

LIVORNO

LA CITTÀ
DEL FUTURO



Variante PIANO STRUTTURALE



COMUNE
DI LIVORNO

Sindaco

Luca Salvetti

Assessore all'Urbanistica

Silvia Viviani

Responsabile del Procedimento

Arch. Camilla Cerrina Feroni

INDAGINI GEOLOGICHE, IDROGEOLOGICHE E SISMICHE

GEO
G.00

RELAZIONE GEOLOGICA

ADOZIONE
MAGGIO 2023

A cura di:

Prof. Geologo Eros Aiello Dott. Geologo Gabriele Grandini
Dott. Geologo Alessandro Piazzini
Dott. Geologo Tosca Simonti



The logo consists of the word "GEOECO" in a stylized, red, outlined font. The letters "G", "E", and "O" are larger and more prominent. Below "GEOECO" is the word "PROGETTI" in a smaller, red, outlined font. The entire logo is contained within a thin red rectangular border.

Per la redazione del presente supporto alla “Variante al Piano Strutturale” si è fatto riferimento ad una parte del quadro conoscitivo del Piano Strutturale 2 del Comune di Livorno redatto dal Dott. Geol. Luca Mazzei (febbraio 2019) in relazione ad alcuni elaborati cartografici (v. paragrafo 1.1 del presente rapporto) e argomentazioni testuali.

Gli elaborati relativi allo studio di Microzonazione sismica di 3° livello (MS3) facenti parte del presente quadro conoscitivo, da cui sono stati tratti gli elementi basilari per l’allestimento della cartografia di pericolosità sismica, sono stati realizzati per conto dell’Amministrazione Comunale di Livorno, da Geologica Toscana (dicembre 2022).

Indice generale

1. INTRODUZIONE	2
1.1 METODOLOGIA e NORMATIVA di RIFERIMENTO	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	10
2.1 MOROLOGIA DEL TERRITORIO	11
2.2 EVOLUZIONE MORFOLOGICA DELLA PIANA LIVORNESE	12
2.3 RIPORTI ANTROPICI IN AREA MARITTIMA-PORTUALE E IN SETTORI URBANIZZATI	13
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE	16
3.1 EVOLUZIONE DEGLI STUDI NELL' AREA LIVORNESE	16
3.2 CARTA GEOLOGICA PER LA PRESENTE VARIANTE AL P.S.....	19
3.3 STRATIGRAFIA E DESCRIZIONE DELLE FORMAZIONI.....	23
3.4 STRUTTURA GEOLOGICA DEL TERRITORIO CONTINENTALE	30
3.5 SINTESI ASSETTO STRATIGRAFICO	35
3.6 ULTERIORI CONOSCENZE SULLE UNITA' STRATIGRAFICHE DELLA PIANA	40
3.7 CENNI DI TETTONICA ED EVOLUZIONE DELL' AREA LIVORNESE	48
3.5 MODELLO DI SOTTOSUOLO PER LA MICROZONAZIONE SISMICA	50
3.6 CARATTERISTICHE LITOLOGICO TECNICHE.....	54
4. GEOMORFOLOGIA	58
4.1 GEOMORFOLOGIA E RISCHIO DI INSTABILITA' DEI VERSANTI	58
4.2 STATO DI ATTIVITA' DEI FENOMENI GEOMORFOLOGICI.....	60
4.3 MORFEMI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA	62
4.4 ASPETTI GEOMORFOLOGICI PECULIARI DELL' AREA LIVORNESE.....	65
4.5 ASPETTI GEOMORFOLOGICI DELL' ISOLA DI GORGONA.....	67
5. DINAMICA COSTIERA E AREE CON RELATIVE PROBLEMATICHE	68
5.1 TRATTI COSTIERI CARATTERISTICI	68
5.2 CENSIMENTO DELLE SPIAGGE.....	70
5.2 ANALISI DELLE SPIAGGE E FENOMENI DI EROSIONE.....	71
6. PERICOLOSITA' GEOLOGICA	83
6.1 CARTA della PERICOLOSITA' GEOLOGICA (ex Reg. Reg. n. 5/R/2020).....	83
6.2 PERICOLOSITA' DA DISSESTI DI NATURA GEOMORFOLOGICA NEL P.A.I. DELLA A.D.B. DISTRETTUALE DELL' APPENNINO SETTENTRIONALE.....	86
7. RETICOLO IDRAULICO	91
8. IDROGEOLOGIA DEL TERRITORIO LIVORNESE	94
8.1 POTENZIALITA' IDROGEOLOGICHE	96
8.2 STUDI PREGRESSI.....	96
8.3 STUDIO IDROGEOLOGICO AREA SIN.....	98
8.4 LA CARTA IDROGEOLOGICA.....	104
8.5 CARATTERISTICHE DI PERMEABILITA' DEI LITOTIPI.....	105
8.6 STIME DI PERMEABILITA' IN AREA COSTIERA.....	106
8.7 ELABORAZIONE DELLE CURVE ISOPIEZE/ISOFREATICHE	108
8.8 VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI	111
8.9 TUTELA DELLA RISORSA IDROGEOLOGICA.....	114
9. ASPETTI SISMICI E STUDI DI MICROZONAZIONE	116
9.1 REPERIMENTO DATI GEOGNOSTICI E GEOFISICI.....	121
9.2 STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA E PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE.....	123
9.3 QUADRO CONOSCITIVO IN MATERIA SISMICA DEL COMUNE DI LIVORNO	124
9.4 LA CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	126

1. INTRODUZIONE

Il Comune di Livorno è dotato di un Piano Strutturale (c.d. Piano Strutturale 2), approvato nell'aprile 2019 che è stato pertanto conformato nel quadro legislativo dell'ordinamento regionale conseguente all'approvazione delle L.R. n. 65/2014, corredato da relativo supporto geologico redatto ai sensi del Regolamento Regionale n. 53/R del 25.10.2011 (Dott. Geol. Luca Mazzei, febbraio 2019) licenziato con parere istruttorio da parte del Genio Civile Valdarno Inferiore e Costa relativamente al deposito n. 229 del 20.06.2018.

Per quanto riguarda invece la pianificazione operativa, il Comune di Livorno è dotato di un Regolamento Urbanistico risalente al 1999, quindi approvato in conformità alle disposizioni di cui alla L.R. n. 5/1995.

Il 27 novembre 2014 è entrata in vigore la nuova legge regionale di governo del territorio (L.R. n. 65/2014) che stabilisce un nuovo assetto per la pianificazione comunale.

La disciplina attuale (LR 65/2014) conferma la suddivisione del processo di pianificazione in due parti:

- il Piano Strutturale: strumento della pianificazione, di programmazione strategica dello sviluppo sostenibile, che attiene alle grandi scelte territoriali di lungo periodo, non conformativo della proprietà privata, di durata indeterminata;
- il Piano Operativo Comunale (che sostituisce nominalmente il Regolamento Urbanistico mantenendo invariato il proprio ruolo), conformativo della proprietà privata, costituito da due parti:
 - una di durata limitata (5 anni), relativa alle aree oggetto di trasformazione (piani attuativi e aree da espropriare);
 - l'altra di durata indeterminata che gestisce la disciplina ordinaria degli interventi sul territorio.

Inoltre, il 19 giugno 2015 è entrato in vigore il Piano di Indirizzo Territoriale (PIT) con valenza di Piano Paesaggistico approvato dal Consiglio Regionale con Deliberazione n.37 del 27 marzo 2015, che impone la necessità di conformare ad esso i nuovi strumenti di pianificazione comunale.

Sulla scorta delle esperienze maturate nella gestione di questi anni, l'amministrazione comunale di Livorno ha ritenuto opportuno attivarsi per elaborare un nuovo ciclo di pianificazione urbanistica comunale avviando il procedimento di formazione del Piano Operativo (di seguito PO) accompagnandola da una contestuale variante al Piano Strutturale per conformare il relativo "quadro conoscitivo" alle disposizioni nel frattempo intervenute come sotto riassunte:

- L.R. 10 novembre 2014, n. 65 "*Norme per il governo del territorio*" e s.m.e.i. che ha modificato gli obiettivi strategici dei precedenti normati accentuando l'importanza delle risorse essenziali, la priorità del recupero dell'esistente e la tutela del territorio rurale,

- L.R. 24 luglio 2018, n. 41 "*Disposizioni in materia di rischio alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla l.r. 80/2015 e alla l.r. 65/2014*", che ha introdotto norme inerenti alla "gestione del rischio" riguardanti gli interventi da realizzare nelle aree soggette a pericolosità idraulica,

- D.P.G.R. 30 gennaio 2020, n. 5/R "*Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche*",

- D.P.G.R. 19 gennaio 2022, n. 1/R "*Regolamento di attuazione dell'articolo 181 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento dell'attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico*".

Il Comune di Livorno provvedeva all'avvio del procedimento di cui sopra con Deliberazione della Giunta Comunale n. 547 del 12/10/2021.

In base alla Legge regionale n. 65/2014 "Norme per il governo del territorio", la Regione Toscana individua in Comuni, Province e in se stessa i soggetti preposti alla tutela, valorizzazione e gestione delle risorse del territorio, nell'ottica di uno sviluppo sostenibile che garantisca alle generazioni presenti e future migliori qualità di vita.

All'art. 104 della Legge regionale n. 65/2014 si evidenzia che il piano strutturale debba definire, sulla base di indagini, studi ed approfondimenti specifici, le dinamiche idrogeologiche in essere e le relative condizioni di equilibrio rispetto alle quali valutare gli effetti delle trasformazioni in previsione. Lo scopo ultimo delle indagini geologiche e idrologiche-idrauliche è “verificare la pericolosità del territorio per gli aspetti idrogeologici, idraulici e sismici e che debbano essere evidenziate le aree che risultino esposte a rischi con particolare riferimento alle aree urbanizzate, alle infrastrutture di mobilità e alle trasformazioni del territorio rurale”.

Tramite questa Legge vengono messi al centro dell'operato concetti come lo sviluppo sostenibile e la qualità della vita dei cittadini, che avevano fatto la loro prima comparsa nel quadro normativo nazionale nella Legge n. 183/1989 “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”.

La Regione Toscana recepisce, rielabora e concretizza molti concetti contenuti nella Legge n. 183/1989, in particolare un'azione di governo del territorio basata sulla conoscenza del territorio, che viene in itinere incrementata in un'ottica di collaborazione fra Regione, Province e Comuni.

Ogni Ente interviene alla scala del proprio strumento di pianificazione, la Regione approva il Piano di Indirizzo Territoriale (art. 88 e 89 della Legge regionale n. 65/2014) che opera a grande scala e individuando delle linee guida, mentre la Provincia approva il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale “P.T.C.P.” (art. 90 della Legge regionale n. 65/2014) operando già a una scala minore e infine il Comune provvede alla formazione del Piano Strutturale (art. 92 della suddetta Legge regionale) e del Piano Operativo art. n. 95 L.R. n. 65/2014), realizzandoli nel rispetto di quanto indicato nei due precedenti strumenti urbanistici sovracomunali.

In breve, la pianificazione territoriale viene realizzata da Regione, Province e Comuni, passando da una visione di insieme con indicazioni generali a un dettaglio sempre maggiore con studi puntuali del territorio e disposizioni ad hoc per una determinata area all'interno di quel territorio.

1.1 METODOLOGIA e NORMATIVA di RIFERIMENTO

Con il D.P.G.R. 30 gennaio 2020 n. 5/R “Regolamento di attuazione dell'art. 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche”, la Regione Toscana, in attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n.65 (Norme per il governo del territorio), nel rispetto della normativa nazionale e regionale di riferimento ed in coerenza con gli strumenti della pianificazione di bacino, disciplina in sede di formazione degli strumenti della pianificazione territoriale e urbanistica:

- a) le direttive per la predisposizione delle indagini che verificano la pericolosità del territorio sotto il profilo geologico, idraulico e sismico, le aree esposte a rischio e la definizione dei criteri di fattibilità degli interventi di trasformazione in relazione all'obiettivo della mitigazione e/o gestione dei rischi territoriali;
- b) le procedure per il deposito delle indagini presso le strutture regionali competenti;
- c) le procedure per lo svolgimento del controllo delle indagini da parte della struttura regionale competente
- d) i criteri per l'individuazione delle classi di pericolosità o di rischio, sotto il profilo geologico e sismico.

Il Comune di Livorno, con propria determinazioni n. 2224 del 08.04.2022, ha individuato per la redazione delle “Indagini geologiche, idrauliche e sismiche di supporto alla variante al Piano Strutturale e al Piano Operativo del Comune di Livorno” un gruppo interdisciplinare costituito da Hydrogeo Ingegneria s.r.l. (in merito alle competenze idrologico idrauliche per gli studi di modellazione idraulica quantitativa) e Geo Eco Progetti Associazione Professionale (relativamente alle competenze geologiche e sismiche).

In relazione ad alcuni ulteriori aspetti specialistici l'Amministrazione Comunale committente ha fornito al gruppo di professionisti incaricati alcuni contributi relativi a:

- contributi in materia “geologica” derivanti dal precedente supporto geologico al Piano Strutturale 2 redatti dal Dott. Geologo Luca Mazzei (febbraio 2019) in virtù del quale si è ritenuto non necessario procedere alla predisposizioni di adeguamenti ed aggiornamenti di tematismi già recentemente allestiti (cartografia idrogeologica, litologico tecnica, dei dati di base aree a problematiche idrogeologiche e vulnerabilità della falda, dinamica costiera);
- studi di Microzonazione Sismica di livello 1, 2 (MS1 MS2, Geologica Toscana, marzo 2019) e 3 (MS3, Geologica Toscana, dicembre 2022). Di cui in particolare lo studio MS3 realizzato dal Comune, con proprie risorse, in collaborazione con il Settore Prevenzione Sismica della Regione Toscana, in specie relativamente all'aspetto “liquefazione dei terreni” approvato dallo stesso citato settore regionale e approvato in via definitiva dalla Commissione Tecnica Nazionale del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del giorno 12.04.2023.

Il presente supporto “geologico – tecnico” alla variante al Piano Strutturale intende inoltre perseguire i seguenti obiettivi:

- aggiornare il quadro conoscitivo relativo ai rischi territoriali alle indicazioni promulgate dalla Regione Toscana con l’approvazione del “Piano di Indirizzo Territoriale (PIT) con valenza di piano paesaggistico - Approvazione ai sensi dell’articolo 19 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio)” di cui alla Del. C.R. 27 marzo 2015, n. 37;

- provvedere agli adempimenti codificati dalla Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale (ex Autorità di Bacino del Fiume Arno) con l’adozione del “*Progetto di Piano di bacino del distretto idrografico dell’Appennino Settentrionale, stralcio Assetto Idrogeologico per la gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica relativo al territorio dei bacini del fiume Arno, del fiume Serchio e dei bacini della Toscana*” di cui alla Delibera n. 20 della Conferenza Istituzionale Permanente in data 20 dicembre 2019 (pubblicata sulla G.U. n. 9 del 13.01.2020). La sopra citata adozione è stata superata nella seduta della Conferenza Operativa del 30 novembre 2022 in cui è stato approvato in via tecnica il “*Progetto di PAI Dissesti Geomorfologici relativo a tutto il territorio del Distretto Appennino Settentrionale*”. In seguito la Conferenza Istituzionale Permanente con delibera n. 28 del 21 dicembre 2022 ha adottato il citato progetto di Piano. Con la pubblicazione dell’avviso di adozione del Progetto di Piano nella Gazzetta Ufficiale n. 3 del 04.01.2023 ha avuto inizio il procedimento pubblico di consultazione e osservazione. Lo stesso avviso è stato pubblicato nel Bollettino Ufficiale Regionale Toscana (BURT n. 2 del 11.01.2023).

A tal proposito si segnala che il Comune di Livorno è stato oggetto, in precedenza, a due Decretazioni di modifica ed aggiornamento del quadro conoscitivo e relativa perimetrazione di aree a pericolosità geomorfologica: il primo in data 27.03.2019 n. 23 (PAI del Bacino Toscana Costa) ed il secondo in data 15.02.2021 n.14 (PAI del Distretto Appennino Settentrionale). In virtù di tali aggiornamenti il “quadro conoscitivo” relativo agli aspetti geomorfologici risultava completo a seguito delle rilevazioni effettuate post evento del settembre 2017. Nello svolgimento della attività di cui alle presenti elaborazioni si è provveduto all’aggiornamento del “data base” relativo all’evoluzione dei dissesti gravitativi accertati a seguito delle rilevazioni riferite ai Decreti in precedenza emessi dalla AdB Distrettuale dell’Appennino Settentrionale con richiesta, alla competente AdB Distrettuale, di ulteriore aggiornamento delle relative mappe come da nota di trasmissione da parte del Comune di Livorno del 30.08.2022. Tale istruttoria si è conclusa con emissione da parte dell’Autorità di Bacino Distrettuale del Decreto del Segretario Generale A.d.B. Distrettuale Appennino Settentrionale n. del 2023 e pertanto **il quadro conoscitivo del presente supporto al P.S., in materia di rischio frane, risulta da ritenersi conforme e congruente all’atto dispositivo sovracomunale (P.A.I. frane del Distretto Appennino Settentrionale).**

- aggiornare il quadro conoscitivo con proposte di modifica e/o formulazione di osservazioni relativamente alle perimetrazioni delle zone a pericolosità idraulica nel piano settoriale di bacino inerente al rischio idraulico P.G.R.A. (Piano Gestione Rischio Alluvioni del Distretto dell’Appennino Settentrionale), con riferimento ai contributi stimati per i corsi d’acqua afferenti al reticolo secondario nel rispetto delle indicazioni contenute al comma 5, art. 14 della disciplina di piano del P.G.R.A., nel rispetto delle disposizioni della L.R. n. 41 del 24 luglio 2018 e al comma B.4 dell’allegato A al Reg. Reg. n. 5/R del 30 gennaio 2020.

Nel presente studio si è, inoltre, tenuto conto degli indirizzi espressi dal piano territoriale di coordinamento provinciale (P.T.C.P. della Provincia di Livorno) approvato con D.C.P. n. 52 del 25.03.2009.

Il piano territoriale di coordinamento provinciale (P.T.C.P.) si propone di far sì che la pianificazione territoriale sia basata su una “compatibilità ecologica” connessa con i vincoli imposti dalla natura e sia nello stesso tempo capace di mutamenti e modificazioni in relazione alle corrispettive metamorfosi del territorio.

In tale ottica, all’interno della progettazione di un atto di pianificazione urbanistica, la protezione idrogeologica non deve essere vista come una successione di vincoli e divieti, ma deve assumere una connotazione di supporto alla realizzazione di un “piano-processo”, capace di comporsi in maniera flessibile alla successione di eventi di diversa natura.

La finalità ultima è quella di prendere visione dell’attuale struttura del territorio e stimare la compatibilità della sua utilizzazione con le sue caratteristiche fisiche.

Questo processo si effettua tramite la valutazione del rischio che si possano verificare differenti eventi calamitosi e/o di dissesto idrogeologico.

Un tale livello di indagine si pone, pertanto, i seguenti obiettivi:

- disporre di informazioni dettagliate sia sulle caratteristiche idro-geomorfologiche del territorio comunale, che sulle qualità geologico-tecniche del terreno e del suo probabile comportamento, quando sia sottoposto a sollecitazioni dinamiche, garantendo un livello di precisione il cui costo sia compatibile con le finalità proprie di uno strumento urbanistico e raffrontabile ai benefici conseguenti alla sua attuazione, verificando e definendo la pericolosità del territorio sotto il profilo geologico, idraulico e sismico negli strumenti di pianificazione territoriale;

- rendere disponibili tali conoscenze sin dalle prime fasi del processo di selezione (scelta delle aree e relative destinazioni d'uso) in modo da concentrare l'attenzione su quelle con minori problematiche e/o su quelle in cui le rilevate condizioni di "rischio territoriale" possano rientrare in un criterio di possibilità di gestione del rischi stesso tale da potersi definire accettabile/sostenibile;

- consentire scelte supportate da dati oggettivi imponendo la predisposizione di dettagliati piani di indagine, indicazioni relative ad eventuali progetti di consolidamento di dissesti gravitativi e verifica/monitoraggio della loro efficacia, predisposizione di accorgimenti per la riduzione del rischio idraulico e relativi controlli di cui siano noti i costi ed i probabili effetti nelle aree che presentano potenziale esposizione a tale tipo di rischio in aree contermini, valutazioni sulle possibilità del verificarsi di situazioni di squilibrio nel tempo in relazione alla preservazione della risorsa idrica sotterranea (quantità e qualità), appurando la fattibilità degli interventi di trasformazione previsti negli strumenti della pianificazione urbanistica in relazione all'obiettivo della mitigazione dei rischi;

- fornire informazioni di buona precisione, anche se non esaustive, per interventi diversi da quelli strettamente urbanistico-edilizi, evidenziando le aree esposte a rischio con riferimento agli aspetti geologico, idraulico, idrogeologico e sismico.

Relativamente all'aspetto idraulico si rimanda alla trattazione specialistica ed ai relativi elaborati allestiti da Hydrogeo Ingegneria s.r.l. (Ing. Tiziano Staiano, maggio 2023) per il supporto alla presente variante al P.S.

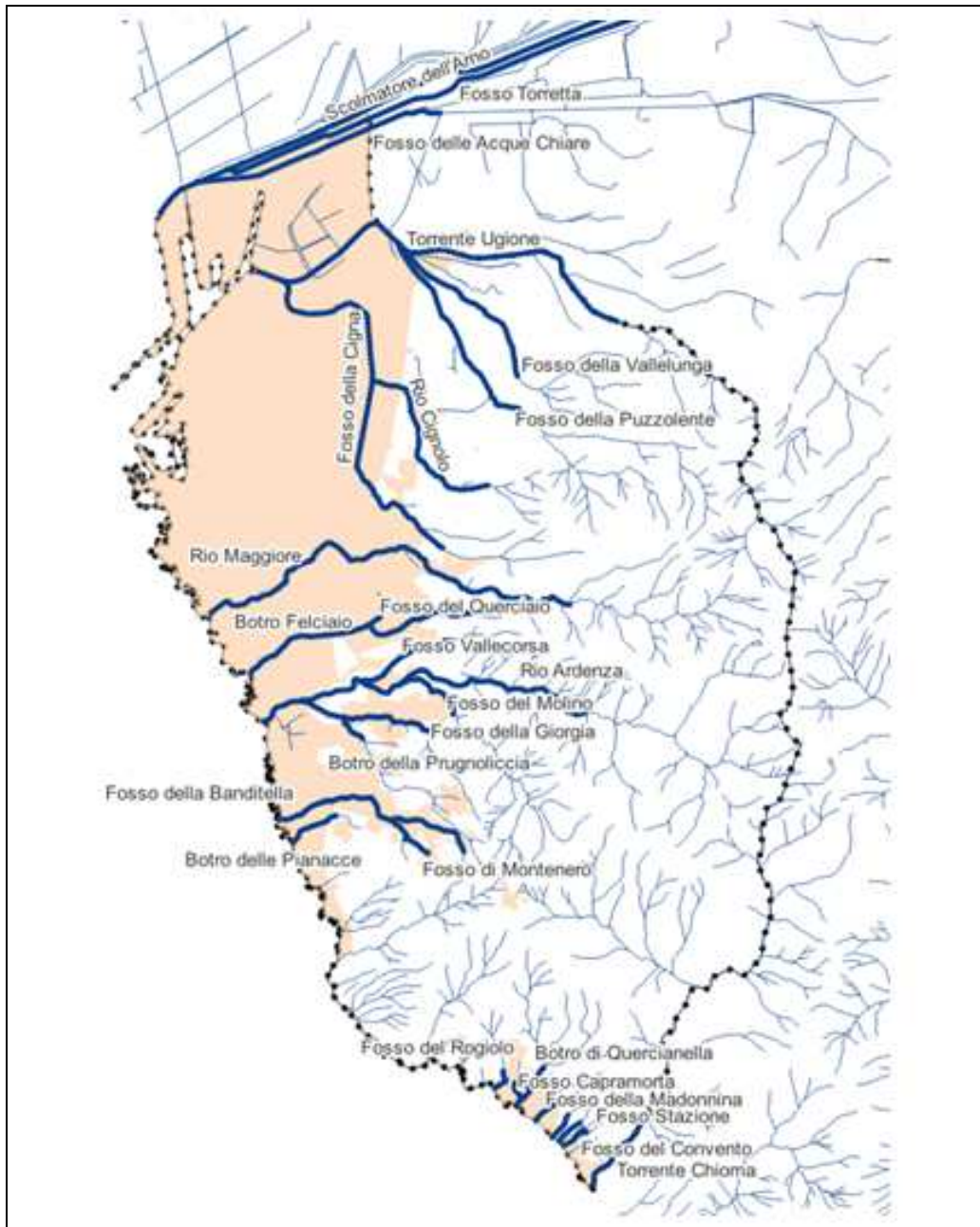
Tali studi a seguito di validazione da parte dell'Ente preposto (Genio Civile sui corsi d'acqua afferenti al reticolo secondario) costituiranno oggetto di istanza per la ripermutazione delle zone a pericolosità idraulica del P.G.R.A. da parte della Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Gli elementi conoscitivi per la valutazione degli aspetti idraulici si riferiscono al reticolo idrografico individuato dalla Regione Toscana ai sensi della L.R. 79/2012 e s.m.e.i., interferente con il territorio urbanizzato.

Al di fuori del territorio urbanizzato, in presenza di aree non riconducibili alle mappe di pericolosità da alluvione ed in assenza di studi idrologici idraulici, sono comunque definiti gli ambiti territoriali di fondovalle posti in situazione morfologicamente sfavorevole, di norma a quote altimetriche inferiori a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

Sono, inoltre, definite le aree presidiate da sistemi arginali per il contenimento delle alluvioni, ai sensi dell'articolo 2, comma 1, lettera s) della L.R.41/2018, ovvero aree situate a quote altimetriche inferiori alla quota posta a 2 metri sopra il piede esterno dell'argine. Il limite esterno di tale aree è determinato dai punti di incontro delle perpendicolari all'asse del corso d'acqua con il terreno alla quota altimetrica sopra individuata pari a 2 metri, comunque non superiore alla distanza di 300 metri dal piede esterno dell'argine.

Il reticolo principale e secondario potenzialmente interferente con il territorio urbanizzato comunale (evidenziato in figura che segue) è stato oggetto di i studi idraulici a supporto del Piano Strutturale approvato con D.C.C n. 75 del 07.04.2019, i cui risultati in termini di allagabilità hanno concorso all'aggiornamento delle mappe della pericolosità da alluvione del PGRA da parte dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale (DSG 17-18/23 del 20/03/2023) e sono stati integralmente mutuati ai fini della redazione degli elaborati idraulici di supporto alla Variante in oggetto.



Reticolo idrografico oggetto di studio – Inquadramento planimetrico

E' opportuno precisare che questa introduzione ha lo scopo di sottolineare come l'elaborazione del presente supporto geologico/idraulico costituente il quadro conoscitivo in materia "idrogeologica" della variante al Piano Strutturale rappresenti uno strumento di grande valore per attingere informazioni disponibili presso altri Enti e per approfondire le conoscenze sul territorio, in un'ottica di piena collaborazione fra tutti i soggetti coinvolti direttamente o indirettamente nel governo del territorio.

Partendo dalle citate elaborazioni di "quadro conoscitivo di riferimento", precedentemente sviluppate (Dott. Geol. L. Mazzei, febbraio 2019 – Piano Strutturale 2) e per alcuni tematismi non modificate per la presente variante al PS, per l'espletamento del presente programma di lavoro, è stata adottata come metodologia di base quanto espressamente contenuto nel D.P.G.R. 30 gennaio 2020, n. 5/R "Regolamento di attuazione dell'art. 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche", oltre a tener conto delle indicazioni di cui alla L.R. 24 luglio 2018, n. 41 "Disposizioni in materia di rischio alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla l.r. 80/2015 e alla l.r. 65/2014" e della Legge Regionale n. 7 del 17 febbraio 2020 "Disposizioni in materia di rischio di alluvioni. Modifiche alla L.R. n. 41/2018".

In attuazione al comma 2.1 dell'allegato A al D.P.G.R. n. 30 gennaio 2020, n. 5/R, i contenuti delle presenti indagini si articolano in:

- Sintesi delle conoscenze
- **Analisi ed approfondimenti**
- **Valutazioni di pericolosità**

Nel dettaglio, per quanto concerne i tematismi cartografici previsti dalle disposizioni regionali in materia di supporto geologico alla pianificazione urbanistica, si è provveduto alla nuova elaborazione e/o revisione dei tematismi cartografici geologico, geomorfologico, di pericolosità geologica e sismica con cartografie tematiche in scala 1:10.000 (come codificato ai comma B e B.1 del punto 2.1 dell'allegato A del Regolamento Regionale 5/R) secondo le specifiche dettagliate nel seguito della presente trattazione.

Come in precedenza accennato la Regione Toscana (Settore Prevenzione Sismica) ha coadiuvato il Comune di Livorno nella elaborazione dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 3 (MS3) sui centri urbani di cui alla Del. G.R.T. n. 468 del 02.05.2018, con particolare indirizzo alla trattazione della valutazione del "potenziale di liquefazione".

Tale studio, finanziato da parte dell'Amministrazione Comunale, è stato approvato in via definitiva dalla Commissione Nazionale Microzonazione Sismica – Dipartimento della Protezione Civile presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri nella seduta del 12.04.2023, come risulta dalla comunicazione del Settore Prevenzione Sismica con propria nota AOGRT/PD prot. 0223471 del 12.05.2023.

Relativamente alle zone di approfondimento assoggettate a studi di microzonazione sismica il programma di lavoro è stato sviluppato secondo quanto definito con la Direzione Ambiente ed Energia della Regione Toscana – Settore Sismica – Ufficio Prevenzione Sismica estendendo l'indagine all'intero sviluppo del territorio urbanizzato e a vasti settori del rimanente territorio comunale.

Si riassume nella sottostante tabella descrittiva il dettaglio degli elaborati costituenti il presente studio di supporto al nuovo Piano Strutturale.

**ELABORATI del SUPPORTO GEOLOGICO – TECNICO al P.S.
(elaborati di nuova redazione a cura di Geo Eco Progetti)**

	Titolo	Scala	Data di emissione
GEO – G.00	Relazione geologica		maggio 2023
GEO – G.01	Carta geologica (in due fogli Nord e Sud)	1:10.000	maggio 2023
GEO – G.04	Carta geomorfologica (in due fogli Nord e Sud)	1:10.000	maggio 2023
GEO – G.07	Carta della pericolosità geologica (in due fogli Nord e Sud)	1:10.000	maggio 2023
GEO – G.08	Carta della pericolosità sismica locale da MS di livello 3 (in due fogli Nord e Sud)	1:10.000	maggio 2023

**ELABORATI del SUPPORTO GEOLOGICO – TECNICO al P.S.
(desunti e confermati dal supporto al Piano Strutturale 2 – a cura del Dott. Geol. L. Mazzei)**

	Titolo	Scala	Data di emissione
GEO – G.02	Carta idrogeologica (in due fogli Nord e Sud)	1:10.000	aprile 2018
GEO – G.03	Carta litologico-tecnica (in due fogli Nord e Sud)	1:10.000	aprile 2018
GEO – G.05	Carta dei dati di base (in due fogli Nord e Sud)	1:10.000	febbraio 2019
GEO – G.06	Carta delle aree a problematiche idrogeologiche e vulnerabilità della falda (in due fogli Nord e Sud)	1:10.000	aprile 2018
GEO – G.08bis	Carta della dinamica costiera (in due fogli Nord e Sud)	1:10.000	aprile 2018
Allegato 1	Approfondimenti di indagine a seguito eventi settembre 2017		febbraio 2019
Allegato 2	Elaborazioni Vs da dati sismici		febbraio 2019
Allegato 3	Elenco data base indagini (solo elaborato digitale) nella disponibilità dell'Amministrazione Comunale		febbraio 2019

ELABORATI RELATIVI ALLA STUDIO di MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

(a cura di Geologica Toscana)

Occorre sottolineare che la cartografia realizzata per lo studio di “microzonazione sismica costituisce implementazione e adeguamento del quadro conoscitivo del supporto geologico – tecnico agli strumenti urbanistici del Comune di Livorno, ai sensi del Regolamento Regionale n. 5/R, e risulta di fondamentale importanza per improntare future eventuali scelte secondo il principio dello sviluppo sostenibile.

numeraz. tavole	Titolo	Scala	Data di emissione
	Relazione illustrativa degli studi di Microzonazione Sismica (MS3)		dicembre 2022
Tav. 1.1 -1.8	Carta delle indagini (8 fogli)	1:5.000	dicembre 2022
Tav. 2.1 – 2.8	Carta delle frequenze (8 fogli)	1:5.000	dicembre 2022
Tav. 3.1 – 3.8	Carta geologico tecnica in prospettiva sismica (8 fogli)	1:5.000	dicembre 2022
Tav. 4.1 – 4.8	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) (8 fogli)	1:5.000	dicembre 2022
	Colonne MOPS (tavola unica)		dicembre 2022
Tav. 5.1 – 5.8	Carta di Microzonazione Sismica Fa 0.1-0.5 (8 fogli)		dicembre 2022
Tav. 6.1 – 6.8	Carta di Microzonazione Sismica Fa 0.4 - 0.8 (8 fogli)	1:5.000	dicembre 2022
Tav. 7.1 – 7.8	Carta di Microzonazione Sismica Fa 0.7 – 1.1 (8 fogli)	1:5.000	dicembre 2022
	Sezioni geologico tecniche (tavola unica)		dicembre 2022
Tav. 8.1 – 8.5	Carta degli spettri (5 fogli)	1:5.000	dicembre 2022
	Indagini ed accelerogrammi (cartella in solo formato digitale)		dicembre 2022

ELABORATI RELATIVI AGLI ASPETTI IDRAULICI
(a cura di Hydrogeo Ingegneria srl – Ing. Tiziano Staiano)

numeraz. tavole	Titolo	Scala	Data di emissione
IDR R01	Relazione Tecnica		
IDR A01	Allegato 1: Elaborati studio idraulico PS 2019*		
IDR A02	Allegato 2: Stato di attuazione degli interventi di gestione del rischio idraulico		
IDR T1.1	Carta della Pericolosità da Alluvioni Quadro Nord	1:10.000	maggio 2023
IDR T1.2	Carta della Pericolosità da Alluvioni Quadro Sud	1:10.000	maggio 2023
IDR T2.1	Battenti Tr=200 anni Quadro Nord	1:10.000	maggio 2023
IDR T2.2	Battenti Tr=200 anni Quadro Sud	1:10.000	maggio 2023
IDR T3.1	Velocità Tr=200 anni Quadro Nord	1:10.000	maggio 2023
IDR T3.2	Velocità Tr=200 anni Quadro Sud	1:10.000	maggio 2023
IDR T4.1	Magnitudo Idraulica Quadro Nord	1:10.000	maggio 2023
IDR T4.2	Magnitudo Idraulica Quadro Sud	1:10.000	maggio 2023
IDR T5.1	Carta delle Aree Presidiate da Sistemi Arginali Quadro Nord	1:10.000	maggio 2023
IDR T5.2	Carta delle Aree Presidiate da Sistemi Arginali Quadro Sud	1:10.000	maggio 2023

*conterrà gli elaborati evidenziati nel foglio "EL_Idraulica_PS_2019"

Gli elaborati costituenti la “**sintesi delle conoscenze**” evidenziati in nero sono quelli del “quadro conoscitivo di riferimento” elaborato ed aggiornato rispetto al precedente supporto geologico al Piano Strutturale 2 (carta geologica e geomorfologica).

Gli elaborati costituenti le “**analisi ed approfondimenti**” evidenziati in colore blu consistono in elaborazioni di tematismi cartografici finalizzati alla acquisizione di conoscenze prodromiche alla realizzazione della carta della pericolosità geologica, sismica ed idraulica (per tale ultimo tematismo si rimanda alle elaborazioni specialistiche di Hydrogeo Ingegneria srl).

Gli elaborati costituenti le “**valutazioni di pericolosità**” evidenziati in colore violetto sono costituiti da:

Carta della pericolosità geologica di nuovo allestimento, in attuazione del regolamento 5/R in scala 1:10.000. Su tale elaborato sono state, inoltre, riportate con apposita indicazione le aree classificate come P4 e P3 (“perimetrazione delle aree a pericolosità da dissesti di natura geomorfologica” secondo le modifiche agli elaborati di PAI approvate con Decreto del Segretario Generale della Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale **n. ... del2023** e pertanto soggette alle salvaguardie (al momento ancora vigenti in attesa della approvazione definitiva del PAI Distrettuale e relativa normativa) di cui agli artt. 13 (aree a pericolosità geomorfologica molto elevata P.F.M.E. per le aree P4 del PAI Distrettuale) e 14 (aree a

pericolosità geomorfologica elevata P.F.E. per le aree P3 del PAI Distrettuale) delle Norme di Piano del Bacino Regionale Toscana Costa stralcio Piano Assetto Idrogeologico (PAI) approvato con D.P.C.M. del 6 maggio 2005.

Carta della pericolosità sismica in scala 1:10.000 realizzata in attuazione alle indicazioni tecniche dettate dal Regolamento Regionale n. 5/R e dagli ICMS a seguito di approvazione di studio di Microzonazione sismica di livello 1 / 2 e 3 (Geologica Toscana, dicembre 2022) oltre alle indicazioni formulate dal Settore Prevenzione Sismica della Regione Toscana, con propria nota AOGRT/PD prot. 0223471 del 12.05.2023 che, in merito alla attribuzione delle classi di pericolosità sismica in relazione alle valutazioni condotte sul potenziale di liquefazione (vedi stralcio della citata comunicazione nel paragrafo 9.4 della presente relazione dedicato alla pericolosità sismica).

Carta della pericolosità idraulica realizzata in scala 1:10.000 in attuazione alle indicazioni tecniche dettate dal Regolamento Regionale n. 5/R.

Le modellazioni idrauliche sono state eseguite mediante il software Tuflow, modello che lavora in un dominio 1D/2D, in cui i canali sono analizzati secondo un modello 1D e la propagazione sul territorio circostante avviene su un dominio bidimensionale. L'interfaccia 1D-2D è di tipo bidirezionale, cioè consente la propagazione da e verso il canale, ovviamente in base alle condizioni topografiche. L'assetto morfologico del territorio è stato determinato con il dato Lidar.

Le modellazioni idrauliche svolte hanno riguardato (procedendo da nord a sud): T. Ugione, Fosso della Puzzolente e Fosso Vallelunga, Rio Cigna e T. Cignolo, Fossi Querciaio e Felciaio, Rio Ardenza, Rio Banditella e bacini di Montenero, Bacini di Quercianella, T. Chioma.

Per il bacino del Rio Maggiore sono stati acquisiti i risultati delle verifiche idrauliche svolte a supporto dello "Studio idrologico idraulico e progetto preliminare degli interventi di riduzione del rischio idraulico sul bacino del Rio Maggiore nel Comune di Livorno (rif. 2017ELI0084)" redatto da Hydrogeo Ingegneria srl.

Sono state infine condotte verifiche idrauliche sulle aste fluviali dei corsi d'acqua provenienti dalla piana di Collesavetti (Acque Chiare, Torretta, Scolmatore) nei tratti di interesse per il Comune di Livorno prendendo a riferimento lo studio idraulico predisposto per il Comune di Collesalveti ed approvato per la modifica del Piano di Gestione Rischio Alluvioni con comunicazione dell'Autorità di Bacino dell'Arno prot. 3577 del 05/10/2015.

Lo studio presenta le seguenti caratteristiche peculiari:

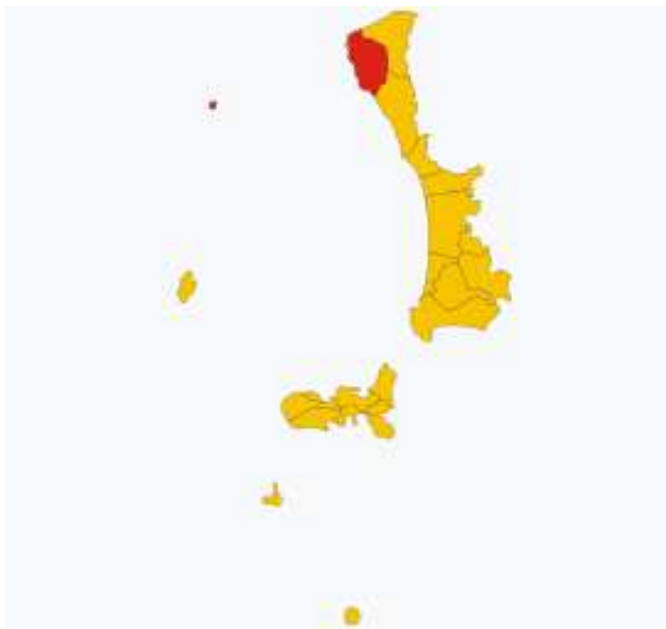
- Allestimento della carta di pericolosità da alluvioni, derivata dai risultati degli studi idraulici svolti a supporto del PS 2019 in riferimento agli scenari TR30 e TR200 anni, che hanno concorso al riesame delle mappe del PGRA approvato con DSG 17-18/23 del 20/03/2023. La perimetrazione della P1 è stata mantenuta inalterata rispetto alle mappe PGRA previgenti e copre interamente il perimetro urbano. La mappa delle aree allagate durante l'evento è stata assunta come memoria storica ed avendo frequenza con $T_r > 200$ anni risulta ricompresa nella perimetrazione P1.
- Determinazione di battenti, velocità e magnitudo idraulica. Il riesame delle mappe di pericolosità già approvato dall'Autorità di Bacino Distrettuale ha imposto di mantenere immutate le perimetrazioni oggetto di aggiornamento e di definire i valori dei battenti e delle velocità attese per le aree soggette ad allagabilità per alluvioni poco frequenti dai risultati dei modelli idraulici pregressi che hanno concorso alla definizione di tali scenari di pericolosità.

Le note illustrative, relative alle tavole elencate, sono contenute nel presente fascicolo "**Relazione geologica**" (per la cui trattazione si riportano anche argomentazioni e dettaglio di cui alla "Relazione geologica tecnica ai sensi del DPGR 53/R/2011" redatta a cura del Dott. Geol. L. Mazzei, nel febbraio 2019, per l'allestimento del supporto al Piano Strutturale 2 del Comune di Livorno) e nella specifica "**Relazione idrologica idraulica**".

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il territorio del Comune di Livorno occupa una superficie di 104,79 km².

Il territorio comunale di Livorno è delimitato ad ovest dalla linea di costa, ad est dalla struttura dei Monti Pisani, e confina a sud con il territorio del comune di Rosignano ed a nord con il territorio del comune di Collesalveti e lungo il limite fisico segnato dallo Scolmatore d'Arno e dal Canale dei Navicelli con il Comune di Pisa.



Posizione del comune di Livorno nel contesto del territorio della Provincia di Livorno

Porzione continentale

Il terreno è pianeggiante nel settore centrale-costiero e verso Nord, con la presenza, a sud e ad est, delle Colline Livornesi (quota massima Poggio Lecceta, 462 metri s.l.m.). L'area urbanizzata è estesa per circa 40,0 km².

Una sezione perpendicolare alla linea di costa vede una morfologia planare fino alla periferia del centro abitato ed un progressivo rialzamento della periferia verso l'entroterra fino a quote non superiori a 500 metri sul livello del mare.

Di fatto la struttura del territorio comunale è divisa longitudinalmente in due dalla presenza di infrastrutture stradali e ferroviarie: la parte occidentale comprende l'agglomerato urbano con il centro storico ed i borghi di Ardenza e di Antignano e la frazione di Quercianella ed a nord un polo industriale portuale di rilevanza; la parte orientale, più estesa, comprende le frazioni di Montenero, Castellaccio, Valle Benedetta e la parte pedecollinare e collinare dei Monti Livornesi.

A settentrione il Comune è delimitato dallo Scolmatore dell'Arno che segna il confine col Comune di Pisa, mentre a Nord-est il Torrente Ugione segna il confine col Comune di Collesalveti.

Nella porzione collinare più elevata, vicino alla Valle Benedetta, inizia il confine col Comune di Rosignano, col il Torrente Chioma che funge da elemento di separazione fino alla foce, che rappresenta quindi l'estremità sud del territorio comunale livornese.

Lungo la costa, invece, l'estremità nord è costituita dalla foce dello scolmatore del fiume Arno.

La piana di Livorno 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.

Porzione relativa all'Isola di Gorgona

Sono comprese nel Comune di Livorno l'Isola di Gorgona (2,23 km² a 37 chilometri dalla costa cittadina) e le Secche della Meloria a poche miglia di distanza di fronte al porto.

Presenta pendii solo occasionalmente accentuati ed è solcata da un reticolo idrografico costituito da diversi torrenti, a decorso est-ovest nella parte meridionale e sudest-nordovest nella parte settentrionale.

I monti Livornesi sono allineati in direzione N-S e nonostante la relativa altezza contrastano con il territorio circostante. Sono attraversati da due spartiacque principali tra loro perpendicolari: uno unisce le cime del M. Pelato (378 m), del Poggetto, del M. Maggiore (454 m) e dei poggi Querciolaia, Lecceta (462 m), Tre Mulini, Vaccaie (449 m), I Pari, La Quercia, fino a Montemasso nord; l'altro unisce il Poggio Telegrafo (160 m), Montenero (313 m) e Poggio Caprone (334 m) proseguendo fino oltre il M. Maggiore ad est.

Si formano così quattro settori dei quali solo due interessano il territorio comunale, oltre ad una piccola porzione a SE della Valle del Torrente Chioma.

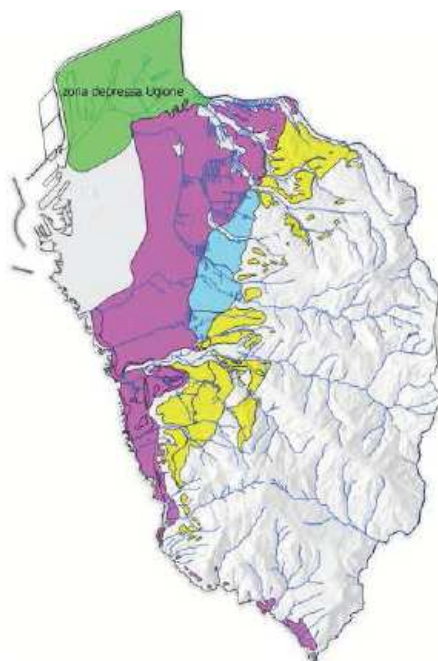
La fascia di colline che si raccorda all'area di terrazzo presenta anch'essa depositi terrazzati, a quote più alte di quelle del terrazzo principale. Vasti settori di quest'area sono interessati da piccoli e diffusi fenomeni di dissesto franoso.

Terrazzi pedecollinari e la piana

Il terrazzo più interno e più alto è il **Terrazzo della Fattoria di Pianacce** compreso fra le quote di 60 e 120 m.s.l.m.; occupa una fascia larga un paio di km in direzione NNE-SSW, da Calafuria a Sud alle colline di Guasticce a Nord.

La seconda spianata, il **Terrazzo di Villa Padula (detto anche Terrazzo di Salviano)** è invece ridotta arealmente e si estende fino alle quote massime di 40 m.s.l.m. tra il Rio Popogna-Ardenza a S e il Rio Paganello a Nord.

Il terrazzo più basso, denominato il **Terrazzo di Livorno**, coincide con la Piana; ha una forma pseudotriangolare con vertice a Sud di Antignano e base a Nord, fra la foce del Calambrone e la fattoria Suese; raggiunge quote massime di circa 20 m.s.l.m. Un terrazzo a se stante, correlabile con quello di Livorno, si trova presso Quercianella.



I tre terrazzi morfologici di Livorno. In viola il terrazzo basso più recente (Terrazzo di Livorno), in azzurro quello intermedio (Terrazzo di Villa Padula), in giallo quello più elevato (Terrazzo di Fattoria delle Pianacce). Il settore orientale, a margine dx dei terrazzi, è quello collinare. In verde: l'area depressa di Ponte Ugione che caratterizza le alluvioni recenti del settore nord, limitato dallo scolmatore dell'Arno.

2.2 EVOLUZIONE MORFOLOGICA DELLA PIANA LIVORNESE

Come già evidenziato la piana di Livorno, limitata dal mare sul lato occidentale e dai Monti e dalle Colline Livornesi sul lato orientale, è costituita da vari ordini di terrazzi ed è separata a nord della zona depressa di Ponte Ugione da una scarpata morfologica visibile tra S. Stefano ai Lupi e la Fattoria Suese, la cosiddetta "Gronda dei Lupi".

I sedimenti pleistocenici sabbioso-limosi che costituiscono gran parte dei terrazzi (con intercalazione di panchina calcarenitica a più livelli) poggiano su un substrato di terreni argillosi del Pliocene (Argille azzurre) o del Pleistocene Inf. (Sabbie e argille ad Arctica).

Dagli studi precedenti emerge che Viale Firenze/Viale Alfieri, arteria trasversale a Viale Carducci e pseudoparallela alla linea di costa, marca a grandi linee il limite dell'affioramento della formazione delle sabbie

pleistoceniche (VIL-b) in direzione mare, il cui spessore (non uniforme) diviene più importante procedendo verso ovest. Da tale limite comincia l'affioramento della Sabbie e Argille ad Arctica, che si sviluppano in contatto eteropico a bassissimo angolo in direzione mare e sono intercettate solo nei sondaggi, senza affioramenti diretti.

Il Terrazzo di Livorno, quello più basso fra i tre mappati, è stato modellato alla base da una trasgressione marina che ha rappresentato un evento ben individuabile nel Livornese, perché segna l'inizio del Pleistocene Superiore (circa 230.000 anni fa); sopra l'abrasione si hanno sedimenti marini con spessori esigui mentre risulta maggiore lo spessore dei successivi depositi.

I sedimenti marini sono rappresentati dalla formazione della "panchina" che, in questa zona, si presenta irregolarmente cementata, a piccole lastre, a lembi sparsi od in trovanti e ciottoli con agglomerati calcarenitici verso l'alto e poggianti su terreni in prevalenza limoso-argillosi.

Con la regressione del mare, per il parziale sbarramento operato da cordoni litorali, si sono formati, localmente, ambienti lagunari e si sono depositati sedimenti argilloso - limosi salmastri e, al termine del ciclo, palustri eolici.

Un secondo livello di panchina, presente nel sottosuolo, potrebbe essere legato ad un successivo episodio trasgressivo (il secondo del Tirreniano) ma più verosimilmente alla fase continentale posteriore a cui si attribuiscono le sabbie e i limi di superficie.

Lembi e ciottoli di panchina, appartenenti ai due livelli, sono stati osservati nei sondaggi, sulle pareti dei vecchi pozzi nella zona di studio e sono stati segnalati da costruttori e proprietari degli stessi.

I terreni superficiali hanno dunque una stratigrafia poco omogenea e presentano frequenti variazioni laterali (eteropia di facies), con prevalenza alternata di sabbie e limi od argille, con tutti i termini litologici di passaggio.

La fascia al piede della Scarpata dei Lupi (la nota "gronda") fa parte della zona depressa di Ponte Ugione ed è perciò caratterizzata, in superficie, da sedimenti marini che si sono depositati in un antico golfo esistito fino ai tempi protostorici.

L'avanzamento della linea di riva in epoca storica, per lo sviluppo di lidi e barre che da Bocca d'Arno hanno raggiunto progressivamente il Terrazzo di Livorno, ha generato, alle spalle, fasce lagunari e palustri; ai sedimenti marini si sono sovrapposti depositi eolici e palustri con prevalenza di argille, limi torbosi e sabbiosi con frequenti livelli di torbe e resti vegetali. Negli ultimi secoli gli interventi antropici hanno cambiato l'assetto naturale dell'area di studio e di un'area significativamente maggiormente estesa con la canalizzazione dei fiumi che prima vi si impaludavano e con lo sviluppo di colmate ed il prosciugamento degli stagni.

Sotto questi sedimenti, ad una profondità tra i 10 e i 15 metri, parallelamente alla via Prov.le Pisana si incontra un letto di ghiaie che potrebbero rappresentare l'ultima trasgressione marina Versiliana iniziata circa 10.000 anni fa e localmente conclusa circa 2.500 anni fa; non si può escludere però che si tratti di un alveo sommerso di un fiume che lambiva la scarpata del Terrazzo di Livorno ricoperto poi da sedimenti marini.

Il substrato pre-pleistocenico della spianata è costituito da una potente formazione argillosa (Argille azzurre - Pliocene Inf. e Med. - da 7 a 3.5 milioni di anni fa), che si estende con continuità sotto il terrazzo: predominano le argille grigio-turchine con frequenti livelli marnosi, ma nella parte alta sono presenti anche sabbie grigio-chiare.

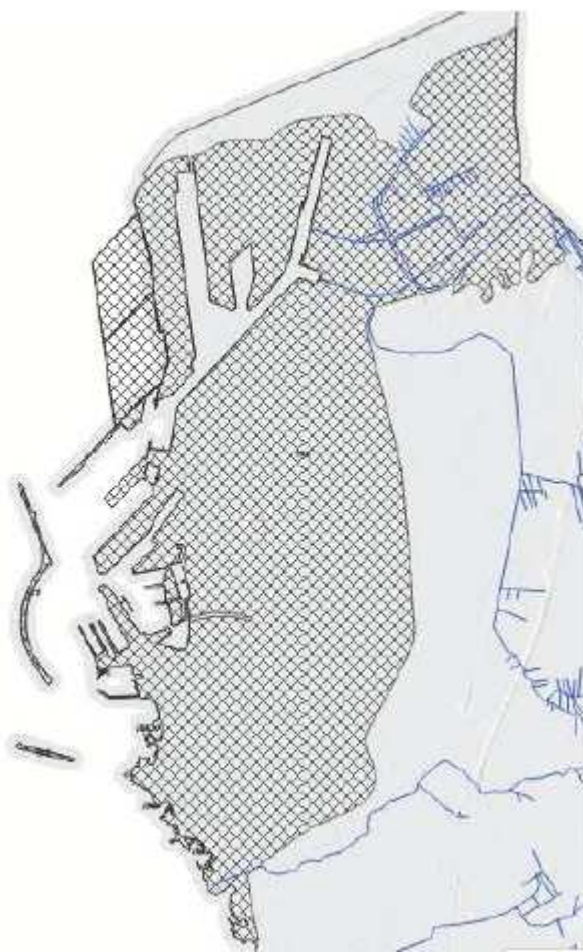
Il tetto di questa formazione, già noto attraverso saggi e sondaggi e ricostruito con buona esattezza, è stato intercettato durante varie prove geognostiche; lo spessore non è stato invece determinato poiché questa formazione raggiunge profondità di centinaia di metri (un sondaggio nella vicina area del Picchianti ha rilevato la presenza di argille fino a - 188 m).

Pur non disponendo di dati certi, si può ipotizzare che anche nel sottosuolo della fascia settentrionale depressa, tra i depositi più recenti e le argille plioceniche, sia presente la medesima formazione (Pleistocene Inferiore - 2.5 / 1.6 milioni di anni fa).

2.3 RIPORTI ANTROPICI IN AREA MARITTIMA-PORTUALE E IN SETTORI URBANIZZATI

La presenza di importanti coltri di riporto è indubbiamente collegata in gran parte con la storia e l'evoluzione della zona urbana e portuale di Livorno (**vedi figura che segue**); in sostanza è possibile riscontrare la presenza di

terreni di riporto provenienti da lavorazioni passate o da attività esercitate all'interno di porzioni di aree in tempi più recenti (dopo la seconda guerra mondiale).



Sintesi della diffusione areale delle zone interessate da riporti

Questo Orizzonte antropico comprende quindi spessori di terreno che derivano direttamente dalla attività umana e da rielaborazioni; in generale quegli spessori che derivano direttamente da azioni antropiche sono più superficiali e sono rappresentati da riempimenti con materiali vari costituiti da materiali antropici (laterizi, elementi da costruzione, etc.) o da terreni di lavorazione, depositati dall'uomo negli ultimi 100 anni. Questi spessori sono diversi da quelli che tipizzano le colmature e le bonifiche dei terreni acquitrinosi e delle aree palustri, ovvero tutte quelle azioni tese al recupero delle terreferme.

Riguardo alla questione delle antropizzazioni la modificazione della destinazione d'uso e della vocazione naturale del territorio, avvenuta progressivamente a partire dagli anni 30-35 del secolo scorso con un grande sviluppo a partire dagli anni '50 che ha totalmente riconfigurato l'area in esame, è avvenuta su due livelli:

- mediante l'utilizzo di materiali "usati" e/o comunque di risulta da precedenti utilizzi di tipo antropico che sono stati posati in opera per costituire spessori superficiali;
- mediante affermazione di azioni propedeutiche alle bonifiche, le compensazioni terrestri e gli imbonimenti.

Questo orizzonte antropico superficiale, in riferimento ai numerosi sondaggi eseguiti, è costituito in media da uno spessore variabile tra 0,80-1,00 m. ed i 6.00 m.; non sono state riscontrate ossature particolarmente classate e lo spessore non risulta uniforme né per distribuzione planimetrica, né per profondità.

Anche in ambito portuale la potenza della coltre di riporto è oscillante in media da 1 a molti metri.

Ci sono spesso forti eterogeneità e colorazioni innaturali (talvolta legate forse ad antiche lavorazioni) con granulometrie che possono avere un range molto vario: dalla massicciata in stabilizzato granulare, fino alle terre esauste di antiche lavorazioni tendenzialmente più sabbiose. In questo caso i terreni conservano una loro attitudini all'umidità naturale con qualche raro livello evoluto pedogeneticamente.

Occorre rilevare che questo primo Orizzonte ben si riferisce anche alle vicissitudini che hanno interessato l'intera area portuale nell'ultima guerra mondiale; in specie l'area portuale è stata oggetto di intensi bombardamenti tesi a minarne la funzionalità, oltre che a causare crolli delle attività produttive presenti nella zona, che hanno modificato le superfici creando vere e proprie depressioni dovute alle marmitte delle bombe (in alcune testimonianze dell'epoca si riportano narrazioni di crateri profondi fino a 4,00 m. dal piano di campagna).

Queste depressioni sono state oggetto di riempimenti ed a livellamenti, spesso con le stesse demolizioni e/o con materiali di risulta, a volte anche per sostituire i terreni naturali dalla limitata capacità portante con materiali detritici di migliori caratteristiche (imbonimenti fondazionali).

Ovvio che le cospicue coltri antropiche che hanno permesso lo sviluppo del porto industriale (basti pensare alla Darsena Toscana attuale, oltre che al recente Molo Italia e alle Vasche di Colmata 1 e 2), hanno determinato una continua variazione artificiale della linea di costa, che ha perso localmente (area portuale, porto mediceo, ex cantiere Orlando) ogni carattere originario (anche l'accademia navale, probabilmente edificata in parte sopra la panchina calcarenitica, ha contribuito a obliterare la costa originaria).

Nella carta geomorfologica e della dinamica costiera sono indicate alcuni stadi pregressi della linea costiera, ricostruiti in base alla consultazione di lavori specialistici.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE

3.1 EVOLUZIONE DEGLI STUDI NELL'AREA LIVORNESE

Nel recente trascorso, precedente il periodo di elaborazione del presente supporto, il quadro geologico e geomorfologico conosciuto e certificato da cartografie consolidate ha subito aggiornamenti importanti e rielaborazioni da parte della Regione Toscana, con continui aggiornamenti delle conoscenze fino agli anni 2013-2015, documentati sul sito istituzionale presente.

Più in dettaglio dal 2002 al 2006 la Regione Toscana ha realizzato, in collaborazione con le Università Toscane ed il CNR-IGG di Pisa, la copertura completa del territorio con la Carta Geologica Regionale in scala 1:10.000 (progetto CARG).

Successivamente nel settembre 2007 la Regione Toscana nell'ambito del Programma VEL – Valutazione Effetti Locali nei comuni classificati sismici, pubblica il volume 7 "Legende per la realizzazione della cartografia geologica-geomorfologica-litologico tecnica per le aree del Livornese", nella quale il Comune di Livorno ricade nell'area NO - settore E.

A valle di tali attività, a seguito di un processo di verifica e raccordo geometrico ed informativo, condotto nel periodo 2009-2011 dal Centro di Geotecnologie (CGT) dell'Università degli Studi di Siena in collaborazione con l'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Pisa, con la Litografia Artistica Cartografica s.r.l di Firenze e con la Matraia s.r.l. di Lucca, e' stata curata realizzazione di un "Continuum Geologico della Regione Toscana"; si tratta in sostanza di un lavoro di implementazione, raccordo e omogeneizzazione delle legende e delle geometrie della carta geologica regionale in scala 1:10.000 (progetto CARG), eseguito in collaborazione con il Centro di Geotecnologie di S. Giovanni Valdarno (Università di Siena).

Allo stato attuale è stato implementato un DBGR (Database geologico della Regione Toscana) che riassume il lavoro ad oggi validato.

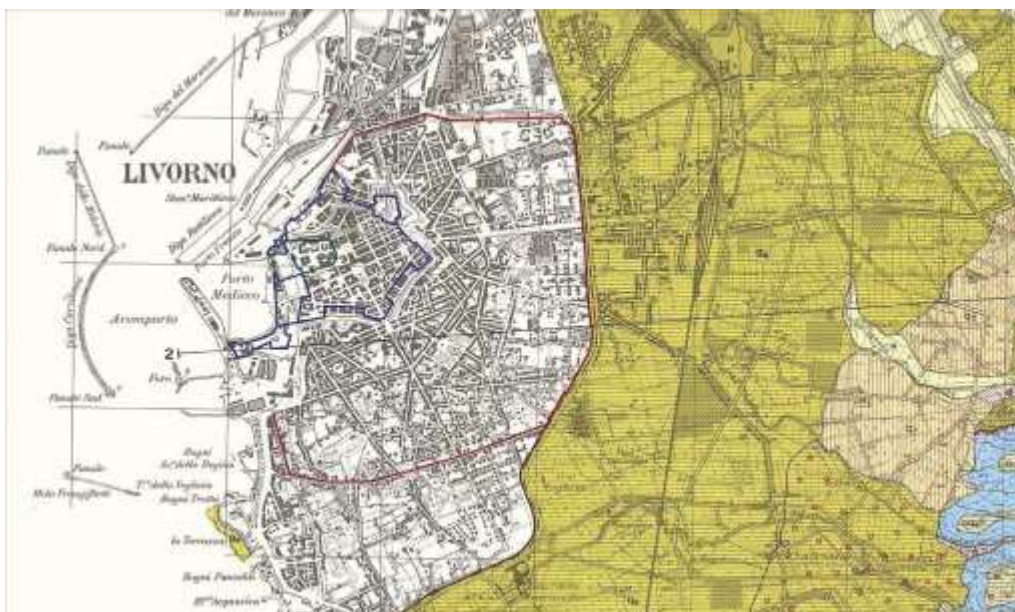
Nell'insieme quindi la documentazione analizzata per la redazione della Carta Geologica a supporto del precedente PS2 e dell'attuale stesura del tematismo "carta geologica" è essenzialmente la seguente:

- 1) Relazione geologico-tecnica e tavole allegate a supporto del primo PS (Geoll. A. Rafanelli e L. Michelucci). Formato raster in fogli al 10.000 (rif. stralcio in rappresentazione sotto riportata).



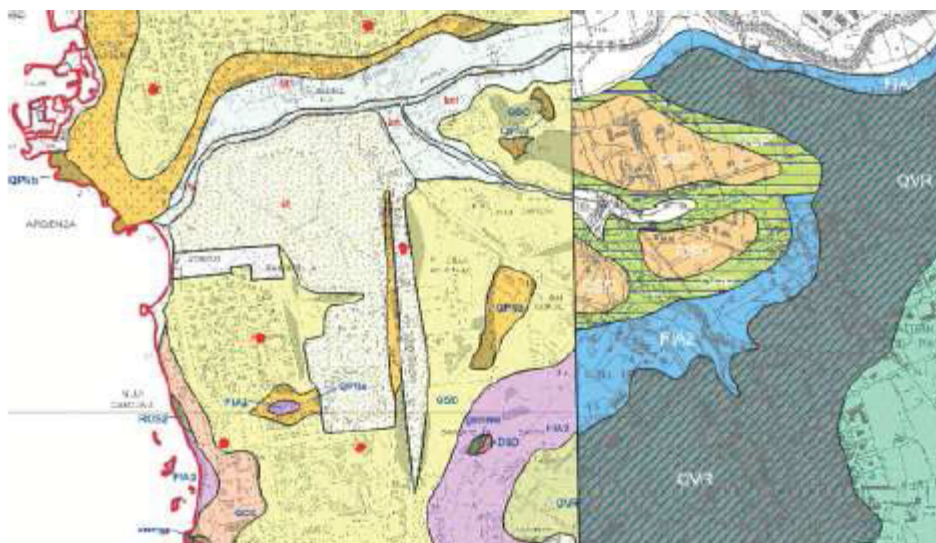
Stralcio carta geolitologica del primo PS (Geoll. Rafanelli e Michelucci)

- 2) Carta geologica Dr.Lazzarotto, Mazzanti et alii scala 1:25000 (1990). Si tratta della Carta geologica storicamente conosciuta e rappresentativa dell'areale livornese fino allo sviluppo del progetto CARG, alla base dei più recenti approfondimenti che hanno condotto prima alla cartografia CARG e quindi alla recente Cartografia Regionale del DBGR.



Stralcio Carta Geologica di Livorno e Collesalveti (Lazzarotto, Mazzanti et alii)

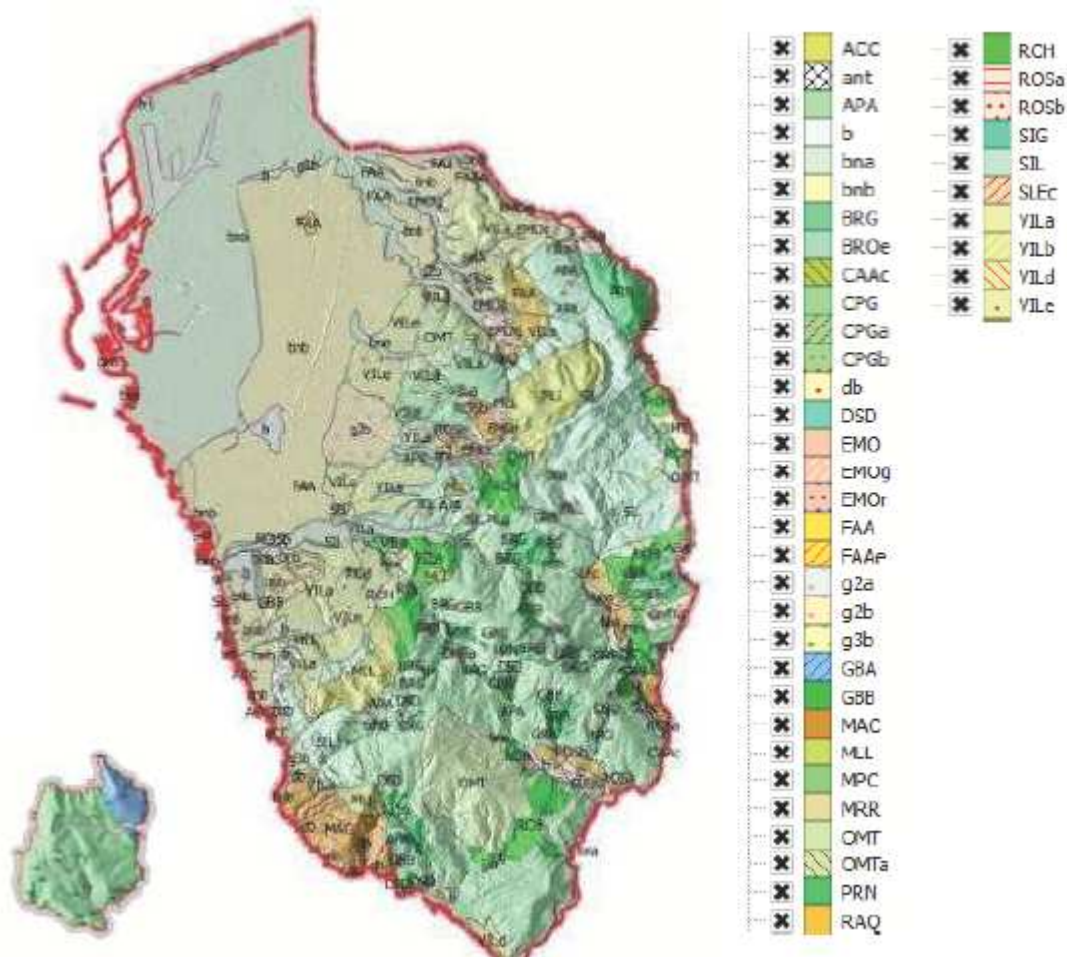
3) Prima informatizzazione e georeferenziazione della Cartografia tecnica regionale CARG scala 1:10000 anni 2007-2009 nei fogli 283120,284010,284050, 284060,284090,284130,GOR150. Le formazioni sono ben definite nei singoli fogli ma con alcuni problemi di “conformità fra i limiti formazionali” dei fogli costieri (lato ovest) e quelli "collinari" (lato ovest). Tale fatto ha determinato nella revisione svolta dal Dott. KL. Mazzei (febbraio 2019) una rilevante attività di revisione e allineamento oltre che di editing grafico in relazione alle modifiche del caso.



Stralcio di due fogli della pregressa Carta Geologica regionale al 10.000 con evidenza di parziale carenza di allineamento fra i limiti formazionali

4) Nuova cartografia geologica regionale denominata “Continuum geologico”, con abbandono della divisione in "fogli", elaborato da parte della Regione Toscana in collaborazione col Centro di Geotecnologie dell’Università di Siena con sede a San Giovanni Valdarno (Ar). Il Continuum è stato pubblicato in rete nella sua ultima versione nel mese di novembre di 2014, adottando software Open-Source con relativa legenda litologia completamente aggiornata che ha determinato, nell’allestimento del PS2 (Dott. Geol. L Mazzei, febbraio 2019), la necessità di rielaborare completamente le cartografie geologiche prodotte fino ad allora, in quanto i files di progetto delle prime tavole prodotte risultavano incompatibili e non editabili con il software adottato dalla Regione Toscana.

5) Rielaborazione grafica delle simbologie puntuali, lineari ed areali, aggiornamento ulteriore fino all'attuale DBGR (database geologico regionale) che precisa e approfondisce alcuni dettagli geologici e geomorfologici dell'ex Continuum. Lavoro in continua evoluzione anche sulla base degli strumenti urbanistici pubblici in corso di approntamento. Database "dinamico", reperibile sul sito internet regionale, con collegamenti a vari database istituzionali esterni.



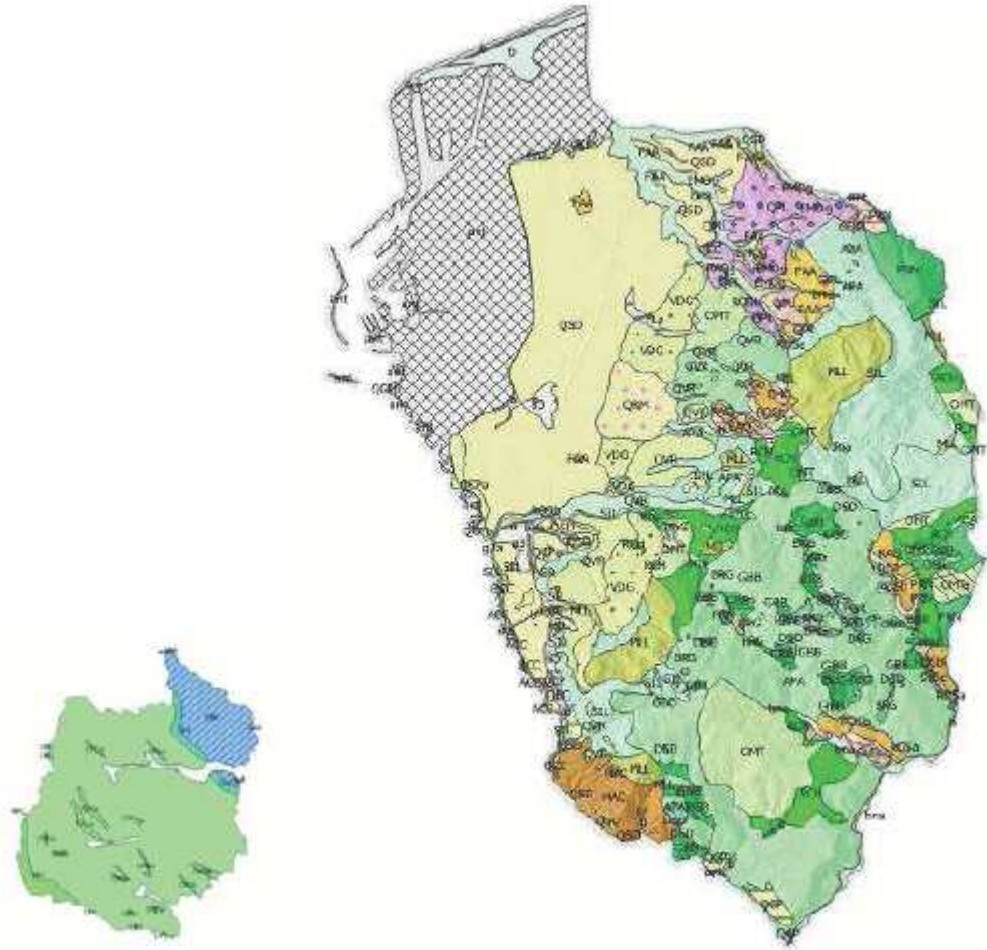
Ritaglio della cartografia geologica regionale (DBGR) sul confine del Comune di Livorno con sovrapposizione di 3D da dati LIDAR e colonna schematica della legenda informatizzata (isola di Gorgona in posizione non realistica).

6) Rielaborazione allestita in fase di redazione del supporto geologico al Piano Strutturale 2 (Dott. Geol. L. Mazzei, febbraio 2019) con in particolare l'elaborazione di ulteriore definizione e suddivisione dei litotipi Pleistocenici nella zona dello sviluppo urbano di Livorno.

In tale elaborazioni l'autore ha utilizzato i seguenti principali criteri:

- 1) per le unità pre-quadernarie si è riferito, ove possibile, alla legenda del DBGR (Database Geologico regionale) curato dalla Regione Toscana, mutuata dal precedente e recente "Continuum geologico regionale".
- 2) per le unità quadernarie ha invece optato per una suddivisione maggiormente classica delle formazioni, riferibile per lo più al progetto CARG/VEL e alla nota cartografia geologica di Lazzarotto e Mazzanti per Livorno e Collesalveti, in quanto ritenute maggiormente idonee a descrivere la realtà stratigrafica del territorio livornese, con gli opportuni accorpamenti e/o differenziazioni ritenuti opportuni. Fanno eccezione i depositi olocenici antropici e detritici (parte alta della tabella) già ben sviluppati nel DBGR.

L'escursus relativo alla appellazione delle varie unità formazionali nello svilupparsi delle rilevazioni geologiche nel tempo è riportato in apposita tabella esemplificativa ove risulta anche il confronto con la legenda geologica adottata per l'allestimento del presente editing della carta geologica a supporto della presente Variante al Piano Strutturale.



*Elaborazione sintetica della Carta Geologica finale per il PS2 con sovrapposizione di 3D da dati LIDAR
(isola di Gorgona fuori scala rispetto al territorio continentale e in posizione non realistica)*

3.2 CARTA GEOLOGICA PER LA PRESENTE VARIANTE AL P.S.

Sulla scorta del puntuale esame e confronto della cartografia geologica regionale (DBG - Database Geologico regionale e "Continuum geologico regionale") con gli elaborati geologici del Progetto CARG/VEL (le cui unità geologiche sono state accorpate e sintetizzate in un'unica dicitura) e le note della cartografia geologica al tempo prodotte dagli autori Lazzarotto e Mazzanti per i lavori sul territorio di Livorno e di Collesalveti, come contenuto negli elaborati del supporto geologico al PS2-Revisione del Piano Strutturale (Dott. Geol. Luca Mazzei, febbraio 2019), e in funzione della legenda geologica redatta per la realtà del territorio comunale dallo stesso Dott. Luca Mazzei nel suddetto supporto, è stato definito un ulteriore approfondimento e aggiornamento della legenda geologica per i terreni presenti nel territorio del Comune di Livorno per il suo utilizzo in sede di redazione del presente supporto.

Con lo svolgimento di tali analisi si è adivenuti alla definizione della legenda geologica, per il presente supporto alla Variante al Piano Strutturale, sintetizzata nella seguente tabella (colonne indicate in **rosso**), dove sono comunque rappresentate le modalità di restituzione adottate nel tempo dai vari autori.

Tale aggiornamento è risultato consono e maggiormente aderente alla descrizione dei terreni presenti in maniera maggiormente idonea alle sequenze stratigrafiche presenti nel territorio livornese, per il loro inserimento nel contesto litostratigrafico territoriale regionale anche in virtù della trasposizione delle conoscenze in maniera conforme alle classificazioni geologico-tecniche codificate nella sistema nazionale in prospettiva di studi di microzonazione sismica.

E' stata, quindi, svolta una "mediazione" ragionata delle varie classificazioni, che mettesse in evidenza il più possibile le peculiarità stratigrafiche locali, ma che permettesse anche di inserirle nel più generale scenario geologico regionale.

TABELLA RIASSUNTIVA E DI CONFRONTO FRA LA LEGENDA GEOLOGICA ELABORATA PER LA PRESENTE VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE E LE CLASSIFICAZIONI ADOTTATE IN PRECEDENTI TRATTAZIONI UFFICILI e/o ATTI PIANIFICATORI ANTECEDENTI

DBRG/CONTINUUM		PROGETTO CARG/VEL		LAZZAROTTO, MAZZANTI ET ALII		PS2 REVISIONE PIANO STRUTTURALE		VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE	
Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione
DEPOSITI ANTROPICI								DEPOSITI ANTROPICI	
ant	Area fortemente antropizzata	-	Area fortemente antropizzata			ant	Area fortemente antropizzata	h	Area con strutture e manufatti antropici
h5	Terreni di riporto, bonifica per colmata			di	discariche	h5	Terreni di riporto, bonifica per colmata	h5	Terreni di riporto per bonifica, colmata e opere portuali
h3	Discariche di cave			di	discariche	h3	Discariche di cave	h3	Discariche di cave
h1	Discariche per inerti e rifiuti solidi urabni					h1	Discariche per inerti e rifiuti solidi urabni	h1	Discariche per inerti e rifiuti solidi urabni
DEPOSITI ATTUALI E OLOCENICI								DEPOSITI QUATERNARI – OLOCENICI E ATTUALI	
b	Depositi alluvionali attuali	a3	Coperture detritiche indifferenziate			a3	Coperture detritiche indifferenziate	b	Depositi alluvionali attuali
a3a	Detrito di falda					a3a	Detrito di falda	a3a	Detrito di falda
aa	Depositi di versante					aa	Depositi di versante	aa	Depositi di versante
b2a	Depositi eluvio-colluviali					b2a	Depositi eluvio-colluviali	b2a	Depositi eluvio-colluviali
b	Depositi alluvionali attuali	b	Deposito alluvionale e fluvioglaciale attuale	a	Alluvioni	b	Depositi alluvionali attuali	b	Depositi alluvionali attuali
g2a	Depositi di spiaggia	G2a	Depositi di spiaggia	s	Sabbie di spiaggia	g2a	Depositi di spiaggia	g2a	Depositi di spiaggia attuali
bna	Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati	f1	Travertino					bna	Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati
		bn, bn1	Depositi alluvionali attuali o recenti, terrazzati e non terrazzati	a	alluvioni	bna	Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati		
								a1	Detrito di frana
DEPOSITI PLEISTOCENICI								DEPOSITI QUATERNARI – PLEISTOCENE MEDIO SUPERIORE e DEPOSITI CONTINENTALI RUSCINIANI E VILLAFRANCHIANI	
db	Depositi eolici	QSD	Sabbie rosso arancio di Donoratico	q9	Sabbie rosse di Ardenza	QSD	Sabbie rosso arancio di Donoratico	db	Depositi eolici
VILb	Depositi continentali rusciniانو-villafranchiani							VILb	Sabbie, sabbie ciottolose e sabbie silto-argillose e limi sabbiosi
bnb	Depositi alluvionali terrazzati							bnb	Depositi alluvionali terrazzati
bnb	Depositi alluvionali terrazzati	QPN QPNa QPNb	Calcareniti sabbiose Castiglioncello	q8	Calcareniti sabbiose di Castiglioncello	QCP QCPa QCPb	Calcareniti sabbiose Castiglioncello (Panchina)	bnb	Depositi alluvionali terrazzati
g3b	Depositi deltizi e di delta conoide sottomarina	QCP				g3b		Depositi deltizi e di delta - conoide marina	
VILd	Depositi continentali rusciniانو-villafranchiani					VILd		Calcari	
bnb	Depositi alluvionali terrazzati	QBC				Brecce di Punta Casotto		bnb	Depositi alluvionali terrazzati
g2b	Depositi di spiaggia "panchina"	QCC	Conglomerati del Chioma	QCC	Conglomerati del Chioma	QCC	Conglomerati del Chioma	g2b	Depositi di spiaggia, spiagge litorali
		QCS	Conglomerati di Santo Stefano					g2b	Depositi di spiaggia, spiagge litorali

DBRG/CONTINUUM		PROGETTO CARG/VEL		LAZZAROTTO, MAZZANTI ET ALII		PS2 REVISIONE PIANO STRUTTURALE		VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE	
Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione
		QRM	Conglomerati di Rio Maggiore	q9	Sabbie rosse di Ardenza – litofacies conglomeratica	QRM	Conglomerati di Rio Maggiore		“panchina”
VILe	Depositi continentali rusciniانو-villafranchiani	VdG	Sabbie rosse di Val di Gori	q7	Sabbie rosse	VdG	Sabbie rosse di Val di Gori	VILe	Sabbie e conglomerati
VILa	Depositi continentali rusciniانو-villafranchiani	QPL	Formazione Casa Poggio ai Lecci	q6	Conglomerati sabbie e limi Casa Poggio ai Lecci	QPL	Formazione Casa Poggio ai Lecci	VILa	Conglomerati e ciottolami poligenici
		QVR	Connglomerati di Villa Corridi		Conglomerati sabbie e limi Casa Poggio ai Lecci – litofacies conglomeratica	QVR	Connglomerati di Villa Corridi		
DEPOSITI MARINI PLEISTOCENICI								DEPOSITI MARINI PLEISTOCENICI	
PLEb	Argille, sabbie e limi marino-transizionali	ART	Sabbie e argille ad Artica	q2	Sabbie e argille ad Artica	ART	Sabbie e argille ad Artica Islandica	Non affiorante	
DEPOSITI MARINI PLOCENICI								DEPOSITI MARINI PLOCENICI	
FAA	Argille azzurre	FAA	Argille azzurre	p	Argille azzurre	FAA	Argille azzurre	FAA	Argille azzurre
FAAe	Sabbie risedimentate nelle argille	FAAs	Sabbie di Mazzolla (nelle argille)	p	Argille azzurre	FAAe	Sabbie risedimentate nelle argille	FAAe	Sabbie risedimentate
DEPOSITI LACUSTRI E LAGUNARI POST-EVAPORITICI DEL MESSINIANO								DEPOSITI LACUSTRI E LAGUNARI POST-EVAPORITICI MESSINIANI	
EMO	Argille marnose con lenti di gesso	EMO	Argille e gessi del Fiume Era Morta	m5	Marne e marne argillose	EMO	Argille e argille marnose con livelli e lenti di gesso	EMO	Argille e argille marnose con livelli e lenti di gesso
EMOg	Lenti di gesso	EMOg	Gessi di origine primaria e secondaria	m7	Gessi	EMOg	Lenti di gesso	EMOg	Lenti di gesso – Argille e gessi del Fiume Era Morta
EMOr	Lenti di arenarie	EMO1	Membro delle sabbie e conglomerati di Villa Poggio Piano	m8	Sabbie e conglomerati di Villa Poggio Piano	EMOr	Sabbie e conglomerati	EMOr	Lenti di arenarie – Argille e gessi del Fiume Era Morta
DEPOSITI MARINI PRE-EVAPORITICI DEL MESSINIANO INFERIORE								DEPOSITI MARINI PRE-EVAPORITICI MESSINIANI	
Rosb	Calcari e calciruditi	ROS5	Membro Calcari di Castelnuovo in Calcari di Rosignano	m4	Calcari di Castelnuovo	ROSb	Calcari e calciruditi	ROSb	Calcari e calciruditi – Calcare di Rosignano
		ROS2	Membro Calcari dell'Acquabona in Calcari di Rosignano	m2	Calcari dell'Acquabona				
Rosa	Conglomerati	ROS4	Membro Conglomerati Villa Mirabella in Calcarei di Rosignano	m3	Calcari di Villa Mirabella	Rosa	Conglomerati	ROSa	Conglomerati – Calcare di Rosignano
RAQ	Argille e argille sabbiose	RAQ	Formazione Torrente Raquese	m5	Marne e marne argillose	RAQ	Argille e argille sabbiose	RAQ	Argille e argille sabbiose grigie
RAQg	Lenti di gessi	RSNg	Gessi (Formazione Rio Sanguigna)	m7	Gessi	RAQg	Lenti di gessi	RAQg	Lenti di gessi
DEPOSITI LACUSTRI DEL TORTONIANO SUPERIORE								DEPOSITI LACUSTRI TUROLIANO INF. (TORTONIANO SUP.)	
SLEC	Conglomerati e paraconglomerati	LUP	Conglomerati di Castello di Luppiano	m	Conglomerati rossi e verdi	SLEC	Conglomerati e paraconglomerati eterometrici moderatamente elaborati	SLEc	Conglomerati e paraconglomerati eterometrici moderatamente elaborati con ciottoli e matrice arrossati
DOMINIO LIGURE INTERNO – UNITA' DI MONTE GOTTERO								DOMINIO LIGURE INTERNO – UNITA' DI M. GOTTERO	
APA	Argille a Palombini	APA	Argille a Palombini	c2	Argille a Palombini	APA	Argille a Palombini	APA	Argille a Palombini
DSD	Diaspri	DSD	Diaspri	g	Radiolariti	DSD	Diaspri	DSA	Diaspri
BROe	Brecce ofiolitiche	Ω	Brecce ofiolitiche	-	-	BROe	Brecce ofiolitiche	BROi	Brecce ofiolitiche monogeniche e

DBRG/CONTINUUM		PROGETTO CARG/VEL		LAZZAROTTO, MAZZANTI ET ALII		PS2 REVISIONE PIANO STRUTTURALE		VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE	
Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione
									poligeniche
BRG	Basalti	β	Basalti	Δ	Basalti	BRG	Basalti con strutture a pillow lava	BRG	Basalti con strutture a pillow lava
GBB	Gabbri	γ	Plagiograniti	PG	Plagiograniti	PGR	Plagiograniti	GBB	Gabbri con filoni basici
		ε	Gabbri	Γ	Gabbri e breccie di gabbro	GBB	Gabbri con filoni basici		
PRN	Peridotiti serpentizzate	Σ	Serpentiniti	Σ	Serpentiniti	PRN	Peridotiti serpentizzate con filoni di gabbri e basalti	PRN	Peridotiti serpentizzate con filoni gabbri e basaltici - Serpentiniti
DOMINIO LIGURE ESTERNO – UNITA' FLYSCH A ELMINTOIDI, UNITA' DI OTTONE								DOMINIO LIGURE ESTERNO – UNITA' DEI "FLYSCH A ELMINTOIDI", UNITA' DI OTTONE	
OMT	Flysch di Ottone Monteverdi	MTV	Formazione Monteverdi Marittimo	c7	Flysch calcareo marnoso di Monteverdi	OMT	Flysch di Ottone Monteverdi	OMT	Calcarei, calcari marnosi, marne ed argilliti calcaree torbiditiche con intercalazioni di arenarie e siltiti
OMTa	Breccie di ofioliti	MTVo	Breccie dell'Olmaia			OMTa	Litofacies Breccie di ofioliti in OMT	OMTa	Breccie ad elementi ofiolitici
RCH	Argilliti e calcari Poggio Rocchino	PGR	Argilliti e calcari Poggio Rocchino	c6	Arenarie, siltiti e argilliti	RCH	Argilliti e calcari Poggio Rocchino	RCH	Argilliti varicolori manganesifere con marne, calcari marnosi e calcareniti
DOMINIO LIGURE ESTERNO – UNITA' DI MONTE MORELLO, UNITA' DI SANTA FIORA								DOMINIO LIGURE ESTERNO – UNITA' DI M. MORELLO, UNITA' DI S. FIORA	
MLL	Formazione di Monte Morello	MLL	Formazione di Monte Morello	pe2	Flysch calcareo marnoso di Poggio San Quirico	MLL	Formazione di Monte Morello	MLL	Formazione di Monte Morello
SIL	Formazione di Sillano – Santa Fiora	FIA2	Membro di Antignano in Formazione Santa Fiora	c5a c5b	Argilliti varicolori del Forfulla Argilliti, arenarie, marne e siltiti	SIL	Formazione di Sillano – Santa Fiora	SIL	Formazione di Sillano – Santa Fiora
		FIA1	Membro del Fortulla in Formazione Santa Fiora						
DOMINIO SUBLIGURE – UNITA' DI CANETOLO								DOMINIO SUBLIGURE – UNITA' DI CANETOLO	
MRR	Marne di Marra	MRR	Marne di Marra	c5b	Formazione di Antignano	MRR	Marne di Marra	MRR	Marne di Marra
ACC	Argille e calcari di Canetolo	ACC	Argille e calcari di Canetolo			ACC	Argille e calcari di Canetolo	ACC	Argille e calcari di Canetolo
DOMINIO TOSCANO – FALDA TOSCANA								DOMINIO TOSCANO – FALDA TOSCANA	
MAC	Arenarie "Macigno"	MAC	Macigno	O	Flysch arenaceo di Calafuria	MAC	Arenarie "Macigno"	MAC	Macigno
UNITA' CON METAMORFISMO DI ALTA PRESSIONE, UNITA' AD AFFINITA' OCEANICA								UNITA' CON METAMORFISMO DI ALTA PRESSIONE – UNITA' DI CALA GRANDE	
GBA	Metabasalti	MPM	Metabasiti di Punta Maestra	Mb	Metabasiti di Punta Maestra	GBA	Metabasalti	GBA	Metabasalti, con strutture a pillow
SIG	Serpentiniti	SCM	Serpentiniti di Cala Maestra	Σ	Serpentiniti di Cala Maestra	SIG	Serpentiniti	SIG	Serpentiniti
UNITA' AD AFFINITA' TOSCANA								UNITA' CON METAMORFISMO DI ALTA PRESSIONE – UNITA' DI CALA PIATTI	
CPG	Calcascisti Punta Gorgona	CPG	Calcascisti Punta Gorgona	Cs	Calcascisti Punta Gorgona	CPG	Calcascisti Punta Gorgona	CPG	Calcascisti di Punta Gorgona
		PCM	Prasiniti di Cala Martina						
CPGa	Marmi grigi	CPGa	Marmi grigi	-	-	CPGa	Marmi grigi – Filoni in	CPGa	Calcascisti di Punta

DBRG/CONTINUUM		PROGETTO CARG/VEL		LAZZAROTTO, MAZZANTI ET ALII		PS2 REVISIONE PIANO STRUTTURALE		VARIANTE AL PIANO STRUTTURALE	
Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione	Sigla	Litologia e/o Formazione
							CPG		Gorgona, Marmi grigi
CPGb	Metareniti	CPGb	Metareniti	-	-	CPGb	Metareniti – Filoni in CPG	CPGb	Calcescisti di Punta Gorgona, Metareniti marrone chiaro
MPC	Metareniti di Cala di Pancia	MPC	Metareniti di Cala di Pancia	Ma	Metareniti di Cala di Pancia	MPC	Metareniti di Cala di Pancia	MPC	Metareniti di Cala di Pancia

La carta geologica (allestita in due fogli nord e sud – tavv. GEO – G.01) è stata redatta, in scala 1:10.000 (su base cartografica C.T.R.) e rappresenta la sintesi delle conoscenze geologiche dell'area.

Come in precedenza accennato la sua redazione deriva dall'analisi della ricca documentazione cartografica disponibile in letteratura, verificata attraverso specifici sopralluoghi su affioramenti rappresentativi, effettuati anche allo scopo di documentare le scelte e le classificazioni adottate.

I dati geologici e geomorfologici sono stati estrapolati, come indicato nelle specifiche tecniche regionali e nazionali, sia da precedenti studi già eseguiti nei comprensori comunali, che da nuovi originali rilevamenti di dettaglio appositamente eseguiti nel corso del presente studio.

In particolare sull'elaborato cartografico sono state riportate tutte le coltri detritiche di frana (a1 di carta geologica comprensive degli area di frana attiva e quiescente e franosità diffusa) al fine di uniformare le indicazioni relative ai tematismi geologico, geomorfologico e geologico tecnici in prospettiva sismica.

Per quanto riguarda il reperimento bibliografico di studi geologici e geomorfologici pregressi, ci si è riferiti alle seguenti indagini:

- Cartografia C.A.R.G. Regione Toscana (compresi originali d'Autore)
- Continuum Territoriale Geologico della Regione Toscana;
- Carte geologiche e geomorfologiche di supporto ai precedenti Strumenti Urbanistici Comunali;
- Studi geologici e geomorfologici di dettaglio di supporto alla progettazione di opere pubbliche e private;
- Progetto IFFI (ISPRA);
- Banca dati regionale S.I.R.A. e ISPRA per i pozzi idrici.

Appare opportuno precisare che questa carta tematica rappresenta uno strumento indispensabile per l'impostazione di studi sistematici o finalizzati a particolari problemi, come quello rappresentato dalla pianificazione urbanistica.

3.3 STRATIGRAFIA E DESCRIZIONE DELLE FORMAZIONI

Pertanto, in dettaglio, nell'area del territorio comunale, si ritrova, dall'alto verso il basso stratigrafico, la seguente successione:

DEPOSITI ANTROPICI

- Area con strutture e manufatti antropici (h) (Olocene)
Area dove la struttura antropica impedisce l'osservazione degli elementi geologici e geomorfologici.
- Discariche per inerti e rifiuti soli urbani (h1) (Olocene)
- Discariche di cava (h3) (Olocene)
- Terreni di riporto per bonifica, colmata e opere portuali (h5) (Olocene)

DEPOSITI QUATERNARI – OLOCENICI E ATTUALI

- Depositi alluvionali attuali (b) (Olocene)
Sono i depositi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione, attraverso processi fluviali ordinari, costituiti da ghiaie, sabbie e limi e da depositi prevalentemente limoso sabbiosi nel caso delle piane alluvionali minori.

- Detrito di falda (a3a) (Olocene)

Falde di detrito, costituite da elementi eterometrici in matrice sabbioso limosa, anche con grossi blocchi, derivanti per accumuli dovuti a gravità lungo i versanti o ai piedi di scarpate.

- Detrito di versante (aa) (Olocene)

Accumuli lungo i versanti di frammenti litoidi, eterometrici, angolosi, talora stratificati, con matrice sabbiosa o sabbiosa limosa.

- Depositi eluvio-colluviali (b2a) (Olocene)

Coperture di materiale a granulometria prevalentemente fine (limi e sabbie), con rari frammenti litoidi grossolani, derivanti dall'alterazione del substrato ed accumulati in posto dopo breve trasporto per ruscellamento e per gravità.

- Depositi di spiaggia attuali (g2a) (Olocene)

Depositi di spiagge attuali a granulometria da medio-fine a grossolana.

- Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati (bna) (Olocene)

Depositi di piana alluvionale e dei terrazzi fluviali, a granulometria variabile e costituiti prevalentemente da ciottolati in matrice limoso-sabbiosa, ghiaie, sabbie e limi, a volte variamente pedogenizzati.

Talora, come presso il corso del Rio Cignolo, intercalati ai depositi terrazzati vi sono associati livelli concrezionali carbonatici (simil travertino).

- Detrito di frana (a1) (Olocene)

I corpi di frana sono costituiti da elementi eterometrici prevalentemente grossolani, dispersi in matrice sabbiosa e sabbioso limosa e si trovano accumulati per gravità lungo i versanti o ai piedi di scarpate.

In questa categoria si inseriscono tutte quelle masse detritiche che presentano caratteristiche di caoticità e disarticolazione, ancora ben riconoscibili sul terreno e dove gli accumuli dovuti a frane recenti interessano aree sulle quali è possibile una ripresa del movimento per la presenza di materiali sciolti, per l'assenza della vegetazione e per la sovente presenza di pendenze elevate.

DEPOSITI QUATERNARI – PLEISTOCENE MEDIO SUPERIORE

- Depositi eolici (db) (Pleistocene superiore)

Sabbie fini, talora siltose, di accumulo eolico, con struttura generalmente massiva.

- Depositi alluvionali terrazzati (bnb) (Pleistocene superiore)

A questi depositi sono riferibili varie litofacies di seguito descritte:

- Sabbie da medie a fini, talora siltose, di colore variabile dal rosso bruno all'arancio, con screziature giallo oca o grigio-verdi e presenza di noduli carboniosi e ferro-manganesiferi. Presenza di quantità diverse di ciottoli o di materiali detritici brecciformi. Struttura massiva, talvolta con lenti da centimetriche a decimetriche di sabbie più grossolane con clasti di dimensioni ruditiche. Rari gasteropodi polmonati e resti vegetali. Ambiente continentale di piana di esondazione fluviale. Lo spessore medio è dell'ordine di qualche metro, difficilmente superiore a 5 m.

- Strati laminati di sabbie da medie a grossolane, ben cementate, di colore marrone chiaro, di spessore da 50 cm a 2 m, e strati massivi di sabbie da medie a fini non cementate, di colore marrone scuro, spessi fino a 1 m.

- Conglomerati clasto sostenuti, con matrice sabbiosa grossolana, in cui è visibile una stratificazione incrociata planare ad alto angolo. Si trovano spesso alternati a sabbie.

- Clasti angolosi e subangolosi, di composizione argillitica, con dimensioni variabili da centimetriche a decimetriche, in matrice sabbiosa da media a fine, talora siltosa, di colore marrone bruno. I clasti sono isoorientati secondo una debole stratificazione e gli strati rappresentano delle sequenze finig up-ward decimetriche.

- Conglomerati a ciottoli medio-fini prevalentemente calcarei (palombini) e matrice sabbiosa con incrostazioni carbonatiche. Contenuto fossilifero abbondante, rappresentato da lamellibranchi e gasteropodi.

- Depositi di spiaggia, spiagge litorali "panchina" (g2b) (Pleistocene superiore)

Livelli di ghiaie poligeniche prevalentemente minute alternati a sabbie fini limose di colore rosso arancio e a banchi di calcareniti grossolane e medie ben cementate alternate a sabbie di colore chiaro, e sabbie-limose e limi di colore bruno-rossiccio.

- Depositi deltizi e di delta-conoide marina (g3b) (Pleistocene superiore)

Ghiaie poligeniche prevalentemente fini alternati a sabbie-limose e limi di colore rosso arancio.

DEPOSITI CONTINENTALI RUSCINIANI E VILAFRANCHIANI

- Sabbie, sabbie ciottolose e sabbie siltoso-argillose e limi sabbiosi (VILb) (Pleistocene superiore)

Sabbie da medie a fini, talora siltose, di colore variabile dal rosso bruno all'arancio, con screziature giallo ocra o grigio-verdi e presenza di noduli carboniosi e ferro-manganesiferi. Struttura massiva, talvolta con lenti da centimetriche a decimetriche di sabbie più grossolane con clasti di dimensioni ruditiche. Rari gasteropodi polmonati e resti vegetali.

Ambiente continentale ma variabile tra l'eolico, il colluviale e quello di piana di esondazione fluviale (in quest'ultimo caso possono contenere quantità diverse di ciottoli o di materiali detritici brecciformi).

Lo spessore medio è dell'ordine di qualche metro, difficilmente superiore a 5 m.

- Calcari (VILd) (Pleistocene superiore)

Banchi di calcareniti grossolane e medie ben cementate alternate a sabbie di colore chiaro, e sabbie-limose e limi di colore bruno-rossiccio. Localmente breccie costituite da clasti angolosi e subangolosi di argilliti e argilloscisti (Liguridi) di dimensioni variabili da centimetriche a decimetriche e isoorientati, in matrice sabbioso-siltosa di colore bruno.

I banchi calcarenitici hanno spessori che variano dai 50 cm ai 2 m e sono caratterizzati dalla presenza di ciottoli clastosostenuti alla base forati da litofagi, concrezioni intrasedimentarie suborizzontali e verticali, stratificazione incrociata concava e presenza di frammenti di faune ad ospiti caldi di spiaggia.

Ambiente marino litorale di spiaggia, di duna e eolico e/o colluviale. Spessore massimo complessivo intorno ai 10 m.

- Sabbie e conglomerati (VILe) (Pleistocene medio - superiore)

Sabbie di colore rosso vivo con notevole scheletro argilloso, con assetto massivo, ricche in alcune aree di ciottoli sparsi, con sporadiche placche di calcarenite e, meno frequenti, di travertino. Generalmente prive di fossili, con spessori variabili a causa delle incisioni del substrato e le differenze di accumulo, oscillando in media tra i 5 ed i 10 metri.

L'ambiente di sedimentazione è continentale, con azioni miste in prevalenza colluviali ed eoliche e per temporanei episodi di esondazione torrentizia. Affiorano nei terrazzi più alti, per lo più in contatto stratigrafico con le sottostanti formazioni del dominio ligure che sormontano.

- Conglomerati e ciottolami (VILa) (Pleistocene inferiore - medio)

Conglomerati a prevalenti ciottoli di quarziti ed anageniti, sabbie rosse e limi, con presenza di industrie del Paleolitico inferiore, di ambiente fluvio-palustre; e conglomerati mal classati, rivestiti da incrostazioni carbonatico-arenacee, a clasti provenienti dalle formazioni del Dominio Ligure di ambiente deltizio.

DEPOSITI MARINI PLEISTOCENICI

- Sabbie e argille ad Artica islandica (ART) (Santerniano – Emiliano)

NON AFFIORANTE

Sabbie fini di color giallo arancio, argille sabbiose, argille, con strati di calcareniti sabbiose, ricche di faune di ospiti freddi (l'Artica Islandica, mollusco bivalve, è considerato un "ospite freddo" e fossile guida del Pleistocene inferiore mediterraneo). Alle sabbie sono associate rare lenti conglomeratiche.

Nel Comune di Livorno sono intercettate in carote di sondaggio immediatamente al di sotto dei depositi terrazzati costieri (Terrazzo più recente di Livorno), in coincidenza col settore urbanizzato (a partire dall'area di Via Firenze / Via Alfieri secondo i dati attuali) e portuale.

Ambiente neritico compreso tra lo shoreface superiore ed inferiore, con evidenze di influenza fluviale nella parte sommitale dove è stato individuato un evidente salto di facies.

Spessore massimo dell'ordine dei 100 m.

DEPOSITI MARINI PLIOCENICI

- Argille azzurre (FAA) (Zanclano - Piacenziano)

Argille e argille siltose, talvolta marnose, localmente fossilifere (in prevalenza molluschi), alternate a sabbie gradate da grossolane a medie di color giallo-ocra.

Si tratta probabilmente di un sistema deposizionale policiclico scomposto in due unità separate da una "unconformity" regionale (Fase a G. Punctulata).

Ambiente marino, da neritico a batiale superiore.

Il settore con gli affioramenti principali è la media valle del Rio Paganello, con limite sud rappresentato dal Fosso del Limone e Fosso del Lupo e limite nord dal Fosso della Vallelunga. Altri affioramenti minori nel settore estremo nordorientale in sinistra idrografica del Torrente Ugione e un affioramento in località Picchianti, nel settore urbanizzato, nei pressi dell'intersezione fra la ferrovia e Via delle Sorgenti. Si tratta di una unità che raggiunge spessori di molte decine di metri.

- Sabbie risedimentate (FAAe) (Zancleano - Piacenziano)

Sabbie gradate da grossolane a medie di color giallo-ocra, risedimentate all'interno della formazione delle Argille azzurre.

DEPOSITI LACUSTRI E LAGUNARI POST-EVAPORITICI MESSINIANI

- Argille e argille marnose con livelli e lenti di gesso (EMO) (Messiniano superiore)

Argille ed argille marnoso-sabbiose grigie, spesso laminate, con sottili strati di calcari. Nell'unità si rinvencono livelli e lenti di gessi di origine primaria e secondaria.

La litofacies argilloso sabbiosa è costituita da argille grigio nocciola e, in minor misura, di argille sabbiose e siltiti marnose grigio nocciola o giallo-ocra. Localmente si rinvencono lenti e livelli di ciottoli minuti, di natura prevalentemente calcarea, immersi in una matrice arenaceo-sabbiosa di colore giallo-ocra.

Ambiente lacustre e deltizio-lacustre.

Affiorano, insieme ai depositi lenticolari gessiferi e arenacei, per lo più nel settore nordorientale del territorio comunale, presso la parte alta del Rio Paganello e a Valle Lunga, secondariamente poco più a sud in destra idrografica del Rio Maggiore e a Limoncino alto.

- Lenti di gesso – Argille e gessi del Fiume Era Morta (EMOg) (Messiniano superiore)

Intercalazione di lenti gessifere in EMO. I gessi si presentano con struttura microcristallina (alabastro) di colore ceruleo, contenente sottili intercalazioni di argille grigie, a volte laminate più frequentemente massicce.

- Lenti di arenarie – Argille e gessi del Fiume Era Morta (EMOr) (Messiniano superiore)

Sabbie e conglomerati intercalati in EMO.

DEPOSITI MARINI PRE-EVAPORITICI MESSINIANI

- Calcari e calciruditi (ROSb) (Messiniano inferiore)

Calcari biocostruiti a coralli ed alghe rosse, associati a biocalciruditi, calcareniti e conglomerati, di colore biancastro. A questi si associano, molto subordinatamente, strati di calcareniti e calcilutiti giallastre. Ambiente di acque basse, scogliera biocostruita.

Affiorano per lo più nel settore sudorientale del territorio comunale presso il Botro Quarata e intorno alla parte alta del Rio Popogna, oltre che nel settore centrale lungo la Valle Benedetta e presso la località Limoncino alto.

- Conglomerati (ROSa) (Messiniano inferiore)

Conglomerati a ciottoli medi e minuti ad abbondante matrice carbonatica.

Affiorano nei medesimi settori dei Calcari e calciruditi e nel settore nordorientale del territorio comunale in prossimità della confluenza del Borro dell'Arme nel Torrente Ugione.

- Argille e argille sabbiose grigie (RAQ) (Messiniano inferiore)

Argille e argille sabbiose massicce grigie (argille a Pycnodonte Auctt p. p.) con fossili marini; talvolta con intercalazioni di arenarie, conglomerati minuti e più raramente marne.

Ambiente marino di piattaforma.

Affiorano nel settore sudorientale (a nord del Botro Quarata, intorno al Rio Popogna nella zona fra Botro Rosso e Botro delle Fontanelle, oltre a ad aree limitrofe) e nel settore centrale (lungo la Valle Benedetta e presso la località Limoncino alto) del territorio comunale.

- Lenti di gessi (RAQg) (Messiniano inferiore)

Gessi di origine primaria e secondaria di ambiente marino-deltizio e lagunare evaporitico

Vi sono affioramenti lungo il Rio Paganello, presso la Valle Benedetta, in destra idrografica del Rio Maggiore, e presso la località Limoncino alto.

DEPOSITI LACUSTRI TUROLIANO INFERIORE (TORTONIANO SUPERIORE)

- Argille e argille sabbiose grigie Conglomerati e paraconglomerati eterometrici moderatamente elaborati con ciottoli e matrice arrossati (SLEc) (Tortoniano superiore - Messiniano inferiore)

Strati lenticolari e tabulari costituiti da conglomerati clasto-sostenuti a matrice arenacea poco organizzati, eterometrici, con ciottoli e matrice arrossati. Gli elementi sono scarsamente elaborati, con dimensioni

generalmente comprese tra pochi centimetri e qualche decimetro e forma da arrotondata a subarrotondata, di natura prevalentemente calcarea (tipo Palombino) e subordinatamente arenacea, ofiolitica e diasprina.

Ambiente di deposizione fluviale.

Si rilevano pochi affioramenti di questa unità, per lo più nel settore sudorientale del territorio, lungo il Botro Quarata, e più a nord lungo la Valle Benedetta in località Limoncino.

DOMINIO LIGURE INTERNO – UNITA' DI MONTE GOTTERO

- Argille a Palombini (APA) (Cretaceo inferiore)

Argilliti, argilliti silicee e marne siltose, da grigio-scure a nere, in strati da medi a spessi, cui si intercalano strati medi o spessi di calcilutiti e calcilutiti silicee color grigio piombo, talvolta con la base calcarenitica. Nella porzione sommitale, gli intervalli pelitici sono più spessi e frequenti. A causa dell'intensa deformazione che caratterizza questa formazione, la continuità degli strati calcarei è molto limitata.

La litofacies prevalente è costituita da argilliti e siltiti di colore grigio (fino al 55-80% del totale) e da calcari (di norma fino al 20-30% del totale, eccezionalmente fino al 45%).

Le argilliti di solito molto fissili si sfaldano in lastrine o in aghetti ed hanno per lo più un colore grigio scuro. Le siltiti si presentano sempre laminate, talvolta gradate, di colore grigio al taglio fresco. I calcari sono a grana fine, di colore grigio, con elevato contenuto in silice e fratture riempite da calcite; talvolta è rilevabile la caratteristica forma d'erosione ad "incudine". Lo spessore medio degli strati calcarei è di 30 centimetri. Questi, seppur non frequentemente, si presentano laminati (con lamine per lo più piano-parallele) e gradati. Talora si rinvencono subordinatamente livelli di torbiditi pelitico arenacee. Tali arenarie sono gradate e laminate e possono avere contro-impronte dovute ad impatto.

Ambiente marino profondo.

E' la formazione più estesa fra quelle flyschoidi, con un affioramento importante nel settore collinare centrale a nord del Rio Maggiore e i rimanenti, ancora più estesi, concentrati nel settore centromeridionale. A tale formazione sono associate numerose aree franose attive e quiescenti, coerentemente con la litologia argillitica e l'assetto caotico, facilmente deteriorabili dagli agenti esogeni.

- Diaspri (DSA) (Oxfordiano medio – superiore / Titoniano superiore)

Radiolariti e selci rosso-fegato, grigie, o grigio verdi, in strati sottili, a cui si intercalano interstrati di argilliti silicee rosse e nere, prevalenti nella porzione superiore della formazione; nella porzione inferiore sono presenti inoltre breccie, areniti e siltiti ofiolitiche e in quella sommitale rare marne siltose grigie, calcilutiti silicee e breccie ad elementi silicei.

Ambiente marino molto profondo, al di sotto della CCD (Calcite Compensation Depth), in genere attestata intorno ai 5000 metri.

Gli affioramenti sono in gran parte di limitata estensione sia nella zona sudorientale che nel settore sudoccidentale del Comune e si rinvencono sempre associati alle ofioliti. L'affioramento più importante si osserva a nordovest di Quercianella, a monte della strada litoranea poco dopo la curva che incontra il Torrente Rogiolo.

- Breccie ofiolitiche monogeniche e poligeniche (BROi) (Giurassico superiore)

Breccie con elementi di gabbro, monogeniche e poligeniche, mal cementate, con prevalente matrice arenitica.

Affiorano in un unico settore, nel piccolo promontorio che divide la Spiaggia di Cabianca dalla Spiaggia della Tamerice.

- Basalti con strutture a pillow lava (BRG) (Giurassico superiore)

Basalti massicci, basalti con struttura a pillow lava, breccie basaltiche, di colore grigio verde al taglio fresco e marrone-rossastro sulla superficie alterata per la presenza di ossidi di ferro; sono ben compatti e talora serpentizzati. Le paragenesi mineralogiche primarie consistono di plagioclasio, clinopirosseno, minerali opachi, ilmenite e magnetite. La tessitura è generalmente ofitica a grana fine caratterizzata dalla presenza di feldspati (plagioclasio), immersi in una pasta di fondo grigia o verde scura.

Si rinvencono sovente fortemente tettonizzati e costituiti da breccie basaltiche in matrice sabbioso argillosa di colore marrone verdastro.

Numerosi affioramenti e filoni di limitate dimensioni nel settore sudorientale del Comune, spesso in corrispondenza di incisioni di torrenti (es. Fosso del Castello, Fosso Basso). Piccoli ma numerosi affioramenti intorno all'area di Montenero.

- Gabbri con filoni basici (GBB) (Giurassico superiore)

Metagabbri e breccie di metagabbro, interessate da metamorfismo di tipo oceanico. La formazione è costituita prevalentemente da Mg-gabbri (troctoliti e olivinegabbri) con struttura isotropa. Frequenti zone di frattura di spessore decimetrico caratterizzate dalla presenza di strutture da gneissico-occhiate a milonitiche.

Affiorano nel settore centro-meridionale del territorio; lungo la costa si rilevano presso il promontorio compreso fra la foce del torrente Rogiolo (a sud) e la Cala del Leone (a nord).

Nella litofacies costituita da “plagiograniti” si presentano come una roccia magmatica chiara, a prevalente quarzo e ortoclasio, a struttura milonitica, attraversata da numerose vene di calcite che passano al Gabbro sottostante. Dal punto di vista petrografico è interpretata come il prodotto finale per cristallizzazione frazionata di magmi basaltici intrusi, come filoni o dicchi, specialmente nelle parti superiori dei complessi gabbrici al limite con le coperture basaltiche.

Gli affioramenti principali sono presso Poggio Caprone e il Romito; mentre si riscontrano inoltre due modesti affioramenti ravvicinati nel settore nordoccidentale del territorio fra Fosso Vallenga e Rio Paganello.

- Peridotiti serpentizzate con filoni gabbrici e basaltici - Serpentiniti (PRN) (Giurassico)

Rocce ultramafiche con filoni di gabbrici e basalti, generalmente caratterizzate da una struttura cataclastica con sviluppo di più famiglie di superfici tettoniche.

Sono ben visibili a Poggio Corbolone ed a Monte Maggiore, affiorando per lo più in due settori, a nordovest (fra Botro dell'Arme e Torrente Ugione) e a sudest (fra SP Valle Benedetta e Botro delle Piastraie). Sono rilevati anche nel settore orientale prossimo al Chioma.

DOMINIO LIGURE ESTERNO – UNITA' DEI “FLYSCH AD ELMINTOIDI”, UNITA' DI OTTONE

- Flysch di Ottone Monteverdi (OMT) (Cretaceo superiore – Paleocene inferiore)

Torbidite calcareo-marnosa grigio-scura, talvolta a base calcarenitica, in strati di spessore da qualche centimetro ad un paio di metri, con intercalazioni di marne siltose, argilliti e argilliti calcaree e subordinatamente arenarie fini e siltiti.

In particolare si rinvencono: a) calcari marnosi di colore grigio scuro, a grana in genere medio-fine, talvolta con base arenacea, solo raramente sono silicei, in strati di spessore variabile da centimetrico ad oltre tre metri; b) marne di colore grigio scuro o nero; c) areniti calcarifere grigio scure a grana da media a finissima in strati da pochi centimetri sino al metro; d) calcari a grana fine di colore grigio chiaro di spessore al massimo decimetrico; e) siltiti color grigio ed argilliti nere.

Ambiente pelagico in facies torbiditica.

Affiorano in limitati settori dei monti livornesi. La placca principale è a Nord di Quercianella.

- Brecce ad elementi ofiolitici (OMTa) (Cretaceo superiore – Paleocene inferiore)

Questa litofacies è costituita da brecce poligeniche, clastosostenute, con elementi di dimensioni variabili da alcuni millimetri ad alcuni metri (blocchi di ofioliti) provenienti dal complesso ofiolitifero; talvolta i clasti, in particolar modo quelli calcarei, si presentano subarrotondati.

- Argilliti varicolori manganesifere con marne, calcari marnosi e calcareniti (RCH) (Albaniano - Campaniano)

Brecce a matrice argillitica varicolore ad elementi calcarei di dimensioni centimetrico-decimetriche (debris flow). Alla base delle brecce sono presenti livelli di Argille a Palombini.

La deposizione di questa formazione è avvenuta in ambiente pelagico in facies torbiditica.

Affiorano nella porzione centrale del territorio livornese, nel settore meridionale e in quello orientale adiacente al confine.

DOMINIO LIGURE ESTERNO – UNITA' DI MONTE MORELLO, UNITA' DI SANTA FIORA

- Formazione di Monte Morello (MLL) (Paleocene Superiore – Eocene Medio)

Si tratta di una formazione torbiditica costituita dall'alternanza dei seguenti litotipi:

- Calcari marnosi compatti, bianchi o giallognoli a frattura concoide in strati di spessore variabile da pochi centimetri a qualche metro.

- Marne calcaree e marne granulari gialle o grigie con caratteristica sfaldatura “a saponetta” anch'esse in strati di spessore variabile da una decina di centimetri ad oltre dieci metri.

- Calcareniti fini grigio chiare, marroni se alterate, in strati di spessore inferiore al mezzo metro. Localmente, associate a queste, si rinvencono calciruditi, anche grossolane di color grigio chiaro.

- Arenarie grigie, marroni per alterazione, di solito in strati di spessore dai dieci ai quindici centimetri, ricche di calcare (più del 50%) e quarzo. In genere sono associate alle argilliti ed hanno le stesse strutture sedimentarie delle calcareniti.

- Argilliti grigio-scure a sfaldatura lamellare o scagliosa. Solitamente si presentano in strati piuttosto sottili alternate ai calcari; localmente possono raggiungere spessori di qualche metro.

Lo spessore degli strati varia da pochi centimetri ad alcuni metri. Verso la base è presente talora una litofacies prevalentemente marnosa con colorazioni che variano dal rosa al verdastro e con rare intercalazioni di marne argillose brune. Localmente sono presenti liste di selce nera.

In generale i calcari marnosi e le marne calcaree costituiscono circa l'80% dell'intera formazione e inoltre è possibile definire che le intercalazioni di materiale arenaceo e /o argillitico diminuiscono di spessore salendo nella sequenza; comunque da zona a zona si possono notare differenti anche se lievi ma interessanti.

Il passaggio alla sottostante Formazione di Sillano avviene in modo brusco con la comparsa di argilliti nere e brune. La natura di tale passaggio è incerta: in vari casi potrebbe essere stratigrafica ma in altri la netta discordanza angolare tra le due formazioni e la presenza di un certo grado di tettonizzazione nella Formazione di Sillano farebbe supporre una natura tettonica.

Affiora secondo una lineazione che attraversa tutto il perimetro comunale, a partire da sudest (area di Montenero) fino a nordovest (settore Monte la Poggia), in accordo con l'assetto tettonico generale delle unità antiche livornesi.

- Formazione di Sillano – Santa Fiora (SIL) (Cretaceo superiore - Paleocene)

Argilliti e siltiti fogliettate, scure (grigie o nerastre) o variegata (rosse, marroni e verdastre), alternate o con intercalazioni di strati calcilutitici, talora silicee, marnosi, calcarenitici e calcareo-marnosi torbiditici a grana fine, talora litografici, da sottili a molto spessi, di colore nocciola o giallastri all'alterazione, grigio chiari al taglio, talvolta con patina verdastra. Frequenti strati gradati calcarenitici (tipo "Pietraforte") da medio-fini a grossolane grigio-scure, marroni all'alterazione. I livelli calcarei si presentano spesso con fatturazione ad incudine.

Nella facies più comune le argilliti sono prevalenti e inglobano strati, in genere sottili, degli altri tipi litologici.

Altre facies abbastanza diffuse sono formate da una maggiore quantità di arenarie, fittamente interstratificate con argilliti grigie con o senza rare intercalazioni di calcari marnosi e marne.

Può, inoltre, presentare variazioni laterali di litologia con aumento della componente argillitica, oppure aumento, fino alla prevalenza, della componente arenacea (con passaggio alla "Pietraforte").

Localmente sono presenti impregnazioni nerastre di ossidi di manganese.

La Formazione di Sillano rappresenta la base della Formazione di Monte Morello; data però la condizione tettonica generale, in certe aree può risultare ridotta in spessore o non essere presente al di sotto di quest'ultima. Il passaggio alla superiore Formazione di Monte Morello può presentarsi sia brusco oppure graduale mediante alternanza.

La porzione basale è solitamente caoticizzata ed i termini litoidi si ritrovano spezzettati e immersi in una massa argillitica.

Data la natura prevalentemente argillitica di questa formazione, la deformazione tettonica è spesso assai intensa, rendendo talvolta mal calcolabile lo spessore originario, anche a causa di probabili raddoppi tettonici interni.

Rappresenta uno degli affioramenti più estesi, con direttrice media sudovest-nordovest. Presente principalmente nel settore interno centro-orientale (in parte ricopre il bacino medio-alto del Rio Maggiore) e secondariamente nel settore collinare-costiero a monte del Maroccone (parte del bacino del Rio Maroccone e del Fosso del Malpasso, zona viale Tirreno e zona di Montenero).

DOMINIO SUBLIGURE – UNITA' DI CANETOLO

- Marne di Marra (MRR) (Oligocene)

Marne silteose grigie, con viraggio al giallastro sulle superfici alterate, a stratificazione generalmente indistinta, talora intercalate da livelli più sabbiosi e da strati arenacei. Il contatto con le sovrastanti Argille e Calcari di Canetolo è interpretato come tettonico, ma non risulta mai ben esposto.

Lo spessore geometrico dell'unità è localmente limitato.

L'ambiente di deposizione varia da emipelagico a terrigeno torbiditico fine, con localizzati apporti più grossolani.

Sono presenti limitatamente a tre affioramenti costieri di scarsa estensione, presso la Spiaggia del Miramare e la Spiaggia della Ginestra.

- Argille e Calcari di Canetolo (ACC) (Paleocene inferiore - Eocene)

Argilliti grigio-nere e variegata, fissili, argille marnose verdi, bruno-rossastre e grigio scuro o nerastre, in strati da medi a molto spessi, con intercalazioni ed alternanze di calcilutiti color avana in strati medio-sottili, di calcareniti fini e finissime grigio scure, di marne calcaree biancastre e grigie, di calcari marnosi scheggiosi e fratturati grigi o verdi con spalmature di ossido di manganese in strati spessi e molto spessi e di calcari torbiditici grigio-biancastri, di areniti, spesso bioclastiche, e siltiti in strati gradati e laminati medio-sottili.

Sono riferibili ad una sedimentazione emipelagica, intervallata da torbiditi intrabacinali e terrigene.

Ambiente marino profondo.

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 gran parte della scarpata di costa ed al piede delle prime pendici.

DOMINIO TOSCANO – FALDA TOSCANA

- Macigno (MAC) (Oligocene superiore – Miocene inferiore)

Arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatiche grigie o grigio-verdi, da medio fini a grossolane, in strati da spessi a molto spessi, talvolta amalgamati, a cui si intercalano strati sottili di arenarie fini, siltiti, argilliti e argilliti siltose; nella parte superiore localmente prevale una litofacies pelitico-arenacea con strati da sottili a spessi; a vari livelli, la formazione è caratterizzata inoltre dalla presenza di rare torbiditi calcaree a base calcarenitica talvolta ricca di bioclasti.

Affiora lungo la costa di Calafuria-Calignaia, dal Botro Maroccone alla Cala del Leone. La placca ha un'estensione massima di ca 1 km; lo spessore della formazione è di qualche centinaio di metri; forma una sorta di modesta protuberanza della costa livornese in direzione SE.

UNITA' CON METAMORFISMO DI ALTA PRESSIONE – UNITA' DI CALA GRANDE

- Metabasalti con strutture a pillow (GBA) (Giurassico)

Unità ofiolitica di ambiente oceanico profondo (fossa) costituita da metabasalti di colore verde scuro, massicci e/o con relitti di strutture a pillow e in subordinate metagabbri, prasiniti variamente listate.

Affiorano presso Punta Maestra.

- Serpentiniti (SIG) (Giurassico)

Serpentiniti, serpentinoscisti, scisti ad antigorite e scisti a tremolite-actinolite. In subordinate metagabbri e metabasalti milonizzati.

Trattasi di peridotiti intensamente metamorfizzate nei processi tettonici.

Affiorano all'interno di Punta Maestra, in contatto con i metabasalti.

UNITA' CON METAMORFISMO DI ALTA PRESSIONE – UNITA' DI CALA PIATTI

- Calcescisti di Punta Gorgona (CPG) (Cretaceo)

Rocce metamorfiche ad affinità toscana differenziate da quelle ad affinità oceanica.

Si tratta di calcescisti di colore grigio scuro, filladi grigie e grigio-bluastre associate a metapeliti nere e metarenarie; micascisti di colore grigio e grigio-bluastro, marmi a silicati, quarziti grigio-verdastre e cloritoscisti di colore verde lucente.

Costituiscono la quasi totalità dello scheletro dell'Isola di Gorgona, ad eccezione delle estremità nordorientale e sudoccidentale.

- Calcescisti di Punta Gorgona, Marmi grigi (CPGa) (Cretaceo)

Marmi grigi a silicati.

Affiorano in filoni all'interno dei calcescisti.

- Calcescisti di Punta Gorgona, Metareniti marrone chiaro (CPGa) (Cretaceo)

Arenarie metamorfizzate di colore marrone chiaro; metamorfismo di contatto e/o orogenico.

Affiorano in filoni all'interno dei calcescisti.

- Metareniti di Cala Pancia (MPC) (Cretaceo)

Metarenarie a struttura occhiadina con intercalazioni di filladi, di colore marrone chiaro e grigio cinereo in strati medio spessi alteranti a livelli da centimetrici a decimetrici pelitico-filladici.

Affiorano nel settore sudoccidentale dell'Isola di Gorgona e in due piccoli scogli affioranti.

3.4 STRUTTURA GEOLOGICA DEL TERRITORIO CONTINENTALE

Con riferimento alla Carta Geologica e alla relativa legenda, l'ossatura dei Monti Livornesi, ad eccezione della placca arenacea del Macigno affiorante a Calafuria (unica formazione della falda toscana, età 35-40 My, Oligocene), è costituita da formazioni rocciose alloctone, cioè dislocate da movimenti tettonici facenti capo alle fasi orogenetiche dell'Appennino centro settentrionale.

Si tratta di unità "Liguri", di età generale compresa fra il Giurassico e il Paleocene (165-45 My); la denominazione si riferisce all'ormai scomparso oceano "ligure-piemontese" nel quale si sono sedimentati e diagenizzati questi litotipi sedimentari prima del loro sollevamento e dislocazione nella posizione attuale.

I litotipi sono numerosi, ma prevalgono quelli argillitico-scistosi (argille fissili generalmente ad assetto caotico con intercalazioni di calcari silicei e marnosi), come le Argille a Palombini, il Flysch di Ottone Monteverdi, etc... Tale unità si rinvengono come detto un po' dovunque, in particolare sul Monte Burrone, al Castellaccio, al Limoncino, presso la Valle Benedetta; oltre ad affiorare nei settori collinari, sviluppati verso est, costituiscono il substrato della Piana di Livorno e di tutto il settore urbanizzato, sul quale si rinvengono le unità alluvionali più recenti a carattere prevalente sabbioso-limoso. La profondità del substrato (bed-rock) al di sotto delle alluvioni è variabile, comunque cresce rapidamente allontanandosi dalle pendici collinari verso ovest, fino ad arrivare a molte centinaia di metri presso i settori costieri portuali vicino al Calambrone (mancano sondaggi profondi di intercettazione).

Le unità lapidee "liguri" affiorano inoltre sulla scarpata costiera e sui primi versanti della fascia pedecollinare, dal retroterra di Antignano fino a Collinaia, Monterotondo ed oltre Villa Padula.

Oltre agli argilloscisti si rinvengono, più antichi, i diaspri e le rocce ofiolitiche (serpentiniti, gabbri). I diaspri sono diffusi in special modo nella facies rossa del Romito (affioramento stradale molto bello), presso la Valle Benedetta e in località Sassorosso a Montenero.

Le "rocce verdi", serpentiniti (= peridotiti serpentinite), gabbri (rosse intrusive) e basalti (rocce effusive di origine sottomarina) sono presenti in estesi ammassi a formano interi rilievi come Poggio Corbolone, il Monte Maggiore, il Poggio Ginepraia e Montauto.

Oltre a ciò, i terreni di età miocenica, rappresentati da conglomerati di rocce ofiolitiche e da calcari organogeni (tipo "calcere di Rosignano"), affiorano con una fascia quasi continua sul versante orientale dei monti livornesi e in piccoli lembi sul versante tirrenico.

Su questi litotipi giacciono depositi argillosi e marnosi, nonché gessi, affioranti in località Popogna sul Rio Maggiore, presso la Valle Benedetta e in loc. Limone.

I depositi pliocenici, rappresentati dalle "Argille azzurre" di origine marina trasgressiva, sono visibili sui piccoli rilievi del Cisternino, 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.

Questa formazione è infatti per lo più sviluppata in profondità al di sotto dei terrazzi pleistocenici, con spessori molto elevati sia al di sotto della fascia urbanizzata che presso i settori portuali antichi (mediceo) e recenti (porto industriale al Calambrone). Si sono depositi in ambiente di bacino marino profondo con scarse comunicazioni col mare aperto.

La serie stratigrafica prosegue quindi con le formazioni del Quaternario. I sedimenti delle varie unità stratigrafiche si sono via via 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 di sedimenti ancora marini e di colmamento, di modesto spessore, e, al tetto, di sedimenti continentali, eolici, salmastro-palustri e deltizio-fluviali, sempre di spessore modesto. I depositi quaternari e pleistocenici, per lo più sabbioso-argilloso-limosi (tipicamente le sabbie, sabbie ciottolose, le sabbie siltose argillose Ruscignano-Villafranchiane, quindi le Sabbie e Argille ad *Arctica* non affioranti ma intercettate in campionatura ordinaria di sondaggi subito al di sotto dei depositi terrazzati costieri in corrispondenza del settore urbanizzato e portuale, breccie e conglomerati, panchina calcarenitica), affiorano in corrispondenza dei tre ordini di terrazzi morfologici che caratterizzano la fascia pedecollinare e il *plane* di Livorno, in seguito meglio descritti. Tali unità giacciono su un substrato costituito all'estremo sud dal Macigno di Calafuria (serie autoctona), nella zona centro-meridionale dalle successioni liguri alloctone e nella zona centrosettentrionale dai sedimenti miocenici (conglomerati, ofioliti, rocce gessose) e pliocenici (argille azzurre).

AFFIORAMENTI LUNGO LA COSTA

Lungo la costa gli affioramenti principali sono visibili a partire dalla foce del Chioma fino alla Spiaggia della Tamerice risultano riconducibili alle seguenti situazioni:

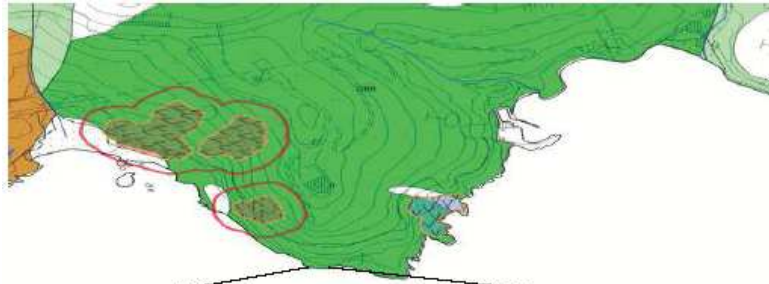
Dalla Foce del Rio Chioma fino alla foce del Torrente Rogio:

Argilliti a Palombini (APA), in verde chiaro nella rappresentazione cartografica che segue riferita alle due immagini fotografiche:

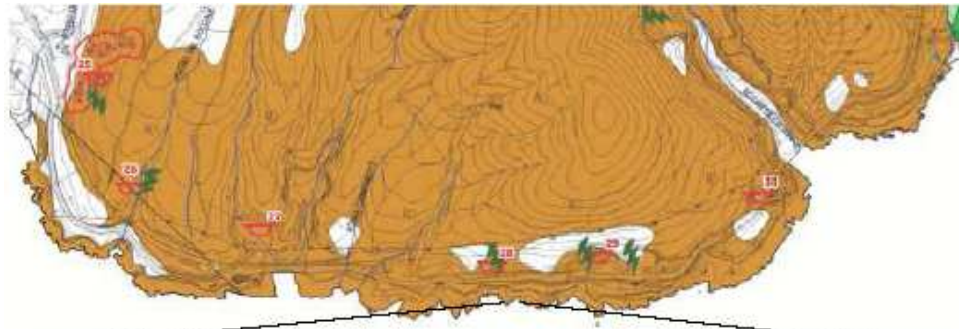


Dalla foce del Torrente Rogiolo fino alla Cala del Leone:

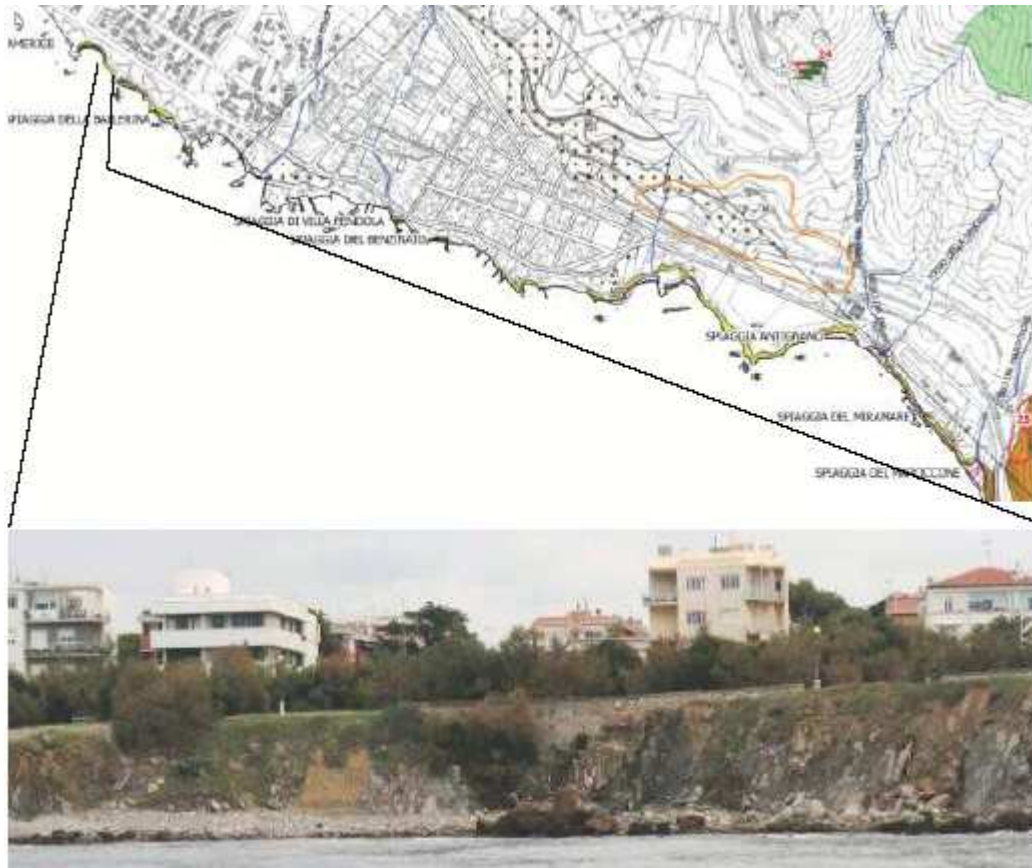
Gabbri con filoni basici (GBB), in verde scuro nella rappresentazione cartografica come mostrate nelle due immagini fotografiche successive:



Dalla Cala del Leone alla foce del Rio Maroccone:
Arenaria "Macigno" (MAC), in marrone chiaro nella figura sotto e nelle due foto successive:



Dalla foce del Rio Maroccone fino alla Spiaggia della Tamerice:
Argille e Calcari di Canetolo (ACC) per la maggior parte di costa (verde oliva nella fig. sotto), con una traccia di Breccie Ofiolitiche (BROe) in adiacenza alla Spiaggia suddetta, con un piccolo promontorio locale.

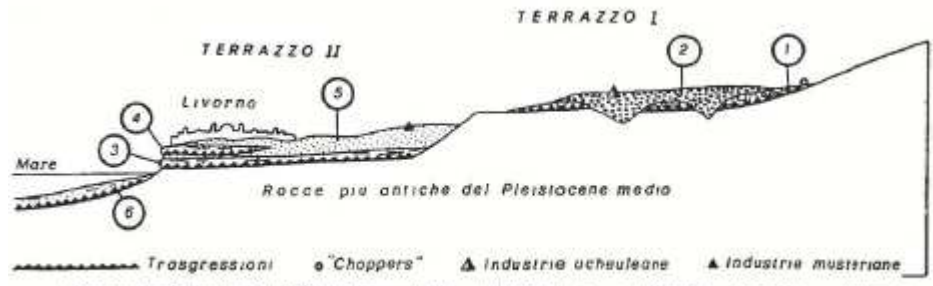


3.5 SINTESI ASSETTO STRATIGRAFICO

Nel territorio continentale del Comune di Livorno 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 e le piane.

Quindi a partire dal alto verso il basso, in ordine di età crescente, la colonna stratigrafica elementare dell'area livornese mostra la seguente sequenza:

- Depositi alluvionali recenti sviluppati nel settore Nord di Ponte Ugione e nella fascia costiera a sud della foce dello Scolmatore dell'Arno. A tali depositi l'attività antropica ha aggiunto cospicue coltri di riporto in direzione ovest per la realizzazione dei recenti ampliamenti dei settori portuali.
- Un complesso quaternario che caratterizza la Piana di Livorno, costituito dai sedimenti marini della fascia costiera (sabbie e argille ad Artica) e da depositi continentali (terrazzamenti pleistocenici) con presenza di tre ordini di intercalazioni di "panchina" calcarenitica.
- Un complesso neogenico, rappresentato da sedimenti lacustri e marini del Miocene Superiore e dai depositi marini del Pliocene (argille azzurre).
- Un complesso lapideo antico (bedrock) che caratterizza la parte collinare di Livorno, con netta prevalenza di formazioni argillitico-marnose delle Successioni Liguri, comprendenti anche strati calcarei e silicei e grandi ammassi di ofioliti, oltre alla formazione arenacea della Serie Toscana presso Calafuria.



Schema stratigrafico (non in scala) dei dintorni di Livorno (da Mazzanti, 1987). 1 - Conglomerati di Villa Umberto I; 2 - Sabbie rosse di Villa Padula; 3 - "Panchina" I; 4 - "Panchina" II; 5 - Sabbie arancio di Ardenza; 6 - Sedimenti della trasgressione versiliana.

Schema classico (Mazzanti) dei terrazzamenti livornesi



Placca di Panchina pleistocenica (terrazzo I) sopra le argilliti a Palombini

CARTA MORFOLOGICA SCHEMATICA DELLA PIANA DI LIVORNO (1973 - 1974)

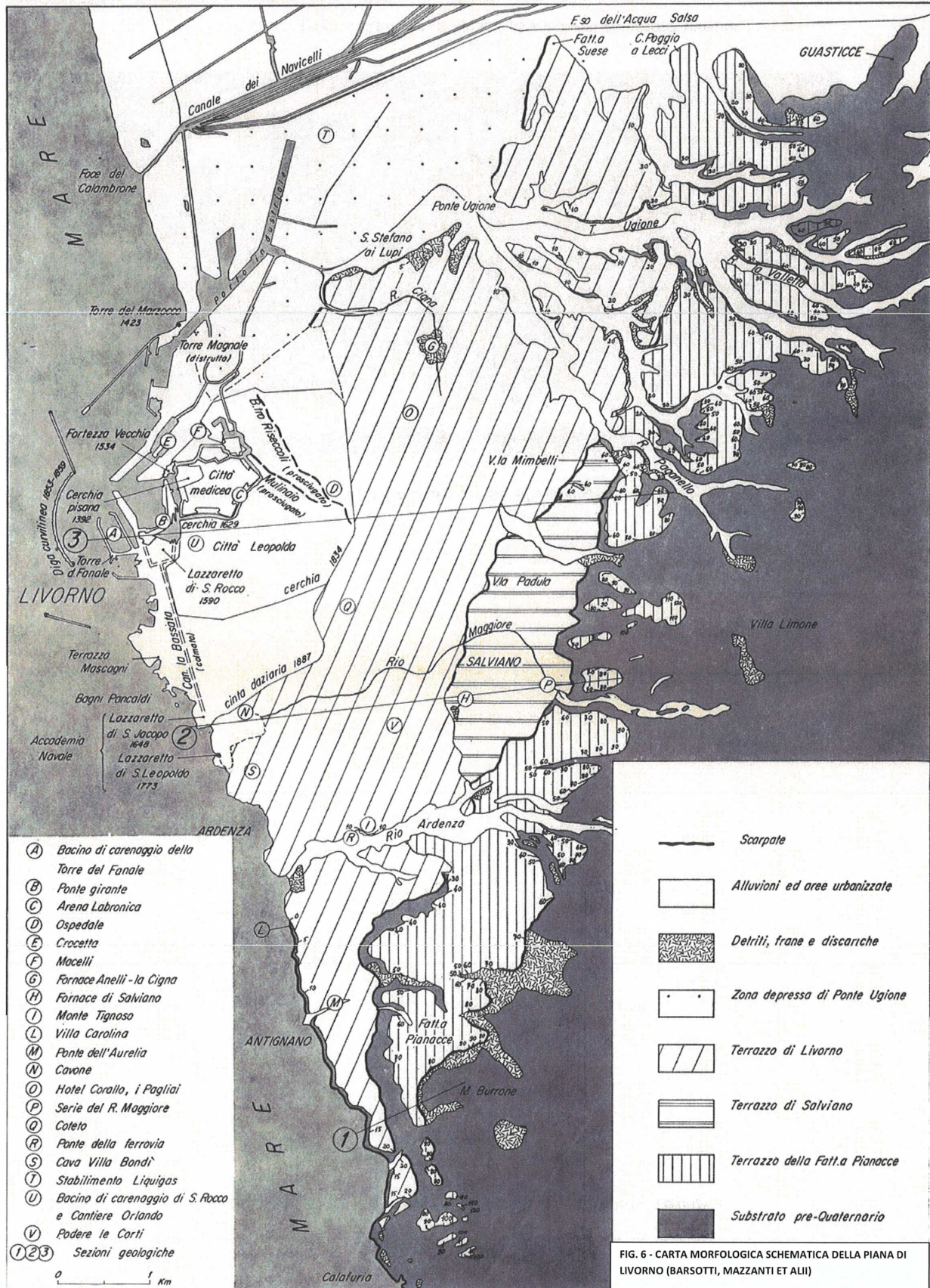
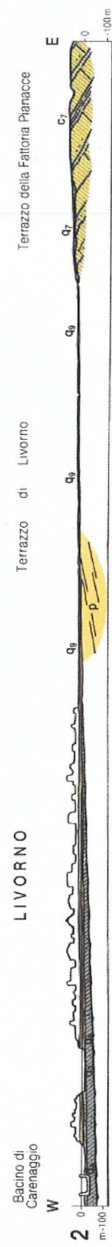
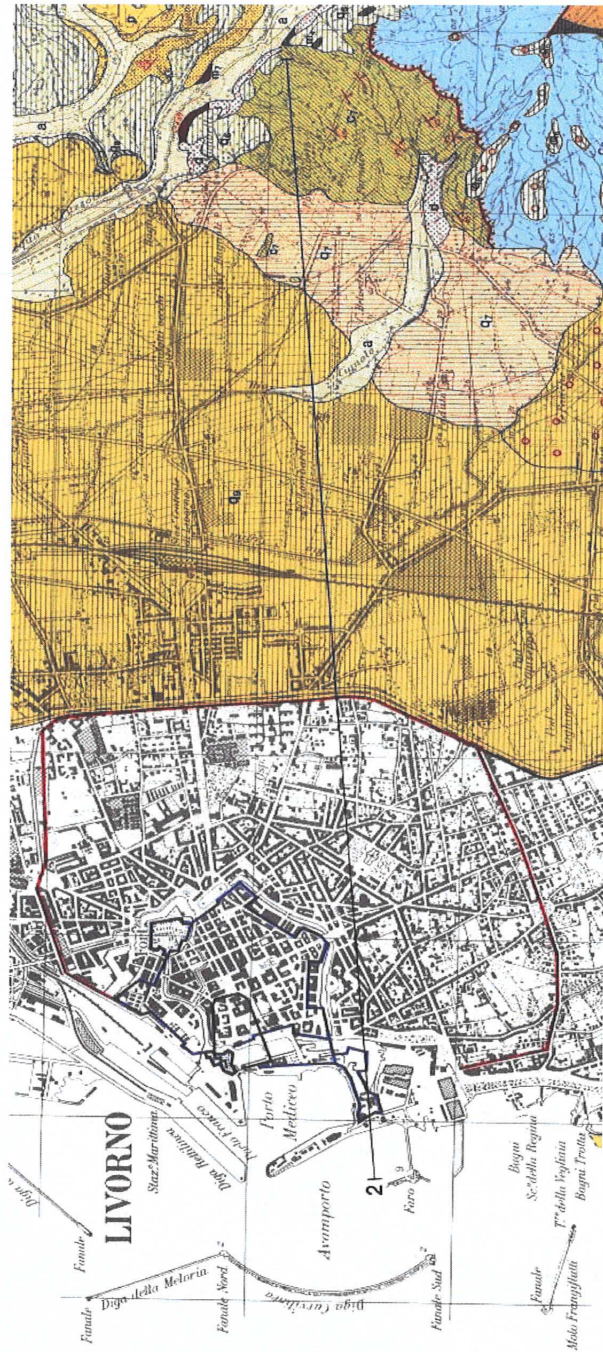


FIG. 6 - CARTA MORFOLOGICA SCHEMATICA DELLA PIANA DI LIVORNO (BARSOTTI, MAZZANTI ET ALII)

Si fornisce di seguito uno stralcio della Carta Geologica di Livorno e Collesalveti di Lazzarotto, Mazzanti et alii e due sezioni interpretative che bene inquadrano, a livello invasivo, la situazione geologica generale del territorio livornese



Sezione geologica interpretativa W-E attraverso l'area portuale (Lazzarotto, Mazzanti et alii)

Studio di Geologia Applicata Dr. geol. Luca Mazzei - geologomazzei@virgilio.it

3.6 ULTERIORI CONOSCENZE SULLE UNITA' STRATIGRAFICHE DELLA PIANA

Un valido ausilio per la ricostruzione delle unità stratigrafiche del settore pianeggiante di Livorno è stato dato dal lavoro pubblicato sul Bollettino della Società Paleontologica Italiana da D'Antona et alii (2004) che illustra i principali risultati emersi da uno studio multidisciplinare condotto su 15 sondaggi guida nell'area di Livorno.

Questo studio interessa un'area situata sul terrazzo eustatico di Livorno ed il settore più meridionale della Pianura di Pisa, fra loro separati da una scarpata di origine erosiva nota in letteratura come "Gronda dei Lupi". Sulla base di test paleontologici di datazioni 14C e di approfondimenti paleogeografici definisce, il succedersi di diverse Unità stratigrafiche con una certa precisione.

L'interpretazione stratigrafica dei 15 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.

Nel dominio del Terrazzo di Livorno è stato possibile confermare la presenza al di sotto della panchina Eutirreniana di sedimenti marini del ciclo Santerriano-Emiliano.

Tuttavia la successione pleistocenica risulta caratterizzata da due unità riconosciute per la prima volta. In un sondaggio terebrato in prossimità della "Gronda dei Lupi" sono stati riconosciuti sedimenti da costieri a transizionali; gli Autori affermano che questi sedimenti che indubbiamente necessitano di ulteriori approfondimenti potrebbero essere l'espressione di un ciclo di probabile età pleistocenica superiore e posteriore alla deposizione della "panchina" Eutirreniana.

Si descrivono di seguito sinteticamente le Unità stratigrafiche riconosciute nel citato studio:

UNITA' 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-unità: 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-Unità 1A è stata confermata l'età del Pleistocene Inferiore, mentre le faune rintracciate nella Sub-Unità 1B suggeriscono il Pleistocene Inferiore. Le microfaune presenti indicano che i sedimenti della Sub-Unità 1A si sono depositi in un ambiente a normale salinità con locali influenze di fresh-brackish waters, mentre la Sub-Unità 1B è caratteristica di una non favorevole condizione paleo-ambientale riferibile probabilmente ad brackish water setting.

L'unità 1 mostra 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 Calabriano costituiti in prevalenza da argille con sabbie e da conglomerati minuti. Facendo particolare riferimento alla stratigrafia descritta durante i lavori di scavo del Bacino di Carenaggio della Torre del Fanale (Livorno, 1971), a questa Unità appartengono n. 6 livelli così descrivibili dal più livello antico:

LIVELLO 1 - Argilla un po' sabbiosa, azzurra pressochè priva di macrofossili (max. 4.00 m.)

LIVELLO 2 - Limo ed argilla grigio blu con minuti ciottoli sparsi e ricchezza di macrofossili (max. 2.00 m.);

LIVELLO 3 - Limo e sabbia argillosa grigio-blu in strati di circa 10 cm. Con abbondante malacofauna e frammenti di tronchi lignitizzati (max. 2.00 m.);

LIVELLO 4 - Argilla azzurra con sottili letti di argilla sabbiosa. Macrofossili frequenti nelle intercalazioni sabbiose (max. 7,00 m.);

LIVELLO 5 - Sabbia talora cementata di colore grigio con zone giallo ocre. Diffusi ciottoli da costituire un vero e proprio conglomerato. Estremamente fossilifero. (max. 1.00-1.50 m.);

LIVELLO 6 - Argilla leggermente siltosa azzurra, macrofossili quasi del tutto assenti (max. 4.00 m.).

UNITA' 2

Anche questa Unità stratigrafica che compare dalla prossimità del bordo della 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 reperimento delle faune ad Ostracodi indica 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.

UNITA' 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).

UNITA' 4

Consiste in una 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 se,pre attribuibile al Pleistocene superiore.

UNITA' 5

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

UNITA' 6

Questa Unità comprende limi sabbiosi e limi argillosi con sabbie. 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 delle Unità 3 e 4.

UNITA' 7

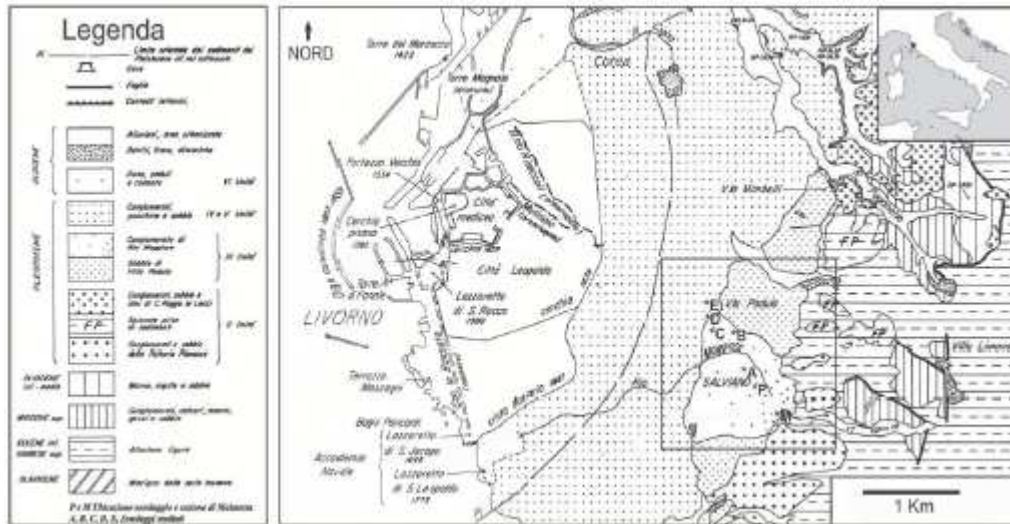
Questa Unità include due Sub-Unit: la 7A consiste in una sabbia grossolana con locali concentrazioni di ghiaia, mentre la più superficiale (Sub-Unit 7B) comprende alternanze di limi sabbiosi e sabbie limose ricche in Posidonia oceanica con locali frammenti di conchiglie marine.

Altre indicazioni possono essere desunte da uno studio di A.Bossio et alii (2004) "Nuovi dati sulle successioni del sottosuolo di Livorno".

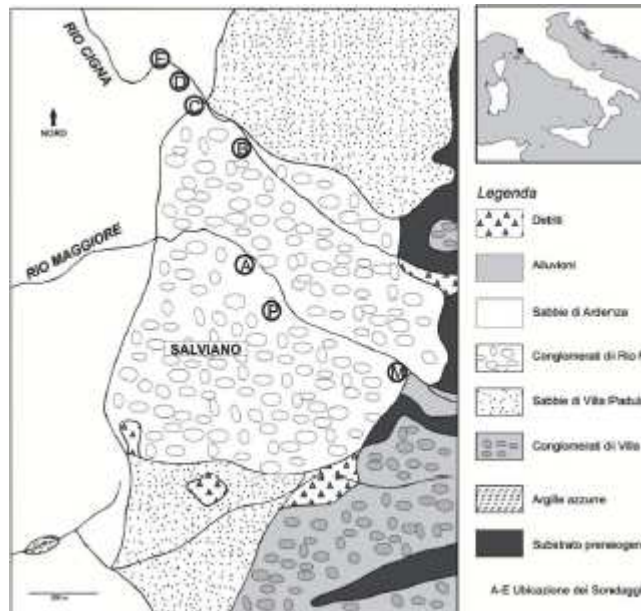
I risultati ottenuti dallo studio di cinque sondaggi a carotaggio continuo (profondità massima di venticinque metri dal p.c.) effettuati nella località di Salviano (Livorno). Le analisi effettuate includono osservazioni litologiche, sedimentologiche, macro e micropaleontologiche le quali hanno permesso di individuare cinque unità litostratigrafiche informali.

Dal basso esse sono:

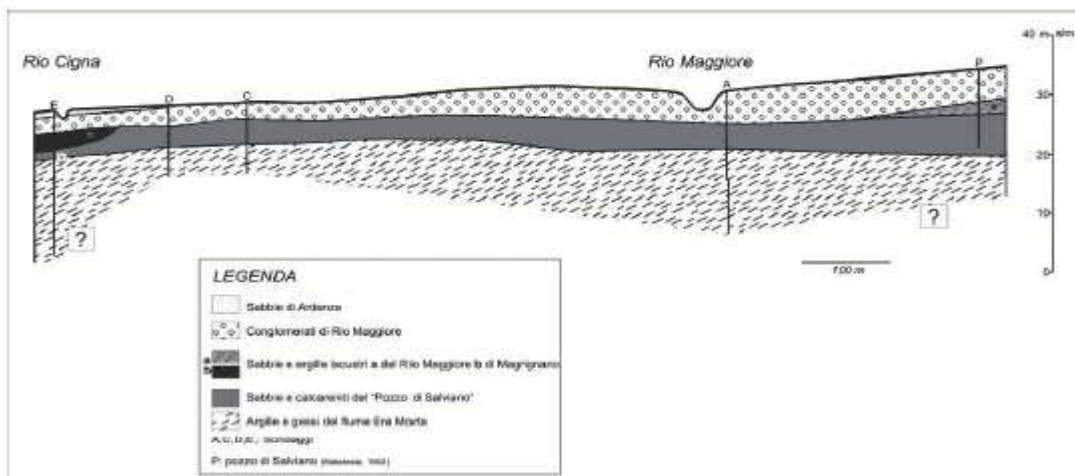
- Unità 1: limi sabbiosi e sabbie fini con associazioni ad ostracodi di ambiente continentale caratteristiche del Messiniano superiore (Zona a *Loxocorniculina djafarovi* Ssensu Carbonnel, 1978).
- Unità 2: sabbie fossilifere e calcareniti. Le associazioni ad ostracodi indicano un ambiente deposizionale marino litorale. Questa unità è attribuita al Pleistocene Medio sulla base di considerazioni di ordine stratigrafico e in accordo con quanto noto in letteratura.
- Unità 3: limi e sabbie fossilifere con noduli carbonatici. Questa unità è caratterizzata da una associazione a gasteropodi pulmonati, ostracodi e gasteropodi di ambiente acquatico con acque oligoaline.
- Unità 4: limi, sabbie e ghiaie. Tale unità è correlabile con la formazione di ambiente fluviale dei «Conglomerati di Rio Maggiore» affiorante nella zona di studio e attribuita al Pleistocene Superiore.
- Unità 5: limi sabbiosi e sabbie limose arrossate correlabili alla formazione delle Sabbie di Ardenza ed attribuita ancora al Pleistocene Superiore.



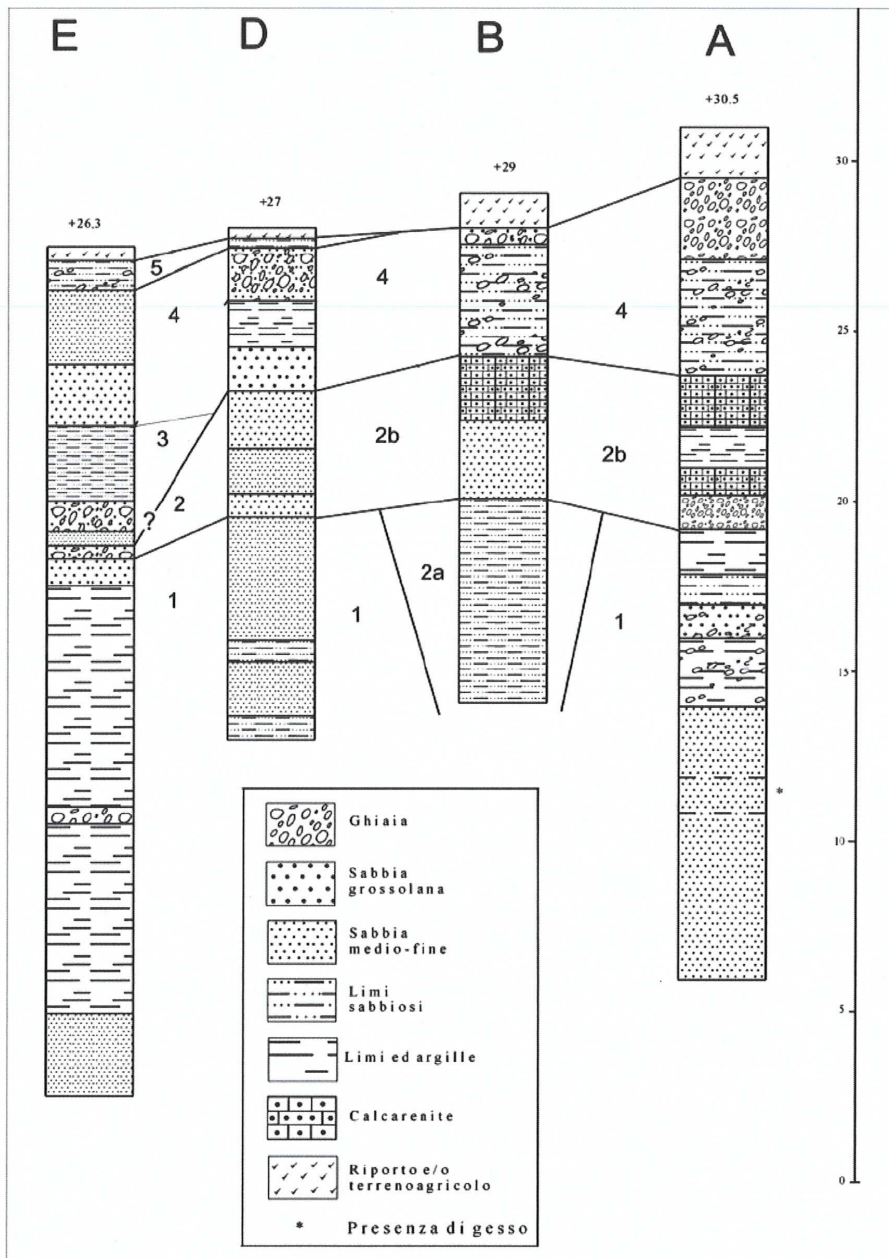
Ubicazione zona di studio



Dettaglio ubicazione sondaggi. Si noti in legenda la denominazione riferita alle formazioni della Carta Geologica di Lazzarotto e Mazzanti. Si tratta di ubicazioni sul Terrazzo di Salviano.



Sezione geologica schematica della zona di Salviano.



- i logs stratigrafici più significativi e la relativa sezione di correlazione su base litologica

STUDIO GEOLOGIA APPLICATA Dr. Geol. LUCA MAZZEI - geologomazzei@virgilio.it

Un interessante approfondimento stratigrafico dei settori costieri, in particolare portuali, viene dalle indagini geologico-tecniche eseguite a supporto della Variante anticipatrice al Piano strutturale e al regolamento

urbanistico per l'approvazione del Piano regolatore Portuale di Livorno, eseguite a cura del Comune di Livorno con il contributo del Dr. geol. A. Rafanelli su incarico dell'Autorità Portuale di Livorno.

Si riportano di seguito uno stralcio cartografico e alcune sezioni litologiche che esemplificano la notevole complessità dei settori costieri posti nelle adiacenze lato Sud dello Scolmatore dell'Arno, interessati da notevoli spessori alluvionali recenti.

Nella relazione geologico-tecnica si osserva che "Dall'analisi delle correlazioni litostratigrafiche (vedi sezioni pagine seguenti) si individuano 4 orizzonti principali:

1. Orizzonte 1, costituito da alternanze di sabbia limoso grigio-verde e sabbia limosa grigio scura, entrambe ricche di materia organica recente, risulta ben rappresentato in ogni sondaggio e marca una base (*marker litotecnico*) su una profondità compresa tra i 9,40 m. ed i 15,50 m. da s.l.m.m. con un accenno di aumento di profondità della base da Sud verso Nord.
2. Orizzonte 2 costituito da sabbia marrone oca con ciottoli e ghiaia di varia natura si rintraccia soltanto nelle colonne stratigrafiche dei sondaggi posti più a meridione. La sporadicità di queste litologie lascerebbe supporre che siamo in prossimità di antiche linee di scarico e di .sciacquature. della Panchina;
3. Orizzonte 3 costituito da alternanze di sabbie fini e medie ricche in resti conchigliari con livelli di argilla limosa con resti lignei e spessori di ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa grigio piombo è ben rappresentato in ogni sezione stratigrafica in quasi tutti i sondaggi fino al fondo foro;
4. Orizzonte 4 rappresentato da spessori di limi sabbiosi con ghiaie e resti conchigliari si rintraccia solamente in una sezione; il suo tetto si pone al minimo intorno ai -14,00 m. di profondità s.l.m.m. e nel Sondaggio S4 si ritrova fino al fondo foro -40,00 m. di profondità s.l.m.m..

E' possibile quindi sintetizzare la seguente situazione stratigrafica:

- Il substrato non rintracciato dalle analisi geognostiche dirette ed indirette e conosciuto solo sulla base di studi bibliografici ed in seguito all'esecuzione di sondaggi profondi è mio-pliocenico ed ha una natura prevalentemente argillosa o limo-argillosa;

- Ai piedi del Terrazzo morfologico si rinvengono delle alluvioni di conoide depositate dai torrenti livornesi costituite da ghiaie e sabbie grossolane che si rintracciano tra i -15.00 ed i -18.00 m. da piano campagna; più in profondità invece si rinvengono orizzonti di ghiaie intorno ai 30.00 - 35.00 m. da piano campagna riconducibili alla deposizione durante le modificazioni .in meandro. del paleo-Arno e Serchio;

- Al di sopra del substrato e verso l'entroterra si imposta il Terrazzo eustatico marino di Livorno del Pleistocene superiore costituito prevalentemente da sabbie, sabbie variamente cementate con intercalazioni e passaggi di sabbie limose. Il Terrazzo morfologico risulta delimitato verso ovest da una scarpata nota con il nome di Gronda dei Lupi;

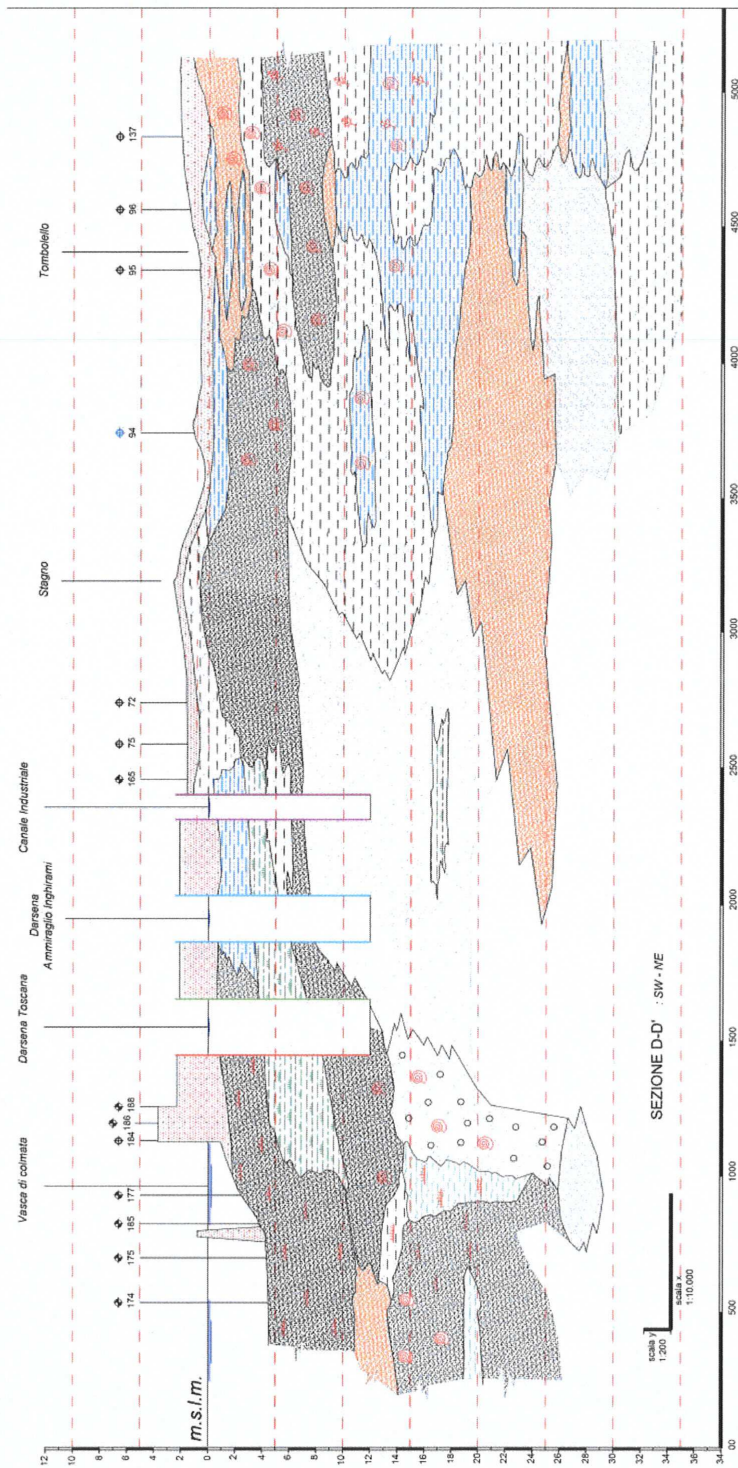
- In parte in contatto diretto con il substrato, in parte in lieve sormonto sul Terrazzo pleistocenico di Livorno, si trovano le formazioni post-tirreniane ed oloceniche costituite da sabbie limose e limi argillosi organici tipiche delle zone di transizione palude-mare; verso la superficie si rintracciano i cordoni dunali e le caratteristiche formazioni retrodunali di sabbie fini con elongazione Nord-Sud e disposizione sub-parallela verso la linea di costa;

- L'ambiente stratigrafico dell'areale in esame che si è evoluto secondo episodi sedimentari in ambiente fluvio-deltizio e marino ha subito una ulteriore e consistente trasformazione antropica relativa all'utilizzo del territorio prima ai fini agricoli e quindi industriali in relazione allo sviluppo dell'area portuale.














Stratigrafico cartografico area portuale con le tracce di sezione. Nelle figure delle pagine successive si mostrano le sezioni DD', F', F''

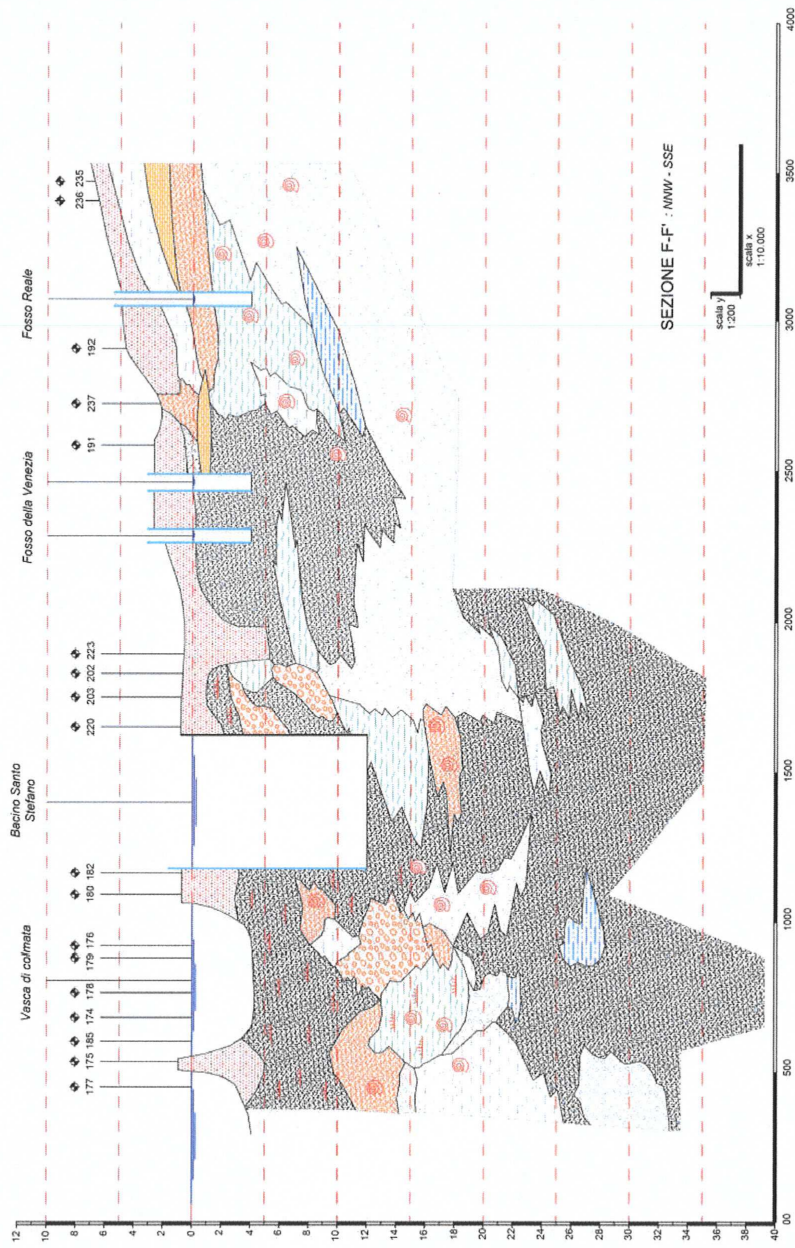
Studio di Geologia Applicata Dr. geol. Luca Mazzei - geologomazzei@virgilio.it



Sezione D - D' - fuori scala (legenda litologica a pagina seguente)

LEGENDA

-  Riempimento
-  Ghiaia
-  Argilla limosa
-  Sabbia
-  Limo sabbioso
-  Sabbia limosa
-  Limo argilloso
-  Materiale organico
-  Argilla
-  Calcarente
-  Depositi alluvionali



SEZIONE F-F' - NW-SE

-Sezione F - F' - fuori scala

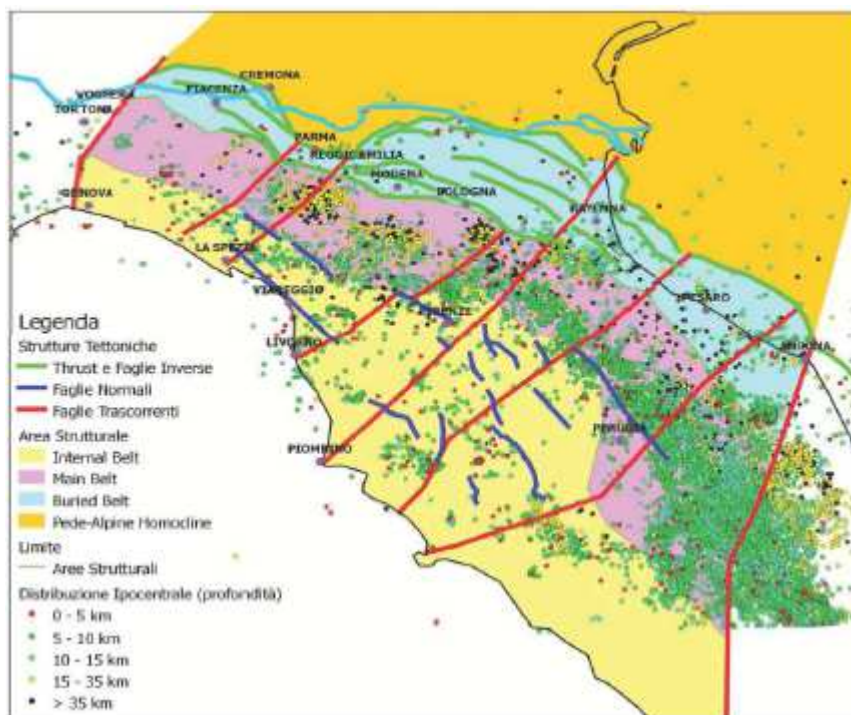
STUDIO GEOLOGIA APPLICATA Dr. Geol. LUCA MAZZEI - geologomazzei@virgilio.it

3.7 CENNI DI TETTONICA ED EVOLUZIONE DELL'AREA LIVORNESE

Dal punto di vista strutturale (v. illustrazione che segue), l'Appennino settentrionale può essere suddiviso in fasce omogenee longitudinali all'asse della catena (BARTOLINI *e al.*, 1983; BOCCALETTI *e al.*, 1985):

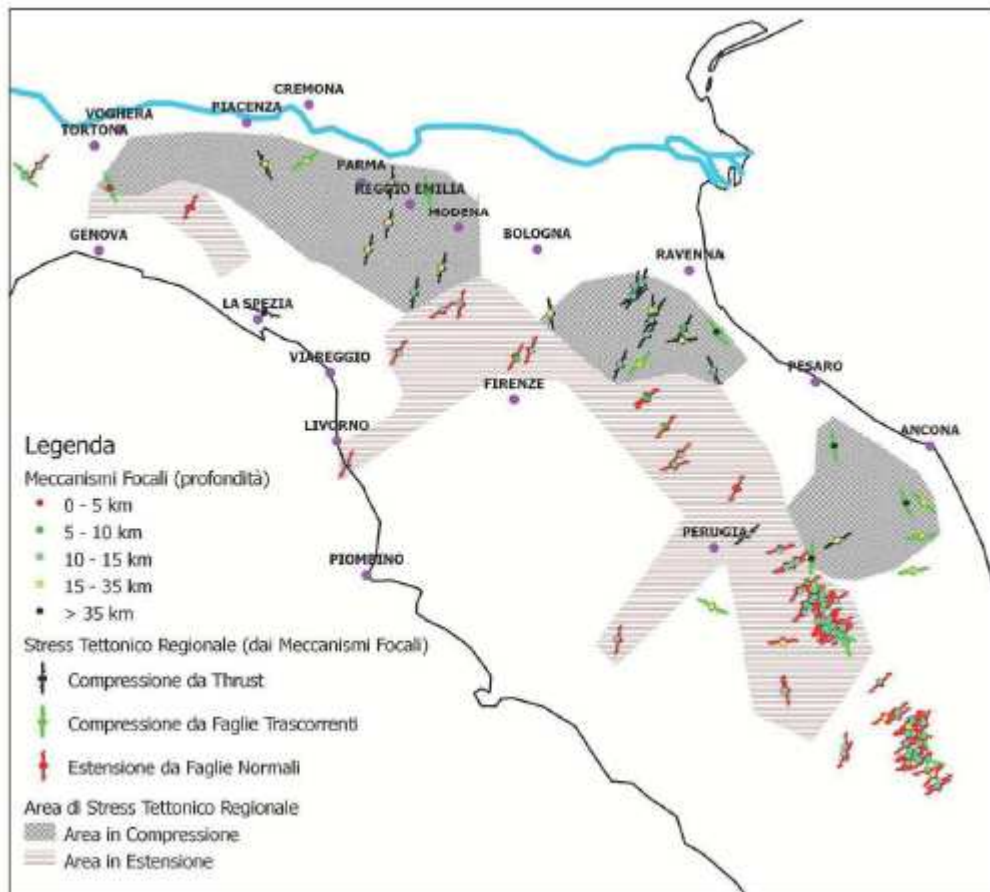
Internal Belt: caratterizzato da una successione di alti strutturali e bassi strutturali (*horsts* e *grabens*) disposti in direzione appenninica. Gli *horsts* e i *grabens* (bacini ricolmi di sedimenti marini e continentali non deformati) sono rappresentati da blocchi limitati ad est da sistemi di faglie principali normali e immergenti verso ovest, e ad ovest da faglie normali con immersione verso est. Questa geometria di faglie determina un susseguirsi di blocchi tiltati verso est, formando una gradinata in direzione del Tirreno. Le faglie a cinematica normale sono sovrimposte a preesistenti pieghe, sovrascorrimenti e ricoprimenti tettonici. Movimenti verticali connessi alle faglie normali hanno controllato la sedimentazione all'interno dei bacini (PLESI *e al.*, 1980; COSTANTINI *e al.*, 1980). Sono presenti numerose strutture magmatiche caratterizzate da dicchi dovuti al magmatismo tardo Miocenico e Quaternario (Radicofani e Monte Amiata).

Main Belt: disposto longitudinalmente alla catena appenninica, è suddivisibile in tre settori con caratteristiche geologiche differenti. Il settore nord è caratterizzato dalle unità appartenenti al dominio ligure, mentre il settore centrale è caratterizzato dalle unità della falda toscana e del Modino-Cervarola e il settore a sud è caratterizzato dalle unità appartenenti al dominio Umbro-Marchigiano. Tali settori sono limitati tra loro da faglie a direzione antiappenninica e d'importanza regionale (SIGNORINI, 1935; ZANZUCCHI, 1963; GHERARDONI, 1965; BORTOLOTTI, 1966; FAZZINI, GELMINI, 1982; SALVINI *e al.*, 1982).



Strutture tettoniche a larga scala dell'Italia centrale. In evidenza anche la faglia trascorrente LIVORNO - SILLARO e i principali ipocentri dei sismi

Le principali strutture trasversali da nord verso sud sono: Struttura Sestri - Cornegliano, Struttura Bracco - Parma, Struttura La Spezia - Concordia, **Struttura Livorno - Sillaro** (BORTOLOTTI, 1966), Struttura Piombino - Ravenna (Grosseto - Val Marecchia), Struttura Valle Alberga, Struttura Anzio - Ancona (SALVINI *e al.*, 1982). Le prime quattro strutture sono rappresentate da sistemi di faglie verticali a direzione antiappenninica e cinematica trascorrente sinistre (FAZZINI, GELMINI, 1982). Le successive invece sono rappresentate da sistemi di faglie verticali a direzione antiappenninica e cinematica trascorrente destre (FAZZINI, GELMINI, 1982).



Profondità dei meccanismi focali e suddivisione aree di stress compressivo ed estensivo

Dopo la sedimentazione delle arenarie del Macigno (Oligocene), l'area del Livornese è stata interessata dal corrugamento tettonico avvenuto nel successivo Miocene, che ha determinato localmente la messa in posto delle successioni Liguri della falda di ricoprimento proveniente da un bacino di sedimentazione ad ovest della Toscana marittima.

A partire dal Miocene Superiore, quindi, circa 10 My, inizia e si sviluppa 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). Tale fase estensiva 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 My.

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 cessa di essere guidato dai movimenti lungo le faglie ed assumono importanza le grandi oscillazioni del livello del mare legate all'eustatismo glaciale; ciò almeno lungo la fascia costiera interessata dai terrazzi eustatici.

Durante il Pleistocene Medio, che inizia 700.000 anni fa e dura circa 600.000 anni, si ha un lentissimo sollevamento che si esaurisce intorno ai 100.000/120.000 anni fa.

L'inclinazione delle spianate di base dei terrazzi sono lievi e sembrano dovute al processo di avanzamento della costa durante il progressivo innalzamento del mare nelle fasi eustatiche positive.

Durante il Pleistocene vengono quindi modellati i terrazzi che orlano verso mare i Monti Livornesi. La spianata più alta, il **Terrazzo di Fattoria delle Pianacce**, si è formata nell'interglaciale Mindel-Riss (250/400.000 anni fa), mentre il **terrazzo intermedio di Villa Padula** è di probabile età intrarissiana (200.000 anni).

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

Durante queste oscillazioni si ha il modellamento della spianata più bassa, il **Terrazzo di Livorno**, corrispondente più a sud a quello di **Quercianella** (vedi carta geomorfologica e figura a pagina seguente).

Con l'ultimo periodo Wurmiano (Wurm III-circa 20.000 anni fa), si ha il massimo abbassamento del livello marino, fino a 100 m rispetto a quello attuale.

Diecimila anni or sono inizia la grande risalita del mare (**trasgressione Versiliana**) fino al raggiungimento della posizione attuale.

Nell'area livornese, l'attività tettonica è dunque documentata fino al Pleistocene Inferiore.

Per età più recenti gli elementi di valutazione risentono dell'incertezza correlata alle difficoltà di cogliere dislocazioni tettoniche in genere di modestissima entità, perchè avvenute in tempi geologicamente brevi.

È da rilevare che nessuno dei terrazzi descritti è stato dislocato da faglie; le inclinazioni delle spianate di base di questi terrazzi sono sempre piuttosto lievi e sembrano dovute al processo di avanzamento della costa durante il progressivo innalzarsi del mare nelle fasi eustatiche positive.

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 circa 100.000 anni fa.



Si rappresenta il lembo sud del terrazzo più recente di Livorno, con affioramento della Calcarenite pleistocenica (giallo con rigato orizzontale) sopra le argilliti a Palombini più antiche (in verde).

3.5 MODELLO DI SOTTOSUOLO PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

Pur demandando alle trattazioni ed agli elaborati realizzati specificatamente per lo studio di Microzonazione Sismica di livello 1, 2 e 3 (Geologica Toscana, dicembre 2022) val la pena di soffermarsi su alcuni aspetti cui è stato fatto riferimento nello sviluppo dei citati studi di MS:

- elaborazione/ricostruzione del modello di sottosuolo,
- cartografia litotecnica e/o geologico tecnica (ex ICMSI) per la microzonazione sismica.

Viene definito come modello del sottosuolo “una rappresentazione tridimensionale approssimata di una porzione di sottosuolo, nella quale devono essere distinguibili gli elementi qualitativi e quantitativi necessari per il suo impiego nelle valutazioni funzionali alla specifica applicazione. Metodologicamente è il risultato di un processo interattivo e iterativo di trattamento di dati provenienti da diverse fonti informative, riconducibili a specifiche aree disciplinari: geologia, geofisica e geotecnica”.

In sintesi, il processo è indirizzato e finalizzato alla definizione del minimo numero di parametri necessari a fornire una ricostruzione di Unità Omogenee, cioè quelle unità caratterizzate da valori simili dei parametri rilevanti ai fini dello studio. Il processo prevede di passare da unità strettamente litologiche a unità caratterizzate da parametri geotecnici e geofisici simili.

In particolare, si definiscono per le diverse unità litologico/litotecniche:

- le geometrie e i limiti superiori, laterali e inferiori; in particolare, è importante stabilire il rapporto stratigrafico tra i terreni di copertura e il substrato geologico, per definire l'andamento morfologico del tetto del substrato geologico sepolto;
- l'assetto strutturale degli ammassi rocciosi ed eventualmente delle formazioni fortemente sovracconsolidate e/o cementate;
- le proprietà fisiche e meccaniche, sebbene secondo le loro intrinseche variazioni e valutazioni di incertezza;
- la posizione delle falde acquifere e le loro eventuali oscillazioni, con definizione delle condizioni idrodinamiche e di pressione interstiziale.

Il processo di costruzione del modello del sottosuolo ha preso l'avvio, quindi, dalla ricostruzione dell'assetto geologico-geomorfologico e strutturale delle aree indagate, effettuato sia mediante cartografie già a disposizione e redatte in passato, come la Carta Geologica Regionale (CARG e Continuum Geologico Regionale in scala 1:10.000), le cartografie geologiche, litologiche e litotecniche nella disponibilità dell'Amministrazione Comunale, realizzate nel novero degli allestimenti dei "quadro conoscitivo" di precedenti atti pianificatori. Tutta l'informazione geologica acquisita, coadiuvata dai dati geotecnici e geofisici, è stata tradotta in un modello, sintetizzato nella Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica (elaborata in otto fogli in scala 1:5.000) e relative sezioni.

L'insieme dei dati geologici finalizzati a definire modelli del sottosuolo, particolarmente inerenti alla Microzonazione Sismica, hanno consentito di:






- distinguere il substrato geologico dai terreni di copertura;
- definire le loro geometrie;
- individuare, nei terreni di copertura, le aree soggette a fenomeni di instabilità dei versanti.

Ai dati di superficie sono stati aggiunti quelli prelevati in profondità con le indagini geognostiche:

- successioni litostratigrafiche;
- contatto terreni di copertura – substrato geologico.

La cartografia geologico tecnica rappresenta, secondo quanto previsto dalle norme ICMS (versione 4.1 dell'ottobre 2017), l'elaborato di compendio di tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche) necessarie alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) e alla carta di microzonazione sismica.

Le unità geologico-litologiche sono state distinte tra terreni di copertura, con spessore minimo di 3,0 m, e substrato geologico rigido o non rigido, per giungere ad una standardizzazione delle informazioni relative agli aspetti geologici e litotecnici. La suddivisione dei litotipi in classi predefinite ha permesso, così, di identificare situazioni litostratigrafiche potenzialmente suscettibili di amplificazione locale o di instabilità. Le tipologie dei terreni di copertura in base alle caratteristiche litologiche e i relativi codici corrispondenti vengono descritti utilizzando l'Unified Soil Classification System (ASTM, 1985, modificato), come di seguito presentato:

Terreni di copertura		
	RI	Terreni contenenti resti di attività antropica
	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie
	GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
	GM	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
	GC	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla
	SW	Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose
	SP	Sabbie pulite con granulometria poco assortita
	SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
	SC	Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla
	OL	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità
	OH	Argille organiche di media-alta plasticità, limi organici
	MH	Limi inorganici, sabbie fini, Limi micacei o diatomitici
	ML	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
	CL	Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
	CH	Argille inorganiche di alta plasticità, argille grasse
	PT	Torbe ed altre terre fortemente organiche

Legenda della Carta Geologico Tecnica: terreni di copertura

In aggiunta per i terreni di copertura vengono riportati i codici relativi agli ambienti di possibile genesi e deposizione dei terreni di copertura.

Ambiente vulcanico	
Colate/spandimenti/cupole/domi/dicchi/coni lavici	la
Coni scorie/ceneri	sc
Coltri ignimbritiche	ig
Lahar (colate di fango)	lh
Ambiente di versante	
Falda detritica	fd
Conoide detritica	cd
Conoide di deiezione	cz
Eluvi/colluvi	ec
Ambiente fluvio - lacustre	
Argine/barre/canali	es
Piana deltizia	dl
Piana pedemontana	pd
Bacino (piana) intramontano	in
Conoide alluvionale	ca
Terrazzo fluviale	tf
Lacustre	lc
Palustre	pa
Piana inondabile	pi
Ambiente carsico	
Riempimento di dolina/karren/vaschetta/sinkhole	do
Forme costruite presso sorgenti	so
Forme costruite in canyon carsici	cy
Croste calcaree	cc
Ambiente glaciale	
Morena	mr
Deposito fluvio glaciale	fg
Deposito lacustre glaciale	fl
Till	ti
Ambiente eolico	
Duna eolica	de
Loess	ls
Ambiente costiero	
Spiaggia	sp
Duna costiera	dc
Cordone litoraneo	cl
Terrazzo marino	tm
Palude/laguna/stagno/lago costiero	pl
Altro ambiente	zz

Legenda della Carta Geologico Tecnica: ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura

Le unità del substrato geologico vengono definite tenendo conto della tipologia (lapideo, granulare cementato, coesivo sovraconsolidato, alternanza di litotipi), della stratificazione (qualora esistente) e del grado di fratturazione (secondo una valutazione qualitativa).

Substrato geologico		
LP	LP	Lapideo
GR	GR	Granulare cementato
CO	CO	Coesivo sovraconsolidato
AL	AL	Alternanza di litotipi
LPS	LPS	Lapideo, stratificato
GRS	GRS	Granulare cementato, stratificato
COS	COS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato
ALS	ALS	Alternanza di litotipi, stratificato
SFLP	SFLP	Lapideo fratturato / alterato
SFGR	SFGR	Granulare cementato fratturato / alterato
SFCO	SFCO	Coesivo sovraconsolidato fratturato / alterato
SFAL	SFAL	Alternanza di litotipi fratturato / alterato
SFLPS	SFLPS	Lapideo, stratificato fratturato / alterato
SFGRS	SFGRS	Granulare cementato, stratificato fratturato / alterato
SFCOS	SFCOS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato / alterato
SFALS	SFALS	Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato

Legenda della Carta Geologico Tecnica: substrato geologico

In tale cartografia sono stati riportati gli elementi tettonico strutturali (faglie e strutture tettoniche certe o presunte con relativo stato di attività, stratificazioni) e gli elementi geologici e idrogeologici puntuali derivanti dai dati di base (profondità del substrato geologico raggiunto da sondaggio o pozzo, profondità di sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato geologico, profondità della falda).

Inoltre, vengono fornite indicazioni relativamente alle fenomenologie di instabilità di versante (tipologia di instabilità e stato di attività) in conformità con la definizione dei poligoni di frana attiva e frana quiescente desunti dalla recente revisione di tale aspetto geomorfologico con l'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale (di cui ai Decreti del Segretario Generale n. 23 del 27 marzo 2019, n. 14 del 15 febbraio 2021 e n. del 2023).

3.6 CARATTERISTICHE LITOLOGICO TECNICHE

Le caratteristiche litologico-tecniche ("litotecniche") di rocce e terre affioranti e sub-affioranti condizionano distribuzione spaziale, frequenza, caratteristiche morfometriche, cinematismo, dei movimenti gravitativi e incidono sui possibili fenomeni di subsidenza (in concomitanza con assetto idrogeologico), di cedimenti differenziali, di possibile liquefazione dinamica in condizioni sismiche.

Possono essere impiegati diversi set di dati di input, strumenti e metodi per ottenere banche dati litotecniche; in generale le procedure si basano sull'ipotesi per cui ogni formazione geologica, data la propria omogeneità litologica, può essere "assegnata" (quindi ricodificata secondo una relazione "1:1") ad una determinata classe litotecnica, ovvero una specifica categoria corrispondente a determinate e più o meno variabili proprietà litologiche, fisiche e meccaniche.

In termini più generali, si assume che esista/possa esistere una relazione "1:molti" tra le unità litotecniche e le formazioni geologiche, in quanto queste ultime sono istituite su base litostratigrafica, quindi anche considerando proprietà che non hanno in genere peso rilevante sulle proprietà litotecniche (ad es., età, ambiente di sedimentazione, facies metamorfica, ecc.).

Con questo principio, e sulla base della legenda-tipo della cartografica litotecnica regionale "derivata" (vedi Trattazione al precedente paragrafo 3.5), è stata allestita ed allegata al presente quadro conoscitivo (Dott. L. Mazzei, aprile 2018 tavv. GEO_G.03 Nord e Sud in scala 1:10.000) la Carta Litologico-tecnica, definendo le classi a seconda della coerenza dei depositi e varie sottoclassi che tengono conto della estrema variabilità litologica, strutturale, fisica, granulometrica e di addensamento che caratterizza gli affioramenti, individuando quindi le relative Unità Litotecniche che caratterizzano il comprensorio livornese, suddivise in 5 classi con relative sottoclassi:

sigla	Classe 1 - LITOTIPI COERENTI
LC 1	<i>Materiale lapideo monolitologico non stratificato non fratturato</i>
LC 2	<i>Materiale lapideo monolitologico non stratificato fratturato</i>
LC 3	<i>Materiale lapideo monolitologico stratificato non fratturato</i>
LC 4	<i>Materiale lapideo monolitologico stratificato fratturato</i>
LC 5	<i>Materiale lapideo plurilitologico stratificato non fratturato</i>
LC 6	<i>Materiale lapideo plurilitologico stratificato fratturato</i>
Classe 2 - LITOTIPI SEMICOERENTI	
LS 1	<i>Materiale granulare cementato o molto addensato a grana prevalentemente grossolana</i>
LS 2	<i>Materiale granulare cementato o molto addensato a grana prevalentemente medio fine</i>
LS 3	<i>Materiale coesivo sovraconsolidato</i>
LS 4	<i>Unità pre-neogeniche prevalentemente argillose; terreni eterogenei ad assetto caotico</i>
Classe 3 - LITOTIPI PSEUDOCOERENTI	
LP 1	<i>Materiale coesivo normalconsolidato (argille con limi)</i>
LP 2	<i>Materiale coesivo poco consolidato o molle (argille plastiche)</i>
LP 3	<i>Materiale coesivo di natura organica (argille organiche e torbe)</i>
Classe 4 - LITOTIPI DA PSEUDOCOERENTI A INCOERENTI	
LPI	<i>Materiale coesivo poco consolidato alternato a materiale granulare fine scarsamente o mediamente addensato, alternanze di litotipi a varia granulometria con scarso addensamento e/o consolidazione</i>
Classe 5 - LITOTIPI INCOERENTI	
LI 1	<i>Materiale detritico eterogeneo ed eterometrico (depositi di versante s.l.)</i>
LI 2	<i>Materiale granulare sciolto o poco addensato a granulometria non definita</i>
LI 3	<i>Materiale granulare sciolto o poco addensato a prevalenza grossolana</i>
LI 4	<i>Materiale granulare sciolto o poco addensato a prevalenza sabbiosa</i>
LI 5	<i>Materiale granulare sciolto o poco addensato a prevalenza fine</i>
	<i>Aree non rilevabili o non classificabili</i>

Nelle pagine seguenti si forniscono tabelle di correlazione fra le unità litotecniche come sopra definite in conformità con le indicazioni ICMSI e quelle stratigrafiche adottate nella trattazione del Dott. L. Mazzei (supporto al Piano Strutturale 2, Cartografia litologico tecnica, aprile 2018 di cui alla trattazione del paragrafo 8 della relazione tecnica del febbraio 2019). Le tabelle di seguito allegate fanno riferimento per la nomenclatura e simbologia geologico stratigrafica a quanto riportato nel supporto geologico al Piano Strutturale 2 (revisione del PS) come riassunto nelle colonne di raffronto del paragrafo 3.2 della presente relazione.

CORRELAZIONE FRA UNITA' STRATIGRAFICHE CARTOGRAFATE E UNITA' LITOTECNICHE						
LEGENDA GEOLOGICA PIANO STRUTTURALE 2		CLASSI E UNITA' LITOTECNICHE PROPOSTE (RIF. IGG CNR - PROGETTO CARG)		CORRISPONDENZA CON CLASSIFICAZIONE LITOTECNICA PS1 (ove non vige corrispondenza diretta, si attribuisce la classe più simile)		
		Classe	Unita'	CLASSI	LEGENDA PS1	
DEPOSITI ANTROPICI						
ant	Area fortemente antropizzata			n.d.		
h5	Terreni di riporto, bonifica per colmata	5	LI 2	D1		
h3	Discariche di cave	5	LI 2	D		
h1	Discariche per inerti e rifiuti solidi urbani			D		
DEPOSITI ATTUALI E OLOCENICI						
a3	Coperture detritiche indifferenziate	5	LI 1	D1	CLASSE 1 FORMAZIONI COERENTI AD ELEVATA E MEDIA RESISTENZA	
a3a	Detrito di falda	5	LI 3	5		
aa	Depositi di versante	5	LI 1	5		
b2a	Depositi eluvio-colluviali	5	LI 2	5		
b	Depositi alluvionali attuali	5	LI 2	3		
g2a	Depositi di spiaggia	5	LI 4	3		
f1a	Travertino e calcari continentali	1	LC 2	1		
bna	Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati	5	LI 2	3		
DEPOSITI PLEISTOCENICI						
QSD	Sabbie rosso arancio di Donoratico	2	LS 2	2		CLASSE 2 FORMAZIONI SEMICOERENTI CONGLOMERATICHE
QCPa	Calcareni sabbiose di Castiglione (Panchina)	1	LC 3	2		
QCPb		1	LC 5			
QCP		1	LC 3			
QBC		5	LI 3		2	
QCC	Conglomerato del Chioma	5	LI 3	2		
QRM	Conglomerati di Rio Maggiore	2	LS 1	2		
VdG	Sabbie rosse Val di Gori	2	LS 2	2		
QPL	Formazione Casa Poggio ai Lecci	2	LS 1	2		
QVR	Conglomerati Villa Corridi	2	LS 1	2		
ART	Sabbie e argille ad Artica	4	LPI	/		
DEPOSITI MARINI PLEISTOCENICI						
FAA	Argille azzurre	3	LP 2	6	CLASSE 3 FORMAZIONI INCOERENTI SABBIOSE	
FAAe	Sabbie risedimentate nelle argille	2	LS 2	2		
DEPOSITI LACUSTRI E LAGUNARI POST-EVAPORITICI DEL MESSINIANO						
EMO	Argille e argille marnose con livelli e lenti di gesso	3	LP 1	4		
EMOg	Lenti di gesso	1	LC 2	4		
EMOr	Sabbie e conglomerati	2	LS 1	2		
DEPOSITI MARINI PRE-EVAPORITICI DEL MESSINIANO INFERIORE						
ROsb	Calcarei e calciruditi	1	LC 2	1		CLASSE 4 FORMAZIONI COERENTI DI SCARSA RESISTENZA
ROSa	Conglomerati	2	LS 1	2		
RAQ	Argille e argille sabbiose	3	LP 1	4		
RAQg	Lenti di gessi	1	LC 2	4		
DEPOSITI LACUSTRI DEL TORTONIANO SUP.						
SLEC	Conglomerati e paraconglomerati eterometrici	2	LS 1	2		
DOMINIO LIGURE INTERNO						
UNITA' DI M. GOTTERO						
APA	Argille a Palombini	2	LS 4	4	CLASSE 5 FORMAZIONI PSEUDOCOERENTI ARGILLOSO-SABBIOSE	
DSD	Diaspri	1	LC 4	1		
BROe	Brecce ofiolitiche	2	LS 4	2		
BRG	Basalti con strutture a pillow lava	1	LC 2	1		
PGR	Plagiograniti	1	LC 2	1		
GBB	Gabbri con filoni basici	1	LC 2	1		
PRN	Peridotiti serpentinizzate con filoni di gabbri e basalti	1	LC 2	1		
DOMINIO LIGURE ESTERNO						
UNITA' FLYSCH A ELMINTOIDE, UNITA' DI OTTONE						
OMT	Flysch di Ottone Monte Verdi	1	LC 6	1		
OMTa	Litofacies Brecce di ofioliti in OMT	2	LS 4	2		
RCH	Argilliti e calcari di Poggio Rocchino	2	LS 4	4		
UNITA' DI M. MORELLO, UNITA' DI S.FIORA						
MLL	Formazione di M. Morello	1	LC 6	1		
SIL	Formazione di Sillano - S. Fiora	2	LS 4	4		
DOMINIO SUBLIGURE						
UNITA' DI CANETOLO						
MRR	Marne di Marra	2	LS 3	4		
ACC	Argille e calcari di Canetolo	2	LS 4			
DOMINIO TOSCANO						
FALDA TOSCANA						
CLASSE 6 FORMAZIONI PSEUDOCOERENTI ARGILLOSE						
CLASSE D SITI DI DISCARICA						
CLASSE D1 RIEMPIMENTI TERRIGENI						

MAC	Arenaria "Macigno"	1	LC 6	1	
--- ISOLA DI GORGONA ---					
UNITA' CON METAMORFISMO DI ALTA PRESSIONE					
UNITA' AD AFFINITA' OCEANICA					
GBA	Metabasalti	1	LC 2	1	
SIG	Serpentiniti	1	LC 6	1	
UNITA' AD AFFINITA' TOSCANA					
CPG	Calcescisti punta Gorgona	1	LC 6	1	
CPGa	Marmi grigi - Filoni in CPG	1	LC 2	1	
CPGb	Metareniti - Filoni in CPG	1	LC 2	1	
MPC	Metareniti di Cala di Pancia	1	LC 6	1	

CORRISPONDENZA FRA UNITA' LITOTECNICHE E LITOTIPI AFFIORANTI

CLASSE 1 - LITOTIPI COERENTI		Formazioni cartografate
LC 1	Materiale lapideo monolitologico non stratificato non fratturato	
LC 2	Materiale lapideo monolitologico non stratificato fratturato	BRG, PGR, GBB, PRN, f1a, EMOg, ROSb, RAQg, GBA, CPGa, CPGb
LC 3	Materiale lapideo monolitologico stratificato non fratturato	QCP, QCPa
LC 4	Materiale lapideo monolitologico stratificato fratturato	DSD
LC 5	Materiale lapideo plurilitologico stratificato non fratturato	QCPb
LC 6	Materiale lapideo plurilitologico stratificato fratturato	OMT, MLL, MAC, SIG, CPG, MPC
CLASSE 2 - LITOTIPI SEMICOERENTI		
LS 1	Materiale granulare cementato o molto addensato a grana prevalentemente grossolana	QCC, QRM, QPL, QVR, EMOr, ROSa, SLEc
LS 2	Materiale granulare cementato o molto addensato a grana prevalentemente medio fine	QSD, VdG, FAAe
LS 3	Materiale coesivo sovraconsolidato	MRR
LS 4	Unità pre-neogeniche prevalentemente argillose; terreni eterogenei ad assetto caotico	APA, ACC, SIL, BROe, OMTa
CLASSE 3 - LITOTIPI PSEUDOCOERENTI		
LP 1	Materiale coesivo normalconsolidato (argille con limi)	EMO, RAQ
LP 2	Materiale coesivo poco consolidato o molle (argille plastiche)	FAA
LP 3	Materiale coesivo di natura organica (argille organiche e torbe)	
CLASSE 4 - LITOTIPI DA PSEUDOCOERENTI A INCOERENTI		
LPI	Materiale coesivo poco consolidato alternato a materiale granulare fine scarsamente o mediamente addensato, alternanze di litotipi a varia granulometria con scarso addensamento e/o consolidazione	ART
CLASSE 5 LITOTIPI INCOERENTI		
LI 1	Materiale detritico eterogeneo ed eterometrico (depositi di versante s.l.)	a3, aa
LI 2	Materiale granulare sciolto o poco addensato a granulometria non definita	h5, h3, b, bna, b2a
LI 3	Materiale granulare sciolto o poco addensato a prevalenza grossolana	a3a, QBC, QCC pars
LI 4	Materiale granulare sciolto o poco addensato a prevalenza sabbiosa	g2a
LI 5	Materiale granulare sciolto o poco addensato a prevalenza fine	
NRC	Aree non rilevabili o non classificabili	ant, h1

NB: i retini colorati applicati nella tabella sopra sono applicati alle classi e non alle singole unità litotecniche così come definite nella Carta Litologico-tecnica. Pertanto nella tabella si applica per ogni classe il colore fondamentale, che viene poi ridefinito in diverse sfumature nella Carta per differenziare le varie Unità.

4. GEOMORFOLOGIA

La geomorfologia è la disciplina delle Scienze della Terra che studia le forme attuali e del passato della superficie della crosta terrestre, nelle loro caratteristiche fisiche e nei rapporti con le strutture geologiche e con i processi superficiali che hanno agito nel tempo. La carta geomorfologica rappresenta quindi le forme del rilievo terrestre, ne rappresenta i caratteri morfografici (forma e dimensioni) e morfogenetici (i processi responsabili del modellamento del paesaggio).

Il criterio principale di classificazione è quello morfogenetico, cioè quello basato sull'individuazione dell'origine delle forme, che quindi sono classificate in funzione dei processi endogeni (legati a dinamiche interne della litosfera) ed esogeni (es. acque correnti superficiali, gravità, ecc., legati a dinamiche esterne alla litosfera) con associata l'indicazione della sequenza cronologica e morfodinamica con particolare distinzione relativa allo stato di attività delle forme stesse tra forme attive, forme non attive ma potenzialmente instabili ("quiescenti") e non attive.

4.1 GEOMORFOLOGIA E RISCHIO DI INSTABILITÀ DEI VERSANTI

Per la scelta dei criteri di classificazione utilizzati per la redazione del presente supporto si è fatto riferimento, nella terminologia dei fenomeni individuati, ai contenuti del Regolamento Regionale n. 7/R del 6 marzo 2017 "Specifiche tecniche per la strutturazione, la codifica e l'acquisizione in formato digitale delle cartografie della banca dati geomorfologica della Regione Toscana", i cui concetti ispiratori si basano sui principi contenuti nei Quaderni e Manuali ISPRA (1994; 2006; 2007; reperibili su <http://www.isprambiente.gov.it/it/servizi-per-lambiente/pubblicazioni/periodici-tecnici/i-quaderni-serie-iii-del-sgi>) e loro aggiornamenti relativi alle Linee Guida per il rilevamento e la rappresentazione della Carta Geomorfologica d'Italia alla scala 1:50.000, criteri comunemente adottati nella letteratura scientifica e tecnica internazionale.

Tali criteri ed indirizzi tecnici sono stati integrati ed omogeneizzati con le indicazioni tecniche inerenti all'aspetto geomorfologico (e relativo "data base"), codificati dalla Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale (ex Autorità di Bacino del Fiume Arno) con:

- l'adozione del "*Progetto di Piano di bacino del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale, stralcio Assetto Idrogeologico per la gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica relativo al territorio dei bacini del fiume Arno, del fiume Serchio e dei bacini della Toscana*" di cui alla Delibera n. 20 della Conferenza Istituzionale Permanente in data 20 dicembre 2019 (pubblicata sulla G.U. n. 9 del 13.01.2020) con particolare riferimento ai dettagli di cui alle Tabelle A e C ed ai paragrafi 2.1, 2.2, 2.3 di cui all'allegato 3 della Disciplina di Piano (PAI frane del Distretto Appennino Settentrionale);
- e del successivo superamento di tale citata adozione nella seduta della Conferenza Operativa del 30 novembre 2022 in cui è stato approvato in via tecnica il "*Progetto di PAI Dissesti Geomorfologici relativo a tutto il territorio del Distretto Appennino Settentrionale*". In seguito la Conferenza Istituzionale Permanente con delibera n. 28 del 21 dicembre 2022 ha adottato il citato progetto di Piano. Con la pubblicazione dell'avviso di adozione del Progetto di Piano nella Gazzetta Ufficiale n. 3 del 04.01.2023 ha avuto inizio il procedimento pubblico di consultazione e osservazione. Lo stesso avviso è stato pubblicato nel Bollettino Ufficiale Regionale Toscana (BURT n. 2 del 11.01.2023).

L'attività di revisione del quadro geomorfologico e proposizione delle perimetrazioni confermate e/o modificate è stata condotta con l'obiettivo di:

- rendere coerenti ed omogenee tra loro le diverse indicazioni di pericolosità geologica derivanti dalle analisi geomorfologiche predisposte con cadenze temporali diverse e pertanto con riferimento a disposizioni normative ed indicazioni tecniche fra loro dissimili (es. Del. G.R.T. n. 94/85, n. 230/1994, n. 12/200 e Reg.Reg. n. 26/R e 53/R) uniformandole alle indicazioni lessicali per la mappatura dei fenomeni geomorfologici e definizione delle classi di *pericolosità da dissesti di natura geomorfologica/pericolosità geologica* della A.d.B. distrettuale dell'Appennino Settentrionale e della Regione Toscana di cui ai Reg. Reg. n. 7/R/2017 e n. 5/R/2020;
- definire norme univoche di semplice dettaglio in maniera tale da poterle uniformare alle normative sovracomunali;
- stabilire regole in linea con l'evoluzione del quadro giuridico regionale, nazionale e sovranazionale;

- definire opportune specifiche tecniche e procedure che consentano gli idonei e necessari aggiornamenti nel tempo del quadro di pericolosità a scala del territorio indagato e di quelli limitrofi.

A tal proposito si segnala che il Comune di Livorno è stato oggetto, in precedenza, a due Decretazioni di modifica ed aggiornamento del quadro conoscitivo e relativa perimetrazione di aree a pericolosità geomorfologica del PAI: il primo in data 27.03.2019 n. 23 (PAI del Bacino Toscana Costa) ed il secondo in data 15.02.2021 n.14 (PAI del Distretto Appennino Settentrionale), che ha configurato l'aggiornamento del censimento dei dissesti a quanto verificatosi durante l'evento del 2017.

In virtù di tali aggiornamenti il "quadro conoscitivo" relativo agli aspetti geomorfologici che risultava completo a seguito delle rilevazioni effettuate post evento del settembre 2017 è stato ad oggi nuovamente aggiornato per quelle situazioni che possano essere state rilevate come di recente rilevazione e/o come evoluzione della situazione censita dopo i dissesti del settembre 2017.

Nello svolgimento della attività di cui alle presenti elaborazioni si è provveduto all'aggiornamento del "data base" relativo all'evoluzione dei dissesti gravitativi accertati a seguito delle rilevazioni riferite ai Decreti in precedenza emessi dalla AdB Distrettuale dell'Appennino Settentrionale con richiesta, alla competente AdB Distrettuale, di ulteriore aggiornamento delle relative mappe come da nota di trasmissione da parte del Comune di Livorno del 30.08.2022. Tale istruttoria si è conclusa con emissione da parte dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Decreto del Segretario Generale A.d.B. Distrettuale Appennino Settentrionale **n. del** 2023 e pertanto **il quadro conoscitivo del presente supporto al P.S., in materia di rischio frane, risulta da ritenersi conforme e congruente all'atto dispositivo sovracomunale (P.A.I. frane del Distretto Appennino Settentrionale).**

Nel corso dei rilievi e delle elaborazioni si è proceduto con l'analisi delle evidenze superficiali, sul terreno e sui manufatti, e dei movimenti del terreno correlati. In generale si è fatto riferimento a:

- l'evidenza superficiale di macro e micro-forme morfologiche, proprie dei dissesti gravitativi;
- il confronto multi-temporale dell'evoluzione delle forme.

Nello specifico si è proceduto attraverso gli approcci metodologici sotto dettagliati e descritti, fra loro correlati e sovrapposti per poter giungere a definizioni quanto più possibile oggettive, cogenti e rispondenti all'intrinseca consistenza delle forme geomorfologiche e del precipuo stato di attività dei fenomeni stessi:

- analisi banche dati nazionali in materia di difesa del suolo: IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) realizzato dall'ISPRA ed aggiornato al 2019 per la Regione Toscana; "data base" geomorfologici della AdB del Fiume Arno (oggi AdB Distrettuale Appennino Settentrionale). Tale analisi ha compreso oltre che la revisione/conferma degli areali mappati anche valutazioni sullo stato di attività dei morfemi desumibile da considerazione e valutazioni tecniche quanto più possibile non soggettive ma fondate sul riscontro di indizi certi e comparabili. A tal proposito per la definizione dello "stato di attività dei fenomeni" si è fatto diretto riferimento alle indicazioni e ai criteri dettagliati alla Tabella A, capitolo 2, paragrafo 2.1 dell'allegato 3 alle NTA del PAI Distrettuale. In relazione a tale aspetto e particolarità si cita che, per l'estensione dei territori interessati, l'attività ricognitiva svolta è stata implementata con il censimento dei dissesti gravitativi di attivazione posteriore alla definizione del "quadro conoscitivo" degli strumenti urbanistici vigenti ed al censimento dei morfemi attivatisi nel corso dei dissesti del settembre 2017;
- analisi banche dati regionali (geologia, geomorfologia, banche dati tematiche specifiche): data base geomorfologico della Regione Toscana e notazioni sulla perimetrazione di frane attive e quiescenti come indicate e riportate nella cartografia geologica CARG della Regione Toscana; analisi e verifica del "data base" regionale afferente alle procedure DODS con verifica dello stato di consistenza e dell'evoluzione dei dissesti allo stato attuale rispetto alle configurazioni rilevate al momento delle segnalazioni avvenute negli anni trascorsi;
- analisi banche dati derivanti dal quadro conoscitivo degli strumenti urbanistici comunali vigenti a livello del vigente Piano Strutturale (approvato con Del. C.C. n. 75 del 7 aprile 2019);
- evidenze da analisi stereoscopica diacronica nel tempo degli effetti del movimento del terreno (macro-forme) rilevate da foto aeree o analisi di ortofoto multitemporali, in abbinamento a modelli digitali del terreno (*dtm*) derivati da dati LIDAR;

- evidenze rilevate da analisi di ortofoto su riprese multi-temporali degli effetti del movimento del terreno (macro forme), ove possibile a grande scala (archivio fototeca regionale, riprese *Google Earth*, *Bing* e simili);
- movimenti su target naturali o artificiali ottenuti da elaborazioni interferometriche multi-temporali di dati radar satellitari (*Permanent Scatters* o assimilabili) resi disponibili attraverso il geoportale.lamma.rete.toscana.it.
- misure strumentali geotecniche con particolare riferimento a sequenze di monitoraggio strumentale prolungate nel tempo (in prevalenza inclinometriche) su distretti franosi di rilevanza a livello territoriale;
- studi geologici e/o geotecnici, e relativi rilievi di dettaglio reperiti in particolare sulle aree interessate da dissesti gravitativi ove si sia provveduto con interventi di bonifica e consolidamento per la risoluzione di urgenti contingenze con interventi di somma urgenza e/o con successivi stralci funzionali pianificati e realizzati/realizzabili nel corso del tempo;
- evidenze rilevate durante lo svolgimento di mirati percorsi di sopralluogo in campagna svolti, su tutte le percorribilità presenti, nel periodo aprile-giugno 2022 finalizzati alla corretta perimetrazione dei morfemi ed alla registrazione di quelli non desumibili e riscontrabili dalle attività sopra dettagliate;
- conferma delle evidenze risultanti in relazione ai fenomeni relativi alla dinamica costiera rispetto a quanto già rilevato all'aprile 2019 (riferimento alla approvazione del quadro conoscitivo del vigente PS);
- si è, inoltre, tenuto conto delle rilevazioni inerenti alla presenza di un quadro fessurativo sugli edifici, dell'orientazione delle stesse lesioni osservate e dello stato di attività e/o possibilità di evoluzione rilevabili in occasione dei sopra citati sopralluoghi;
- si dettaglia che in relazione alla presenza di alcuni micropoligoni risultati "sotto l'unità minima cartografabile" nella procedura in uso presso l'A.d.B. si è ritenuto opportuno mantenerne la perimetrazione, ove i fenomeni geomorfologici siano stati comunque arealmente cartografabili alla scala 1:10.000 per evitare di perdere un'informazione che nel novero della pubblica utilità e gestione del rischio per cose e persone possa risultare di importanza locale anche in relazione ad un eventuale definizione di areale di pericolosità;
- si è, inoltre, provveduto all'inserimento in banca dati anche degli elementi lineari e puntuali (frane di piccole dimensioni non risultanti arealmente cartografabili alla scala di restituzione 1:10.000).

L'indagine geomorfologica si propone quindi, attraverso un'analisi delle forme del paesaggio, di individuare i processi morfogenetici che agiscono nell'area e che nel loro insieme costituiscono la dinamica morfologica. Senza dubbio la Carta geomorfologica fornisce un'ampia gamma di informazioni (dagli aspetti puramente fisici all'assetto delle forme naturali ed antropiche), ma nell'ambito della pianificazione territoriale lo scopo da perseguire è quello di valutare i processi di maggiore rilievo e la loro influenza sull'ambiente.

E' importante sottolineare che dalla lettura geomorfologica del territorio si devono ricavare non solo le informazioni sulle situazioni di degrado in atto, ma anche le correlazioni fra i vari elementi del paesaggio, che consentono di prevedere le dinamiche evolutive dell'ambiente.

La potenzialità previsionale di questo tematismo deve venire usata e sviluppata nel modo più opportuno per ottenere una migliore gestione del territorio.

Lo studio geomorfologico del territorio, infatti, fornisce una grande quantità di informazioni utili per valutare lo stato della dinamica morfologica dell'area e per prevedere la sua evoluzione nel periodo immediatamente successivo allo studio stesso.

4.2 STATO DI ATTIVITA' DEI FENOMENI GEOMORFOLOGICI

Sulla base delle informazioni geomorfologiche come sopra definite ed elaborate, tenuto conto degli specifici indirizzi tecnici dettati dalla pianificazione di bacino e degli standard regionali di rappresentazione approvati con decreto dirigenziale 10 aprile 2017, n. 4505 (Approvazione delle "Specifiche tecniche per la strutturazione, la codifica e l'acquisizione in formato digitale delle cartografie della Banca Dati Geomorfologica della Regione Toscana"), sono analizzate le forme ed i processi geomorfologici legati, in particolare, alla dinamica di versante, e alla dinamica fluviale, valutandone il relativo stato di attività, nel rispetto dei seguenti criteri:

- forme attive o in evoluzione per processi in atto, attivati recentemente o riattivabili nel breve periodo o non in equilibrio con il regime morfogenetico attuale;
- forme quiescenti e/o potenzialmente instabili il cui modellamento non è in atto ma di cui non si può escludere la riattivazione;
- forme stabilizzate, artificialmente o naturalmente, forme relitte ed inattive.

Prima di passare all'analisi dei processi morfogenetici ed alle relative forme, è opportuno specificare la distinzione che è stata adottata in fase di analisi e seguente trasposizione in cartografia geomorfologica per quanto riguarda lo stato di attività dei singoli morfemi individuati. E' da sottolineare che la chiave interpretativa adottata è stata scelta in base agli obiettivi da raggiungere, ossia ottenere uno strumento valido per valutare lo stato del territorio, determinare il grado di rischio ed individuare, di conseguenza, dove intervenire per risanare o prevenire eventuali dissesti e dove, invece, poter prevedere interventi pianificatori.

La classificazione morfoevolutiva delle forme riguarda in senso più ampio il loro stato di attività.

L'evoluzione delle morfologie è legata a numerosi fattori e la classificazione è stata effettuata in base ai seguenti criteri:

Forme attive o in evoluzione per processi in atto, attivati recentemente o riattivabili nel breve periodo o non in equilibrio con il regime morfogenetico attuale; per lo più forme interessate da movimenti "attivi" con ricorrenza pluriennale e/o pluridecennale. Sono fenomeni in continua evoluzione, le cui dinamiche e modificazioni possono essere registrate in breve intervallo temporale; risultano pertanto fenomeni che non hanno raggiunto condizioni di equilibrio. Questi possono alternare periodi di massima dinamica a periodi di inattività temporanea generalmente legati al ciclo stagionale. Si citano ad esempio le aree instabili interessate da fenomeni di dissesto attivi di tipo gravitativo, erosivo e/o dovuti all'azione delle acque incanalate negli alvei naturali /artificiali o lungo le pendici e ai fenomeni di dinamica costiera.

Vanno pertanto valutati come fenomeni attivi i fenomeni in atto, o temporalmente "ricorrenti", che presentano un'evoluzione su una scala indicativa massima di 30 anni (ex Allegato 3, paragrafo 2.1 della disciplina di piano del PAI Distrettuale "dissesti geomorfologici").

In relazione all'importanza che la definizione di tale tipo di "stato di attività" riveste per l'analisi geomorfologica e la sua trasposizione in pericolosità geologica preme evidenziare quanto riportato al paragrafo 5 della "Relazione di Piano" del PAI Distrettuale "dissesti geomorfologici":

"Nel definire come prioritaria la conoscenza dei fenomeni di dissesto cosiddetti "attivi" - e la conseguente loro perimetrazione nelle mappe come pericolosità più elevata - si è voluto stabilire un concetto ben preciso ed ovvero che lo stato di pericolosità maggiore deve essere legato ad una evidenza diretta di "movimento"; evidenza che non deve essere definita tramite valutazioni di tipo soggettivo ma attraverso rigorosi metodi scientifici ed adeguati strumenti di monitoraggio e misurazione".

Rientrano in questa categoria i dissesti che presentano una o più delle caratteristiche elencate di seguito:

- evidenze superficiali sul terreno e sui manufatti, riferite ad eventi a partire dal 1992 (anno di riferimento per inizio acquisizione dati interferometrici satellitari ed anni di eventi meteo significativi);
- letture strumentali con valori di spostamenti significativi calcolati su adeguata serie storica, in presenza di indicatori geomorfologici diretti.

Forme quiescenti e/o inattive potenzialmente instabili per cui non si può escludere la possibilità di riattivazione. Vi sono riconducibili aree non interessate da fenomeni di dissesto attivi, ma in cui sono presenti indicatori geomorfologici diretti, quali aree interessate da instabilità in passato e/o segni precursori o premonitori di movimenti gravitativi, sulla base dei quali non è possibile escludere la riattivazione dei dissesti; e/o aree interessate da possibili instabilità di tipo gravitativo, erosivo e/o dovuti all'azione delle acque incanalate negli alvei naturali /artificiali o lungo le pendici, per effetto di condizioni geomorfologiche e fisiche sfavorevoli che determinano elevata propensione al dissesto.

Si tratta delle forme la cui evoluzione non è legata al ciclo stagionale, ma si sviluppa secondo tempi di ricorrenza più lunghi. Infatti, tali fenomenologie, pur non avendo raggiunto una situazione di equilibrio o stabilità, possono rimanere temporaneamente inattive anche per lunghi periodi.

Gran parte di tali fenomeni non ha subito sostanziali evoluzioni negli ultimi anni, ma è facilmente prevedibile che riverificandosi eventi meteorici con precipitazioni superiori alla media, si possa assistere a riprese nell'attività dinamica di tali morfemi.

Tali forme, durante il periodo di inattività, mostrano comunque indicatori tali da far ritenere una più o meno prossima ripresa del movimento.

Rientrano in questa categoria:

- le porzioni del territorio che presentano evidenze geologiche, morfologiche, fisiche e strumentali sfavorevoli e tali da far supporre l'innescò di fenomeni gravitativi ed erosivi in caso di variazione delle condizioni intrinseche dell'ammasso e/o dei fattori/forzanti esterni.
- le aree interessate da instabilità nel periodo antecedente al 1992, attualmente apparentemente stabili, per le quali non è possibile escludere la riattivazione, anche con ricorrenze pluridecennali.

Forme inattive e/o stabilizzate artificialmente o naturalmente e **forme relitte**, cioè non più riattivabili nelle attuali condizioni morfogenetiche o morfoclimatiche anche per eventi o processi eccezionali o a causa di variazioni morfologiche, ambientali o interventi antropici che ne hanno eliminato le cause predisponenti e/o scatenanti. Comprendono quelle fenomenologie che hanno raggiunto uno stato di equilibrio tale da far ritenere improbabili nuove evoluzioni in senso dinamico. Per tali forme non è quindi più attivo il processo morfogenetico che le ha innescate, né esistono indizi tali da far prevedere una successiva dinamica evolutiva, se non in seguito all'insorgere di nuovi fattori scatenanti.

Si tratta di forme per cui non si riscontrano i criteri per la loro classificazione nello stato "potenzialmente instabile". Si tratta di una categoria residuale riferibile a forme quasi completamente obliterate o smantellate (relitte), e dall'energia potenziale nulla o trascurabile.

Forme indeterminate. Forme per le quali non è possibile stabilire lo stato di attività.

4.3 MORFEMI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA

Da un punto di vista geomorfologico il territorio comunale è talora interessato sia da forme e processi di erosione idrica e del pendio, sia da forme e processi dovuti a gravità, nonché da forme di origine artificiale (antropica).

Per quanto riguarda la prima tipologia sono presenti forme di denudazione ed erosione (orlo di scarpata fluviale, di terrazzo o orlo di scarpata d'erosione costiera, aree soggette ad erosione superficiale per incisione d'alveo e erosione laterale di sponda in ambito fluviale). Tra la forme e i processi dovuti a gravità si ha la presenza di forme di denudazione (aree in frana e aree instabili per franosità diffusa che comprendono gli areali soggetti a soliflusso). Infine, si hanno forma antropiche (artificiali) costituite da orli di scarpata di origine antropica, argini artificiali, rilevati stradali e ferroviari, ex cave, riparti antropici diffusi per bonifica e colmata, ecc.

Nelle zone di versante sono stati,, in particolare, approfonditi gli aspetti relativi ai fenomeni franosi. Per ogni frana si è provveduto a renderne la rappresentazione planimetrica (comprensiva della zona di distacco, della zona di scorrimento, visibile o ipotizzata, nonché della zona di accumulo, se presente) secondo le indicazioni di cui al paragrafo 3.1 dell'Allegato 3 alla "Disciplina di Piano" del PAI "dissesti geomorfologici" Distrettuale di recente adozione, seguendo le medesime indicazioni per le forme "lineari" di scarpata.

Nelle zone di pianura, sono, in particolare, approfonditi gli aspetti legati alle forme di erosione e di accumulo con loro rappresentazione secondo le indicazioni di cui ai paragrafi 3.2 e 3.3 dell'Allegato 3 alla "Disciplina di Piano" del PAI Distrettuale "dissesti geomorfologici" di recente adozione.

Con riferimento alla Carta Geomorfologica in scala 1:10.000 facente parte degli elaborati del supporto geologico tecnico costituenti l'adeguamento del quadro conoscitivo della presente variante al Piano Strutturale, si riassumono i caratteri relativi ai fenomeni geomorfologici mappati.

Sulla carta geomorfologica sono stati riportati tutti quei fenomeni che possono avere una particolare importanza ai fini dell'analisi della stabilità delle aree in esame e della valutazione degli effetti della risposta sismica locale. Al fine di tale rappresentazione, trattandosi di aggiornamento del quadro conoscitivo del Piano Strutturale 2, si è

optato per rappresentazione grafica con utilizzo degli stessi elementi iconografici già utilizzati per la carta geomorfologica da L. Mazzei (febbraio 2019).

In particolare, sono state individuate:

- **forme e processi dovuti a gravità;**
- **forme e processi correlati a erosione idrica del pendio;**
- **forme artificiali (antropiche).**

Si procede ad una breve descrizione sistematica.

Forme e processi dovuti a gravità

Nel territorio comunale di Livorno, in ragione della fragilità geologica e peculiarità litotecnica, la presenza di fenomeni franosi fa parte delle caratteristiche del territorio. Per quanto riguarda lo stato di attività, le forme ed i processi franosi cartografati sono stati distinti in attivi e quiescenti.

Questi fenomeni si impostano in preferenza sulle testate degli impluvi e dei corsi d'acqua e in prossimità delle parti cacuminali delle dorsali collinari in quanto in queste aree il fenomeno di arretramento morfologico è più attivo; tuttavia, a causa del progressivo approfondimento ed erosione dei corsi d'acqua provocato dai cambiamenti climatici e dal cambiamento nella gestione antropica del territorio di questi anni con significative carenze nella gestione del reticolo superficiale agrario e per le verificate significative modificazioni colturali, oltre che per la natura intrinseca dei litotipi presenti, anche i fianchi delle valli risultano talora interessati da frane.

Spesso le frane e le paleofrane mostrano ancora condizioni di evoluzione specie nella parte più elevata con fenomeni attivi di arretramento e retrogressione della scarpata/testata di frana; questo si manifesta solitamente alle testate dei fossi e dei corsi d'acqua e/o al margine delle scarpate di testa (coronamento) che continuano ad arretrare nella loro evoluzione morfologica.

Aree a franosità diffusa e franosità superficiale attiva

Area con frane attive, in genere superficiali (profondità massima dal piano di campagna in ogni caso inferiore a 3,0/4,0 metri), non cartografabili singolarmente. Nella "franosità diffusa" i caratteri di dissesto franoso attivo (F e "aree fronte mare a franosità diffusa" - di carta geomorfologica) sono normalmente discontinui nel tempo e nello spazio, le forme sono facilmente obliterate da lavorazioni agricole o da processi erosivi e possono presentarsi in continuità spaziale e/o temporale con fenomeni di *creep*, soliflusso o geliflusso.

Vi sono comprese le aree interessate da gruppi di frane attive (anche di diverse tipologie) non cartografabili singolarmente, aree franose attive poco profonde dalla morfologia complessa e per cui non è ricostruibile chiaramente la geometria, frane superficiali attive facilmente obliterate dalle lavorazioni, deformazioni superficiali con caratteristiche plastiche (soliflussi, soilcreep) con velocità superiori alla classe estremamente lenta, aree ad intensa erosione con locali fenomeni di crollo, colamento o scivolamento attivi (ad esempio scarpate morfologiche in evoluzione per crolli, colamenti e scivolamenti). Si tratta di forme che possono essere poco persistenti nei loro tratti caratteristici e con ricorrenza anche pluriennale.

Tali fenomeni possono essere ricondotti al "tipo geomorfo FD3" (ex tab. C, allegato 3 della Disciplina di Piano del PAI frane del Bacino Distrettuale App. Settentrionale).

Aree interessate da deformazioni superficiali o franosità diffusa inattiva (quiescente)

Si tratta di aree potenzialmente instabile per deformazioni superficiali (DS - di carta geomorfologica).

Comprendono le aree potenzialmente instabili per caratteristiche litologiche, per deformazioni superficiali con caratteristiche plastiche (soliflussi, soilcreep) con un'evoluzione lentissima; aree potenzialmente instabili per franosità in terreni granulari, scarpate morfologiche e superfici con crolli, deformazioni di taglio superficiali, colate non cartografabili singolarmente con ricorrenza superiore a 10-20 anni.

Tali fenomeni possono essere ricondotti al "tipo geomorfo FD2" (ex tab. C, allegato 3 della Disciplina di Piano del PAI frane del Bacino Distrettuale App. Settentrionale).

Frane attive

Frane con indizi di movimento in atto o recenti (S3 - di carta geomorfologica – frane di scivolamento e colata lente, attive). Si manifestano solitamente con rotture della superficie topografica per nulla o poco rimodellate ad opera di agenti naturali o antropici, deformazioni della vegetazione copertura vegetale (strappi nella copertura

erbacea, rotazione o caduta di alberi, ecc.), danni a strutture o infrastrutture (muri, drenaggi, tubature, manto stradale, ecc.).

Tali fenomeni possono essere ricondotti al “tipo geomorfo S3” (ex tab. C, allegato 3 della Disciplina di Piano del PAI frane del Bacino Distrettuale App. Settentrionale). In riferimento a tale classificazione possono comprendere, ma raramente sul territorio comunale di Livorno, le frane di crollo e ribaltamento attive (“tipo geomorfo C3”), le colate ricadenti nella classe di velocità IFFI rapida, molto rapida ed estremamente rapida attive (“tipo geomorfo R3”).

Frane quiescenti – inattive potenzialmente instabili

Frane con indizi di movimento antichi, non recenti o relativamente recenti (S2 - di carta geomorfologica – frane di scivolamento e colata lente, inattive-quiescenti). Sono normalmente presenti chiari indizi di movimento avvenuto in tempi relativamente recenti. Le morfologie relative al movimento (corona di frana, contropendenze, gradini, ecc.) sono normalmente ancora riconoscibili pur se rimodellate ad opera di agenti naturali o antropici, mentre possono risultare assenti evidenze di rottura della superficie topografica. L'area in frana presenta evidenze geomorfologiche o esistono testimonianze che indicano, o comunque non escludono, una possibile o potenziale riattivazione, anche parziale, del processo nell'attuale sistema morfodinamico e morfoclimatico, ma non è possibile fare alcuna ulteriore verifica multitemporale. Oltre alle evidenze geomorfologiche, possono essere reperiti studi o testimonianze ed effettuati rilievi su danni subiti da strutture o infrastrutture (muri, drenaggi, tubature, manto stradale, ecc.). Persistono le principali cause predisponenti il dissesto con possibile riattivazione di tutta o parte della frana in seguito ad eventi scatenanti di carattere eccezionale, ma ripetibili nelle attuali condizioni morfoclimatiche.

Tali fenomeni possono essere ricondotti al “tipo geomorfo S2” (ex tab. C, allegato 3 della Disciplina di Piano del PAI frane del Bacino Distrettuale App. Settentrionale). In riferimento a tale classificazione possono comprendere, ma raramente sul territorio comunale di Livorno, le frane di ribaltamento inattive (“tipo geomorfo C2”), le colate ricadenti nella classe di velocità IFFI rapida, molto rapida ed estremamente rapida inattive potenzialmente instabili (“tipo geomorfo R2”).

Vi sono comprese frane “quiescenti a seguito di intervento antropico”, ovvero frane per cui sono stati eseguiti interventi di sistemazione e/o stabilizzazione, che comunque non ne hanno eliminato completamente le cause predisponenti e/o scatenanti.

Frane non cartografabili di limitata estensione

Sono stati individuati con tale classificazione morfemi gravitativi in stato di attività la cui rappresentazione in forma areale (di poligono) risulti non mappabile in cartografia in scala 1:10.000. Al fine di garantirne la corretta leggibilità, in via indicativa sono da considerarsi non cartografabili le frane ove la rappresentazione cartografica in scala 1:10.000 comporta una superficie inferiore ai 15 mm².

Forme e processi correlati a erosione idrica del pendio

Scarpate di degradazione

Le scarpate morfologiche costituiscono un elemento del paesaggio collinare non frequentemente diffuse sul territorio comunale di Livorno, ma talora caratterizzanti e riscontrabili con evidenze anche significative. Questi fenomeni risultano in genere strettamente correlati a frane di crollo o ad areali indicati come soggetti a franosità diffusa e si riscontrano in corrispondenza di condizioni giaciture particolari in cui un litotipo resistente e relativamente permeabile è sovrapposto ad un litotipo impermeabile e dalle scarse caratteristiche litotecniche, oppure nella porzione sommitale di “pareti/versanti oggetto in tempi trascorsi di attività estrattiva e/o di cava”.

Il crollo è il meccanismo che permette il mantenimento nel tempo della verticalità a queste morfologie. Talvolta il meccanismo delle scarpate è legato all'erosione fluviale che porta alla formazione di esse (orli di scarpata per erosione fluviale) per scalzamento alla base di terreni predisposti ai crolli.

Nella carta geomorfologica le scarpate sono state distinte singolarmente nel caso in cui definiscano un elemento lineare indicato come: orlo di scarpata di erosione costiera, di scarpata morfologica, di scarpata di cava, di scarpata antropica.

Nel caso in cui al morfema lineare sia stato possibile ricondurre e correlare un fenomeno di dissesto, sia attivo che quiescente o potenzialmente instabile, si è provveduto ad inglobarlo e cartografarlo come frana o come areale di franosità diffusa. In questo secondo caso in relazione allo stato di attività del dissesto per frana di crollo e/o franosità diffusa è stata individuata corrispondenza con le tipologie “geomorfo C3 - FD3” in caso di riconosciuto stato di attività o “geomorfo C2 FD2” in caso di accertata condizione di non attività e/o quiescenza e/o intervento antropico (ex tab. C, allegato 3 della Disciplina di Piano del PAI “dissesti geomorfologici” del Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale).

Orli di scarpata fluviale o di terrazzo in erosione

Brusche rotture di pendio al margine di superfici terrazzate; indicano fenomeni erosivi fluviali in terreni alluvionali più antichi.

Per tali fenomeni in relazione allo stato di attività è stata individuata corrispondenza con le tipologie “geomorfo C3 - FD3” in caso di riconosciuto stato di attività, “geomorfo C2 – FD2” in caso di riconosciuto stato di potenziale instabilità o “geomorfo C1” in caso di accertata condizione di non attività (ex tab. C, allegato 3 della Disciplina di Piano del PAI “dissesti geomorfologici” del Bacino Distrettuale App. Settentrionale).

Ruscellamento superficiale diffuso e concentrato

Forme dovute ad erosione idrica superficiale in rigagnoli o foliare, periodicamente obliterate da pratiche agricole; si innescano generalmente nella parte superiore e mediana dei versanti e provocano un progressivo assottigliamento del suolo. A seconda dell'intensità e della diffusione areale caratterizzano "aree o settori di limitata estensione (non arealmente cartografabili) soggette ad erosione profonda e/o ruscellamento concentrato" o settori "soggetti ad erosione superficiale e/o dilavamento diffuso".

Erosione lineare o incanalata e/o alvei con tendenza all'approfondimento – alveo in incisione

Incisioni vallive con versanti ripidi e simmetrici, generalmente prive di depositi alluvio-colluviali, sede di deflusso di acque sia permanente che temporaneo che mostrano incisioni in continuo approfondimento.

Erosioni laterali di sponda – corso d'acqua con tendenza alla migrazione laterale

Zone soggette ad erosione spondale attiva materializzata da attività erosive esercitate dai corsi d'acqua sulle sponde, in particolare in corrispondenza delle anse; tali processi possono causare, a lungo andare, crolli di entità cospicua in aree ritenute ad alta stabilità perché pianeggianti. Per tali fenomeni è stata individuata corrispondenza con le tipologie “geomorfo ES” (ex tab. C, allegato 3 della Disciplina di Piano del PAI “dissesti geomorfologici” del Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale).

Per tali fenomeni risulta, in genere, definita e perimetrata l'area a contorno legata alla possibile evoluzione del processo stesso di erosione laterale di sponda (aspetto che magari risulti maggiormente consono da definire a livello di pericolosità geologica anziché a livello di individuazione di forma geomorfologica). Rappresenta comunque una fascia di potenziale instabilità correlata a dinamica fluviale legata ad un processo di erosione attiva tale da poter correlare tale situazione con la tipologia “geomorfo FDF” (ex tab. C, allegato 3 della Disciplina di Piano del PAI frane del Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale).

Forme, processi e depositi antropici e manufatti

Le forme ed i processi antropici

Si tratta di forme dovute all'azione dell'uomo sul territorio, quindi rientrano in questa categoria un'ampia gamma di interventi: cave attive o inattive, attività di bonifica e colmata, rilevati e laghetti artificiali e in generale tutte le aree che per una qualsiasi ragione sono state manipolate dall'attività antropica.

A compendio della cartografia geomorfologica realizzata per la presente variante al PS (elaborati GEO-G.04 in due fogli Nord e Sud in scala 1:10.000) si riportano, in “Appendice A” alla presente relazione, le elaborazioni originali relative ad approfondimenti di “quadro conoscitivo” condotti dal Dott. L. Mazzei (stralci dal supporto al PS2, febbraio 2019) sulle zone interessate dai dissesti del settembre 2017.

Nel corso di tali elaborazioni furono eseguite verifiche approfondite in campo, con particolare dettaglio relativo alle zone interessate dagli eventi alluvionali del 2017, sia in area di fondovalle che in area collinare. A tali verifiche hanno contribuito anche i tecnici dell'Autorità di Bacino dell'Appennino Settentrionale svolgendo la relativa istruttoria prodromica all'emissione di Decreto di modifica degli azionamenti di PAI “dissesti geomorfologici” a seguito del settembre 2017.

4.4 ASPETTI GEOMORFOLOGICI PECULIARI DELL'AREA LIVORNESE

Il settore montano-collinare di Livorno, sviluppato nella porzione centro-orientale e meridionale del territorio comunale è quello maggiormente soggetto a problematiche di stabilità dei versanti. Oltre a presentare le maggiori elevazioni e le incisioni più profonde da parte dei terreni, mostra anche gli affioramenti più articolati, e cioè le formazioni dei Complessi "Liguri" con assetto caotico o con strutture tettoniche (anticlinali, sinclinali, pieghe), in continua variazione.

A livello litologico la maggiore estensione degli affioramenti di queste formazioni è costituita da argilliti con

interstrati calcarei, in proporzioni e spessori variabili nelle varie formazioni (vedi Carta Geologica).

I litotipi argillitico-calcarei con intercalazioni marnose e lenti di varia natura hanno proprietà opposte nei confronti degli agenti erosivi: i calcari sono impermeabili (ove non fratturati) e resistenti; gli argilloscisti, impermeabili nella massa e con innumerevoli piani di fissilità, formano invece un reticolo fitto di vie d'acqua più o meno capillare, in prossimità della superficie morfologica.

La facile degradazione della componente argillitica nei confronti degli agenti esogeni (principalmente acque dilavanti non regimate e mareggiate nei settori costieri) ove la roccia risulta priva di protezione rende queste litologie quelle che fanno riscontrare il maggiore verificarsi di eventi franosi, sia a livello numerico che a livello di areale complessivo di interesse.

Procedendo ad una analisi generale per i litotipi di interesse si dettaglia quanto segue.

Argilliti e argilloscisti

Questi litotipi predominano nella zona collinare livornese (Es. Argilliti a Palombini, Calcari – calcari marnosi – marne ed argilliti calcaree torbiditiche con intercalazioni di arenarie e siltiti – OMT, Formazione di Sillano, Argille e calcari di Canetolo lungo la costa, etc..) e ne formano la maggior parte dello scheletro solido.

L'assetto caotico dislocato e frantumato della massa rocciosa, con alternanze di argilliti e blocchi lapidei a prevalenza calcarea, oltre alla presenza di antiche superfici di scorrimento tettonico (storia deformativa delle masse alloctone), costituiscono elementi preponderanti di instabilità dei pendii.

Per i caratteri litologici ed in particolare per la componente argilloscistosa predominante, gli affioramenti sono quasi sempre accompagnati da una coltre detritica e da materiale di alterazione superficiale, talora molto abbondante (vedi zona di Montenero e relativi sondaggi). La maggior parte di tali affioramenti si ritrovano nell'area collinare di Livorno e in minima parte in zona costiera.

Tra le cause che favoriscono i movimenti gravitativi in queste formazioni, è importante anche il processo di scalzamento alla base operato dai corsi d'acqua in ambiente continentale e dalle mareggiate lungo la costa (es le Argilliti a Palombini interessano gran parte del settore costiero meridionale dalla foce del Chioma fino a quella del rio Rogiolo).

L'assetto caotico dei terreni rende spesso difficile l'individuazione delle frane, ove queste non si siano recenti ed associate a chiare corone di distacco, essendo peraltro la loro evoluzione spesso molto lenta: in sostanza, la relativa plasticità dei litotipi è associata ad una lentezza generale del movimento franoso e quindi l'alta frequenza di accadimento è associata spesso ad una difficoltà di cogliere dei segnali in superficie del fenomeno in essere.

Diaspri

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

Ofioliti

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.

Arenaria

Per l'Arenaria del Macigno (Unità Falda Toscana) è prevedibile un comportamento analogo a quello delle ofioliti.

Naturalmente per tutte le rocce affioranti estesa a gran parte dei rilievi, contribuisce alla difesa del suolo dall'erosione ed è pertanto fondamentale nella prevenzione dei dissesti a parità di altre condizioni morfologiche.

Limi e argille

La presenza in superficie di limi o argille limoso-torbose con comportamento geotecnico scadente (es. le Argille azzurre plioceniche FAA), richiede invece una maggiore attenzione, soprattutto per quanto riguarda i cedimenti e la potenziale subsidenza in caso di fluttuazione delle falde.

I depositi argillosi sono associati a pochi fenomeni franosi solo perchè sono associati ad aree pianeggianti per loro stessa genesi deposizionale; in caso contrario avrebbero una qualità altamente predisponente al fenomeno gravitativo, con elevata tendenza a plasticizzazione e a movimenti di colamento.

Terrazzi della pianura

Per quanto riguarda la stabilità delle aree dei terrazzi, in particolare per quello più basso di Livorno, si deve parlare della stabilità intrinseca dei sedimenti. La panchina (g3b e VILd), i conglomerati (bnb e g2b, etc..), le sabbie limose (VILb, VILe), le argille marine a discreta consolidazione (FAA), le sabbie e argille a scarsa

consolidazione (ART) hanno variabili caratteristiche geomeccaniche; tuttavia non innescano normalmente problemi di stabilità gravitativa a causa delle minime pendenze e delle modeste incisioni. Sono invece da considerare problematiche potenziali di subsidenza per i depositi a prevalenza argillosa in presenza di significative e periodiche fluttuazioni della falda sotterranea.

4.5 ASPETTI GEOMORFOLOGICI DELL'ISOLA DI GORGONA

Tutta la parte centrale dell'isola, in corrispondenza del Bacino dello Scalo, di quello Centrale e della parte alta del bacino di Cala Scirocco, è modellata in modo relativamente dolce, in netto contrasto con i ripidi solchi delle vallecicole che circondano l'isola.

La zona costiera è quella che pone i maggiori problemi di stabilità dei versanti; infatti le aspre e dirupate coste dell'Isola di Gorgona sono soggette a frane di crollo o per scalzamento diretto da parte del mare o per eccessiva ripidità.

Le frane di maggiori dimensioni si trovano nella costa di ponente maggiormente esposta all'azione demolitrice dei marosi e la loro evoluzione sembra che proceda in modo assai rapido. Le frane rientrano nel processo di arretramento delle coste aperte nei calcescisti di Punta Gorgona.

Le zone poste sul lato occidentale sono infatti sottoposte alla prevalente azione disagregatrice del Libeccio.

Invece tra Capo Zirri e Cala Mestra e da Punta di Cala Scirocco a Cala Martina predomina l'azione dei venti di scirocco e maestrale che, essendo meno potenti del libeccio, esercitano con le mareggiate una azione erosiva diversificata, più efficace sugli strati argillitico-filladici rispetto a quelli maggiormente coerenti.

All'interno dell'isola è in atto un processo di notevole degrado dei versanti favorito dall'abbandono delle opere di manutenzione dei terrazzamenti eseguiti per ricavare dai versanti superfici coltivate. Il decadimento di queste strutture comporta una notevole vulnerabilità dei versanti all'erosione da parte delle acque meteoriche.

In conseguenza dei fenomeni erosivi presenti, l'isola di Gorgona è caratterizzata da una pericolosità geologica e idraulica di grado da elevato a molto elevato; in quest'ultimo caso però, la pericolosità è concentrata soprattutto nei pochi siti in cui affiorano le alluvioni ed in cui è presente un reticolo idrografico ben organizzato.

Nella Valle dello Scalo malgrado la presenza di sbarramenti costituiti da più muri trasversali a protezione dalle alluvioni, in occasione di fortissimi nubifragi si sono verificati episodi di esondazione. Fra i più importanti accaduti in passato se ne ricorda uno catastrofico del secolo scorso, storicamente documentato, in cui si lamentarono notevoli danni, manifestatisi anche in tempi recenti, in occasione di un nubifragio che ha investito l'isola nella Valle dello Scalo, con conseguente alluvionamento da parte del corso d'acqua.

5. DINAMICA COSTIERA E AREE CON RELATIVE PROBLEMATICHE

Si riportano fedelmente i contenuti elaborati ed i dettagli di cui alla trattazione del Dott. Geol. L. Mazzei (febbraio 2019) facente parte della relazione esplicativa a supporto del Piano Strutturale 2 e gli elementi cartografici di cui alle tavv. GEO-G.08bis "Carta della Dinamica Costiera".

5.1 TRATTI COSTIERI CARATTERISTICI

La costa livornese si sviluppa per una lunghezza di circa 18 km (intesi come sviluppo di costa per sommatoria di tratti lineari successivi), a partire dalla foce dello Scolmatore dell'Arno fino alla foce del rio Chioma.

Le spiagge che vi sono sviluppate sono per lo più di limitata estensione, legate nella loro evoluzione di avanzamento/arretramento più alle opere antropiche a protezione delle strutture locali che alla dinamica costiera (tipo "pocket beach").

I fenomeni di instabilità della falesia sono stati già esposti nei paragrafi precedenti e ad essi si rimanda per ogni dettaglio.

In questa sede si approfondisce la descrizione della costa dal punto di vista della sua geomorfologia e della sua suddivisione in alcune facies tipiche dell'areale livornese.

Nel complesso, infatti, il litorale livornese non ha carattere di uniformità ed è possibile riconoscere in esso sostanzialmente **sei tratti principali di costa**, da Nord verso Sud e fra loro successivi:

1 - COSTA BASSA E SABBIOSA

Nel tratto che va dalla foce dello Scolmatore dell'Arno (area del Calambrone), confine settentrionale del Comune, alla Torre del Marzocco, la costa era originariamente bassa e sabbiosa; a tutt'oggi risulta ormai trasformata e obliterata dalle opere marittime; rimane un piccolo residuo rappresentato dalla Spiaggia dello Scolmatore (censita come arenile pubblico) che vede il suo equilibrio fortemente condizionato dalla dinamica di trasformazione del canale, con i noti fenomeni di interrimento anche a causa dello scarso tiraggio dello scolmatore e del gioco delle correnti locali.

Rari sono gli affioramenti di panchina (la Torre del Marzocco e le Torri del Porto Pisano sono state costruite su lembi rocciosi calcarenitici), poiché essa o è stata erosa durante le fasi fluviali wurmiane e successivamente demolita dalla trasgressione versiliana o giace sotto i sedimenti olocenici.

Tutta l'area fino al promontorio su cui sorge la Fortezza Vecchia è stata interessata dall'avanzamento della linea di riva per l'apporto dei sedimenti fluviali distribuiti dalle correnti secondo le principali direzioni N-W e SW.

Negli ultimi decenni, l'imponente attività antropica (costruzione e ampliamento delle strutture portuali e sistemazione idraulica dell'entroterra) ha scavalcato in velocità ed ampiezza il fenomeno naturale, provocando ulteriore avanzamento artificiale della riva.

Rimane oggi di questa costa solo un piccolo residuo, che va dalla foce dello Scolmatore fino all'inizio della seconda vasca di colmata, per un ridotto sviluppo di circa 150 m.

2 - COSTA BASSA OBLITERATA DALLE STRUTTURE MARITTIME E PORTUALI

La costa tipo 1, per natura in origine molto sviluppata fino alla Torre del Marzocco, è ormai obliterata e trasformata dall'azione antropica attraverso le opere del Porto Industriale e del Porto Mediceo, fino all'ex cantiere Orlando (oggi Azimuth-Benetti) nel settore della Porta a Mare.

Lo sviluppo, inteso come falcata di costa, è di circa 4,5 km.

3 - COSTA BASSA DALLA SPIAGGIA DELLA BELLANA FINO ALLA FOCE DEL RIO ARDENZA (spiaggia treponti)

A partire dal limite Nord del lungomare di Livorno (ex cantiere Orlando) fino alla foce del Rio Ardenza, la costa è caratterizzata in maniera incisiva dalla panchina, che forma numerose "beach rock" (spiaggia fossile cementata), sia emerse che sommerse. La beach rock è ben visibile in vari siti (Terrazza Mascagni, S.Jacopo in Acquaviva, S.Leopoldo, Rotonda di Ardenza), altrimenti è coperta dai moli, dalle infrastrutture antropiche marittime, dai numerosi stabilimenti balneari che in gran parte sono appoggiati su di essa con relativi moli e scogliere di protezione.

In questo stesso tratto sono, o furono, presenti piccole baie costituite da spiagge più o meno ciottolose (spiagge a tasca, oggi definite anche pocket-beach), formatesi in corrispondenza dello sbocco a mare dei corsi d'acqua o al riparo sottoflutto rispetto ai moti ondosi dominanti; si segnalano quella della Bellana agli ex Cantieri Navali, quella sita tra i Bagni Fiume ed il moletto di Ardenza, in corrispondenza del Rio Felciaio; quella dei Tre Ponti alla foce del Rio Ardenza, che ha subito profonde modificazioni. Altre ne dovevano esistere a S.Jacopo in Acquaviva e all'antico Forte dei Cavalleggeri.

Comunque allo stato attuale questo tratto presenta quasi completamente spiagge cementate formate dalla panchina.

Lo sviluppo, inteso come falcata di costa, è di circa 3,7 km.

4 - FALESIA MEDIO-BASSA FRA RIO ARDENZA AL RIO MAROCCONE

Tra le foci dei Rii Ardenza e Maroccone, la costa diventa progressivamente alta e rocciosa, poiché assume l'aspetto di falesia per la presenza della scarpata a mare del Terrazzo di Livorno che raggiunge quote intorno ai 10 m, massimo 15 m, sul livello del mare. Tale scarpata è impostata sulle rocce delle Successioni Ligure Alloctone (per lo più Argille e calcari di Canetolo) che formano un complesso caotico e stratificato con argilloscisti e calcari facilmente erodibili ed aggredibili dalle mareggiate; il litorale assume così aspetto frastagliato con piccoli promontori e baie, con ridotte spiaggette ciottolose, di cui quella dei Tre Ponti (foce rio Ardenza) è forse la più importante.

L'erosione marina al piede della falesia è attiva ed energica, con dilavamento superficiale sulle pareti, determinato dalla natura litologica delle rocce affioranti. In vari siti della scarpata sono presenti movimenti di frana e di crollo. Questi fenomeni sono ben visibili lungo il Viale di Antignano, ai lati della scalinata, di fronte a Villa Pendola, sia a nord che ad ovest il Cimitero di Antignano ed al campeggio Miramare. Di rilevante significato è l'arretramento dell'orlo della falesia, molto rapido in certi punti come tra l'insenatura dell'hotel Rex e la foce del Rio Maroccone.

Lo sviluppo, inteso come falcata di costa, è di circa 3,7 km.

5 - FALESIA MEDIA E ALTA TRA MAROCCONE E ROGIOLO

Tra il Maroccone ed il Rogiolo, la costa aumenta di quota con imponenti scogliere e dirupi a picco sul mare.

L'erosione marina è molto attiva ma riguarda principalmente e direttamente le rocce della falesia, che in questo tratto sono tenaci e compatte, come l'arenaria di Calafuria. Le rocce ofiolitiche del Castel Sonnino, pur dotate di una buona resistenza, si sgretolano più facilmente dell'arenaria e sono segnalate e frane di crollo lungo il promontorio, dalla cala del Leone (registrati distacchi di grossi blocchi all'estremità sud) fino al porticciolo del Rogiolo per la presenza degli affioramenti arenacei e dello sperone ofiolitico del promontorio del Romito (Gabbri e filoni basaltici).

Le rare spiaggette (pocket beach) sono costituite da ciottoli eterometrici grossolani trasportati dai corsi del Botro Calafuria e Botro Caligniaia e rielaborati dal mare. Sotto il promontorio di Castel Sonnino, si trovano due piccoli arenili ghiaiosi, alimentati dallo smantellamento dei sovrastanti terreni ofiolitici: uno è stabile, l'altro, posto sotto la ferrovia, è in crescita.

Questo tratto ha sviluppo di circa 3,5 km.

6 - FALESIA MEDIO-BASSA FRA FOCE DEL ROGIOLO E FOCE DEL RIO CHIOMA

Nel tratto più meridionale, dalla foce del torrente Rogiolo fino alla foce del Rio Chioma, la costa riprende i caratteri di falesia "medio-bassa" come al tratto 4 per la presenza del terrazzo morfologico marino, correlabile a quello di Livorno e giacente su un medesimo substrato composto da argilloscisti e calcari (formazione delle Argille a Palombini).

A livello di dinamica costiera Valgono le considerazioni fatte per la falesia di Ardenza-Antignano. Non si segnalano però importanti movimenti franosi di crollo o vistosi arretramenti dell'orlo di scarpata, poiché su quasi tutto il tratto di costa vi sono opere di sostegno e di protezione, data la continuità degli insediamenti abitativi e strutture balneari.

Tuttavia la tendenza al degrado della falesia è costante sia per natura litologica delle rocce sia per l'esposizione ai venti occidentali.

Allo sbocco del Rio Quercianella si segnala una piccola cala ghiaiosa limitata dal porticciolo e dai moletti in cemento.

Anche in questo tratto numerosi sono i fenomeni di instabilità, anche di limitate dimensioni, legati alla fragilità dei litotipi affioranti e all'azione incessante del mare.

Questo ultimo tratto meridionale ha sviluppo di circa 2,7 km.

IL FONDALE MARINO

Gli elementi morfologici più salienti del fondo marino prospiciente la costa sono: la presenza di un'ampia piattaforma rocciosa (per lo più panchina) di bassissima profondità a NW di Livorno (Secche della Meloria); la dorsale (profondità media 100 m) ed i Valloni della Gorgona; un'idrografia sommersa rintracciabile fino all'isobata 10 m; il margine della scarpata continentale, segnata tra -150 e -200 m.

La fascia litoranea sommersa più vicina alla costa nel tratto di cui ci stiamo occupando, presenta segni evidenti di rimodellamento subaereo e risulta in corso di livellamento per gli apporti terrigeni costieri. Le depressioni valliformi, alquanto addolcite, appaiono disposte secondo sistemi regolari e rappresentano il naturale prolungamento della corrispondente morfologia terrestre. Ad esempio, alla foce del Rio Ardenza, l'alveo emerso prosegue sul fondale per un tratto consistente, segno del periodo in cui il fosso si sviluppava su una terra emersa con mare arretrato rispetto ad oggi (fasi regressive).

5.2 CENSIMENTO DELLE SPIAGGE

Nel **Piano di utilizzazione della costa**, redatto dall'Ufficio Ambiente nel 2006 (Dr. Geol. L. Gonnelli et alii), sono stati censiti 40 arenili pubblici lungo la costa livornese, con analisi morfometrica, dimensionale (lunghezza max e larghezza max), servizi vari esistenti per i bagnanti, grado di pericolosità geomorfologica (con classi derivanti dall'allora vigente DCR 94/1985, oggi sostituita dalla DGRT 53/R/2011 con diversa classificazione), esposizione ai venti, granulometria, geologia e altri caratteri che omettiamo perché non interessano la nostra analisi.

n.	DENOMINAZIONE ARENILE	GRANULOMETRIA MEDIA	AREA	lunghezza	larghezza	GRADO DI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA (ex DCR 94/1985)
			(mq)	(m)	(m)	
1	SPIAGGIA DELLO SCOLMATORE	Psammitica	5500	310	34	MEDIA
2	SPIAGGIA DELLA BELLANA	Psammitica	1160	166	14	BASSA
3	SCOGLI DELLA TERRAZZA	Bed-rock	31000	700	60	BASSA
4	ANGOLO DEL TRITONE	Psefitica	190	28	9	BASSA
5	MOLETTA DI SAN JACOPO	Cemento	160	53	3	BASSA
6	SPIAGGIA DEL LAZZERETTO	Psammitica	2300	215	25	BASSA
7	SCOGLI DEL LAZZERETTO	Bed-rock	42000	805	133	BASSA
8	SPIAGGIA DELLA VELA	Psammitica	1700	117	32	BASSA
9	SPIAGGIA DEL FELCIAIO	Psammitica	2370	115	31	BASSA
10	ANGOLO DEL PENSATORE	Psefitica	180	33	9	BASSA
11	ANGOLO DEL PORTICCIOLLO	Psefitica	145	27	11	BASSA
12	SCOGLI DELLA ROTONDA	Bed-rock	8050	400	60	BASSA
13	SPIAGGIA DELLA ROTONDA	Psammitica	770	100	15	BASSA
14	SPIAGGIA DEI TRE PONTI	Psammitica	7200	390	30	BASSA
15	SPIAGGETTA DI BANDITELLA	Psefitica	465	86	7	BASSA
16	SPIAGGIA DELLA TAMERICE	Psefitica	230	26	8	ELEVATA
17	SPIAGGIA DI CABIANCA	Psefitica	510	100	6	ELEVATA
18	SPIAGGIA LONGA	Psefitica	980	90	14	MEDIA
19	SPIAGGIA DELLA BALLERINA	Psefitica	1030	94	14	MEDIA-ELEVATA
20	SPIAGGIA DEL SALE	Psefitica	2483	183	24	BASSA-MEDIA
21	SPIAGGIA DI VILLA PENDOLA	Psefitica-psammitica	250	24	12	ELEVATA
22	ANGOLO DEL PENDOLA	Psefitica-psammitica	220	27	11	ELEVATA
23	SPIAGGIA DEL BENZINAIO	Psefitica-psammitica	202	32	9	MEDIA
24	SPIAGGIA DEL CORSARO	Psefitica	3000	255	18	MEDIA-ELEVATA
25	SPIAGGIA DEL CASOTTO	Psefitica	860	68	19	ELEVATA
26	SPIAGGIA ANTIGNANO	Psefitica	1510	126	17	MEDIA
27	SPIAGGIA DELLA GINESTRA	Psefitica	1780	147	25	MEDIA
28	SPIAGGIA DEL MIRAMARE	Psefitica	2000	276	10	MEDIA
29	SPIAGGIA DEL MAROCCONE	Psefitica	3080	103	45	MEDIA
30	SPIAGGIA DI CALAFURIA	Psefitica	656	68	14	MEDIA
31	SPIAGGIA DI CALIGNAIA	Psefitica	530	70	14	BASSA-MEDIA
32	CALA DEL LEONE	Psammitica-Psefitica	2250	90	38	MEDIA-ELEVATA
33	SPIAGGIA DEL SONNINO	Psammitica-Psefitica	450	40	15	MOLTO ELEVATA
34	SPIAGGIA DEL ROGIOLO	Psefitica	690	70	15	MEDIA
35	SPIAGGETTA JANA	Psefitica	376	50	11	BASSA
36	SPIAGGETTA DI QUERCIANELLA	Psefitica	885	107	18	BASSA-MEDIA
37	SPIAGGIA DELLA MADONNINA	Psefitica	2590	290	15	ELEVATA-MOLTO ELEVATA
38	SPIAGGIA DELLA PIEGA	Psefitica	463	64	10	MEDIA
39	SPIAGGIA DEI GHIAIONI	Psefitica	930	60	19	MEDIA-ELEVATA
40	SPIAGGIA DI CHIOMA	Psefitica	650	82	22	ELEVATA-MOLTO ELEVATA

Fonte: Piano di utilizzazione della costa, Ufficio Ambiente, anno 2006, dr. Geol. Gonnelli et alii

NB: la classificazione granulometrica adottata nello studio, di tipo qualitativo e non supportata da analisi granulometriche di laboratorio, è così definibile a livello di classi dimensionali:

FRAZIONE PELITICA: diametro medio granuli < 0.062 mm (non rilevata)

FRAZIONE PSEFITICA: diametro medio dei granuli > 2 mm

FRAZIONE PSAMMITICA: 0.062 mm < diametro medio granuli < 2 mm

Oltre a sopra si definisce quanto sotto:

BEDROCK: è la spiaggia formata da panchina calcarenitica, quindi con caratteristiche più di "roccia" che di "terra", di fatto assimilabile ad una piattaforma semicementata con elevata coerenza, aggredibile dall'erosione in tempi lunghi e non modificabile dalla singola mareggiata seppur violenta.

Concordiamo a grandi linee con l'analisi eseguita e la riproponiamo quale caratterizzazione di dettaglio dei vari arenili; riteniamo peraltro che il grado di pericolosità geomorfologica vada esteso in questa sede a rappresentare anche la vulnerabilità all'erosione e alla destabilizzazione dell'arenile da parte della dinamica marina, oltre che dalla possibile influenza da parte di tratti di falesia instabile.

Del resto il concetto di pericolosità geomorfologica dei tratti di falesia e delle spiagge antistanti può non coincidere, in quanto l'instabilità per dinamica costiera (es. erosione spiaggia) può non corrispondere ad una instabilità gravitativa delle falesia (legata in gran parte alla coerenza e compattezza dei litotipi affioranti).

Pertanto nella Carta della Pericolosità Geomorfologica (GEO_G.04 – Geo Eco Progetti, maggio 2023) alcuni dei gradi di pericolosità indicati nello studio sono stati trasposti nella nuova classificazione della DGRT 5/R/2020, mentre altri, soprattutto i gradi "bassa" e "media", sono stati elevati a G3 o G4 (grado elevato/molto elevato) in quanto riteniamo che ogni arenile, in quanto direttamente e continuamente influenzato dalla dinamica marina in continua evoluzione stagionale, pur se posto in aree con un certo grado di protezione (es. moli frangiflutti, golfi protetti o situazioni similari), rientri nelle definizioni proprie della classe di pericolosità G3 o G4 della normativa richiamata, essendo comunque presenti delle "acque superficiali" e dei fenomeni generalmente "attivi" quali l'azione del mare legata al vento ed alle correnti.

In questo senso a nostro avviso un arenile dovrebbe essere classificato con gradi di pericolosità minimo G3, elevabile a G4 nei casi di fenomeni attivi; estendiamo questo concetto di pericolosità dell'arenile a quella costiera in senso lato (es. falesia non protetta esposta ai marosi e/o interessata da instabilità gravitativa attiva/quiescente).

Pertanto nella definizione di pericolosità geomorfologica dello Studio riscontriamo un ragionevole collegamento al concetto di "vulnerabilità" dell'arenile, o meglio di "**suscettibilità all'erosione e alla destabilizzazione**" da parte dagli agenti marini in primis, intesa come sommatoria delle **cause predisponenti** (granulometria) e di quelle **determinanti** (esposizione alle mareggiate e ai venti provenienti dai quadranti ovest), per ultimo anche dalla acclività della spiaggia e dalla presenza a monte di una falesia con un certo grado di instabilità, come spesso accade lungo il litorale livornese.

5.2 ANALISI DELLE SPIAGGE E FENOMENI DI EROSIONE

SPIAGGIA DELLO SCOLMATORE

La spiaggia è legata al fenomeno dell'interramento del tratto terminale dello Scolmatore dell'Arno, collegato allo scarso tiraggio del canale artificiale ed al gioco delle correnti locali. Nell'area della foce c'è un sostanziale equilibrio, con un debole trasporto da sud verso nord, e anche la direzione della foce, verso sud, potrebbe concorrere all'interramento.



EX SPIAGGIA TRA CALAMBRONE E TORRE MARZOCCO

La piccola spiaggia, ormai obliterata dalle strutture portuali (vedi vasche colmata e strutture portuali pregresse), era in discreto equilibrio. L'origine recentissima del lido costiero e la natura dei sedimenti, così come per l'entroterra limitrofo, consigliano di tenere presente il fenomeno della subsidenza.

SPIAGGETTA DELLA BELLANA

E' la prima spiaggia sabbiosa dopo il comparto marittimo industriale. Negli ultimi anni è praticamente scomparsa la spiaggetta che esisteva lungo la spalletta della passeggiata a mare, con un accumulo all'angolo sud e un piccolissimo accumulo sul lato nord opposto. È probabile che sulla sua erosione abbia influito il ripristino ed il potenziamento del molo sud dello scalo Morosini.



SCOGLI DELLA TERRAZZA

Costituita dalla beach-rock della Terrazza Mascagni, è sostanzialmente stabile, con velocità di erosione legata al grado di cementazione della panchina calcarenitica.



ANGOLO DEL TRITONE

Piccola spiaggetta in angolo della Terrazza Mascagni, adiacente al lungomare. Formata da depositi a granulometria pefitica e legata all'accumulo nel golfo artificiale esistente fra la Terrazza e i Bagni Pancaldi.



MOLETTO DI SAN JACOPO

Molo cementato frequentato dai bagnanti posto davanti all'omonima Piazza, vicino al Lungomare, non presenta accumulo di sedimenti.



SPIAGGIA DEL LAZZERETTO

Di limitato spessore, è sviluppata sopra la panchina calcarenitica (Scogli del Lazzeretto) adiacente al lato sud dell'Accademia navale.

E' formata dall'accumulo di sedimenti psammitici provenienti dalla disgregazione della calcarenite ed accumulati durante le mareggiate, in parte anche dall'azione eolica per la frazione più fine.



SCOGLI DEL LAZZERETTO

Costituita dalla beach-rock su cui è impostata gran parte dell'Accademia Navale e delle strutture a sud, è sostanzialmente stabile, con velocità di erosione legata al grado di cementazione della panchina calcarenitica.



SPIAGGIA DELLA VELA

E' analoga per genesi e tipologia alla Spiaggia del Lazzeretto, con sopra la panchina calcarenitica (Scogli del Lazzeretto) adiacente al lato nord dei Bagni Fiume.

E' formata dall'accumulo di sedimenti psammitici provenienti dalla disgregazione della calcarenite ed accumulati durante le mareggiate, in parte anche dall'azione eolica per la frazione più fine.



SPIAGGIA DEL FELCIAIO

Ubicata sul lato Sud dei Bagni Fiume, è in accumulo sul lato centrale e in erosione alle estremità. Granulometria psammitica Vi sfocia il Rio Felciaio (tombato nell'ultimo tratto).



ANGOLO DEL PENSATORE e ANGOLO DEL PORTICCIOLO

Rispettivamente adiacenti a Nord e a Sud del Porticciolo prospiciente la Baracchina Rossa in Viale Italia, sono piccole spiaggette dovute al limitato accumulo di sabbie a grana pefitica. Di fronte all'angolo del porticciolo c'è una spiaggetta simile sul lato opposto.



SCOGLI DELLA ROTONDA e SPIAGGIA DELLA ROTONDA

Di fronte alla rotonda di Ardenza, gli Scogli sono una beach-rock calcarenitica di genesi analoga alle precedenti, poco erodibile e sostanzialmente stabile; sopra di essa è impostato un arenile psammitico di limitato spessore, di origine marina ed eolica, la Spiaggia della Rotonda, accumulato contro la spalletta perimetrale della piazza.



SPIAGGIA TRE PONTI FOCE RIO ARDENZA

Una particolare attenzione merita la spiaggia alla foce del Rio Ardenza poiché essa in pochissimi anni ha subito notevoli modificazioni. Si sono verificate consistenti dispersioni della lama sabbiosa, con conseguente interrimento della foce del Rio e l'accumulo a sud della piattaforma (costruita verso mare e collegata al lido) e l'avanzamento della linea di spiaggia sotto Villa Carolina. È invece scomparso quasi tutto l'arenile al piede della spalletta del viale d'Antignano, a sud della spiaggia, ormai lambito direttamente dal mare. C'è zona di accumulo sul lato Nord e tendenzialmente di erosione a sud del pennello fino alla parte centrale, poi il pennello successivo nei pressi del bagno determina una nuova zona di accumulo, a cui segue erosione lungo la spalletta del viale di Antignano (quasi scomparso arenile sotto spalletta del viale).



SPIAGGETTA DELLA BANDITELLA

Arenile di dimensioni modeste, sviluppato sopra una placca di calcarenite, a granulometria media pefitica, in equilibrio discretamente stabile grazie al substrato lapideo.



SPIAGGIA DELLA TAMERICE E SPIAGGIA DI CABIANCA

Tendenza all'arretramento della falesia. Erosione continua con frane di crollo, fenomeno ben visibile da qui fino a Villa Pendola e poi a Nord e a Ovest del cimitero di Antignano e al campeggio del Miramare.



SPIAGGIA LONGA E SPIAGGIA DELLA BALLERINA

Spiaggia lunga: accumulo preferenziale sul lato nord ed erosione lato sud - Spiaggia della ballerina: stabile protetta da scogli naturali alimentati da distacchi periodici di blocchi dalla falesia.



SPIAGGIA DEL SALE

Arenile psefitico/psammitico impostato su placca calcarenitica senza falesia alle spalle. Alimentato dal disfacimento della calcarenite e dal vento.

In crescita sul lato centrale fino al pennello. stabile nel golfo centro-nord fra scoglio del sale e scoglio ballerina. Sfocia qui in subalveo il fosso della Banditella. AL recente alluvione del 2017 ha disfatto gran parte della spiaggia in foce.



SPIAGGIA DI VILLA PENDOLA, ANGOLO DEL PENDOLA, SPIAGGIA SOTTO "DISTRIBUTORE" ("SPIAGGETTE DELLE VILLE")

Angolo del Pendola e spiaggia adiacente con tendenza all'arretramento della falesia come in tratti precedenti. Fenomeni di crollo evidenti.



SPIAGGIA DEL CORSARO E SPIAGGIA DEL CASOTTO

Erosione della falesia (ACC - argille e calcari di Canetolo), tendenza all'avanzamento presso spiaggia del casotto e di erosione nella spiaggia del corsaro erosione. Fenomeni di accumulo legati a strutture antropiche bagni Hotel Rex. Da hotel Rex al Maroccone la falesia è in generale arretramento per i fenomeni erosivi.



SPIAGGIA DI ANTIGNANO E SPIAGGIA DELLA GINESTRA

Tendenza all'arretramento maggiore presso spiaggia Antignano. (sx foto)



SPIAGGIA DEL MIRAMARE

Area con falesia in arretramento. Arenile pefitico



SPIAGGIA DEL MAROCCONE

Spiaggia pefitica legata all'interfaccia fra i depositi alluvionali della foce del Maroccone e la dinamica costiera locale, con parziale intervento antropico di protezione dell'arenile con blocchi grossolani.

Segna il confine fra il dominio delle arenarie di Calafuria (a sud) e il dominio degli argilloscisti di Canetolo (a Nord) che si mantiene fino al settore della Spiaggia della Tamerice.

Nel sopralluogo post evento del settembre 2017 la spiaggia era completamente rovinata e rimaneggiata dai detriti dell'alluvione.



COSTA ALTA FRA CASTELLO BOCCALE E FOCE ROGIOLO

L'erosione è notevole ma le rocce del tratto Maroccone-Rogiolo sono resistenti (arenarie e rocce verdi). L'arenaria di Calafuria è più resistente delle rocce verdi sotto Castel Sonnino, che danno luogo ad alcune frane di crollo più facilmente delle arenarie (vedi Cala del Leone con recenti distacchi di grossi blocchi e porticciolo del Rogiolo).

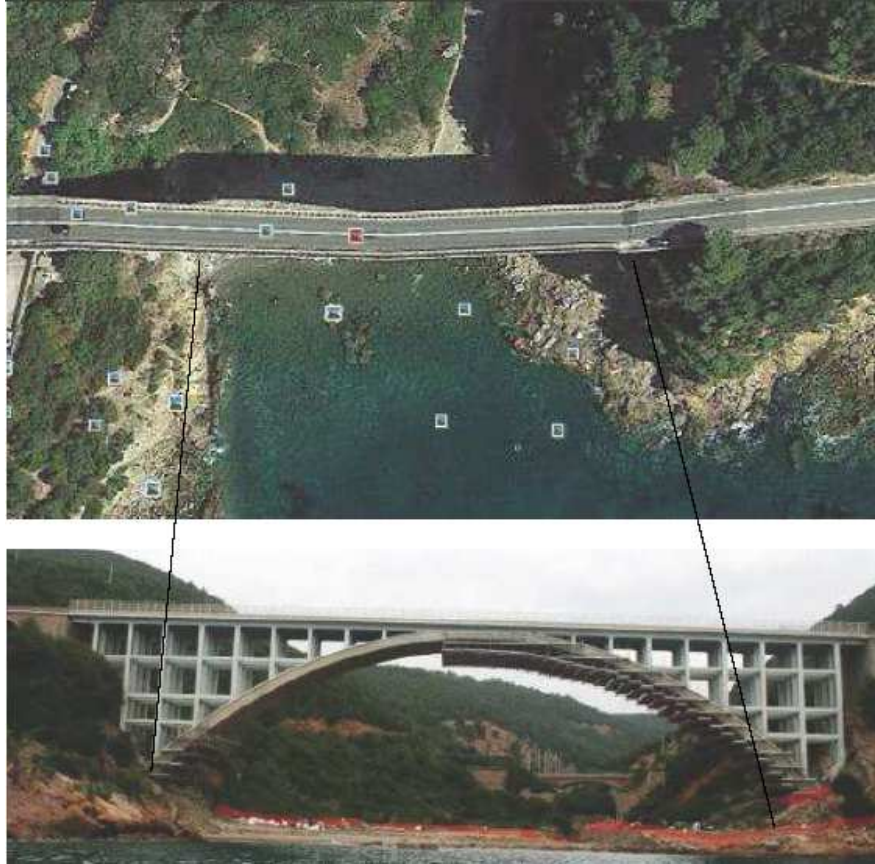
SPIAGGIA DI CALAFURIA

Sviluppata alla confluenza di due corsi d'acqua torrentizi subparalleli, entrambi identificati col toponimo "Botro di Calafuria" nel reticolo idraulico del PAI, coincide con un'ansa importante nel massiccio lapideo arenaceo, un piccolo golfo locale intermedio alle due importanti ex aree di cava ben visibili all'interno della collina. Essendo in area di costa alta e mare profondo, con i botri a carattere torrentizio ed elevata energia fino quasi alla foce, i depositi sono di tipo grossolano (granulometria psammitica). La spiaggia è obliterata a livello visuale dai due ponti che la sovrastano, quello stradale e quello ferroviario col grande pilone di sostegno. Da notare la struttura relitta della vecchia SS1 di cui rimangono alcune vestigia ben visibili dall'alto.



SPIAGGIA DI CALIGNAIA

Sviluppata alla foce del Botro di Calignaia, mantiene numerose caratteristiche della Spiaggia di Calafuria sia per genesi che per tipologia granulometrica (psefitica), oltre che per assetto tettonico dell'ammasso locale.



CALA DEL LEONE

Formatasi in una stretta insenatura, mantiene un discreto equilibrio fra alimentazione ed erosione. Sostanzialmente stabile. Granulometria medio-grossolana dei ciottoli. Frane di grossi blocchi al lato della spiaggia dalle rocce verdi.



SPIAGGIA DEL SONNINO

Spiaggia di ridotte dimensioni in seno alle rocce ofiolitiche locali, con granulometria molto variabile. Vi sfocia un modesto torrente che si forma a valle della strada sovrastante. Frane di blocchi presso Porticciolo del Rogiolo.



SPIAGGIA DEL ROGIOLO

Caratterizzata dalla presenza di bagni privati, vi sfocia il torrente Rogiolo, che presenta molte problematiche di instabilità lungo il suo corso (numerose frane cartografate). La spiaggia è mantenuta dai proprietari del bagno e per questo piuttosto stabile nel suo perimetro. Si trova al confine fra le rocce ofiolitiche e quelle sedimentarie dell'area di Quercianella.



SPIAGGETTA JANA E SPIAGGETTA DI QUERCIANELLA

Spiagge molto limitate in estensione. La spiaggia di Quercianella è alimentata anche dai detriti rimaneggiati del Fosso di Quercianella che vi sfocia.



FALESIA FRA QUERCIANELLA E LA FOCE DEL CHIOMA

Situazione simile al tratto Ardenza-Antignano, con la differenza che qui la presenza di insediamenti abitativi e strutture balneari con opere di sostegno lungo costa ha contenuto i crolli e l'arretramento della falesia, altrimenti favoriti dalla dinamica costiera locale.

SPIAGGIA DELLA PIEGA

Forte presenza di strati verticali di Argilliti a Palombini che generano molti distacchi di blocchi calcarei.



6. PERICOLOSITA' GEOLOGICA

La carta della pericolosità geologica (in scala 1:10.000) rappresenta la sintesi degli elaborati a tematica geologica, geomorfologica e litologico tecnica redatti ed illustrati nei precedenti paragrafi per descrivere le caratteristiche del territorio investigato.

Il suo scopo fondamentale è di indicare:

- l'ubicazione e l'intensità dei fenomeni geomorfologici e geologici s.l. che interessano determinate porzioni di territorio;
- il livello di indagine di approfondimento da attuare nel caso di interventi in aree da essi interessate.

E' chiaro che il grado di pericolosità geologica attribuito ad ogni porzione territoriale deriva dalla interazione di numerosi fattori ambientali. Tali fattori, che dipendono essenzialmente dai caratteri geologici, geomorfologici, geotecnici, geomeccanici e clivometrici del territorio, possono causare sia un diretto dissesto del suolo, che una potenziale minaccia ad intere aree ("propensione al dissesto potenziale").

Di conseguenza, nella carta della pericolosità geologica si prevede non solo l'individuazione dei settori interessati da dissesti attivi, ma anche la delimitazione delle aree di potenziale evoluzione di un fenomeno in essere e/o di aree potenzialmente vulnerabili al verificarsi di elementi critici.

6.1 CARTA della PERICOLOSITA' GEOLOGICA (ex Reg. Reg. n. 5/R/2020)

Andando ad una descrizione sistematica delle singole classi di pericolosità geomorfologica e dei criteri di attribuzione alle stesse, per la redazione delle tavv. GEO_G.07 (Geo Eco Progetti, maggio 2023) elenchiamo in ordine decrescente:

Pericolosità geologica molto elevata (G.4): aree in cui sono presenti fenomeni franosi attivi e relative aree di evoluzione, ed aree in cui sono presenti intensi fenomeni geomorfologici attivi di tipo erosivo.

Sono state normalmente inserite in classe G.4 le aree che presentano le seguenti caratteristiche geologiche/geomorfologiche:

- frane attive (di scivolamento e colata lenta) comprensive, della corona di distacco, del corpo di frana e della zona d'unglia e delle relative aree di possibile evoluzione del dissesto (S3 di cartografia geomorfologica del vigente SU e S3 di PAI distrettuale);
- areali individuati come interessati da franosità diffusa attiva (F di cartografia geomorfologica del vigente SU e FD3 di PAI distrettuale);
- aree delimitate da orli di scarpata d'erosione costiera e "fronte mare a franosità diffusa attiva" (mappate come F in cartografia geomorfologica del vigente SU) comprendenti fenomeni e frane di crollo attive sulle falesie alte e medie;
- frane di piccole dimensioni, frane non dettagliatamente cartografabili e/o puntuali fenomeni di dissesto gravitativo in atto (si tratta di fenomeni che seppur attivi interessano porzioni assai limitate arealmente e comunque non cartografabili nel dettaglio di scala 1:10.000 in forma poligonale);
- orli di scarpate attive con relative aree di possibile evoluzione e influenza;
- orli di scarpate di erosione e/o ripe fluviali in cui siano in atto fenomeni di erosione laterale di sponda da parte dei corsi d'acqua (con relativa area di possibile evoluzione);
- alvei con accentuata tendenza all'approfondimento (alvei in incisione di cartografia geomorfologica);
- aree comunque ricadenti in classe di pericolosità da frana molto elevata di cui alla perimetrazione P4 del progetto di PAI "Dissesti Geomorfologici" Distretto Appennino Settentrionale adottato dalla Conferenza Istituzionale Permanente con delibera n. 28 del 21 dicembre 2022; perimetrazioni che tengono conto e comprendono le modifiche e gli aggiornamenti susseguitisi nel tempo e ratificati con Decretazioni del Segretario Generale (n. 23 del 27.03.2019, n. 14 del 15.02.2021 e n. del 2023) e le indicazioni derivanti dalla classificazione PFME dell'Autorità di Bacino Regionale Toscana Costa.

Come sopra citato, oltre alle aree che presentano le caratteristiche sopra elencate (desumibili dai “poligoni geomorfologici”) si è provveduto ad inserire in classe di pericolosità geologica molto elevata G.4 le aree, a contorno “di influenza (buffer)” dei fenomeni attivi descritti, che rappresentano le fasce di possibile evoluzione, così come delineate dalla Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale in fase di istruttoria finalizzata alla “revisione e modifica delle mappe di pericolosità da frana del PAI Distrettuale e come previste dallo stesso DPGR n. 5/R/2020.

Per quanto concerne le notazioni geomorfologiche relative a “forme lineari” tipo orli di scarpate, per cui non si definisca, in cartografia geomorfologica, un areale “poligonale” (come per esempio per le scarpate attive), si è provveduto a delimitare una area di possibile evoluzione a monte per almeno 10/20 ml di ampiezza dell’orlo di scarpata (in relazione all’altezza stessa della scarpata), considerando per la porzione verso valle i cinematismi, le eventuali traiettorie di percorsi di blocchi per cui sia stata rilevata possibilità di distacco, dislivello fra il coronamento di scarpata e la sua base, morfologia ed acclività dell’area di valle della scarpata e modalità di evoluzione dei fenomeni stessi.

In queste zone dovranno privilegiarsi interventi tesi alla bonifica e al recupero ambientale dei luoghi stessi.

In ogni caso qualsiasi previsione di interventi di nuova costruzione o nuove infrastrutture, che incidano su tali terreni, oltre a rispettare i criteri generali previsti dalla pianificazione di bacino, è subordinata alla preventiva esecuzione di interventi di messa in sicurezza e relativi sistemi di monitoraggio sull’efficacia degli stessi secondo le indicazioni ed i dettagli di cui al comma 3.2.1 dell’allegato A al Reg. Reg. n. 5/R. per le aree classificate in classe di pericolosità geologica molto elevata.

Gli interventi di messa in sicurezza, che **dovranno essere individuati e dimensionati in sede di piano operativo** sulla base di studi, rilievi e indagini geognostiche e geofisiche e opportuni sistemi di monitoraggio propedeutici alla progettazione, dovranno risultare tali da:

- a.1) non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti;
- a.2) non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi;
- a.3) consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.

La durata del monitoraggio relativo agli interventi di messa in sicurezza è definita in relazione alla tipologia del dissesto e dovrà essere concordata tra il comune e la struttura regionale competente.

La fattibilità degli interventi sul patrimonio edilizio esistente che comportano la demolizione e ricostruzione, o aumenti di superficie coperta o di volume, e degli interventi di ampliamento e adeguamento di infrastrutture a sviluppo lineare e a rete è subordinata alla valutazione che non vi sia un peggioramento delle condizioni di instabilità del versante e un aggravio delle condizioni di rischio per la pubblica incolumità

Pericolosità geologica elevata (G.3): aree in cui sono presenti fenomeni franosi quiescenti e relative aree di evoluzione; aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, ad acclività, a litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee e relativi processi di morfodinamica fluviale, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da fenomeni di soliflusso, fenomeni erosivi; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche; corpi detritici.

Sono state di norma inserite in classe G.3 le aree che presentano le seguenti caratteristiche geologiche/geomorfologiche:

- frane inattive e/o quiescenti (di scivolamento e colata lenta) comprensive, della corona di distacco, del corpo di frana e della zona d’ungchia e delle relative aree di possibile evoluzione del dissesto (S2 di cartografia geomorfologica e S2 di PAI distrettuale);
- areali individuati come interessati da deformazioni superficiali e/o franosità diffusa inattiva (DS di cartografia geomorfologica del vigente SU corrispondente a FD2 di PAI distrettuale);
- aree comunque ricadenti in classe di pericolosità da frana elevata di cui alla perimetrazione P3 del progetto di PAI “Dissesti Geomorfologici” Distretto Appennino Settentrionale adottato dalla Conferenza Istituzionale Permanente con delibera n. 28 del 21 dicembre 2022; perimetrazioni che tengono conto e comprendono le modifiche e gli aggiornamenti susseguitisi nel tempo e ratificati con Decretazioni del Segretario Generale (n. 23 del 27.03.2019, n. 14 del 15.02.2021 e n. del 2023) e le indicazioni derivanti dalla classificazione PFE dell’Autorità di Bacino Regionale Toscana Costa.;
- orli di scarpate non attive;
- aree con affioramenti di formazioni litoidi con giacitura a franapoggio più o meno inclinate del pendio;

- terreni argillosi, argillitici, limosi, e terreni a struttura caotica: indicativamente con pendenze superiori al 10% e/o 6°;
- coltri detritiche di qualsiasi natura e/o genesi (detrito di falda, depositi detritici di versante, depositi eluvio-colluviali), ad esclusione delle coltri detritiche di frana oggetto di diversa casistica come in precedenza dettagliato per l'attribuzione delle classi G.4 e G.3;
- terreni sabbiosi, sabbioso - ghiaiosi, indicativamente con pendenze superiori al 20% e/o 11° circa;
- terreni litoidi e terreni granulari addensati e/o cementati: indicativamente con pendenze superiori al 35% e/o 19° circa;
- corpi d'acqua e relativi paramenti di valle;
- aree interessate da attività di cava trascorsa e/o in essere in cui non sia stata ravvisata condizione di pericolosità geologica molto elevata G.4 e discariche di materiali di cava;
- aree di discarica di RSU e/o inerti;
- terreni di riporto per bonifica, colmata e/o soggetti alla realizzazione di opere portuali;
- aree interessate da rilevanti manomissioni antropiche, quali rilevati realizzati ai fini infrastrutturali, riempimenti, scavi e rilevati arginali.

In sintesi, si collocano in tale classe tutte quelle aree per cui esistono indizi di passati o potenziali dissesti ed in cui si rende necessario un approfondimento degli studi secondo le indicazioni ed i dettagli di cui al comma 3.2.2 dell'allegato A del DPGR n. 5/R/2020 per le aree classificate in classe di pericolosità geologica elevata.

In ogni caso la fattibilità degli interventi di nuova costruzione o nuove infrastrutture, che incidano su tali terreni, oltre a rispettare i criteri generali previsti dalla pianificazione di bacino, è subordinata all'esito di studi, rilievi e indagini geognostiche e geofisiche, effettuate in fase di piano attuativo oppure, qualora non previsto, a livello edilizio diretto, finalizzate alla verifica delle effettive condizioni di stabilità. Qualora dagli studi, dai rilievi e dalle indagini ne emerga l'esigenza, la fattibilità degli interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture a sviluppo lineare e a rete è subordinata alla preventiva realizzazione degli interventi di messa in sicurezza.

Gli interventi di messa in sicurezza, che sono individuati e dimensionati in sede di piano attuativo oppure, qualora non previsto, a livello edilizio diretto, sono tali da:

- a.1) non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti;
- a.2) non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi;
- a.3) consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza.

La durata del monitoraggio relativo agli interventi di messa in sicurezza dovrà essere definita in relazione alla tipologia del dissesto ed è concordata tra il comune e la struttura regionale competente.

Il raggiungimento delle condizioni di sicurezza costituisce il presupposto per il rilascio di titoli abilitativi.

La fattibilità degli interventi sul patrimonio edilizio esistente che comportano la demolizione e ricostruzione, o aumenti di superficie coperta o di volume, e degli interventi di ampliamento e adeguamento di infrastrutture a sviluppo lineare e a rete è subordinata alla valutazione che non vi sia un peggioramento delle condizioni di instabilità del versante e un aggravio delle condizioni di rischio per la pubblica incolumità.

Pericolosità geologica media (G.2): aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici inattivi; aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto.

Si possono tentativamente ipotizzare individuazioni di aree per cui sia possibile indicare una condizione di minore propensione al dissesto in base a considerazioni cumulate e combinate di alcuni parametri predisponenti riconducibili alle caratteristiche geologiche del substrato, tipologia, spessore e caratteristiche idrogeologiche dei terreni affioranti, esposizione, clivometria, caratteristiche litotecniche e parametrizzazione geotecnica dei terreni, consistenza e diffusione del sistema/sistemi di fratturazione ecc., secondo i seguenti criteri ed indirizzi:

- terreni argillosi, argillitici, limosi, e terreni a struttura caotica: indicativamente con pendenze inferiori al 10% e/o 6°;

- terreni sabbiosi, sabbioso - ghiaiosi, indicativamente con pendenze inferiori al 20% e/o 11° circa;
- le aree con formazioni litoidi affioranti con giacitura a reggipoggio o con litologia compatta, con scarsa pendenza in relazione al contesto litostratigrafico, o con irrilevante copertura detritica e alteritica;
- aree modificate con strutture e/o manufatti antropici.
- aree interessate da dissesti di natura geomorfologica individuate con “poligoni” che riguardano zone che abbiano subito dissesto che risultino naturalmente o artificialmente definitivamente stabilizzate a seguito di esaustivi interventi di bonifica realizzati e collaudati e le forme relitte e quindi non attive.

Nella classe G.2 sono comprese le aree apparentemente stabili sulle quali permangono dubbi che potranno tuttavia essere chiariti a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia. Tali zone sono in genere quelle collinari meno acclivi, dove non si osservano evidenze di instabilità. Le condizioni di attuazione sono indicate in funzione delle specifiche indagini da eseguirsi a livello edificatorio, al fine di non modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area.

Pericolosità geomorfologica bassa (G.1): aree pianeggianti e sub-pianeggianti in cui i processi geomorfologici, le caratteristiche litologiche e/o giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfologici e in cui le presumibili caratteristiche geotecniche dei terreni risultino tali da poter escludere verifiche sui cedimenti, cedimenti differenziali, rigonfiamenti e necessità di verifica sul potenziale di liquefazione.

Nel caso dei terreni della piana di Livorno si è ritenuto consono non ricorrere a tale classe di pericolosità geologica.

In relazione alla definizione delle zone di “possibile evoluzione del dissesto” dei dissesti attivi e quiescenti mappati in cartografia geomorfologica come poligoni si precisa che (ex paragrafo n. 4.1 dell'allegato 3 della disciplina di piano del PAI Distrettuale “dissesti geomorfologici”):

“Il poligono della pericolosità comprende l'area del dissesto, l'area di possibile evoluzione del dissesto stesso, e l'area con possibili interazioni dirette o indirette con il processo geomorfologico. La porzione di area a pericolosità esterna alla forma geomorfologica è definita come “area d'influenza” del dissesto. L'estensione e la conformazione dell'area a pericolosità sono correlate al livello di affidabilità dei dati di base, in quanto la definizione dell'area d'influenza deve seguire criteri omogenei da concordare in base alle specifiche del territorio. In casi specifici, in presenza di evidenze e motivazioni esplicite, è possibile prevedere la coincidenza tra il limite del poligono della forma geomorfologica e il limite dell'area a pericolosità”.

6.2 PERICOLOSITA' DA DISSESTI DI NATURA GEOMORFOLOGICA NEL P.A.I. DELLA A.D.B. DISTRETTUALE DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE

Nella **Gazzetta Ufficiale n. 3 del 04.01.2023** è stato pubblicato il comunicato dell'adozione del “*Progetto di Piano di bacino del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale, stralcio Assetto Idrogeologico per la gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica*” relativo all'intero territorio Distrettuale (adozione con Delibera della Conferenza Istituzionale Permanente AdB Distrettuale n. 28 del 21.12.2022) che sostituisce totalmente integrandola la precedente adozione relativa all'estensione territoriale dei soli bacini del fiume Arno, del fiume Serchio e dei bacini della Toscana (adozione con delibera della Conferenza Istituzionale Permanente n. 20 del 20 dicembre 2019).

Una volta completato l'iter di approvazione, il PAI “dissesti geomorfologici” sostituirà interamente i singoli PAI vigenti per l'ex Bacino Nazionale Arno, per il bacino Interregionale del Magra, per il bacino pilota del Serchio e bacini regionali toscani (Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone) e i bacini Liguri..

Con la pubblicazione in Gazzetta Ufficiale del comunicato di adozione del Progetto di Piano ha avuto inizio l'iter che porterà all'approvazione del Piano. Particolare importanza riveste la fase di consultazione e osservazione, aperta a tutti i soggetti pubblici e privati interessati dagli effetti del Piano.

Di tale procedura si riporta lo schema esemplificativo riassuntivo pubblicato dalla stessa Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

La delibera della Conferenza Istituzionale Permanente (nel seguito indicata come CIP) n. 28 del 21.12.2022 prevede una specifica misura di salvaguardia relativa alla procedura di aggiornamento e modifica del PAI e richiama espressamente l'art. 15 della disciplina di Piano e l'applicazione degli allegati 2 e 3. Anche la disciplina di Piano è comunque oggetto di consultazione e osservazioni ai sensi del d.lgs. 152/2006.

Si riporta per semplicità di consultazione il testo integrale del citato art. 15 della Disciplina di Piano del PAI "dissesti geomorfologici":

Art. 15 – Modifiche alle mappe di pericolosità da dissesti di natura geomorfologica

1. Allo scopo di perseguire e mantenere la coerenza alla scala di distretto e ai fini della verifica del raggiungimento delle finalità di cui all'art. 1, l'Autorità di bacino procede al riesame delle mappe di pericolosità secondo un Programma annuale di riesame, in seguito Programma, approvato con decreto del Segretario Generale, previo parere della Conferenza Operativa. Il Programma è articolato per bacini o porzioni di bacino omogenee, secondo un elenco di priorità e, comunque, tenendo conto di eventi calamitosi o eccezionali che possono aver colpito il distretto e delle eventuali ulteriori necessità di aggiornamento segnalate dalle Regioni e dai Comuni.

2. Il Programma di cui al comma 1 è pubblicato sul sito istituzionale del distretto; l'Autorità provvede, contestualmente, a dare comunicazione dell'avvio del procedimento di riesame alle Regioni, alle Città Metropolitane, alle Province ed ai Comuni territorialmente interessati.

3. La proposta di riesame e modifica delle mappe, elaborata dall'Autorità di bacino ed esaminata dalla Conferenza Operativa, è pubblicata per 30 giorni sul sito istituzionale del distretto, dandone notizia sul bollettino regionale ai fini di eventuali osservazioni. Qualora, al termine della fase di pubblicità di cui al presente comma, non siano intervenute osservazioni si procede all'approvazione delle modifiche delle mappe con decreto del Segretario Generale; qualora siano, invece, intervenute osservazioni la conferenza operativa si esprime sulle medesime entro 30 giorni e nei successivi 30 giorni si procede all'approvazione delle modifiche con decreto del Segretario Generale. Le modifiche approvate ai sensi del presente comma vengono trasmesse ai Comuni interessati per il recepimento nei propri strumenti.

4. I Comuni, nell'ambito dei procedimenti di modifica e approvazione dei propri strumenti urbanistici, sono tenuti ad assicurare la coerenza dei quadri conoscitivi redatti a scala comunale con il quadro di pericolosità del PAI; a tal fine il Comune provvede a coordinarsi, sin dall'avvio del procedimento, con l'Autorità di bacino e la Regione, per il riesame delle mappe di pericolosità del PAI seguendo i criteri di cui all'Allegato 3.

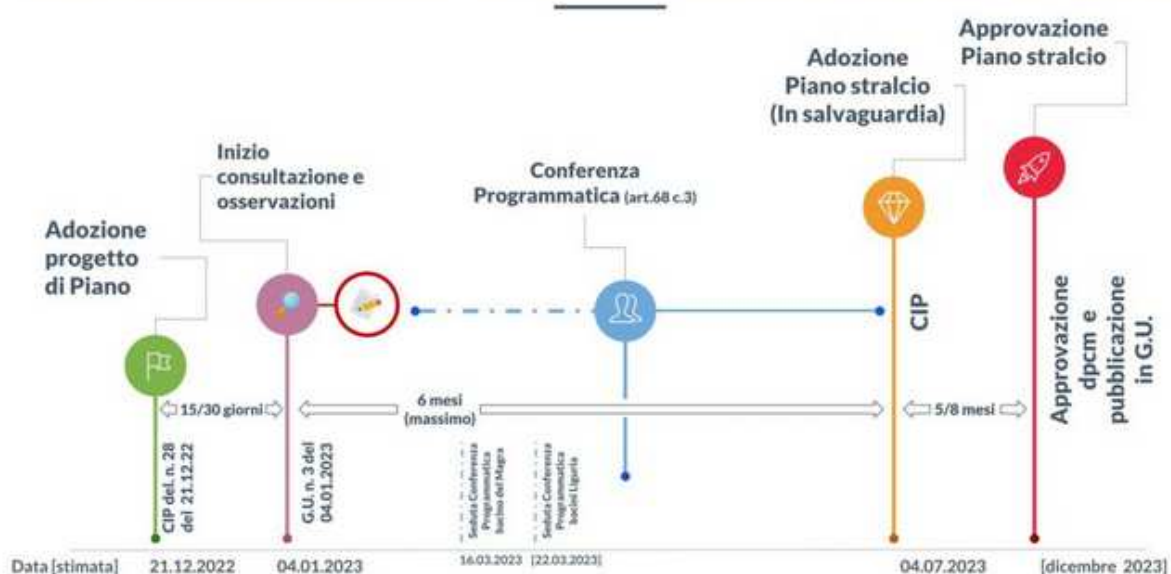
5. Le proposte di riesame e modifica delle mappe derivanti dalle attività di cui al precedente comma 4 sono trasmesse all'Autorità di bacino che provvederà ad elaborare le modifiche delle mappe e ad approvarle con decreto del Segretario Generale, previo parere della conferenza operativa laddove l'aggiornamento riguardi ambiti sovracomunali o di area vasta.

6. Le modifiche alla pericolosità da dissesti di natura geomorfologica molto elevata (P4) ed elevata (P3a e P3b) conseguenti alla realizzazione e al collaudo di misure di protezione sono elaborate dall'Autorità di bacino e approvate con decreto del Segretario.

7. Per le finalità di cui all'art. 1, le Regioni, le Città Metropolitane, le Province ed i Comuni, nonché gli enti competenti secondo le norme regionali in materia, sono tenuti a comunicare all'Autorità di bacino qualsiasi difformità e variazione del quadro conoscitivo di pericolosità vigente che, nell'ambito delle loro attività, venga riscontrata; ciò in particolare per quanto riguarda il verificarsi di nuove aree a pericolosità molto elevata e/o la modifica dei perimetri in dissesto esistenti. In tali casi l'Autorità procederà ai sensi dei precedenti commi 3 e 5.

8. Le modifiche e integrazioni delle perimetrazioni delle mappe di cui al presente articolo non costituiscono variante essenziale al Piano e sono approvate con le modalità indicate nei commi che precedono.

Iter approvazione Piano Stralcio - PAI "dissesti geomorfologici". Artt. 66 e 68 Dlgs 152/06



Schema esemplificativo dell'iter procedurale per l'approvazione del PAI Distrettuale "dissesto geomorfologico"

Nella adozione della "proposta di piano" non sono state previste altre misure di salvaguardia con effetti immediatamente efficaci per i privati. Solo con l'adozione definitiva del Piano, e la sua approvazione finale, saranno applicate le norme d'uso indicate nella disciplina di piano.

Sino a quel momento si continuano, comunque, ad applicare le norme e la cartografia dei PAI vigenti a meno di aver proceduto a quanto disposto ai comma 4 e 5 del precedentemente riportato art. 15 della stessa Disciplina di Piano.

A tal proposito si riporta che l'Amministrazione comunale di Livorno ha già provveduto alle attività del caso ed ottenuto dalla Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale emissione di ulteriore Decreto del Segretario Generale n. del 2023 a seguito di istanza di aggiornamento e modifica presentata in data 24.11.2022.

Il quadro conoscitivo relativo all'aspetto "dissesti geomorfologici" allestito per il presente Piano Strutturale risulta pertanto conforme e coerente, a scala comunale, con il quadro conoscitivo del PAI Distrettuale.

Si dettagliano nel prosieguo i contenuti e le indicazioni formulati da tale Piano "dissesti geomorfologici".

Il P.A.I. nel contesto della pianificazione di bacino

Il Progetto di Piano di Bacino "Assetto Idrogeologico per la gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica", di seguito denominato PAI "dissesti geomorfologici", relativo a tutti i bacini Distrettuali è adottato e approvato, ai sensi degli artt. 65, 66, 67 e 68 del decreto legislativo n. 152/2006, quale piano stralcio del Piano di bacino distrettuale.

Esso ha valore di piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo, sulla base delle caratteristiche fisiche e ambientali del territorio interessato.

Obiettivi del P.A.I. "dissesti geomorfologici"

Il bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale è sede di processi geomorfologici attivi che, determinati dall'interazione con il clima, modellano le forme del territorio e determinano la dinamica del reticolo di drenaggio ai diversi ordini.

L'interazione di tali processi con l'assetto del territorio antropizzato, si traduce spesso in eventi disastrosi o nella produzione di danni. Si tratta, in sostanza, della crisi di insediamenti, di infrastrutture di ecosistemi, che, indotta da eventi alluvionali o da fenomeni geomorfologici di versante, viene a determinare la perdita della vita umana, di beni ambientali, storici e culturali, l'occorrenza di danni generalizzati, in un quadro di sostanziale non sostenibilità per la collettività. Si tratta delle cosiddette calamità naturali o, secondo una locuzione più recente, dei fenomeni di dissesto idrogeologico.

L'obiettivo del PAI "dissesti geomorfologici" è quello di garantire livelli di gestione sostenibili del rischio da dissesti di natura geomorfologica, privilegiando la difesa della vita umana, del patrimonio ambientale, culturale, infrastrutturale ed insediativo, da perseguire mediante misure di prevenzione, ivi comprese le azioni di governo del territorio, misure di protezione e misure di protezione civile, tali da fronteggiare e mitigare i fenomeni di dissesto in atto o potenziali, senza aggravarli.

Il PAI "dissesti geomorfologici", nel rispetto di quanto previsto all'art.67, comma 1 del d.lgs 152/2006, si pone i seguenti obiettivi:

- a. la definizione di un quadro conoscitivo di pericolosità omogeneo e coerente con i dissesti geomorfologici presenti nel territorio dei bacini interessati, con particolare riferimento ai fenomeni attivi, nonché la definizione dei criteri necessari per l'aggiornamento di tale quadro;
- b. la sistemazione, la conservazione e il recupero del suolo nei bacini idrografici, con l'individuazione di misure ed azioni strutturali e non strutturali, tese alla mitigazione del rischio per la salute delle persone, per i beni e il patrimonio culturale ed ambientale, infrastrutturale ed insediativo, nonché a favorire le attività che non compromettano la naturale evoluzione del rilievo, a preservare il territorio da ulteriori dissesti, a evitare il verificarsi di fenomeni erosivi e a mantenere in condizioni di equilibrio il trasporto solido nel reticolo idrografico;
- c. la definizione delle misure di prevenzione, nonché la individuazione delle misure di protezione e di preparazione da realizzare, da realizzare anche sulla base di programmi di interventi ex art. 69 del d.lgs. 152/2006, in grado di mitigare e gestire i danni in fase di evento.

Questo avviene attraverso uno sviluppo del quadro conoscitivo, l'individuazione di interventi strutturali e non strutturali di mitigazione del rischio, di norme atte a governare la sicurezza alle popolazioni, degli insediamenti e delle infrastrutture, soprattutto nel transitorio conseguente alla programmazione degli eventuali interventi di riduzione del rischio in programmazione.

Il cardine del PAI, anche alla luce di quanto più sopra accennato e delle indicazioni del recente quadro normativo, resta tuttavia la individuazione e perimetrazione delle aree a pericolosità idrogeologica e la individuazione degli elementi a rischio che si trovano in esse ricompresi.

Organizzazione del Piano

L'organizzazione del PAI è stata strutturata attraverso fasi caratterizzate da un rapporto sostanzialmente seriale, alla cui evoluzione corrisponde lo svolgersi della "proposta di piano di recente adozione. Esse sono:

- inquadramento del problema dell'*assetto idrogeologico*, articolato in una parte di carattere giuridico ed una di ordine tecnico;
- quadro conoscitivo nel quale si discutono le caratteristiche fisiche, economiche e sociali del bacino in relazione ai problemi di assetto, anche nel contesto della pianificazione vigente;
- descrizione della metodologia operativa per l'individuazione dell'*assetto idrogeologico* attuale, attraverso l'individuazione delle aree a pericolosità idrogeologica in rapporto con gli elementi a rischio presenti sul territorio;
- realizzazione delle "mappe di pericolosità";
- definizione delle linee di pianificazione delle azioni di assetto idraulico e geomorfologico, individuazione dei fabbisogni e relativa programmazione degli interventi;
- elaborazione delle norme di attuazione.

Elaborati del PAI in merito alla pericolosità da processi geomorfologici di versante e da frana:

Gli elaborati del PAI sono costituiti da una relazione con i relativi allegati comprendenti, tra l'altro, le norme di attuazione e i dati relativi alla programmazione degli interventi, ed una serie di atlanti cartografici su alcuni dei quali, tra l'altro, viene a definirsi l'azione normativa. Questi possono essere a loro volta suddivisi secondo la scala in cui sono stati elaborati, alla quale corrisponde un assegnato dettaglio del quadro conoscitivo e la metodologia di indagine impiegata.

Gli elaborati di PAI inerenti a tale aspetto sono dunque costituiti da:

Il PAI è costituito dai seguenti elaborati:

- a. Relazione generale
- b. Disciplina di piano
- c. Mappe di pericolosità da dissesti di natura geomorfologica, in formato digitale (consultabile al link: <http://www.appenninosettentrionale.it>).

Sull'elaborato "Carta della pericolosità geologica" (tavv. GEO-G.07 Nord e Sud) le perimetrazioni P4 e P3 risultano conformi a quelle di cui ai Decreti emessi dal Segretario Generale AdB Distrettuale relativi all'approvazione delle modifiche della perimetrazione delle aree a pericolosità geomorfologica di PAI per il territorio comunale, ai sensi dell'art. 15 della Disciplina di Piano del progetto di PAI AdB Distrettuale dell'Appennino Settentrionale di recente adozione (dicembre 2022).

7. RETICOLO IDRAULICO

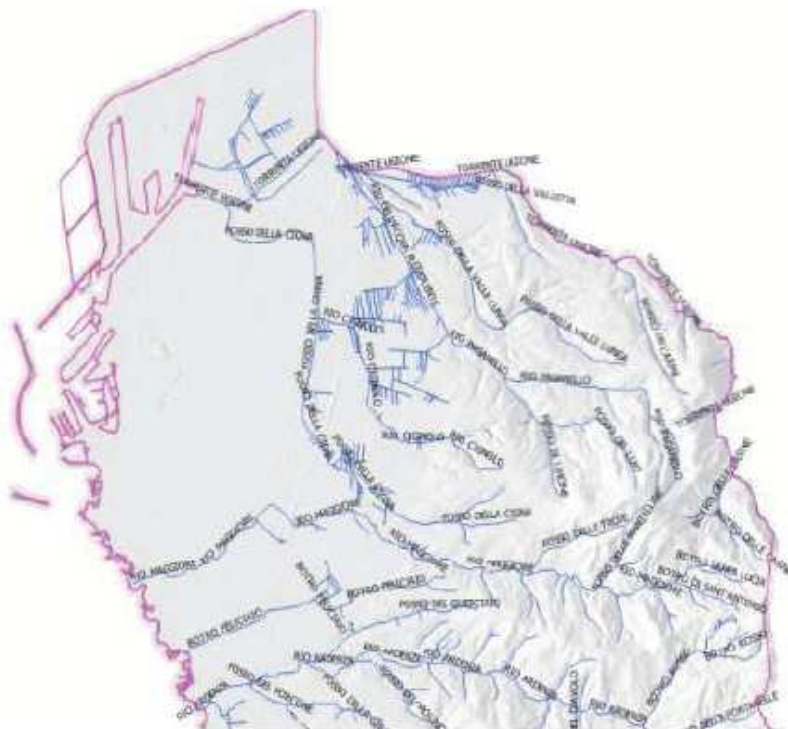
Con la Delib. C.R.T. n.57 del 11/6/2013 - relativo Allegato A - il Consiglio Regionale Toscano ha approvato la proposta della Giunta Regionale che, in attuazione di quanto previsto dalla legge di riordino sull'attività di bonifica (L.R. n. 79 del 27 dicembre 2012), individuando il reticolo idrografico e il reticolo di gestione. In seguito la Regione Toscana provvede a revisioni ed aggiornamenti del reticolo stesso con cadenze temporali prefissate. L'ultimo aggiornamento è stato approvato con DCR n. 103/2022.

Nelle due figure successive è visualizzato tale reticolo per quanto riguarda la porzione nord e sud del territorio livornese.

Dal punto di vista dell'idrografia, quest'area essendo composta generalmente da pendii dolci, solo occasionalmente accentuati, e solcata da un reticolo idrografico costituito da diversi torrenti di modesta portata a decorso est-ovest nella parte meridionale, e sudest-nordovest nella parte settentrionale.

Lo spartiacque che separa i bacini idrografici di tali corsi d'acqua da quelli degli affluenti del Tora disegna un andamento a segmenti di direzione sudest-nordovest, raccordati da tratti di direzione ortogonale.

La fascia di colline che si raccorda all'area di terrazzo presenta anch'essa depositi terrazzati, a quote più alte di quelle del terrazzo principale. Vasti settori di quest'area sono interessati da piccoli e diffusi fenomeni di dissesto franoso.



Reticolo idrografico settore centro-nord

In sintesi 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:

- 1) lo spartiacque a direzione mediana unisce le cime del M. Maggiore (454 m) con il Poggio Lecceta ed il Poggio Corbolone;
- 2) lo spartiacque che, 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.

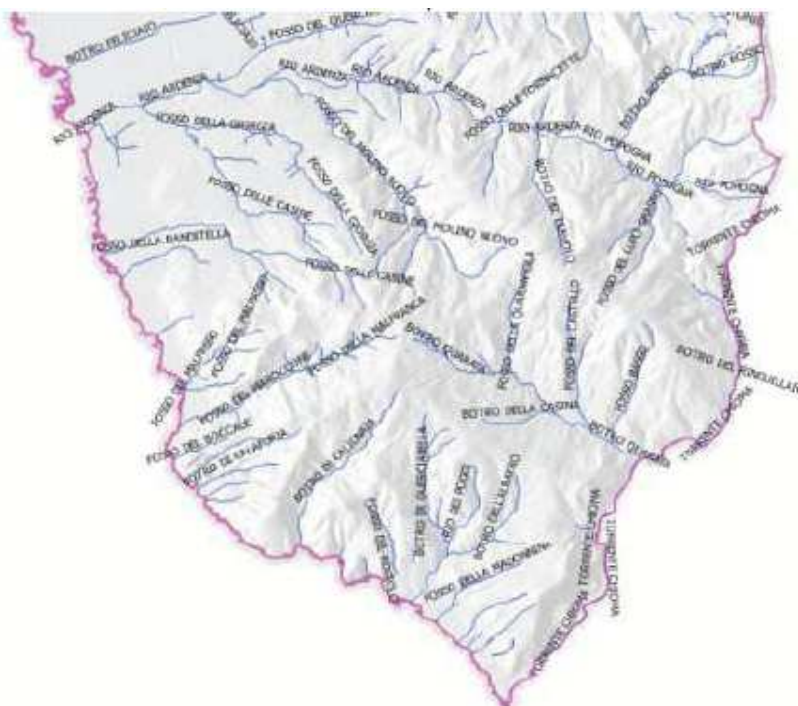
Nel settore nord i corsi d'acqua terminano il loro corso canalizzati nella zona più depressa della piana, secondo l'allineamento Pian di Rota-Ponte Ugione-Cimitero dei Lupi. I più importanti sono il Torrente Ugione con i suoi tributari di sinistra Rio Paganello, Rio Puzzolente, Rio Vallelunga e Rio Cigna (oltre a Rio Riseccoli che però risulta intubato).

Nel settore centrale Il Rio Maggiore, il Botro Feliciaio e il Rio Popogna-Ardenza attraversano la parte alta montano-collinare in direzione nord-ovest e piegano ad ovest all'altezza della piana per sfociare sulla linea di costa in direzione subperpendicolare. Fra queste possono essere inseriti dei piccoli botri che interessano la frazione di Antignano, fra cui il Fosso della Banditella.

Nel settore centro nord, dal torrente Ugione fino al Rio Ardenza, i corsi d'acqua sono ben sviluppati e dotati di reticolo evidente e di tutta una serie di piccoli affluenti nelle parti alte del bacino. Le aste drenanti di cui sopra attraversano la parte alta del comune e raggiungono la pianura in direzione nord-ovest e ovest. (figura a pagina precedente).

Un secondo gruppo comprende invece le aste drenanti che scorrono verso sud-ovest, fra cui le principali sono il Fosso del Maroccone, Botro Calafuria, Botro Calignaia, Fosso del Rogiolo, Botro Quercianella, Fosso della Madonnina, e infine il Torrente Chioma (vedi figura che segue).

Nella zona costiera Antignano-Romito-Quercianella botri e rii incidono valli strette in roccia, con poche alluvioni, a pendenza elevata. In questo settore il regime è di tipo torrentizio, fortemente condizionato dai periodi piovosi prolungati, con netta differenza fra i periodi di piena e quelli di magra, ove i rii sono pressochè asciutti. Invece i corsi più importanti nel settore nord, come Ugione, Rio Maggiore, Rio Ardenza, mostrano una certa circolazione idrica superficiale anche nei periodi di magra, avendo probabilmente un rapporto di ricarica dalla falda che si inverte durante le piene.



Reticolo idrografico settore centro-sud

Si riportano nelle tabelle che seguono i dati caratteristici dei corsi d'acqua maggiormente significativi.

UGIONE				
Lunghezza:	Bacino idrografico:	Sorgente:	Comuni attraversati:	Foce:
14 km	30,3 km ²	425 m s.l.m. nelle Colline Livornesi di Poggio Lecceta	Collesalveti, Livorno	Mar Ligure, Loc. Porto Industriale Livorno
Immissari principali				
Sambuca		Rio dell'Acqua Puzzolente		
Botro dell'Arme	Proveniente da Poggio del Corbone	Rio Cigna	Proveniente da Loc. Limoncino	
Rio Vallelunga				

RIO MAGGIORE				
Lunghezza:	Bacino idrografico:	Sorgente:	Comuni attraversati:	Foce:
10,5 km	16 km ²	300 m s.l.m., Colline Livornesi, Poggio Lecceta	Livorno	Mar Ligure
Immissari principali				
Rio Vallicette	2 km dalla sorgente, Loc. Vallicette, ai piedi del Poggio Cancelliaia	Fosso	Proveniente dalla Collina Bellosguardo, interessa il corso d'acqua prima che questo entri nel quartiere Salviano (LI)	
Rio San Giuseppe	4 km dalla sorgente, Loc. Podere San Giuseppe, è il più grande degli affluenti del Maggiore	Sorgente sotterranea	Loc. Giuncaia	
NOTE: Scava la cosiddetta "Valle Benedetta". Deviato nell'ottocento dal suo percorso originario in località Stadio Picchi.				
RIO ARDENZA				
Lunghezza:	Bacino idrografico:	Sorgente:	Comuni attraversati:	Foce:
10,5 km	18,2 km ²	350 m s.l.m., su Monte Maggiore	Livorno	Mar Ligure, Loc. Tre Ponti
Immissari principali				
Botro Rosso	3 km dalla sorgente, Loc. Poipogna	Rio del Molino	Quartiere Ardenza (LI), raddoppia quasi la portata dell'Ardenza. Immissario lungo 4 km per un bacino di 3,5 km ² .	
Botro Sperticaia	Loc. Palazzina, diramandosi alimenta un piccolo lago	Botro le Bracciaie	Proveniente da Loc. Montenero	
Note: Foce a estuario che, durante l'alta marea, viene invasa dall'acqua marina.				
TORRENTE CHIOMA				
Lunghezza:	Bacino idrografico:	Sorgente:	Comuni attraversati:	Foce:
11 km	22,1 km ²	300 m s.l.m., su Monte Maggiore	Livorno, Rosignano Marittimo	Mar Ligure, Loc. Chioma
Immissari principali:		Botro Quarata	Proveniente da Loc. Montenero	

La rete idrografica di Gorgona è caratterizzata dalla presenza di un buon numero di corsi d'acqua molto ripidi e corti (pochi superano i 200 m), a disposizione circa radiale, che contornano tutta l'isola lungo le coste fortemente dirupate. Tra questi quelli più importanti sono:

- Il botro della Valle dello Scalo, da ovest ad est, traversa tutta l'isola dalla Torre Vecchia allo Scalo. Il botro della Valle di Cala Martina, ancora da ovest ad est, incide la metà centro-orientale dell'isola.
- Il botro di Cala Scirocco, dopo un primo andamento in un valle a direzione ovest-est, da Casa Colonica a Punta 191, volge di 90° verso SE e raggiunge la Cala Scirocco con questa direzione, dopo aver ricevuto i due affluenti che scorrono a NE e a SO di Casa Bellavista.

E' evidente come l'azione delle acque superficiali, incanalate in strette e ripide vallecicole, insieme all'azione dei marosi abbia contribuito alla formazione delle piccole cale e dei promontori dell'isola.

8. IDROGEOLOGIA DEL TERRITORIO LIVORNESE

In relazione a tale aspetto si riportano integralmente i contenuti sviluppati dal Dott. L. Mazzei (aprile 2018 tavv. GEO_G.02 Nord e Sud in scala 1:10.000 "Carta Idrogeologica" e relative argomentazioni testuali – elaborato del febbraio 2019).

L'assetto idrogeologico generale è dominato in primis dalla permeabilità media delle formazioni presenti e in seconda istanza dalla presenza di una ricarica che garantisca o meno i necessari afflussi idrici sotterranei che permettano l'instaurarsi di una falda strutturata (o di più falde a seconda degli acquiferi presenti).

Nell'area di Livorno, coerentemente con l'assetto geomorfologico e litologico, è possibile schematizzare a livello idrogeologico due aree principali, una collinare e una pianeggiante, ciascuna con le peculiarità descritte di seguito:

AREA COLLINARE

Il settore montano-collinare, costituito per lo più da rocce scistose (argilliti e argillocisti di varia natura) e solo in minima parte da litotipi con vario grado di fratturazione (ofioliti), non permette, almeno sulla base delle conoscenze attuali, significativi volumi di immagazzinamento idrico che alimentino una vera e propria falda sotterranea. Non sono peraltro conosciute a tutt'oggi manifestazioni sorgive perenni.

I deflussi sotterranei sono relativamente modesti poiché ospitati in ammassi litoidi per lo più a medio-bassa permeabilità, essendo quindi rappresentabili in maniera più opportuna come "linee di drenaggio preferenziale", condizionate dall'andamento dei sistemi di discontinuità, regola valida per la quasi totalità delle situazioni sui rilievi.

La venuta a giorno delle acque è quindi 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.

Il litotipo che più degli altri permette una circolazione idrica fino ad una certa profondità è rappresentata dalle ofioliti (per lo più peridotiti e gabbri) ove lo stato di fratturazione dell'ammasso è in genere notevole permettendo una discreta imbibizione.

Per le altre rocce, in special modo quelle argillitico-scistose appartenenti alle "Liguridi" di origine alloctona, la circolazione è limitata all'alterazione superficiale (da pochi metri a qualche decina di metri) e difficilmente può contribuire alla ricarica di falde più profonde in maniera significativa.

Pur tuttavia sono presenti molti pozzi privati anche nei settori collinari più densamente urbanizzati (es. area di Montenero), molti dei quali di bassa profondità e con emungimenti strettamente legati alle ricariche meteoriche stagionali dell'acquifero superficiale (vedi Carta idrogeologica), quindi sfruttanti un acquifero che in realtà è impiantato nella copertura terrigena e nella roccia alterata piuttosto che nell'ammasso lapideo profondo. Quindi i pozzi riflettono localmente più l'esistenza di una copertura permeabile più di una roccia con caratteristiche di acquifero.

AREA PIANEGGIANTE

A livello di inquadramento idrogeologico regionale l'area pianeggiante livornese, ubicandosi fra l'abitato di Livorno a Sud e verso Nord ai terreni della Pianura pisana, risulta una tipica area costiera rappresentata in gran parte dal Terrazzo geomorfologico di Livorno (quello più basso) che ha una conosciuta e precisa configurazione idrogeologica e dalla parte sud della Provincia di Pisa, che è strutturata da spessori consistenti e conosciuti di alluvioni fluviali, ove l'evoluzione paleogeografica ci consegna un'area con linee di spiaggia in avanzamento, tomboli o alture retrodunali in continua trasformazione.

Diversa è la situazione del settore costiero livornese, soprattutto quello nord coincidente col centro abitato e con l'area portuale, ove le fasi di imbonimento, le bonifiche agrarie ed i banchinamenti realizzati complicano ancora di più la situazione con una lama di mare ed una linea di transizione salata-salmastradolce in avanzamento, ma mai uniforme.

In tale settore si riconosce una falda freatica piuttosto limitata come spessore agli orizzonti terrigeni superficiali legati in parte ai riporti antropici e in parte ai depositi olocenici e pleistocenici terrigeni a maggiore componente sabbiosa.

Al di sotto di tale acquifero superficiale - per lo più freatico con possibile viraggio a semifreatico - è sviluppato, un notevole livello di depositi con prevalenza argillosa nel settore centro-orientale (argille grigio-azzurre plioceniche) e con variabilità da sabbiosa a argillosa nel settore occidentale (Sabbie e argille ad Arctica), con linea schematica di demarcazione (contatto eteropico) identificata in asse alla Via Firenze/Via Alfieri.

Ad esempio, presso le piscine Camalich/Neri e presso il complesso sportivo di Bastia sono state eseguite perforazioni di molte decine di metri individuando, al di sotto di una coltre sabbioso-calcarenitica di circa 6,0 m, un orizzonte continuo impermeabile (argille grigio-azzurre) che rappresenta la base locale dell'acquifero di cui sopra, come visibile dalle carote sotto esposte (piezometro presso Piscina Camalich/Neri); si nota il substrato argilloso impermeabile a partire da 6,0 m di profondità, sormontato da calcarenite sabbiosa (4,50 – 6,0 m) a sua volta sormontata da limi sabbiosi e sabbie limose superficiali (0-4,50 m).



sopra: carote intervallo 0-5 m
sotto: carote intervallo 5-10 m



Carote di sondaggio/piezometro loc. piscina Camalich/Neri - Livorno (Perizia idrogeologica Dr. Luca Mazzei)

La conferma di tale situazione è anche la presenza, nella maggior parte dell'area cittadina livornese, di numerosi pozzi ad uso domestico, con profondità in genere pochi metri, da 6,0-7,0 a 10,0-12,0 in media, che si interrompono infatti ove compaiono i primi depositi argillosi impermeabili.

All'interno dei depositi sabbiosi pleistocenici superficiali risulta spesso presente, in bancate discontinue, il classico litotipi calcarenitico costiero "panchina" che, ove fratturato e/o poco cementato, può contribuire ad aumentare localmente l'immagazzinamento idrico.

Nelle vicinanze della piscina Camalich è presente un pozzo (matr. 10813) a profondità di circa 15,0 m che mostra una stratigrafia simile a quella sopra in foto esposta (strati sabbiosi sormontanti livelli argillosi impermeabili) e conferma tale situazione generale.

Stratigrafia del pozzo n.: 10813		
Spessore m	Strati	Descrizione
1	1.00	Terreno agrario argilloso e sabbioso soffice
1	2.00	Sabbia argillosa e limosa con ghiaia e inclusi litici
1	3.00	Limo molto sciolto
3	6.00	Sabbia sciolta con inclusi livelletti cementati
1	7.00	Sabbia debolmente cementata
4	11.00	Limo argilloso ed argilla limosa molle e mediamente consistente con livelletti sabbiosi
4	15.00	Limo argilloso con vene di sabbia

Stratigrafia pozzo 10813 - Fonte provincia Livorno - sistema INCAS-GIS

8.1 POTENZIALITA' IDROGEOLOGICHE

A fronte di quanto finora esposto si rimarca, quindi, che in generale nel Comune di Livorno non sono stati rilevati a tutt'oggi acquiferi "importanti" né per il livello quantitativo né per quello qualitativo delle acque. E' tuttavia presente specialmente nel settore pianeggiante, parzialmente urbanizzato, interessato dai depositi sabbioso del pleistocene e dalle intercalazioni calcarenitiche, una falda superficiale che, seppur a limitata trasmissività a causa degli esigui spessori, in alcuni settori consente di emungere portate sufficienti (vedi rete pozzi urbani a bassa profondità) sufficienti all'utilizzo domestico e/o irriguo di modeste aree a verde.

Le aree più significative si ritrovano in corrispondenza delle paleo alluvioni del rio Ardenza e del Rio Maggiore o comunque sono ad essi collegati mediante scorrimenti di sub-alveo.

I pozzi di buona potenzialità produttiva rappresentano una modesta frazione del totale, non superando il centinaio di unità e, verosimilmente, tale valutazione si riduce ulteriormente per quelli che mantengono una costante produzione nell'intero anno.

Quanto finora esposto non deve indurre a considerazioni ottimistiche circa la stima produttiva della "falda idrica", nell'area livornese, anzi sembra vero il contrario. Infatti, soltanto per alcune zone risulta lecito parlare di scorrimento idrico in falda di qualche interesse, là dove si raggiungono portate unitarie costanti durante tutto l'anno, dell'ordine di pochi litri/secondo in media.

Parimenti la presenza nel recente passato di un termalismo livornese rappresentato dalle ex Terme del Corallo (la dizione originaria dello stabilimento era "Acqua della salute") consente di ipotizzare possibili approfondimenti di tale risorsa per questi usi.

POZZI CENSITI

Allo stato attuale sono stati rilevati dal database provinciale circa 3300 pozzi, la maggior parte dei quali ad uso domestico. Solo 400 di essi sono dotati di stratigrafia nelle rispettive schede tecniche depositate.

La profondità media è inferiore a 10 m in ambito cittadino (pianura), mentre in ambito collinare si rilevano alcune perforazioni in roccia di oltre 40-50 m.

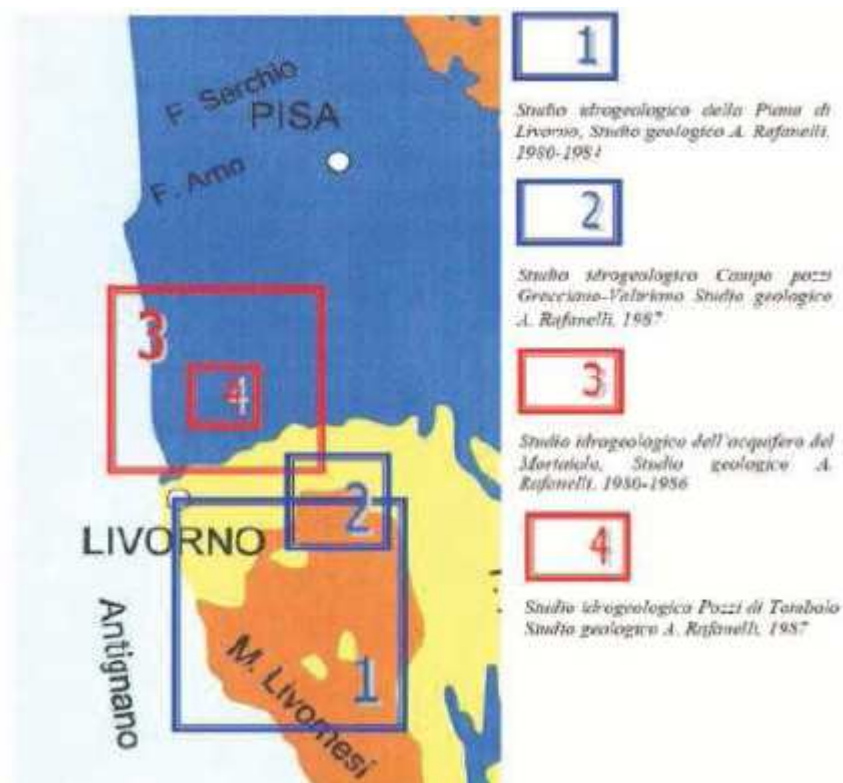
8.2 STUDI PREGRESSI

Tenendo presente la normale variabilità periodica dei parametri geochimici delle acque della falda superficiale, prive di una costanza "regionale" in quanto legate alla variabilità delle precipitazioni meteoriche stagionali e quindi al diverso grado di tempo di percolazione nel sottosuolo, risulta senz'altro utile ricordare che nel Comune di Livorno sono stati eseguiti in passato, in particolare dallo Studio Rafanelli (anni 80-90) e da Rafanelli-Sintesis (2006) studi idrogeologici che hanno coinvolto sia la piana di Livorno con le prime pendici collinari sia l'area portuale inserita nel Sito di Interesse Nazionale ai fini delle bonifiche.

Tali studi sono stati ripresi e ben sintetizzati nella relazione geologica (maggio 2013) a supporto della Variante anticipatrice al PS per l'elaborazione del PRP di Livorno (autori Geol. Rafanelli - Gonnelli - Tanda - Danzi et alii).

Nello Studio idrogeologico condotto sulla Piana di Livorno da Rafanelli, che in particolare prende in considerazione una vasta area confinata a Nord dal Torrente Ugione-Rio dell'Acqua Puzzolente ed a Sud dal Torrente Chioma, si nota che la maggior parte dei punti d'acqua siano stati rilevati al più sul bordo dell'area. Ciò

confermerebbe che l'area in studio non è stata mai sfruttata mediante una rete di pozzi sia per la limitata produttività degli acquiferi, sia per la scarsa qualità chimica delle acque. Tale studio individua le maggiori aree di ricariche per gli acquiferi, ovvero quelle che fanno parte del Terrazzo geomorfologico di Livorno e che bordano i lati meridionale ed orientale del settore portuale e di quello urbanizzato in generale.



Estratto da variante anticipatrice al PS per il progetto del PRP di Livorno, (Comune Livorno e APL - 2013)

Studio idrogeologico campo pozzi in Località Grecciano

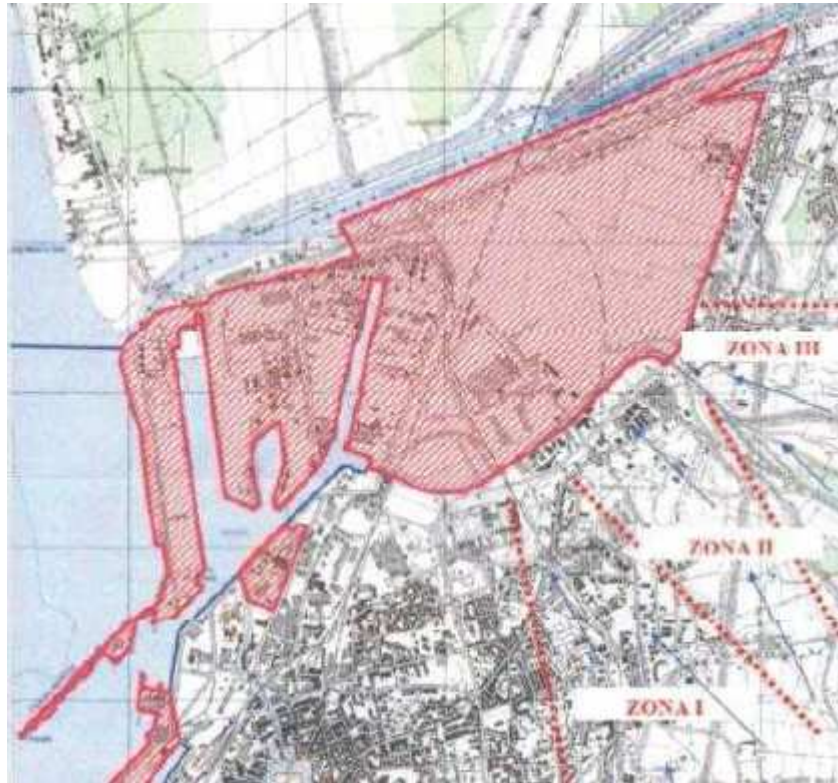
Nel lavoro eseguito dallo Studio Geologico A. Rafanelli a supporto della domanda di ricerca idrica ad uso potabile in Località Grecciano, Collesalveti (si veda Punto 2 nella figura che precede) è evidenziata la sequenza stratigrafica di una serie di perforazioni spinte mediamente sino alle profondità di circa 200 m che indicano al di sotto di argille e limi argillosi fluvio-lacustri rinvenuti sino alle profondità di circa 30,00-40,00 m la presenza di due orizzonti acquiferi.

Il primo orizzonte acquifero, localizzato mediamente tra i 30,00 ed i 40,00 m. da p.c. con potenza media intorno ai 10,00-15,00 m è rappresentato dal già conosciuto deposito fluviale ghiaioso del Paleo-Arno e Serchio allorquando questo fiume sfociava nella Pianura dell'Arno in corrispondenza dell'area occupata dal Padule del Bientina durante la fase glaciale Wurm II.

Il secondo orizzonte che si rinviene in genere al di sotto dei 50,00 m. da p.c. sino alle profondità di 150,00-160,00 m., risulta costituito da alternanze di depositi prevalentemente sabbiosi e argillosi a stratificazione lentiforme (falda multistrato). Al di sotto di tali profondità si rinvergono sedimenti prevalentemente argillosi. Sotto il profilo idrogeologico la conoscenza geologica induce quindi ad affermare che sino alla profondità di 150-200,00 m. dal p.c. si rintraccia la presenza di due orizzonti acquiferi già descritti sinteticamente tra i quali risulta sempre interposto un setto. argilloso-limoso scarsamente permeabile (acquicludo).

Zonazione idrogeologica generale

Secondo lo Studio citato l'intera Piana di Livorno è caratterizzata da 3 zone principali a livello di ricarica idrogeologica e di circolazione idrica preferenziale (vedi figura che segue):



Estratto da variante anticipatrice al PS per il progetto del PRP di Livorno, (Comune Livorno e APL - 2013)

ZONA I

Presenta due rami leggermente differenziati. Le acque più a valle sembrano essere influenzate di più dal contributo del primo essendo di qualità pressoché identica. L'andamento monte-valle sembra propendere per l'aumento delle diluizioni; verso la parte finale viene raccolto un contributo proveniente anche dalla contigua zona II.

ZONA II

Con riferimento alle analisi chimico-fisiche dei vari punti d'acqua, sono presenti un gruppo di acque molto affini; tra loro si riscontrano solo lievi anomalie con impoverimento di magnesio fissato forse dai fosfati, singolare è il caso del punto 284 riconducibile ai tipi della stessa zona solo mediante aggiunta di magnesio e solfati; si tratta forse di $MgSO_4$ derivato dall'ossidazione dei solfuri in presenza di detriti ofiolitici o comunque ricchi in magnesio. Non è definibile in maniera chiara una diluizione o meno nella direzione monte-valle.

ZONA III

In questa zona la minore velocità di scorrimento del corpo idrico permette una maggiore influenza del mezzo di scorrimento. È possibile distinguere due tipi di acque: quelle individuate nei punti 268-266 e quelle individuate nei punti 255-265-282; le prime sono molto dure, alcaline e ferruginose, nettamente influenzate dalla Tora, le seconde sono ancora analoghe a quelle provenienti dalle ofioliti.

Entrambe queste acque presentano un netto aumento di concentrazione da monte verso valle. Un gruppo di pozzi situato in questa zona tra Stagno ed il Torrente Ugione (Punti d'acqua: 257, 264, 266, 267, 268, 275) presentano concentrazioni in ferro e manganese medio-alte, fino a 2,5 mg/l, il tutto accompagnato da un'ossidabilità relativamente alta. La spiegazione è piuttosto difficoltosa per la mancanza di ulteriori analisi, tuttavia una spiegazione plausibile potrebbe essere la presenza nella falda di livelli torbosi e ghiaie contenenti manganese che conferirebbero a queste acque una qualità pessima sotto il profilo naturale.

8.3 STUDIO IDROGEOLOGICO AREA SIN

Eseguito nel 2006 da Studio Rafanelli e Sintesis srl, è il più recente approfondimento idrogeologico dell'area portuale, ricollegabile alle conclusioni del precedente Studio sulla piana di Livorno in precedenza trattato. Nella campagna di rilevamento idrogeologico (dal 27-6 al 14-7-2006) furono selezionati 74 punti d'acqua (piezometri e/o pozzi) ubicati come da figura allegata:



Estratto da variante anticipatrice al PS per il progetto del PRP di Livorno, (Comune Livorno e APL - 2013)

	Superficiale	Profondità < 10 m.	Profondità 11-20 m.	Profondità >20 m.
Punti d'acqua	6	51	16	7

Livelli degli acquiferi

Dall'esame dei dati ricavati durante la campagna di rilevamento ed in riferimento alle tav. 8 e 9 dello studio medesimo si evidenziano:

- a) Una zona appartenente all' AREA 1 nel Dominio occidentale [(si veda *.Schema delle principali componenti del sistema idrogeologico (aree di ricarica, domini idrogeologici, settori idrogeochimici)* e caratterizzata dalla presenza di numerose opere marittime (banchinamenti, palancole, etc.)] che delimitano i canali portuali e nella quale NON viene riconosciuta di fatto una falda con caratteristiche idrogeologiche compiute.
- b) Una parte del Dominio Orientale, costituita dalle tre aree (1, 2 e 3) dove per natura stratigrafica, evoluzione delle forme e dei fatti storici si riconosce invece un acquifero multi-sistema composto da:
 - Un acquifero superficiale freatico entro i primi 10,00-12,00 m di spessore;
 - Un acquifero medio entro i 18,00-20,00 m talvolta confinato dall'acquifero superficiale talvolta con caratteristiche di semi-confinamento e con rari collegamenti con quello più superficiale;
 - Un acquifero più profondo, oltre i 28,00-30,00 m confinato allo spessore dei Conglomerati dell'Arno e del Serchio e non collegato idraulicamente ai precedenti due.

Nell'acquifero superficiale si evidenzia un comportamento idrogeologico tipicamente freatico, libero; esso risente in maniera consistente della ricarica gravifica ed è limitato verso il basso dalla presenza di spessori a conducibilità idraulica bassa o molto bassa.

Nell'acquifero medio non si rilevano particolari differenze di comportamento idraulico rispetto al precedente acquifero libero; spesso si trova semi-confinato fino quasi ad un confinamento completo rispetto alla falda sovrastante, rispetto alla quale mostra sempre un livello piezometrico più alto; questa evenienza suggerisce l'ipotesi che lo scorrimento mesoprofondo possa avere una relativamente più cospicua energia di ricarica che, comunque, ove si abbia un passaggio stratigrafico fra i sistemi *meso* verso il più superficiale, idraulicamente è tendenzialmente questo che alimenta il sovrastante.

Nell'acquifero profondo, (quello di pertinenza dei conglomerati PaleoArno-Serchio) si nota un relativo aumento di livello subito ad Ovest dell'abitato di Stagno ed un gradiente estremamente basso verso l'argine in destra idraulica dello Scolmatore d'Arno.

Nelle due pagine seguenti si fornisce un estratto della Tav 9 dello studio suddetto con le curve di livello dell'acquifero superficiale e le isopieze dell'acquifero profondo.

Sistemi di circolazione idrica sotterranea

Per quanto riguarda l'esistenza storica di sistemi di circolazione idrica sotterranea organizzata nell'area si riconoscono:

- una falda in condizione di confinamento attribuibile allo scorrimento di acqua proveniente da lontano nell'acquifero formato dalle ghiaie poligeniche post-tirreniane che formano uno strato variamente potente ubicato alle profondità superiori ai 30 metri ed oltre.

Per dati storici e bibliografici, nonché per misure effettuate già nella zona di Camp Darby, Canale dei Navicelli, Acquedotto ex EAT, analisi eseguite individuavano arricchimenti in Manganese, Ferro e Solfati e perciò fu abbandonata l'idea di realizzare una rete di adduzione. La stessa ASA (Azienda Servizi Ambientali) di Livorno (che era proprietaria dell'ex EAT di Tirrenia) per la fornitura di acqua industriale, preferì ricorrere alle risorse di acque superficiali invece di rendere produttivi questi emungimenti più profondi.

- una falda di superficie di acqua dolce con minima soggiacenza che è alimentata dal sistema dunale, da ricariche provenienti dalla base del Terrazzo morfologico di Livorno, dai sub-alvei, alvei e dai paleo scorrimenti o dagli scorrimenti attuali dell'Ugione, Cigna e Paleo-Riseccoli, oltre che da ricariche per precipitazioni atmosferiche.

In sintesi l'area portuale compresa nel SIN può in generale essere suddivisa in due ampi domini:

1. quello ubicato ad occidente, che è totalmente saturo ed immerso in acqua di mare e che deve le sue origini a successivi episodi prevalentemente antropici di riempimento per la costruzione delle varie opere portuali (in ultima analisi le due vasche di colmata);
2. quello posto più ad oriente ubicato dal Canale Industriale fino alla località di Stagno dove le trasformazioni antropiche non sono state così recenti e comunque non hanno alterato - ad esclusione delle parti più superficiali - la struttura sedimentaria alluvionale del dominio.

PLANIMETRIA CURVE DI LIVELLO ACQUIFERO SUPERFICIALE (maggio 2006): scala 1:20.000



Fig. 27 Estratto da variante anticipatrice al PS per il progetto del PRP di Livorno, (Comune Livorno e APL - 2013)

PLANIMETRIA ISOPIEZE ACQUIFERO PROFONDO (maggio 2006): scala 1:20.000

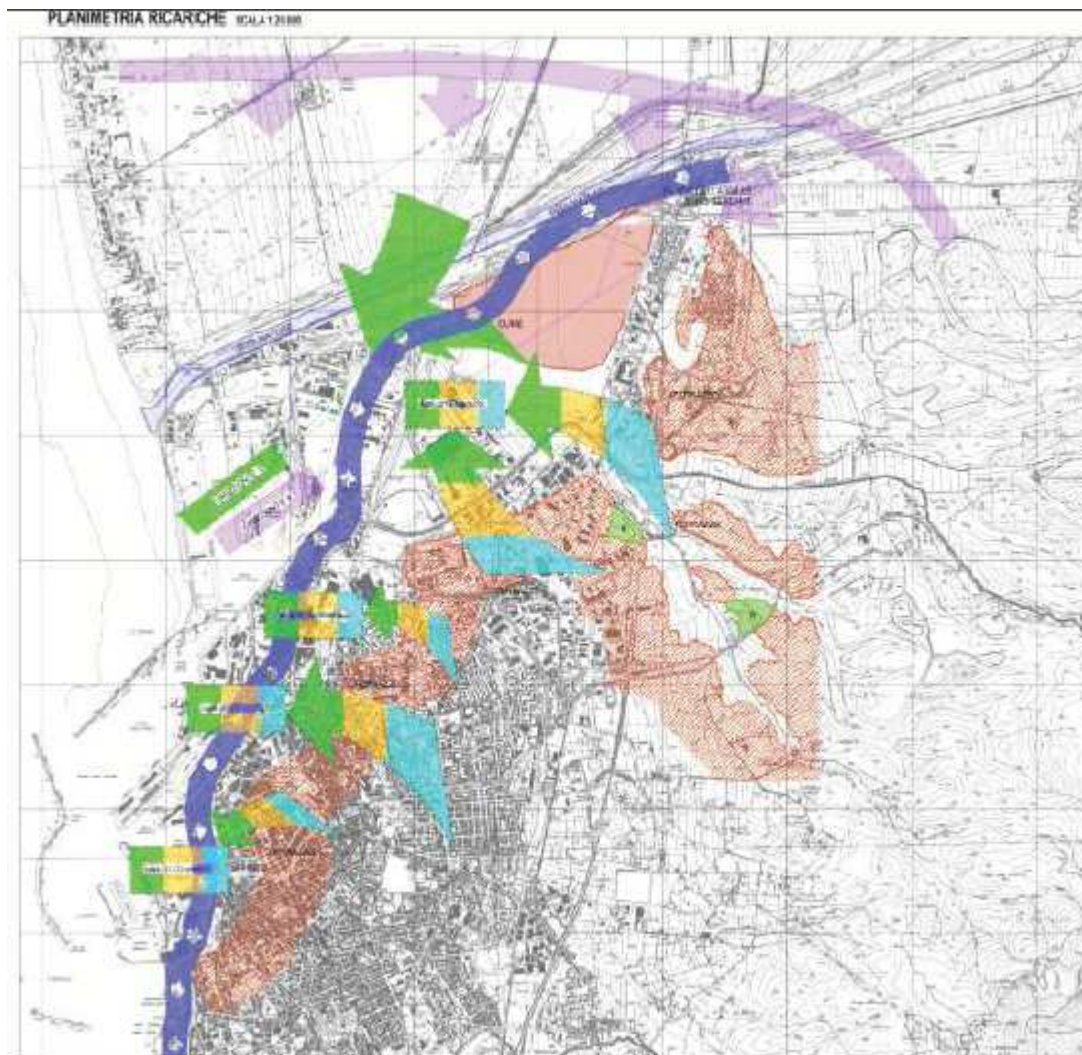
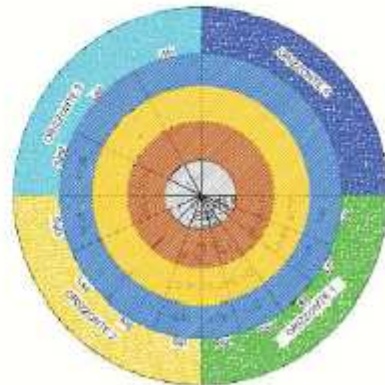


Fig. 28 Estratto da variante anticipatrice al PS per il progetto del PRP di Livorno, (Comune Livorno e APL - 2013)

Di seguito si fornisce la legenda della Planimetria delle ricariche desunta dallo studio idrogeologico del SIN (Rafanelli-Sintesis) del 2006. La relativa planimetria è posta a pagina seguente:

LEGENDA PLANIMETRIA RICARICHE

- | | | | |
|---|----------------------------------|---|-------------|
|  | SCOLMATORE |  | ORIZZONTE 1 |
|  | DUNE DI STAGNO |  | ORIZZONTE 2 |
|  | TERRAZZO |  | ORIZZONTE 3 |
|  | RIEMPIMENTO |  | ORIZZONTE 4 |
|  | RILIEVI DELLA VALLE ARNO-SERCHIO | | |
|  | FRONTE DI INGRESSO ACQUE MARINE | | |



Estratto da variante anticipatrice al PS per il progetto del PRP di Livorno, (Comune Livorno e APL - 2013)

8.4 LA CARTA IDROGEOLOGICA

Nella carta idrogeologica (Dott. L. Mazzei, aprile 2018 – tavv. GEO-G.02) le varie formazioni affioranti sono state quindi suddivise sulla base del tipo (porosità primaria – secondaria – mista) e grado (da alto a basso-nullo) di permeabilità.

Con questo principio e sulla base della legenda-tipo della cartografia idrogeologica regionale “derivata” (vedi più avanti) è stata implementata una bozza della nuova Carta Idrogeologica e della Permeabilità, individuando 3 classi principali e le necessarie sottoclassi a seconda della velocità di flusso della risorsa idrica sotterranea nello specifico litotipo (analisi qualitativa) a seconda delle caratteristiche di porosità, di coerenza e di addensamento del medesimo:

PERMEABILITÀ PRIMARIA (per porosità)

- Classe 5 Permeabilità alta
- Classe 4 Permeabilità medio-alta
- Classe 3 Permeabilità media
- Classe 2 Permeabilità medio-bassa
- Classe 1 Permeabilità da bassa a molto bassa

PERMEABILITÀ SECONDARIA (per fratturazione e/o per carsismo)

- Classe V Permeabilità alta
- Classe IV Permeabilità medio-alta
- Classe III Permeabilità media
- Classe II Permeabilità medio-bassa
- Classe I Permeabilità da bassa a molto bassa

PERMEABILITÀ MISTA

- Classe E Permeabilità alta
- Classe D Permeabilità medio-alta
- Classe C Permeabilità media
- Classe B Permeabilità medio-bassa
- Classe A Permeabilità da bassa a molto bassa

Classe IM1 Impermeabile o a bassissima permeabilità

Classe IM Impermeabile

Classe NRC Aree non rilevate o non classificate

Legenda carta idrogeologica (Dott. Geol. L. Mazzei, aprile 2018 – da quadro conoscitivo del Piano Strutturale 2)

Secondo la letteratura comunemente riconosciuta dal mondo scientifico i vari livelli di grado di permeabilità con i trend di valori di conducibilità idraulica possono essere i seguenti, espressi in cm/sec:

Molto elevato	ME	$1 < K < 10^2$
Elevato	E	$10^{-1} < K < 1$
Medio Elevato	MeE	$10^{-2} < K < 10^{-1}$
Medio Basso	MeB	$10^{-3} < K < 10^{-2}$
Basso	B	$10^{-5} < K < 10^{-3}$
Molto Basso	MB	$10^{-7} < K < 10^{-5}$
Impermeabile	I	$K < 10^{-7}$

Da tale classificazione si possono facilmente attribuire valori medi di permeabilità alle unità idrogeologiche definite in carta, sempre tenendo presente che si parla di "valori medi" e non di valori puntuali assoluti.

A tale caratteristica è stata aggiunta in Carta la mappatura di tutti i pozzi censiti nel Comune di Livorno da parte degli uffici provinciali del Demanio idrico, fino ad oggi deputato alla gestione delle acque sotterranee (permessi

di ricerca ed emungimenti). I pozzi sono stati divisi a seconda del loro uso prevalente (netta prevalenza dell'uso domestico in ambito cittadino) e sono stati selezionati quelli con disponibilità di stratigrafia per la successiva carta dati di base. Tutte le stratigrafie dei pozzi sono state estratte dalle schede e archiviate.

8.5 CARATTERISTICHE DI PERMEABILITA' DEI LITOTIPI

I depositi alluvionali, le coltri detritiche, le sabbie, le ghiaie, i conglomerati, la calcarenite sabbiosa pleistocenica (panchina), possiedono una discreta permeabilità per porosità primaria, talvolta anche una componente secondaria nella calcarenite.

I limi e le argille recenti, oltre alle argille plioceniche, sono i depositi a minore permeabilità tra quelli presenti, in pratica possono considerarsi impermeabili o a bassissima permeabilità (limi debolmente sabbiosi); in tali litotipi la percentuale di frazione sabbiosa eventualmente presente è direttamente proporzionale all'insorgere di una debole permeabilità locale.

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

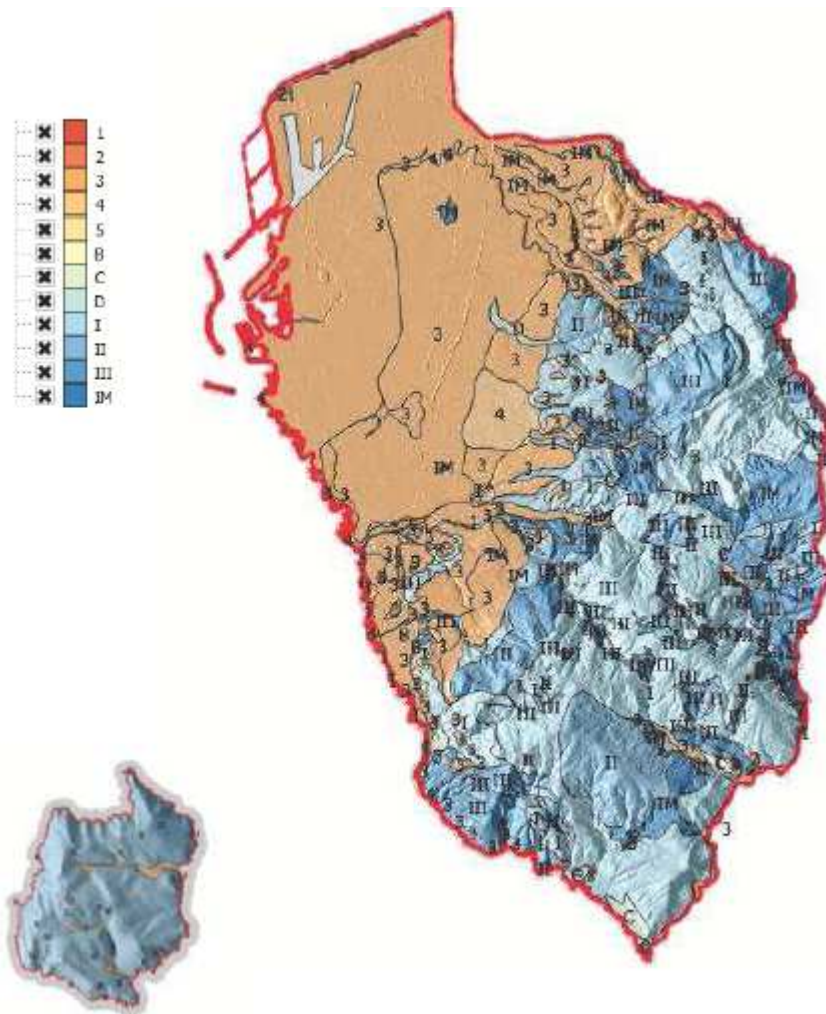
Gli argilloscisti con calcari, molto sviluppati nella parte collinare, hanno mediamente una permeabilità molto bassa, tale da essere considerati impermeabili a livello di ammasso o comunque scarsamente permeabili. Questi litotipi possono essere infatti permeabili per fratturazione e fessurazione, attraverso 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 diffusi, 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.

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 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 permeabilità 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 pagina seguente una semplificazione della carta idrogeologica con la relativa legenda schematizzata (per ogni dettaglio vedasi tavole in scala 1:10.000 con relative curve di livello isofreatiche).



*Schema di permeabilità (bozza senza isofreatiche) con sovrapposizione di 3D da dati LIDAR e colonna schematica della legenda informatizzata (isola di Gorgona in posizione non realistica).
Per la legenda completa si richiamano le considerazioni in precedenza svolte. In evidenza la differenza fra aree pianeggianti color marrone a permeabilità prevalente per porosità (primaria) ed aree collinari in azzurro a permeabilità prevalente per fratturazione (secondaria)*

8.6 STIME DI PERMEABILITA' IN AREA COSTIERA

Prendendo come riferimento il lavoro dello Studio Rafanelli e di Sintesis srl messo a disposizione all'Amministrazione comunale (Studio idrogeologico dell'area compresa nel Sito di Interesse Nazionale di Livorno), a cui il sottoscritto (Dott. Geol. L. Mazzei) ha partecipato come consulente Sintesis srl, è possibile caratterizzare gli spessori che compongono gli Orizzonti più superficiali del settore costiero centro-nord di Livorno (in pratica quello a costa bassa prospiciente lo scolmatore dell'Arno) sotto il punto di vista della composizione granulometrica.

Di tale settore sono disponibili molte informazioni legate alle numerose indagini anche recenti (vedi vasche di colmata e studio idrogeologico SIN) legate alla progettazione delle infrastrutture portuali.

Hanno un significato senza dubbio rilevante ai fini idrogeologici, le varie determinazioni predisposte a livello di conducibilità idraulica eseguite sui depositi costieri intercettati in numerosi carotaggi e sintetizzate nella tabella che segue, che riferisce sulla conducibilità idraulica desunta da prove in sito "tipo Lefranc" in relazione alla profondità indagata, allo spessore e all'Orizzonte di appartenenza.

Oriz zont e	Spessore	Profondità m.	Intervallo K cm./sec.
1	Sgv Sabbia grigio-verde	6,00	$8,00 \times 10^{-4} < K < 5,00 \times 10^{-3}$
1	Mo Sabbie limose con fanerogame	10,00	$3,00 \times 10^{-5} < K < 7,00 \times 10^{-5}$
1	Sgv Sabbia Grigio-verde	5,00	$4,00 \times 10^{-4} < K < 1,00 \times 10^{-3}$
1	SIm Sabbia limosa	7,50	$1,00 \times 10^{-4} < K < 6,00 \times 10^{-4}$
1	Lsg Limo sabbioso	6,50	$8,00 \times 10^{-5} < K < 2,00 \times 10^{-4}$
1	SIm Sabbia limosa	10,00	$2,00 \times 10^{-4} < K < 1,00 \times 10^{-3}$
1	Sgv Sabbia grigio-verde	3,50	$2,00 \times 10^{-5} < K < 7,00 \times 10^{-5}$
1	SIm Sabbia limosa	7,50	$6,00 \times 10^{-5} < K < 1,00 \times 10^{-4}$
1	Sgv Sabbia grigio-verde	4,00	$1,00 \times 10^{-3}$
1	SIm Sabbia limosa media	3,00-3,50	$1,60 \times 10^{-4} < K < 9,14 \times 10^{-4}$
1	SIm Sabbia limosa media	6,50	$9,80 \times 10^{-5} < K < 1,92 \times 10^{-4}$
1	Sgv Sabbia grigio verde	5,00-5,50	$1,45 \times 10^{-4} < K < 6,09 \times 10^{-4}$
2	SgG Sabbie grossolana con ghiaia	8,00-8,50	$1,09 \times 10^{-3} < K < 3,56 \times 10^{-3}$
2	SgG Sabbie grossolana con ghiaia	6,50-7,00	$6,60 \times 10^{-4} < K < 3,29 \times 10^{-3}$
3	SImf Sabbia limosa nocciola	9,00	$9,97 \times 10^{-5} < K < 2,51 \times 10^{-4}$
3	SImf Sabbia limosa nocciola	9,50	$9,51 \times 10^{-5} < K < 2,65 \times 10^{-4}$
3	Lsa Limo sabbioso nocciola	8,50	$4,15 \times 10^{-4} < K < 8,77 \times 10^{-4}$
3	SImf Sabbia limosa nocciola	7,00-7,50	$6,77 \times 10^{-4} < K < 3,49 \times 10^{-3}$
<i>Prove di permeabilità Lefrane eseguite all'esterno della Vasca di Colnati</i>			

Estratto da variante anticipatrice al PS per il progetto del PRP di Livorno, (Comune Livorno e APL - 2013)

Si osserva che:

- L'orizzonte zero costituito da materiale di riporto antropico è dotato di una Permeabilità Media con un campo di valori piuttosto dilatato per la forte eterogeneità del mezzo poroso.
 - L'orizzonte 1, nel suo complesso può essere considerato a Permeabilità Bassa; tutti gli spessori di cui è composto infatti si trovano in un range di conducibilità idraulica compreso tra 10^{-5} e 10^{-3} cm/sec. Questo basso valore di permeabilità è dovuto al fatto che gli spessori tendenzialmente a scheletro sabbioso sono completati da frazioni limose, limose organiche e talvolta argillose di un certo livello percentuale.
 - L'orizzonte 2 composto in sommità ed alla base da spessori di transizione tipici di ambiente fluviale con rimaneggiamenti, fa registrare una Permeabilità Medio-Bassa per lo spessore Sgl dove si giustappone l'orizzonte 1, una Permeabilità da Molto Bassa a Bassa per gli spessori di natura Argillo-limosa ed una Permeabilità Media per lo spessore di base costituito da sabbie con passaggi di ghiaie. Questo è l'orizzonte più varia a livello di distribuzione della conducibilità idraulica.
 - L'orizzonte 3 ha una permeabilità bassa per i primi due spessori e molto bassa per lo spessore limoso- argilloso che si rileva alla sua base.
 - L'orizzonte 4 (non riportato in tabella -rif. planimetria ricariche) composto da conglomerati dell'Arno e del Serchio è dotato di una Permeabilità Elevata. A proposito dell'orizzonte 4, ricordiamo a solo scopo qualitativo lo spessore dei Conglomerati dell'Arno e Serchio da Bientina. Il livello costituisce un corpo acquifero (a falda imprigionata) caratterizzato da una elevata permeabilità. I numerosi pozzi realizzati proprio in funzione dello sfruttamento del livello (fuori dal comune di Livorno) sono tutti caratterizzati da elevati valori delle portate di esercizio (generalmente comprese tra i 1.000 e i 2.000 l/m) e utilizzati per fini acquedottistici ed industriali.
 - Le rocce permeabili da prendere in considerazione come acquiferi potenziali hanno affioramenti molto limitati e non sono organizzate in strutture idrogeologiche capaci di trattenere grandi quantità di acqua.
- La ricarica delle falde costiere avviene con le piogge locali e per l'inallveamento delle acque dei vari Torrenti e Rii che riversano nella parte finale dell'area in esame.

Di seguito i risultati di alcune analisi granulometriche dei livelli finora discussi:

Orizzonte	Spessore	Profondità m.	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %
1	Mo	10,00	3,63	48,37	39,79	8,21
1	Slm	4,50	0,00	67,00	29,12	3,88
1	Sgv	6,50	5,62	55,38	38,57	0,43
1	Lsg	3,00	11,17	25,83	48,70	14,30
2	Sgl	6,50	48,14	17,87	26,30	7,70
1	Slm	5,00	0,00	59,00	35,94	5,06
1	Lsg	7,50	0,74	17,76	58,70	23,30
1	Slm	3,50	12,57	52,43	28,87	6,13
1	Sgv	5,00	75,59		24,41	
3	Slmf	5,00	71,31		28,69	
1	Slm	7,50	6,18	45,82	36,87	11,13
1	Sgv	5,50	85,15		14,85	
2	Sgl	9,00	7,67	62,33	29,66	0,34
2	Sgl	9,50	75,14		24,86	
2	SgG	8,50	87,51		12,49	
3	Slmf	8,50	8,03	62,97	22,21	6,79
3	Slmf	6,50	67,68		32,32	
1	Sgv	3,50	82,19		17,81	
2	Sgl	7,50	35,16	32,84	29,70	2,30

Estratto da variante anticipatrice al PS per il progetto del PRP di Livorno, (Comune Livorno e APL - 2013)

8.7 ELABORAZIONE DELLE CURVE ISOPIEZE/ISOFREATICHE

Le curve di livello inserite nella Carta Idrogeologica sono state elaborate tenendo conto per lo più dei dati pregressi del Quadro Conoscitivo fornito dall'Amm.ne Comunale; nella fattispecie ci si riferisce principalmente al lavoro precedente di Rafanelli e Michelucci per il PS vigente.

Pur tuttavia alcune curve di livello sono state opportunamente corrette in alcuni tratti grazie a rilievi aggiornati su pozzi esistenti e su alcuni piezometri nel periodo 2016/2017.

Pertanto, allo stato attuale delle conoscenze e nelle more di una auspicabile campagna idrogeologica di aggiornamento, si ritiene ragionevolmente che il modello idrogeologico generale proposto - anche a livello di battente freatico sotterraneo - sia nel complesso affidabile nel trend generale di flusso idrogeologico monte-valle, tenendo conto che la estrema variabilità di ricarica dovuta alla piovosità stagionale differenziata renderebbe necessari almeno due rilievi annuali, uno nel periodo di piena (autunno-inverno) ed uno in quello di magra (estate) se si volesse aggiornare ex novo l'andamento della falda.

Come si può notare le isofreatiche individuano una tavola d'acqua a debole gradiente idraulico verso la linea di costa, immagazzinata per la maggior parte nei depositi alluvionali sciolti attuali e pleistocenici, con spessore di pochi metri e fenomeni di drenaggio da e verso gli alvei dei fossi più importanti (es Rio Maggiore e Rio Ardenza) a seconda dei periodi stagionali.

A completamento delle analisi sono state elaborate due tabelle, fornite nelle pagine che seguono, in cui ad ogni formazione affiorante è stato associato un grado di permeabilità medio tenendo conto della legenda idrogeologica proposta dalla Regione Toscana.

CORRELAZIONE TRA UNITA' IDROGEOLOGICHE E UNITA' STRATIGRAFICHE CARTOGRAFATE				
LEGENDA GEOLOGICA PIANO STRUTTURALE 2		CLASSE DI PERMEABILITA' PROPOSTA	TIPO E GRADO DI PERMEABILITA'	
			TIPO	GRADO
DEPOSITI ANTROPICI				
ant	Area fortemente antropizzata, strutture che impediscono il rilevamento			
h5	Terreni di riporto, bonifica per colmata	4	PRIMARIA	MEDIO-ALTA
h3	Discariche di cave	5	PRIMARIA	ALTA
h1	Discariche per inerti e rifiuti solidi urbani			
DEPOSITI ATTUALI E OLOCENICI				
a3	Coperture detritiche indifferenziate	3	PRIMARIA	MEDIA
a3a	Detrito di falda	5	PRIMARIA	ALTA
aa	Depositi di versante	5	PRIMARIA	ALTA
b2a	Depositi eluvio-colluviali	4	PRIMARIA	MEDIO-ALTA
b	Depositi alluvionali attuali	3	PRIMARIA	MEDIA
g2a	Depositi di spiaggia	5	PRIMARIA	ALTA
f1a	Travertino e calcari continentali	D	MISTA	MEDIO-ALTA
bna	Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati	3	PRIMARIA	MEDIA
DEPOSITI PLEISTOCENICI				
QSD	Sabbie rosso arancio di Donoratico	3	PRIMARIA	MEDIA
QCP		C	MISTA	MEDIA
QCPa	Calcarenti sabbiose di Castiglioncello (Panchina)	3	PRIMARIA	MEDIA
QCPb		4	PRIMARIA	MEDIO-ALTA
QBC	Brecce di Punta Casotto	3	PRIMARIA	MEDIA
QCC	Conglomerato del Chioma	4	PRIMARIA	
QRM	Conglomerati di Rio Maggiore	3	PRIMARIA	MEDIA
VdG	Sabbie rosse Val di Gori	3	PRIMARIA	MEDIA
QPL	Formazione Casa Poggio ai Lecci	3	PRIMARIA	MEDIA
QVR	Conglomerati Villa Corridi	3	PRIMARIA	MEDIA
ART	Sabbie e argille ad Arctica	3	PRIMARIA	MEDIA
DEPOSITI MARINI PLOCENICI				
FAA	Argille azzurre	IM		
FAAe	Sabbie risedimentate nelle argille	3	PRIMARIA	MEDIA
DEPOSITI LACUSTRI E LAGUNARI POST-EVAPORITICI DEL MESSINIANO				
EMO	Argille e argille marnose con livelli e lenti di gesso	I	SECONDARIA	BASSA-MOLTO BASSA
EMOg	Lenti di gesso	II	SECONDARIA	MEDIO-BASSA
EMOr	Sabbie e conglomerati	III	SECONDARIA	MEDIA
DEPOSITI MARINI PRE-EVAPORITICI DEL MESSINIANO INFERIORE				
ROsb	Calcarei e calciruditi	III	SECONDARIA	MEDIA
ROSa	Conglomerati	2	PRIMARIA	MEDIO-BASSA
RAQ	Argille e argille sabbiose	I	SECONDARIA	BASSA-MOLTO BASSA
RAQg	Lenti di gessi	III	SECONDARIA	MEDIA
DEPOSITI LACUSTRI DEL TORTONIANO SUP.				
SLEC	Conglomerati e paraconglomerati eterometrici	C	MISTA	MEDIA
DOMINIO LIGURE INTERNO - UNITA' DI M. GOTTERO				
APA	Argille a Palombini	I	SECONDARIA	BASSA-MOLTO BASSA
DSD	Diaspri	II	SECONDARIA	MEDIO-BASSA
BROe	Brecce ofiolitiche	II	SECONDARIA	MEDIO-BASSA
BRG	Basalti con strutture a pillow lava	III	SECONDARIA	MEDIA
PGR	Plagiograniti	III	SECONDARIA	MEDIA
GBB	Gabbri con filoni basici	III	SECONDARIA	MEDIA
PRN	Peridotiti serpentizzate con filoni di gabbri e basalti	III	SECONDARIA	MEDIA
DOMINIO LIGURE ESTERNO				
UNITA' FLYSCH A ELMINTOIDI, UNITA' DI OTTONE				
OMT	Flysch di Ottone Monteverdi	II	SECONDARIA	MEDIO-BASSA
OMTa	Litofacies Brecce di ofioliti in OMT	I	SECONDARIA	BASSA-MOLTO BASSA
RCH	Argilliti e calcari di Poggio Rocchino	I	SECONDARIA	BASSA-MOLTO BASSA
UNITA' DI M. MORELLO, UNITA' DI S. FIORA				
MLL	Formazione di M. Morello	III	SECONDARIA	
SIL	Formazione di Sillano - S. Fiora	I	SECONDARIA	BASSA-MOLTO BASSA
DOMINIO SUBLIGURE - UNITA' DI CANETOLO				
MRR	Marne di Marra	I	SECONDARIA	BASSA-MOLTO BASSA
ACC	Argille e calcari di Canetolo	I	SECONDARIA	BASSA-MOLTO BASSA
DOMINIO TOSCANO - FALDA TOSCANA				
MAC	Arenaria "Macigno"	III	SECONDARIA	MEDIA
--- ISOLA DI GORGONA ---				
UNITA' CON METAMORFISMO DI ALTA PRESSIONE				
GBA	Metabasalti	III	SECONDARIA	MEDIA
SIG	Serpentiniti	II	SECONDARIA	MEDIO-BASSA
CPG	Calcescisti punta Gorgona	II	SECONDARIA	MEDIO-BASSA

CPGa	Marmi grigi - Filoni in CPG	II	SECONDARIA	MEDIO-BASSA
CPGb	Metareniti - Filoni in CPG	II	SECONDARIA	MEDIO-BASSA
MPC	Metareniti di Cala di Pancia	II	SECONDARIA	MEDIO-BASSA

LEGENDA PS2 - CORRISPONDENZA "UNO A MOLTI" FRA CLASSE DI PERMEABILITA' E LITOTIPI AFFIORANTI

CLASSIFICAZIONE PERMEABILITA' DEI DEPOSITI			
TIPO	CLASSE	GRADO DI PERMEABILITA'	Formazioni cartografate (sigle)
PRIMARIA PER POROSITA' SINSEDIMENTARIA	5	Permeabilità alta	a3a, h3, aa, g2a
	4	Permeabilità medio-alta	h5, b2a, QCPb, QCC
	3	Permeabilità media	a3, b, bna, QSD, QCPa, QBC, QRM, VdG, QPL, QVR, ART, FAAe
	2	Permeabilità medio-bassa	ROSa
	1	Permeabilità bassa-molto bassa	
SECONDARIA PER FRATTURAZIONE E/O DISSOLUZIONE	V	Permeabilità alta	
	IV	Permeabilità medio-alta	
	III	Permeabilità media	EMOr, ROSb, RAQg, BRG, PGR, GBB, PRN, MLL, MAC, GBA
	II	Permeabilità medio-bassa	EMOg, DSD, BROe, OMT, SIG, CPG, CPGa, CPGb, MPC
	I	Permeabilità bassa-molto bassa	EMO, RAQ, APA, ACC, MRR, SIL, OMTa, RCH
MISTA	E	Permeabilità alta	
	D	Permeabilità medio-alta	f1a
	C	Permeabilità media	QCP
	B	Permeabilità medio-bassa	
	A	Permeabilità bassa-molto bassa	
	IM	Impermeabile	FAA
		Aree non rilevabili o non classificabili	ant, h1

nb: i retini colorati applicati alle unità idrogeologiche nella tabella sopra sono indipendenti da quelli visibili nella tavola Carta idrogeologica e della permeabilità.



8.8 VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI

La vulnerabilità di un acquifero è definibile sinteticamente come la propensione di un corpo idrico sotterraneo a subire una contaminazione. Quindi la Carta della Vulnerabilità della falda (in realtà si dovrebbe parlare di acquiferi reali o potenziali) (tavv. GEO-G.06 “Carta delle aree a problematiche idrogeologiche e vulnerabilità della falda”, Dott. Geol. L. Mazzei, aprile 2018) rappresenta in funzione delle classi di vulnerabilità individuate una zonazione del territorio che in base alle caratteristiche litologiche dei terreni superficiali definisce la possibilità di penetrazione e diffusione in profondità di un inquinante idroveicolato.

Uno dei criteri principali seguiti nella realizzazione di questo tematismo è stato quello di distinguere le formazioni sulla base della diversa permeabilità media dei litotipi costituenti, valutando anche il grado di fratturazione ed i fenomeni di alterazione che possono localmente modificare l'originaria permeabilità.

In relazione a ciò ed in approfondimento ai contenuti ed alle indicazioni forniti dal P.T.C. della Provincia di Livorno in merito alla corretta gestione (al fine della programmazione e pianificazione urbanistica) delle risorse idriche del sottosuolo sono state individuate nove classi di vulnerabilità intrinseca degli acquiferi all'inquinamento (da *molto elevata* a *molto bassa*) che a livello generale (vedi PTC provinciale) sono le seguenti:

Classe di vulnerabilità 1: MOLTO ELEVATA (EE)

Sistemi acquiferi liberi in alluvioni da grossolane a medie, od in materiali fortemente alterati e/o risedimentati, privi di efficace protezione in superficie e, talora, soggiacenti ad agglomerati di centri di pericolo (urbanizzato). Pozzi e campi-pozzi, che deprimono fortemente la piezometrica al di sotto del livello della rete idrografica e/o il livello del mare, creano le condizioni di una ingestione rapida di inquinanti e di insalimento progressivo per intrusione di acque marine.

Classe di vulnerabilità 2: da MOLTO ELEVATA a Elevata (EE=> E)

Sistemi acquiferi liberi in complessi ghiaioso-sabbiosi, talvolta debolmente cementati, dotati di elevata permeabilità, con scarsa copertura di suolo attivo.

Le condizioni di soggiacenza (spesso scarsa), la discreta connessione con la rete idrografica esaltata dalle depressioni indotte in pozzi e campi-pozzi creano le condizioni di elevato potenziale di inquinamento in aree ove sovente si forma la risorsa idrica sotterranea.

Classe di vulnerabilità 3: da ELEVATA a ALTA (E=> A)

Sistemi acquiferi liberi in rocce prevalentemente carbonatiche e solfatiche fessurate e più o meno carsificate, con soggiacenza notevole, forti acclività superficiali, scarsa copertura, in posizione pianoaltimetrica tale da non essere in contatto con la rete idrografica principale.

Classe di vulnerabilità 4: ALTA (A)

Sistemi acquiferi liberi, semiconfinati o confinati, generalmente caratterizzati da notevole anisotropia ed eterogeneità, protetti in superficie da una copertura scarsamente permeabile, a tratti impermeabile.

I sistemi acquiferi in questione possono essere i medesimi che albergano nelle alluvioni e nei complessi ghiaiosi (Classe 1, Classe 2), come si verifica nell'area ad Est dell'abitato di Livorno.

Classe di vulnerabilità 5: da ALTA a MEDIA (A=> M)

Sistemi acquiferi liberi in rocce cristalline fratturate, con scarsa protezione di suolo e di insaturo, elevata capacità di ingestione, media capacità di flusso.

La vulnerabilità di questi acquiferi varia, anche notevolmente, a seconda dello stato di fratturazione e di alterazione: è più elevata nelle vulcaniti, in particolare nei basalti, a causa del clivaggio e della scarsa alterabilità.

Gli ammassi più importanti (es. rocce ofiolitiche) possono costituire discreti serbatoi acquiferi confinati da soglie a bassa permeabilità da proteggere per il loro possibile utilizzo come risorse integrative e di emergenza.

Classe di vulnerabilità 6: MEDIA (M)

Sistemi acquiferi in complessi a granulometria media o medio-bassa, più o meno compattati o debolmente cementati, generalmente in posizione dominante rispetto alla rete idrografica, sovente poggianti su confinanti impermeabili.

Le aree di affioramento di questi complessi costituiscono sovente piccole unità prive di continuità con gli acquiferi maggiori.

La vulnerabilità è condizionata dai suoli di copertura e dall'azione filtrante dell'insaturo, oltre che dalla non elevata permeabilità.

Classe di vulnerabilità 7: da MEDIA a BASSA (M=> B)

Sistemi acquiferi in arenarie (es. Macigno di Calafuria) e complessi conglomeratico-arenacei, caratterizzati da vulnerabilità variabile da media a bassa a seconda dello stato di fratturazione e della percentuale di materiali marnosi presenti.

In genere, questi complessi non sono molto produttivi a parità di alimentazione ma possono dare risposte di accumulo di inquinanti quando si trovano nel sottosuolo di agglomerati di centri di pericolo o vengono impegnati da scarichi industriali e discariche.

Classe di vulnerabilità 8: da BASSA a MOLTO BASSA (B=> BB)

Complessi flyschoidi argillo-marnosi e marnoso-arenacei, complessi epimetamorfici, con propagazione degli inquinanti scarsa anche se variabile da membro a membro.

In questi complessi, gli inquinanti idroportati possono essere veicolati e accumulati in sacche e strati dotati di maggiore permeabilità. Pertanto, gli insediamenti pericolosi di qualunque tipo necessitano di approfondimenti idrogeologici caso per caso.

Classe di vulnerabilità 9: MOLTO BASSA (BB)

Argilloscisti, argille varicolori, argille più o meno sovracconsolidate e sabbiose, marne: gli inquinanti sversati, in funzione dell'acclività della superficie topografica, ristagnano o raggiungono direttamente le acque superficiali che li spostano e li distribuiscono in funzione della complessità del reticolo drenante.

Nella tabella posta a pagina seguente è stata eseguita una classificazione del grado potenziale di vulnerabilità degli acquiferi in funzione delle formazioni affioranti classificate secondo la legenda di cartografia geologica di L. Mazzei (aprile 2018) (in funzione della loro litologia prevalente e grado di porosità media) e quindi della tendenza o meno a trasmettere alla falda eventuali inquinanti che percolano nel sottosuolo. Si rimanda alla tabella citata per le classificazioni eseguite e per ogni dettaglio in merito; la tabella suddetta è stata inserita anche nella Carta della Vulnerabilità degli acquiferi.

LEGENDA PS2 - CORRISPONDENZA "UNO A MOLTI" FRA CLASSE DI VULNERABILITA' E LITOTIPI AFFIORANTI

VULNERABILITA' INTRINSECA DELLA FALDA			
CLASSE	SIMBOLO	GRADO DI VULNERABILITA'	Formazioni cartografate (sigle)
1	EE	MOLTO ELEVATA	a3a, h3, b, g2a
2	EE→E	DA MOLTO ELEVATA A ELEVATA	h5, a3, aa, b2a, QSD, QBC, QCC, QRM, VdG, QPL, QVR
3	E→A	DA ELEVATA A ALTA	f1a, bna, RAQg, ROSb
4	A	ALTA	ART
5	A→M	DA ALTA A MEDIA	QCP, BROe, BRG, PGR, GBB, PRN
6	M	MEDIA	EMOr, SLEc, GBA, SIG
7	M→B	DA MEDIA A BASSA	EMOg, DSD, OMT, MAC, CPG, CPGa, CPGb
8	B→BB	DA BASSA A MOLTO BASSA	FAAe, EMO, APA, OMTa, RCH, MLL, SIL, MRR, ACC, RAQ
9	BB	MOLTO BASSA	FAA
		Aree non rilevabili o non classificabili	ant, h1

LEGENDA GEOLOGICA PIANO STRUTTURALE 2		CLASSE DI VULNERABILITA' PROPOSTA	GRADO DI VULNERABILITA' INTRINSECA DELLA FALDA	
			SIMBOLO	DESCRIZIONE
DEPOSITI ANTROPICI				
ant	Area fortemente antropizzata, strutture che impediscono il rilevamento		nc	non classificabile
h5	Terreni di riporto, bonifica per colmata	2	EE→E	DA MOLTO ELEVATA A ELEVATA
h3	Discariche di cave	1	EE	MOLTO ELEVATA
h1	Discariche per inerti e rifiuti solidi urbani		nc	non classificabile
DEPOSITI ATTUALI E OLOCENICI				
a3	Coperture detritiche indifferenziate	2	EE→E	DA MOLTO ELEVATA A ELEVATA
a3a	Detrito di falda	1	EE	MOLTO ELEVATA
aa	Depositi di versante	2	EE→E	DA MOLTO ELEVATA A ELEVATA
b2a	Depositi eluvio-colluviali	2	EE→E	DA MOLTO ELEVATA A ELEVATA
b	Depositi alluvionali attuali	1	EE	MOLTO ELEVATA
g2a	Depositi di spiaggia	1	EE	MOLTO ELEVATA
f1a	Travertino e calcari continentali	3	E→A	DA ELEVATA A ALTA
bna	Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati	3	E→A	DA ELEVATA A ALTA
DEPOSITI PLEISTOCENICI				
QSD	Sabbie rosso arancio di Donoratico	2	EE→E	DA MOLTO ELEVATA A ELEVATA
QCP, QCPa QCPb	Calcarenti sabbiose di Castiglione (Panchina)	5	A→M	DA ALTA A MEDIA
QBC	Brecce di Punta Casotto	2	EE→E	DA MOLTO ELEVATA A ELEVATA
QCC	Conglomerato del Chioma	2	EE→E	DA MOLTO ELEVATA A ELEVATA
QRM	Conglomerati di Rio Maggiore	2	EE→E	DA MOLTO ELEVATA A ELEVATA
VdG	Sabbie rosse Val di Gori	2	EE→E	DA MOLTO ELEVATA A ELEVATA
QPL	Formazione Casa Poggio ai Lecci	2	EE→E	DA MOLTO ELEVATA A ELEVATA
QVR	Conglomerati Villa Corridi	2	EE→E	DA MOLTO ELEVATA A ELEVATA
ART	Sabbie e argille ad Arctica	4	A	ALTA
DEPOSITI MARINI PLOCEENICI				
FAA	Argille azzurre	9	BB	MOLTO BASSA
FAAe	Sabbie risedimentate nelle argille	8	B→BB	DA BASSA A MOLTO BASSA
DEPOSITI LACUSTRI E LAGUNARI POST-EVAPORITICI DEL MESSINIANO				
EMO	Argille e argille marnose con livelli e lenti di gesso	8	B→BB	DA BASSA A MOLTO BASSA
EMOg	Lenti di gesso	7	M→B	DA MEDIA A BASSA
EMOr	Sabbie e conglomerati	6	M	MEDIA
DEPOSITI MARINI PRE-EVAPORITICI DEL MESSINIANO INFERIORE				
ROsb	Calcarei e calciruditi	3	E→A	DA ELEVATA A ALTA
ROSa	Conglomerati	2	EE→E	DA MOLTO ELEVATA A ELEVATA
RAQ	Argille e argille sabbiose	8	B→BB	DA BASSA A MOLTO BASSA
RAQg	Lenti di gessi	3	E→A	DA ELEVATA A ALTA
DEPOSITI LACUSTRI DEL TORTONIANO SUP.				
SLEc	Conglomerati e paraconglomerati eterometrici	6	M	MEDIA
DOMINIO LIGURE INTERNO - UNITA' DI M. GOTTERO				
APA	Argille a Palombini	8	B→BB	DA BASSA A MOLTO BASSA
DSD	Diaspri	7	M→B	DA MEDIA A BASSA
BROe	Brecce ofiolitiche	5	A→M	DA ALTA A MEDIA
BRG	Basalti con strutture a pillow lava	5	A→M	DA ALTA A MEDIA
PGR	Plagiograniti	5	A→M	DA ALTA A MEDIA
GBB	Gabbri con filoni basici	5	A→M	DA ALTA A MEDIA
PRN	Peridotiti serpentinite con filoni di gabbri e basalti	5	A→M	DA ALTA A MEDIA
DOMINIO LIGURE ESTERNO				
UNITA' FLYSCH A ELMINTOIDI, UNITA' DI OTTONE				
OMT	Flysch di Ottone Monteverdi	7	M→B	DA MEDIA A BASSA
OMTa	Litofacies Brecce di ofioliti in OMT	8	B→BB	DA BASSA A MOLTO BASSA
RCH	Argilliti e calcari di Poggio Rocchino	8	B→BB	DA BASSA A MOLTO BASSA
UNITA' DI M. MORELLO, UNITA' DI S. FIORA				
MLL	Formazione di M. Morello	8	B→BB	DA BASSA A MOLTO BASSA
SIL	Formazione di Sillano - S. Fiora	8	B→BB	DA BASSA A MOLTO BASSA
DOMINIO SUBLIGURE - UNITA' DI CANETOLO				
MRR	Marne di Marra	8	B→BB	DA BASSA A MOLTO BASSA
ACC	Argille e calcari di Canetolo	8	B→BB	DA BASSA A MOLTO BASSA
DOMINIO TOSCANO - FALDA TOSCANANA				
MAC	Arenaria "Macigno"	7	M→B	DA MEDIA A BASSA
--- ISOLA DI GORGONA ---				
UNITA' CON METAMORFISMO DI ALTA PRESSIONE				
GBA	Metabasalti	6	M	MEDIA
SIG	Serpentiniti	6	M	MEDIA
UNITA' AD AFFINITA' TOSCANA				
CPG	Calcescisti punta Gorgona	7	M→B	DA MEDIA A BASSA
CPGa	Marmi grigi - Filoni in CPG	7	M→B	DA MEDIA A BASSA
CPGb	Metareniti - Filoni in CPG	7	M→B	DA MEDIA A BASSA
MPC	Metareniti di Cala di Pancia	6	M	MEDIA

8.9 TUTELA DELLA RISORSA IDROGEOLOGICA

L'attribuzione delle classi qui proposta è eseguita su base qualitativa, ragionando sulle caratteristiche medie dei vari litotipi affioranti che possono facilitare la veicolazione o meno in profondità di fluidi.

E' quindi suscettibile di modifiche in relazione a studi di dettaglio ed a maggiori approfondimenti di carattere idrogeologico.

Pur se a Livorno non esiste falda idropotabile sfruttata e/o sfruttabile (per le conoscenze attuali), la tutela della risorsa idrica sotterranea deve risultare obiettivo primario in sede di pianificazione del territorio mediante attività di previsione del rischio di inquinamento e di prevenzione -mitigazione dei suoi effetti.

In particolare, si ritiene che la risorsa idrica anche ove non destinata al consumo umano, debba essere oggetto di tutela mediante apposita normativa ispirata almeno ai criteri dei vigenti disposti normativi nazionali in materia di tutela delle acque (ex D.L. n. 152/1999 e successive modifiche ed integrazioni) sotto dettagliati:

- nelle aree a “**vulnerabilità da molto elevata a elevata**” si dovrà, in linea di massima, escludere l'insediamento di infrastrutture e/o attività potenzialmente inquinanti: discariche di R.S.U.; stoccaggio di sostanze inquinanti; depuratori; depositi di carburanti; pozzi neri a dispersione; spandimenti di liquami, etc.

Le fognature dovranno essere alloggiare in manufatti impermeabili. L'uso di fertilizzanti, pesticidi e e diserbanti ed anche l'autorizzazione al pascolamento intensivo e l'allevamento dovrebbero costituire oggetto di specifica regolamentazione e controllo avendo cura che per i primi, i quantitativi usati siano solo quelli strettamente necessari, e che per i secondi, la pratica e la permanenza non siano eccessive. Per quanto concerne le destinazioni esistenti, controlli periodici dell'acqua di falda consentiranno di verificare la compatibilità dell'uso attuale dei presidi sanitari con la qualità dell'acqua del sottosuolo. Sono fatti salvi aggiornamenti legislativi in merito.

Deroghe a queste linee di indirizzo potranno essere realizzate nel caso che:

- si dimostri la necessità, in rapporto a esigenze di interesse pubblico, di localizzare comunque la previsione all'interno delle zone *E-EE*;

- vengano eseguite specifiche indagini geognostiche ed idrogeologiche che accertino situazioni locali di minore vulnerabilità intrinseca delle falde; a tal fine dovranno essere misurate le permeabilità dei livelli posti al di sopra dell'acquifero, calcolando sperimentalmente il “tempo di arrivo” di un generico inquinante idroveicolato.

Per le zone a “**vulnerabilità da elevata ad alta e/o alta**” (**EA o A**) si precisa che per le aree costituite da depositi alluvionali terrazzati e/o detriti di falda si dovrà propendere per le stesse prescrizioni fatte per le classi *EE-E*. Il minor grado di vulnerabilità è qui in relazione alla limitata importanza delle falde idriche in esse contenute e quindi al minor danno di un eventuale inquinamento; inoltre queste falde non sono in genere alimentate da acque fluviali per cui non sono esposte al trasferimento di eventuali inquinanti.

Nelle zone definite a “vulnerabilità media” (**M**) le infrastrutture e le opere potenzialmente inquinanti potranno essere autorizzate di norma solo in seguito a specifiche indagini idrogeologiche finalizzate alla valutazione della locale situazione e del rischio di inquinamento.

Qualora in futuro dovessero essere realizzate opere di captazione ad uso idropotabile pubblico (ipotesi ad oggi poco realistica a Livorno ma teoricamente possibile magari per moderati prelievi in acquiferi profondi) ai fini della tutela delle acque destinate a consumo umano, ai sensi del D.Lgs 152/2006, in corrispondenza dei punti di prelievo di acquedotto, sorgenti e pozzi devono essere definite e graficamente individuate le *aree di rispetto*, comprendenti anche le *aree di tutela assoluta* avente un raggio di metri 10. La superficie delle aree di rispetto è definita con un raggio di metri 200.

La norma prevede inoltre una *zona di protezione* con misure, limitazioni e prescrizioni agli usi e destinazioni del territorio compreso nel bacino di alimentazione della captazione di cui all'art.94 (vedi tabella seguente). Tuttavia, il relativo regolamento regionale non è stato ancora emesso.

D.Lgs 152/2006; art. 94 - Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano

4. **La zona di rispetto** è costituita dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta da sottoporre a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata e può essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata, in relazione alla tipologia dell'opera di presa o captazione e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa. In particolare, **nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:**

- a) dispersione di fanghi e acque reflue, anche se depurati
- b) **accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;**
- c) **spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;**
- d) dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche proveniente da piazzali e strade;
- e) aree cimiteriali;
- f) apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;
- g) apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione dell'estrazione ed alla protezione delle caratteristiche quali-quantitative della risorsa idrica;
- h) gestione di rifiuti;
- i) **stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;**
- l) centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
- m) pozzi perdenti;
- n) **pascolo e stabulazione di bestiame** che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. È comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta

La *zona di tutela assoluta* deve essere adeguatamente protetta e adibita esclusivamente ad opere di captazione o presa e/o ad infrastrutture di servizio. Tale zona deve essere recintata, provvista di canalizzazione per le acque meteoriche e protetta dalla possibilità di esondazione di corpi idrici limitrofi.

Per la *zona di rispetto* si dovrà propendere per il divieto degli insediamenti dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:

- dispersione di fanghi ed acque reflue, anche se depurate;
- accumuli di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
- spandimenti di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, fatto salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;
- dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche provenienti da piazzali e strade;
- aree cimiteriali;
- apertura di cave e discariche che possano essere in connessione con la falda;
- terebrazioni ed apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano per l'alimentazione del sistema acquedottistico per il pubblico servizio per lo sfruttamento acqua minerale e di quelli finalizzati alla variazione della estrazione ed alla protezione e controllo delle caratteristiche quali quantitative della risorsa idrica;
- gestione e trattamento di rifiuti e loro messa a dimora e lo stoccaggio provvisorio;
- stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
- centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
- pozzi perdenti e/o sistemi di subirrigazione che prevedano immissione di reflui nel sottosuolo;
- pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 chilogrammi per ettaro di azoto presente negli effluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione.

Per quanto concerne le preesistenze, delle attività sopraelencate, ad eccezione delle aree cimiteriali, sono adottate le misure per il loro allontanamento; in ogni caso deve essere garantita la loro messa in sicurezza.

Ai fini della tutela delle acque destinate al consumo umano alle "zone di protezione" dei punti di captazione di risorsa idrica del sistema acquedottistico per il pubblico servizio ricadenti nelle aree a "**vulnerabilità elevata**" (**E**) si ritiene dover provvedere con l'applicazione degli stessi precetti (divieti e deroghe) valide per le "zone di rispetto" sopracitate.

9. ASPETTI SISMICI E STUDI DI MICROZONAZIONE

In relazione alla trattazione degli aspetti sismici e relativi studi di Microzonazione si rimanda alla trattazione di Geologica Toscana relativa agli studi di Microzonazione sismica di livello 1 e 2 svolti nel corso di precedenti attività ed allo studio di Microzonazione sismica di livello 3 (MS3) redatto su iniziativa del Comune di Livorno nel novero di collaborazione tecnica con il Settore Prevenzione Sismica della Regione Toscana (dicembre 2022). In particolare tale studio, che costituisce parte integrante del quadro conoscitivo della presente variante al Piano Strutturale approfondisce gli aspetti legati alla valutazione del potenziale di liquefazione dei terreni.

Si riportano tratti salienti di tali argomentazioni rimandando per i dettagli e gli approfondimenti alla relativa relazione tecnica illustrative e ai relativi allegati cartografici (Geologica Toscana, dicembre 2022).

Ai sensi della Classificazione Sismica del Territorio Regionale Toscano – Ord. PCM 3.519 – Delib. G.R. n° 431 del 19/06/2006 – e successive modificazioni e integrazioni, il Comune di Livorno è censito tra le aree a sismicità 3 ($0,100 < A_g/g < 0,150$).

L'accelerazione, considerata al suolo su bedrock rigido categoria di sottosuolo "A", si intende quella con la probabilità di superamento del 10% in 50 anni, pari a tempi di ritorno di 475 anni.

In linea con i meccanismi sismogenetici dell'appennino settentrionale tale accelerazione assume, sul territorio del Comune di Livorno, valori via via crescenti spostandosi in direzione Est e Nord-Est, avvicinandosi quindi alle sorgenti principali dei terremoti.

Dal progetto DISS_3.3.0 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia si nota ancor meglio come le faglie attive e capaci e in particolare le sorgenti sismogenetiche siano disposte ad Est del territorio comunale.



In particolare sono da mettere in luce due importanti sistemi fessurativi “*Individual Seismogenic Sources*” e “*Composite Seismogenic Sources*”, che prendono il nome di ITIS066: *Orciano Pisano* e ITCS088: *Livorno Hills*.

INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES



Information Commentary Pictures References

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITIS066
Name	Orclano Pisano
Compiler(s)	Vannoli P.(1)
Contributor(s)	Vannoli P.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	08/11/2005
Updated	08/11/2005
Display map	
Related sources	ITCS088


PARAMETRIC INFORMATION

Parameter	Quality	Evidence	
Location [Lat/Lon]	43.52 / 10.49	OD	Based on macroseismic and geological data.
Length [km]	7.9	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Width [km]	6.4	ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Min depth [km]	2.0	EJ	Inferred from geological observations.
Max depth [km]	6.9	EJ	Inferred from geological observations.
Strike [deg]	337	EJ	Inferred from geological data.
Dip [deg]	50	EJ	Inferred from geological data.
Rake [deg]	270	EJ	Inferred from geological data.
Slip Per Event [m]	0.30	ER	Calculated from M_0 using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip rate [mm/y] min...max	0.1000... 1.0000	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Recurrence [y] min... max	300... 3000	EJ	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	5.7	LD	Value adopted from the historical earthquake catalogue CPTI04.

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement

INFORMATION ABOUT THE ASSOCIATED EARTHQUAKES

Latest Earthquake	14 Aug 1846 CPTI04.
Penultimate Earthquake	Unknown See Commentary for information.

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES				
Information		Commentary	Pictures	References
GENERAL INFORMATION				
DISS-ID	ITCS088			
Name	Livorno Hills			
Compiler(s)	Fracassi U.(1)			
Contributor(s)	Fracassi U.(1), Vannoli P.(1)			
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy			
Created	11/05/2010			
Updated	11/05/2010			
Display map				
Related sources	ITIS066			
PARAMETRIC INFORMATION				
	Parameter	Quality	Evidence	
Min depth [km]	1.0	EJ	Inferred from geological and macroseismic observations.	
Max depth [km]	7.0	EJ	Inferred from geological and macroseismic observations.	
Strike [deg] min... max	330...350	EJ	Inferred from geological observations.	
Dip [deg] min... max	40...60	EJ	Inferred from geological observations.	
Rake [deg] min... max	260...280	EJ	Inferred from geological observations.	
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1000... 1.0000	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.	
Max Magnitude [Mw]	6.2	ER	Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.	
LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement				

Le fonti sismogenetiche individuali (nella figura sopra in giallo) sono definite da dati geologici e geofisici e sono caratterizzate da una serie completa di dati geometrici (strike, dip, lunghezza, larghezza e profondità), cinematici (rake), e parametri sismologici (spostamento singolo evento, magnitudo, slip rate, periodo di ritorno).

Si assume che le fonti sismogenetiche individuali abbiano una ripetitività strettamente periodica in funzione del rapporto lunghezza/larghezza a rottura, dell'immersione dell'evento e della magnitudo attesa. Esse sono confrontate con i database di tutto il mondo per la coerenza interna, in termini di lunghezza, larghezza, spostamento del singolo evento e magnitudo, e possono essere aumentati attraverso la scarpata di faglia o asse della piega quando disponibili (di solito caratteristiche strutturali con attività documentata dal Pleistocene superiore - Olocene).

Questa categoria ha lo scopo di fornire le informazioni più accurate disponibili tra le migliori sorgenti identificate, ma la completezza delle fonti stesse non può essere garantita. Le fonti sismogenetiche individuali possono quindi essere utilizzate per il calcolo di scenari di terremoto e tsunami e per le indagini tettonico/geodinamiche, ma non hanno lo scopo di comprendere un insieme di dati completo per la valutazione probabilistica della pericolosità sismica.

Sempre nella figura soprastante, colorate in arancio, sono rappresentate fonti sismogenetiche composite.

Le fonti sismogenetiche composite (aree sismogenetiche) sono basate su dati geologici e geofisici e sono caratterizzate da parametri geometrici (strike, dip, larghezza, profondità) e cinematici (rake).

Una sorgente sismogenetica composta è essenzialmente una struttura dedotta da dati geologici regionali superficiali e profondi. La lunghezza della rottura del terremoto atteso, è comunque poco definita o sconosciuta; quindi una tipica sorgente sismogenetica composta si estende ad un numero imprecisato di sorgenti individuali. Come risultato, fonti di questa categoria non vengono considerate capaci di un terremoto di specifiche dimensioni, ma il loro potenziale sismico può essere stimato dai cataloghi di terremoti esistenti.

A differenza delle fonti sismogenetiche individuali, questa categoria di sorgenti è stata concepita per raggiungere la completezza delle registrazioni delle potenziali fonti di terremoto, anche se questo può comportare una precisione minore nella loro descrizione.

Dai dati di disaggregazione di $a(g)$ delle mappe di pericolosità sismica dell'INGV possiamo valutare quale sia la magnitudo e la distanza epicentrale più probabile con tempi di ritorno di circa 475 anni (10% di superamento in 50 anni) attesi per il Comune di Livorno.

Si sceglie tale tempo di ritorno perché è quello che comunemente viene considerato per la costruzione degli spettri di risposta sismica per la maggior parte dei fabbricati corrispondente, secondo le NTC2008 e successive modifiche, ad una vita nominale di 50 anni e classe d'uso 2.

In particolare crediamo sia utile calcolare le magnitudo attese e le distanze epicentrali come appena spiegato, in corrispondenza dei nodi della griglia sismica di riferimento che ricadono all'interno del territorio comunale di Livorno.

Si nota come la magnitudo attesa sia molto stabile su tutto il territorio comunale e compresa tra 4,74 e 4,76. Le distanze epicentrali attese si aggirano tra i 6 e i 15 km.

Questo dato, scaturito dall'elaborazione di innumerevoli serie storiche e registrazioni strumentali di eventi sismici, non indica la certezza che l'evento in questione sia l'unico possibile ma solo che sia il più probabile tra tutti gli eventuali sismi. Su basi sismologiche non è infatti impossibile che possano verificarsi eventi di magnitudo $M_w = 5.7 - 6.2$.

Quanto finora detto è del tutto confermato dagli eventi storici la cui magnitudo massima raramente supera il 5° grado.

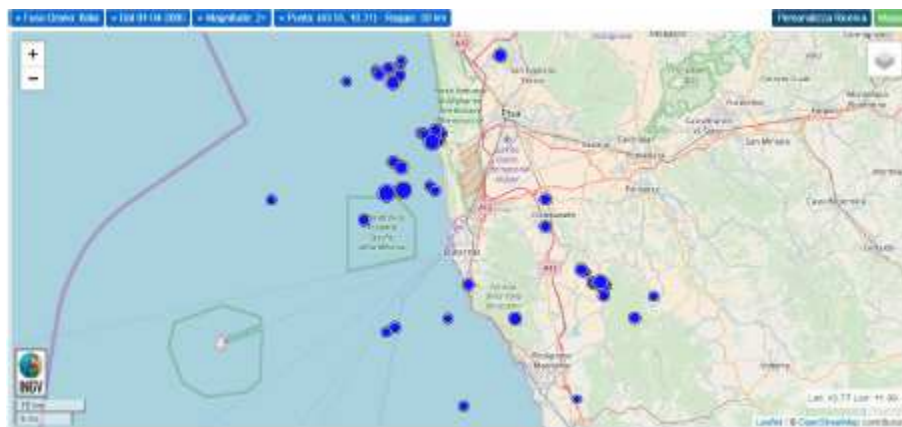
Tra i sei eventi più importanti ricordiamo:

- 4 maggio 1646 Magnitudo 4.80 Zona epicentrale Livorno
- 27 gennaio 1742 Magnitudo 5,20 Zona epicentrale Livorno
- 8 gennaio 1771 Magnitudo 4.60 Zona epicentrale Livorno
- 3 aprile 1814 Magnitudo 4.87 Zona epicentrale Livorno
- 14 agosto 1846 Magnitudo 5.60 Zona epicentrale Orciano Pisano
- 1 aprile 1950 Magnitudo 4.60 Zona epicentrale Rosignano Marittimo

Il terremoto che i livornesi ricorderanno di più è quello del 22 aprile 1984 che ebbe una Magnitudo di 4.02 con zona epicentrale a Livorno. Livorno è città di mare e quindi in occasione di alcuni eventi sismici sono state osservate anomalie del moto ondoso nel porto tali da fare supporre l'occorrenza di maremoti legati agli stessi eventi. La consultazione del catalogo dei maremoti italiani ha rilevato la presenza di n. 4 eventi che hanno interessato la regione toscana:

- 4 maggio 1646 nel porto di Livorno il livello del mare si alzò di circa 2 m. (più di 3 braccia) e a causa del successivo riflusso le navi attraccate toccarono il fondale con la chiglia;
- 19 gennaio 1742 furono rilevate oscillazioni anomale del mare nel Porto di Livorno e i marinai in mare notarono un innalzamento anomalo del livello marino e un'insolita tempesta;
- 24 settembre 1774 a Malaga e a Livorno fu osservato un ripetersi di riflussi a afflussi del mare, con estensione di due piedi di altezza, tre volte in un'ora;
- 14 agosto 1846 a Livorno il livello marino aumentò rapidamente di oltre una yarda. Alcuni velieri avvertirono un urto violento. Alcune navi con rotta verso il porto di Livorno subirono uno scarto improvviso. Al faro di Livorno l'acqua risalì vicino alla torre e lambì la banchina.

Qui di seguito riportiamo alcuni eventi storici ricavati dalla banca dati ISIDE dell'INGV tra quelli con magnitudo compresa tra 2 e 10 e 30 km di raggio da Livorno:



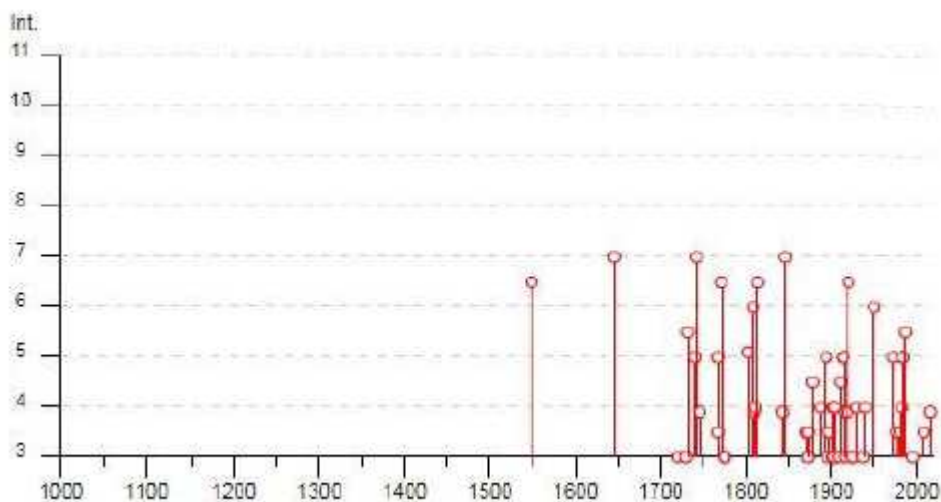
Data e Ora (Italia) [F]	Magnitudo [M]	Zona [Z]	Profondità [P]	Latitudine	Longitudine
2017-07-07 16:46:16	ML 2.6	3 km N Orciolo Pisano (PI)	10	43.52	10.52
2016-10-26 18:11:28	ML 2.6	1 km NW Vesilieno (PI)	10	43.79	10.38
2015-12-01 05:02:45	ML 2.2	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	9	43.62	10.27
2015-11-30 21:42:44	ML 2.0	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	9	43.63	10.28
2015-03-09 09:20:08	ML 2.7	3 km NW Rosignano Marittimo (LI)	14	43.46	10.41
2014-03-23 22:10:18	ML 2.0	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	2	43.75	10.12
2013-10-19 14:55:03	ML 2.0	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	10	43.68	10.28
2013-10-19 14:32:25	ML 2.0	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	10	43.68	10.28
2013-10-19 14:29:35	Ma 3.5	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	11	43.68	10.28
2013-10-18 13:44:02	ML 2.6	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	9	43.70	10.27
2013-09-09 16:00:50	ML 2.0	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	11	43.61	9.99
2013-07-04 05:20:51	ML 3.1	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	10	43.75	10.21
2012-10-13 16:59:36	ML 2.0	Costa Toscana livornese (Livorno)	6	43.44	10.16
2011-10-20 07:00:02	ML 2.1	5 km N Decora (LI)	11	43.30	10.52
2011-01-19 20:39:20	ML 2.1	5 Chetani (PI)	8	43.49	10.65
2011-01-18 20:36:54	ML 2.5	4 km SW Chetani (PI)	4	43.48	10.62
2010-01-14 17:29:35	ML 2.1	3 km NE Orciolo Pisano (PI)	9	43.52	10.53
2009-06-09 12:37:50	ML 3.3	4 km N Santa Lucia (PI)	9	43.51	10.66
2009-06-08 10:33:43	ML 2.2	3 km N Santa Lucia (PI)	8	43.50	10.57
2009-06-05 07:11:01	ML 2.4	3 km E Orciolo Pisano (PI)	10	43.50	10.55
2009-06-07 04:49:34	ML 2.4	3 km E Orciolo Pisano (PI)	6	43.51	10.54
2009-06-12 02:19:26	ML 2.2	3 km N Santa Lucia (PI)	8	43.50	10.58
2008-05-12 21:56:58	ML 2.5	2 km N Santa Lucia (PI)	8	43.48	10.58
2009-01-02 00:57:55	ML 2.4	Costa Toscana livornese (Livorno)	8	43.45	10.20
2007-11-30 19:26:03	ML 2.2	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	6	43.69	10.25
2007-11-30 19:22:04	ML 2.0	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	5	43.69	10.25
2007-11-30 19:07:45	ML 2.1	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	10	43.69	10.27
2007-09-05 16:07:35	ML 2.3	Costa Toscana livornese (Livorno)	6	43.53	10.15
2007-08-27 17:15:12	ML 2.4	6 km S Livorno (LI)	15	43.50	10.33
2007-06-06 18:54:49	ML 2.3	2 km SW Collesalvi (LI)	10	43.55	10.45

Riportiamo inoltre i dati del BDMI15 versione 4.0 riferiti a Livorno:

Livorno

PlaceID	IT_45968
Coordinate (lat, lon)	43.551, 10.309
Comune (ISTAT 2015)	Livorno
Provincia	Livorno
Regione	Toscana
Numero di eventi riportati	79





*EVENTI sismici risentiti nell'area fiorentina dall'anno 1000 con $I_{max} > 4$,
da https://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBMI15/place/IT_45020*

9.1 REPERIMENTO DATI GEOGNOSTICI E GEOFISICI

In riferimento alle attività per gli studi di Microzonazione Sismica di livello 1, 2 e 3, svolti nel tempo da Geologica Toscana si riporta quanto segue.

Per lo studio di Microzonazione Sismica di livello 3 sono risultati indispensabili la raccolta, l'archiviazione organizzata dei dati pregressi e la realizzazione di nuove specifiche indagini.

Nel caso specifico il Comune di Livorno era stato già ampiamente indagato dal punto di vista sismico e geognostico nell'ambito di studi pregressi; queste indagini costituiscono un'ottima base di partenza (v. carta dei dati di base – tavv. GEO-G05 – Dott. L. Mazzei, febbraio 2019, allegata al presente supporto), ma non risultano sufficienti per un approfondimento di terzo livello.

Per questo motivo sono state realizzate, nel novero dello studio MS3, ulteriori indagini geognostiche e geofisiche finalizzate al calcolo dell'indice di liquefazione e all'esecuzione di risposte sismiche locali monodimensionali.

In particolare tra la raccolta pregressa di indagini e quelle nuove sono state catalogate tramite il software SoftMS versione 4.2.0:

- 361 stratigrafie di pozzi;
- 10 sondaggi attrezzati a Down – Hole;
- 244 sondaggi a carotaggio continuo;
- 54 sondaggi attrezzati con piezometro;
- 81 prove penetrometriche statiche (CPT);
- 25 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTu)
- 59 prove penetrometriche dinamiche (leggere, pesanti e superpesanti);
- 125 prove HVSR;
- 44 stendimenti di sismica a rifrazione in onde P e/o SH;
- 21 prove ESAC;
- 64 prove MASW;
- 4 pozzetti esplorativi.

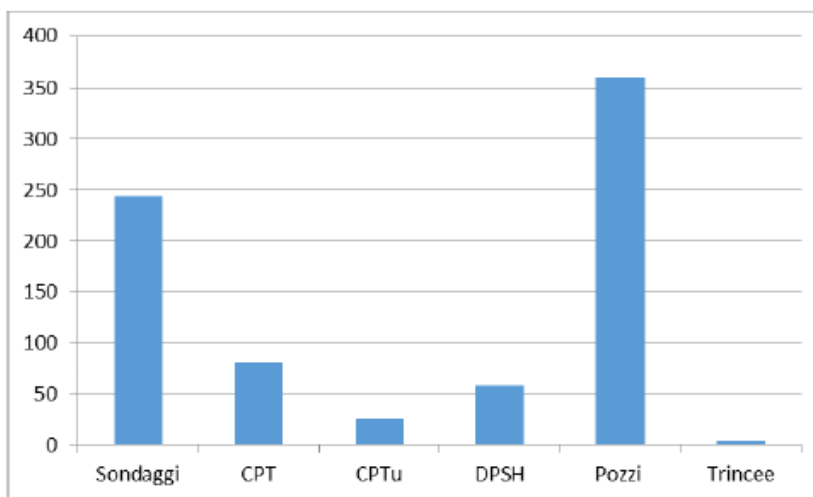
Questi canali di ricerca e implementazione hanno consentito l'acquisizione di una notevole quantità di indagini, in particolare i pozzi e i sondaggi hanno dato un ottimo riscontro dal punto di vista della ricostruzione del sottosuolo, raggiungendo in qualche caso il substrato geologico.

Sono state raccolte nel complesso 1092 indagini distribuite più o meno omogeneamente nel territorio comunale, ma concentrate prevalentemente nei centri abitati.

In funzione della categoria di indagine sono state raccolte 823 indagini geotecniche e 269 indagini geofisiche, per ognuna delle due categorie nei grafici che seguono si possono vedere le varie tipologie di indagine.

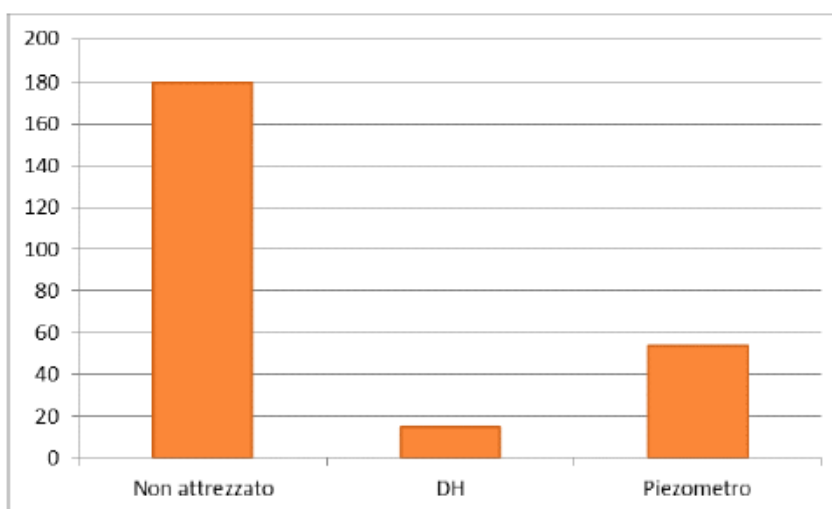
Prove geotecniche:

Prove geotecniche					
Sondaggi	CPT	CPTu	DPSH	Pozzi	Trincee
244	81	25	59	361	4



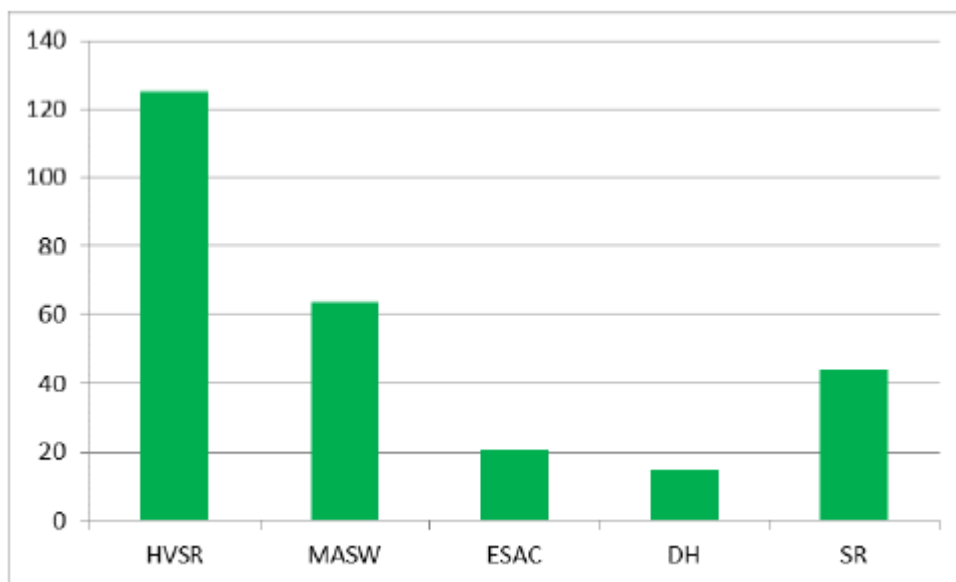
Per quanto riguarda le indagini geotecniche possiamo vedere che la tipologia di indagini che più frequentemente è stata effettuata nel territorio comunale è il pozzo seguito dal sondaggio a carotaggio continuo e dalle prove penetrometriche di tipo statico e dinamico. I pozzi sono in gran numero e sebbene non forniscano indicazioni geotecniche quantitative, permettono una ricostruzione a tratti dettagliata della stratigrafia in profondità.

Differenziazione sondaggi		
Non attrezzato	DH	Piezometro
180	15	54



Prove geofisiche:

Prove geofisiche				
HVSR	MASW	ESAC	DH	SR
125	64	21	15	44



Il grafico relativo alle indagini geofisiche mostra che le prove maggiormente presenti sul territorio sono le HVSR che sono state effettuate per il progetto di Microzonazione. A seguire le indagini sismiche MASW e a rifrazione.

Tutti i dati di base sono stati informatizzati (tabelle, shapefile), in ottemperanza agli “standard di archiviazione informatica versione 4.2” nel database denominato “CdI_Tabelle” (elaborato in solo formato digitale).

9.2 STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA E PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

La realizzazione di uno studio di MS, secondo quanto esplicitato nei suddetti ICMS, è uno strumento conoscitivo dalle diverse potenzialità, finalizzato a definire su un determinato territorio quali modificazioni vengono apportate allo scuotimento del suolo dalle condizioni geologico-tecniche e dalle condizioni topografiche locali. In funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi gli studi di MS possono essere effettuati a vari livelli di approfondimento, con complessità ed impegno crescenti, passando dal livello 1 fino al livello 3.

Il **livello 1** è un livello propedeutico ai successivi studi di MS che consiste in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della “Carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)”;

Il **livello 2** è un livello successivo in cui si introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee mediante metodologie di analisi numerica di tipo semplificato dall'utilizzo di specifici abachi regionali e con l'eventuale esecuzione di ulteriori e più mirate indagini. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della “Carta di Microzonazione Sismica di II livello”;

Il **livello 3** rappresenta il livello più maggio dettaglio che permette di giungere ad una microzonazione approfondita del territorio basata su metodologie analitiche di analisi di tipo quantitativo relative a specifiche situazioni di criticità. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della “Carta di Microzonazione Sismica di III livello” ovvero “Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti”.

Va sottolineato che i livelli 1 e 2 di MS rivestono intrinseca utilità solo per la pianificazione territoriale, mentre il livello 3 di MS può fornire indicazioni per la progettazione delle opere ordinarie (vedi paragrafo sulla Pericolosità sismica).

Nello specifico la MS individua e caratterizza:

- Le Zone Stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- le Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica, zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- le Zone suscettibili di instabilità, sono le zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliezioni superficiali).

In pratica, il concetto di microzona sismica consente una lettura ragionata del territorio in termini di prevenzione del rischio da terremoto che si basa sulla valutazione delle condizioni locali di sito e degli effetti indotti su di esso dal sisma.

Si definiscono “*condizioni locali di sito*”:

- la geologia e la geomorfologia locale;
- le condizioni geotecniche e stratigrafiche locali;
- l'eventuale prossimità ad una faglia sismicamente attiva.

Le condizioni locali di sito sono responsabili degli *effetti locali di sito* che possono schematicamente essere così riassunti:

- modifica delle caratteristiche dello scuotimento rispetto a quanto definito in termini di pericolosità locale di base;
- fenomeni di instabilità del terreno.

Per ciò che riguarda il primo punto, si tratta di un fenomeno di amplificazione del moto sismico la cui causa è riconducibile a motivi stratigrafici (presenza di depositi soffici poggianti su substrato roccioso), topografici (amplificazione del moto sismico lungo pendii o alla sommità di scarpate o pendii) oppure riferibile alla presenza di particolari geometrie sepolte, in grado di modificare le caratteristiche del moto sismico sia in termini di intensità sia per quanto concerne il contenuto spettrale.

Per ciò che attiene ai fenomeni di instabilità dei terreni e delle rocce gli aspetti rilevanti sono quelli che riguardano:

- liquefazione e/o densificazione dei depositi sabbiosi;
- eccessivi cedimenti e deformazioni permanenti del suolo;
- instabilità di pendio in terreni e roccia;
- attività di faglia.

Gli studi di microzonazione sismica diventano quindi strumento fondamentale per la valutazione della pericolosità sismica locale, tramite la stima qualitativa o quantitativa degli effetti locali di amplificazione del moto sismico legati come detto a caratteri geologico-tecnici quali la morfologia di superficie, la morfologia sepolta, le litologie, le caratteristiche fisico meccaniche e le condizioni idrogeologiche dei terreni; fattori che oltre ad essere causa di possibile amplificazione degli effetti sismici possono provocare anche ben più gravi fenomeni indotti quali attivazione e rimobilizzazione di fenomeni gravitativi, liquefazione in terreni granulari saturi, deformazioni permanenti in terreni di fondazione.

La pericolosità sismica locale, articolata dal citato DGPR n. 5/R/2020 in 4 classi, viene di norma valutata in sede di studi di MS attraverso analisi di risposta sismica locale dei depositi di terreno (studi MS2 e MS3) o, laddove assenti (studi di MS di livello 1), mediante considerazioni qualitative cautelative basate sull'esperienza e sulla conoscenza del territorio. A riguardo la normativa di riferimento consente di valutare gli effetti locali di amplificazione del moto sismico sia in modo semplificato, sia con modalità analitiche più rigorose.

9.3 QUADRO CONOSCITIVO IN MATERIA SISMICA DEL COMUNE DI LIVORNO

Il comune di Livorno, ad implementazione degli studi di Microzonazione sismica di livello 1 e 2 (svolti a supporto di precedenti atti pianificatori) si è recentemente dotato di uno studio di Microzonazione Sismica di livello 3 (MS3) realizzato da Geologica Toscana (dicembre 2022) con la supervisione del Settore Prevenzione Sismica della Regione Toscana; tale studio è stato svolto nel rispetto dei canoni ed indicazioni tecniche di una

Microzonazione Sismica di livello 1, 2 e 3 secondo i criteri stabiliti dalle Istruzioni ICMS e costituisce elemento conoscitivo approfondito ed esaustivo per la valutazione della pericolosità sismica locale ai sensi del vigente DPGR 5/R/2020. Tale studio è stato approvato in sede di Commissione Tecnica per il supporto ed il monitoraggio degli Studi di Microzonazione Sismica presso la Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile, nella seduta del 12.04.2023.

Rimandando alla “Relazione illustrativa” del 15 dicembre 2022 (Geologica Toscana) ed alle cartografie ad essa allegate per tutti i dettagli tecnici dello studio di Microzonazione, si sottolineano in questa sede solamente alcuni aspetti generali di utilità per le valutazioni successive.

Lo studio di Microzonazione Sismica, è stato realizzato in una porzione del territorio comunale di Livorno ricompresa nella porzione pianeggiante afferente all’abitato del Capoluogo e comprende i territori urbanizzati ed aree contermini delle frazioni di Antignano, Montenero, Quercianella, Valle Benedetta e Isola di Gorgona. Tale approfondimento, rispetto ai pregressi studi MS1 e MS2, è finalizzato anche all’analisi del rischio della liquefazione tramite studi di tipo quantitativo e alla caratterizzazione degli effetti di amplificazione attesi ottenuti sulla base di specifici calcoli di RSL monodimensionali.



Area del Comune di Livorno sottoposta allo Studio di Microzonazione di terzo livello

I risultati ottenuti per il livello 3, rappresentati nella Carta della Microzonazione sismica di 3° livello, sono in sostanza confrontabili - in termini di Fattore di amplificazione nella banda spettrale 0,1 - 0,5 sec, che costituisce l’intervallo di periodo di riferimento per la valutazione della pericolosità sismica locale - con quelli ottenuti per il livello 2, che viene invece elaborato ricorrendo ad una analisi numerica di tipo semplificato dall’utilizzo di specifici abachi regionali.

In virtù di quanto detto ed in accordo con la struttura regionale competente, è stato quindi deciso di operare le valutazioni necessarie per pervenire alla Carta di pericolosità sismica locale avvalendosi esclusivamente dei risultati dello studio di MS di livello 3.

9.4 LA CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

La classificazione del territorio in termini di pericolosità sismica locale per il supporto alla pianificazione urbanistica è organizzata, secondo i criteri fissati dal DGPR n.5/R/2020 - Allegato A, in 4 distinte classi a intensità crescente, di seguito descritte (R.R. n. 5/R, Allegato A, par 2.1).

In relazione all'aspetto relativo agli esiti delle verifiche sul potenziale di liquefazione, condotte a livello di MS3, i criteri sopra citati sono stati integrati con le indicazioni diramate dalla Regione Toscana – Direzione Ambiente e Energia – Settore Prevenzione Sismica con propria nota AOOGR/PT prot. 0223471 del 12.05.2023 di cui si riporta uno stralcio saliente.



REGIONE TOSCANA
Giunta Regionale

Direzione AMBIENTE E ENERGIA
SETTORE SISMICA

Prevenzione Sismica

Prot. N°

Data

Oggetto: Richiesta informazioni ed indicazioni relativamente alla redazione di cartografia di pericolosità sismica locale e criteri di fattibilità a seguito di avvenuta redazione di studio di Microzonazione sismica di livello 3 sul territorio Comunale di Livorno

Arch. Camilla Cerrina Feroni
Comune di Livorno
Ufficio Assetto del Territorio

..... omissis

In merito alla trasposizione delle zone individuate per la liquefazione nella classi di pericolosità sismica locale di cui al par. C.3 dell'Allegato A del Reg. Reg. 5R/2020, si consiglia di:

- inserire all'interno della classe di **pericolosità sismica locale molto elevata S4**, i terreni soggetti a liquefazione dinamica le cui aree, sulla base delle analisi semplificate realizzate, sono state perimetrate come ZR_liq (quindi con $IL > 15$) e come ZS_liq con indice di liquefazione $IL > 5$;

- inserire all'interno della classe di **pericolosità sismica locale elevata S3** i terreni soggetti a liquefazione dinamica (con basso rischio) le cui aree, sulla base delle analisi semplificate realizzate, sono state perimetrate come ZS_liq con indice di liquefazione $2 < IL < 5$ ed eventuali ulteriori aree potenzialmente soggette a liquefazione, quali le ZA_liq.

Il Dirigente Responsabile
(Ing. Luca Gori)

LG/Mbg

www.regione.toscana.it/rischiosismico
sismica@regione.toscana.it

Numero Unico Settore Sismica
055/4382018

Via San Gallo 34/a – 50129 Firenze
PEC - regionetoscana@postacert.toscana.it

Si riporta pertanto il dettaglio dei criteri complessivi utilizzati per l'attribuzione delle classi di pericolosità sismica per il Comune di Livorno:

Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4):

- terreni riconducibili a **zone di rispetto per instabilità per liquefazione** dinamica con indice del potenziale di liquefazione $IL > 15$ accertato mediante indagini geognostiche e nel caso mediante studio di Microzonazione Sismica di livello 3 (MS3);
- terreni riconducibili a **zone suscettibili per instabilità per liquefazione** dinamica con indice del potenziale di liquefazione $5 < IL \leq 15$ accertato mediante indagini geognostiche e nel caso mediante studio di Microzonazione Sismica di livello 3 (MS3);
- aree interessate da instabilità di versante attive e relativa area di evoluzione, tali da subire un'accentuazione del movimento in occasione di eventi sismici;

Pericolosità sismica locale elevata (S.3):

- aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti rilevanti, ancorchè caratterizzate da fattore di amplificazione $Fa_{01-05} \leq 1,4$;
- terreni riconducibili a **zone suscettibili per instabilità per liquefazione** dinamica con indice del potenziale di liquefazione $2 < IL \leq 5$ accertato mediante indagini geognostiche e nel caso mediante studio di Microzonazione Sismica di livello 3 (MS3);
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione $Fa_{01-05} > 1,4$;
- aree interessate da instabilità di versante quiescente, relative aree di evoluzione, nonché aree potenzialmente franose, di seguito, denominate "APF", e, come tali, suscettibili di riattivazione del movimento in occasione di eventi sismici;

Pericolosità sismica locale media (S.2):

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione $Fa_{01-05} \leq 1,4$;

Pericolosità sismica locale bassa (S.1):

- zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a 15 gradi), dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.

La "Carta della Pericolosità Sismica locale" (tavv. GEO-G.08 – Geo Eco Progetti, maggio 2023) viene proposta quindi a scala 1:10.000 con copertura della vasta porzione di territorio comunale soggetta a studi di Microzonazione Sismica. Essa, come detto in precedenza, suddivide il territorio in 4 classi basandosi sui risultati del quadro conoscitivo di modellazione sismica locale che emerge dallo studio di Microzonazione sismica di 3° livello, con particolare riferimento al fattore di amplificazione sismica calcolato nell'intervallo di periodo 0,1-0,5 secondi ed alle valutazioni sul potenziale di liquefazione dei terreni.

Firenze lì, 29.05.2023

p. GEO ECO PROGETTI Associazione Professionale

Prof. Geol. Eros Aiello

Dott. Geol. Gabriele Grandini

APPENDICE A

**Approfondimenti sulle “aree a maggior problematiche di versante”
condotti dal Dott. Geol. L. Mazzei nel novero del “quadro conoscitivo” di supporto al Piano
Strutturale 2 del Comune di Livorno
(febbraio 2019)**

**Contiene stralcio completo del paragrafo 7.8 della
Relazione geologico – tecnica ex DPGR n. 53/R/2011**

			a scarpate morfologiche caratterizzate da processi geomorfologici gravitativi o erosivi diffusi e ricorrenti.		
--	--	--	---	--	--

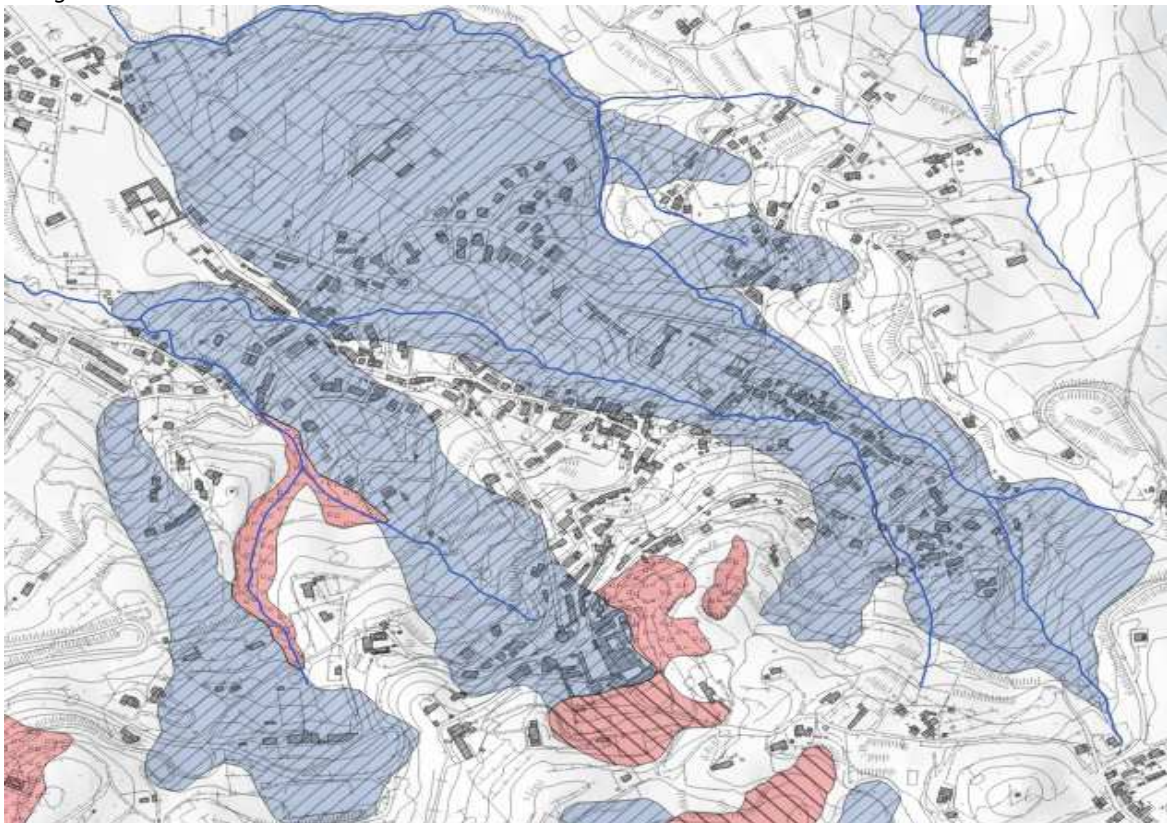
7.8 AREE CON MAGGIORI PROBLEMATICHE DI VERSANTE

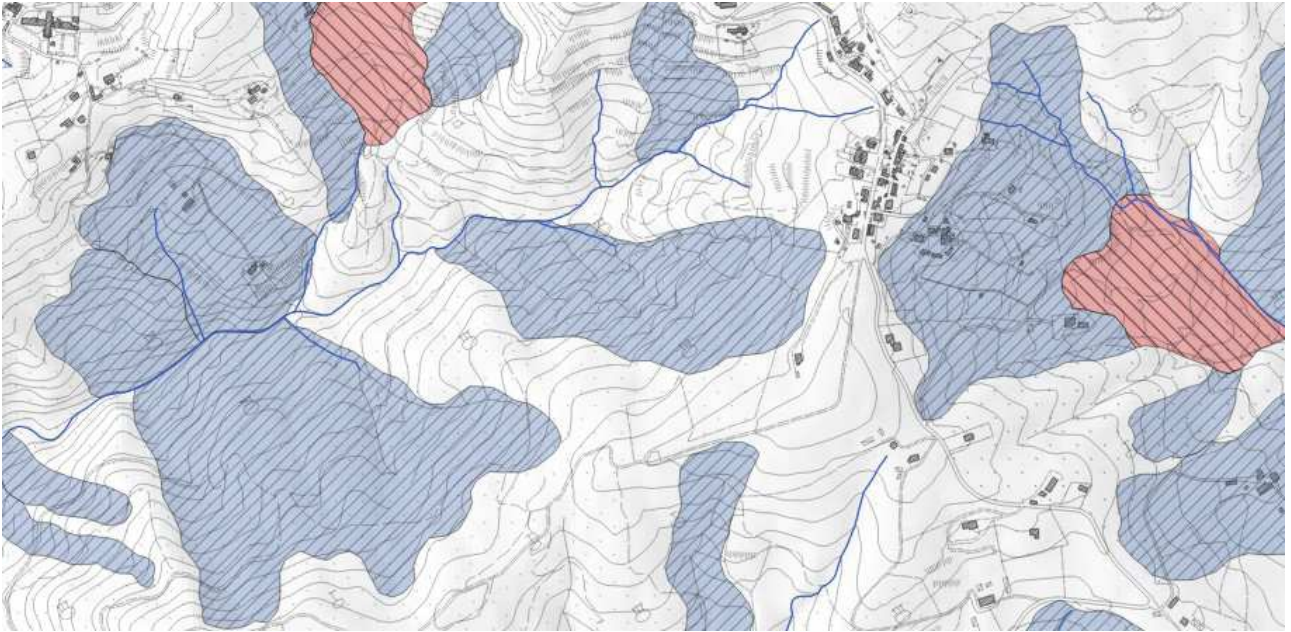
Come emerge dalla Carta Geomorfologica, le zone maggiormente problematiche per dissesti attivi e/o quiescenti nel comune di Livorno si ritrovano in corrispondenza delle località di Montenero-Castellaccio, Quercianella, Valle Benedetta ed in generale in corrispondenza dei medi ed alti bacini dei torrenti Maggiore ed Ardenza, anche a seguito degli eventi alluvionali del 2017 che hanno accentuato alcuni fenomeni già in embrione. Riguardo all'Isola di Gorgona la cui morfologia costiera é strettamente dipendente dalle strutture tettoniche e dalla provenienza ed energia dei marosi, si rimanda al capitolo dedicato per approfondimenti. Di seguito si elencano i comparti maggiormente interessati, premettendo che le frane inattive quiescenti cartografate nel presente lavoro possono, per loro stessa natura, riattivarsi successivamente, quindi il censimento frane è da ritenersi come uno strumento dinamico e non cristallizzato al momento delle varie elaborazioni. Solo un monitoraggio periodico infatti dei fenomeni gravitativi consente di allineare le rappresentazioni alla effettiva realtà degli accadimenti.

Il punto di partenza sono le casistiche indicate nella Carta della Tutela del Territorio del Piano Assetto Idrogeologico in termini di pericolosità elevata/molto elevata), confrontate con i rilievi più recenti della Regione (DBGR) in termini di stato di attività franoso. Si riprende l'ordine proposto dal pregresso Piano di Protezione Civile perchè ritenuto idoneo e ben strutturato:

1) SETTORE COMPARTO DI MONTENERO:

sotto: estratto area di Montenero con aree in frana attiva e quiescente. Si noti un esteso fenomeno gravitativo che interessa tutto il comparto e vaste zone limitrofe (es. Via del Governatore, via della Porcigliana e Via dei Gerani e strada Panoramica) attraversando litologie diverse ma in prevalenza argillose. Lo studio recente è stato eseguito a cura del geol. G. della Croce.

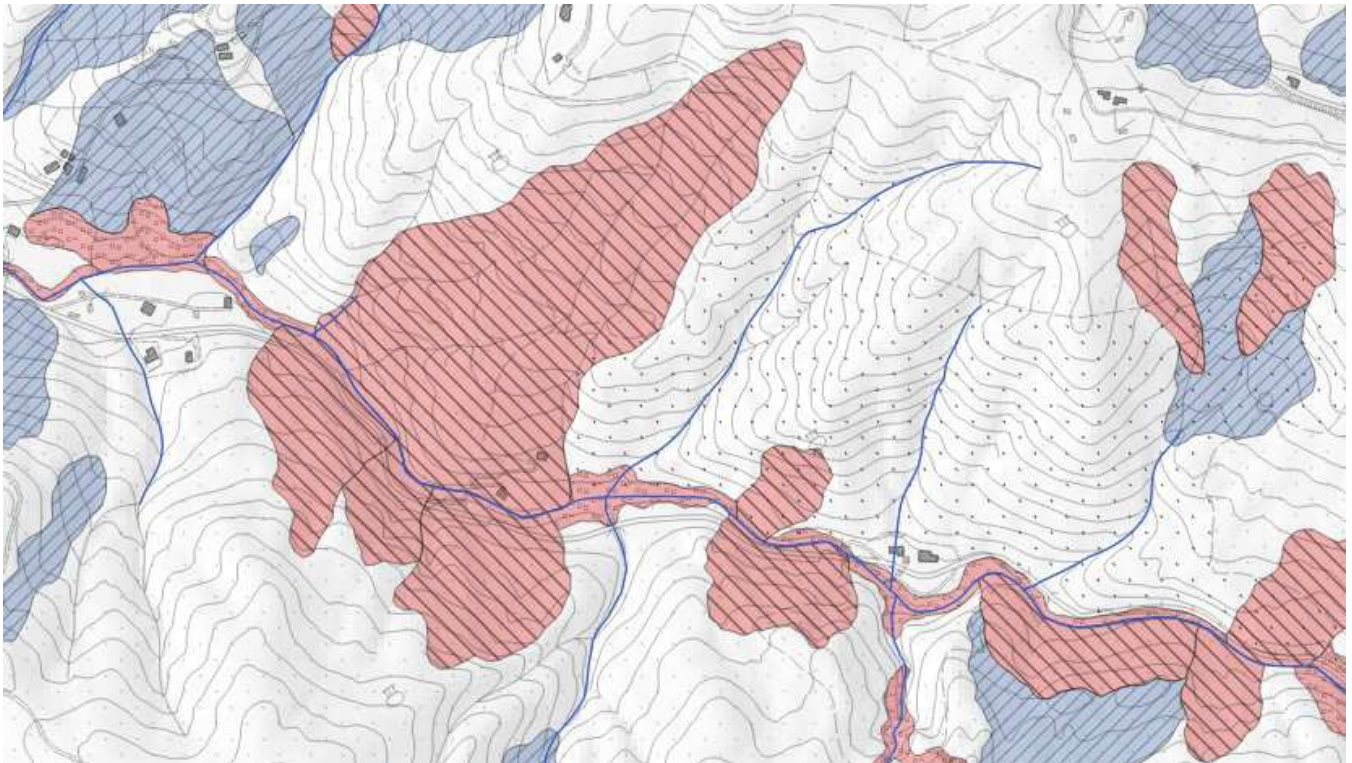


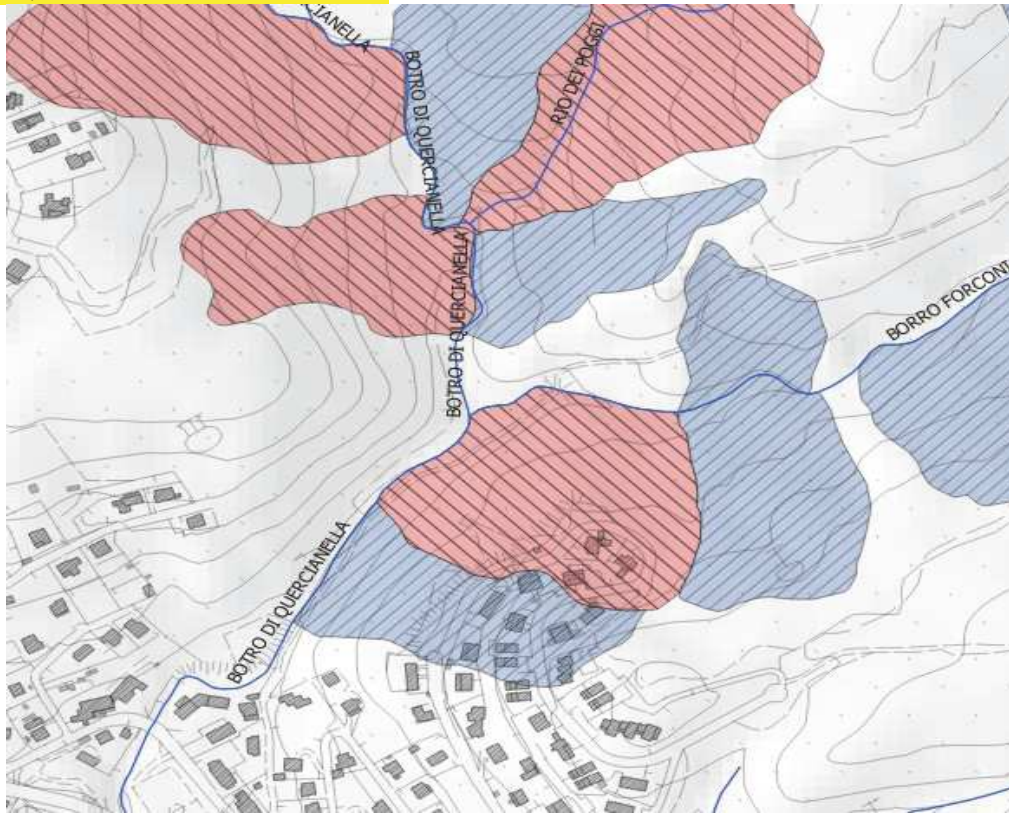
2) SETTORE DI MONTENERO-CASTELLACCIO

Montenero s.s. favorita dalla tipologia argilloscistosa dei depositi.

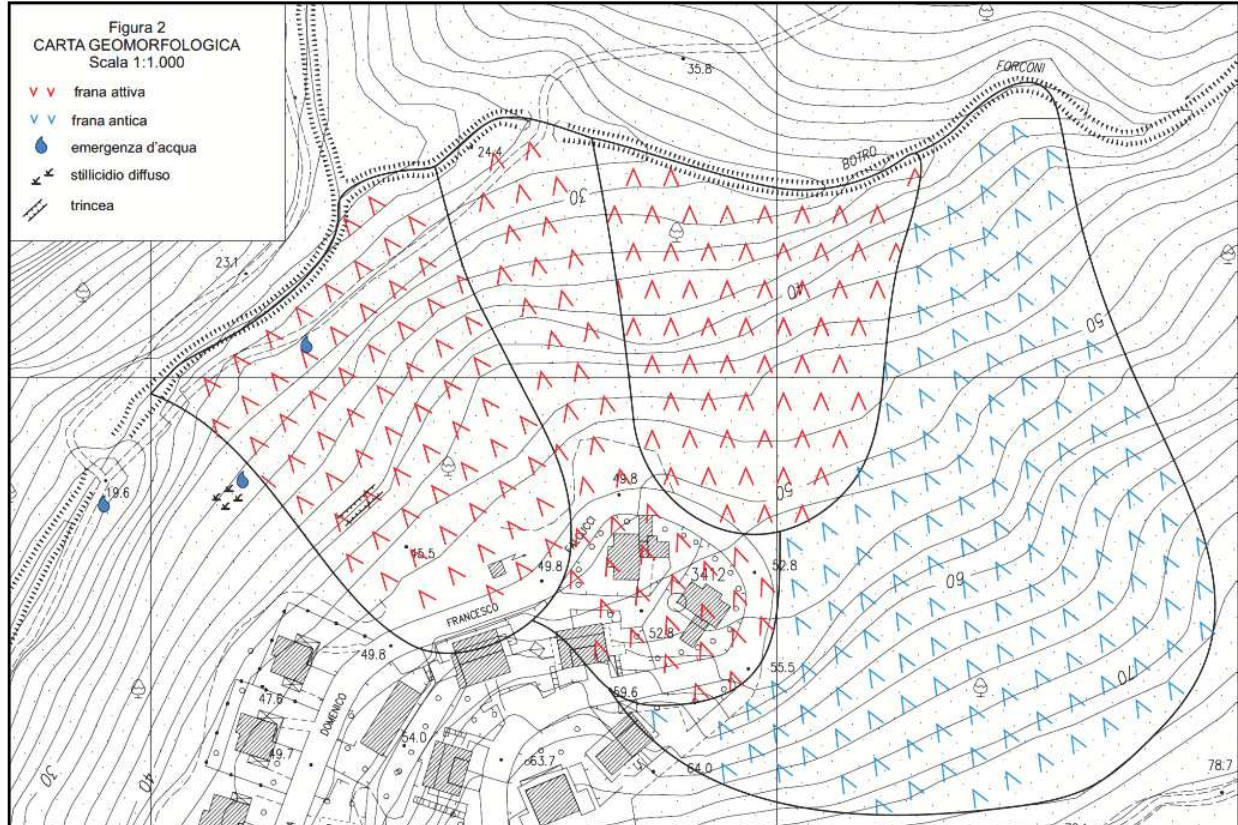
3) VALLE DEL RIO ARDENZA

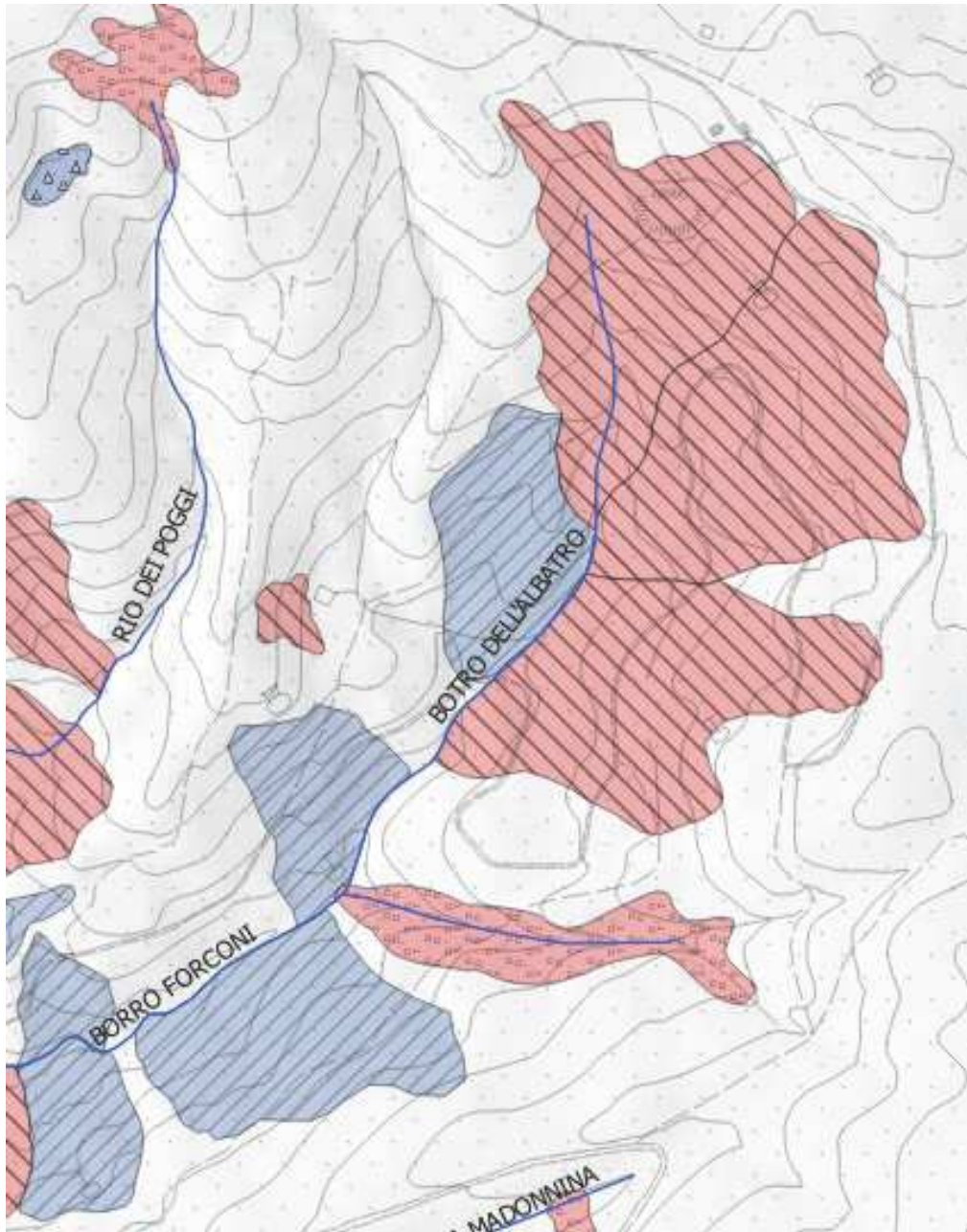
sotto: vaste aree in frana per lo più di tipo attivo lungo il Rio Ardenza e sulle pendici poste sia in sx che in dx idrografica



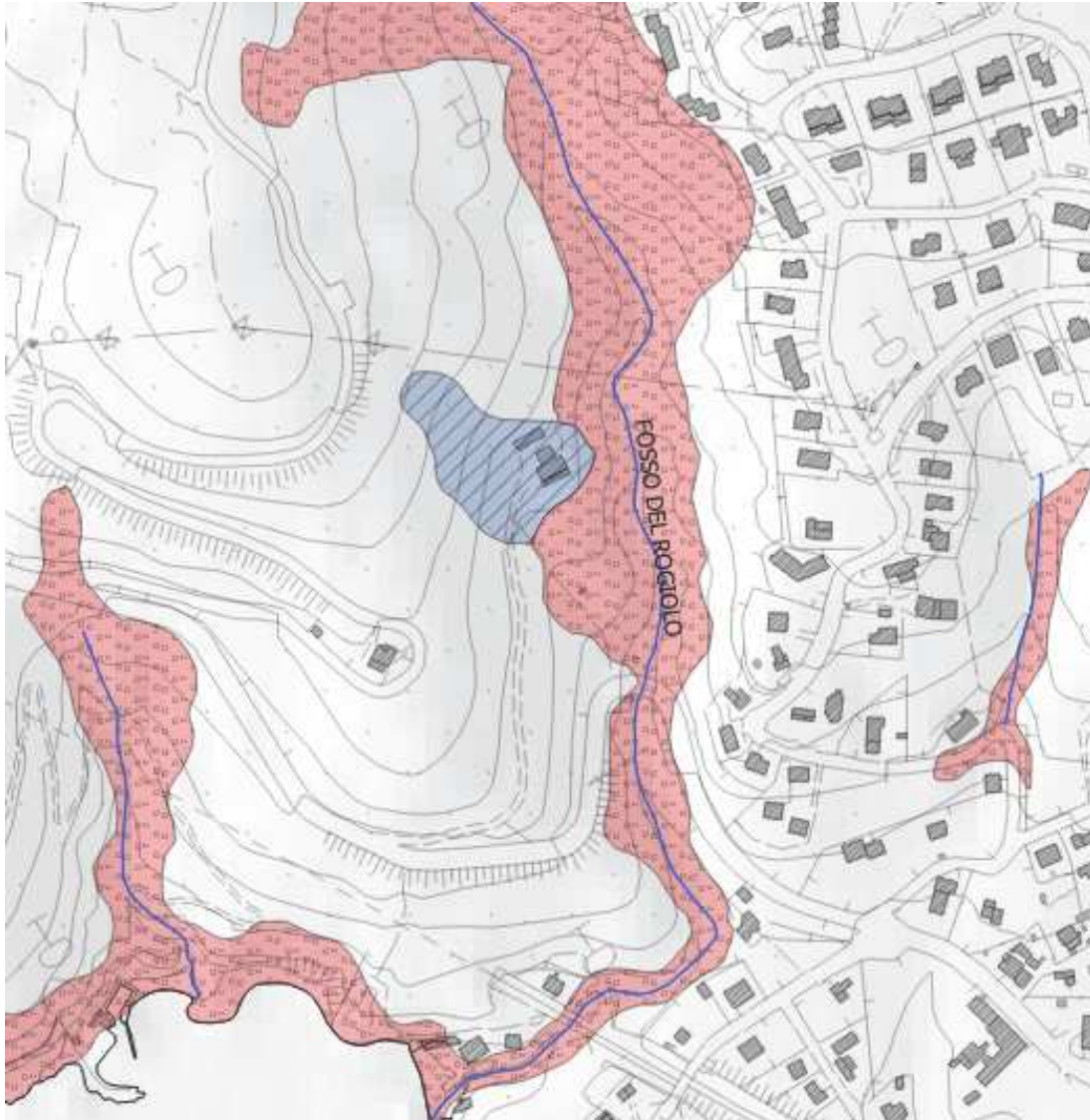
4) SETTORE QUERCIANELLA - VIA FALCUCCI

sotto: estratto dallo studio commissionato dal Comune (Dr. Geol. Daria Marchetti) nel 2012, con indicazione di franosità attiva prevalente rispetto al DBGR vigente.



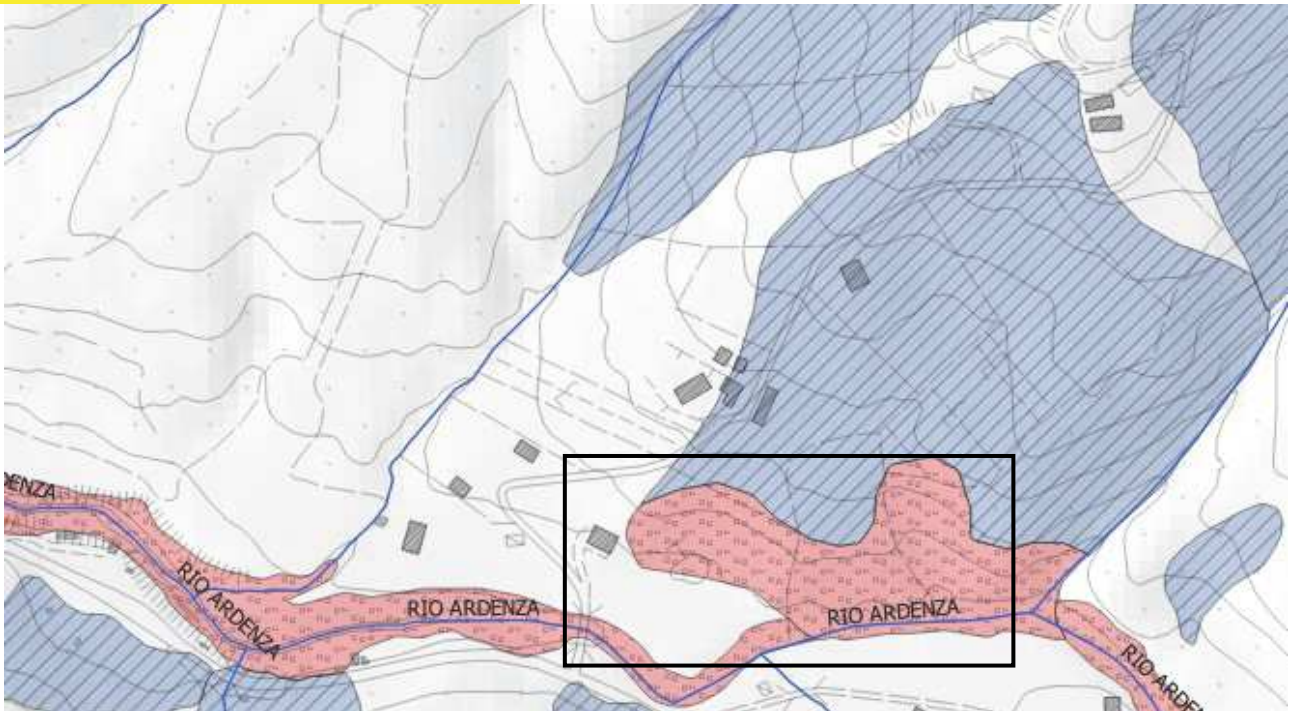
5) SETTORE QUERCIANELLA - SX IDROGRAFICA BOTRO DELL'ALBATRO

Frane attive e quiescenti di scorrimento individuate dal DBGR nelle litologie argiloscistose: Argilliti e calcari di Poggio Rocchino, Argille a Palombini, Flysch di Ottone-Monteverdi

6) SETTORE QUERCIANELLA - Versante in dx e sx idrografica Fosso del Roggiolo fino alla confluenza in mare;

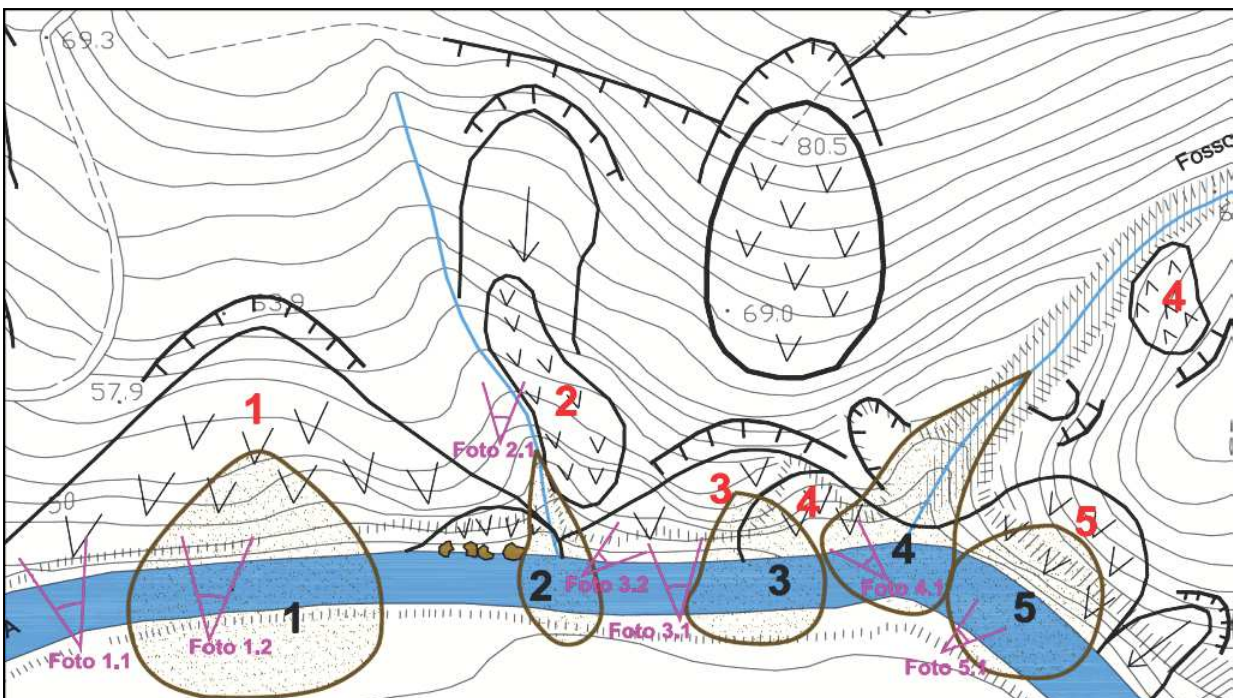
sopra: si notino gli estesi fenomeni attivi e quiescenti individuati

7) SETTORE RIO ARDENZA: parte alta del bacino, loc. Molino Novo (dx idraulica Rio Popogna) e aree limitrofe sia in dx che in sx del Rio Ardenza

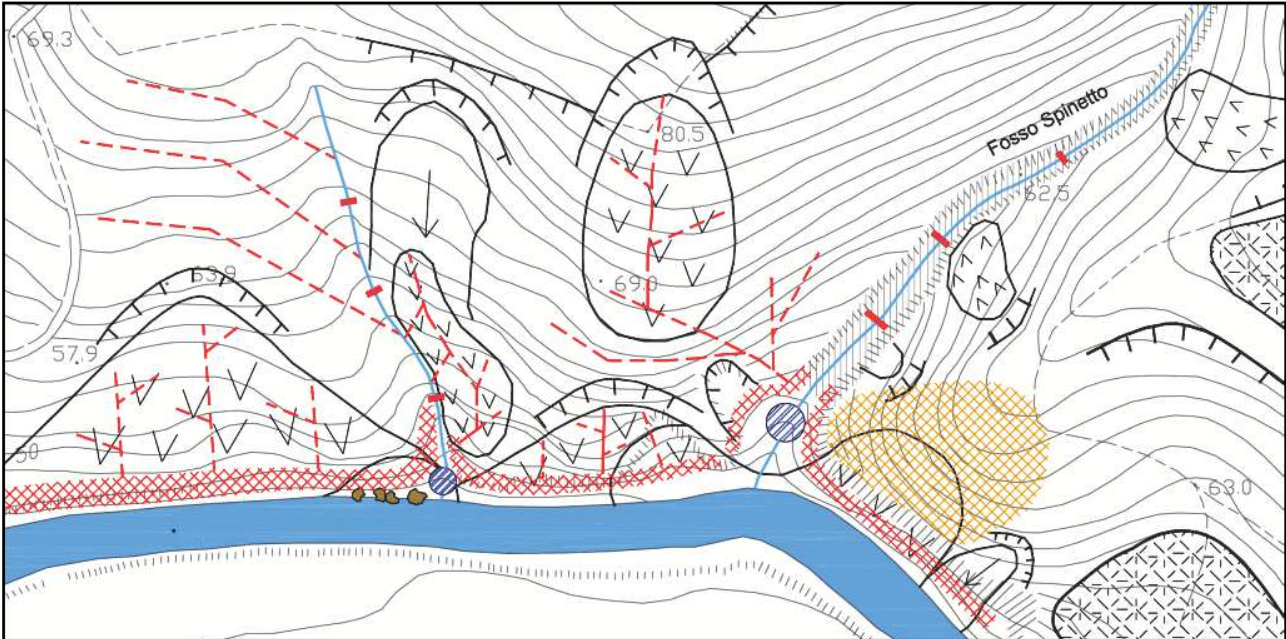


in alto: la franosità attiva e quiescente nella zona poco a nord di Via Remota.

Sotto; uno studio di approfondimento sull'area eseguito dal dr. Rafanelli a cui è seguito un periodo di monitoraggio.

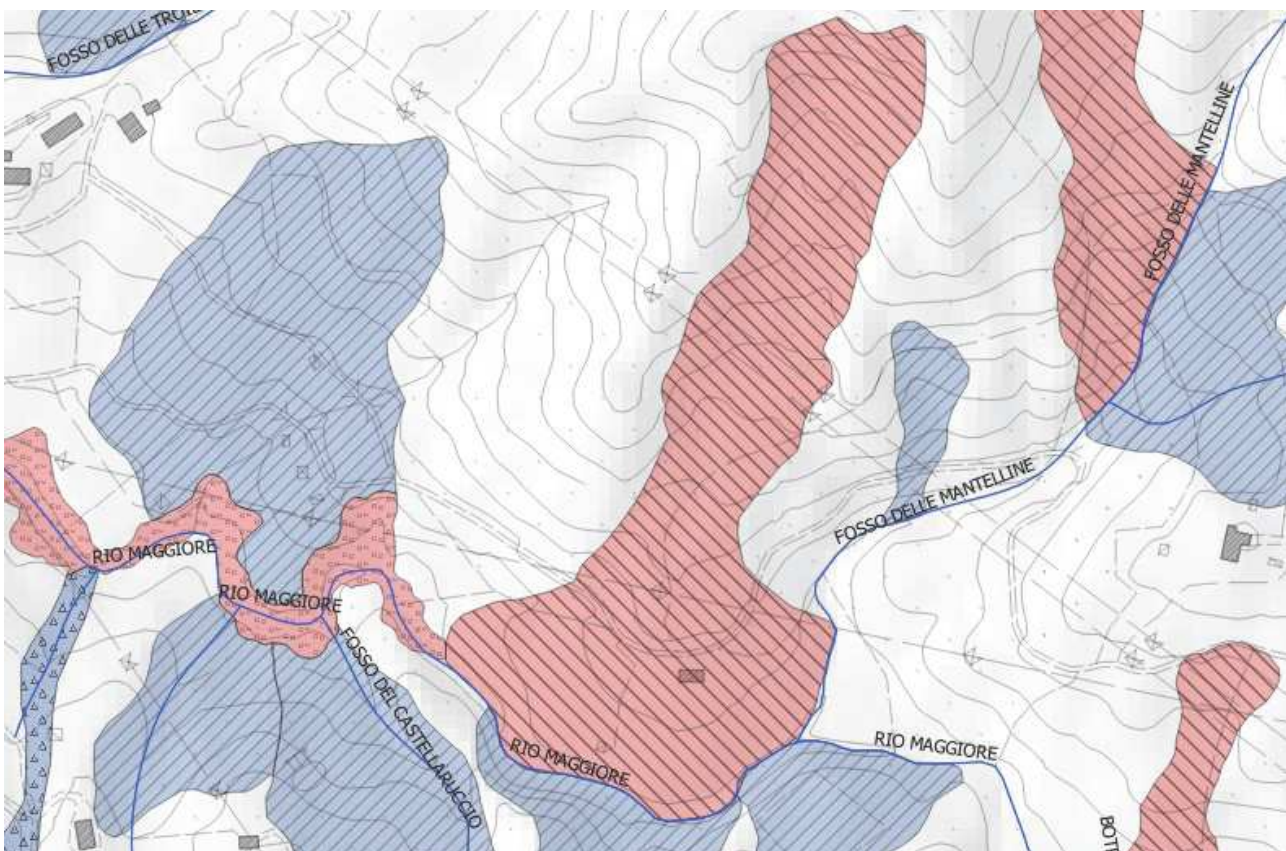


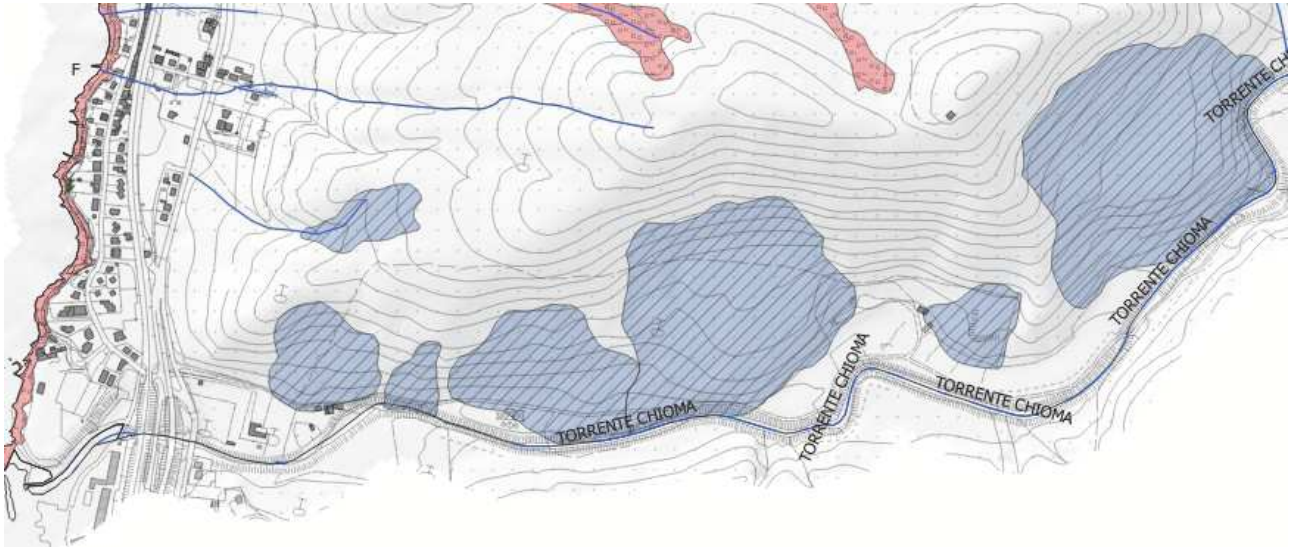
in alto: estratto Studio recente sulla zona (Rafanelli et alii) commissionato dal Comune di Livorno. Si rileva un maggiore dettaglio nella delimitazione dei corpi di frana e una conferma della criticità dell'area. Lo studio propone soluzioni di intervento visibili a pagina seguente



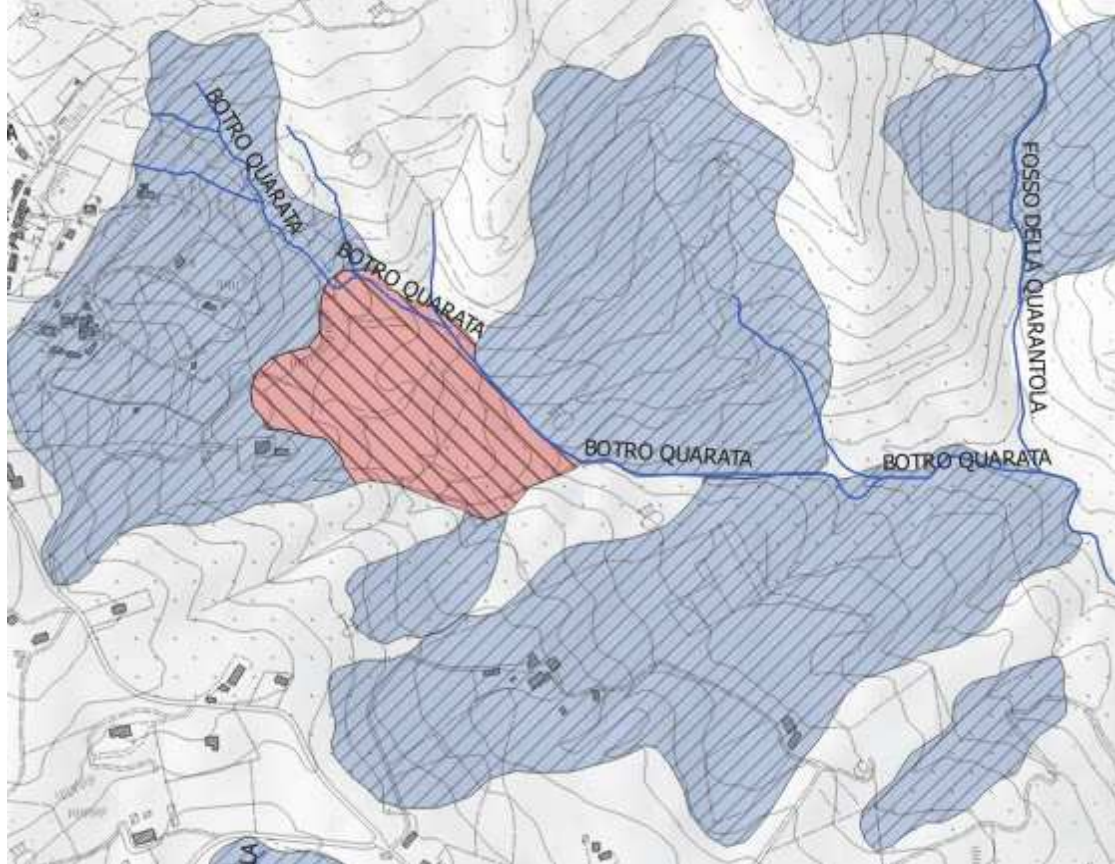
in alto: le soluzioni di mitigazione e prevenzione del dissesto presente e futuro proposte nello studio di Rafanelli et alii, con trincee drenanti ed opere di sostegno di sponda dx in primi, oltre ad una parziale risagomatura del rilievo a monte della confluenza del fosso Spinetta col rio Ardenza.

8) PARTE ALTA BACINO DEL RIOMAGGIORE, settore Fosso delle Mantelline

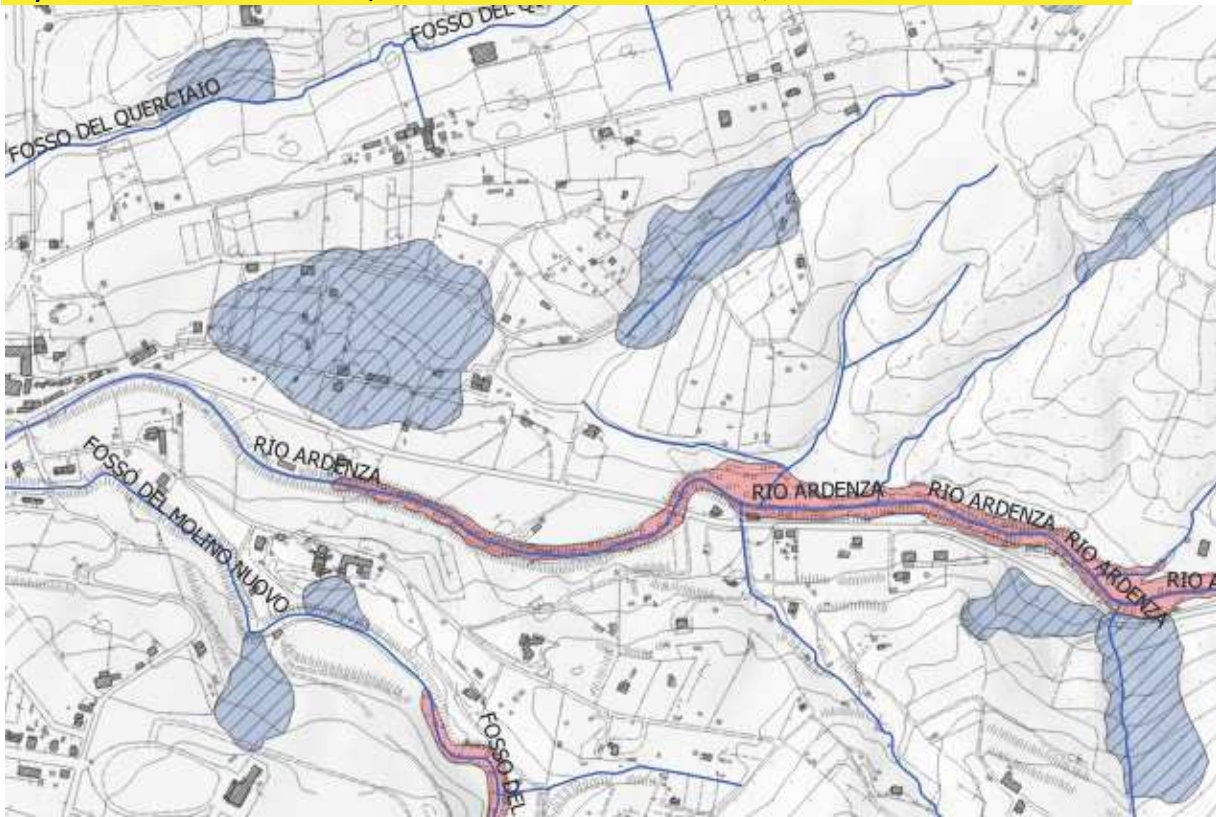


9) SETTORE DEL RIO CHIOMA A MONTE DELLA FOCE

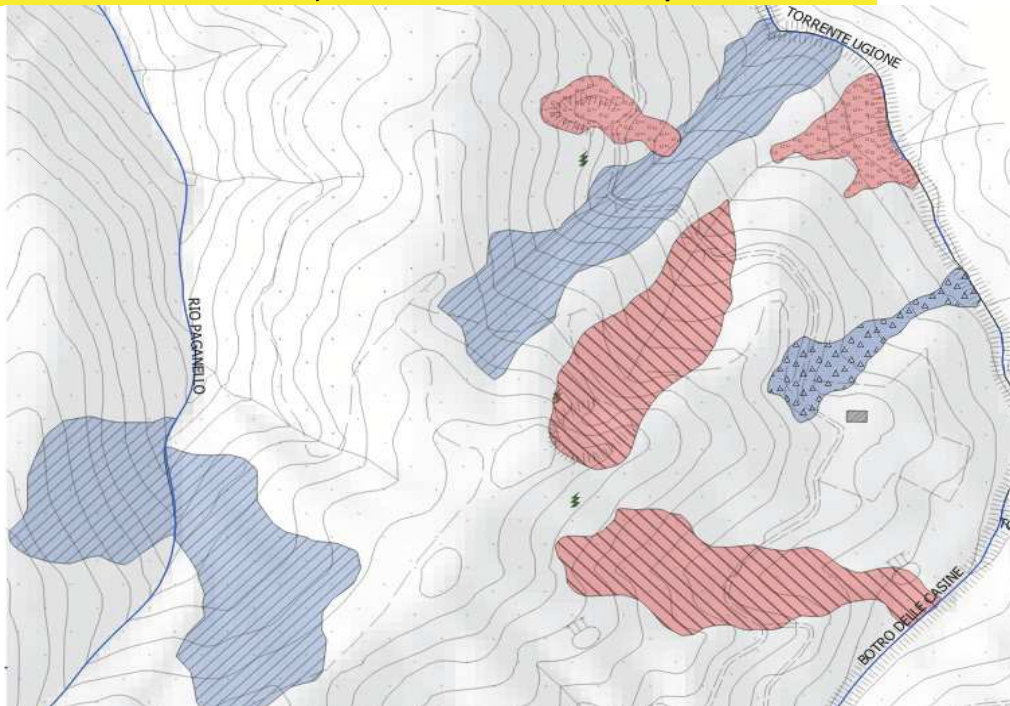
in alto: numerosi ed estesi corpi di frana quiescente con movimento di scorrimento e/o indeterminato, associati in gran parte alle Argille a Palombini e altri litotipi flyschoidi predisponenti al dissesto.

10) SETTORE AD EST DI MONTENERO, PRESSO IL BOTRO QUARATA, A MONTE DELLA STRADA PROV.LE

in alto: ancora numerosi corpi di frana quiescentee attivo con movimento di scorrimento nei pressi del comparto di Montenero, presso il corso del Botro Quarata e Botro della Quarantola, con litotipi argilloscistosi.

11) SETTORE PEDECOLLINARE, PARTE BASSA DEL FOSSO DEL QUERCIAIO E DEL RIO ARDENZA

in alto: un raro caso di frane quiescenti sviluppate in depositi pleistocenici (nella fattispecie alluvioni e conglomerati di Villa Corridi). Si tratta di fenomeni che movimentano volumetrie meno importanti di quelle normalmente associate agli argilloscisti, ove la frana è sovente legata all'instabilità della coltre alterata d copertura eluviale.

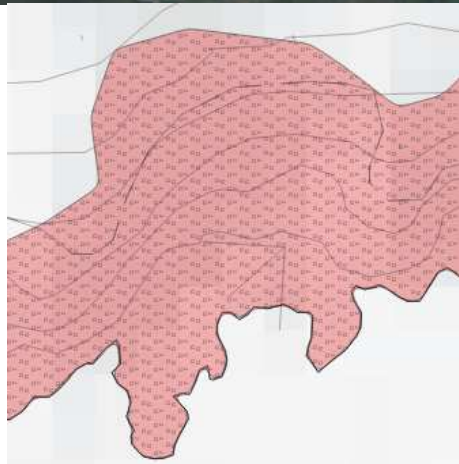
12) SETTORE COLLINARE ORIENTALE, PRESSO TORRENTE UGIONE/RIO PAGANELLO

7.9 MOVIMENTI GRAVITATIVI LUNGO LA COSTA ALTA

13) TRATTO COSTIERO SOTTO CASTEL SONNINO, COSTA A FALESIA ALTA CON AFFIORAMENTO GABBRI.



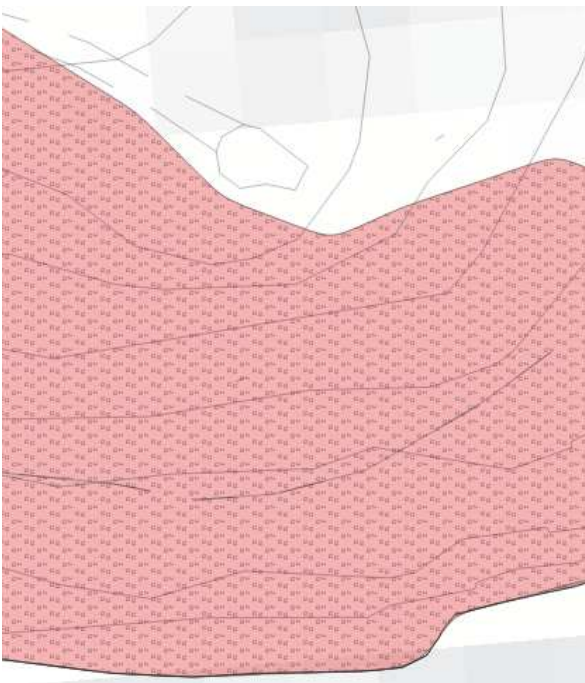
Area con taglio fresco, segno di recente distacco (limitato) di materiale verso il basso



Nicchia di frana, con accumulo detritico alla base, fotografata lungo costa (coordinate GB 1609759,4812902) in data 11-11-2015 e perfettamente corrispondente alla mappatura nel DBGR, che inserisce uno stato di attività quiescente con movimento indeterminato.

In questo caso è ragionevole ipotizzare più fasi di scivolamento associate a microcrolli sporadici che, una volta innescato il fenomeno, proseguono nel tempo facendo arretrare la corona di frana. Le frane lungo costa di questo tipo sono da considerare in realtà pseudo-quiescenti in quanto la loro attività prosegue nel tempo seppur a step di momentanei e improvvisi collassamenti, anche di piccolo materiale. Sotto. particolare micro-frana recente.

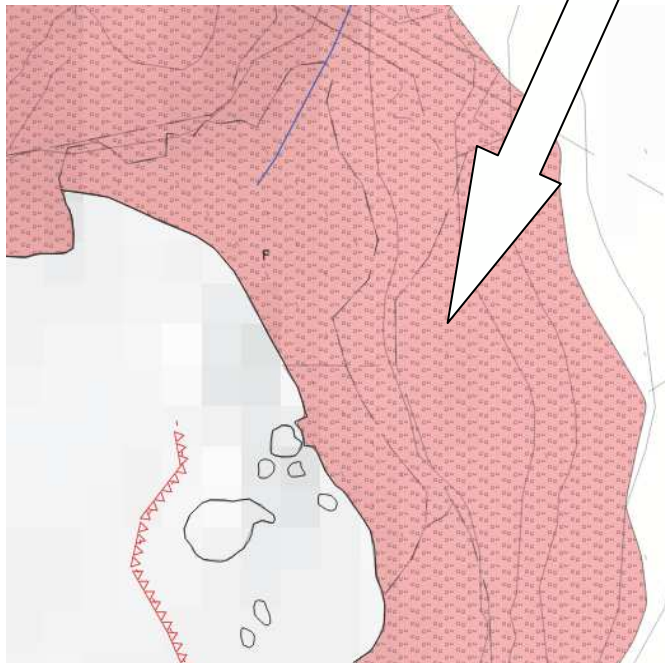


14) TRATTO COSTIERO SOTTO IL BELVEDERE DI CASTEL SONNINO, COSTA A FALESIA ALTA CON AFFIORAMENTO GABBRI

Sopra: nicchia di frana attiva, con accumulo detritico alla base, fotografata lungo costa (coordinate GB 1609598,4813043) in data 11-11-2015 e discretamente corrispondente alla mappatura nel DBGR.

E' stata ampliata ed aggiornata nella versione cartografata quin di inserita nella più vasta area in PFME della costa alta locale.

In questo caso è ragionevole ipotizzare una iniziale fase di scivolamento lungo diaclasi esistenti a cui è seguita una o più fasi di crollo di blocchi che, a tutt'oggi, alimentano periodicamente l'attività del fenomeno e l'ampiezza della nicchia di distacco, con tendenziale arretramento della corona sommitale.

15) TRATTO COSTIERO ADIACENTE ALLA CALA DEL LEONE LATO SUD, COSTA A FALESIA ALTA CON AFFIORAMENTO GABBRI E LIMITATE PORZIONI DI DIASPRI

Una delle frane cartografate dal DBGR, con contorno da aggiornare rispetto alla cartografia regionale. Probabile la presenza di un unico corpo on accumulo fino alla linea di costa. La foto è del 11-11-2015.

Le coordinate del punto di ripresa sono GB 1609576, 4813132.

E' stata ampliata ed aggiornata la carta geomorfologica.

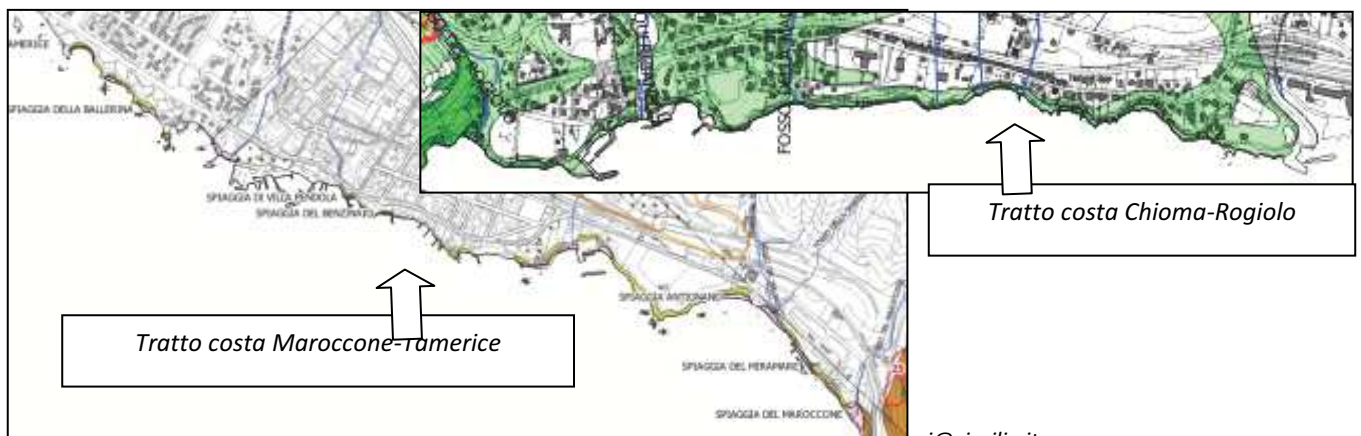
Alla base della scogliera affiorano dei diaspri, forse dislocati dall'alto a causa del movimento gravitativo, ma la cartografia ufficiale propende per il contatto stratigrafico rispetto ai sottostanti gabbri.

16) TRATTO COSTIERO QUERCIANELLA, CON FALESIA INTERESSATA DA DISSESTO ATTIVO**7.10 ULTERIORI AREE DI CRITICITA' GRAVITATIVA DELLA FALESIA**

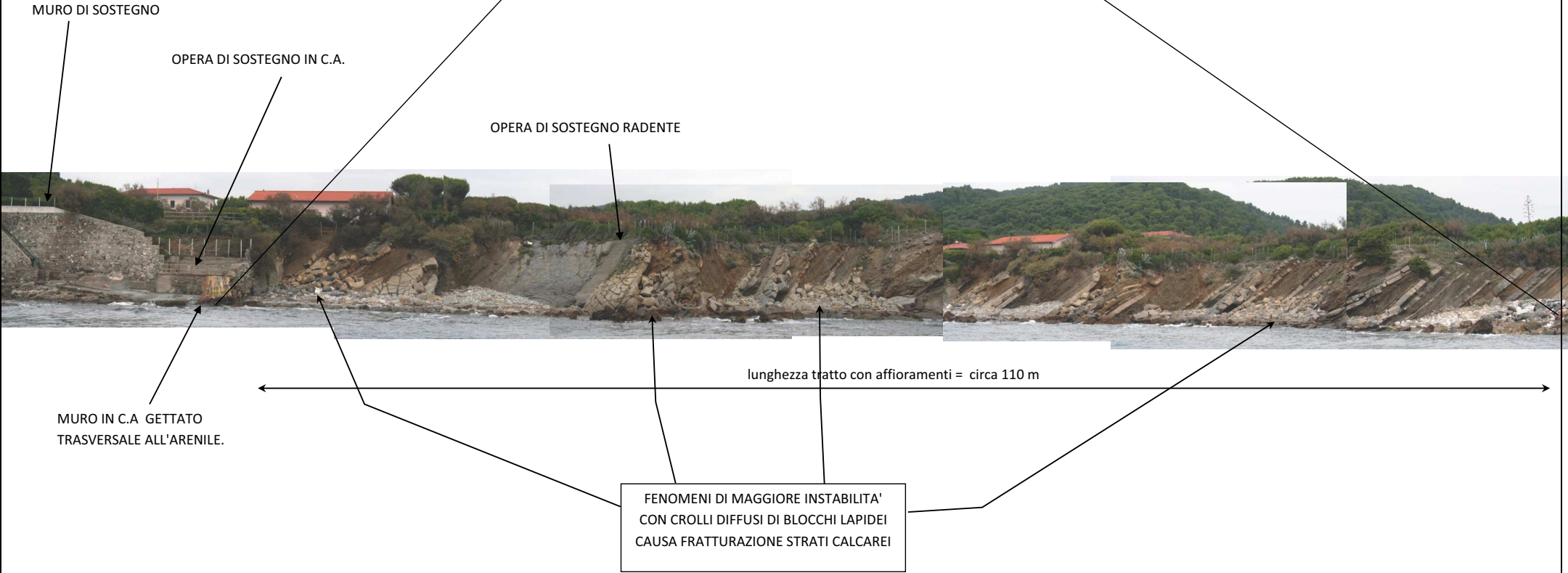
Nelle pagine che seguono sono allegate alcune schede (formato A3) che, a partire dalla foce del Rio Chioma fino alla Spiaggia della Tamerice (ultima spiaggia verso Nord), mostrano alcune delle numerose situazioni di criticità gravitativa e rilevate da un sopralluogo via mare e ben visibili, che interessano tratti di falesia di estensione variabile, soggetta ad arretramento per erosione ove non protetta. Le aree mostrate non sono sempre cartografabili se non a grande dettaglio, quindi le foto sopperiscono a questo limite.

I fenomeni ripresi sono inseriti in tratti di costa molto estesi che, anche in assenza di frane conclamate, mostrano in genere, in presenza dei litotipi prevalentemente argillitico-scistosi (Argilliti a Palombini nel settore sud Chioma-Rogiolo e Argille e calcari di Canetolo nel tratto di Antignano dal Maroccone alla Spiaggia della Tamerice), una fragilità strutturale che li espone ad una erosione preferenziale da parte delle mareggiate più intense e delle acque dilavanti specialmente durante i maggiori eventi meteorici.

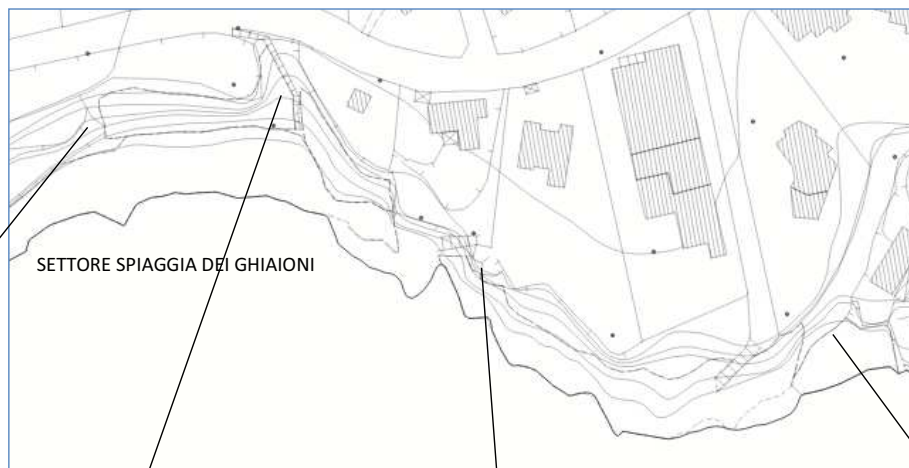
A riprova di questa situazione sono presenti lungo la falesia numerose opere antropiche quali muri di sostegno antichi e recenti, protezioni con reti metalliche, puntellamenti delle molte scalinate di accesso alle spiagge e scogliere artificiali di protezione nei vasti tratti di falesia più esposti all'erosione; i lavori di rifioritura di tali scogliere con massi lapidei sono stati rilevati anche durante il sopralluogo del 10-11-2015.



PANORAMICA SETTORE SPIAGGIA DI CHIOMA CON PROBLEMATICHE DI EROSIONE E INSTABILITA' DELLA FALESIA

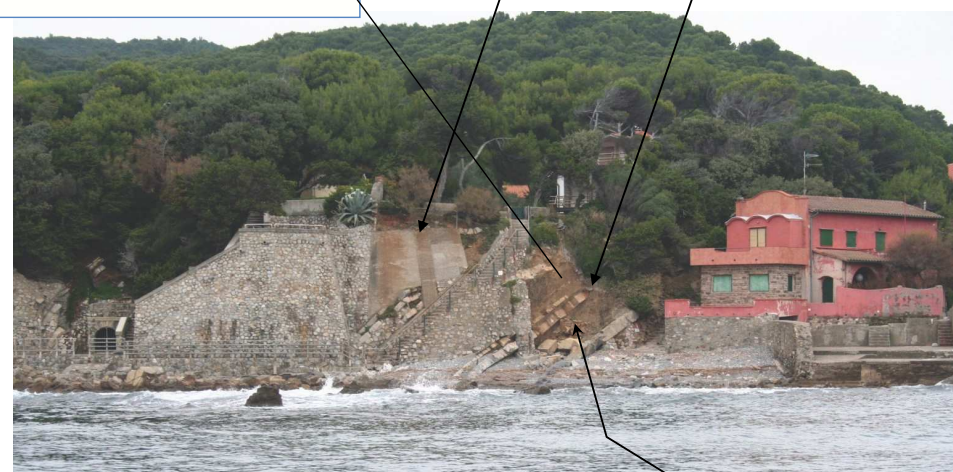


PANORAMICA SETTORE FRA SPIAGGIA DI CHIOMA E SPIAGGIA DEI GHIAIONI



AREA INSTABILE CON CROLLI E SCIVOLAMENTI

ARGILLOSCISTI A PALOMBINI FACILMENTE ERODIBILI. LIMITATI CROLLI DI BLOCCHI



MURO IN C.A.

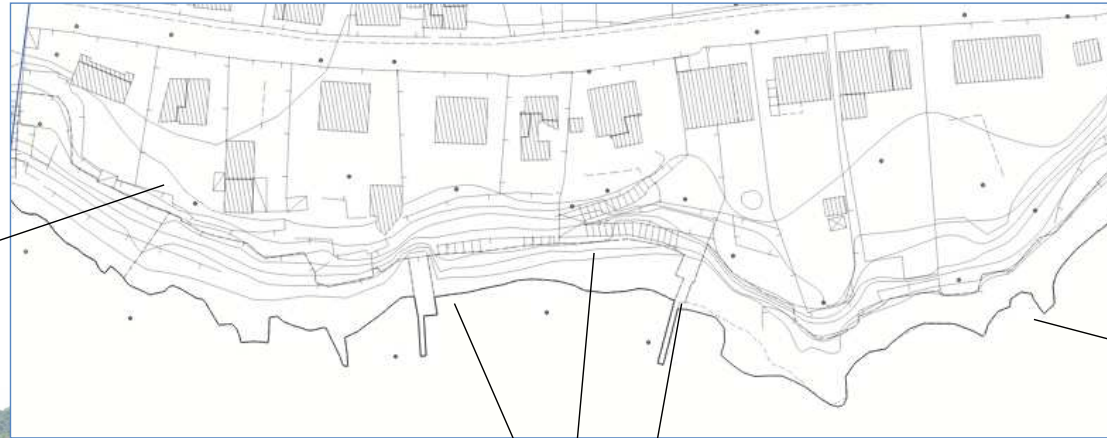
RETE METALLICA A MAGLIA SCIOLTA FISSATA IN PARETE

SETTORE NON PROTETTO FACILMENTE ERODIBILE E CON QUALCHE CROLLO RECENTE



FENOMENI DI INSTABILITA' CON CROLLI DIFFUSI DI BLOCCHI LAPIDEI CAUSA FRATTURAZIONE STRATI CALCAREI

PANORAMICA SETTORE FRA SPIAGGIA DEI GHIAIONI E SPIAGGIA DELLA PIEGA - 1



CONTRAFFORTI DI SOSTEGNO

AFFIORAMENTO A GIORNO IN DEGRADAZIONE CON STRATI SUBVERTICALI

STRATI VERTICALI CALCAREI IN DEGRADAZIONE CON CROLLI DI BLOCCHI



MURO DI PROTEZIONE IN C.A.

TERRAZZAMENTO IN LEGNO RECENTE INTERMEDIO AI MURI DI SOSTEGNO PREESISTENTI



PANORAMICA SETTORE FRA SPIAGGIA DEI GHIAIONI E SPIAGGIA DELLA PIEGA - 2



AFFIORAMENTO A
GIORNO IN
DEGRADAZIONE CON
STRATI SUBVERTICALI E
PIEGHE

