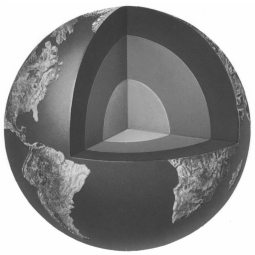
COMUNE DI LIVORNO

PIANO PROTEZIONE CIVILE
RISCHIO SISMICO

SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE DEL SOTTOSUOLO COMUNALE

III° FASE CONOSCITIVA



RELAZIONE ILLUSTRATIVA

L'uomo sta indagando
verso mondi lontani
verso altre costellazioni;
ma tutti noi sappiamo
che il mistero più grande è qui
proprio sotto ai nostri piedi.

Jules Verne
da: Viaggio al centro della Terra

Coordinatore progetto:

Dott. Geol. Antonio Rafanelli

Equipe di Lavoro:

Dott. Geol. Carlo Rafanelli
Ing. Marilena Morri
Dott. Geol. Eugenio Trumpy

INDICE TESTO

Premessa	pag. 3
Obiettivi del lavoro	pag. 4
Localizzazione dell'area in studio	pag. 4
Planning dello studio e metodologia utilizzata	pag. 5
1. Lineamenti morfologici e paleogeografici	pag. 9
2. Caratteri geologico-strutturali	pag. 13
3. Elementi di evoluzione tettonica	pag. 19
4. Elementi di geolitologia	pag. 23
5. Dinamica e stabilità dei versanti	pag. 29
6. Assetto idrogeologico generale	pag. 30
7. Aspetti geo-meccanici degli affioramenti	pag. 33
8. Sezioni lito-stratigrafiche	pag. 37
9. Risposta all'evento sismico	pag. 44

INDICE CARTE

TAV. 1	Carta delle Unit per la scelta dei dati di base
TAV. 2a	Sezioni lito-stratigrafiche da 1 a 7
TAV. 2b	Sezioni lito-stratigrafiche da 8 a 10

PIANO PROTEZIONE CIVILE
RISCHIO SISMICO
III° FASE
Sezioni lito-stratigrafiche del sottosuolo comunale
RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Premessa

L'Amministrazione Comunale di Livorno già dal dicembre 2002 ha avviato un percorso di studi specialistici ed approfondimenti tematici che si pongono un duplice obiettivo:

- ✓ La conoscenza geologico-tecnica del territorio comunale in chiave sismica
- ✓ La costituzione del materiale a supporto della predisposizione del Piano di protezione civile per il rischio sismico.

I primi due livelli di conoscenza della tematica sismica hanno riguardato:

- ✓ "Studio storico sui terremoti nel comune di Livorno" (febbraio 2004) condotto dall'Ufficio Tutela degli Ecosistemi dell'Amministrazione Comunale;

- ✓ "Studio macrosismico del territorio del comune di Livorno" (luglio 2003) condotto dall' Istituto Geofisico Toscano su incarico dell'Amministrazione Comunale

In prosecuzione del percorso avviato, con Disposizione del Dirigente dell'Unità Organizzativa Ambiente del Comune di Livorno n. 4579 del 16 dicembre 2004 è stato affidato allo Studio Geologico A.Rafanelli l'incarico per la "Predisposizione di sezioni geologiche del sottosuolo comunale" al fine di delineare e rappresentare la situazione geologico-strutturale del territorio comunale.

Il presente Studio insieme ai rilievi che la Regione Toscana, di concerto con l'Amministrazione comunale di Livorno, ha in corso di esecuzione, chiude la fase conoscitiva ed avvia la fase più operativa.

Obiettivi del lavoro

Il disciplinare di incarico prevede:

a) La predisposizione di una carta di base con l'indicazione delle sezioni geo-stratigrafiche significative preventivamente concordate con l'Ufficio Tutela degli Ecosistemi e l'indicazione delle campagne di sondaggi, penetrometrie, dati tecnici geognostici in genere e situate in un intorno significativo rispetto alle sezioni.

b) La predisposizione di un libretto delle stratigrafie propedeutico alla costruzione delle correlazioni stratigrafiche.

c) La costruzione delle correlazioni stratigrafiche con indicazione delle principali caratteristiche litotecniche

d) Una relazione con la metodologia utilizzata per la costruzione delle correlazioni stratigrafiche.

Localizzazione dell'area in studio

Il presente Studio fa riferimento territorialmente all'intero Comune di Livorno, ovvero la fascia costiera compresa fra Calambrone a Nord e dalla foce del Torrente Chioma a Sud, il Mar Tirreno a Ponente e lo spartiacque longitudinale dei Monti Livornesi ad Est.

Esso, con una estensione di circa 105 Kmq, è delimitato a Settentrione dallo Scolmatore dell'Arno che segna il confine con il Comune di Pisa, mentre a Nord-Est ed Est è diviso dal Comune di Collesalvetti dal corso del Torrente Ugione.

Nella parte più alta dei colli, nelle vicinanze della Valle Benedetta, si trova il confine con il Comune di Rosignano Marittimo e l'elemento di separazione per tutta la parte a Sud è costituito dal Torrente Chioma fino alla sua foce.

La posizione geografica, con riferimento al centro città -Palazzo comunale- corrisponde ad una Latitudine Nord di 43° 33' 10" ed una Longitudine Est da Greenwich di 10°17'45" (Ovest Monte Mario 2°8'38").

Il territorio continentale è mostrato nello schema cartografico generale (si veda **Fig. 1** seguente).

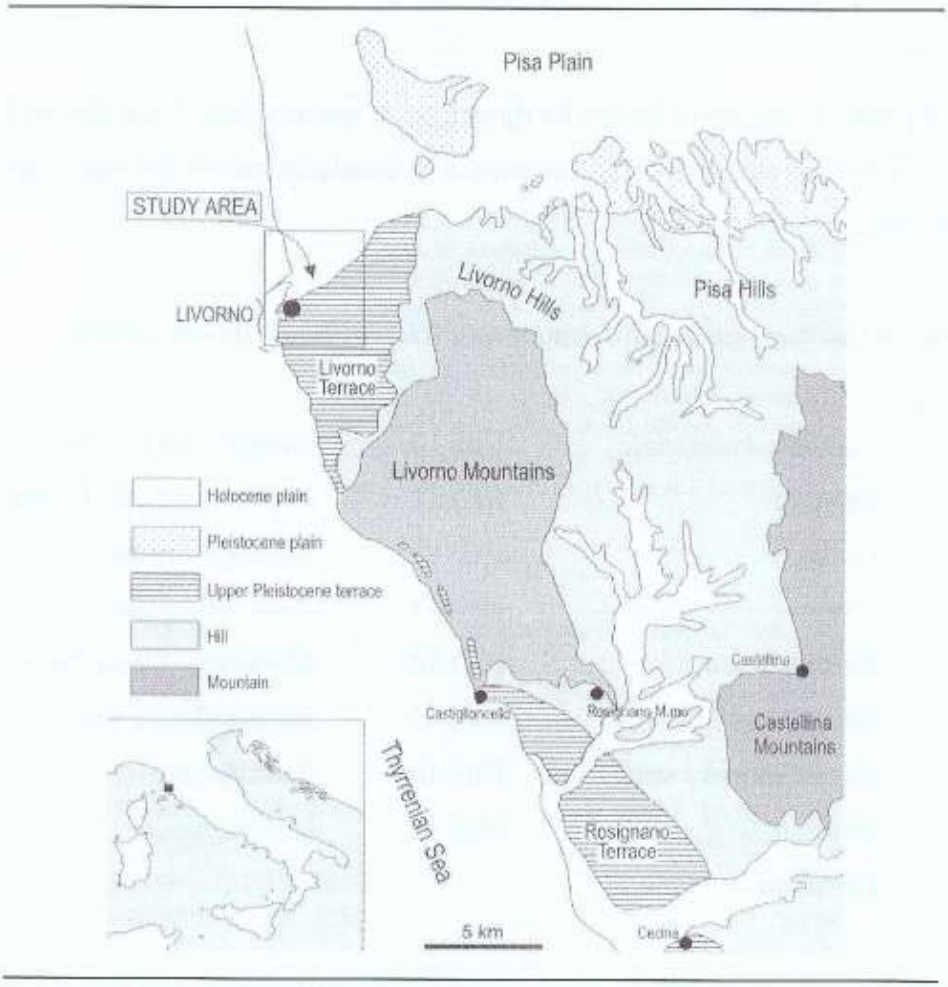


Fig. 1: Inquadramento territoriale dell'area di studio

Planning dello studio e metodologia utilizzata

Lo Studio Geologico A. Rafanelli opera nel settore della geologia da oltre 30 anni e sul territorio del Comune di Livorno ha ordinato una banca dati composta da oltre 800 dati geognostici tra sondaggi a carotaggio continuo, prove penetrometriche, varie indagini geofisiche.

Inoltre l'Ufficio Tutela degli Ecosistemi dell'Amministrazione comunale ha messo a disposizione alcuni ulteriori ed interessanti dati geognostici per un totale di circa 150 lavori che ha condotto dal 1994 al 2005.

Tenuto conto dell'incarico conferito che si sostanzia in sintesi in una caratterizzazione geo-stratigrafica del sottosuolo della città con una lettura preferenziale verso la tematica sismica sono svolte le seguenti fasi (si veda **Schema 1**)

I° FASE - Il primo momento di lavoro ha riguardato la zonizzazione della città di Livorno in *aree di quartiere* al fine di poter strutturare una caratterizzazione geo-stratigrafica per area significativa.

Queste Unità di Quartiere (di seguito denominate *Unit*) partendo da Nord sono:

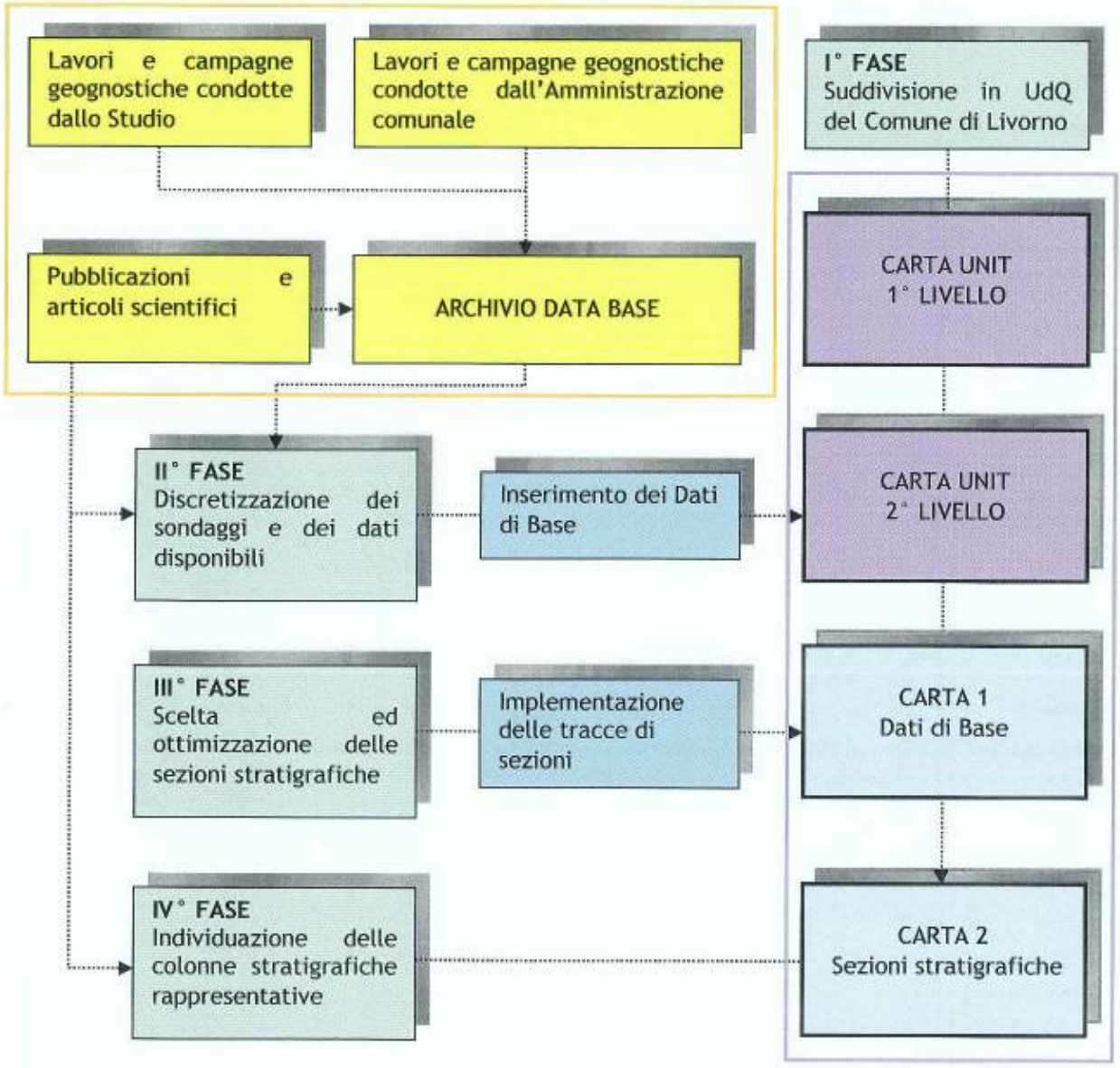
Unit 1	*Portuale-Industriale*	Unit 10	*Scopaia-La Leccia*
Unit 2	*Shangay*	Unit 11	*Limoncino-Valle Benedetta*
Unit 3	*Corea*	Unit 12	*Villa Morazzana*
Unit 4	*Centro e Area storica*	Unit 13	*Zona Antignano*
Unit 5	*Porta a Terra*	Unit 14	*Montenero-Castellaccio*
Unit 6	*Zona Condotti Vecchi*	Unit 15	*Zona collinare sud*
Unit 7	*Zona Collinare nord*	Unit 16	*Zona Romito*
Unit 8	*Ardenza-La Rosa*	Unit 17	*Quercianella*
Unit 9	*Collinaia*		

La Carta delle "Unit" - 1° Livello ha rappresentato il primo documento di lavoro e la tematica base sulla quale sono stati sovrapposti altri strati informativi.

II° FASE - In ciascuna Unit è stato predisposto uno *screening* sui dati geognostici a disposizione e sono stati scelti quelli che:

- hanno raggiunto la profondità da piano campagna superiore ai 25,00 m.;
- hanno un grado di attendibilità da elevato a molto elevato;

Schema 1: Planning operativo delle fasi di lavoro



- mostrano una buona competenza con dati provenienti da fonti diverse;
- Risultano ben cartografati, georeferenziati e rappresentati;
- Sono in accordo con le più recenti pubblicazioni scientifiche sull'argomento

Nell'Archivio Data base dello Studio sono state riversate le seguenti informazioni:

- Lavori e campagne geognostiche e geofisiche condotte dallo Studio A. Rafanelli;
- Lavori e campagne geognostiche condotte dall'Amministrazione comunale e per l'occasione messe a disposizione per implementare il Data base;
- Pubblicazioni, articoli scientifici, lavori geologici di particolare rilievo

Sono stati esaminati gli Studi del Piano Strutturale e sono state analizzate le indagini di fattibilità geologica predisposte dal Comune di Livorno per varie aree.

Si tratta di un'ampia documentazione composta da stratigrafie e diagrammi ottenuti con sondaggi a carotaggio continuo, saggi geognostici, prove penetrometriche statiche, prove penetrometriche dinamiche, trivellazioni per ricerche idriche e stendimenti geoelettrici.

Qualche zona è stata oggetto di sopralluoghi per verificare e correlare le condizioni geo-stratigrafiche, litotecniche e idrogeologiche con l'immediato intorno.

I rilievi di campagna, disponibili da pubblicazioni e da studi inediti, sono stati integrati con l'analisi stereoscopica delle foto aeree, analisi estesa a tutto il territorio comunale.

Per l'inquadramento morfologico e geologico, oltre ad alcune ricognizioni, sono state consultate le monografie più recenti e aggiornate sulla geologia del territorio livornese, in particolare:

- *"Geologia e morfologia dei Comuni di Livorno e Collesalvetti"* di Lazzarotto ed altri Autori (1990), pubblicato sui quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno, corredato da una Carta geologica in scala 1:25.000;

- *"New insights on the Quaternary stratigraphy of the Livorno area as deduced by borehole investigations"* di Barbara Dall'Antonia, Alessandro Ciampalini et alii; da: Bollettino della Società Paleontologica Italiana 43 (1-2), 2004, - 141-157, Modena novembre 2004;
- *"Intra-Tyrrhenian cooling event deduced by a non-marine mollusc assemblage at Villa S.Giorgio (Livorno)"* di Giovanni Zanchetta, Francesco Paolo Bonadonna, Federica Marcolini et alii; da: Bollettino della Società Paleontologica Italiana 43 (1-2), 2004,-331-343, Modena novembre 2004;

E' stata dunque condotta una discretizzazione dei sondaggi e dei dati in genere disponibili e si è proceduto ad una validazione delle informazioni stratigrafiche predisponendo una *Check-list* (proposta in calce alla presente Relazione) con il titolo dei lavori e con un numero di repertorio.

I dati ritenuti idonei e significativi hanno implementato la Carta delle "Unit" 1° Livello e si è così ottenuta una Carta delle "Unit" di 2°Livello in cui sono stati rappresentati i lavori della Check-list.

III° FASE - Dall'analisi della Carta delle "Unit" 2° Livello, tenuto conto della migliore "copertura possibile" in termini di caratterizzazione geo-stratigrafica, è stata condotta la scelta e l'ottimizzazione delle tracce di sezione stratigrafiche in maniera da distribuire omogeneamente le informazioni sull'intero Comune di Livorno. La trasposizione di questo nuovo strato informativo come implementazione del 2° Livello delle "Unit" ha consentito la costruzione della Carta 1" Dati di Base".

IV° FASE - L'ultima Fase, la più impegnativa, è consistita nell'esame delle colonne stratigrafiche e nella costruzione delle Sezioni individuate nella Carta 1 "Dati di Base"; ciò ha consentito la costruzione della Carta 2 "Sezioni stratigrafiche".

1. LINEAMENTI MORFOLOGICI E PALEOGEOGRAFICI

L'area del Comune di Livorno, esclusa l'Isola di Gorgona, comprende una porzione dei Monti e delle Colline Livornesi, una larga *Piana* e una piccola parte dell'orlo meridionale della Pianura di Pisa.

Per *Monti Livornesi*, viene intesa una entità morfologica ben definita, ovvero l'insieme dei rilievi alti che si estendono a SE della Città di Livorno fino a Rosignano M.mo, limitati ad Est dalla valle del Torrente Tora e del Fiume Fine.

Questa giogaia contrasta in modo assai evidente con il circostante paesaggio del "Terrazzo alto" che contraddistingue la fisionomia delle Colline Livornesi, ovvero l'insieme dei blandi rilievi che circondano i lati NO, N ed E dei Monti Livornesi.

Per *Piana di Livorno* si indica l'area pianeggiante e dolcemente declive verso il mare che corrisponde al "Terrazzo basso" costiero su cui si estende la città.

Questa vera e propria unità morfologica ha la forma di un ampio triangolo isoscele col vertice a mezzogiorno, ad Antignano-Maroccone, la base a tramontana, tra la foce del Calambrone e la fattoria Suese a Stagno, il lato di Ponente rappresentato dalla linea di costa e quello di Levante corrispondente all'orlo occidentale dei Monti Livornesi.

Tralasciando l'evoluzione paleogeografica nelle ere più remote gli studi hanno messo in luce che nel Miocene Superiore (10-5 MYA), l'area dei Monti Livornesi era circondata dal mare e nel Pliocene Inferiore il dominio marino raggiungeva la sua massima estensione, con le cime più elevate che dovevano costituire un arcipelago di piccole isole – si veda **Fig. 2** -.

A partire dal Pliocene Medio, con il graduale ritiro del mare, è andata sviluppandosi nel tempo una diffusa rete idrografica con spiccata tendenza erosiva. Per questo motivo, nella zona più montana non ci sono residui di strutture geomorfologiche superficiali più antiche di queste ere.

Per la Piana di Livorno non possono essersi conservate naturalmente morfologie più antiche dell'età dei vari terrazzi eustatici che la compongono.

Qui la conformazione idrografica è certamente posteriore al Tirreniano (0,1 MYA), poichè le aste fluviali incidono il terrazzo riferibile a questo piano. La rete idrografica assume la conformazione attuale durante le glaciazioni del Wurm.

Si può ritenere comunque che, anche prima delle trasgressioni tirreniane, non esistesse un sistema di valli ben incise, che la morfologia fosse pianeggiante e che i fenomeni di deposizione successivi abbiano sepolto queste lievi ondulazioni, formando una piana in debolissima pendenza sulla quale i corsi d'acqua devono avere dilavato in superficie, con un potere erosivo piuttosto limitato.

Attualmente, la fascia costiera del territorio livornese, dal Calambrone (sbocco dello Scolmatore dell'Arno) alla foce del Chioma, conserva lineamenti morfologici molto variabili in cui si distinguono: un'ampia pianura prospiciente la costa dove è sviluppata la città, una zona collinare-montana rappresentata dai rilievi occidentali dei Monti Livornesi, ed una zona pedecollinare, caratterizzata da una serie di spianate morfologiche, che raccordano la piana con i rilievi più alti.

La zona collinare-montana è costituita dalla dorsale dei Monti Livornesi, che si allinea in direzione N-S da Bocca di Gesso-Le Parrane fino a Castiglioncello-Rosignano M.mo.

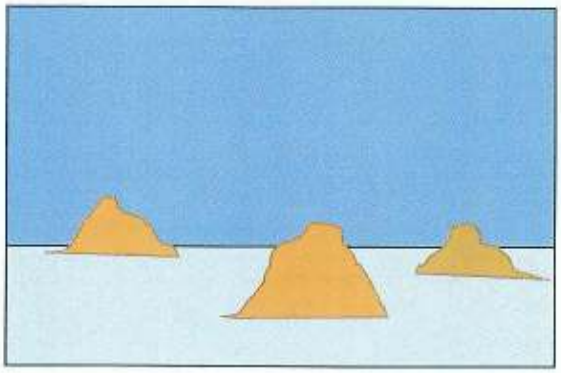
Malgrado non si raggiungano i 500 m di altitudine, questa catena è bene delineata perchè circondata da zone più depresse.

A partire dalla foce del Botro Maroccone e fino al promontorio di Castiglioncello, i rilievi si affacciano direttamente sul mare, con una falesia rocciosa molto elevata.

A nord del Maroccone fino alla foce del Rio Ardenza ed a Quercianella, la falesia è invece limitata superiormente dalla spianata del Terrazzo di Livorno.

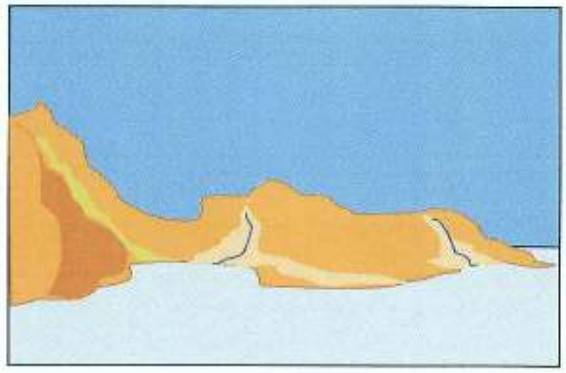
Fig. 2: Ricostruzione paleogeografica recente del territorio livornese

Miocene medio-inferiore



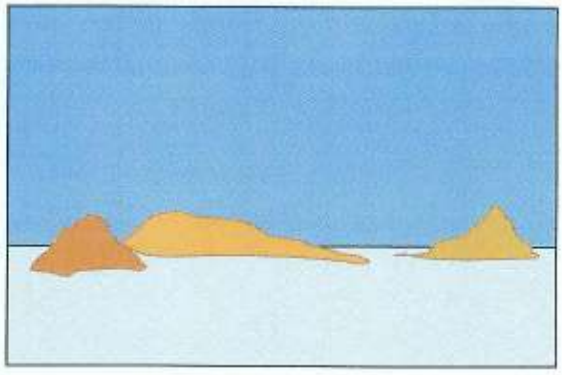
I Monti Livornesi sono ridotti ad una serie di piccole isole, frammentati in un arcipelago, con un mare piuttosto profondo che comincia a dare vistosi segni di abbassamento del livello.

Miocene superiore



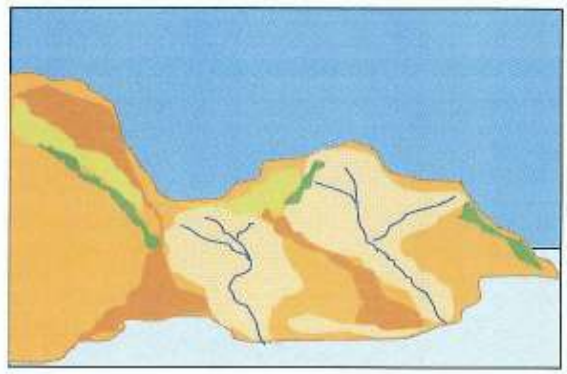
Il clima gioca un ruolo fondamentale, assistiamo infatti ad un aumento delle temperature (si parlava qualche anno fa dell'essiccamento del Bacino del Mediterraneo). Le nostre isole si saldano, aumentano le terre emerse.

Inizio Pliocene



Il mare riconquista le terre emerse, i Monti Livornesi si trasformano ancora una volta in una manciata di isole. A questo contribuisce l'aumento del livello delle acque post-Messiniano

Fine Pliocene



Con fasi tettoniche alterne in cui si susseguono momenti distensivi e per l'azione di deposito dei corsi d'acqua organizzati sulle terre emerse, si assiste ad un nuovo e più consistente rinsaldamento delle terre sparse.

I Monti Livornesi sono attraversati da due spartiacque principali, tra loro quasi perpendicolari e, dei quattro settori determinati dagli spartiacque, i due occidentali interessano la fascia costiera.

Lo spartiacque a direzione mediana unisce le cime del M..Maggiore (454 m. s.l.m.m.) con il Poggio Lecceta ed il Poggio Corbolone; l'altro, in senso E-W, unisce il M. Maggiore al Poggio Caprone, al M. Nero e, attraverso il Poggio Telegrafo, termina sulla costa alta di Calafuria.

Tutta la fascia pedecollinare, da Calafuria fino al piede di Poggio Corbolone a settentrione, è caratterizzata da una serie di spianate morfologiche.

Proprio dal Miocene Superiore, circa 10 MYA, cominciano a manifestarsi nella Toscana marittima una fase di estensione con bacini di sprofondamento (la Piana di Livorno, la Piana di Pisa, il bacino del Tora-Fine), separati da aree più elevate (i Monti Livornesi).

Questa tettonica continua a fasi alterne per tutto il Pliocene (nel Pliocene Medio si ha una fase di lento sollevamento generale) ed è attiva fino al Pleistocene Inferiore, intorno a 1,5 MYA.

Fino ad allora la piana litoranea continua a fare parte di un bacino in subsidenza interessato da repentini ma limitati sprofondamenti. Con la fine del Pleistocene Inferiore, il modellamento geomorfologico non è più guidato dai movimenti lungo le faglie, mentre assumono una grande importanza le oscillazioni del livello del mare legate all'eustatismo glaciale; ciò almeno lungo la fascia costiera interessata dai terrazzi.

Durante il Pleistocene Medio, che inizia 0,7 MYA anni fa ed ha una durata di circa 0,6 MA, si registra un lentissimo sollevamento che si esaurisce intorno ai 100.000 anni fa.

In questo periodo vengono modellati i terrazzi che orlano verso mare i Monti Livornesi La spianata più alta, il Terrazzo di Fattoria delle Pianacce, si è formato nell'interglaciale Mindel-Riss (0,25-0,4 MYA), questo terrazzo più interno e più elevato si trova tra le quote

60 e 120 m. s.l.m.m ed occupa una fascia larga al massimo un paio di chilometri, orlando i direzione NNE-SSW i Monti Livornesi, dalle colline di Guasticce, a nord, a Calafuria.

Con il Pleistocene Superiore iniziano le trasgressioni marine tirreniane, tre in tutto, sempre seguite da altrettanti periodi glaciali: le cosiddette fasi Wurmiane.

Durante queste oscillazioni si rileva il modellamento della spianata più bassa, il Terrazzo di Livorno che raggiunge la quota massima di 20-25 m., corrisponde più a sud a quello di Quercianella – si veda **Fig. 3** -.

Con l'ultimo episodio glaciale Wurm III, circa 20.000 anni fa, si ottiene il massimo abbassamento del livello marino, fino a 100 m. rispetto alle quote attuali. Diecimila anni fa inizia la grande risalita del mare - *trasgressione Versiliana* - fino al raggiungimento della posizione attuale.

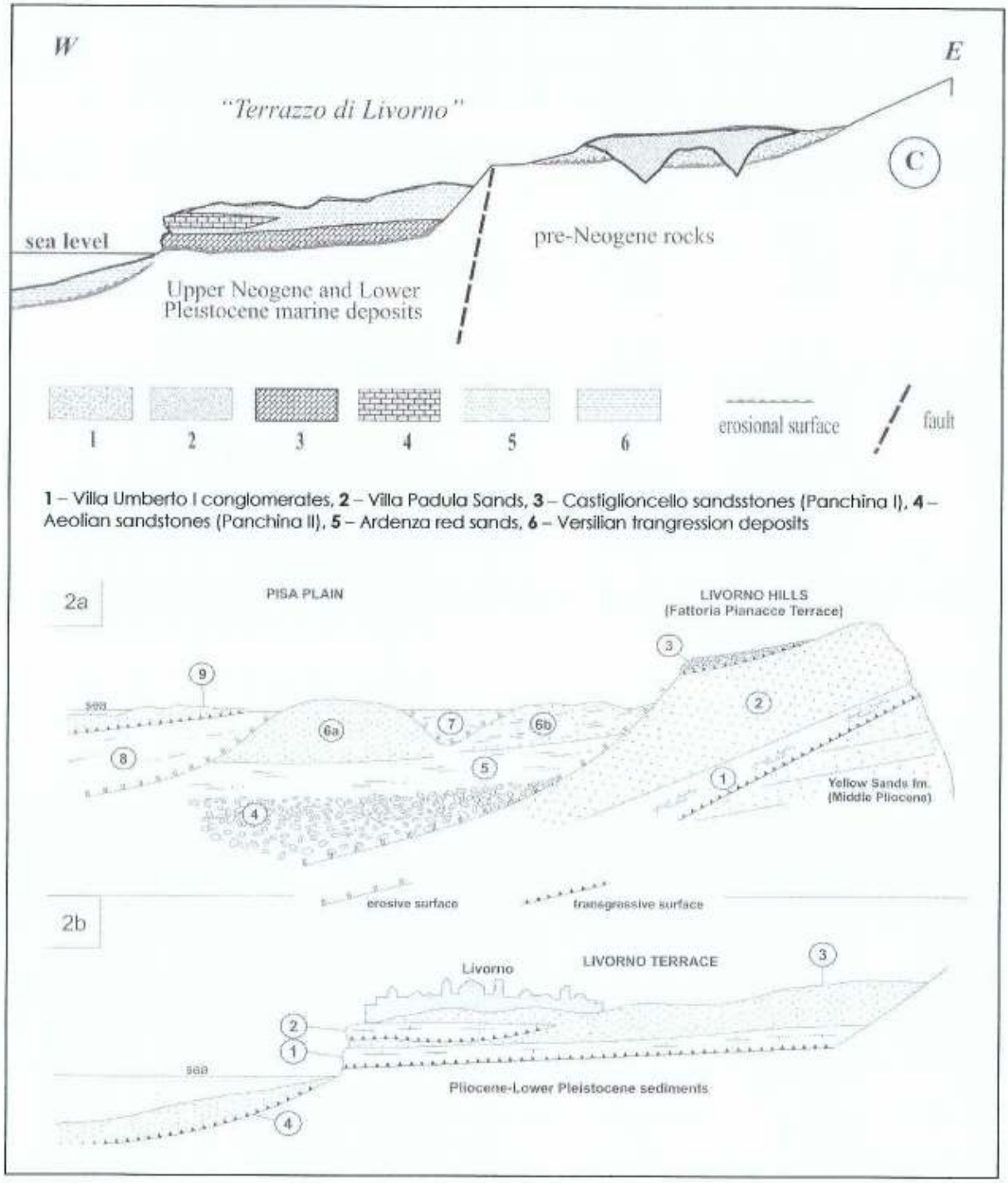
Nell'area livornese, l'attività della tettonica post-parossistica è dunque documentata fino al Pleistocene Inferiore. Per età più recenti, gli elementi di valutazione sono più incerti, soprattutto per la difficoltà di cogliere dislocazioni tettoniche in genere di modestissima entità perchè avvenute in tempi geologicamente brevi.

La spianata di abrasione del Terrazzo di Livorno non è stata nemmeno interessata da fenomeni di sollevamento o sprofondamento in qualche modo dimostrabile. Si sottolinea perciò la sostanziale stabilità dell'area in tempi più recenti, almeno a partire da 100.000 anni fa.

Nella parte centro-meridionale della Piana, la stratigrafia del sottosuolo a partire dall'alto può essere così schematizzata:

- ✓ formazioni marine e salmastre del Pleistocene Inferiore, argille, argille sabbiose e sabbie;
- ✓ formazioni marine del Pliocene; marne, calcareniti, argille con intercalazioni sabbiose, sabbie;

Fig. 3: Rapporti geomorfologici del Terrazzo di Livorno



SCHEMA 2a

1 – Sands and Clays, **2** – Nugola Vecchia Sands, **3** – Fattoria delle Pianacce continental deposits, **4** – Arno and Serchio gravels, **5** – Fluvial and marshy silts, **6a** – Aeolian sand of Coltano, **6b** – Sands and Muds of Vicarello, **7** – Holocene fluvial sediments, **8** – Holocene silts, clays and peat, **9** – Sediments of the Versilian trasgression

SCHEMA 2b

1 – Calcarenitic layer "Panchina I", **2** - Calcarenitic layer "Panchina II", **3** – Ardenza sands and Rio Maggiore Conglomerates, **4** – Sediments of tha Versilian trasgression

- ✓ formazioni marine e salmastre del messiniano (Miocene Superiore): conglomerati, calcari organogeni, depositi evaporitici, sabbie.

2. CARATTERI GEOLOGICO-STRUTTURALI

La successione degli eventi geologici e degli episodi tettonici hanno conferito al territorio livornese una notevole complessità geo-strutturale

Affiorano sia le rocce che formano il substrato antico della Toscana marittima, sia i sedimenti marini e fluvio-lacustri del ciclo neogenico (dal Miocene Superiore al Quaternario): le rocce più antiche costituiscono l'ossatura della dorsale dei Monti Livornesi; i sedimenti neogenici colmano le depressioni tettoniche e formano le zone collinari terrazzate ed il Plane morfologico.

Tra i complessi del Dominio Ligure prevalgono nettamente gli argilloscisti con interstrati di calcari silicei e marnosi "palombini" e "alberese"; marne, marnoscisti e siltiti con calcareniti, normalmente a giacitura caotica.

Sulla base dei rapporti di giacitura delle litofacies che affiorano nell'area comunale del livornese vengono riconosciuti cinque complessi che a partire dal più profondo sono:

- Complesso delle Serie Toscana;
- Complesso Alloctono inferiore;
- Complesso Alloctono intermedio;
- Complesso Alloctono superiore;
- Complesso Neoautoctono

Complesso della Serie Toscana - E' rappresentato dal Flysch arenaceo di Calafuria (di età compresa tra il Paleogene e l'Aquitaniano, molto probabilmente oligocenica) e di ambiente di sedimentazione di conoide sottomarina (il Flysch arenaceo è considerato come uns edimento laterale, più occidentale del Macigno del Chianti). L'arenaria di Calafuria, unica formazione del Dominio Toscano, affiora lungo la costa di Calafuria-Calignaia, dal Botro

Maroccone alla Cala del Leone. L'affioramento ha un'estensione massima di circa 1 km; lo spessore della formazione è di qualche centinaio di metri. Si tratta di arenarie quarzose, stratificate, gradate, con sottili intercalazioni argillitico-marnose.

Complesso Alloctono Inferiore (Cretaceo superiore-Eocene inferiore-medio,Paleocene superiore)- è costituito da due formazioni, la prima del Cretaceo superiore suddivisa in due membri:

- ✓ le Argilliti varicolori del Fortulla, di colore rosso e verde, presenti in strati di spessore decimetrico, ed aventi una potenza complessiva stimabile in alcune centinaia di metri. L'ambiente di deposizione di questa formazione è quello di scarpata continentale. Gli affioramenti migliori si trovano nella zona di Valle Benedetta, dove è ben visibile il rapporto con le soprastanti unità del Complesso Alloctono Intermedio e Superiore.

- ✓ Formazione di Antignano, formata da argilliti, arenarie calcarifere, marne, siltiti e subordinati livelli di brecce. Siltiti ed argilliti si presentano in livelli di spessore decimetrico di colore grigio scuro, in cui sono intercalati strati calcarei color nocciola, aventi uno spessore di alcuni decimetri, e banchi di calcari marnosi di color grigio chiaro. Questi depositi si sono formati in un ambiente di scarpata continentale. Sono inoltre presenti, sia pure in quantità subordinata, livelli di brecce costituite da ciottoli di natura calcarenitica e calcareo-marnosa, immersi in una matrice fine di natura argillitica. L'intera formazione ha uno spessore stimabile in alcune centinaia di metri. Gli affioramenti più evidenti si trovano lungo il litorale, nei pressi di Antignano, lungo il Rio Maroccone, e a Monte La Poggia-Valle Benedetta.

Nella parte meridionale della piana, fra Ardenza-Collinaia ed il Maroccone, queste rocce costituiscono anche il substrato della parte meridionale del Terrazzo di Livorno: affiorano infatti su tutta la scarpata di costa ed al piede delle prime pendici.

La seconda formazione dell'Eocene inferiore-medio- Paleocene superiore è costituita da:

- ✓ Flysch calcareo-marnoso di Poggio S.Quirico costituito da livelli calcareo-marnosi, marnosi con base arenacea, argillitici e arenacei; sono inoltre presenti livelli di brecce ad elementi calcareo-marnosi. L'ambiente di deposizione di quest'unità è quello di piana in facies torbiditica, ed il suo spessore totale è stimabile in alcune centinaia di metri; gli affioramenti migliori si trovano nei pressi di Monte La Poggia e di Montenero e fra i Fossi della Banditella e delle Pianacce, sopra Antignano.

Complesso Alloctono Intermedio (Cretaceo superiore) - sono distinguibili due formazioni:

- ✓ Arenarie, siltiti ed argilliti con Pithonella e livelli di brecce: questa formazione, depostasi in ambiente di scarpata continentale, è costituita principalmente da livelli di siltiti ed argilliti di colore grigio con intercalazioni di arenarie in strati decimetrici e subordinati livelli di brecce con clasti marnosi, siltitici ed arenacei. Lo spessore stimato è di un centinaio di metri circa ed affioramenti consistenti si ritrovano in varie località, le pendici sopra Limoncino, lungo il Botro del Molino, in Popogna, nella valle del Quarata.

- ✓ Flysch calcareo-marnoso di Monteverdi M.mo: questa unità si caratterizza per la sua elevata variabilità litologica, dovuta alla presenza di livelli di natura molto diversa: sono infatti presenti strati di marne arenacee in cui sono intercalati orizzonti di spessore decimetrico di arenaria argillitica, a cui seguono, in sequenza, banchi di calcare marnoso, un banco di circa 10 metri di potenza con ciottoli di varia natura e dimensioni, immersi in una matrice fine argillitica. La sequenza stratigrafica termina con strati di calcare marnoso. La deposizione di questa formazione è avvenuta in ambiente pelagico in facies torbiditica. Notevoli affioramenti sono osservabili nella zona di Monte La Poggia.

Complesso Alloctono Superiore (Giurese Superiore-Cretaceo Inferiore) è caratterizzato da litotipi di natura molto eterogenea, comprendendo rocce di origine ofiolitica: serpentiniti, gabbri, brecce di gabbro, plagiograniti e basalti ed altre di origine sedimentaria, i diaspri, le argilliti con calcari "palombini".

Questi litotipi così eterogenei affiorano in aree molto vaste del territorio del Comune di Livorno: le Serpentiniti sono visibili a Poggio Corbolone ed a Monte Maggiore, i Gabbri a Torre del Romito, i Plagiograniti a Poggio Caprone e a Poggio delle Monachine, i Basalti a Poggio Castello ed al Romito.

Le Argilliti e calcari "palombini" sono presenti un pò ovunque e formano tra l'altro i rilievi di Castellaccio, il Montaccio e, più a meridione, quelli di Quercianella, dal Botro Rogiolo fino al Torrente Chioma.

I Diaspri costituiscono invece piccoli affioramenti di modesto spessore e si rinvengono sempre associati alle ofioliti.

Complesso Neoautoctono – (Miocene Superiore – Olocene):

- ✓ Conglomerati rossi e verdi, talora lignitiferi: questa formazione si presenta in rapporto di discordanza stratigrafica col sottostante Alloctono Ligure ed è costituita, dal punto di vista litologico, da ciottoli di dimensioni assai variabili, derivanti dalle sottostanti unità, immersi in una matrice sabbioso-siltosa di colore rosso. Presenta uno spessore molto vario da zona a zona ma sempre minore a cento metri. La sua deposizione è avvenuta in ambiente deltizio; gli affioramenti più significativi sono nei pressi di Poggio Corbolone e di Quarata.

- ✓ Sedimenti della Formazione del Calcare di Rosignano riferibile ad un ambiente deposizionale di scogliera.

- ✓ Calcare dell'Acquabona: unità costituita da brecce calcaree di colore bianco formate da frammenti di colonie coralline ed algali. Due piccolissimi lembi sono presenti nella zona di Ardenza.

- ✓ Conglomerato di Villa Mirabella: ciottoli subarrotondati provenienti dalle formazioni del sottostante Complesso Alloctono, immersi in una matrice sabbiosa con elevato cemento calcareo. L'ambiente deposizionale è di delta.

- ✓ Calcare di Castelnuovo: unità calcarea corallifera che presenta numerose interdigitazioni di materiale terrigeno (sabbie, ciottoli), che fanno ritenere che la sua deposizione sia avvenuta in un ambiente transizionale, di tipo deltizio. Gli affioramenti del conglomerato e del calcare si notano nei pressi di Villa Limone, a Limoncino, in Popogna, a Cafaggio e in Quarata.

- ✓ Marne e Marne argillose depostesi in ambiente lagunare, ed anch'esse affioranti dove si rinviene la Formazione del Calcare di Rosignano.

- ✓ Gessi e marne calcareo-sabbiose di Case Pian di Torri: unità costituita da alternanze di livelli gessosi e marnosi in banchi di spessore intorno ai 10 m., che si sono deposti in ambiente evaporitico (lagunare chiuso). Gli unici e minuscoli affioramenti sono nei pressi del Rio della Puzzolente ed a Limoncino.

- ✓ Sabbie e conglomerati della Villa di Poggio Piano, appartenenti ad un ambiente deposizionale di tipo transizionale: si rinvengono quasi esclusivamente nella zona del Rio Paganello alle pendici settentrionali de La Poggia.

La sequenza stratigrafica prosegue con le formazioni del Pliocene Inferiore-Medio:

- ✓ Argille azzurre che si sono deposte in ambiente di bacino marino profondo con scarse comunicazioni col mare aperto; si trovano lungo il Torrente Ugione, il Rio dell'Acqua Puzzolente, sul Rio Paganello, a Pian di Rota, nei pressi della Cigna ed a Le Corti.

Per gran parte della Piana di Livorno esse costituiscono il substrato sul quale poggiano i depositi del Terrazzo.

La serie stratigrafica affiorante nella zona del livornese prosegue con le formazioni del Quaternario. I sedimenti delle varie unità stratigrafiche si sono con il tempo addossati a quelle precedenti, determinando una morfologia a terrazzi debolmente degradanti dalle pendici collinari verso il mare.

Per questa complessità di sedimentazione si hanno continue variazioni verticali e rapidi passaggi laterali nel pacco di terreni più superficiali.

Le unità sono caratterizzate dalla presenza di sedimenti marini di esiguo spessore alla base, più in alto da sedimenti ancora marini e di colmamento di modesto spessore e, al tetto, di sedimenti continentali eolico-dunari, salmastro-palustri e deltizio-fluviali, sempre di spessore modesto.

- ✓ Conglomerati di Villa Umberto I° e conglomerati, sabbie e limi di Casa Poggio ai Lecci costituiti da ciottoli provenienti dallo smantellamento di unità del Complesso Alloctono e del Flysch di Calafuria; questa formazione si è deposta in un ambiente di mare basso e deltizio-lacustre. I conglomerati sono visibili su tutto il Terrazzo alto di Fattoria delle Pianacce.

- ✓ Sabbie rosse, calcareniti sabbiose di Villa Padula: si tratta di depositi di origine continentale, eolica, che affiorano nella zona tra Collinaia e Salviano, sul Terrazzo di Villa Padula-Salviano.

- ✓ Conglomerato di S.Stefano: costituito da ciottoli provenienti dallo smantellamento di unità del Complesso Alloctono e della Serie Toscana, immersi in una matrice sabbiosa. Dal punto di vista paleoambientale, questi depositi testimoniano una fase trasgressiva con l'impostazione di condizioni deposizionali tipiche di mare basso. Affioramenti minuscoli si trovano nella zona di S.Stefano ai Lupi.

- ✓ Calcareniti sabbiose di Castiglioncello "panchina": nei livelli inferiori questa unità presenta caratteri deposizionali tipici di ambiente marino litorale, mentre nei livelli superiori di tipo continentale. Gli affioramenti si trovano in grande abbondanza sul Terrazzo di Livorno, lungo tutto il litorale da Ardenza fino al Marroccone e sulla spianata di Quercianella fino a Chioma.

- ✓ Conglomerati, calcareniti sabbiose e sabbie limose di Rio Maggiore, di ambiente di tipo fluvio-lacustre; gli unici affioramenti osservabili si trovano nei dintorni di Salviano.

- ✓ Sabbie di Ardenza: si tratta di una formazione costituita da sabbie fini derivanti da accumulo di tipo eolico affiorante su un'ampia fascia del Terrazzo di Livorno, da Antignano a S.Stefano ai Lupi.

- ✓ Infine, chiudono la complessa sequenza stratigrafica del livornese, i depositi di età variabile dal Pleistocene Superiore all'Olocene: si tratta principalmente di Alluvioni recenti dei corsi d'acqua, Depositi di spiaggia, Sedimenti palustri alluvionali e di colmata. Questi ultimi occupano tutta l'area bassa a settentrione della città, fra il bordo del terrazzo (la cosidetta Gronda dei Lupi) e lo Scolmatore dell'Arno.

3. ELEMENTI DI EVOLUZIONE TETTONICA

Interessante rilevare che nel territorio del Comune di Livorno si riconoscono sovrapposizioni di strutture di stile rigido e distensivo (del Complesso Neoautoctono) sulle strutture di tipo plicativo e traslativo che sono caratteristiche dei complessi liguri e di quello della Serie Toscana.

Di seguito esamineremo le principali strutture tettoniche presenti nel territorio del Comune di Livorno cercando di seguire l'ordine dei complessi geologici.

Complesso autoctono della Serie Toscana – Nell'insieme l'assetto tettonico di questa formazione è una monoclinale con tendenza ad un accenno di piegamento con asse NO-SE cui potrebbero riferirsi le direzioni lungo la costa a NO della Punta Combara.

Il margine orientale dell'affioramento corrisponde alla faglia di distensione delle *Monachine* con andamento circa N-S (appartenente alla tettonica tardiva posteriore al Miocene superiore) altrettanto dicasi per la faglia del *Maroccone* con direzione NO-SE – si veda **Fig. 4** –

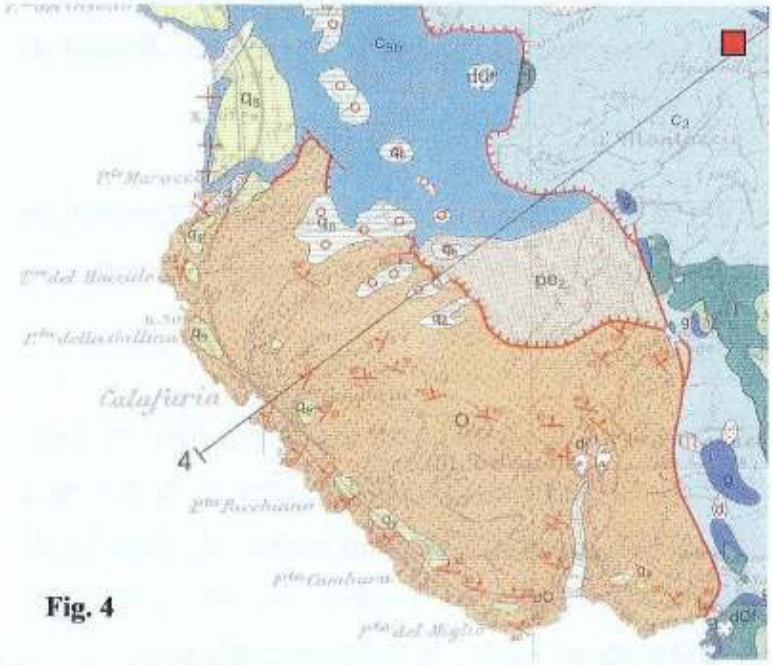


Fig. 4

4 - Faglie con andamento N-S (Monachine) e con direzione NO-SE (Maroccone)

Complesso alloctono inferiore – Si riconoscono diversi ordini di strutture:

- ✓ Quelle poste all'interno delle singole formazioni;
- ✓ Quelle coinvolgenti più formazioni del complesso stesso (sia dell'Alloctono ligure, sia della Serie Toscana)

La località più adatta alle osservazioni della prima tipologia è la cava di Monte Burrone; per quanto riguarda la seconda tipologia risultano molto evidenti due pieghe rovesciate di Monte Burrone e Monte La Poggia ed una faglia in Località Belvedere.

Le formazioni del Complesso alloctono inferiore sono sormontate sia da quelle del Complesso alloctono Intermedio (esempio Savolano), sia dal Complesso Alloctono superiore (ad esempio Montenero) – si veda **Fig. 5** -.

Complesso alloctono intermedio – Se si prescinde da complicazioni collegate a strutture minori quali piccole pieghe e stiramenti disarmonici presenti specialmente nella formazione di base (c6), la struttura fondamentale risulta da un insieme di pieghe ad assi anti-appenninici, coricate ed isoclinali che coinvolgono entrambe le formazioni di questo

complesso. L'assetto isoclinale è particolarmente evidente nell'ampio affioramento che da Colognole si spinge fino a Cordecimo – si veda **Fig. 6** -.

Complesso alloctono superiore – Anche in questo caso si possono riconoscere diversi ordini di strutture come per l'Alloctono inferiore; interessanti ed estese sono le evidenze presso il Monte Maggiore ed al Poggio Corbolone. Qui si rinviene l'evidenza che le potenti masse serpentinifere possono avere risposto in maniera semi-indipendente alle forti sollecitazioni tettoniche cui tutto il Complesso Ofiolitifero è stato sottoposto durante le numerose fasi tettoniche nelle quali è stato coinvolto – si veda **Fig. 7** -.

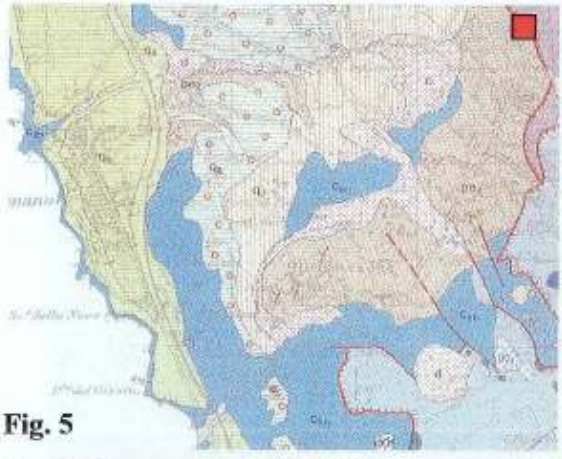


Fig. 5

Fig. 6

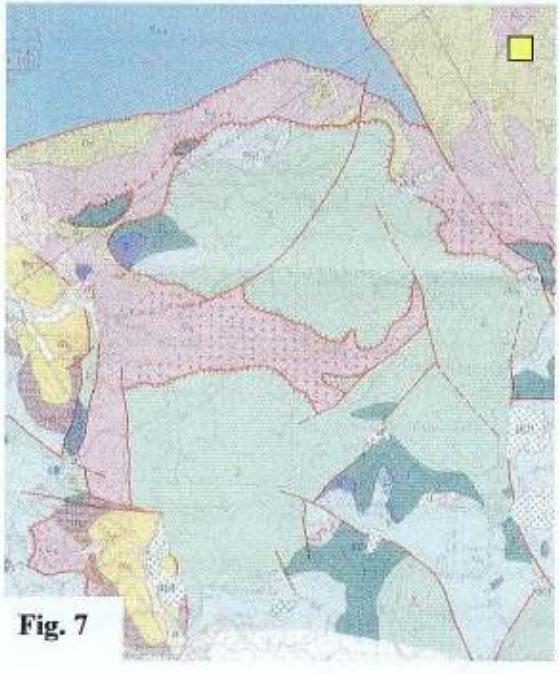
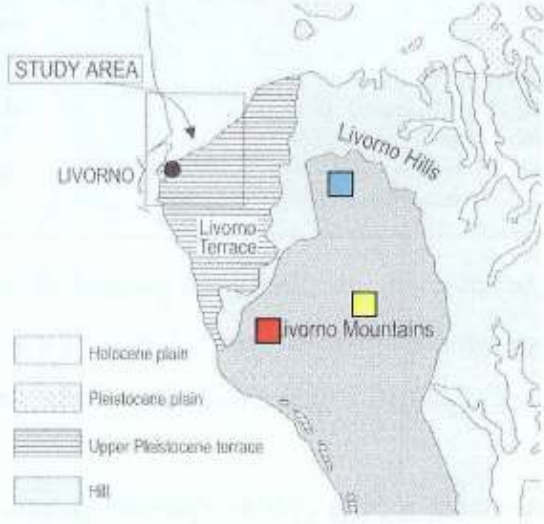


Fig. 7



5 Faglie di Monte Burrone e Loc. Belvedere
6 Assetto isoclinale Colognole-Cordecimo
7 Sistema di faglie Monte Maggiore

Complesso Neoautoctono – I sedimenti del Miocene superiore della parte settentrionale dei Monti Livornesi sono dislocati tutti nello stesso modo; sedimenti si attestano ad esempio su quelli dei Complessi Liguri attraverso il fascio di faglie dirette e conformi come a Cordecimo – si veda **Fig. 8** -. Di tutte le faglie è certa un'attività posteriore alla deposizione dei sedimenti del Miocene superiore che risultano da esse tagliati.

Nei sedimenti del Pliocene inferiore e medio si rileva una giacitura anomala nella zona del Rio Paganello – si veda **Fig. 9** – che può essere collegata alle immediate vicinanze della faglia che separa i sedimenti pliocenici delle formazioni dell'Alloctono Ligure. Di questa ultima faglia attiva sicuramente anche dopo il Pliocene medio perchè ne taglia i sedimenti, è possibile affermare che ha terminato l'attività nel Pleistocene medio in quanto risulta in più punti sormantata da sedimenti indisturbati di questa età.

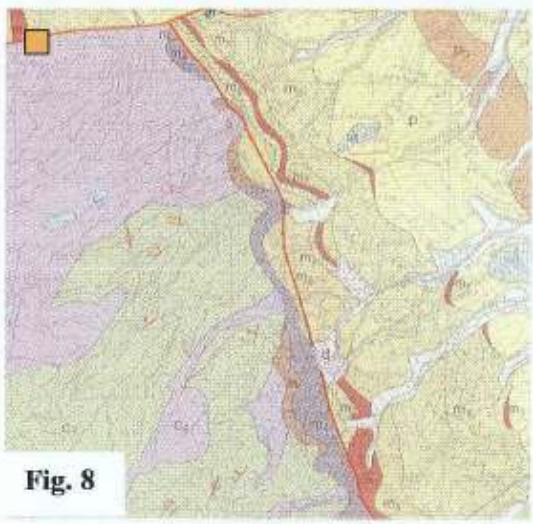


Fig. 8

Fig. 9

Sia le Alluvioni, sia i sedimenti palustri, alluvionali e di colmata sono stati ampiamente destrutturati durante le lavorazioni agricole e le sistemazioni idrauliche per cui non sembrano visibili eventuali strutture tettoniche di una certa rilevanza.

Savi (1846) e Pilla (1846) riportano precise descrizioni dei danni che subirono Orciano (dove avvennero le distruzioni maggiori), Luciana, Santo Regolo, Collesalvetti, Nugola e Guasticce assieme a quelli di Livorno (dove il sisma ebbe effetti minori) nel terremoto dell'agosto 1846.

Durante l'episodio sismico si aprirono numerose fessure nel suolo tra le quali una presso il Podere Stagno lunga quasi 7 metri ed a direzione circa NO-SE ed un'altra nella Pianura del Tora tra Luciana e Lorenzana ancora in direzione NO-SE e lungo le quali *si formarono alcune cavità imbutiformi con emanazione di acqua mista a sabbia.*

Un elemento di grande interesse sotto il profilo del presente lavoro è costituito dal bordo esistente ed ormai molto studiato tra il terrazzo di livorno e le aree palustri e/o di colmata che non ha nulla di tettonico, ma costituisce una linea di discontinuità strutturale di una certa importanza, visto che tutti gli episodi sismici hanno avuto un effetto di maggiore percezione in una fascia contenuta proprio intorno a questa linea da tutti riconosciuta come la "Gronda dei Lupi" – si veda **Fig. 10** -.

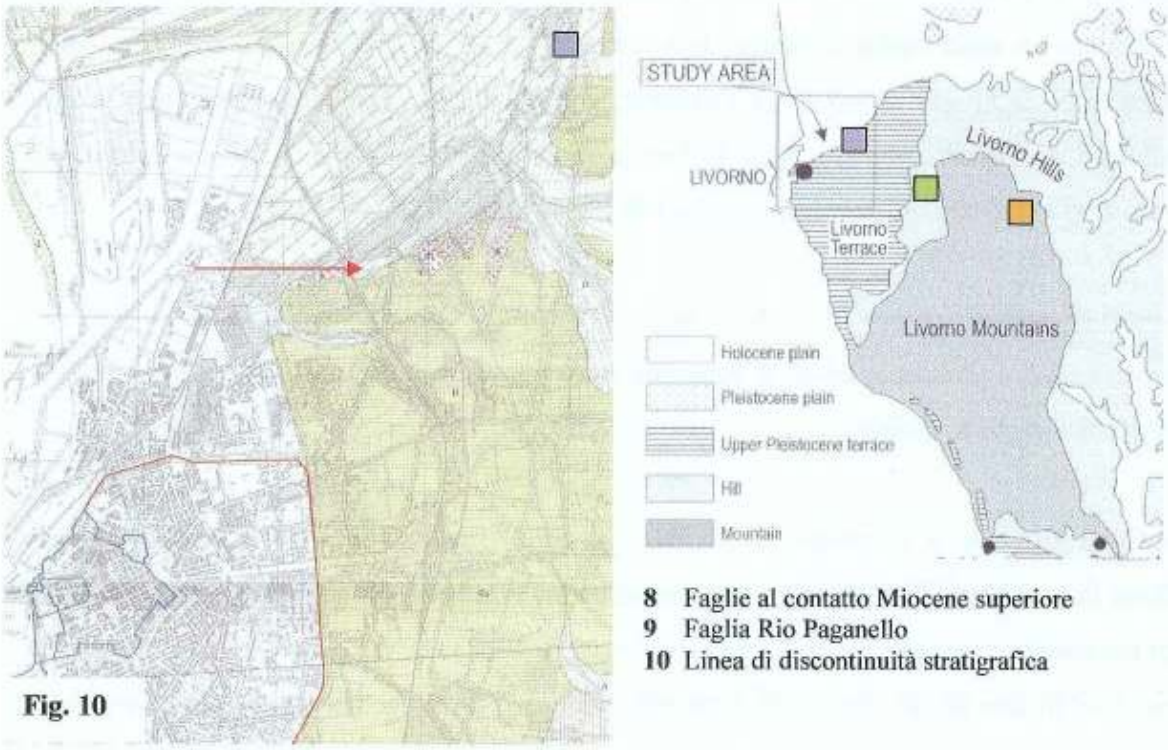


Fig. 10

8 Faglie al contatto Miocene superiore
9 Faglia Rio Paganello
10 Linea di discontinuità stratigrafica

4. ELEMENTI DI GEOLITOLOGIA

Come in parte già accennato l'area collinare è caratterizzata dalla sovrapposizione tettonica di varie unità strutturali appartenenti al Dominio Ligure interno ed esterno, e costituite in

prevalenza da unità stratigrafiche di natura flyscioide, nelle quali a strati e banchi di arenarie, calcareniti o calcari marnosi si alternano livelli di argilliti.

Questo carattere conferisce alle aree d'affioramento di queste unità una scarsa stabilità morfologica, accentuata peraltro dal loro assetto spesso caotico e dalla loro intensa fratturazione.

Localmente all'interno di queste unità strutturali si trovano anche litologie a comportamento più rigido quali le unità ofiolitiche e unità flyscioidi a minor contenuto argilloso quali la Formazione di Poggio S. Quirico ed il Flysch arenaceo di Calafuria.

Non si possiedono dati sulle impedenze in queste litologie, tuttavia si ritiene possibile che al contatto tra unità molto compatte, ben cementate, e relativamente poco fratturate come ad esempio il Flysch arenaceo di Calafuria, e unità ad alto contenuto argillitico, molto fratturate e ad assetto caotico, quali la Formazione di Antignano o le Argille a Palombini, si possano verificare dei sensibili contrasti di impedenza.

Potenzialmente maggiori dovrebbero essere i contrasti di impedenza tra i depositi dei Terrazzi medio pleistocenici ed il substrato laddove costituito da unità più rigide quali il Flysch di Poggio S. Quirico.

L'area di Terrazzo è caratterizzata da litologia omogenea su tutta l'area. Lungo la costa affiora la cosiddetta "Panchina" ossia una calcarenite grossolana-conglomerato fine molto ben cementata e caratterizzata a tratti da elevata porosità. In più punti del Terrazzo sono riconoscibili due livelli distinti di "Panchina" separati da un sottile intervallo di argille e limi.

Lo spessore complessivo massimo dei due livelli di panchina, laddove non è visibile l'intercalazione argillosa raggiunge i 7,00-9,00 m. Al di sopra della "Panchina" giacciono le Sabbie di Ardenza costituite da sabbie molto fini ed omogenee e prive di strutture sedimentarie rilevabili.

Il Terrazzo giace su un substrato che emerge in alcuni punti in corrispondenza di incisioni vallive e, per una vasta area compresa tra il Rio Ardenza ed il Porto, è costituito da argille marine del Pliocene inferiore.

In corrispondenza del Rio Ardenza il substrato è invece costituito da calcari organogeni del Messiniano. Dall'area di Banditella fino al Maroccone il terrazzo giace sulla Formazione di Antignano, ed ancora più a sud piccoli lembi correlati al Terrazzo di Livorno giacciono sul Flysch arenaceo di Calafuria. In corrispondenza del Bacino di Carenaggio invece giace su argille e sabbie marine del Pleistocene inferiore.

La piana alluvionale nel territorio livornese è costituita da sedimenti palustri e di colmata (limi e torbe), deposti in epoca storica e soggetti a cedimenti per compattazione molto elevati. Il contatto tra questi depositi ed i depositi più antichi del terrazzo e del suo substrato corrisponde verosimilmente alla superficie di erosione connessa all'ultima fase glaciale (Wurm III)

Geolitologicamente è possibile classificare le formazioni in base a criteri litologici e fisico-meccanici e raggruppate nelle seguenti sei classi:

- Rocce coerenti ad elevata e media resistenza
- Rocce semicoerenti conglomeratiche
- Rocce incoerenti sabbiose
- Rocce coerenti di scarsa resistenza
- Rocce pseudocoerenti argilloso-sabbiose
- Rocce pseudocoerenti argillose

Nella *Rocce coerenti ad elevata e media resistenza* sono state inserite:

La Formazione del Calcare di Rosignano: Calcari di Castelnuovo, la Formazione del Calcare di Rosignano: Calcari dell'Acquabona, le Radiolariti, i Basalti, i Plagiograniti , i Gabbri e Brecce di Gabbro, le Serpentiniti, il Flysch calcareo-marnoso di Monteverdi M.mo, il Flysch calcareo marnoso di Poggio S. Quirico con livelli di brecce, le Argilliti

varicolori del Fortulla con banchi di brecciole, calcari a grana fine ed arenarie ed il Flysch arenaceo di Calafuria.

Le rocce raggruppate in questa classe hanno caratteristiche litotecniche assai eterogenee.

I Calcari di Rosignano hanno costituzione in netta prevalenza lapidea in banchi massivi e talora in strati più o meno fratturati e friabili.

Il gruppo delle Ofioliti: (serpentiniti, gabbri e brecce di gabbro, a cui sono associati basalti, plagiograniti e radiolariti), consiste in rocce litoidi massicce, la cui compagine d'insieme può variare in relazione al grado fratturazione, generalmente notevole, e di degradazione superficiale.

Le caratteristiche geomeccaniche del gruppo comprendente il Flysch calcareo-marnoso di Monteverdi M.mo, quello di Poggio S.Quirico e le Argilliti varicolori del Fortulla, si differenziano a seconda che si tratti di calcari marnosi, di argilloscisti o marnoscisti o di brecce degli stessi litotipi. Per le caratteristiche di queste rocce, le intercalazioni di marnoscisti ed argilliti rappresentano l'elemento che caratterizza le condizioni geomeccaniche della formazione.

Il Flysch arenaceo di Calafuria ha buone caratteristiche geomeccaniche ed è normalmente duro, compatto e ben cementato; soltanto localmente, se alterato, ha un minor grado di cementazione ed è friabile. Le intercalazioni argilloso-siltoso-marnose, dove si infittiscono, conferiscono all'ammasso roccioso caratteristiche geomeccaniche inferiori. Le caratteristiche migliorano con la profondità, dove la roccia è integra o poco alterata.

Nelle *Rocce semicoerenti conglomeratiche* possono raggrupparsi:

Le Sabbie di Ardenza, le Calcareniti sabbiose di Castiglioncello, le Sabbie rosse (talora con ciottoli), e calcareniti sabbiose di Villa Padula, i Conglomerati, sabbie e limi di Casa Poggio ai Lecci , i Conglomerati rossi e verdi talora lignitiferi .

Per quanto riguarda questi litotipi, si tratta di terre con buone caratteristiche geomeccaniche, salvo qualche livello localmente meno consistente comunque di esiguo spessore. Le calcareniti, cioè la tipica "Panchina" livornese, si rinvengono in banchi o lastre, e sono talora detritiche e alternate da livelli sabbioso-limosi e da conglomerato con clasti calcarei più o meno cementati. Questo litotipo se in condizioni di alterazione può essere assimilato ad una ghiaia o ad una sabbia medio-grossolana.

Alle *Rocce incoerenti sabbiose* appartengono:

I depositi di Spiaggia, le Alluvioni, le Alluvioni terrazzate, le Sabbie gialle, le Sabbie e conglomerati della Villa di Poggio Piano.

Il gruppo dei depositi alluvionali, ed alluvioni terrazzate, è formato da litotipi che, in generale, presentano caratteristiche geomeccaniche piuttosto variabili. Le caratteristiche geotecniche tendono a diventare scadenti solo in presenza di limi ed argille con basso grado di consolidazione.

Le formazioni a dominante sabbiosa, sabbie gialle e conglomerati della Villa di Poggio Piano, a cui possono essere associate i depositi di spiaggia, sono costituite da sedimenti per lo più a grana fine o medio-fine, sciolti o, talora, debolmente cementati, con intercalazioni di livelli da limosi ad argillosi o di lenti calcarenitiche.

Figurano tra le *Rocce coerenti di scarsa resistenza*:

I Gessi, le Marne e marne argillose, le Argilliti e calcari silicei "Palombini", le Arenarie, siltiti, argilliti con *Pithonella*, Formazione di Antignano: Argilliti, arenarie calcarifere, marne e siltiti.

Il gruppo comprendente i gessi e le marne e marne argillose, è costituito da un'alternanza di banchi marnosi, marnoso-argillosi, argillosi, con intercalazioni di diatomiti stratificate e di gessi. Quest'ultimi si possono presentare talora in bancate, con fratturazioni e anche con cavità per fenomeni carsici.

La non buona compattezza d'insieme delle argilliti e calcari silicei "Palombini", delle arenarie, siltiti, argilliti con Phitonella e dai litotipi della Formazione di Antignano, deriva sia dall'essere costituite da associazioni di litotipi con diverse caratteristiche fisico-meccaniche. Alle sequenze di litotipi lapidei in banchi o strati più o meno intensamente fratturati, si alternano livelli siltosi o argillitici con elevata fissilità derivante da intensi processi tettonici.

Sono raggruppati tra le *Rocce pseudocoerenti argilloso-sabbiose*

I Detriti e le frane e le Sabbie e argille ad Arctica.

Gli accumuli detritici, di frana e di paleofrana derivano da litotipi con caratteristiche alquanto eterogenee. Per la loro composizione litologica si deve fare riferimento a quella dell'unità litotecnica da cui sono stati originati.

La formazione delle sabbie e argille ad Arctica è costituita da alternanze di livelli argillosi e di strati sabbiosi con prevalenza abbastanza netta di argille plastiche.

Tra le *Rocce pseudocoerenti argillose* sono state inserite

I Sedimenti palustri, alluvionali e di colmata e le Argille azzurre.

Nei sedimenti palustri, alluvionali e di colmata prevalgono i limi e le argille melmose, i limi e le sabbie con livelli di torba. La formazione delle argille azzurre possiede una variabilità geotecnica ampia in virtù delle caratteristiche giaciturali e di alterazione litologia, anche se la componente argillosa pura prevale rispetto alle frazioni di argilla più o meno marnosa, siltosa o sabbiosa.

I Siti di discarica ed i Riempimenti terrigeni risultano estrusi dalla classificazione geo-litologica.

5. DINAMICA E STABILITÀ DEI VERSANTI

La zona montana è la zona in cui sono più evidenti problemi di stabilità dei versanti. Oltre a presentare le maggiori elevazioni e le incisioni più profonde, mostra anche affioramenti più articolati, e cioè le formazioni dei Complessi Liguri con assetto caotico o con strutture tettoniche (anticlinali, sinclinali, pieghe), in continua variazione.

La maggiore estensione degli affioramenti è costituita da argilliti con interstrati calcarei. I due litotipi della formazione hanno proprietà opposte nei confronti degli agenti erosivi: i calcari sono impermeabili e resistenti; gli argilloscisti impermeabili nella massa con innumerevoli piani di fissilità, formano invece un reticolo fitto di vie d'acqua più o meno capillare, in prossimità della superficie morfologica.

Ne consegue uno svuotamento delle superfici argilloscistose, che si laminano in minute scagliette ed il crollo dei banchi calcarei intercalati.

Questa attitudine, unitamente all'assetto dislocato e frantumato dell'intera massa rocciosa, così come la presenza di antiche superfici di scorrimento tettonico (storia deformativa delle masse alloctone), costituiscono elementi di instabilità dei pendii.

Per i caratteri litologici ed in particolare per la componente argilloscistosa predominante, gli affioramenti sono accompagnati da una coltre detritica e da materiale di alterazione superficiale, talora molto abbondanti.

Tra le cause che provocano movimenti gravitativi in questa formazione, è importante anche il processo di scalzamento alla base operato dai corsi d'acqua.

Per l'assetto caotico dei terreni, l'individuazione delle frane è talora molto difficile e la loro evoluzione può essere nell'insieme molto lenta. Per la difficoltà di riconoscimento e per la lentezza dei movimenti, possono essere scambiati per stabili anche versanti con equilibrio molto precario.

I diaspri, se molto tettonizzati ed alterati, possono essere assimilati agli argilloscisti con palombini, ma la loro presenza è esigua.

Negli affioramenti di ofioliti (serpentiniti, gabbri, basalti), si sviluppano versanti nell'insieme stabili. Queste rocce, non stratificate, compatte e massive, mostrano una buona resistenza agli agenti atmosferici. L'alterazione superficiale favorisce il distacco di piccoli blocchetti di roccia che si accumulano in fasce di detriti.

Un analogo comportamento può essere attribuito all'arenaria tipo Macigno.

Per quanto riguarda la stabilità delle aree dei Terrazzi, in particolare per quello di Livorno, si deve parlare della stabilità intrinseca dei sedimenti. La panchina, i conglomerati, le sabbie, le sabbie limose, le argille marine, hanno buone caratteristiche geomeccaniche e non presentano normalmente problemi di stabilità. La presenza in superficie di limi o argille limoso-torbose con comportamento geotecnico scadente, richiede una maggiore attenzione, ma in genere si tratta di lenti di piccolo spessore e di limitata estensione areale.

6. ASSETTO IDROGEOLOGICO GENERALE

I terreni possono essere suddivisi in base alle caratteristiche idrogeologiche soprattutto per quanto concerne il tipo ed il grado di permeabilità.

I depositi alluvionali, le coltri detritiche, le sabbie, le ghiaie, i conglomerati, la panchina, possiedono una buona permeabilità per porosità.

Nelle coltri eluviali e colluviali, la permeabilità è medio-bassa, sempre per porosità.

Le ofioliti ed i diaspri risultano mediamente permeabili e localmente molto permeabili per fratturazione. Le arenarie (macigno) sono invece da scarsamente a mediamente permeabili, ancora per fratturazione.

Gli argilloscisti con interstrati calcarei sono da considerarsi impermeabili e sono localmente permeabili per fissilità e fratturazione. I limi e le argille, sono impermeabili.

Gli affioramenti nella zona montana e pedecollinare costiera sono rappresentate in prevalenza da formazioni flyscioidi con calcari. La circolazione idrica è limitata alle coperture detritiche e coltri eluviali e colluviali ed alla parte superficiale ed alterata del substrato roccioso.

Falde acquifere sono possibili, ma limitatamente a coperture detritiche continue e di un certo spessore.

Gli argilloscisti con calcari hanno mediamente una permeabilità molto bassa, tale da essere considerati impermeabili nella massa. Questi litotipi possono essere permeabili per fratturazione e fessurazione, attraverso i piani di scistosità, le diaclasi, i giunti di stratificazione, i condotti di dissoluzione dei calcari, se la rete di fratture costituisce un sistema più o meno intenso e continuo. In questi casi, poco diffuse, si possono intercettare vene acquifere fino a profondità di qualche decina di metri, con apporti di norma modesti ma talvolta perenni. Lo scorrimento delle acque in superficie predomina nettamente sulla circolazione nel sottosuolo, conferendo a queste rocce uno scarso interesse per le ricerche idriche.

I diaspri hanno una buona permeabilità secondaria per fratturazione, ma per la modesta entità degli affioramenti rivestono una scarsa importanza.

Le ofioliti massive sono permeabili per fratturazione e fessurazione. L'acqua si raccoglie in questi ammassi, vere e proprie rocce cisterna e fuoriesce per trabocco o per caduta al contatto con i terreni permeabili (un fenomeno simile può avvenire anche nelle formazioni di scisti e calcari, quando questi ultimi sono molto fessurati e fratturati -in superficie- e sono prevalenti rispetto alla componente argillosa). Le ofioliti possono costituire talvolta acquiferi di buona consistenza, assumendo una certa importanza dal punto pratico, e frequenti sono le opere di captazione in queste rocce. La circolazione idrica è possibile fino a notevole profondità, dell'ordine di varie decine di metri.

L'arenaria tipo Macigno ha nell'insieme una debole permeabilità secondaria per fessurazione e fratturazione. Questa è però limitata agli strati alterati e fratturati superficiali. In profondità la circolazione, possibile attraverso sistemi continui di lineazioni, viene impedita dal carico litostatico tendente a serrare le fratture.

L'alterazione di queste rocce, in particolare le ofioliti, dà origine a materiali fini che, trasportati dalle acque di dilavamento all'interno delle fratture, ne riducono progressivamente le dimensioni a scapito della permebilità d'insieme.

I depositi alluvionali dei corsi d'acqua principali, hanno una buona permeabilità, ma la loro consistenza è modesta e limitata ad una ristretta fascia lungo gli alvei attuali.

Nella piana della città, in linea di massima lo schema della circolazione è semplice: un livello praticamente impermeabile di base, costituito da argille e argille sabbiose, sormontato da orizzonti a varia permeabilità appartenenti agli episodi sedimentari più recenti, che costituiscono nel loro insieme un acquifero multistrato.

In questi strati permeabili sovrapposti, separati da sottili livelli argillosi, si può distinguere:

- la parte prossima alla superficie costituita da un insieme di alternanze sabbioso-limose, con livelli di ghiaie intercalate, caratterizzate da bassa permeabilità e con livelli acquiferi di modesta portata;
- la zona di alternanza di strati arenaceo-sabbiosi (panchina) con strati di ghiaie e conglomerati, caratterizzata da buona permeabilità

All'interno di questo insieme, sono presenti strati di argilla e limo praticamente impermeabili. In certe zone, questi sostituiscono del tutto i terreni permeabili. Nell'insieme, questi orizzonti costituiscono un acquifero multistrato con apprezzabile capacità produttiva.

Lo spessore dei livelli acquiferi è dell'ordine dei 10,00 m., ma questo aumenta in molte località fino a 15,00-20,00 m, in corrispondenza di paleoincisioni del substrato argilloso.

Per quanto riguarda i deflussi sotterranei ospitati in ammassi litoidi, più che di falde in senso stretto è più opportuno parlare di linee di drenaggio, condizionate dall'andamento dei sistemi di discontinuità, e questo vale per la quasi totalità delle situazioni sui rilievi.

La venuta a giorno delle acque è legata agli effetti del tamponamento per soglia di permeabilità, al variare delle condizioni di fratturazione e alla presenza di discontinuità con carattere primario che condizionano i flussi. L'unica roccia che permette una circolazione idrica fino ad una certa profondità è rappresentata dalle ofioliti.

Per le altre rocce, la circolazione è limitata all'alterazione superficiale (qualche decina di metri) e non può contribuire alla ricarica di falde più profonde.

Per la Piana della città, già si è detto di orizzonti (o meglio di reti capillari che nell'insieme possono costituire orizzonti) acquiferi alternati a livelli impermeabili, il tutto nei primi 20,00 metri del sottosuolo.

Gli acquiferi più interessanti, sono intorno ai 10,00 m. di profondità, nella zona centro-meridionale e un pò più superficiali verso meridione. Nel settore montano-collinare e nella piana sono assenti manifestazioni sorgive di una qualche importanza. Sui rilievi sono rari anche i pozzi e limitati alle aree urbanizzate ed in gran parte superficiali.

7. ASPETTI GEO-MECCANICI DEGLI AFFIORAMENTI

Si può rilevare come l'ossatura dell'area montana-collinare e pedecollinare sia costituita da rocce a consistenza lapidea e che esse si immergano rapidamente verso mare in corrispondenza della piana della città.

Delle rocce presenti nel territorio comunale vengono indicati i campi di variabilità delle due caratteristiche geomeccaniche più significative, coesione e angolo di attrito interno.

Per le rocce litoidi stratificate questi parametri non tengono conto delle caratteristiche dei vari litotipi che compongono le formazioni rocciose, ma si riferiscono all'insieme dell'ammasso roccioso.

I valori assegnati tengono conto pertanto delle condizioni di fessurazione, fratturazione e fissilità, delle diaclasi, dello stato di degrado e di alterazione superficiale delle varie unità litostratigrafiche, nonchè della rugosità e della natura del materiale di riempimento dei giunti di stratificazione e della Classificazione geomeccanica (*Rock Mass Rating*) secondo Bieniawski, 1989.

Per le *Rocce coerenti ad elevata e media resistenza* si possono individuare tre sottogruppi a diverso comportamento.

- I Calcari di Rosignano la coesione varia tra 6 e 10 t/mq, mentre l'angolo di attrito interno varia tra 15 e 25°.

- Il gruppo delle ofioliti, a cui si possono associare i plagiograniti, le radiolariti ed il Flysch arenaceo di Calafuria, le variazioni della coesione e dell'angolo di attrito interno sono comprese tra 25 e 45 t/mq e tra 25° e 35°.

- Il flysch calcareo-marnoso, calcareo-marnoso con brecce, i parametri geomeccanici sono molto variabili per le condizioni litologiche locali e non è significativo quantizzarne il campo di variabilità.

Nelle argilliti con brecce le condizioni geomeccaniche sono caratterizzate dagli strati siltitici e argilloscistosi. Per questa formazione appaiono importanti i valori di resistenza che si registrano nella roccia sottoposta a grandi sforzi ovvero i parametri residui: essi possono valere 2-5 t/mq per la coesione e 10-20° per l'angolo di attrito interno.

In particolare, consultando il lavoro: "Studio geomeccanico e valutazione delle condizioni di stabilità di versante lungo la costa livornese nella zona del Romito" – Facoltà di Scienze Geologiche anno 2003-2004 è stato possibile rappresentare nella seguente **Fig. 11** e nella

Tabella alcune importanti caratteristiche geo-meccaniche degli ammassi rocciosi del Flysch arenaceo di Calafuria:

Campione ▲	Classe (Rock Mass rating)	BRMR	Qualità ammasso roccioso	Coesione (MPa)	Angolo di attrito (°)
1	IV	64	Scadente	0,3± 0,05	37±2
2	IV	69	Scadente	0,3± 0,05	39,5±2
3	III	70	Discreto	0,3± 0,05	40±2
4	V	62	Molto scadente	0,3± 0,05	36±2
5	IV	69	Scadente	0,3± 0,05	39,5±2
6	III	70	Discreto	0,3± 0,05	40±2
7	III	60	Discreto	0,3± 0,05	35±2
8	IV	60	Discreto	0,3± 0,05	35±2
9	V	63	Molto scadente	0,3± 0,05	36,5±2
10	III	61	Discreto	0,3± 0,05	35,5±2

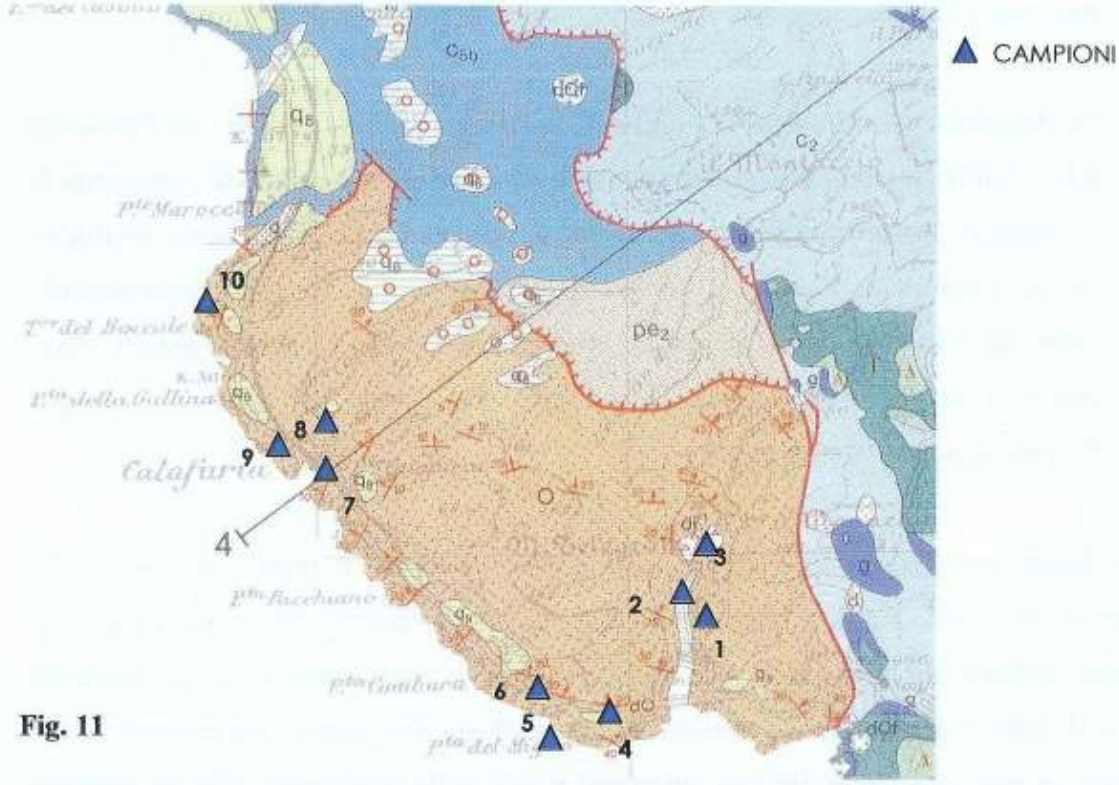


Fig. 11

Per le *Rocce semicoerenti conglomeratiche* le diverse unità: sabbie, sabbie con ciottoli, calcareniti, calcareniti sabbiose, conglomerati hanno parametri sufficientemente uniformi con coesione variabile fra 0 e 10 t/mq e angolo di attrito interno di 20-38°.

Per le *Rocce incoerenti sabbiose* i depositi di spiaggia, le sabbie gialle e le sabbie e conglomerati hanno coesione praticamente nulla ed angolo di attrito interno di 25-42°. Le alluvioni e le alluvioni terrazzate possiedono valori di angolo di attrito compreso nel campo assai ampio di 10-30° a secondo della prevalenza dei limi o della componente sabbiosa ed una coesione normalmente bassa.

Per le *Rocce coerenti di scarsa resistenza* si possono distinguere due sottogruppi:

- I gessi e le marne argillose hanno caratteri fisico meccanici variabili a seconda della loro costituzione litologica, ma nell'insieme appaiono dotati di medio-scarsa resistenza. Per i gessi i valori di coesione, fra 10 e 15 t/mq, sono più alti che nelle marne mentre l'angolo di attrito è normalmente maggiore in queste ultime dove si registrano 22-28°.

- Le Argilliti e calcari silicei "Palombini", le Arenarie, siltiti, argilliti con *Pithonella* e le Argilliti, arenarie calcarifere, marne e siltiti della Formazione di Antignano le condizioni geomeccaniche sono fortemente caratterizzate dagli strati argillitici, siltitici e marno-argilloscistosi. Per questi ammassi rocciosi appaiono determinanti i valori di resistenza che si registrano quando essi sono sottoposti a grandi sforzi ovvero i loro parametri residui. In tal caso la coesione può valere 2-5 t/mq e l'angolo di attrito interno10-20°.

Per le *Rocce pseudocoerenti argilloso-sabbiose* nelle sabbie e argille ad Arctica la prevalenza di livelli argillosi plastici alternati a strati sabbiosi determina condizioni d'insieme scadenti con bassi valori di coesione e angolo di attrito interno. Per gli accumuli detritici, di frana e di paleofrana le caratteristiche risultano eterogenee ma normalmente i parametri geomeccanici sono decisamente bassi e solo nelle paleofrane si ha un maggior grado di compattazione delle terre.

Per le *Rocce pseudocoerenti argillose* i sedimenti palustri, alluvionali e di colmata sono dotati di caratteristiche fisico-meccaniche molto scadenti, con bassissimi valori di resistenza.

Nelle argille azzurre, dove è dominante la componente argillosa pura, il comportamento è di tipo coesivo con valori nel campo 10-20 t/mq. Negli strati limo-sabbiosi-argilloso la coesione è minore e l'angolo di attrito interno è di 20-25°.

8. SEZIONI LITO-STRATIGRAFICHE

Nell'ambito del territorio comunale di Livorno suddiviso in Unit – si veda **CARTA 1**: Dati di base - sono state tracciate le sezioni mentre nelle seguenti **CARTA 2a** e **2b** : Correlazioni lito-stratigrafiche è stata illustrata la situazione litotecnica del sottosuolo

Le sezioni stratigrafiche sono significative per evidenziare i rapporti tra le coltri terrigene che costituiscono il pacco geotecnicamente più rappresentativo per le strutture in edificazione e per una lettura del sottosuolo anche in chiave sismica.

Lo spessore di tali orizzonti, prevalentemente investigato con metodiche di tipo diretto (sondaggi a carotaggio continuo e prove penetrometriche) non è inferore alla profondità di 25,00 metri da piano campagna.

Con opportuna simbologia nelle sezioni si sono distinti i tipi litotecnici ai quali si sono attribuiti i valori medi ricavati dalle analisi di laboratorio eseguite, per le caratteristiche di peso di volume, angolo di attrito e coesione.

Si possono evidenziare due domini geomorfologici, l'area alta costituita dal Terrazzo di Livorno e la zona bassa rappresentata dall'area depressa di Ponte Ugione.

Essi risultano separati da una scarpata naturale, la cosiddetta – e già evidenziata - *Gronda dei Lupi*, che si sviluppa sinuosamente da Suese (Stagno) a Ponte Ugione, Cimitero dei Lupi, zona S.Marco, fino alla Fortezza Vecchia.

I depositi del Terrazzo, a partire dal basso sono rappresentati da:

- calcareniti in lastre e trovanti lapidei (panchina) o alterate, erose e detritiche;
- sabbie limose mediamente addensate e a tratti cementate;
- sabbie medio-fini con ciottoli e ghiaietto, sabbie grossolane, ciottoli ad addensamento variabile, con coesione variabile da 0 a 5 t/mq ed angolo di attrito interno tra 30 e 40°.

In alto si hanno limi sabbiosi ed argillosi con ghiaietto e noduli di Fe e Mn, di media consistenza, ed argille limose di media consistenza, con coesione di 10-20 t/mq ed angolo di attrito interno di 0-20°.

I sedimenti della zona depressa, sempre ad iniziare dal basso, sono costituiti da:

- ghiaie sabbiose molto grossolane addensate, con un angolo di attrito interno di 35-40°;
- sabbia fine argillosa passante ad argilla limosa; la sabbia possiede valori di coesione fino a 3 t/mq ed angolo di attrito interno di 25-30°, mentre per le argille tali valori sono rispettivamente di 2-5 t/mq e 20-25°;
- sabbie limose, con coesione 0-1.5 t/mq e angolo di attrito interno tra 0 e 20°;
- argilla limosa passante a sabbia argillo-limosa, che mostra valori di coesione tra 7 e 12 t/mq e valori di F tra 0 e 20°;
- argille limose leggermente sabbiose passanti ad argille limose, ed alla sabbia limosa addensata (tomboli sepolti), i cui valori di coesione ed di angolo di attrito interno sono, rispettivamente, di 2-5 t/mq e 7-15°, e 0-0.8 t/mq e 35-40°.

Alla base dei depositi del terrazzo e dei sedimenti dell'area di Ponte Ugione si rinvengono i terreni costituiti da argille ed argille sabbioso-limose consistenti. Nel settore centrale ed orientale della piana di Livorno esse rappresentano il substrato pliocenico mentre nell'area occidentale e settentrionale il substrato argilloso è di età Pleistocenica inferiore (argille ad Arctica).

Di seguito cercheremo di descrivere in maniera sintetica le sezioni rappresentate nelle carte:

SEZIONE 1 (Tav. 2.a)

Il tracciato del profilo parte dallo Zero Mare in prossimità dell'Accademia Navale e prosegue con direttrice verso lo Scoglio della Regina, il Porto Mediceo, la Stazione Marittima per piegare verso la Dogana d'Acqua, il Torrente Ugione fino alla S.G.C. FI.PI.LI. posta intorno agli 0,00 m. s.l.m.m..

Si tratta di una morfologia di profilo estremamente piatta e tipicizzata dalla presenza di due Domini: dalla attuale linea di costa fino alla Fortezza Vecchia si rintraccia con buona evidenza il Terrazzo morfologico di Livorno caratterizzato verso mare dalla presenza della calcarenite sabbiosa "Panchina", mentre dalla Stazione Marittima verso l'area ENI si ritrovano invece gli spessori del Dominio più recente e palustre e/o di colmata. Il substrato del Dominio,litologico di Terrazzo è costituito dalle Argille Plioceniche che si ritrovano fino ai -40,00 m. da p.c. e che spesso mostrano forme di scarpata (come ad esempio in prossimità del Porto Mediceo) testimonianza dei movimenti eustatici marini.

SEZIONE 2 (Tav. 2.a)

Il tracciato del profilo parte intorno a 30,00 m. s.l.m.m. intorno al Rio Cigna per attraversare la Porta a Terra, la Zona Acquedotti e Sorgenti, il Picchianti, il Torrente Ugione fino allo stabilimento ENI (posto intorno ai 3,00-4,00 m. s.l.m.m.).

Si tratta di una morfologia piuttosto piatta con la presenza di due grandi Domini, quella del Terrazzo morfologico fino circa alla Zona Provinciale Pisana-Torrente Unione e quella del Dominio palustre fino alla S.G.C. FI.PI.LI..

Si evidenziano alcuni elementi di interesse che sono rappresentati dalla presenza di livelli di ghiaie grossolane poste a profondità considerevoli (fino ai -30,00 m. da p.c.) verso lo Stabilimento ENI.

Inoltre verso il Rio Cigna si evidenzia un salto di livello del Terrazzo con probabile dislocazione evidenziata anche nella recente campagna geognostica eseguita a supporto del Piano di Lottizzazione "Salviano 2".

Il substrato è rappresentato dalle Argille Plioceniche che mostrano una certa continuità in scarpata con il Terrazzo verso i sovrimposti spessori palustri mediante una linea di bordo importante e riconosciuta con il nome di Gronda dei Lupi.

SEZIONE 3 (Tav. 2.a)

Il profilo è stato tracciato dalla Darsena Toscana (Zero mare) verso Paduletta, il Canale Industriale, Via Leonardo Da Vinci fino allo stabilimento ENI (3,00-4,00 m. s.l.m.m.).

La sequenza stratigrafica evidenzia la presenza esclusiva del Dominio palustre con successioni di argille limose, sabbie limose addensate (corrispondenti ai tomboli sepolti), argille limose passanti a sabbie argillo-limose, sabbie limose e sabbie fini argillose con presenza di spessori rilevanti di ghiaie molto grossolane poste fino ai 30,00 m. di profondità da p.c. e derivate dalle attività dinamiche dei corsi d'acqua e dai fenomeni eustatici marini. Al di sotto di Paduletta, alla base della sequenza post-Pleistocenica si rinviene uno spessore importante di Argille Plioceniche.

SEZIONE 4 (Tav. 2.a)

Il profilo è stato tracciato dallo Zero Mare in prossimità di Via Mogadiscio verso la Darsena Toscana, il Canale Industriale, il Torrente Ugione fino alla Via Firenze, Vallin Buio, Puntone del Vallino (quota 12,00 s.l.m.m.).

Si tratta di una morfologia piatta che riflette la presenza di due Domini litologici: uno di tipo palustre con colmate ed imbonimenti successivi pertinente all'area dei bacini e quindi alla zona Portuale (che ha subito importanti modificazioni territoriali con recupero di terre emerse dai bassifondi marini antistanti le varie linee di costa) ed uno di tipo più proprio al Terrazzo di Livorno con successioni meno organiche e più sabbioso-limose.

Il substrato della zona è rappresentato dalle Argille Plioceniche che tende a risalire di quota verso Vallin Buio. Elementi di interesse sono l'assenza di grandi spessori di calcareniti sabbiose, con una presenza tendenzialmente meno "lapidea" degli spessori, probabilmente dovuta ad una linea di costa che non favoriva depositi diagenizzanti.

SEZIONE 5 (Tav. 2.a)

Il profilo è stato tracciato dallo Zero Mare in prossimità della Diga del Marzocco, attraversando il Canale dei Navicelli, la Via Orlando e la Via delle Cateratte, passando per i Quartieri di Shangay e Corea fino all'area industriale del Picchianti (quota 14,00 m. s.l.m.m.).

Questa sezione evidenzia uno stato stratigrafico di rilevante interesse poiché sono fondamentalmente rappresentati in maniera netta e senza discontinuità i due Domini litologici che abbiamo già brevemente descritto nelle precedenti sezioni. Il Dominio palustre è più pertinente all'area Portuale-Industriale con evidenze organiche importanti, mentre verso le zone di retropianura si rintraccia il Dominio del terrazzo morfologico con significativi passaggi eteropici laterali di sabbie e sabbie limose e la presenza di livelli caratterizzanti di calcareniti sabbiose.

La base del Dominio palustre e del Terrazzo è costituito dalle Argille Plioceniche che verso la zona Shangay-Corea risale, tanto è vero che nella cartografia geologica del Mazzanti (1990) si rilevano in zona affioramenti superficiali di questo litotipo. Interessante rilevare che al di sotto del Dominio palustre verso la linea di costa si rinvengono spessori importanti di sabbie fini e di limi argillosi con spessori caratterizzanti conchigliari (lamellibranchi e gasteropodi).

SEZIONE 6 (Tav. 2.a)

Il profilo è stato tracciato a partire dallo Zero mare in prossimità del Bacino di Carenaggio verso il Porto Mediceo, il Fosso Reale, gli Spedali Riuniti, la Stazione, la Porta a Terra e la Variante Aurelia (15,00 m. s.l.m.m.).

Sotto il profilo stratigrafico siamo chiaramente nel Dominio delle litologie del Terrazzo morfologico; cominciano a rilevarsi forti ispessimenti in superficie di materiali di riempimento eterogenei.

I livelli di calcarenite, talvolta in positure di vere e proprie lastre e con chiare clinostratificazioni eoliche, si rinvengono in maniera praticamente continua con spessori di varia potenza e posti tra i 2,00-3,00 m. sotto il livello attuale medio marino, fino ai 8,00-9,00 m. sopra livello mare.

Come in una formazione si rintracciano alternanze di limi sabbiosi e argillosi con modeste sfrangiature eteropiche fino a delle sabbie limose mediamente addensate e a tratti cementate con alternanze di sabbie medio fini con ciottoli e ghiaietto.

Ci troviamo per intero nel Terrazzo di Livorno con spessori ben costituiti e, almeno su questa direttrice, senza evidenze di segni di bordo o di linee morfologiche di evoluzione.

SEZIONE 7 (Tav. 2.a)

Il profilo è stato tracciato tra lo Zero mare in prossimità del Porticciolo N. Sauro, verso la Piazza Matteotti, oltre il quartiere di Coteto, in perpendicolare alla linea ferroviaria e alla Variante Aurelia, in attraversamento al Rio Cigna fino alla località Le Panche (60,00 m. s.l.m.m.).

Se si esclude la presenza delle Argilliti e Calcari a palombini che affiorano nella parte collinare, la sezione stratigrafica riflette in pieno il Dominio delle litologie di Terrazzo morfologico con spessori calcarenitici, spezzoni di "Panchina" che rappresentano un *marker* formazionale in cui si alternano litologie sabbio-limose e limo-argillose.

E' possibile ipotizzare che siano le Argille Plioceniche la formazione che costituisce il substrato sebbene si rilevi nella parte più piana della sezione ed in maniera sporadica.

SEZIONE 8 (Tav. 2.b)

Il profilo è stato tracciato dal livello Zero mare nei pressi dell'Accademia Navale verso lo Stadio Picchi oltre la Variante Aurelia, passante per i quartieri della Scopaia e della Leccia e portato fino alla frazione del Limoncino ad oltre 70,00 m. s.l.m.m.

Fino al versante oltre la Leccia, la situazione stratigrafica è determinata dal Dominio delle successioni litologiche di Terrazzo morfologico con il substrato (quando rintracciato) costituito dalle Argille Plioceniche. Interessante il segno dislocativo rilevato sotto il quartiere della Scopaia in cui il Terrazzo poggia su formazioni mioceniche.

Quando il profilo tende a sollevarsi altimetricamente si rintraccia la Formazione di Antignano con un evidente fascia detritica di scarico di quella che doveva essere l'antica linea di falesia. Racchiuse in una serie complessa di contatti tettonici verso Limoncino si rinvengono le Argilliti e Calcari a *Palombini* e le Arenarie, siltiti ed argilliti a *Pithonella*, mentre in un alto morfologico in contatto stratigrafico si rileva il Flysch calcareo-marnoso di Poggio San Quirico.

SEZIONE 9 (Tav. 2.b)

Il profilo è stato tracciato dallo Zero mare nei pressi della frazione di Antignano con direttrice verso Montenero, Savolano, attraversante il Fosso delle Casine fino a giungere al Fosso della Giorgia alla quota 175,00 m. s.l.m.m..

Il substrato che affiora con bella evidenza sulla costa è rappresentato dal membro argillitico, arenario-calcarifero, marnoso e siltitico della Formazione di Antignano, con affioramento in prossimità della linea di costa di masse olistostromiche e di breccia.

Si rinviene la presenza "a chapeau" di un modesto spessore di spezzoni di calcareniti sabbiose che sormontano la sommità della modesta falesia, marcando il Terrazzo più recente di Livorno. Verso monte le parti del Dominio del terrazzo si mescolano con la

deiezione detritica di versante sempre costituita da materiale della Formazione di Antignano.

In finestra, sul Fosso delle Casine si riscontra la presenza del Flysch calcareo-marnoso di Poggio San Quirico su cui verso monte sono sovrascorse le Arenarie, siltiti, argilliti con *Pithonella* del Complesso alloctono intermedio e sulla quale sono sovrascorse ancora le Argilliti e Calcai a *Palombini* del Complesso alloctono superiore.

SEZIONE 10 (Tav. 2.b)

Il profilo parte dalla quota 133,00 m. s.l.m.m. del versante SE del Poggio delle Monachine ed attraversa l'abitato di Quercianella all'altezza dell'Aurelia SS.1 Aurelia fino alla quota 19,30 m. s.l.m.m..

La sezione stratigrafica evidenzia l'importante contatto tra le Ofioliti e le Argilliti Calcari a *Palombini*. Sul contatto e sul cambio drastico di pendenza si individua uno spessore di detrito in parte di brecce di gabbro, in parte di brandelli sfogliettati di argillite.

Il substrato lungo l'Aurelia è costituito dalle Argilliti e Calcari a *Palombini*; in prossimità del Botro Quercianella si rinviene un affioramento importante di calcarenite sabbiose con evidenti cliostratificazioni eoliche, così come si rinviene verso la Stazione di Quercianella. I due importanti affioramenti testimoniano i fenomeni eustatici marini propri del Dominio dei Terrazzi morfologici.

9. RISPOSTA ALL'EVENTO SISMICO

Da un recente studio sulla pericolosità sismica in Toscana, (Meletti, Petrini & Scandone, 1996) l'intero territorio livornese è incluso in una zona sismica che occupa gran parte della Toscana marittima centrale, è caratterizzato da pericolosità sismica[1] dell'ordine di 0.5×10^{-2}-0.39×10^{-2} per un evento del X grado MCS in un intervallo di 20 anni.

[1] La pericolosità sismica è definita come la probabilità di eccedenza di un qualche parametro descrittivo del moto del suolo in un dato tempo.

Un valore non alto, se paragonato a quelli di aree ad alta sismicità in Toscana quali Garfagnana-Lunigiana e Mugello (rispettivamente 0.3×10^{-1} e 0.74×10^{-2}), ma pur sempre ragguardevole.

All'interno di questa zona, peraltro, Livorno costituisce un'area a rischio sismico relativamente alto, a causa dell'elevata densità abitativa e industriale rispetto al resto della zona sismica. Le valutazioni di dettaglio del rischio sismico in aree limitate sono attualmente disponibili solo per alcune aree ad elevata pericolosità; Angeletti et alii (1996) ad esempio hanno effettuato tali valutazioni su alcuni comuni della Garfagnana.

La presente relazione esula da tale scopo, tuttavia si ritiene utile fornire alcuni elementi ricavabili dalla lettura della pagina geo-litostratigrafica del sottosuolo livornese che potranno costituire la base per avviare successive fasi di approfondimento sulla tematica sismica sismica.
Gli effetti negativi valutati nella stima della risposta in formazione dell'evento sismico includono pertanto la possibilità di amplificazione dell'onda sismica per effetti morfologici, l'innesco di dissesti morfologici e la liquefazione di terreni saturi.

I dati IN-PUT attengono dunque tre categorie principali: morfologia, litologia, assetto strutturale dell'area.

Avendo già trattato della morfologia e litologia, risulta che le unità strutturali dell'area collinare sono impilate una sull'altra lungo superfici di sovrascorrimento tettonico a basso angolo. Queste, attive fino al Miocene inferiore, sono state tagliate a partire dal Miocene superiore da sistemi di faglie normali ad alto angolo, di direzione prevalentemente NO-SE. La continuità di queste strutture, come visibile dalla citata carta geologica di Livorno-Collesalvetti, è di frequente interrotta da faglie di direzione ortogonale (NO-SO).

Il primo di questi sistemi di faglie normali è responsabile dell'apertura dei bacini nei quali si sono deposte potenti successioni di sedimenti marini a partire almeno dal Pliocene

inferiore. Il sistema NE-SO ha funzionato come raccordo del movimento di estensione tra i vari bacini orientati nordovest-sudest, ma non allineati tra di loro.

Un sistema di faglie con direzioni leggermente ruotate verso nord (SSO-NNE) caratterizzano fortemente la struttura del territorio livornese.

L'esame delle unità stratigrafiche che costituiscono il substrato del terrazzo di Livorno infatti indica inequivocabilmente l'esistenza di ragguardevoli rigetti stratigrafici a cavallo di lineamenti di direzione circa N 30°. Questi rigetti sono suturati dal Terrazzo di Livorno e dunque le faglie che li hanno provocati sono ferme almeno dal Tirreniano.

Anche le maggiori strutture NO-SE non mostrano macroscopiche evidenze geologiche di attività recente. Tuttavia, l'apertura di fessure nel suolo, in direzione NO-SE presso Stagno e lungo la piana del Tora tra Luciana e Lorenzana, ed in direzione SO-NE in vicinanza di Casciana in conseguenza dell'ultimo evento sismico distruttivo (terremoto di Orciano, agosto 1846, IX-X MCS), sembra suggerire che queste strutture siano tuttora sismogeniche.

Nel caso del terremoto di Orciano si può ipotizzare che la rottura sia avvenuta lungo una superficie appartenente al sistema di faglie del bacino del Tora-Fine. Riguardo ai numerosi sismi di modesta intensità che devono avere avuto epicentro in mare a NO del nucleo storico di Livorno sembra più logico ipotizzare un'origine lungo le strutture SO-NE.

L'attribuizione a queste ultime di un potenziale sismogenico inferiore a quello delle strutture NO-SE si inserisce bene nel quadro dell'evoluzione tettonica degli ultimi 8 milioni di anni del margine tirrenico dell'appennino, nel quale la tettonica distensiva si realizza lungo strutture NO-SE che quindi costituiscono le superfici attive del sistema, mentre le strutture SO-NE rappresentano superfici di trasferimento passivo dei movimenti distensivi da un bacino all'altro, lungo le quali dunque l'accumulo di energia è potenzialmente minore.

Nell'ambito degli studi di pericolosità condotti a supporto del Piano Strutturale del Comune di Livorno è stata elaborata una carta di risposta omogenea all'evento sismico in cui è stata proposta una zonizzazione di aree nelle quali per condizioni strutturali, giaciturali e geomorfologiche il sisma si propaga secondo una gradualità diversa per impatto, attribuendo questa differenziazione tra aree, sia per l'effetto variamente ammortizzante delle singole formazioni geologiche che costituiscono il substrato roccioso, che per lo spessore e la tipologia e/stato di dissesto delle coltri superficiali.

Sebbene il lavoro sia stato condotto ad uno stato sperimentale, nel Comune di Livorno è stato possibile schematizzare cinque aree articolate nella valutazione delle condizioni di risposta dell'onda sismica ed amplificazione superficiale:

- Zone in cui si ritrovano condizioni molto favorevoli allo smorzamento dell'onda sismica ed amplificazione superficiale nulla;

- Zone in cui si ritrovano condizioni favorevoli allo smorzamento dell'onda sismica ed amplificazione superficiale minima;

- Zone in cui si ritrovano condizioni poco favorevoli allo smorzamento dell'onda sismica ed amplificazione superficiale sensibile;

- Zone in cui si ritrovano condizioni sfavorevoli allo smorzamento dell'onda sismica ed amplificazione superficiale marcata;

- Zone in cui si ritrovano condizioni molto sfavorevoli allo smorzamento dell'onda sismica ed amplificazione superficiale massima.

In particolare partendo da Nord della città in prossimità della discontinuità stratigrafica della Gronda dei Lupi si rintracciano condizioni sfavorevoli allo smorzamento dell'onda sismica con amplificazione marcata; sul Terrazzo invece (dove sorge gran parte della città) si riconosce una condizione molto favorevole allo smorzamento con un'amplificazione superficiale nulla.

Verso Sud si riconoscono tre blocchi in cui si rilevano condizioni da sfavorevoli a molto sfavorevoli allo smorzamento con amplificazione superficiale da marcata a massima: il primo blocco è situato intorno alla Località Limoncino-Valle Benedetta, il secondo verso Montenero-Castellaccio-Rio Maroccone, il terzo verso l'interno dell'abitato di Quercianella.

Studio Geologico A. Rafanelli
Dott. Geol. Antonio Rafanelli

---

novembre 2005