



Comune di Livorno
PIANO STRUTTURALE 2

SINDACO
Filippo Nogarin

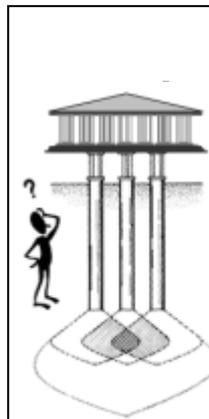
ASSESSORE all'URBANISTICA
Alessandro Aurigi

RESPONSABILE DEL
PROCEDIMENTO
Arch. Paolo Danti

GARANTE DELL'INFORMAZIONE
E DELLA PARTECIPAZIONE
Massimo Mannoni

PROGETTISTI

A.T.I. composta da
Gregotti Associati International
s.r.l. – Milano (mandataria) – Arch.
Augusto Cagnardi
SINTESIS s.r.l. – Livorno – Ing.
Renato Butta
MODIMAR s.r.l. – Roma – Ing. Marco
Tartaglioni



INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE

---DPGRT 53/R/2011----

STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA

Dr. Geol. LUCA MAZZEI
Corso Italia 3 Piombino (LI)
geologomazzei@virgilio.it

Elaborato firmato digitalmente da
Dr. Geol. Luca Mazzei
Ordine dei Geologi della Toscana - n. 767

Oggetto: **QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO**

Titolo: **RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA** ai sensi DPGRT 53R/2011



REVISIONE 1

DATA: **FEBBRAIO 2019**

INDICE

	PREMESSA	2
1	QUADRO NORMATIVO E DOCUMENTALE DI RIFERIMENTO	2
2	REPERIMENTO DATI DI BASE	3
2.1	QUADRO CONOSCITIVO	3
2.2	APPROFONDIMENTI ESEGUITI	5
2.2.1	RILIEVO CRITICITA' DOPO ALLUVIONE SETTEMBRE 2017	5
3	TERRITORIO CONTINENTALE	7
3.1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE: MORFOLOGIA, SISMICA, IDROGRAFIA	7
3.2	CLASSIFICAZIONE SISMICA	7
3.3	AMBIENTI MORFOLOGICI PRINCIPALI	8
3.4	IDROGRAFIA	9
3.5	DATI METEOCLIMATICI	12
4	QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO: EVOLUZIONE DEGLI STUDI	19
4.1	APPROFONDIMENTI ESEGUITI	22
4.1.1	AGGIORNAMENTO E CORREZIONI ELEMENTI CARTOGRAFICI	22
	<i>2 TABELLE ELABORAZIONE CLASSIFICAZIONE GEOLOGICA</i>	24
4.2	ELABORAZIONE NUOVA LEGENDA GEOLOGICA	26
	<i>FIGURA 9: UNITA' AFFIORANTI TRASPOSTE SULLA INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART</i>	37
4.3	STRUTTURA GEOLOGICA DEL TERRITORIO CONTINENTALE	39
4.3.1	AFFIORAMENTI LUNGO LA COSTA	40
4.4	SINTESI ASSETTO STRATIGRAFICO	44
	<i>TABELLA FUORI TESTO: I TERRAZZI DEL TERRITORIO LIVORNESE (MAZZANTI ET ALII)</i>	46
	<i>FIG. 11-12 SEZIONI GEOLOGICHE</i>	47
4.5	APPROFONDIMENTI SULLE UNITA' STRATIGRAFICHE DELLA PIANA DI LIVORNO	49
	<i>FIG. 17-18-19 PLANIMETRIA E SEZIONI GEOLOGICHE DI DETTAGLIO AREA PORTUALE</i>	55
5	CARATTERI TETTONICI A LARGA SCALA	58
5.1	EVOLUZIONE TETTONICA DELL'AREALE LIVORNESE	59
6	SCHEMA IDROGEOLOGICO GENERALE	61
6.1	POTENZIALITA' IDROGEOLOGICHE	63
6.2	STUDI PREGRESSI	64
6.3	STUDIO IDROGEOLOGICO AREA SIN	66
6.4	CARTA IDROGEOLOGICA: CRITERI DI DIFFERENZIAZIONE	71
6.5	PANORAMICA IDROGEOLOGICA E DI PERMEABILITA' DEI LITOTIPI AFFIORANTI	73
6.6	STIME DI PERMEABILITA' IN AREA COSTIERA	75
6.7	ELABORAZIONE DELLE CURVE ISOPIEZE/ISOFREATICHE	77
	<i>2 TABELLE FUORI TESTO: CLASSIFICAZIONE UNITA' IDROGEOLOGICHE</i>	78
7	GEOMORFOLOGIA DEL TERRITORIO CONTINENTALE	80
7.1	I TERRAZZI PEDECOLLINARI E LA PIANA	81
7.2	LO SVILUPPO DEI RIPORTI ANTROPICI IN AREA MARITTIMA-PORTUALE E NEI SETTORI URBANIZZATI	83
7.3	LO STUDIO DELLE AREE FRANOSE	84
7.4	FENOMENI DI RISCHIO IDROGEOLOGICO	87
7.5	UTILIZZO DATI LIDAR E VERIFICHE COSTIERE	87
7.6	DEFINIZIONI STATO ATTIVITA' FRANE E MOVIMENTO PREVALENTE	89
7.6.1	PRINCIPALI ELEMENTI LINEARI DI CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA	90
7.7	ELABORAZIONE FINALE LEGENDA ADOTTATA PER I DISSESTI GRAVITATIVI	91
7.8	AREE CON MAGGIORI PROBLEMATICHE DI VERSANTE	92
7.9	MOVIMENTI GRAVITATIVI LUNGO LA COSTA ALTA	101
7.10	ULTERIORI AREE DI CRITICITA' GRAVITATIVA DELLA FALESIA	104
	<i>SCHEDE DI DETTAGLIO SU ALCUNI TRATTI COSTIERI</i>	105
	<i>LEGENDA GEOMORFOLOGICA</i>	109
8	CLASSIFICAZIONE LITOLOGICO-TECNICA DEI DEPOSITI	110
	<i>TABELLE CLASSIFICAZIONE UNITA' LITOTECNICHE</i>	111
9	LE CAVE SUL TERRITORIO	113
9.1	PREMESSA	113
9.2	SITUAZIONE AI SENSI R.U. 1999	116
9.3	RILEVAMENTO ANALITICO DELLE ATTIVITA' ESTRATTIVE	124
9.4	CLASSIFICAZIONE DEI SITI DISMESSI	124
10	DINAMICA COSTIERA E AREE CON RELATIVE PROBLEMATICHE	128
10.1	TRATTI COSTIERI CARATTERISTICI	128
10.2	CENSIMENTO DELLE SPIAGGE	130
10.3	ANALISI DELLE SPIAGGE E FENOMENI DI EROSIONE	132
11	VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI	148

2 TABELLE CLASSIFICAZIONE DI VULNERABILITA'		150
11.1	INDICAZIONI PRELIMINARI DI TUTELA	152
12	ISOLA DI GORGONA	154
12.1	CARATTERI GEOLOGICI E STRUTTURALI	155
12.2	GEOMORFOLOGIA E STABILITA'	157
12.3	FENOMENI GRAVITATIVI E DINAMICA COSTIERA	157
13	MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1	158
13.1	QUADRO CONOSCITIVO PRECEDENTE AGLI STUDI RECENTI	158
13.2	AREE SOTTOPOSTE AGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA	160
13.3	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	162
13.4	MAGNITUDO ATTESA E TERREMOTI PREGRESSI	163
13.5	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	165
14	MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO	165
14.1	PIANA DI LIVORNO	165
14.2	VALLE BENEDETTA	166
14.3	QUERCIANELLA	166
14.4	ISOLA DI GORGONA	166
14.5	FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI	167
14.5.1	GENERALITA'	167
14.5.2	ANALISI DEI DATI	167
15	MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (M.O.P.S.) E STIMA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	168
15.1	ZONE STABILI	169
15.2	ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI	169
15.3	ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITA'	173
15.4	CLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	180
16	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA	180
16.1	DEFINIZIONE CLASSI DI PERICOLOSITA'	181
16.2	PRECISAZIONI SUI CRITERI DI CLASSIFICAZIONE	181
17	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA	183
17.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO ED ESTENSIONE DEL TERRITORIO INDAGATO	184
17.2	IDROLOGIA E PLUVIOMETRIA	185
17.3	AGGIORNAMENTO DELLE CURVE POST EVENTO SETTEMBRE 2017	186
17.4	PROBLEMATICHE RISCOSTRATE E APPROFONDIMENTI ESEGUITI	186
17.5	PROBLEMATICHE DI DRENAGGIO URBANO	205
17.6	SCENARIO DI PERICOLOSITA' IDRAULICA E MISURE DI SALVAGUARDIA	206
17.7	CONCLUSIONI DI SINTESI DELLO STUDIO IDRAULICO	207
18	INDICAZIONI PRELIMINARI SULLE CONDIZIONI DI FATTIBILITA'	208
18.1	CONDIZIONI IN FUNZIONE DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA	208
18.2	CONDIZIONI IN FUNZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	209
18.3	CONDIZIONI IN FUNZIONE DELLE PROBLEMATICHE DI DINAMICA COSTIERA	210
18.4	CONDIZIONI IN FUNZIONE DELLE PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE	211
18.5	CONDIZIONI IN FUNZIONE DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA	211
	BIBLIOGRAFIA	212
	SCHEDA DI DECODIFICA FENOMENI FRANOSI IFFI-PAI	

ELENCO ALLEGATI ALLA RELAZIONE		
ALL. 1	APPROFONDIMENTO DI INDAGINE IN SETTORI SELEZIONATI A SEGUITO EVENTI ALLUVIONALI SETTEMBRE 2017	
ALL. 2	ELABORAZIONE VELOCITA' ONDE SISMICHE (V_s/V_p) DA DATI SISMICI DI INDAGINI PUBBLICHE	
ALL. 3	DATABASE INDAGINI GEOGNOSTICHE E SISMICHE DI RIFERIMENTO PER CARTA DATI DI BASE (solo in forma elettronica)	

TAVOLE GRAFICHE ESPLICATIVE A CORREDO DELLA RELAZIONE				
SIGLA	Scala	TITOLO	foglio	Formato
G1N	1:10.000	CARTA GEOLOGICA	nord	A0 o
G1S	1:10.000	CARTA GEOLOGICA	sud	A0 o
G2N	1:10.000	CARTA IDROGEOLOGICA	nord	A0 o
G2S	1:10.000	CARTA IDROGEOLOGICA	sud	A0 o
G3N	1:10.000	CARTA LITOLOGICO-TECNICA	nord	A0 o
G3S	1:10.000	CARTA LITOLOGICO-TECNICA	sud	A0 o

G4N	1:10.000	CARTA GEOMORFOLOGICA - REV.1	nord	A0 o
G4S	1:10.000	CARTA GEOMORFOLOGICA - REV.1	sud	A0 o
G5N	1:10.000	CARTA DEI DATI DI BASE - REV.1	nord	A0 o
G5S	1:10.000	CARTA DEI DATI DI BASE - REV.1	sud	A0 o
G6N	1:10.000	CARTA DELLE AREE CON PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE E DELLA VULNERABILITA' DELLA FALDA	nord	A0 o
G6S	1:10.000	CARTA DELLE AREE CON PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE E DELLA VULNERABILITA' DELLA FALDA	sud	A0 o
G7N	1:10.000	CARTA DELLA DINAMICA COSTIERA E DELLE AREE CON RELATIVE PROBLEMATICHE	nord	A1 v
G7S	1:10.000	CARTA DELLA DINAMICA COSTIERA E DELLE AREE CON RELATIVE PROBLEMATICHE	sud	A1 v
G8N	1:10.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA - REV.1	nord	A0 o
G8S	1:10.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA - REV.1	sud	A0 o
G8A	1:5.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA - REV.1	A	A0 o
G8B	1:5.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA - REV.1	B	A0 o
G8C	1:5.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA - REV.1	C	A0 o
G8D	1:5.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA - REV.1	D	150x84.1
G8E	1:5.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA - REV.1	E	A0 v
G8F	1:5.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA - REV.1	F	150x84.1
G8G	1:5.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA - REV.1	G	A0 o
G9N	1:10.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE - REV.1	nord	A0 o
G9S	1:10.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE - REV.1	sud	A0 o
G9A	1:5.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE - REV.1	A	A0 o
G9B	1:5.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE - REV.1	B	A1 v
G9C	1:5.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE - REV.1	C	A0 o
G9D	1:5.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE - REV.1	D	A0 o
G9E	1:5.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE - REV.1	E	A0 v
G9F	1:5.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE - REV.1	F	A1 v
G9G	1:5.000	CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE - REV.1	G	A0 o
G10N	1:10.000	CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA - Livorno Nord	nord	A0 o
G10S	1:10.000	CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA - Livorno Sud	sud	A0 o
G10T	1:10.000	CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA - Territorio	Territ.	73x59.4

NOTE:

1) LA "CARTA DELLE AREE ALLAGABILI" E LA "CARTA DELLE AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA" , CONDIVISE E A FIRMA CONGIUNTA INSIEME ALL'ING. CHIAVACCINI, SONO ALLEGATE AGLI ELABORATI DELLO STUDIO IDRAULICO REDATTO DA "STUDIO PRIMA INGEGNERIA"

2) LA CARTA DELLE M.O.P.S. E' LA STESSA PRODOTTA DALLO STUDIO DI MICROZONAZIONE DI LIVELLO 1: VIENE ALLEGATA CON CAMBIAMENTO DELLA SOLA SIGLA IN QUANTO RICHIAMATA DAL DPGR 53/R FRA GLI ELABORATI OBBLIGATORI.

PREMESSA

La presente relazione descrive gli esiti delle indagini geologico-tecniche integrative, aggiornate al periodo Marzo 2019, a supporto del lavoro di revisione del Piano Strutturale di Livorno ("Piano Strutturale 2"), in ottemperanza al D.P.G.R.T. n. 53/R del 25/10/2011 (Norme per il governo del territorio in materia di indagini geologiche) e alla LR 65/2014.

Il lavoro integrativo ha tenuto conto - in particolare - sia delle osservazioni espresse dal Genio Civile di Livorno rispetto al Piano adottato, sia del parere ex Art. 25 delle Norme di Piano PAI del Bacino Toscana Costa espresso dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, con i relativi documenti tecnici allegati, per quanto riguarda la componente geomorfologica e quella idraulica; quest'ultima è stata in particolare elaborata in collaborazione con lo Studio Prima Ingegneria che ha redatto il relativo Studio Idraulico di supporto.

Rispetto alla documentazione allegata alla delibera di adozione, il presente Studio, quindi, integra e aggiorna, in particolare, le indagini relative alla definizione delle aree franose e della relativa classificazione di pericolosità geomorfologica, nonché, in diretta conseguenza, quelle riguardanti la carta della pericolosità sismica, basate sullo studio di microzonazione di livello 1 opportunamente interfacciato con la nuova mappatura della pericolosità geomorfologica per le necessarie modifiche alle relative cartografie.

Si precisa infatti che, essendo in corso - ma non ancora concluso - lo studio di microzonazione di livello 2, la carta della pericolosità sismica è stata aggiornata tenendo conto "in toto" delle modifiche e degli aggiornamenti relativi alle aree instabili - attive e quiescenti - che influenzano in maniera univoca la mappatura di pericolosità sismica. Non appena terminato lo studio di microzonazione di livello 2, gli estensori provvederanno alle modifiche necessarie sulla Carta delle MOPS.

1 QUADRO NORMATIVO E DOCUMENTALE DI RIFERIMENTO

A seguito dell'entrata in vigore del D.P.G.R.T. n. 53/R del 25/10/2011 che ha abrogato (art. 17) il precedente D.P.G.R.T. n. 26/R del 27/04/2007 (a sua volta successivo alla D.C.R.T. 94/1985), nel presente lavoro sono stati redatti ex novo tutti gli elaborati geologico-tecnici di supporto al nuovo Piano Strutturale, aggiornando quelli a suo tempo prodotti per il PRG vigente ai sensi della pregressa normativa (ex D.C.R.T. 94/1985).

I cardini normativi e documentali di riferimento delle indagini sono pertanto i seguenti:

- **D.G.R.T. n. 1330 del 20/12/2004 - Adozione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico per il bacino di rilievo regionale Toscana Costa**, con decadenza dell'applicazione delle misure di salvaguardia ai sensi del D.L. n. 180/88 e della L. 183/89 di cui alla deliberazione della Giunta Regionale n. 831 del 23/07/2001;
- **D.C.R.T. n. 13 del 2005** con cui è stato approvato il *Piano di Assetto Idrogeologico* del Bacino Toscana Costa – recepito dagli SS.UU. comunali - in cui il Comune di Livorno rientra quasi completamente ad eccezione dello Scolmatore la cui giurisdizione idraulica appartiene al Bacino del Fiume Arno
- **D.G.R.T. n. 431 del 19/06/2006 - Riclassificazione sismica del territorio regionale:** "Attuazione del D.M. 14.9.2005 e O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006 pubblicata sulla G.U. dell' 11.5.2006", con cui il territorio comunale di Bibbona è inserito in zona sismica 3s.
- **D.P.G.R.T. n. 26/R del 27/04/2007** – Regolamento di attuazione dell'art. 62 della L.R. n. 1 del 03/01/2005 (**Norme per il governo del territorio in materia di indagini geologiche**) che sostituisce il precedente D.C.R.T. 94/1985 introducendo, tra gli altri, sia una nuova definizione delle classi di pericolosità e fattibilità, sia il concetto di "pericolosità sismica locale".
- **Piano di Indirizzo Territoriale della Toscana** approvato dal Consiglio regionale il 24 luglio 2007 con delibera n. 72 e pubblicato sul Burt n. 42 del 17 ottobre 2007

- Deliberazione Consiglio Provinciale n. 231 del 11-12-2008 - **Approvazione del Piano Territoriale di Coordinamento** e successiva Deliberazione Consiglio Provinciale n. 52 del 25-03-2009 - **Variante di adeguamento alla LR 1/2005 del PTC provinciale.**
- **D.P.G.R.T. n. 53/R del 25/10/2011** – Regolamento di attuazione dell'art. 62 della L.R. n. 1 del 03/01/2005 (**Norme per il governo del territorio in materia di indagini geologiche**) che abroga (art. 17) e sostituisce il D.P.G.R.T. n. 26/R del 27/04/2007 introducendo l'obbligo di tener conto, in sede di formazione delle indagini geologico-tecniche e limitatamente agli aspetti sismici, dei criteri nazionali di microzonazione sismica e del loro recepimento nella formazione degli strumenti urbanistici comunali, disciplinando puntualmente e dettagliatamente le direttive per le indagini geologiche nell'allegato A alla citata normativa.
- **L.R.T. n. 21 del 21-05-2012** - Disposizioni urgenti in materia di difesa dal rischio idraulico e tutela dei corsi d'acqua.
- Atto di **integrazione del Piano di Indirizzo Territoriale (PIT)** con valenza di piano paesaggistico approvato dal Consiglio Regionale della Toscana con Deliberazione 27 marzo 2015, n. 37
- **L.R.T. n. 65 del 10-11-2014 - Norme per il governo del territorio** e successive modifiche introdotte dalla recente **LR 20 aprile 2015, n. 49.**
- **Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell'Appennino Settentrionale.** Direttiva 2007/60/CE, D.Lgs. 152/2006, D.Lgs. 49/2010. Approvazione in data **03-03-2016** con Delibera del Comitato Istituzionale Integrato ex art. 4 comma 3 D.lgs. 219/2010
- Varianti al PS/RU del Comune di Livorno (es. Variante anticipatrice al PS per l'elaborazione del PRP di Livorno, autori Geoll. Rafanelli - Gonnelli - Tanda - Danzi et alii) successivi all'approvazione del PRG vigente.
- **Studio di Microzonazione Sismica di livello 1 del Comune di Livorno** messo a disposizione sia in prima fase iniziale di bozza che in successiva fase finale approvata
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - **Decreto 17-01-2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"**
- **Legge Regionale n. 41 del 24 luglio 2018** - Disposizioni in materia di rischio di 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. Abrogazione della LR 21/2012.
- Ogni altro eventuale aggiornamento normativo in materia di indagini geologico-tecniche di supporto alla pianificazione urbanistica non richiamato in questa sede o che sia entrato in vigore dopo la consegna della presente Relazione e prima di una successiva revisione.

2 REPERIMENTO DATI DI BASE

2.1 QUADRO CONOSCITIVO - Il punto di partenza del lavoro è stato l'esame della relazione geologica di pericolosità e relativa cartografia redatta dal Dr. Geol. A Rafanelli e Dr. Geol. L. Michelucci a supporto del PS vigente. Tali elaborati, molto esaustivi e approfonditi, hanno costituito l'ossatura iniziale di appoggio e molti di quei dati, opportunamente informatizzati e georeferenziati, sono stati riutilizzati nel presente lavoro, seppur opportunamente integrati con le conoscenze più recenti e con le indagini in campo.

Sono inoltre stati eseguiti sopralluoghi approfonditi di verifica in loco, sia lungo la costa (anche via mare mediante ausilio dei VV.FF con propria imbarcazione), che nella parte interna, con particolare riferimento

alle aree interessate dal distroso evento alluvionale del settembre 2017, epr il quale infatti il Comune ha commissionato un supplemento di indagine.

Le altre fonti del quadro conoscitivo, costituite da relazioni e perizie, sono state desunte da:

- Indagini geologico tecniche a supporto dei Piani Urbanistici Pubblici e numerose alcune perizie a carattere geotecnico ed ambientale relative agli ultimi 2 decenni circa, fornite dall'Amm.ne Comunale a partire dal Luglio 2013 (circa **80** lavori digitalizzati), oltre a successive integrazioni di indagini, soprattutto per lavori di approfondimento sui fenomeni franosi, fornite nel gennaio 2014 e nell'Ottobre 2015. (circa **10** lavori digitalizzati)
- Perizie geologiche reperite autonomamente dal sottoscritto presso l'archivio dell'ufficio Ambiente dall'ottobre 2014 al gennaio 2015 (circa **80** lavori, parte digitalizzati e parte cartacei) e presso l'archivio cartaceo dell'ufficio Edilizia Privata di Livorno nel periodo Giugno-Luglio-Settembre-Ottobre 2015 (circa **90** lavori in forma cartacea)
- Alcuni documenti trasmessi dal settore Urbanistica nel Maggio 2015 (**5** lavori oltre a varia cartografia digitalizzata del PS vigente)
- Svariate pratiche per la realizzazione di pozzi (ex archivio della Provincia di Livorno - sistema INCAS-GIS) da cui sono state estratte circa **130** stratigrafie.
- Tutte le perizie geologiche, geotecniche e sismiche redatte dal sottoscritto nell'area Livornese negli anni recenti.

Le relazioni acquisite di cui sopra - sia a carattere pubblico che privato - sono state analizzate e verificate avendo cura di estrarre e informatizzare sotto forma di dato georeferenziato le conoscenze utili, quali committente, oggetto del lavoro, tecnico redattore, tutti i dati geognostici e di laboratorio forniti ritenuti utili; pertanto nelle tabelle degli attributi dei file .shp alla base della cartografia prodotta può non trovarsi raffronto di quei lavori che - a carattere generalista - non fornivano dati geognostici nuovi o puntuali. Pur tuttavia, consultando le tabelle degli attributi dei file .shp costruiti (ed i relativi elementi grafici sulla carta dati di base) è possibile riscontrare la georeferenziazione di:

- circa **130 stratigrafie di pozzo** (= sondaggi a distruzione nel metodo semiquantitativo di verifica per la microzonazione sismica)
- circa **550 sondaggi a carotaggio continuo**
- circa **100 indagini sismiche di superficie** (Rifrazione + Masw) e circa 30 prove sismiche DH in foro di sondaggio
- circa **340 prove penetrometriche statiche e dinamiche** parte con certificato e parte riassunte in relazione)
- circa **900 prove SPT** in foro, parte con certificato e parte riassunte in relazione)
- Alcune prove di sismica passiva HVSR.
- **Indagini eseguite dal Comune di Livorno e dalla Regione Toscana dopo l'evento alluvionale del SETTEMBRE 2017**, in parte consegnate allo scrivente dopo la fase di adozione ed implementate nella Carta dei dati di base opportunamente aggiornata per la fase di approvazione.

Si precisa che le indagini commissionate dal Comune di Livorno a supporto degli studi di Microzonazione Sismica di livello 1, essendo iniziate in fase terminale del presente lavoro validate dal servizio sismico regionale successivamente alla fase di adozione, sono state inserite nella banca dati dello studio di microzonazione citato.

In pratica, quindi, ogni tavola grafica e questa stessa relazione rappresentano un approfondimento sostanziale di tutto il lavoro pregresso in termini geologico-tecnici, con una estesa mole di nuovi dati e nuove elaborazioni, pur attingendo fin dall'inizio del lavoro dal quadro conoscitivo generale geologico della relazione del Dr. Rafanelli e del Dr. Michelucci del primo PS di Livorno.

Completano le fonti del Quadro conoscitivo gli ulteriori seguenti documenti:

- Piano di protezione civile del Comune di Livorno
- Database dei pozzi della Provincia di Livorno
- Quadro Conoscitivo Ambientale redatto dall'ufficio ambiente del Comune di Livorno (2013)
- Studi sulla pericolosità della Costa redatti dallo staff geologia del Comune di Livorno
- Mappatura e censimento arenili pubblici redatti dallo staff geologia del Comune di Livorno nel lavoro "Piano di utilizzazione della costa - quadro conoscitivo - schede costa - anno 2006"
- Indagini sismiche eseguite a cura della Regione Toscana - Servizio Sismico (Programma VEL e DOCUP) e dal Comune di Livorno con sondaggi, prove DH in foro e prove sismiche a rifrazione, da cui sono stati estrapolati anche i valori medi di Vs30 forniti in **allegato 2**.
- Database Geologico della regione Toscana
- Inventario Fenomeni Franosi in Italia
- PTC della Provincia di Livorno
- PIT della regione Toscana
- Altre pubblicazioni e fonti non espressamente sopra richiamate per brevità

2.2 APPROFONDIMENTI ESEGUITI

Gli approfondimenti eseguiti sono di tipo gestionale/informatico che di tipo diretto:

- A) **Completa ed originale informatizzazione e georeferenziazione dei dati esistenti desunti dal Quadro Conoscitivo** fornito dal Comune (o reperiti personalmente) con banca dati prodotta ex novo in formato GIS per la rappresentazione cartografica e per l'archivio digitale dei lavori di riferimento;
- B) Redazione **ex novo** e su piattaforma GIS di tutte le cartografie previste dal DPGR 53/R/2011, con aggiornamento e modifica dei dati geologici derivanti dal Database Geologico Regionale per adattarli alla realtà livornese soprattutto per le formazioni pleistoceniche, attingendo in tal senso dal progetto CARG precedente. A tutt'oggi non esisteva infatti nessuna cartografia completa in formato .shp da usare tal quale o da aggiornare con nuovi dati in quanto il primo PS era, a livello geologico, completamente redatto con cartografie eliocopiate (quindi originate da raster e non vettorializzate).
- C) Indagine diretta eseguita via mare con sopralluoghi lungo tutto il settore costiero avvalendosi della preziosa collaborazione del Comune di Livorno e dei VV.FF. livornesi, con redazione di campagna fotografica di dettaglio che ha permesso di rilevare situazioni di interesse geologico/geomorfologico altrimenti non rilevabili da terra
- D) Indagini di verifica sul territorio continentale relative a affioramenti, problematiche di stabilità, aree costiere, pozzi e piezometri selezionati. Ogni dato geognostico di tipo puntuale, lineare e poligonale ritenuto utile è stato georeferenziato per la rappresentazione cartografica. Il database potrà essere incrementato per i successivi approfondimenti.

2.2.1 RILIEVO CRITICITA' DOPO EVENTI ALLUVIONALI DEL SETTEMBRE 2017

Come già accennato, a seguito dei gravi eventi alluvionali che nei giorni del 9 e 10 settembre 2017 hanno colpito l'area livornese causando danni ingenti a cose e persone, con allagamenti e dissesti sia in zona collinare (es. Livorno Nord, Montenero, Collinaia, Rio Maggiore, Rio Ardenza, accumulo di materiali in foce dei principali corsi d'acqua, smottamenti diffusi concentrati lungo le strade prospicienti i corsi d'acqua principali e lungo le sponde/argini dei medesimi) che costiera (dissesti concentrati lungo alcuni tratti costieri e in zona di foce dei fossi), l'Amministrazione Comunale, nel

mese di Dicembre 2017, ha commissionato al sottoscritto un approfondimento di indagine per mappare e cartografare i principali danni di ordine geologico/geomorfologico subiti dal territorio, con una tempistica di urgenza volta ad avere un primo quadro di dettaglio nella presente fase di adozione, da completare e integrare per quanto possibile prima dell'approvazione definitiva del nuovo PS di Livorno.

L'indagine è stata ad oggi così strutturata: ogni verifica diretta sul territorio è georeferenziata per settori omogenei opportunamente numerati, ognuno dei quali è rappresentato da ampia documentazione fotografica sinteticamente commentata per la descrizione dei fenomeni geomorfologici/idraulici riscontrati e condensato nell'allegato 1. Essendo l'indagine stata eseguita con carattere di urgenza, i settori di verifica sono stati numerati progressivamente non per area di indagine ma a livello temporale, quindi è possibile che settori adiacenti indagati in momenti diversi abbiano numerazioni non consecutive; tali fattori potranno essere riallineati successivamente. Tuttavia è garantita la corrispondenza fra settori di immagini fotografiche e settori georeferenziati in Carta Geomorfologica. Al momento della consegna della presente relazione ci sono alcuni approfondimenti da completare in alcune aree franose, che saranno completati subito dopo la fase di adozione per essere implementati negli aggiornamenti definitivi pre-approvazione del PS2.

Analoga indagine di aggiornamento è stata eseguita dallo Studio Prima per le componenti idrauliche (vedi relazione idraulica e tavole allegate).

Completano gli aggiornamenti dell'evento alluvionale del settembre 2017 la georeferenziazione in Carat dati base di alcune delle indagini eseguite a supporto dei lavori di messa in sicurezza, limitatamente al materiale consegnato dal Comune di Livorno e dal Genio Civile.

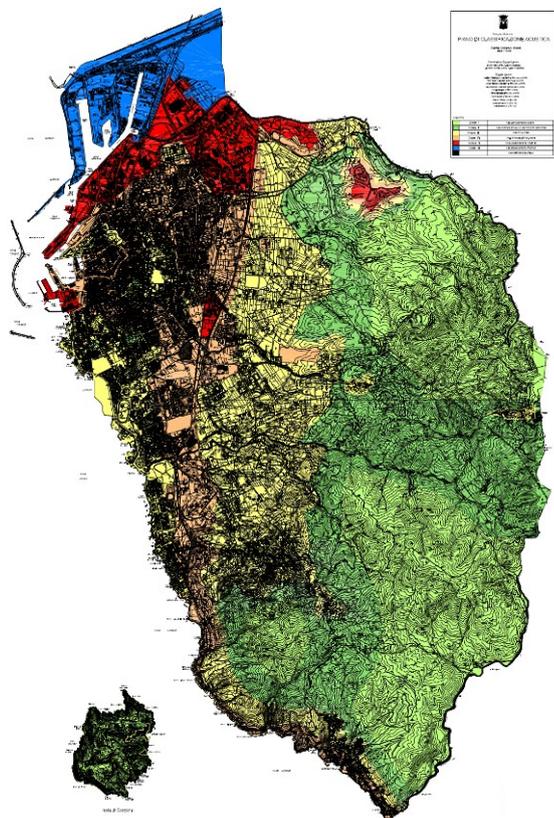
In allegato 1 sono fornite le georeferenziazioni dei settori indagati per gli approfondimenti post-alluvione del 2017 ed una copiosa documentazione sia descrittiva che fotografica dei fenomeni osservati.

3 TERRITORIO CONTINENTALE

3.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE: MORFOLOGIA, CLASSIFICAZIONE SISMICA, IDROGRAFIA

Generalità

Il comune di Livorno (figura a lato) si estende su di una superficie di 104,79 km². 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. 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 d'innanzi al porto.

L'intera superficie dell'Isola di Gorgona ricade nel Parco Naturale dell'Arcipelago Toscano, mentre le Secche della Meloria, situate a 3 miglia dalla costa livornese, hanno un'estensione di circa 40 km² e rappresentano un'Area Marina Protetta istituita con D.M. del 21.10.2009 con individuazione di tre zone a differente tutela.

Il Comune di Livorno confina ad ovest con il mare, ad est con la struttura dei Monti Pisani, a sud con i territori del comune di Rosignano ed a nord con i territori del comune di Collesalveti.

Una sezione perpendicolare alla linea di costa vede una morfologia planare fino alla periferia del centro

abitato ed un progressivo rialzamento dalla periferia verso l'entroterra fino a quote non superiori ai 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 ad occidente 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.

3.2 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Il Comune di Livorno è stato in passato classificato sismico e inserito nella Categoria II (grado di sismicità S=9, accelerazione convenzionale massima Ag/g=0,20); nella classificazione sismica del territorio nazionale

ed in classe 3 per la D.C.R.T. n. 94/85 in esecuzione della L.R. 21/84. Nella D.C.R.T. del 2006 Livorno è stato inserito in zona 3s (sismicità media, $A_g/g=0,25$).

A distanza di sei anni dall'entrata in vigore della precedente classificazione sismica, la Regione Toscana ha provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica del proprio territorio: la D.G.R.T. n. 878/2012 ed il Regolamento n. 58/R/2012 ha disposto per il Comune di **Livorno la classificazione sismica 3**. La **mappa sismica** vigente è quindi entrata

in vigore il 22 novembre 2012, cioè 60 giorni dopo la data di pubblicazione della D.G.R.T. n. 878/2012 sul Bollettino Regionale (la delibera è stata infatti pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 43 del 24 ottobre 2012).

L'aggiornamento della classificazione sismica, redatto ai sensi dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3519/2006, si è reso necessario al fine di recepire le novità introdotte dall'entrata in vigore delle pregresse Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) e di rendere la classificazione sismica (riferimento per la disciplina dei controlli sui progetti depositati presso gli Uffici tecnici regionali preposti), maggiormente aderente all'approccio *sito-dipendente* introdotto dalle vigenti Norme.

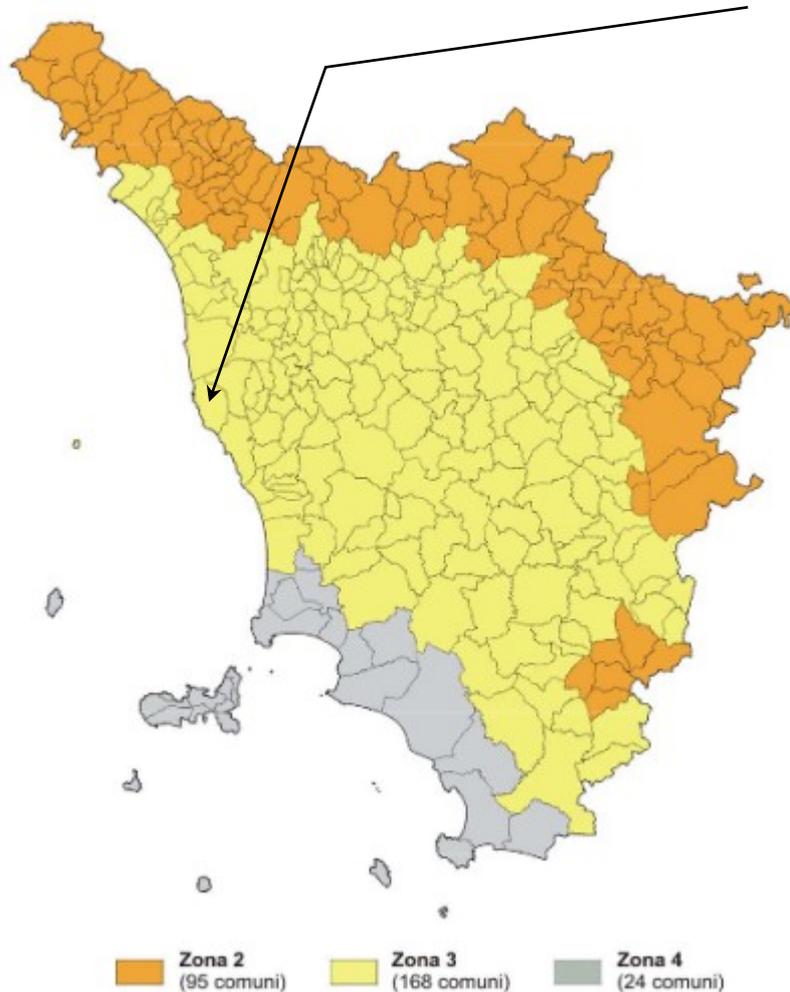


fig. 1: *Classificazione sismica regionale in vigore*)

3.3 AMBIENTI MORFOLOGICI PRINCIPALI

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.

Il territorio comunale è quindi formato sostanzialmente da tre componenti:

- **i Monti e le Colline Livornesi:** l'insieme dei rilievi alti che si estendono a SE della Città di Livorno fino a Rosignano M.mo, limitati ad est dalla valle del Torrente Tora e del Fiume Fine;
- **la Piana (Terrazzo) di Livorno:** l'insieme dei blandi rilievi che circondano i lati nord ovest, nord ed est dei Monti Livornesi;
- **una parte della Pianura di Pisa:** area pianeggiante e dolcemente declive verso il mare che corrisponde al "Terrazzo basso" costiero su cui si estende la città e che lambisce a nord la vera e propria pianura di Pisa interessata dai fenomeni legati all'Arno.

A partire dalla foce del Botro Marroccone e fino alla foce del Chioma, i rilievi si affacciano direttamente sul mare, con una falesia rocciosa molto elevata. A nord del Marroccone fino alla foce del Rio Ardenza ed a Quercianella, la falesia è invece limitata superiormente dalla spianata del Terrazzo di Livorno. Ulteriori dettagli a carattere geomorfologico sono forniti negli approfondimenti dei paragrafi seguenti a cui si rimanda.

3.4 IDROGRAFIA

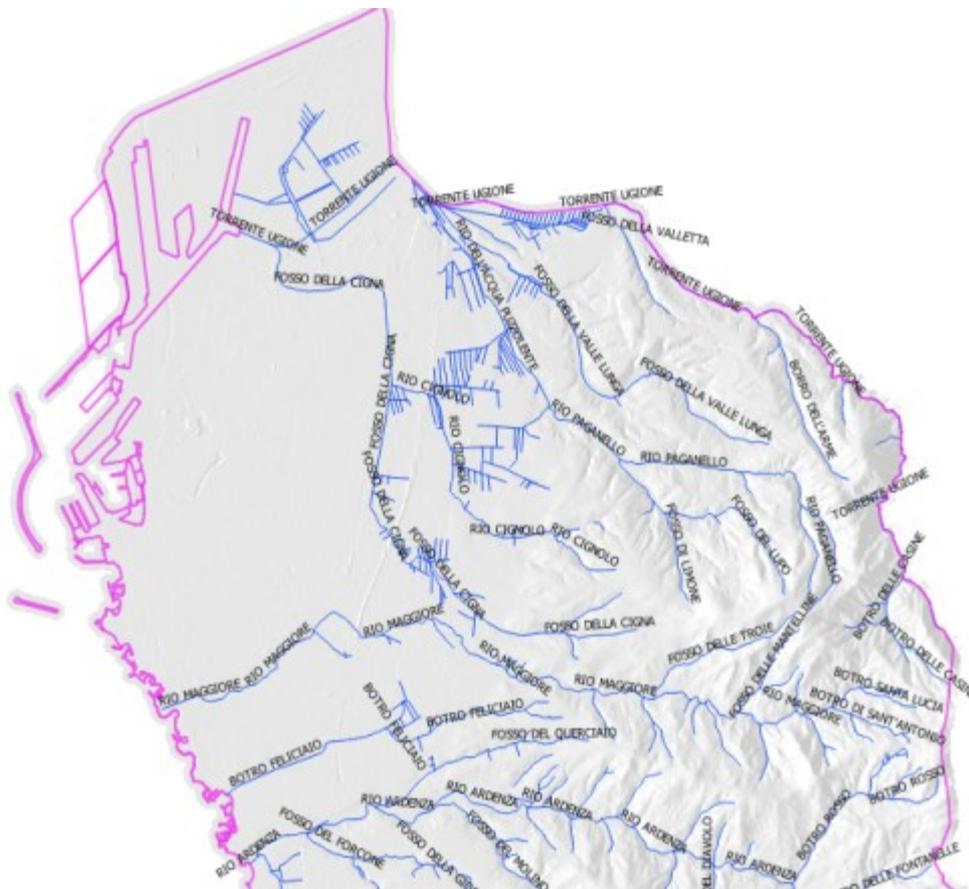
Con la Delib. C.R.T. n.57 del 11/6/2013 - relativo Allegato A - il Consiglio regionale toscano ha approvato all'unanimità la proposta della Giunta Regionale che, in attuazione di quanto previsto dalla legge di riordino sull'attività di bonifica (L.R. n. 79 del 27 dicembre 2012), individuando il reticolo idrografico e il reticolo di gestione. 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.

fig. 2 sotto: 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

Sotto: le aste drenanti livornesi maggiormente significative

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	Collesalvetti, 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 Cancellalaia	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. Palazzine, diramandosi alimenta un piccolo lago	Botro le Brescie	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	

3.5 DATI METEOCLIMATICI

Dal Piano Protezione Civile del Comune di Livorno si evince che Il clima della città è di tipo mediterraneo, con estati mitigate dalla brezza marina ed inverni non particolarmente freddi; le precipitazioni sono concentrate principalmente in primavera ed autunno. Negli ultimi cinquanta anni si contano mediamente fra i 4 e i 5 giorni di gelo all'anno e 106 giornate in cui si registrano precipitazioni, anche se inferiori alla soglia di 1 mm del giorno di pioggia. Le precipitazioni medie annue, attorno ai 750 mm e mediamente distribuite in 84 giorni, presentano un minimo estivo e un evidente picco autunnale. La temperatura media del mese più freddo, gennaio, si attesta ai +7,8 °C, quella del mese più caldo, luglio, è di +23,8 °C, con una contenuta escursione termica giornaliera (media del periodo 1961 – 1990). La velocità media annua del vento è di 3,4 m/s, con una piccola escursione fra massima e minima.

Le direzioni prevalenti dei venti sono:

- **Grecale** tra dicembre e febbraio e ad ottobre;
- **Libeccio** tra marzo e maggio;
- **Ponente** tra giugno e settembre;
- **Levante** a novembre.

L'alta frequenza delle piogge insistenti e con forti intensità a fronte di una capacità di assorbimento (in molte aree piuttosto scarsa) delle formazioni geologiche affioranti (gran parte di tipo argillitico-marnoso a scarsa permeabilità), hanno contribuito a rendere ancor più fragile un territorio che rappresenta circa il 60% dell'intero Comune di Livorno e che è soggetto a Vincolo Idrogeologico.

Leggendo tutte le osservazioni termo-pluviometriche dell'anno 2010 e dei primi tre mesi del 2011 si osserva che nel 2010 le precipitazioni cumulate sul nostro territorio comunale corrispondono a 1400 mm. contro gli 850 mm. delle medie centennali con un raddoppio del numero dei giorni piovosi.

Nella tabella sotto i valori medi dei fattori meteorologici dal 1961 al 1990 (da Piano Protezione Civile comunale)

LIVORNO	MESI												ANNO
	GEN	FEB	MAR	APR	MAG	GIU	LUG	AGO	SET	OTT	NOV	DIC	
T _{max} media(°C)	10,8	12,0	14,3	17,2	21,0	24,9	27,7	27,5	24,8	20,2	15,3	11,8	19
T _{min} media (°C)	4,8	5,4	7,5	10,2	13,7	17,4	20,0	19,9	17,3	13,3	9,1	6,1	12,1
Giorni di gelo (T _{min} ≤ 0 °C)	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5
Precipitazioni (mm)	68	60	69	60	54	40	18	31	73	104	102	80	759
Giorni di pioggia (≥ 1 mm)	8	8	9	8	7	4	2	3	6	9	10	10	84
Vento (direzione-m/s)	NE 3,4	NE 3,4	SW 3,6	SW 3,6	SW 3,3	W 3,1	W 3,1	W 3,2	W 3,0	NE 3,4	E 3,6	NE 3,6	3,4

Fonte: Apat, Servizio Idrologico Regionale - Compartimento di Pisa, Stazione meteorologica di Livorno

Una più esaustiva analisi meteo del territorio livornese è riportata nel Quadro Conoscitivo Ambientale del 2013 (Geol. Gonnelli et alii) di cui si riporta uno stralcio di seguito, senza significative variazioni o aggiunte.

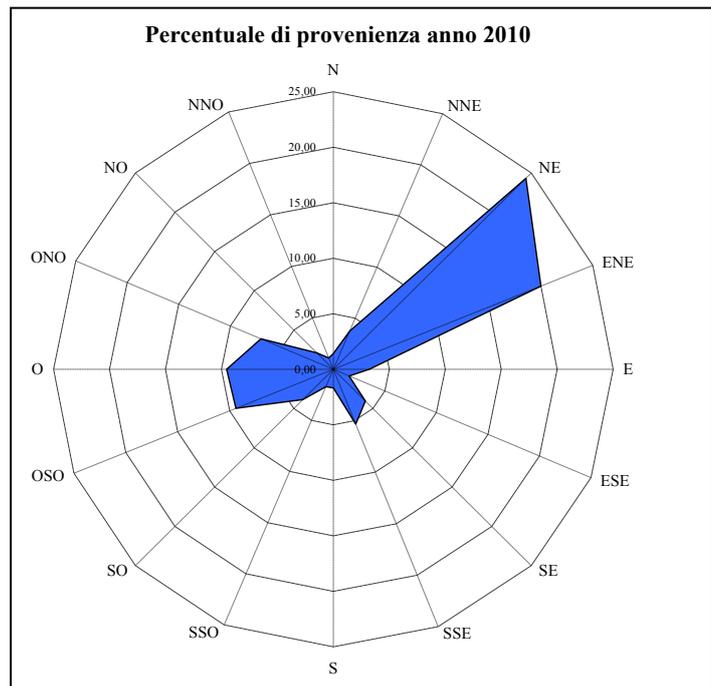
Le condizioni meteo-climatiche influenzano la capacità dispersiva degli inquinanti da parte dell'atmosfera nelle varie stagioni ed influiscono direttamente sullo stato di qualità dell'aria e, in particolare, sui valori di concentrazione degli inquinanti. Di conseguenza, la conoscenza dei parametri meteorologici che corrispondono a condizioni di maggiore o minore turbolenza nei bassi strati dell'atmosfera costituisce un utile implementazione al Quadro conoscitivo.

L'intensità del vento è un parametro che viene misurato direttamente, mentre le classi di stabilità sono determinate sulla base della velocità del vento misurata a 10 m dal suolo e della radiazione solare (globale e netta). Un importante studio nel settore è stato condotto dal LaMMA (Laboratorio per la Meteorologia e la Modellistica Ambientale) su commissione del Settore Regionale competente nell'anno 2010. Questo studio ha permesso di individuare le aree in cui si possono verificare con maggior frequenza condizioni critiche per la diffusione degli inquinanti ed ha consentito di effettuare una classificazione dell'intero territorio regionale in base alle diverse condizioni di diffusività atmosferica. Lo studio ha permesso la suddivisione del territorio in tre classi di diffusività atmosferica alta, media e bassa. Sulla base di questa classificazione il Comune di Livorno ricade in area a diffusività alta.

Nella rete di rilevamento meteo presente sul territorio comunale (LAMMA) le temperature registrate (anno 2010) sono state significativamente più basse degli anni precedenti (paragonabili a quelle rilevate nel solo 2005), facendo registrare la temperatura minima (- 4°C) più bassa degli ultimi 6 anni.

Comunque l'andamento delle temperature dell'anno è stato quello tipico della zona livornese, facendo registrare le temperature massime tra la fine di maggio e la metà del mese di settembre. L'escursione termica giornaliera (differenza tra le temperature massima e minima rilevate giornalmente) non ha assunto valori di particolare rilevanza: i valori registrati oscillano da un minimo di circa 1,3 °C ad un massimo di 14,8 °C. La velocità del vento nel 2010 ha mostrato un andamento del tutto analogo a quelli degli anni precedenti.

L'area di Livorno è infatti normalmente caratterizzata da frequenti episodi di vento sostenuto, che nel 2010 hanno avuto una punta della media oraria rilevata di circa 14,5 m/s il giorno 8 novembre (direzione di provenienza OSO). Valori leggermente inferiori (compresi tra 10 e 12 m/s) si sono verificati durante tutto l'arco dell'anno. Nel 2010 le direzioni prevalenti del vento (rappresentate nel grafico che segue), analogamente agli anni precedenti, si sono dimostrate essere NE ed ENE.



Gli effetti delle condizioni meteorologiche sull'andamento delle concentrazioni degli inquinanti atmosferici sono in genere difficilmente valutabili, in quanto nell'arco di un intero anno si susseguono in maniera casuale situazioni favorevoli all'accumulo o alla formazione degli inquinanti e situazioni favorevoli alla loro dispersione. Inoltre per correlare le concentrazioni ad un particolare andamento meteorologico sarebbe

necessario quantificarne l'effetto mediante l'uso di modellistica specifica la cui definizione è al momento ancora un problematica aperta.

Si evidenzia che a Livorno vi è la presenza dell'interfaccia costiera con conseguente non omogeneità termica tra il mare e la terraferma; tale disomogeneità influenza le condizioni anemometriche sia nei flussi orizzontali che nei flussi verticali con dinamicità mediamente più accentuata che in altre aree. Per quanto riguarda i dati di piovosità, si evidenzia che nel 2010 sono stati registrati 143 giorni di pioggia per un totale di 1339 mm; questo dato è in sensibile aumento rispetto a quanto registrato nel 2005, quando i giorni di piovosità sono stati pari a 93 ed i mm di pioggia pari a 614. Il sostanziale aumento della piovosità annua registrato negli ultimi anni è indicato nelle tabelle che seguono.

Piovosità anno 2010 - Stazione meteo di Ardenza		
MESE	N. giorni	mm.
Gennaio	18	135
Febbraio	15	51
Marzo	11	46,8
Aprile	8	75,4
Maggio	13	177,4
Giugno	8	48
Luglio	2	81,8
Agosto	3	51,2
Settembre	12	147,6
Ottobre	12	140,4
Novembre	26	240,8
Dicembre	15	143,2
TOTALE	143	1338,6

Dati annuali di Piovosità - Stazione meteo di Ardenza		
Anno	n. giorni	mm.
2005	93	614
2006	74	489
2007	75	482
2008	115	836
2009	101	939
2010	143	1339

Analisi delle temperature mensili

Dall'analisi delle osservazioni termometriche giornaliere, siamo risaliti alle medie mensili di massima e di minima e da quelle alle cosiddette medie normali per un periodo dal 1924 al 1994. I valori relativi sono riassunti nella tabella sotto:

Mese	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
MEDIA	8.0°	8.6°	10.9°	13.7°	17.3°	21.2°	23.9°	23.6°	21.1°	17.0°	12.5°	9.2°

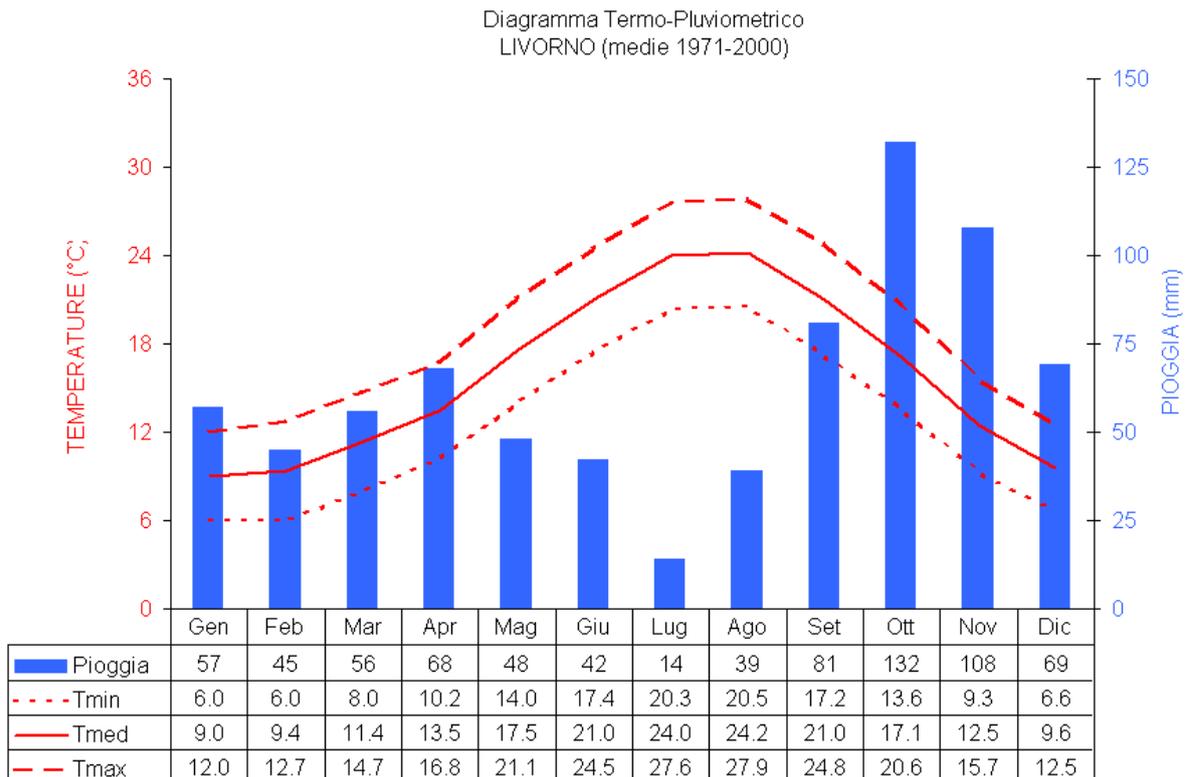
Il massimo della temperatura media normale si raggiunge nei mesi di luglio (23.9°C) ed agosto (23.6°C), mentre i minimi nei mesi di gennaio (8.0°C) e febbraio (8.6°C). L'andamento delle variazioni delle temperature medie normali si rende ancor più evidente dalla lettura del Grafico 38 di interpolazione in cui si forma una tipica curva "gaussiana" con unico massimo.

Per quanto attiene le temperature medie normali mensili è possibile notare che a Livorno si hanno autunni ed inverni poco rigidi, primavere piuttosto miti ed estati decisamente calde. Mediando i dati delle medie normali per i 12 mesi dell'anno si ottiene 15.3°C, al di sotto troviamo i mesi di novembre, dicembre, gennaio, febbraio, marzo e aprile; al di sopra i restanti mesi.

Raffronto dei dati pluviometrici e termometrici

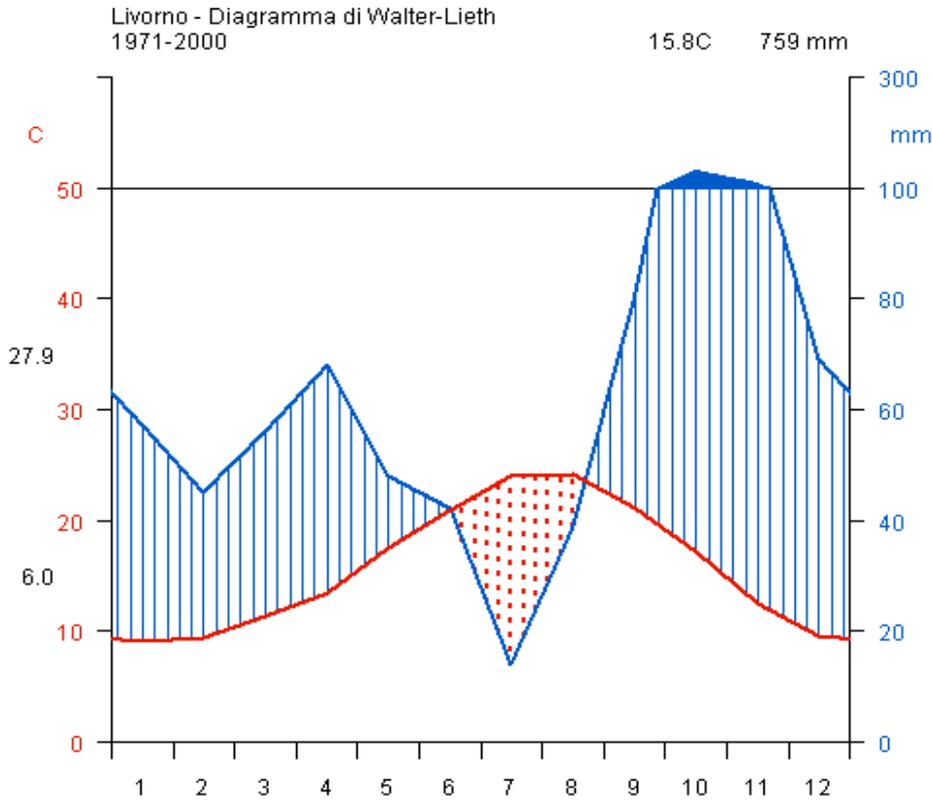
Abbiamo già detto che il clima è in pratica un complesso di condizioni che si verificano con il ripetersi sistematico dei fenomeni meteorologici, lo scienziato tedesco Koeppen ha stabilito un criterio di classificazione dei climi che può essere quantificato diagrammando l'andamento della temperatura e dei millimetri di precipitazione in funzione dei mesi dell'anno.

Proprio partendo da queste considerazioni, attraverso i dati delle medie mensili ottenute in sede di analisi termometrica e pluviometrica si è studiata una rappresentazione di raffronto nei grafici seguenti.



Le due curve in questione nella fig. sopra individuano un **clima mediterraneo** (Campo degli studi del Koeppen = **Ce**), in cui si ha un massimo delle precipitazioni nell'autunno inverno ed un massimo delle temperature nel bimestre luglio-agosto. Ne consegue un'alternanza di quattro stagioni caratterizzate da una inversa proporzionalità fra temperatura e pioggia.

INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE A SUPPORTO DEL "PIANO STRUTTURALE 2" DI LIVORNO
REVISIONE 1



Questa categoria di clima la ritroviamo in maniera tipica nel bacino del Mediterraneo, ma anche in California (USA), nel Cile centrale, nella Provincia del Capo (Sud Africa) e nella regione di Perth (Australia meridionale).

Il riscaldamento progressivo delle città, le direttrici delle perturbazioni atlantiche più dirette verso il quadrante Nord Occidentale dell'Italia, una mutazione dei canoni di circolazione dell'aria dal Golfo del Messico, l'incremento della temperatura delle masse oceaniche, sono tra i numerosi fattori che almeno nell'ultimo decennio hanno generato

quello che la popolazione avverte e percepisce anche a livello locale come un cambiamento climatico.

LIVORNO CLIMA 1971-2000	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	ANNO
Tmin 1 decade	5,6	6,4	7,1	9,9	12,6	16,8	19,6	21,2	18,0	15,0	10,7	6,9	
Tmin 2 decade	5,9	5,7	8,0	9,7	14,2	17,2	20,5	20,8	17,3	14,1	9,5	6,7	
Tmin 3 decade	6,3	6,0	8,9	10,9	15,0	18,3	20,8	19,7	16,5	11,9	7,7	6,4	
Tmin MEDIA (°C)	6,0	6,0	8,0	10,2	14,0	17,4	20,3	20,5	17,2	13,6	9,3	6,6	12,4
Dev. Std. T min (°C)	1,4	1,5	1,5	0,9	1,2	0,8	1,1	1,0	1,2	1,4	1,1	1,3	1,2
Tmax 1 decade	11,6	13,0	13,7	16,2	19,6	23,8	26,9	28,6	25,8	22,1	17,3	12,8	
Tmax 2 decade	11,9	12,2	15,0	16,6	21,1	24,2	27,6	28,2	24,9	21,1	15,8	12,6	
Tmax 3 decade	12,4	13,0	15,4	17,7	22,3	25,5	28,2	26,9	23,8	18,8	13,8	12,0	
Tmax MEDIA (°C)	12,0	12,7	14,7	16,8	21,1	24,5	27,6	27,9	24,8	20,6	15,7	12,5	19,2
Dev. Std. T max (°C)	1,3	1,6	1,3	0,7	1,7	1,3	1,3	1,1	1,3	1,2	1,1	0,9	1,2
Tmed 1 decade	8,6	9,7	10,4	13,1	16,1	20,3	23,3	24,9	21,9	18,6	14,0	9,8	
Tmed 2 decade	8,9	9,0	11,5	13,1	17,7	20,7	24,0	24,5	21,1	17,6	12,6	9,7	
Tmed 3 decade	9,3	9,5	12,2	14,3	18,7	21,9	24,5	23,3	20,2	15,4	10,8	9,2	
Tmed MEDIA (°C)	9,0	9,4	11,4	13,5	17,5	21,0	24,0	24,2	21,0	17,1	12,5	9,6	15,8
Dev. Std. T med (°C)	1,3	1,5	1,3	0,7	1,4	1,0	1,2	1,0	1,2	1,2	1,0	1,1	1,2
Pioggia (mm.)	57,0	45,0	56,0	68,0	48,0	42,0	14,0	39,0	81,0	132,0	108,0	69,0	759,0

INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE A SUPPORTO DEL "PIANO STRUTTURALE 2" DI LIVORNO
REVISIONE 1

Giorni di pioggia	7,4	6,2	6,4	7,9	5,4	4,4	1,9	3,1	5,4	8,5	8,6	7,5	73,0
-------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------

ESTREMI TERMICI	anno	
Tmin assoluta	-7,0	11/01/1985
Tmax assoluta	37,0	30/07/1983
giorni ghiaccio totali	2,0	1985
giorni ghiaccio max	2,0	1985
giorni gelo medi	3,0	
giorni gelo max	9,0	1985-1991
giorni T>34°C medi	0,0	
giorni T>34°C max	2,0	1992-1995
indice continentalità	15,2	

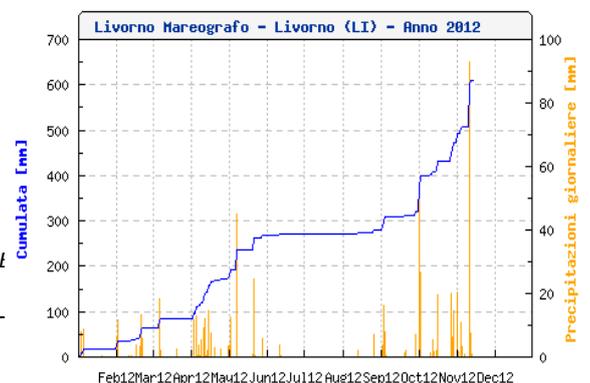
ESTREMI PLUVIOMETRICI	media	massima	anno
Anno	759,0	1164,0	1984
Primavera	172,0	273,0	1984
Estate	95,0	219,0	1971
Autunno	321,0	557,0	1993
Inverno	171,0	280,0	1984

Ondate di calore	Mesi				anno
	MAM	GLA	SON	DGF	
19710	0	0			0
19720	0	0	0		0
19730	1	0	0		1
19740	0	0	0		0
19750	0	0	0		0
19760	1	0	0		1
19770	0	1	0		1
19781	0	0	0		1
19790	1	0	0		1
19800	0	0	0		0
19812	1	0	0		3
19820	0	0	0		0
19830	1	0	0		1
19840	0	0	0		0
19850	0	0	0		0
19861	0	0	0		1
19870	0	1	0		1
19880	0	0	0		0
19890	1	0	0		2
19901	1	0	1		2
19910	0	0	1		1
19921	0	0	0		2
19930	0	0	1		1
19940	1	0	1		1
19950	1	1	0		2
19960	1	0	0		1
19970	0	0	0		0
19980	1	0	0		1
19990	0	0	0		0
20000	0	0	0		0
Totale	6	11	3	4	24

Ondate di freddo	Mesi				anno
	MAM	GLA	SON	DGF	
19711	0	0			1
19720	1	1	0		2
19731	0	0	0		2
19740	1	2	1		3
19751	0	1	0		2
19761	2	0	0		3
19770	2	1	0		3
19780	2	0	0		2
19790	0	0	1		1
19802	3	0	0		6
19810	2	1	2		4
19820	0	0	0		0
19830	0	0	0		0
19840	2	0	1		3
19850	0	0	1		1
19860	1	0	1		2
19872	1	0	0		3
19881	0	0	0		1
19890	0	0	0		0
19900	0	0	0		0
19911	0	0	2		4
19920	0	0	1		0
19931	0	1	0		2
19940	0	0	0		0
19950	0	0	0		0
19960	0	1	0		1
19971	0	0	0		1
19980	0	1	0		1
19990	0	0	1		1
20000	1	0	0		1
Totale	12	18	9	11	50

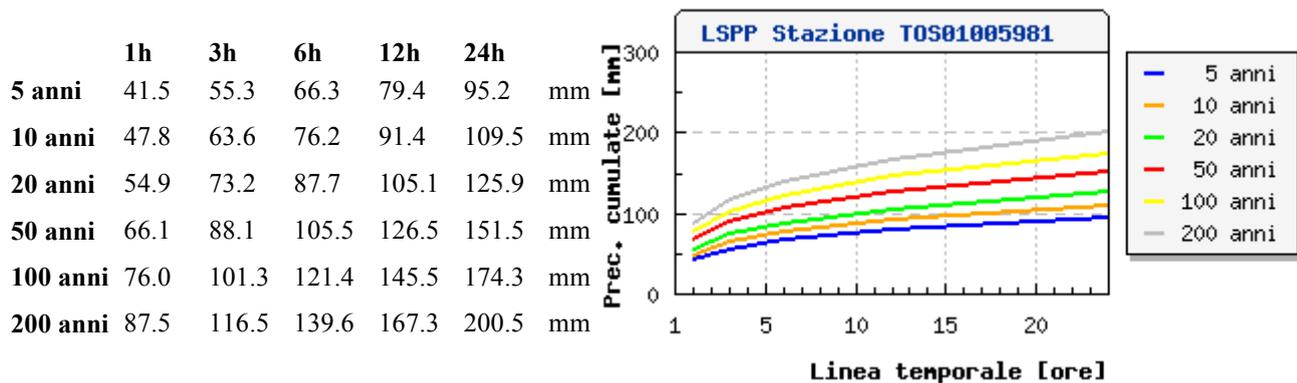
Questo comporta la manifestazione di eventi estremi: piogge abbondanti, talvolta con nuclei freddissimi di *splash rain* (bombe d'acqua) che si riversano su zone

STUDIO GEOLOGIA APPLICATA Dr. Geol. LUCA MAZZI



più calde (città abitate), escursioni termiche che abbassano o innalzano le temperature fino ad oltre 10 gradi nel solo giro di 24 ore, eventi di *storm sea* (mareggiate di particolare forza) oltre i nostri già conosciuti e storici libeccici che assumono forze davvero considerevoli.

Durata superiore a 1 ora: altezza di precipitazione in funzione di durata e tempo di ritorno
Coefficienti: a = 29.998, n = 0.261, m = 0.202



Dopo un 2010 molto piovoso, il 2011 si è confermato un anno decisamente secco con anomalie pluviometriche negative pari a circa il 40-45% (circa 300-350 mm) delle piogge che sarebbero dovute cadere in un anno.

Il 2012 si è dimostrato un anno con una piovosità nella media con un cumulo totale di 671 mm contro gli 800 che in media cadono a Livorno (circa il 15% in meno), confermando il trend negativo del 2011.

Nel 2012 eventi alluvionali hanno colpito territori lontani dai nostri corsi d'acqua come il Grossetano e Carrarese, ma piogge giornaliere con cumuli abbondanti sono cadute anche a Livorno dimostrando una buona tenuta del reticolo idrografico locale. Tuttavia queste precipitazioni causano sempre più un'erosione accentuata dei letti d'alveo soprattutto dei corsi d'acqua minori in ambito collinare (Montenero) e pedecollinare, provocando nel lungo periodo adattamenti morfologici del sistema spondale che richiedono costose manutenzioni puntuali straordinarie per tutelare le aree abitate.

Se a questo aggiungiamo un incremento pressoché costante di aree impermeabilizzate, aumenti di deflussi superficiali, forti diminuzioni di tempi di corrivazione, decrementi di portate su nodi che risultano critici per le acque (sottopassi, tubazioni, etc.) e una rete di fognatura bianca ormai vetusta, costantemente mantenuta con programmi di lavoro saltuari e senza una generale visione dei principali collegamenti con la città, l'aumento di forze endogene creano sempre più spesso effetti di crisi idraulica.

NB: Si rimanda allo Studio Idrologico-Idraulico, redatto dallo Studio Prima e costituente parte integrante delle indagini geologico-tecniche, per un maggiore dettaglio delle serie idrologiche e delle portate di piena associate ai vari tempi di ritorno relative ai corsi d'acqua del territorio comunale. Nel medesimo studio sono anche fornite le curve di possibilità climatiche aggiornate dalla regione Toscana ed utilizzate per le verifiche.

4 QUADRO CONOSCITIVO GEOLOGICO: EVOLUZIONE DEGLI STUDI

Negli anni immediatamente precedenti il periodo di elaborazione del presente lavoro, 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 in rete.

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-litologica 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 PS2 è essenzialmente la seguente:

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



fig. 4 Stralcio carta geolitologica PS vigente (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. .

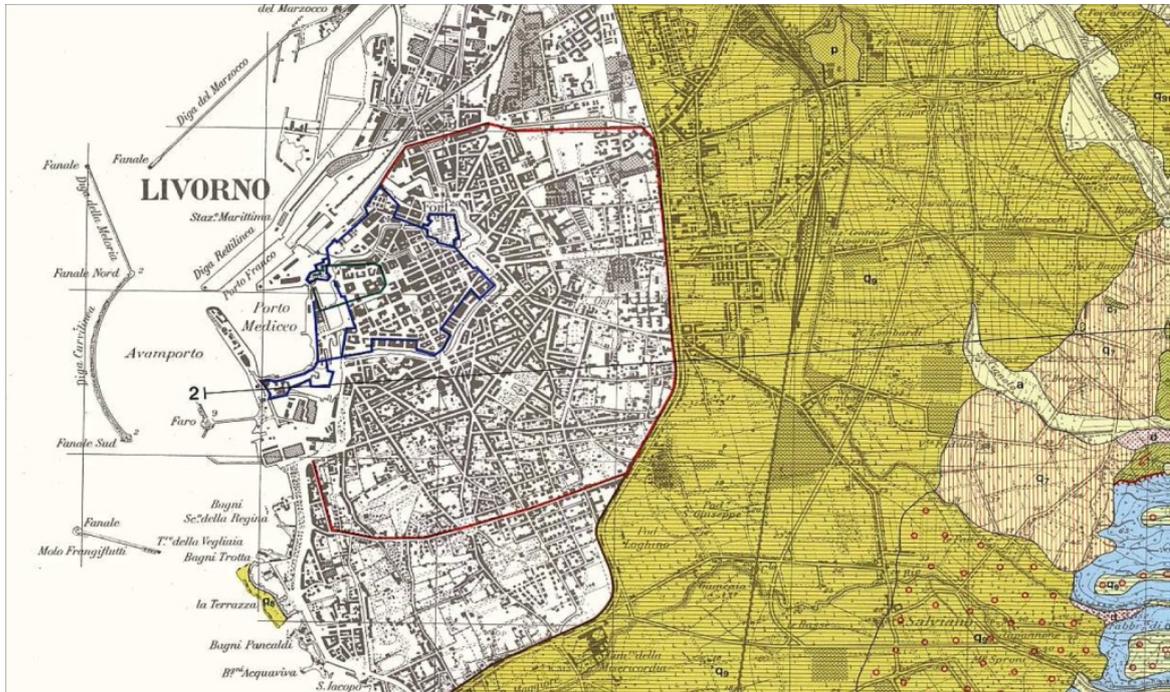


fig. 5 Stralcio Carta Geologica di Livorno e Collesalveti (Lazzarotto, Mazzanti et alii)

- 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 collimazione fra i fogli "costieri" (lato ovest) e quelli "collinari" (lato ovest). Tale fatto ha determinato nel presente lavoro un cospicuo lavoro di editing grafico iniziale per le modifiche.

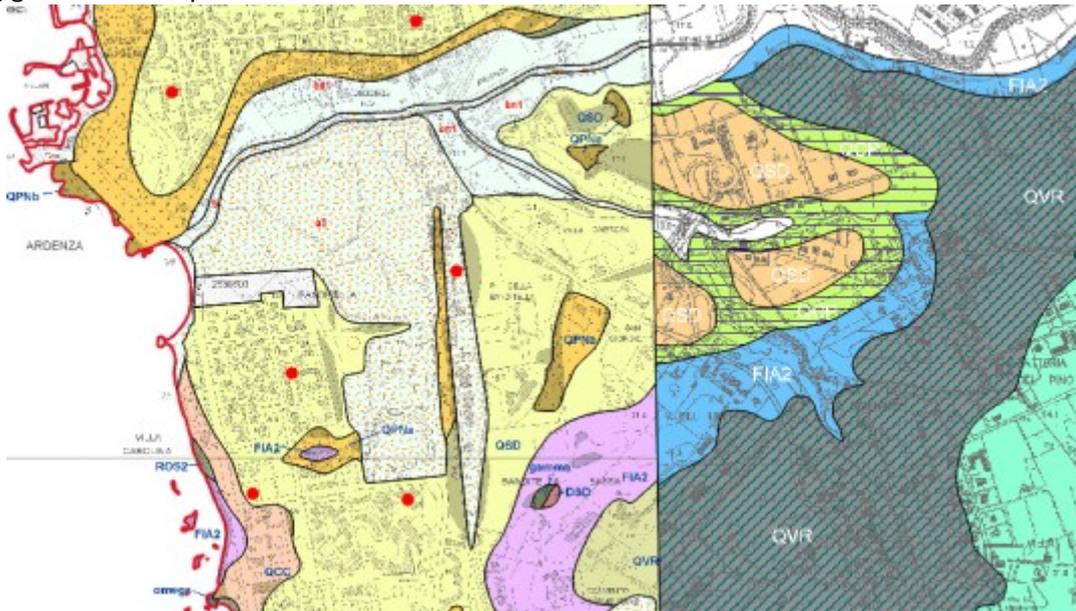


fig. 6 Stralcio di due fogli della progressa Carta Geologica regionale al 10000 con evidenza di parziale non collimazione

- 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 S. Giovanni Valdarno (FI). 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, nel presente lavoro, 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, come presente. Database "dinamico", reperibile sul sito internet regionale, con collegamenti a vari database istituzionali esterni.

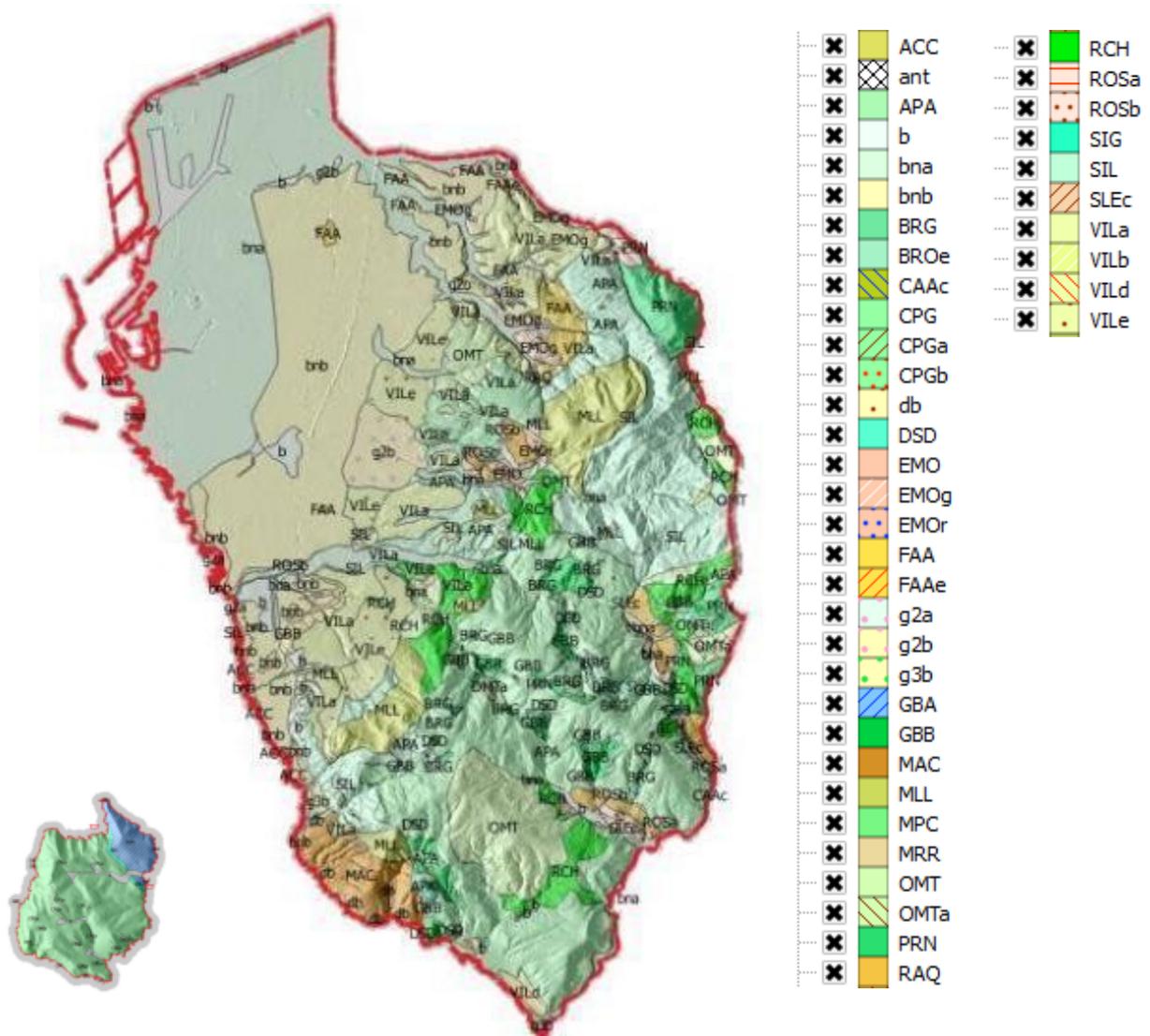


fig. 7 Ritaglio della cartografia geologica regionale (DBGR) sul confine del Comune di Livorno con sovrapposizione di 3D da dati LIDAR e colonna schematica della legenda informatizzata (isola di Gorgona in posizione non realistica). La Carta geologica di tav. 1 è stata aggiornata soprattutto per le formazioni pleistoceniche come da tab.A3 allegata.

4.1 APPROFONDIMENTI ESEGUITI

Da un esame della attuale Carta Geologica Regionale (che in realtà è a livello informatico racchiusa in uno o più layers del DBGR georeferenziato, avendo quindi abbandonato la originale suddivisione in fogli) si è percepito una insufficiente definizione e suddivisione dei litotipi per l'areale Livornese soprattutto in riferimento al Quaternario e più precisamente al Pleistocene, che rappresenta per Livorno il substrato geologico di principale edificazione dell'abitato.

Quindi si è operato per migliorare tale aspetto in primis, con la volontà di fornire un quadro di confronto fra le legende geologiche associate ai lavori pubblicati negli anni recenti e scientificamente rappresentativi, formando quindi **una legenda geologica "ad hoc" per la realtà livornese sintetizzata nella tabella 1 di pagina seguente.**

I criteri base di classificazione geologica per il PS2 (retino giallo in tab. 1) sono in sintesi elencati:

1) per le unità pre-quadernarie ci si è riferiti, ove possibile, alla legenda del DBGR (Database Geologico regionale) curato dalla Regione Toscana, mutuato dal precedente e recente "Continuum geologico regionale".

2) per le unità quadernarie si è 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 Collesalvetti, 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 nell'attuale DBGR.

La carta geologica da noi rielaborata con relativa legenda ha reso necessario una continua sovrapposizione delle precedenti cartografie per eliminare alcuni errori grafici attraverso editing diretto e modifica della tabella degli attributi sulla piattaforma GIS.

4.1.1 AGGIORNAMENTO E CORREZIONI ELEMENTI CARTOGRAFICI

Attraverso le foto aeree recenti si è inoltre aggiornato la cartografia topografica di base soprattutto per le opere marittime recenti (es. molo Italia, seconda vasca di colmata portuale, porticciolo del Chioma, etc..). Inoltre sono stati ulteriormente integrati a livello cartografico quei settori, soprattutto marittimi e costieri, ove le infrastrutture antropiche recenti di fatto obliterano completamente i pregressi affioramenti geologici impedendone il rilevamento.

CORREZIONI E MODIFICHE

In maniera speditiva si elencano le correzioni aggiuntive ai semplici accorpamenti e/o suddivisioni operati come da criteri elencati:

- TOLTE LE DIFFERENZE TRA ALCUNI DB (DUNE EOLICHE) E BNB (DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI) OVE L'ASSETTO STRATIGRAFICO E DEPOSIZIONALE NON GIUSTIFICAVA TALE DIFFERENZA, QUINDI RIFERITI A QSD DEL CARG.

- QCP (PANCHINA - CALCARENITI CASTIGLIOCELLO) IN FOGLI 284090 E 284130 SOSTITUISCE QPN (PANCHINA (IN FOGLI 283080 E 283120) MANTENENDO LE SUDDIVISIONI LITOLOGICHE A-B.

- QCS (CONGLOMERATI S STEFANO I LUPI) = QCC (CONGLOMERATI DEL CHIOMA) COME DA PROGRAMMA VEL IN FOGLI 283120 E 283080



TABELLA 1 - RIASSUNTIVA E DI CONFRONTO

FRA LA LEGENDA GEOLOGICA ELABORATA PER IL PS2 DI LIVORNO E LE VIGENTI CLASSIFICAZIONI

DBRG/CONTINUUM		PROGETTO CARG/VEL		LAZZAROTTO, MAZZANTI ET ALII		PS2 - REVISIONE PIANO STRUTTURALE	
SIGLA	Litologia e/o Formazione	SIGLA	Litologia e/o Formazione	SIGLA	Litologia e/o Formazione	SIGLA	Litologia e/o Formazione
DEPOSITI ANTROPICI							
ant	Area fortemente antropizzata	n.c.	Area fortemente antropizzata			ant	Area fortemente antropizzata
h5	Terreni di riporto, bonifica per colmata			di	discariche	h5	Terreni di riporto, bonifica per colmata
h3	Discariche di cave			di	discariche	h3	Discariche di cave
h1	Discariche per inerti e rifiuti solidi urbani					h1	Discariche per inerti e rifiuti solidi urbani
DEPOSITI ATTUALI E OLOCENICI							
b	Depositi alluvionali attuali	a3	Coperture detritiche indifferenziate			a3	Coperture detritiche indifferenziate
a3a	Detrito di falda					a3a	Detrito di falda
aa	Depositi di versante					aa	Depositi di versante
b2a	Depositi eluvio-colluviali					b2a	Depositi eluvio-colluviali
b	Depositi alluvionali attuali	b	Deposito alluvionale e fluvioglaciale attuale	a	Alluvioni	b	Depositi alluvionali attuali
g2a	Depositi di spiaggia	G2a	Depositi di spiaggia	s	Sabbie di spiaggia	g2a	Depositi di spiaggia
bna	Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati	f1	Travertino	tr	Travertini	f1a	Travertino e calcari continentali
		bn, bn1	Depositi alluvionali attuali o recenti, terrazzati e non terrazzati	a	alluvioni	bna	Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati
DEPOSITI PLEISTOCENICI							
db	Depositi eolici	QSD	Sabbie rosso arancio di Donoratico	q9	Sabbie rosse di Ardenza	QSD	Sabbie rosso arancio di Donoratico
VILb	Dep. continentali quaternari (Ruscignano-Villafranchiano)						
bnb	Depositi alluvionali terrazzati						
bnb	Depositi alluvionali terrazzati	QPN QPNa QPNb	Calcareniti sabbiose Castiglioncello	q8	Calcareniti sabbiose di Castiglioncello	QCP- QCPa QCPb	Calcareniti sabbiose di Castiglioncello (Panchina)
g3b	Depositi deltizi e di delta conoide sottomarina	QCP					
VILd	Dep. continentali quaternari (Ruscignano-Villafranchiano)						
bnb	Depositi alluvionali terrazzati	QBC	Breccie di Punta Casotto	q8	Calcareniti sabbiose di Castiglioncello	QBC	Breccie di Punta Casotto
		QCC	Conglomerato del Chioma	q8	Calcareniti sabbiose di Castiglioncello - litofacies conglomeratica	QCC	Conglomerato del Chioma
g2b	Depositi di spiaggia "panchina"	QCS	Conglomerato di S. Stefano	q8	Sabbie rosse di Ardenza - litofacies conglomeratica	QRM	Conglomerati di Rio Maggiore
		QRM	Conglomerati di Rio Maggiore	q9	Sabbie rosse di Ardenza - litofacies conglomeratica	QRM	Conglomerati di Rio Maggiore
VILe	Dep. continentali quaternari (Ruscignano-Villafranchiano)	VdG	Sabbie rosse di Val di Gori	q7	Sabbie rosse	VdG	Sabbie rosse Val di Gori
VILa	Dep. continentali quaternari (Ruscignano-Villafranchiano)	QPL	Formazione Casa Poggio ai Lecci	q6	Conglomerati sabbie e limi Casa Poggio ai Lecci	QPL	Formazione Casa poggio ai lecci
		QVR	Conglomerati di Villa Corridi		Come sopra - litofacies conglomeratica	QVR	Conglomerati Villa Corridi
PLEb	Argille, sabbie e limi marino-transizionali	ART	Sabbie e argille ad <i>Arctica</i>	q2	Sabbie e argille ad <i>Arctica</i>	ART	Sabbie e argille ad <i>Arctica Islandica</i>
DEPOSITI MARINI PLEISTOCENICI							
FAA	Argille azzurre	FAA	Argille azzurre	p	Argille azzurre	FAA	Argille azzurre
FAAe	Sabbie risedimentate nelle argille	FAAs	Sabbie di Mazzolla (nelle argille)	p	Argille azzurre	FAAe	Sabbie risedimentate nelle argille
DEPOSITI LACUSTRI E LAGUNARI POST-EVAPORITICI DEL MESSINIANO							
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
EMOg	Lenti di gesso	EMOg	Gessi di origine primaria e secondaria	m7	Gessi	EMOg	Lenti di gesso
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
DEPOSITI MARINI PRE-EVAPORITICI DEL MESSINIANO INFERIORE							
Rosb	Calcari e calciruditi	ROS5	Membro Calcari di Castelnuovo in Calcari di Rosignano	m4	Calcari di Castelnuovo	ROSb	Calcari e calciruditi
		ROS2	Membro Calcari dell'Acquabona in Calcari di Rosignano	m2	Calcari dell'Acquabona		
Rosa	Conglomerati	ROS4	Membro Conglomerati Villa Mirabella in Calcari di Rosignano	m3	Conglomerati di Villa Mirabella	ROSa	Conglomerati
RAQ	Argille e argille sabbiose	RAQ	Formazione Torrente Raquese	m5	Marne e marne argillose	RAQ	Argille e argille sabbiose
RAQg	Lenti di gessi	RSNg	Gessi (Formaz. Rio Sanguigna)	m7	Gessi	RAQg	Lenti di gessi
DEPOSITI LACUSTRI DEL TORTONIANO SUP.							
SLEC	Conglomerati e paraconglomerati	LUP	Conglomerati di Castello di Luppiano	m	Conglomerati rossi e verdi	SLEC	Conglomerati e paraconglomerati eterometrici moderatamente elaborati
DOMINIO LIGURE INTERNO UNITA' DI M. GOTTERO							
APA	Argille a Palombini	APA	Argille a Palombini	c2	Argille a Palombini	APA	Argille a Palombini
DSD	Diaspri	DSD	Diaspri	g	Radiolariti	DSD	Diaspri
BROe	Breccie ofiolitiche	OMEGA	Breccie ofiolitiche	n.c.	n.c.	BROe	Breccie ofiolitiche
BRG	Basalti	β	Basalti	Δ	Basalti	BRG	Basalti con strutture a pillow lava
GBB	Gabbri	γ	Plagiograniti	PG	Plagiograniti	PGR	Plagiograniti
		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 gabbridi e basalti
						DOMINIO LIGURE ESTERNO UNITA' FLYSCH A ELMINTOIDI, UNITA' DI OTTONE	
OMT	Flysch di Ottone Monteverdi	MTV	Formazione Monteverdi M.mo	c7	Flysch calcareo marnoso di Monteverdi	OMT	Flysch di Ottone Monteverdi
OMTa	Brecce di ofioliti	MTVo	Brecce dell'Olmaia	c7	Flysch calcareo marnoso di Monteverdi	OMTa	Litofacies Brecce di ofioliti in OMT
RCH	Argilliti e calcari Poggio Rocchino	PGR	Argilliti e calcari Poggio Rocchino	c6	Arenarie, siltiti e argilliti	RCH	Argilliti e calcari di Poggio Rocchino
						UNITA' DI M. MORELLO, UNITA' DI S.FIORA	
MLL	Formazione di M. Morello	MLL	Formazione di M. Morello	pe2	Flysch calcareo marnoso di Poggio S. Quirico	MLL	Formazione di M. Morello
SIL	Formazione di Sillano - S. Fiora	FIA2	Membro di Antignano in formazione S. Fiora (prevalente)	c5a	Argilliti varicolori del Fortulla Argilliti, arenarie, marne e siltiti (formazione di Antignano)	SIL	Formazione di Sillano - S. Fiora
		FIA1	Membro del Fortulla in f. S. Fiora (solo 1 affioramento)	c5b			
						DOMINIO SUBLIGURE UNITA' DI CANETOLO	
MRR	Marne di Marra	MRR	Marne di Marra	c5b	Formazione di Antignano	MRR	Marne di Marra
ACC	Argille e calcari di Canetolo	ACC	Argille e calcari di Canetolo	c5b	Formazione di Antignano	ACC	Argille e calcari di Canetolo
						DOMINIO TOSCANO FALDA TOSCANA	
MAC	Arenaria "Macigno"	MAC	Macigno	O	Flysch arenaceo di Calafuria	MAC	Arenaria "Macigno"
						ISOLA DI GORGONA UNITA' CON METAMORFISMO DI ALTA PRESSIONE UNITA' AD AFFINITA' OCEANICA	
GBA	Metabasalti	MPM	Metabasiti di Punta Maestra	Mb	Metabasiti di Punta Maestra	GBA	Metabasalti
SIG	Serpentiniti	SCM	Serpentiniti di Cala maestra	Σ	Serpentiniti di Cala maestra	SIG	Serpentiniti
						UNITA' AD AFFINITA' TOSCANA	
CPG	Calcescisti punta Gorgona	CPG	Calcescisti punta Gorgona	Cs	Calcescisti di Punta Gorgona	CPG	Calcescisti punta Gorgona
		PCM	Prasiniti di Cala Martina				
CPGa	Marmi grigi	CPGa	Marmi grigi	n.c.	n.c.	CPGa	Marmi grigi - Filoni in CPG
CPGb	Metareniti	CPGb	Metareniti	n.c.	n.c.	CPGb	Metareniti - Filoni in CPG
MPC	Metareniti di Cala di Pancia	MPC	Metareniti di Cala di Pancia	Ma	Metareniti di Cala di Pancia	MPC	Metareniti di Cala di Pancia

NOTE:

La legenda dei progetti CARG e VEL è stata sintetizzata in unica tabella con le unità litologiche e/o formazionali inserite in ordine di età crescente.

E' evidente la volontà di fornire un quadro di confronto fra le legende geologiche associate ai lavori pubblicati negli anni recenti e scientificamente rappresentativi.

Criteri base di classificazione per il PS2 (retino giallo) a seguito degli approfondimenti di indagine:

1) per le unità pre-quadernarie ci si è riferiti, ove possibile, alla legenda del DBGR (Database Geologico Regionale) curato dalla Regione Toscana, mutuato dal precedente e recente "Continuum geologico regionale".

2) per le unità quadernarie si è 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.

Fanno eccezione i depositi olocenici antropici e detritici (parte alta della tabella) già ben sviluppati nell'attuale DBGR.

Si omettono per brevità le età dei depositi, inserite nella Legenda Geologica completa interna al presente capitolo.

TAB. 1



4.2 ELABORAZIONE NUOVA LEGENDA GEOLOGICA

Come già accennato si è ritenuto di eseguire una "mediazione" ragionata delle varie classificazioni che mettesse in evidenza il più possibile le peculiarità stratigrafiche locali, con particolare riferimento alle formazioni pleistoceniche (ben descritte da Mazzanti e dal lavoro CARG/VEL).

Il lavoro è stato integrato con una originale tabella di raffronto fra le varie modalità di classificazione e/o accorpamento delle formazioni fornita nelle pagine precedenti (tab. 1)

LEGENDA GEOLOGICA PIANO STRUTTURALE 2

Base classificazione: analisi critica cartografia geologica di:
Carta geologica comuni Livorno e Collesalveti: Lazzarotto, Mazzanti, Nencini
Progetto CARG - Legenda programma VEL
"Continuum geologico" Regione Toscana anni 2013-2014
Nuovo Data base geologico Regione Toscana - aggiornamento 2015/2017

DEPOSITI QUATERNARI**DEPOSITI ANTROPICI****AREA FORTEMENTE ANTROPIZZATA (ant)**

Area dove la struttura antropica impedisce l'osservazione degli elementi geologici e geomorfologici

TERRENI DI RIPORTO, BONIFICA PER COLMATA (h5)**DISCARICHE DI CAVE (h3)****DISCARICHE PER INERTI E RIFIUTI SOLIDI URBANI (h1)****DEPOSITI OLOCENICI****COPERTURE DETRITICHE INDIFFERENZIATE (a3)**

Accumuli detritici di varia natura e granulometria

DETRITO DI FALDA (a3a)

Falde di detrito, anche a grossi blocchi, prevalentemente al piede delle pareti in roccia.

DEPOSITI DI VERSANTE (aa)

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

DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI (b2a)

Coperture di materiale a granulometria fine (limi e sabbie), con rari frammenti litoidi grossolani; processi di alterazione e/o trasporto di entità limitata o non precisabile

DEPOSITI ALLUVIONALI ATTUALI (b)**Mazzanti = a: alluvioni - CARG = b: Deposito alluvionale e fluvioglaciale attuale**

Ghiaie, sabbie e limi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione con ordinari processi fluviali
Olocene

DEPOSITI DI SPIAGGIA ATTUALI (g2a)**Mazzanti = s: Sabbie di spiaggia**

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

TRAVERTINO (f1a)**Mazzanti: n.c.**

Livelli concrezionali carbonatici intercalati ai depositi terrazzati. Affiora presso alveo Rio Cignolo in presenza delle Sabbie di Val di Gori (VDG) e in parte delle Sabbie di Donoratico (QSD).

DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI, TERRAZZATI E NON TERRAZZATI (bna)**Mazzanti = a: alluvioni - CARG: b, bn, bn1 - Depositi alluvionali recenti terrazzati e non terrazzati**

Ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali, granulometria variabile.
Olocene

DEPOSITI PLEISTOCENICI DEI TERRAZZI GLACIOEUSTATICI**SABBIE ROSSO ARANCIO DI DONORATICO (QSD)****Mazzanti=q9: Sabbie rosse di Ardenza**

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.

*Pleistocene sup.***CALCARENITI (PANCHINA) DI CASTIGLIONCELLO (QCP)****Mazzanti=q8: Calcareniti sabbiose di Castiglioncello - CARG: QCP, QPN**

Banchi di calcareniti grossolane e medie ben cementate alternate a sabbie di colore chiaro, e sabbie-limose e limi di colore bruno-rossiccio (rif. QSD e/o VDG). Localmente breccie costituite da clasti angolosi e subangolosi di argilliti e argilloscisti (Liguridi) di dimensioni variabili da centimetriche a decimetriche e isorientati, in matrice sabbioso-siltosa di colore bruno (cfr. Breccie di P.ta Casotto del progetto CARG, qui incorporate nella Panchina).

I banchi calcarenitici hanno spessori che variano dai 50cm ai 2m 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 10m.

Pleistocene sup.

CALCARENITI - LITOFACIES SABBIOSA (QCPa)**Mazzanti=q8: Calcareniti sabbiose di Castiglioncello - CARG: QPNa**

Litofacies di QCP caratterizzata da strati laminati di sabbie da medie a grossolane, ben cementate, di colore marrone chiaro, spessori 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 (cfr. QSD).

*Pleistocene sup.***CALCARENITI - LITOFACIES CONGLOMERATICA (QCPb)****Mazzanti=q8: Calcareniti sabbiose di Castiglioncello**

Litofacies di QCP caratterizzata da conglomerati clasto sostenuti, con matrice sabbiosa grossolana, in cui è visibile una stratificazione incrociata planare ad alto angolo. Si trovano spesso alternati alle sabbie della litofacies QCPa.

*Pleistocene sup.***BRECCE DI PUNTA CASOTTO (QBC)****Mazzanti=q8: Calcareniti sabbiose di Castiglioncello**

Unità costituita da 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 isorientati secondo una debole stratificazione immergente a NO e gli strati rappresentano delle sequenze finig up-ward decimetriche

*Pleistocene sup.***CONGLOMERATI DEL CHIOMA QCC****Mazzanti = q8 con rigato blu - CARG= QCC=QCS Conglomerato S. Stefano**

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

In questa unità sono stati ricompresi anche i Conglomerati di S. Stefano ai Lupi (QCS in CARG) in quanto ritenuti assimilabili a tutti gli effetti, come da programma VEL.

*Pleistocene sup.***CONGLOMERATI DI RIO MAGGIORE (QRM)****Mazzanti=q9 con cerchi rossi: Litofacies conglomeratica nelle Sabbie rosse di Ardenza**

Livelli di ghiaie poligeniche prevalentemente minute alternati a sabbie fini limose di colore rosso arancio (cfr. VDG). In effetti questa unità, pur caratterizzata da una propria litologia peculiare, è da considerarsi come una variazione deposizionale della più estesa formazione delle Sabbie di Val di Gori.

Ambiente deposizionale continentale analogo a quello di QSD (sopra); esclusa la natura eolica per i livelli a granulometria grossolana.

*Pleistocene sup.***SABBIE ROSSE DI VAL DI GORI (VDG)****Mazzanti = q7: Sabbie rosse**

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.

Pleistocene medio-sup.

FORMAZIONE DI CASA POGGIO AI LECCI (QPL)

Mazzanti = q6: Conglomerati sabbie e limi di Casa Poggio ai Lecci

Conglomerati a prevalenti ciottoli di quarziti ed anageniti, sabbie rosse e limi. Presenza di industrie del Paleolitico inferiore

Ambiente fluvio-palustre.

Pleistocene medio

CONGLOMERATI DI VILLA CORRIDI (QVR)

Mazzanti = q6 con cerchi rossi: Conglomerati di Villa Umberto I°

Conglomerati mal classati, rivestiti da incrostazioni carbonatico-arenacee, a clasti provenienti dalle formazioni del Dominio Ligure.

Ambiente deltizio.

Pleistocene inf. medio

DEPOSITI MARINI- PLEISTOCENICI

SABBIE E ARGILLE AD *Arctica Islandica* (ART) - NON AFFIORANTE

Mazzanti = q2 : Sabbie e argille ad *Arctica*

Sabbie fini di color giallo arancio, argille sabbiose, argille, con strati di calcareniti sabbiose, ricche di faune di ospiti freddi (*l'Arctica Islandica*, mollusco bivalve, è considerato un "ospite freddo" e fossile guida del Pleistocene Inferiore mediterraneo). Alle sabbie sono associate rare lenti conglomeratiche. Sormontano in genere i depositi argillosi (argille azzurre) del Pliocene (vedi comune di Collesalveti), mentre 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.

Pleistocene inferiore (Santerriano-Emiliano)

DEPOSITI MARINI- PLIOCENICI

ARGILLE AZZURRE (FAA)

Mazzanti = p: Argille azzurre

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

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

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 NE in sx idrografica del Torrente Ugione e un affioramento in loc. 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 in molti sondaggi eseguiti nei settori pianeggianti di Livorno, dove è stata intercettata da numerosi sondaggi geognostici.

Età: Zancleano-Piacenziano (Pliocene)

SABBIE RISEDIMENTATE ALL'INTERNO DELLE ARGILLE AZZURRE (FAAe)

Mazzanti = p:Argille Azzurre - CARG= FAAs: Sabbie di Mazzolla

Sabbie gradate da grossolane a medie di color giallo-ocra, risedimentate all'interno della formazione delle argille azzurre (vedi sopra FAA).

Età: Zancleano-Piacenziano (Pliocene)

DEPOSITI LACUSTRI E LAGUNARI POST-EVAPORITICI MESSINIANI

ARGILLE E ARGILLE MARNOSO-SABBIOSE CON LIVELLI E LENTI DI GESSI (EMO)

Mazzanti = m5 pars Marne e marne argillose - CARG = EMO Argille e gessi del fiume Era Morta

Dettaglio geolitologico: 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.

Ambiente lacustre e deltizio-lacustre.

Affiorano, insieme ai depositi lenticolari gessiferi (EMOg) e arenacei (EMOr) sott specificati, per lo più nel settore NE presso la parte alta del Rio Paganello e a Valle Lunga, secondariamente poco più a Sud in dx idrografica del Rio Maggiore e a Limoncino alto.

Messiniano sup. (Miocene sup.)

LENTI DI GESSI (EMOg)

Mazzanti = m7 pars Gessi

Intercalazione di lenti gessifere in EMO

Messiniano sup. (Miocene sup.)

SABBIE E CONGLOMERATI (EMOr)

Mazzanti = m8 Sabbie e conglomerati della Villa di Poggio Piano - CARG = EMO1 nome = m8

Sabbie e conglomerati intercalati in EMO

Messiniano sup. (Miocene sup.)

DEPOSITI MARINI PRE-EVAPORITICI MESSINIANI

CALCARI E CALCIRUDITI (ROSb).

1) Mazzanti: m2 Calcari dell'Acquabona - CARG: ROS2 Membro dei calcari dell'Acquabona

2) Mazzanti: m4 Calcari di Castelnuovo - CARG: ROS5 Membro dei Calcari di Castelnuovo

Calcari biocostruiti a coralli ed alghe rosse, associati a calciruditi e conglomerati.

Ambiente di acque basse, scogliera biocostruita.

Affiorano per lo più nel settore SE presso il Botro Quarata e intorno alla parte alta del Rio Popogna, inoltre nel settore centrale lungo la Valle Benedetta e presso loc. Limoncino alto.

Età: Messiniano inf. (Miocene sup.)

NB: Mazzanti indica m2-m4 come appartenenti alla Formazione del "Calcere di Rosignano"

CONGLOMERATI (ROSa)

Mazzanti: m3 Conglomerati di Villa Mirabella - CARG: ROS4 Membro dei Conglomerati di Villa Mirabella

Conglomerati a ciottoli medi e minuti ad abbondante matrice carbonatica.

Affiorano nei medesimi settori di Rosb (Calcari e calciruditi) sopra descritti e nel settore NE in prossimità della confluenza del Borro dell'Arme nel Torrente Ugione (dx idrografica)

Età: Messiniano inf. (Miocene sup.)

NB: Mazzanti indica m3 come appartenente alla Formazione del "Calcare di Rosignano"

ARGILLE E ARGILLE SABBIOSE (RAQ).

Mazzanti: m5 (p.p.) Marne e marne argillose - CARG: RAQ: Formazione del Torrente Raquese

Argille e argille sabbiose grigie (argille a *Pycnodonte Auctt* p. p.) con fossili marini.

Ambiente marino di piattaforma.

Affiorano nel settore SE (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 loc. Limoncino alto).

Età: Messiniano inf. (Miocene sup.)

LENTI DI GESSI (RAQg)

Mazzanti: m7 (pars) - CARG: RSNg: Gessi (Formazione Rio Sanguigna).

Gessi di origine primaria e secondaria.

Ambiente marino-deltizio e lagunare evaporitico

Sono rilevati 4 affioramenti, uno lungo il Rio Paganello (rif. coordinate GB 1610428,4823249) e gli altri presso la Valle Benedetta, dx idrografica del Rio Maggiore, loc. Limoncino alto.

Età: Messiniano inf. (Miocene sup.)

DEPOSITI LACUSTRI DEL TORTONIANO SUP.**CONGLOMERATI E PARACONGLOMERATI ETEROMETRICI MODERATAMENTE ELABORATI CON CIOTTOLI E MATRICE ARROSSATI (SLEc).**

Mazzanti: m Conglomerati rossi e verdi - CARG= LUP – Conglomerati di Castello di Luppiano

Conglomerati poco organizzati, eterometrici, con ciottoli e matrice arrossati. Gli elementi sono scarsamente elaborati, prevalentemente di calcare siliceo (tipo Palombino), di ofioliti e diaspri.

Ambiente di deposizione fluviale.

Si rilevano pochi affioramenti di questa unità, per lo più nel settore SE lungo il Botro Quarata e più a Nord lungo la Valle Benedetta in loc. Limoncino.

Tortoniano sup. - Messiniano inf. (Miocene sup.)

DOMINIO LIGURE

DOMINIO LIGURE INTERNO

UNITÀ DI M. GOTTERO

ARGILLE A PALOMBINI (APA)

Mazzanti: c2

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.

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 centro-meridionale. A tale formazione sono associate - non esclusivamente - numerose aree franose attive e quiescenti, coerentemente con la litologia argillitica e l'assetto caotico, facilmente deteriorabili dagli agenti esogeni.

Età: Cretaceo inf.

DIASPRI (DSD)

Mazzanti = g Radiolariti

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 SE che nel settore SO del Comune e si rinvengono sempre associati alle ofioliti. A NO di Quercianella c'è l'affioramento più importante e lungo la strada litoranea poco dopo la curva che intercetta il torrente Rogiolo, un taglio facilmente visibile a monte della carreggiata.

Età: Giurassico sup. (Oxfordiano Medio-Sup/Titoniano Sup); MALM

BRECCIE OFIOLITICHE (BROe)

Mazzanti: n.c. - CARG: Omega

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

Affiorano in un unico spot, nel piccolo promontorio che divide la Spiaggia di Cabianca dalla Spiaggia della Tamerice, rif. coordinate G.B. 1606689,4817663

Età: Giurassico sup

BASALTI CON STRUTTURE A PILLOW-LAVA (BRG)

Mazzanti = Δ - CARG = β

Basalti massicci, basalti con struttura a *pillow lava*, breccie basaltiche.

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

Età: Giurassico sup.

PLAGIOGRANITI (PGR)**Mazzanti = PG - CARG = γ**

Questa unità corrisponde alla parte superiore di una sequenza Serpentinite-Gabbro e risulta sormontata, in apparenza tettonicamente, dalle Argille a Palombini.

Si tratta di 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 gabbri al limite con le coperture basaltiche.

Gli affioramenti principali sono presso Poggio Caprone e il Romito (rif. coordinate GB 1618446,4816996); si riscontrano inoltre due modesti affioramenti ravvicinati nel settore NO fra Fosso Vallenga e Rio Paganello (rif. coordinata G.B. 1612428, 4822924).

E' stata datata radiometricamente a 162 e 171 Ma.

Età: Giurassico sup.

GABBRI CON FILONI BASICI (GGB).**Mazzanti = Gamma - CARG = ϵ**

Metagabbri e brecce di metagabbro, interessate da metamorfismo di tipo oceanico. La formazione è costituita prevalentemente da Mg-gabbri (troctoliti e olivingabbri) 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).

Giurassico sup.

PERIDOTITI SERPENTINIZZATE CON FILONI GABBRICI E BASALTICI (PRN).**Mazzanti = CARG = Sigma Serpentiniti**

Rocce ultramafiche con filoni di gabbri 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 NO (fra Botro dell'Arme e Torrente Ugione) e a Sud Est (fra SP Valle Benedetta e Botro delle Piastraie).

NOTA: rispetto alla cartografia di Mazzanti sono stati rilevati nuovi affioramenti nel settore Orientale prossimo al Chioma.

Giurassico

DOMINIO LIGURE ESTERNO UNITA' DEI FLYSCH A ELMINTOIDI, UNITA' DI OTTONE

FLYSCH DI OTTONE-MONTEVERDI (OMT).**Mazzanti = c7 Flysch calcareo marnoso di Monteverdi - CARG = MTV Formazione di Monteverdi****Litofacies Brecce ad elementi ofiolitici (OMTa)****CARG = MTVo - Brecce dell'Olmaia**

Calcari, calcari marnosi, marne ed argilliti calcaree torbiditiche con intercalazioni di arenarie e siltiti; sporadiche brecce di ofiliti. Ambiente pelagico in facies torbiditica.

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

Età: Cretaceo sup. – Paleocene inf.

ARGILLITI E CALCARI DI POGGIO ROCCHINO (RCH).

Mazzanti = C6 Arenarie, siltiti e argilliti - CARG = PGR

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.

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

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

Età: Albaniano - Campaniano

UNITÀ DI M. MORELLO, UNITA' DI S. FIORA

FORMAZIONE DI M. MORELLO (MLL).

Mazzanti = pe2 Flysch calcareo marnoso di Poggio S. Quirico

Flysch calcareo, costituito dall'alternanza di strati di calcari e calcari marnosi bianchi e grigio chiari, a base calcarenitica, e livelli di argilliti.

Ambiente marino profondo.

Affiora secondo una lineazione che attraversa tutto il perimetro comunale, a partire da SE (area di Montenero) fino a NO (settore Monte la Poggia), in accordo con l'assetto tettonico generale delle unità antiche livornesi.

Paleocene sup. – Eocene medio

FORMAZIONE DI SILLANO - S. FIORA (SIL)

Mazzanti = C5a Argilliti varicolori del Fortulla e C5b Formazione di Antignano - CARG= FIA1 (solo un affioramento) o FIA2 (prevalente)

Argilliti grigio-brune, calcareniti, marne e siltiti, calcari marnosi a grana fine, con livelli di brecce e debris flow. Litologia e granulometria estremamente variabili. Ambiente marino profondo.

Rappresenta uno degli affioramenti più estesi, con direttrice media SO-NE. 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).

Cretaceo sup. - Paleocene

DOMINIO SUBLIGURE UNITA' DI CANETOLO

MARNE DI MARRA (MRR)

Mazzanti = C5b Argilliti, arenarie, marne e siltiti (Formazione di Antignano)

Marne siltose grigie, con viarggio 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.

Oligocene

ARGILLE E CALCARI DI CANETOLO (ACC).

Mazzanti = C5b Argilliti, arenarie, marne e siltiti (Formazione di Antignano)

Argilliti grigio scure o nerastre con intercalazioni di calcilutiti, calcareniti e calcari marnosi in strati discontinui per boudinage; livelli di breccie a matrice argillosa ad elementi di calcari, marne e calcari marnosi. All'interno della successione subligure non sono state distinte in carta le unità di arenarie torbiditiche, probabilmente correlabili rispettivamente alle unità Bratica e Aveto.

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 Marroccone, 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.

Paleocene inf.-Eocene

DOMINIO TOSCANO FALDA TOSCANA

MACIGNO (MAC)

Mazzanti = O Flysch arenaceo di Calafuria

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.

Unica formazione del Dominio Toscano, 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.

Oligocene sup. – Miocene inf

----AFFIORAMENTI PRESSO ISOLA DI GORGONA---- UNITA' CON METAMORFISMO DI ALTA PRESSIONE

UNITÀ AD AFFINITÀ OCEANICA (UNITA' DI CALA GRANDE)

METABASALTI (GBA).

Mazzanti= Mb Metabasiti di Punta maestra -CARG=MPM Metabasiti di Punta Maestra

Metabasalti di colore verde scuro, massicci e/o con relitti di strutture a *pillow* e in subordine metagabbri, prasiniti variamente listate.

Unità ofiolitica di ambiente oceanico profondo (fossa). Affiorano presso Punta Maestra

Età: Giurassico

SERPENTINITI (SIG)

Mazzanti= Σ: Serpentiniti di Cala maestra - CARG= SCM Serpentiniti di Cala maestra

Serpentiniti, serpentinoscisti, scisti ad antigorite e scisti a tremolite-actinolite. In subordine matagabbri e metabasalti milonitizzati.

Trattasi di peridotiti intensamente metamorfizzate nei processi tettonici.

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

Età: Giurassico

UNITÀ AD AFFINITÀ TOSCANA (UNITÀ DI CALA PIATTI)

CALCESCISTI DI PUNTA GORGONA (CPG).

Mazzanti=Cs Calcescisti di Punta Gorgona - CARG CPG (idem) e PCM Prasiniti di Cala Martina

Calcescisti di colore grigio scuro, filladi grigie e grigio-bluastre associate a metapeliti nere e metarenarie (CPGb). Micascisti di colore grigio e grigio-bluastro, marmi a silicati (CPGa), quarziti grigio-verdastre e cloritoscisti di colore verde lucente.

Costituiscono la quasi totalità dello scheletro dell'Isola di Gorgona, ad eccezione delle estremità NE (GBA) e SO (MPC). Rocce metamorfiche ad affinità toscana differenziate da quelle ad affinità oceanica (GBA e SIG).

Età: Cretaceo

MARMI GRIGI (CPGa)

Mazzanti= n.c.

Marmi grigi a silicati. Affiorano in filoni all'interno dei calcescisti

Età: Cretaceo

METARENITI (CPGb)

Mazzanti= n.c.

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

Affiorano in filoni all'interno dei calcescisti

Età: Cretaceo

METARENITI DI CALA DI PANCIA (MPC).

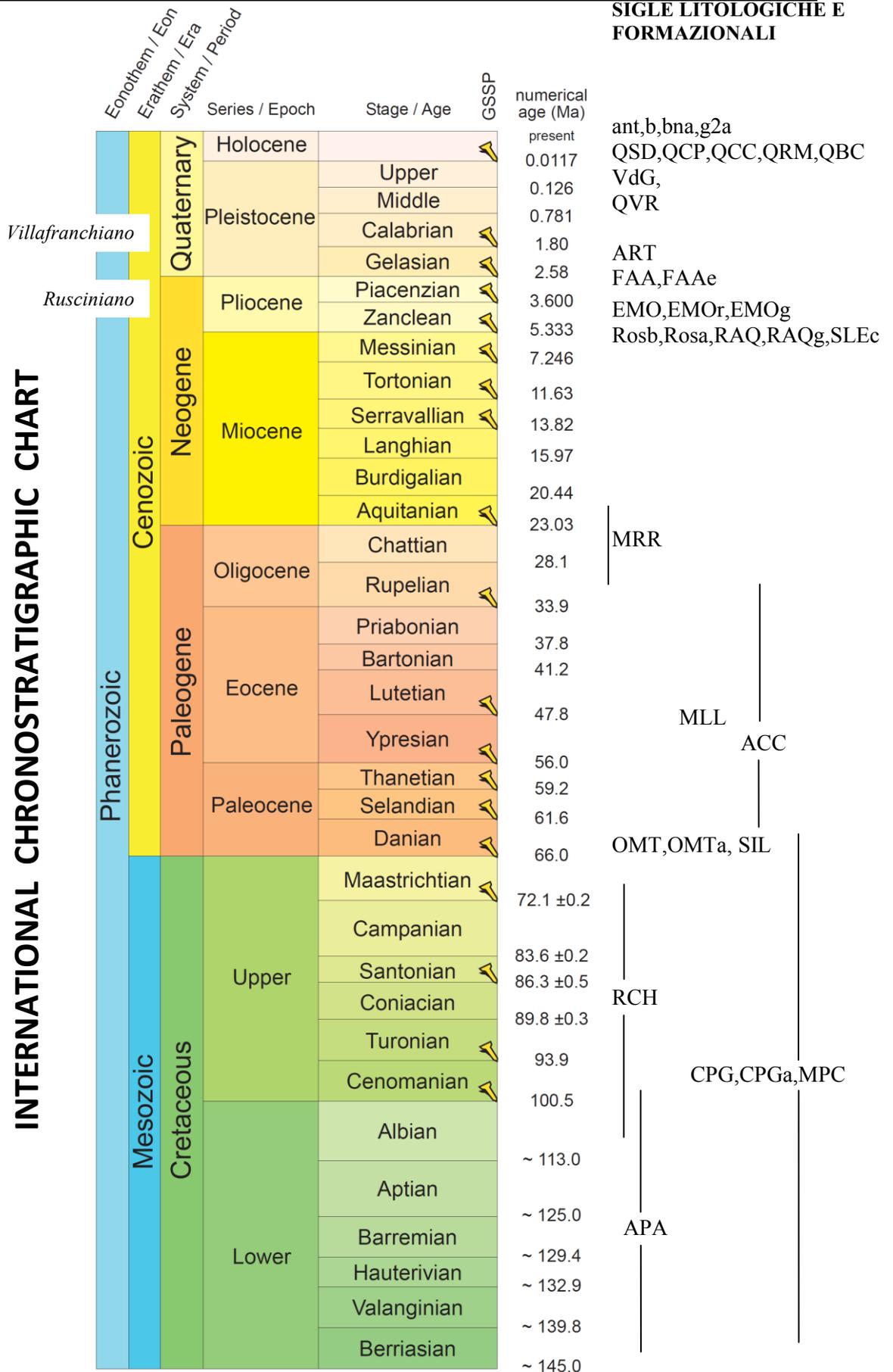
Mazzanti = Ma Meta-areniti di Cala di Pancia - CARG = MCP Metareniti di cala Pancia

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 SO dell'Isola e in due piccoli scogli affioranti.

Età: Cretaceo

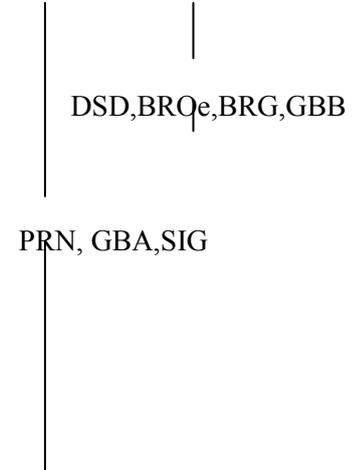
Fig. 9 - Trasposizione unità affioranti sulla INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART



INTERNATIONAL CHRONOSTRATIGRAPHIC CHART

Eonothem / Eon		Erathem / Era		System / Period		Series / Epoch	Stage / Age	GSSP	numerical age (Ma)	
Phanerozoic	Mesozoic	Jurassic	Upper	Tithonian					~ 145.0	
				Kimmeridgian					152.1 ±0.9	
				Oxfordian					157.3 ±1.0	
			Middle	Callovian						163.5 ±1.0
				Bathonian						166.1 ±1.2
				Bajocian						168.3 ±1.3
			Lower	Aalenian						170.3 ±1.4
				Toarcian						174.1 ±1.0
				Pliensbachian						182.7 ±0.7
		Sinemurian						190.8 ±1.0		
		Hettangian						199.3 ±0.3		
		Triassic							201.3 ±0.2	
		Paleozoic	Triassic	Upper	Rhaetian					~ 208.5
					Norian					~ 227
					Carnian					~ 237
	Middle			Ladinian						~ 242
				Anisian						247.2
				Olenekian						251.2
	Permian			Lopingian	Induan					252.17 ±0.06
					Changhsingian					254.14 ±0.07
					Wuchiapingian					259.8 ±0.4
			Guadalupian	Capitanian						265.1 ±0.4
				Wordian						268.8 ±0.5
				Roadian						272.3 ±0.5
	Carboniferous		Cisuralian	Kungurian					283.5 ±0.6	
				Artinskian					290.1 ±0.26	
				Sakmarian					295.0 ±0.18	
		Asselian						298.9 ±0.15		
		Pennsylvanian		Upper	Gzhelian					303.7 ±0.1
					Kasimovian					307.0 ±0.1
Middle	Moscovian						315.2 ±0.2			
Mississippian	Lower	Bashkirian					323.2 ±0.4			
		Serpukhovian					330.9 ±0.2			
		Visean					346.7 ±0.4			
Tournaisian						358.9 ±0.4				

SIGLE LITOLOGICHE E FORMAZIONALI



4.3 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 pedecolinare, 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 "**calcare 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.

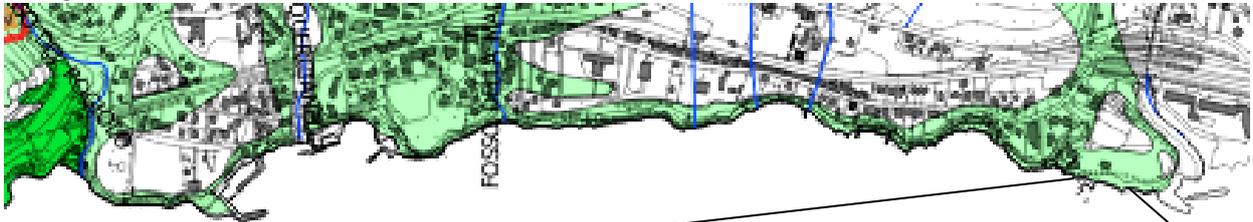
Per questa complessità di sedimentazione si hanno continue variazioni verticali e rapidi passaggi laterali nel pacco di terreni più superficiali.

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**, per lo più sabbioso-argilloso-limosi (tipicamente le **Sabbie rosse di Donoratico** e le **Sabbie di Val di Gori**, quindi le Sabbie e **Argille ad Artica**, 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 centro-settentrionale dai sedimenti miocenici (conglomerati, ofioliti, rocce gessose) e pliocenici (argille azzurre).

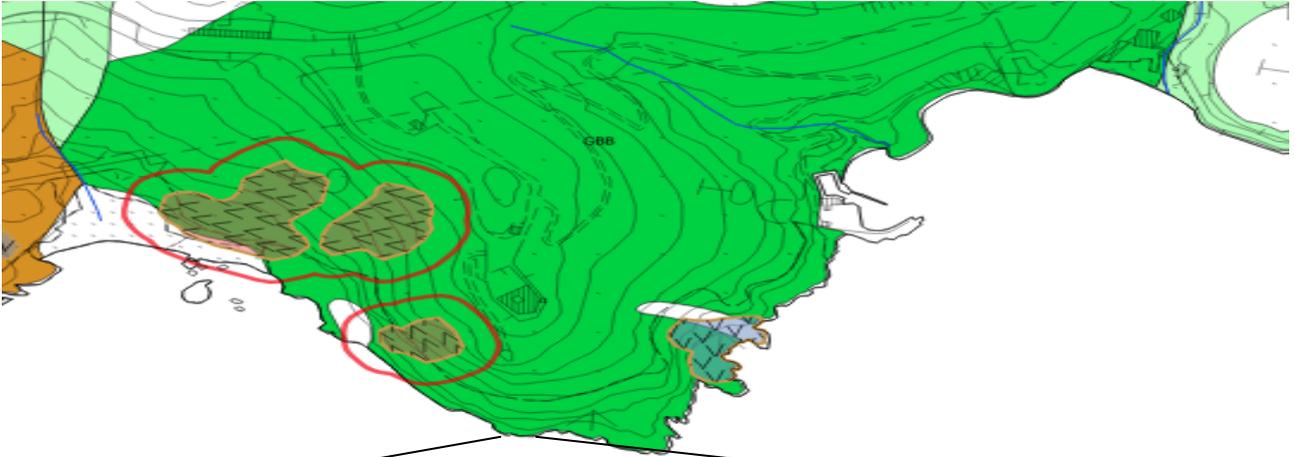
4.3.1 AFFIORAMENTI LUNGO LA COSTA:

Lungo la costa gli affioramenti principali sono visibili a partire dalla foce del Chioma fino alla Spiaggia della Tamerice e sono così suddivisibili:

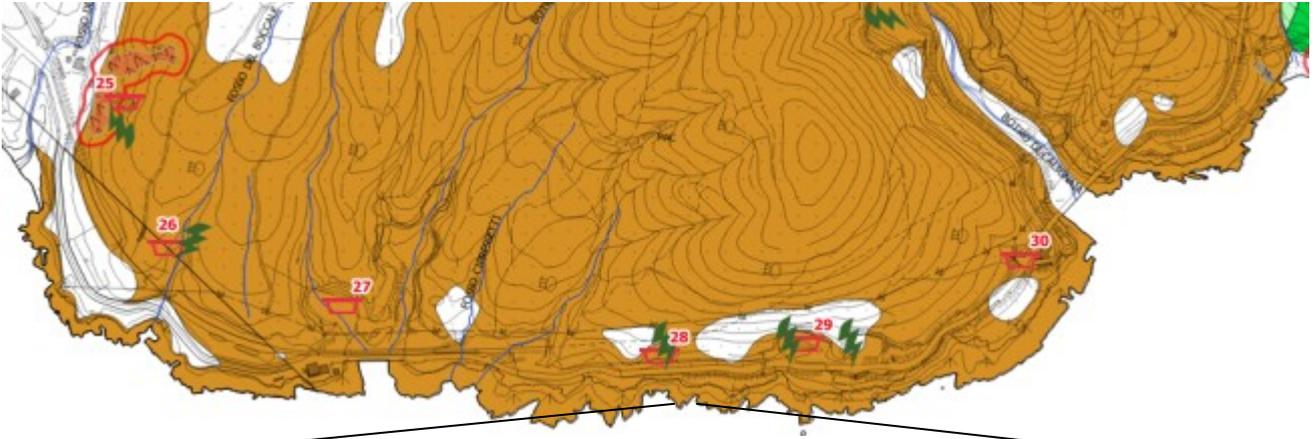
1) Dalla Foce del Rio Chioma fino alla foce del Torrente Rogiolo: Argilliti a Palombini (APA), in verde chiaro nella figura e nelle due foto successive:



2) Dalla foce del Torrente Rogiolo fino alla Cala del Leone: Gabbri con filoni basici (GBB), in verde scuro nella figura sotto e nelle due foto successive:

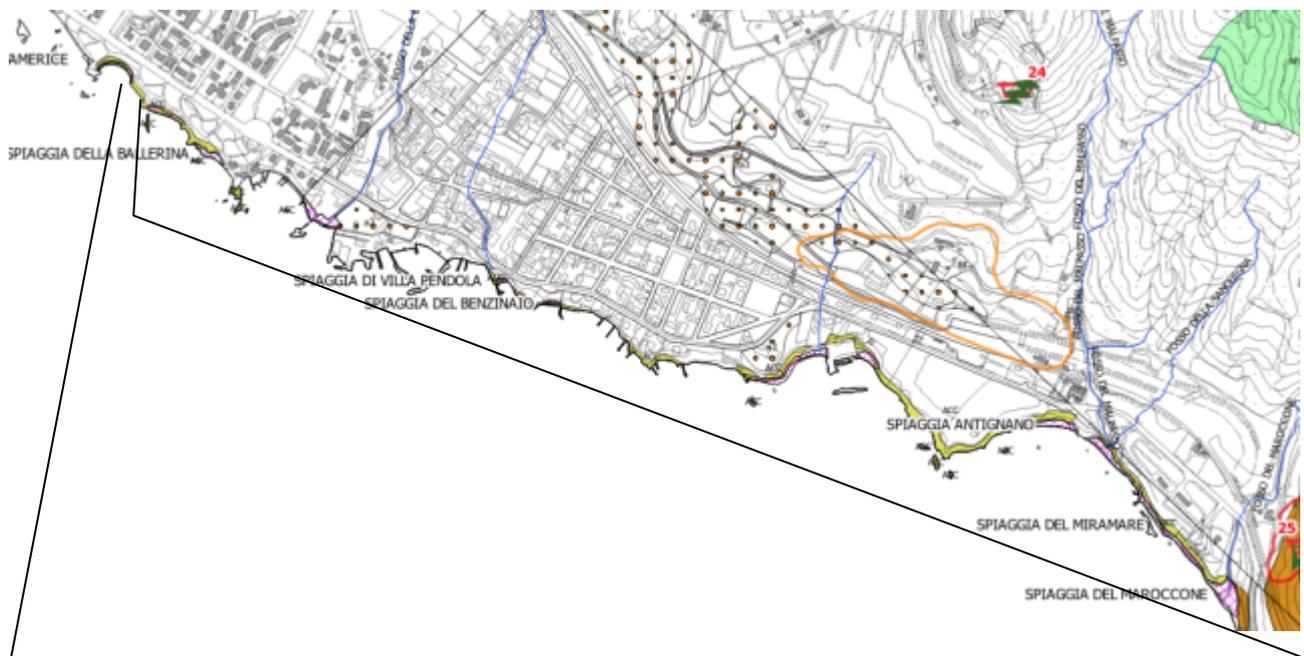


3) Dalla Cala del Leone alla foce del Rio Maroccone: Arenaria "Macigno" (MAC), in marrone chiaro nella figura sotto e nelle due foto successive:





4) 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



Infine, chiudono la complessa sequenza stratigrafica del livornese, i depositi di età olocenica: si tratta principalmente di alluvioni recenti dei corsi d'acqua, depositi di spiaggia, sedimenti palustri alluvionali e di colmata. Questi ultimi occupano tutta l'area bassa a settentrione della città, fra il bordo del terrazzo (la cosiddetta Gronda dei Lupi) e lo Scolmatore dell'Arno, nell'area depressa di Ponte Ugione, legati alla deposizione nell'antico golfo esistito in tempi protostorici ed etrusco-romani tra la Livorno medicea e la Fattoria Suese. La scarsa compattazione determina una tendenza al fenomeno della subsidenza.

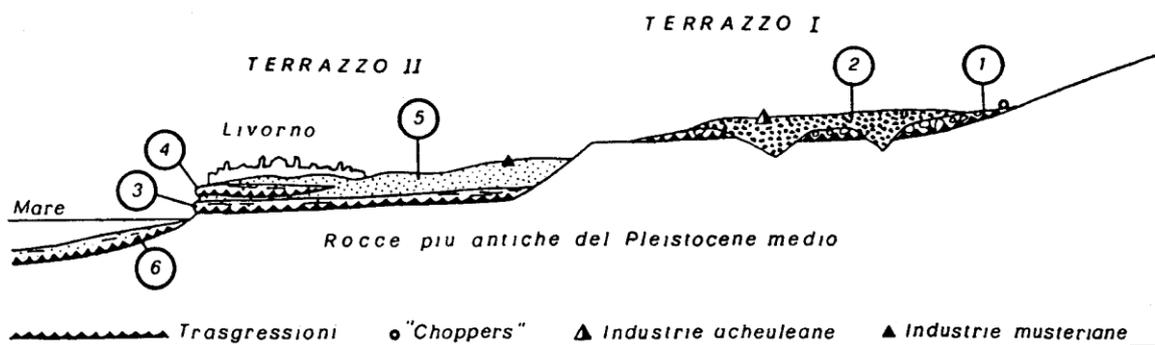
Le unità litologiche e formazionali sono singolarmente descritte nel dettaglio all'interno della **LEGENDA** già sviluppata nelle pagine precedenti. Ad essa si rimanda per ogni particolare necessario.

4.4 SINTESI ASSETTO STRATIGRAFICO

In sintesi: 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'areale Livornese mostra la seguente successione conosciuta:

- 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'uomo ha aggiunto cospicue coltri di riporto in direzione Ovest a supporto dell'ampliamento dei settori portuali recenti.**
- Un complesso quaternario che caratterizza la **Piana di Livorno**, costituito dai sedimenti marini della fascia costiera (sabbie e argille ad Arctica) 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

Nella fig. 10 sotto uno schema classico (Mazzanti) dei terrazzamenti livornesi .



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.



Nella fig. sopra: placca di Panchina pleistocenica (terrazzo 1) sopra le argilliti a Palombini

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

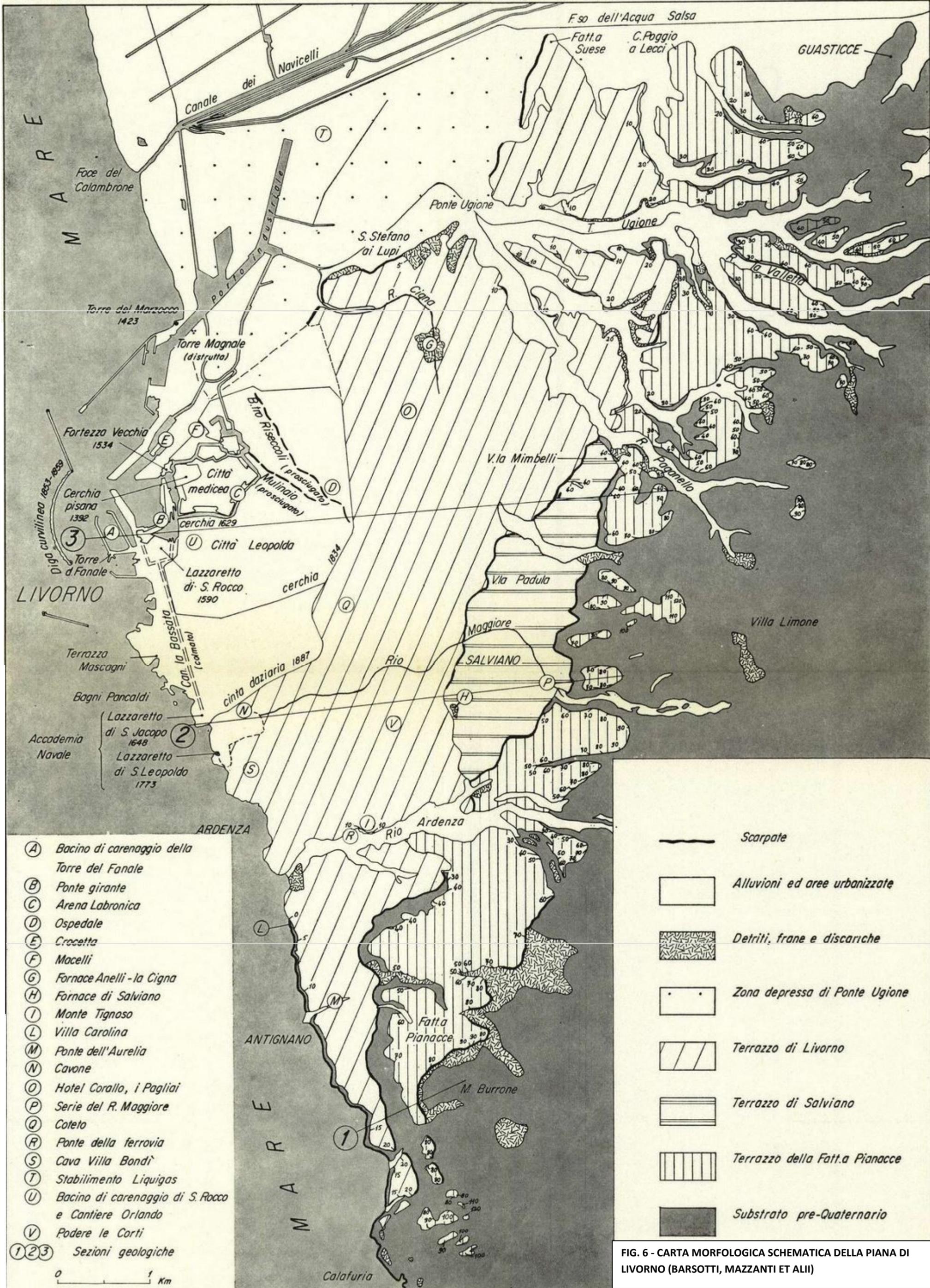


FIG. 6 - CARTA MORFOLOGICA SCHEMATICA DELLA PIANA DI LIVORNO (BARSOTTI, MAZZANTI ET ALII)

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

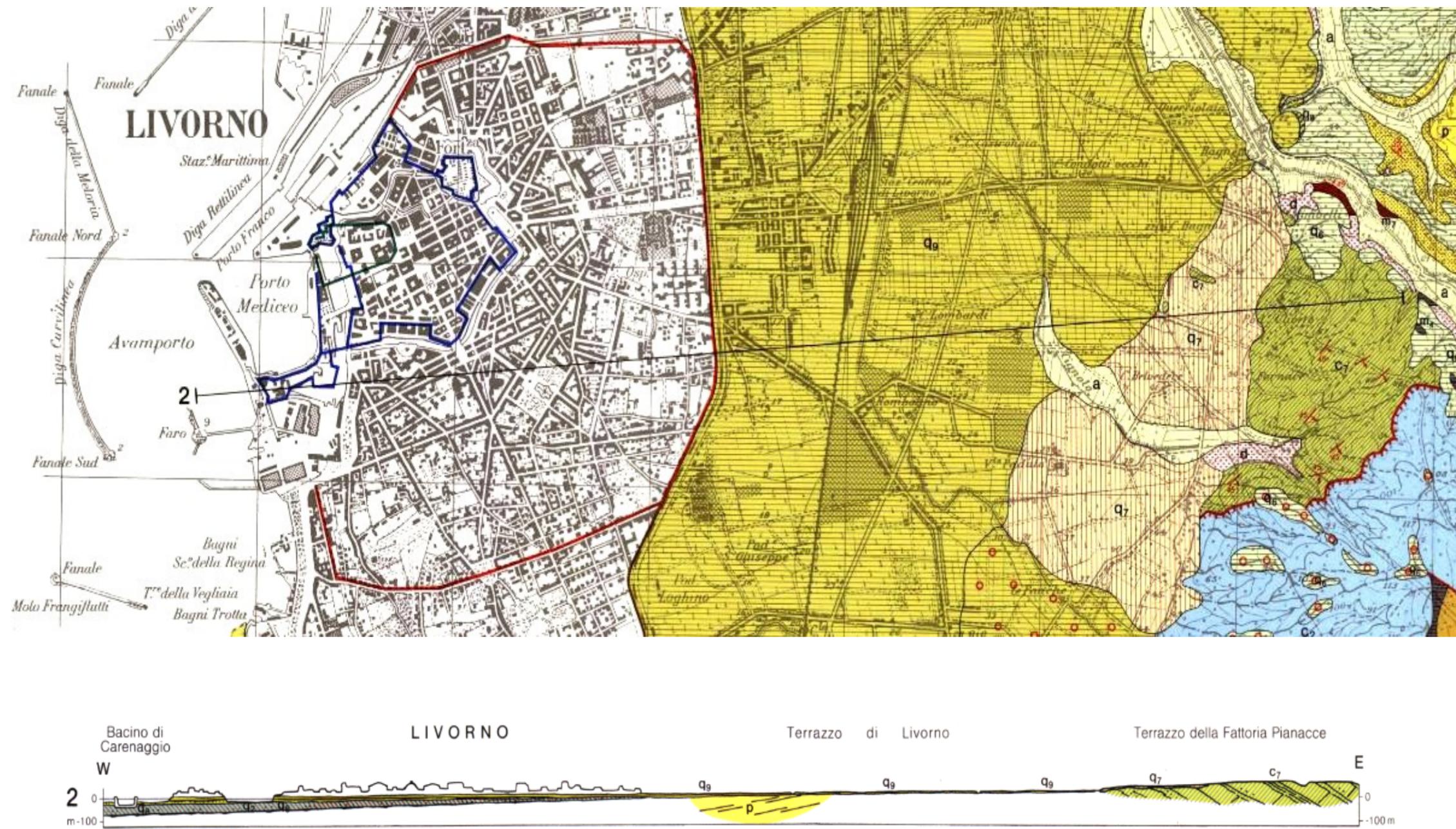


Fig. 11: Sezione geologica interpretativa W-E attraverso l'area portuale (Lazzarotto, Mazzanti et alii)

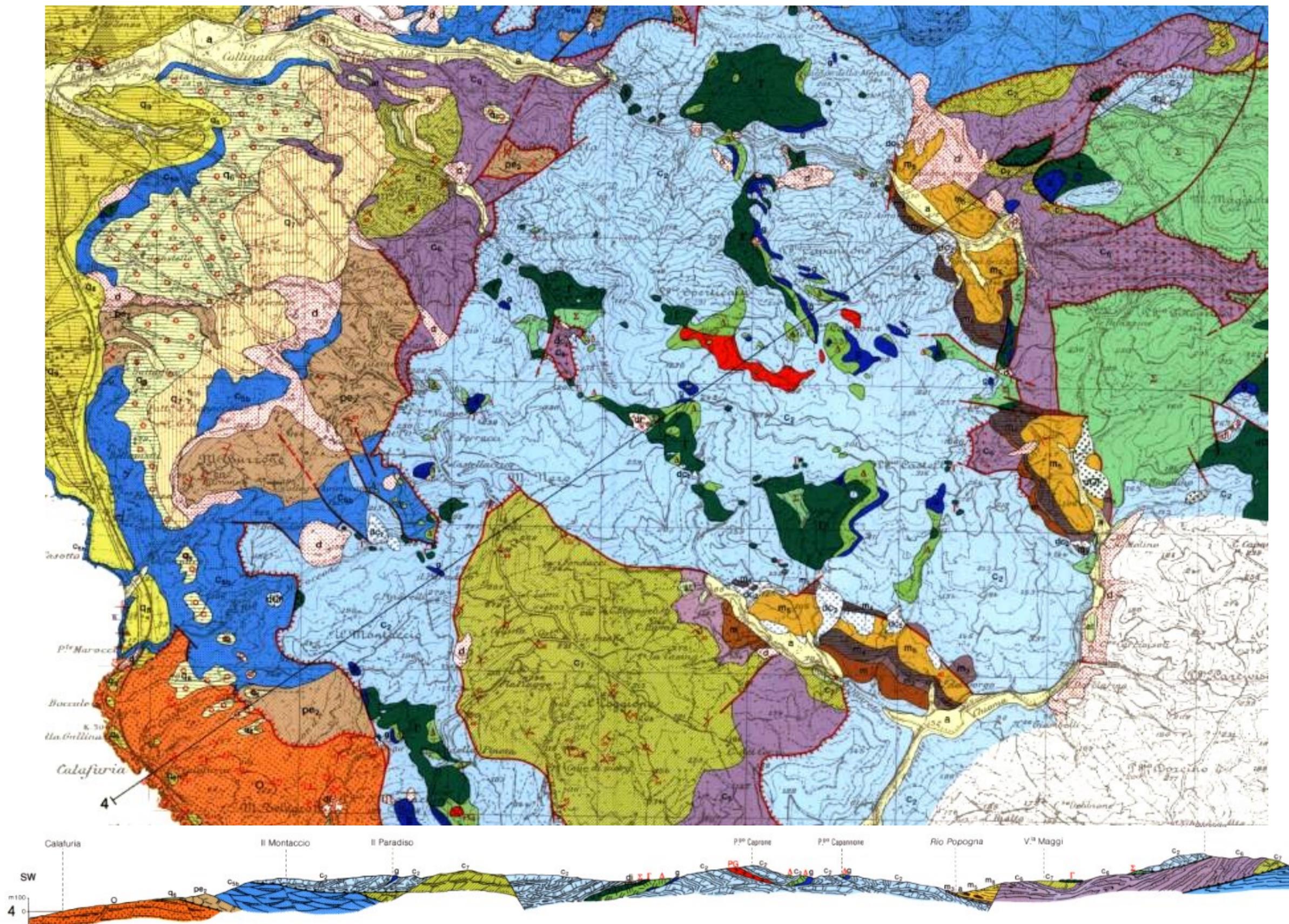


Fig. 12: sezione geologica interpretativa SW-NE attraverso l'area collinare a partire da Calafuria (SW). (Lazzarotto, Mazzanti et alii)

4.5 APPROFONDIMENTI SULLE UNITA' STRATIGRAFICHE DELLA PIANA DI LIVORNO

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 Dall'Antonia, Ciampalini, Michelucci, Zanchetta, Bossio e Bonadonna (2004)** che illustra i principali risultati emersi da uno studio multidisciplinare condotto su 15 sondaggi guida effettuati nell'area di Livorno.

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

L'interpretazione stratigrafica dei 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 Santerniano-Emiliano.

Tuttavia la successione pleistocenica risulta caratterizzata da due unità riconosciute per la prima volta. In un sondaggio effettuato in prossimità della scarpata "Gronda dei Lupi" sono stati incontrati 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

Qui di seguito vengono descritte sinteticamente le Unità stratigrafiche riconosciute nello studio:

UNIT 1

Questa Unità stratigrafica che compare in prossimità del bordo della Gronda dei Lupi e, naturalmente verso l'interno della città di Livorno, comprende due sub-Unit: la 1A caratterizzata da sabbie limose e argille azzurre-grigie con limi argillosi e la 1B in cui sono incluse alternanze di limi-sabbiosi, sabbie medie-fini ed argille con sabbie grossolane. Dalle associazioni di Ostracodi rilevati alla Sub- Unit 1A è stato conferita l'età del Pleistocene Inferiore, mentre le faune rintracciate nella Sub-Unit 1B suggeriscono il Pleistocene Inferiore. Le microfaune presenti indicano che i sedimenti della Sub-Unit 1A si sono depositi in un ambiente a normale salinità con locali influenze di fresh-brackish waters, mentre la Sub-Unit 1B è caratteristica di una non favorevole condizione paleo-ambientale riferibile probabilmente ad brackish water setting.

L' Unità 1 ha una certa corrispondenza – seppure non precisa - con quella studiata dal Mazzanti, Barsotti nel 1974 per lo Studio del bacino di carenaggio in cui si rilevava che a questo primo orizzonte appartengono i sedimenti del 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 antico¹¹:

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 oca. 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.)

UNIT 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 rintracciamento delle faune ad Ostracodi indicano una deposizione nel Pleistocene Inferiore; nel particolare sembrerebbero essere attribuibili al Siciliano.

La paleogeografia di questo spessore evidenzia un caratteristico ambiente marino con caratteristiche di vicinanza della linea di costa con condizioni euhaline.

UNIT 3

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

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

UNIT 4

Consiste in un'alternanza di limi-argillosi grigi-azzurri e sabbie. Il Radiocarbonio data alcuni frammenti di legno presenti nello spessore, intorno ai 40.700 yr BP, ma non viene escluso un rimaneggiamento di questi materiali. Questa Unità sembra essere posizionata tra il Terrazzo di Livorno e la Pianura di Pisa.

Dall'analisi paleontologica emerge che è più recente dell'Unità 6 e comunque sempre attribuibile al Pleistocene superiore.

UNIT 5

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

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

UNIT 6

Questa Unità comprende limi sabbiosi e limi argillosi con sabbie. In alcuni sondaggi questa Unità è usualmente caratterizzata da molluschi di acqua fresca (e.g. Bithynia, Ancyclus e Pisidium) e da forme di terra (e.g. Carychium, Vertigo, Vallonia, Punctum, Limax e Testacella). Sono rappresentati anche in parte Ostracodi di acqua fresca come Ilyocypris e Candona, Pseudocandona compressa (Koch) e subordinatamente Cyclocypris laevis (Muller) e Pseudocandona spp. Nei livelli superiori sono ancora presenti forme terrestri rappresentate da Carychium, Vallonia, Discus e Monacha. Il solo mollusco di acqua fresca è rappresentato da Lymnea

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

UNIT 7

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

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

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

Un altro studio molto interessante e più recente è quello pubblicato nel 2004 da A. Bossio, A. Ciampalini, A.C. Colonese, S. Da Prato, A. Rafanelli, G. Zanchetta "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* Sensu 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.

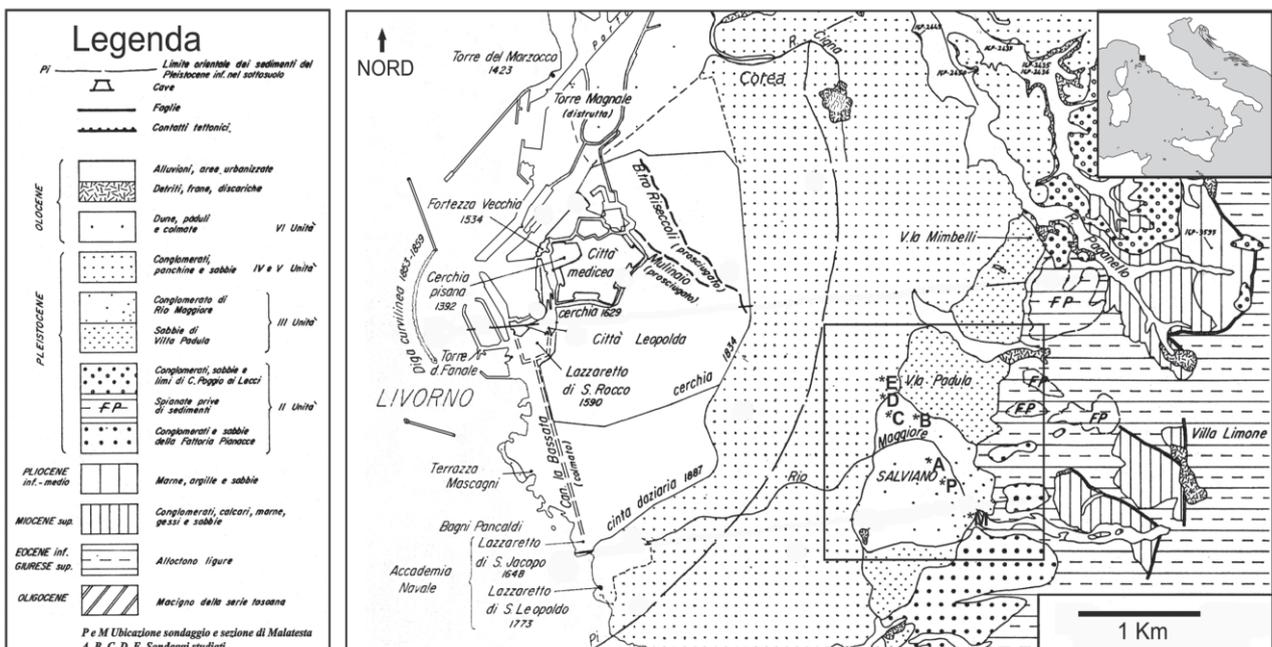


Fig. 13 - ubicazione zona di studio

INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE A SUPPORTO DEL "PIANO STRUTTURALE 2" DI LIVORNO
REVISIONE 1

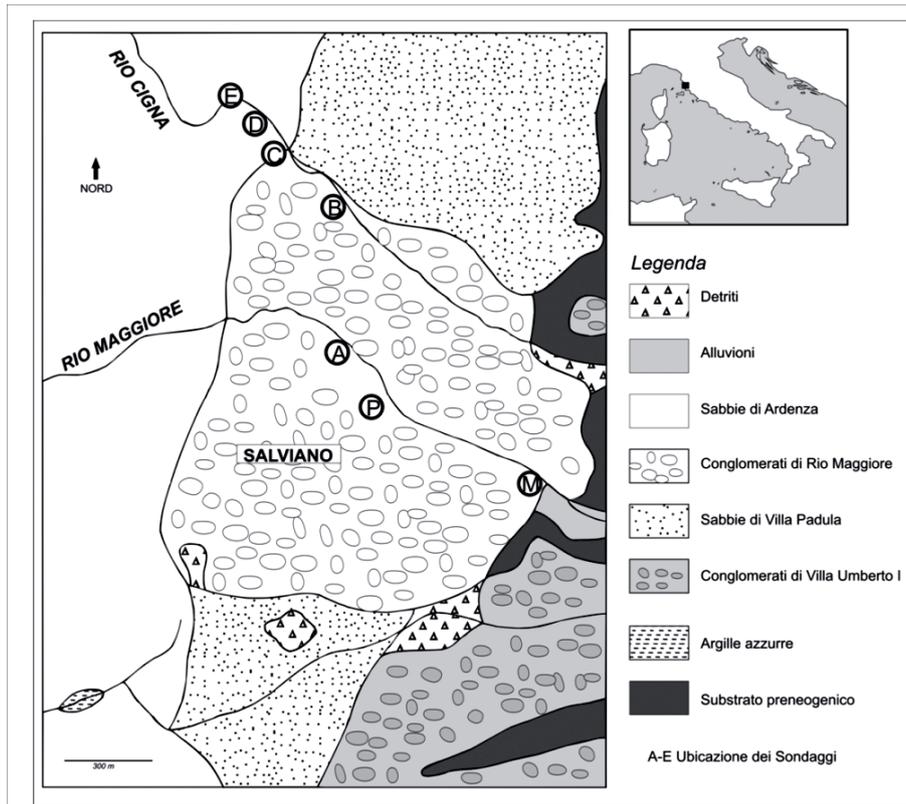


Fig. 14 -DETTAGLIO UBICAZIONE SONDAGGI. Si noti in legenda la denominazione riferita alle formazioni della Carta Geologica di Lazzarotto e Mazzanti. Ci troviamo sul Terrazzo di Salviano.

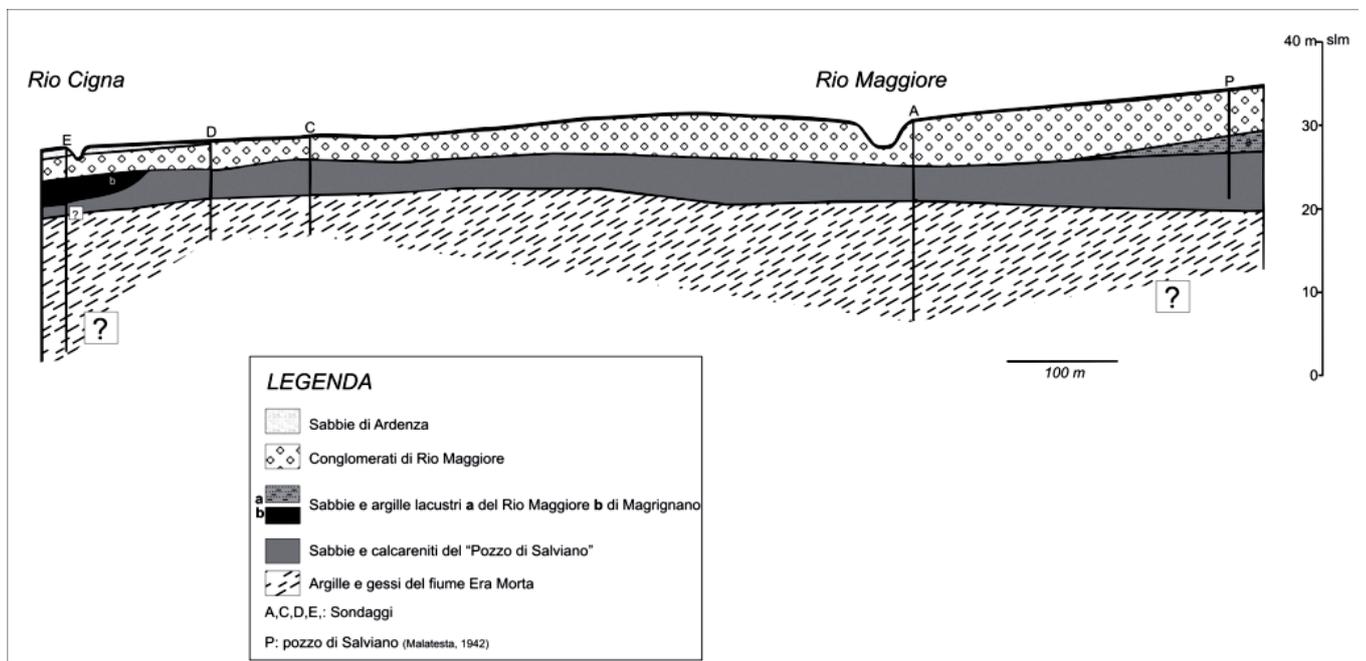


Fig. 15 -Sezione geologica schematica della zona di Salviano.

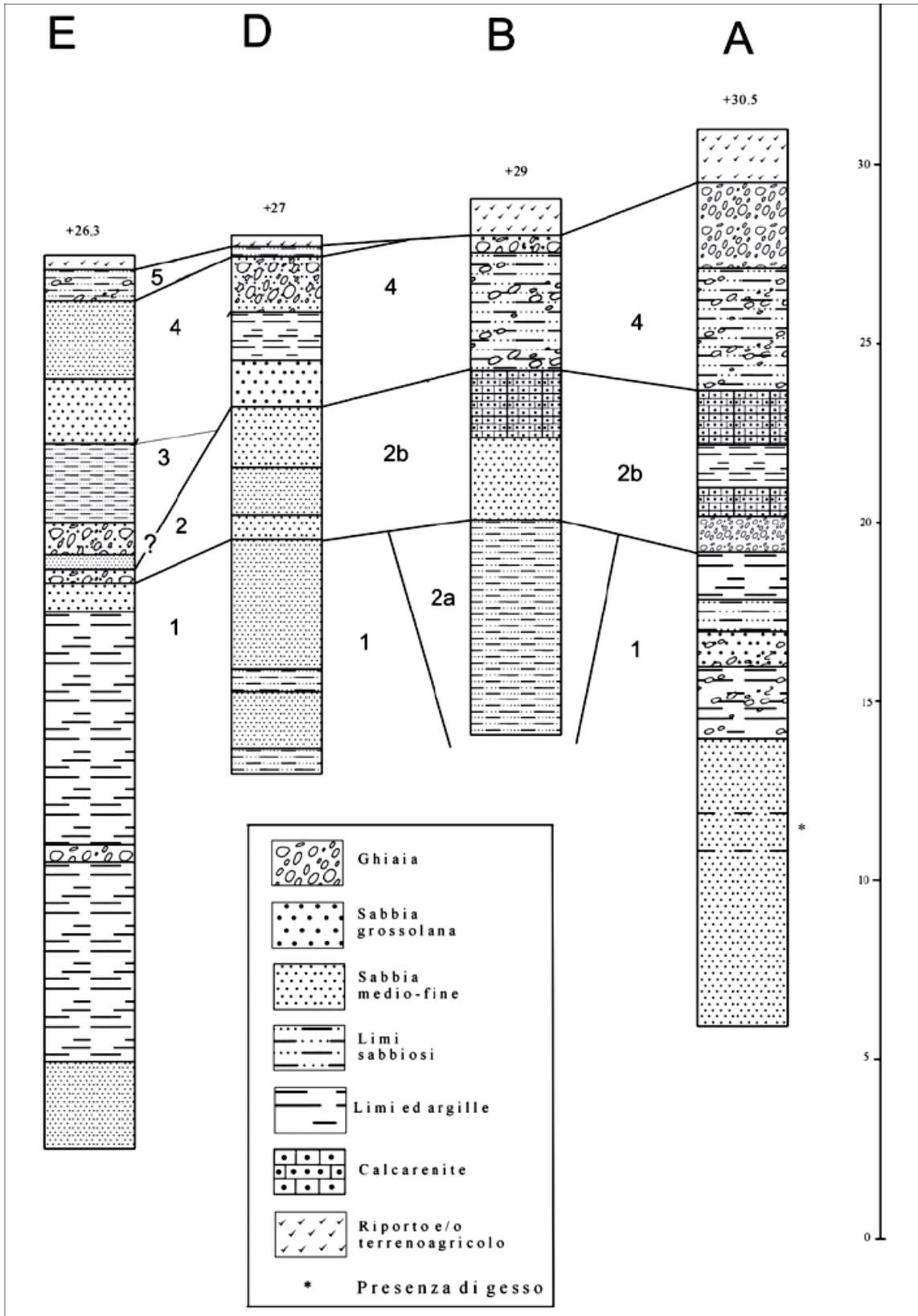


Fig. 16 - i logs stratigrafici più significativi e la relativa sezione di correlazione su base litologica

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.



Fig. 17 -Stralcio cartografico area portuale con le tracce di sezione. Nelle figure delle pagine successive si mostrano le sezioni D-D', F-F'

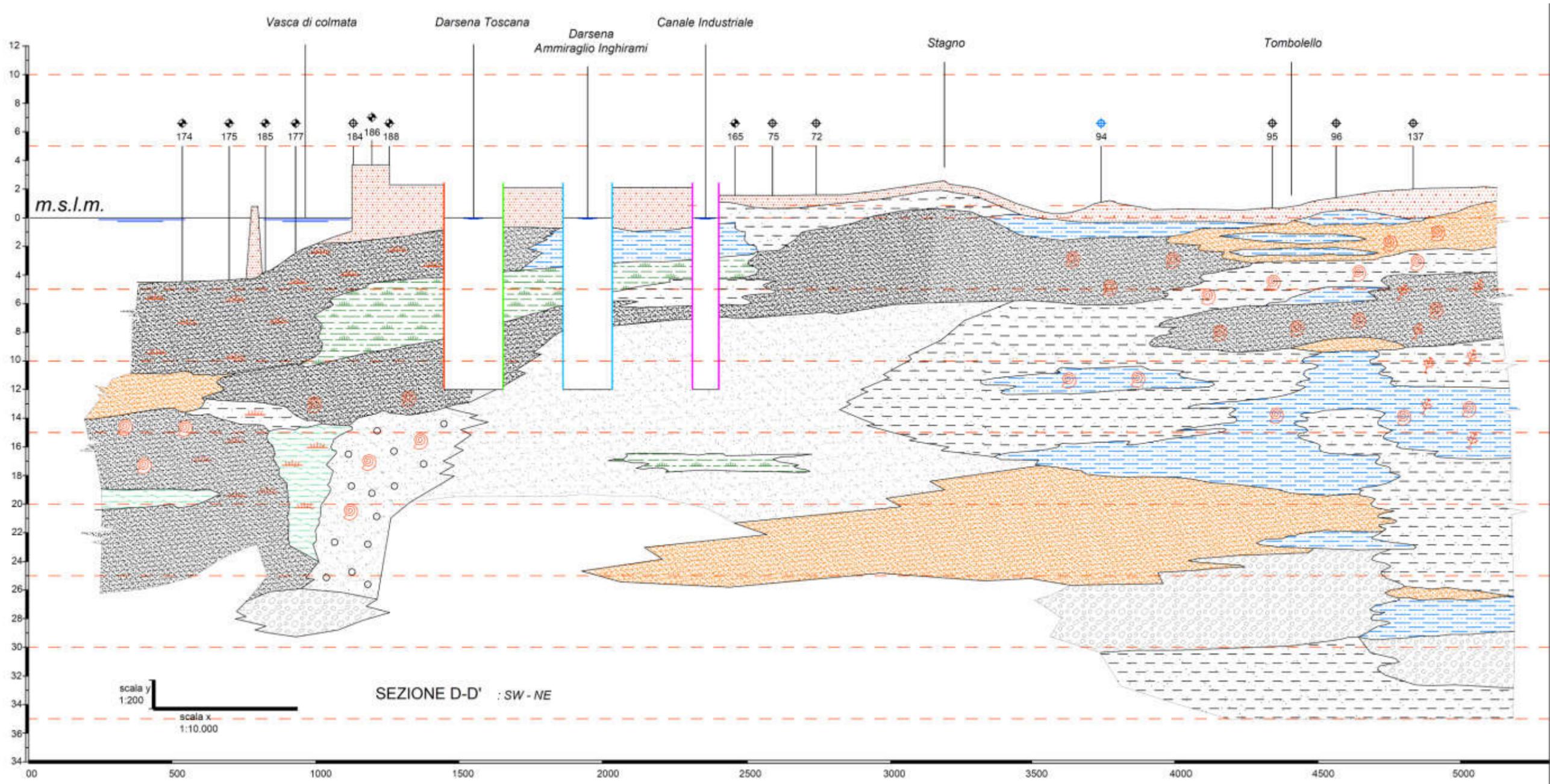
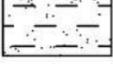
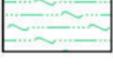
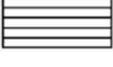


Fig. 18 -Sezione D - D' - fuori scala (legenda litologica a pagina seguente)

LEGENDA

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

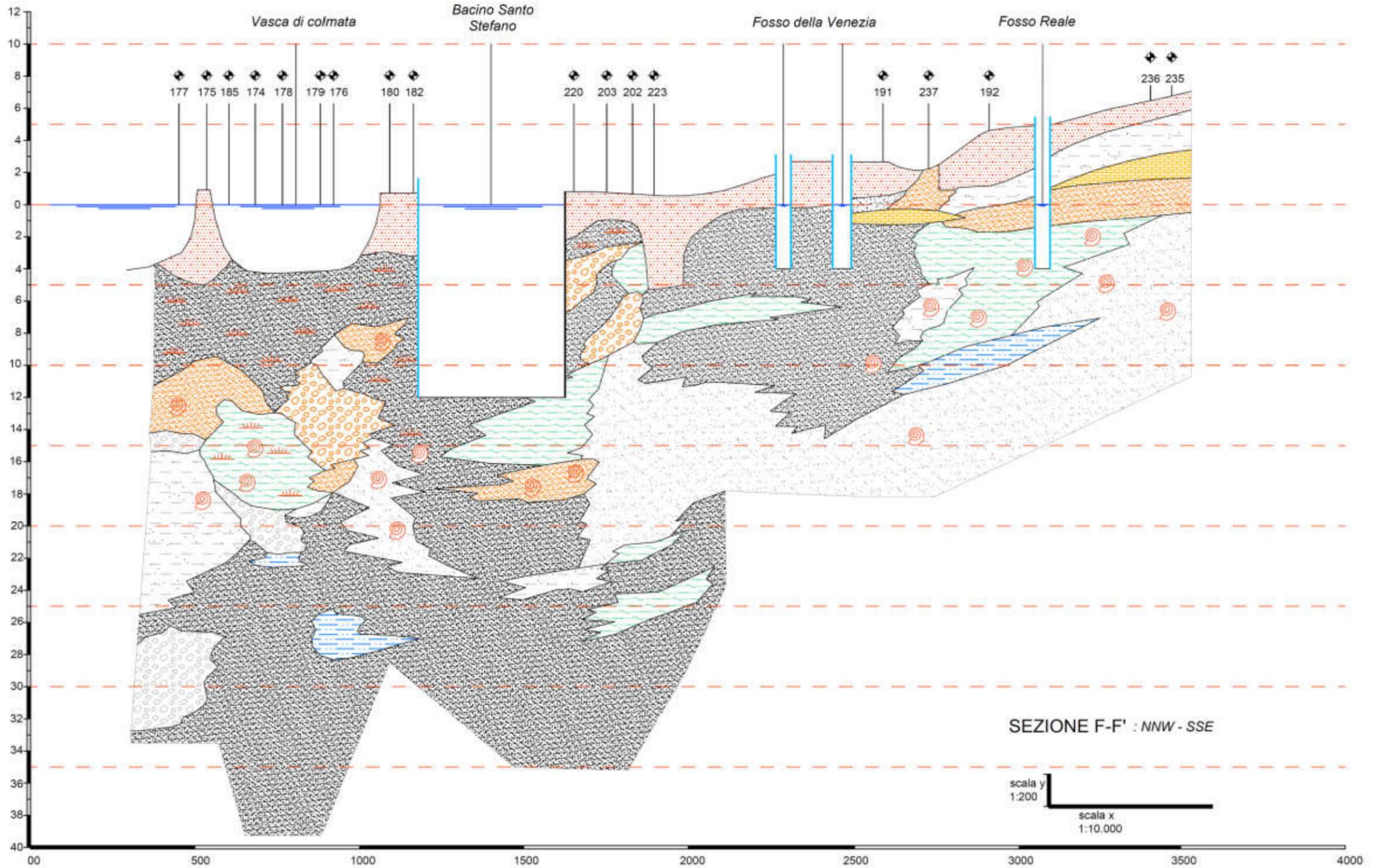


Fig. 19 -Sezione F - F' - fuori scala

5 CARATTERI TETTONICI A LARGA SCALA

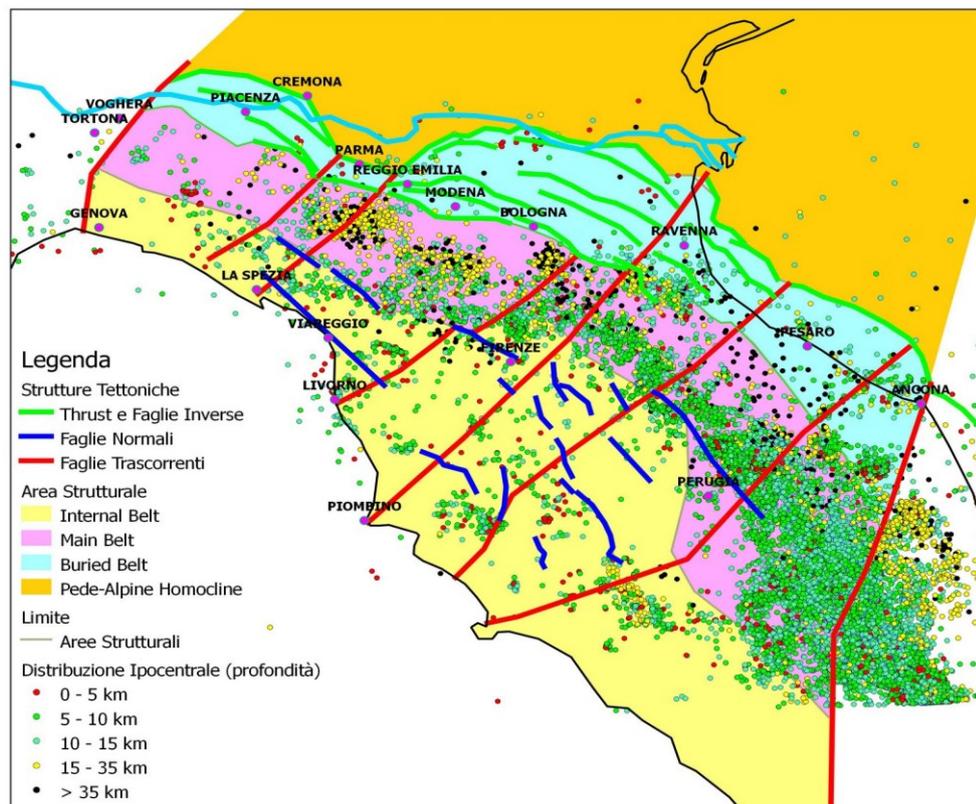
Dal punto di vista strutturale (fig. 20), l'Appennino settentrionale può essere suddiviso in fasce omogenee longitudinali all'asse della catena (BARTOLINI *e al.*, 1983; BOCCALETTI *e al.*, 1985):

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).

Le principali strutture trasversali da nord verso sud sono: Struttura Sestri – Corneigliano, 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).

Fig. 20

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

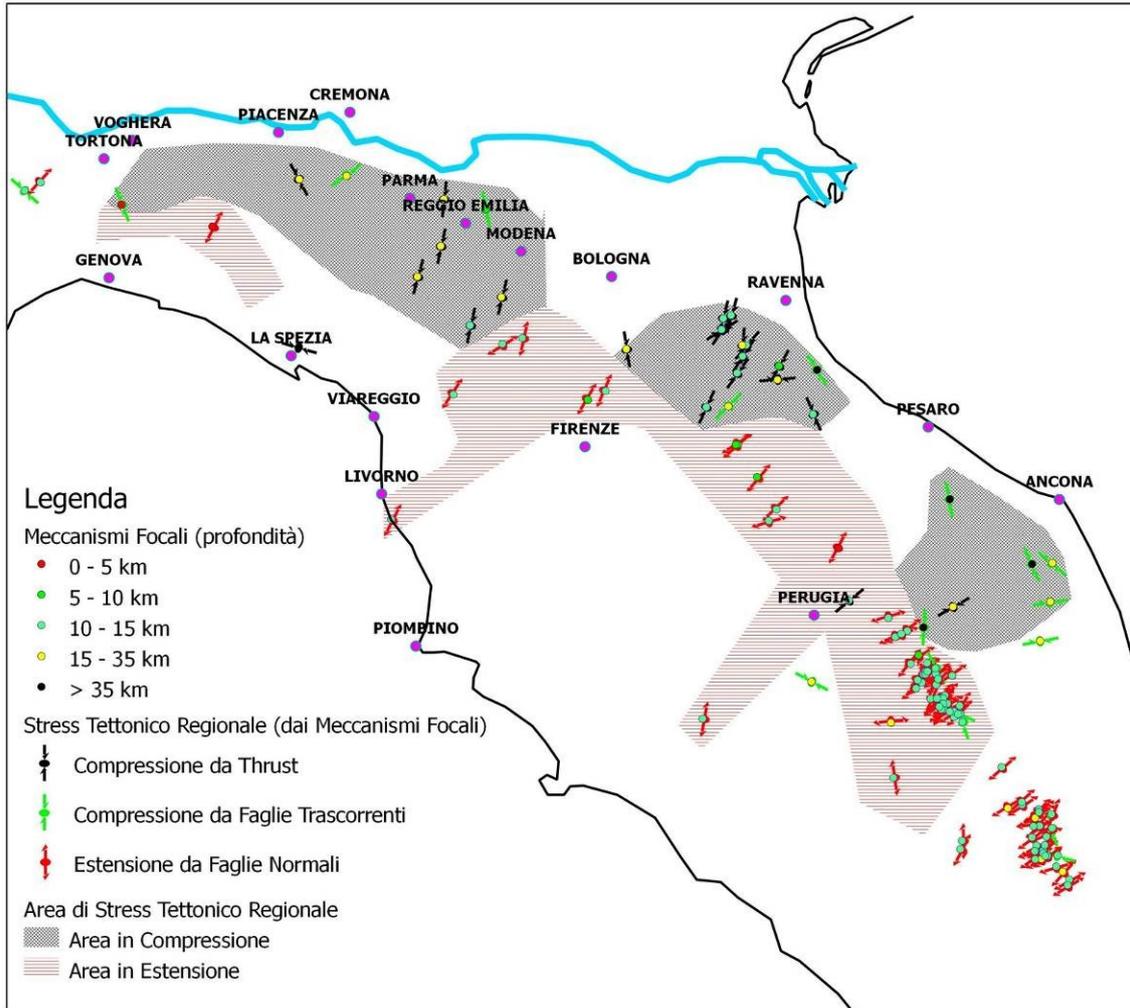


Fig. 21 Profondità dei meccanismi focali e suddivisione aree di stress compressivo ed estensivo

5.1 EVOLUZIONE TETTONICA DELL'AREALE LIVORNESE

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 legata alla 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.

Sotto: 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).



6 SCHEMA IDROGEOLOGICO GENERALE

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 argiloscisti 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 poichè 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 tra 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 paleogeografia 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-salmastra-dolce 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 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 m di profondità, sormontato da calcarenite sabbiosa (4,5 - 6 m) a sua volta sormontata da limi sabbiosi e sabbie limose superficiali (0-4,5 m)



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



Fig. 22 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 6-7 a 10-12 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 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

Fig. 23 Stratigrafia pozzo 10813 - Fonte provincia Livorno - sistema INCAS-GIS

6.1 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" nè in quantità nè in qualità 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) all'utilizzo domestico e/o irriguo di modeste aree a verde.

Le aree più significative si ritrovano in corrispondenza delle paleoalluvioni 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 costanza produttiva 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 è 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.

6.2 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 Geoll. 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

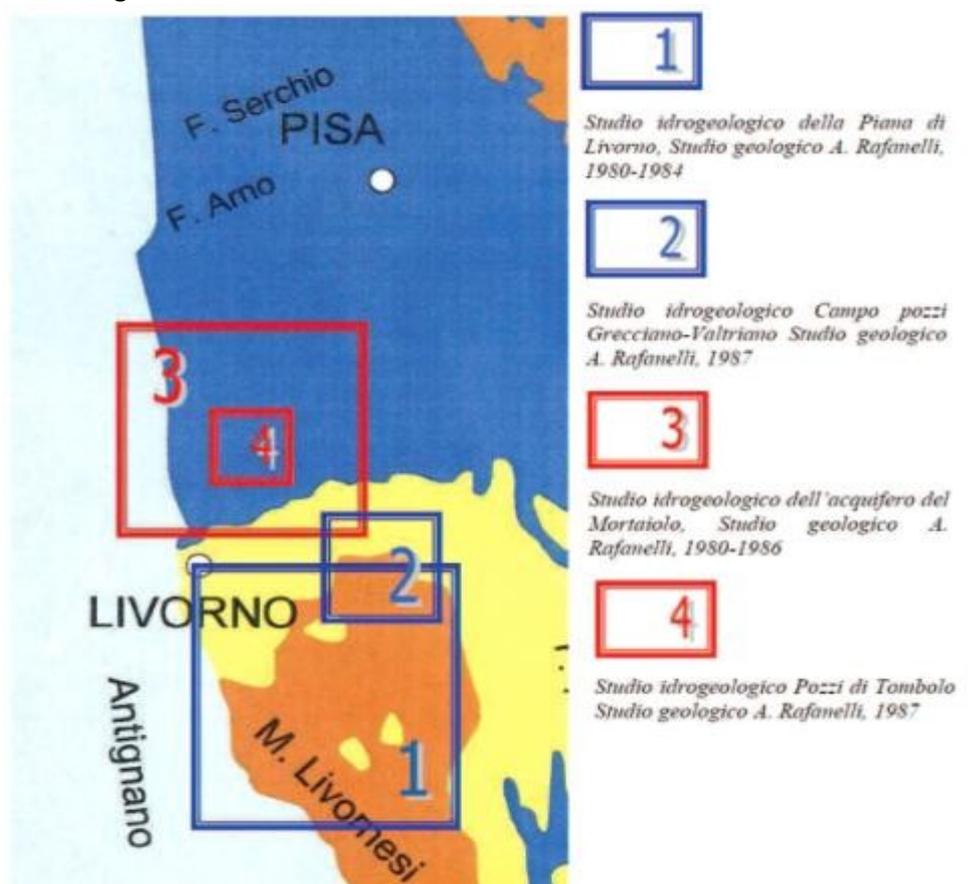


Fig. 24 Estratto da variante anticipatrice al PS per il progetto del PRP di Livorno, (Comune Livorno e APL - 2013)

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 . LI si veda Punto 2 nella fig. 20 sopra. si mette in evidenza la sequenza stratigrafica di una serie di perforazioni spinte mediamente sino alle profondità di circa 200 m. ed indicano al di sotto di argille e limi argillosi fluvio-lacustri rinvenuti sino alle profondità di circa 30-40,00 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 10-15,00 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 150-160,00 m., risulta costituito da alternanze di depositi prevalentemente sabbiosi e argillosi a stratificazione lentiforme (falda multistrato). Al di sotto di tali profondità si rinvengono 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 sotto):

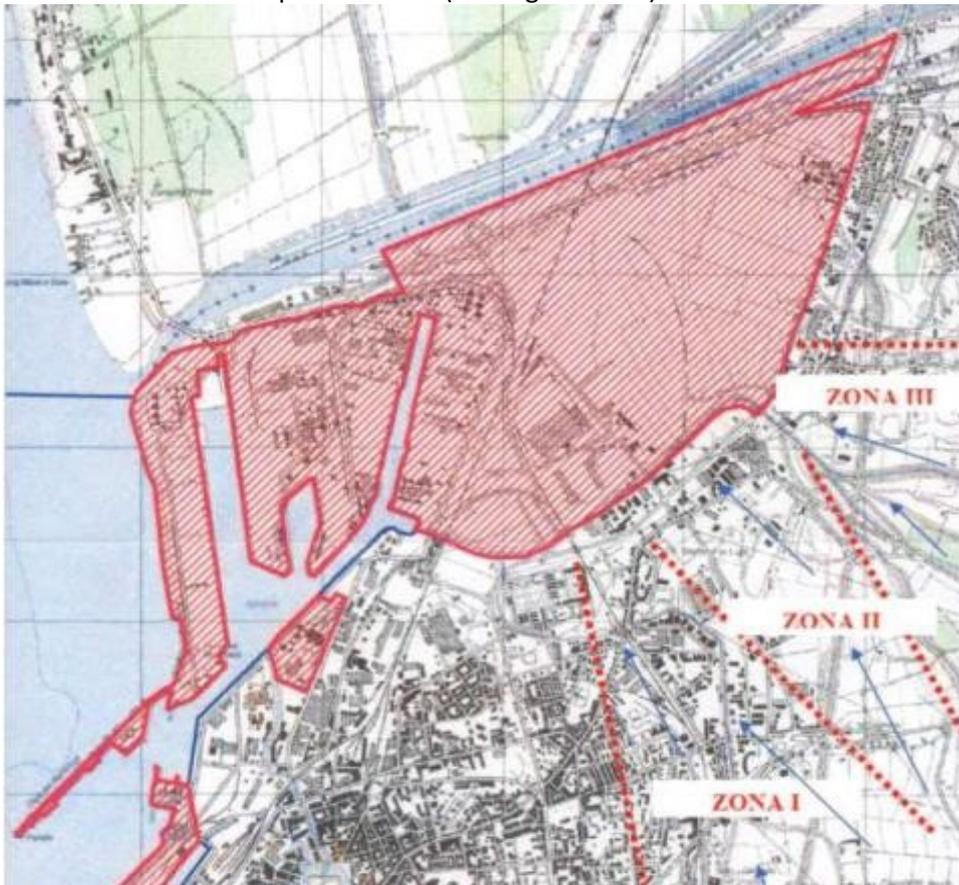


Fig. 25 Estratto da variante anticipatrice al PS per il progetto del PRP di Livorno, (Comune Livorno e APL - 2013)

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. E. 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.

6.3 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 appena esposto. 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:



Fig. 26 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 successiva **TAV. 9** .*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 10-12,00 m. di spessore;
- Un acquifero medio entro i 18-20,00 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 28-30,00 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.

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

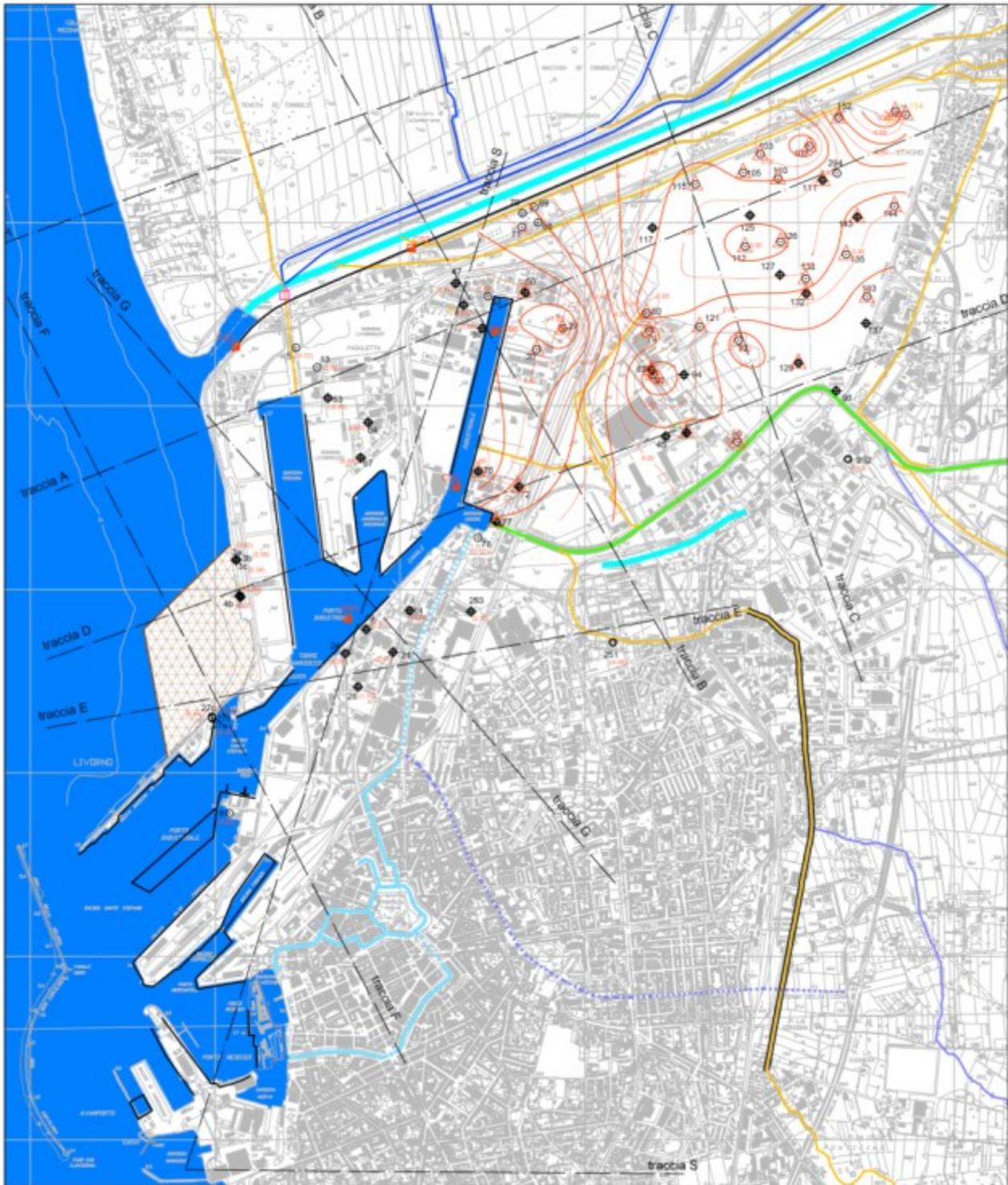


Fig. 27 Estratto da variante anticipatrice al PS per il progetto del PRP di Livorno, (Comune Livorno e APL - 2013)

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

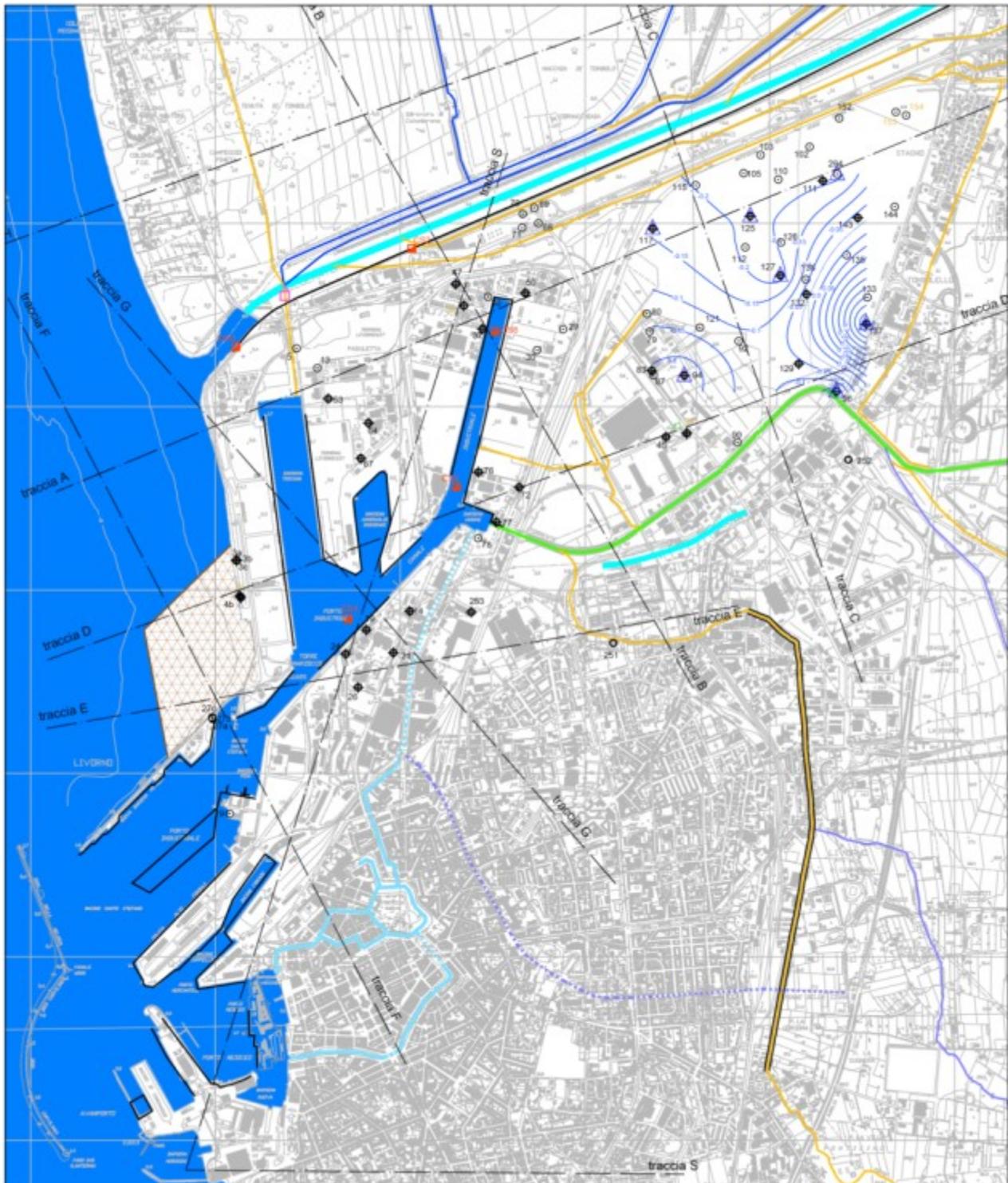


Fig. 28 Estratto da variante anticipatrice al PS per il progetto del PRP di Livorno, (Comune Livorno e APL - 2013)

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.

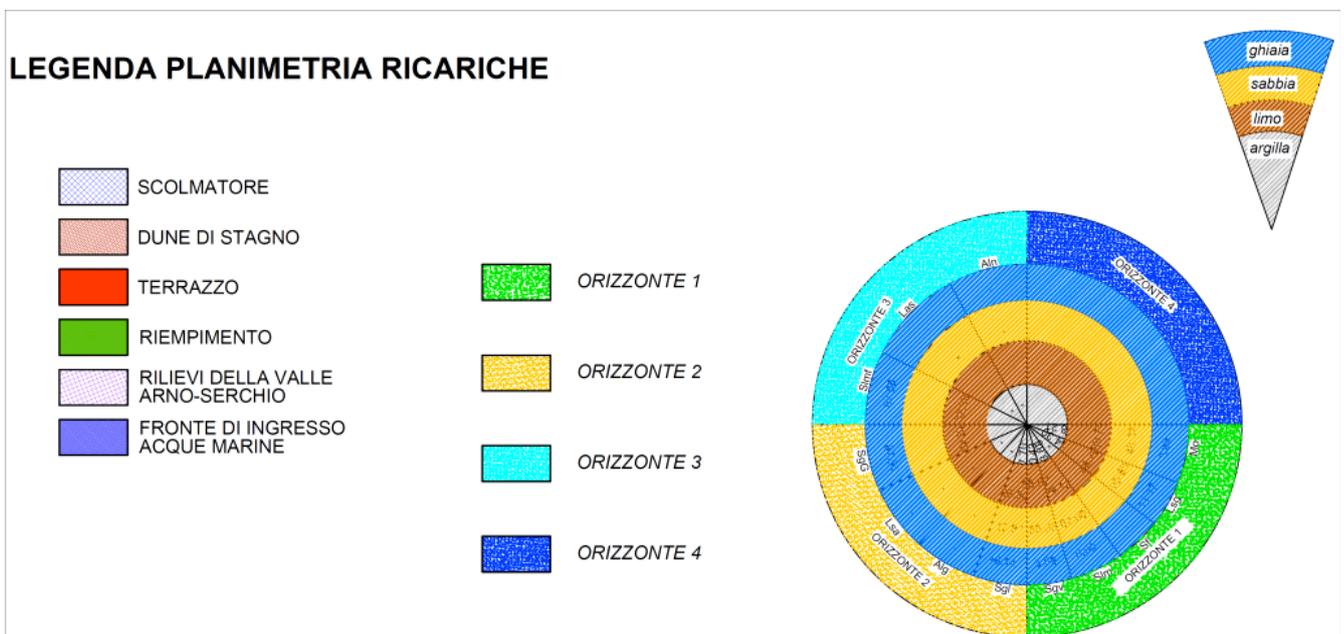
Per dati storici e bibliografici, nonché per misure effettuate già nella zona di Camp Darby, Canale dei Navicelli, Acquedotto ex EAT, analisi eseguite individuavano arricchimenti in Manganese, Ferro e Solfati e perciò fu abbandonata l'idea di realizzare una rete di adduzione. La stessa ASA (Azienda Servizi 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.

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 CARTA IDROGEOLOGICA

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

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 dotati di stratigrafia per la successiva carta dati di base. Tutte le stratigrafie dei pozzi sono state estratte dalle schede e archiviate.

6.5 PANORAMICA IDROGEOLOGICA E DI PERMEABILITA' DEI LITOTIPI AFFIORANTI

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.

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

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

L'arenaria 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 1:10000 con relative curve di livello isofreatiche).

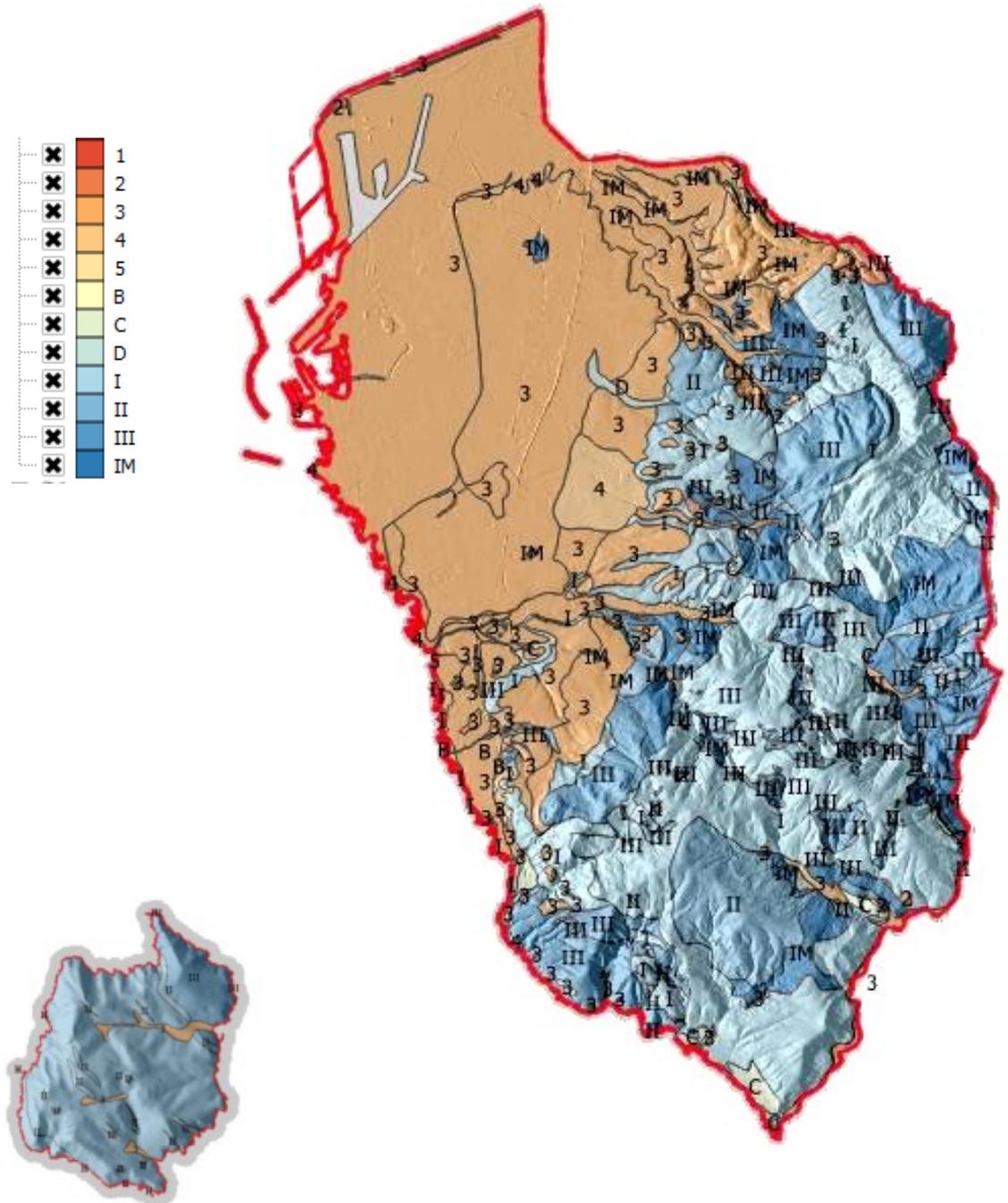


Fig. 30 Schema di permeabilità (bozza senza isofreatiche) con sovrapposizione di 3D da dati LIDAR e colonna schematica della legenda informatizzata (isola di Gorgona in posizione non realistica). Per la legenda completa si vedano le pagine precedenti. In evidenza la differenza fra aree pianeggianti color marrone a permeabilità prevalente per porosità (primaria) ed aree collinari in azzurro a permeabilità prevalente per fratturazione (secondaria)

6.6 STIME DI PERMEABILITA' IN AREA COSTIERA

Prendendo come riferimento il lavoro dello Studio Rafanelli e di Sintesis srl messo a disposizione dall'amministrazione comunale (Studio Idrogeologico area compresa nel Sito di Interesse Nazionale di Livorno), a cui il sottoscritto 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 ci sono 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 la conducibilità idraulica ricavata da esperienze in sito "tipo Lefranc" in relazione alla profondità indagata, allo spessore ed 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	$2,00 \times 10^{-3} < K < 7,00 \times 10^{-3}$
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 Sabbia grossolana con ghiaia	8,00-8,50	$1,09 \times 10^{-3} < K < 3,56 \times 10^{-3}$
2	SgG Sabbia 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 Lefranc eseguite all'esterno della Vasca di Colmata</i>			

Fig. 31 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 testa 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 vario 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 limo-argilloso che si rileva alla sua base.
- L'Orizzonte 4 (non riportato in tabella-rif. planimetria ricariche) composto dai 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 si 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	SIm	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	SIm	5,00	0,00	59,00	35,94	5,06
1	Lsg	7,50	0,24	17,76	58,70	23,30
1	SIm	3,50	12,57	52,43	28,87	6,13
1	Sgv	5,00	75,59		24,41	
3	SImf	5,00	71,31		28,69	
1	SIm	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	SImf	8,50	8,03	62,97	22,21	6,79
3	SImf	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

Fig. 32 Estratto da variante anticipatrice al PS per il progetto del PRP di Livorno, (Comune Livorno e APL - 2013)

6.7 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 a verifica del lavoro di riferimento.

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.

Sarà nostra premura prevedere un possibile aggiornamento dei rilievi di falda a supporto del futuro Piano Operativo.

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	Calcareniti sabbiose di Castiglioncello (Panchina)	C	MISTA	MEDIA
QCPa		3	PRIMARIA	MEDIA
QCPb		4	PRIMARIA	MEDIO-ALTA
QBC		Brecce di Punta Casotto	3	PRIMARIA
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 <i>Arctica</i>	3	PRIMARIA	MEDIA
DEPOSITI MARINI PLIOCENICI				
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	Calcari 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

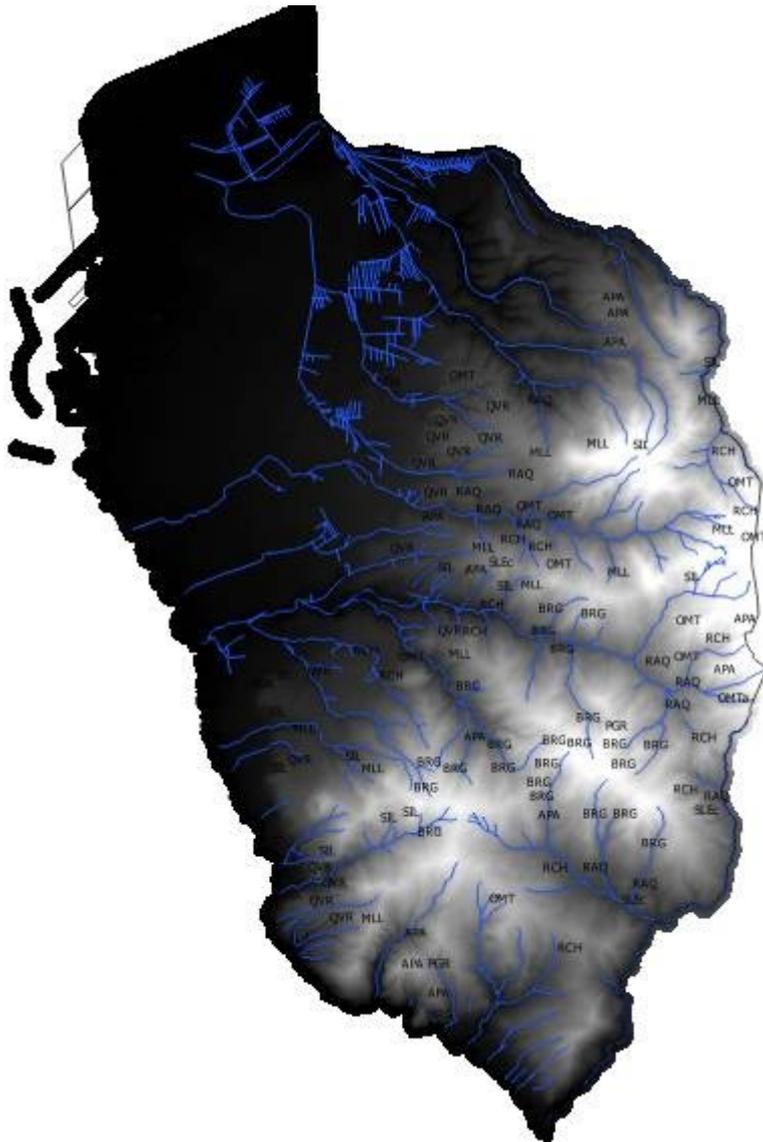
LEGENDA PS2 - CORRISPONDENZA "UNO A MOLTI" FRA CLASSE DI PERMEABILITA' E LITOTIPI AFFIORANTI

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



7 GEOMORFOLOGIA DEL TERRITORIO CONTINENTALE



Livorno su base LIDAR, le sfumature bianche identificano i settori collinari e montani, proporzionali nella loro intensità di colore all'altezza dell'area sul livello del mare. In nero il terrazzo di Livorno e tutti i settori prossimi al livello del mare.

L'AREA COLLINARE

L'area collinare si estende nella porzione sudorientale del territorio comunale.

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.

L'ambito comunale livornese è identificato sostanzialmente da tre macroambienti principali:

1. I Monti e le Colline Livornesi: l'insieme dei rilievi alti che si estendono a SE della Città di Livorno fino a Rosignano M.mo, limitati ad est dalla valle del Torrente Tora e del Fiume Fine;

2. La Piana (Terrazzo) di Livorno: l'insieme dei blandi rilievi che circondano i lati nord ovest, nord ed est dei Monti Livornesi;

3. Una parte della Pianura di Pisa: area pianeggiante e dolcemente declive verso il mare che corrisponde al "Terrazzo basso" costiero su cui si estende la città e che lambisce a nord la vera e propria pianura di Pisa interessata dai fenomeni legati all'Arno.

A partire dalla foce del Rio Marroccone e fino al promontorio di Castiglioncello, i rilievi si affacciano direttamente sul mare, con una falesia rocciosa molto elevata. A nord del Marroccone fino alla foce del Rio Ardenza ed a Quercianella, la falesia è invece limitata superiormente dalla spianata del Terrazzo di Livorno

Nella figura sopra, elaborata dal DEM di

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.

7.1 I TERRAZZI PEDECOLLINARI E LA PIANA

LA zona pedecollinare è caratterizzata da una serie di spianate morfologiche che assumono la connotazione di "terrazzo".

Il terrazzo più interno e più alto è il **TERRAZZO DI FATTORIA DELLE 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.

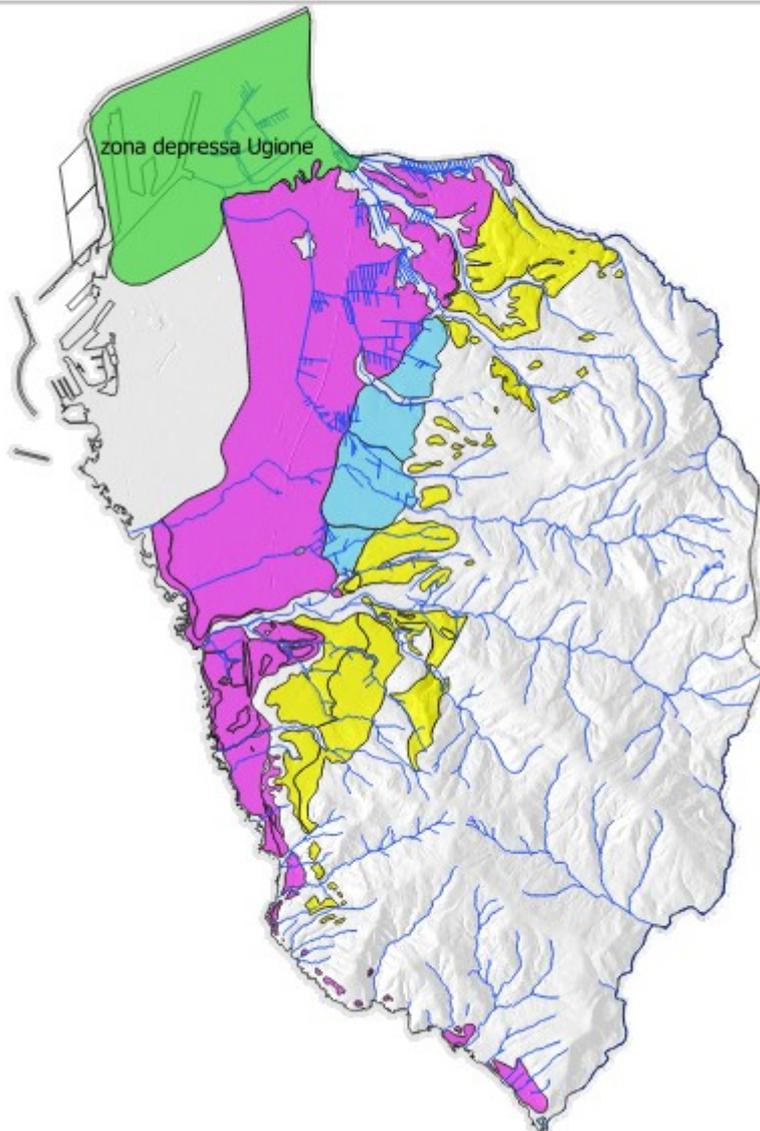


Fig. a sinistra: i tre terrazzi geomorfologici principali di Livorno. In viola il terrazzo basso più recente (Terrazzo di Livorno), il azzurro quello intermedio (Terrazzo di Villa Padula), in giallo quello più elevato (Terrazzo di Fattoria delle Pianacce). Il settore orientale, a margine dx dei terrazzi,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

EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA DELLA PIANA LIVORNESE

Come già evidenziato la piana di Livorno, dal mare all'orlo occidentale dei Monti e delle Colline Livornesi, 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 (QSD) 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 limo-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 **dell'area depressa di Ponte Ugione** ed è perciò caratterizzata, in superficie, da sedimenti marini che si sono depositi in un antico golfo esistito fino ai tempi protostorici.

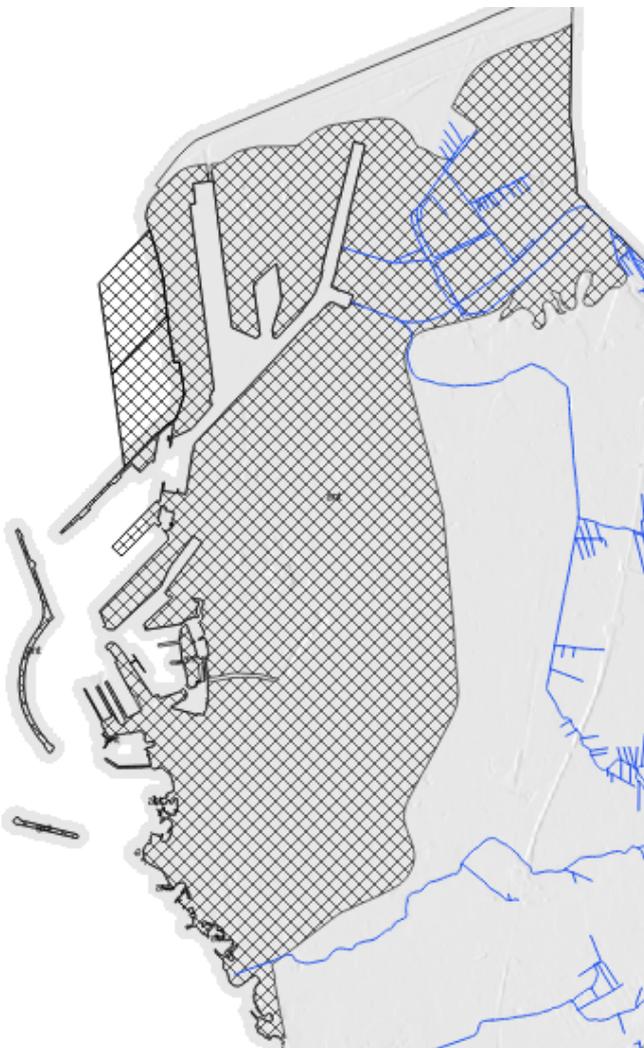
L'avanzamento della linea di riva in epoca storica, per lo sviluppo di lidi e barre che da Bocca d'Arno hanno raggiunto progressivamente il Terrazzo di Livorno, ha generato, alle spalle, fasce lagunari e palustri; ai sedimenti marini si sono sovrapposti depositi eolici e palustri con prevalenza di argille, limi torbosi e sabbiosi con frequenti livelli di torbe e resti vegetali. Negli ultimi secoli gli interventi antropici hanno cambiato l'assetto naturale della zona in studio e di un'area significativamente più 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 potrebbe 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).



7.2 LO SVILUPPO DEI RIPORTI ANTROPICI IN AREA MARITTIMA-PORTUALE E NEI 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 fig a sx**); in sostanza è possibile rintracciare terreni di riporto provenienti da lavorazioni passate o da attività esercitate all'interno di porzioni d'area in tempi più recenti (dopo la seconda guerra mondiale).

Questo Orizzonte antropico comprende quindi spessori di terreno che derivano direttamente dall'attività umana o 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 durante gli 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" ed umani 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 aperto: dalla massicciata in stabilizzato granulare, fino alle terre esauste di antiche lavorazioni tendenzialmente più sabbiose. In questo caso i terreni conservano una loro attitudine 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; specialmente l'area portuale infatti 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 sembrano aver formato buche profonde fino ai 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 da lavori specialistici.

7.3 LO STUDIO DELLE AREE FRANOSE

CARATTERI GENERALI DI STABILITA' DEI LITOTIPI

Il settore montano-collinare di Livorno, sviluppato nel settore centro-orientale e meridionale (vedi figura a pagina seguente con gli affioramenti geologici interessati) è quello maggiormente soggetto a problemi per la 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.

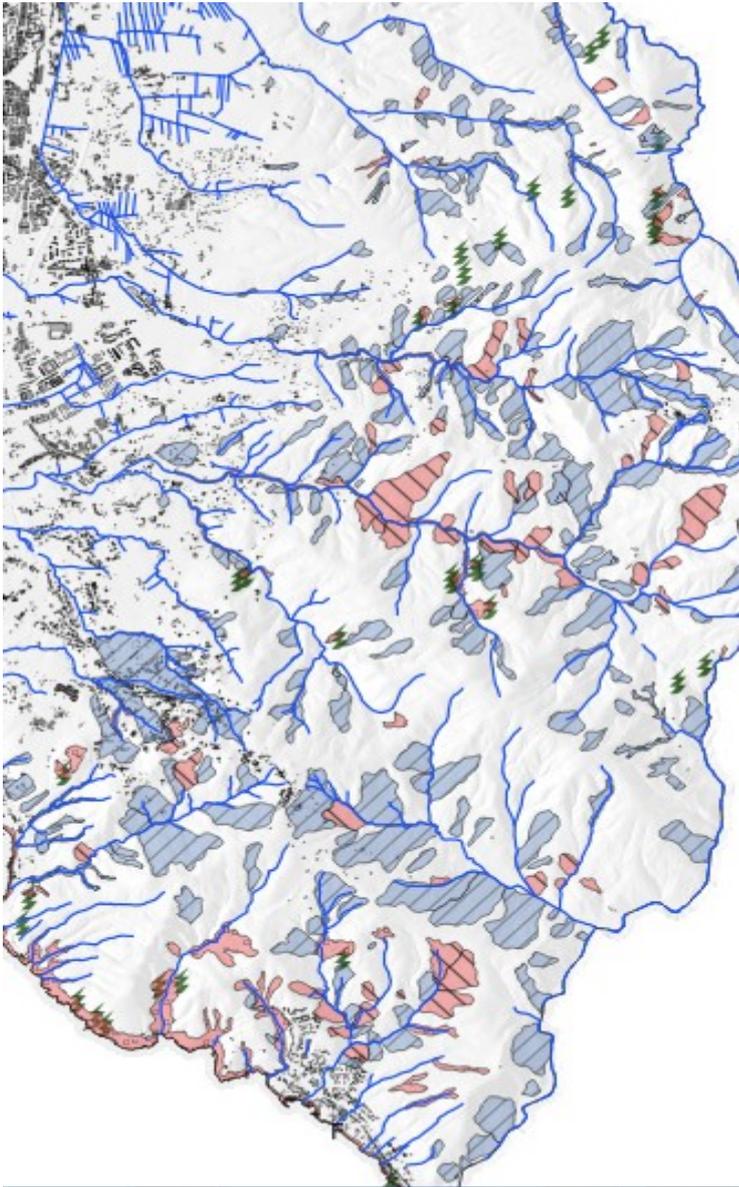


Figura a sx: panoramica delle principali frane rilevate nei settori collinari

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 sui rilievi collinari la copertura boschiva, 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 falda.

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 (QCP), i conglomerati (QBC, QCC, etc..), le sabbie limose (QSD, VDG), 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.

7.4 FENOMENI DI RISCHIO IDROGEOLOGICO

AREE IN FRANA

Sono state eseguite verifiche approfondite in campo, con particolare approfondimento relativo alle zone interessate dagli eventi alluvionali del 2017, sia in area di fondo valle che in area collinare. Tali verifiche sono state eseguite anche congiuntamente ai tecnici dell'Autorità di Bacino dell'Appennino Settentrionale nella fase delle verifiche di loro competenza ai fini dell'emissione del relativo parere.

L'autorità di bacino si è avvalsa inoltre di proprie verifiche interne basate sui dati interferometrici per la verifica dei movimenti attivi e dei dati LIDAR per il dettaglio delle perimetrazioni.

Si è inoltre tenuto conto delle osservazioni e delle segnalazioni del Genio Civile di Livorno e del Comune di Livorno in sede di prima revisione della presente documentazione.

Oltre a quanto sopra, una fonte importante dei dati di franosità è stato il Database della regione Toscana e la Carta Geomorfologica del PS elaborata dai colleghi Rafanelli e Michelucci; questa, pur redatta ai sensi della ex DCR 94/1985 e successivamente implementata nel DBGR dai ricercatori, è stata analizzata a fondo perchè si tratta del primo lavoro importante ed esaustivo a carattere geomorfologico redatto su Livorno dai colleghi citati. E' stato quindi il supporto base di tutti coloro che hanno ripreso la problematica dei dissesti a partire dai primi anni 90 dopo l'approvazione del primo Piano Strutturale.

E' stato inoltre verificato, prima dell'adozione, l'IFFI (inventario fenomeni franosi italiani) disponibile anch'esso dalla regione Toscana e la cartografia geologica del Progetto CARG e di Lazzarotto-Mazzanti.

Inoltre molto importante è la Carta Tutela del Territorio del Piano Assetto Idrogeologico che individuava (prima degli aggiornamenti derivanti dal parere del Bacino), direttamente le aree PFE e PFME sulla base dello stato di attività dei fenomeni franosi, nonché alcune aree costiere ove sono segnalati crolli sporadici di blocchi.

Altre cartografie recenti (PTC provincia Livorno e dati interni al recente PIT della Toscana) non hanno dettagli maggiori del DBGR, del IFFI, del lavoro di Rafanelli e Michelucci e del progetto CARG.

Inoltre l'amministrazione comunale (Ufficio Ambiente) ha messo a disposizione alcuni studi specialistici, in parte ancora attivi a livello di monitoraggio e in parte conclusi. Sono i seguenti:

- CALIGNAIA - INTERVENTI DI MESSA IN SICUREZZA DI UN TRATTO DI COSTA - DR. GEOL. L. GONNELLI 1998
- DISSESTI IN ZONA "STILLO" - DOTT. GEOL. LEONARDO GONNELLI 1999
- SISTEMAZIONE IDROGEOLOGICA AREA IN DISSESTO MONTENERO DR. GEOL. L. GONNELLI 2001
- DISSESTO IDROGEOLOGICO ATTIVO VIA DEI GINEPRI – QUERCIANELLA - DR. GEOL. L. GONNELLI 2006
- INTERVENTI CONSOLIDAZIONE IN PENDIO LOC. QUERCIANELLA, DR. GEOL. D. MARCHETTI, 2012
- STUDIO AREA IN FRANA IN LOC. MOLINO NUOVO, IN DX DEL RIO POPOGNA, DRRR. GEOL. A. RAFANELLI, A. TANDA, G. BIANCHI, 2008-2010
- STUDIO DELLE AREE FRANOSE PRESSO IL SANTUARIO DI MONTENERO (GEOL. DELLA CROCE) - MONITORAGGIO 2017

In fase finale di lavoro è stata eseguita, come già accennato in premessa, una campagna di verifica diretta sui principali settori interessati da dissesti quai Montenero-Castellaccio, Via di Popogna, zone prospicienti gli alvei del Rio Maggiore e del Rio Adenza, zone costiere interessate da frana in degrado. Tale campagna, che sarà terminata in fasi successive, ha permesso di precisare ulteriormente i dissesti ed i fenomeni destabilizzanti nei settori studiati, adeguando nel contempo la Carta della pericolosità geomorfologica e predisponendo gli accertamenti successivi.

7.5 UTILIZZO DATI LIDAR E VERIFICHE COSTIERE

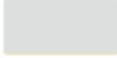
Grazie ai dati LIDAR, con maglie di risoluzione da 10x10 m a 5x5 m, è stato ricostruito un modello

matematico 3d del territorio con curve di livello ricavate ogni 0,5 m, al fine di esaltare le forme geomorfologiche che spesso sono la testimonianza principale dei movimenti franosi lungo i pendii (ove ciò non sia rilevabile dall'osservazione diretta). Pertanto, per le zone collinari di accesso più problematico perchè lontane dalle strade interne si è optato per la verifica cartografica con le nuove digitalizzazioni citate, che possono surrogare adeguatamente la classica visione stereoscopica delle foto aeree, potendo sovrapporre un 3D esaltato in altezza (stesso effetto foto aerea) con una cartografia a curve di livello del dettaglio voluto. Ulteriori verifiche dirette nel territorio collinare permetteranno di aggiornare il censimento frane e la relativa cartografia collegata per il prossimo Piano Operativo, ove necessario.

E' stato inoltre eseguito **un rilievo approfondito lungo la Costa Livornese**, anche via mare, nell'intero tratto a partire dalla foce del Chioma fino allo Scolmatore dell'Arno, con una dettagliata campagna fotografica. Il rilievo ha evidenziato alcuni fenomeni di instabilità relativamente recenti, di dimensioni dell'ordine da pochi metri a qualche decina di metri, opportunamente segnalati nelle pagine che seguono. Di seguito la legenda frane adottata per la classificazione in fase di adozione: (BDRegione Toscana):

LEGENDA FRANE

(Regione Toscana, 2015)

STATO DI ATTIVITA'	TIPO DI MOVIMENTO
 (232,83,84) Attivo	 Scorrimento lento o rapido (<3m/s)
 (255,0,0) Attivo I livello	 Scorrimento molto o estremamente rapido (>3ms)
 (204,0,0) Attivo II livello	 Colamento lento o rapido (< 3 m/s)
 (116,145,197) Inattivo quiescente	 Colamento molto o estremamente rapido (>3ms)
 (0,180,180) Inattivo quiescente di I livello	 Crollo, ribaltamento, espansione
 (0,63,191) Inattivo quiescente di II livello	 Complesso
 (162,170,123) Relitte o naturalmente stabilizzate	 Indeterminato
 (196,120,172) Stabilizzato (interventi antropici)	
 (170,142,137) Inattivo quiescente per interventi di stabilizzazione o sistemazione antropica	
 (217,218,218) Stato di attivita' indeterminato	

 **Frana non cartografabile**

7.6 BDRT: DEFINIZIONI STATO ATTIVITÀ FRANE E MOVIMENTO PREVALENTE

Attivo - Frane con indizi di movimento in atto o recenti, quali rotture della superficie topografica, per nulla o poco modificate dalle attività antropiche, deformazioni della copertura vegetale (es. strappi della copertura erbacea, rotazione o caduta di alberi), danni a strutture e infrastrutture (es. muri, drenaggi, manto stradale). Il movimento è avvenuto in un arco di tempo paragonabile alla vita umana, o comunque successivamente ai primi voli aerei a disposizione (post 1950)

Attivo di I livello - Frane con indizi di movimento in atto o recenti, quali rotture della superficie topografica per nulla o poco modificate dalle attività antropiche, deformazioni della copertura vegetale, danni a strutture e infrastrutture.

Il movimento è avvenuto negli ultimi cicli stagionali, indicativamente circa 10-20 anni, basandosi sulla presenza di evidenze geomorfologiche particolarmente fresche e visibili ai rilievi di campagna e/o testimonianze e/o studi del sottosuolo e/o esame degli ultimi due voli aerei disponibili e/o analisi svolte mediante monitoraggio, permanent scatterers o altre tecniche.

Attivo di II livello - Frane non riconducibili alle attive di livello I, con indizi di movimento avvenuto in un arco di tempo paragonabile alla vita umana, o comunque successivamente ai primi voli aerei a disposizione (post 1950). Le morfologie relative al movimento sono del tutto riconoscibili pur se parzialmente rimodellate dalle attività antropiche e presentano chiare evidenze di deformazione della superficie topografica.

Inattivo quiescente - Frane le cui morfologie, geometrie e caratteri dinamici sono ancora riconoscibili pur se rimodellate ad opera di agenti naturali e antropici. L'area in frana presenta evidenze geomorfologiche o testimonianze che indicano una possibilità di riattivazione del processo nell'attuale sistema morfodinamico e morfoclimatico.

Inattivo quiescente di I livello - Frane non riconducibili alle frane attive dove però sono presenti testimonianze o chiare evidenze geomorfologiche di movimento avvenuto in tempi relativamente recenti. Le morfologie relative al movimento (es. corona di frana, contropendenze, gradini) sono ancora chiaramente riconoscibili pur se rimodellate ad opera di agenti sia naturali sia antropici. Sono normalmente assenti evidenze di rottura della superficie topografica ma possono essere presenti testimonianze storiche di movimento, comunque precedenti ai primi voli aerei disponibili.

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.

Inattivo quiescente di II livello - Frane dove persistono le principali cause predisponenti il dissesto con possibile riattivazione di tutta o parte della frana nelle condizioni morfodinamiche attuali, non consentendo quindi di escluderne la possibile riattivazione. Le morfologie e le geometrie relative al movimento sono profondamente rimodellate ad opera di processi naturali e antropici pur se ancora riconoscibili nei loro tratti generali; su aree naturali o naturalizzate possono essere densamente vegetate. Possono essere presenti testimonianze storiche antiche del movimento, comunque precedenti ai primi voli aerei disponibili.

Relitte o naturalmente stabilizzate - L'area in frana non ha possibilità di riattivazione del processo nell'attuale sistema morfodinamico e morfoclimatico. Si tratta di evidenze di corpi di frana sepolti o relitti su morfologie non più relazionabili alla presenza di un versante.

Stabilizzato - Frane non riattivabili a causa di interventi antropici

Inattivo quiescente per interventi di stabilizzazione o sistemazione antropica - Frane senza evidenze di movimento in atto in seguito a interventi di messa in sicurezza (difese attive o passive, drenaggi) o sistemazioni agricole o forestali.

Stato di attività indeterminato - Stato di attività non determinabile con sicurezza causa insufficienti fattori in sito.

Sulla base delle istruzioni della Regione toscana sono identificati per ogni corpo di frana, ove possibile dai riscontri oggettivi, un **orlo di scarpata** (elemento lineare), una **zona di accumulo** (elemento areale che corrisponde al classico "corpo di frana") e una zona intermedia che si definisce zona di distacco e marca l'entità del percorso del corpo di frana dopo l'innesco del fenomeno.

Nella Carta Geomorfologica, oltre ai fenomeni franosi prima discussi, sono state inserite molteplici informazioni di tipo lineare indicanti sia i fenomeni destabilizzanti che i settori con opere di sostegno e contenimento principali. Inoltre sono state discriminate le principali tipologie di costa secondo la legenda sotto proposta, che non si intende esaustiva della Cartografia prodotta.

7.6.1 PRINCIPALI ELEMENTI LINEARI DI CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA

-  orlo di scarpata di frana o di deformazione gravitativa profonda di versante
-  Alveo in incisione
-  Erosione di sponda fluviale
-  FOSSO TOMBATO
-  Gabbioni in pietrame e opere di sostegno
-  Manufatti di protezione della falesia e opere marittime
-  Orlo di scarpata antropica
-  Orlo di scarpata d'erosione
-  Orlo di scarpata d'erosione costiera
-  Orlo di scarpata di cava
-  Orlo di scarpata morfologica
-  Ruscellamento concentrato
-  Costa alta instabile

TIPOLOGIE DI COSTA

-  bellana-tre ponti
-  maroccone-roggiolo
-  rogiolo-chioma
-  scalmatore-bellana
-  tre ponti-maroccone

7.7 ELABORAZIONE FINALE ADOTTATA PER I DISSESTI GRAVITATIVI

A seguito del parere ex Art. 25 delle Norme di Piano PAI del Bacino Toscana Costa espresso dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale e della relativa revisione delle perimetrazioni dei fenomeni di instabilità gravitativa, la legenda geomorfologica utilizzata per la classificazione dei fenomeni franosi in fase di adozione (corrispondente a quella della Banca Dati della Regione Toscana in precedenza descritta) è stata opportunamente adeguata e allineata alla tabella di decodifica IFFI (rif. guida IFFI 2.33) e alla classe di pericolosità PAI che, relativamente al codice GEOMORFO evidenziato negli *shapefiles* inviati, descrive in dettaglio il cinematismo e lo stato di attività dei fenomeni individuati, con riferimenti utili alle specifiche tecniche della Banca dati Geomorfologica della regione Toscana - BDGeomRT (v. 1.2 del marzo 2017 - DD 4505/17).

La tabella di decodifica citata è fornita in allegato al termine della presente relazione (prima della bibliografia); sono state individuate nel Comune di Livorno 4 tipologie di frane, 2 attive e 2 inattive-quiescenti, di seguito sintetizzate e graficamente visibili nelle tavole grafiche allegate:

Codice GEOMORFO O PAI	Codice IFFI (tipologia + stato di attività)	Descrizione	Note esplicative	Codice BDGeomRT (Movimento+Stato)	Classe PAI
S2	2+200	Frane di scivolamento e colata lenta, inattive, potenzialmente instabili (quiescenti)	Sono assimilabili a S2 anche i tipi S1A e S1 con associate evidenze di potenziale instabilità (reticolo in approfondimento, contiguità con forme attive, pendenza elevata, condizioni gravose per la durabilità delle opere)	B+4000 C1+4000	PFE PF3
DS	11+200	Deformazioni superficiali o franosità diffusa inattiva (quiescente)	Generalmente riferibili a deformazioni superficiali con caratteristiche plastiche (soliflussi, soilcreep) o combinati con altri stili geomeccanici (crolli, deformazioni di taglio superficiali) in cui si abbia comunque un'evoluzione lenta o lentissima o con ricorrenza superiore a 10-20 anni. In coerenza con i criteri IFFI sono sinonimi di aree a franosità diffusa inattive potenzialmente instabili a velocità bassissime o nulle. Nella pratica operativa si ha un passaggio graduale tra franosità diffusa e le deformazioni superficiali al diminuire della densità delle forme, della velocità evolutiva, della ricorrenza dei fenomeni e con la progressiva obliterazione delle forme.	1055	PFE PF3
S3	2+100	Frane di scivolamento e colata lenta - attive	non presenti note esplicative	B+1000 C1+1000	PFME PF4
F FD	11+100	Franosità diffusa attiva	Generalmente riferibile a gruppi di frane attive non cartografabili singolarmente, aree franose attive poco profonde in cui non è ricostruibile chiaramente la geometria, frane superficiali attive facilmente obliterate dalle lavorazioni, aree ad intensa erosione con locali fenomeni di colamento o scivolamento attivi (ad esempio aree calanchive attive, scarpate 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. Sono assimilate a questa categoria anche le aree in dissesto associate	1053 2110 2120	PFME PF4

			a scarpate morfologiche caratterizzate da processi geomorfologici gravitativi o erosivi diffusi e ricorrenti.		
--	--	--	---	--	--

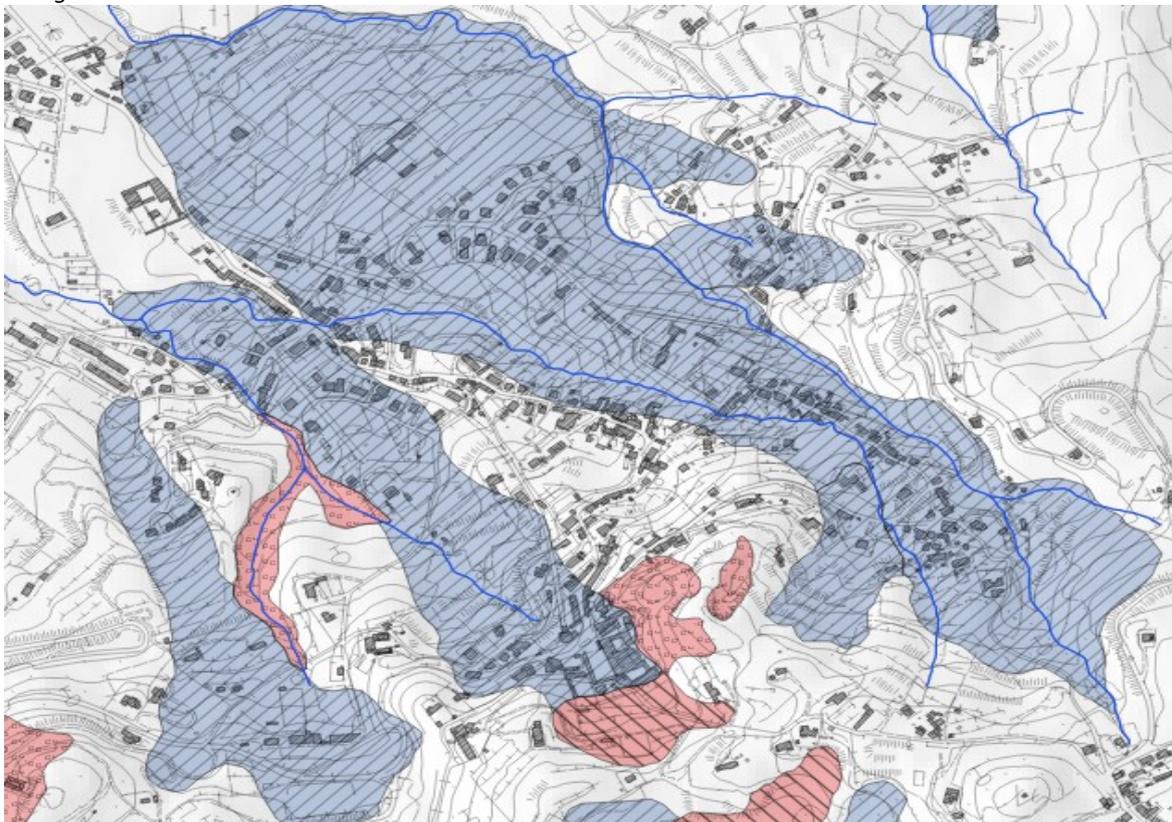
7.8 AREE CON MAGGIORI PROBLEMATICHE DI VERSANTE

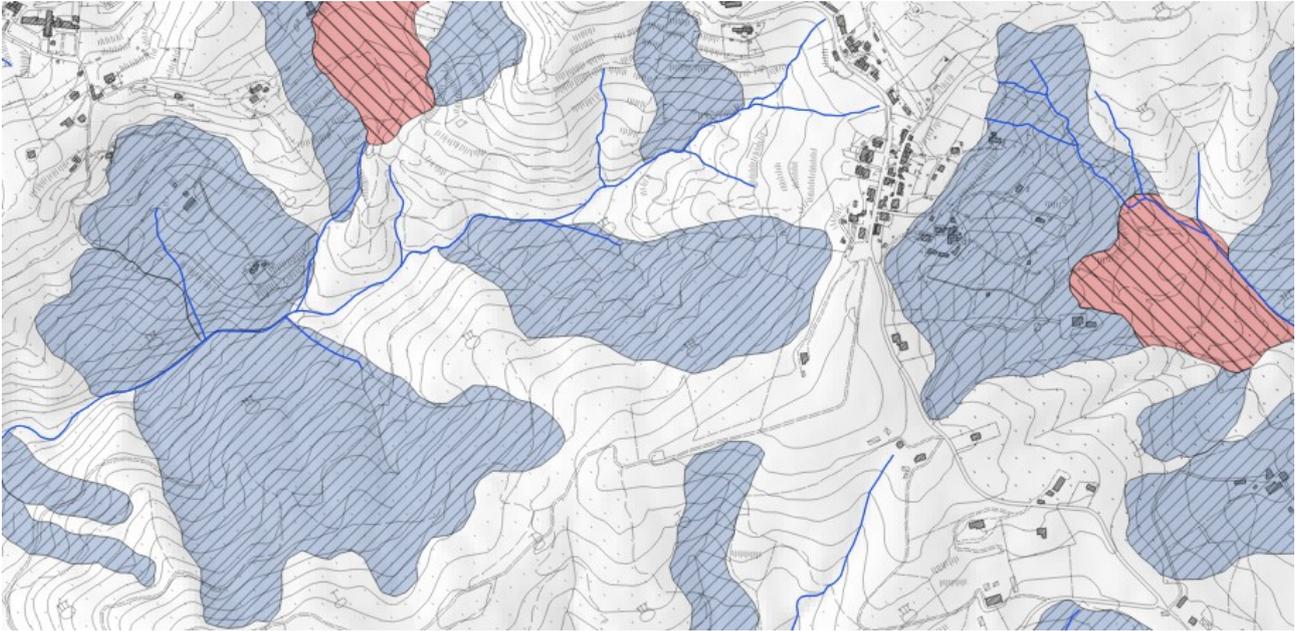
Come emerge dalla Carta Geomorfologica, le zone maggiormente problematiche per dissesti attivi e/o quiescenti nel comune di Livorno si ritrovano in corrispondenza delle località di Montenero-Castellaccio, Quercianella, Valle Benedetta ed in generale in corrispondenza dei medi ed alti bacini dei torrenti 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 è 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 (DBG) 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.

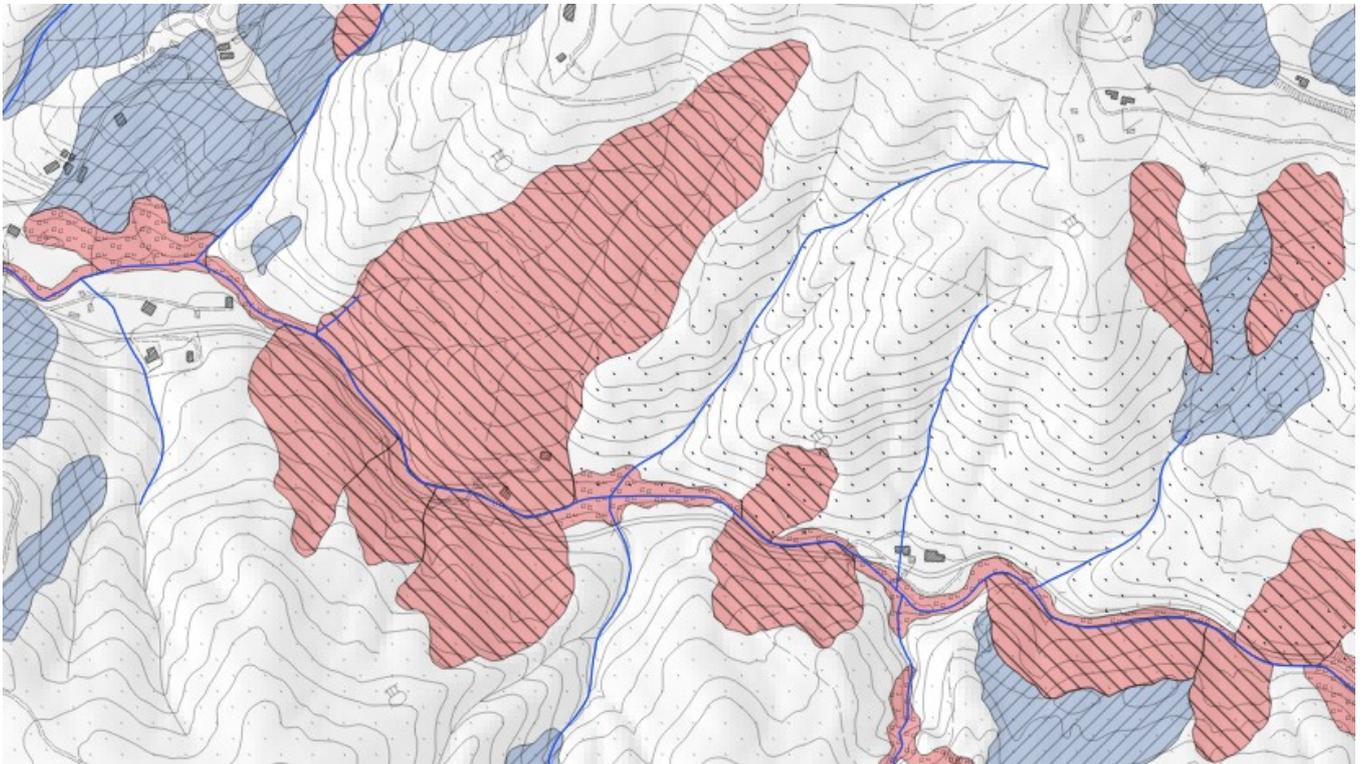


2) SETTORE DI MONTENERO-CASTELLACCIO

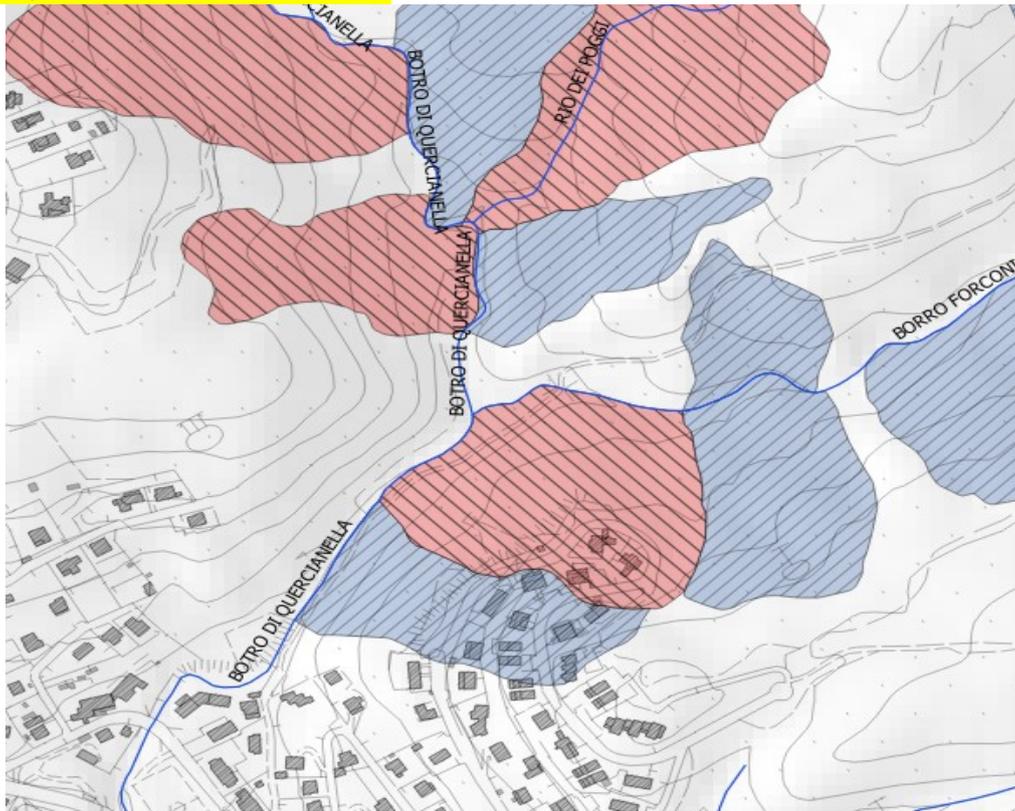
Montenero s.s. favorita dalla tipologia argilloscistosa dei depositi.

3) VALLE DEL RIO ARDENZA

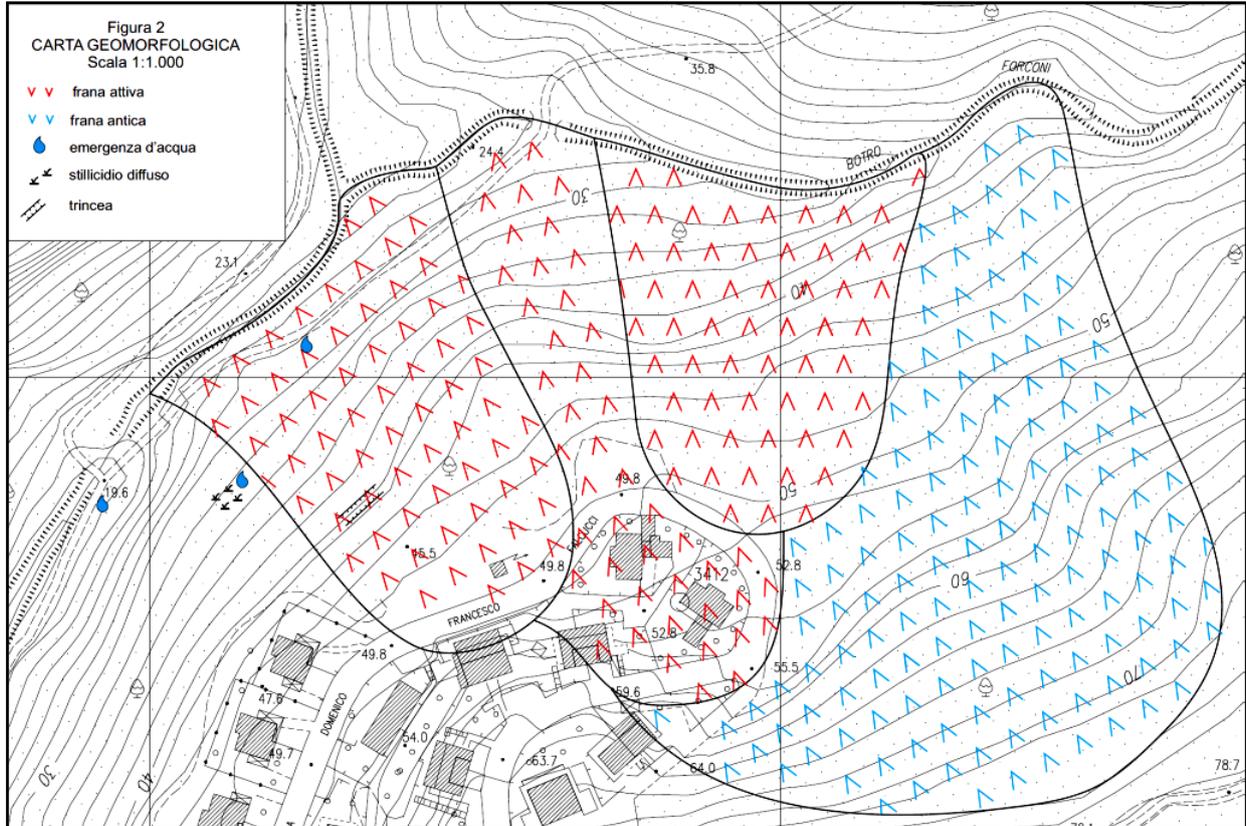
sotto: vaste aree in frana per lo più di tipo attivo lungo il Rio Ardenza e sulle pendici poste sia in sx che in dx idrografica

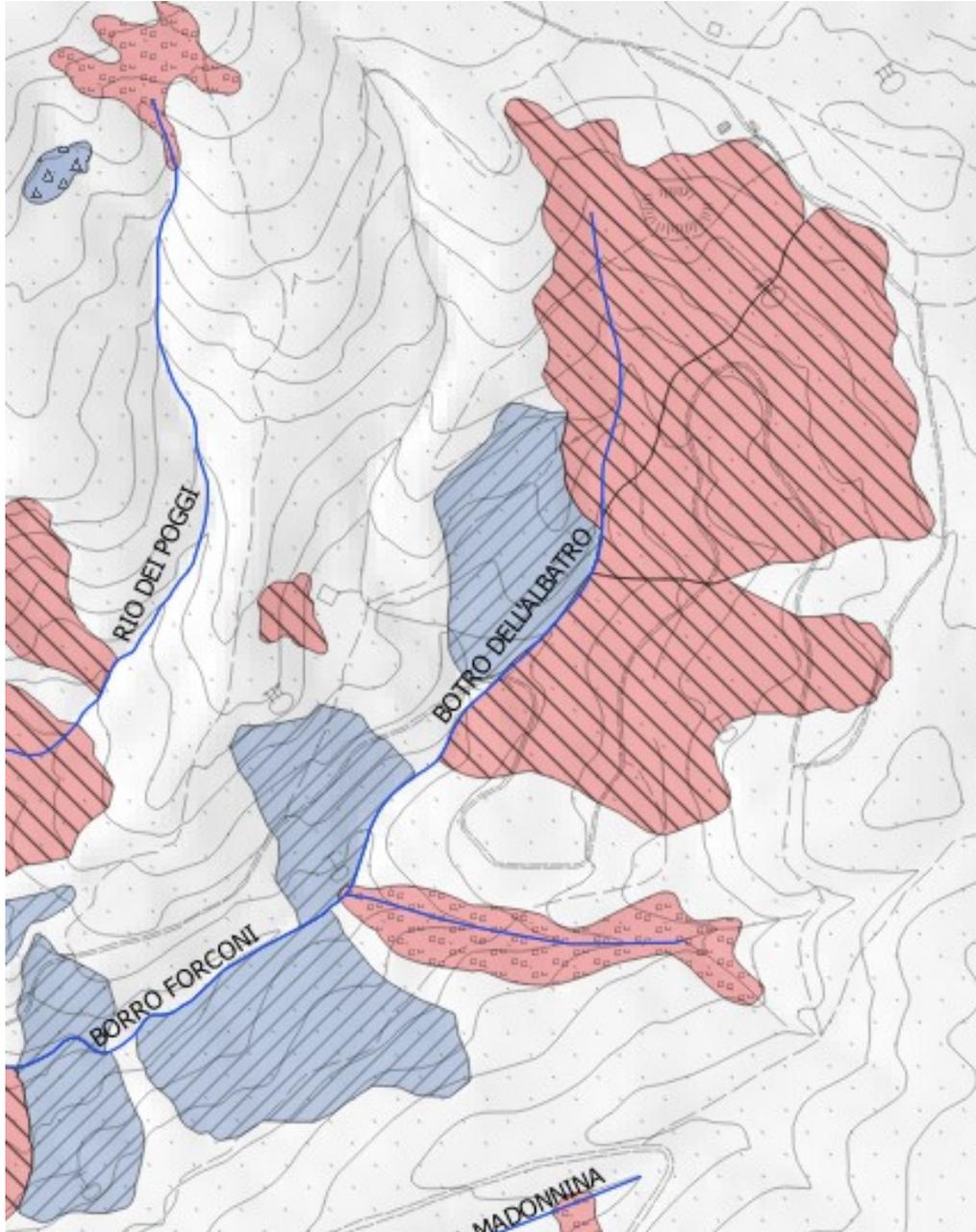


4) SETTORE QUERCIANELLA - VIA FALCUCCI

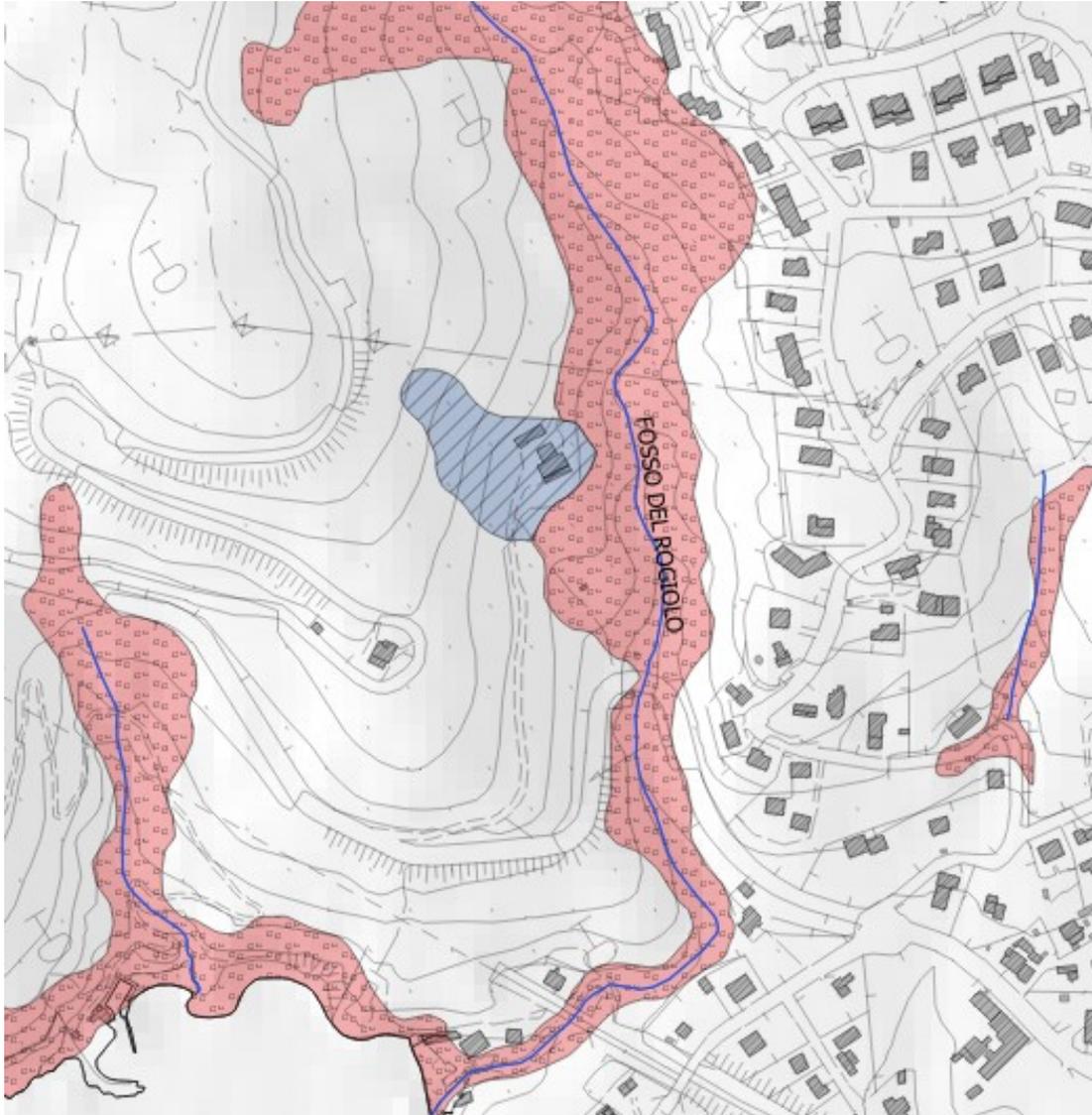


sotto: estratto dallo studio commissionato dal Comune (Dr. Geol. Daria Marchetti) nel 2012, con indicazione di franosità attiva prevalente rispetto al DBGR vigente.



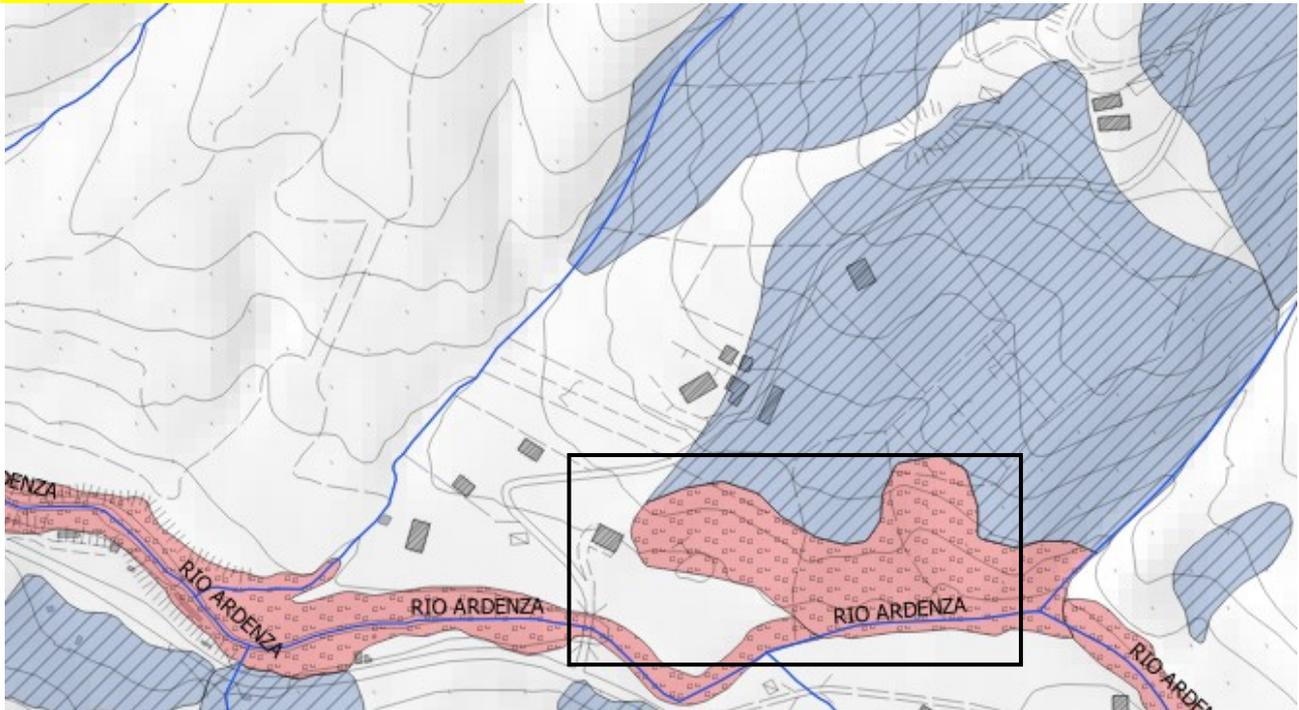
5) SETTORE QUERCIANELLA - SX IDROGRAFICA BOTRO DELL'ALBATRO

Frane attive e quiescenti di scorrimento individuate dal DBGR nelle litologie argillose: Argilliti e calcari di Poggio Rocchino, Argille a Palombini, Flysch di Ottone-Monteverdi

6) SETTORE QUERCIANELLA - Versante in dx e sx idrografica Fosso del Rogiolo fino alla confluenza in mare;

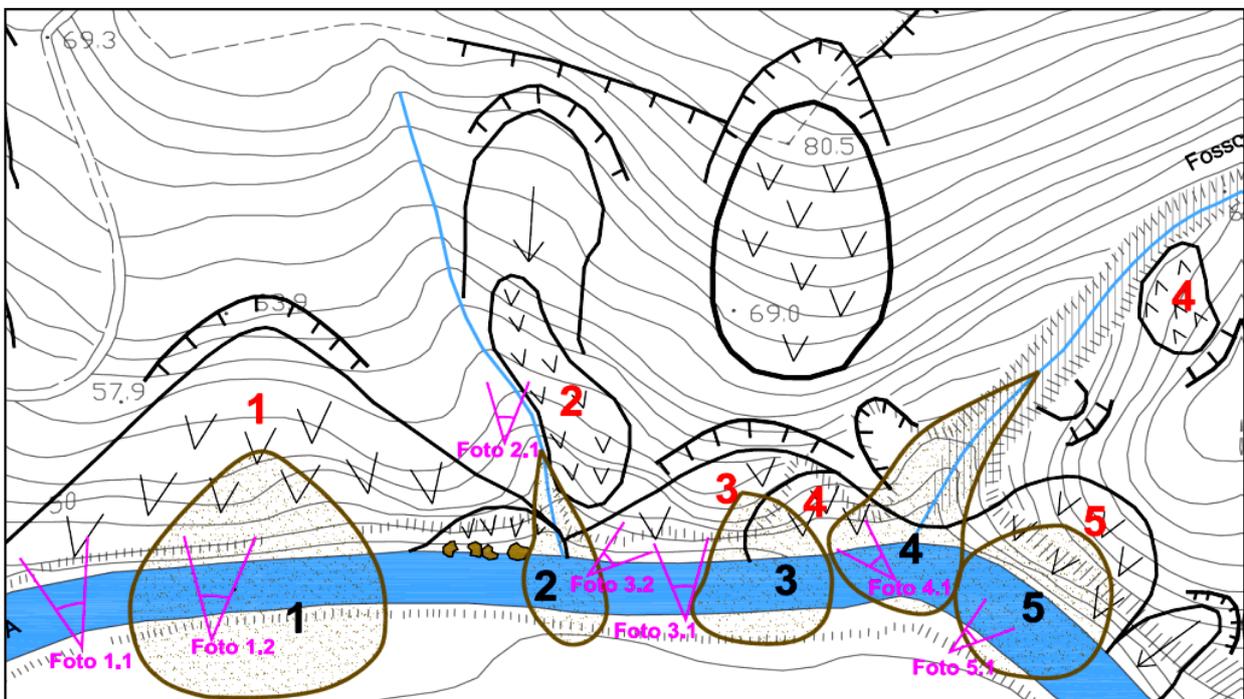
sopra: si notino gli estesi fenomeni attivi e quiescenti individuati

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

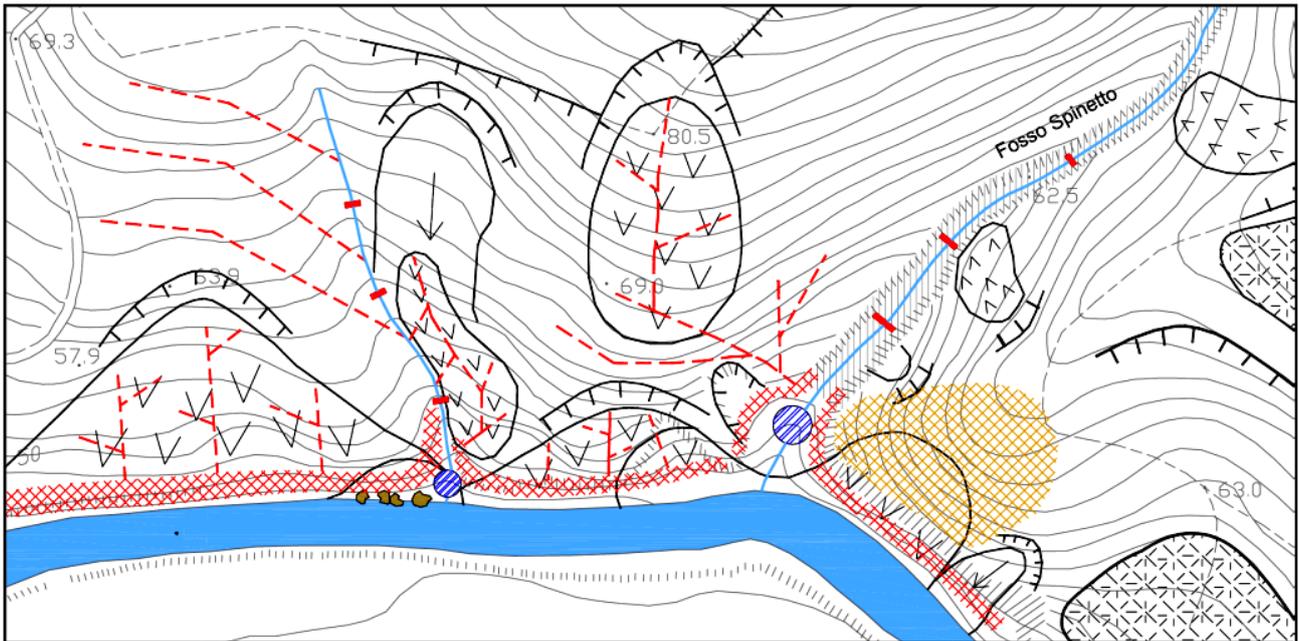


in alto: la franosità attiva e quiescente nella zona poco a nord di Via Remota.

Sotto; uno studio di approfondimento sull'area eseguito dal dr. Rafanelli a cui è seguito un periodo di monitoraggio.

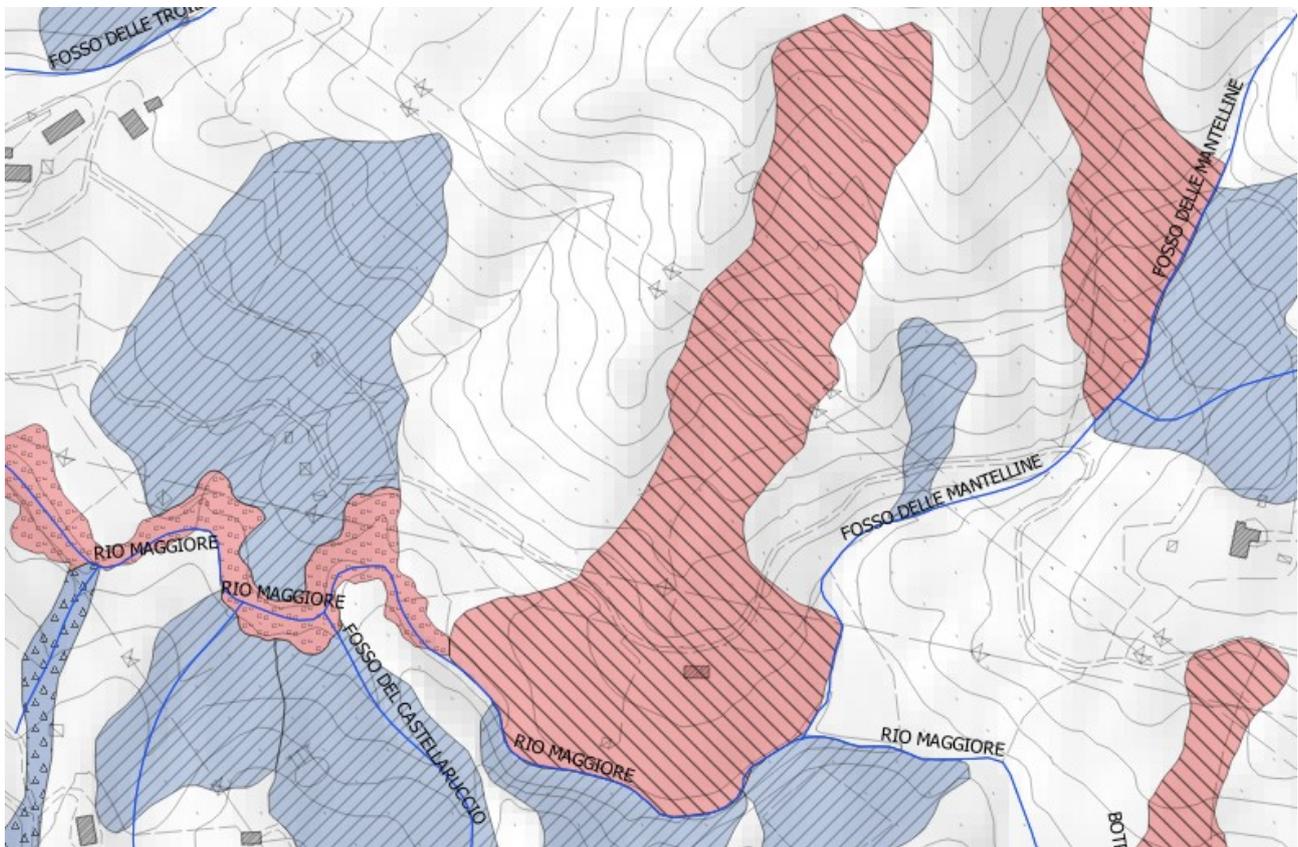


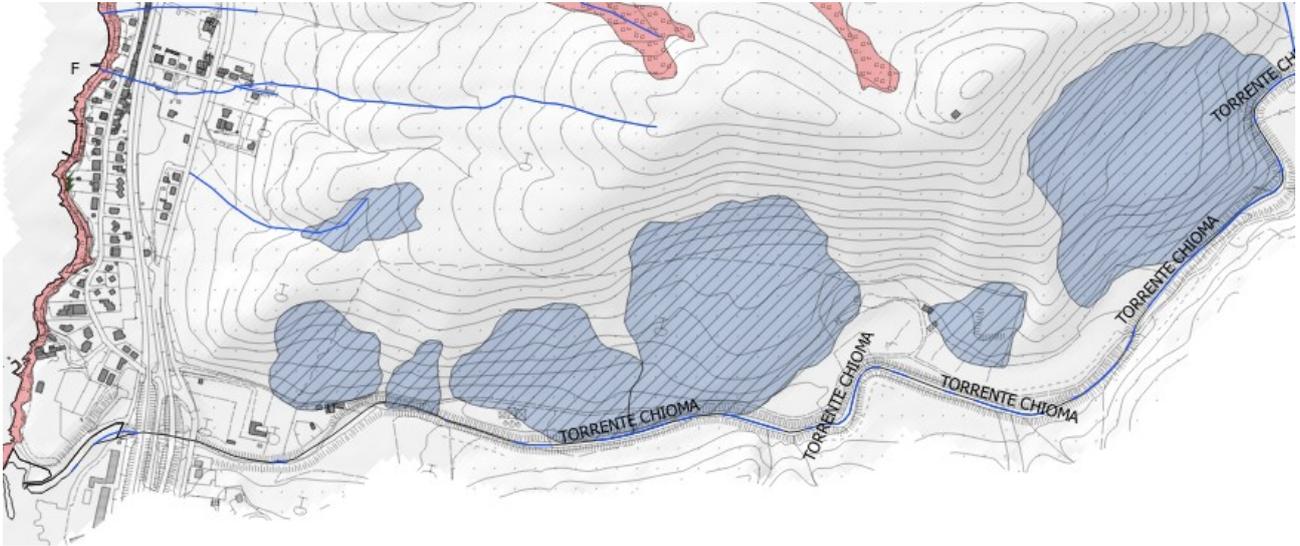
in alto: estratto Studio recente sulla zona (Rafanelli et alii) commissionato dal Comune di Livorno. Si rileva un maggiore dettaglio nella delimitazione dei corpi di frana e una conferma della criticità dell'area. Lo studio propone soluzioni di intervento visibili a pagina seguente



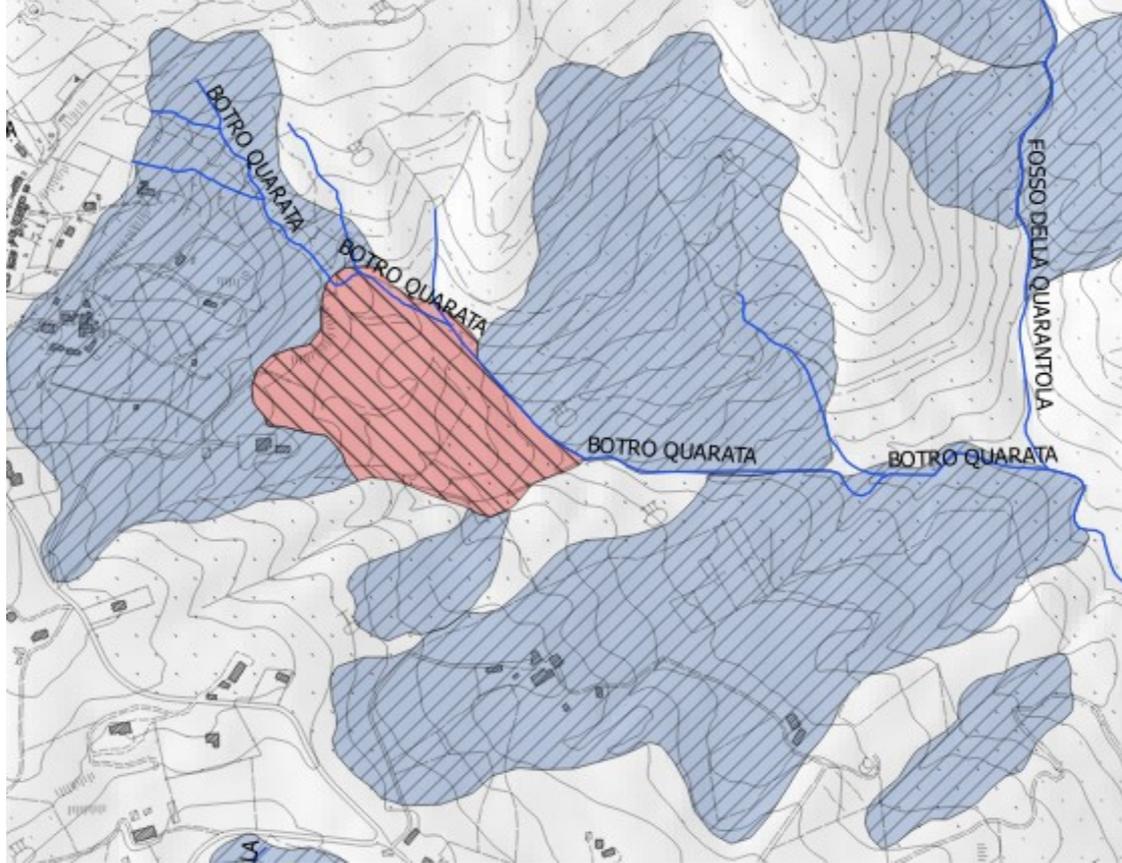
in alto: le soluzioni di mitigazione e prevenzione del dissesto presente e futuro proposte nello studio di Rafanelli et alii, con trincee drenanti ed opere di sostegno di sponda dx in primi, oltre ad una parziale risagomatura del rilievo a monte della confluenza del fosso Spinetta col rio Ardenza.

8) PARTE ALTA BACINO DEL RIOMAGGIORE, settore Fosso delle Mantelline

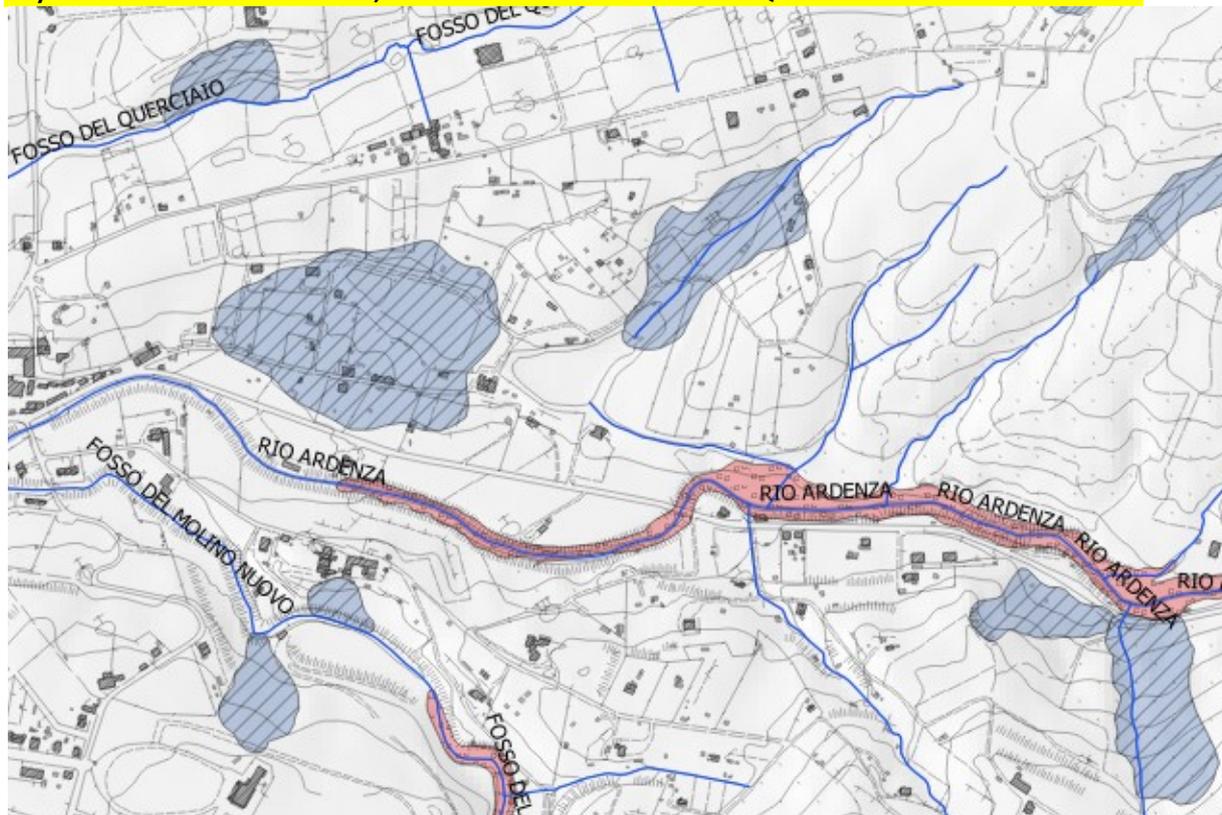


9) SETTORE DEL RIO CHIOMA A MONTE DELLA FOCE

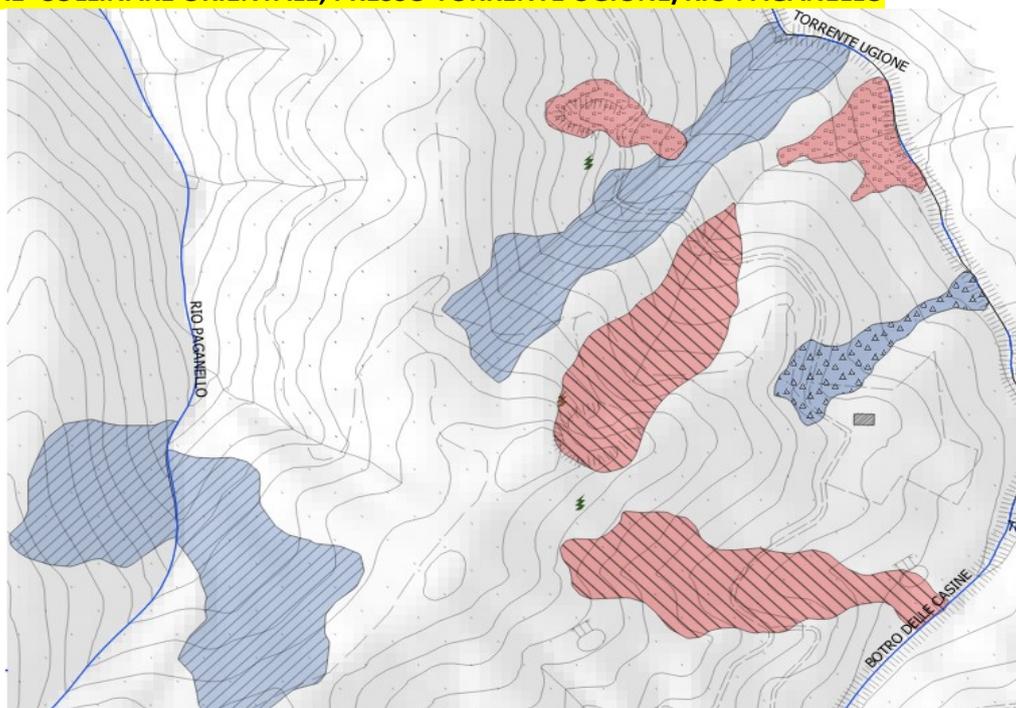
in alto: numerosi ed estesi corpi di frana quiescente con movimento di scorrimento e/o indeterminato, associati in gran parte alle Argille a Palombini e altri litotipi flyschoidi predisponenti al dissesto.

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 argilloscisti.

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.

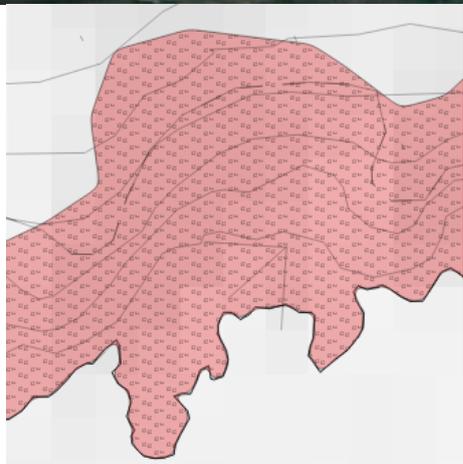
12) SETTORE COLLINARE ORIENTALE, PRESSO TORRENTE UGIONE/RIO PAGANELLO

7.9 MOVIMENTI GRAVITATIVI LUNGO LA COSTA ALTA

13) TRATTO COSTIERO SOTTO CASTEL SONNINO, COSTA A FALESIA ALTA CON AFFIORAMENTO GABBRI.



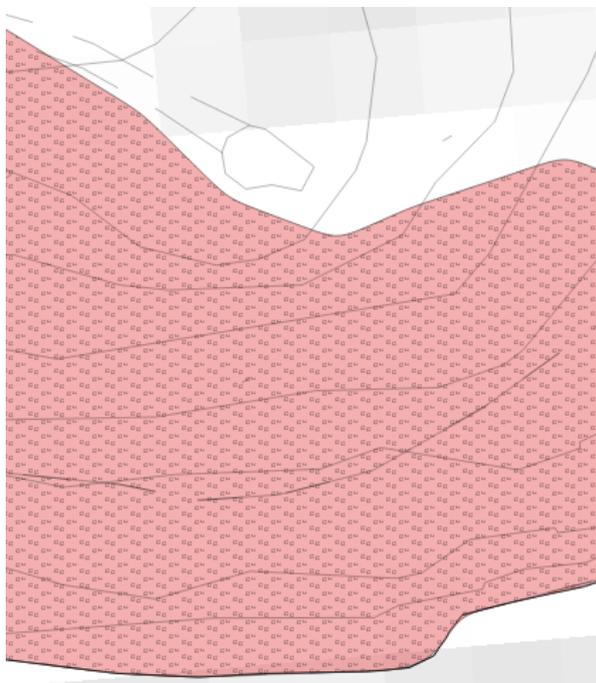
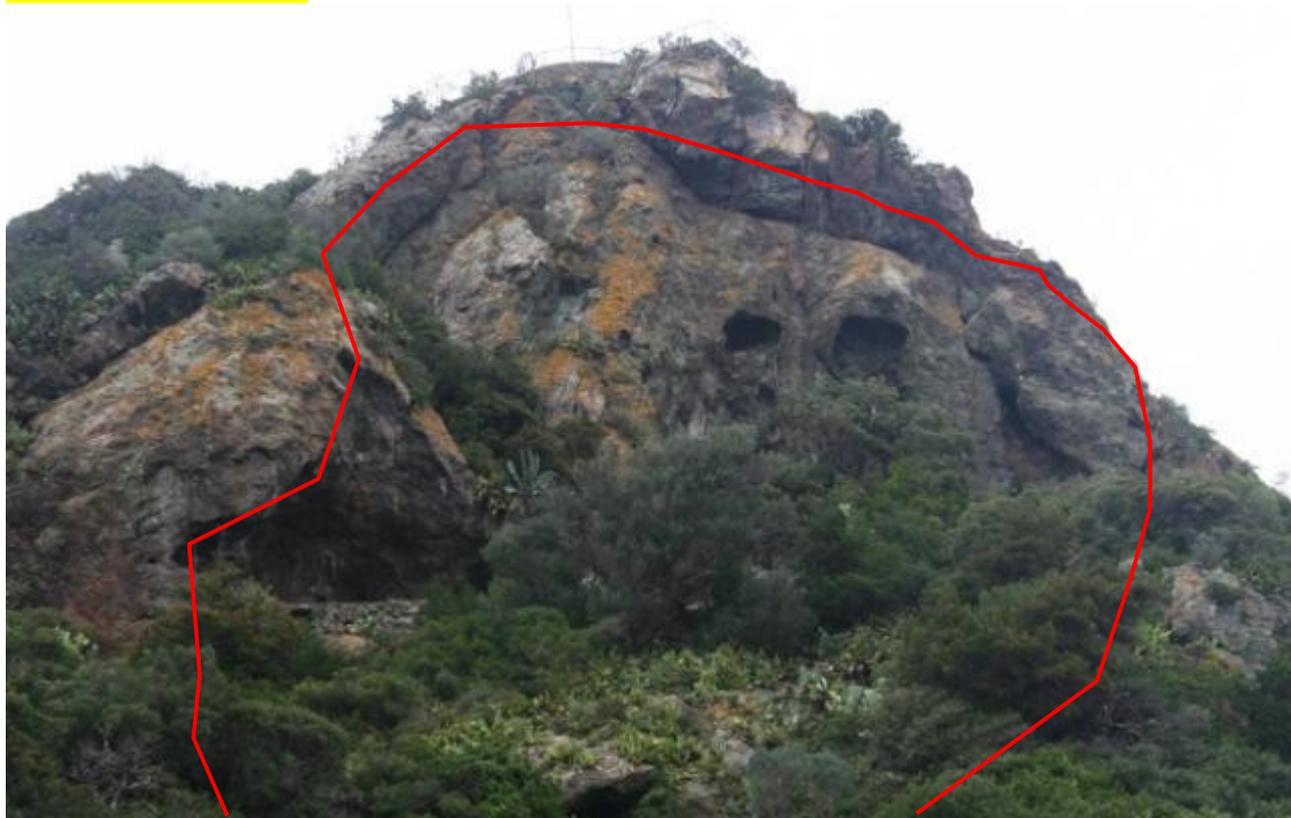
Area con taglio fresco, segno di recente distacco (limitato) di materiale verso il basso



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.

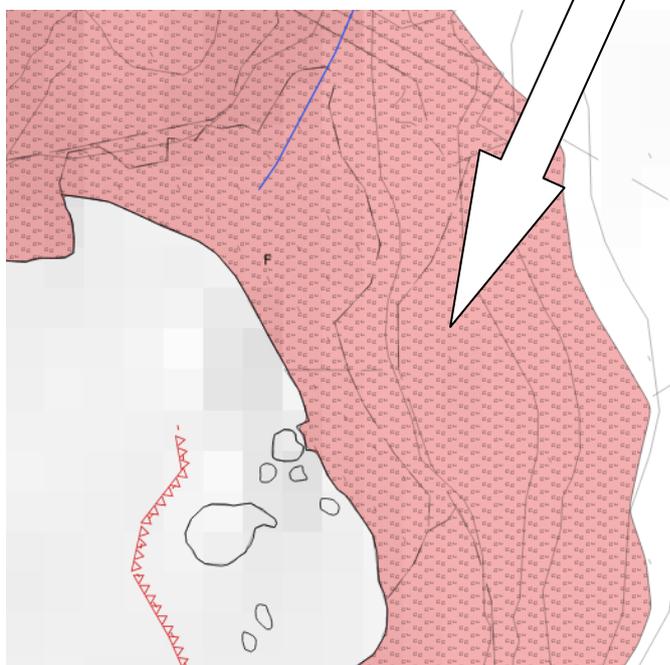


14) TRATTO COSTIERO SOTTO IL BELVEDERE DI CASTEL SONNINO, COSTA A FALESIA ALTA CON AFFIORAMENTO GABBRI

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**

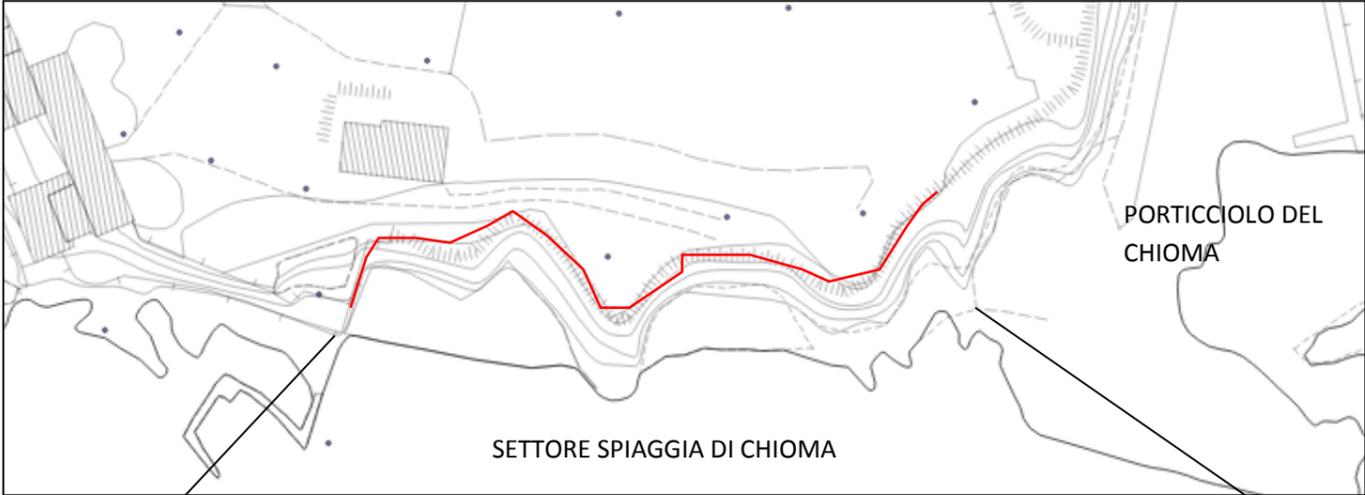
Nelle pagine che seguono sono allegate alcune schede (formato A3) che, a partire dalla foce del Rio Chioma fino alla Spiaggia della Tamerice (ultima spiaggia verso Nord), mostrano alcune delle numerose situazioni di criticità gravitativa e rilevate da un sopralluogo via mare e ben visibili, che interessano 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 scochiere artificiali di protezione nei vasti tratti di falesia più esposti all'erosione; i lavori di rifioritura di tali scochiere 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

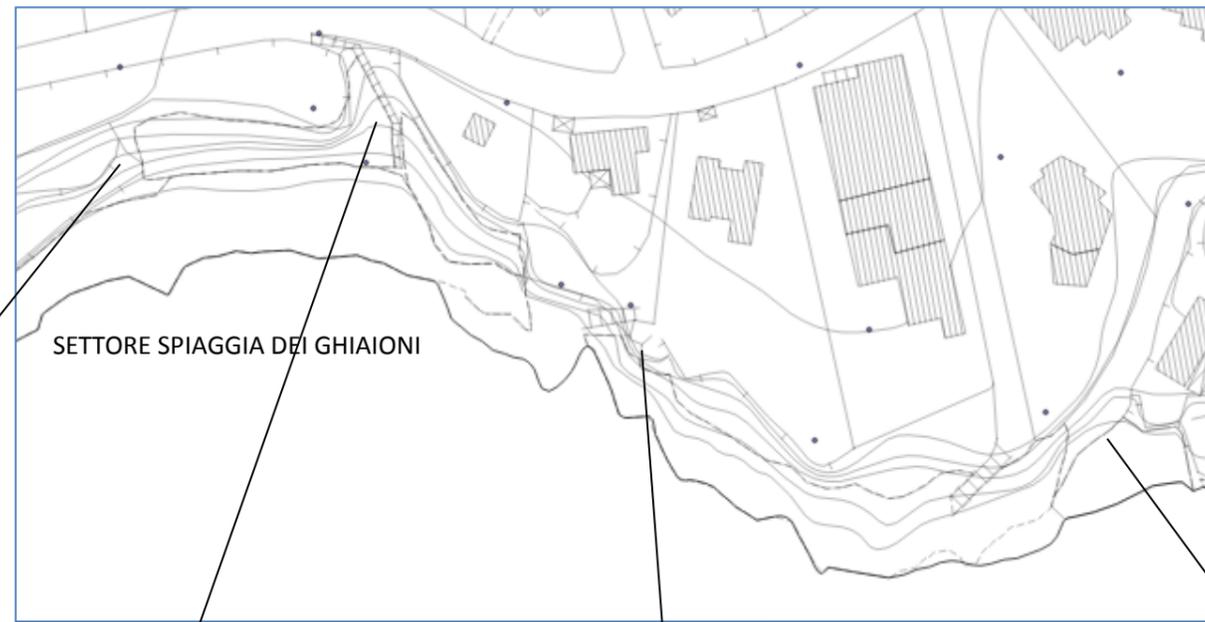


lunghezza tratto con affioramenti = circa 110 m

MURO IN C.A. GETTATO
TRASVERSALE ALL'ARENILE.

FENOMENI DI MAGGIORE INSTABILITA'
CON CROLLI DIFFUSI DI BLOCCHI LAPIDEI
CAUSA FRATTURAZIONE STRATI CALCAREI

PANORAMICA SETTORE FRA SPIAGGIA DI CHIOMA E SPIAGGIA DEI GHIAIONI



AREA INSTABILE CON CROLLI E SCIVOLAMENTI

AFFIORAMENTO DI PANCHINA CALCARENITICA

MANUFATTO ANTROPICO.

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

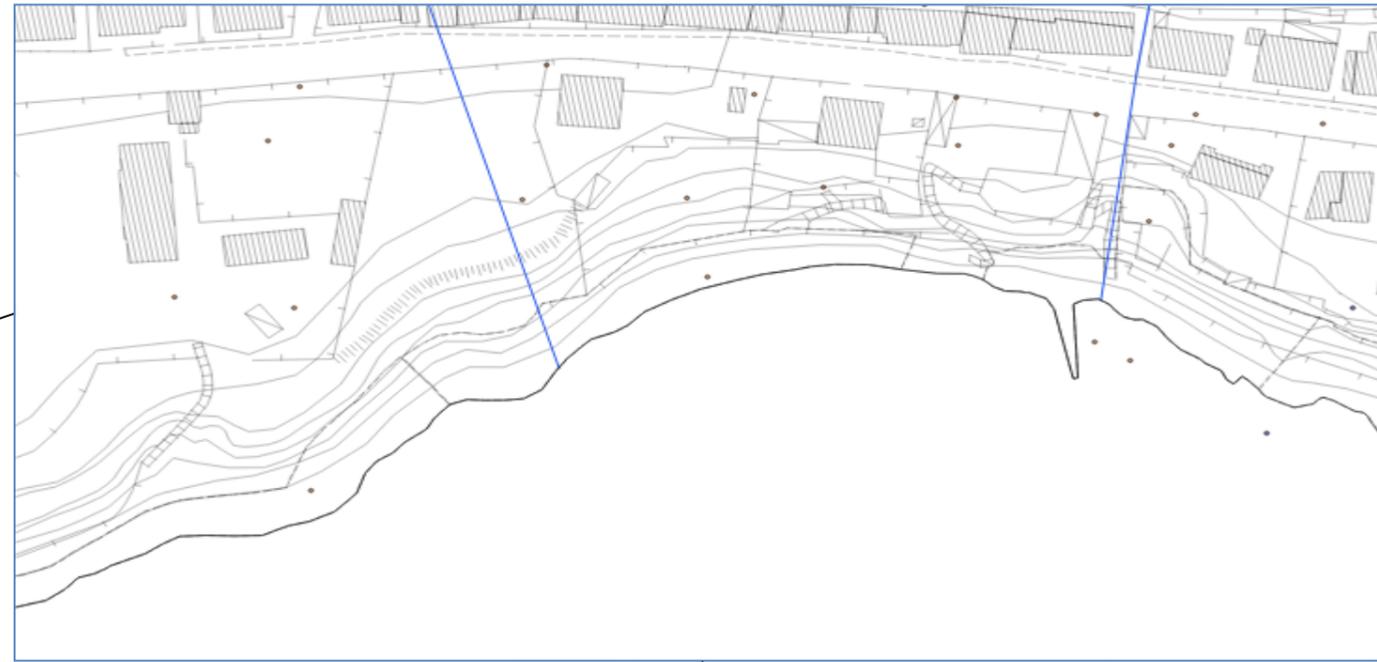
STRATI VERTICALI CALCAREI IN DEGRADAZIONE CON CROLLI DI BLOCCHI

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



LEGENDA GEOMORFOLOGICA

DEPOSITI QUATERNARI

DEPOSITI OLOCENICI

- DEPOSITI ANTROPICI

- Terreni di riporto, bonifica per colmata (**h5**)
- Discariche di cave, ravaneti (**h3**)
- Discariche per inerti e rifiuti solidi urbani (**h1**)

- DEPOSITI DI VERSANTE

- Accumuli lungo i versanti di frammenti litoidi, eterometrici, angolosi, talora stratificati, con matrice sabbiosa o sabbioso-limosa (**aa**)

- DETRITI DI FALDA

- Falde di detrito, talus detritici, coni di detrito coalescenti, anche a grossi blocchi, prevalentemente al piede delle pareti in roccia pietraie (**a3a**)

- DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI

- Coperture di materiale a granulometria fine (limi e sabbie), con rari frammenti litoidi grossolani; processi di alterazione e/o trasporto di entità limitata o non precisabile (**b2a**)

NOTE ALLA RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA

Nella Carta Geomorfologica le frane, suddivise secondo la legenda già citata nelle pagine precedenti, sono state cartografate tenendo conto del corpo di frana e della corona ove le informazioni permettevano di individuare una linea di distacco.

Inoltre, ove nel caso in cui nel territorio indagato siano state evidenziate aree con problematiche di dissesto attivo si è individuato, oltre al corpo di frana, un perimetro di possibile evoluzione del dissesto coerentemente con la tipologia del fenomeno e con le ipotesi cinematiche ad esso connesse.

Parimenti, nella Carta della pericolosità, ogni area a pericolosità elevata (in genere associata alle frane quiescenti e indeterminate) e molto elevata (sempre associata alle frane attive) è stata ampliata, rispetto al perimetro del corpo di frana, di una "zona di influenza" che abbiamo stimato con un buffer di circa 10 m in allargamento e che tiene conto della linea di corona.

Pertanto ogni corpo di frana è associato ad un grado di pericolosità geomorfologica ragionevolmente più ampio della frana stessa, a favore della sicurezza.

Inoltre, ove i buffer applicati mostravano perimetro molto ravvicinato (caso frequente di corpi di frana vicini), si è provveduto, nella Carta della Pericolosità Geomorfologica, ad accorpare le aree a medesimo grado di pericolosità.

Nella Carta geomorfologica sono inoltre stati distinti i fenomeni di dilavamento, quelli di erosione costiera e quelli antropici, oltre alle cave inattive ed altre situazioni meglio apprezzabili nella tavola medesima.

La legenda generale di riferimento è quella fornita nel DBGR della Regione Toscana da cui sono state scaricate le simbologie formato shp utilizzate.

8 CLASSIFICAZIONE LITOLOGICO-TECNICA DEI DEPOSITI

Le caratteristiche litologico-tecniche ("litotecniche") di rocce e terre affioranti e sub-affioranti condizionano distribuzione spaziale, frequenza, caratteristiche morfometriche, cinematisimo, 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 cartografia litotecnica regionale "derivata" (vedi più avanti) è stata implementata, con alcune modifiche, la Carta Litologico-tecnica, individuando 5 classi principali 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 **UNITA' 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 e quelle stratigrafiche

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)
<i>DEPOSITI ANTROPICI</i>		<i>Classe</i>	<i>Unita'</i>	<i>CLASSI</i>
<i>DEPOSITI ATTUALI E OLOCENICI</i>				
ant	Area fortemente antropizzata			<i>n.d.</i>
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
<i>DEPOSITI ATTUALI E OLOCENICI</i>				
a3	Coperture detritiche indifferenziate	5	LI 1	D1
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
<i>DEPOSITI PLEISTOCENICI</i>				
QSD	Sabbie rosso arancio di Donoratico	2	LS 2	2
QCPa	Calcareni sabbiose di Castiglioncello (Panchina)	1	LC 3	2
QCPb		1	LC 5	
QCP		1	LC 3	2
QBC		Brecce di Punta Casotto	5	LI 3
QCC	Conglomerato del Chioma	5	LI 3	2
		2	LS 1 (rif. Congl. S. Stefano)	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 <i>Arctica</i>	4	LPI	/
<i>DEPOSITI MARINI PLIOCENICI</i>				
FAA	Argille azzurre	3	LP 2	6
FAAe	Sabbie risedimentate nelle argille	2	LS 2	2
<i>DEPOSITI LACUSTRI E LAGUNARI POST-EVAPORITICI DEL MESSINIANO</i>				
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
<i>DEPOSITI MARINI PRE-EVAPORITICI DEL MESSINIANO INFERIORE</i>				
ROsb	Calcari e calciruditi	1	LC 2	1
ROSa	Conglomerati	2	LS 1	2
RAQ	Argille e argille sabbiose	3	LP 1	4
RAQg	Lenti di gessi	1	LC 2	4
<i>DEPOSITI LACUSTRI DEL TORTONIANO SUP.</i>				
SLEC	Conglomerati e paraconglomerati eterometrici	2	LS 1	2
<i>DOMINIO LIGURE INTERNO UNITA' DI M. GOTTERO</i>				
APA	Argille a Palombini	2	LS 4	4
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 serpentizzate con filoni di gabbri e basalti	1	LC 2	1
<i>DOMINIO LIGURE ESTERNO UNITA' FLYSCH A ELMINTOIDI, UNITA' DI OTTONE</i>				
OMT	Flysch di Ottone Monteverdi	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
<i>UNITA' DI M. MORELLO, UNITA' DI S. FIORA</i>				
MLL	Formazione di M. Morello	1	LC 6	1
SIL	Formazione di Sillano - S. Fiora	2	LS 4	4
<i>DOMINIO SUBLIGURE UNITA' DI CANETOLO</i>				
MRR	Marne di Marra	2	LS 3	4
ACC	Argille e calcari di Canetolo	2	LS 4	
<i>DOMINIO TOSCANO FALDA TOSCANA</i>				

CLASSE 1
FORMAZIONI COERENTI AD ELEVATA E MEDIA RESISTENZA

CLASSE 2
FORMAZIONI SEMICOERENTI CONGLOMERATICHE

CLASSE 3
FORMAZIONI INCOERENTI SABBIOSE

CLASSE 4
FORMAZIONI COERENTI DI SCARSA RESISTENZA

CLASSE 5
FORMAZIONI PSEUDOCOERENTI ARGILLOSO-SABBIOSE

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.

9 LE CAVE SUL TERRITORIO

9.1 – PREMESSA - A seguito dell'entrata in vigore della L.R. 35 del 25 marzo 2015, che ha modificato in maniera sostanziale la normativa precedente in materia di cave, il Servizio di Protezione Civile del Comune di Livorno ha completato nel settembre 2015 il lavoro "I siti estrattivi dismessi del Comune di Livorno" in riferimento alla della L.R. n. 78 del 3.11.1998 così come modificata dalla L.R. n. 35 del 25.03.2015, con particolare riferimento a quanto disposto dall'art. 31. A tale lavoro si riferisce il presente paragrafo che ne rappresenta, di fatto, una sintesi.

Le cave dismesse/inattive sono inoltre state mappate nella Carta Geomorfologica, riconoscendo in esse tratti peculiari del territorio meritevoli di rilevanza.

il primo lavoro sistematico sulle cave del Comune di Livorno venne effettuato nel 1994 negli studi che supportano il Piano Strutturale vigente (1997). Furono cartografati n. 22 siti estrattivi:

- Cava di Argilla
- Corbolone – Tiro a Volo Retro
- Corbolone Tiro a Volo Lato
- Crocione
- Poggio La Fontaccia
- Poggio La Fontaccia – Molino
- Monte La Poggia
- Monte Rotondo
- Poggio dei Sette Venti
- Sperticaia
- La Palazzina
- La Palazzina – Razzinaie
- Montenero – Via Byron
- Livelli
- Monte Burrone
- Maroccone
- Calafuria
- Telegrafo Punta Combara
- Telegrafo Punta del Miglio
- Calignaia
- Pietralta
- Cala Maestra (Gorgona)

Nell'ambito del Regolamento Urbanistico (1999) le cave vengono normate dall'art. 34 e nelle Carte di Piano vengono individuati i seguenti 29 siti:

- Cava di Argilla
- Corbolone – Tiro a Volo Retro
- Corbolone Tiro a Volo Lato
- Crocione
- Vallin del Lupo – Valle
- Vallin del Lupo - Monte
- Poggio La Fontaccia
- Poggio La Fontaccia – Molino
- Monte La Poggia
- Limoncino alto – Valle
- Limoncino alto – Monte

INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE A SUPPORTO DEL "PIANO STRUTTURALE 2" DI LIVORNO
REVISIONE 1

- Area posta a Nord di Ponte del Diavolo
- Ponte del Diavolo - Destra idraulica
- Ponte del Diavolo - Sinistra idraulica
- Poggio dei Sette Venti
- Sperticaia
- La Palazzina
- La Palazzina – Razzinaie
- Area posta ad Ovest della Palazzina
- Area posta a Nord della Palazzina
- Boccale
- Calafuria
- Area posta tra Calafuria e Punta Pacchiano
- Telegrafo Punta Pacchiano
- Telegrafo Punta Combara
- Telegrafo Punta del Miglio
- Area a Nord di Calignaia
- Calignaia
- Area ad Est di Via Falcucci

Successivamente il censimento aggiornato al marzo 2013 ha rilevato nel territorio livornese 34 siti estrattivi/ex-estrattivi (n. 32 nell'area continentale n. 2 nell'Isola di Gorgona, come da immagine sotto).



1 SAGGERBATE
2 CANA DI CALAFURIA
3 TRINCA VIORE - PISTOIA
4 FREGIA FUSO - LAVO
5 F. FORTINONE
6 VALLI DI LUPA - VALLI
7 VALLI DI LUPA - MOFFE
8 FOSCOLO TORRELLA
9 FOSCOLO TORRELLA - ANGLIO

22 MURTELA F. DEGA
23 SANPIETRO ALTO - VALLE
24 SANPIETRO ALTO - MOFFE
25 MONTAVALLE - PISTOIA
26 MONTAVALLE - MOFFE
27 MONTAVALLE - MOFFE
28 MONTAVALLE - MOFFE
29 MONTAVALLE - MOFFE
30 MONTAVALLE - MOFFE
31 MONTAVALLE - MOFFE
32 MONTAVALLE - MOFFE
33 MONTAVALLE - MOFFE
34 MONTAVALLE - MOFFE
35 MONTAVALLE - MOFFE
36 MONTAVALLE - MOFFE
37 MONTAVALLE - MOFFE
38 MONTAVALLE - MOFFE
39 MONTAVALLE - MOFFE

20 SPERTICAIA
21 LA PALAZZINA
22 LA PALAZZINA - RAZZINAIE
23 MONTAVALLE - MOFFE
24 MONTAVALLE - MOFFE
25 MONTAVALLE - MOFFE
26 MONTAVALLE - MOFFE
27 MONTAVALLE - MOFFE
28 MONTAVALLE - MOFFE
29 MONTAVALLE - MOFFE
30 MONTAVALLE - MOFFE
31 MONTAVALLE - MOFFE
32 MONTAVALLE - MOFFE
33 MONTAVALLE - MOFFE
34 MONTAVALLE - MOFFE
35 MONTAVALLE - MOFFE
36 MONTAVALLE - MOFFE
37 MONTAVALLE - MOFFE
38 MONTAVALLE - MOFFE
39 MONTAVALLE - MOFFE

20 TELEGRAFO PUNTA PACCHIANO
21 TELEGRAFO PUNTA COMBARA
22 TELEGRAFO PUNTA DEL MIGLIO
23 CALIGNAIA
24 VIA FALCUCCI
ISOLA DI GORGONA
25 CALAMANDRA
26 TORRELLA

Il censimento dei siti estrattivi aggiornato a settembre 2015

Per ognuno dei 34 siti sito è stata predisposta una scheda tipo sotto esemplificata:

DATI GENERALI	1. Stato di attività
	2. Estensione area (in ha)
	3. Presenza discarica
TIPO DI COLTIVAZIONE	4. Metodologia morfologica adottata
	5. Tecnica di escavazione
PERICOLOSITA'	6. Pericolosità geomorfologica
	7. Pericolosità idraulica
ELEMENTI MORFOLOGICI	8. Collocazione territoriale
	9. Quota minima (m s.l.m.)
	10. Quota massima (m s.l.m.)
	11. Altezza fronte (m)
	12. Esposizione
	13. Acclività del versante
ELEMENTI GEOLOGICI E GIACIMENTOLOGICI	14. Formazione/i geologica/che sfruttata/e
	15. Stratificazione
	16. Alterazione
	17. Fratturazione
STABILITA' DEI FRONTI DI SCAVO ED EROBILITA'	18. Grado di stabilità
	19. Grado di erosione
CARATTERISTICHE IDRAULICHE E IDROGEOLOGICHE	20. Bacino idrografico di appartenenza
	21. Acque superficiali
	22. Acque sotterranee
	23. Vulnerabilità idrogeologica
TIPO DI VIABILITA'	24. Viabilità di accesso
	25. Stato della viabilità di accesso
OSSERVAZIONI AMBIENTALI	26. Presenza di crolli o scivolamenti sul fronte di scavo
	27. Interferenza sulla dinamica dei flussi idrici
	28. Impatto cromatico
	29. Visibilità da strade di grande comunicazione
	30. Visibilità da centri abitati
	31. Ripristino ambientale naturale
	32. Ripristino ambientale artificiale
	33. Presenza di ruderi
34. Vincoli	
35. Valutazioni sugli interventi prevedibili sul sito	

La superficie totale dei siti di cava analizzati è di circa 534.000 mq.

Tale superficie è ripartita come da tabella fornita di seguito:

N. Codice	Ubicazione – Denominazione Cava	Area (in ha.)
1	EX-CEMENTIR	3,00
2	CAVA DI ARGILLA	4,00
3	CORBOLONE TIRO A VOLO - RETRO	1,50
4	CORBOLONE TIRO A VOLO - LATO	0,70
5	IL CROCIONE	3,25
6	VALLIN DEL LUPO - VALLE	0,38
7	VALLIN DEL LUPO - MONTE	0,15
8	POGGIO LA FONTACCIA	0,21
9	POGGIO LA FONTACCIA - MOLINO	0,30
10	MONTE LA POGGIA	7,50
11	LIMONCINO ALTO -VALLE	1,50
12	LIMONCINO ALTO -MONTE	0,50
13	PODERE DEL PUNTO	0,50
14	PODERE DEL MOLINO	0,20
15	MONTE ROTONDO	1,50
16	PONTE DEL DIAVOLO - DESTRA IDRAULICA	0,35
17	PONTE DEL DIAVOLO - SINISTRA IDRAULICA	0,50
18	POGGIO SETTE VENTI	1,50
19	SPERTICAIA	1,40
20	LA PALAZZINA	1,20
21	LA PALAZZINA - RAZZINAIE	0,47
22	MONTENERO - VIA BYRON	0,10
23	LIVELLI	0,70
24	MONTE BURRONE	2,10
25	MAROCCONE	0,50
26	BOCCALE	0,35
27	CALAFURIA	2,70
28	TELEGRAFO PUNTA PACCHIANO	1,50
29	TELEGRAFO PUNTA COMBARA	0,15
30	TELEGRAFO PUNTA DEL MIGLIO	1,40
31	CALIGNAIA	7,10
32	PIETRALTA	2,20
33	CALA MAESTRA	1,20
34	TORRE NUOVA	2,80

Nel lavoro del Comune del 2015 non è stata presa in considerazione la discarica comunale in quanto non è mai stata una cava, ma è nata e si è evoluta come impianto di smaltimento per Rifiuti Solidi Urbani (RSU). I suoi tre corpi: Pian dei Pinoli (attivo dal 1979 al 1983), Vallin dell'Aquila (attivo dal 1984 al 1994) e la Vasca Cossu (attiva dal 1994 al 2003) sono ormai chiusi al conferimento ed in fase di post gestione operativa.

9.2 – SITUAZIONE AI SENSI DEL R.U. DEL 1999

Nell'art. 34 delle NN.TT.A. del Regolamento Urbanistico vigente (1999) per le cave si riconoscono tre condizioni:

1. Cave dismesse
2. Cave attive

3. Aree da riqualificare – cave dismesse costiere

Per le cave dismesse tutti gli interventi devono essere finalizzati alla riduzione dell'inquinamento, del rischio idraulico, del dissesto idrogeologico e alla rinaturalizzazione dello stato dei luoghi.

Per le cave attive (ovvero confermate dal PRAE) è consentita la prosecuzione dell'attività in conformità al piano di coltivazione; a coltivazione esaurita devono essere predisposti interventi volti alla rinaturalizzazione dei luoghi. E' consentita la realizzazione di impianti tecnologici e di strutture di servizio in relazione all'attività di coltivazione della cava.

Le cave dismesse costiere vengono suddivise in due:

- a) Cave costiere lungo la Via Aurelia;
- b) Cave costiere interne di Calafuria e Calignai

Sembra che per queste cave siano approvabili interventi diretti alla riqualificazione, rinaturalizzazione dei luoghi ed alla creazione di nuovi servizi (parcheggi, verde, punti di ristoro, chioschi) legati alla fruizione della costa e dei Monti Livornesi.

Nelle modificazioni alle destinazioni d'uso, si precisa che tutte le cave dismesse costiere sono destinate a servizi per la fruizione pubblica della costa e dei Monti Livornesi. In particolare all'interno delle cave costiere lungo la Via Aurelia è consentita la realizzazione di verde e parcheggi; all'interno delle cave costiere interne di Calafuria e Calignai è prevista la realizzazione di verde, parcheggi e punti di ristoro.

In Tabella 4 sono riportati gli articoli che normano a livello di Regolamento Urbanistico le aree estrattive dismesse oggetto del censimento. E' importante far presente che nelle Carte di Piano dei 34 siti censiti ne sono classificati n. 23 come cave e che, sempre nelle Carte di Piano, sono classificate come cave altri 6 siti che il nostro censimento non ha neanche preso in considerazione per un completo e integrale riassorbimento nel tessuto naturale circostante:

- FOGLIO 19 RU – sopra il sito Codice 16 è cartografata una cava;
- FOGLIO 23 RU – presenti n. 2 cave rispettivamente verso Nord ed Ovest dei siti CODICE 20-21;
- FOGLIO 24 RU – presente n. 1 cava tra i siti CODICE 27 e 28;
- FOGLIO 24 RU – presente n. 1 cava sopra il sito CODICE 31;
- FOGLIO 25 RU – presente n. 1 cava a Est della curva di Via Falcucci.

Sistema delle aree protette: Monti Livornesi – Parco provinciale e Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano - Gorgona

Dalla ricognizione effettuata sulle carte della Provincia di Livorno in merito alla perimetrazione delle aree destinate a Parco emerge che n. 17 cave non sono inserite in aree di parco, n. 5 sono inserite in aree del Parco provinciale "Monti Livornesi", n. 4 sono inserite nelle aree protette di interesse locale (ANPIL), n.6 rientrano all'interno del Sito di Importanza Regionale (SIR B09) di Calafuria .

Inoltre le n. 2 cave nell'Isola di Gorgona – come del resto l'intera Isola – rientrano nel Parco Nazionale dell'Arcipelago Toscano.

Per ciascun sito estrattivo il lavoro del Comune ha analizzato le informazioni derivanti dall'incrocio dei dati con la pianificazione territoriale e di governo del territorio (PTC, PS, RU e Aree Protette), riassunte nella tabella seguente:

INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE A SUPPORTO DEL "PIANO STRUTTURALE 2" DI LIVORNO
REVISIONE 1

N. COD	Ubicazione – Denominazione	P.T.C.	P.S. Sistema Sottosistema	R.U. 1999	Aree Protette
1	EX-CEMENTIR	C4a	3-3A	art. 44	NO
2	CAVA DI ARGILLA	C4a	1-1A	art. 34 c.4/1	NO
3	CORBOLONE TIRO A VOLO - RETRO	C4a	1-1A	art. 34 c.4/1	ANPIL
4	CORBOLONE TIRO A VOLO - LATO	C4a	1-1A	art. 34 c.4/1	ANPIL
5	IL CROCIONE	C4a	1-1A	art. 34 c.4/1	PARCO
6	VALLIN DEL LUPO - VALLE	C4a	1-1A	art. 34 c.4/1	NO
7	VALLIN DEL LUPO - MONTE	C4a	1-1A	art. 34 c.4/1	NO
8	POGGIO LA FONTACCIA	C4a	1-1A	art. 34 c.4/1	PARCO
9	POGGIO LA FONTACCIA - MOLINO	C4a	1-1A	art. 34 c.4/1	PARCO
10	MONTE LA POGGIA	C4a	1-1A	art. 34 c.4/2	NO
11	LIMONCINO ALTO -VALLE	C5	1-1A	art. 34 c.4/1	NO
12	LIMONCINO ALTO -MONTE	C5	1-1A	art. 34 c.4/1	NO
13	PODERE DEL PUNTO	C5	1-1A	art. 32	NO
14	PODERE DEL MOLINO	C4c	3-3A	art. 32	NO
15	MONTE ROTONDO	C4a	3-3B	art. 31	NO
16	PONTE DEL DIAVOLO - DESTRA IDRAULICA	C5	1-1A	art. 34 c.4/1	NO
17	PONTE DEL DIAVOLO - SINISTRA IDRAULICA	C4a	1-1A	art. 34 c.4/1	NO
18	POGGIO SETTE VENTI	C4a	1-1A	art. 34 c.4/1	NO
19	SPERTICAIA	C4a	1-1A	art. 34 c.4/1	PARCO
20	LA PALAZZINA	C4a	1-1A	art. 34 c.4/1	ANPIL
21	LA PALAZZINA - RAZZINAIE	C4a	1-1A	art. 34 c.4/1	ANPIL
22	MONTENERO - VIA BYRON	C4a	3-3A	art. 32	NO
23	LIVELLI	C4a	1-1A	art. 32	PARCO
24	MONTE BURRONE	C4a	1-1A	art. 20	NO
25	MAROCONE	C4a	3-3A/4-4D	art. 32	SIR
26	BOCCALE	C4a	3-3A	art. 34 c.4/3a	SIR
27	CALAFURIA	C5	1-1A	art. 34 c.4/3b	SIR
28	TELEGRAFO PUNTA PACCHIANO	C4a	1-1B	art. 34 c.4/3a	SIR
29	TELEGRAFO PUNTA COMBARA	C4a	1-1B	art. 34 c.4/3a	SIR
30	TELEGRAFO PUNTA DEL MIGLIO	C4a	1-1B	art. 34 c.4/3a	SIR
31	CALIGNAIA	C4a	1-1B	art. 34 c.4/3b; c.4/1	NO
32	PIETRALTA	C4a	1-1A	art. 32	NO
33	CALA MAESTRA (Gorgona)	A4	2-2A	art. 36	PARCO
34	TORRE NUOVA (Gorgona)	A4	2-2A	art. 36	PARCO

Vincolo Idrogeologico

Ad eccezione dei siti Ex-Cementir (CODICE 1) e Limoncino Alto-Valle (CODICE 11), tutti gli altri censiti rientrano nelle aree sottoposte a Vincolo Idrogeologico ai sensi del RDL 3267/1923 e della Legge Forestale Regionale.

Ulteriori elementi di geologia e litologia

Nella taabella sotto si riepilogano i siti estrattivi censiti con un particolare riferimento alle informazioni geologiche.

N.	Ubicazione – Denominazione	Merceologia di banco
1	EX-CEMENTIR	Argille
2	CAVA DI ARGILLA	Sabbie e conglomerati
3	CORBOLONE TIRO A VOLO – RETRO	Serpentiniti
4	CORBOLONE TIRO A VOLO – LATO	Serpentiniti
5	IL CROCIONE	Serpentiniti
6	VALLIN DEL LUPO – VALLE	Flysch calcareo-marnoso
7	VALLIN DEL LUPO – MONTE	Macigno
8	POGGIO LA FONTACCIA	Argilliti, arenarie calcarifere
9	POGGIO LA FONTACCIA – MOLINO	Argilliti, arenarie calcarifere
10	MONTE LA POGGIA	Flysch calcareo-marnoso
11	LIMONCINO ALTO –VALLE	Flysch calcareo-marnoso
12	LIMONCINO ALTO –MONTE	Flysch calcareo-marnoso
13	PODERE DEL PUNTORE	Arenarie, siltiti, argilliti
14	PODERE DEL MOLINO	Arenarie, siltiti, argilliti
15	MONTE ROTONDO	Flysch calcareo-marnoso
16	PONTE DEL DIAVOLO – DESTRA IDRAULICA	Argilliti e calcari
17	PONTE DEL DIAVOLO – SINISTRA IDRAULICA	Gabbro
18	POGGIO SETTE VENTI	Argilliti e calcari
19	SPERTICAIA	Serpentiniti
20	LA PALAZZINA	Serpentiniti
21	LA PALAZZINA – RAZZINAIE	Serpentiniti
22	MONTENERO – VIA BYRON	Flysch calcareo-marnoso
23	LIVELLI	Serpentiniti
24	MONTE BURRONE	Flysch calcareo-marnoso
25	MAROCCHONE	Macigno
26	BOCCALE	Macigno
27	CALAFURIA	Macigno
28	TELEGRAFO PUNTA PACCHIANO	Macigno
29	TELEGRAFO PUNTA COMBARA	Macigno
30	TELEGRAFO PUNTA DEL MIGLIO	Macigno
31	CALIGNAIA	Macigno
32	PIETRALTA	Flysch calcareo-marnoso
33	CALA MAESTRA	Metabasiti
34	TORRE NUOVA	Metabasiti

Formazioni flyschioidi

Costituite quasi sempre da sistemi litologici derivanti da impalcature strutturali disturbate, prevalentemente di natura calcarea o calcareo-marnosa; il “*Flysch arenaceo di Calafuria*” o *Macigno* (appartenente alla Falda Toscana) – *Foto 1* – la cui genesi viene fatta risalire alla manifestazione di torbiditi sottomarine, si distingue oltre che per la sua particolarità geo-strutturale, per l’elevato numero di cave aperte in tempi passati lungo il litorale e nell’immediato entroterra tra il Castello del Boccale ed il Botro di Calignaia.

*Foto 1 - Flysch arenaceo di Calafuria*

Il “*Flysch calcareo marnoso di Poggio S. Quirico*” – si veda *Foto 2* – nel quale compaiono termini calcareo-marnosi, marnosi, argillitici e arenacei, tutti ben visibili nonostante la complicazione delle strutture tettoniche nei siti del Monte La Poggia e del Monte Burrone.

*Foto 2 - Flysch di Poggio S. Quirico**Foto 3 - Flysch di Monteverdi M.mo*

Molto ben esposto nel sito di Monterotondo è il “*Flysch calcareo-marnoso di Monteverdi M.mo*”- si veda *Foto 3* – composto da alternanze di diversi tipi litologici di potenza non inferiore ai 10 metri: si riconoscono banchi marnoso-arenacei, arenaceo-argillitici, microconglomeratici in matrice marnosa, calcareo-marnosi, conglomeratici in matrice argillitico-marnosa. I caratteri litologici e sedimentologici della formazione sono collegabili all’associazione di facies torbiditiche di scarpata e facies emipelagiche di piana sottomarina.

Formazioni argillitiche

Le formazioni argilliti che sono costituite da litotipi moderatamente metamorfosati in cui si rintracciano alternanze di importanti spessori calcarei massicci con livelli più argillosi, compressi e distesi dalle ultime attività tettoniche post-appenniniche, si presentano con strutture talvolta molto complicate; i caratteri litologici e sedimentologici indicano un ambiente di sedimentazione pelagico di scarpata caratterizzato dall’intercalazione di facies torbiditiche e facies caotiche.

Caratteristici rappresentanti di questo insieme litologico sono gli "Argiloscisti varicolori del Fortulla" e le "Argilliti, arenarie calcareifere, marne e siltiti (Formazione di Antignano)" – si veda *Foto 4* – costituite da alternanze di strati con spessori non superiori ai 50 cm di siltiti, argilliti, areniti e calcareniti, calcari marnosi, breccie in matrice siltitico-argillosa e piccole masse olistostromiche di ofioliti, con giacitura talvolta molto caotica.

Nella cava di Monterotondo è visibile una parte della formazione delle "Arenarie, siltiti, argilliti con *Phitonella*, breccie e olistostromi" costituita in prevalenza da litologie siltitiche e argillitiche intercalate a strati decimetrici di arenarie fini, marne e siltiti; più rari e più potenti sono strati di arenarie carbonatiche e breccie di elementi calcareo marnosi, arenacei, siltitici ed ofiolitici. I caratteri litologici e sedimentologici indicano facies di un ambiente di sedimentazione di scarpata inferiore.

La formazione delle "Argilliti e calcari silicei (Palombini)" – si veda *Foto 5* – si presenta con una struttura tettonicamente complicata, solo per brevi tratti poco disturbata; litologicamente è costituita da bancate di calcari silicei e da bancate di argilliti laminitiche, comprendente in percentuale minore, strati di calcari marnosi, calcari arenacei e talora arenarie calcareo-quarzose.



Foto 4 - Formazioni argillo-scistose



Foto 5 - Argille e calcari a Palombini

Formazioni ofiolitiche

Le formazioni ofiolitiche sono costituite da tre litotipi principali: Serpentiniti, Gabbri e Basalti. Le "Serpentiniti" -si veda *Foto 6* – dal caratteristico colore verdastro, tipicamente metamorfiche, si presentano in affioramenti potenti ed estesi (nell'ordine del km²). Si tratta di lherzoliti tettoniche che insieme ai "Gabbri e alle Breccie di Gabbro" formano la parte basale del complesso ofiolitico interessato da metamorfismo di facies anfibolitica e successive fasi metamorfiche di grado minore.

Nel corso del tempo nella formazione delle Serpentiniti sono state aperte numerose cave soprattutto per la necessità di reperire materiale inerte largamente impiegato nella realizzazione dei sottofondi stradali. Gli affioramenti di "Basalti" sono meno estesi rispetto a quelli di Serpentiniti e Gabbri, che dovrebbero costituire il substrato originario dei Basalti stessi; si tratta di magmi disposti in masse compatte, dicchi e filoni, con la presenza di plaghe di breccie basaltiche che a differenza delle due formazioni sopradescritte sono interessate esclusivamente da metamorfismo di basso grado.



Foto 6 - Serpentiniti



Formazioni più recenti

In questo Complesso vengono raggruppate tutte le formazioni che si sono deposte dopo la formazione dell'alto tettonico, più o meno coincidente con gli attuali Monti Livornesi, dopo la definitiva messa in posto della Falda Toscana e dei Complessi Alloctoni. In particolare, nel territorio comunale di Livorno vi sono due siti estrattivi (*Codice 1 - Ex-Cementir* e *Codice 2 - Cava di Argilla*) che ricadono in aree sub-pianeggianti e rispettivamente nelle seguenti formazioni:

- *Argille azzurre (p)*, Pliocene Inferiore e Medio. Trattasi di una formazione litologicamente omogenea; le argille bluastre, che possono essere da grigie a gialle se alterate, prevalgono nettamente su quelle con frazioni marnose, sabbiose e siltose. Possono essere ricche di fossili marini di facies profonda.
- *Conglomerati, sabbie e limi di Casa Poggio ai Lecci (q6)*, Pleistocene Medio. La formazione presenta una litologia caratterizzata da sabbie grossolane, da limi e dalla presenza talvolta abbondante di ciottoli, anche di notevoli dimensioni, fortemente eterometrici, arrotondati e costituiti da anageniti, quarziti e calcari vari della Serie Toscana.

Come è possibile verificare nel Grafico proposto di seguito, le aree estrattive ricadono per la maggior parte nelle seguenti formazioni geologiche: *Flysch arenaceo di Calafuria (Falda Toscana)*, *Serpentiniti (Complesso alloctono superiore)* e *Flysch calcareo-marnoso di Poggio S. Quirico con livelli di breccie (Complesso alloctono inferiore)*.

La vegetazione nei siti ex-estrattivi del Comune di Livorno

Le foreste del territorio comunale si trovano nella parte centro-settentrionale dei Monti Livornesi, i quali presentano una morfologia prevalentemente collinare. Sono caratterizzate dalla presenza di boschi di latifoglie decidue (*Cerro-carpinete Cerro e Carpino Nero, boschi termofili a Roverella e Cerro, boschi umidi a Carpino bianco e Olmo Minore*) e soprattutto boschi sempreverdi di macchia mediterranea. Prendendo come riferimento vari lavori eseguiti per la conoscenza degli aspetti floro-vegetazionali nell'ambito del territorio del Comune di Livorno possiamo fare le seguenti considerazioni (*Foto 8-14*)

- Gran parte del territorio collinare livornese è composto sotto il profilo vegetazionale da boschi a dominanza di *Quercus ilex* con presenza di *Quercus pubescens*, *Fraxinus ornus* ed *Ostrya carpifolia*; da una macchia alta di *Quercus ilex*, *Erica arborea* ed *Arbutus unedo*, con la presenza di altre sclerofille (*Viburno-Mirto, Fillirea, Lentisco*) ed a volte di resinose (*Pinus pinea, Pinus pinaster e Pinus halepensis*) e da boschi misti caducifogli di *Quercus pubescens* con presenza di *Quercus cerris*, *Quercus robur*, *Ostrya carpifolia* e *Fraxinus ornus*.
- In alcune zone marginali del bosco su terreni più poveri e superficiali si rintracciano le pinete a *Pinus pinea*, *Pinus pineaster* e *Pinus halepensis* risultato dei vecchi rimboschimenti eseguiti dal CFS negli anni 70.
- In alcune parti del territorio livornese: Poggio Corbolone, M. Maggiore, Poggio Castello, Poggio Ginestraia, Romito si rintraccia la presenza di una macchia bassa di sclerofille a *Pistacia lentiscus*, *Myrtus communis*, *Phyllirea latifolia* e *Cistus incanus*.
- Lungo i corsi d'acqua e nelle zone più umide si trova una vegetazione tipicamente igrofila con elementi arborei (*Salix alba, Populus alba, Populus nigra, Fraxinus ornus, Alnus glutinosa*) e canneti (*Arundo donax, Phragmites australis, Juncus sp.*)
- A ridosso del mare sulle falesie di Antignano – in minima parte - e del Romito rintracciamo aree a gariga, prateria, incolti, aree agricole abbandonate anche con elementi arborei (*Robinia pseudoacacia, Ficus carica* ed *Olea europea*).
- Lungo il periplo costiero della falesia alta e delle spiagge rintracciamo una vegetazione delle coste rocciose (*Crithmo-Staticetea*) e delle spiagge (*Ammophiletea*).

- Nelle aree in cui affiorano le formazioni ofiolitiche, sono state censite alcune interessanti specie endemiche tra le quali elenchiamo: l'Alisso del Bertoloni (*Alyssum bertolonii*), il Fiordaliso maremmano (*Centaurea aplolepa carueliana*), la Margherita del serpentino (*Leucanthemum pachy-phyllum*), il Timo delle ofioliti (*Tymus striatus ophioliticus*).
- Alle spalle del centro abitato ed in posizione pedecollinare si rintracciano numerose aree a seminativo semplice e arborato con colture orticole e serre.

Nelle cave ad anfiteatro con esposizione del fronte di scavo a nord o in quelle posta a bassa quota nei pressi degli impluvi dei corsi d'acqua, la vegetazione ha fortemente ricolonizzato i piazzali basali. In molti casi le pareti della cava hanno creato situazioni di particolare protezione dai venti e dall'eccessiva insolazione.

In tali contesti gli alberi che si sono insediati si sono talmente sviluppati in altezza da nascondere le pareti nude dei fronti di cava al paesaggio circostante che ad oggi non è più possibile riconoscere tali aree come ex siti estrattivi se non ci si trovi già al suo interno. Questo effetto di copertura risulta molto efficace poiché la macchia livornese costituisce boschi plurispecifici dove le specie vegetali occupano diverse fasce di altezze all'interno del bosco impenetrabili alla vista se non per pochi metri.

Fra i siti estrattivi che sono stati ben "ripristinati dalla natura" e sono ben integrati con il paesaggio circostante, si citano ad esempio le 2 Cave di Poggio La Fontanaccia, le 2 Cave di Limoncino Alto, le 3 Cave di Ponte del Diavolo a cui si aggiungono altre 15 cave. Sotto alcuni esempi di vegetazione:

8



9



10



11



12



13



14

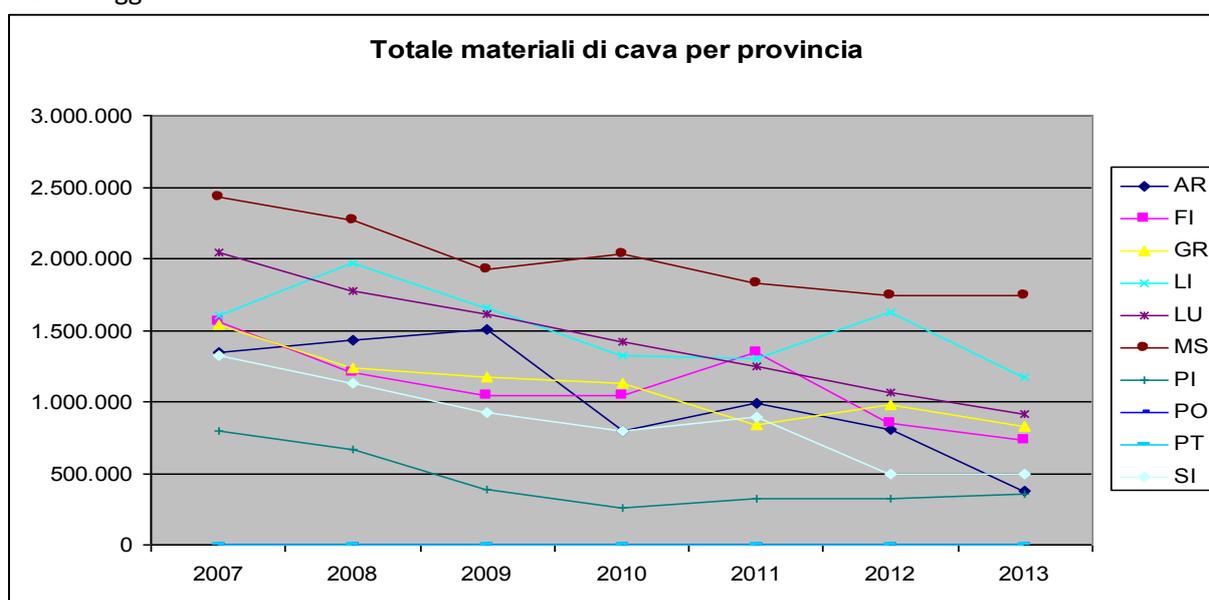


- 8 Pino (*Pinus pineaster*) 11 Ginestra (*Genista juncea spartium scoparium*)
 9 Corbezzolo (*Arbutus unedo*) 12 Cisto (*Cistus icanus*)
 10 Leccio (*Quercus ilex*) 13 Ginepro (*Juniperus oxycedrus*)
 14 Alisso del Bertoloni (*Alissum bertolonii*)

Analizz:

il lavoro della Protezione Civile evidenzia che la Provincia di Livorno, a livello estrattivo ha una vocazione piuttosto pronunciata per l'estrazione di materiali industriali e per costruzioni con una produzione di materiale per uso ornamentale poco rilevante. In generale, il totale dei materiali di cava per la Provincia di Livorno (ad eccezione dell'anno 2012) è in calo progressivo dal 2007, ed oggi si attesta su circa 1.170.000 mc..

Si rileva inoltre che il Comune di Livorno dal 2010 non ha in alcun modo contribuito all'incremento dei materiali escavati su base provinciale, da quel momento infatti cessa l'attività l'unica cava ubicata sul Monte La Poggia.



9.4 CLASSIFICAZIONE DEI SITI ESTRATTIVI DISMESSI

Partendo dall'analisi di base che ha portato alla selezione di n. 34 siti estrattivi dismessi, sono state verificate le condizioni strutturali e ambientali con particolare riferimento agli aspetti forestali, vegetazionali ed eco sistemici (biodiversità, habitat, naturalità) che con la loro evoluzione hanno contribuito al reinserimento territoriale delle aree degradate.

E' stato possibile definire una griglia di sintesi per le varie situazioni secondo la matrice proposta nella Tabella seguente

Classe	Tipologia	Descrizione
1	<i>Siti che possono essere riattivati</i>	Siti in cui può essere promosso il riavvio dell'attività estrattiva produttiva. Ricordiamo che per questa situazione: il sito deve essere inserito nel Piano Regionale delle Cave.

INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE A SUPPORTO DEL "PIANO STRUTTURALE 2" DI LIVORNO
REVISIONE 1

2	<i>Siti che in base alle loro caratteristiche morfologiche, di stabilità, di inserimento ambientale e paesaggistico, necessitano di interventi di recupero e riqualificazione ambientale</i>	<p>Siti che appaiono ben lontani da una integrazione naturale con l'ambiente circostante o comunque difficoltosa e molto lenta e per le quali è inevitabile un intervento di ripristino e/o recupero.</p> <p>In alcuni casi anche in virtù dei particolari litotipi affioranti, si evidenzia la necessità di interventi di messa in sicurezza dei fronti e dei piazzali. Ci riferiamo soprattutto dei siti estrattivi dismessi costieri ubicati sulla falesia del Romito, i cui fronti sicuramente suggestivi sia dal punto di vista litologico, sia da quello cromatico, talvolta nascondono insidie legate alla natura del materiale esposto e agli agenti esogeni di disgregazione e scomposizione (azione del vento, dissoluzione chimica per l'attacco di sali, etc.).</p>
3	<i>Siti che in base alle loro caratteristiche morfologiche, di stabilità, di inserimento ambientale e paesaggistico, non necessitano di interventi di recupero e riqualificazione ambientale</i>	<p>Siti che appaiono ben integrati con il paesaggio circostante: sono in genere ubicati nel cuore delle Colline Livornesi, in cui la vegetazione si è nuovamente imposta e riaffermata ed è presente un ecosistema stabile con biodiversità e habitat ristabiliti.</p>

Tenendo conto delle classi sopra, è stata effettuata nella tabella che segue la classificazione dei siti estrattivi

N. Codice	Ubicazione – Denominazione Cava	N. Classe
1	EX-CEMENTIR	3
2	CAVA DI ARGILLA	2
3	TIRO A VOLO - RETRO	2
4	TIRO A VOLO - LATO	3
5	IL CROCIONE	2
6	VALLIN DEL LUPO - VALLE	3
7	VALLIN DEL LUPO - MONTE	3
8	POGGIO LA FONTACCIA	3
9	POGGIO LA FONTACCIA - MOLINO	3
10	MONTE LA POGGIA	2
11	LIMONCINO ALTO -VALLE	3
12	LIMONCINO ALTO -MONTE	3
13	PODERE DEL PUNTO	3
14	PODERE DEL MOLINO	3
15	MONTE ROTONDO	3
16	PONTE DEL DIAVOLO - DESTRA IDRAULICA	3
17	PONTE DEL DIAVOLO - SINISTRA IDRAULICA	3
18	POGGIO SETTE VENTI	3
19	SPERTICAIA	3
20	LA PALAZZINA	2
21	LA PALAZZINA - RAZZINAIE	2
22	MONTENERO - VIA BYRON	3
23	LIVELLI	3

24	MONTE BURRONE	2
25	MAROCCONE	3
26	BOCCALE	3
27	CALAFURIA	2
28	TELEGRAFO PUNTA PACCHIANO	3
29	TELEGRAFO PUNTA COMBARA	2
30	TELEGRAFO PUNTA DEL MIGLIO	3
31	CALIGNAIA	2
32	PIETRALTA	3
33	CALA MAESTRA	3
34	TORRE NUOVA	3

Dalla lettura della Tabella sopra emerge che delle 34 cave oggetto del censimento:

- Ad oggi nel comune di Livorno **non risultano presenti cave attive.**
- **N. 9** sono i siti che in base alle loro caratteristiche morfologiche, di stabilità, di inserimento ambientale e paesaggistico, necessitano di interventi di recupero e riqualificazione ambientale: Siti Tiro a Volo Retro (Corbolone), Crocione, La Palazzina, La Palazzina-Razzinaie, Calafuria, Telegrafo-Punta Combara e Calignaia, Cava di Calcare, Monte La Poggia e Monte Burrone;
- **N. 25** sono i siti che in base alle loro caratteristiche morfologiche, di stabilità, di inserimento ambientale e paesaggistico, non necessitano di interventi di recupero e riqualificazione ambientale (Classe 3).

In riferimento all'analisi dei dati sui siti estrattivi, alla loro ubicazione, alla situazione dello stato dei luoghi, la peculiarità geologico-tecnica, allo stato della vegetazione e degli ecosistemi in un ampio e significativo intorno, nonché dall'evidenza delle necessità derivanti dalla domanda di mercato, si è proceduto ad una prima classificazione delle aree estrattive dismesse.

Classe 1: Siti che possono essere destinati urbanisticamente ad attività estrattiva e che rientrano negli Strumenti Regionali di programmazione delle attività estrattive

Secondo le valutazioni condotte dall'Equipe di lavoro, nell'ambito del territorio comunale di Livorno, **in questa Classe non rientra alcun sito.**

Classe 2: Siti estrattivi dismessi che in base alle loro caratteristiche morfologiche, di stabilità, di inserimento ambientale e paesaggistico, necessitano di interventi di recupero e riqualificazione ambientale

Sito estrattivo dismesso Cava di Argilla (CODICE 2)

Sito estrattivo dismesso Corbolone – Tiro a Volo retro (CODICE 3)

Sito estrattivo dismesso del Crocione (CODICE 5)

Sito estrattivo dismesso del Monte La Poggia (CODICE 10)

Sito estrattivo dismesso della Palazzina (CODICE 20)

Sito estrattivo dismesso di Monte Burrone (CODICE 24)

Sito estrattivo dismesso di Calafuria (CODICE 27)

Sito estrattivo dismesso Telegrafo-Punta Combara (CODICE 29)

Sito estrattivo dismesso Calignaia (CODICE 31)

Classe 3: Siti che in base alle loro caratteristiche morfologiche, di stabilità, di inserimento ambientale e paesaggistico, non necessitano di interventi di recupero e riqualificazione ambientale

Appartengono a questa classe la maggior parte dei siti dismessi analizzati. Il loro reinserimento in un contesto naturale circostante appare ben evidente, grazie alla benefica azione svolta dalla natura che spesso ha cancellato le vecchie tracce della coltivazione. Si tratta di processi piuttosto antichi, quasi sempre che hanno coinvolto aree abbandonate da oltre un secolo. In questi siti il bosco è un ecosistema naturale ben affermato in un intorno significativo; insieme a caratteri di esposizione favorevole, mitigazione ai venti, suoli ricchi di sostanze minerali hanno ben contribuito all'attecchimento e all'affermazione di un bosco naturale.

- EX-CEMENTIR (CODICE 1)
- CORBOLONE TIRO A VOLO – LATO (CODICE 4)
- VALLIN DEL LUPO – VALLE (CODICE 6)
- VALLIN DEL LUPO – MONTE (CODICE 7)
- POGGIO LA FONTACCIA (CODICE 8)
- POGGIO LA FONTACCIA – MOLINO (CODICE 9)
- LIMONCINO ALTO –VALLE (CODICE 11)
- LIMONCINO ALTO –MONTE (CODICE 12)
- PODERE DEL PUNTONE (CODICE 13)
- PODERE DEL MOLINO (CODICE 14)
- MONTE ROTONDO (CODICE 15)
- PONTE DEL DIAVOLO - DESTRA IDRAULICA (CODICE 16)
- PONTE DEL DIAVOLO - SINISTRA IDRAULICA (CODICE 17)
- POGGIO SETTE VENTI (CODICE 18)
- SPERTICAIA (CODICE 19)
- LA PALAZZINA – RAZZINAIE (CODICE 21)
- MONTENERO - VIA BYRON (CODICE 22)
- LIVELLI (CODICE 23)
- MAROCCONE (CODICE 25)
- BOCCALE (CODICE 26)
- TELEGRAFO PUNTA PACCHIANO (CODICE 28)
- TELEGRAFO PUNTA DEL MIGLIO (CODICE 30)
- PIETRALTA (CODICE 32)
- CALA MAESTRA – Isola di Gorgona (CODICE 33)
- TORRE NUOVA – Isola di Gorgona (CODICE 34)

10 DINAMICA COSTIERA E AREE CON RELATIVE PROBLEMATICHE

10.1 TRATTI COSTIERI CARATTERISTICI

La costa livornese si sviluppa per una lunghezza di **circa 18 km** (intesi come falcata 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 "poket 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 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), poichè 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 tre ponti)

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 poket-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, poichè 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 (vedi schede nelle pagine precedenti). 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 Calignaia 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 punto 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, poichè 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**.

IMPORTANTE: i fenomeni geomorfologici caratteristici dei tratti costieri sono stati evidenziati in Carta Geomorfologica e sono ampiamente documentati con materiale fotografico grazie a rilievi via mare (2015) e più recentemente da terra (2017-2018) nell'indagine di dettaglio successiva all'alluvione di settembre 2017 (vedi schede formato A3 e allegato 1).

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).

10.2 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 perchè 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 PORTICCIOLO	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

INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE A SUPPORTO DEL "PIANO STRUTTURALE 2" DI LIVORNO
REVISIONE 1

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 alcuni dei gradi di pericolosità indicati nello studio sono stati trasposti nella nuova classificazione della DGRT 53/R/2011, 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.

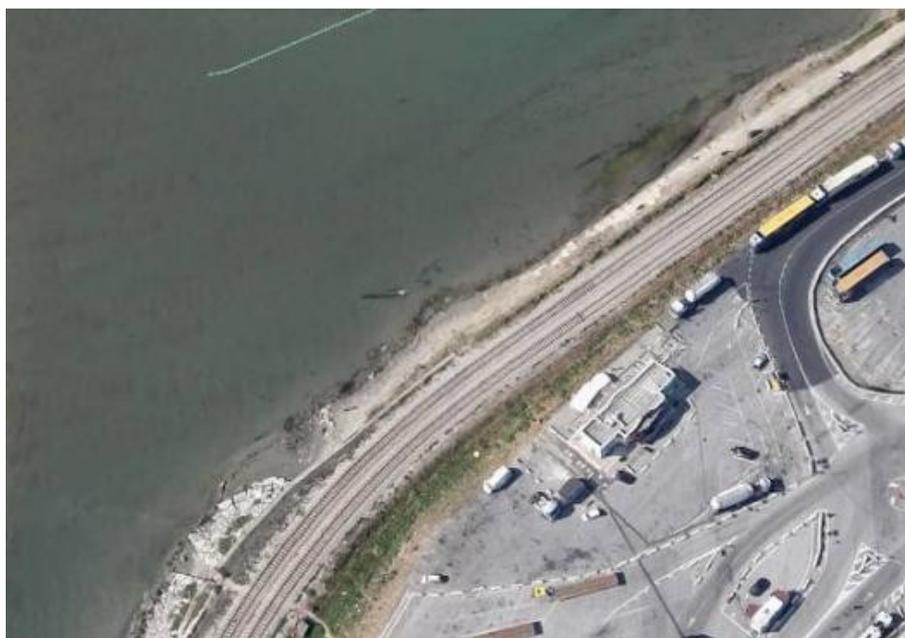
In questo senso a nostro avviso un arenile dovrebbe essere classificato con gradi di pericolosità minimo G3, elevabile a G4 nei casi di fenomeni attivi; estendiamo questo concetto di pericolosità dell'arenile a quella costiera in senso lato (es. falesia non protetta esposta ai marosi e/o interessata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

10.3 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.



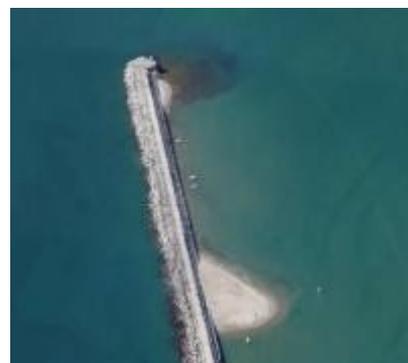
EX SPIAGGIA TRA CALAMBRONE E TORRE MARZOCCO

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 DIGA CURVILINEA

Sul lato Ovest è da sempre presente un accumulo di sabbia fine (granulometria psammitica) legato al gioco delle correnti locali all'ingresso del comparto portuale.

Non è censita fra gli arenili pubblici in quanto raggiungibile solo via mare e in zona ove è vietata la balneazione.

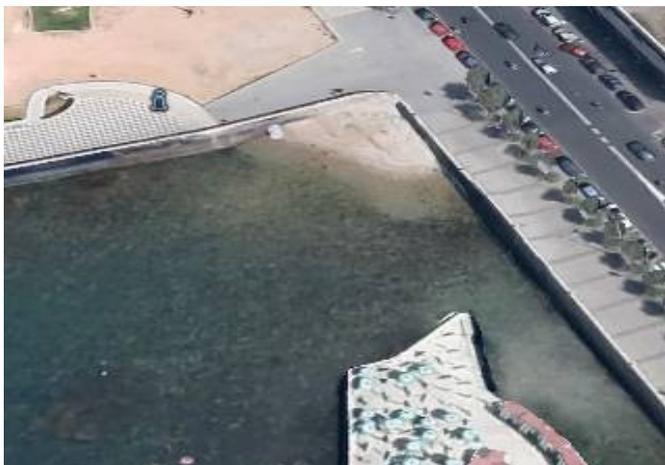
**SPIAGGETTA DELLA BELLANA**

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.

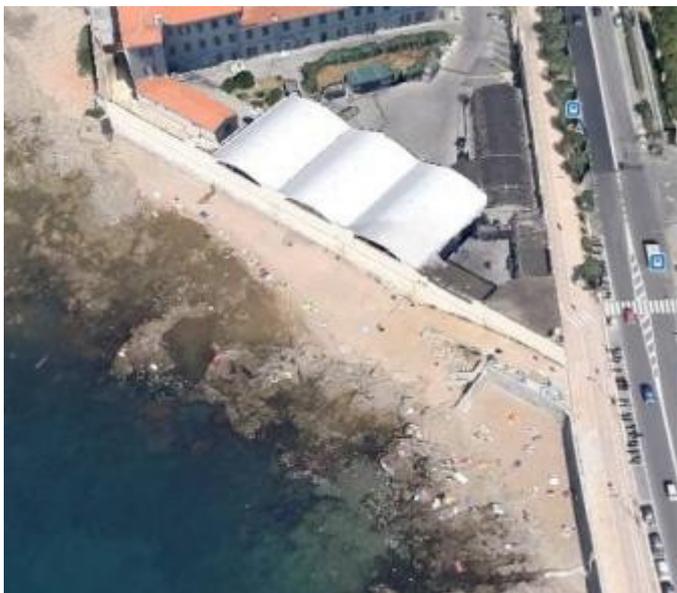


ANGOLO DEL TRITONE

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.

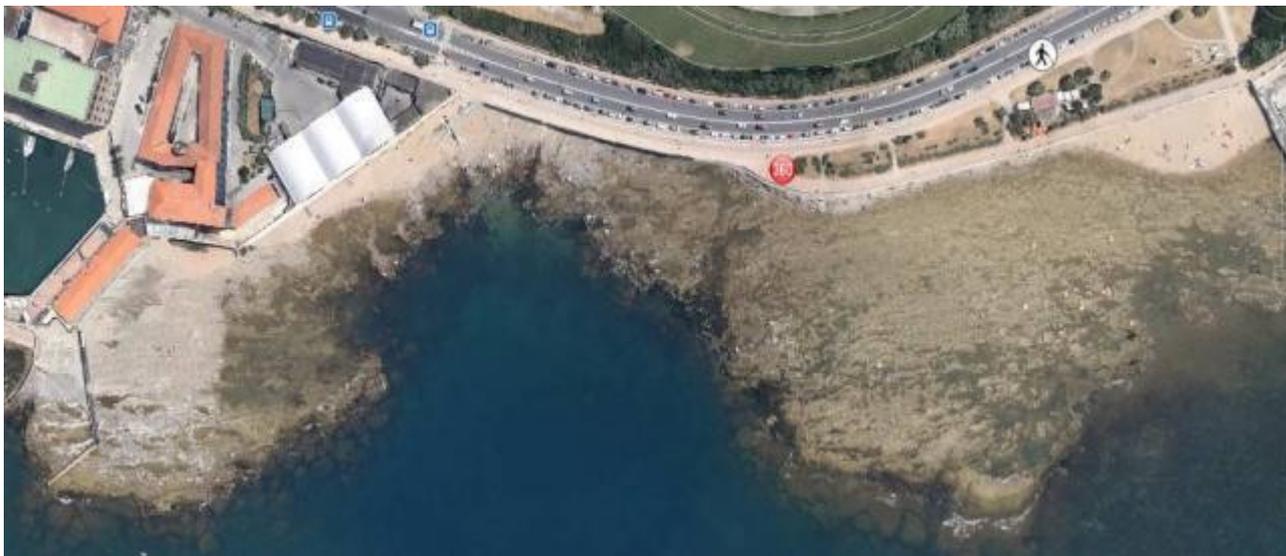
SPIAGGIA DEL LAZZERETTO

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 Lazzereto, con limitato spessore, sviluppata sopra la panchina calcarenitica (Scogli del Lazzeretto) adiacente al lato nord dei Bagni Fiume.

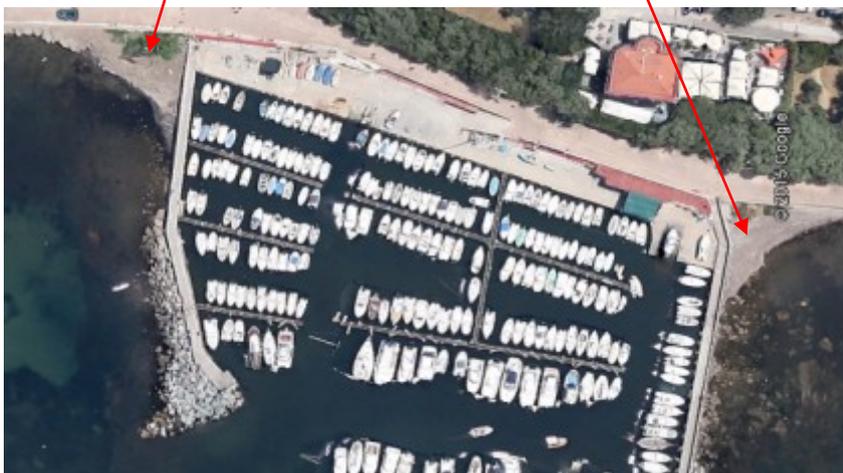
E' formata dall'accumulo di sedimenti psammitici provenienti dalla disgregazione della calcarenite ed accumulati durante le mareggiate, in parte anche dall'azione eolica per la frazione più fine.

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 psammitica.

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 SPIAGGIA DEI TRE PONTI

Una particolare attenzione merita la spiaggia alla foce del Rio Ardenza poichè 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 fraen 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 pefitico/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.

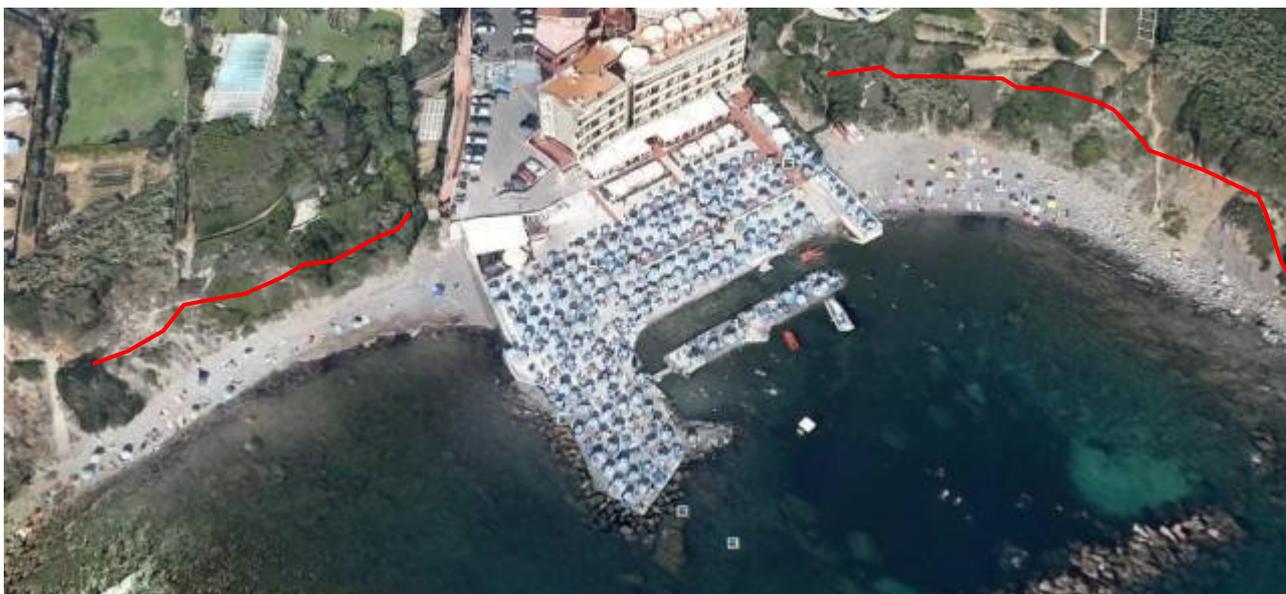
**SPIAGGIA DI VILLA PENDOLA, ANGOLO DEL PENDOLA, SPIAGGIA SOTTO "DISTRIBUTORE" ("SPIAGGETTE DELLE VILLE")**

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 psefitico

**SPIAGGIA DEL MAROCCONE**

Spiaggia psefitica 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 recente sopralluogo la spiaggia era completamente rovinata e rimaneggiata dai detriti dell'alluvione (vedi foto in allegato 1 - settore Maroccone).

**COSTA ALTA FRA CASTELLO BOCCALE E FOCE ROGIOLO**

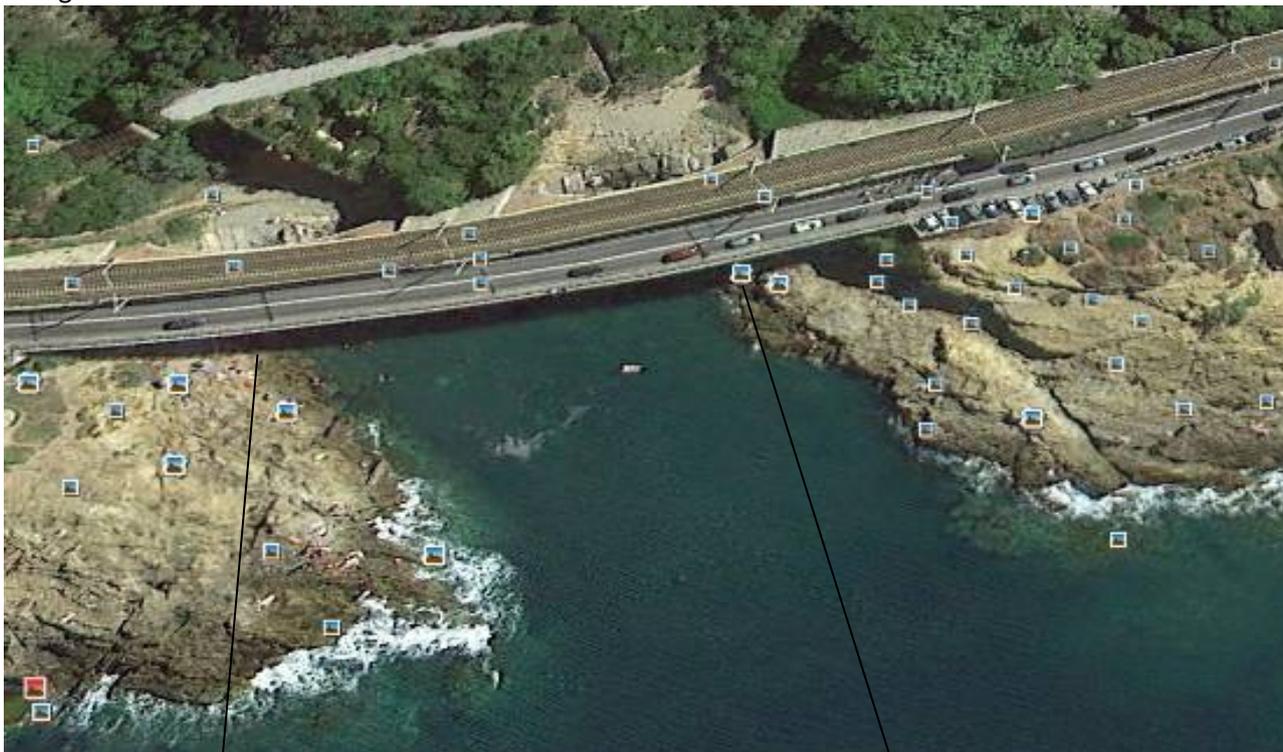
L'erosione è notevole ma le rocce del tratto Maroccone-Rogiolo sono resistenti (arenarie e rocce verdi). L'arenaria di Calafuria è più resistente delle rocce verdi sotto Castel Sonnino, che danno luogo ad alcune frane di crollo più facilmente delle arenarie (vedi Cala del Leone con recenti distacchi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



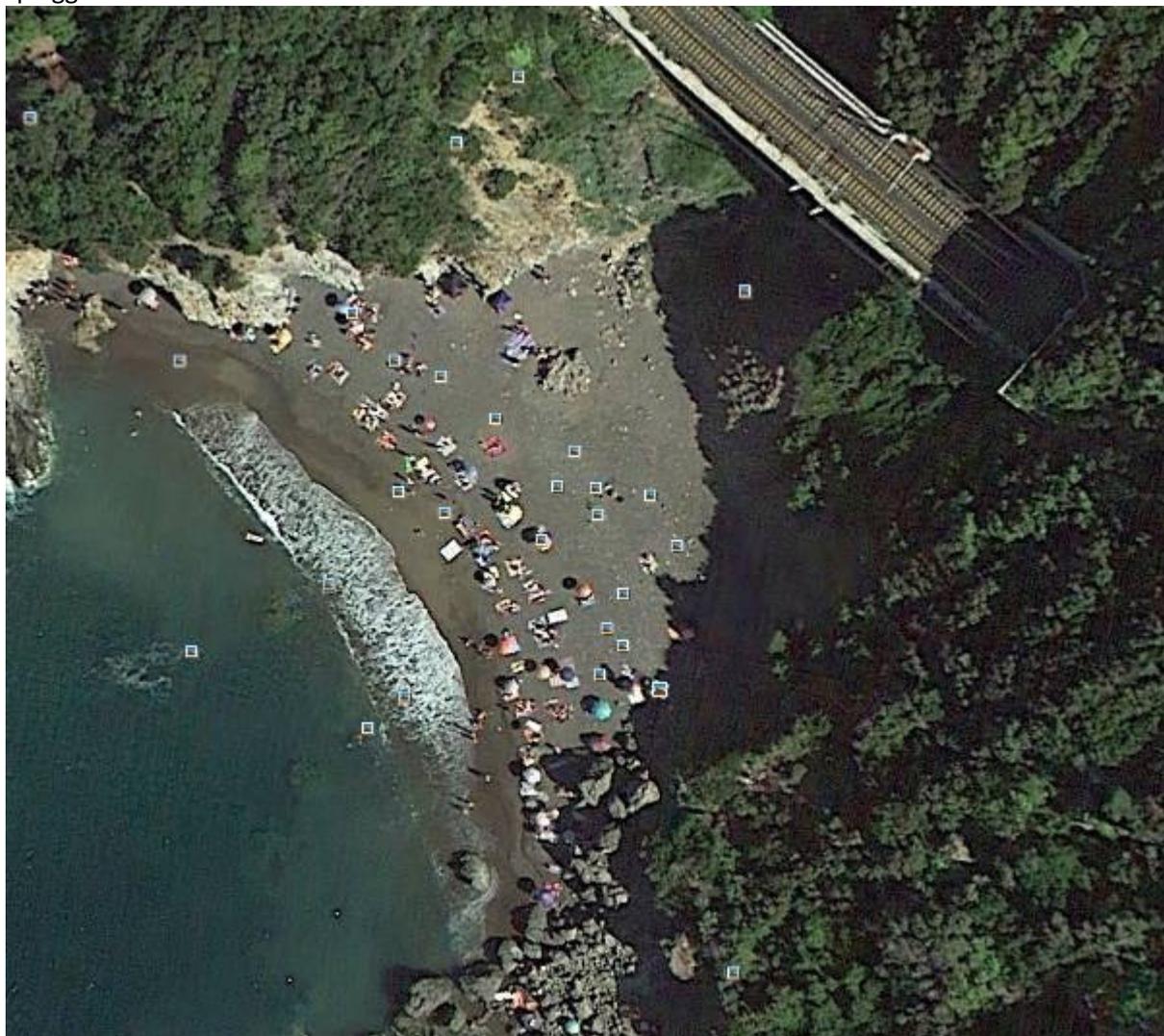
SPIAGGIA DI CALIGNAIA

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.



11 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) 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 insalinamento 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 plano-altimetrica 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 poggiati 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, oltretutto 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 sovraconsolidate 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 (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 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	Calcareniti sabbiose di Castiglioncello (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 <i>Arctica</i>	4	A	ALTA
DEPOSITI MARINI PLOECENICI				
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	Calcari 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 serpentinizzate 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 TOSCANA				
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

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

11.1 INDICAZIONI PRELIMINARI DI TUTELA

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 alloggiati in manufatti impermeabili. L'uso di fertilizzanti, pesticidi e diserbanti ed anche l'autorizzazione al pascolamento intensivo e all'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 d'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 della zona *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.
- b) 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.
- c) 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 sussistessero 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 la **“zona di tutela assoluta”** dei punti di captazione, così come è definito all'art. 21, comma 4 del D.L. n. 258/2000, dovrà essere costituita dall'area immediatamente circostante le captazioni o derivazioni; essa deve avere una estensione in caso di captazione di acque sotterranee di almeno 10 metri di raggio dal punto di captazione, 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 le captazioni preesistenti e quelle nei centri abitati l'estensione della zona di tutela assoluta può essere ridotta, previa opportuna valutazione da parte degli organi competenti e con l'adozione di particolari accorgimenti a tutela della captazione stessa.

In questa ipotesi dovrebbe essere prevista anche una “**zona di rispetto**” (che include la zona di tutela assoluta) di raggio non inferiore a 200 m da opere di captazione di acque destinate al consumo umano, erogate a terzi mediante impianto di acquedotto che riveste carattere di pubblico interesse, dove 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;
 - 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;
 - 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 o per lo sfruttamento come acqua minerale e di quelli finalizzati alla variazione della estrazione ed alla protezione e controllo delle caratteristiche qualitative 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.

- f) ai fini della tutela delle acque destinate a 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 propendere per l’applicazione degli stessi precetti (divieti e deroghe) validi per le “zone di rispetto” sopra citate.

12 ISOLA DI GORGONA



Con una superficie di circa 2.20 kmq La Gorgona è la più piccola isola dell'Arcipelago Toscano: è situata a circa 33 km a Ovest di Livorno. L'isola è in posizione sub-centrale nel Bacino Tirrenico Toscano, all'interno della piattaforma continentale e presso il limite di scarpata.

Morfologia

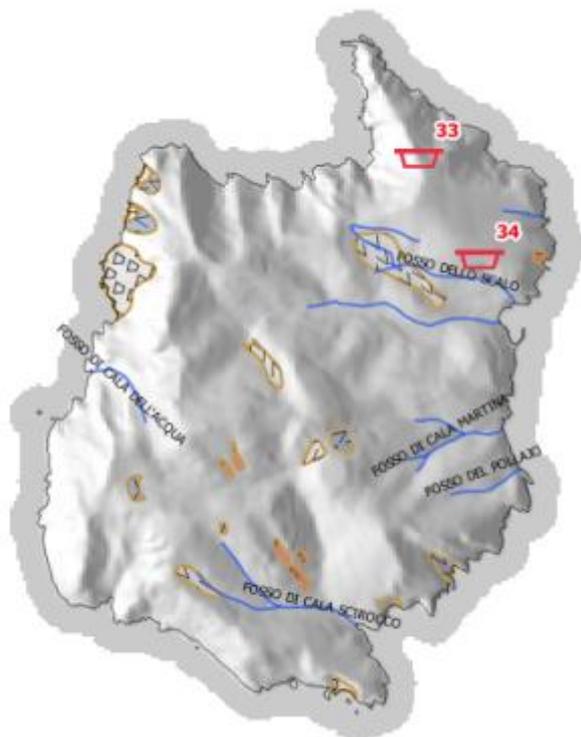
La morfologia delle coste è strettamente dipendente dalle strutture tettoniche e dalla provenienza ed energia dei marosi. A causa della intensa erosione dei versanti a prevalente azione marina ed eolica, la fascia costiera ha una morfologia aspra e dirupata, caratterizzata da ripidi solchi, mentre la parte centrale dell'isola presso il Bacino dello Scalo, il Bacino Centrale e la parte alta del Bacino di Cala Scirocco, ha una morfologia relativamente dolce.

La linea dei massimi rilievi passa per Punta 225, per Punta Gorgona (punto più alto dell'isola con 255 m s.l.m.), per la quota 225 a nord della Torre Vecchia, per Punta Zirri a quota 213 e coincide quasi totalmente con lo spartiacque tra il Bacino dello Scalo ed il Bacino di Ponente.

Grotte costiere

Nell'isola di Gorgona vi sono anche sono due grotte (la Grotta del Bue Marino sulla costa SE e la Grotta di San Gorgonio ad ovest della Casa Colonica), entrambe nei Calcescisti di Punta Gorgona.

La Grotta del Bue Marino si trova al livello del mare e la sua origine è dovuta al modellamento ed alla azione erosiva da parte delle onde; la Grotta di San Gorgonio ha il tetto formato da banchi a reggipoggio e la piccola nicchia sottostante è probabilmente dovuta ad uno svuotamento per frana di crollo.



Idrografia

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

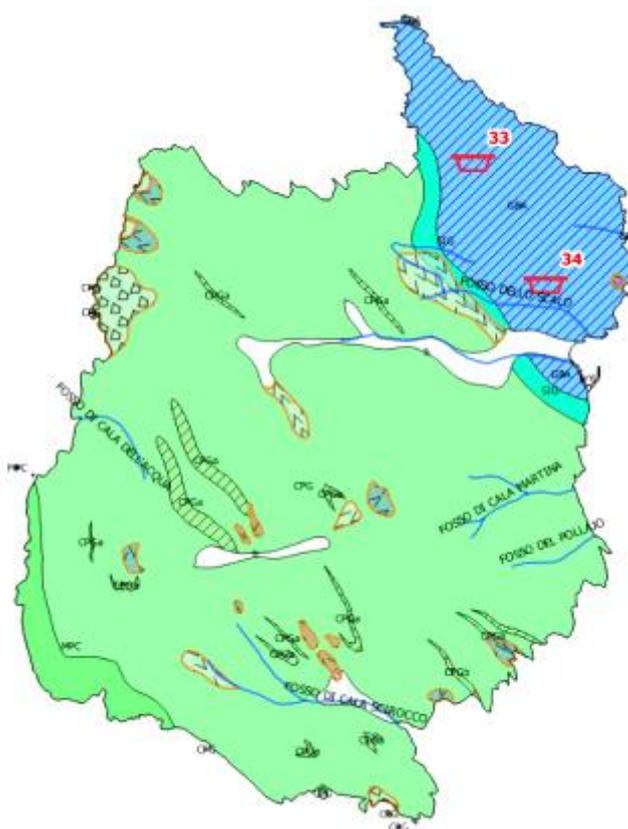
un valle a direzione ovest-est, da Casa Colonica a Punta 191, volge di 90° verso SE e raggiunge la Cala Scirocco con questa direzione, dopo aver ricevuto i due affluenti che scorrono a NE e a SO di Casa Bellavista.

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

12.1 CARATTERI GEOLOGICI E STRUTTURALI

Sotto un estratto della Carta Geologica relativo all'Isola di Gorgona.

Come per il territorio continentale, si è applicato, ove ritenuto idoneo, lo schema del DBGR della Toscana vigente, aggiornando le precedenti classificazioni nella terminologia descrittiva delle formazioni. Rimane comunque invariato lo schema strutturale ad oggi conosciuto, legato in gran parte al rilevamento di Lazzarotto e Mazzanti, ripreso e approfondito dalle indagini geologico-tecniche di Rafanelli e Michelucci per il primo PS di Livorno.



----AFFIORAMENTI GEOLOGICI PRESSO ISOLA DI GORGONA---- UNITA' CON METAMORFISMO DI ALTA PRESSIONE

UNITÀ AD AFFINITÀ OCEANICA (UNITA' DI CALA GRANDE)

METABASALTI (GBA).

Mazzanti= Mb Metabasiti di Punta maestra -CARG=MPM Metabasiti di Punta Maestra

Metabasalti di colore verde scuro, massicci e/o con relitti di strutture a *pillow* e in subordine metagabbri, prasiniti variamente listate.

Unità ofiolitica di ambiente oceanico profondo (fossa). Affiorano presso Punta Maestra

Età: *Giurassico*

SERPENTINITI (SIG)**Mazzanti= Σ : Serpentiniti di Cala maestra - CARG= SCM Serpentiniti di Cala maestra**

Serpentiniti, serpentinoscisti, scisti ad antigorite e scisti a tremolite-actinolite. In subordine matagabbri e metabasalti milonitizzati.

Trattasi di peridotiti intensamente metamorfizzate nei processi tettonici.

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

Età: Giurassico

UNITÀ AD AFFINITÀ TOSCANA (UNITÀ DI CALA PIATTI)**CALCESCISTI DI PUNTA GORGONA (CPG).****Mazzanti=Cs Calcescisti di Punta Gorgona - CARG CPG (idem) e PCM Prasiniti di Cala Martina**

Calcescisti di colore grigio scuro, filladi grigie e grigio-bluastre associate a metapeliti nere e metarenarie (CPGb). Micascisti di colore grigio e grigio-bluastro, marmi a silicati (CPGa), quarziti grigio-verdastre e cloritoscisti di colore verde lucente.

Costituiscono la quasi totalità dello scheletro dell'Isola di Gorgona, ad eccezione delle estremità NE (GBA) e SO (MPC). Rocce metamorfiche ad affinità toscana differenziate da quelle ad affinità oceanica (GBA e SIG).

Età: Cretaceo

MARMI GRIGI (CPGa)**Mazzanti= n.c.**

Marmi grigi a silicati. Affiorano in filoni all'interno dei calcescisti

Età: Cretaceo

METARENITI (CPGb)**Mazzanti= n.c.**

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

Affiorano in filoni all'interno dei calcescisti

Età: Cretaceo

METARENITI DI CALA DI PANCIA (MPC).**Mazzanti = Ma Meta-areniti di Cala di Pancia - CARG = MCP Metareniti di cala Pancia**

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 SO dell'Isola e in due piccoli scogli affioranti.

Età: Cretaceo

Nell'isola sono identificabili due complessi in contatto fra loro: il primo che occupa la parte centro-sud è una **Unità Metasedimentaria, (1)** il secondo si trova nella porzione nord-est ed è una **Unità Ofilitica (2)**.

L'unità 1) è strutturata in due formazioni, le Metareniti di Cala di Pancia e i Calcescisti di Punta Gorgona; le prime affiorano all'estremità SO dell'isola e sono caratterizzate da 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; i Calcescisti, che costituiscono la maggior parte dell'Isola, sono rocce di colore grigio scuro, filladi grigie e grigio-bluastre associate a metapeliti nere e metarenarie (CPGb). Inoltre sono presenti micascisti di colore grigio e grigio-bluastro, marmi a silicati (CPGa), quarziti grigio-verdastre e cloritoscisti di colore verde lucente.

L'unità 2) affiora nell'estremità NE ed è distinta in due unità litostratigrafiche: le Serpentiniti e i Metabasalti di Punta Maestra. Le prime sono costituite da serpentiniti, serpentinoscisti, scisti ad antigorite e scisti a tremolite-actinolite. In subordine matagabbri e metabasalti milonitizzati; i secondi sono metabasalti di colore verde scuro, massicci e/o con relitti di strutture a *pillow* e in subordine matagabbri, prasiniti variamente listate.

Mentre l'unità Metasedimentaria ha subito almeno tre fasi plicative sovrapposte, nelle ofioliti se ne riconoscono non più di due.

Il contatto fra le due unità avviene lungo una fascia di pochi metri di spessore con contatto pseudoconcordante con entrambe le unità; in essa si riconoscono scisti cloritici e tremolitici, legata probabilmente ad un metamorfismo di contatto che ha visto il sovrascorrimento dell'Unità Ofiolitica su quella Metasedimentaria.

12.2 GEOMORFOLOGIA E STABILITA'

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 vallecole che circondano l'isola.

12.3 FENOMENI GRAVITATIVI E DINAMICA COSTIERA

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 disgregatrice 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 geomorfologica 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 del corso d'acqua

13 MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

Con l'entrata in vigore del Regolamento Regionale 53R/2011 la Regione Toscana ha introdotto la necessità di effettuare studi di **Microzonazione Sismica** (di seguito MS) per i Comuni che, come Livorno, hanno avviato la revisione dei propri strumenti urbanistici.

Il documento tecnico di riferimento per la realizzazione degli studi di MS è rappresentato dagli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (di seguito indicato con la sigla ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome opportunamente integrato dalle "Specifiche Tecniche Regionali per la Microzonazione Sismica Regionale" approvate con Deliberazione di Giunta n. 261/2011.

Tali documenti individuano e determinano i criteri, i metodi le specifiche tecniche e le procedure per l'esecuzione delle indagini di MS e per la redazione degli elaborati grafici in funzione dei livelli di approfondimento e delle diverse scale di rappresentazione. Successivamente la Regione ha emanato delle linee guida per meglio standardizzare le attività specialistiche in merito.

13.1 QUADRO CONOSCITIVO PRECEDENTE AGLI STUDI RECENTI

Dal Quadro Conoscitivo Ambientale redatto nel Maggio 2013 dall'Unità Organizzativa Strategie Ambientali del Comune di Livorno si riporta la documentazione sottostante sulle caratteristiche di sismicità del territorio attualmente conosciute.

Sulla base della prima classificazione sismica a suo tempo emanata il Comune di Livorno fu classificato "sismico" e inserito nella Categoria II (grado di sismicità $S=9$, accelerazione convenzionale massima $Ag/g=0,20$) nella classificazione sismica del territorio nazionale ed in classe 3 per la D.C.R.T. n. 94/85 in esecuzione della L.R. 21/84. Nella D.C.R.T. del 2006 Livorno è stato inserito in zona 3s (sismicità media, $Ag/g=0,25$).

Recentemente la D.G.R.T. n. 878/2012 ed il Regolamento n. 58/R/2012 ha disposto per il Comune di Livorno la classificazione sismica 3.

Da uno studio sulla pericolosità sismica in Toscana, (Meletti, Petrini & Scandone, 1996) l'intero territorio livornese è incluso in una zona sismica che occupa gran parte della Toscana marittima centrale, è caratterizzato da pericolosità sismica¹ di 0.5×10^{-2} - 0.39×10^{-2} per un evento del X grado MCS in un intervallo di 20 anni.

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

Gli studi condotti dal GNDT al Dipartimento della Protezione Civile nel 1996 individuavano inoltre per il territorio di Livorno un'intensità macrosismica pari al grado VII della scala MCS ed un'accelerazione di picco (PGA) compresa tra 0,20 e 0,24g, entrambi con tempo di ritorno $T=475$ anni.

A scala regionale lo studio del CNR-GNDT (1998) condotto su incarico della Regione Toscana per la valutazione del livello del rischio sismico, ha individuato la probabilità di eccedenza in 50 anni a partire dal 1981, di intensità dell'VIII grado MCS.

I valori di probabilità, espressi in percentuale, furono raggruppati in 4 classi indicative di livello di rischio sismico; il comune di Livorno è stato classificato in un trend di valori tra 0,8 e 3% perciò si considera il livello di rischio sismico basso. A livello di conoscenza comunale l'analisi macrosismica si è avvalsa degli spettri di risposta definiti dall'Eurocodice 8 che determina che i territori debbano suddividersi in zone sismiche in funzione della pericolosità locale, definiti in termini di accelerazione alla superficie di un sito rigido.

Le valutazioni di dettaglio del rischio sismico in aree limitate sono attualmente disponibili solo per alcune aree ad elevata pericolosità; Angeletti et alii (1996) ad esempio hanno effettuato tali valutazioni su alcuni comuni della Garfagnana.

Gli effetti negativi valutati nella stima della risposta in formazione dell'evento sismico includevano quindi, sulla base dei dati citati, la possibilità di amplificazione dell'onda sismica per effetti morfologici, l'innescò di dissesti morfologici e la liquefazione di terreni saturi. I dati INPUT per la propagazione di un sisma ad eccezione del fuoco della provenienza per una città attengono a tre categorie principali: morfologia, litologia, assetto strutturale dell'area.

Riguardo all'assetto tettonico del territorio si richiama il fatto che le unità strutturali dell'area collinare sono impilate una sull'altra lungo superfici di sovrascorrimento tettonico a basso angolo. Queste, attive fino al Miocene inferiore, sono state tagliate a partire dal Miocene superiore da sistemi di faglie normali ad alto angolo, di direzione prevalentemente NO-SE. La continuità di queste strutture, come visibile dalla citata carta geologica di Livorno-Collesalveti, è di frequente interrotta da faglie di direzione ortogonale (NO-SO).

Il primo di questi sistemi di faglie normali è responsabile dell'apertura dei bacini nei quali si sono deposte potenti successioni di sedimenti marini a partire almeno dal Pliocene inferiore. Il sistema NE-SO ha funzionato come raccordo del movimento di estensione tra i vari bacini orientati nordovest-sudest, ma non allineati tra di loro.

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

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

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

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

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

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

- Zone in cui si ritrovano condizioni molto favorevoli allo smorzamento dell'onda sismica ed amplificazione superficiale nulla;
- Zone in cui si ritrovano condizioni favorevoli allo smorzamento dell'onda sismica ed amplificazione superficiale minima;
- Zone in cui si ritrovano condizioni poco favorevoli allo smorzamento dell'onda sismica ed amplificazione superficiale sensibile;
- Zone in cui si ritrovano condizioni sfavorevoli allo smorzamento dell'onda sismica ed amplificazione superficiale marcata;
- Zone in cui si ritrovano condizioni molto sfavorevoli allo smorzamento dell'onda sismica ed amplificazione superficiale massima.

In particolare:

- partendo da Nord della città in prossimità della discontinuità stratigrafica della Gronda dei Lupi si rintracciano condizioni sfavorevoli allo smorzamento dell'onda sismica con amplificazione marcata;
- sul Terrazzo invece (dove sorge gran parte della città) si riconosce una condizione molto favorevole allo smorzamento con un'amplificazione superficiale nulla.
- verso Sud si riconoscono tre blocchi in cui si rilevano condizioni da sfavorevoli a molto sfavorevoli allo smorzamento con amplificazione superficiale da marcata a massima: il primo blocco è situato intorno alla Località Limoncino-Valle Benedetta, il secondo verso Montenero-Castellaccio-Rio Maroccone, il terzo verso l'interno dell'abitato di Quercianella.

Lo studio concludeva con la considerazione che "non è peraltro da escludere (n.d.r.) che anche gli eventi franosi degli ultimi anni che hanno interessato fra gli altri i settori sopra indicati abbiano avuto come parziale innesco la sommatoria di eventi microsismici che sicuramente amplificano le condizioni di instabilità gravitativa già presenti per fattori geologici, litotecnici e giacaturali".

13.2 AREE SOTTOPOSTE AGLI STUDI DI MS DI LIVELLO 1

L'amministrazione Comunale di Livorno ha commissionato alla società Geologica Toscana snc incarico di redigere gli elaborati necessari per la microzonazione sismica di livello 1. Lo studio, eseguito in attuazione dell'art. 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77 e ai sensi del DPGR 53/R/2011, è stato eseguito con il coordinamento dello staff geologico del Comune (Geoll. L. Gonnelli e a. Tanda, Dr. M. Danzi) e con il supporto del Servizio Sismico Regionale della Toscana. La versione dello studio qui esaminata è quella finale approvata dal Comune di Livorno.

Poichè sono in corso allo stato attuale (Febbraio 2019) approfondimenti di indagini che consentiranno la redazione di una microzonazione di livello 2, non appena possibile tali aggiornamenti saranno implementati nella Carta delle MOPS attualmente approvata, usata come base per l'adozione e l'approvazione del PS2 ma destinata, quindi, ad essere rivista dopo l'approvazione degli studi di livello 2. Ciò nonostante si è riusciti, ragionando direttamente in termini di pericolosità sismica sulla base del mutato

quadro geomorfologico dopo il parere del Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, a redigere una Carta della Pericolosità Sismica coerente con le informazioni più recenti.

Si precisa che le aree da sottoporre agli studi di MS di di livello 1 rappresentano in genere porzioni e/o interi territori appartenenti ai centri urbani maggiormente significativi.

Per la selezione di tali zone, si rimanda a quanto già definito nel par. B.7 dell'All.A al regolamento 53R del 2011 e alle successive circolari, nelle specifiche tecniche regionali di cui alla Del. GRT. 261/2011 e negli ICMS.

Per maggior chiarezza vengono illustrati gli elementi che devono essere considerati ai fini della selezione delle zone oggetto della redazione degli studi e indagini di MS, così come definite nel Par. 1.B.1.2 delle Istruzioni Tecniche del Programma VEL. In ordine di priorità sono elencati gli elementi antropici da considerare:

1. Numero degli abitanti;
2. Edifici pubblici e strategici;
3. Centro storico;
4. Aree industriali;
5. Area urbana in espansione

Tali elementi hanno permesso di definire la porzione di territorio oggetto di cartografia di microzonazione sismica (in particolare la carta delle MOPS - Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) e la successiva Carta di Pericolosità sismica locale.

Di seguito si fornisce una sintesi della Relazione tecnica allegata allo studio di microzonazione sismica, rimandando per ogni dettaglio al documento completo costituente parte integrante del Piano Strutturale e premettendo ancora una volta che la definizione della Pericolosità Sismica Locale, eseguita sulla base delle indicazioni del DPGR 53R del 2011, potrà essere aggiornata ove la Regione Toscana richiedesse modifiche e aggiornamenti allo studio medesimo.

Con il termine Microzonazione Sismica si intende l'attività di valutazione su un territorio, a scala comunale, delle modificazioni apportate allo scuotimento del suolo dalle condizioni geologico-tecniche e dalle condizioni topografiche locali. Il progetto di Microzonazione Sismica di primo livello ha come fine principale la raccolta di tutti i dati geologici provenienti da lavori pubblici e privati al fine di definire un modello unitario del sottosuolo per individuare, in via preliminare, con criteri speditivi le zone a più elevato rischio sismico da sottoporre in seguito a studi particolareggiati.

Il territorio comunale era già stato investigato dal punto di vista sismico in diverse fasi precedenti a quella che poi ha generato il presente studio e tali indagini sono state parte integrante per lo studio di Microzonazione nel suo complesso.

A tali indagini (vedi Carta dati di base delle presenti Indagini Geologico-tecniche) si sono poi aggiunte nuove indagini sismiche effettuate dalla Geologica Toscana S.n.c. (sismica attiva e passiva ad hoc) a completamento delle aree rimaste scoperte durante le investigazioni precedenti.

Il lavoro è stato quindi articolato nelle seguenti fasi:

- Raccolta delle indagini pregresse (studio Dott. Geol. Luca Mazzei);
- Esecuzione delle nuove indagini;
- Creazione del Database contenente tutte le indagini a disposizione;

-Realizzazione della Cartografia (Carta delle indagini, Carta delle frequenze naturali dei depositi, Carta geologico-tecnica, Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica)

13.3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

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_3.1.1 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia si nota ancor meglio come le faglie attive e capaci siano posizionate tutte a Est del territorio comunale in questione. In particolare è da mettere in luce un importante sistema fessurativo "*Individual Seismogenic Sources*", che prende il nome di ITIS066: Orciano Pisano distante poco più di 10 km dal capoluogo comunale.



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

13.4 MAGNITUDO ATTESA E TERREMOTI PREGRESSI

Dallo studio di microzonazione, a cui si rimanda per ogni dettaglio, emerge in sintesi che 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.

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:

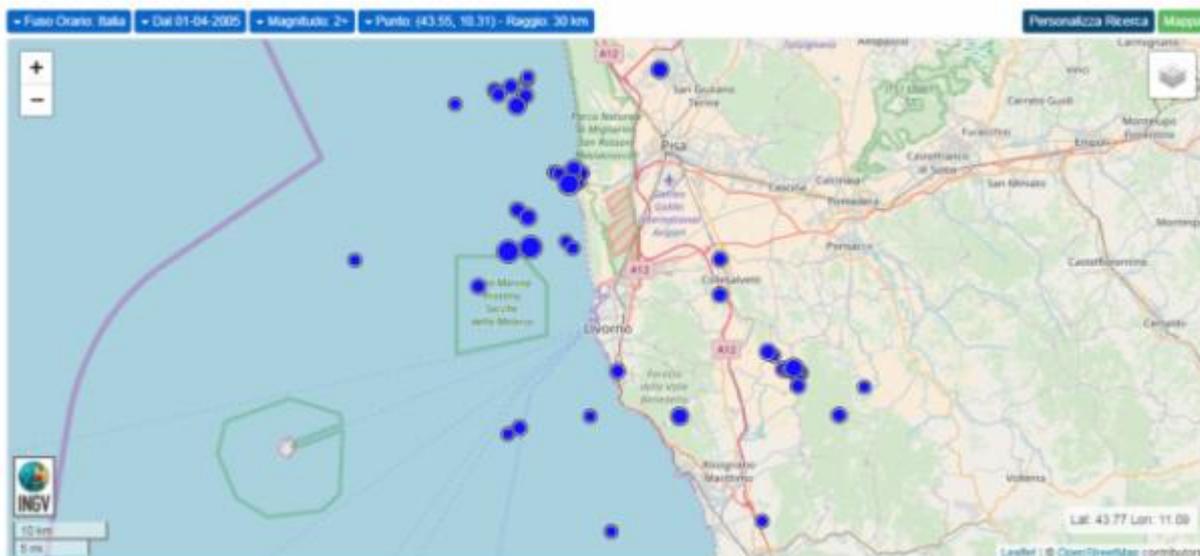
- 4 maggio 1646	Magnitudo 4.80	Zona epicentrale Livorno
- 27 gennaio 1742	Magnitudo 5,20	Zona epicentrale Livorno
- 8 gennaio 1771	Magnitudo 4.60	Zona epicentrale Livorno
- 3 aprile 1814	Magnitudo 4.87	Zona epicentrale Livorno
- 14 agosto 1846	Magnitudo 5.60	Zona epicentrale Orciano Pisano
- 1 aprile 1950	Magnitudo 4.60	Zona epicentrale Rosignano Marittimo

Il terremoto che i livornesi ricorderanno di più è probabilmente 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 far 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 e a pagina seguente 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:

INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE A SUPPORTO DEL "PIANO STRUTTURALE 2" DI LIVORNO
REVISIONE 1



Data e Ora (Italia) 17	Magnitudo 11	Zona 9	Profondità 11	Latitudine	Longitudine
2017-07-07 16:46:15	ML 2.6	3 km N Orciano Pisano (PI)	10	43.52	10.52
2016-10-29 19:11:29	ML 2.8	1 km NW Vecchiano (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	10.26
2015-03-09 09:20:06	ML 2.7	8 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	43.76	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 14:32:28	ML 2.0	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	10	43.69	10.28
2013-10-19 14:29:35	Mw 3.5	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	11	43.68	10.26
2013-10-18 13:44:00	ML 2.6	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	9	43.70	10.27
2013-08-09 16:08:55	ML 2.0	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	11	43.61	9.99
2013-07-04 05:20:53	ML 2.1	Costa Toscana settentrionale (Massa Carrara, Lucca, Pisa)	10	43.78	10.21
2012-10-13 16:59:35	ML 2.0	Costa Toscana livornese (Livorno)	6	43.44	10.18
2011-10-25 07:38:02	ML 2.1	5 km N Cecina (LI)	11	43.36	10.52
2011-01-19 20:39:20	ML 2.1	E Chianni (PI)	8	43.49	10.65
2011-01-19 20:36:54	ML 2.5	4 km SW Chianni (PI)	4	43.46	10.62
2010-01-14 17:29:35	ML 2.1	3 km NE Orciano Pisano (PI)	9	43.52	10.53
2009-06-09 12:37:59	ML 3.3	4 km N Santa Luce (PI)	9	43.51	10.56
2009-06-08 10:33:43	ML 2.2	3 km N Santa Luce (PI)	8	43.50	10.57
2009-06-08 07:11:01	ML 2.4	3 km E Orciano Pisano (PI)	10	43.50	10.55
2009-06-07 04:48:34	ML 2.4	3 km E Orciano Pisano (PI)	8	43.51	10.54
2009-05-12 22:19:28	ML 2.2	3 km N Santa Luce (PI)	9	43.50	10.56
2009-05-12 21:56:55	ML 2.5	2 km N Santa Luce (PI)	8	43.49	10.56
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 16:00:35	ML 2.3	Costa Toscana livornese (Livorno)	8	43.58	10.15
2007-08-27 17:15:12	ML 2.4	6 km S Livorno (LI)	15	43.50	10.33
2007-06-06 16:54:49	ML 2.3	2 km SW Collesalveti (LI)	10	43.58	10.46

13.5 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Di seguito una sintesi delle prove geotecniche e geofisiche alla base dello studio di microzonazione sismica; parte di tali prove provengono dal data base delle indagini geologico-tecniche del PS già citate nella presente relazione, altre sono state eseguite ex novo (es prove HVSR per microtremitori sismici) dai redattori dello studio medesimo:

Prove geotecniche:

Prove geotecniche					
Sondaggi	CPT	CPTu	DPSH	Pozzi	Trincee
266	81	2	55	365	4

Differenziazione sondaggi		
Non attrezzato	DH	Piezometro
194	15	57

Prove geofisiche:

Prove geofisiche				
HVSR	MASW	ESAC	DH	SR
65	35	2	15	44

Tutti i dati di base sono stati informatizzati (tabelle, shapefile), in ottemperanza agli "standard di archiviazione informatica versione 4.0b" nel database denominato "Cdi_Tabelle_049009".

14 MODELLO SISMICO DEL SOTTOSUOLO

L'area più interessante dal punto di vista stratigrafico si è dimostrata senza dubbio la zona di raccordo tra la piana e il versante dove in breve spazio, partendo dal versante, non c'è più ritrovamento del substrato geologico e quindi in molti casi anche di quello sismico.

Le cause di questo approfondimento e la sua entità dovranno essere valutate attraverso studi di microzonazione di livello superiore, in questa sede ci limitiamo a supporre che si tratti di un sistema di faglie dirette come succede in tutti i bacini neotettonici toscani.

14.1 PIANA DI LIVORNO

La piana di Livorno è quasi esclusivamente costituita da terreni appartenenti ad alluvioni Oloceniche e Pleistoceniche i cui depositi possono essere terrazzati e non. La granulometria di questi sedimenti è generalmente fine anche se si notano zone a matrice decisamente più grossolana specialmente a ridosso dei versanti.

Sporadicamente è possibile rilevare il substrato Pliocenico che affiora sotto forma di argille e argille azzurre. E' proprio questa formazione geologica che nella maggior parte dei casi, fa da letto ai terreni alluvionali sopra citati.

Non di rado, tra i terreni alluvionali sommitali e le sottostanti argille, viene ritrovata la così detta "panchina" che altro non è che una calcarenite di colore giallastro costituita da sabbia medio-grossolana e cementazione calcarea; piuttosto leggera e di facile lavorabilità, presenta un aspetto ruvido e molto poroso e contiene fossili marini spesso visibili ad occhio nudo.

In ambiente antropizzato è inoltre facile ritrovare resti antropici di notevole spessore dovuti ai vari eventi bellici che hanno interessato la città.

14.2 VALLE BENEDETTA

Nell'area di Valle Benedetta abbiamo l'affioramento di 4 litotipi costituenti il substrato geologico e sismico. In Particolare si riconoscono formazioni appartenenti al Dominio Ligure impilatesi l'una sull'altra per mezzo delle spinte tettoniche orogenetiche. Tali formazioni sono le seguenti:

DOMINIO LIGURE

- Formazione di Monte Morello (MLL) (Paleocene Sup. – Eocene Medio)
- Argilliti e Calcari di Poggio Rocchino (RCH) (Albiano – Campaniano)
- Flysch di Ottone Monteverdi (OMT) (Cretacico Sup. – Paleocene Inf.)
- Formazione di Sillano – Santa Fiora (SIL) (Cretacico Sup. – Paleocene)

Questi litotipi rappresentano tutti in prospettiva geologico-tecnica, il substrato sismico, avendo già dalla superficie velocità delle onde S molto elevate.

14.3 QUERCIANELLA

Anche nell'area di Quercianella abbiamo l'affioramento per grandi tratti dei vari tipi di substrato che abbiamo prima descritto.

Impilatesi sotto la spinta delle forze orogenetiche, nella maggior parte dei casi non si riconosce una giacitura definita e le formazioni tendono ad avere un aspetto abbastanza caotico.

La tettonica è comandata anche da sistemi di faglie dirette che abbassano i sedimenti più giovani facendoli coesistere alla medesima quota insieme a quelli più vecchi.

In quest'area tuttavia sono presenti anche lembi di copertura quaternaria, Rusciana e Pliocenica che sovrastano il substrato geologico.

14.4 ISOLA DI GORGONA

L'origine geologica dell'Isola di Gorgona si deve attribuire ad un fenomeno di sommersione avvenuto presumibilmente nel Quaternario. A differenza di Giglio e Giannutri, nel Paleolitico la Gorgona, come anche l'Elba, la Capraia, Montecristo e Pianosa, non aveva una conformazione insulare. Essa formava infatti insieme a queste ultime una vera e propria penisola protesa verso la Sardegna e la Corsica loro volta unite (G. Racheli). Le formazioni più antiche sono particolarmente evidenti presso la cala dei Giunchi in posizione S.O.

Si tratta di rocce di aspetto gneissico, calcarifero. Dalla stratificazione dello gneiss si passa, in senso ascendente, ad una struttura di calcescisti e calcari cristallini e micascisti e micascisti tormaliniferi che insieme costituiscono la formazione predominante dell'intera isola. Procedendo ancora verso l'alto si trova la zona delle "rocce verdi" costituite da prasinite cloritica, prasinite anfibolica, serpentine, serpentinoscisti, talcscisti e quindi rocce metamorfiche provenienti da eufotidi e da diabasi.

L'isola è stata suddivisa in due unità litostratigrafiche in contatto tettonico: quella Metasedimentaria (metareniti e calcescisti) e quella Ofiolitica (serpentiniti, metavulcaniti e metagabbri).

Mentre la prima mostrerebbe strette analogie con gli "Schistes Lustrés" delle Alpi Occidentali e della Corsica, la seconda avrebbe forti convergenze litologiche e metamorfiche con le unità oceaniche in scisti

blu. L'associazione tettonica tra le due unità in sostanza mostrerebbe una certa correlabilità con alcuni settori ed eventi della catena alpina.

14.5 FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI

14.5.1 GENERALITÀ

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratios) è basata sulla misura dei rapporti medi tra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontale e verticale del rumore sismico ambientale. Le frequenze di risonanza corrispondono ai massimi della funzione che rappresenta rapporti spettrali medi in funzione della frequenza (funzione H/V).

L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura. La campagna di misure passive del rumore sismico ambientale ha avuto come obiettivo quello di individuare possibili fenomeni di risonanza sismica e misurare la corrispondente frequenza di vibrazione. Queste misure forniscono indicazioni sul rapporto fra la velocità media delle onde S nella copertura e la profondità del basamento sismico al di sotto del punto di osservazione.

Si può dimostrare che la frequenza di risonanza f_0 di una copertura sedimentaria di spessore H sovrapposta ad un basamento rigido e in condizioni di stratificazione piana è data dal rapporto fra la velocità media delle onde S nel sedimento V_s e 4 volte lo spessore H :

$$f_0 = \frac{V_s}{4H}$$

Utilizzando questa relazione è possibile risalire dalla frequenza di risonanza misurata allo spessore della copertura una volta nota la velocità delle onde di taglio, o viceversa a quest'ultima se lo spessore H è noto.

La misura della funzione H/V richiede l'acquisizione del rumore sismico ambientale in un punto per tempi dell'ordine di diverse decine di minuti. Questa durata ha lo scopo di garantire la misura del campo di rumore generato da una molteplicità di sorgenti dalle diverse direzioni dello spazio. La misura va effettuata utilizzando un sistema di acquisizione tridimensionale caratterizzato da sufficiente sensibilità. I dati raccolti vengono analizzati per determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore misurate sui piani orizzontale e verticale.

A questo scopo, la serie di rumore ambientale viene suddivisa in segmenti di durata simile per ciascuna delle quali viene determinato lo spettro del moto.

Nell'analisi spettrale un dato molto importante è l'eventuale presenza di massimi della funzione H/V, che è collegata a potenziali episodi di amplificazione sismica dovuti a fenomeni di risonanza.

14.5.2 ANALISI DEI DATI

LIVORNO

In corrispondenza dell'abitato del Capoluogo e delle frazioni più prossime sono state eseguite n. **54** misure di sismica passiva con metodo HVSR. Le registrazioni eseguite mostrano una grande variabilità di frequenze di picco che variano da 0,5 a 20 Hz.

Hanno tutte valori del rapporto H/V molto bassi e tali da non far credere a possibili problematiche di risonanza dei terreni tranne che in alcuni punti che verranno di seguito elencati:

- HVSR17: 15,6 Hz (2,3) possibile risonanza a bassa profondità tra copertura e substrato;
- HVSR18: 5,3 Hz (2,1) possibile risonanza a media profondità tra copertura e substrato;
- HVSR33: 5,8 Hz (2,5) possibile risonanza a media profondità tra materiali in frana e substrato;

- HVSR36: 15,1 Hz (2,5) possibile risonanza a bassa profondità tra materiali in frana e substrato;
- HVSR38: 15,0 Hz (3,9) possibile risonanza a bassa profondità tra materiali in frana e substrato;
- HVSR39: 16,7 Hz (2,8) possibile risonanza a bassa profondità tra materiali di alterazione del substrato e il substrato;
- HVSR40: 16,5 Hz (2,2) possibile risonanza a bassa profondità tra materiali di alterazione del substrato e il substrato;
- HVSR41: 16,5 Hz (2,2) possibile risonanza a bassa profondità tra materiali in frana e substrato;
- HVSR54: 2,8 Hz (3,0) possibile risonanza a medio-alta profondità tra materiali di copertura e substrato;
- HVSR55: 13,1 Hz (8,6) possibile risonanza a media profondità tra materiali di copertura e panchina.

VALLE BENEDETTA

In corrispondenza di Valle Benedetta sono state eseguite 3 misure HV che tuttavia non hanno evidenziato particolari problematiche così come era prevedibile a priori vista la litologia quasi ovunque rocciosa.

QUERCIANELLA

In corrispondenza dell'abitato di Quercianella sono state eseguite 5 misure HV che tuttavia non hanno evidenziato particolari problematiche così come era prevedibile a priori vista la litologia quasi ovunque rocciosa.

Da segnalare la misura HVSR47: 4,7 Hz (2,3) con possibile risonanza a media profondità tra materiali di copertura e substrato e la misura HVSR48: 15,8 Hz (2,3) con possibile risonanza a bassa profondità tra materiali di copertura e substrato

ISOLA DI GORGONA

In corrispondenza di Gorgona sono state eseguite 3 misure HV che tuttavia non hanno evidenziato particolari problematiche così come era prevedibile a priori vista la litologia quasi ovunque rocciosa

15 – MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (M.O.P.S.) E STIMA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica di Livello 1 costituisce il documento fondamentale di questo livello di approfondimento. La carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e delle valutazioni dei dati litostratigrafici è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc...).

Le informazioni utilizzate, oltre alla cartografia di base disponibile sono:

- carta delle indagini, precedentemente prodotta per questo livello;
- carte geologiche e geomorfologiche del Piano Strutturale;
- logs litostratigrafici dedotti da dati di sondaggi, pozzi;
- sezioni geologiche;
- carte di dissesto idrogeologico (progetto IFFI).

Le microzone della carta sono classificate in tre categorie:

- a) zone stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di rilievo di alcuna natura;**
- b) zone stabili suscettibili di amplificazioni locali,** nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, con effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale;

c) **zone di attenzione per le instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti nel territorio. I principali tipi di instabilità sono: instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci e cedimenti differenziali.**

In questo caso specifico sono state individuate **40 microzone omogenee più 4 microzone stabili** che non vanno a concorrere alle zone suscettibili di instabilità.

Sulla base di quanto previsto dal DPGR 53/R/2011 per le classi di pericolosità sismica locale e utilizzando il **criterio cautelativo della potenziale impedenza sismica elevata nei casi in cui si abbia un picco nel grafico H/V e/o un substrato lapideo rigido entro i primi 30 m circa**, si riportano di seguito le descrizioni delle microzone con la classe di pericolosità sismica attribuita sulla base delle conoscenze attuali (sigla fra parentesi al termine della descrizione)

15.1 ZONE STABILI

Le zone stabili sono quelle di affioramento del substrato geologico dove non si abbiano notizie di coperture maggiori di 3 metri e/o di amplificazioni dovute a differenze marcate di impedenza acustica tra la copertura alterata e il substrato integro.

Sono stati individuati tre tipi di zone stabili e cioè con affioramento del substrato lapideo, del substrato lapideo stratificato o con affioramento del substrato dato da un'alternanza di litotipi. **A tali zone è virtualmente attribuita la Pericolosità sismica locale S2 (media), fatta salva la eventuale presenza concomitante di settori in pericolosità geomorfologica G4 che comportano un pari aumento di grado di pericolosità sismica.**

Queste zone equivalgono alle LP, LPS e ALS così come definite nella descrizione della carta geologico-tecnica dello studio di MS1.

15.2 ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono state numerate partendo dalla 1 denominata 2001 così come prevede la normativa. La descrizione delle zone dalla numero 1 alla numero 40 è stata possibile attraverso la conoscenza dell'area e dopo l'attento studio di tutte le indagini a nostra disposizione. **Alla maggior parte di tali zone è stata attribuita la Pericolosità sismica locale S3 (elevata) per i motivi già adottati in precedenza; invece alle zone ove affiora direttamente il substrato è stata attribuita la Pericolosità sismica locale S2(media), fatta salva la eventuale presenza concomitante di settori in pericolosità geomorfologica G4 che comportano un pari aumento di grado di pericolosità sismica.**

ZONA 2001: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra al substrato lapideo stratificato. Questa zona è prevalentemente concentrata nella parte sud relativa all'area di Livorno città (**S3**).

ZONA 2002: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra al substrato lapideo non stratificato. Questa zona è concentrata al Porto dell'Isola di Gorgona (**S3**).

ZONA 2003: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra a spessori da 1 a 5 metri di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sormontanti il substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati. Questa zona, molto presente, è prevalentemente ubicata nelle aree di bordo della piana inondabile, sui versanti delle prime colline e a Gorgona (**S3**).

ZONA 2004: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato lapideo stratificato. Questa zona è ubicata nelle aree retrostanti l'abitato di Antignano (**S3**).

ZONA 2005: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è ubicata nelle colline a Sud-Est dell'abitato di Livorno e retrostanti l'abitato di Antignano, oltre che nella zona di Quercianella (**S3**).

ZONA 2006: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è ubicata nelle colline a Sud, Sud-Est dell'abitato di Livorno e retrostanti l'abitato di Antignano (**S3**).

ZONA 2007: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è ubicata nelle colline a Sud, Sud-Est dell'abitato di Livorno e retrostanti l'abitato di Antignano (**S3**).

ZONA 2008: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati e ciottolami poligenici di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è ubicata nelle colline a Sud, Sud-Est dell'abitato di Livorno (**S3**).

ZONA 2009: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati e ciottolami poligenici di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da litotipi lapidei stratificati. Questa zona è ubicata nelle colline a Est dell'abitato di Livorno (**S3**).

ZONA 2010: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da litotipi lapidei stratificati. Questa zona, piccolissima di estensione, è ubicata nelle colline a Est dell'abitato di Livorno (**S3**).

ZONA 2011: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Queste zone, piccolissime di estensione, sono ubicate nelle colline a Est dell'abitato di Livorno (**S3**).

ZONA 2012: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie e ciottolami, sopra ad argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. La singola zona, piccolissima di estensione, è ubicata nelle colline a Est dell'abitato di Livorno (**S3**).

ZONA 2013: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sopra ad argille e argille

sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è ubicata nelle colline a Est dell'abitato di Livorno **(S3)**.

ZONA 2014: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati **(S3)**.

ZONA 2015: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie e ciottolami, sopra a sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è rilevabile prevalentemente nei dintorni dell'area di Antignano **(S3)**.

ZONA 2016: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da litotipi lapidei stratificati. Questa zona è rilevabile prevalentemente a Est dell'area di Antignano **(S3)**.

ZONA 2017: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 e 10 metri, sopra a sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da litotipi lapidei stratificati. Questa zona è rilevabile sul Fosso della Banditella ad Antignano **(S3)**.

ZONA 2018: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi di spiaggia di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è rilevabile sul lungomare di Antignano a partire dalla zona dell'Ardenza **(S3)**.

ZONA 2019: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi di spiaggia di spessore tra 1 – 10 m, sopra a sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è rilevabile nei dintorni di Antignano **(S3)**.

ZONA 2020: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi di spiaggia di spessore tra 1 – 5 m, sopra a sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore tra 1 – 5 m, sopra alla panchina di spessore tra 1 – 5 metri, sopra a sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 5 metri, al substrato coesivi sovraconsolidato stratificato. Questa zona è rilevabile ad Est dell'Ardenza appena fuori la piana alluvionale **(S3)**.

ZONA 2023: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e argille limose di oltre 50 m di spessore. Questa zona è rilevabile a Nord-Est dell'abitato di Livorno e rappresenta l'affioramento del substrato Pliocenico **(S2)**.

ZONA 2025: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra ad argille e argille limose di oltre 50 m di spessore. Questa zona è rilevabile al margine Nord-Ovest della carta Livorno Nord **(S3)**.

ZONA 2027: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 – 30 metri, sopra ad argille e argille limose di oltre 50 m di spessore. Questa zona è rilevabile al margine Nord-Est della carta Livorno Nord **(S3)**.

ZONA 2028: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e limi con lenti di gessi di spessore tra 1 - 20 metri. Questa zona rappresenta l'affioramento del substrato Plio-Miocenico **(S2)**.

ZONA 2029: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 - 10 metri, sopra a conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 - 10 metri, sopra al substrato coesivo sovraconsolidato stratificato **(S3)**.

ZONA 2030: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo materiali di riporto anche grossolani o blocchi di spessore tra 1 - 10 metri, sopra a sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di spessore tra 1 - 10 metri, sopra ad argille e argille limose di oltre 50 m di spessore. Questa zona si trova nella totalità dei casi in zone di porto o frangiflutti **(S3)**.

ZONA 2033: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti talvolta con sporadica panchina di spessore tra 1 - 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è rilevabile alle spalle dell'abitato di Antignano **(S3)**.

ZONA 2037: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra al substrato lapideo non stratificato con pendenza dei versanti maggiore di 15°. Questa zona è concentrata al Porto dell'Isola di Gorgona **(S3)**.

ZONA 2038: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra a spessori da 1 a 5 metri di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sormontanti il substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati con pendenza dei versanti maggiore di 15°. Questa zona, molto presente, è prevalentemente ubicata nelle aree di bordo della piana inondabile, sui versanti delle prime colline e a Gorgona **(S3)**.

ZONA 2039: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati con pendenza dei versanti maggiore di 15°. Questa zona è ubicata nelle colline a Sud, Sud-Est dell'abitato di Livorno e retrostanti l'abitato di Antignano **(S3)**.

ZONA 2040: questa zona ricomprende tutte le situazioni con affioramento del substrato lapideo stratificato con pendenza dei versanti maggiore di 15° **(S2)**.

ZONA 2041: questa zona ricomprende tutte le situazioni con affioramento del substrato lapideo non stratificato con pendenza dei versanti maggiore di 15° **(S2)**.

ZONA 2042: questa zona ricomprende tutte le situazioni con affioramento del substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati con pendenza dei versanti maggiore di 15°. **(S2)**

15.3 ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ

Le zone di attenzione per instabilità cartografate nell'area oggetto di studio sono riferibili a due tipi di instabilità: fenomeni di instabilità gravitativa e aree interessate da liquefazione di Tipo 1. Per quanto concerne le prime nel territorio sono cartografate prevalentemente sui rilievi collinare a Sud-Est dell'Ardenza e dietro l'abitato di Antignano. Sono di tipo attivo, quiescente e inattivo/indeterminato.

Tali aree sono state classificate come zone di attenzione per instabilità in quanto in occasione di eventi sismici di rilevante importanza, tali fenomeni potrebbero riattivarsi. A tali zone, ove non coincidenti con aree classificate G4 ai sensi DPGR 53/R/2011, è stata attribuita la **Pericolosità sismica locale S3 (elevata) ai sensi DPGR 53/r/2011.**

Invece, le zone ove si riscontrano fenomeni attivi e quindi classificati a Pericolosità Geomorfologica G4 e/o PFME (molto elevata) sono state inserite in classe di pericolosità sismica locale S4; prevale sempre il criterio di massima cautela, quindi, ad esempio, ove una zona in G4 si sovrappone ad una microzona associabile singolarmente ad S3, l'area viene comunque classificata in S4 (es. falesia o costa ripida). Analogo ragionamento vale per le zone in PFE e per le aree franose quiescenti: ove i recenti aggiornamenti sul quadri di franosità abbiano ampliato aree in frana al di sopra di originarie Microzone collegate a pericolosità S2, si è aumentato il grado ad S3, prevalendo sempre il criterio di massima cautela. Tale operazione vale anche al contrario: ove un fenomeno franoso sia stato ridimensionato nell'estensione (ridotto), si è considerata valida la microzona limitrofa per l'aggiornamento della pericolosità nell'area di variazione.

Le zone suscettibili di liquefazione di Tipo 1 (ZALQ1) sono le zone nelle quali gli studi di livello 1 hanno verificato se esistono 4 condizioni predisponenti:

1. Terreni sabbiosi;
2. Falda a profondità inferiore a 15 m;
3. Magnitudo attesa al sito $M_w > 5$;
4. Accelerazioni massime in superficie ($pga > 0,1g$).

Tali zone potranno essere riviste, confermate o smentite dai successivi livelli di approfondimento. Si elencano di seguito:

ZONA 30122007: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Questa zona è ubicata nelle colline a Sud, Sud-Est dell'abitato di Livorno e retrostanti l'abitato di Antignano. Fa parte di una frana per scorrimento attiva (**S4**).

ZONA 30122036: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato costituito da alternanze di litotipi. Fa parte di una frana per scorrimento attiva (**S4**).

ZONA 30152003: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra a spessori da 1 a 5 metri di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sormontanti il substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva (**S4**).

ZONA 30152005: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 e 10

metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva **(S4)**.

ZONA 30152007: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva **(S4)**

ZONA 30152011: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva **(S4)**

ZONA 30152013: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sopra ad argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva **(S4)**.

ZONA 30152034: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva **(S4)**

ZONA 30152035: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo non stratificato. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva **(S4)**.

ZONA 30152036: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito attiva **(S4)**

ZONA 30222001: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente. **(S3)**.

ZONA 30222003: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra a spessori da 1 a 5 metri di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sormontanti il substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente **(S3)**.

ZONA 30222004: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente **(S3)**.

ZONA 30222005: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 e 10

metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente. **(S3)**.

ZONA 30222006: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente **(S3)**.

ZONA 30222007: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente **(S3)**.

ZONA 30222008: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati e ciottolami poligenici di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente **(S3)**.

ZONA 30222009: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati e ciottolami poligenici di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente **(S3)**.

ZONA 30222010: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente **(S3)**.

ZONA 30222011: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente **(S3)**.

ZONA 30222013: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sopra ad argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente **(S3)**.

ZONA 30222033: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti talvolta con sporadica panchina di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente **(S3)**.

ZONA 30222034: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente **(S3)**.

ZONA 3022035: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo non stratificato. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente. **(S3)**.

ZONA 3022036: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana con movimento per scorrimento quiescente **(S3)**.

ZONA 30232001: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente **(S3)**.

ZONA 30232003: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra a spessori da 1 a 5 metri di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sormontanti il substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente **(S3)**.

ZONA 30232005: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente **(S3)**.

ZONA 30232007: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente. **(S3)**.

ZONA 30232008: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati e ciottolami poligenici di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente **(S3)**.

ZONA 30232009: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati e ciottolami poligenici di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente. **(S3)**

ZONA 30232011: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente **(S3)**.

ZONA 30232013: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo uno spessore poco più che metrico di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sopra ad argille e argille sabbiose di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a calcari e calciruditi di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente. **(S3)**.

ZONA 30232033: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti talvolta con sporadica panchina di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente **(S3)**.

ZONA 30232034: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente **(S3)**.

ZONA 30232035: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo non stratificato. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente **(S3)**.

ZONA 30232036: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana con movimento per colata quiescente **(S3)**.

ZONA 30252003: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra a spessori da 1 a 5 metri di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sormontanti il substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente **(S3)**.

ZONA 30252005: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo conglomerati, ciottolami poligenici, ghiaie calcaree sabbiose e calcilutiti di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente **(S3)**.

ZONA 30252006: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 10 metri, sopra al substrato coesivo sovraconsolidato e stratificato. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente **(S3)**.

ZONA 30252007: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente **(S3)**.

ZONA 30252008: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra a conglomerati e ciottolami poligenici di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente. **(S3)**.

ZONA 30252034: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente **(S3)**.

ZONA 30252035: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a

varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo non stratificato. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente **(S3)**.

ZONA 30252036: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana con movimento non definito quiescente **(S3)**.

ZONA 30412036: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana per crollo o ribaltamento ad attività non definita **(S3)**.

ZONA 30452002: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi alluvionali e di versante ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra al substrato lapideo non stratificato. Fa parte di una frana a movimento e grado di attività non definiti **(S3)**.

ZONA 30452003: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi ghiaio-sabbio-argillosi e sabbio-ghiaio-argillosi di spessore tra 1 e 10 m, sopra a spessori da 1 a 5 metri di sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, sormontanti il substrato costituito da alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana a movimento e grado di attività non definiti. **(S3)**.

ZONA 30452007: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi con sporadica presenza di panchina di spessore tra 1 e 20 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Fa parte di una frana a movimento e grado di attività non definiti **(S3)**.

ZONA 30452034: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo stratificato. Fa parte di una frana a movimento e grado di attività non definiti **(S3)**.

ZONA 30452035: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato lapideo non stratificato. Fa parte di una frana a movimento e grado di attività non definiti **(S3)**.

ZONA 30452036: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche materiali movimentati a varia grana di spessore tra 1 e 3 metri, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi lapidei stratificati. Fa parte di una frana a movimento e grado di attività non definiti **(S3)**.

ZONA 30502019: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi di spiaggia di spessore tra 1 – 10 m, sopra a sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore tra 1 – 10 m, sopra al substrato costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. Si trova al margine Nord-Est della piana e può presentare problematiche di liquefazione **(S3)**.

ZONA 30502021: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di spessore tra 1 – 10 m, sopra alla panchina di spessore tra 1 – 5 metri, sopra sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di spessore tra 1 – 10 m, sopra a argille e argille limose di spessore maggiore di 50 m. Questa zona è una delle zone fondamentali del

presente studio in quanto comprende buona parte del territorio comunale nella zona della piana inondabile. Viste le condizioni litostratigrafiche e idrogeologiche è possibile il generarsi di fenomeni di liquefazione **(S3)**.

ZONA 30502022: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di spessore tra 1 – 25 m, sopra a argille e argille limose di spessore maggiore di 50 m. Questa zona è una delle zone fondamentali del presente studio in quanto comprende buona parte del territorio comunale nella zona della piana inondabile. Viste le condizioni litostratigrafiche e idrogeologiche è possibile il generarsi di fenomeni di liquefazione **(S3)**.

ZONA 30502024: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 5 metri, sopra alla panchina di spessore tra 1 – 5 metri, sopra ad argille e argille limose di oltre 50 m di spessore. Questa zona è rilevabile nella piana alluvionale e può generare fenomeni di liquefazione. **(S3)**.

ZONA 30502025: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie e ciottolami di spessore tra 1 – 10 metri, sopra ad argille e argille limose di oltre 50 m di spessore. Questa zona è rilevabile nella piana alluvionale e può generare fenomeni di liquefazione **(S3)**.

ZONA 30502026: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo depositi di spiaggia di spessore tra 1 – 2 m, sopra a sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi, di spessore tra 1 – 3 m, sopra alla panchina di spessore tra 1 – 5 metri, sopra ad argille e argille limose di spessore di oltre 50 m. Questa zona è rilevabile nella piana alluvionale e può generare fenomeni di liquefazione **(S3)**.

ZONA 30503031: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di spessore tra 1 – 10 m, sopra alla panchina di spessore tra 1 – 5 metri, sopra sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di spessore tra 1 – 5 m, sopra a argille e argille limose di spessore tra 10 - 100 metri, sopra all'ipotetico substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati. Questa zona è una delle zone fondamentali del presente studio in quanto comprende il bordo della valle alluvionale di raccordo con il versante. Visto l'approfondimento repentino del substrato in quest'area è molto probabile la presenza di un sistema di faglie dirette. Viste le condizioni litostratigrafiche e idrogeologiche è possibile il generarsi di fenomeni di liquefazione **(S3)**.

ZONA 30503032: questa zona ricomprende tutte le situazioni stratigrafiche in cui abbiamo sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di spessore tra 1 – 50 m, sopra a argille e argille limose di spessore tra 20 - 100 metri, sopra all'ipotetico substrato costituito da alternanze di litotipi stratificati. Questa zona è una delle zone fondamentali del presente studio in quanto comprende il bordo della valle alluvionale di raccordo con il versante. Visto l'approfondimento repentino del substrato in quest'area è molto probabile la presenza di un sistema di faglie dirette. Viste le condizioni litostratigrafiche e idrogeologiche è possibile il generarsi di fenomeni di liquefazione **(S3)**.

15.4 CLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE.

Tenendo conto della CARta delle MOPS di livello 1 approvata e delle integrazioni e aggiornamenti derivanti dalla mappatura dei fenomeni franosi così come approvata dall'Autorità di Bacino dell'Appennino Settentrionale, la classificazione della Pericolosità Sismica Locale è stata definita adottando le indicazioni del DPGRT 53/R/2011 che sotto riportiamo:

Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4): zone suscettibili di instabilità di versante attiva che pertanto potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; terreni suscettibili di liquefazione dinamica in comuni classificati in zona sismica 2

Pericolosità sismica locale elevata (S.3): zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica (per tutti i comuni tranne quelli classificati in zona sismica 2); zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci (faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri;

Pericolosità sismica locale media (S.2): zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3)

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 e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica. **La Carta della pericolosità sismica locale**

Si precisa, ad ogni buon fine, che in **classe S4 - pericolosità sismica locale molto elevata** - sono state inserite a tutt'oggi le aree soggette a instabilità gravitativa, identificate come G4 e/o PFME nella Carta della Pericolosità Geomorfologica, indipendentemente dalla presenza o meno di microzone associabili a tale tipo di pericolosità (in ragione di aggiornamenti di studio geomorfologico eseguiti dopo la conclusione dello studio di microzonazione).

In sintesi: in aggiunta ai criteri derivanti dalla microzonazione eseguita, che sarà aggiornata dopo il termine delle indagini di livello 2, tutte le aree attualmente interessate da fenomeni franosi inattivi/quiescenti (S2 e DS nella legenda geomorfologica e PFE nella legenda di pericolosità geomorfologica) sono state classificate in S3. Parimenti, tutte le aree attualmente interessate da fenomeni franosi attivi (S3 e F nella legenda geomorfologica e PFME/G4 nella legenda di pericolosità geomorfologica) sono state classificate in S4.

Non è invece stata individuata nelle zone studiate la classe di pericolosità S1 poiché le pendenze medio-elevate hanno imposto l'adozione di una classe mai inferiore a S2 anche nelle zone stabili.

16 – VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

Il territorio viene caratterizzato in funzione dello stato di pericolosità con l'indicazione degli eventuali condizionamenti alla trasformabilità anche di tipo prescrittivo da assumere nella redazione del futuro Piano Operativo ai sensi della LR 65/2014.

Attraverso le analisi e gli approfondimenti sono state caratterizzate aree omogenee dal punto di vista delle pericolosità e delle criticità rispetto agli specifici fenomeni che le generano, oltre ad essere integrate e approfondite quelle già individuate nei piani di bacino.

16.1 – DEFINIZIONE CLASSI DI PERICOLOSITA'

Le classi di pericolosità geomorfologica sono state definite ai sensi del **DPGRT 53/R/2011** e del **Piano Assetto idrogeologico** (di seguito indicato con l'acronimo PAI). Per quanto riguarda il DPGRT 53/R/2011 la classificazione adottata è sotto riportata:

Pericolosità geologica molto elevata (G.4)

aree in cui sono presenti fenomeni attivi e relative aree di influenza, aree interessate da soliflussi.

Pericolosità geologica elevata (G.3)

aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%.

Pericolosità geologica media (G.2)

aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente); aree con elementi geomorfologici, litologici e giacaturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%.

Pericolosità geologica bassa (G.1)

aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giacaturali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi.

16.2 PRECISAZIONI SUI CRITERI DI CLASSIFICAZIONE

Per quanto riguarda il PAI, la definizione proposta in sede di adozione del PS2 delle aree classificate **PFE** e **PFME** è stata revisionata dall' Autorità di Bacino dell'Appennino Settentrionale e quindi recepita integralmente nelle tavole aggiornate. A tal proposito le aree PFE e PFME sono visualizzate in cartografia (TAV G8) con apposito retino differenziato per meglio rilevare la sovrapposizione fra le due classificazioni.

In particolare tutte le aree classificate in PFME sono classificate in G4 ai sensi del DPGRT 53/R/2011. In tale classe sono inserite sia le frane attive singolarmente mappate nelle aree collinari, sia estesi settori costieri con falesia alta e media: a Livorno infatti il fattore di instabilità della costa è molto importante e diffuso, lungo estesi tratti soprattutto da Quercianella al Chioma e dalla Spiaggia dei tre Ponti fino al Maroccone, con costa a media altezza e interessati da depositi flyschoidi ad assetto caotico, interessati da intensi fenomeni di arretramento della falesia per erosione incessante; ove ciò non avviene o comunque accade con minore intensità e frequenza, il motivo è da ricercarsi nelle opere di protezione antropiche a terra e a mare (muri di sostegno, gabbionate, scogliere, moli).

Tuttavia anche la costa alta massiccia, arenacea (Calafuria) o ofiolitica (gabbri Castel Sonnino), nonché quella dell'Isola di Gorgona, è aggredita fortemente dalle mareggiate di libeccio (e non solo) e mostra alcuni settori con frane attive, seppur localizzati in hot-spot definiti, con prevalenza del fenomeno di crollo/dislocazione contenuta di blocchi di varia dimensione. Anche a tali settori costieri è stata attribuita - nei tratti più acclivi prossimi al mare - la classe **P.F.M.E. dal P.A.I. e G4** ai sensi DPGRT 53/R/2011.

Esiste quindi una corrispondenza biunivoca fra G4 e PFME.

Inoltre, tutte le aree classificate **PFE** (derivanti da fenomeni franosi di tipo inattivo/quiescente) sono classificate in **G3** ai sensi del DPGRT 53/R/2011; peraltro gli studi eseguiti e gli approfondimenti hanno suggerito di estendere la classe G3 anche in aree non mappate in PFE, nelle quali, pur non essendo rilevati fenomeni prettamente franosi, le condizioni litologiche generali hanno suggerito di estendere il grado di pericolosità proprio di tale classe, in modo tale da condizionare le condizioni di fattibilità nel futuro Piano Operativo. Osservando infatti la cartografia di Tav. 8, si apprezza facilmente che, al di fuori delle aree PFE, la classe G3 è individuata sostanzialmente nel comparto collinare livornese (tenendo ovviamente conto dell'estensione delle PFE), nel comparto di Livorno Nord e in quello del porto industriale, questi ultimi caratterizzati da scadenti proprietà meccaniche dei depositi naturali e da variabili condizioni dei riporti antropici che dovranno essere approfonditi negli interventi diretti localizzati.

Pertanto, in sintesi, ogni area classificata in PFE e anche classificata in G3, ma esistono estese aree esterne a PFE per le quali ai sensi del DPGRT 53/R/2011 si è ugualmente adottata la classe G3 pur in assenza di fenomeni evidenti di instabilità gravitativa, a supporto di una maggiore tutela del territorio, considerando che il comparto collinare livornese risulta caratterizzato da affioramenti per lo più flyschoidi e da pendenze medio-elevate che a nostro avviso denotano, anche nelle aree non mappate in PFE, una suscettività alla franosità diffusa che deve essere rimarcata da una classe non inferiore al G3, proprio al fine di avere in futuro uno strumento cogente di approfondimento di indagini a supporto delle future destinazioni d'uso delle aree.

Pertanto si rimarca che nel settore collinare interno a maggiori pendenze, interessato da depositi flyschoidi molto suscettibili all'instabilità, ed anche ai settori arenacei e ofiolitici non inseriti in G4, è stata attribuita la classe **G3** (pericolosità elevata) in quanto si riconosce per queste aree, anche al di fuori dei fenomeni gravitativi mappati, una propensione al dissesto (ovvero una suscettività generale all'instabilità gravitativa) dovuta alla presenza diffusa di litotipi argillitico-marnosi stratificati, spesso in assetto caotico o misto calcareo-marnoso – in concomitanza con pendenze anche singificative.

Un altro motivo di pericolosità importante per il territorio è quello di tipo tessiturale-deposizionale delle coltri detritiche recenti con scarsa o potenzialmente insufficiente compattazione; riguarda a nostro avviso i depositi alluvionali recenti nel settore Nord (area conosciuta come zona depressa di Ponte Ugione) vicini allo Scolmatore ed anche parte del settore urbanizzato vicino alle aree portuali ove il substrato argilloso Pliocenico è in gran parte sostituito da argille e sabbie del Pleistocene (sabbie e argille ad artica) in genere di medio-basso addensamento o consolidazione nella parte alta; ove sono dislocati lungo la colonna stratigrafica depositi argillosi recenti (es. Argille ad *Arctica Islandica*), lo stato di addensamento e/o consolidazione è spesso particolarmente scadente e può dar luogo a significativi fenomeni di cedimento in presenza di interventi non adeguati. Oltre a ciò ci sono numerosi settori totalmente antropizzati ove, pur in presenza di coperture rigide e banchinamenti, non è comunque nota la metodologia di messa a dimora dei riporti pregressi eseguiti. Si è attribuita a tutti questi settori la classe **G3** (pericolosità elevata).

In pericolosità media **G2** sono stati inseriti gran parte dei terreni del terrazzo basso (Livorno) e medio (Villa Padula) nonché gran parte del settore collinare interno dell'Isola di Gorgona, in quanto tali aree presentano elementi geomorfologici, litologici e giacaturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto. Molte di queste aree coincidono col territorio urbanizzato di Livorno e con i settori di retrocosta a morfologia subplanare associati agli affioramenti di panchina calcarenitica e/o comunque di depositi pleistocenici in aree a bassissima pendenza.

La classe **G1** è stata infine attribuita a pochi settori pianeggianti dell'Isola di Gorgona, ove la presenza di un bedrock lapideo prossimo alla superficie permette di escludere una propensione al dissesto.

17 – VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

Con l'emanazione del Piano Gestione Rischio Alluvioni è decaduta la precedente classificazione del P.A.I. in materia di rischio idraulico e risultano attualmente forniti i seguenti criteri di classificazione:

-  **P1 – PERICOLOSITA' BASSA (aree inondabili da eventi con Tr maggiore di 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale)**
-  **P2 - PERICOLOSITA' MEDIA (aree inondabili da eventi con Tr compreso fra 30 e 200 anni)**
-  **P3 - PERICOLOSITA' ELEVATA (aree inondabili da eventi con Tr minore o uguale a 30 anni)**

Invece la classificazione ai sensi del D.P.G.R.T. n.53/R del 25/10/2011, fornisce ad oggi le seguenti 4 classi di Pericolosità:

Pericolosità idraulica molto elevata (I.4): aree interessate da allagamenti per eventi con $Tr < 30$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità molto elevata le aree di fondovalle non protette da opere idrauliche per le quali ricorrano contestualmente le seguenti condizioni:

- a) vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono morfologicamente in situazione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

Pericolosità idraulica elevata (I.3): aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < TR < 200$ anni.

Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici, rientrano in classe di pericolosità elevata le aree di fondovalle per le quali ricorra almeno una delle seguenti condizioni:

- a) vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono morfologicamente in condizione sfavorevole di norma a quote altimetriche inferiori rispetto alla quota posta a metri 2 sopra il piede esterno dell'argine o, in mancanza, sopra il ciglio di sponda.

Pericolosità idraulica media (I.2): aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < TR < 500$ anni.

Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni:

- a) non vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

Pericolosità idraulica bassa (I.1): aree collinari o montane prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

- a) non vi sono notizie storiche di inondazioni;
- b) sono in situazioni favorevoli di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

Allo stato attuale si può ipotizzare il seguente parallelismo fra le varie tipologie di classificazioni:

PGRA	DPGR 53/R/2011	Ex PAI
P3	I4	PIME
P2	I3	PIE
P1	I2	aree di attenzione
P1	I1	"

Lo Studio Prima Ingegneria ha redatto uno studio idraulico di dettaglio sui principali corsi d'acqua del livornese, ottenendo un quadro aggiornato rispetto alle previsioni attuali del PGRA che riprendono le mappature della Carta della Tutela del Territorio di derivazione PAI.

Sulla base di tale studio, che è stato peraltro aggiornato anche a seguito dell'evento alluvionale del 9-10 settembre 2017, è stata redatta congiuntamente allo Studio Prima la Carta della Pericolosità Idraulica, che tiene conto degli scenari di esondazioni prevedibili per i vari Tempi di Ritorno e di alcuni criteri di tipo morfologico applicati a quei corsi non oggetto di studio di dettaglio.

Di seguito si fornisce una sintesi dello Studio rimandando per ogni dettaglio agli elaborati specifici ed alle relative cartografie.

17.1 - NORMATIVA DI RIFERIMENTO ED ESTENSIONE DEL TERRITORIO INDAGATO

- DIRETTIVA 2007/60/CE "Valutazione e gestione dei rischi di alluvioni"
- DPGR 53/R 2011 "Regolamento di attuazione dell'articolo 62 della legge regionale 3 gennaio 2005, n.1 (Norme per il governo del territorio) in materia di indagini geologiche.
- Legge Regionale n. 41 del 24 luglio 2018 - Disposizioni in materia di rischio di 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. Abrogazione della LR 21/2012

Lo studio copre un'estensione di circa 100 km² ed interessa in parte anche il territori del Comune di Collesalveti e di Rosignano Marittimo.

Il deflusso delle acque è assicurato da un complesso sistema di aste fluviali che è possibile schematizzare in diversi bacini e sottobacini. Nella tabella a pagina seguente sono riportate le principali caratteristiche degli stessi:

Tabella 1 Caratteristiche dei bacini

ID	S (km ²)	ID	S (km ²)
Ardenza1	0.96	Governatore1	0.19
Ardenza2	0.33	Governatore2	0.11
Ardenza3	0.28	Limoncino	0.79
Ardenza4	2.34	Malpasso1	0.33
Ardenza5	9.03	Malpasso2	0.10
Banditella	0.82	Malpasso3	0.03
Boccale	0.10	Maroccone	2.14
Calafuria1	0.33	Molino1	1.16
Calafuria2	0.47	Molino2	2.71
Calignaia	1.63	Pacchiano	0.20
Casine-Prugnochiccia	1.57	Pianacce	0.64
Chioma 1	7.94	Picchianti 2	0.92
Chioma 2	5.03	Picchianti1	1.01
Cigna1	0.45	Puzzolente	6.53
Cigna2	1.80	QU2-1	0.09
Cigna3	1.29	QU2-2	0.04
Cignolo	3.86	Quarata	5.60
Felciaio1	0.88	Querciaio	0.35
Felciaio2	0.59	Quercianella1	1.60
Felciaio3	0.87	Quercianella2	0.39
Fichi	0.23	Rio Maggiore1.1	1.08
Forconi	0.19	Rio Maggiore1.2	1.02
Forconi-Albatro	1.22	Rio Maggiore1.3	0.49
Fosso del Convento 1	0.05	Rio Maggiore2	0.30
Fosso del Convento 2	0.08	Rio Maggiore3	3.84
Fosso del Convento 3	0.03	Rio Maggiore3-1	1.44
Fosso Madonnina 1	0.23	Rio Vallelunga	2.43
Fosso Madonnina2	0.23	Rogiolo	0.47
Fosso Madonnina3	0.04	Romito	0.21
Fosso Stazione 1	0.15	Sanguigna	0.13
Fosso Stazione 2	0.05	Stringaio	0.40
Fosso Vallelunga	4.26	Ugione 1	8.89
Giorgia1	0.75	Ugione 2	1.43
Giorgia2	0.57	Vallecorsa	0.79

17.2 IDROLOGIA E PLUVIOMETRIA

La base idrologica è stata assunta quella indicata dal Prof. Castelli nel report idrologico a seguito dell'evento. La metodologia adottata dal prof. Castelli prevede l'applicazione di un modello a parametri

distribuiti denominato Mobidic, Il modello è stato applicato su quasi tutte le aste del reticolo ex LR 79/2012 per diversi tempi di ritorno.

Nel mese di aprile 2014 sono state definitivamente presentate le nuove curve di possibilità climatica regionale, derivate da un accordo di collaborazione tra Regione Toscana e Università di Firenze di cui alla DGRT 1133/2012, al fine di procedere ad un'implementazione e un aggiornamento del quadro conoscitivo idrologico del territorio toscano. Le nuove curve fanno riferimento un aggiornamento dell'analisi di frequenza regionale delle precipitazioni estreme fino all'anno 2012 compreso. La metodologia prevede l'individuazione dei parametri di una legge di tipo nomomia $h = at^n$ su celle di 1x1km sull'intero territorio regionale e per diversi tempi di ritorno. Per ogni topoieta analizzato si sono individuati i parametri a ed n medi per l'area di interesse e per vari tempi di ritorno. I parametri riassuntivi per i vari topoieta analizzati sono indicati nella tabella sottostante:

STAZIONE	Tr200		Tr100		Tr30	
	a	n	a	n	a	n
Livorno	109.54	0.3166	97.982	0.2990	78.7520	0.2532
Quercianella	101.42	0.3087	90.72	0.2911	72.9150	0.2452
Valle Benedetta	99.0600	0.300	88.6090	0.2824	85.0101	0.2519
Collesalveti	84.0747	0.2843	75.9430	0.2768	60.8980	0.2587
Stagno	93.81	0.2823	84.060	0.27478	67.2741	0.2566

Tutte le curve sono definite per durate >1h. A favore di sicurezza si possono usare gli stessi parametri a ed n per durate inferiori ad 1h. Per quelle di durata inferiore si sono adottati i parametri "n" determinati con il procedimento al paragrafo precedente mantenuti costanti per i vari tempi di ritorno.

17.3 AGGIORNAMENTO DELLE CURVE POST EVENTO SETTEMBRE 2017

Nel report idrologico del Prof. Castelli redatto a seguito dell'evento è stato eseguito un aggiornamento delle curve di possibilità climatica in modo da tenere conto anche della pluviometria accorsa la notte tra il 9 ed il 10 settembre, riportato nella tabella sottostante.

STAZIONE	Tr200		Tr100		Tr30	
	a	n	a	n	a	n
Livorno	109.95	0.3172	97.2217	0.3085	80.4877	0.2866
Quercianella	118.0135	0.2802	105.9390	0.2729	84.8526	0.2444
Valle Benedetta	118.41	0.2776	106.2524	0.2703	85.0101	0.2519
Collesalveti	92.0154	0.2907	82.8332	0.2864	66.7230	0.2758
Stagno	94.7076	0.2823	85.4480	0.2874	69.2714	0.22763

Pertanto ai fini della definizione delle portate si è fatto riferimento alla pluviometria che tiene conto dell'evento con i dati di Tabella sopra.

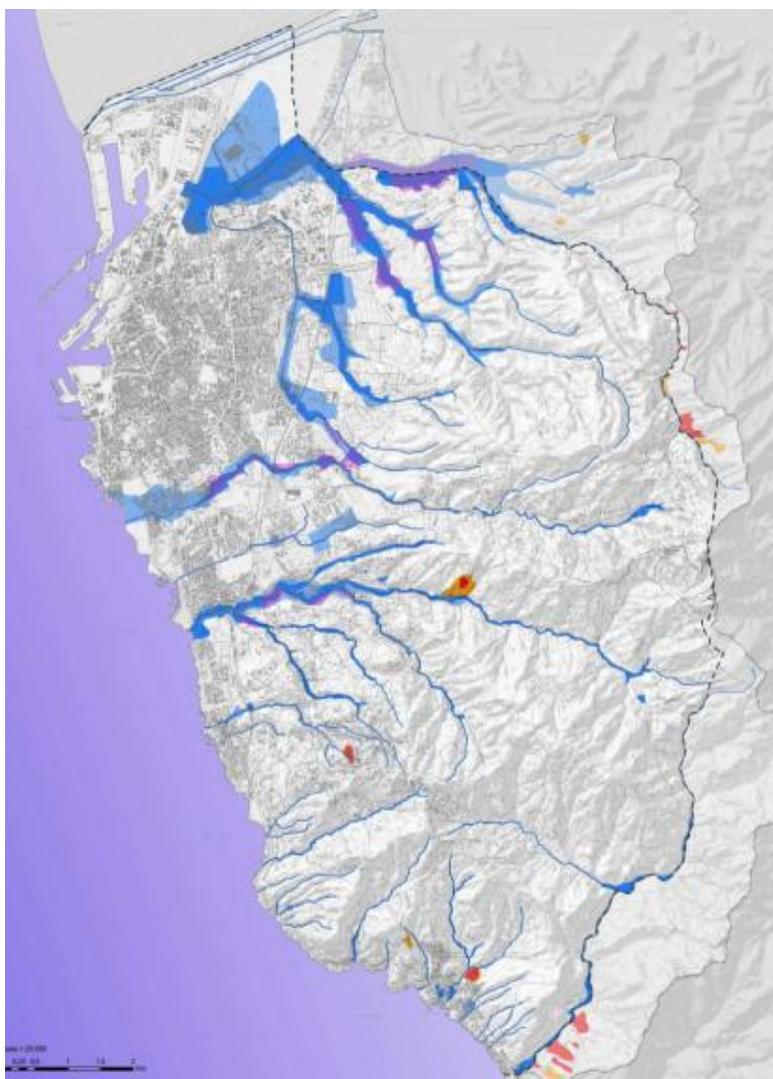
Per la distribuzione areale delle precipitazioni è stato impiegato il metodo dei Poligoni di Thiessen. Si trascura il fattore di distribuzione areale delle piogge che date l'estensione dei bacini sarebbe stato di poco inferiore all'unità.

17.4 PROBLEMATICHE RICONTRATE E APPROFONDIMENTI ESEGUITI

Gli studi messi a disposizione dall'Amministrazione sono sviluppati in maniera coerente con le esigenze di normativa dell'epoca: quelli antecedenti agli anni 2000 presentano valutazioni di capacità idraulica del corso d'acqua relative a situazioni limitate e puntuali, con proposte di risoluzione ed analisi riferibili a modelli monodimensionali ed in moto permanente. In particolare a questa tipologia sono riconducibili gli studi di sistemazione del Rio Querciaio-Felciaio 1996 per la sistemazione idraulica dell'area della Scopaia ed il progetto di sistemazione del Rio Cignolo del Prof. Megale. A partire dagli anni 2000, anche sulla messa a regime delle Autorità di Bacino impegnate nella

predisposizione dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI) ed alla più chiara definizione delle modalità di esecuzione degli studi da parte dei Enti interessati, si assiste ad una migliore individuazione degli effetti sul territorio riguardanti le tematiche idro-morfologiche e le problematiche reali che vi insistono. Gli studi prodotti in questa "seconda fase" pertanto considerano anche l'andamento delle esondazioni sul terreno, definite attraverso l'impiego di modellazioni bidimensionali. Tali modellazioni sono riferite in gran parte ad eventi con tempi di ritorno di 200 anni in quanto finalizzate ad una completa messa in sicurezza dei corsi d'acqua.

Nel 2005 con il D.C.R.T. n. 13 del 2005 viene approvato il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino Toscana Costa che per competenza costituisce il riferimento delle condizioni di pericolosità idrauliche del Comune. Nelle cartografie di PAI oltre la perimetrazione di ambiti caratterizzati da diverse classi di pericolosità con conseguenti limitazioni agli interventi sul territorio, sono indicate anche le Aree Strategiche per la Sicurezza Idraulica (ASIP) che rappresentano aree destinate ad interventi di messa in sicurezza (in prevalenza casse di laminazione delle piene) e pertanto sottoposte a vincoli edificatori (Figura sotto).



Nel frattempo in virtù anche delle esigenze di messa in sicurezza idraulica delle aree abitate esistenti e di nuove urbanizzazioni (UTOE Nuovo Centro e Borgo di Magrignano) sono stati resi esecutivi i progetti di sistemazione del Rio Maggiore (con la previsione di 4 casse di espansione) e del Rio Cigna

(con la previsione di 1 cassa di espansione ed una zona di espansione del deflusso a valle del ponte di Via dell'Uliveta). Tali progetti hanno visto la realizzazione ed il completamento dei soli interventi pertinenti al Rio Maggiore mentre risultano iniziati, ma non ancora completati, quelli previsti lungo il Rio Cigna.

Altri approfondimenti sono stati effettuati per specifici ambiti, in particolare per il Rio Ardenza ed il Rio Cigna in prossimità della Stazione FF.SS. Si tratta comunque di studi parziali riferiti alle sole esondazioni con tempo di ritorno duecentennale e che non definiscono carte per eventi inferiori. Si fa notare inoltre che si tratta di studi non validati dall'Autorità di Bacino (A.d.B.) per carenze e mancanze sia analitiche che procedurali.

Per quanto riguarda il territorio a nord, le problematiche sono relative al Torrente Ugione ed ai suoi affluenti (Fosso Vallelunga e Rio della Puzzolente). In questo caso l'attenuazione del rischio e la messa in sicurezza sono previste attraverso la realizzazione di un sistema di casse di espansione in aree per lo più coincidenti con le ASIP del PAI. I relativi progetti, di competenza prima della Provincia di Livorno ed ora passati alla Regione Toscana, sono a diversi stati di definizione, e di questi quelli appaltabili sono fermi per problemi legati a finanziamenti ed espropri.

Allo stato attuale il quadro che emerge è pertanto così riassumibile:

- il Rio Maggiore è stato oggetto di interventi di messa in sicurezza (Figura sotto) dal ponte di Via dell'Uliveta fino al tratto tombato a valle di Via Cattaneo;



- la messa in sicurezza del Rio Cigna nell'area di Borgo di Magrignano è in fase di completamento e gli effetti sulla riduzione del rischio idraulico devono essere rivalutati in maniera specifica (Figura sotto)



- gli studi idraulici del territorio urbano riguardano solo il Rio Ardenza, il Rio Cigna ed il Botro Prugnoliccia e sono riferiti solo ad eventi con $Tr=200$ anni;
- gli altri corsi d'acqua presentano solo valutazioni sulle capacità di deflusso e su problematiche locali e non consentono di definire l'estensione delle esondazioni.

Si è pertanto proceduto all'esecuzione di nuove analisi delle esondazioni, in particolare sulle aree di più rilevanti dal punto di vista urbanistico e ritenute più critiche. In particolare (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 comprensivi dei bacini di Montenero (Fosso dei Fichi, del Governatore e botro Stringaio)
- Bacini di Qurcianella
- T. Chioma

L'assetto morfologico del territorio è stato determinato con il dato Lidar con cui sono state definite anche le sezioni per le modellazioni idrauliche (modellazioni 1D/2D). Dove disponibili sezioni topografiche da rilievi sono stati adottati questi ultimi. IN particolare per il Rio Ardenza si è fatto riferimento ai rilievi eseguiti subito dopo l'evento alluvionale. Per quanto riguarda i manufatti di attraversamento, dove non disponibili e sulla base delle indicazioni di criticità del PAI si è ipotizzato un restringimento localizzato con riduzione di sezione pari al 15 % di quella immediatamente a monte (ottenuta da dato lidar).

Il Rio Maggiore è in corso di studio da parte della Regione Toscana e pertanto, in attesa dei risultati definitivi, che dovranno verificare il corretto funzionamento del sistema delle casse e l'eventuale pericolosità residua si fa riferimento alla pericolosità del vigente PGRA.

APPROFONDIMENTI - L'assetto morfologico del territorio è stato determinato con il dato Lidar con cui sono state definite anche le sezioni per le modellazioni idrauliche (modellazioni 1D/2D). Dove disponibili sezioni topografiche da rilievi sono stati adottati questi ultimi. IN particolare per il Rio Ardenza si è fatto riferimento ai rilievi eseguiti subito dopo l'evento alluvionale. Per quanto riguarda i manufatti di attraversamento, dove non disponibili e sulla base delle indicazioni di criticità del PAI si è ipotizzato un restringimento localizzato con riduzione di sezione pari al 15 % di quella immediatamente a monte (ottenuta da dato lidar).

Il Rio Maggiore è in corso di studio da parte della Regione Toscana e pertanto, in attesa dei risultati definitivi, che dovranno verificare il corretto funzionamento del sistema delle casse e l'eventuale pericolosità residua si fa riferimento alla pericolosità del vigente PGRA

Le modellazioni sono state eseguite mediante il software TufLOW® tra i prodotti leader per le analisi idrauliche. Il modello simula propagazioni in campo puramente bidimensionale o in un dominio 1D/2D, in cui i canali sono analizzati nel dominio 1D e nell'evenienza in cui il livello liquido raggiunga la sommità si innesca la propagazione bidimensionale sul territorio circostante. L'interfaccia 1D-2D è di tipo bidirezionale, cioè consente la propagazione da e verso il canale, ovviamente in base alle condizioni topografiche. La costruzione del modello digitale del terreno è realizzata mediante l'utilizzo

di punti georeferenziati di coordinate x,y,z frutto dell'acquisizione Lidar. Nel modello sono inseriti gli edifici e la rete delle infrastrutture (strade e ferrovia). La definizione dei coefficienti di scabrezza è stata fatta distinguendo il moto nei canali e quello nella piana alluvionale. Nel primo caso si sono considerati valori compresi tra $n=0.03$ e $n=0.045$ a seconda del grado di manutenzione. Nel secondo si è fatto riferimenti a valori di letteratura associati ai codici di uso del suolo del Land Corine Cover (vedere C.J. van Der Sande et al, A segmentation and classification approach of IKONOS-2 imagery for land cover mapping to assist flood risk and flood damage assessment", International Journal of applied earth observation and geoinformation, 2003, Lopes et al Flooding assessment under sea level rise scenarios: Ria de Aveiro case, Journal of coastal research, 2013), riassunti in tabella sottostante:

USO DEL SUOLO	Codice CORINE	Manning n
Tessuto Urbano continuo	111	0.14
Tessuto Urbano discontinuo	112	0.09
Aree industriali o commerciali	121	0.14
Reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	122	0.07
Aree portuali	123	0.07
Aeroporti	124	0.06
Aree estrattive	131	0.12
Discariche	132	0.04
Cantieri	133	0.06
Aree verdi urbane	141	0.02
Aree ricreative e sportive	142	0.04
Seminativi in aree non irrigue	211	0.08
Seminativi in aree irrigue	212	0.08
Risaie	213	0.04
Vigneti	221	0.12
Frutteti e frutti minori	222	0.12
Oliveti	223	0.12
Prati Stabili	231	0.1
Colture temporanee associate a colture permanenti	241	0.08
Sistemi colturali e particellari complessi	242	0.10
Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	243	0.09
Boschi di latifoglie	311	0.1
Boschi di conifere	312	0.1
Boschi misti	313	0.13
Aree a pascolo naturale e praterie	321	0.11
Brughiere e cespuglieti	322	0.06
Aree a vegetazione sclerofilla	323	0.1
Aree a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	324	0.1
Spiagge, dune e sabbie	331	0.07
Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti	332	0.07
Aree con vegetazione rada	333	0.09
Aree percorse da incendi	334	0.07
Paludi interne	411	0.10
Saline	422	0.04
Corsi d'acqua, canali e idrovie	511	0.03
Bacini d'acqua	521	0.03

Sopra: i coefficienti di scabrezza di Manning usati nell'analisi bidimensionale - modello 2D

Le analisi sono state effettuate per scenari di portata con $Tr=30$ anni, $Tr=200$ anni e per la l'evento del settembre 2017 ricostruito dal Prof. Castelli che viene considerato alla stregua della portata con $Tr=500$ anni

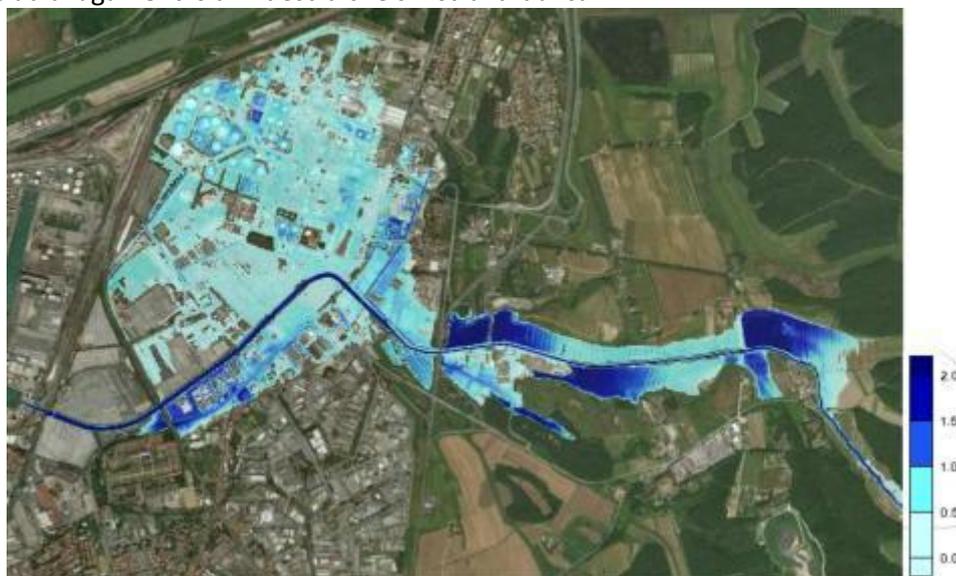
Si riportano qui di seguito una sintesi essenziale degli scenari di esondazione per i corsi d'acqua studiati, omettendo le elaborazioni grafiche per le quali si rimanda alla relazione Idrologico-idraulica redatta dallo Studio Prima.

Torrente Ugione

I dati a disposizione hanno consentito di effettuare alcuni approfondimenti mirati a valutare l'estensione delle esondazioni. Relativamente al T. Ugione cui sono connesse gran parte delle problematiche dell'area industriale a Nord. L'analisi ha visto sia una valutazione in moto permanente di tipo monodimensionale sia in moto vario bidimensionale.

La prima è stata eseguita utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS che è in grado di fornire i profili liquidi dei corsi d'acqua, oggetto della simulazione, basandosi su di un'analisi a moto permanente. La procedura di calcolo si basa sulla soluzione dell'equazione dell'energia con le perdite di carico valutate mediante l'equazione di Manning (assunto per lo studio in esame pari a $n=0.03$, corrispondente a canali in terra in non buone condizioni di manutenzione). La seconda è stata eseguita con il software TuFlow®. La base topografica è risultata quella Lidar fornita dall'Amministrazione Comunale.

L'andamento delle esondazioni è riportato nelle immagini che seguono. Si nota come le aree a valle della via Aiaccia (nella quale sono previste le casse di espansioni) funzionino già nello stato attuale come aree di laminazione. Rimangono problemi residui in prossimità del ponte della via Aurelia che danno origine ad allagamenti sia in destra che sinistra idraulica.



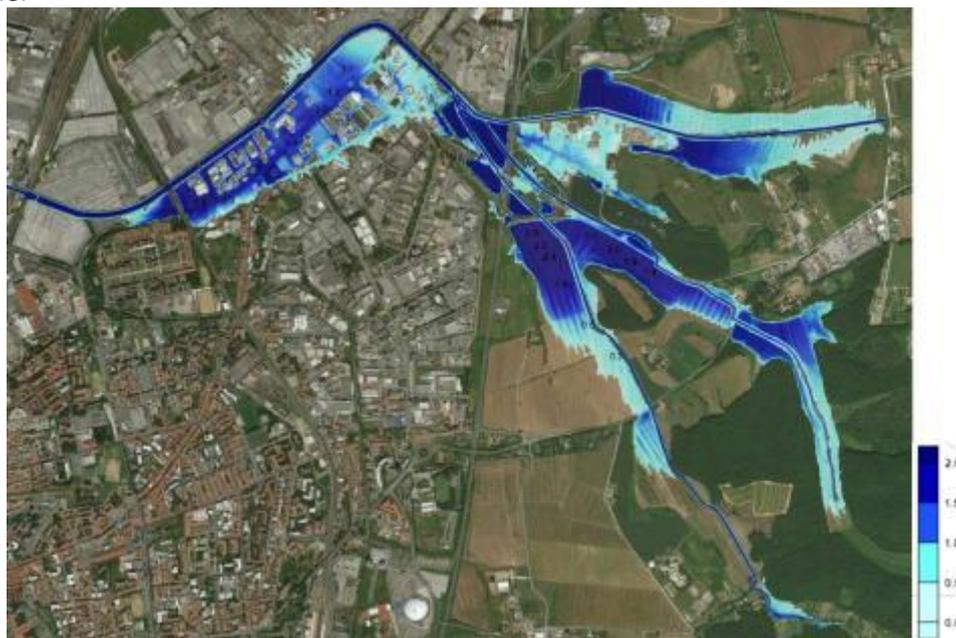
aree esondate per $Tr = 200$ anni

Le analisi hanno evidenziato analoghe criticità per $Tr=30$ anni principalmente nel tratto a valle della confluenza con il fosso della Puzzolente. Più estese le aree allagate per l'evento (considerata ai fini della pericolosità come $Tr=500$ anni) sebbene non si aggiungano altre problematiche

Fosso della Puzzolente e Fosso Vallelunga

In questo caso si è applicata la modellazione su una griglia di 5.9x4.8km che riprende lo schema impiegato per l'analisi del T. Ugione indicata in precedenza. In questo caso il contributo è mirato a valutare le aree esondabili del F. della Puzzolente e del F. della Vallelunga considerando le mutue interazioni sui livelli alla confluenza. Lo schema massimizza le esondazioni per questi due corsi d'acqua mentre quelle del T. Ugione saranno ridotte rispetto allo schema precedente in quanto minore il contributo proveniente dal Fosso della Puzzolente.

I risultati hanno evidenziato criticità diffuse per i diversi tempi di ritorno analizzati con tiranti idrici nella piana alluvionale che superano i 2 m di altezza. In ogni caso si tratta di allagamenti abbastanza contenuti dall'andamento topografico del terreno. Sotto si evidenzia la situazione per l'esondazione duecentennale:



aree esondate per $Tr = 200$ anni

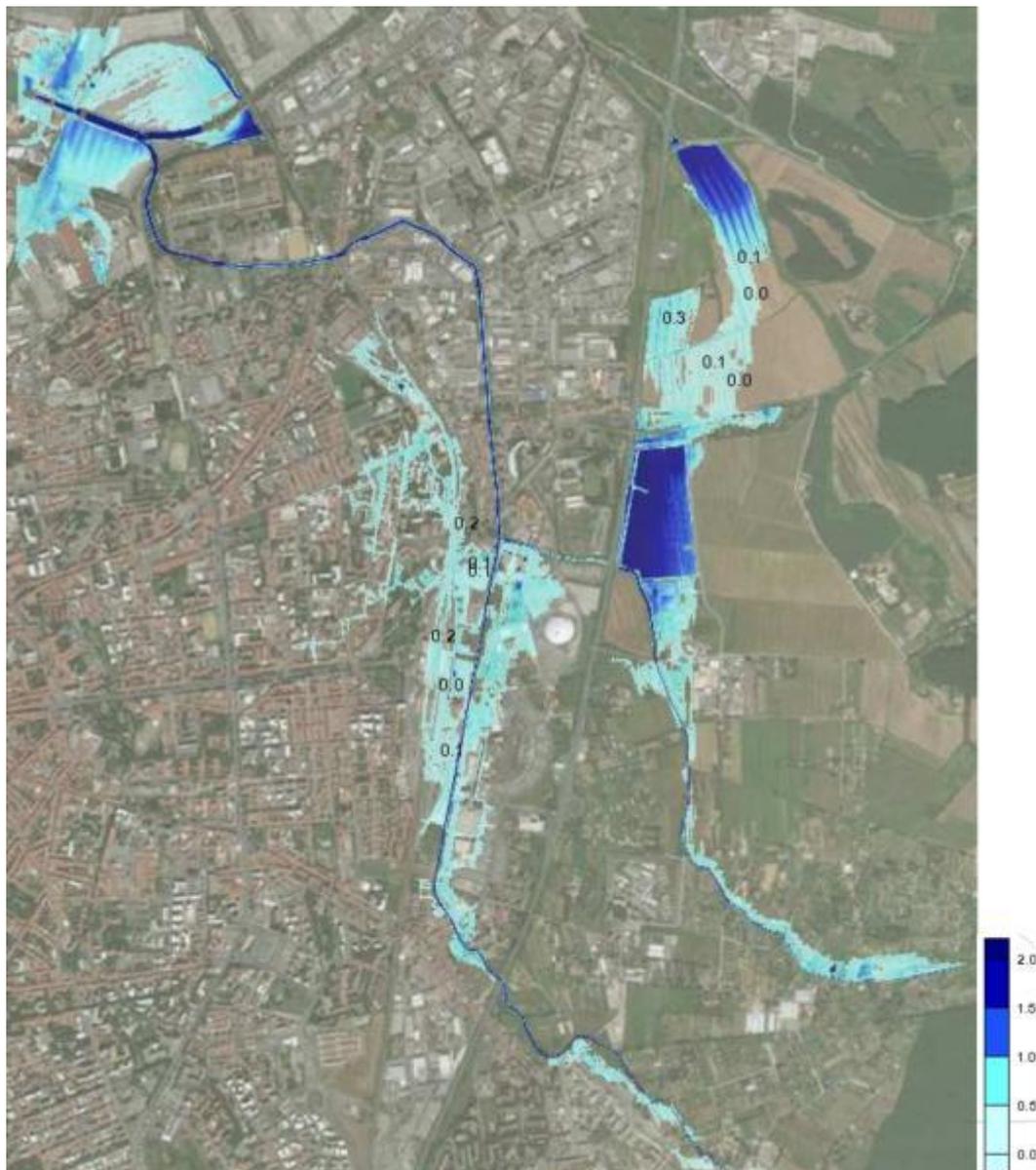
Fosso della Cigna e Cignolo

L'analisi del fosso della Cigna e del Cignolo è stata eseguita con modellazioni 1D/2D. Nel tratto del Cigna dall'inizio del tratto modellato fino alla confluenza del T. Cignolo (in prossimità di Porta a Terra) sono state impiegate le sezioni derivate dallo studio Pagliara. Nel restante tratto si sono utilizzate le sezioni Lidar. I manufatti non rilevati sono stati considerati come restringimenti di sezione del 15%. La griglia di calcolo ha una dimensione di 4.15x5 km con celle di dimensione 5x5m.

L'andamento delle esondazioni evidenzia diverse criticità. Rimangono minime insufficienze al ponte di via dell'Uliveta, mentre non sussistono problemi nel tratto di fronte a Borgo di Magrignano. Altre problematiche invece permangono nel tratto di porta a Terra in particolare lungo il ponte di via del Condotti Vecchi.

Lungo il torrente Cignolo invece si hanno insufficienze in tutto il tratto iniziale, dove la sezione risulta poco definita ed il deflusso richiede l'occupazione delle aree limitrofe. Alcuni attraversamenti creano poi l'allagamento delle esondazioni fino ad occupare tutta la piana dei Condotti Vecchi. Nonostante le perdite a monte la cassa di espansione viene interessata da volumi di laminazione che per gli eventi estremi però superano la capacità portando il deflusso ad espandersi verso nord.

Nella figura che segue la situazione con i tiranti idrici massimi per $tr = 200$ anni.



Tiranti idrici massimi per tr = 200 anni

Fosso Felciaio e Querciaio

I due fossi interessano prevalentemente l'area della Scopaia. La griglia di calcolo presenta dimensioni di 2.1x1.2 km con dimensioni delle celle 2x2 m. La base topografica è quella lidar in attesa che siano disponibili le sezioni commissionate dalla Regione Toscana.

Aspetti idraulici Fosso Felciaio

Il rio Felciaio pur avendo un bacino imbrifero abbastanza limitato presenta importanti criticità, attraversa aree urbane densamente abitate con una sezione scatolare che lo rende funzionante come una fognatura urbana. Il fosso in questione ha subito importanti trasformazioni nel tempo. Durante la realizzazione del quartiere de "La Rosa" il corso d'acqua fu progressivamente tombato e fatto passare in scatolare.

Nella parte a monte della ferrovia il T. Felciaio ha mantenuto caratteri naturali nonostante la realizzazione di due nuovi quartieri (La Leccia e La Scopaia). Le problematiche idrauliche, relative in

particolare all'incremento di portata nel corso d'acqua per l'aumento delle superfici impermeabili, sono state risolte con la realizzazione di due casse di laminazione.

L'analisi delle esondazioni è stato eseguito nello stato attuale con il software mono-bidimensionale TuFlow (licenza n. 803 di Aquaveo – Utah-USA). La base topografica è quella ricavabile dal dato Lidar e dal rilievo eseguito dallo studio Topografico del Geom. Bennati (Figura 62) su incarico del Commissario per l'Emergenza. Il rilievo risale a marzo aprile 2018.

I rilievi di dettaglio hanno consentito di definire la geometria del tombamento tra la Ferrovia e lo sbocco a mare solo nel tratto iniziale ed in quello terminale. Nella sezione iniziale le dimensioni sono di scatolare a sezione rettangolare di dimensione 2.5x1.9m (Figura 63), mentre nel tratto terminale presenta una sezione ad arco con larghezza 2.8m ed altezza in chiave 2.4m circa (Figura 64). Da notare che poco a monte dello sbocco sono presenti due traverse di circa 0.6m di altezza necessarie per il funzionamento della stazione di sollevamento delle acque di magra che nel periodo estivo, ai fini della balneazione del litorale non devono raggiungere lo sbocco a mare.

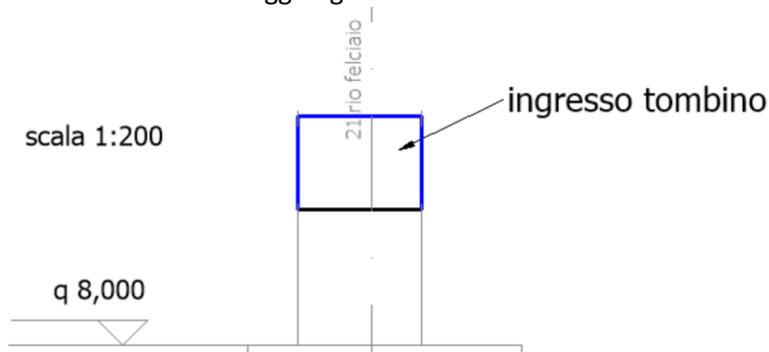


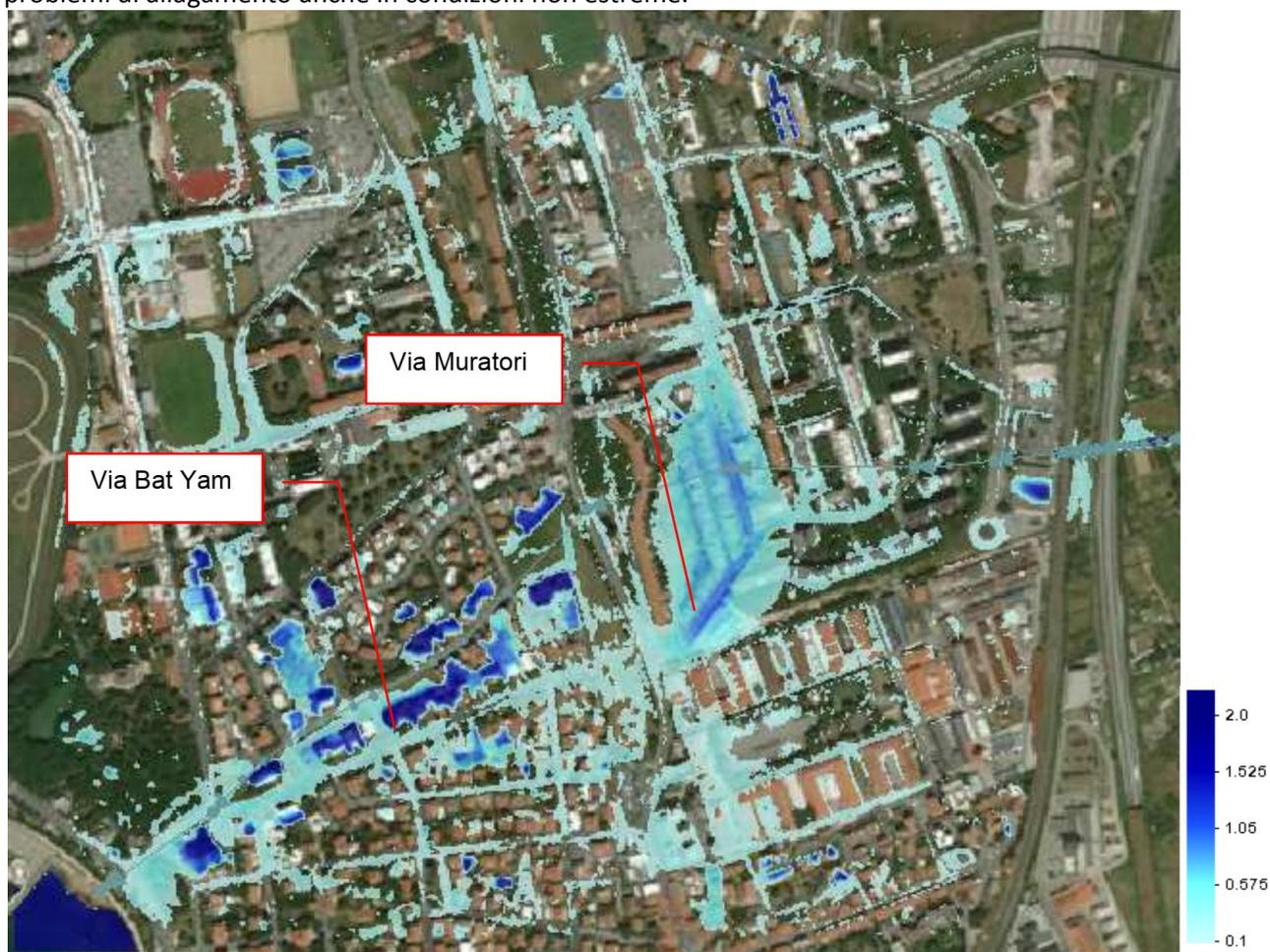
Figura 63 Inizio Tratto tombato

Lo stato attuale evidenzia problematiche da allagamento nel tratto dove è presente il tombamento. In prossimità del quartiere della "Scopaia" non sia hanno rilevanti problemi. Le esondazioni sono limitate e pochi tratti e rimangono abbastanza circoscritte. Con la portata $T_r=200$ anni si osservano modesti allagamenti prima del tombamento. Le due casse di espansione presenti, coerentemente con i valori di portata assunti come input, forniscono un contributo modesto. Gli sfioratori sono posizionati a quote che sono di poco superate dai tiranti idrici (fig. sotto):



Al fine di valutare la pericolosità nell'area urbana è stata eseguita una modellazione considerando il contributo di pioggia dell'intera area. Il modello simula infatti anche il run-off su superfici estese fornendo risultati di drenaggio urbano e tendenza all'accumulo nelle zone più depresse. La simulazione è stata eseguita per una pioggia di 3h ad intensità costante secondo le curve di possibilità climatica aggiornata dal prof. Castelli (Figura 73) che ha una quantità di pioggia complessiva di 143 mm

I risultati, facendo riferimento a tiranti idrici >10cm (si considera che i primi 10 cm siano assorbiti dal terreno e che entrino negli invasi della rete, senza pertanto contribuire alle aree allagate per insufficiente drenaggio) forniscono lo scenario di esondazioni della figura sotto. Si osserva come la morfologia del territorio penalizzi gli assi di via Bat Yam e via Muratori, che presentano frequenti problemi di allagamento anche in condizioni non estreme.



I risultati delle analisi condotte sui fossi Felciaio e Querciaio evidenziano il corretto funzionamento delle casse di laminazione e delle risagomature d'alveo previste negli interventi eseguiti negli anni 2000. Si verificano limitate uscite nei tratti principali comunque circoscritte e facilmente risolvibili.

Rimangono problemi solo nella parte terminale prima del tombamento della ferrovia che crea un rigurgito significativo. (vedi figura seguente)



Tiranti idrici per tr = 200 anni

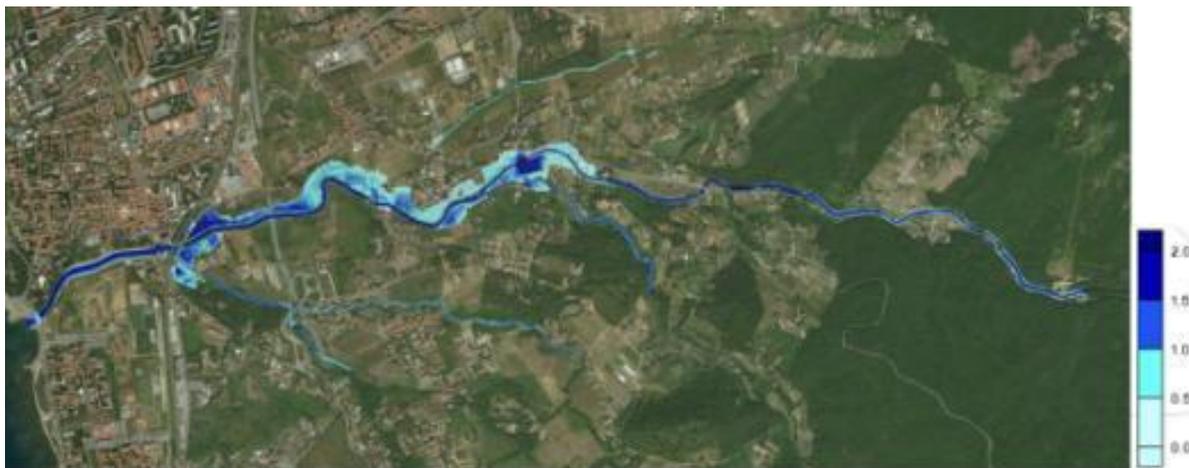
Rio Ardenza

Il Rio Ardenza è stato studiato con una modellazione 1D/2D. Le sezioni topografiche sono state fornite dalla Regione Toscana nell'ambito degli interventi di sistemazione post alluvione, mentre come dato di base è stato impiegato il Lidar. L'estensione della griglia di calcolo è di circa 5.5x2.6 km. Per il moto nei canali è stato impiegato un coefficiente di scabrezza $n=0.035$

I risultati evidenziano diffuse criticità, aggravate dalla presenza dei manufatti di attraversamento, specialmente nel tratto arginato dove si verificano diffusi sormonti. Questo anche a valle del ponte sull'Aurelia primo dello sbocco in Loc. 3 Ponti.



Sopra: tiranti idrici Rio Ardenza per tr = 200 anni



Sopra: tiranti idrici Rio Ardenza per tr = 30 anni

Fosso della Banditella e Bacini di Montenero

La griglia di calcolo ha dimensioni di 3.0x1.6 km con celle 2x2m. Il dominio di calcolo è completamente bidimensionale (2D) nella zona di Montenero ed 1D/2D nella parte valliva (impiegano i rilievi eseguiti nel mese di Marzo da parte della Regione Toscana)

I risultati evidenziano problematiche diffuse ma di modesta entità. Le elevate pendenze rendono i tiranti bassi dell'ordine di pochi centimetri.

Le zone di ristagno maggiori si verificano in piazza delle Carrozze:



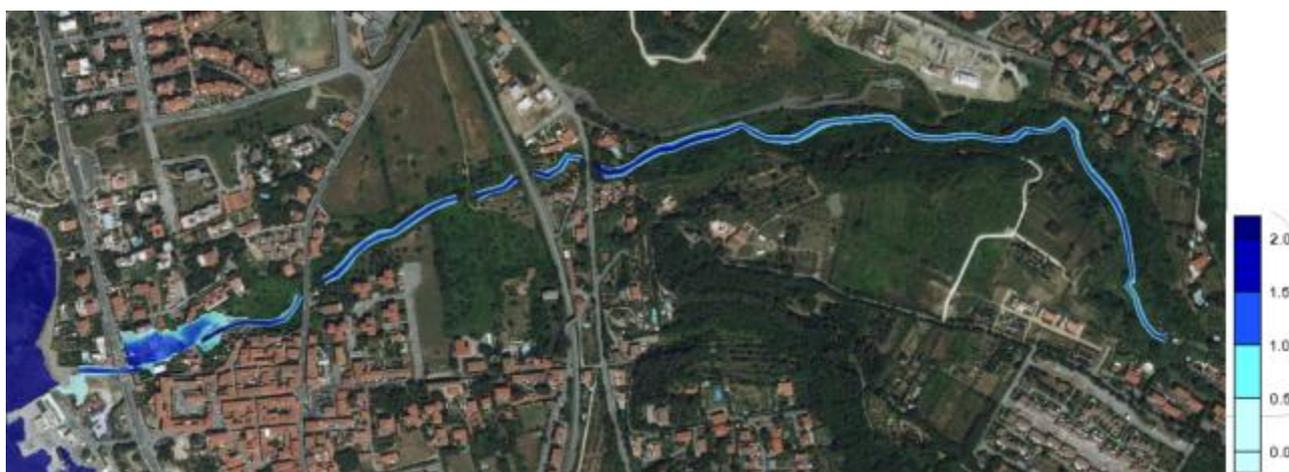
Sopra: esondazioni per tr = 200 anni

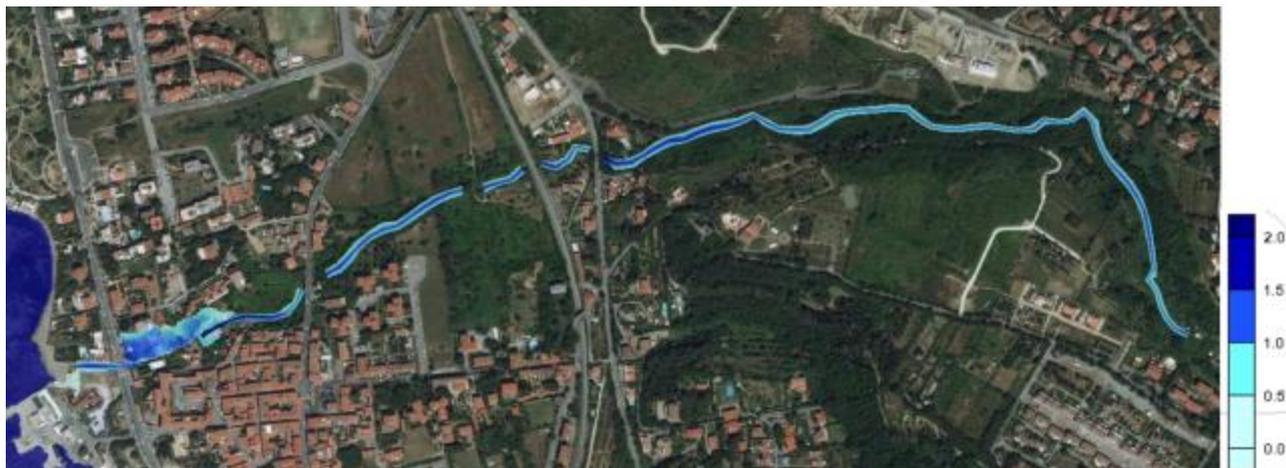
Sotto: esondazioni per $tr = 30$ anni

Per la parte a valle della confluenza con il Botro Stringaio –Botro ai Fichi è stata effettuata una seconda simulazione su griglia di 1.5x1 km con celle di passo 2x2 m, al fine di massimizzare le esondazioni nel tratto terminale.

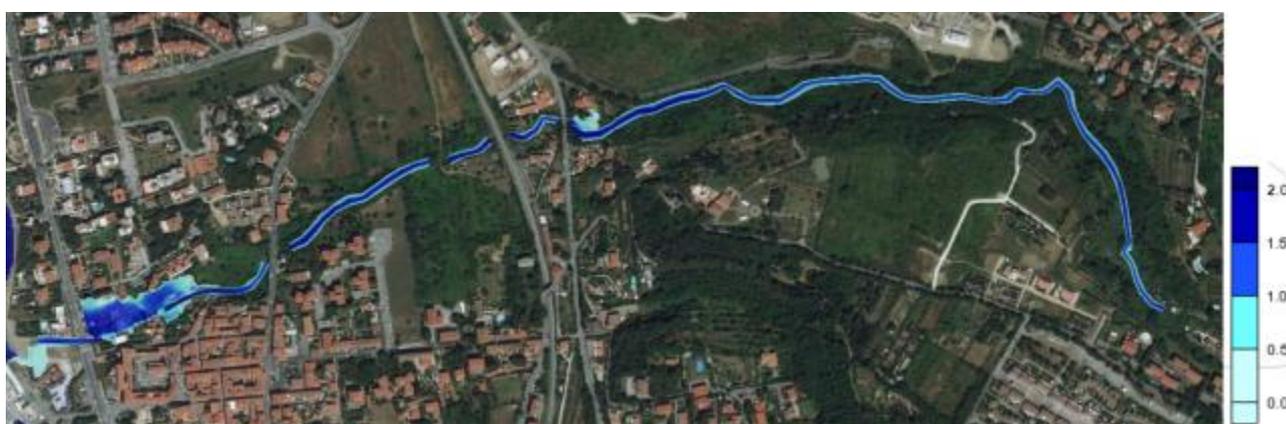
La condizione al contorno di ingresso è infatti costituita dalla portata idrologica senza considerare eventuali sottrazioni a monte.

I risultati sono riportati nelle figure che seguono per $tr = 200$, 30 e 500 anni

**Sopra: tiranti per $tr = 200$ anni**



Sopra: tiranti per $tr = 30$ anni



Sopra: tiranti per $tr = 500$ anni

Preme osservare una difformità tra il fosso del Governatore come reale e come indicato nel reticolo della LR 79/2012. Detto fosso in prossimità della Via del Governatore non prosegue lungo il percorso indicato dalla cartografia, ma viene deviato in un altro collettore che costeggia le proprietà della Villa della Vinca per poi trasformarsi in una fognatura urbana interrata che confluisce nel Botro dello Stringaio in Piazza delle Carrozze



Botro delle Pianacce

Si tratta di un corso d'acqua che attraversa l'abitato di Antignano. Risulta in gran parte tombato con sbocco poco più a sud del porticciolo omonimo (Figura sotto)



La modellazione è stata eseguita su un'area di circa 0.73x0.65 maglia 2x2 m.

Le portate in ingresso sono state ricavate dallo studio idrologico del presente lavoro non essendo stato analizzato dal Prof. Castelli nel suo report post evento alluvione 2018. Il tempo critico del corso d'acqua è stato valutato in circa 0.75 con una portata massima $Q_{200}=18.6\text{mc/s}$

I risultati evidenziano l'insufficienza di entrambi gli attraversamenti per le portate in arrivo. Le fuoriuscite tendono a riversarsi diffusamente tra le strade di quartiere (Figura sotto con tiranti per $tr=200$ anni) sebbene stante l'elevata pendenza del territorio i tiranti si mantengono modesti (dell'ordine di 10-20cm)



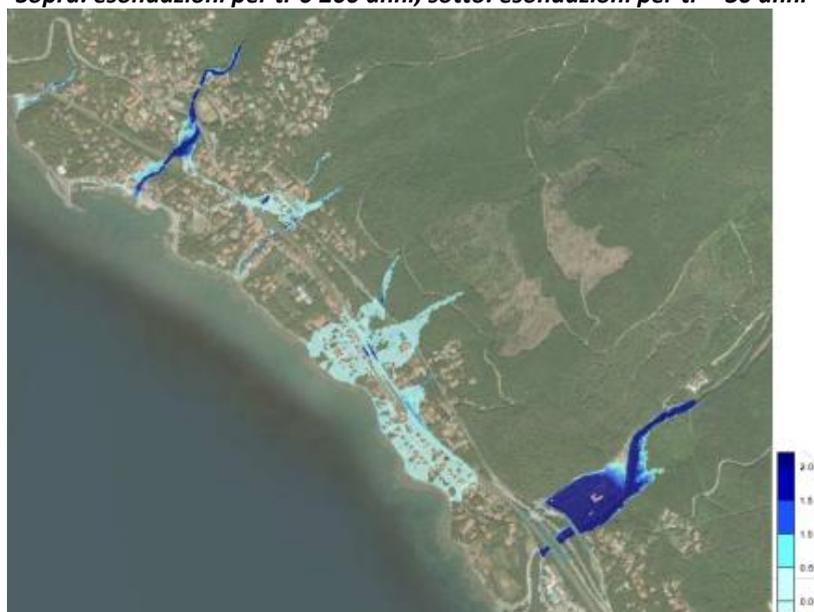
Bacini di Quercianella

Il dominio di calcolo è del tipo 2D su griglia di dimensione 3.5x1km con celle 2x2m (Figura 86). Le condizioni al contorno sono riportate in Figura 87. Per il T. Chioma e Fosso della Quercianella si fa riferimento alle portate dello studio del Prof. Castelli mentre per quelle degli altri corsi d'acqua (non valutati dal prof Casteli) alle portate determinate dallo Studio Prima.

I risultati evidenziano problematiche diffuse. La maggior parte dei corsi d'acqua nell'ambito urbano non sono ben individuati e terminano in genere con scotolari che ne condizionano la capacità di deflusso. La mancanza di un reticolo ben individuato favorisce pertanto situazioni di scorrimento superficiale che in ogni caso presenta tiranti idrici modesti (di pochi centimetri). Più gravose sono le esondazioni relative al T. Chioma ed al Fosso di Quercianella.



Sopra: esondazioni per tr 0 200 anni; sotto: esondazioni per tr = 30 anni



Altri corsi d'acqua

La parte industriale a nord risulta interessata da possibili fenomeni dei corsi d'acqua provenienti dalla piana di Collesavetti (AcqueChiare, Torretta, Scolmatore). Ai fini dell'aggiornamento delle carte di pericolosità si fa riferimento allo 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. I principi di detto studio sono stati applicati alle aste fluviali nei tratti di interesse del Comune di Livorno. Si rimanda al documento sopra individuato per gli approfondimenti.

Scolmatore

Le modellazioni sono state eseguite con le sezioni dello studio idraulico del progetto esecutivo di adeguamento del canale scolmatore. Le portate sono riassunte in Tabella sottostante. Si sono considerate quelle derivate dai dati forniti dall'Autorità di Bacino dell'Arno:

Sezione	Immissione	Tr30 (24h)	Tr30 (36h)	Tr2000 (24h)	Tr200 (26h)
131	Arno/Usciana	1173.31	1137.63	1403.37	1405.96
88	Zannone/Crespina	1173.31	1138.19	1452.80	1454.40
83	Orcina	1175.85	1152.38	1551.62	1526.85
73	Isola	1173.31	1138.19	1464.05	1459.79
49	Tora	1182.74	1209.14	1733.30	1665.20
21	Fossa nuova	1210.62	1241.67	1793.09	1717.41
9	Emissario/Navicelli/Fossa Chiara	1435.98	1470.77	2089.30	1997.02

Le simulazioni sono state condotte anche nell'ipotesi di verificare le capacità limite allo stato attuale. In particolare sono state considerate tre portate costanti sull'intero tratto:

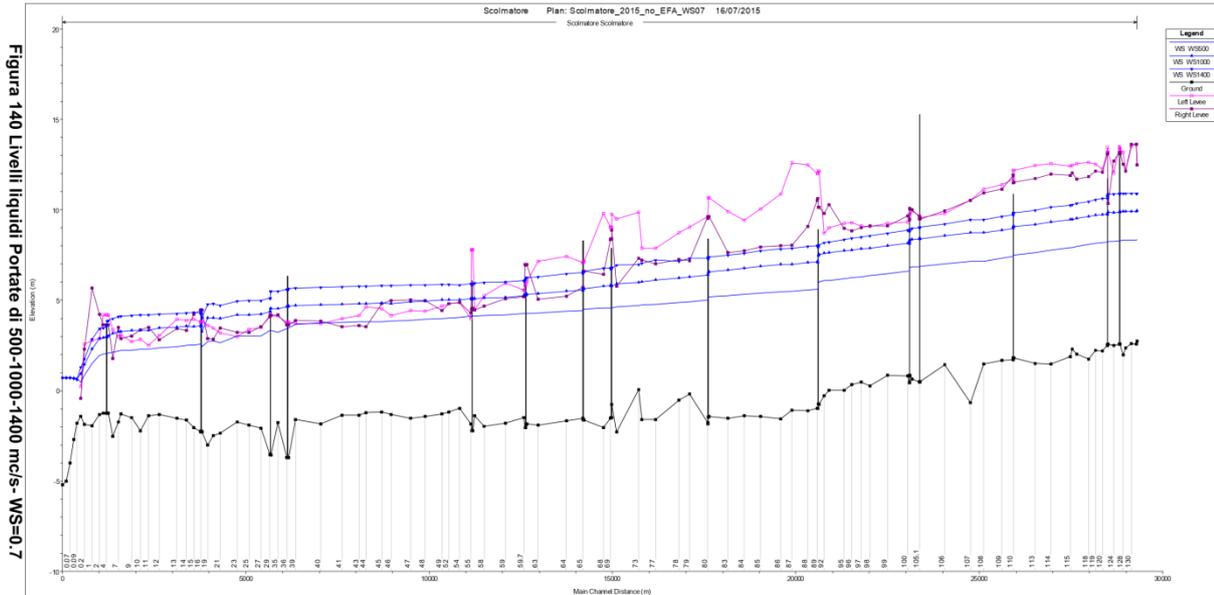
- 500 mc/s pari alla portata ordinaria per le piene del solo bacino dello Scolmatore
- 1000 mc/s pari alla portata corrispondente al manifestarsi di criticità
- 1400 mc/s pari alla portata di progetto

Ipotizzando un coefficiente di scabrezza pari a 0.025 si mota come la portata di 1000 mc/s rappresenti effettivamente una condizioni limite, oltre la quale si hanno fenomeni di esondazione (Figura sotto). E' una situazione inoltre critica per i vari affluenti, che vengono rigurgitati fino alle quote arginali, specialmente nel tratto terminale (Emissario Bientina, Fossa Chiara, Antifosso Acquechiare,...).

Le

principali criticità si hanno nel tratto antistante l'Interporto sia in destra che sinistra idraulica. Il caso Tr=500 anni rappresenta una condizione di deflusso in sicurezza. Solo in alcuni punti (sezioni 40-41) potrebbero verificarsi piccoli sormonti.

INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE A SUPPORTO DEL "PIANO STRUTTURALE 2" DI LIVORNO
REVISIONE 1

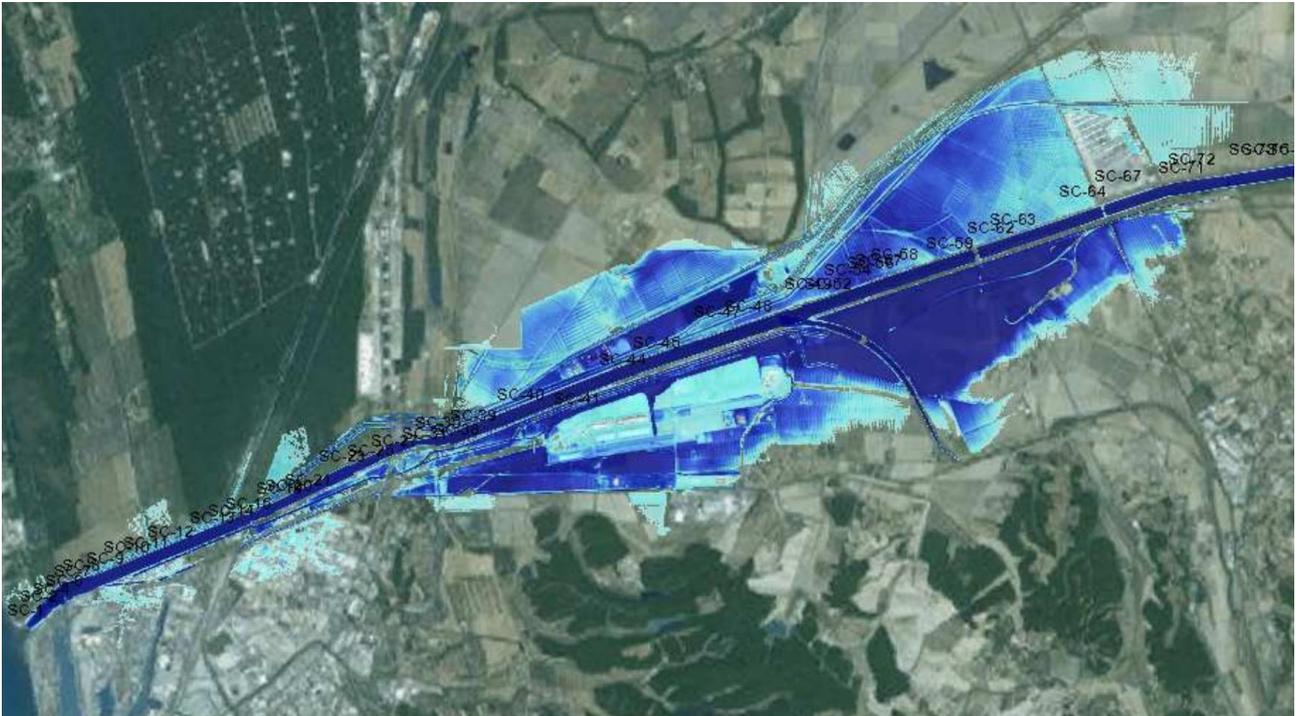


Il modello mono-bidimensionale è stato applicato su una griglia di dimensioni 17.5x8km celle 10x10m. La base topografica ad eccezione di poche zone non rientranti nel territorio comunale è costituita da dal LIDAR fornito diposnibile sul sito della Regione Toscana. La zona dell'Interporto, oggetto di recenti modifiche morfologiche è stata integrata con dati di rilievi specifici che individuano la quota terreno a circa +1.85 m sul l.m.m (Figura 141). Le simulazioni sono state fatte per eventi con $Tr=30$ e $Tr=200$ relative a durata di pioggia di 36h (quota allo sbocco di 0.3 m sul l.m.m; coefficiente di scabrezza d'alveo (Manning) 0.025). Questo perché non è stata riscontrata significativa differenza in termini di valore di picco rispetto alla durata di 24h, a fronte di un maggiore contributo in termini di volumi defluiti.

I risultati per $Tr=30$ anni hanno evidenziato che le prime fuoriuscite si verificano dopo circa 25h dall'inizio dell'evento in destra idraulica corrispondenza dell'abitato del Biscottino nel Comune di Collesalveti. A fine simulazione lo scenario è quello della figura seguente:



Invece per $T_r = 200$ anni a Si evidenziano alcune criticità nella zona dell'interporto e dell'abitato di Stagno mentre sono solamente lambiti i centri di Vicarello e Guasticce. Nel comune di Livorno sussistono limitate fuoriuscite nella zona di Via Quagliolini (Figura sotto)



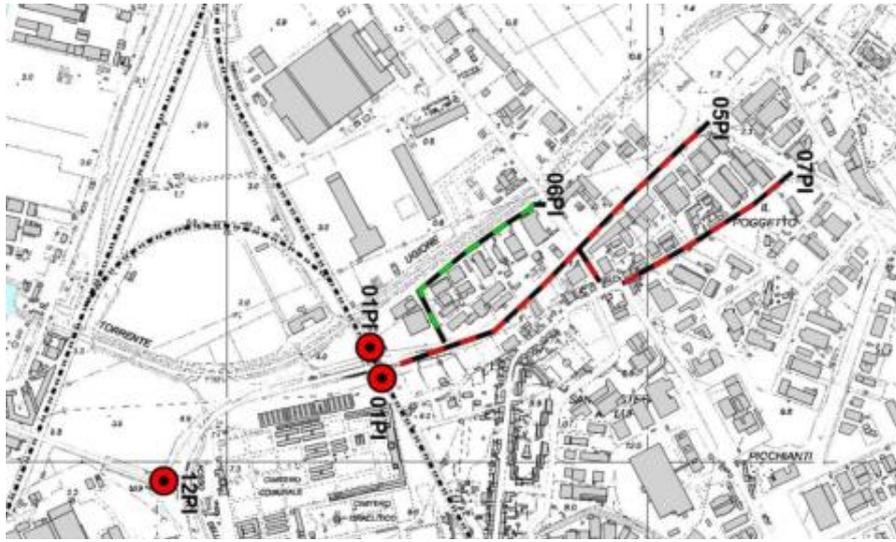
Fosso delle Acque Chiare e Torretta

I due fossi sono affluenti dello Scolmatore e drenano gran parte delle aree del Comune di Collesalveti. Le insufficienze principali si verificano nei tratti di monte di Stagno con una riduzione delle portate compatibili con le capacità dei tratti terminali. Non sussistono pertanto problematiche nel comune di Livorno dovuto a questi corsi d'acqua (Figura sotto)



17.5 PROBLEMATICHE DI DRENAGGIO URBANO

Il piano di protezione civile vigente ha evidenziato alcune situazioni critiche dovute ad insufficiente drenaggio urbano. In particolare sono segnalate la zona artigianale del Picchianti, nel tratto lungo Via Firenze i cui canali sono regolati da una idrovora, che risultando insufficiente per le portate in arrivo determina rigurgiti della rete a monte penalizzata dal sottoattraversamento del T. Ugione.

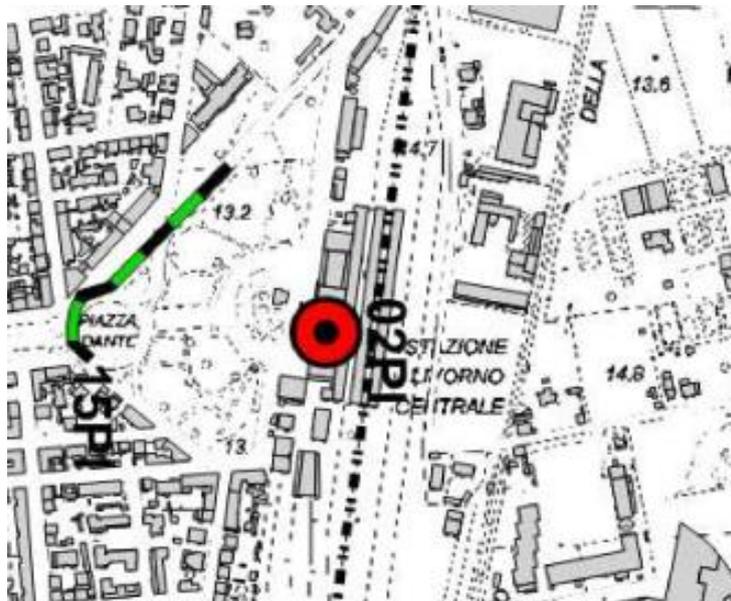


Sopra: alcune situazioni di criticità evidenziate nel Piano della Protezione Civile

Nella figura che segue si mostra il reticolo sotteso all'idrovora del Picchianti:



Altri punti critici sono in zona stazione, Salviano, Coteto e zona cimitero dei Lupi (vedi fig. sotto)



In tutti i casi si tratta di problemi di insufficienza della rete di fognatura che si aggravano in corrispondenza di zone depresse (sottopassi). Essendo fenomeni di rigurgito gli allagamenti sono per lo più in corrispondenza di sottopassi e per ristagno e tranne le problematiche di via Firenze che sono più diffuse, le altre criticità rimangono circoscritte (anche se estremamente pericolose specialmente in corrispondenza dei sottopassi). In via Firenze il bacino sotteso ha una estensione di circa 1 km² (Picchianti 2) con portate che arrivano fino a circa 10 mc/s per Tr=200 anni. I quantitativi di acqua che si invasano per mancato deflusso considerando durate critiche di circa 2h sono pertanto stimabili in circa 36-40000 mc valore che in parte è invasato nella rete (circa il 10-15%) ed in parte sul territorio. Considerando un valore di tirante medio di circa 0.3m le superfici allagabili arrivano pertanto ad occupare 100-120000 mq di territorio. Le aree allagate diventano hanno un andamento analogo a quello ottenuto nello scenario di esondazioni del T. Ugione.

17.6 SCENARIO DI PERICOLOSITA' IDRAULICA E MISURE DI SALVAGUARDIA

Gli approfondimenti effettuati dallo Studio Prima hanno consentito di aggiornare un quadro conoscitivo che già evidenziava problematiche diffuse.

Generalmente gli studi esistenti si basavano su dati pluviometrici aggiornati agli anni '90 (massimo 1997). Si tratta quindi di studi e risultati sicuramente datati e non aggiornati, in relazione soprattutto alla odierna e forte sensibilità ed esigenza di perimetrazione della pericolosità idraulica.

L'aggiornamento del quadro pluviometrico e l'impiego di dati topografici di base di maggior dettaglio (Lidar invece che CTR) hanno consentito di definire un nuovo quadro delle esondazioni, in particolare per tutti quei corsi d'acqua che hanno forte interazione con l'ambiente urbano.

Dalle varie carte delle esondazioni sono state ricavate le pericolosità idrauliche che tengono conto delle richieste della normativa urbanistica (DPGR 53/R) che di quella della direttiva alluvioni. In particolare per il DPGR 53/R:

- **P.I.4: Pericolosità idraulica molto elevata comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $Tr \leq 30$ anni;**

- **P.I.3.: Pericolosità idraulica elevata comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $Tr \leq 200$ anni**
- **P.I.2.: Pericolosità idraulica media comprendente aree inondabili da eventi con tempo di ritorno $Tr \leq 500$ anni**

Per la classificazione in funzione del piano di gestione del rischio alluvioni si è fatto riferimento alla seguente classificazione:

- ✓ **PI3.: a eventi con tempo di ritorno $Tr \leq 30$ anni;**
- ✓ **PI2: a eventi con tempo di ritorno $Tr \leq 200$ anni;**
- ✓ **PI1: a eventi con tempo di ritorno $Tr \leq 500$ anni;**

Le P.I.2/PI1 sono state determinate solo per i corsi d'acqua analizzati. L'applicazione del criterio morfologico indicato infatti non aggiunge ulteriori aree rispetto a quelle individuate dalle pericolosità superiori.

Per le aree urbane si è poi mantenuta la pericolosità PI1 di PGRA vigente.

A seguito dell'evento alluvionale sono state definite le aree allagate che in attesa dell'approvazione dello Studio idraulico redatto da Prima Ingegneria vengono adottate misure di salvaguardia.

In particolare si associa alle aree allagate vere e proprie (ovvero soggette ad esondazioni per insufficienza del reticolo principale) una pericolosità PI3 di PGRA/PI4 di DPGR53/R, mentre alle aree di ristagno (connesse a depressioni del territorio od insufficiente drenaggio un pericolosità PI1 di PGRA/PI2 di DPGR53R.

Le carte di pericolosità derivate dalla modellazione idraulica sono state sottoposte ad un controllo teso a semplificare l'andamento in base alla morfologia del terreno correggendo quelle situazioni "locali" di piccola estensione. Non sono state considerate le problematiche legate al drenaggio delle singole zone di territorio.

La cartografia di Pericolosità Idraulica risultante è stata ottenuta applicando il più alto valore di pericolosità derivato dai diversi scenari investigati che incidono sulla stessa porzione di territorio.

17.7 CONCLUSIONI DI SINTESI DELLO STUDIO IDRAULICO

Lo Studio Idraulico eseguito da Prima Ingegneria ha preventivamente fornito un quadro di sintesi sui principali studi di indagine idraulica esistenti sul territorio, così da evidenziare le conoscenze pregresse dei corsi d'acqua del territorio comunale e la situazione di evidenti criticità dal punto di vista della messa in sicurezza idraulica del territorio stesso.

Allo stato attuale i corsi d'acqua che disponevano di mappe di esondazione ricavate da studi specifici sono solo quattro: Fosso della Cigna, Rio Maggiore, Rio Ardenza, Botro della Pugnoliccia. Per gli altri corsi d'acqua era presente la sola perimetrazione di pericolosità idraulica dell'Autorità di Bacino Toscana Costa.

Generalmente gli studi idrologici si basano su dati pluviometrici aggiornati agli anni '90 (massimo 1997). Si tratta quindi di studi e risultati sicuramente datati e non aggiornati, in relazione soprattutto alla odierna e forte sensibilità ed esigenza di perimetrazione della pericolosità idraulica.

Alcuni studi (per esempio Rio Ardenza e Botro della Prugnolliccia) non sono stati validati dagli uffici competenti che hanno richiesto integrazioni mai pervenute.

Altri ancora, pur oggetto di validazione, hanno consentito la definizione di opere che sono in fase di realizzazione ma non ancora completate.

Il quadro emerso risulta scarsamente compatibile con le esigenze della normativa di riferimento (in particolare DPGR 53/R del 2011).

Si è pertanto proceduto all'esecuzione di un complessivo studio idrologico idraulico completo di una serie di approfondimenti specifici per valutare il quadro delle esondazioni.

In particolare si è proceduto con:

- esecuzione di uno studio idrologico di tutti i bacini di interesse con le nuove carte pluviometriche predisposte dalla Regione toscana nel 2014 ed aggiornate a seguito dell'evento alluvionale del 2017;
- dove disponibili le informazioni, le portate dei vari corsi d'acqua sono state ricavate dallo studio idrologico del Prof. Castelli del gennaio 2018 che ha effettuato un'analisi delle varie aste fluviali del territorio a seguito dell'evento alluvionale del settembre 2017 per Tr30 e 200 anni oltre che ricostruendo l'evento stesso;
- applicazione di modelli idraulici 1D/2D per i vari corsi d'acqua impiegando dati topografici rilevabili da progetti e lavori pregressi e rilievi specifici laddove non dai dati lidar implementati, dove riscontrati, dai dati degli studi esistenti. I modelli idraulici sono stati applicati per Tr=200, 30 e 500 anni;
- definizione delle mappe di pericolosità ai sensi della normativa vigente ed identificazione delle classi di battenti e velocità per Tr=200 anni

18 – INDICAZIONI PRELIMINARI SULLE CONDIZIONI DI FATTIBILITA'

Si premette che i criteri definitivi di fattibilità e le condizioni alle trasformazioni saranno compiutamente disciplinati nel futuro Piano Operativo, che sostituisce, ai sensi della LR 65/2014 il Regolamento Urbanistico così come definito dal DPGRT 53/R/2011, mantenendone peraltro analoga funzionalità.

Tuttavia, nelle more dell'emanazione del Piano Operativo, è utile fornire i principali criteri preliminari e generali di fattibilità, ovvero i condizionamenti alle trasformazioni del territorio, in funzione della classificazione di pericolosità eseguita, sia in termini geologici che idraulici e sismici. Riteniamo ragionevole in tal senso riferirci alle condizioni di fattibilità elencate dal DPGRT 53/R/2011, che assumono in questa fase valenza di condizionamento preliminare e di massima. Una sintesi di tali indicazioni è stata fornita nella singole schede di descrizione delle U.T.O.E. redatte dal Progettista a cui si rimanda per ogni dettaglio.

18.1 - CONDIZIONI IN FUNZIONE DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA

Aree a pericolosità geologica molto elevata (G4):

- a) non sono da prevedersi interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture che non siano subordinati alla preventiva esecuzione di interventi di consolidamento, bonifica, protezione e sistemazione;
- b) gli interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi geologici, idrogeologici, geotecnici e sismici devono essere comunque tali da:
 - non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti;
 - non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione dei fenomeni franosi;
 - consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza;

- c) in presenza di interventi di messa in sicurezza devono essere predisposti ed attivati gli opportuni sistemi di monitoraggio in relazione alla tipologia del dissesto;
- d) l'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione ed il collaudo delle opere di consolidamento, gli esiti positivi del sistema di monitoraggio attivato e la delimitazione delle aree risultanti in sicurezza sono da certificare;
- e) relativamente agli interventi per i quali sia dimostrato il non aggravio delle condizioni di instabilità dell'area, nel titolo abilitativo all'attività edilizia è dato atto della sussistenza dei seguenti criteri:
- previsione, ove necessario, di interventi mirati a tutelare la pubblica incolumità, a ridurre la vulnerabilità delle opere esposte mediante consolidamento o misure di protezione delle strutture per ridurre l'entità di danneggiamento;
 - installazione di sistemi di monitoraggio per tenere sotto controllo l'evoluzione del fenomeno.
- f) eventuali manufatti che comportino pericolo di danni a persone o cose possono essere demoliti e ricollocati in aree adeguate

Aree a pericolosità geologica elevata (G3):

- a) la realizzazione di interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture è subordinata all'esito di idonei studi geologici, idrogeologici, geotecnici e sismici finalizzati alla verifica delle effettive condizioni di stabilità ed alla preventiva o contestuale realizzazione degli eventuali interventi di messa in sicurezza;
- b) gli eventuali interventi di messa in sicurezza, definiti sulla base di studi geologici, idrogeologici e geotecnici, devono comunque essere tali da:
- non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti;
 - non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione e prevenzione dei fenomeni;
 - consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza;
- c) in presenza di interventi di messa in sicurezza sono predisposti ed attivati gli opportuni sistemi di monitoraggio in relazione alla tipologia del dissesto;
- d) l'avvenuta messa in sicurezza conseguente la realizzazione ed il collaudo delle opere di consolidamento, gli esiti positivi del sistema di monitoraggio attivato e la delimitazione delle aree risultanti in sicurezza, sono certificati;
- e) possono essere realizzati quegli interventi per i quali venga dimostrato che non determinano condizioni di instabilità e che non modificano negativamente i processi geomorfologici presenti nell'area; della sussistenza di tali condizioni deve essere dato atto nel titolo abilitativo all'attività edilizia.

Aree a pericolosità geologica media (G2):

le condizioni di attuazione saranno 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.

Aree a pericolosità geologica bassa (G1):

pur in assenza di condizionamenti alla fattibilità, sono da prevedersi specifiche indagini geologiche a livello edificatorio adeguate agli interventi previsti.

18.2 - CONDIZIONI IN FUNZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

In generale, limitatamente alle aree in cui sono presenti fenomeni di instabilità connessi a problematiche geomorfologiche, si rimanda a quanto previsto al paragrafo 18.1, sottolineando che le valutazioni relative alla stabilità dei versanti devono necessariamente prendere in considerazione anche gli aspetti dinamici relativi alla definizione dell'azione sismica.

Aree a pericolosità sismica locale molto elevata (S4):

nel caso di zone suscettibili di instabilità di versante attive, oltre a rispettare le indicazioni del paragrafo precedente a carattere geomorfologico, sono realizzate indagini geofisiche e geotecniche per le opportune verifiche di sicurezza e per la corretta definizione dell'azione sismica. E' opportuno che tali indagini siano tarate mediante prove geognostiche dirette con prelievo di campioni su cui effettuare la determinazione dei parametri di rottura anche in condizioni dinamiche e cicliche. Tali indagini sono tuttavia da rapportare al tipo di verifica (analisi pseudostatica o analisi dinamica), all'importanza dell'opera e al meccanismo del movimento del corpo franoso;

Aree a pericolosità sismica locale elevata (S3):

a) nel caso di zone suscettibili di instabilità di versante quiescente oltre a rispettare le indicazioni del paragrafo precedente a carattere geomorfologico, sono realizzate indagini geofisiche e geotecniche per le opportune verifiche di sicurezza e per la corretta definizione dell'azione sismica. E' opportuno che tali indagini siano tarate mediante prove geognostiche dirette con prelievo di campioni su cui effettuare la determinazione dei parametri di rottura anche in condizioni dinamiche e cicliche. Tali indagini sono in ogni caso da rapportare al tipo di verifica (analisi pseudostatica o analisi dinamica), all'importanza dell'opera e al meccanismo del movimento del corpo franoso;

b) nel caso di terreni di fondazione particolarmente scadenti, sono realizzate adeguate indagini geognostiche e geotecniche finalizzate alle verifiche dei cedimenti ed estese almeno al volume significativo del terreno di fondazione;

c) in presenza di zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse e in presenza di aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e capaci, è realizzata una campagna di indagini geofisiche di superficie che definisca geometrie e velocità sismiche dei litotipi posti a contatto al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica; è opportuno che tale ricostruzione sia tarata mediante indagini geognostiche dirette;

d) nelle zone stabili suscettibili di amplificazione locali caratterizzate da un alto contrasto di impedenza sismica tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri o comunque dalla presenza del substrato rigido entro le prime decine di metri, è realizzata una campagna di indagini geofisiche (ad esempio profili sismici a riflessione/rifrazione, prove sismiche in foro, profili MASW, HVSR) e geotecniche (ad esempio sondaggi, preferibilmente a c.c.) che definisca spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica dei terreni tra coperture e bedrock sismico.

Nelle zone di bordo della valle, per quanto attiene alla caratterizzazione geofisica, è preferibile l'utilizzo di prove geofisiche di superficie capaci di effettuare una ricostruzione bidimensionale del sottosuolo (sismica a rifrazione/riflessione) orientate in direzione del maggior approfondimento del substrato geologico e/o sismico.

Aree a pericolosità sismica media (S2) e bassa (S1):

non è necessario indicare condizioni di fattibilità specifiche per la fase attuativa o per la valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia, prevedendo nel contesto la caratterizzazione sismica del sottosuolo adeguata all'intervento previsto.

18.3 CONDIZIONI IN FUNZIONE DELLE PROBLEMATICHE DI DINAMICA COSTIERA

La disciplina delle aree di demanio marittimo deve tenere conto della necessità di:

- verificare preventivamente gli effetti di interventi effettuati lungo la linea di separazione fra il mare e la terra (portualità, sistemazione delle foci fluviali, difesa costiera intesa a correggere localmente fatti erosivi);
- evitare interferenze con eventuali sistemi dunali e con la loro evoluzione;
- definire le condizioni di utilizzazione delle coste rocciose.

Nelle foci dei corsi d'acqua e nel litorale marittimo prospiciente, ogni intervento in grado di influire sul regime dei corsi d'acqua deve essere definito sulla base di idonei studi idrologici idraulici per tempo di ritorno di almeno 200 anni opportunamente correlati con studi meteomarini e deve altresì tenere conto delle esigenze di riequilibrio del litorale.

Della necessità di garantire equilibrio idrogeologico costiero si deve tenere conto nelle previsioni relative a:

- azioni a monte della fascia costiera con rilevante influenza sulla sua dinamica (sistemazioni idraulico-forestali, costruzione di sbarramenti di ritenuta, correzione degli alvei fluviali ed estrazione di inerti dagli stessi, urbanizzazione con conseguente impermeabilizzazione crescente del suolo);
- interventi interessanti l'entroterra e suscettibili di accentuare fenomeni di salinizzazione e costipamento dei sedimenti anche in relazione a cospicui emungimenti di acque freatiche e alle bonifiche idrauliche.

18.4 CONDIZIONI IN FUNZIONE DELLE PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE

Nei casi in cui la destinazione prevista possa incrementare una situazione di squilibrio in atto della risorsa idrica o generare situazioni di criticità, la sua attuazione è subordinata alla preventiva o contestuale esecuzione di interventi di eliminazione o mitigazione dello stato di rischio accertato o potenziale, tenuto conto della natura della trasformazione e delle attività ivi previste.

L'attuazione può essere anche condizionata al rispetto di specifiche prescrizioni tese contenere i possibili rischi d'inquinamento.

18.5 CONDIZIONI IN FUNZIONE DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

Si rimanda a quanto già discusso nel paragrafo 17 relativo allo Studio Idraulico ed all'elaborazione della Pericolosità Idraulica ai sensi del DPGR 53/R/2011 e del Piano gestione Rischio Alluvioni vigente.

Ove approvato e ulteriormente implementato lo studio idraulico a supporto del PS2 (con gli aggiornamenti derivanti dagli approfondimenti in corso) saranno definitivamente precisate, in sede di studio a supporto del futuro Piano Operativo, le condizioni di fattibilità in funzione delle destinazioni d'uso del territorio.

Livorno, Febbraio 2019

Dr. Geol. Luca Mazzei



BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

SINTESI QUADRO CONOSCITIVO INDAGINI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE

- **COMUNE DI LIVORNO - QUADRO CONOSCITIVO AMBIENTALE (QCA)**

Coordinamento: Ing. Gianfranco Chetoni e Dott. Geol. Leonardo Gonnelli. Settori consultati: Alessio Tanda (Geologia ambientale, geotecnica e qualità acque), Michele Danzi (Bonifiche e Rifiuti), Alessandro Ursi (Biodiversità, parchi e scienze forestali).

Relazioni geologico-tecniche di fattibilità a supporto piani urbanistici pubblici e privati, relazioni geologiche a supporto interventi diretti (permessi a costruire/SCIA), studi di caratterizzazione ambientale terreni/acque sotterranee, studi idrologico-idraulici, altri studi e progetti di emanazione pubblica/privata

- Piano particolareggiato Corea. Indagine di fattibilità geologica, Studio geotecnico associato Michelucci & Tocchini, 1985
- Variante generale al P.R.G. per l'edilizia residenziale. Indagine di fattibilità geologica, Studio geotecnico associato Michelucci & Tocchini, 1985
- Piano di recupero quartiere Sciangai. Indagine di fattibilità geologica, Studio geotecnico associato Michelucci & Tocchini, 1987
- Progetto "AQUA" – Studio sulle condizioni dei torrenti cittadini, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1991
- Piano Particolareggiato COREA – SHANGAY, Studio geotecnico Associato 1992 – 1995, integrazione 1997
- Indagini geologico-tecniche di supporto alla pianificazione urbanistica. PEEP n. 5 BASTIA, Studio Aquageo di Liberato & Albanese, 1993
- Variante anticipatrice al P.R.G. MEDICEO-BELLANA. Indagine di fattibilità geologica, Dott. Geol. L. Michelucci & Dott. Geol. A. Rafanelli, 1993
- Variante anticipazione P.R.G. Nuove Aree PEEP – Scopaia, Dott. Geol. L. Michelucci & Dott. Geol. A. Rafanelli, 1993
- Zona La Leccia. Indagine di fattibilità geologica, Dott. Geol. L. Michelucci, 1993
- Zona industriale. Indagine di fattibilità geologica, Studio associato Michelucci & Rafanelli, 1993
- Fattibilità geologica Variante PRG Svincolo stradale via del Crocino Via di Popogna, Dott. Geol. A. Rafanelli, 1995
- Carte a supporto del Piano Strutturale del Comune di Livorno – Relazione, Dott. Geol. A. Rafanelli e Dott. Geol. L. Michelucci, 1996
- Variante anticipatrice al P.R.G. "SCOPAIA, nuove aree PEEP". Indagine di fattibilità geologica, Dott. Geol. Rafanelli & Michelucci, 1998
- Piano Particolareggiato ATTIAS, Staff Geologia: Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1998.
- Piano di Recupero Quartieri "Corea" Progetto di demolizione dei fabbricati siti in via Gobetti 25 e 26, via Luzzatti, 7 e 9; via Grandi, 2, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1999.
- Integrazione alle indagini di fattibilità geologica – nuove aree PEEP variante Scopaia n. 17 . Dott. Geol. Antonio Rafanelli, 2000
- Variante anticipatrice al P.R.G. "Porta a Terra". Indagine di fattibilità geologica, Dott. Geol. Rafanelli & Michelucci, 2001.
- Revisione Regolamento Urbanistico 2000 –2001 Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2001
- Piano Attuativo via degli Acquedotti, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2001

- Piano particolareggiato Picchianti, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2001.
- Piano Inseadimento Produttivo Vallin Buio, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2002
- Variante Regolamento Urbanistico SLAC, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2002
- Variante Regolamento Urbanistico per Cassa d'espansione Ugione, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2002
- PEEP Scopaia, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2002-2003
- Indagine di Fattibilità geologica Riqualificazione dei quartieri nord: COREA, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2003.
- Piano particolareggiato Lottizzazione di Magrignano – Report generale e Reports dei vari stralci Studio Geologico Antonio Rafanelli, 2003-2008
- Piano particolareggiato Corea, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2003
- Piano di recupero Shangay, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2003
- Variante Regolamento Urbanistico 2004, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2003
- Piano particolareggiato Aree limitrofe alla Porta a Mare, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2003
- 31. Variante Piano particolareggiato Picchianti, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2003
- Piano Attuativo Maroccone Calafuria, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2005
- Piano Attuativo Calafuria-Cala del Leone e VEA, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2005
- VEA Viale Italia e Pancaldi, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2005
- Piano Attuativo Antignano, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2005
- Variante al Regolamento Urbanistico Piazza del Logo Pio, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2006
- Variante Regolamento Urbanistico Opere complementari Salviano 2, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2007
- Variante Regolamento Urbanistico Hotel Gennarino, Via della Padula, Parcheggi, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2007
- Variante al Piano Strutturale, Regolamento Urbanistico e Piano Attuativo: Nuovo Centro, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2008
- Variante al Regolamento Urbanistico e Piano Attuativo Attias, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2008
- Valutazione sugli Effetti Ambientali Viale Caprera, Arch. Ida & Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2008
- Variante al Regolamento Urbanistico area a servizi Via delle Macchie, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2009
- Variante al Regolamento Urbanistico Abitare Sociale Quartiere Garibaldi, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2011
- Variante al Regolamento Urbanistico Abitare Sociale Quartiere Coteto, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, Dott. Geol. Alessio Tanda 2011
- Variante al Regolamento Urbanistico - Opere infrastrutturali connesse alla realizzazione del Nuovo Ospedale di Livorno. Riclassificazione degli immobili non più utilizzati ai fini sanitari, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, Dott. Geol. Alessio Tanda 2012
- Piano Particolareggiato UTOE 4C16 – Porta a Terra 2 – Aree di trasformazione art 17 NN.TT.A. R.U., Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, Dott. Geol. Alessio Tanda 201
- Progetto Pluvio Volume 3° Piezometria – Censimento A.M.A.G., Studio Geologico A. Rafanelli 1980 – 1981

- Relazione geologica sulla cava “Limoncino” – Monte La Poggia – Dott. Geol. M. Micheluccini & A.D. Tardi, 1981
- Relazione geologica sul terreno di fondazione per la costruzione di un lotto di case civile abitazione sito in località Rogiolo di Quercianella. Dott. Geol. Gambini & Nari, 1983
- S.S. 1 Aurelia Variante di Livorno tratto Salviano-Chioma, Ing. Giovanni Rodio & C. - Campagna di indagini geognostiche, 1987
- Relazione geologica per discarica interti loc. Cisternino, Prof. A. Pietracaprina, 1987
- Coltivazione e ripristino ambientale cava Tiro a Volo – Corbolone – Studio associato Ing. Caserta & Bacci, 1988
- Tentativo di interpretazione dei dati acquisiti dai sondaggi eseguiti nella zona di Livorno Nord Km. 318 S.S. n. 1 Aurelia presso il Cimitero Comunale, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1989
- Recupero Ambientale di una cava presso Torre Nuova – Gorgona – Geom. A. Mazzarella, 1989
- Relazione geologico-tecnica lottizzazione “IL PARADISO” (Castellaccio), Dott. Geol. A. Rafanelli, 1990
- Relazione geologica per Vincolo Idrogeologico – Cava Monte la Poggia – Dott. Geol. L. Michelucci, 1990
- Profilo Storico – geografico dei Monti Livornesi, Comune di Livorno - Leonardo Gonnelli e Lucrezia Tel 1991.
- Studio geologico-tecnico per il ripristino della viabilità e la protezione della sponde destra del Torrente Chioma, a metri 300 dalla foce, Studio Geologia Dr.ssa Giovanna Cascone, 1991
- Analisi della situazione sulla Via G. Byron con particolare riferimento agli interventi adottabili, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1992.
- Discarica per inerti in località “La Palazzina” Ing. L. Caserta, 1992
- Verifica della stabilità del versante e dell’assetto idraulico per la salvaguardia del Territorio per la lottizzazione “La Torre”, Studio Geologia Dr. Libero Michelucci, 1992
- Crollo galleria urbana via Frascetti, Anas – Comune di Livorno, 1993 – 1996
- Progetto esecutivo di restauro ambientale alto bacino Botro Molino Nuovo. Provincia di Livorno & Comune di Livorno, 1993
- Caratterizzazione geolitologica e idrogeologica del comprensorio di Vallin dell’Aquila- Pian dei Pinoli, Studio di: Studio geologico A Rafanelli, 1994
- Appunti Monti Livornesi Vol. 1 e unico, a cura di Comune di Livorno - Leonardo Gonnelli, 1994
- Il Dissesto idrogeologico di Comune di Livorno - Leonardo Gonnelli, 1994
- Studio geologico e redazione ipotesi di ripristino in ordine ai dissesti stradali in Via della Vecchia Salita di Montenero, Dott. Geol. A. Rafanelli 1994
- Studi geotecnici, ambientali e idrogeologici per zona da adibire a parcheggio in località Romito, Dott. Geol. A. Rafanelli, 1994
- Studi geotecnici – ambientali tratto di costa sul Viale di Antignano, Dott. A. Rafanelli, 1995
- Ripristino e riattivazione di tratto di strada di Via delle Vignacce, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1995
- Il recupero ambientale delle ex-cave di “Gabbriccio” I.T.G.B. Buontalenti – Livorno, 1994
- Trasferimento impianto centralizzato depurazione Acque Città di Livorno, ASEM, 1995
- Studio territoriale finalizzata alla previsione di Punti di Ormezzano e Spiaggia Attrezzate - Tendenza evolutiva del Litorale Livornese, Provincia - Studi sulla costa AA.VV., 1997
- Impianto polifunzionale di trattamento reflui del comprensorio livornese -Inquadramento geologico e ambientale, ASEM, 1997
- Sistema Torre del Marzocco, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1997
- Progetto Gorgona, Torre Vecchia , Arch. E. Persico, 1997

- Villa Corridi – Scuola Media “Gamerra” Analisi geologica del sito, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1999
- Dissesti in Zona “Stillo” - Relazione definitiva sui risultati delle indagini, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1999
- Progetto Pluvio - Volume 1° - Termometria e Volume 2° - Pluviometria, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1999
- Studi propedeutici al Piano della Costa, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, CIBM, 1999
- Programma Urban – Analisi delle componenti geo-ambientali , Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2000
- Lo studio sul bacino del Torrente Chioma I.T.G.B. Buontalenti – Livorno, 2000
- “Progetto Verne - Rischio Sismico” I° Fase “Analisi macrosismica del territorio del Comune di Livorno”, Istituto Geofisico Toscano, 2003
- Valutazione sulla vulnerabilità del territorio di Montenero, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2003-2007
- Piano di utilizzazione della Costa – Censimento degli arenili pubblici, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2005
- “Progetto Verne - Rischio Sismico” II° Fase “Sezioni litotecniche significative in chiave di interpretazione sismica del territorio di Livorno”, Dott. Geol. Antonio Rafanelli, 2005
- Studio idrogeologico generale dell’area SIN Sito di Interesse Nazionale di Livorno, Sintesis e Studio Geologico Antonio Rafanelli, 2006
- “Progetto Verne - Rischio Sismico” III° Fase “Interpretazioni delle indagini geosismiche in zone significative di Livorno”, Regione Toscana e Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli , 2004-2007
- Studio idraulico del tratto terminale del Rio Ardenza, Prof. A Peruginelli, 1993
- Indagine e progettazione per il riassetto idraulico di piccoli bacini imbriferi nell’area di Quercianella Volumi I° e II°, Geoplan, 1996
- Studio idraulico del Querciaio-Felciaio, Prof. Samuele Cavazza, 1996
- Studio dei deflussi dei Rii Cigna e Cignolo in relazione alla Porta a Terra, Prof. Pier Gino Megale, 1997
- Studio idraulico dei bacini Botro Molino Nuovo e Rio Vallecorsa, Prof. Alessandro Peruginelli, 1997
- Studio idraulico del Botro Banditella – Loc. Montenero, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1998
- Studio idraulico del bacino del Rio Cigna, Prof. Stefano Pagliara, 2002
- Studio idraulico del bacino del Rio Maroccone, Ing. Della Casa - Provincia di Livorno, 2003
- Studio idraulico per il miglioramento dell’assetto del tratto terminale del Torrente Ugione, Prof. Stefano Pagliara, 2004
- Studio idraulico del bacino del Rio Maggiore ed ottimizzazione delle opere di messa in sicurezza, Prof. Stefano Pagliara, 2004-2008
- Studio idraulico del Rio Ardenza, Prof. Stefano Pagliara, 2005
- Studio idraulico dei tratti terminali dei fossi cateratti in parallelo con lo Scolmatore d’Arno, Prof. Stefano Pagliara, 2006
- Revisione Studio idraulico del Fosso della Cigna, Prof. Stefano Pagliara, 2012
- Studio idrologico - idraulico del Fosso della Prugnolaccia, Prof. Stefano Pagliara, 2012
- Studi e progetto di massima per la bonifica ed il riassetto dei fossi e canali interni della città di Livorno (contiene rilievo dettagliato sezioni fossi cittadini), SIRSI PNEUMA spa, 1974
- Relazione geologica-tecnica sul terreno di fondazione Museo Storia Naturale, Dott. Geol. A. Rafanelli, 1986

- Cava Gorgona: ripresa attività di coltivazione e ripristino ambientale località Torre Nuova, Casa Reclusione Gorgona, 1990
- Sistemazione idraulica c/o Botro Molino Nuovo, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1991
- Sistemazione idrogeologica di un tratto di torrente e di una zona franosa in Loc. Limoncino, Dott. Geol. Antonio Rafanelli, 1991
- Regimazione idraulica Botro Stringaio a monte di Piazza delle Carrozze, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1992
- Lavori di pulizia Fosso della Banditella, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1993
- Progetto ENVIREG – Sistemazioni forestali, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1993
- Relazione geologica e geotecnica nella compatibilità dei terreni di fondazione per l'ampliamento della luce di deflusso nella Località "Tre Ponti", Dott. Geol. Antonio Rafanelli, 1994
- Bacino Botro Stringaio -Sistemazione idrogeologica di un tratto d'alveo in prossimità di Piazza delle Carrozze (Montenero), Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1994
- Bacino Fosso del Rogiolo - Sistemazione idrogeologica di un tratto compreso tra il Ponte sulla S.S. 1 Aurelia ed il Ponte adiacente la linea ferroviaria, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1994
- Difese spondali Botro Molino Nuovo, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1994
- Difesa Spondale e ricalibratura sponde c/o Via Jeri – Botro Stringaio, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1994
- Parco archeologico della Banditella, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1994
- Bacino del Botro Molino Nuovo - Progetto di difesa spondale in sinistra idrografica nei pressi di Villa Rodocanacchi, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1994
- Indagini geologiche Sottopassi Ferroviari via S. Martino, via dei Pelaghi, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1996
- Consolidamento statico con rifacimento di un tratto di paramento a mare, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1996
- Lavori di sistemazione idraulico – forestale dei Botri Stringaio, Casine e Fichi, MONTENERO I° LOTTO, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1996
- Interventi integrati di forestazione ed idraulica forestale, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1996
- Lavori sistemazione idraulico –forestale dei Botri Stringaio, Casine e Fichi MONTENERO II° LOTTO, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1997
- Risanamento dei dissesti idrogeologici mediante interventi di ingegneria naturalistica – Quercianella, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1997
- Relazione geologico tecnica piano di soppressione passaggi a livello via dei Pelaghi – via S. Martino –, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli 1997
- "Progetto Mare" – Contributo alla conoscenza del substrato Acquario D. Cestoni, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1997
- Ampliamento sede Circoscrizione 1, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1997
- Indagini geognostiche PIP Picchianti – Consolidamento, Geol. A. Liberato e Ing. Goretti, 1998
- Ripristino ambientale della Cava posta in Livorno Loc. Vallin dell'Aquila di proprietà della Cementir, Dott. Geol. Antonio Rafanelli, 1998
- Progetto falesia – messa in sicurezza "sassia" Loc. Calignai, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1998
- Manutenzione rii e botri 1998-2007, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli,
- Porta a Terra – Galleria Urbana- Stazione Centrale, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1998

- Progetto Gorgona – Frana Cala Martina, Sistema Strade forestali, Dissesti Cala Maestra, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1998
- Progetto Falesia, sistemazione generale delle scarpate del Romito, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1998
- Interventi idraulici globali Torrente Ugione ed Acqua Puzzolente, Consorzio Bonifica Ufficio Fiumi e Fossi Pisa, 1998
- Progetto Gorgona – Laboratorio di acquicoltura, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1999
- Realizzazione dell'accesso all'area di parcheggio ubicata a nord del Collegio Americano – Montenero – Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1999
- Difesa spondale Botro Molino Nuovo, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1999
- Programma Giubileo– Riquilificazione della Piazza del Santuario Volume tecnico ascensore, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1999
- Ristrutturazione del complesso dello Scoglio della Regina, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1999
- Dati idrogeologici per sottopasso Stazione Svincolo via Pelaghi, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1999
- Sottopasso ciclopedonale s.s. 1 Aurelia in località Quercianella , Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 1999
- Indagine geognostica relativa al progetto di sbarramento definitivo del Canale dei Navicelli e del connesso impianto idrovoro, Geol. Baldacci P., Bani M., 1999
- Contratto di Quartiere – Piano di recupero Corea Isolato I – 1°Lotto, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2000.
- Dissesti strutturali Scuola materna Pian di Rota – febbraio 2000 e Relazione geotecnica, Geol. Antonio Busdraghi, 2000
- Programma GIUBILEO – Realizzazione di non edificio c/o il Piazzale Giovanni XXII – Montenero – Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2000
- Programma GIUBILEO – Trasferimento di attività di commercio ambulante sul v.le Giovanni XXIII Montenero, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli ,2000
- Ristrutturazione e ampliamento dell'Acquario D. Cestoni – Progetto esecutivo – 2° lotto, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2000
- Progetto esecutivo Viale Italia Tratto Scoglio della Regina – Bagni Pancaldi, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2000
- Stillo – Relazione geologica nuova viabilità di collegamento via di Collinaia – via di Popogna – progetto definitivo –, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2000
- Acquedotto Colognole 1° itinerario - Passerella sul Rio Puzzolente, Arch. Paola Talà e Matteo De Luca & Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2001
- Programma di riqualificazione Piazza del Logo Pio - Riapertura Fosso Viale Caprera, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2001
- Relazione Geologico–tecnica Piano di recupero Corea Isolato E – detto Isolato giardino, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2001
- Sistemazione idrogeologica Via E. De Amicis –Quercianella, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2001
- Montenero – Area in dissesto – Via di Montenero, 467 – Proprietà FILINI, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2001
- Progetto spiaggia per cani, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2001
- Dissesti Scuola Elementare e Materna Pian di Rota, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2002

- Sistemazione del Porticciolo di Quercianella, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2002
- Progetto del Canile Municipale, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2003
- Risanamento igienico Fortezza Nuova, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2004
- Realizzazione Scuola Media Shangay, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2004
- Progetto di ampliamento Cimitero della Cigna, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2005
- Progetto di risanamento dell'area del Parco Urbano Corea, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2005
- Deposito ATL, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2006
- Realizzazione nuova Scuola materna Via Stenone, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2006
- Realizzazione Asilo Nido Coteto, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2007
- Prefattibilità progettuale "Cittadella dello Sport", Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2007
- Realizzazione Asilo Nido Colibrì, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2007
- Ristrutturazione Edificio Via dell'Artigianato, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2007
- Ristrutturazione Villa Corridi, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2007
- Fattibilità Parcheggio Via Roma, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2007
- Sistemazione Villa Letizia – Ex Dormitori, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2008
- Progetto "Ossi di Triglia" per la messa in sicurezza e la riqualificazione di tratti di costa, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2008
- Sistemazione della falesia dello Scoglio della Ballerina, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2008
- Sistemazione della Spiaggia della Rotonda e di Quercianella, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2008
- Ripristino ambientale del sito ex estrattivo di Monte Burrone, Canaccini, 2007
- Impianto di smaltimento per rifiuti inerti non pericolosi a basso contenuto organico, Soc. BEL.MA., 2008;
- PIUSS – Relazione geologico-tecnica preliminare Area Dogana d'Acqua, Comune di Livorno – Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2009
- PIUSS – Relazione geologico-tecnica preliminare Area Forte San Pietro, Comune di Livorno – Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2009
- PIUSS – Relazione geologico-tecnica preliminare Area Ex Pirelli, Comune di Livorno – Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2009
- Prefattibilità geologico-tecnica e ambientale, Ipotesi Nuovo Ospedale, Comune di Livorno, Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2009.
- Polo museale e culturale Bottini dell'Olio, Relazione Geologica preliminare, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2009
- Relazione Geologico-Tecnica sala operativa Vigili Urbani, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2009
- Relazione Geologica scuola materna Pestalozzi, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2009
- Ristrutturazione restauro e ampliamento del complesso edilizio Scoglio della Regina – Relazione Geologica, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2009
- Progetto Eglyora intervento di sistemazione idrogeologica nell'Isola di Gorgona - Relazione Geologica, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2009

- Relazione Geologica progetto di ampliamento del cimitero comunale, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2009
- Relazione Geologica asilo nido Munari, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2009
- Lavori di consolidamento delle banchine dei porticcioli "Nazario Sauro", "Ardenza" e "Antignano" Relazione Geologico-Tecnica, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, 2011
- Passerella pedonale sul Rio Maggiore Parco sul Rio Maggiore – Località Salviano Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, Dott. Geol. Alessio Tanda 2012
- Relazione Geologico-Tecnica di supporto alla realizzazione del fabbricato ad uso del Dipartimento Polizia Municipale Via dei Cordai, località Picchianti, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, Dott. Geol. Alessio Tanda 2012
- Relazione Geologico-Tecnica di supporto alla realizzazione del Polo museale e culturale Bottini dell'Olio luogo Pio, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, Dott. Geol. Alessio Tanda 2012
- Relazione geologica con indicazione dei parametri geotecnici - Luogo di culto per la Comunità Islamica Via Guarini – Località La Cigna - Variante al regolamento urbanistico - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, Dott. Geol. Alessio Tanda 2012
- Piano Particolareggiato Porta a Terra 2 Località Porta a Terra, Comune di Livorno - Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, Dott. Geol. Alessio Tanda 2013.
- Relazione sugli esiti della campagna geognostica diretta, indiretta e ambientale condotta nell'area di previsione del nuovo presidio ospedaliero di Livorno - periodo FEBBRAIO-MAGGIO 2010. Comune di Livorno. Dott. Geol. Leonardo Gonnelli, Dott. Geol. Alessio Tanda. Dr. Michele Danzi, sig.ra Grazia Guidi, 2010.
- Indagini sismiche loc. Quercianella, Comune di Livorno Geoprove sas di P. Barsanti, 2015
- Indagini geognostiche e sismiche loc. Antignano, Comune di Livorno, Geoprove sas di P. Barsanti, 2013
- Indagine geognostica a supporto prima vasca di colmata nel Porto di Livorno, Darsena Toscana, Autorità Portuale, 2001
- Indagine geologica presso Calata Tripoli, Geol. Giorgio della Croce, Ottobre 2002
- Relazione geotecnica a supporto progetto esecutivo vasca di colmata nel Porto di Livorno, Darsena Toscana, Autorità Portuale, 1998
- Indagine geognostica a supporto progetto banchinamento di un tratto della sponda est del Canale Industriale, Autorità Portuale di Livorno, 2001
- Indagine geotecnica a supporto progetto banchina di riva presso darsena bacino galleggiante, Autorità Portuale di Livorno, 2002
- Indagine geotecnica a supporto progetto consolidamento banchina Calata Sgarallino, Autorità Portuale, 2002
- Progetto esecutivo lavori di ristrutturazione pennello di levante, darsena medicea porto di Livorno, Autorità Portuale di Livorno, 2000
- Indagine geognostica a supporto progetto nuovo pontile Andana degli Anelli, Autorità Portuale di Livorno, 1997
- Indagine geognostica a supporto lavori di completamento tratto di sponda est della Darsena Toscana, Autorità Portuale di Livorno, 1999
- Indagine geognostica a supporto progetto esecutivo lavori di ristrutturazione banchina Calata Bengasi, Autorità Portuale di Livorno, 1997
- Indagine geognostica a supporto progetto esecutivo lavori di banchinamento Darsena Calafati, Dr. Geol. Libero Michelucci, Autorità Portuale di Livorno, 2001
- Indagine geognostica a supporto progetto esecutivo capannoni industriali presso Stazione marittima, Dr. Geol. Libero Michelucci, Autorità Portuale di Livorno, 1999
- Indagine geognostica a supporto progetto banchina stabilimento Rhone-Poulenc, 1995

- Indagine geognostica presso Darsena Morosini, Autorità Portuale di Livorno, 2004
- Indagine geognostica a supporto progetto esecutivo lavori di banchinamento presso Canale dei Navicelli, Darsena Toscana, Dr. Geol. A Liberato, Autorità Portuale di Livorno, 2000
- Indagine geognostica a supporto progetto nuovo edificio loc. Banditella, Geol. A Liberato, 2013
- Indagine geognostica presso cimitero Via Ardenza, Geol. L. Michelucci, 1996
- Indagine geognostica a supporto progetto esecutivo banchinamento presso Calat del Magnale-Darsena Ugione, Dr. Geol. Libero Michelucci, Autorità Portuale di Livorno, 2001
- Indagine geognostica a supporto progetto esecutivo nuovo Molo Italia, Autorità Portuale di Livorno, 1998
- Indagine geognostica a supporto progetto esecutivo torri faro presso Darsena Toscana, Geol. S. Crocetti, Terminal Darsena Toscana srl, 2003
- Indagine geognostica a supporto progetto esecutivo Cunicolo per gasdotti/cavidotti presso Darsena Toscana, Consorzio Movimentazioni Petrolifere, 1998
- Indagine geognostica a supporto progetto esecutivo ristrutturazione Pontile Elba, Autorità Portuale di Livorno, 1997
- Indagine geognostica a supporto progetto esecutivo silos via del Marzocco, Autorità Portuale di Livorno, 1985
- Indagine geognostica a supporto progetto esecutivo ristrutturazione banchine in Calata Carrara, Autorità Portuale di Livorno, 1997
- Indagine geognostica a supporto progetto consolidamento sponde fossi interni al Comune di Livorno, Min. LL. PP. OO. MM, 1995
- Indagine geognostica a supporto progetto manufatti area ex Bertolli, Geol. A. Rafanelli, 1996
- Indagine geognostica a supporto progetto stabilimento SEAL presso Darsena Toscana SE, Geol. A. Rafanelli, 1992
- Indagine geognostica a supporto progetto vasca per caricamento container, Geol. Matassi, Lorenzini srl, 1998
- Indagine geognostica a supporto progetto esecutivo ponte girevole presso porto medico di Livorno, Dr. Geol. Libero Michelucci, Autorità Portuale di Livorno, 1999
- Indagine geognostica/sismica a supporto progetto adeguamento sismico manufatto interno a stab. Dow Italia - porto di Livorno, Dr. Geol. Libero Michelucci, Dow-Italia srl 1997
- Indagine geognostica a supporto progetto adeguamento strutturale scali Novi-Lena, Dr. Geol. Libero Michelucci, Autorità Portuale di Livorno, 2003
- Indagine geognostica a supporto progetto rifacimento zona dei cantierini presso Darsena Pisa, Dr. Geol. Libero Michelucci, Autorità Portuale di Livorno, 1996
- Indagine geognostica a supporto progetto capannone presso Darsena Pisa, Dr. Geol. Libero Michelucci, Autorità Portuale di Livorno, 1997
- Indagine geognostica a supporto progetto nuovi magazzini ex Camera di Commercio presso Terminal Marzocco, Dr. Geol. Libero Michelucci, Autorità Portuale di Livorno, 2000
- Indagine geognostica a supporto progetto nuova pensilina presso Porto di Livorno, Figli di Nado Neri spa, 1995
- Indagine geognostica a supporto progetto nuova banchina presso Calata Alto Fondale, Dr. Geol. Libero Michelucci, Autorità Portuale di Livorno, 2001
- Indagine geognostica a supporto progetto nuovo capannone presso Terminal Paduletta, Dr. Geol. A. Rafanelli et alii, 1995
- Indagine geognostica presso stabilimento Laviosa spa - Canale Industriale Porto di Livorno, Laviosa spa, 1992
- Indagine geognostica presso Calata Elba, Italsonda spa, Min. LL. PP. OO. MM, 1996
- Indagine geognostica a supporto progetto nuova tettoia presso "Dock Etruschi", Compagnia Lavoratori Portuali, Dr. Geol. A. Rafanelli et alii, 1997

- Indagine geognostica a supporto Piano di Recupero fra via Strozzi e l'ufficio di Via dei Grani, UNIGESTIFIMM S.r.l. , 1998
- Indagine geognostica a supporto progetto nuova banchina presso Terminal Da Vinci, Soil test snc, Autorità Portuale di Livorno, 1997
- Indagine geognostica a supporto progetto nuov capannone in Bacino Firenze, Geol. A. Liberato, Figli di Nado Neri spa, 1997
- Studio geologico a supporto progetto ristrutturazione edificio via Angioletti, Geol. GF. Ruffini, Sig. Gallinari, 2008
- Studio geologico a supporto progetto palazzina unifamiliare via di Salviano, Geol. R. Leoni, Sig. R. Bernini, 2006
- Studio geologico a supporto ristrutturazione tettoia con cambio d'uso a civile abitazione, Geol. C. Paolotti, Sig. N. Giuliani, 2010
- Studio geologico a supporto progetto sopraelevazione fabbricato in Via della Valle Benedetta, Geol. E. Benvenuti, Sig. Trovatelli M., 2014
- Studio geologico a supporto ampliamento fabbricato in Via Pascoli 38, Geol. F. Barellini, Sig. I. Mochalov, 2013
- Studio geologico a supporto ampliamento fabbricato in Via Pascoli 38, Geol. F. Barellini, Sig. I. Mochalov, 2013
- Studio geologico a supporto progetto nuovo ossario loc. Banditella, Geol. S. Crocetti, Monastero Suore Carmelitane, 2014
- Studio geologico a supporto progetto ampliamento capannone uso industriale, Geol. C. Tocchini, MHVM srl, 2014
- Studio geologico a supporto progetto ampliamento stabilimento Wass, via di Levante 48, Geol. L. Pagliazzi, Finmeccanica Group Services srl, 2009
- Studio geologico a supporto progetto ristrutturazione fabbricato in via delle Ghiandaie, Geol. A. Danesi, 2008
- Studio geologico a supporto progetto complesso residenziale Via Spalato 23, Geol. S. Crocetti, Spalato srl, 2012
- Studio geologico a supporto progetto sanatoria piscina in Via Zola, Geol. S. Crocetti, Sig. G. Sclano, 2013
- Studio geologico a supporto progetto 2 edifici commerciali in Via di Popogna, Geol. C Tocchini, A e B srl, 2009
- Studio geologico a supporto progetto edificio bifamiliare in via Collinet, Geol. L. Michelucci, Sig. B. Biagini, 2010
- Studio geologico a supporto progetto ampliamento sede circolo Arci Petrarca, Geol. A. Meriggi, ARCI Petrarca, 2011
- Studio geologico a supporto sanatoria rea SPIL - Via Jacoponi, Geol. L. Michelucci, SPIL SPA, 2014
- Studio geologico a supporto ristrutturazione edilizia unità residenziale via Toci 35, Geol. L. Michelucci, Sig. Galgano E. et alii, 2014
- Indagine sismica MASW loc. Quercianella, Gaia Servizi, 2013
- Indagine Georadar preso Scali Novi Lena, IGEAM srl, 2009
- Studio Geologico a supporto ampliamento stabilimento TRED spa, Geol. Luca Mazzei, Sintesis srl, 2010
- Indagine ambientale di caratterizzazione presso stabilimento Labromare, Via Galvani - porto industriale di Livorno, Geol. Luca Mazzei, Sintesis srl, 2005
- Indagine idrogeologica presso banchine stabilimento DOC, EX CEREOL E EX NOVAOL, Canale Industriale Porto di Livorno, Geol. Luca Mazzei, Ichnogeo sas, 2007
- Indagine ambientale presso sito ASA loc. Paduletta - via Enriques, Geol. Luca Mazzei, Sintesis srl, 2006

- Indagine ambientale di caratterizzazione presso Sponda Est Darsena Toscana, Geol. Luca Mazzei, Sintesis srl, 2004
- Indagine ambientale di caratterizzazione presso Darsena Calafati, Geol. Luca Mazzei, Sintesis srl, 2004
- Indagine ambientale di caratterizzazione presso Cunicolo Darsena Toscana, Geol. Luca Mazzei, Sintesis srl, 2004-2005
- Studio geologico di fattibilità a supporto recupero area dismessa Feltrinelli loc. Dogana d'Acqua, Geol. A. Rafanelli, IL Cedro srl, 2007
- Studio geologico-geotecnico a supporto progetto impianto distribuzione carburanti Q8 viale Boccaccio, Geol. A. Mazzei, Kuwait Petroleum Italia spa, 2009
- Studio geologico a supporto progetto impianto fattoria dell'energia, Via Orlando, Geol. L. Mannella, 2008
- Studio geologico a supporto progetto edificio commerciale loc. Porta a Terra subambito 4/2, Geol. C. Tocchini, Aretusa Costruzioni srl, 2010
- Studio geologico a supporto realizzazione pozzo ad uso domestico via delle Cave loc. Ardenza, Geol. F. Franchi, Sig. A. Macchia, 2009
- Studio geologico di fattibilità a supporto ricostruzione capannone in via Enriques, Geol. A. Rafanelli, Enriques Immobiliare srl, 2007
- Studio geologico a supporto progetto ampliamento edificio residenziale via Chiabrera 21, Geol. L. Michelucci, Sig. Galoppini F., 2009
- Studio geologico a supporto progetto edificio residenziale via Ricci loc. Ardenza, Geol. E. Benvenuti, Sig. S. Esposito, 2013
- Studio geologico a supporto progetto ampliamento edificio commerciale via Filzi 1, Geol. E. Maletta/F. Tucci, LIDL ITALIA srl, 2013
- Studio geologico a supporto progetto edificio residenziale area Nuovo Centro lotto n. 3, Geol. C. Paolotti, COOP Edilizia Le querce, 2012
- Studio geologico a supporto progetto n. 24 appartamenti e relativi garages interrati Via Pompilia 26, Geol. L. Michelucci, Borgo de Medici srl, 2009
- Studio geologico a supporto progetto capannone loc. Vallin Buio, Geol. C. Paolotti, Ciano Trading & C, 2011
- Studio geologico a supporto progetto piscina e garage interrato presso Villa Perti, Geol. A. Liberato, PALMS COMPANY, 2008
- Studio geologico-tecnico di fattibilità a supporto progetto palazzina bifamiliare via del Littorale, loc. Antignano, Geol. A. Rafanelli, Sig. Nedo Neri, 2009
- Indagini di tomografia sismica SH a supporto realizzazione nuovo fabbricato, PE.GA, Geol. A. Ghilardi, Geol. A. Rafanelli, 2009
- Studio geologico-tecnico a supporto progetto fabbricato residenziale via delle Sorgenti, Geol. C. Tocchini, Sig. Raminghi Mlla, 2010
- Studio geologico-tecnico a supporto progetto fabbricato unifamiliare via Falcucci, Geol. M. Melani, Sig. Paoletti R., 2007
- Studio geologico-tecnico a supporto progetto ristrutturazione fabbricato residenziale via Basilicata, Geol. G. Monticelli, Rosarita srl, 2010
- Studio geologico tecnico a supporto progetto civile abitazione Via E. Zola, Geol. L. Michelucci, Sig.ra Claudia della Maggiore, 2009
- Indagine geofisica a supporto progetto civile abitazione via della Valle Benedetta, GeEcho snc, Sig. F. Sargenti, 2013
- Studio geologico-tecnico e ambientale a supporto progetto fabbricato unifamiliare via della Valle Benedetta, Geol. M. Melani, Sig. Sargenti F., 2012

- Studio geologico-tecnico di fattibilità a supporto progetto centro commerciale alimentare area Nuovo centro, Geol. A. Rafanelli, LE NINFEE srl, 2009
- Studio geologico-tecnico a supporto progetto centro commerciale OBI presso area Nuovo centro, Geol. A. Rafanelli, LEVANTE SRL, 2014
- Studio geologico tecnico a supporto progetto garages seminterrati Via Corcos, Geol. L. Michelucci, Britalia srl, 2011
- Studio geologico tecnico a supporto progetto autorimesse Via Poccianti 23, Geol. E. Benvenuti, Il Mattone srl, 2012
- Indagine geofisica in Via Calabria a supporto progettazione edilizia, SismaGeo, 2012
- Studio geologico tecnico a supporto progetto fabbricato via Lombardia, Geol. G. Monticelli, Antares srl, 2012
- Studio geologico-tecnico di fattibilità a supporto sanatoria immobile via di Montenero, Geol. A. Rafanelli, Sig.ra Maria Teresa Luvera, 2012
- Prove Penetrometriche statico/dinamiche in via delle Carmelitane, GAIA Servizi, Geol. L. Michelucci, 2011
- Studio geologico tecnico a supporto progetto villa bifamiliare in via delle Carmelitane, Geol. L. Michelucci, F.lli Bottoni srl, 2013
- Studio geologico tecnico e sismico a supporto progetto edificio residenziale in via delle Carmelitane, Geol. L. Michelucci, F.lli Bottoni srl, 2011
- Studio geologico tecnico e sismico a supporto progetto edifici residenziali in via del Castellaccio, Geol. L. Michelucci, Sig.ra Barbara de Gregori, 2011
- Prove Penetrometriche statico/dinamiche presso le Terme del Corallo, Geoservizi snc, Geol. Leoni, 2007
- Ristrutturazione urbanistica area Terme della Salute, Relazione geologica di fattibilità, Geol. E. Benvenuti, Fondiaria Apparizione srl, 2009
- Studio geologico tecnico e sismico a supporto progetto edifici residenziali in via delle Pianacce, Geol. L. Michelucci, Sig.Vivaldi U., 2013
- Studio geologico tecnico e sismico a supporto progetto 7 edifici residenziali in via di Salviano, Geol. S. Crocetti, MAGA SRL, 2012
- Studio geologico-tecnico a supporto progetto impianto distribuzione carburanti in via Firenze, Geol. A. Rafanelli, Carburanti toscana srl, 2011
- Studio geologico tecnico a supporto progetto villa bifamiliare in via del Pino, Geol. L. Michelucci, Sig. Nieddu G., 2012
- Studio geologico tecnico a supporto progetto ampliamento fabbricato in via delle Carmelitane, Geol. A. Liberato, Sig. A. Tanzini, 2012
- Studio geologico tecnico a supporto progetto locale prefabbricato in via Guarini, Geol. S. Crocetti, Bernini Immobiliare srl, 2013
- Studio geologico tecnico a supporto progetto sostituzione edilizia in via del Fagiano 53, Geol. C. Paolotti, Sig. F. Gori, 2009
- Studio geologico tecnico a supporto progetto deposito agricolo in Via delle Ghiandaie, Geol. A. Liberato, Azienda Agricola Rovelli, 2010
- Studio geologico tecnico a supporto progetto ampliamento cimitero in loc. LA Rosa, Geol. L. Michelucci, Associazione del cimitero di Ardenza, 2000
- Studio geologico tecnico a supporto progetto ampliamento edificio a civile abitazione in via della Valle Benedetta, Geol. C. Paolotti, Studio Arch. Socci V., 2010
- Studio geologico tecnico a supporto progetto edificio bifamiliare in loc. Banditella, ambito 4 lotto 14 P.A. Banditella Nord, Geol. A. Liberato, Sig. L. Pieri, 2013
- Studio geologico tecnico a supporto progetto fabbricati a civile abitazione in loc. Castellaccio, Geol. G. Monticelli, Le Vedute srl, 2010

- Studio geologico tecnico a supporto progetto due villette Via del Crocino 101, Geol. C. Tocchini, Sig. Porciani, 2013
- Studio geologico tecnico a supporto progetto demolizione/ricostruzione fabbricato in Via dell'Angiolo, Geol. E. Benvenuti, Edilproject srl, 2011
- Studio geologico tecnico a supporto progetto villa monofamiliare in Viale di Antignano 101, Geol. L. Michelucci, Sig.ra Fernandez A. F., 2014
- Studio geologico tecnico a supporto progetto sanatoria piscina in Via della Capraia 28, Geol. S.-Crocetti, Sig. L. Mazzoni, 2014
- Studio di fattibilità geologica relativo all'area AMBITO 4 - AREA BANDITELLA NORD, Geol. L. Michelucci, Comune di Livorno, 2002
- Studio geologico tecnico a supporto progetto ampliamento fabbricato in via Filzi 1, Geol. E. Maletta, 2014
- Studio geologico tecnico a supporto progetto ampliamento Hotel "Al teatro" in Via Mayer 42, Geol. G. della Croce, Sig.A Izzo, 2012
- Studio geologico tecnico a supporto progetto opere di urbanizzazione primaria per lo stralcio 3 dell'area "Nuovo centro", Studio Geologico A. Rafanelli, LE NINFEE srl, 2010
- RELAZIONE GEOLOGICA di fattibilità a supporto Variante anticipatrice al Piano Strutturale e Regolamento Urbanistico per l'approvazione del Piano Regolatore del porto di Livorno, Coordinamento Dr. Geol. L. Gonnelli, incaricato Dr. Geol. A Rafanelli, equipe lavoro Dr. M. Danzi, Dr. Geol. A. Tanda, Ing. L. Lazzerini, Dr. A. Ursi, Comune di Livorno, 2013
- Geol. Giorgio della Croce e Arch. A del Corona - Studio dei movimenti franosi presso Santuario di Montenero e monitoraggio topografico delle aree.
- Vari studi e perizie eseguiti per conto della Regione Toscana e del Comune di Livorno a supporto interventi di messa in sicurezza su molteplici aree comunali di Livorno a seguito evento alluvionale eccezionale del settembre 2017.

REGIONE TOSCANA – CONTINUUM TERRITORIALE GEOLOGICO alla scala 1:10000.

Progetto “Geologia e radioattività naturale”; sottoprogetto “Geologia”; anni 2009-2011. Capofila soggetti incaricati: Centro di Geotecnologie dell’Università degli Studi di Siena (**responsabile progetto Dott. Altair Pirro – laboratorio GIS e cartografia digitale**); partners: Dipartimento Scienze della Terra Università degli studi di Pisa, Istituto nazionale di fisica nucleare, Litografia artistica cartografica srl di Firenze, Matraia srl di Lucca. Focus su Provincia di Livorno e Comune di Livorno.

REGIONE TOSCANA – Direzione Generale delle Politiche Territoriali e Ambientali - Servizio Geologico Regionale - CARTOGRAFIA GEOLOGICA E DERIVATE (LITOTECNICA E PERMEABILITÀ) ALLA SCALA 1:10000

Elementi n. 283040 – 283080 – 283120 – 284010 – 284050 – 284060 – 284090 – 284130 – GOR150

Decodifica codici campo “Geomorfo” della banca dati geografica pericolosità PAI

Tabella esplicativa del campo GEOMORFO con riferimenti univoci alla decodifica IFFI (guida IFFI 2.33) e alla classe di pericolosità PAI, sono inoltre esplicitati i riferimenti utili alle specifiche tecniche della Banca dati Geomorfologica delle Regione Toscana - BDGeomRT (v 1.2 del marzo 2017 – DD 4505/17)

Codice GEOMORFO PAI	Codice IFFI (Tipologia + Stato attività)	Descrizione	Note esplicative	Codice BDGeomRT (Movimento + Stato)	Classe PAI
S1	2 + 300	Frane di scivolamento e colata lenta - inattive stabilizzate	Frane con movimento di velocità < 0,05 cm/s = 3 cm/min. Classe di velocità IFFI: lenta, molto lenta ed estremamente lenta. Intervallo di velocità da ca 50 m/giorno al limite dell'errore strumentale (convenzionalmente ca 2 mm/anno).	B + 2000 C1 + 2000	PF2
S1n	2 + 301	Frane di scivolamento e colata lenta - inattive stabilizzate naturalmente			PF2
S1a	2+ 302	Frane di scivolamento e colata lenta - inattive stabilizzate artificialmente			PF2

Codice GEOMORF O PAI	Codice IFFI (Tipologia + Stato attività)	Descrizione	Note esplicative	Codice BDGeomRT (Movimento + Stato)	Classe PAI
S2	2 + 200	Frane di scivolamento e colata lenta - inattive potenzialmente instabili (quiescenti)	Sono assimilabili ad S2 anche tipi S1A e S1 con associate evidenze di potenziale instabilità (reticolo in approfondimento, contiguità con forme attive, pendenza elevata, condizioni gravose per la durabilità delle opere).	B + 4000 C1 + 4000	PF3
S3	2 + 100	Frane di scivolamento e colata lenta - attive		B + 1000 C1 + 1000	PF4
C1	1 + 300	Frane di crollo e ribaltamento - inattive stabilizzate		E + 2000 D + 2000	PF2
C1n	1 + 301	Frane di crollo e ribaltamento - inattive stabilizzate naturalmente			PF2
C1a	1 + 302	Frane di crollo e ribaltamento - inattive stabilizzate artificialmente			PF2

Codice GEOMORF O PAI	Codice IFFI (Tipologia + Stato attività)	Descrizione	Note esplicative	Codice BDGeomRT (Movimento + Stato)	Classe PAI
C2	1 + 200	Frane di crollo e ribaltamento - inattive potenzialmente instabili (quiescenti)		E + 4000 D + 4000	PF3
C3	1 + 100	Frane di crollo e ribaltamento - attive		E + 1000 D + 1000	PF4
R1	5 + 300	Frane di colata rapida - inattive stabilizzate	Frane con movimento di velocità > 0,05 cm/s = 3 cm/min. Classe di velocità IFFI: rapida, molto rapida ed estremamente rapida. Intervallo di velocità da oltre 50 m/giorno.	C2 + 2000	PF2
R1n	5 + 301	Frane di colata rapida - inattive stabilizzate naturalmente			PF2
R1a	5 + 302	Frane di colata rapida - inattive stabilizzate artificialmente			PF2
R2	5 + 200	Frane di colata rapida - inattive potenzialmente instabili (quiescenti)		C2 + 4000	PF3
R3	5 + 100	Frane di colata rapida - attive		C2 + 1000	PF4

Codice GEOMORF O PAI	Codice IFFI (Tipologia + Stato attività)	Descrizione	Note esplicative	Codice BDGeomRT (Movimento + Stato)	Classe PAI
F o FD	11 + 100	Franosità diffusa attiva	Generalmente riferibile a gruppi di frane attive (delle diverse tipologie sopra indicate) non cartografabili singolarmente, aree franose attive poco profonde in cui non è ricostruibile chiaramente la geometria, frane superficiali attive facilmente obliterate dalle lavorazioni, aree ad intensa erosione con locali fenomeni di colamento o scivolamento attivi (ad esempio aree calanchive attive, scarpate 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. Sono assimilate a questa categoria anche le aree in dissesto associate a scarpate morfologiche caratterizzate da processi geomorfologici gravitativi o erosivi diffusi e ricorrenti.	1053 2110 2120	PF4
DS	11+200	Deformazioni superficiali o franosità diffusa inattiva quiescente	Generalmente riferibili a deformazioni superficiali con caratteristiche plastiche (soliflussi, soilcreep) o combinati con altri stili geomeccanici (crolli, deformazioni di taglio superficiali) in cui si abbia comunque un'evoluzione lenta o lentissima o con ricorrenza superiore a 10-20 anni. In coerenza con i criteri IFFI sono sinonimi di aree a franosità diffusa inattive potenzialmente instabili a velocità bassissime o nulle. Nella pratica operativa si ha un passaggio graduale tra franosità diffusa e le deformazioni superficiali al diminuire della densità delle forme, della velocità evolutiva, della ricorrenza dei fenomeni e con la progressiva obliterazione delle forme.	1055	PF3
25K	ND	Altri processi geomorfologici di versante	Aree identificate al livello di sintesi del PAI (scala 1:25.000). Categoria residuale che comprende anche le aree a forte erosione e le forme carsiche con possibili instabilità gravitative. Nella pratica operativa si tende ad utilizzare questa voce il meno possibile, ricorrendo alle voci elencate sopra con particolare riferimento alla categoria delle deformazioni superficiali.		PF3

Le tipologie IFFI Deformazioni “Gravitativa Profonde di Versante” (DGPV) e “frane complesse” non sono previste dall'IFFI per il bacino del fiume Arno, per le frane complesse vale la tipologia prevalente di movimento.

Dettaglio riconoscimento stato attività

Codice IFFI	Suffisso PAI	Stato	Criteri Dizionario internazionale.	Criterio IFFI Arno - PAI
100	3	Attivo (attivo – riattivato - sospeso)	Frana attualmente attiva o riattivata o frana che si è mossa nell'ultimo ciclo stagionale, frane ad attività intermitente.	Movimenti attivi o recenti con ricorrenza pluriennale o pluridecennale. Evidenze morfologiche o evidenze testimoniali su manufatti che indicano condizioni di attività attuale o recente (rottture di pendio associate a contropendenze, versanti ondulati con lunghezza d'onda breve rispetto alla lunghezza del versante, versanti concavo-convessi, disordine nel reticolo di drenaggio, superfici di rottura, accumuli di materiale, lesione sui manufatti, deformazioni su strutture di contenimento, inclinazione pali o alberature, etc.) anche in assenza di dati oggettivi (letture strumentali, documentazione o testimonianze accertate); letture strumentali, documentazione o testimonianze accertate riferite ad eventi a partire dal 1991-1992 (anni di riferimento per inizio acquisizione dati interferometrici satellitari ed anni di eventi meteo significativi). Facendo riferimento ai criteri della Banca dati Geomorfologica delle Regione Toscana (v 1.2 del marzo 2017) si possono individuare forme attive di I e II livello.
200	2	inattivo potenzialmente instabile (quiescente)	Frana per cui persistono le condizioni geomorfologiche o climatiche che ne hanno determinato l'innescio	Movimenti che non rientrano nei criteri dello stato “attivo” ovvero movimenti non recenti o antichi attualmente inattivi (< 2 mm/anno), sicuramente anteriori al 1991-1992, per cui non è possibile escludere la riattivazione anche con ricorrenze pluridecennali. Sono normalmente presenti indizi di movimento avvenuto in tempi non recenti e le morfologie relative al movimento (es. corona di frana, contropendenze, gradini) sono di solito riconoscibili pur se rimodellate ad opera di agenti naturali o antropici. 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. Fatto salvo quanto specificato per le frane attive. Rientrano tra le quiescenti in ogni caso le frane avvenute (o anche parzialmente riattivate) nell'arco temporale successivo alle prime immagini da remoto disponibili (dal 1955 circa) e per le quali è possibile verificarne l'attività (o presupporla su evidenze geomorfologiche) indicativamente negli ultimi 60-70 anni. Facendo riferimento ai criteri della Banca dati Geomorfologica delle Regione Toscana (v 1.2 del marzo 2017) si possono individuare forme quiescenti di I e II livello.
300	1	inattivo stabilizzato	Frana per cui non sono più presenti le condizioni geomorfologiche o climatiche che ne hanno determinato l'innescio	Movimenti che non rientrano nei criteri dello stato “quiescente” ovvero forme che non possono riattivarsi nell'attuale sistema morfodinamico e morfoclimatico e si sono comunque sviluppate in contesti geomorfologici non più relazionabili ai versanti attuali. Si tratta di una categoria residuale riferibile a forme quasi completamente obliterate o smantellate (relitte) e dall'energia potenziale nulla o trascurabile.

Aggiornamento: 4 gennaio 2018

Autore : Lorenzo Sulli