

CANADA NORTHWEST ITALIANA S.P.A.

SEZIONE IDROCARBURI di ROMA
I. N.
Prot. N. 1498

IM 303-2

Studio Fotogeologico del Permesso Viareggio

Eseguito da:

P. Facibeni

G. Moscardi

P. Nafissi

GEOMAP Studio Geologico
Firenze, Aprile 1989

I N D I C E

1. INTRODUZIONE.....	1
2. METODOLOGIA.....	3
3. CARTA DEI VINCOLI PAESAGGISTICI E MILITARI.....	9
4. CARTA MORFOLOGICA.....	11
4.1 RETICOLO IDROGRAFICO.....	11
4.2 CONTRASTO MORFOLOGICO.....	15
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	17
5.1 FASCIA COLLINARE-MONTANA.....	24
5.2 FASCIA COSTIERA.....	28
6. EVOLUZIONE NEOTETTONICA.....	36
7. CARTA GEOLOGICA.....	40
7.1 UNITA' METAMORFICHE TOSCANE.....	40
7.2 UNITA' DELLE BRECCIE DELLA VERSILIA.....	41
7.3 UNITA' TOSCANE.....	42
7.4 UNITA' SUBLIGURI.....	49
7.5 UNITA' LIGURI.....	51
7.6 DEPOSITI OLOCENICI.....	52
8. ANALISI DEI DATI DI SOTTOSUOLO.....	57
9. ANALISI DELLE FRATTURE.....	62
9.1 CAMPO TOTALE DELLE FRATTURE.....	63
9.2 LINEAZIONI DA IMMAGINI LANDSAT.....	65
10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	68
11. BIBLIOGRAFIA.....	75

FIGURE

FIG.1 - CARTINA DI INQUADRAMENTO.....	1
FIG.2 - EVOLUZIONE SCHEMATICA DELL'APPENNINO	18
FIG.3 - FORMAZIONE DEL SUBSTRATO PROFONDO ED INTERMEDIO.	20
FIG.4 - SEZIONE STRUTTURALE ATTRAVERSO LA CATENA APPENNINICA	21
FIG.5 - BACINO NEOTETTONICO DELLA VERSILIA.....	30
FIG.6 - SEZIONI STRATIGRAFICHE (A-A', B-B').....	62
FIG.7 - SEZIONI STRATIGRAFICHE (C-C', D-D', E-E').....	62
FIG.8 - SEZIONI STRATIGRAFICHE (F-F', G-G').....	62
FIG.9 - CONFRONTO TRA I DIAGRAMMI DI DISTRIBUZIONE AZIMUTALE DEL CAMPO TOTALE DELLE FRATTURE E DELLE LINEAZIONI DA IMMAGINI LANDSAT.....	65
FIG.10 - LINEAZIONI DA IMMAGINI LANDSAT.....	66

TAVOLE A SCALA 1:25.000

ALL.1 CARTA DEI VINCOLI
ALL.2 CARTA DEL RETICOLO IDROGRAFICO
ALL.3 CARTA DEL CONTRASTO MORFOLOGICO
ALL.4 CARTA GEOLOGICA
ALL.5 CARTA DEL CAMPO TOTALE DELLE FRATTURE
ALL.6 CARTA STRUTTURALE

Inoltre, per aiutare maggiormente la programmazione delle fasi successive della ricerca, abbiamo sottolineato la presenza di tutti i vincoli paesaggistici e militari che maggiormente interferiscono nello svolgimento di una campagna sismica.

Durante la fase fotointerpretativa è stato eseguito, nel periodo compreso tra il 13 ed il 18 marzo, un sopralluogo sul terreno finalizzato, non solo ad eseguire una taratura delle chiavi fotointerpretative, ma anche ad approfondire le conoscenze litostratigrafiche delle rocce lapidee costituenti la cintura collinare che delimita a settentrione e ad occidente la vasta area pianeggiante.

Lo studio iniziato nel febbraio del presente anno con il reperimento della maggior quantità possibile di informazioni relative anche al sottosuolo ed all'acquisto e lettura delle foto aeree e delle immagini da satellite, è terminato alla data del presente rapporto (Aprile 1989).

2. METODOLOGIA

Lo studio fotogeologico è stato impostato secondo una procedura tendente a focalizzare l'interpretazione dei dati geomorfologici di superficie in chiave strutturale ed a privilegiare quindi gli elementi considerati indizi o riflessi della struttura.

Ciò in particolar modo nella porzione del permesso dove è presente una potente coltre di sedimenti incompetenti plio-quadernari che sono anche l'obiettivo della ricerca.

Le tre diverse linee di approccio consistenti, la prima nello studio delle forme delineate dalla distribuzione degli affioramenti e della loro stratimetria, eseguito con metodo tradizionale (direttamente sul terreno) e tramite fotointerpretazione, la seconda nella identificazione della morfologia superficiale operata tramite fotointerpretazione, la terza infine nell'analisi delle lineazioni rilevate dalla lettura delle foto aeree e dalle immagini da satellite, hanno permesso, tramite anche una accurata analisi dei dati bibliografici, la compilazione di documenti cartografici di tipo geologico, morfologico e strutturale.

Per approfondire la conoscenza litologico-strutturale della notevole coltre di sedimenti plio-quadernari oggetto della ricerca, che interessano una gran parte dell'area di studio, sono state privilegiate le direttrici di approccio

morfologico (energia del rilievo) e strutturale (lineazioni da immagini da satellite).

Inoltre le notizie relative a stratigrafie di perforazioni eseguire, quelle più profonde per ricerche idriche e quelle meno profonde (15-20 m) per scopi geotecnici, hanno permesso di approfondire le conoscenze litologiche relative allo spessore più superficiale della coltre e di conseguenza il disegno, unitamente ai dati ottenuti dalla fotointerpretazione, di alcune sezioni geologiche.

La metodologia adottata si basa più che sui singoli risultati delle tre serie di dati (stratimetria, morfologia lineazioni) sull'analisi dei fattori che legano insieme i tre approcci ed inoltre siano riferibili a qualche caratteristica strutturale pertinente al problema.

I documenti utilizzati per il presente studio sono:

- fotografie aeree stereoscopiche in bianco e nero volate nel 1978 a scala 1:33.000 circa;
- ingrandimenti a scala 1:150.000 di fotografie stereoscopiche in bianco e nero scattate dal laboratorio orbitante "SkyLab" da circa 350 chilometri, nel 1973;
- ingrandimenti a scala variante da 1:50.000 ad 1:250.000 di immagini Landsat, tipo MSS e TM in falso colore;
- carte topografiche IGM a scala 1:25.000 aggiornate dalla Regione toscana nel 1978;

- carta geologica d'Italia a scala 1:100.000 foglio 104 Pisa.
- bibliografia esistente di cui è dato elenco al cap. 11.

Il coordinamento di tutti i dati originali e bibliografici raccolti, ha reso possibile il riconoscimento di forme e di relazioni simmetriche superficiali e comuni a più gruppi di dati, le quali possono rispecchiare condizioni strutturali profonde.

La carta fotogeologica (All.4) offre informazioni sulla distribuzione ed assetto delle varie formazioni che interessano l'area di studio ed in particolare di quelle che ne costituiscono i rilievi.

Nella porzione pianeggiante, dove è presente una potente coltre di depositi incoerenti, può risultare più idonea l'analisi del reticolo idrografico (All.2) se questo non è stato fortemente condizionato da canalizzazioni artificiali.

La carta del reticolo idrografico sottolinea non solo lo scorrimento superficiale delle acque ottenuto integrando quello della carta topografica IGM a scala 1:25.000 con le annotazioni delle foto aeree ma anche altri elementi morfologici quali orli di terrazzi, depressioni carsiche e spartiacque principale.

Sulla carta sono state sottolineate le maggiori forme di

drenaggio orientato e le deviazioni o forme anomale di scorrimento delle acque superficiali derivanti da probabili deformazioni strutturali.

Dove il reticolo idrografico è stato totalmente sostituito da canalizzazioni artificiali, allora il solo approccio più significativo è rappresentato dalla analisi del contrasto morfologico (All.3).

Il documento viene costruito calcolando la differenza tra quote massime e minime all'interno di una maglia di 1 km² di superficie e tracciando, in base a tale differenza, le curve di isocontrasto.

L'analisi del rilievo ottenuta tramite questo elaborato, fornisce valori quantitativi sulla velocità ed intensità dell'erosione, permettendo quindi una ricostruzione dell'evoluzione morfologica di una regione, nei tempi più recenti.

Il confronto tra quanto emerge dal contrasto morfologico ed i dati della neotettonica sottolinea interessanti coincidenze ed offre utili informazioni.

L'analisi delle fratture consiste essenzialmente nello studio di tutti quegli elementi lineari che possono essere osservati sulle fotografie aeree e sulle immagini da satellite. In altre parole essa consiste nel selezionare tutte le forme che hanno in comune la peculiarità d'intersecare il piano orizzontale con una linea pressoché dritta,

espressione di una deformazione che interessa un ragguardevole spessore litologico al di sotto della superficie attuale.

Tali forme risultano individuabili tramite:

- linee di rottura delle formazioni affioranti spesso con spostamento orizzontale o verticale, o netti limiti tra unità litologiche diverse;
- allineamenti di dettagli morfologici, come scarpate diritte, rotture di pendio, allineamenti di drenaggio;
- allineamenti di vegetazione o tipo diverso o diversa densità in aree coperte da vegetazione fitta. Questo fatto è dovuto al diverso grado di umidità esistente lungo linee di fratturazione;
- linee tonali o limiti diritti;
- allineamenti di microdettaglio od associazione di due o più degli elementi descritti sopra.

Lo studio delle fratture si basa sull'esame di una serie di documenti derivati da elaborazioni statistiche del campo totale delle fratture. (All.5).

L'elaborazione statistica delle fratture è stata eseguita per via digitale secondo un apposito programma che consiste nella:

- digitalizzazione delle fratture e calcolo della loro posizione rispetto ad un sistema di coordinate geografiche

- prestabilito;
- classificazione delle fratture secondo due classi (certe ed incerte) e per azimuth (8 classi ciascuna di ampiezza pari a $22^{\circ}30'$);
- disegno automatico del campo totale delle fratture,
- calcolo dei diagrammi azimutali.

Per la ricostruzione della struttura regionale e conseguentemente anche del substrato che fa da contenitore all'abbondante copertura di depositi inconsolidati, risulta di particolare utilità la lettura e l'analisi delle linee-zioni lunghe da satellite.

Infatti la maggior penetrazione di questo tipo di immagine e soprattutto la visione contemporanea e globale che essa offre dell'intera area, facilita l'individuazione nelle zone coperte da coltre detritiche, di quelle dislocazioni tettoniche che sono la prosecuzione delle fratture riconosciute e classificate nelle circostanti aree collinari e montane.

Infine l'analisi di tutti i dati prodotti e raccolti sia di superficie che di sottosuolo, hanno permesso di compilare l'allegato 6 "Carta strutturale".

Questa non solo sintetizza le principali caratteristiche geostrutturali dell'area ma sottolinea anche le interpretazioni strutturali coerenti con i dati forniti.

3. CARTA DEI VINCOLI PAESAGGISTICI E MILITARI

La programmazione e la successiva esecuzione di una campagna sismica nella porzione pianeggiante dell'area del "Permesso", incorporata per una rilevante estensione nell'area protetta del Parco Naturale di Migliarini-S. Rossore-Massaciuccoli, ha reso indispensabile l'esatta delimitazione dello stesso.

A tale scopo è stata preparata una "Carta dei Vincoli" (All.1) nella quale abbiamo evidenziato tutte quelle aree che per uno studio particolare e mirato, necessitano di un permesso ottenibile presso gli Enti preposti alla gestione ed all'amministrazione delle aree stesse.

Nell'area del permesso la libera circolazione risulta limitata principalmente da vincoli militari e paesaggistici.

I primi sono rappresentati da aree di limitate dimensioni, ma invalicabili in quanto utilizzate per caserme, poligoni e depositi in genere, ubicate tutte a sud di una linea congiungente i centri abitati di Migliarino Pisano e S. Giuliano Terme.

L'esatta ubicazione di queste aree è stata richiesta alla 7ª Direzione Genio Militare di Firenze - Via Cavour, 49.

I secondi occupano, come già precedentemente accennato, la quasi totalità della porzione pianeggiante dell'area ubicata a sud di viareggio.

La sede del Consorzio del Parco Naturale di Migliarino-S. Rossore-Massaciuccoli, ha sede in Via Cesari Battisti, 10 (tel. 055/43512), in tale ufficio va presentata domanda specificando lo scopo e le operazioni che saranno eseguite in fase di campagna geofisica.

Domande similari dovranno essere presentata alle tre amministrazioni Azienda Serchio Vecchio, S.B. Talee ed Amministrazione Stonigiana, in cui è suddivisa la Proprietà Salviati con sede nella villa Salviati di Migliarino Pisano ed ai Comuni di Viareggio, Vecchiano e Massarosa, proprietari di porzioni più o meno estese del Parco.

4. CARTA MORFOLOGICA

Gli elementi morfologici presi in considerazione in questo studio sono condensati nelle carte del reticolo idrografico (All.2) e del contrasto morfologico (All.3).

4.1 RETICOLO IDROGRAFICO

Come è noto la forma del reticolo idrografico è la risultante di una serie di parametri quali l'erosione, la deformazione strutturale, la litologia e l'assetto.

In particolare il reticolo idrografico si rivela sensibile dell'effetto di diaclasi e di fratture riferite anche ai movimenti più recenti ed alla direzione degli strati.

Orientamenti rettilinei del drenaggio, forme circolari e centrifughe, bruschi cambiamenti del pattern e deviazioni anomale possono rivelare movimenti verticali differenziali ed una disposizione particolare degli strati che hanno un significato importante per la ricerca e la definizione della struttura locale.

Analizzando la tavola nel suo insieme, si ha una conferma di quanto mostrano le carte geologica e del campo totale delle fratture. E' ben visibile, dal pattern del reticolo, la distribuzione areale dei vari tipi litologici, il condizionamento, dovuto a grosse fratture, del corso dei fiumi più importanti, la presenza di terreni terrazzati e della vasta area pianeggiante costituita dai sedimenti quater-

nari.

Nel dettaglio il documento sottolinea: un drenaggio ad alta densità e ben gerarchizzato nella porzione orientale collinare e montana; abbondanti vestigia di drenaggio fossile evidenziato da paleoalvei e meandri abbandonati nell'estrema porzione meridionale; una sequenza di impluvi paralleli che non necessariamente adducono la totalità dell'acqua in canali emissari ad essi perpendicolari nella porzione sud-occidentale delle dune costiere; infine nella fascia mediana parallela alla catena montuosa, uno scorrimento delle acque è prevalentemente costituito da canali artificiali, che nella zona a sud di Viareggio Massarosa fungono da immissari e da emissari del Lago di Massaciucoli.

- Il reticolo idrografico nell'area collinare montana nord-orientale, è fortemente condizionato dalle numerose strutture disgiuntive che lo caratterizzano. Risulta subito evidente la forte presenza di quattro direttrici principali e precisamente la NW, la N-S, la E-W e la NE. Mentre le prime due sono distribuite su tutta l'area, le altre risultano concentrate: la EW nella porzione meridionale e settentrionale, la NE solo in quest'ultima con preferenza degli estremi orientale e occidentale. Tale situazione risulta coerente con quanto emerge dall'analisi delle fratture lette sia sulle foto aeree

che sulle immagini da satellite.

Le anomalie più evidenti sono quelle a forma circolare segnalate: una nell'estremità nord-occidentale in prossimità di Camaione; l'altra nella porzione sud-orientale fra Filettole e Nozzano.

Altre anomalie rappresentate da deviazioni ben marcate anche se limitate arealmente, possono essere attribuite non solo alla componente strutturale ma probabilmente anche a quelle stratimetrica e litologica.

Il drenaggio centrifugo è limitato a pochissime zone in quanto la quasi totalità degli spartiacque ha un andamento allungato e disposto lungo varie direzioni azimutali.

La presenza di impluvi con andamento subparallelo allo spartiacque principale che divide i fiumi afferenti nella piana versiliese e quelli tributari del Fiume Serchio, è conseguente alla forte influenza sul reticolo idrografico della tettonica e della stratimetria.

Questa ultima unitamente alla litologia influenza in maniera determinante la densità e la forma del drenaggio.

Il pattern dendritico e ad elevata densità che caratterizza l'area di affioramento del Macigno compresa tra Massarosa, Piazzano e Camaione, contrasta chiaramente con uno a densità minore di tipo subparallelo impiantatosi sulle litologie, prevalentemente carbonatiche ed

argilloscistose, della Serie Toscana e di quelle Liguri. Nella formazione carbonatica del calcare massiccio, che affiora a nord di Vecchiano, sono stati sottolineati alcuni effetti di fenomeni carsici che possono essere assimilati a doline ed uvala.

- Nella porzione meridionale sono stati evidenziati una serie di paleoalvei e di meandri abbandonati appartenenti al Fiume Serchio, adesso contenuto entro potenti argini artificiali.

La banda interessata da tale fenomeno ha una larghezza massima di 5-6 km.

- Nella parte sud-occidentale la progradazione della piana tramite una sequenza di dune costiere, ha originato una serie di canali interdunari paralleli all'asse delle dune stesse in cui defluisce o ristagna l'acqua meteorica.

Questo tipo di drenaggio, attribuibile esclusivamente a condizioni morfologiche, presenta un pattern di tipo parallelo ed angolare.

- Nessuna considerazione può essere fatta là dove il reticolo idrografico risulta totalmente condizionato da fattori antropici.

4.2 CONTRASTO MORFOLOGICO

L'informazione principale che la carta del contrasto morfologico (All.3) offre si riferisce al bilancio fra l'erosione e la deposizione, in una certa area a confronto con altre, quando i fattori che influenzano il contrasto morfologico stesso siano conosciuti ed omogenei in tutta la zona in esame.

Premesso che generalmente la deposizione genera movimenti di subsidenza e l'erosione movimenti di sollevamento, tali fenomeni sono tradotti, nella carta del contrasto morfologico, il primo in un modello di curve rade e con bassi valori di contrasto, il secondo in un modello di curve più tormentate, più ravvicinate e con alti valori di contrasto. Gradienti rapidi di curve o allineamenti di forme, possono suggerire rapidi mutamenti di condizione e quindi presenza di faglie anche in movimento recente.

Per quanto sopradetto ci sembra di poter stabilire che nella porzione di piana compresa tra i cordoni dunari ed i rilievi orientali, porzione sottolineata dai valori minimi in assoluto di contrasto, esistono le condizioni di un generale stato di subsidenza; nell'area collinare e montana al contrario, vi sono indizi di un certo sollevamento sottolineato dai valori massimi di contrasto presenti nella zona ed in particolare nella banda costituita da una serie di anomalie positive ad andamento NW-SE tra Mommio e Fib-

biano, e N-S tra Fibbiano e M. Niquila.

La presenza, sia di un elevato addensamento di isocontrasto al margine occidentale dei rilievi, sia degli allineamenti di forme nell'intera area, suggeriscono la presenza di importanti faglie sottolineate anche dai dati raccolti tramite altre vie di approccio.

Le ipotesi che potrebbero essere formulate osservando le curve sulla fascia costiera, sono suggerite da valori poco contrastati che non trovano un sicuro avallo nei dati provenienti da indagini di sottosuolo o da altre vie di approccio.

Inoltre ci sembra possibile ipotizzare che i probabili, relativi movimenti orizzontali delle limitate aree siano da attribuire a variazioni morfologiche e quindi a fenomeni che interessano la coltre più superficiale; questo vale probabilmente anche per l'anomalia positiva di "Sterpaia" che ha certamente condizionato la geometria della foce del Fiume serchio.

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto del permesso di ricerca "Viareggio" comprende la fascia costiera della Versilia, che da Forte dei Marmi si estende fino alla Macchia di S. Rossore ed il cui elemento caratteristico è il bacino di Massaciuccoli, nonché la modesta catena dei Monti d'Oltre Serchio e le pendici collinari e montane che delimitano a sud-ovest il nucleo delle Alpi Apuane.

Data la marcata caratterizzazione fisiografica e strutturale dei settori sopra definiti, tratteremo dapprima separatamente le varie aree descrivendone i caratteri litologici e inquadrando ciascuna in una propria storia evolutiva, per poi passare ad una sintesi che ne evidenzii i rapporti specifici nel quadro di una tentativa interpretazione regionale.

Le alture che interessano l'intero settore nord-orientale dell'area investigata si inseriscono all'interno della configurazione geomorfologica dell'Appennino Settentrionale, di cui costituiscono quella che in letteratura è nota come Dorsale medio-toscana, caratterizzata sul versante tirrenico da una complessa struttura ad horst e graben, evolutasi con il concorso di movimenti verificatisi lungo importanti sistemi di faglia tipo "strike slip".

La subsidenza dei graben ha avuto inizio durante il Torto-

niano superiore nell'area attualmente occupata dal mar Tirreno e dalla Toscana occidentale e si è successivamente spostata verso est in conseguenza della traslazione verso oriente della spinta orogenica appenninica (Fig 2).

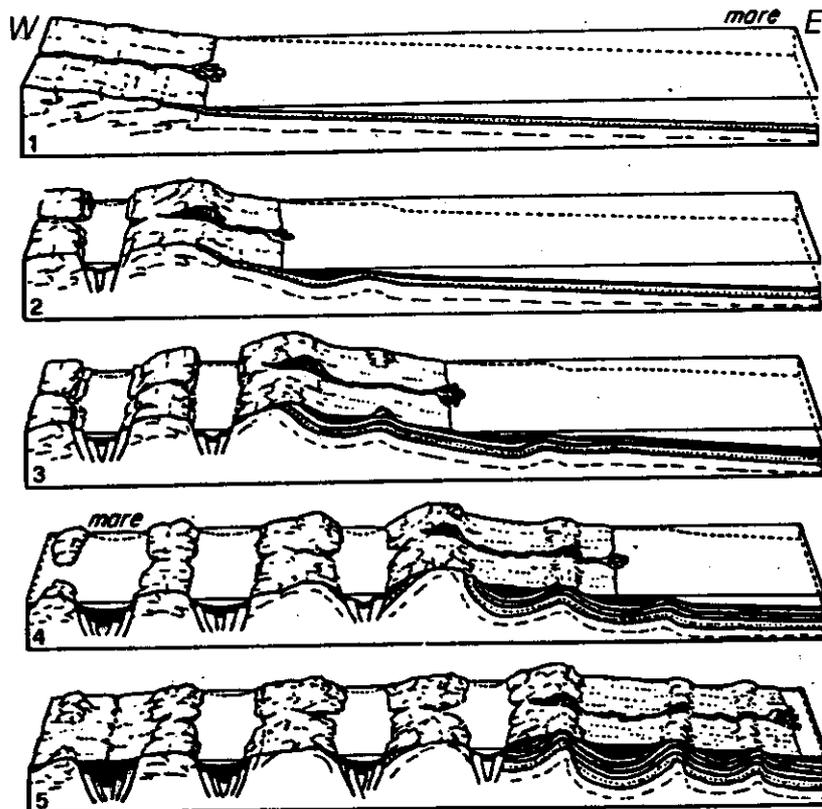


Fig.2 - Evoluzione schematica dell'Appennino con migrazione verso est della spinta orogenica.

L'andamento dello spartiacque principale della catena appenninica costituisce il limite attuale di tale migrazione, determinando inoltre una netta separazione fra il settore tirrenico in distensione e quello adriatico interessato invece da strutture compressive est-vergenti.

Il regime di tensione instauratosi sul lato occidentale della catena è stato probabilmente intermittente e caratterizzato da rapida subsidenza ad ovest di ciascuna nuova struttura rialzata.

Durante le prime fasi della migrazione si è verificato un notevole assottigliamento della crosta correlato all'attivazione di faglie normali che avrebbero determinato aree subsidenti (graben) e aree tettonicamente attive o passive (horst), in un contesto di bilanciamento isostatico (Fig.3).

La superficie della discontinuità di Mohorovicic infatti è stata individuata ad una profondità di appena circa 20 km nell'Arcipelago Toscano, mentre raggiunge e supera i 40 km sulla perpendicolare dell'asse della catena.

I processi evolutivi rendono ben conto della complessità delle sequenze stratigrafiche depostesi nel Mar Tirreno e in Toscana durante vari episodi di subsidenza e sollevamento, in cui assumono particolare rilevanza le fasi di erosione.

I sedimenti messi in posto durante la fase distensiva (Miocene sup.-Pleistocene inf.) sono comunemente noti come "Complesso Neoautoctono", in riferimento al fatto che si sono deposti in loco dopo l'arrivo dei "Complessi Alloctoni", quest'ultimi costituiti da sequenze sedimentarie pa-

FORMAZIONE DEL SUBSTRATO PROFONDO E INTERMEDIO

da AA.VV. (1986)

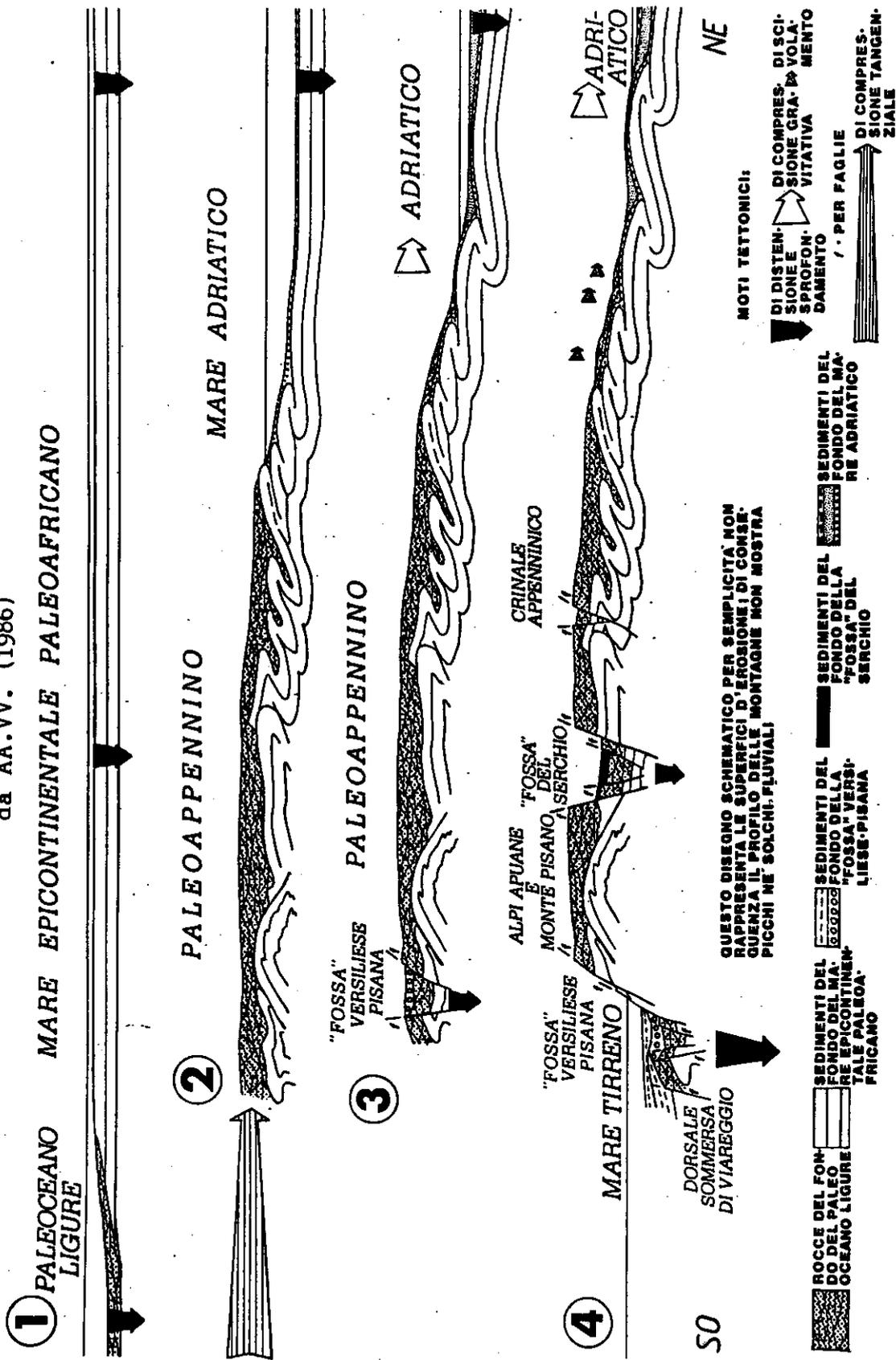


Fig.3 - Formazione del substrato profondo e intermedio - Nella Pianura di Pisa si può riconoscere un substrato «profondo» costituito da rocce formatesi in un lungo intervallo di tempo, dal Trias medio (210 MA - milioni di anni da oggi) al Miocene inf. (25 MA). In 1 sono rappresentate le aree nelle quali queste rocce si sono formate con riferimento alla situazione nel Giurese sup. (150 MA); il Paleocene Ligure nel quale si formavano le Serie Liguri e il Mare epicontinentale Paleoafricano nel quale si formava la Serie Toscana. In 2 è rappresentata la nascita del Paleoafricano (Miocene inf.-medio da 20 a 15 MA) in seguito a forti spinte tangenziali da Ovest, con accavallamento delle Serie Liguri sopra quella Toscana e individuazione del Mare Adriatico verso Est. In 3 (Miocene sup. 12 MA) inizia lo sprofondamento della Fossa tettonica Versiliese-Pisana nella quale cominciano a depositarsi i sedimenti del substrato «intermedio» della Pianura di Pisa e che affiorano nelle Colline Pisane (Sezione della Strada degli Archi in 1 di fig. 3). La formazione del substrato «intermedio» viene per convenzione fatta terminare con la fine del Pleistocene inf. (0,8 MA), quando iniziano importanti variazioni del livello del mare, dovute ad eustatismo glaciale e fortemente incidenti nella formazione delle pianure litoranee. In 4 la situazione attuale.

leogeniche appartenenti al dominio Subligure, a sua volta tettonicamente sovrascorso da formazioni del dominio Ligure, quest'ultimo comprendente relitti del basamento oceanico e la loro copertura sedimentaria di età Giurassico sup.-Cretaceo inf.

Le sequenze del dominio Subligure vengono comunemente attribuite ad un'area di transizione ubicata fra il dominio Ligure a crosta oceanica e quello Toscano che ricopre il substrato continentale.

Quest'ultimo comprende sequenze sedimentarie tipiche di un margine continentale esteso in età dal Trias inf.-medio al Miocene sup.

La struttura attuale della catena appenninica costituita da un edificio a falde di ricoprimento, realizzatosi a seguito di una serie di eventi tettonici e geodinamici compresi in un arco di tempo che va dal Cretaceo superiore al Tortonianiano mostra (Fig.4) come le formazioni Liguri siano impilate e sovrascorse sia su quelle del dominio interno Toscano (Falda toscana), che direttamente al tetto delle unità Subliguri. Il metamorfismo, di solito assente, è comunque di grado molto basso.

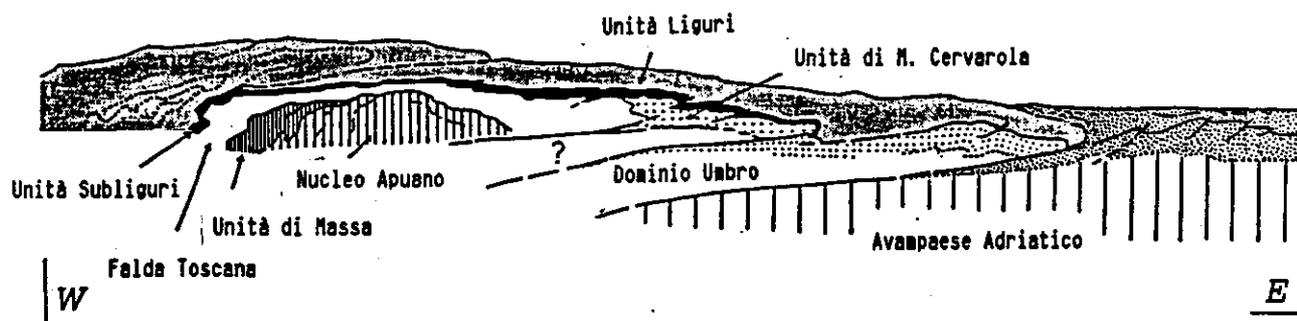


Fig. 4 - Sezione strutturale attraverso la catena appenninica.

Queste sequenze sono a loro volta sovrascorse, scollandosi a livello delle evaporiti triassiche, dal substrato paleozoico ed in parte triassico sul dominio Toscano esterno comprendente l'Unità di Massa e la Successione Toscana Metamorfica, in cui il metamorfismo raggiunge il grado degli scisti verdi. La sovrapposizione, attuata nell'Oligocene superiore, secondo altri Autori nel Miocene inferiore, sarebbe stata favorita dalla deformazione di una zona di taglio ensialico.

Nell'area in esame i terreni appartenenti al nucleo apuano non sono visibili, in quanto risultano coperti dalla Falda toscana, mentre vengono comprese vaste aree, ad ovest di Camaiore in cui affiora il complesso metamorfico in facies di scisti verdi ("Verrucano") noto in letteratura come Unità di Massa. Il debole grado metamorfico epizonale di

età alpina risulta in questo caso più elevato delle Unità toscane metamorfiche.

Al di sopra della Falda toscana affiora, frammentato in klippe, l'Alloctono Ligure, ben esposto presso Luciana, Bargecchia e Corsanico.

Non volendo entrare nel merito delle problematiche relative alla storia geologica dell'edificio apuano, peraltro ancora aperte e soggette a diverse interpretazioni, facciamo tuttavia presente come tutti gli Autori concordino sull'esistenza di multiple fasi deformative, anche precedenti alla messa in posto delle Unità geometricamente superiori, che avrebbero coinvolto un tratto di crosta continentale ercinica e della sua copertura.

La compressione orogenica si sarebbe prolungata per tutto il Miocene, comportando un ripiegamento tardivo delle strutture apuane e la formazione di un edificio molto complesso ad andamento generale cupoliforme.

Nei dintorni di Camaione i rapporti di sovrapposizione dell'Unità toscana non metamorfica su quella metamorfica sono evidenziati dal rinvenimento, nella parte basale della Falda toscana, di livelli estesi e potenti di brecce poligeniche, tradizionalmente ritenute di origine tettonica e assimilate senza distinzione cartografica al calcare cavernoso triassico con il quale si trovano in parte associate, ma al quale non corrispondono invece né per l'età (Miocene

inf.) nè come genesi.

Queste breccie, studiate recentemente da vari Autori, presentano una composizione poligenica con clasti riferibili prevalentemente alle formazioni toscane, sia metamorfiche che non; per tale motivo perciò esse non sono sicuramente attribuibili al Trias, sebbene occupino apparentemente la posizione geometrica delle formazioni triassiche. I fossili e le strutture presenti conferiscono a questa facies caratteri di breccie di natura sedimentaria.

Le breccie poligeniche vengono interpretate diversamente dagli Autori in base alla loro posizione strutturale, ai rapporti promiscui con il calcare cavernoso ed infine ai caratteri sia di breccia sedimentaria che tettonica.

Esse vengono quindi assimilate a depositi sintettonici miocenici contemporanei a fasi di movimenti della Falda toscana, a breccie tettoniche di frizione alla base della stessa e a depositi quaternari di rielaborazione sotterranea di un'originaria breccia tettonica.

Le sequenze stratigrafiche della Serie toscana presentano rilevanti variazioni di facies e di spessore che dipendono sia dalla complessa paleogeografia tardo triassico-liassica inferiore, sia dalla successiva evoluzione tettonica che, dominata nelle fasi più tarde da fenomeni di tipo distensivo, ha determinato zone strutturali con caratteri tettono-sedimentari differenziati.

A seguito di ciò nelle zone tettonicamente rilassate si

sono impostate situazioni bacinali di spessore rilevante (Monti d'Oltre Serchio, il Monte) con torbiditi, brecce e fenomeni di disturbo sinsedimentario.

Nelle zone tettonicamente rilevate si sono deposte al contrario, successioni giurassiche condensate, talora con lacune sedimentarie e discordanze stratigrafiche (alto di Mommio) che giustificherebbero un'attenuazione fin dal Lias inferiore. Notiamo al riguardo come nei dintorni di Camaiore il macigno poggia su terreni sempre più antichi fino a trovarsi direttamente a contatto con lembi di calcare cavernoso ed il Verrucano presenti alla base delle Falda toscana contenuti nell'Unità delle brecce poligeniche.

5.1 FASCIA COLLINARE-MONTANA

I monti di Massarosa rappresentano una zona di raccordo geologico fra le Alpi Apuane e i Monti Pisani; essa può essere considerata, nel quadro evolutivo sopra descritto, un'area tettonicamente depressa, che ha permesso il richiamo di materiale sovrascorso ed il suo mantenimento nel tempo, dato che a causa della minor energia di rilievo, è stata meno intaccata dall'erosione.

Pertanto a monte del lago di Massaciuccoli sono conservati sia lembi di Liguridi sia la parte alta della Falda toscana, fra cui il macigno, che costituisce le alture dalle quali viene drenato il maggior quantitativo di detriti sabbiosi verso l'area del lago.

Il macigno affiora molto estesamente in tutta l'area presentando ampie ondulazioni e poggiando spesso in discordanza sui terreni geometricamente inferiori, che risultano invece più intensamente piegati. La forte disarmonia fra le deformazioni del macigno e quelle delle Unità sottostanti deriva sicuramente da complicazioni indotte dai sovrascorimenti all'interno della stessa Falda toscana, che hanno portato alla formazione di una struttura a scaglie tettoniche.

Nell'ambito delle formazioni della Serie toscana non metamorfica vi è una notevole presenza di rocce carbonatiche, rappresentate soprattutto dalla formazione della maiolica, spesso intensamente dislocate e fessurate.

I Monti d'Oltre Serchio sono costituiti da una serie di alture, la cui successione sedimentaria risulta praticamente identica a quella dei vicini Monti Pisani.

Si possono riconoscere due nuclei essenziali, quello meridionale d'Oltre Serchio e quello settentrionale di Massarosa, circondati dal macigno e dal Quaternario recente che forma la pianura costiera. I due nuclei risultano separati da un vasto affioramento di macigno che tuttavia sembra appartenere al nucleo settentrionale. Entrambi i terreni mesozoici che ne formano l'ossatura, presentano assi tettonici orientati secondo direzioni appenniniche.

Caratteristica del nucleo d'Oltre Serchio è la limitatezza

dei lembi di copertura della Serie toscana (scisti policromi, brecciole nummulitiche e macigno), pur sempre in posizione normale nella Serie stessa.

In questo nucleo si distinguono due unità tettoniche separate da una faglia normale il cui piano immerge verso nord e in corrispondenza della quale si interrompe la continuità delle formazioni adiacenti verificandosi inoltre un repentino cambiamento nella direzione degli assi tettonici che da N-S nella parte meridionale deviano in direzione NNW-SSE in quella settentrionale.

Le formazioni rispettano una certa struttura monoclinale con strati immergenti verso il Tirreno e inclinazione decrescente verso est.

Una seconda faglia longitudinale ad est del M. Niquila sembra aver determinato la ripetizione tettonica della serie.

Il nucleo d'Oltre Serchio è limitato a nord da una evidente faglia trasversale, per effetto della quale tutte le formazioni risultano interrotte e spostate, che può essere seguita lungo la strada Massaciuccoli-Balbano. A nord di essa affiora esclusivamente il macigno che sostanzialmente appare in serie regolare con i terreni del nucleo di Massarosa. Lo spostamento orizzontale delle formazioni lungo il piano di faglia, immergente verso sud, raggiunge i due chilometri e mezzo.

Per quanto riguarda la scarsa potenza delle formazioni sov-

rastanti il calcare massiccio, valgono le considerazioni trattate precedentemente nonché l'ipotesi di alcuni Autori (Giannini e Nardi, 1965) che pongono in evidenza, durante la dinamica evolutiva della Falda toscana, la suddivisione in scaglie distinte sovrapposte e separate da importanti superfici di laminazione che avrebbero determinato la riduzione di spessore e la scomparsa di interi orizzonti stratigrafici.

Il macigno che costituisce il gruppo di alture a sud-est di Balbano si presenta con strati debolmente inclinati verso la valle del Serchio e caratteri tali da apparire come una grande piastra scivolata sulla sua base per effetto della gravità. Al momento non si hanno dati sicuri sull'area di provenienza di questa placca, anche se alcuni Autori ipotizzano uno scivolamento verso ovest di macigno appartenente al gruppo del M. Pisano.

La terminazione meridionale del nucleo d'Oltre Serchio, rappresentata dal Monte di Vecchiano, è costituita da masse di calcare massiccio che, data l'intensa attività di sprofondamento a gradinate per faglie distensive sul versante tirrenico, sono rimaste quasi del tutto emerse e pertanto modellate in superficie dalle acque meteoriche e in profondità da quelle ipogee.

A giudicare dalla disposizione delle imboccature delle grotte lungo gli allineamenti delle fratture nel calcare

massiccio e nei calcari stratificati triassici, sembra che la circolazione ipogea sia stata fortemente indirizzata dall'andamento (prevalentemente NW-SE) di quest'ultime.

Il nucleo di Massarosa, più grande e strutturalmente più complesso del precedente, costituisce nel suo insieme un'anticlinale in cui mancano del tutto i complessi rocciosi giurassico-liassici così ben esposti nel nucleo d'Oltre Serchio, prevalentemente nel suo settore meridionale.

Anche in questo nucleo la parte meridionale presenta assi tettonici orientati generalmente in direzione N-S, mentre nella parte più settentrionale l'andamento prevalente risulta quello appenninico (NW-SE).

Numerose fratture hanno complicato la fondamentale struttura anticlinale; fra queste, di particolare rilevanza risultano la faglia trasversale lungo la Valle del Fosso del Quiesa e quella inversa che limita a nord-est il nucleo stesso, mettendo direttamente in contatto il macigno con la maiolica, con forte discordanza angolare. Gli strati di macigno risultano inoltre in prossimità del piano di faglia suddetto in assetto rovesciato (vedi sezione II).

5.2 FASCIA COSTIERA

La fascia costiera della Versilia ovunque piatta, con qualche modesta depressione occupata da laghi o stagni, è de-

limitata ad oriente dai primi contrafforti occidentali delle Alpi Apuane, dai Monti di Massarosa e dai Monti d'Oltre Serchio; verso sud si raccorda alla parte terminale della valle dell'Arno. La zona marittima infine è costituita da un'estesa piattaforma continentale.

Essa risulta formata da successioni di depositi prevalentemente incoerenti accumulatisi in epoche recenti.

Elemento caratteristico dell'intera fascia, in via di totale antropizzazione, è il bacino del lago di Massaciucoli.

L'inarrestabile espansione degli abitati, degli insediamenti produttivi e delle vie di comunicazione rende problematica una descrizione dell'ambiente naturale della pianura costiera, data anche la completa mancanza di sondaggi sulla terraferma da cui trarre informazioni sulla natura e forma del substrato.

Il bacino della Versilia, nel significato di infrastruttura fondamentale dal cui riempimento prenderà alla fine origine la pianura costiera apuana, si è delineato nel Miocene medio-superiore, quando, esaurite sul bordo tirrenico le fasi parossistiche a regime compressivo, si è imposta una tettonica distensiva con relativa scomposizione della catena montuosa appenninica in alti e bassi morfologici.

La comparsa dei primi sedimenti neoautoctoni data al Tortonianiano l'età di inizio dell'attività delle faglie distensive.

Questa tettonica di stile rigido si è esplicata soprattutto con movimenti verticali di centinaia di metri accompagnati da fratture ad andamento longitudinale (in direzione NW-SE), che nell'insieme delimitano un elemento morfostrutturale distinto dal contesto circostante, appunto il bacino della Versilia. Le faglie più importanti che bordano i rilievi hanno determinato infatti lo scalino morfologico tra il versante occidentale delle Alpi Apuane, dei Monti d'Oltre Serchio e del Monte Pisano con il substrato sottostante la pianura.

Da rilievi sismici in mare (Fanucci, Firpo 1981), è emersa chiara l'esistenza di un fascio di faglie, sempre ad andamento longitudinale, a circa 20-30 km dalla costa;

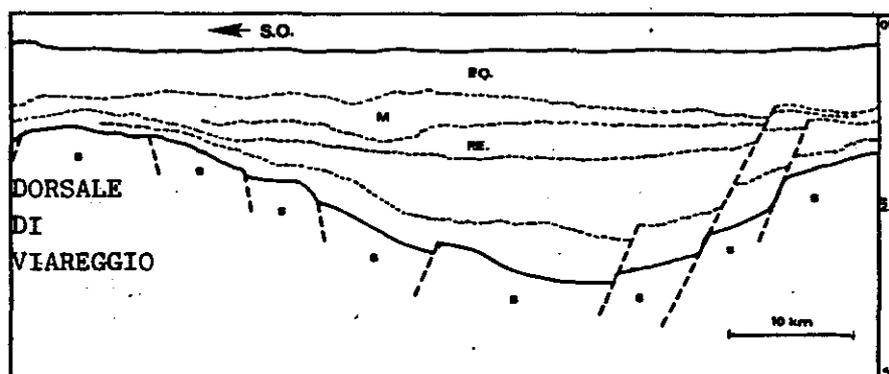


Fig.5 - I corpi sedimentari e la morfostruttura del bacino neotettonico della Versilia secondo un profilo sismico a riflessione (da Fanucci e Firpo, 1981). S = substrato di età sconosciuta; PE = pre-evaporitico; M = Miocene superiore; P.Q. = Pliocene e Quaternario. Si noti la struttura a fossa tettonica del bacino e la sua delimitazione occidentale con un pilastro sommerso (dorsale di Viareggio).

essa delimita una dorsale sommersa denominata "dorsale di Viareggio" che avrebbe agito da barriera alla dispersione dei sedimenti secondo vicende complesse, ancora poco note.

Probabilmente tale alto strutturale è stato sempre ricoperto dal mare ma con episodi sedimentari poco rilevanti, a giudicare dallo spessore dei sedimenti riscontrati con la geofisica e dalla mancanza di superfici riflettenti al di sopra del substrato acustico. Attualmente la dorsale è sepolta da meno di 5000 metri di sedimenti.

Nel complesso questi sistemi di faglie marcano una profonda depressione chiaramente segnalata dalla sismica (Nicolich, 1977); d'altra parte già rilievi gravimetrici avevano segnalato delle isoanomalie negative in corrispondenza della depressione tettonica sommersa (Ciani et alii, 1960).

In definitiva il bacino Versilia può venire assimilato ad un classico bacino neogenico toscano del quale ha avuto la dinamica. Una evidente subsidenza fino al Quaternario l'ha mantenuto in gran parte sommerso dal mare e capace di ricevere sia le alluvioni di tutti i corsi d'acqua prospicienti la costa, sia i sedimenti marini.

Nella depressione risulta presente un potente accumulo sedimentario sull'ordine dei 2.500-3.000 metri, che dovrebbe contenere terreni del Miocene superiore, Pliocene e Quaternario. Per una sintesi sulle conoscenze della porzione più superficiale dei sedimenti di riempimento, desumibili da numerosi sondaggi poco profondi eseguiti negli ultimi anni,

rimandiamo al paragrafo relativo.

Nell'insieme il bacino neotettonico della Versilia si delinea con una forma trapezoidale con base lungo la linea trasversale dell'Arno e lati rispettivamente segnati a oriente dalle montagne costiere (Alpi Apuane, Monti d'Oltre Serchio, Monte Pisano), a occidente dalla dorsale sommersa di Viareggio.

Verso nord il bacino dovrebbe terminare in parte nelle depressioni del golfo di La Spezia e della bassa Val di Magra, in parte più al largo nel mar Ligure.

Alla luce delle conoscenze attuali è così possibile ricostruire la seguente storia evolutiva del bacino versiliese. Fin dall'inizio del Pliocene medio i moti epirogenici legati all'evoluzione della catena appenninica hanno portato ad una generale regressione del mare che in precedenza si era ampiamente esteso su gran parte della Toscana occidentale.

Durante il Pleistocene inferiore sembra ben attivo uno sprofondamento tettonico lungo faglie di distensione.

Con il Pleistocene medio assumono grande importanza, nel modellamento geomorfologico della pianura e del litorale, le variazioni del livello marino collegate con le vicende del glacialismo.

Al Pleistocene superiore vanno attribuiti i depositi

ghiaiosi marini accumulatisi durante la trasgressione tirreniana, sui quali si sono impostati i sedimenti dovuti alla successiva regressione marina causata dal rapido mutamento di clima conseguente all'inizio della prima glaciazione würmiana. Si assiste pertanto all'emersione di una vasta area pianeggiante costiera, depressa al suo interno, nella quale si accumulano depositi continentali argillosi di origine fluviale e lacustre; il livello medio del terreno è stato identificato a quota -90 m rispetto a quello attuale.

Il ritrovamento di ghiaie assai in profondità nella pianura versiliese, denoterebbe fra l'altro l'attivazione di coni di deiezione allo sbocco dei corsi d'acqua dal retroterra montuoso.

Si tratta di coni piuttosto piatti che da quote di circa 50 m, in non più di 80 km lungo gli assi maggiori centrali, scendono a quota 5 m, dove sono sommersi dai sedimenti palustri più recenti. Nessuno di questi coni è attualmente attivo, essendo tutti in erosione da parte dei torrenti o essendo in parte arginati e canalizzati.

Pochi corsi d'acqua si allungavano fino al mare in quanto parallelamente ad esso si andava sviluppando una serie di cordoni dunari che determinava nelle zone retrostanti un'area depressa di impaludamento.

Una successiva trasgressione marina avrebbe demolito in

parte i depositi precedenti con abbondante sedimentazione sabbiosa.

Segue una nuova regressione marina e conseguente azione di deposito continentale con sedimentazione di argille e argille torbose (clima molto freddo).

Nel sottosuolo della Versilia alcune perforazioni di ricerca e l'abbondante escavazione per la produzione di sabbie silicee hanno messo in evidenza successioni stratigrafiche del Quaternario recente, attribuite ad una unità cronostratigrafica informale, il "Versiliano", parallelizzabile all'incirca con il Friandiano dell'Europa Settentrionale. La trasgressione Versiliana sarebbe l'espressione sedimentaria collegata con la risalita del livello del mare dall'acume di eustatismo negativo corrispondente all'ultima fase würmiana.

Durante questa fase trasgressiva il mare caldo e poco profondo invade praticamente tutta la pianura versiliese, compresa l'area settentrionale fino ad allora emersa per la presenza dei conoidi ghiaiosi e sui quali si depongono in netta discordanza le sabbie.

Al termine della sedimentazione il livello della pianura raggiunge praticamente quello odierno con già impostati gli attuali lineamenti morfostrutturali. A quest'ultima ingressione marina fa seguito, in epoca storica, l'ultimo ritiro delle acque con definitiva delineazione dell'attuale se-

zione costiera depressa all'interno (lago di Massaciuccoli) e sedimentazione delle torbe superficiali.

I materiali che hanno quindi edificato la pianura da quota -90 m alla quota attuale sono il risultato composito del trasporto del sistema fluviale sia in modo diretto (regressioni) che mediante una rideposizione marina (correnti) o eolica.

Il meccanismo di crescita è avvenuto attraverso successioni di ampi cordoni litorali, barre sabbiose parallele e dune costiere sempre delimitanti all'interno ampie zone depresse colmate da depositi di facies continentale (argille e torbe).

6. EVOLUZIONE NEOTETTONICA

L'area compresa nel permesso "Viareggio", da quanto abbiamo descritto, risulta caratterizzata da elementi strutturali delineatisi già in epoca alpina a seguito di compressioni orogeniche, che hanno dato luogo ad un edificio a falde di ricoprimento. Alla sua base sono presenti le Unità toscane, costituite da una successione stratigrafica di età compresa, grosso modo, fra il Trias medio ed il Miocene inferiore, depostesi su zoccolo continentale ercinico. Tali Unità sono ricoperte dalle Liguridi, costituite da formazioni di età compresa fra il Cretaceo superiore ed il Paleocene-Eocene, depostesi in ambiente "oceanico".

A partire dal Messiniano, aggiustamenti isostatici postorogeni e fenomeni distensivi hanno contribuito, mediante movimenti verticali lungo fasci di fratture a direzione appenninica (NW-SE), ad accentuare la situazione strutturale preesistente, dando maggior risalto a quella che si era venuta a delineare come Dorsale medio-toscana. Questa tettonica disgiuntiva, certamente in atto sul margine occidentale della Dorsale fin dal Messiniano, ha comportato il collasso dell'area corrispondente all'attuale pianura costiera, con varie ingressioni marine che si sono succedute fino all'Olocene.

Il fianco orientale della Dorsale si è attivato probabil-

mente soltanto nel Pliocene medio-superiore e nel Quaternario, quando si sono iniziate a delineare le strutture negative del Serchio ed altre, di minore importanza, che non rientrano tuttavia nell'area in esame.

Lo schema della tettonica disgiuntiva post-parossismale comporta il riconoscimento di un trend principale che tuttavia non può non tener conto sia di una serie di movimenti differenziali, anche all'interno di singole aree, sia di linee di movimento trasversali (anti-appenniniche e non), sicuramente impostatesi su elementi lineari precostituiti.

L'evoluzione neotettonica dell'area esaminata permette di individuare delle differenze di comportamento nei vari elementi areali; infatti, mentre i rilievi che costituiscono le Alpi Apuane e i Monti d'Oltre Serchio hanno mantenuto costantemente caratteristiche di area in sollevamento più o meno accentuato fin dal Pliocene inferiore, nella pianura costiera la tendenza all'abbassamento non è stata continua. Il mare pliocenico doveva lambire sia i Monti d'Oltre Serchio che i Monti Pisani, costituenti nel loro insieme, un promontorio, propaggine di un vasto continente.

Un'evoluzione neotettonica simile a quella della pianura costiera versiliese dove aver subito anche l'area antistante la costa, dove la formazione di una profonda depressione avrebbe permesso l'accumulo di una potente coltre sedimentaria mio-pliocenica.

Verso la fine del Pliocene medio il bacino versiliese ha subito vicende analoghe a quelle riscontrate nei bacini neogenici toscani, interessati in questo periodo da una rapida regressione ("regressione astiana"). In tutta la Toscana risultano infatti assenti depositi marini databili al Pliocene superiore e forse anche alla parte terminale del Pliocene medio. Questi fatti vengono attribuiti ad un innalzamento generale delle terre.

Per quanto riguarda più strettamente l'area di indagine, in mancanza di dati diretti, questo evento tardo pliocenico viene pertanto considerato come probabile.

La tendenza generale e continua all'abbassamento che caratterizza la pianura versiliese si è impostata definitivamente a partire dall'episodio trasgressivo pleistocenico inferiore concomitante alle spinte positive della dorsale Monti Pisani-Alpi Apuane.

Da quest'area, soggetta ad erosione molto attiva, proviene infatti buona parte dei materiali che hanno alimentato le potenti coltri fluvio-lacustri presenti nella zona costiera della Versilia.

Dai dati di sondaggio (paragrafo 8) è possibile notare come in prossimità della costa siano presenti sempre sedimenti sabbiosi di spiaggia, che avvicinandosi al rilievo e quindi al margine del bacino, decrescono a favore di una netta

predominanza di argille lacustri e torbe. Abbiamo d'altra parte già sottolineato come negli ultimi novanta metri della coltre di depositi quaternari siano rappresentate alcune ingressioni marine che giungono a lambire il rilievo. Rimane comunque incerto il significato di tali episodi marini, ovvero se siano dovuti a variazioni del livello eustatico od a vere e proprie pulsazioni neotettoniche.

7. CARTA GEOLOGICA

La geologia del territorio che costituisce il permesso "Viareggio" comprende rocce litoidi appartenenti alla catena dell'Appennino Settentrionale, nella porzione nord-orientale e rocce incoerenti, appartenenti alla pianura versiliese-pisana, nella porzione occidentale e meridionale.

La porzione di catena appenninica compresa nell'area di studio è caratterizzata dalla presenza di Unità tettoniche sovrapposte secondo lo schema di Fig.4 nel quale si può osservare come i rapporti geometrici delineino una successione in cui compaiono, dall'alto verso il basso, le Unità Liguri, le Unità Subliguri, le Unità toscane e le Unità metamorfiche toscane.

7.1 UNITÀ METAMORFICHE TOSCANE

Sono rappresentate dalla sola formazione del Verrucano (V) attribuito al Trias affiorante nell'area ad ovest di Camaiore.

Si tratta di una serie detritico-filladica in cui si rinviene un grado di metamorfismo riconducibile alla subfacies a quarzo-albite-muscovite-clorite della facies degli scisti verdi.

La composizione litologica presenta conglomerati poligenici ("Anageniti") alla base, cui succedono orizzonti microana-

genitici e, specialmente nella parte sommitale, quarziticici. La potenza stimata indica valori medi compresi tra i 300 ed i 400 m.

7.2 UNITÀ DELLE BRECCE DELLA VERSILIA

Ad ovest di Camaiore, interposti fra la Falda toscana e le Unità metamorfiche toscane, sono presenti livelli di brecce (bV) costituiti nella parte basale da clasti con prevalenza di scisti sericitici varicolori e nelle restanti porzioni da frammenti di varie formazioni appartenenti alla Serie Toscana, fra cui prevalgono rocce evaporitiche appartenenti alla formazione triassica del calcare cavernoso, mentre sono assenti clasti di scisti policromi e macigno.

Le dimensioni degli elementi variano dal millimetro a qualche decina di metri ed aumentano nella porzione grossolana andando dal basso verso la parte mediana e superiore. La matrice, a composizione carbonatica, può presentarsi talora compatta e di colore grigio, talora friabile e di colore giallo ocra per la presenza di ossidi di ferro. In base a microfossili presenti nella matrice le brecce sono riferite al Miocene medio (Langhiano) e lo spessore oscilla tra i 50 ed i 200 metri.

Questa stessa Unità comprende anche lembi di calcare cavernoso che, data la scala del rilevamento, risultano difficilmente distinguibili.

7.3 UNITA' TOSCANE

La successione toscana presenta terreni che da ambiente lagunare, instauratosi durante il Triassico superiore, variano progressivamente a quelli di piattaforma carbonatica prima ed a sedimenti tipicamente pelagici poi. La successione è chiusa durante l'Oligocene da notevoli apporti terrigeni che, sotto forma di correnti di torbida vanno a costituire apparati di conoidi sottomarine.

Analizzando la serie toscana nei suoi termini stratigrafici si rileva la seguente successione:

Calccare cavernoso (cv)

La parte basale della successione toscana non metamorfica è rappresentata da una sequenza evaporitica carbonatica riferibile al Trias superiore.

Nel suo aspetto più tipico si presenta come una breccia autoclastica ad elementi spigolosi, calcarei o dolomitici, con cavità vuote o riempite da polvere grigia dolomitica. Affiora in un piccolo lembo lungo il fosso Vallelunga, dove viene a contatto tettonico con la maiolica sovrastante. Lo spessore è stimato intorno al centinaio di metri.

Calcari e marne a Rhaetavicula contorta (cR)

Affiorano esclusivamente nei dintorni di Avane, la base della formazione è sepolta sotto le alluvioni del Fiume Serchio e in affioramento si ha uno spessore massimo di circa 120 m.

Si tratta in prevalenza di calcari più o meno marnosi, grigio scuri o spesso neri, che tendono a diventare grigio

giallastri per effetto dell'alterazione. I calcari marnosi formano banchi dello spessore medio di 1-2 m, e sono intercalati a marne scure di potenza minore; per la presenza di *Rhaetavicula contorta* la formazione è riferibile al Retico.

Calcari grigio scuro tipo Portoro (cP)

Sempre nei dintorni di Avane i calcari marnosi a *Rhaetavicula contorta* passano gradatamente a calcari grigio scuri tipo Portoro, poveri di frazione argillosa e stratificati in banchi di spessore superiore ai precedenti che diventano mal distinguibili verso il tetto della formazione. L'aspetto è molto simile a quello del classico Portoro noto nel Golfo di La Spezia.

L'età è riferibile al passaggio Retico-Lias inferiore e lo spessore massimo misurato si aggira su 150 m.

Calcare Massiccio (cm)

Affiora estesamente nella parte meridionale dei Monti d'Oltre Serchio tra Filettole e Vecchiano.

Il Calcare Massiccio segue al di sopra del "Portoro" con passaggio estremamente graduale ed è caratterizzato dall'assenza di stratificazione; la grana è cristallina minuta e il colore è grigio o biancastro, talora roseo.

Questa formazione è percorsa da numerose e profonde diaclasi che possono avere un andamento irregolare o formare sistemi subparalleli che simulano, ad un esame delle foto aeree, una stratificazione.

Lo spessore stimato, circa 700 m, è di difficile valutazione data la diversa inclinazione delle formazioni alla

base ed al tetto del Calcarea Massiccio; l'età è riferita all'Hettangiano.

Calcarea Rosso Ammonitico (ca)

L'area di affioramento del calcarea Rosso Ammonitico è ristretta ad una sottile fascia contigua al Calcarea Massiccio limitata tra Le Grepole e Sassi Grossi.

Questa formazione è costituita da calcari a grana fine di colore variabile dal rosso cupo al roseo, più raramente giallo nocciola ed è spesso caratterizzata da una struttura nodulare. I calcari sono stratificati in banchi di alcuni decimetri; la potenza complessiva della formazione si aggira sui 6-10 m, l'età è riferibile al Sinemuriano.

Calcari con selci chiare (ci)

Anche questa formazione affiora esclusivamente nei Monti d'Oltre Serchio immediatamente a W del Calcarea Rosso Ammonitico di cui costituisce il tetto; il passaggio fra le due formazioni è brusco.

Questa è costituita da calcari grigio cerulei o giallastri, leggermente marnosi, a grana fine, nettamente stratificati in banchi di potenza variabile da alcuni decimetri a oltre un metro. La stratificazione è evidenziata da interstrati di argille siltose fissili; abbastanza frequenti vi sono selci che formano straterelli o noduli irregolari.

I calcari selciferi sono attribuiti al Lias medio e superiore; la potenza varia dai 150 m nell'estremità sud ai 300 m nei pressi dell'Autostrada Firenze-mare.

Marne a Posidonomia (mP)

Questa formazione è presente nella porzione Nord dell'area di Torcigliano e nei Monti d'Oltre Serchio in una fascia contigua ai Calcari con selci chiare.

Si tratta di marne estremamente fissili, alternate talora a zone ove prevalgono calcari marnosi con un aspetto più compatto.

L'età è compresa tra il Lias sup. e il Calloviano e lo spessore varia assottigliandosi da N a S dai 250 ai 150 m; nell'affioramento di Torcigliano non compare la base di tale formazione.

Radiolariti (marne diasprine) (r)

Questa formazione è presente solo nei Monti d'Oltre Serchio ed è costituita da radiolariti con sporadiche intercalazioni di marne silicee, calcari grigio-scuro con lenti di selce nera. Questo orizzonte ha potenza variabile da 0 a 120 m e tende ad assottigliarsi passando da nord verso sud; l'età è riferibile al Calloviano-Oxfordiano.

Calcari con selce scura (cs)

Queste rocce affiorano nei Monti d'Oltre Serchio in una fascia disposta N-S, nella porzione settentrionale dell'area di studio tra Nocchi e il Monte Rondinaio e in un piccolo lembo a oriente di *Mommio Piano.

Si tratta di calcilutiti e banconi calcarenitici di colore grigio molto scuro con noduli e talora strati regolari e sottili di selce nera.

I banchi calcarei hanno uno spessore variabile da pochi de-

cimetri ad alcuni metri.

L'età è riferibile al Malm e lo spessore varia di una valore medio di 300 metri a un minimo di 60 nell'area di Le-gnaia.

Diaspri (d)

La formazione dei Diaspri affiora in piccoli lembi in varie porzioni dell'area studiata lungo un asse N-S che va dal Monte Rondinaio a Vecchiano e in una piccola striscia ad est di Mommio Piano.

I Diaspri non si differenziano sensibilmente dalle Radiolariti presenti al tetto delle Marne a Posidonomia se non per il colore in cui dominano i toni del rosso. Si tratta di livelli radiolaritici dello spessore di alcuni centimetri intercalati a fini strati argillitici, più raramente a scisti diasprini. Lo spessore della formazione, variante tra 50 e 300 metri nei Monti d'Oltre Serchio, è sui valori medi di 200 m nelle restanti aree; l'età è compresa tra il Titonico e il Neocomiano.

Maiolica (m)

La formazione della Maiolica affiora estesamente nell'area di studio: nei Monti d'Oltre Serchio sul versante prospiciente la piana di Migliarino, nell'area compresa tra gli abitati di *Quiesa, Nozzano e Fibbialla, nella zona a sud-est di Camaione fino a Migliano. Oltre a questi nuclei principali si hanno altri piccoli affioramenti di cui il più esteso è quello a NW di Piano di Conca.

Litologicamente si tratta di calcilutiti chiare ben strati-

ficcate, con noduli e liste di selce grigia, talora violacea. La parte superiore della Maiolica si presenta differenziata dal resto della formazione in quanto compaiono livelli calcarenitici grigio-scuri con abbondante presenza di selce e con spessore degli strati intorno ai 2 m; questa porzione è denominata Membro di Monte Mosca.

Lo spessore dell'intera formazione è variabile da 40 a 300 m nei Monti d'Oltre Serchio e arriva a 400-500 m negli affioramenti più settentrionali. L'età è compresa tra il Neocomiano e il Barremiano.

Scisti policromi (sp)

Gli affioramenti sono distribuiti nella porzione settentrionale e orientale dell'area e in particolare a Est di Camaione, nei dintorni di Orbicciano, in una fascia che si estende tra Fibbialla, Nozzano e la Certosa e nel tratto tra Massaciuccoli e Caserosse.

Gli scisti policromi sono costituiti da argille varicolori prevalenti, con strati di calcari a grana fine, calcareniti e marne; talora sono presenti strati diasprini, brecce e conglomerati poligenici.

Lo spessore varia da circa 250 m a poche decine di metri e l'età dovrebbe essere compresa fra il Cretaceo inferiore e l'Oligocene medio, superiore.

Sono ben individuabili anche da un esame delle foto aeree poiché la morfologia dolce e con forme arrotondate che si instaura contrasta con quella più aspra e netta della Maiolica e del Macigno a cui gli scisti policromi sono general-

mente giustapposti.

Brecciole Nummulitiche (bn)

Affiorano generalmente nelle stesse aree in cui si rinven-
gono gli scisti policromi di cui costituiscono una varia-
zione latero-superiore e talora un'intercalazione lenticolo-
lare.

Sono costituiti da torbiditi calcarenitiche e calciruditi-
che prevalenti, con calcari a grana fine ed argilliti. Le
calcareniti si presentano in strati potenti mediamente uno-
due metri e talora gli intervalli pelitici possono essere
ridotti o mancanti così che gli strati calcarei sono a con-
tatto diretto fra loro.

Gli spessori sono estremamente variabili ed arrivano ad un
massimo di 200-300 m, l'età abbraccia un periodo che va dal
Cretaceo all'Eocene.

Macigno (mg)

E' la formazione più diffusa arealmente poiché affiora
quasi ininterrottamente in una fascia estesa alcuni chilo-
metri tra Camaione e Filettole-Ripafratta.

Si tratta generalmente di torbiditi arenacee, a grana me-
dia; in strati frequentemente più spessi di un metro con
intervalli pelitici generalmente ridotti; sono talora pre-
senti anche lenti di conglomerati e livelli marnosi. Le
arenarie sono di composizione quarzoso-feldspatica e con-
tengono frammenti litici prevalentemente di rocce metamor-
fiche.

Lo spessore massimo è stato stimato circa 2000 metri e

l'età è riferibile all'Oligocene superiore. Da un esame delle foto aeree si rileva abbastanza bene una differenza di comportamento del Macigno rispetto alle rocce carbonatiche e a quelle argilloscistose, sia per la morfologia dei rilievi sia per la caratteristica forma e densità di drenaggio.

7.4 UNITA' SUBLIGURI

Le unità subliguri sono rappresentate da formazioni appartenenti all'Unità Canetolo intercalate geometricamente fra le unità di origine ligure e le unità del dominio toscano.

L'Unità Canetolo è costituita da un complesso argilloso-calcareo basale e da un complesso terrigeno superiore; quest'ultimo non affiora nell'area esaminata.

Il complesso argilloso-calcareo compare in maniera discontinua in una fascia compresa tra Pedona e Massarosa, inoltre piccoli lembi affiorano nei dintorni di Gualdo, a N di Vecoli e a NW di Filettole.

Tale complesso è suddiviso dal basso verso l'alto in

(cc) Successione argilloso calcarea di Canetolo

(b) Breccie ofiolitiche

(cG) torbiditi calcaree di Groppo del Vescovo.

La successione argillosa calcarea di Canetolo è costituita da peliti in genere nere che si alternano con calcari fini grigio scuri, calcareniti gradate, brecciole organogene e calcari marnosi a base calcarenitica; talora alle argille

si associano breccie sedimentarie grossolane costituite da rocce verdi, diaspri e calcari compatti come nei dintorni di Miglianello.

I calcari contengono foraminiferi planctonici di età Paleocene-eocene, talora alla base del complesso si rinvencono microfossili del Cretaceo superiore e tuttora non è definita con precisione l'età della base della successione.

Gli spessori si aggirano su valori medi di 200-300 m, spesso si hanno notevoli assottigliamenti fino a pochi metri.

Il passaggio al sovrastante membro delle torbiditi calcaree di Gruppo del Vescovo è graduale e avviene mediante una intercalazione sempre più frequente di grossi banchi calcarei.

Il membro del Gruppo del Vescovo include marne scure, calcari marnosi calcari bianchi micritici, torbiditi calcarenitiche; queste sono intercalate da argilloscisti scuri in proporzioni variabili.

L'età varia dal Paleocene all'Eocene medio e gli spessori hanno valori medi di circa 100 m.

Per le analogie litologiche, di età e di posizione tettonica queste rocce sono state considerate in passato appartenenti al gruppo dell'Alberese.

7.5 UNITA' LIGURI

Le unità liguri sono rappresentate dall'Unità di Monte Caio con sinonimi: Formazione dell'Antola e Calcarea Alberese ad Helmintoidi. Affiora nell'area di Bargecchia; nel tratto Marignana-Montemagno-Il Palazzetto; nell'area Coli-Luciano e nel tratto compreso tra il torrente Freddana, Piazzano e il Frantoietto.

L'Unità è rappresentata da un flysch caratterizzato da torbiditi gradate di spessore medio di 1-1,5 m costituita da calcareniti o arenarie calcaree passanti verso l'alto a marne, marne calcaree e argilliti; nella porzione argillo-scistosa sono presenti piccoli letti di marne calcaree e arenarie. Nelle porzioni superiori della serie e precisamente al passaggio con il Paleocene compaiono bancate di marne rosate ed aumenta la frazione arenitica; dopo un intervallo ricco di sequenze arenaceo-argillosa, riprendono con frequenza gli strati torbiditici calcareo marnosi. Una stima della litologia basata sulle misurazioni di diverse sezioni, ha portato ai seguenti valori di composizione percentuale: 38% calcari marnosi, 25% marne, 20% argilliti, 15% calcareniti e 2% arenarie.

L'età è compresa tra il Cretacico Superiore e l'Eocene inferiore, lo spessore, che nel versante padano dell'appennino, dove affiora la serie completa si aggira su valori superiori a 2.000 metri, potrebbe variare tra i 200 e i 600 metri.

7.6 DEPOSITI OLOCENICI

Nell'area di studio la porzione centro-occidentale, caratterizzata da una morfologia pianeggiante è interessata da depositi sciolti appartenenti essenzialmente a tre ambienti di sedimentazione: alluvionale, lacustre e marino.

La fascia pedemontana è caratterizzata da detriti poligenici a granulometria variabile irregolarmente distribuiti anche a vari livelli all'interno dei sedimenti di tipo alluvionale e lacustre.

I litotipi appartenenti all'ambiente marino si rinvencono in superficie lungo una fascia estesa mediamente 3-4 km che borda il litorale tirrenico.

Sabbie di spiagge (ss). Si tratta delle sabbie depositate in epoche recentissime che compongono la spiaggia attuale; presentano un'ottima classazione granulometrica e sono totalmente incoerenti.

Sabbie di duna interna (sd). Sono i depositi maggiormente rappresentati in tutta la pianura. Si tratta di sabbie a grana media ben classate anche se contengono una piccola percentuale di materiali fini, i grani presentano un buon arrotondamento.

Affiorano su tutta la fascia litorale raggiungendo la massima estensione a sud di Torre del Lago.

Hanno un colore giallo ocra che testimonia l'esposizione agli agenti atmosferici subita dopo l'emersione del cordone litorale in epoche storiche (da preromaniche ad oggi).

Sabbie e limi (lsm). Affiorano in una stretta fascia settentrionale contigua ai depositi di dune interne; si tratta di terreni variabili da sabbie limose a limi sabbiosi e cioè rappresentano un passaggio graduale dalle sabbie marine vere e proprie ai limi di ambiente alluvionale o palustre.

Limi (l). Questi depositi rappresentati essenzialmente da silti ed argille, sono considerati di ambiente transizionale perché possono avere un'origine sia alluvionale che palustre.

Costituiscono una fascia che da Forte dei Marmi a Massarosa racchiude e separa i depositi alluvionali da quelli lacustri e marini propriamente detti.

I litotipi di ambiente lacustre e palustre sono stati suddivisi sostanzialmente in due classi: limi e torbe e sabbie e torbe; questa partizione è stata possibile utilizzando i risultati di numerosi sondaggi poco profondi eseguiti dalla Gemina per ricerche minerarie.

I depositi torbosi affiorano estesamente nel territorio del Lago di Massaciuccoli delineando un'area a forma vagamente trapezoidale disposta parallelamente alla linea di costa.

Limi e torbe (lt). Comprendono terreni con varia percentuale di resti vegetali ma sempre accompagnati da uno scheletro di materiale limoso argilloso, pertanto questa partizione è costituita tanto da limi torbosi, torbe limose e i possibili termini intermedi. Affiorano principalmente

nell'area meridionale e in una fascia settentrionale del territorio interessato da depositi lacustri e palustri. Sabbie e torbe (st). Con questa dicitura sono riuniti i terreni con varia percentuale vegetale in cui sia presente uno scheletro di materiali prevalentemente sabbioso; si ritrovano principalmente a NE del Lago di Massaciuccoli.

I depositi di ambiente alluvionale sono concentrati maggiormente a sud lungo la piana alluvionale del fiume Serchio ed a nord-est in una fascia discontinua che borda i rilievi da Pietrasanta a Massaciuccoli; questi si rilevano anche nella vallata intermontana di Camaione, e del Torrente Freddana.

Sono costituiti da vari termini in ragione del meccanismo di deposizione e della granulometria e vengono qui di seguito descritti come appaiono sulla legenda della carta geologica.

Sabbie, ghiaie e ciottoli debolmente cementati e terrazzati (at). Sono presenti a SE di Camaione, lungo la valle del Torrente Freddana e a N di Maggiano in Val di Serchio. Si tratta di depositi alluvionali antichi, ciottolosi, sabbiosi e subordinatamente limosi che sono stati reinciati e terrazzati.

Limi e argille (la). Questi depositi si ritrovano nella parte terminale della piana del Serchio e rappresentano un ambiente alluvionale-palustre, cioè delle zone di basso morfologico ove decantano i materiali più fini di esonda-

zione.

Limi con sabbie (lsa). Di analoga posizione rispetto ai precedenti, rappresentano una frazione più fine in cui i limi predominano sulle sabbie; queste ultime, più grossolane e arrotondate di quelle marine, contengono anche alcuni clasti di ghiaia fine.

Limi con ghiaietto (lg). Si tratta di termini caratterizzati dall'assoluta predominanza di limo giallo ocra o marrone chiaro a cui sono associati clasti di piccole dimensioni, generalmente poco arrotondati, che indicano un trasporto relativamente breve.

Affiorano a NE e costituiscono una fascia di sedimenti più fini rispetto a quelli visti precedentemente di cui rappresentano la prosecuzione.

Sabbie, ghiaie e ciottoli di fondovalle (a). In questi depositi sono compresi materiali a matrice limosa costituiti da sabbie più o meno grossolane e ghiaie poligeniche talora poco arrotondate. Corrispondono alle alluvioni recenti del Serchio e dei suoi affluenti secondari, del Torrente Fredana, del Fosso di Camaione, nonché di torrenti e rii minori che si affacciano sulla piana versiliese-pisana e che vengono poi incanalati nel drenaggio artificiale della piana stessa. Spesso rappresentano il proseguimento dei coni di deiezione che si formano sulla porzione inferiore di taluni versanti oppure costituiscono la fascia di raccordo tra il rilievo e le aree di pianura che accolgono i depositi fluvio-lacustri; comunque, nonostante una certa

eterogeneità di granulometria, la porzione grossolana è prevalente su quella fine.

Sabbie, ghiaie e ciottoli della golena del fiume Serchio (al). Caratterizzano una stretta fascia, compresa tra gli argini del Fiume Serchio, in cui si ha deposizione di materiali fini per esondazione e rappresentano la porzione viva dei depositi alluvionali.

Coperture detritiche e coni di deiezione (dt). Comprendono gli accumuli di paleofrana, i detriti di versante ed i coni di detrito risultando quindi caratterizzati da materiale prevalentemente grossolano ed angolare ed in subordine da una matrice sabbioso-argillosa irregolarmente distribuita.

8. ANALISI DEI DATI DI SOTTOSUOLO

Il netto contrasto riconoscibile nella fisiografia dell'intera area oggetto del permesso "Viareggio", determinato dalla brusca contrapposizione della fascia collinare e montuosa che si alza dalla pianura costiera versiliese-pisana senza una marcata fascia pedemontana, si riscontra anche nelle indagini di sottosuolo, peraltro non molto numerose.

Tralasciando informazioni di carattere strettamente superficiale, gli unici dati di una certa attendibilità e coerenza sono risultati quelli relativi a sondaggi effettuati nell'ambito di studi svolti esclusivamente nella zona di pianura e finalizzati alla ricostruzione di falde freatiche, nonché alla realizzazione di importanti infrastrutture.

Nella carta geologica allegata sono indicati i tracciati di sezioni stratigrafiche ottenute da allineamenti di sondaggi a profondità variabili, comunque non superiori ai 200 metri.

Le informazioni desunte da tali colonne stratigrafiche hanno avuto fra l'altro un ruolo determinante nell'attribuzione litologica dei terreni costituenti l'intera piana costiera, soprattutto per quanto riguarda il settore a nord del lago di Massaciuccoli, data la difficoltà e spesso l'impossibilità del rilevamento geologico di

superficie in aree così intensamente antropizzate.

Interpolando in tal modo i dati della geologia di superficie con quelli di sottosuolo è stato possibile procedere ad un'interpretazione e quindi ad una correlazione di tutti gli orizzonti, che ci ha permesso di realizzare le sezioni delle figure 6,7,8, secondo la seguente legenda, quanto più possibile omogenea e coerente.

Per la descrizione di alcuni tipi litologici presenti solo in superficie, si rimanda alla legenda della carta geologica (All.4)

Torbe, argille e sabbie torbose (lt, st). Sono largamente sviluppate intorno al lago di Massaciuccoli con spessore inferiore ai 10 metri; entrambe le unità sono limitate ad ovest dalla fascia delle dune costiere.

Sabbie silicee (sd). Costituiscono un potente orizzonte segnalato in tutti i sondaggi con spessori che da circa 80 metri nei pressi di Viareggio decrescono progressivamente verso monte. Talora in corrispondenza dell'area occupata dal Lago di Massaciuccoli, nella parte inferiore della formazione, che si distingue fra l'altro per un elevatissimo tenore in silice (90% contro il 60 del resto della pianura), sono presenti degli ammassi di torba compressa, probabilmente pezzi strappati a livelli di torbe preesistenti dalle onde marine e rotolati nella spiaggia.

Limi, ghiaie e sabbie (lgs). Costituiscono lenti dello spessore di alcune decine di metri che possono essere rife-

rite ad una deposizione di ambiente subaereo, corrispondente alla porzione distale di conoide.

Ciottoli, ghiaie e depositi di conoide (g). L'orizzonte, costituito da sedimenti grossolani, è ben rappresentato nelle sezioni A-A' e B-B' (Fig.6), dove dalle aree immediatamente prospicienti le alture, si protende estesamente nella piana costiera.

Conglomerato a cemento carbonatico (cg). Si tratta di un crostone riscontrato fra i 20 ed i 30 metri nella sezione A-A' (Fig.6), presente al tetto delle ghiaie di conoide (g) che in tal modo vengono separate dalle sovrastanti sabbie marine.

Argille lacustri torbose (at) con lenti di torba (T) e ghiaia (G). Questo potente orizzonte poggia direttamente su ghiaie di conoide su sabbie marine e raggiunge la profondità anche di 80 metri. I livelli di torba presenti corrispondono agli ammassi che si rinvennero all'interno dell'orizzonte delle sabbie silicee (sd). La torba si è formata durante la fase di continentalità ad ambiente freddo che ha caratterizzato la piana versiliese durante l'ultimo acme glaciale würmiano.

Sabbie intermedie e inferiori (s). Questo orizzonte di sabbie di origine marina, riscontrato nei sondaggi a varie profondità, testimonia un episodio trasgressivo ancora più antico su parte dell'area costiera.

Argille continentali lacustri con depositi di conoide e ghiaie (G) (ai). Costituiscono un potente orizzonte pre-

sente al di sotto dei 90 m di profondità, testimone di un'antica pianura emersa limitata verso occidente da un cordone sabbioso (sez. F-F', Fig.8). Questi sedimenti continentali corrispondono al ritorno di condizioni climatiche fredde legate ad una più antica fase würmiana.

Ghiaie ed argille pre-würmiane (gm). In questa formazione clastica molto potente prevale la ghiaia frammista ad argilla e argilla sabbiosa, divenendo verso i 140 metri di profondità la litologia esclusiva. I sondaggi più profondi (sez. C-C', F-F', Figg.7-8) non oltrepassano questo orizzonte. L'interpretazione più plausibile è che si tratti di una testimonianza sepolta di una delle grandi conoidi di deiezione che bordano i rilievi apuani e che mostrano appunto di immergersi stratigraficamente sotto la coltre dei sedimenti olocenici di pianura, indicando pertanto un'età pleistocenica.

L'andamento del tetto del substrato è rilevabile esclusivamente dai dati riscontrati in alcuni sondaggi prossimi ai primi rilievi montuosi. Le sezioni B-B', C-C', D-D' (Fig.6-7) sono quelle che, spingendosi più verso oriente, interessano il substrato immergente al di sotto della coltre olocenica, quest'ultima ribassata a seguito di intensi movimenti per faglia a carattere distensivo. In particolare il sondaggio 21 bis della sez. C-C' (Fig.7) ha incontrato intorno ai 100 metri le anageniti del Verrucano. Il fatto che il sondaggio 21, ubicato poco più ad ovest del precedente,

si sia spinto fino ad oltre i 200 metri sempre mantenendosi in terreni quaternari, permette di ricostruire il gradino tettonico del bacino versiliese.

Fig. 6

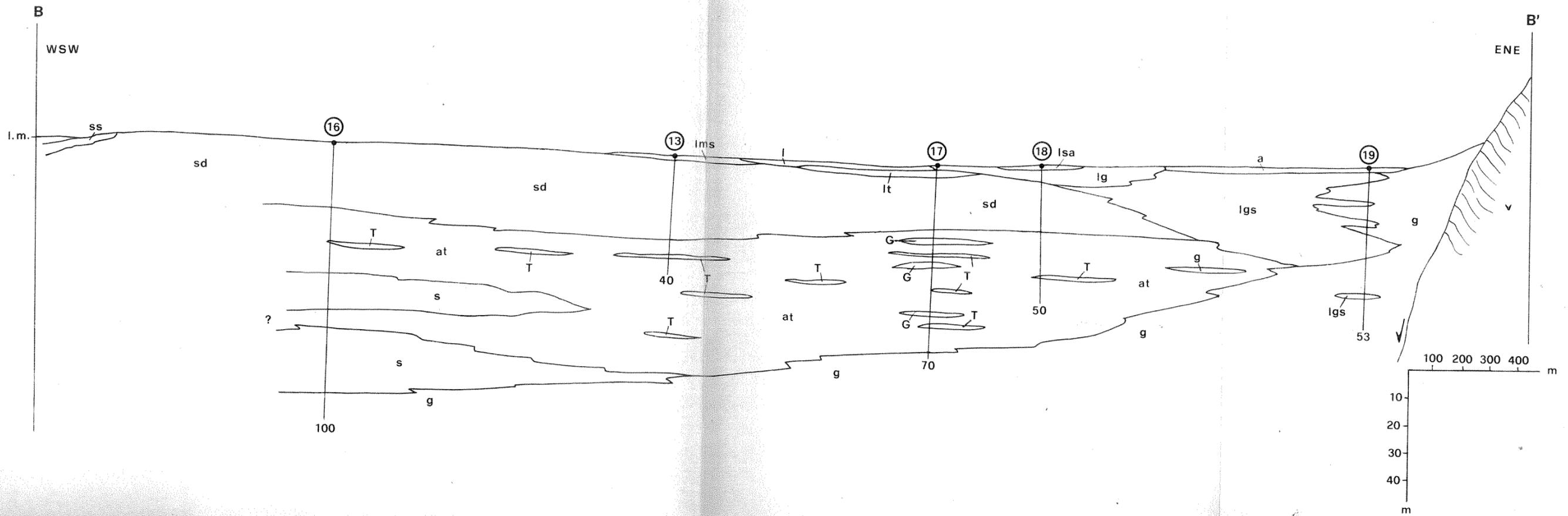
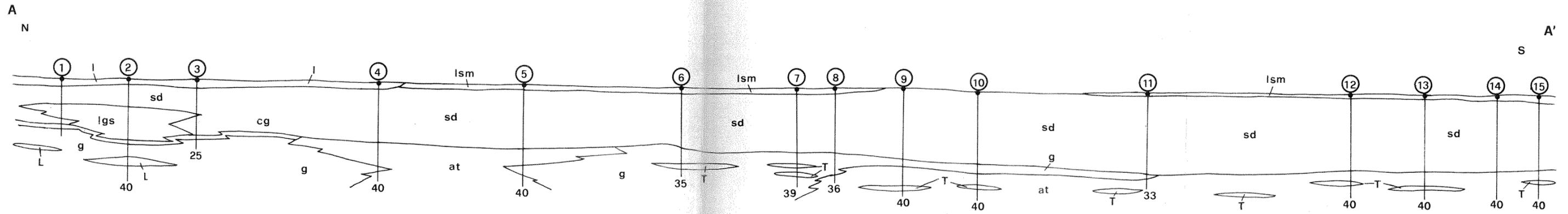


Fig.7

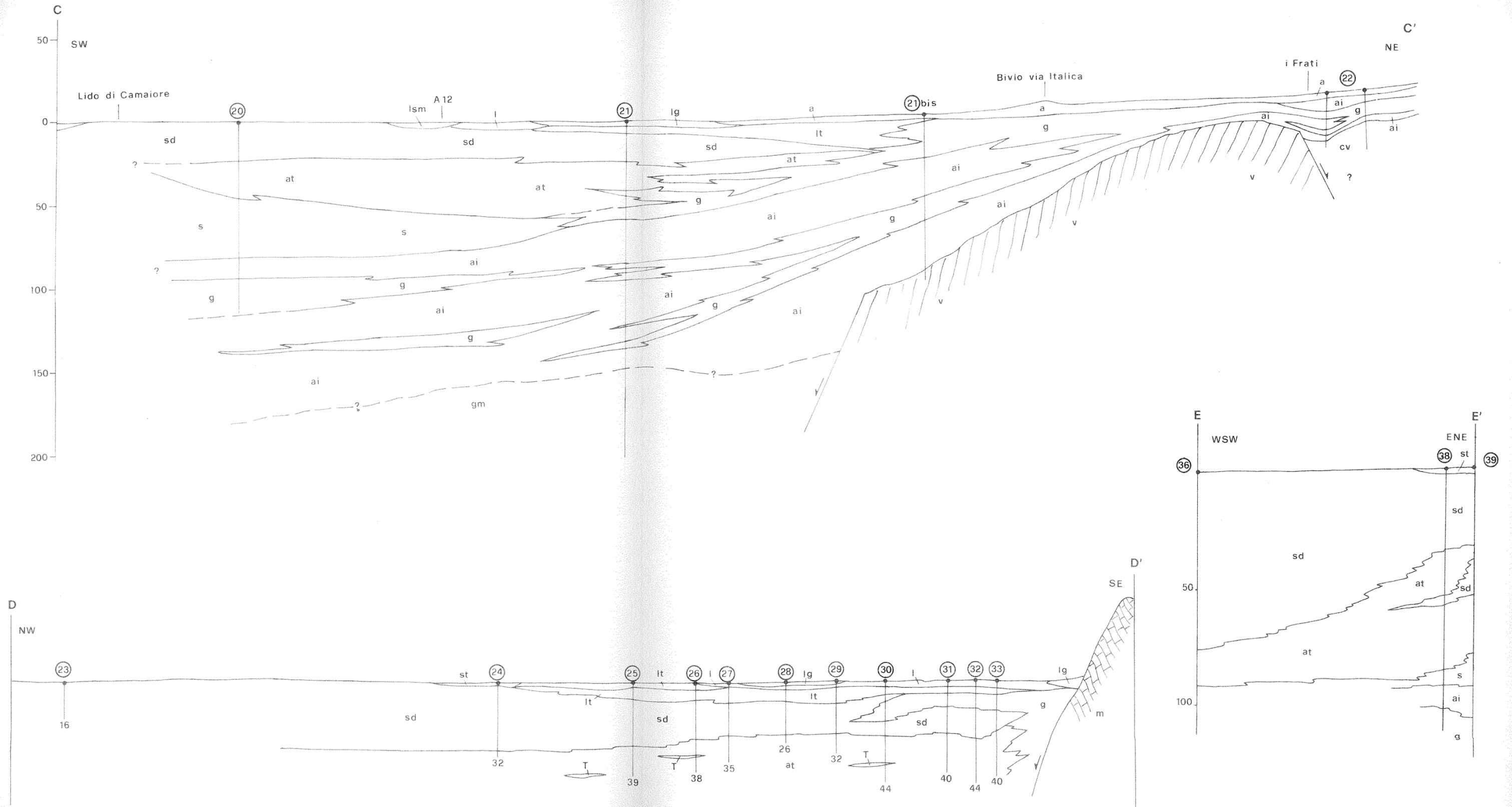
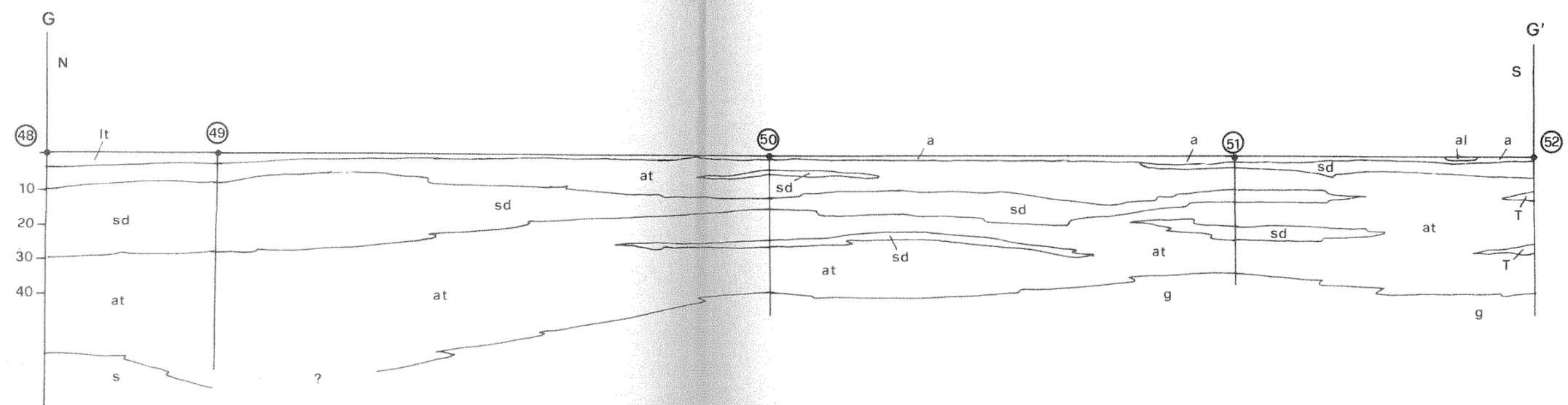
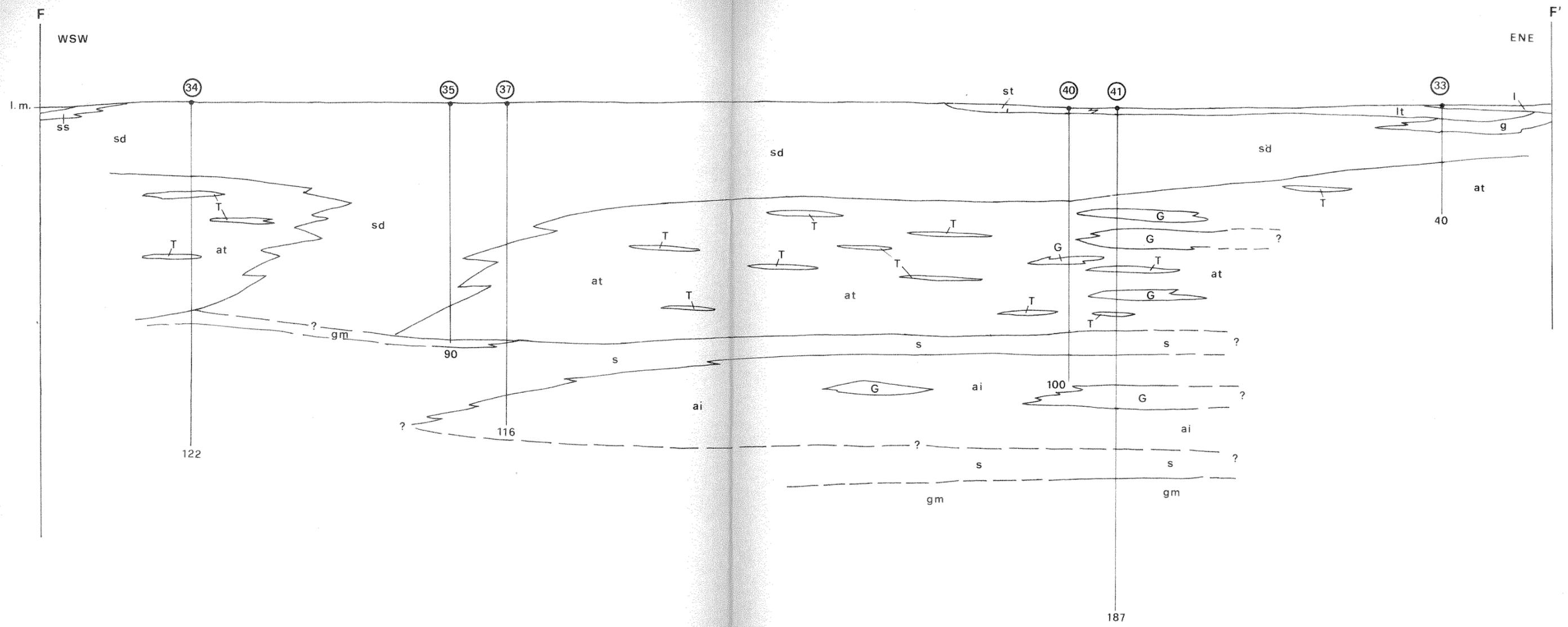


Fig. 8



9. ANALISI DELLE FRATTURE

Il campo totale delle fratture, mostra, ad un primo esame, la presenza di due domini nettamente distinti: il primo interessato da un denso sviluppo di fratture, corrisponde alla zona collinare e montuosa, il secondo del tutto privo di lineazioni certe, coincide con la piana, dove la recente forte sedimentazione ha obliterato tutti gli effetti delle discontinuità tettoniche che interessano il substrato litoido.

L'analisi statistica dei dati del campo totale fornisce informazioni correlabili con gli altri approcci di studio solo per il primo dei domini predetti; mentre per quanto riguarda il secondo è più opportuna la ricerca di elementi lineari a grande scala mediante l'analisi di immagini da satellite.

In conseguenza di quanto detto data la diversa conformazione fisiografica dell'area analizzata si è ritenuto opportuno di non realizzare la carta della densità di fratturazione in quanto questa avrebbe accentuato la separazione fra i due domini senza esaltare le differenze o le anomalie presenti all'interno di ciascuno ed in particolare in quello dei sedimenti di riempimento obiettivo della ricerca.

9.1 CAMPO TOTALE DELLE FRATTURE

La carta del campo totale delle fratture (All.5) fornisce informazioni utilizzabili per le descrizioni dei soli territori collinari e montani e mostra un generale omogeneità di distribuzione sia nel numero delle fratture sia nella lunghezza totale.

Relativamente alla sola porzione collinare-montana, una attenta analisi della carta suggerisce una serie di considerazioni inerenti la qualità e la quantità delle fratture.

La porzione meridionale, limitata a nord dall'allineamento Massarosa-Stabbiano, presenta una relativa bassa densità ed un reticolo prevalentemente anastomizzato costituito anche da fratture lunghe ad andamento circa meridiano ed in subordine parallelo.

La porzione centro-settentrionale, limitata a nordest dal Fiume Camaione, è caratterizzata da una maggiore densità e da una distribuzione in cui si evidenziano fasci di fratturazione anche molto lunghe ricollegabili a due direzioni azimutali preferenziali: una decisamente NW, l'altra intorno ad E-W.

Alcune fratture lunghe ad andamento meridiano sono presenti nella porzione più occidentale.

Infine una piccola porzione, compresa tra l'estremo limite settentrionale ed il Fiume Camaione è caratterizzata da un reticolo rado ed anastomizzato in cui spiccano alcune frat-

ture lunghe ad andamento subparallelo.

Quanto sopra esposto è maggiormente evidenziato nella rappresentazione mediante diagramma polare (Fig.9) dove nell'emisfero superiore è espresso in % su otto classi lo sviluppo totale della fratturazione in km ed in quello meridionale il numero di fratture.

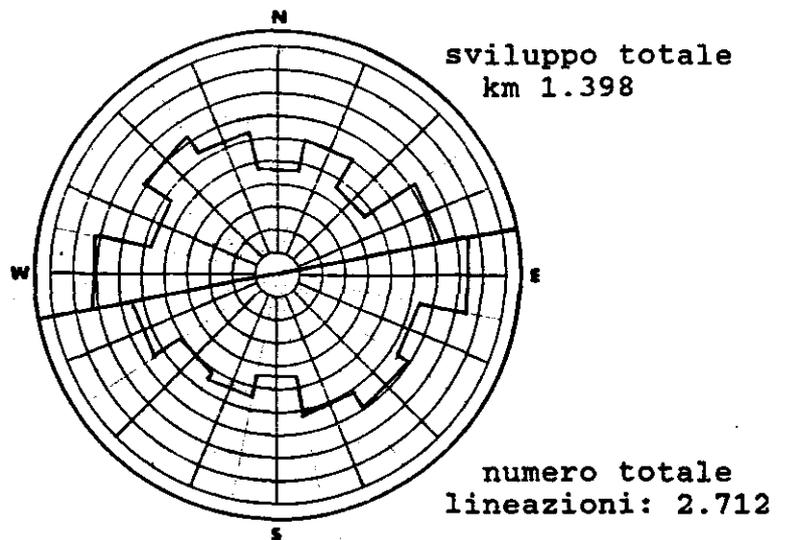
La marcata peculiarità del diagramma mostra innanzitutto una generale elevata omogeneità di lunghezza delle fratture che risultano distribuite nell'intero angolo piatto con tre apici di massima frequenza coincidenti rispettivamente il primo con l'azimut compreso tra E ed ENE (direttrice E-W), il secondo con l'azimut compreso tra NW e NNW (sistema appenninico) ed il terzo sull'azimut NNE (sistema antiappenninico).

La direttrice E-W compresa in un settore di circa 44° in quanto tende a ruotare verso ENE, esprime le fratture principali guidate da traiettorie di taglio, le fessure tensionali e le fratture di tipo Riedel sintetiche, legate cioè a movimenti sinistri e prevalentemente raccolte intorno alla direzione ENE-WSW.

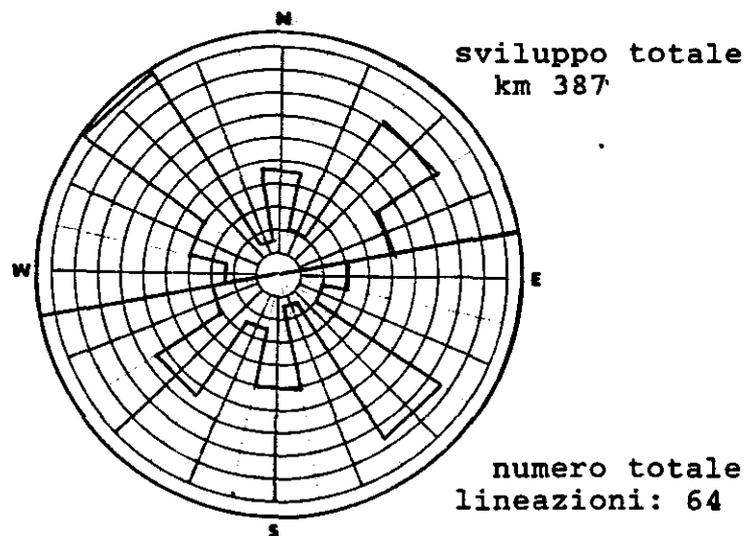
Il sistema appenninico, anch'esso distribuito in un settore di 44° perché tendente a distendersi gradualmente verso NNW, comprende tutte le fratture di ordine superiore, quelle antitetiche di tipo Riedel relative a traiettorie di

Fig. 9

CAMPO TOTALE



LINEAZIONI DA IMMAGINI
LANDSAT



Confronto tra i diagrammi di distribuzione azimutale del Campo totale delle fratture e delle lineazioni da immagini Landsat.

taglio con spostamento destro, ed infine le fratture parallele alle strutture appenniniche e legate alla fase più recente distensiva.

La direttrice antiappenninica, individuata nell'azimut NNE e compresa in un settore di circa 22° , dovrebbe rappresentare il sistema coniugato rispetto alla direttrice appenninica.

I notevoli rigetti verticali dei sistemi sopra elencati trovano conferma e dalla lettura delle fotografie e da quanto riscontrato in campagna nei numerosi contatti tettonici.

La componente azimutale dei movimenti trova riscontro in evidenti spostamenti di gruppi di formazioni omogenee spesso dell'ordine di centinaia di metri; inoltre tali movimenti sono confermati dalla presenza di strie ad andamento sub-azimutale osservati sui piani di faglia alla scala del singolo affioramento.

9.2 LINEAZIONI DA IMMAGINI LANDSAT

I dati scaturiti dalla lettura delle immagini da satellite sono illustrati nella Fig.10; da questa, ed ancor più chiaramente dal diagramma di distribuzione azimutale da essa calcolato, emergono le seguenti direttrici preferenziali: NW, NE e N-S.

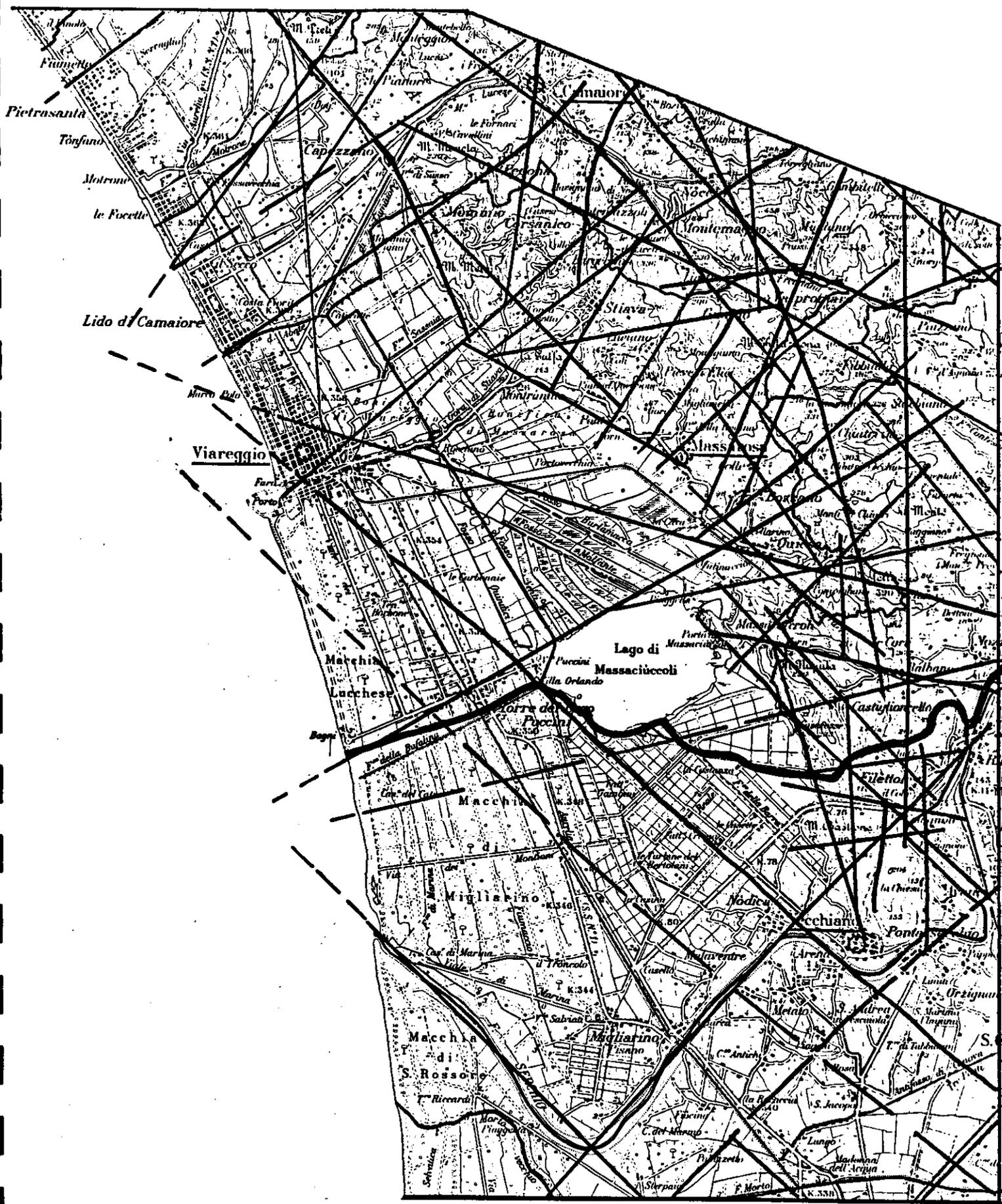


Fig.10 Lineazioni da immagini Landsat.

Il confronto tra i diagrammi di distribuzione azimutale del campo totale delle fratture e delle lineazioni da immagine Landsat (Fig.9), evidenzia per le tre direzioni sopraelencate quanto segue.

- Il trend NW o "direttrice appenninica" è caratterizzato nei due diagrammi da azimut coincidenti.

A questo trend appartengono sia i sovrascorrimenti prodottisi nella fase compressiva, sia le faglie dirette caratteristiche della successiva fase distensiva responsabile della genesi dei bacini intermontani e quindi della fossa "versiliese-pisana".

Il massimo di frequenza sembra costituito da lineazioni più corte nella porzione orientale montana, più lunghe in quella occidentale pianeggiante.

- La direttrice appenninica risulta ruotata rispetto a quella del campo totale di circa 15° - 20° verso NW.

I massimi di frequenza lungo le direttrici NNE ed ENE, segnalate dal diagramma del campo totale delle fratture, possono essere giustificati da un alto numero di fratture antitetiche di tipo Riedel, relative a traiettorie di taglio con spostamento destro e sinistro.

La direttrice N-S sottolineata anche dal campo totale delle fratture da pochi ma prevalentemente lunghi allineamenti, rappresenta gli effetti tensionali della direzione principale di stress che concorre all'apertura di

fessure ellittiche parallele a dette direzioni.

E' ben evidenziata particolarmente nel settore meridionale, sugli elaborati scaturiti dagli approcci geologico e morfologico e soprattutto dalla carta del contrasto morfologico.

10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'attuale assetto dell'area di studio è legato ad una serie di eventi sedimentari e tettonici comuni alla catena appenninica.

Le formazioni rocciose della Serie Toscana, sedimentatesi nel lungo periodo che va dal Trias al Miocene e quelle ofiolitiche della serie ligure depostesi a partire dal giurassico superiore in corrispondenza dell'asse centrale del paleoceano ligure, furono soggette a processi deformativi iniziati nella catena appenninica, a partire dal miocene inferiore-medio.

Questa tettonica compressiva avrebbe prodotto, sia il sovrascorrimento delle serie liguri già strutturate in pieghe e pieghe-faglie fino dal Cretaceo superiore, sia il corrugamento della serie toscana, tramite una sequenza di strutture plicative prima e disgiuntive poi ad andamento appenninico.

Tale compressione, inizialmente concentrata nella porzione più occidentale dell'appennino, avrebbe migrato nel tempo verso est fino a raggiungere la fascia più esterna adriatica tuttora caratterizzata da un regime compressivo.

Nel Miocene superiore, in corrispondenza del versante più occidentale dell'appennino, sarebbero avvenuti episodi di

tipo distensivo, responsabili della formazione dei bacini plio-quadernari intrappenninici tra cui la fossa versiliese-pisana.

In questa, già raggiunta dal mare Tirreno fin dal Pliocene inferiore, iniziano a depositarsi i sedimenti prevalentemente sabbiosi ed argillosi di riempimento.

Relativamente alla potenza ed alla distribuzione qualitativa e quantitativa dei litotipi che costituiscono il materiale di riempimento non esistono informazioni sicure.

Gli scarsi dati di sottosuolo ricollegabili ad alcuni pozzi profondi trivellati a sud e sud-est di Pisa ed a rilievi sismici a riflessione eseguiti in sinistra idrografica dell'Arno, permettono solo una ricostruzione approssimata e soggettiva dell'assetto geologico-strutturale delle formazioni non affioranti.

Per la sola area coperta dal rilevamento sismico a riflessione che, nella sua appendice più settentrionale copre con due linee a croce anche una minima parte del Permesso Viareggio, è possibile formulare ipotesi più reali ed oggettive relativamente alla situazione litologico-strutturale del sottosuolo.

La porzione di bacino versiliese-pisano compresa nel permesso, è stata investigata solo con pozzi profondi tra i 40 ed i 140 metri eseguiti per approvvigionamento idrico e con sondaggi geognostici, profondi alcune decine di metri, con-

centrati lungo gli assi della viabilità autostradale.

Sebbene la loro quantità e la distribuzione autorizzino oggettive e valide interpretazioni sulla stratigrafia del sottosuolo, tuttavia la loro esigua profondità permette solo una conoscenza pellicolare, come evidenziano le sezioni stratigrafiche delle figure 6,7,8.

L'analisi dei dati bibliografici raccolti, unitamente alle informazioni originali fornite dal presente studio, suggeriscono un rapido graduale ispessimento, condizionato dalla tettonica del substrato della coltre sedimentaria e detritica di riempimento la quale può raggiungere una potenza di circa 3.000 metri in prossimità della linea di costa.

I dati scaturiti dallo studio fotogeologico, articolato su tre direttrici di approccio basate rispettivamente sulla geologia, sulla morfologia e sull'analisi delle fratture, sono stati raccolti ed evidenziati negli elaborati precedentemente descritti (All. 2, 3, 4, 5).

L'esame comparato di tali documenti ha fornito una serie di dati tendenti a mettere in risalto elementi comuni e prevalentemente lineari correlabili attraverso vie ed eventi strutturali, che abbiamo riassunto nello "Schema strutturale" (All.6).

Nella carta, unitamente alle principali strutture plicative

o disgiuntive di cui è stato segnalato tipo e senso del supposto movimento relativo, sono state sottolineate le varie unità tettoniche costituite ciascuna da una o più formazioni litostratigrafiche e le pendenze generalizzate degli strati che le costituiscono.

Gli effetti della tettonica compressiva prima e distensiva poi, hanno fatto sì che le strutture plicative e l'assetto degli strati presentino un generale andamento degli assi e delle direzioni degli strati lungo una frequenza privilegiata compresa nel quadrante NNE, e quindi normale alle spinte di compressione.

Relativamente all'assetto di questi ultimi è possibile individuare due aree omogenee separate da una zona di trascorrente sinistra evidenziata dalla linea "4" passante per Viareggio.

- La prima settentrionale limitata risulta caratterizzata, salvo limitate locali eccezioni conseguenti a strutture plicative, da una prevalente immersione degli strati verso NE.
- La seconda, centro meridionale, presenta al contrario una generale stratificazione a monoclinale verso W e WSW. Da questo schema si discostano leggermente la porzione centrale compresa tra gli allineamenti 4 e 6, ed alcune limitate aree del settore centro-orientale caratterizzate da strutture plicative.

Il campo tensionale che ha modellato la stratimetria, è re-

sponsabile anche della geometria della tettonica disgiuntiva la quale risulta caratterizzata da due massimi di frequenza coincidenti con le direttrici NW-SE e NE-SW.

La prima appenninica, è costituita prevalentemente da una serie di faglie principali dirette, con associate faglie secondarie sintetiche, più o meno parallele, che, delimitando ad oriente il bacino versiliese-pisano, determinano un graduale progressivo abbassamento del substrato litoide.

Le faglie disegnate nella carta strutturale sono quelle che, individuate tramite l'analisi delle fratture, hanno avuto una sicura convalida dal solo approccio morfologico le n.11, 12, 13 e 14, ed anche da quello geologico le n. 15 e 16.

A queste ultime possono essere associate le faglie 17, 18 e 19, decisamente appenniniche le prime due, con andamento più meridiano e forse di tipo inverso la terza, le quali possono essere indicate come le maggiori responsabili rispettivamente del graben di Camaiore e della bassa valle del Fiume Serchio.

La seconda direttrice NE-SW antiappenninica, è individuata da una serie di faglie trascorrenti con movimento relativo anche verticale e tra loro subparallele, che sicuramente condizionano in maniera determinante la geometria del substrato roccioso della fossa versiliese-pisana. Ciò è suggerito non solo da quanto evidenziato nella porzione occiden-

tale montana dove il substrato roccioso affiora nelle sue molteplici unità, ma anche dagli effetti di una notevole interferenza di alcune fratture o fasci di fratture prevalentemente trascorrenti ed individuate tutte tramite due o tre vie di approccio (strutturale, morfologico e geologico) particolarmente evidenti sulle fratture 15 e 16 coincidenti con la fascia di raccordo pianura-collina.

Una approfondita analisi dei dati bibliografici esistenti e di quelli originali ottenuta con il presente studio, suggerisce un modello geometrico del substrato roccioso condizionato dalle maggiori faglie appartenenti alle due direttrici sopra menzionate.

In particolare la direttrice antiappenninica non avrebbe giocato il solo ruolo di sbloccamento delle gradinate formate dalle faglie dirette con andamento appenninico, ma avrebbero anche prodotto un progressivo seppure irregolare abbassamento del substrato roccioso da nord verso sud.

In base a tale ragionata ipotesi, è possibile individuare nella porzione più meridionale del permesso, quella della Macchia di Migliarino, un'area di maggior potenza dei sedimenti plio-quadernari. In tale area, limitata a nord ed a nord-est rispettivamente dalle faglie 8 e 13, il basamento roccioso dovrebbe trovarsi ad una profondità di circa 3.000 metri.

Le tre vie di approccio stratimetrica, morfologica e

dell'analisi delle fratture, in cui lo studio fotogeologico è stato articolato, hanno suggerito conclusioni coerenti tra loro le quali, a nostro avviso, sembrano utili e stimolanti per i successivi interventi di ricerca sia in fase di programmazione che di esecuzione.

Se dalle future indagini di sottosuolo scaturissero dati contrastanti con il quadro geologico sopra descritto, saremo ben lieti di ridiscutere le conclusioni alle luce delle nuove conoscenze.

11. BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1975).-Accertamenti e indagini per la salvaguardia dall'inquinamento del Lago di Massaciuccoli e del suo territorio. Consorzio di Bonifica del lago e del padule di Massaciuccoli, Pisa.
- AA.VV. (1986).-Terre e paduli. Reperti documenti immagini della storia di Coltano. Bandecchi e Vivaldi Ed.
- AA.VV. (1988).-Il fiume, la campagna, il mare. Reperti documenti immagini per la storia di Vecchiano.-Bandecchi e Vivaldi Ed.
- M.AUTERIO, V.MILANO, F.SASSOLI, C.VITI (1978).-Fenomeni di subsidenza nel comprensorio del Consorzio di Bonifica della Versilia.-Atti del Convegno sui problemi della subsidenza nella politica del territorio e della difesa del suolo, Pisa.
- A.BOSSIO ET ALII (1986).-Schéma stratigraphique et morphologique du Pleistocène et de l'Holocène de la Toscane côtière a l'aide de la paléontologie, de la paléthrologie, de la pédologie, de l'archéologie et de la cartographie pré-géodésique. - L'Anthropologie, 90 (1).
- A.CIANI, C. GANTAR, G. MORELLI (1960).-Rilievo gravimetrico sullo zoccolo epicontinentale dei mari italiani.-Boll.Geof.Teor.Appl.,2.
- G.CIARAPICA, L.PASSERI (1982).-Panoramica sulla geologia delle Alpi Apuane alla luce delle più recenti ricerche.-Mem.Soc.Geol.It.XXIV.
- C.N.R. (1982).-Carta Strutturale dell'Appennino settentrionale.-Pubbli. n°429.
- C.N.R. (1987).-Carta strutturale dell'Appennino Settentrionale. Note illustrative.-Pubbl. n°429.
- L.DALLAN NARDI, R.NARDI (1972).-Schema stratigrafico e strutturale dell'Appennino Settentrionale.-Mem.Acc.Lunigianense di Scienze "G. Cappellini", XLII.
- F.FANUCCI, M. FIRPO (1981).-Application de la sismique reflection à l'étude de la marge continental de la Mer Ligure: quelques exemples.-Boll.Geof.Teor.Appl.,23.
- M.FAZZUOLI, G.FERRINI, E.PANDELI, G.SQUAZZONI (1985).-Le formazioni giurassico-mioceniche della falda toscana a nord dell'Arno: considerazioni sull'evoluzione sedimentaria.-Mem.Soc.Geol.It. XXX.

- P.R.FEDERICI, A.RAU (1980).-Note illustrative della neotettonica del foglio 104 Pisa.-contr. Prelim. Real. Carta neotett. It., CNR 356.
- R.FERRARI (1986).-Studio idrogeologico della piana versiliese.-Rapporto per l'Associazione Intercomunale Versilia.
- G.FIERRO, A.C.WESSELINGH MARSHALL, F.FANUCCI (1985).-Holocene deposits and seabottom undulations on the continental shelf of La Spezia.-Mem.Soc.Geol.It.XXX.
- P.FOCARDI (1987).-Problemi ambientali del lago di Massaciuccoli.-Atti VI Congresso Nazionale dell'Ordine dei Geologi, Venezia.
- G. GANDOLFI, L. PAGANELLI (1977).-Composizione, provenienza e dispersione delle sabbie del litorale pisano-versiliese.-Atti del Convegno di studi per il riequilibrio della costa tra il Fiume Magra e Marina di Massa, Massa.
- GEMINA (1962).-Ligniti e torbe dell'Italia continentale.
- R.GHELARDINI, E.GIANNINI, R.NARDI (1968).-Ricostruzione paleogeografica dei bacini neogenici e quaternari nella bassa valle dell'Arno sulla base dei sondaggi e dei rilievi sismici.-Mem.Soc.Geol.It.VII (1).
- E.GIANNINI (1950).-Studio geologico dei Monti d'Oltre Serchio e di Massarosa.-Boll.Soc.Geol.It.,LXIX.
- E.GIANNINI, R. NARDI (1966).-Osservazioni sulla stratigrafia e la tettonica della zona di raccordo tra il Monte Pisano e le Alpi Apuane.-Boll.Soc.Geol.It. 84 (6).
- E.GIANNINI, R.NARDI (1965).-Geologia della zona nord-occidentale del Monte Pisano e dei Monti d'Oltre Serchio.-Boll.Soc.Geol.It.LXXXIV (5).
- M.GIRDI, G.PRANZINI, L.SERRETTI (1983).-Salt water intrusion in the coastal plains of Versilia and Elba island (Tuscany).-Geologia applicata e idrogeologia, Bari, XVIII, (II).
- R.MAZZANTI, L.TREVISAN (1978).-Evoluzione della rete idrografica nell'Appennino Centro-settentrionale.-Geogr.Fis. Dinam.Quat., 1.
- R.MAZZANTI, M.PASQUINUCCI (1983).-L'evoluzione del litorale lunese-pisano fino alla metà del XIX secolo.-Boll.Soc. Geografica Italiana, XII.
- R. MAZZANTI (1984).-Il punto sul Quaternario della fascia costiera e dell'arcipelago in Toscana.-

Boll.Soc.Geol.It. 102.

- A.M.MUCCHI, M.PELLEGRINI, M.P.MANTOVANI (1968).-Le serie stratigrafiche di Spezia e dei Monti d'Oltre Serchio.- Mem.Soc.Geol.It. VII (2).
- R.NICOLICH (1977).-Some remarks on the uppermost structure on the Ligurian Sea, based on seismic reflection data.- Boll.Geof.Teor.Appl.,19.
- M. PASQUINUCCI, R. MAZZANTI (1987).-La costa tirrenica da Luni a Portus Cosanus.-Colloques Internationaux, C.N.R.S., Parigi.
- M.SANI (1985).-Le breccie della Versilia tra successione toscana metamorfica e falda toscana nell'area di Casoli-Metato (Apuane Meridionali).-Rend.Soc.Geol.It., 8.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1968). Note illustrative della carta geologica d'Italia, Foglio 104, PISA.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1969). Carta geologica di Italia. F°104, Pisa.
- G.SEStINI (Ed.) (1970).-Development of the Northern Apennines geosyncline.-Sedimentary Geology, 4 (3/4).
- M.TONGIORGI (1978).-La subsidenza nelle basse pianure dell'Arno e del Serchio: una prima valutazione quantitativa dei fenomeni osservati, in rapporto ai problemi della difesa del suolo.-Atti del Convegno sui problemi della subsidenza nella politica del Territorio e della difesa del suolo, Pisa.
- G.VANNI, G.MAFFEI CARDELLINI (1987).-Il parco naturale di Migliarino, San Rossore, Massaciuccoli.-Monti e boschi XXXVIII (6).