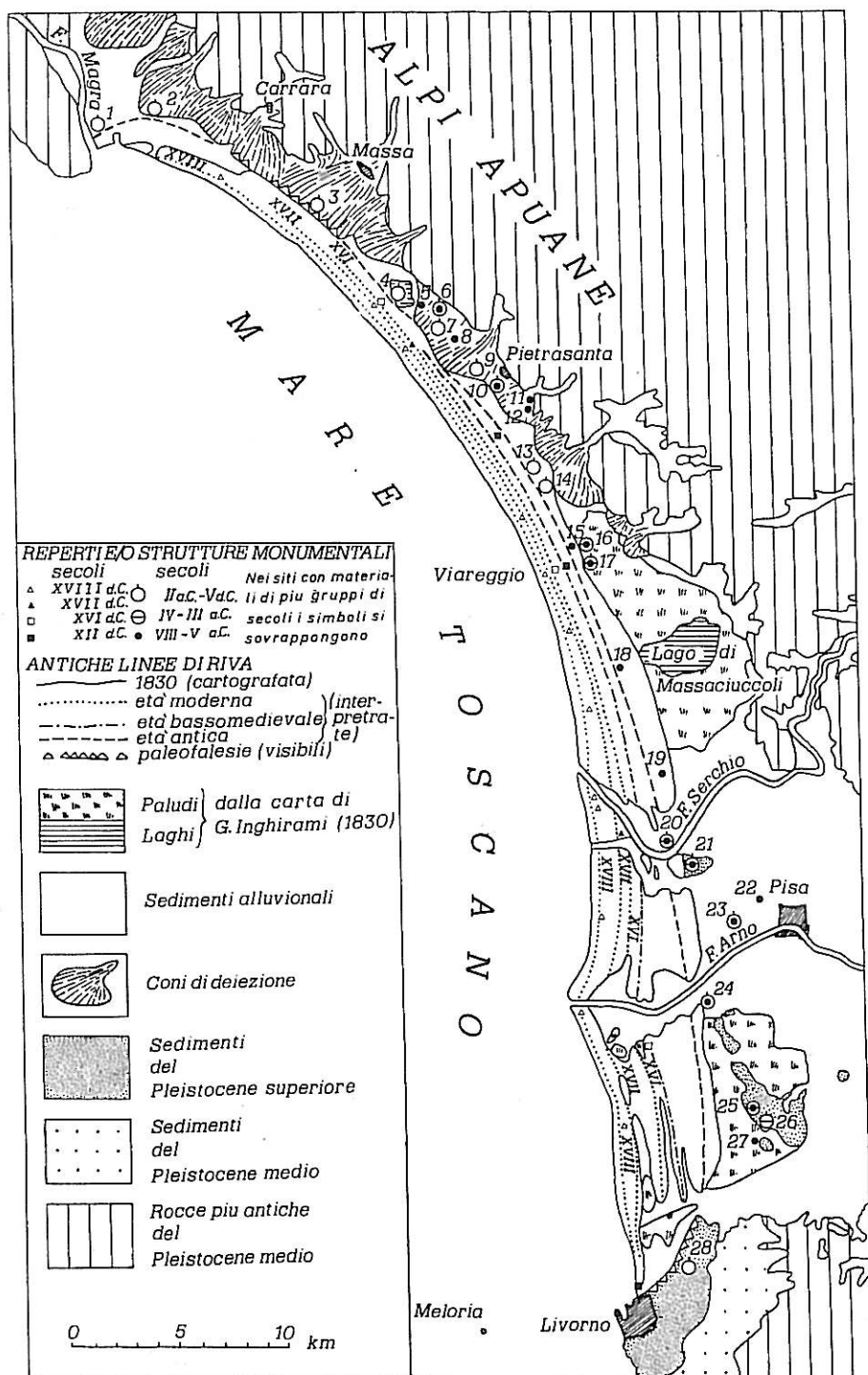


Fig. 10 - Le antiche linee di riva tra Livorno e Bocca di Magra in relazione ai siti archeologici più significativi.

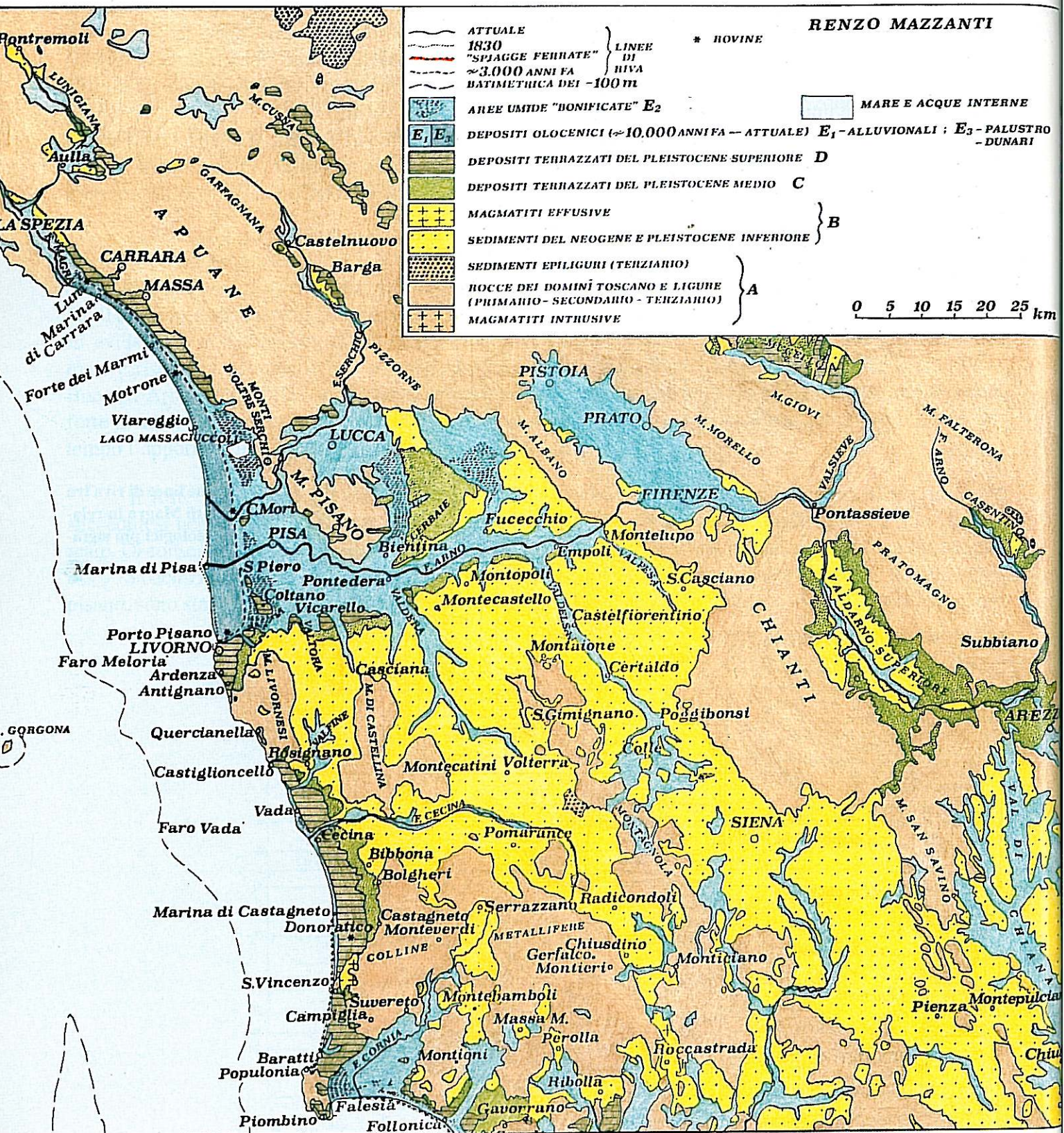


Fig. 11 - Sviluppo in orizzontale della "trasgressione versiliana" che, nel periodo di tempo compreso tra 18.000 e 5.000 anni or sono, ha portato a una ingressione marina di circa 32 chilometri.

Verso la fine del III millennio inizia in Toscana lo sfruttamento delle notevoli risorse minerarie presenti specialmente lungo la costa (Alpi Apuane, Colline Metallifere) e all'Isola d'Elba: lo sfruttamento del legname dovette ricevere, con questa nuova attività, un grandissimo impulso. Altri nuovi impieghi del legname, specialmente di qualità pregiate e di tronchi di ragguardevoli dimensioni, furono introdotti dallo sviluppo edilizio conseguente al sinecismo etrusco e al continuo aumento delle costruzioni navali. Così un forte depauperamento della foresta originaria deve essere avvenuto durante la prima metà del I millennio. Verosimilmente gli alberi furono abbattuti senza nessuna tecnica di ripristino forestale per cui nel migliore dei casi (cioè quando non furono operati dicioccamanti per introdurre l'agricoltura) le originarie fustaie furono ridotte a cedui.

La moderna scienza pedologica ha messo in evidenza la funzione del manto forestale nel produrre e conservare la coltre superiore, detta "suolo" - a origine mista organica e minerale - che riveste, con spessori vari fino talora di alcune decine di metri, la roccia inalterata, non adatta allo sviluppo delle colture né delle piante spontanee erbacee o arboree.

Lo sviluppo di un suolo è sempre un'operazione complessa e generalmente lenta, mentre la sua distruzione può essere velocissima: essa è favorita dal taglio della foresta, specialmente se seguito da dicioccamiento delle radici e dall'introduzione delle arature (sempre più profonde con il progredire dell'agricoltura e, dalla prima metà del I millennio, eseguite con gli "arati a chiodo"). Né l'abbandono delle colture di campi già predisposti e a produzione agricola favorisce il ripristino dei suoli, incrementando invece - senza l'applicazione di specifiche tecniche di recente introduzione - la loro completa erosione. Particolarmente degradante per i suoli si è poi rivelato il passaggio dall'uso agricolo a quello pascolivo.

Nella storia di molti territori è possibile seguire l'evoluzione delle attività antropiche, spesso indipendentemente dall'evoluzione del clima, secondo il ciclo deforestazione- agricoltura-pastorizia.

Il primo termine di questo ciclo è in genere breve e irreversibile nel senso che un'area privata della foresta primigenia può essere rimboschita (artificialmente o naturalmente) ma è in pratica impossibile in entrambi i casi che i nuovi boschi tornino a riprodurre le stesse caratteristiche della foresta originaria, sviluppatesi in tempi lunghissimi e sotto condizioni climatiche variate (specialmente alle nostre latitudini) per le stesse lunghezze dei periodi di formazione.

Il secondo termine - che può anche mancare - può essere breve o lungo a seconda delle vicende delle popolazioni; esso in genere si è sviluppato in passato in conseguenza di fasi d'incremento demografico o, comunque, ha richiesto tali incrementi per il suo progresso.

Il terzo termine ha seguito - verosimilmente in parte incrementandole - le depressioni demografiche, ha avuto in genere durate molto lunghe e quasi sempre ha causato erosione dei suoli e dissesti idrogeologici.

La connessione di questi due ultimi fenomeni è ben nota: il suolo, protetto dalla foresta, regima i flussi idrici sotterranei, trattenendo grandi quantità di acqua delle quali permette il lento e diretto ritorno all'atmosfera attraverso l'evaporazione, di conseguenza allunga i tempi di corrivazione e diminuisce e regola l'entità delle piene fluviali di pianura. In collina e montagna la presenza di aree ricoperte anche da sottili suoli ritarda la degradazione delle rocce altrimenti molto esposte agli agenti erosivi del gelo, della pioggia e dell'insolazione, esercitando una notevole azione di protezione da frane e scoscendimenti.

Per i bacini idrografici che sottendono il litorale versiliese-pisano non esiste - al momento - una copertura completa di carte con informazioni pedologiche, morfologiche e vegetazionali adatte a definire le condizioni di stabilità - o meno - dei versanti vallivi. Da un punto di vista molto generale la fig. 11 può servire per uno speditivo approccio alla definizione di queste condizioni.

Le aree A, di affioramento di rocce del substrato dei cicli del Neogene e del Pleistocene inferiore, per il fatto di corrispondere ai rilievi maggiori e di più alta energia e per essere ricoperte solo parzialmente da suoli frammentari, recenti e sottili, sono quelle maggiormente esposte alle azioni erosive e nelle quali la deforestazione - anche se avvenuta probabilmente più tardi - ha provocato i danni maggiori e i rimboschimenti hanno incontrato le maggiori difficoltà, favoriti solo dalla scarsa fertilità dei luoghi che in genere non sono stati interessati da ampi impianti agricoli (salvo l'area del Chianti che costituisce un caso del tutto particolare, come sostenuto da Azzori e Rombai, 1991).

Le aree B, corrispondenti al paesaggio collinare toscano dei depositi dei cicli del Neogene e Pleistocene inferiore, caratterizzati da debole energia del rilievo ma da sedimenti facilmente erodibili e ricoperti da suoli frammentari, sottili e recenti, sono state ormai private del manto forestale originale nei vasti affioramenti argillosi, mentre risultano rimboschite a ceduo nelle fasce di affioramenti di sabbie e di conglomerati.

Le aree C corrispondono al Terrazzo I, "alto" (fino a 125 m di quota) del Pleistocene medio, caratterizzato dalla presenza di industrie del Paleolitico inferiore e da ultisuoli e alfisuioli ampiamente diffusi e talora di notevole spessore. La posizione di queste aree marca antiche paleospiegate e depositi fluviali precedenti lo sviluppo dell'interglaciale del Tirreniano. Per l'alta acidità questi suoli sono più adatti al bosco che alle colture, secondo quanto è stato selezionato - verosimilmente senza consapevolezza - in secoli di attività umana specialmente nelle Cerbaie e nella bassa Val di Cecina.

Le aree D sono occupate dai depositi terrazzati del Pleistocene superiore, caratterizzati dalla presenza di industrie del Paleolitico medio e di inceptisuoli di spessori generalmente modesti. Corrispondono al Terrazzo II o "basso", ben sfruttabile per le colture agricole quando sostenute da adeguati impianti irrigui. Questo terrazzo rappresenta la posizione delle paleospiegate e dei depositi eolici a queste collegati nelle diverse fasi tirreniane e dei corsi d'acqua nelle fasi iniziali dell'ultima glaciazione.

Le aree E corrispondono ai depositi alluvionali fluviali (E1), palustro-lagunari (E2) e dei lidi e dune litoranei (E3) dell'Olocene. In fig. 11 è inoltre segnata la batimetrica di -100 m, che corrisponde - come riferito in precedenza - più o meno alla linea di riva di circa 18000 anni or sono; inoltre sono segnate la linea di riva di circa 3000 anni fa, al limite del lido frequentato dall'VIII sec. a.C., la linea di riva del 1830, ripresa dalla carta di Giò Inghirami a sua volta redatta dai rilievi originali per il Catasto Ferinandeo-Leopoldino eseguiti tra il 1818 e il 1825, e - infine - la linea di riva attuale che, alla scala del disegno, rivela solo un notevole arretramento - rispetto a quest'ultima - del tratto apicale dell'Arno e lievi progradazioni in tutto il resto del litorale versiliese-pisano.

Dalla carta di fig. 11 si può trarre con molta evidenza lo sviluppo in orizzontale della trasgressione versiliana. Questo sviluppo dai 18000 ai 5000 anni or sono ha portato la linea di riva fino a lambire il piede occidentale dei Monti d'oltre Serchio con una ingressione marina di almeno 32 Km e, dopo una piccola retrocessione collegata alla oscillazione negativa del livello del mare di circa 2 m culminata intorno a 3500 anni fa, invece di riprendere ad avanzare, secondo l'innalzamento del livello del mare degli ultimi 3000 anni, ha soffermato la linea di riva sull'orlo esterno del lido frequentato dall'VIII sec. a.C. per poi invertire l'andamento trasgressivo in una regressione marina su tutto il litorale versiliese-pisano (con punta di circa 7 km a Bocca d'Arno) che mostra progradazione fino almeno al 1830. Già abbiamo precisato i motivi che ci fanno ritenere quest'ultima progradazione della spiaggia del litorale versiliese-pisano, nel litorale toscano altrove semi-stabile o in leggera retrocessione (Bossio et al., 1986), come dovuta al grande incremento degli apporti solidi dei fiumi maggiori (un fenomeno analogo si è verificato in Toscana solo alla Bocca d'Ombro) conseguente alla deforestazione di origine antropica.

Nella carta di fig. 12 sono segnalate solo le aree umide maggiori esistenti nel 1830: i laghi e le paludi di Massaciuccoli e di Bientina, le paludi di Fucecchio e dei dintorni di Coltano. Altre paludi, allora esistenti nelle aree di inter-duna della zona E3, non sono state indicate (come del resto le minori estranee a quest'area: Seccagna di Luni, Porta di Versilia, Agnano Pisano, Sibolla nelle Cerbaie) per non appesantire il disegno con simboli troppo piccoli di non immediata lettura.

La definizione delle aree occupate da paludi nel passato presenta notevoli difficoltà alla individuazione di campagna in quanto è rilevabile solo attraverso indagini di scavi o di perforazioni, metodi da considerarsi "puntiformi" nell'ampia pianura versiliese-pisana. Infatti i depositi di superficie di questa pianura rivelano l'esistenza di paludi solo - e non sempre - nelle aree nelle quali queste ultime sono state prosciugate più di recente e dove d'altra parte la loro esistenza era ben nota dalla cartografia del secolo scorso e degli inizi di quello attuale. Altrove una coltre di depositi misti tra l'alluvionale e il detritico, naturali e/o artificiali (si pensi alla diffusione delle "colmate" con spandimento di sedimenti trasportati da diversi "collettori" allacciati a corsi d'acqua mutati nel tempo), in parte "pedogenizzati" dal prolungato esercizio agricolo, forma

una coltre superficiale di interpretazione generalmente non conforme con i canoni sedimentologici normali. Così la precisazione dell'evolversi dei diversi ambienti sedimentari nella pianura versiliese-pisana non può essere basata solo sulle informazioni, preziose ma limitate, degli scavi archeologici e delle perforazioni (queste ultime quasi sempre eseguite al solo scopo di approvvigionamento idrico e con scarse indicazioni stratigrafiche) ma richiede l'esame delle fonti storiche cartografiche, letterarie, epigrafiche, toponomastiche, iconografiche, ecc.

L'area pisana-versiliese si può considerare particolarmente ben fornita di fonti storiche sul territorio; ovviamente queste, abbondanti per il periodo moderno, notevoli per quello medievale, si rarefanno per i periodi romano ed etrusco.

Negli ultimi quindici anni si è sviluppata, tra diversi Istituti delle Facoltà di Lettere e di Storia dell'Università di Pisa, il Centro per la Geologia Strutturale e Dinamica dell'Appennino del CNR e vari Enti e Organizzazioni (provinciali, comunali, spontanee, ecc.) con interessi sul territorio, una stretta collaborazione che ha portato a pubblicare una serie di monografie sull'evoluzione naturalistico-storica di varie località di questa pianura (Coltano, Vecchiano, S. Giuliano, Cascina, Pietrasanta) e del suo litorale. Questo materiale, in gran parte già utilizzato nella redazione della "Carta geomorfologica della Pianura di Pisa" a scala 1:50000 (Della Rocca et al., 1987), eseguita anche sulla base della aereofotointerpretazione e delle immagini da satellite, è stato ampliato e riorganizzato nella "Carta degli elementi naturalistici e storici della Pianura di Pisa e dei rilievi contermini", anch'essa a scala 1:50000 ma a colori, eseguita con la collaborazione di uno stuolo di specialisti delle più diverse discipline e inserita nel volume "La Pianura di Pisa e i rilievi contermini - La natura e la storia", uscito nelle Memorie della Società Geografica Italiana nel 1994. A questo recentissimo lavoro e a quelli ancora più specifici rivolti a località più ristrette (tutti citati in bibliografia) rimandiamo per le conoscenze di maggiore dettaglio mentre cercheremo di sintetizzare al massimo la descrizione delle vicende essenziali che dall'VIII sec. a.C. ad oggi hanno plasmato il litorale versiliese-pisano e la pianura che ne è limitata verso Occidente.

La scelta dell'VIII sec. per iniziare questa rassegna appare ovvia - per quanto già precisato - visto che a quell'epoca (corrispondente con la tarda età del Ferro) risalgono i primi documenti di frequentazione del lido, ben ricostruibile lungo tutto il litorale versiliese-pisano (figg. 10 e 11) e non più sommerso dal mare fino ad oggi.

Durante l'età del Ferro nell'area pisana, con estensione dalla Versilia costiera a Castiglioncello (Livorno) lungo il litorale e fino al Valdarno medio verso l'interno (Pasquinucci, 1994) sono stati rintracciati indizi secondo i quali questo territorio è riferibile all'*ethnos* etrusco, nel quale fu comunemente diffuso lo sfruttamento capillare delle risorse territoriali quali l'agricoltura, la pastorizia, la caccia e la pesca. Sulla composizione dei boschi planiziali della Versilia (*Quercus*, *Fraxinus*, *Alnus*) nell'VIII-VII sec. a.C. è stato eseguito uno studio sul materiale ligneo proveniente dalla base della palizzata dell'insediamento di S. Rocchino (Tomei et al., 1990).

Al VII sec. a.C. risale l'orizzonte archeologico arcaico con i fondi di capanna dell'area Scheibler di Pisa, con frammenti di ematite elbana e scorie di fusione del Ferro, sito paragonabile agli insediamenti coevi rinvenuti in Versilia (S. Rocchino, Pozzi e Baraglini), alla Romita di Asciano e a Bientina (Bonamici, 1993).

Al V sec. a.C. risale la documentazione (Bonamici, 1990) di un canale di bonifica in località Figuretta, circa 3 km a NE di Pisa. La situazione della regione resta stazionaria fino alla fine del IV - inizi del III sec. a.C. quando nella fascia costiera a Nord dell'Arno i documenti del popolamento si rarefanno probabilmente in seguito alla discesa di genti liguri (Pasquinucci, 1994).

Pisa, la cui urbanizzazione vien fatta risalire al periodo tardo-arcaico (Bonamici, 1993), servì di base all'esercito romano durante le guerre liguri (238-177 a.C.) e ricevette un assetto municipale (dal secondo decennio del I sec. a.C.) con amministrazione del territorio compreso tra il Fiume Versilia, il Monte Pisano, e i fiumi Era e Fine.

La definitiva sottomissione dei Liguri permise, nel tardo I sec. a.C., la completa "romanizzazione" della Lunigiana, della Garfagnana e del Valdarno inferiore e medio. Furono dedotte vastissime colonie di veterani: nella Versilia costiera, dove nel 177 a.C. fu fondata la città di Luni con porto lagunare, nel Valdarno

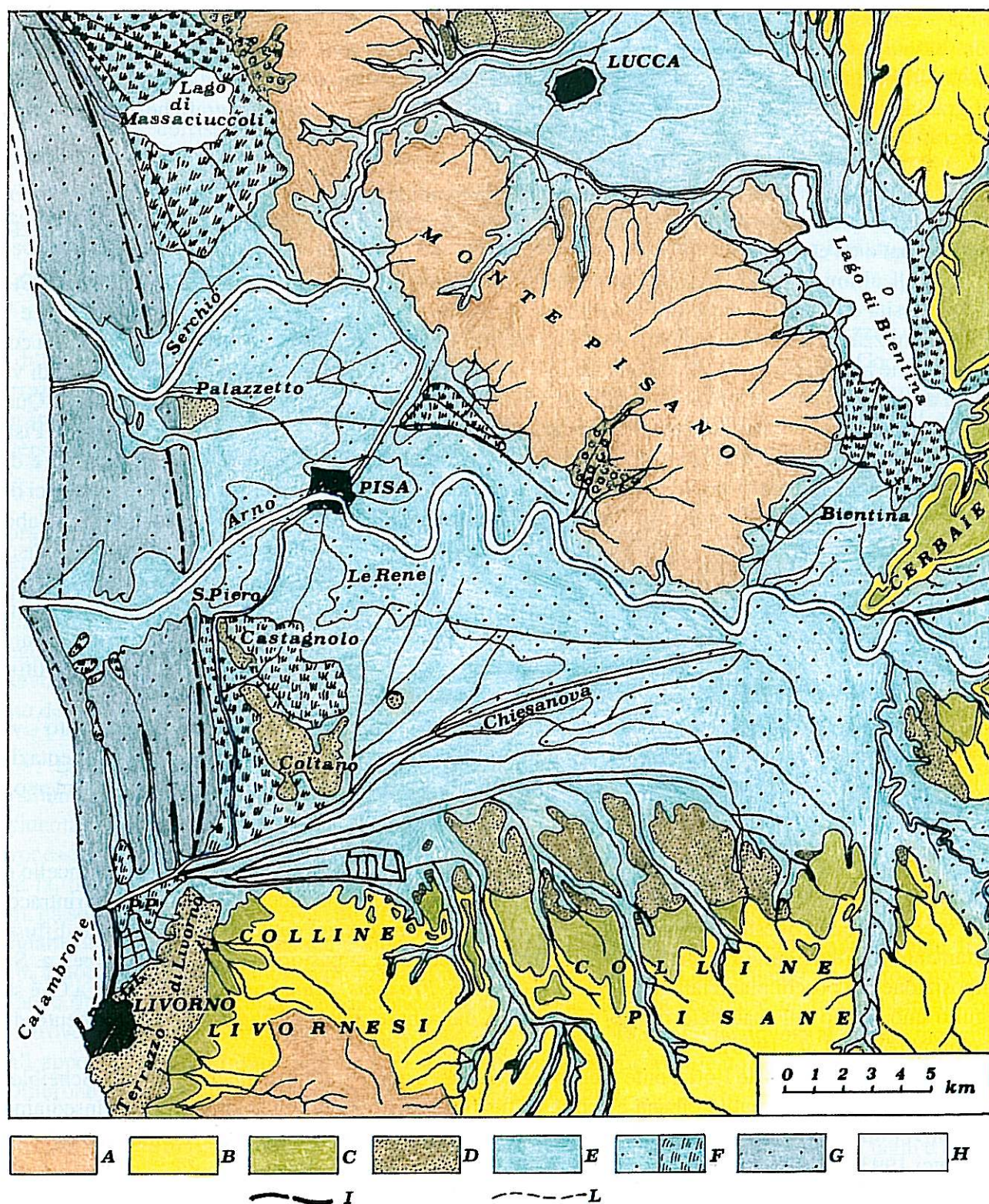


Fig. 12 - Carta geomorfologica schematica della Pianura di Pisa e dei rilievi contermini.

- A - Rocce del substrato pre - neogenico;
- B - Sedimenti del Neogene e del Pleistocene inferiore;
- C - Sedimenti del Pleistocene medio sul Terrazzo I;
- D - Sedimenti del Pleistocene superiore sul Terrazzo II;
- E - Sedimenti alluvionali della pianura olocenica;
- F - (a puntini) Sabbie di Le Rene, (a barbette) limi e torbe palustri;
- G - Sedimenti eolici e palustri del litorale olocenico;
- H - Acque marine e lacustri;
- I - Linea di riva dell' VIII - V sec. a. C.;
- L - Linea di riva attuale.

(Base topografica da Giò Inghirami, 1830 - Geologia da Mazzanti).

inferiore tra Vecchiano, l'Era e Coltano (*Colonia Opsequens Iulia Pisana*), nel Valdarno medio tra Castelfranco ed Empoli, nella campagna lucchese, con la fondazione di *Luca* (180 a.C.).

La deduzione di una colonia romana, sia in area già poco o affatto civilizzata sia a precedente ampia antropizzazione, fu un fenomeno di profonda rilevanza nell'assetto di un territorio. Il suo carattere più peculiare fu quello della "pianificazione" secondo uno schema generale di tutte le risorse territoriali e dell'organizzazione della loro produzione o sfruttamento.

Per quanto riguarda le linee di sviluppo generale dei territori alle quali abbiamo fatto riferimento in precedenza non c'è dubbio che la deduzione delle colonie romane nel I sec. a.C., nei bacini imbriferi che sottendono il Litorale Versiliese- Pisano, ha comportato un forte incremento demografico e un grandissimo impulso all'agricoltura con tutte le strutture di servizio quali la costruzione di centri rurali, di strade, di canali e di fosse. Di queste ultime nello scavo dell'area Scheibler è stato rintracciato un reticolo, databile tra la metà del I sec. a.C. e la metà del I sec. d.C. e interpretato come intervento di bonifica (Bonamici, 1989).

Le moderne, sistematiche, ricognizioni di campagna (Pasquinucci, 1994) hanno permesso di riconoscere le caratteristiche di molti di questi centri rurali, fattorie e *villae*, costruite ex novo al tempo della deduzione delle colonie o riadattate su strutture più antiche, risalenti talora almeno alla fine del IV - inizi del III sec. a.C., e in genere frequentate fino al V sec. d.C. Secondo quanto documentato in altre aree centuriate, agli appezzamenti assegnati in proprietà è probabile si intercalassero altri ad uso comunitativo tenuti a bosco (essenziali come riserva di legna) e a pascolo, specie in vicinanza delle aree umide. Strabone (5.2.5) informa che nel I sec. d.C. legname locale e di provenienza appenninica fu impiegato diffusamente nelle costruzioni navali pisane e ampiamente esportato a Roma.

La precisa collocazione delle aree umide nel periodo romano non è stata ancora definita. Già abbiamo indicato che l'ampia fascia litoranea, segnata con E3 in fig. 11 era ancora sommersa dal mare e che dietro il lido frequentato fin dall'VIII sec. a.C. si estendeva il Lago di Massaciuccoli con vasti acquitrini a NW e SE. Al I sec. d.C. risale il riferimento di Strabone (5.2.5) alla posizione di Pisa nella confluenza tra Serchio e Arno (oggi confermata da ricerche aereofotogrammetriche di Della Rocca et al., 1987) e a una suddivisione di quest'ultimo in tre rami nella Pianura di Pisa. Meno decifrabile, quest'ultima informazione, può venire interpretata (Della Rocca et al., 1987) secondo gli affioramenti delle Sabbie di Le Rene che si aprono a ventaglio dal nucleo centrale di Pontedera verso i tre nuclei divergenti di Chiesanuova (quello meridionale), di Le Rene (quello centrale) e di Pisa - S. Piero a Grado (quello settentrionale) (fig. 12).

In quest'ultima località, dotata di uno scalo portuale, dovette sfociare il ramo principale dell'Arno nel I sec. d.C.

Un'altra breve descrizione del tratto di litorale vicino alla Villa Triturrita con insenatura portuale, il *Portus Pisanus* localizzato anche nell'*Itinerarium maritimum* (5.0.1), si trova nel *De Reditu* di Rutilio Namaziano con riferimento al 416 d.C. Il poeta, dopo una rapida visita in Pisa, fu costretto a rimandare la partenza per le cattive condizioni del mare, per cui trascorse il tempo nelle cacce tra il sottobosco della foresta, che verosimilmente ammantava il lido, e i canneti della palude retrolitoranea. La situazione geomorfologica del luogo non doveva differire essenzialmente da quella cartografata quasi 15 secoli dopo, nel 1830, da Giò Inghirami ma la linea di riva - nel frattempo - è progradata di quasi 5 km (fig. 13) lungo la Gronda dei Lupi, o scarpata del Terrazzo II di Livorno descritta dal naturalista Giò Targioni Tozzetti nel Settecento e reinterpretata di recente (Mazzanti et al., 1984).

Ancora a proposito dello sviluppo delle aree umide, nei primi secoli dell'era cristiana un ramo del Serchio, circondato da molte fattorie dell'*Ager Lucensis*, scorreva a Oriente del Monte Pisano e si riuniva in Arno presso Bientina. Il sovralluvionamento del letto di quest'ultimo ha finito per creare una barriera all'agevole deflusso delle acque di questo ramo del Serchio: si è sviluppato il Lago di Bientina nel cui alveo la presenza dei relitti di quelle fattorie, risalenti fino al VI sec. d.C., pone un limite *post quem* per la sua formazione.

Se l'indagine storica ha iniziato, in specie negli anni più recenti, a far luce sulle condizioni dei territori influenti sul litorale versiliese-pisano nel periodo precedente alla romanizzazione e al momento di quest'ultimo evento fondamentale, maggiori lacune rimangono sulle vicende e la situazione di questi territori durante la decadenza e la fine del predominio di Roma.

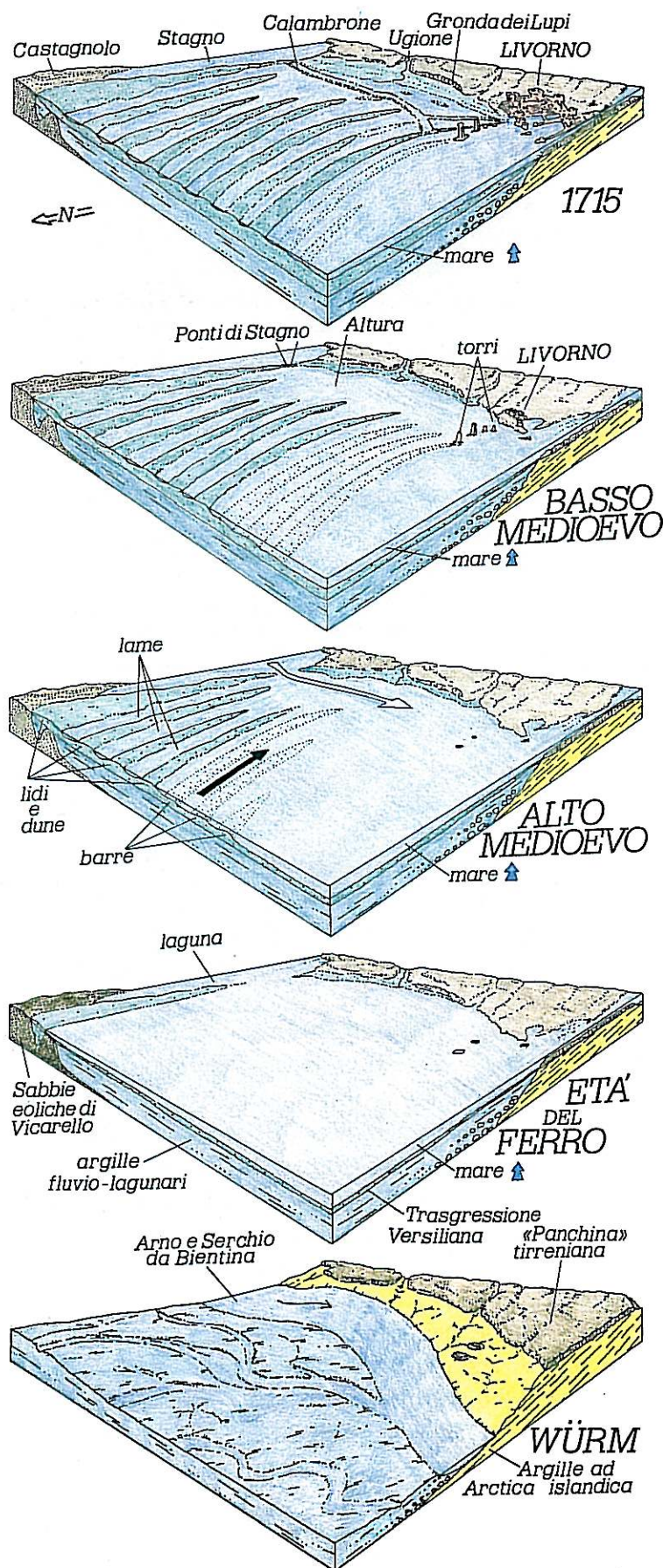


Fig. 13 - Stereogrammi rappresentanti alcune tappe fondamentali dello sviluppo geomorfologico dell'area di Porto Pisano:

Würm - Fase di eustatismo negativo: il "paleo Arno e Serchio da Bientina" erode la "Panchina" e le sottostanti Argille ad *Arctica islandica*, dando origine alla Gronda dei Lupi e, contemporaneamente, al Terrazzo di Livorno; nella pianura di Pisa, assai più bassa (almeno di 100 m) del livello attuale, si depongono ghiaie e sabbie fluviali provenienti in prevalenza dai Monti Pisani.

Età del Ferro - Massima estensione della trasgressione versiliana, legata agli ultimi sollevamenti eustatici e giunta al piede della Gronda dei Lupi e degli accumuli delle Sabbie eoliche di Vicarello presso Castagnolo e Coltano; questa situazione doveva sussistere ancora nel II - I secolo a.C.

Alto Medioevo - Sviluppo delle barre, dei lidi, delle dune e delle "lame", legato all'incremento del trasporto solido dell'Arno conseguente alla deforestazione e sviluppo dell'agricoltura a partire dal II - I sec. a.C.; la freccia nera indica la direzione ed il senso del trasporto litoraneo dei materiali detritici, la freccia bianca indica la posizione, direzione e senso delle correnti di riflusso che tenero sgombrò l'ingresso al porto pisano.

Basso Medioevo - Situazione nel XIII secolo.

1715 - Situazione nel periodo moderno secondo le descrizioni di Targioni Tozzetti.

Per avvicinarsi a questa analisi bisogna premettere che uno degli elementi di maggiore successo nei territori romanizzati, in specie quelli sottoposti a centuriazione, può essere visto nell'ottimo equilibrio tra attività agricole nelle campagne e commerciali e amministrative nelle città. E se Pisa e i suoi approdi sono nati prima della colonizzazione romana è certamente con quest'ultima che hanno ricevuto un grande incremento come polo accentratore delle attività di un ampio territorio e come anello di congiunzione fra l'eccellente viabilità consolare del retroterra e le rotte marittime colleganti Roma con le grandi isole tirreniche, con la Gallia Narbonese e con la Spagna.

L'Impero Romano, all'interno dei suoi vastissimi confini, fu un sistema aperto, tendente ad omogenizzare le differenze delle numerosissime popolazioni assoggettate, imponendo loro unità di leggi, di amministrazione e - nei limiti - tendente a una razionalizzazione secondo modelli uniformi - se non unitari - dell'assetto dei territori. E se gli elementi di aggregazione furono simili nelle sue diverse province, quindi di più agevole individuazione, quelli della decadenza e della disgregazione seguirono in gran parte vicende diverse in specie man mano che il grande edificio imperiale fu attraversato dalle genti barbariche e, maggiormente, con la suddivisione nell'Impero d'Occidente e nell'Impero d'Oriente.

Un argomento molto importante sul quale la ricerca storica locale non ha ancora prodotto indicazioni probanti riguarda se, e nel caso in quale misura, la proprietà agraria risalente alla distribuzione di terre ai veterani nelle colonie di Luni, Pisa, Lucca ed Empoli abbia mantenuto nel tempo l'originaria suddivisione in appezzamenti medio piccoli, oppure sia stata interessata dal fenomeno dell'aumento delle proporzioni dei possedimenti fino a raggiungere le dimensioni del latifondo. E' noto che quest'ultimo si è sviluppato ampiamente nell'Italia centro-meridionale a partire dai secc. II e I a.C. ed ha provocato l'esodo dalle campagne, la sostituzione del paesaggio agrario con quello pastorale e l'incremento dei fenomeni di erosione del suolo. Le indagini in tal senso hanno identificato finora nei Venulei Aproniani una famiglia di rango senatorio con grandi interessi e attività, in età imperiale, nei territori pisano, lucchese e volterrano (Shepherd, 1985). Comunque allo stato attuale delle ricerche non sembra che la frequentazione e la produzione dell'*Ager Pisanus* abbia subito flessioni importanti fino al termine dell'evo antico (Pasquinucci, 1994).

Invece nel II sec. d.C. l'*Ager Lunensis* registrò il netto calo delle produzioni di olio e di vino con sostituzione dell'uso dei terreni al pascolo. Il numero degli insediamenti risulta poi nettamente calato nel VI sec. d.C. e nell'VIII sec. d.C. la città è quasi disabitata, mentre è praticamente abbandonata, ormai in mezzo alle paludi, nel 1204 con il trasferimento della sede vescovile a Sarzana (Delano Smith et al., 1986). Anteriore all'VIII secolo è l'impianto del castagneto nel bosco misto della Lunigiana (Castelletti, 1977). In Lunigiana è quindi molto chiaramente seguibile nel periodo romano lo sviluppo delle attività agricole, con incremento demografico, e il passaggio a quelle pastorali, con forte decremento demografico, e - inoltre - il rimboschimento alto-medievale, con ampio uso del castagno in rapporti ben diversi a quelli della foresta originaria.

Nell'*Ager Lucensis*, dopo la netta crisi di popolamento accertata tra la fine del I e il II sec. d.C. e la debole ripresa del tardo III sec. (Pasquinucci, 1994) gli ultimi secoli dell'evo antico e i primi dell'alto medioevo corrisposero a un costante decremento demografico e all'aumento delle aree incolte con conseguente sviluppo dei boschi e delle zone umide (formazione del Lago di Bientina).

Agli anni della frammentazione dell'Impero con la guerra greco-gotica, seguì la conquista longobarda che però non avvenne uniformemente in tutta la Toscana. Si formarono delle discontinuità negli ambiti territoriali in specie per la conquista, nell'area del territorio interessante questo articolo, delle valli del Chiecina, dell'Era, del Cascina e dell'Isola (di competenza ex pisana e/o volterrana) da parte dei Longobardi insediati a Lucca. La fascia costiera pisana fu conquistata dai Longobardi dopo il 603 e vi furono istituite, tra il Lago di Massaciuccoli e l'Ardenza, ampie proprietà regie (Ceccarelli Lemut, in stampa).

Secondo Toubert (1983) durante la dominazione longobarda accanto alle ampie aree coperte di boschi (verosimilmente in parte di nuova formazione), come la *Silva Palatina* tra il Lago di Massaciuccoli e il Serchio, la *Silva Tumulus* lungo il litorale tra questo e l'Arno, la *Silvalonga* nel Valdarno inferiore, fu presente la piccola e media proprietà, con insediamenti rurali sparsi e punti di riferimento nelle pievi, mentre la grande proprietà laica ed ecclesiastica iniziava ad organizzarsi nel sistema curtense.

Al dominio longobardo seguì quello carolingio dei Franchi, i primi barbari che discesero in Italia già convertiti al Cattolicesimo tanto che ricondussero ad unità i distretti territoriali civili con quelli ecclesiastici. Questa operazione causò in seguito una successione notevolissima di controversie sulle spettanze dei territori che cambiarono di distretto (in genere tra Lucca e Pisa).

I secoli del dominio carolingio coincisero con il massimo sviluppo del sistema curtense, con aziende agrarie di notevoli dimensioni, nelle quali la *pars dominica* veniva curata direttamente dal proprietario per mezzo di servi e la *pars massaricia* era curata da coltivatori che dovevano tuttavia fornire prestazioni d'opera (da due a tre giorni la settimana) anche alla *pars dominica*. Ne risultarono rapporti tra "*domini*" e "*massari*" non solo economici ma prevalentemente giurisdizionali che dettero vita a un sistema chiuso che resse fino agli inizi del X secolo quando gran parte dell'immobile signoria agraria delle campagne del mondo alto-medievale fu scossa dallo sviluppo delle attività imprenditoriali maggiormente aggregantesi nei centri cittadini che finirono per organizzarsi nei Comuni.

Nei bacini fluviali del Magra, del Serchio e dell'Arno lo sviluppo dei Comuni trovò, tra i secoli XI e XIV, un terreno fertile per l'attitudine all'artigianato e ai commerci delle popolazioni e per l'abilità nelle attività finanziarie dei membri di alcune famiglie e consorterie. Esso comportò la crescita delle città, la riorganizzazione delle vie di comunicazione (ancora preferibilmente attraverso fiumi e canali) e, ovviamente, ebbe una forte influenza sulla conduzione delle campagne, specialmente nei territori più vicini a grandi centri comunali: Arezzo, Firenze, Prato, Pistoia, Empoli, Lucca, Pisa, Massa, Carrara, Sarzana.

La crescita dei Comuni determinò un forte incremento demografico con le conseguenze dell'aumento dei terreni messi a coltura e con il perfezionamento delle tecniche agrarie verso una migliore e maggiore produzione. Dato che le fonti energetiche rimasero ancora quella idraulica e quella della legna da ardere, al periodo comunale corrisponde un nuovo forte incremento nel taglio dei boschi, anche per l'estensione degli abitati nelle parti medio-alte delle valli che maggiormente si prestavano all'impianto di marchingegni a movimento idraulico. In pianura l'estensione dei centri abitati comportò spesso la necessità di prosciugare aree palustri o di eseguire importanti opere idrauliche ai corsi d'acqua nel tentativo di impedirne le esondazioni. Il prosciugamento di alcune paludi dei sobborghi cittadini (per es. il quartiere di Chinzica a Pisa) fu ottenuto in prevalenza con lo scavo di fosse di sgrondo anche se sembra siano stati effettuati (Targioni Tozzetti, 1761) i primi tentativi di messa in colmata di alcune aree della Valdinievole. La difesa dalle esondazioni fluviali fu ricercata con la costruzione di argini, con lo scavo di fosse sfioranti le piene, con l'esecuzione dei primi tagli di meandri fluviali per accelerare lo smaltimento delle piene (famosi sono i tagli dei meandri delle Cascine Nuove di S. Rossore risalenti alla prima metà del Trecento). I Lucchesi sembra che abbiano canalizzato il Serchio deviandolo ad Occidente della città e convogliandone maggiormente la corrente verso il ramo di Ripafratta per toglierlo al rifornimento delle acque del Lago di Bientina le cui esondazioni erano deleterie per la fertile campagna ad Oriente della città.

Tra le maggiori produzioni che furono alla base della crescita economica dei Comuni in Toscana, quelle dei "panni lani" e dei "cuoi" comportarono un grande sviluppo delle greggi con un fortissimo incremento del fenomeno della transumanza nella stagione invernale verso le pianure, specie di Maremma ma anche del Litorale Versiliese-Pisano, visto che i pascoli di montagna non furono più sufficienti a sostenere l'aumento del numero dei capi. Lo sviluppo della transumanza nelle montagne toscane si fece più generale nel basso-medioevo, dopo il Duecento, al momento di culmine della produzione delle Arti della Lana e del Cuoio. Esso sembra aver coinciso (Wickham, 1990) con un forte incremento dell'introduzione del castagneto nei boschi misti al di sotto della fascia della faggeta e con la sostituzione dei boschi di crinale, possibili alle quote non eccessive delle cime arenacee appenniniche relativamente dolci, con pascoli estivi che verosimilmente furono presto sovrasfruttati.

Nel breve giro di tre-quattro secoli si riprodussero in Toscana fenomeni che presentano alcune analogie con quelli avvenuti - nel più lungo periodo della dominazione romana - e cioè dell'incremento demografico e dello sviluppo agricolo cui è seguito quello dell'aumento della pastorizia e di un notevole calo demografico. Quest'ultimo è conseguito allo sviluppo delle grandi epidemie di peste del Trecento e alle continue guerre che portarono alla dominazione di Firenze sulla maggior parte della regione e si con-

clusero - dopo i due assedi di Pisa terminati nel 1406 e nel 1509 - con la conquista di Siena nel 1555. Ma già nella seconda metà del Trecento gli elementi di decadenza del territorio toscano sono rintracciabili nel paesaggio montano dove l'eccessivo sfruttamento silvopastorale porta alla diminuzione dell'insediamento sparso, conseguente anche al fenomeno dell'incastellamento, e all'abbandono dei coltivi con incremento dei fenomeni erosivi. Inoltre nel Valdarno inferiore e nelle Colline Pisane i danni e gli abbandoni collegati alle lunghe guerre si uniscono a quelli dovuti all'incremento delle esondazioni fluviali conseguenti al degrado montano nel far crollare radicalmente quella che può essere considerata l'equilibrata situazione territoriale del periodo comunale.

Sull'incremento del trasporto solido fluviale in questi secoli abbiamo un'unica documentazione, che tuttavia è molto indicativa: essa è schematizzata in fig. 10 nella quale la linea di riva basso-medievale (intorno alla metà del Trecento) appare progradata di più di 2 km in corrispondenza dell'apice del delta dell'Arno che - ripetiamo - non risultava ancora pronunciato in epoca romana.

Dalla seconda metà del Cinquecento il definitivo avvento della Signoria dei Medici in Firenze impone la fine dei conflitti tra città e cittadine toscane e riunisce sotto un unico governo tutto il Valdarno, la Lunigiana (salvo le *enclaves* della Casa d'Este e della Casa Cybo-Malaspina) e la Versilia (eccettuato l'*enclave* del Ducato di Lucca che rimane padrone della Garfagnana - salvo l'alta valle estense - e della Piana di Lucca). Il nuovo assetto geopolitico rimarrà invariato, a parte la sostituzione al trono di Toscana della Casa Asburgo-Lorena alla estinta (1737) Casa Medici e le vicende del breve periodo napoleonico, per tre secoli fino all'Unità d'Italia.

Le fortune finanziarie e politiche di Casa Medici fin da molti anni prima della definitiva presa del potere a Firenze, corrisposero alla creazione di un ingente patrimonio agrario in tutta la Toscana. Questo fu fortemente accresciuto nei territori del Valdarno inferiore già in mano a famiglie pisane decadute o che avevano abbandonato Pisa negli anni dei fatti d'arme. Insieme ai Medici ampi appezzamenti di terreni passarono a famiglie fiorentine loro collegate, come i Salviati e i Riccardi. Nel Valdarno inferiore si venne così a formare un nuovo latifondo che si andò ad aggiungere a quello preesistente dei beni ecclesiastici mentre la progradazione del litorale faceva emergere in continuazione nuove terre che si aggiungevano alle vaste tenute della costa.

Gran parte dei territori che passarono a queste nuove proprietà, spesso già abbandonati e posti al limite di zone umide, finirono per venire inglobati da queste e furono tenuti a pascolo e per la caccia.

D'altra parte il possesso di sempre maggiori riserve e l'esercizio della caccia furono tenuti nella massima considerazione dai membri della famiglia regnante, di quelle collegate da vecchia data e delle nuove che riuscivano ad essere accettate nel Sacro Ordine di S. Stefano. Questo, creato per combattere in mare i musulmani, divenne centro delle operazioni di affidamento nobiliare per i possedimenti terrieri in tutta la Toscana regolando le commende nel regime di "rifeudalizzazione" istituito da Casa Medici. A partire dalla metà del Cinquecento i granduchi emisero una serie di moti-propri molto severi per la protezione dei boschi e gli esercizi della caccia e della pesca nelle acque interne. D'altra parte gli stessi granduchi subentrarono in proprio nel monopolio della Magona per la lavorazione del ferro elbano, trasportato nei luoghi, come il Pistoiese o l'alta Versilia, dove ampi boschi furono sottratti agli usi civici per essere riservati al funzionamento delle ferriere. Né fu positiva, per la conduzione dell'agricoltura nella Toscana a conduzione mezzadrile al centro dello stato fiorentino, dalle colline a Sud di Firenze, alla Valdelsa, al Chianti, al Valdarno superiore, alle pianure di Prato e Pistoia, la politica medicea di monopolio dei mercati del grano con gestione della produzione - ancora tipo "gran coltura" - della Maremma ex senese e con l'immissione nel mercato di grandi quantità di cereali acquistati sui mercati esteri e fatti confluire nel Porto di Livorno.

Tra Cinquecento e Seicento la costruzione del porto, delle fortezze, dei lazzeretti e della città di Livorno corrispose al maggiore intervento sul territorio legato alle grandi capacità imprenditoriali e mercantili di Casa Medici. Questa operazione fu corredata dallo scavo del Canale dei Navicelli per collegare il nuovo porto con Pisa e quindi via Arno con Firenze e la Valdinievole e, attraverso la riattivazione del Canale di S. Giuliano, via Serchio con Lucca.

Del tutto meno incisivi furono gli interventi dei regnanti di Casa Medici riguardo a miglioramenti nelle devastatissime condizioni idrauliche dei territori toscani, sottoposti - fra l'altro - all'aumento delle precipitazioni conseguente l'innescarsi della "piccola età glaciale". L'intervento medico fu rivolto principalmente nelle zone dove la Casa possedeva interessi propri, spesso con la privativa sulle peschiere e conseguentemente con l'interesse del mantenimento delle zone umide. Questa situazione è stata così sintetizzata da Azzari e Rombai (1991): "Nel Seicento e nella prima metà del Settecento la bonifica venne quasi ovunque trascurata, e non pochi terreni recuperati nel recente passato alle coltivazioni tornarono anzi a impaludarsi e a infettarsi di malaria. Assistiamo in questo periodo, all'ultimo colpo di coda dello sfruttamento a pascolo e dell'allevamento transumante (soprattutto nella Toscana costiera e nord-occidentale), perché la parallela flessione demografica portò alla riduzione delle aree a coltura".

Il ristagno demografico, perdurato per tutto il Cinquecento, raggiunse la massima flessione negli anni '30 del Seicento in corrispondenza delle nuove epidemie di peste e non si ebbe una inversione di tendenza che cento anni dopo, negli anni '30 del Settecento. Tuttavia, sia pure in una congiuntura economica di stagnazione generale, del resto comune ad altre regioni italiane, nella seconda metà del Cinquecento e nei primi decenni del secolo successivo, furono riorganizzati dai regnanti di Casa Medici gli enti governativi destinati alla gestione del territorio e furono eseguite notevoli opere idrauliche in specie nel Valdarno inferiore. Si trattò in prevalenza dello scavo di canali per aumentare la velocità di scorrimento delle acque fluviali e facilitare il drenaggio delle piene. Sono famosi il taglio del meandro di Metato nel Serchio (1579) e i tagli dei meandri d'Arno di Bientina e di Vicopisano (1563-64). Questi ultimi richiesero una serie di interventi nei canali emissari del Lago di Bientina. L'operazione dovette essere concordata fra i governi di Firenze e di Lucca e si inserì in una disputa più che secolare che aveva veduto erigere argini e tagliare vari emissari (Ceccarelli Lemut et al., 1994).

Altre operazioni idrauliche di grande impegno riguardarono lo scavo di canali emissari di aree impaludate: nel 1554 del Fosso Reale Nuovo per la sistemazione idraulica della pianura a Nord delle Colline Pisane; nel 1569 dell'Usciana, raddrizzata e approfondita, per favorire il drenaggio del Padule di Fucecchio; inoltre, sempre nella seconda metà del secolo dopo la riescavazione del Canale di S. Giuliano, fu restaurato il complesso sistema di fosse (Maltraverso, Maltraversino, Vicinaia) per drenare la depressione di Asciano, che ripetutamente si impaludava, malgrado il tentativo di bonifica operato dai marchesi Cybo-Malaspina (Morelli, 1980). Fu così riattivata la comunicazione tra questa palude e il Fiume Morto. Ma l'operazione che dette i risultati migliori fu senza dubbio il "taglio ferdinando" della Bocca d'Arno, eseguito nel 1606 su suggerimento dell'idraulico Pugliani. Fu voltata la bocca del fiume da verso Libeccio a verso Maestrale nell'ultimo tratto di circa 2 km in modo da evitare che le onde del mare, nelle tempeste cicloniche, penetrassero nel fiume e ne impedissero il deflusso in mare causando allagamenti fin verso i sobborghi occidentali di Pisa.

Non tutte le operazioni idrauliche ebbero un buon successo. Tra i tentativi non riusciti vanno ricordati gli allestimenti degli scolmatori d'Arno a Putignano (1558) e a Fornacette (1568). Non dettero i risultati sperati, non evitando le esondazioni in Pisa ma determinando il maggiore allagamento delle campagne della Pianura Meridionale Pisana, tuttavia è probabile che col loro allestimento si tornasse a sperimentare la tecnica delle colmate per innalzare le superfici delle aree palustri più depresse.

Tra le operazioni non riuscite vanno ricordati i tentativi di deviare la Bocca del Fiume Morto nel Serchio (1560 e 1612). Né i frequenti insuccessi delle operazioni idrauliche cinquecentesche si limitarono al Valdarno inferiore. Essi complessivamente riguardarono anche i tentativi operati nel Litorale Versiliese, di recente esaminati dalla Azzari (1993) e imputati "... soprattutto al mancato collegamento tra disordine idraulico della pianura e dissesto idrogeologico della montagna, dove, nonostante la legislazione di tutela, i boschi erano sottoposti a uno sfruttamento eccessivo da parte dei montanini e dell'industria locale".

I granduchi di Casa Medici dopo la morte di Ferdinando I non hanno più raggiunto l'efficienza e il dinamismo che aveva caratterizzato anche il ducato di Cosimo I. Al contrario si sono chiusi in una politica di sopravvivenza conservatoria che, nella mutata situazione dei rapporti tra stati europei e nei confronti delle nuove possibilità seguite alle recenti grandi scoperte geografiche e, inoltre, con il naturale superamento del pur splendido movimento culturale fiorentino dell'Umanesimo e del Rinascimento, hanno lasciato sci-

volare la Toscana in una situazione di netta depressione. Questa è durata per più di cento anni, visto che la dinastia dei Medici si è estinta nel 1737 e che i nuovi granduchi di Casa Asburgo-Lorena, designati al trono toscano dalle altre potenze europee, non si trasferirono a Firenze, governando attraverso “reggenti”, fino all’incoronazione di Pietro Leopoldo nel 1765.

All’insediamento di questo nuovo regnante la situazione economica, giuridico-amministrativa e territoriale del Granducato era fortemente disastata. Pietro Leopoldo intraprese un’opera riformatoria drastica, da liberista convinto, sulla quale non possiamo dilungarci in questa sede per cui riportiamo il conciso giudizio di Azzori e Rombai (1990): “Lo stato di cose che venne a verificarsi nelle zone di montagna, nel groviglio dei suoi aspetti positivi e negativi, fu, sicuramente e ovunque, complesso e contraddittorio. Di sicuro, in molte zone saltarono i delicati equilibri che reggevano i rapporti economici e sociali e si registrò un graduale peggioramento delle condizioni di vita di ampi strati della popolazione (se non di tutti), per l’alienazione dei patrimoni fondiari di proprietà pubblica ad un numero esiguo di benestanti, in maggioranza locali, per l’abrogazione degli antichi “usi civici” di pascolo, legnatico e semina; per l’aumento dei prezzi dei cereali, quasi tutti d’importazione; per la grave crisi che colpì l’allevamento montano, in conseguenza del processo di bonifica idraulica e di colonizzazione agricola che investì la Maremma dalla metà del Settecento in poi, e della drastica riduzione delle opportunità di pascolo nella stessa montagna, per la soppressione del compascuo e la privatizzazione delle proprietà collettive”. Così negli ultimi 30 anni del Settecento a un generale incremento demografico in Toscana fa riscontro un ristagno o addirittura un decremento in molte aree montane nelle quali divengono più frequenti gravi fenomeni di dissesto idrogeologico. Questi tra l’altro furono favoriti dall’estensione in alto delle coltivazioni, con l’antico sistema delle “terrazzette” o “pianelli”, piccole gradonate di massi divelti in loco allestite per sostenere lo scarsissimo suolo nei versanti denudati del bosco. Questo fenomeno indirettamente fu incrementato dalle leggi del 1769-80 che dettero ai proprietari la piena disponibilità della gestione dei loro terreni lasciando che si compissero tagli indiscriminati di alberi.

Ma le leggi di Pietro Leopoldo riguardanti la gestione del territorio in altri ambienti meno “estremi” della montagna ebbero risultati non contraddittori, senza dubbio nell’insieme positivi. Esse derivarono dall’idea fondamentale di riformare e migliorare l’agricoltura - in pratica la maggiore risorsa rimasta disponibile in Toscana nel Settecento - servendosi dell’operosità di privati possessori che curassero direttamente le loro proprietà.

Il carattere innovativo di queste leggi fu dirompente se pensiamo che andarono ad investire privilegi e consuetudini sviluppatasi nei secoli della dominazione medicea ma, spesso, derivanti anche da più antichi vincoli medievali. In modo particolare le disposizioni per l’abolizione delle “manimorte”, dello svincolo dei “fidecommissi” e quelle sulle “allivellazioni” delle grandi proprietà di enti laicali e religiosi e della stessa Corona, cui erano passate le molte fattorie medicee, insieme a nuove regole sul contratto mezzadrile, del quale finalmente veniva riconosciuta la fondamentale importanza nel buon governo della migliore agricoltura toscana, furono i cardini per il rilancio di quest’ultima secondo il modello dell’appoderamento e della policoltura in campi circondati da fosse drenanti e da filari di alberi.

Intanto nei centri culturali europei e toscani, in modo particolare l’Università e l’Uffizio dei Fossi di Pisa e l’Accademia dei Georgofili di Firenze, venivano affinate le teorie sul controllo “contingente” delle acque e sulla “bonifica integrale”. Quest’ultima fu scelta a modello da Pietro Leopoldo per le operazioni nelle aree depresse toscane. Così il riscatto di queste aree non veniva più ricercato nella sola bonifica idraulica ma si riconosceva la necessità di integrare quest’ultima operazione in un sistema di attività produttive atte a sviluppare le potenzialità dei territori dei quali si affermava l’interdipendenza (fra quelli di pianura, di collina e di montagna) per una conduzione che ne eliminasse i degradi pur permettendone la produzione. In questa nuova visione della ricerca di una ottimizzazione delle possibilità produttive di ogni territorio rientra la costruzione, nella seconda metà del Settecento e nella prima dell’Ottocento, di numerose strade per il collegamento dei bacini intermontani della Toscana (Lunigiana, Valdinievole, Casentino, Mugello, Valdarno superiore, Valdichiana, Valditevere) con l’asse Livorno-Pisa-Firenze, fulcro della produzione e del commercio toscani, e con i centri più importanti delle regioni transappenniniche.

La costruzione di buone strade carreggiabili - seguita nell’Ottocento da quella delle ferrovie - incre-

mentò il riscatto di questi bacini dal loro isolamento, ne sostenne lo sviluppo produttivo e la valorizzazione territoriale delle aree collinari, secondo il nuovo modello di un'agricoltura parcellizzata, e delle aree montane, con i primi esperimenti di veri e propri rimboschimenti. Questi iniziarono a partire dagli anni '30 e '40 dell'Ottocento e furono eseguiti, sia per iniziativa del governo sia di privati, nelle montagne del Casentino, del Pistoiese, nel Monte Morello, nel Mugello e alla Consuma (Azzari e Rombai, 1990).

Lo sviluppo della "bonifica integrale" nel Pistoiese è probabilmente l'esempio più emblematico di come questa operazione fu condotta proprio per la posizione di questa città di pianura a ridosso di montagne assai ripide. I primi tentativi di allargamento e raddrizzamento dell'alveo dell'Ombrone eseguiti in pianura tra il 1706 e circa il 1760 (Azzari e Rombai, 1991) furono ripetutamente frustrati per la violenza delle piene che scendevano dalla vicina montagna. E' del 1821 il progetto dell'idraulico pistoiese Pietrini che indica nella costruzione di "serre" (sia in muratura, sia a secco, sia in palizzate), da eseguire sugli affluenti dell'Ombrone fino nei tratti montani, come il migliore rimedio per contrastare le inondazioni della pianura. Questo progetto richiese tempi di realizzazione molto lunghi. Nel 1828 ricevette il plauso dell'idraulico Fantoni, allora commissario governativo: "Questo generale coordinamento di serre [alzato] successivamente a guisa di scaglioni dai tronchi inferiori fino ai primi rigagnoli verso le vette delle montagne [e] realizzato sopra tutto il sistema dei fiumi di una intera provincia è un concetto grande, e il primo che siasi intrapreso in Toscana con vedute sì estese degne di venire imitate". Azzari e Rombai (1991) informano che nel 1860 i lavori alle "serre" dei corsi d'acqua del Pistoiese non erano ancora terminati ma che già ne erano palesi i benefici in quanto questa operazione permise una migliore organizzazione della pianura nei dintorni della città e l'avvio di una più stabile colonizzazione agricola in precedenza ostacolata dalle divagazioni dell'Ombrone e degli altri corsi d'acqua.

L'originalità del progetto del Pietrini non va vista tanto nella possibilità di sbarrare trasversalmente il fondo dei torrenti, operazione già comunissima almeno fin da epoca medioevale, con piccole "prese" per il funzionamento di mulini, gualchiere o altri marchingegni idraulici, quanto nell'idea di ripetere la costruzione di queste briglie numerose volte fino ai segmenti più alti dei corsi d'acqua per ritardarne i deflussi.

Del tutto originale appare invece il metodo delle "colmate di monte" di Ridolfi (1827) per attenuare le pendenze eccessive frequenti nelle colline argillose toscane, del quale l'autore mostrò significativi esempi pratici nella sua fattoria di Meleto in Valdelsa. In questa la sistemazione dei versanti veniva curata rigorosamente con l'esecuzione a "giropoggio" delle arature e delle canalette di scolo per evitare gli effetti erosivi della disposizione a "ritto-chino".

Le due sistemazioni territoriali sopra menzionate sono l'inizio, ampiamente seguito, tra la fine del Settecento e la prima metà dell'Ottocento del nuovo modo di operare in montagna e in collina, i due paesaggi maggiormente presenti nei bacini imbriferi che sottendono il Litorale Versiliese-Pisano. Il veloce accrescimento di quest'ultimo, ben evidente in corrispondenza della Bocca d'Arno progradata tra Cinquecento e Settecento senza dubbio di un tratto maggiore di quello corrispondente ai mille anni precedenti, può servire a rendere conto dell'incremento del trasporto solido fluviale rifornito dall'aumento generalizzato dell'erosione. La progradazione generale del litorale è ancora ben registrata dai precisi rilievi (1818-25) per il Catasto Ferdinando-Leopoldino che sono serviti alla redazione della carta (1830) di Giò Inghirami dalla quale è stata tratta la linea di riva di fig. 12. In seguito è certo che nel 1899 furono eseguite le prime protezioni di massi a Bocca d'Arno per difendere l'abitato di Marina di Pisa dall'erosione marina: è il documento dell'inversione di tendenza, inizialmente limitata al solo apice del delta.

Le cause di questa diminuzione del trasporto solido fluviale possono essere molteplici:

- col 1850 viene considerata terminare la "piccola età glaciale". I fautori della "teoria dei climi" possono ipotizzare buone corrispondenze tra diminuzione del trasporto solido fluviale e diminuzione delle precipitazioni. Questa tuttavia non impedì le esondazioni d'Arno del 1866, 1904, 1916, 1949 e 1966 (Caciagli, 1970), né il cambiamento climatico sembra essere stato tale da venire registrato da sensibili oscillazioni del livello del mare.
- L'estensione di un'agricoltura minutamente parcellizzata, secondo gli schemi della mezzadria, anche in molte località "estreme" come la montagna e le pianure costiere e fluviali più depresse, con la diffusione

di tecniche adatte a impedire o contenere l'erosione dei suoli e delle rocce (costruzione di griglie, terrazzette, ecc.).

- La diffusione del metodo delle colmate per il prosciugamento delle zone umide, con il dirottamento di frazioni consistenti di materiali torbidi fluviali nelle "casce" e conseguente loro sottrazione al rifornimento delle spiagge.

E' proprio con i regnanti di Casa Asburgo-Lorena che quest'ultimo metodo di bonifica - che mostrava i vantaggi di sollevare la superficie dei terreni più depressi e di produrre un fertile suolo agrario - trova le maggiori e più diffuse applicazioni. La località nella quale le colmate sono state adoperate in modo più generale e risolutivo è la Valdichiana.

Dopo una serie di operazioni iniziate dai granduchi medicei fin dal Cinquecento, imperniata sulla pendenza da dare al Canale Maestro, cardine del drenaggio della valle, e sul modo di gestire la Chiusa dei Monaci, diga regolante l'immissione delle acque in Arno, nel 1787-89 fu affrontato un progetto di "colmata generale" sotto la direzione dell'idraulico Fossombroni, sostituito nel 1828 dall'allievo Manetti (Azzaroli e Rombai, 1991). L'operazione portò al livellamento della pendenza della valle che fu regolata - servendosi di opportune "colmate" ed "essiccazioni" (drenaggi a gravità dei terreni più alti) - per il deflusso in Arno. Contemporaneamente furono eseguite grandi opere per l'appoderamento e la produzione agricola secondo i nuovi dettami della bonifica integrale in modo che la Valdichiana risultò l'esempio migliore per mostrare le possibilità di riscatto dell'applicazione delle nuove teorie su territori in origine malsani e in continuo disordine idraulico.

Analogamente in Valdinievole l'azione di Pietro Leopoldo, secondo le concezioni della "bonifica integrale" si concentrò nell'edificazione del centro termale di Montecatini (a partire dal 1773) e nella bonifica idraulica dei territori di pianura, visto che quelli delle colline contermini risultavano già in buone condizioni. Nel 1780 fu aperta la pescaia di Ponte a Cappiano che in precedenza "teneva in collo" le acque del Padule di Fucecchio e ne allargava le dimensioni. Seguirono lo scavo di canali drenanti minori, la messa in colmata di terreni marginali alla parte centrale del padule, la costruzione di edifici colonici nei terreni prosciugati.

Il successo della bonifica in Valdichiana e in Valdinievole spinse molti proprietari agricoli in specie dal primo Ottocento ad eseguire bonifiche in proprio, o riuniti in consorsi o, nei casi più impegnativi, con la partecipazione governativa. Azzari e Rombai (1991) ricordano gli importanti lavori eseguiti nel Valdarno superiore (nelle fattorie Ricasoli di Terranova Bracciolini, Rinuccini di Renacci, Lorena di Laterina), nella Valdelsa (nella fattoria Guicciardini di Cusona, Ridolfi di Meleto, Pucci di Granaiole), nel Valdarno inferiore (nella fattoria Lawley di Montecchio). Della Rocca et al. (1987) ricordano ancora le colmate eseguite in quegli anni nei bassofondi del Faldo e del Gonfo nella Pianura Meridionale Pisana e, in genere, ai limiti della grande area depressa di Stagno. E, ancora, nella Pianura Settentrionale Pisana i Salviati misero in colmata ampi territori in destra di Serchio nella tenuta di Migliarino (Mazzanti, 1988).

Contemporaneamente anche nella Pianura Versiliese, malgrado la suddivisione politica in una parte estense, in una lucchese e in una granducale, con la conseguenza di una dispersione delle operazioni idrauliche in vari episodi frammentari di scarso successo (Azzari, 1993), nella seconda metà del Settecento, con l'introduzione delle cateratte automatiche dello Zendrini che permettevano il deflusso della marea calante mentre impedivano l'afflusso di quella montante, fu ottenuto un buon drenaggio dei canali interni con la regolazione del livello del Lago di Massaciuccoli e dei numerosi acquitrini ad esso contermini e di alcuni di quelli intradunari.

Nel 1830 la situazione idraulica del Valdarno inferiore - Piana di Lucca, presenta il Lago di Massaciuccoli, il Lago di Bientina e il Laghetto di Sibolla con le aree palustri residue di contorno, le lame costiere a Sud dell'Arno e ancora residue aree palustri intorno Coltano, presso Asciano e al centro della depressione di Fucecchio. Sono queste le aree del Valdarno e del Valdiserchio dove erano rimaste zone umide di notevoli dimensioni. Il loro prosciugamento sarà ottenuto con il sistema dell'"essiccamento" per il Lago di Bientina, mentre la bonifica degli altri paduli e lame costiere sarà resa possibile solo con l'istallazione delle idrovore tra la fine dell'Ottocento e gli anni '30 del Novecento.

L' "essiccamento" del Lago di Bientina è l'ultima operazione idraulica progettata dal Manetti, direttore generale delle acque e strade e delle fabbriche civili di Leopoldo II di Asburgo- Lorena, terminata nel 1859 alla soglia dell'Unità d'Italia. La realizzazione del progetto, ultimo di una lunghissima serie di altri studi e proposte eseguiti da "lucchesi" e "toscani" almeno fino dal Quattrocento, fu favorita dall'annessione del Ducato di Lucca al Granducato di Toscana nel 1848 e dopo i non eccellenti risultati dei numerosi canali drenanti le acque del lago in Arno (Ceccarelli Lemut et al., 1994), ultimo della serie il Canale Imperiale scavato nel 1757. Fu deciso di scavare un nuovo Canale Emissario che venne fatto passare "in botte" sotto l'Arno e quindi allacciato al nuovo lungo Canale Arnaccio, rimodellato sul percorso del Rio Pozzale con sbocco nel Calambrone di Livorno.