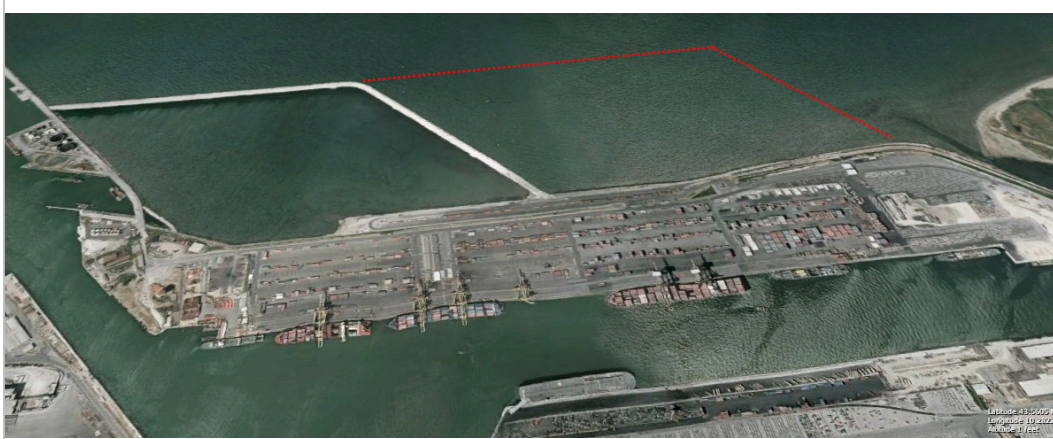




Autorità Portuale Livorno

PORTO DI LIVORNO VASCA DI CONTENIMENTO PER SEDIMENTI DI DRAGAGGIO **CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI**

ai sensi del D.M. 11 marzo 1988 e succ. mod. ed integrazioni



RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Coordinamento progetto:
Dott. Geol. Antonio Rafanelli

Equipe di Lavoro:
Dott. Geol. Carlo Rafanelli
Dott. Geol. Sergio Crocetti
Dott. Geol. Mirco Franceschi
Dott. Geol. Giorgio Bianchi

Livorno, giugno 2008



SO.ING.
Strutture & Ambiente
Via delle Coralline 24/4
57121 Livorno (LI)



Polaris
Mare Ambiente Geologia
Via. Piombanti 5b
57122 Livorno (LI)



ELLE TI
Laboratorio Terre S.R.L.
Via. Galeotti 3
50136 Firenze (FI)



Ichnogeo Sas
San Miniato Basso
56028 Pisa (PI)



TETIDE srl
Geotechnical Environmental Solutions
Via. Luigi Einaudi 114/1
61032 Fano (PU)



Studio Geologico Antonio Rafanelli, Via Borra 38 – 57123 Livorno
email: studio.rafanelli@fastwebnet.it

INDICE

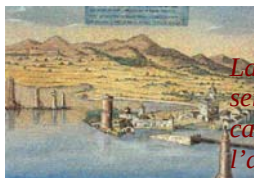
Premesse

Collocazione geografica dell'opera in progetto

1. INQUADRAMENTO DELL'AMBITO DI STUDIO

- 1.1 Evoluzione paleogeografica e storica dell'areale in studio
- 1.2 Informazioni stratigrafiche dalla pagina storica dei luoghi
- 1.3 I caratteri geostutturali generali dell'ambito di studio
- 1.4 Lineamenti geologici degli affioramenti di superficie
- 1.5 Brevi lineamenti geomorfologici della zona e gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali
- 1.6 Elementi lito-stratigrafici generali della Piana di Livorno

VASCA DI CONTENIMENTO PER SEDIMENTI DI DRAGAGGIO
DEL PORTO DI LIVORNO
RELAZIONE GEOLOGICA A SUPPORTO DELLA
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI
ai sensi del D.M. 11 marzo 1988 e succ.mod. ed integrazioni



La Torre del Marzocco non è lontano che un colpo di fucile, il mare ritiratosi sensibilmente, non essendo gran tempo che essa era discosta un tiro di cannone. A partire dal terzo quarto del Cinquecento fino allora, infatti, l'avanzamento della costa era stato di circa 400 metri, da non molto tempo si era formata una stretta penisola o tombolo e la costa (riunendo alcuni precedenti isolotti), che lambiva la vecchia Torre Magnan e inglobava le Torracce. Parallelamente alla costa si sviluppavano – fra terreni bassi, sabbiosi e paludosi con alcune dune boschive, dove si aggiravano alcuni bufali al pascolo – il Fosso delle Chiatte (passante più in prossimità della spiaggia, attraverso le località dette Monte del Bersaglio e Testaja) ed il Canale dei Navicelli.

Odoardo Warren, 1748

Premesse

Autorità Portuale di Livorno ha in programma di realizzare una nuova vasca di contenimento per sedimenti di dragaggio proseguendo a Nord il volume già eseguito. L'opera sarà realizzata proseguendo per una lunghezza di circa 700,00 m. la vasca già realizzata verso Nord e chiudendo il volume circa 200,00 m. a Sud dell'argine in sinistra idraulica del Canale dello Scolmatore.

Secondo quanto espressamente definito nel D.M. 11.03.1988 e dalle successive modifiche ed integrazioni a questo disposto normativo - in particolare nelle "Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce (...)" paragrafi A3 e B - la progettazione allo stato esecutivo dell'opera deve necessariamente essere supportata da una Relazione geologica e da una Relazione geotecnica in cui devono essere esposti i risultati delle indagini, degli studi e dei calcoli geotecnici. Nella fase attuale in cui si colloca il livello di progettazione le indagini devono essere dirette ad approfondire la caratterizzazione geotecnica qualitativa e quantitativa del sottosuolo per consentire le migliori soluzioni attuative.

Al fine di riconoscere le principali caratteristiche dei terreni e per parametrizzarne le qualità è stata affidata allo Studio Geologico A. Rafanelli la predisposizione di una Relazione geologica-tecnica che comprende ed illustra:

- ❑ La situazione lito-stratigrafica locale con la definizione dell'origine e natura dei litotipi;
- ❑ Le principali caratteristiche dei litotipi in particolare del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità;
- ❑ I lineamenti geomorfologici della zona e gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali;
- ❑ I caratteri geostutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità;
- ❑ Lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- ❑ L'illustrazione della localizzazione dell'area oggetto delle indagini;
- ❑ I criteri di programmazione ed i risultati delle indagini condotte in sito ed in laboratorio allo scopo di consentire la scelta della soluzione progettuale, di eseguire i calcoli di verifica e definire i procedimenti costruttivi.

Collocazione geografica dell'opera in progetto

Lo Studio è stato condotto per definire il profilo geologico-tecnico di un'area posta nel quadrante Nord del Comune di Livorno di circa 33,00 ha. ubicata a mare ed amministrativamente per intero nell'Amministrazione comunale. L'area in argomento, dal febbraio 2003, si trova inserita nell'ambito del Sito di Interesse Nazionale per la bonifica ambientale – si veda **Fig. 1** -

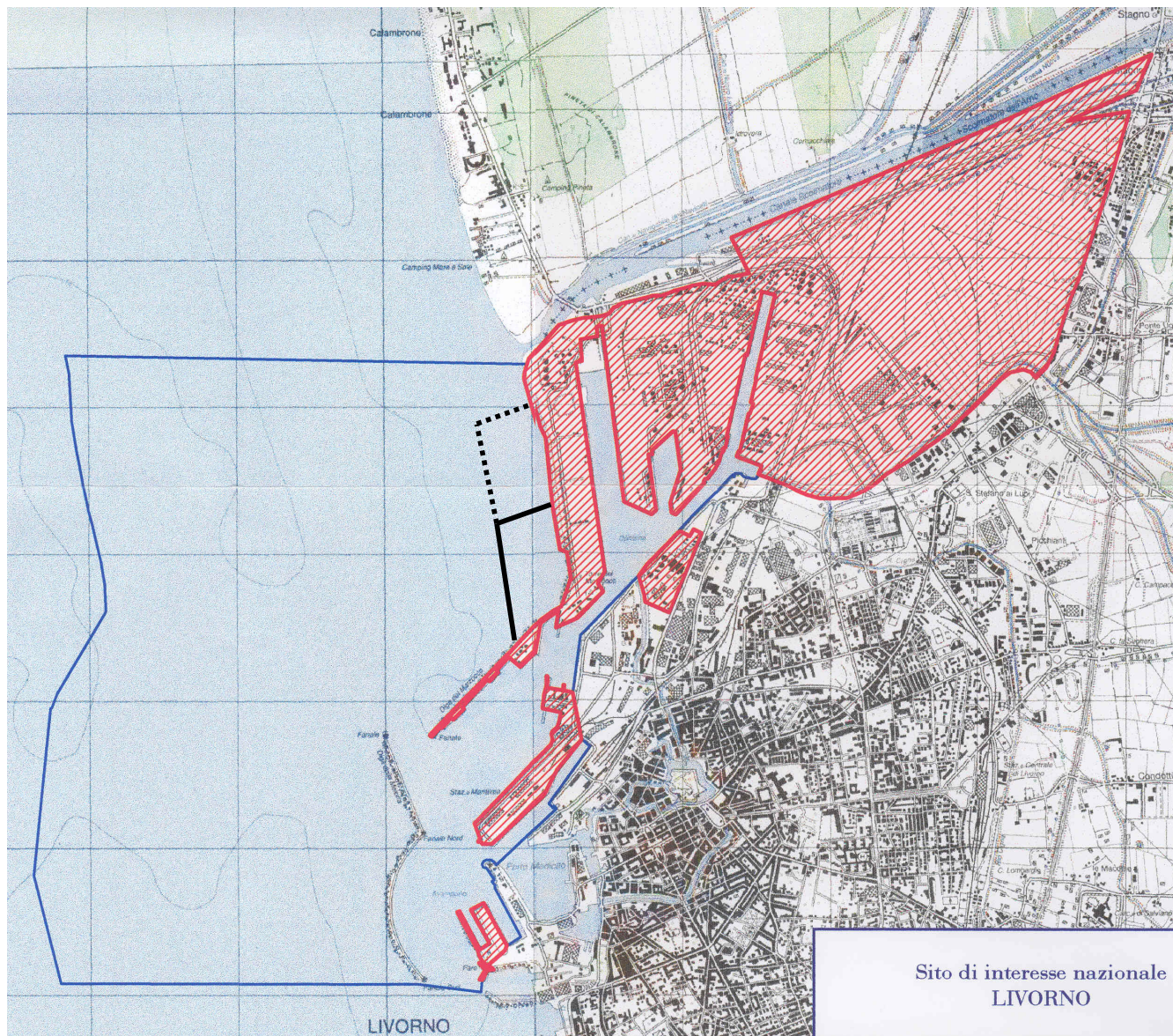
Sotto il profilo squisitamente geografico l'area marina-litoranea in esame è limitata:

- Verso Ovest dal mare;
- Verso Nord con il mare e più a settentrione con il tratto terminale dello Scolmatore d'Arno;
- Verso Est dalle banchine del Porto Industriale ed in particolare dalla Darsena Toscana;
- Verso Sud con l'altra cassa di colmata già in attuazione ed in buon stato di avanzamento.

Al fine di delineare un quadro geologico-tecnico più esauriente, in considerazione dei numerosi studi ed approfondimenti condotti dallo Studio scrivente sull'area è stato possibile inquadrare l'area in esame in un ambito più ampio estendendone i limiti geografici e fisiocratici precedenti a:

- Verso Ovest fino almeno alla “*Gabbia delle Melorie*” di interesse per i risvolti in ordine ai movimenti eustatici marini;
- Verso Nord fino almeno al sistema dunale, di retro-duna e di piana costiera verso il Cambrone, Tirrenia fino alla foce dell'Arno;
- Verso Nord-Est fino alla Piana di Pisa ed alle sue ricariche permanenti dei Monti e delle Colline Pisane;
- Verso Est e verso Sud all'intera Piana di Livorno ed alle sue ricariche permanenti dei Monti e delle Colline Livornesi.

Fig. 1: Collocazione dell'area in studio nell'ambito del Sito di Interesse Nazionale



Perimetro area Sito di Interesse Nazionale
Parte marina



Perimetro area Sito di Interesse Nazionale
Parte continentale



Vasca di contenimento per sedimenti di
dragaggio già realizzata



Vasca di contenimento per sedimenti di
dragaggio in fase di progettazione

1. INQUADRAMENTO DELL'AMBITO DI STUDIO

1.1 Evoluzione paleogeografica e storica dell'areale in studio

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.

A partire dal Pliocene Medio, con il graduale ritiro del mare, si sviluppa 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.

Dal Miocene Superiore, circa 10 MYA, cominciano a manifestarsi nella Toscana marittima fasi distensive con bacini in 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 in direzione NNE-SSW i Monti Livornesi, dalle colline di Guasticce, a Nord, a Calafuria.

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),

poiché 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.

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

Facendo riferimento ad una situazione stratigrafica più generale¹ Federici e Mazzanti hanno ritenuto di identificare il primo episodio trasgressivo del livornese (Tirreniano I) ed il secondo (Tirreniano II), i cui acmi vengono indicati a circa 125.000 e 110.000 anni or sono.

Questo Terrazzo morfologico si è modellato successivamente alla sua formazione sia per l'azione dei corsi d'acqua, sia per l'oscillazione del livello marino che è sempre stata discontinua e legata alle fasi glaciali ed interglaciali, e quindi all'interno di questi periodi, alle fasi interstadiali.

La scarpata del Terrazzo di Livorno nota come *Gronda dei Lupi*, attualmente ormai riconoscibile sia pur flebilmente (per le ricoperture e le modificazioni antropiche), si trova al margine e ben arretrata rispetto all'areale in studio; è quindi interessante constatare la presenza di un contatto di bordo morfologico tra il Terrazzo di Livorno e gli orizzonti stratigrafici dell'area SIN.

Va da sé che il Terrazzo di Livorno si caratterizza all'inizio del Pleistocene superiore attraverso una trasgressione glacio-eustatica, che ha riportato nuovamente il litorale in una posizione più ad Est di quella attuale, mentre la Piana di Livorno era sommersa dalle acque.

Il trascorrere degli eventi paleogeografici è qui rappresentato temporalmente, almeno per gli spessori che abbiamo preso in considerazione, al più ai 100.000 anni fa. Rimane ormai testimoniato in numerose fonti bibliografiche che in un

¹ Da Shackleton, 1969

periodo, compreso tra gli eventi post-calabrianici e quelli tirrenici, legato alle fasi di riavvio e stasi glaciale, si dovettero susseguire fasi regressive alternate da fasi trasgressive.

Ancora nel Pleistocene superiore dovettero svilupparsi più episodi trasgressivo-regressivi collegati al glacioeustatismo. E' ben rintracciabile la fase sedimentaria e morfologica che nel Wurm II ha portato ad un'ampia regressione marina con deposizione dei Conglomerati dell'Arno e Serchio da Bientina, quando la Piana di Livorno doveva aver assunto l'aspetto di una collina, accentuato da una vegetazione oggi propria del piano montano, come conseguenza della fase glaciale del clima.

Dai rapporti di giacitura presenti nel Livornese essa risulta necessariamente posteriore al Tirreniano II, ma, per quanto presumibile in generale, molti Autori ritengono sia verosimilmente posteriore anche al Tirreniano III e corrispondente al grande approfondimento del livello del mare, il quale denuncia il sopraggiungere dell'ultimo glaciale corrispondente a circa 75.000 anni fa.

L'ultima glaciazione (Wurm) che attualmente viene collocata in un arco cronologico compreso tra due stadi molto bassi di livello del mare di circa 75.000 e di circa 18.000 anni or sono, si è sviluppata in più fasi verosimilmente dipendenti da oscillazioni climatiche minori (periodi interstadiali o pulsazioni climatiche).

La fase Wurm II è caratterizzata dalla maggiore regressione glacioeustatica marina con tracce di alvei fluviali fino alle attuali isobate di 100-110 m. ben oltre le Secche della Meloria sulle quali è testimoniata la presenza di forme continentali (Cervidi ed Elefanti).

E' in questa fase che l'Arno incide definitivamente la "Gronda dei Lupi", scarpata che delimita il Terrazzo di Livorno dalla Pianura di Pisa².

L'attuale assetto del paesaggio è conseguenza delle mutazioni climatiche che segue la fine della glaciazione del Wurm e che si mantiene pur con vicende alterne con sufficiente costanza nelle linee generali durante tutto l'Olocene.

Il ristabilirsi di condizioni climatiche interglaciali ha comportato lo sviluppo della trasgressione versiliana con l'attestarsi della costa alla base del Terrazzo di Livorno. Nella Pianura di Pisa a queste variazioni trasgressive devono essere sommate le azioni derivate dall'apporto sedimentario specialmente dell'Arno e del Serchio.

Dalla trasgressione versiliana fino ai tempi protostorici e storici, assistiamo in sostanza ad una regressione non marcata, ma soprattutto all'avanzamento della

² Già riconosciuta dal Targioni Tozzetti nel 1768.

linea di costa dovuta in tempi protostorici alla formazione di “aree medie” tra il continentale ed il marino con transizioni graduate mare-lagune-paludi; mentre in tempi storici più recenti (dal tempo dei Romani), oltre alla parte evolutiva naturale cominciano ad essere determinanti le modifiche apportate dall’uomo, prima passivamente (realizzazione di porti ed opere marittime), fino all’esecuzione di veri e propri progetti di bonifica (si vedano i prossimi paragrafi).

La successione fluvio-palustre olocenica formata in prevalenza da limi, dall’esame pollinico³ rivela un trend evolutivo completo di una fase Atlantica del Querceto considerata compresa tra i 5.000 e 2.500 anni a.C. in numerosi sondaggi tra i -30,00 ed i -20,00 m. di profondità. Nei sondaggi a partire dai -13,00/-10,00 m. di quota verso la superficie e sono rappresentati dai depositi marini dell’ultima trasgressione eustatica detta *versiliana*.

ooooo

Nel contesto più generale della paleoclimatologia europea l’intervallo compreso tra circa 6.000 e circa 4.500 anni or sono viene indicato come 1’ “optimum” climatico, seguito alla deglaciazione, già sensibile nel Mediterraneo intorno a 15.000 anni fa⁴, responsabile della trasgressione marina nota come “versiliana”⁵, o come posteriore all’ultimo “picco” glaciale di circa 18.000 anni or sono.

Pinna (1984) riferisce sulle conoscenze dello sviluppo paleoclimatico più recente che, per l’area europea e gli ultimi circa 3.000 anni, indica in un’oscillazione “fredda” fra 900 e 300 a.C., in una “calda” fra 800 e 1150-1200 d.C. e nella “piccola età glaciale” fra il 1590 e 1850 alla quale è seguita un’ultima fase “calda” da alcuni studiosi ritenuta terminare nel 1950.

Tutte le precedenti indicazioni confermano un andamento generale del livello marino in innalzamento negli ultimi 3.000 anni. Sicuro nei valori medi, può essere avvenuto con pause o lievi inversioni tuttavia non ancora registrate con sicurezza esatta da studi riferiti a situazioni locali.

E’ evidente la notevole progradazione del litorale versiliense-pisano in un periodo nel quale il livello del mare è risalito, mediamente, almeno di 2,00 m. Quest’ultimo fatto e la chiara conformazione a delta della Bocca d’Arno fin da età basso-medievale rivelano che la progradazione del litorale è stata determinata dal forte incremento di materiali detritici trasportati dal fiume, malgrado quest’ultimo abbia perduto nel frattempo l’apporto delle acque del Serchio.

Il forte incremento del trasporto solido dell’Arno non è spiegabile con le variazioni climatiche che si sono succedute negli ultimi 3000 anni, che non hanno comunque provocato forti oscillazioni del livello del mare. Di conseguenza la

³ Galletti, 1978.

⁴ Vergnaud Grazzini et al., 1989

⁵ Blanc, 1934

spiegazione del fenomeno va ricercata, in netta prevalenza, nelle attività antropiche.

I bacini imbriferi dell'Arno, Serchio e Magra, i corsi d'acqua principali influenti sul litorale versiliese-pisano, sono stati oggetto di frequentazione antropica fin dal Paleolitico inferiore. Anche se non possiamo escludere un primo, debole, impatto sugli equilibri naturali dei cacciatori paleolitici dal momento che furono in grado di usare il fuoco a loro piacimento, è con le "scoperte" neolitiche dell'allevamento del bestiame e dell'agricoltura che le attività umane assumono una rilevanza del tutto particolare in questi equilibri.

Infatti nell'agricoltura primitiva fu diffusa la pratica del "debbio", o incendio degli appezzamenti da deforestare, con lo scopo non solo di eliminare gli alberi ma di fornire ceneri capaci di rendere i terreni fertili per alcuni anni.

E malgrado sembri che le popolazioni neolitiche non abbiano superato una densità di un abitante per kmq.⁶ e abbiano dissodato i terreni con il solo uso di zappe, le loro attività agricole si sono protratte per circa 4000 anni, ovviamente senza prevedere alcuna reintegrazione di fertilità e rigenerazione dei terreni sfruttati (abbandonati del tutto o lasciati a magri pascoli dopo il ciclo produttivo agricolo) per cui è impensabile non abbiano influito negli assetti dei territori.

Gli studi più recenti hanno rivelato che il popolamento neolitico in Toscana⁷ è stato piuttosto intenso soprattutto nelle valli alluvionali, con terreni più adatti alle attività agricole e conseguentemente deforestati per primi, e lungo la costa, in relazione all'inizio dei rapporti marittimi tra la regione e le isole del Tirreno.

Quello che si è reso evidente è che la storia ci restituisce un'evoluzione rapida e recente sia sotto il profilo testimoniale degli eventi degli uomini, sia in funzione delle trasformazioni imposte dalla natura.

Altro elemento di relativa certezza è che l'uomo pur avendo riconosciuto un interesse sostanziale per l'area in esame per gli sviluppi territoriali, ha cominciato ad insediare stabilmente le sue attività (industriali e portuali) solo a partire dagli anni '40 del secolo scorso. Per cui possiamo affermare che questa parte della città rimane un confine storico, un'area "di nessuno" sia pur con un limite amministrativo e politico ben delineati e fa parte di un "progetto permanente" di sviluppo del porto che tuttavia rimane nell'idea di uomini evoluti e moderni fino al secolo scorso.

In sintesi possiamo descrivere che la storia dei luoghi dall'epoca protoromana ci restituisce i seguenti passaggi significativi – si vedano **TAV. 1** e **Scheda 1** -:

- Verosimilmente in epoca protostorica o etrusco-romana, si riscontra la

⁶ Deevey, 1960

⁷ Grifoni, Cremonesi e Tozzi, 1994

massima estensione marina. Già nel Medio Evo dovevano essersi formati dei lidi che delimitarono le lagune sfruttate come riparo dalla flotta Pisana fin dall'inizio del secolo XI° ;

- I depositi palustri sono il risultato della sedimentazione avvenuta in tempi storici all'interno dei lidi formati per gli ingenti apporti dell'Arno e che si sono chiusi con le importanti colmate artificiali operate specialmente a partire dal 1830;
- Vi è la possibilità di ricostruire con buona approssimazione una sequenza di situazioni paleogeografiche recenti, già a partire dalla metà del secolo XVI°. Nella carta schematica riprodotta da vari autori hanno tenuto conto come punti fissi delle Torri del Porto Pisano e l'antico tracciato dei Navicelli che anticamente fu tagliato nel tratto rappresentato, immediatamente all'interno del lido costiero (B. Poccetti, 1610) secondo un tracciato progettato nel 1541 (G. Guarnirei, 1967) e che le Torri del Porto Pisano rimasero isolate nel mare fino agli inizi del XIX° secolo;
- Intorno alla metà del XVIII° secolo il Canale dei Navicelli comincia ad essere raffigurato nelle stampe;
- La rapida formazione dei lidi nel litorale tra Pisa e Livorno è legata all'ingente quantità di sedimenti che furono sottratti alla loro naturale destinazione verso l'area dell'antico delta dell'Arno e scaricati direttamente in mare da quando la foce fu ridotta artificialmente ad una sola bocca. Non è noto con precisione quando sia avvenuto questo, ma è verosimile che questi lavori destinati ad un miglioramento della salubrità dell'aria dell'agro pisano siano iniziati fin dalla remota fondazione di Pisa;
- Con la formazione di questi lidi, grandi aree furono sottratte al mare e ridotte a lagune e paduli. Si concretizzò un rapido avanzamento della linea di riva in un periodo caratterizzato invece da un lieve movimento eustatico positivo;
- Il progredire verso Ovest della linea di riva è continuato in tempi recentissimi, anche in seguito a grandi opere marittime, tanto è vero che ad esempio la spiaggia nel 1974 si trovava circa 200-250 m. verso mare rispetto alla linea precedente. Interessante constatare che, almeno dall'epoca romana (momento storico certo per la bibliografia) fino ai tempi attuali, l'area su cui si prevede la realizzazione della seconda vasca di colmata è sempre stata in mare.

1.2 Informazioni stratigrafiche dalla pagina storica dei luoghi

Quando saranno in seguito affrontati i temi lito-stratigrafici, sarà possibile tracciare una disamina compiuta dell'evoluzione generale dell'areale in esame, tuttavia la parte evolutiva storica del paesaggio negli ultimi 2000 anni rende possibile una serie di interessanti conclusioni che possiamo di seguito sintetizzare:

- a. All'esterno dell'area in studio, circa 2000 anni fa si trovava una sicura terraferma costituita dalla Piana di Livorno e quindi dall'espressione geomorfologia del Terrazzo più recente il cui bordo settentrionale ed occidentale determinava con buon grado di approssimazione il limite della costa. Questa linea morbida e sinuosa era in realtà una fascia, un'area

Scheda 1: Cronogramma sintetico sull'evoluzione storica dell'area

Epoca	Sintesi paleogeografica
Romana	L'area è interamente ricoperta dal mare, il Calambrone sfocia in una specie di baia chiusa con un pennello di terraferma a Nord di Ponte Ugione, verso Sud si profila una specie di falesia non eccessivamente alta conosciuta con il termine di "Gronda dei Lupi".
Medioevale	Il limite meridionale rimane pressoché costantemente rappresentato dalla falesia della Gronda dei Lupi, verso l'attuale Raffineria si riscontrano più terre emerse con una profonda baia racchiusa da una lingua di terra in continuo con la Diga del Marzocco.
Duecento-Trecento	La situazione è molto simile all'epoca medioevale, verso Sud il mare è in leggero avanzamento e si trova situato fino all'attuale Fortezza Nuova. L'attuale Fortezza Vecchia è emersa.
Cinquecento	La situazione è profondamente mutata: la linea di costa si trova appena ad Est dell'attuale Darsena Toscana, il pennello di terraferma è in pratica sparito, rimane una piccola isoletta emersa all'attuale imboccatura del Porto Industriale; gran parte dell'area Nord di Livrono appare emersa, l'attuale Fortezza Vecchia appare isolata dal mare, mentre l'antico bordo di falesia appare ben avanzato verso il mare. Ancora un largo specchio di mare posto tra la Torre del Marzocco e la Stazione San Marco.
Seicento	Leggero avanzamento verso la Darsena Toscana, la costa tende ad essere più diritta, sono presenti alcune piccole isolette sintomo della presenza di lande acquitrinose.
Settecento	Ulteriore modifica della linea di costa, ben avanzata verso l'attuale linea (oltre la Darsena Toscana); si riscontra una curiosa forma di barra parallela alla costa che racchiude un seno di acque basse, in questo tratto la costa si sfrangia, sintomo di giochi di correnti.
Ottocento	Rinsaldo molto netto delle terre addrizzato ed interrotto dallo stretto istmo della Torre del Marzocco, medio avanzamento verso Nord.
Novecento (1919)	Modestissimo avanzamento uniforme della linea di costa con la formazione in erosione di un golfo a Nord dell'istmo della Torre del Marzocco che viene restituito al mare.
Novecento (1935)	In meno di venti anni assistiamo ad un avanzamento deciso del fronte delle terre emerse, appaiono scavati il Canale Industriale e la Darsena Inghirami, la Torre del Marzocco è ormai in terraferma.
Novecento (1950-attuale)	<u>Le trasformazioni alla linea di costa sono dovute essenzialmente all'opera umana che tende a far avanzare le terreferme anche mediante la realizzazione di vasche di colmata.</u>

costituita da una sommità ed un piede che si è trovato storicamente più o meno sommerso. Questo bordo, noto in letteratura come “Gronda dei Lupi” è un segno importante poiché, almeno negli ultimi 2000 anni, rimane un elemento che muta le sue forme solo per l’incisione incessante che i corsi d’acqua provenienti dall’entroterra livornese continuano ad operare con alterne fasi di intensità. Questo limite, al di sopra del quale l’urbanistica si svilupperà ampiamente, rappresenterà, come meglio vedremo in seguito, una netta separazione tra l’impalcato costituito da cicli esclusivamente naturali regressivo-trasgressivi che hanno formato il Terrazzo di Livorno e la “produzione” di terreferme più moderna e governata spesso dall’azione dell’uomo.

- b. Nella massima espressione marina recente, il sito come abbiamo detto si trovava quasi del tutto sommerso: se verso meridione la Gronda era piuttosto netta ed aveva una forma di media falesia, verso occidente il bordo del Terrazzo era piuttosto basso. Sotto il profilo storico, il tratto di litorale in esame viene frequentemente interessato da spiaggiamento di grandi quantità di *alghe*⁸, una testimonianza importante che permette di stabilire la presenza di abbondanti praterie di *Posidonia oceanica* prospicienti il sito e comunque un importante gioco di correnti in grado di ridistribuire e classare il materiale in trasporto gravitanti nel nostro tratto di costa significativo.
- c. Considerato che la base dell’Orizzonte 1⁹ rappresenta, con le dovute approssimazioni, il fondo del mare in evoluzione recente, è interessante constatare che nel momento di massima acqua nell’area (Epoca Romana) sull’attuale linea di costa doveva trovarsi una colonna d’acqua di circa 16-18,00 m. come è possibile rilevare nelle Sezioni lito-stratigrafiche proposte nella Tavole 4 e 5.
- d. Dall’epoca Romana, l’area più settentrionale di Livorno – limitata a Nord dallo Scolmatore d’Arno - si è andata progressivamente interrando avanzando quindi verso il mare. Questa conquista di terraferma è continuata fino a giungere alla conformazione geomorfologia attuale con una combinazione di varie azioni:
 - ♦ Una di tipo naturale dovuta al trasporto e deposizione di materiali provenienti dai corsi d’acqua (Arno ed altri fiumi e torrenti) attraverso le correnti longitudinali di costa e quindi al drift litoraneo che ha ridistribuito i vari materiali assortiti organizzando l’avanzamento in barre parallele alla linea di costa del momento e creando i presupposti di imprigionamenti di acque saline che poi via via sono divenute salmastre e si sono dolcificate per l’apporto di acque dalle colline retrostanti;
 - ♦ Una di tipo antropico dovuta alle varie azioni di bonifica per recuperare terreferme da coltivo o da pascolo palustre.
 - ♦ Il naturale avanzamento, anche se con qualche episodio di stasi, si è manifestato soprattutto dall’Epoca Romana fino al tardo Trecento, mentre, pur continuando l’azione naturale, ha cominciato ad essere importante l’azione di bonifica tentata dall’uomo dal Quattrocento fino all’Ottocento.

⁸ In realtà si tratta di fanerogame ed in particolare di *Posidonia oceanica*.

⁹ Si veda paragrafo dedicato nella parte geologica e stratigrafica del presente lavoro.

- e. Le azioni di bonifica riconosciute storicamente possono essere sintetizzate nelle seguenti modalità:
 - ♦ Rettifiche, deviazioni e anastomizzazioni di corsi d'acqua per poterli far sfociare in aree umide (marazzi, paludi, acquitrini) al fine di far depositare i materiali trasportati in un ambiente semi-protetto e far alzare il livello dei fondali (già comunque piuttosto bassi);
 - ♦ Realizzazione di vere e proprie scacchiere di canali per drenare le acque di zone palustri anche mediante combinazione di effetti eliminazione delle acque-apporto di materiale da un canale colmatore. In tempi più recenti sono stati utilizzati anche sistemi meccanici per sollevare ed eliminare le acque ferme (Idrovore, Stazioni di pompaggio);
 - ♦ Specialmente nel corso del Settecento si ricorre anche alla bonifica delle aree palustri mediante colmatazione con le fanerogame che interrano le bocche del Porto, sono quindi previsti dei veri e propri dragaggi al di sotto del livello del mare ed all'interno delle aree più protette con il trasferimento di questi materiali in aree da riempire.

1.3 I caratteri geostrutturali generali dell'ambito di studio

L'area in esame sotto il profilo di appartenenza idrografica si colloca nella parte terminale del bacino dell'Arno che nel suo tragitto verso il mare, attraversa una successione di bacini sprofondati e di dorsali tettoniche relativamente più alte, tutti allungati in “ direzione appenninica NW-SE.

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

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

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

Quanto delineato ammette che lo sviluppo dei bacini di sprofondamento tettonico sui quali - a partire dalla grande regressione del Pliocene superiore - ha iniziato ad impostarsi il Bacino fluviale dell'Arno, è avvenuto da SW verso NE per aggiunta

progressiva di sempre nuovi bacini di sprofondamento tettonico che si sono formati dal Miocene superiore al Pleistocene inferiore sul retro del movimento orogenetico appenninico. Questo si è spostato portando sempre più ad Oriente il crinale principale e lo spartiacque, cioè nello stesso senso dell'accrescimento del bacino fluviale dell'Arno, ma in senso contrario allo scorrimento delle acque di questo fiume.

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

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

Lo sprofondamento tettonico dei bacini ha richiamato la deposizione di successioni sedimentarie maggiori (fino a oltre 2.000 m di spessore) in quelli più occidentali, maggiormente vicini all'area di ampia distensione del Mare Tirreno e attivi fin dal Miocene superiore, e minori (nell'ordine di alcune centinaia di metri) in quelli man mano più orientali, cioè nel bacino di Firenze, nel Valdarno superiore e nel Casentino.

Le più recenti successioni stratigrafiche sicuramente documentanti sprofondamenti di natura tettonica risalgono al Pleistocene inferiore. Nell'ambito del bacino fluviale dell'Arno la deposizione di tutti i sedimenti posteriori è stata fortemente influenzata dalle importanti variazioni climatiche degli ultimi 0,7 MYA e, anche quando questi sedimenti sono sicuramente stati interessati da dislocazioni tettoniche, non è stato per ora possibile stabilire se furono soggetti a sprofondamenti oltre che a sollevamenti.

Questi sono invece documentati nei dintorni di Livorno¹⁰ con sicurezza dalle quote raggiunte da alcuni terrazzi di eustatismo marino del Pleistocene medio (compreso tra 0,7 e 0,125 MA), quote alle quali non è possibile sia giunto il mare neppure negli episodi interglaciali di stazionamento più alto. Rimane comunque l'incertezza che nel sottosuolo della Pianura versiliese-pisana si trovino sedimenti del Pleistocene medio sprofondati a quote più basse di quelle di deposizione¹¹.

¹⁰ Barsotti et al., 1974.

¹¹ Della Rocca et al., 1987.

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

Molto importante deve essere stata la presenza della dorsale della Meloria, sul tratto SW del bacino investito dal moto ondoso predominante di Libeccio. Questa dorsale oggi è sommersa dal mare ma ha corrisposto a un'area emersa nelle fasi di stazionamento basso del livello marino dei periodi glaciali. D'altra parte nei periodi di stazionamento alto del livello marino, corrispondenti agli interglaciali, come bassofondo sommerso deve avere influito sulla deriva litoranea diminuendo la dispersione dei sedimenti verso il largo e indirizzandone parzialmente il rientro verso costa, e, inoltre, rompendo l'energia delle onde con la fitta prateria di Posidonia che l'ammantava.

1.4 Lineamenti geologici degli affioramenti di superficie

Dall'analisi della Carta geologica dei comuni di Livorno e Collesalveti (Mazzanti et alii, 1990) e dall'estratto di cartografia geologica del CAR.G. (stesura del 2003-2005, non ancora in stampa) – si veda **TAV. 2A** “Quadro conoscitivo generale-*Geologia* & Focus sulle forme presenti in area” - in un'area significativamente posta all'intorno dell'area in esame si rintracciano i seguenti affioramenti:

- ❑ Depositi di *spiaggia attuale* (s)¹², regolata dai moti ondosi del mare, dalle correnti e dalle maree insieme alle dinamiche di trasporto del Canale dello Scolmatore d'Arno; si tratta di sabbie molto fini tendenzialmente ancora in accumulo;
- ❑ Depositi di *alluvioni* (a), affiorante in destra idraulica dello Scolmatore e che corrisponde con la fase di risalita del livello di base dei fiumi conseguente a quella trasgressione versiliana¹³ del livello del mare;
- ❑ Depositi dei *sedimenti palustri, alluvionali e di colmata* (t), spesso non facilmente riconoscibili l'uno dall'altro. Attualmente l'unica area palustre ancora non prosciugata rimane il Prato della Contessa a oriente della Fattoria di Suese in Collesalveti;
- ❑ Depositi delle *Sabbie d'Ardenza* (q₉) che sormontano le Calcareni Sabbiose di Castiglioncello; sono sostanzialmente sabbie molto fini sempre di origine continentale e di accumulo eolico e di tipico colore arancio-rosso. Rappresentano per la zona una formazione tipica nell'ambito del cosiddetto Terrazzo di Livorno (nella nuova cartografia

¹² Per spiaggia attuale si intende la fascia continentale a contatto con il mare di recente evoluzione.

¹³ Trend trasgressivo marino in epoca Olocenica.

geologica del CAR.G. la formazione è stata rinominata QSD – Sabbie di Donoratico).

1.5 Brevi lineamenti geomorfologici della zona e gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali

Il profilo geomorfologico dell'area in esame è definito sostanzialmente da un'intensa antropizzazione che ha determinato la quasi totale elisione di segni geomorfici naturali – si veda **TAV. 2B** “Quadro conoscitivo generale-Geologia & Focus sulle forme presenti in area -.

Si riscontrano infatti alcune lievi forme relitte, anche queste intensamente trasformate dall'azione dell'uomo, come ad esempio un tratto del Canale dei Navicelli, il tratto finale dello Scolmatore d'Arno compresa la sua foce e la linea di riva attuale dove si trova una piccola striscia d'arenile continuamente modificato dai moti ondosi e che risente delle opere di protezione portuale già realizzate.

Più interessanti risultano i segni morfologici presenti nell'intorno significativo dell'area in esame e che sono da considerarsi interagenti a livello di sistema con l'area medesima e quindi capaci di influire sulla circolazione idrica sotterranea.

I sistemi dunali, i cordoni litoranei ed i tomboli costieri

Verso Settentrione già a partire dalla prossimità dell'argine destro idraulico dello Scolmatore d'Arno in Loc. Calambrone e verso Tirrenia sono ancora ben presenti sistemi dunali e di retro duna, ovvero tutti i sistemi di cordoni litoranei¹⁴ paralleli alla linea di costa che si sono succeduti nel tempo formati dal trasporto e deposito delle correnti di drift litoraneo.

Interessante rilevare la presenza di tomboli in arretramento dalla linea di costa

¹⁴ Un *cordone litoraneo* (o lido) può presentarsi come un'isola allungata oppure come una penisola, congiunta cioè alla terraferma ad un'estremità e in tal caso vien detta *freccia litoranea*, oppure può essere congiunto alla terraferma alle due estremità.

I cordoni litoranei possono formarsi per accrescimento di scanni subacquei quando v'è abbondante rifornimento di detrito le onde stesse elaborano questi dossi sabbiosi fino a farli emergere. I cordoni si formano di regola in posizione laterale, o meglio sotto vento, rispetto ai punti di rifornimento di sabbia: in pratica dove si fa sentire una diminuzione dell'energia di trasporto.

In molti casi si osservano cordoni che chiudono le insenature, separando del tutto o in parte dal mare aperto gli specchi d'acqua che diventano *lagune*, *stagni* o *laghi costieri*; perché ciò accada occorre che non sia grande la profondità nelle insenature stesse.

Si dicono *tomboli* i cordoni litoranei sormontati da dune; i testi stranieri riportano invece il termine *tombolo* solo per quei cordoni litoranei che i processi costieri hanno costruito dietro un'isola, in modo tale da congiungerla alla costa più vicina creando una penisola.

attuale in parte sormontati da dune in cui si rileva una importante ceduazione di pinete talvolta sfruttate per il legno in epoche passate.

E' logico supporre che questi sistemi geomorfologici si sviluppassero anche nelle parti di territorio poste in sinistra idraulica dello Scolmatore d'Arno ed in fregio alla città di Livorno, ma nell'area del Sito di Interesse Nazionale, queste forme sono state tutte rielaborate ed eliminate in superficie; vedremo nella disamina stratigrafica che verso Occidente si riscontrano ancora – seppure saltuariamente – alcune parti relitte di radici di dune che sono stati conservati durante gli importanti lavori antropici che hanno trasformato il territorio.

Questi cordoni litoranei si andavano a raccordare verso Meridione e verso occidente con il bordo geomorfologico del terrazzo più recente di Livorno; queste forme che oltre ad essere formate dalle dinamiche di trasporto e deposito marino, erano anche continuamente rielaborate dal vento, per cui verso Meridione la protezione eolica dovuta alla presenza di una parete di falesia ed in successione della “quinta” costruita della città ha sicuramente contribuito ad appiattire la morfologia.

Non è casuale che i luoghi degli antichi Porti fossero prossimi ad una protezione naturale, ciò li preservava anche dalle veloci dinamiche di interrimento che come vedremo hanno condizionato per secoli lo sviluppo degli specchi acquei.

La spianata di abrasione marina tirreniana del Terrazzo di Livorno

Dicevamo prima che un altro importante segno che limita la parte più Meridionale e quella verso occidente dell'area in studio è rappresentato dal bordo del Terrazzo di Livorno e quindi verso l'entroterra dalla superficie di abrasione marina.

Si tratta di formazioni del Pleistocene superiore che si trovano sul Terrazzo basso (*Terrazzo di Livorno*) molto ben conservato e disposto base contro base rispetto a quello alto e sono costituite dalle Calcareni Sabbiose di Castiglioncello (q_8)¹⁵, dai Conglomerati di Santo Stefano e dalle Sabbie di Ardenza (q_9) con i coevi Conglomerati, calcareniti sabbiose e sabbie di Rio Maggiore, che esprimono talora la fase trasgressiva del ciclo eustatico dell'interglaciale Tirreniano ma, principalmente, episodi regressivi continentali da attribuirsi a diverse fasi del Wurm.

L'inizio del Pleistocene superiore è molto ben caratterizzato, al piede occidentale dei Monti Livornesi dai sedimenti dell'Eutirreniano a *Strombus bubonius* e dal Terrazzo di Livorno. Questa trasgressione glacioeustatica ha riportato nuovamente il litorale in una posizione più a Est di quella attuale con le piane di Livorno e di Rosignano sommerse dalle acque.

¹⁵ Nella simbologia utilizzata da Renzo Mazzanti nella carta geologica dei Comuni di Livorno e Collesalveti, 1990.

Nella **TAV. 2B** è stato riportato il bordo superiore del Terrazzo di Livorno che, almeno nel tratto prospiciente l'area cimiteriale, ha assunto in letteratura il termine di "Gronda dei Lupi", ovvero una specie di falesia medio-bassa che in certi periodi, almeno post-tirreniani, ha assunto anche il limite tra la terra salda e le parti sommerse dal mare o le aree di tipo palustre (ed in alcuni casi, localmente lagunari).

In realtà questa linea ben definibile, visto i vari sondaggi geognostici che sono stati eseguiti attorno, rappresenta la sommità, il bordo superiore di una falesia che non poteva affacciarsi nel complesso a picco sulla superficie marina, ma anzi era costituita da un piede più o meno sommerso nei vari periodi evolutivi paleogeografici post formazionali. Inoltre – interessante per lo scopo del presente Studio – questo specchio di scarpata più o meno ripido è stato continuamente elaborato dagli agenti esterni e naturalmente ha subito arricchimenti di materiali a granulometria compresa tra una ghiaia fine ed una sabbia grossolana per lo scarico locale dei vari corsi d'acqua che, oltre ad incidere ed alluvionare il piano del terrazzo hanno formato sistemi di conoidi di scarico oltre la Gronda. Considerato la complessa evoluzione dell'area con continue rielaborazioni del materiale eroso, trasportato e sedimentato, è legittimo pensare ad una discontinuità di questi "scarichi alluvionali".

Apparato idrografico di superficie

In sostanza si rilevano tre differenti macro-elementi informativi geomorfologici:

- ❑ corsi d'acqua naturali e che al limite hanno subito rettifiche, modifiche di tracciato o lavori di rivestimento;
- ❑ canali realizzati su antiche tracce di corsi d'acqua naturali mediante l'escavazione, il dragaggio o la formazione di banche fluviali con funzioni di regolamentazione e scolmature delle piene del Fiume Arno o con caratteristiche di navigabilità interna in collegamento con il mare;
- ❑ tracce di canali tendenzialmente antropici con tipiche forme a "scacchiera" o a "rastrello" con evidenti funzioni di drenaggio delle aree acquitrinose per l'imbonimento dei terreni mal saldi¹⁶.

Appartengono al primo gruppo i torrenti ed i vari rii che provengono dalle spalle collinari della città di Livorno, che non attraversano l'area del Sito di Interesse nazionale e che al più corrono parallelamente ai limiti del vincolo di delimitazione; tra questi elenchiamo il Torrente Ugione, il Rio dell'Acqua Puzzolente (affluente in sinistra idraulica del T. Ugione) ed il Rio Cigna.

Sono ricompresi nel secondo gruppo quei corpi idraulici che hanno una direzione più perpendicolare all'attuale linea di costa con andamento pressapoco E-NE/W-

¹⁶ Un'antica terminologia rintracciata su varie fonti bibliografiche storiche ben evidenzia la caratteristica di vacanti quanto mai mutabili terreferme, dei terreni propicienti le linee di costa.

SW, come ad esempio lo Scolmatore d'Arno che è stato realizzato per proteggere l'abitato di Pontedera e Pisa dalle piene del Fiume Arno.

Proprio per la sua funzionalità idraulica, lo Scolmatore, che nel tratto finale, più di stretto interesse è protetto in sinistra idraulica da una banca trapezoidale con una palancolata, non può essere definito un corso naturale ad ogni effetto anche perchè manca l'affioramento di evidenti coltri di alluvionamento al suo intorno. Ciò avviene poichè siamo prossimi al suo estuario e perchè lo Scolmatore è stato dimensionato per contenere precise quantità d'acqua che provengono dall'Arno.

Proprio per le sue caratteristiche intrinseche, storicamente si sono verificati rari casi in cui lo Scolmatore d'Arno ha tracimato le acque con evidenti stati esondivi e, casomai, questo è accaduto per il grave problema, che è ad oggi ancora irrisolto, del suo costante interrimento, specialmente nel tratto terminale.

Nato con una profondità variabile tra i 3,50 ed i 4,00 m. in certe zone oggi lo Scolmatore ha profondità minori al metro e talvolta con le continue riduzioni delle portate in periodi siccitosi affiorano isole di sabbia e limo, specialmente nel tratto compreso tra l'Aurelia e la foce.

Il livello di base di questo corso d'acqua ha un gradiente piuttosto basso e la presenza di una foce non protetta ai marosi più intensi sta creando importanti disagi alla sua navigabilità interna specialmente in foce, dove si formano continue lune di deposito transizionale fluviale-marino.

Oltre allo Scolmatore d'Arno, si rintracciano altri corpi idraulici che hanno caratteristiche di costruito, come ad esempio lo storico Canale dei Navicelli, ma anche il Canale Emissario di Bientina e la Fossa Chiara, il Fosso della Tora e l'Antifosso delle Acque Chiare.

Appartengono al terzo gruppo i segni delle bonifiche o degli imbonimenti che durante oltre 4 secoli sono stati condotti nell'area in esame. Si tratta talvolta di tracce piuttosto flebili che ancora si possono rintracciare sul territorio, magari linee di viabilità che si sono giustapposte ad apparati di bonifica talvolta molto complessi o altre tracce marcate dalla presenza di fosse camperecce che hanno mantenuto la loro funzionalità idraulica nei diversi anni.

Certamente occorre attribuire una certa importanza a queste vere e proprie reti di drenaggio superficiale proprio in ordine alla organizzazione dei deflussi sub-coticali che possono aver mantenuto una "memoria" sotto il profilo idrogeologico e possono costituire assi drenanti preferenziali nei primi spessori di terreno.

1.6 Elementi lito-stratigrafici generali della Piana di Livorno

Dai vari studi consultati¹⁷ riguardanti l'areale in esame viene ritenuto estremamente interessante il recente lavoro pubblicato sul Bollettino della Società Paleontologica Italiana da Dall'Antonia, Ciampalini, Michelucci, Zanchetta, Bossio e Bonadonna (2004) che illustra i principali risultati emersi da uno studio multidisciplinare condotto su 15 sondaggi guida effettuati nell'area di Livorno.

Questo studio interessa un'area situata sul terrazzo eustatico di Livorno ed il settore più meridionale della Pianura di Pisa, che sono separati da una scarpata di origine erosiva nota nella letteratura come "Gronda dei Lupi" perciò risulta molto interessante per il nostro lavoro poiché sulla base di tests paleontologici, di datazioni ¹⁴C e di approfondimenti paleogeografici definisce, il succedersi di diverse Unità stratigrafiche con una certa precisione.

L'interpretazione stratigrafica dei sondaggi studiati nel lavoro scientifico ha permesso di riconoscere 7 principali unità litostratigrafiche, alcune delle quali possono essere correlate con formazioni affioranti nella Toscana Nord-Occidentale; qui di seguito vengono descritte sinteticamente le Unità stratigrafiche riconosciute nello studio:

UNIT 1

Questa Unità stratigrafica che compare in prossimità del bordo della Gronda dei Lupi e, naturalmente verso l'interno della città di Livorno, comprende due sub-Unit: la 1A caratterizzata da sabbie limose e argille azzurre-grigie con limi argillosi e la 1B in cui sono incluse alternanze di limi-sabbiosi, sabbie medie-fini ed argille con sabbie grossolane. Dalle associazioni di Ostracodi rilevati alla Sub-Unit 1A è stato conferita l'età del Pleistocene Inferiore, mentre le faune rintracciate nella Sub-Unit 1B suggeriscono il Pleistocene Inferiore.

Le microfaune presenti indicano che i sedimenti della Sub-Unit 1A si sono depositi in un ambiente a normale salinità con locali influenze di *fresh-brackish waters*, mentre la Sub-Unit 1B è caratteristica di una non favorevole condizione paleo-ambientale riferibile probabilmente ad *brackish water setting*.

L' Unità 1 ha una certa corrispondenza – seppure non precisa - con quella studiata dal Mazzanti, Barsotti nel 1974 per lo Studio del bacino di carenaggio in cui si rilevava che a questo primo orizzonte appartengono i sedimenti del Calabriano¹⁸ costituiti in prevalenza da argille con sabbie e da conglomerati minuti.

UNIT 2

Anche questa Unità stratigrafica che compare dalla prossimità del bordo della

¹⁷ In particolare gli Studi condotti durante gli scavi del Bacino di Carenaggio in ambito portuale.

¹⁸ Pleistocene antico tra 1,8 ed 1 m.y.a.

Gronda in direzione della linea di costa, mentre non si rintraccia nella parte superiore del terrazzo, è caratterizzata da sabbie grossolane e ghiaie sparse con passaggi a sabbie più fini fino alle argille, questa Unità è normalmente sovrapposta ai depositi calcarenitici dell'Unità 3.

Il rintracciamento delle faune ad Ostacodi indicano una deposizione nel Pleistocene Inferiore; nel particolare sembrerebbero essere attribuibili al Siciliano. La paleogeografia di questo spessore evidenzia un caratteristico ambiente marino con caratteristiche di vicinanza della linea di costa con condizioni *euhaline*.

UNIT 3

Questa Unità è ben evidente e posta alla base del Terrazzo di Livorno ed è costituita da una sabbia spesso cementata in forma di calcarenite (panchina) con abbondanti conchiglie marine (molluschi).

L'Unità viene ritenuta appartenere ad un deposito trasgressivo del Pleistocene superiore ben riconosciuto nella fascia costiera di Livorno. Questo spessore di calcarenite si correla con il primo orizzonte di panchina rintracciato negli scavi della Torre del Fanale (datato circa 125.000 yr BP).

UNIT 4

Consiste in un'alternanza di limi-argillosi grigi-azzurri e sabbie. Il Radiocarbonio data alcuni frammenti di legno presenti nello spessore, intorno ai 40.700 yr BP, ma non viene escluso un rimaneggiamento di questi materiali. Questa Unità sembra essere posizionata tra il Terrazzo di Livorno e la Pianura di Pisa. Dall'analisi paleontologica emerge che è più recente dell'Unità 6 e comunque sempre attribuibile al Pleistocene superiore.

UNIT 5

Questa Unità viene suddivisa in due Sub-Unit: la 5A, posta in basso comprende spessori di limo ed argilla sabbiosa con sparsi granuli di carbonati e spessori di ghiaie o sabbie grossolane. La Sub-Unit 5B posta in alto, è composta da sabbie e da sabbie limose con noduli di manganese millimetrici con vari livelli di sabbie più grossolane.

La Sub-Unit 5A è stata accumulata in un ambiente di piano alluvionale caratterizzato da paleo-canali con caratteristiche di trasporto di materiale anche grossolano. La Sub-Unit 5B mostra più una caratteristica di deposito in corrente.

UNIT 6

Questa Unità comprende limi sabbiosi e limi argillosi con sabbie. In alcuni sondaggi questa Unità è usualmente caratterizzata da molluschi di acqua fresca (e.g. *Bithynia*, *Ancylus* e *Pisidium*) e da forme di terra (e.g. *Carychium*, *Vertigo*,

Vallonia, *Punctum*, *Limax* e *Testacella*). Sono rappresentati anche in parte Ostracodi di acqua fresca come *Ilyocypris* e *Candona*, *Pseudocandona compressa* (Koch) e subordinatamente *Cyclocypris laevis* (Muller) e *Pseudocandona* spp. Nei livelli superiori sono ancora presenti forme terrestri rappresentate da *Carychium*, *Vallonia*, *Discus* e *Monacha*. Il solo mollusco di acqua fresca è rappresentato da *Lymnea*.

In alcuni sondaggi si rintracciano anche gasteropodi di acqua fresca (*Bithynia* e *Valvata*) e land snails (*Carychium* e *Limax*). Il radiocarbonio data frammenti di legno presenti nello spessore intorno ai 50.300 yr BP; i caratteri stratigrafici indicano che l'Unità è più vecchia dei depositi olocenici, più recente dell'Unità 2 di età Siciana e probabilmente più giovane dell'Unità 3 e 4.

UNIT 7

Questa Unità include due Sub-Unit: la 7A consiste in una sabbia grossolana con locali concentrazioni di ghiaia, mentre la più superficiale (Sub-Unit 7B) comprende alternanze di limi sabbiosi e sabbie limose ricche in *Posidonia oceanica* con locali frammenti di conchiglie marine.

Il contenuto faunistico nella Sub-Unit superiore è piuttosto variabile, vi si rintracciano livelli con *Posidonia oceanica* ricchi anche in gasteropodi marini (e.g. *Alvania*, *Calliostoma*, *Cerithium*, *Cerithiopsis*, *Cryptospira*, *Cythara*, *Gibbula*, *Hinia*, *Jujubinus*, *Tricolia*, *Rissoa*, *Bittium*, *Turritella*) e subordinatamente a bivalvi (e.g. *Acanthocardia*, *Chlamys*, *Dosinia*, *Leda*, *Pectunculus*, *Venus*, *Venerupis*, *Nucula*, *Tellina*).

La datazione al radiocarbonio eseguito nella Sub-Unit 7A evidenzia un'età di 4.530 ± 60 yr BP ed è stata attribuita alla trasgressione versiliana, mentre la datazione della Sub-Unit 7B eseguita sui resti della *Posidonia oceanica* stabilisce un range tra 930 ± 45 yr BP e 1.100 ± 100 yr BP che indicherebbe una deposizione di tipo storico.