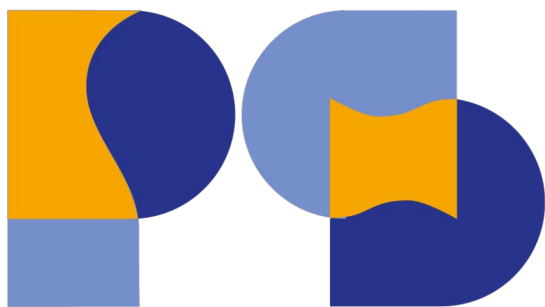




Viareggio
Piano Strutturale
La città del cambiamento

Piano Strutturale 2025

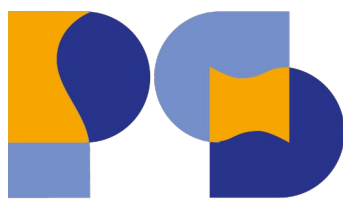
Art. 19 L.R. 65/2014

QG1 - RELAZIONE GEOLOGICA

Integrazione Deposito Genio Civile



2026



Viareggio
Piano Strutturale
La città del cambiamento

Piano Strutturale

Legge Regionale n. 65/2014



Comune di Viareggio

Sindaco

Giorgio Del Ghingaro

Assessore alle Politiche Urbanistiche

Marinella Spagnoli

Dirigente Settore 4 Pianificazione Urbanistica e Edilizia Privata - R.P.

Arch. Silvia Fontani

Garante dell'Informazione e della Partecipazione

Dott.ssa Iva Pagni

Ufficio Pianificazione Urbanistica e Edilizia Privata

Arch. Claudia Fruzza

Ing. Giulia Bernardini

Pianificatore Territoriale Ilaria Conti

Pianificatore Territoriale Lorenzo Spadaccini

Ornella Angeli

Veronica Alibani

Gruppo di Lavoro

Progettazione urbanistica:

STEFANO BOERI ARCHITETTI SRL

Arch. Stefano Boeri

Arch. Corrado Longa

Arch. Laura Di Donfrancesco

Pian. Urb. Yazan Kondakji



Aspetti ecosistemici e agroforestali:

SOCIETÀ ENVIAREA SNC

Agr. Elena Lanzi

Agr. Andrea Vatteroni



Aspetti idraulici:

STA ENGINEERING SRL

Ing. Jacopo Taccini



Aspetti geologici:

SOC. GEOPROGETTI STUDIO ASSOCIATO

Dott. Geol. Emilio Pistilli



Aspetti botanici e vegetazionali

Dott. Paolo Emilio Tomei

Partecipazione:

ATELIER PROGETTUALE PRINCIPI ATTIVI SRL

Dott.sa in arch. Monia Guarino



Aspetti socio-economici:

SIMURG RICERCHE SNC

Dott. Claudio Salvucci



Aspetti storico-identitari:

Arch. Andrea Crudeli

Aspetti archeologici:

Dott.ssa Elisabetta Abela

Valutazione ambientale strategica:

SOCIETÀ ENVIAREA SNC

Agr. Elena Lanzi

e Arch. Annalisa Pirrello



INDICE

1 INTRODUZIONE.....	8
1.1 Premessa.....	9
1.2 Metodologia di indagine.....	11
1.3 Elaborati grafici ed allegati.....	13
2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	15
3 CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA TAVOLA Q.G 1.1.....	17
3.1 Assetto geologico e tettonico.....	18
3.1.1 Descrizione della struttura del "Substrato Profondo".....	18
3.1.2 Apertura del bacino di Viareggio e sedimentazione del "Substrato Intermedio".....	19
3.1.3 Descrizione della struttura del "Substrato Superiore".....	22
3.2 Stratigrafia.....	24
3.2.1 Depositi quaternari e attuali.....	24
3.3 Geomorfologia.....	25
3.3.1 Aree in subsidenza.....	26
3.3.2 Riporti.....	27
3.3.3 Ex Discariche.....	27
3.3.4 Argini fluviali.....	27
3.3.5 Laghi.....	28
3.3.6 Franosità diffusa e franosità superficiale attiva FD3.....	28
4 CARTA DELLA VARIAZIONE DELLA LINEA DI COSTA Q.G 1.2.....	29
5 CARTA IDROGEOLOGICA E DELLE ISOCONDUTTIVE – TAVOLA Q.G 1.3.1 E TAVOLA Q.G 1.3.2; CARTA DELLE PROBLEMATICHE IDROGEOLOGICHE – TAVOLA Q.G 1.3.3	32
5.1 Studio dei caratteri idrogeologici dell'area.....	33
5.1.1 Pozzi.....	33
5.1.2 Piezometri.....	34
5.1.3 Punti di misura della conducibilità delle acque superficiali e profonde....	35
5.1.4 Aree ad intrusione salina come cartografate nel progetto PAI "Piano di Gestione delle Acque".....	44
6 CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA – TAVOLA Q.G 1.4.....	45
7 CARTA DELLE INDAGINI E DEI DATI DI BASE – TAVOLA Q.G 1.5.1, TAVOLA Q.G 1.5.2 E TAVOLA Q.G 1.5.3.....	48
8 CARTA GEOLOGICO TECNICA – TAVOLA Q.G 1.6.....	51
9 CARTA DELLE SEZIONI GEOLOGICO TECNICHE – TAVOLA Q.G 1.7.....	54
10 CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEI DEPOSITI – TAVOLA Q.G 1.8.....	56
11 CARTA DELL'INDICE POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE – TAVOLA Q.G 1.9.....	58
11.1 Verifiche a liquefazione.....	60
11.1.1 Metodo di Robertson & Wride (1998).....	61
11.1.2 Metodo di Robertson & Wride modificato.....	62
11.1.3 Metodo di Idriss & Boulanger (2008).....	64
11.1.4 Metodo di Idriss & Boulanger (2014).....	66
11.1.5 Dati di input delle verifiche a liquefazione.....	69

11.1.6 Risultati delle verifiche a liquefazione e considerazioni finali.....	70
12 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)	
E DELLE COLONNE MOPS – TAVOLA Q.G 1.10.....	72
12.1 Zone stabili suscettibili di amplificazione.....	74
13 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO – TAVOLA Q.G	
1.11, TAVOLA Q.G 1.12 E TAVOLA Q.G 1.13.....	78
14 CARTA DELLA PERICOLOISTA' SISMICA – TAVOLA Q.G 1.4.....	81
15 SALVAGUARDIE DEL TERRITORIO.....	84
15.1 Aspetti geologici.....	85
15.2 Aspetti sismici.....	87
15.3 Aspetti idraulici.....	88
15.4 Aspetti idrogeologici.....	89
15.5 Invarianza idraulica.....	89
15.6 Fognature.....	90
15.7 Vulnerabilità dell'acquifero a fenomeni di intrusione salina.....	90
15.8 Pozzi.....	91
15.9 Viabilità.....	92
15.10 Reticolo idrografico minore.....	92
15.11 Costruzioni interrato sotto falda.....	93

1

INTRODUZIONE

1.1 Premessa

La presente relazione riferisce gli esiti delle indagini geologiche redatte a supporto del Piano Strutturale per il Comune di Viareggio.

Il quadro conoscitivo degli strumenti urbanistici vigenti è rappresentato da:

- Piano Strutturale, redatto ai sensi della L.R.T. n.5 del 16 gennaio 1995, approvato con Delibera di Consiglio Comunale n.27 del 29 giugno 2004 e pubblicato in data 11 agosto 2004 sul B.U.R.T. n.32;
- Regolamento Urbanistico, redatto ai sensi della L.R.T. 65 del 10 novembre 2014, approvato con Delibera di Consiglio Comunale n.52 del 4 novembre 2019 e pubblicato in data 18 dicembre 2019 sul B.U.R.T. n.51.

Il presente studio è stato condotto in ottemperanza del Decreto del Presidente della Giunta Regionale 30/01/2020 n.5/R “Regolamento di attuazione dell’articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche”, e dei dei Piani, di gestione del rischio alluvioni (PGRA), di gestione delle acque (PGA), e di assetto idrogeologico (PAI) dell'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Gli approfondimenti relativi agli aspetti idraulici sono stati condotti dall'Ing. Jacopo Taccini, il quale ha verificato le portate di alcuni corsi d'acqua inseriti nel reticolo di riferimento della Regione Toscana e le aree potenzialmente interessate da esondazioni; da quest'ultimo aspetto discendono le carte di pericolosità idraulica rappresentate negli elaborati dello studio idrologico – idraulico.

Rispetto alla consegna effettuata per la fase di adozione, la presente relazione ed alcune cartografie sono stati modificate in accoglimento delle osservazioni formulate dall'Ufficio del Genio Civile e dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, inserendo anche alcune piccole migliorie per facilitare la lettura degli elaborati cartografici .

In particolare,

La Tavola QG 1.1-Carta Geologica e geomorfologica, è stata modificata per inserire alcune aree definite a franosità diffusa attiva (classe FD3) inserite nel PAI, relative alle sponde degli invasi idrici delle ex cave di sabbia.

La Tavola QG 1.4-Carta della Pericolosità geologica, è stata modificata per: inserire le perimetrazioni a pericolosità molto elevata G4 derivanti dal PAI (classe Fd3 della Tavola QG 1.1);

estendere la classe G3 (in accoglimento del punto 4 dell'osservazione del Genio Civile) alla formazione delle sabbie di spiaggia attuale "s" (di cui alla Tavola QG 1.1), che rappresentano le sabbie di più recente formazione per le quali non è da escludere la possibilità di locali cedimenti.

La Tavola QG1.6-Carta Geologico Tecnica, è stata modificata per:
modificare il colore della campitura delle SPsp, e renderle distinguibili dalle SPcl;
inserire le perimetrazioni delle aree a franosità diffusa attiva (classe FD3) di cui alla Tavola QG 1.1.

La Tavola QG1.9-Carta della classificazione dell'indice del Potenziale di Liquefazione, è stata modificata:
inserendo oltre all'isolinea già presente per $5 < IPL \leq 15$, le isolinee $0 < IPL \leq 2$ e $5 < IPL \leq 15$, individuando con campiture a retino pieno i relativi areali.

La Tavola QG1.10-Carta delle MOPS, è stata modificata per:
inserire specifiche campiture per le zone di attenzione per cedimenti differenziali ZACD;
inserire le Zone di Attenzione per Instabilità di Versante ZAFR derivate dalle aree definite a franosità diffusa attiva (classe FD3) inserite nel PAI di cui alla Tavola QG 1.1
eliminato le perimetrazioni delle ZSIq (che a rigore di normativa non possono apparire nella carta MOPS di primo livello), fondendole con le ZAIq.

Le Tavole QG1.11-Carta di Microzonazione Sismica FA 0.1 – 0.5, QG1.12-Carta di Microzonazione Sismica FA 0.4 – 0.8, QG1.13- Carta di Microzonazione Sismica FA 0.7 – 1.1, sono state modificate per:
inserire la perimetrazione delle Zone di attenzione per liquefazione, ZALQ, di cui alla Tavola QG1.10;
inserire specifiche campiture per le Zone di attenzione per cedimenti differenziali, ZACD, di cui alla Tavola QG1.10;
inserire la Zona di Attenzione per sovrapposizione di Instabilità differenti ZAID

La Tavola QG1.14-Carta della Pericolosità sismica è stata modificate per:
inserire le perimetrazioni delle aree a franosità diffusa attiva (classe FD3) di cui alla Tavola QG 1.1., e classificarle in S4;
inserire un retinato per distinguere gli areali a differente indice di potenziale liquefazione,
inserire un retinato per distinguere la Classe S3 se dovuta a possibili cedimenti e/o a fenomeni di liquefazione dinamica.

1.2 Metodologia di indagine

Lo studio del territorio comunale è stato condotto approfondendo il quadro delle conoscenze più recenti già disponibili, rappresentate dalle indagini geologico-tecniche di supporto al Regolamento Urbanistico approvato con D.C.C. n.52 del 4/11/2019, redatto ai sensi del D.P.G.R. 25/10/2011, n.53/R.

Per la caratterizzazione litotecnica dello spessore di terreno significativo ai fini della pianificazione urbanistica, i dati già a disposizione sono stati integrati con quelli estratti da indagini di supporto ad interventi edilizi specifici, reperiti presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale, da quelli forniti dal settore sismica della Regione Toscana derivati dal portale PORTOS e da alcune stratigrafie estratte dalla Tesi del Geol. Roberto Mattei "Analisi dei depositi tardo quaternari del bacino di Viareggio" (Dipartimento di scienze della Terra dell'Università di Pisa, 2008).

Il quadro conoscitivo e normativo di strumenti sovraordinati è invece rappresentato da:

- Cartografie e norme del Piano di Gestione delle Acque (PGA), con particolare riferimento agli aspetti legati al fenomeno di salinizzazione
- Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), per gli aspetti idraulici
- Progetto di PAI, con particolare riferimento alle aree in subsidenza

Ulteriori dati che sono stati consultati per la redazione degli studi derivano da:

- Database geologico del Continuum regionale;
- Database ISPRA per pozzi e sondaggi profondi
- Geoportale Nazionale
- Mappatura radar satellitare della Regione Toscana

Relativamente agli aspetti sismici, il comune di Viareggio è dotato di studi di microzonazione sismica di primo livello, redatti nel 2018 ed allegati al Regolamento Urbanistico.

In conseguenza dell'acquisizione di una notevole mole di nuovi dati, sia geotecnici che sismici, abbiamo ritenuto opportuno rivedere ed aggiornare tali studi, redigendo inoltre, come richiesto dalla normativa, lo studio di microzonazione di secondo livello, con la restituzione delle cartografie dei fattori di amplificazione sismica per i diversi periodi di riferimento.

A supporto degli studi, sono state inoltre eseguite verifiche di suscettibilità alla liquefazione su un considerevole numero di indagini CPT a disposizione, distribuite sull'intero territorio comunale. Le analisi sono state condotte prendendo a riferimento lo

studio redatto nel 2018 dalla Regione Toscana e dal Dipartimento di Ingegneria Civile di Pisa (Progetto regionale per la verifica della suscettibilità a liquefazione dei terreni nell'area della Provincia di Lucca e Pisa – subprogetto VERSILIA - Lo Presti C. F. D. & Tognotti L., 2018).

Sulla base dei nuovi studi eseguiti è stata quindi redatta la carta di pericolosità sismica.

1.3 Elaborati grafici ed allegati

Tutte le carte tematiche di base sono state elaborate alla scala del massimo dettaglio disponibile, utilizzando per la digitalizzazione la CTR in scala 1:2.000, le ortofoto messe a disposizione sul sito della Regione Toscana e la morfologia derivata dall'elaborazione dei dati LIDAR.

Le cartografie sono state restituite in scala 1:10.000 o 1:5.000 utilizzando la base cartografica fornita dagli uffici tecnici comunali.

L'elenco degli elaborati prodotti è riportato nella seguente tabella:

Tabella 1.1: Elenco elaborati

	Titolo	Scala
QG1.1	Carta Geologica e Geomorfologica	1:10.000
QG1.2	Carta della variazione della linea di costa	1:10.000
QG1.3.1	Carta Idrogeologica e delle isoconduttive (dicembre 2023)	1:10.000
QG1.3.2	Carta Idrogeologica e delle isoconduttive (aprile 2024)	1:10.000
QG1.3.3	Carta delle problematiche idrogeologiche	1:10.000
QG1.4	Carta della Pericolosità geologica	1:10.000
QG1.5.1	Carta delle Indagini e dei Dati di Base Nord	1:5.000
QG1.5.2	Carta delle Indagini e dei Dati di Base Sud-Est	1:5.000
QG1.5.3	Carta delle Indagini e dei Dati di Base Sud-Ovest	1:5.000
QG1.6	Carta Geologico Tecnica	1:10.000
QG1.7	Carta delle Sezioni Geologico Tecniche	1:1.000
QG1.8	Carta delle Frequenze fondamentali dei depositi	1:10.000
QG1.9	Carta della classificazione dell'indice del Potenziale di Liquefazione	1:10.000
QG1.10	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) e delle colonne MOPS	1:10.000
QG1.11	Carta di Microzonazione Sismica – FA 0.1-0.5	1:10.000
QG1.12	Carta di Microzonazione Sismica – FA 0.4-0.8	1:10.000
QG1.13	Carta di Microzonazione Sismica – FA 0.7-1.1	1:10.000
QG1.14	Carta della Pericolosità sismica locale	1:10.000

I tabulati delle indagini e dei dati di base a disposizione per il territorio sono racchiusi negli allegati contenuti nella cartella "Banca Dati".

Si precisa che la numerazione delle singole indagini ubicate nelle tavole QG1.5, "Carta delle indagini e dei dati di base" rispetta le indicazioni degli Standard di rappresentazione di Microzonazione Sismica e non sempre è possibile risalire direttamente al report dell'indagine dal solo numero indicato nella carta.

Per tale motivo, in Appendice alla presente relazione, sono state inserite due tabelle di correlazione, una per le indagini puntuali e una per le indagini lineari, nelle quali alla sigla indicata in carta viene associato un campo in cui è riportato il nome del relativo documento allegato contenuto nella cartella "QG 1.5 Cartella Indagini".

Per le indagini inserite in uno stesso documento, sono elencate il nome del documento di riferimento e la relativa pagina, in modo da risalire ai report delle indagini.

2

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il comune di Viareggio è situato nella porzione nord-occidentale della Regione Toscana e rientra nella Provincia di Lucca. Il territorio comunale è interamente contenuto nel quadrante 104 (Pisa) della carta 1:100.000.

Nella cartografia tecnica regionale l'area del comune di Viareggio è ricompresa nei fogli in scala 1:10.000 di seguito elencati:

260110, 260120;260150;260160

Il territorio comunale ha un'estensione pari a circa 33 km², con sviluppo sub-parallelo alla linea di costa, e delimitato a Nord dal Fiume Camaio, che segna il confine con l'omonimo comune, e a Sud dal Canale Bufalina che segna il confine con il comune di Vecchiano. Oltre i due suddetti corsi d'acqua, il sistema idrografico principale è rappresentato dal Canale Burlamacca che mette in connessione il mare con il Lago di Massaciuccoli.

All'interno del territorio è presente una rete di fossi e corsi idrografici secondari che in passato servivano sia per la regimazione delle acque del lago e delle paludi, che per la rete di trasporto merci. Con lo sviluppo della città, i canali sono stati progressivamente urbanizzati, mentre lo sviluppo della rete stradale e la chiusura di molte attività, hanno determinato la fine del loro utilizzo come vie d'acqua.

In prima approssimazione la morfologia del comune è pianeggiante. Tuttavia analizzandola attraverso il dettaglio consentito dei dati LIDAR emerge come la porzione centrale del territorio comunale si trovi a quote leggermente maggiori rispetto alle aree circostanti, e comprese tra 2 ed 3 m s.l.m.; le zone prossime al Lago di Massaciuccoli raggiungono minimi fino a - 3 m s.l.m. (Di Grazia et al., 2009), mentre le zone lungo il litorale costiero sono poste a quote massime di circa 1 e 2 m s.l.m.

Inoltre nella zona del parco, pressoché inalterata ed esente da alcuna modifica antropica, la morfologia si caratterizza per un sistema di depressioni allungate parallelamente alla costa, alternate a piccoli alti morfologici, nei quali si è stabilita una fitta e variegata vegetazione che ricopre quasi totalmente questo paesaggio retrodunale.

3

CARTA GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA – TAVOLA Q.G 1.1

Lo studio geologico è stato impostato partendo dall'esame dei lavori già condotti sul territorio comunale, tra i quali, oltre all'indagine geologico-tecnica svolta a supporto del vigente R.U, citiamo:

- Continuum della Carta Geologica Regionale
- Carta Geologica derivante dal Progetto di Piano di Bacino Stralcio "Bilancio idrico del bacino del lago di Massaciuccoli" redatta dall'Autorità di Bacino del Fiume Serchio, alla scala 1:25.000.
- Analisi dei depositi tardo quaternari del bacino di Viareggio derivanti dallo studio inedito di una Tesi di II° livello, redatta da Roberto Mattei (Dipartimento di scienze della Terra dell'Università di Pisa, 2008).

Inoltre, hanno permesso di aggiungere ulteriori dettagli rispetto al quadro delle conoscenze le indagini puntuali ed i sopralluoghi eseguiti a supporto del presente studio.

3.1 Assetto geologico e tettonico

Il comune di Viareggio è ubicato all'interno di una zona pianeggiante compresa nel bacino ricompreso fra i Monti Pisani a NE, le secche della Meloria-Maestra a SW e "La Gronda dei Lupi" a SE. A scala regionale il bacino è orientato in prevalenza NW-SE ed ha un'estensione di circa 40 km di larghezza e 85 km di lunghezza.

Nello specifico, il territorio comunale rientra nella porzione di pianura definita in letteratura come "piana Versiliese", distinta da un punto di vista stratigrafico generale, in 3 macrounità (Della Rocca et al., 1987; Mazzanti, 1994; Mazzanti, 2000) così riassumibili:

1. "*Substrato profondo*", descritto come l'insieme degli ammassi rocciosi pretortoniani costituenti l'edificio appenninico (Unità Toscane, Unità Liguri etc.) ed il basamento sul quale si sono depositi successivamente i sedimenti neogenici.
2. "*Substrato intermedio*", che comprende i sedimenti "neoautoctoni" sin e post-tortoniani depositi nelle fosse tettoniche in apertura sul margine occidentale della catena appenninica.
3. "*Substrato superiore*" formato da depositi posteriori al Pleistocene inferiore la cui deposizione è stata fortemente influenzata dalle variazioni glacioeustatiche-climatiche tardo quaternarie e dagli apporti terrigeni da parte dei corsi d'acqua.

3.1.1 Descrizione della struttura del "Substrato Profondo"

Il "Substrato Profondo" costituisce l'ossatura dell'Appennino e delle Alpi Apuane, ma rappresenta anche il basamento dei depositi "neoautoctoni" (Tortoniano superiore-

attuale). La messa in posto del substrato profondo è stata controllata da fenomeni a grande scala riconducibili ai rapporti geodinamici intercorsi tra la placca europea e quella eurasiatica. La tettonica riguardante questo aspetto è stata caratterizzata (Oligocene inf.) dal progressivo ingresso nella catena appenninica di diversi domini paleogeografici, dai più occidentali ai più orientali. Partendo dalle aree più occidentali si possono riconoscere cinque domini principali, tre oceanici (Liguridi interne; Liguridi Esterne e Supergruppo della Calvana) e due continentali (Dominio Toscano e Dominio Umbro-Romagnolo).

Nel Cretaceo sup.-Eocene è avvenuto lo sradicamento delle Unità Liguri dal loro substrato oceanico ed il loro impilamento su se stesse, con conseguente formazione del cuneo di accrezione appenninico. Nel Miocene medio-sup. la Falda Toscana (Dominio Toscano interno) è sovrascorsa al di sopra della più esterna Unità Cervarola-Falterona; successivamente le Unità Liguri si sono messe in posto prima sopra la Falda Toscana e poi sopra l'Unità Cervarola-Falterona. L'impilamento delle varie falde è avvenuto con strutture a *duplex* (Patacca et al., 1990; Cerrina Ferroni et al., 2004).

Il fenomeno geodinamico responsabile di questi movimenti, unito alla scarsa componente di convergenza delle placche africana ed europea lungo una direzione ortogonale rispetto alla catena appenninica, ha generato la progressiva apertura da ovest verso est di una serie di depressioni tettoniche (tipo *graben* o *half graben* di piccole dimensioni a direzione appenninica) che caratterizzano la morfologia del fondale Tirrenico e la struttura del "Substrato Profondo".

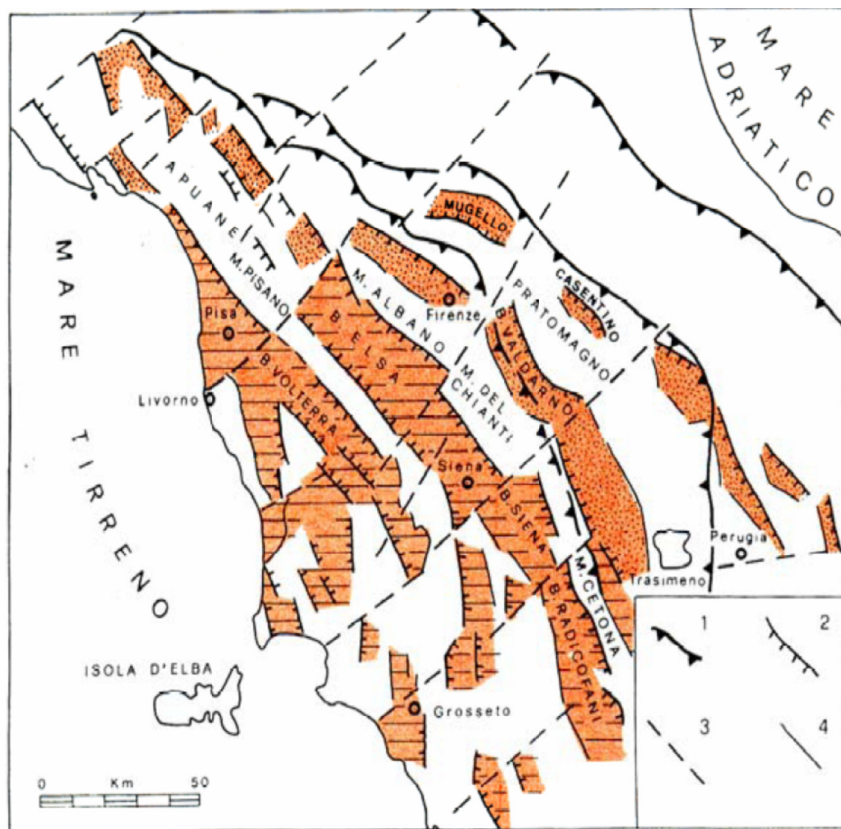
3.1.2 Apertura del bacino di Viareggio e sedimentazione del "Substrato Intermedio"

Le depressioni tettoniche accennate nel precedente paragrafo sono le strutture dalle quali derivano i bacini neogenici toscani, come quello di Viareggio. Questi bacini sono stati analizzati da indagini sismiche (Bortolotti, 1992) che hanno permesso di rilevarne la struttura tettonica: dai risultati emersi in base allo studio citato è emerso come sia presente una struttura formata da una serie di faglie listriche a gradinata che immergono sia verso ovest che verso est, e che in profondità spesso convergono in un'unica faglia basale (fig. 3.1).

Il diverso andamento delle varie famiglie è responsabile della formazione delle strutture di faglie ad *horst & graben*, che possono raggiungere rigetti fino ad alcune centinaia di metri.

Il *graben* che forma il bacino di Viareggio inizia ad aprirsi nel Tortoniano sup., seguito poi dai *graben* di Firenze-Pistoia, Mugello, Casentino, Val di Chiana e Val Tiberina.

Figura 3.1: Distribuzione dei principali bacini neogenici e quaternari dell'Appennino settentrionale (da Bortolotti, 1992)



All'interno dei gradini derivati dalla struttura a *graben* o *half graben* si sono accumulati sedimenti marini e continentali; questi ultimi derivano dallo smantellamento degli ammassi rocciosi delle Unità di Massa e della Falda Toscana.

Il bacino di Viareggio è stato più volte esaminato attraverso prospezioni sismiche a riflessione (Mariani & Prato, 1988)(fig. 3.2) grazie alle quali sono stati riconosciuti 3 strati di sedimenti Neogenici-Quaternari appoggiati sul basamento Ligure e Toscano.

Pascucci (2005) propone una suddivisione del bacino di Viareggio in due parti:

- la prima parte (fig. 3.3) ubicata a sud dell'Arno, larga 20 km e lunga 25 km, contiene una successione completa di 2.600 m di spessore di depositi di età compresa fra il Messiniano e l'attuale. Questi depositi sono limitati da una faglia listrica principale immergente verso ovest ed una serie di faglie a gradinata immergenti verso est;
- la seconda parte (fig. 3.4) riguarda la zona del bacino di Viareggio a nord dell'Arno, limitata verso est da un sistema di faglie sintetiche SW immergenti e verso ovest da faglie a minor inclinazione NE immergenti.

Figura 3.2: Tracce delle sezioni realizzate da Pascucci (modificata da Pascucci, 2005). I profili delle sezioni sono nelle figure 3.3 e 3.4.

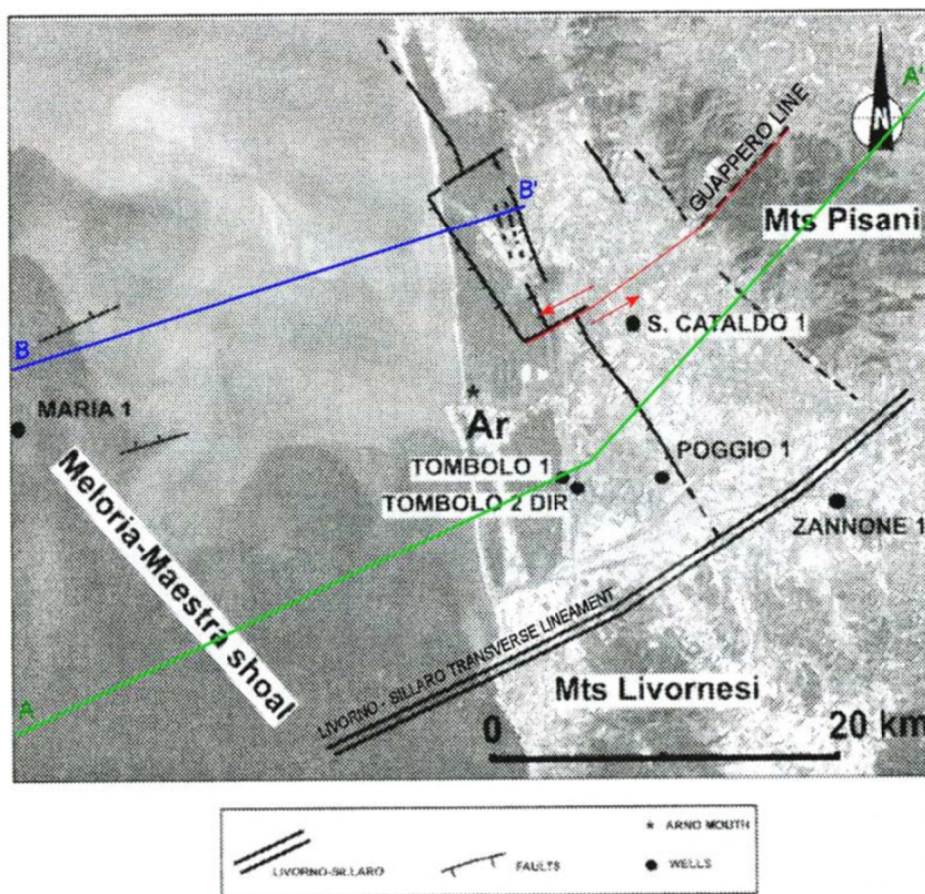


Figura 3.3: Traccia Sez. A-A'

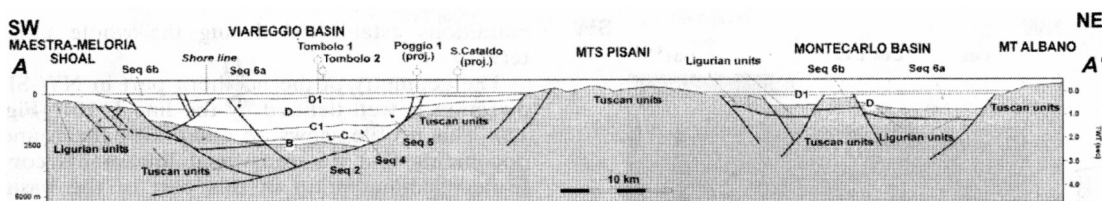
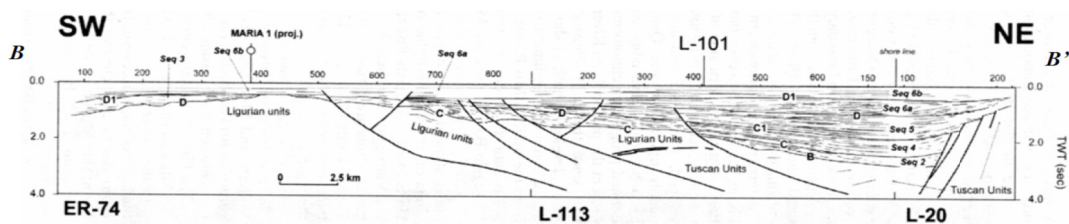
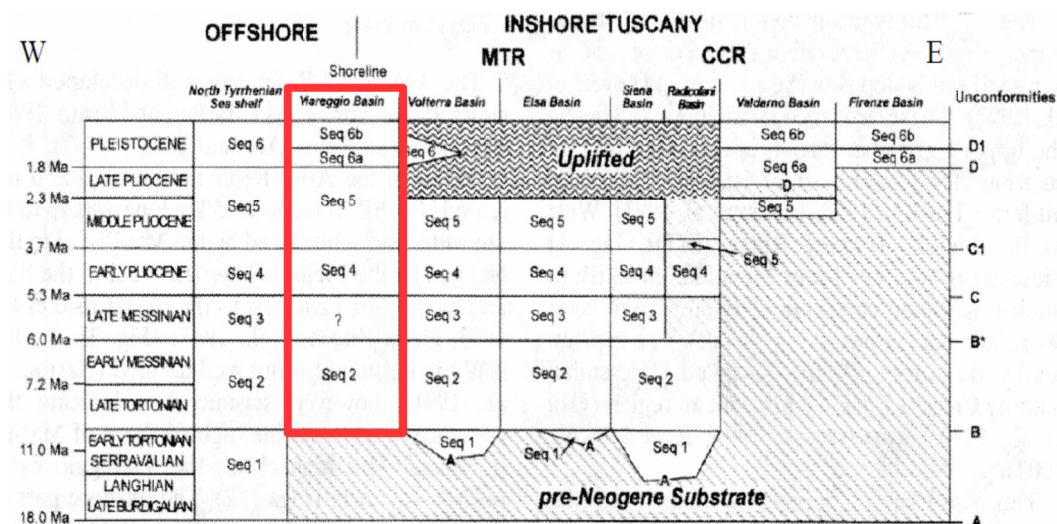


Figura 3.4: Traccia Sez. B-B'



La sequenza stratigrafica del bacino di Viareggio nella zona di massimo sviluppo è visibile nel riquadro rosso evidenziato in fig. 3.5. Partendo dal basso verso l'alto, la colonna stratigrafica è caratterizzata da un primo spessore di circa 300 m di sabbie ed argille di mare basso, attribuite al Messiniano inf. (Seq. 2)(Mariana & Prato, 1988; Pascucci, 2005), al di sopra del quale si inserisce un livello formato da sedimenti argillosi di ambiente neritico con intercalazioni sabbiose; in questo caso lo spessore è stimato in circa 1.500 m (Seq. 4 e 5)(Pascucci, 2005). Continuando verso l'alto, è presente un livello spesso circa 600 m formato da sedimenti quaternari, associabili ad un'alternanza di sabbie e argille di ambiente marino poco profondo (Seq. 6a). Infine, al tetto di questa successione quaternaria si trovano ghiaie ed argille torbose, per uno spessore di circa 40 metri (Seq. 6b).

Figura 3.5: Sequenze stratigrafiche presenti nei graben toscani identificati tramite indagini sismiche (da Pascucci, 2005). In rosso si evidenzia la successione stratigrafica del bacino di Viareggio.



3.1.3 Descrizione della struttura del "Substrato Superiore"

La deposizione dei sedimenti all'interno del "Substrato Superiore" è stata fortemente influenzata dalle oscillazioni eustatico-climatiche responsabili delle fasi trasgressive-regressive tardo quaternarie (Fancelli et al., 1985; Della Rocca et al., 1987). Nel bacino di Viareggio, così come nella Toscana Nord-occidentale, il "Substrato Superiore" è formato da sedimenti alluvionali dell'Arno e del Serchio, dai terreni paludosi e lacustri collegati al Lago di Massaciuccoli e da una lunga e piuttosto continua fascia di cordoni litorali paralleli alla linea di costa.

Federici (1993) propone e traccia un quadro evolutivo del bacino di Viareggio durante il tardo Pleistocene-Olocene: nel suo studio ha analizzato un totale di circa 105 sondaggi, di cui 3 nei pressi di Viareggio e 3 nei pressi del Lago di Massaciuccoli (con

profondità dai 30 a 150 m) proponendo una successione stratigrafica riportata nella tabella a seguire.

La successione inizia con un livello di Ghiaie (G in tabella) ubicato oltre i 100 m di profondità, attribuito al periodo glaciale "Würm I" e facente parte delle conoidi alluvionali provenienti dalle Alpi Apuane (Pleistocene sup.).

Al di sopra del livello di Ghiaie (G) sono state individuati livelli di Argille ed Argille torbose fossilifere (C4, relazionabili con un episodio di deposizione continentale avvenuto durante una fase di clima freddo. Continuando verso l'alto della successione stratigrafica prosegue con sabbie ghiaiose ricche in molluschi marini (S3), argille torbose (C3) e sabbie con presenza di fossili marini (S2).

La successione pleistocenica prosegue e si chiude con argille e torbe (C2) caratterizzate dalla presenza di pollini di Pino (Federici, 1993), al di sopra delle quali inizia la fase di trasgressione Versiliana rappresentata da uno strato spesso (circa 20/30 m) e piuttosto continuo di di sabbie (S1b) a *Thais haemastoma*. Al di sopra di queste sabbie sono state riconosciute argille lacustri (C1), talvolta sostituite da livelli di sabbie eoliche. Al top della successione sono presenti depositi superficiali torbosi (Lago di Massaciuccoli) e sedimenti coesivi organici di piana costiera (P).

Tabella 3.6: Tabella riassuntiva con riportata la stratigrafia del bacino di Viareggio (modificato; da Federici, 1993).

	DESCRIZIONE FORMAZIONE	FASE CLIMATICA	DATAZIONI (14C; anni BP)	EPOCA
(P)	Torbe con vertebrati	Sub Boreale		OLOCENE
(C1)	Argille torbose			
(S1a)	Sabbie con industrie paleolitiche			
(S1b)	Sabbie silicee	Atlantico	5.280±50 5.646±220	
(C2)	Argille e torbe con pollini di Pino	Wurm III	18.350±350 18.800±400	PLEISTOCENE
(S2)	Sabbie con molluschi marini	Wurm II – Wurm III		
(C3)	Argille torbose con molluschi	Wurm II		
(S3)	Sabbie e ghiaie con molluschi marini	Wurm I – Wurm II		
(C4)	Argille cineree con molluschi	Wurm I		
(G)	Ciottoli, ghiaie e conglomerati			

3.2 Stratigrafia

La stratigrafia del substrato geologico del Comune di Viareggio è stata definita partendo dalla ricostruzione sviluppata all'interno della Tesi del Geol. Roberto Mattei (2008), ed analizzando i risultati di un modesto numero di sondaggi a disposizione.

Ulteriori informazioni sono state reperite dalla Carta Geologica del Piano di Bacino Stralcio "Bilancio idrico del bacino del Lago di Massaciuccoli".

Brevemente, la stratigrafia in oggetto è formata da una successione pliocenica di depositi di trasgressione marina, situati fra -35 e -40 m s.l.m., corrispondenti a silt argillosi (Bergamin et al., 2003) e sedimenti argillosi con intercalazioni sabbiose o limi sabbioso-argillosi.

Al di sopra si imposta uno spessore (potente 20/24 m circa) di sabbie medie alternate ad argille, mentre al top della successione si trovano sabbie fini, sabbie siltose e sabbie medie con tracce di materia organica. Nelle zone in prossimità del Lago di Massaciuccoli la successione stratigrafica è chiusa da livelli di limi e limi sabbiosi, talvolta ricchi in materia organica e livelli torbosi.

3.2.1 Depositi quaternari e attuali

Sabbie della duna costiera – 'sdc' (OLOCENE)

Questi depositi sono ubicati nella porzione centrale del territorio comunale con direzione circa NW-SE, in continuità con i comuni limitrofi di Camaiore e Vecchiano.

Sono costituiti da sabbie e sabbie limose da fini a medie, prevalentemente silicee grigio-marroni e fossilifere, costituenti cordoni dunari paralleli alla linea di costa. Talvolta possono essere presenti sporadiche tracce di materia organica, livelli torbosi e ghiaie.

Sabbie di spiaggia attuale – 's' (OLOCENE)

Presenti lungo tutta la linea di costa del Comune di Viareggio e sono costituiti da sedimenti sabbiosi con rara presenza di ghiaie, ricchi di bivalvi e gasteropodi e resti vegetali. Questa tipologia di depositi costituisce le attuali spiagge litorali.

Depositi torboso/argillosi – 'tba' (OLOCENE)

Sono stati incluse in questi depositi le sabbie fini limose, i limi sabbiosi con componente organica, i limi argillosi ed i limi sabbiosi con intercalazioni torbose. Depositati di questo tipo sono localizzati nelle zone di interduna e retroduna, così come in aree limitrofe al Lago di Massaciuccoli. Questi depositi, ubicati al di sopra dei giacimenti di sabbia silicea, presentano spessori variabili da 1 a 5 m.

Depositi palustri – 'p' (OLOCENE)

Costituiscono questi depositi le torbe ed i limi torbosi di colore nero o bruno-nerastro generati ai margini del bacino del Lago di Massaciuccoli. Rispetto ai depositi torbosi ('tb') hanno un contenuto di sostanza organica compreso fra il 20 ed il 50%, il che permette di differenziarli dai primi ed essere definiti come "terreni torbosi s.l.". Oltre a questo è stata comprovata una notevole ricchezza in elementi ferrosi (Sartori & Levi-Minzi, 1985).

Depositi torbosi – 'tb' (OLOCENE)

Rappresentano il top della successione stratigrafica descritta nei capitoli precedenti ed hanno spessori variabili di 0,5 – 1,2 m. Sono depositi costituiti da torbe e limi torbosi di colore nero o bruno nerastro, legati alla presenza del bacino del Lago di Massaciuccoli; il loro contenuto in sostanza organica (come vertebrati e palinoformi) è minore rispetto ai depositi precedentemente citati.

I depositi torbosi 'tb' affioranti in superficie sono legati a periodi climatici temperati, al contrario di livelli torbosi più profondi e depositi durante climi più freddi (Blanc et al., 1953).

3.3 Geomorfologia

Riguardo gli aspetti geomorfologici del territorio comunale sono state dapprima esaminate le informazioni contenute nei seguenti studi:

- Cartografie dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale
- Database geomorfologico regionale
- Mappatura radar satellitare della Regione Toscana
- Carta geomorfologica redatta a supporto del RU comunale

Dal punto di vista geomorfologico, l'area di studio è completamente pianeggiante e fortemente urbanizzata; riguardo le forme presenti ed osservate, può essere fatta la seguente distinzione:

- aree in subsidenza (rilevate da interferometria satellitare)
- aree in subsidenza (dalle cartografie dell'Autorità di Bacino Distrettuale)
- riporti antropici, ferroviari e stradali
- argini fluviali
- ex discariche
- franosità diffusa e franosità superficiale attiva FD3

I 'riporti antropici, ferroviari e stradali' così come le 'ex discariche' rientrano nelle morfologie e depositi di origine antropica.

La restante parte del territorio comunale è caratterizzata dalla presenza di depositi e morfologie di piana alluvionale, già ampiamente descritta nei capitoli precedenti.

3.3.1 Aree in subsidenza

La subsidenza è un fenomeno di abbassamento prevalentemente verticale della superficie terrestre, indipendentemente dalla causa che lo ha prodotto, dallo sviluppo areale e dall'evoluzione temporale del fenomeno. L'attività antropica può influenzare l'evoluzione del processo naturale o determinarne l'innesco; le cause antropiche più diffuse sono principalmente lo sfruttamento eccessivo delle falde acquifere, lo sfruttamento di risorse geotermiche, l'estrazione di idrocarburi, le bonifiche idrauliche.

Per l'area del Comune di Viareggio è stato fatto riferimento a dati di bibliografia provenienti da una Tesi di Laurea dell'Università di Pisa (Barsottini, 2020) e dati interferometrici elaborati dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale (elaborazione multi-interferometrica di immagini radar dal satellite *Senitel1*). Il tutto è stato integrato con i dati derivanti dai satelliti dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA) ed elaborati in ambiente GIS.

I risultati ottenuti hanno messo in evidenza come il territorio comunale sia interessato da due aree in subsidenza: la prima è ubicato in prossimità dei cantieri navali e dove sono presenti le attività turistico ricettive della Darsena. L'altra zona si trova in prossimità del centro abitato di Torre del Lago, lungo il Viale Europa; anche in questo caso le aree di subsidenza sono in corrispondenza di edifici e stabilimenti adibiti ad attività turistico ricettive.

E' da precisare che in entrambi i casi si tratta di minimi abbassamenti, rilevabili solo con l'interferometria satellitare, compresi tra 1 e 4 mm/anno nelle zone più evidenti, e dovuti al normale fenomeno di cedimento del terreno indotto dai sovraccarichi degli edifici o delle infrastrutture, che negli anni tende ad annullarsi completamente, come è evidente per tutta la zona di edificato storico di Viareggio nel quale non si evidenzia alcun abbassamento.

A completamento del quadro conoscitivo riguardo il fenomeno della subsidenza è stato fatto riferimento alla normativa del PAI dissesti, che disciplina le aree in subsidenza secondo quanto previsto all'art. 13 comma 1 della disciplina di Piano. Tali aree, tuttavia, non rientrano tra quelle alle quali è associata una classe di pericolosità di cui all'art.6 comma 1 della Disciplina di Piano.

L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale procede annualmente, con decreto del Segretario Generale, all'aggiornamento e modifica della mappa delle aree soggette a fenomeni di subsidenza del terreno in base ai dati interferometrici disponibili, informando la Conferenza Operativa dell'aggiornamento compiuto.

La revisione delle aree può essere effettuata da questa Autorità sulla base di successivi aggiornamenti del quadro conoscitivo riguardanti i valori puntuali di deformazione superficiale (*Permanent Scatterers*) derivati da analisi multi-interferometrica di immagini radar satellitari, ai sensi dell'art. 15, comma 9, delle norme di piano.

3.3.2 Riporti

In cartografia sono state segnalate le aree con presenza di riporti, messi in posto per la realizzazione di rilevati stradali, ferroviari o di carattere antropico (cittadella del Carnevale e sottosezione Polizia Stradale di Viareggio in via Leonida Repaci).

Dall'osservazione della Tavola Q.G 1.1 si può notare come gran parte dei rilevati stradali siano relativi al tratto autostradale A-12, alla Variante Aurelia ed alle rampe di accesso alle suddette viabilità.

La zona centrale del comune è caratterizzata dalla presenza di un riporto ferroviario non continuo, che si interrompe nei pressi della Stazione Centrale di Viareggio, per poi riprendere al di fuori di essa e continuare verso N in direzione del Comune di Camaiore.

I riporti sono stati perimetrati avendo come sfondo cartografico sia le ortofoto che la morfologia di dettaglio derivata dall'elaborazione dei dati LIDAR (Regione Toscana).

3.3.3 Ex Discariche

Nella Carta QG 1.1 sono state riportate tre ex discariche presenti sul territorio comunale, di cui due ubicate in prossimità della loc. Le Carbonaie (codice SISBON LU-003 e LU-1185) ed un posta in loc. Forcone (codice SISBON LU-1202).

La ex discarica LU 003 è l'unico sito con procedimento di Messa in Sicurezza Permanente concluso (MISP), sebbene abbia avuto la certificazione di avvenuta bonifica solo per la matrice suolo.

Per quanto riguarda le discariche identificate con i codici LU-1202 e LU-1185, al maggio 2025, entrambe risultano avere un Piano di Caratterizzazione approvato e in attesa della presentazione di proposta di Messa in Sicurezza Permanente o bonifica.

3.3.4 Argini fluviali

La Regione Toscana ha approvato una ricognizione delle opere idrauliche presenti sul territorio regionale, classificate secondo il R.D. 523/1904, approvata con deliberazione di Giunta Regionale n. 1155, 8/11/2021.

Gli argini rappresentati nella Tavola QG1.1, per i quali valgono le norme della L.R. 41/2018 e del R.D. 523/1904, sono quelli riferiti al Fiume Camaiole ed alla Gora di Stiava.

La dimensione e l'estensione dei suddetti argini è stata effettuata utilizzando come sfondo cartografico sia le ortofoto che la morfologia di dettaglio derivata dall'elaborazione dei dati LIDAR (Regione Toscana).

3.3.5 Laghi

Con questa dizione sono stati indicati tutti gli specchi d'acqua cartografati nella Carta Tecnica Regionale. Nella maggioranza dei casi, a parte una piccola porzione del Lago di Massaciuccoli, si tratta di piccoli invasi idrici che si sono formati all'interno delle ex cave di sabbia e torba, queste ultime distribuite lungo il confine est del comune di Viareggio.

3.3.6 Franosità diffusa e franosità superficiale attiva FD3

Con questa dizione sono state inserite alcune perimetrazioni estratte direttamente dal Database dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, che identificano le sponde di alcuni invasi e delle ex cave di sabbia.

4

CARTA DELLA VARIAZIONE DELLA LINEA DI COSTA – TAVOLA Q.G 1.2

L'osservazione della variazione della linea di costa negli anni può fornire informazioni importanti circa la dinamica costiera. A tale scopo, è stata elaborata la Tavola QG 1.2 che riporta la variazione della linea di costa per il periodo 1850-2019.

Le perimetrazioni sono state derivate dall'analisi delle ortofoto dei seguenti anni: 2019, 2016, 2013, 1996, 1988, 1975, 1965, 1954. Ancora più indietro nel tempo, è stata perimetrata anche la linea di costa derivata dai fogli del Catasto Leopoldino che con buona approssimazione sono databili intorno al 1850.

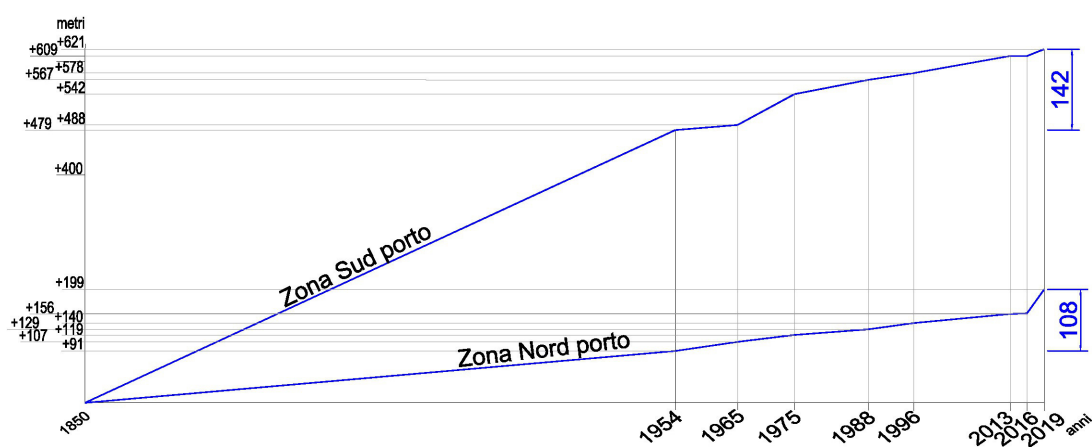
Dal confronto visivo delle diverse linee di costa emerge come la spiaggia di questo tratto di litorale sia in netta espansione (progradazione).

L'avanzamento è particolarmente pronunciato nel tratto di spiaggia a Sud del porto tra i cantieri navali della Darsena fino al litorale di Torre del Lago; anche a Nord del porto la linea costiera è in avanzamento, ma in maniera meno evidente rispetto a quanto avviene nelle zone meridionali.

Nella figura seguente (fig.4.1), sono riassunti in forma di grafico le entità dell'avanzamento della linea di costa per le due zone a Sud e a Nord del porto.

Sull'asse delle ascisse è riportata la scala dei tempi (in anni), mentre sull'asse delle ordinate sono riportati gli avanzamenti osservati (in m.).

Figura 4.1: Andamento della linea di costa, per il periodo 1850-2019.



Considerando il solo periodo 1954-2019, basato sull'analisi delle foto aeree, si evince come la porzione di area a Sud del porto sia stata interessata da un avanzamento medio di 142 m, mentre per la porzione a Nord l'avanzamento è di circa 104 m.

Analizzando a scala più ampia la variazione della linea di costa, appare come il *trend* registrato per il territorio di Viareggio sia in netta opposizione rispetto a quanto avviene nelle zone più a Nord (Cinquale, Marina di Massa, Marina di Carrara), dove negli ultimi si registra una 'retrogradazione' della linea di costa.

Dalla cartografia relativa al Catasto Leopoldino, infine, è stato possibile estrarre altri due elementi corrispondenti a:

- le aste del reticolo idrografico non più presenti allo stato attuale
- un piccolo lago di retroduna ubicato nei pressi dell'attuale Pineta di Ponente

5

**CARTA IDROGEOLOGICA E DELLE
ISOCONDUTTIVE– TAVOLA Q.G 1.3.1 E
TAVOLA Q.G 1.3.2;**

**CARTA DELLE PROBLEMATICHE
IDROGEOLOGICHE - TAVOLA Q.G 1.3.3**

5.1 Studio dei caratteri idrogeologici dell'area

Gli studi di carattere idrogeologico hanno consentito di definire lo stato qualitativo delle acque (superficiali e profonde) ricadenti nel territorio comunale. Per la rappresentazione dei risultati e dei dati riguardo tale tipologia di studi sono state elaborate 3 differenti tavole: la Tavola QG1.3.1, la Tavola QG1.3.2 e la Tavola QG1.3.3.

Nelle Tavole QG1.3.1 e QG1.3.2 sono stati riportati i principali elementi di interesse idrogeologico, quali:

- Pozzi di captazione pubblica
- Pozzi ad utilizzo civile
- Pozzi ad utilizzo agricolo
- Piezometri esistenti
- Punti di misura della conducibilità di acque superficiali e profonde
- Isoconduttive relative al mese di dicembre 2023 e isoconduttive relative al mese di aprile 2024
- Laghi di varia natura

La Tavola QG1.3.3 riporta le "Aree ad intrusione salina" come cartografate nel Progetto di PAI "Piano di Gestione delle Acque" dell'Autorità Distrettuale dell'Appennino Settentrionale. Insieme a queste informazioni, sono state perimetrate quelle aree che, nel corso delle analisi sulle acque sotterranee condotte a corredo del presente Piano Strutturale, hanno presentato valori di conducibilità $\geq 1.000 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Maggiori dettagli circa la definizione di tali aree saranno fornite nelle parti finali del presente capitolo.

5.1.1 Pozzi

I pozzi rappresentati in cartografia sono stati suddivisi in base a loro utilizzo in:

- pozzi di captazione pubblica
- pozzi ad utilizzo civile
- pozzi ad utilizzo agricolo

L'oggettiva difficoltà di accesso ai luoghi determinata dalla diffidenza dei proprietari in riferimento a possibili controlli sulla regolarità dei pozzi e sull'installazione dei contatori, non ha consentito di ispezionare un gran numero di pozzi ad uso privato.

Gli studi si sono quindi concentrati su n. 13 pozzi pubblici ad uso irriguo utilizzati sia per l'approvvigionamento delle fontane che per l'irrigazione di alcuni giardini pubblici.

La maggior parte di questi pozzi sono localizzati lungo il Viale Giosuè Carducci (parallelo alla linea di costa); altri pozzi pubblici si trovano dislocati a poca distanza, nei pressi della stazione e nella zona industriale di Bicchio-Cotone. Un pozzo si trova nei pressi di Villa Borbone ed un altro vicino l'abitato di Torre del Lago.

Tutti i suddetti pozzi attingono ad un acquifero molto superficiale (circa 5-6 m dal p.c.), ricaricato direttamente dalle piogge che filtrano facilmente nei primi metri di terreno a forte componente sabbiosa.

Sono stati censiti anche due pozzi privati ad uso agricolo a servizio delle aziende florovivaistiche. Un pozzo è ubicato a sud della zona artigianale industriale di Bicchio-Cotone, mentre il secondo pozzo è situato nei pressi di Torre del Lago.

I pozzi ad uso domestico analizzati sono distribuiti maggiormente nelle zone centrali e a sud del territorio comunale. Due pozzi sono situati nei pressi della Darsena di Viareggio, un pozzo è all'intero della Casa di Cura le Barbantine, mentre la maggior parte si trova presso abitazioni poste nel centro di Torre del Lago.

Per l'ubicazione dei dati spaziali relativi ai pozzi ad uso pubblico, civile ed irriguo è stato fatto riferimento al Database fornitoci dall'Ufficio Tecnico del Comune e dai dati vettoriali derivanti dalla ricerca eseguita da Doveri et al. (2009), con obiettivo lo studio idrogeologico-chimico dell'acquifero freatico compreso fra il Canale Burlamacca e il Fosso Bufalina.

5.1.2 Piezometri

In cartografia sono stati riportati due piezometri installati durante gli studi di Doveri et al. (2009), indicati con il codice ID BB6 e BB39. Il primo piezometro si trova lungo Via Venezia (parallela rispetto a Via Giovanni XXIII), mentre il secondo è ubicato al termine del Viale Europa (Torre del Lago).

5.1.3 Punti di misura della conducibilità delle acque superficiali e profonde

Nei mesi di dicembre 2023 ed aprile 2024, sono state condotte due campagne di monitoraggio per lo studio qualitativo generale delle acque superficiali e sotterranee per l'intero territorio comunale.

Nel corso di queste campagne sono stati raccolti ed analizzati (in *situ*) campioni di acqua mediante l'utilizzo di un misuratore multiparametrico portatile (modello HI98194, della casa produttrice *Hanna Instruments*). Questo strumento ha permesso di registrare i seguenti parametri di qualità dell'acqua:

- Temperatura (°C)
- pH
- Ossigeno disciolto (ppm)
- Conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

Come anticipato in premessa, le analisi hanno riguardato sia le acque superficiali, raccogliendo campioni direttamente da fossi e corsi d'acqua secondari (Gora di Stiava, Fosso della Bufalina, Fosso Farabola, Fosso le Quindici e Fiume Camaioire), che le acque profonde, prelevando campioni direttamente da piezometri esistenti, pozzi domestici e pozzi di captazione pubblica. La profondità media dei pozzi, riscontrata in base ad informazioni raccolte sul posto, è compresa fra 5-6 m dal p.c.

I dati di campagna acquisiti sono stati inseriti in ambiente GIS ed elaborati attraverso interpolazioni lineari, localmente ricorrette manualmente, in modo da individuare le zone con possibili criticità in termini di qualità delle acque.

Nella Tavola Q.G 1.3.1 sono stati inseriti i risultati delle analisi condotte nel mese di dicembre 2023: riguardo le acque superficiali è stata riscontrata una zona ubicata nella porzione centro Sud del territorio comunale che presenta bassi valori di conducibilità, al di sotto di $500 \mu\text{S}/\text{cm}$. Tale area è ubicata in prossimità della zona dove sono presenti la maggior parte delle aziende florovivaistiche del comune di Viareggio.

La restante parte dei corsi d'acqua mostra uno stato qualitativo peggiore, in quanto si registrano valori di conducibilità più elevati (compresi fra 500 e $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$).

E' da segnalare come il settore compreso fra la Gora di Stiava ed il fiume Camaioire (porzione centro-nord) e la zona adiacente il Fosso della Bufalina (porzione sud) presentino valori di alta conducibilità compresi fra 1.500 e $5.500 \mu\text{S}/\text{cm}$.

In tabella 5.1 si riportano i valori dei principali parametri fisico-chimici registrati nel mese di dicembre 2023, relativi alle acque superficiali. L'ubicazione dei punti di misura (codice ID) è visibile nella Tavola QG1.3.1.

Tabella 5.1: Valori fisico – chimici delle acque superficiali (dicembre 2023)

Codice ID	pH	Conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
BB2	8	1080	13,8
BB18	7,4	1670	15,6
BB19	8	1290	14,8
BB47	7,9	1110	12,7
1	8	2410	15,8
2	8,1	1260	13,5
3	8,2	730	13,2
4	8,3	1120	12,4
5	7,8	330	13,2
6	8,1	350	13
7	8,3	360	12,1
8	8,3	470	11,6
9	8	520	13,6
10	8	320	16,1
11	7,9	300	14,5
12	8	310	13,5
13	8,5	18000	11,6
14	8,4	1400	9,7
15	8	1460	8,4
16	7,9	1340	11,2
17	8,3	2880	10,9
18	7,6	5500	9,8
19	8,4	1190	12,8
20	8,4	1520	10,3
21	8,2	1360	11,5
23	6,1	430	9,1
24	6,1	400	10,4
25	7,5	1600	8,9
26	7,4	450	11
27	7	600	10,5
28	7,5	2090	10,2
29	7,4	840	12,6
30	7,2	890	10,5
31	7,5	2300	15
32	7,5	2110	12,2
33	7,9	1560	12,7

Codice ID	pH	Conducibilità (µS/cm)	Temperatura (°C)
34	7,5	2530	15,2
35	7,2	1810	14,9
36	7,2	2420	13,2
37	7,4	3350	14,7
38	6,2	2070	14,2
39	n.d.		

Le analisi condotte sulle acque sotterranee, sempre riferite al periodo di magra (dicembre 2023) hanno evidenziato una situazione di buona qualità generale dell'acquifero superficiale dal quale attingono i pozzi esaminati.

I campioni di acqua provenienti dai pozzi di captazione pubblica sono caratterizzati da bassi valori di conducibilità, con valori compresi tra 280 e 680 µS/cm.

Nella restante parte dei punti di misura (pozzi ad uso irriguo e ad uso domestico) sono stati rinvenuti valori di conducibilità fra 1.000 e 1.900 µS/cm.

La tabella 5.2 riporta i valori dei principali parametri fisico-chimici delle acque sotterranee analizzate nel mese di dicembre 2023. L'ubicazione dei punti di misura (codice ID) è visibile nella Tavola QG1.3.1.

Tabella 5.2: Valori fisico – chimici delle acque sotterranee (dicembre 2023)

Codice ID	Profondità (m)	Tipologia	pH	Conducibilità (µS/cm)	Temperatura (°C)
BB39	5	Piezometro	8,2	1490	12,3
BB6	8	Piezometro	8	1860	16,4
2689	0	Pubblico	6	590	13,1
2690	0	Pubblico	6,4	360	19,1
2690 sud	0	Pubblico	6,1	500	20,6
2692	0	Pubblico	7,7	430	21,3
2694	0	Pubblico	7,8	530	17,4
2938	0	Pubblico	7,7	310	18,7
2943	0	Pubblico	7,7	360	20,2
Tazzoli	0	Pubblico	6,6	320	18

Codice ID	Profondità (m)	Tipologia	pH	Conducibilità (μS/cm)	Temperatura (°C)
Piazza Vettori	0	Pubblico	6,8	360	18,8
Butterfly	0	Pubblico	7,9	360	17,7
Villa Borbone	0	Pubblico	6,9	280	15,2
Parco Ponchielli	0	Pubblico	7,8	330	19
2694 sud	0	Pubblico	7,8	680	17,7
BB14	6	Domestico	8,1	1360	15
BB26	6	Domestico	8	1140	14,4
BB27	6	Domestico	7,5	1850	8,4
BB28	0	Domestico	7,8	1190	11,8
BB29	6	Domestico	8,1	1410	16
BB33	6	Domestico	7,9	1210	15,4
BB34	0	Domestico	8	1940	15
22	6	Irriguo	7,3	1110	16,8
BB23	6	Irriguo	7,7	1170	17

Dai valori chimico-fisici delle acque sotterranee per il mese di dicembre 2023 è stato possibile definire le isoconduttive a scala di tutto il territorio comunale. Tali isolinee sono state elaborate partendo dai valori di conducibilità misurati in ogni singolo punto di misura (pozzi e piezometri), applicando successivamente un metodo di interpolazione lineare (TIN), localmente rettificato manualmente per eliminare evidenti anomalie dell'elaborazione.

Dai risultati ottenuti è emerso come l'area compresa fra la zona Nord del comune, fino ai pressi di Villa Borbone, sia caratterizzata da bassi valori di conducibilità (inferiori a 1.000 μS/cm). Una situazione di questo tipo potrebbe essere correlata alla facilità di infiltrazione delle acque di prima pioggia che andrebbero a ricaricare l'acquifero superficiale, mantenendo buoni valori dal punto di vista dei parametri fisico - chimici.

Nella zona di litorale compresa fra il Canale Burlamacca ed il Fosso della Bufalina, oltre che nelle zone di Torre del Lago e nelle aree adiacenti al Lago di Massaciuccoli, è invece presente una macroarea caratterizzata da valori di conducibilità maggiori di 1.000 μS/cm, con un peggioramento netto dei parametri chimico-fisici delle acque, da ricondurre all'ingressione di acqua salmastra.

La Tavola QG1.3.2 riporta i risultati della campagna di analisi condotta nel mese di aprile 2024 (inizio della fase di morbida).

Rispetto ai valori registrati nel dicembre 2023 si nota un generale miglioramento della qualità delle acque, sia superficiali che profonde. In particolare le acque del fiume Camaiole hanno mostrato un netto miglioramento in termini di conducibilità, con un abbassamento generale e valori compresi fra 500 e 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (rispetto ai 1.500 e 5.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ misurati a dicembre 2023); le acque dei fossi presenti nella zona industriale di Bicchio-Cotone hanno mantenuto valori simili a quanto misurato durante la campagna di analisi precedente.

Le acque del Canale Burlamacca, del Fosso della Bufalina e quelle presenti nei fossi ubicati nei pressi del Lago di Massaciuccoli si mantengono su elevati valori di conducibilità (1.500 e 3.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$), dimostrando una situazione pressoché identica a quanto registrato nel mese di dicembre 2023.

La tabella 5.3 riporta i valori dei principali parametri fisico-chimici registrati nel mese di aprile 2024, e relativi alle acque superficiali. L'ubicazione dei punti di misura (codice ID) è visibile nella Tavola QG1.3.2.

Tabella 5.3: Valori fisico – chimici delle acque superficiali (aprile 2024)

Codice ID	pH	Conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura (°C)
BB2	8,2	920	19,5
BB18	8,2	1830	20,2
BB19	8,2	1150	21
BB47	7,5	2050	20,7
1	8,3	2700	20,7
2	8,6	1200	20,3
3	8,4	1700	20,4
4	8,3	1180	20,5
5	7,2	400	19
6	7,1	500	19,6
7	6,7	590	19,3
8	7	1160	20,5
9	7,2	450	19,4
10	8,6	440	19,9
11	8,6	1500	19,9

Codice ID	pH	Conducibilità ($\mu\text{S/cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
12	8,1	430	18,9
13	0	0	0
14	8,2	1130	19,4
15	8,2	1000	18,3
16	8	1170	20,3
17	8,2	1900	18,8
18	8,1	2630	19,5
19	8,2	620	16
20	8,1	660	16,5
21	8,2	720	16,1
23	8,1	380	19,8
24	8,1	310	20
25	8,5	3138	20,7
26	7,9	850	19,7
27	8	1840	20,5
28	7,3	1840	20
29	7,6	1200	20,5
30	7,9	1200	17
31	0	0	0
32	7,7	890	16
33	8,1	660	14,5
34	7,8	720	16,6
35	7,6	680	18,6
36	8	1000	17,6
37	8,2	1670	19,5
38	7,9	830	15,5
39	8	420	18,7

I risultati delle analisi condotte sulle acque sotterranee per il periodo aprile 2024, mostrano un sostanziale miglioramento per la quasi totalità del territorio comunale.

La zona a Nord del porto è l'unica che, seppur in maniera molto lieve, ha fatto registrare un incremento dei valori di conducibilità delle acque, che comunque si attestano su massimi di 1.000-1.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (contro i 400-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ misurati durante il mese di dicembre). L'incremento della conducibilità, seppur debole, può essere riconducibile all'ingressione di acqua salmastra conseguente all'attivazione dell'irrigazione pubblica, funzionale alla cura e al mantenimento del verde urbano.

In tabella 5.4 si riportano i valori dei principali parametri fisico-chimici registrati nel mese di aprile 2024, e relativi alle acque sotterranee. L'ubicazione dei punti di misura (codice ID) è visibile nella Tavola Q.G1.3.2.

Tabella 5.4: Valori fisico – chimici delle acque sotterranee (aprile 2024)

Codice ID	Profondità	Tipologia	pH	Conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
BB39	5	Piezometro	8,3	1190	20,2
BB6	8	Piezometro	7,8	360	18,2
2689	0	Pubblico	7,6	1176	18,6
2690	0	Pubblico	7,5	731	18,3
2690 sud	0	Pubblico	7,6	795	18,3
2692	0	Pubblico	7,6	909	17,8
2694	0	Pubblico	7,4	970	18,2
2938	0	Pubblico	7,6	484	16,8
2943	0	Pubblico	7,8	680	17,4
Tazzoli	0	Pubblico	7,9	477	17
Piazza Vettori	0	Pubblico	7,4	585	18,2
Butterfly	0	Pubblico	8	472	16,5
Villa Borbone	0	Pubblico	7,8	482	16,1
Parco Ponchielli	0	Pubblico	7,3	636	18,9
2694 sud	0	Pubblico	7,3	1180	18,2
BB14	6	Domestico	misura n.d.		

Codice ID	Profondità	Tipologia	pH	Conducibilità ($\mu\text{S/cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
BB26	6	Domestico	misura n.d.		
BB27	6	Domestico	7,1	580	15
BB28	0	Domestico	8,1	870	18,2
BB29	6	Domestico	7,4	520	15
BB33	6	Domestico	8,3	1080	20,5
BB34	0	Domestico	8	990	18,3
22	6	Irriguo	7,2	300	17
BB23	6	Irriguo	8	1080	18,6

Anche per questo periodo di monitoraggio, i valori di conducibilità delle acque sotterranee sono stati utilizzati per ricavare gli andamenti delle isoconduttive.

Dai risultati ottenuti, riportati nella Tavola QG1.3.2 si può osservare come le isoconduttive con valori di conducibilità uguali o superiori a $1.000 \mu\text{S/cm}$ siano concentrate in corrispondenza nella zona del Canale Burlamacca, alla foce del Fiume Camaio e nei pressi del litorale di Torre del Lago.

Nella Tavola QG1.3.3, sono state riportate tutte le aree che presentano una conducibilità maggiore di $1.000 \mu\text{S/cm}$.

In questo modo sono state messe in evidenza quelle aree che, in sede di stesura di Piano Operativo comunale, potranno essere oggetto di prescrizioni ai fini della tutela della risorsa idrica sotterranea.

La scelta di utilizzare il valore di $1.000 \mu\text{S/cm}$ come soglia per distinguere tali aree è in linea con quanto definito all'interno del progetto "Piano degli Arenili" (Art. 14 punto 7) che, a sua volta, aveva già predisposto limitazioni e prescrizioni nei confronti della salvaguardia della risorsa idrica sotterranea.

Nel mese di Luglio 2024, è stata effettuata una ulteriore campagna di misurazione dei valori in corrispondenza dei soli pozzi utilizzati per l'irrigazione del verde pubblico. Questi valori non sono stati riportati in cartografia essendo relativi ai solo pozzi comunali. Nella tabella 5.5 si riportano a titolo informativo i valori misurati.

Tabella 5.5: Valori fisico – chimici delle acque sotterranee (luglio 2024)

Codice ID	Profondità	Tipologia	pH	Conducibilità ($\mu\text{S/cm}$)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)
2689	0	Pubblico	7,6	1362	20,2
2690	0	Pubblico	7,4	805	19,9
2690 sud	0	Pubblico	7,6	965	21,5
2692	0	Pubblico	7,5	956	22,1
2694	0	Pubblico	7,4	1182	23,7
2938	0	Pubblico	7,5	647	19,4
2943	0	Pubblico	7,4	697	22
Tazzoli	0	Pubblico	7,7	518	25
Piazza Vettori	0	Pubblico	7,4	767	28,6
Butterfly	0	Pubblico	7,7	519	20,8
Villa Borbone	0	Pubblico	7,9	560	17,6
Parco Ponchielli	0	Pubblico	7,3	746	20
2694 sud	0	Pubblico	7,3	1457	21,4

La scelta di effettuare questa ulteriore misurazione nel mese di luglio, periodo nel quale i pozzi subiscono i maggiori prelievi, è funzionale ad evidenziare eventuali zone con netto peggioramento della qualità delle acque. In tal senso, i dati ottenuti dalla campagna di analisi di luglio 2024 sono stati confrontati con quelli delle campagne di dicembre 2023 e aprile 2024.

Rispetto a quanto registrato durante le analisi della campagna di dicembre 2023, i valori di conducibilità misurati nel luglio 2024 si discostano in un intervallo compreso fra un minimo di $159 \mu\text{S/cm}$ ed un massimo di $777 \mu\text{S/cm}$.

La differenza di conducibilità tra luglio 2024 e aprile 2024 è risultata molto più contenuta rispetto ai dati espressi precedentemente: sono emerse differenze con valori compresi fra 47 e $277 \mu\text{S/cm}$, dimostrando come vi sia un mantenimento delle buone qualità delle acque analizzate.

Riguardo i valori di pH e temperatura ($^{\circ}\text{C}$) non sono emersi differenze o incrementi tali da essere segnalati.

5.1.4 Aree ad intrusione salina come cartografate nel progetto PAI "Piano di Gestione delle Acque"

La classificazione delle aree ad intrusione salina che fa da sfondo alla Tavola QG1.3.3 è direttamente estratta dalla cartografia redatta dall'Autorità Distrettuale dell'Appennino Settentrionale all'interno del Piano di Gestione delle Acque, che classifica gli areali sulla base della relativa legenda, riportata di seguito.

- **IS1:** aree interessate dal fenomeno di ingressione marina.
- **IS2:** aree nelle quali non si riscontrano segnali di ingressione salina, ma per le quali è necessario mantenere un livello di attenzione data la loro suscettibilità al fenomeno.
- **IS3:** aree nelle quali non vi sono indizi di ingressione salina ma in cui il sistema di prelievi può essere tale da provocare un aggravio del fenomeno nelle aree contermini.

I criteri di perimetrazione di tali aree per l'intero territorio dell'Autorità Distrettuale sono definiti nel documento: "zonazione dell'intrusione salina nei corpi idrici sotterranei (agosto 2018)".

- **IS1:** intrusione salina accertata, impatto alto: sono quelle aree già impattate dal fenomeno, come risulta da studi specifici, sostanzialmente basati su analisi chimiche.
- **IS2:** aree suscettibili di intrusione, impatto moderato: sono state inserite in questa classe le porzioni dei corpi idrici adiacenti alle IS1 ma che, al momento degli studi condotti dall'Autorità di Bacino, non risultavano interessate da ingresso di acqua marina. Generalmente queste aree sono interessate da emungimenti e prelievi che tendono a creare depressioni piezometriche in grado di richiamare acqua salata dalle zone IS1 adiacenti, o direttamente dal mare. Prelievi ingenti in queste aree possono aggravare l'ingressione nelle IS1 interrompendo il flusso idrico di acqua dolce verso il mare.
- **IS3:** non c'è intrusione salina e l'area non è suscettibile, impatto lieve: rientrano in questa classe le aree nelle quali non vi sono indizi di ingressione salina ma in cui il sistema di prelievi può essere tale da provocare un aggravio del fenomeno nelle aree contermini.

6

CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA – TAVOLA Q.G 1.4

L'analisi ragionata degli aspetti geologici, litotecnici e morfologici ha permesso di definire le condizioni di pericolosità geologica sulla base dei criteri dettati dal D.P.G.R 30/01/2020 n.5/R, tenendo conto che la classe di pericolosità G1 non è presente nel territorio comunale.

In aggiunta, sono state inserite due sottoclassi **G.3** con puntinato rosso e **G2.It** prendendo spunto da quanto già definito nel recente Piano degli Arenili. Tali classi corrispondono rispettivamente alle aree potenzialmente interessate da fenomeni di erosione della costa e alle aree apparentemente stabili, sulle quali vi sono dubbi sulle capacità portanti dei terreni dovuti alla presenza di depositi sabbiosi poco addensati.

La legenda utilizzata per la carta di pericolosità è riportata di seguito:

Pericolosità geologica elevata (G.4): aree in cui sono presenti intensi fenomeni geomorfologici attivi di tipo erosivo;

Pericolosità geologica elevata (G.3): aree in cui sono presenti fenomeni legati a processi di degrado di carattere antropico; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geomeccaniche;

Pericolosità geologica elevata (G.3 con puntinato rosso): aree con potenziale instabilità connessa a fenomeni evolutivi della costa a seguito di alluvioni costiere, fenomeni di marea ed erosivi;

Pericolosità geologica media (G.2It): aree in cui sono presenti condizioni geologico-tecniche apparentemente stabili, sulle quali permangono dubbi sulle capacità portanti e valutazioni dei cedimenti che potranno essere chiariti con indagini geognostiche.

Pericolosità geologica media (G.2): aree con elementi geomorfologici, litologici e giacaturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto

La classe di pericolosità "G.2" è stata attribuita a quelle aree ritenute stabili in quanto caratterizzate dalla presenza poco al di sotto del piano campagna di un livello, potente da 5 a 15 m di sabbie medie e grossolane, da addensate a molto addensate.

La classe "G.2It", invece, si riferisce a aree in cui nel substrato non sono state rilevate le sabbie addensate menzionate in precedenza, ma è caratterizzata da depositi sabbiosi recenti e poco compatti, che potrebbero causare cedimenti.

La classe "G3 con puntinato rosso" comprende la zona del litorale costiero che, sebbene in fase di progradazione, può essere interessata da fenomeni erosivi in occasione di forti mareggiate. Per il tratto di costa a nord del porto la perimetrazione deriva direttamente dalle indagini geologiche di supporto al Piano degli Arenili. I criteri

adottati nel suddetto Piano sono stati estesi al tratto di costa meridionale pervenendo alla perimetrazione riportata in carta.

La classe "G.3" è stata attribuita a quelle zone dove sono presenti depositi limosi o limoso-torbosi (in prossimità del Lago di Massaciuccoli), ed ai depositi di spiaggia recente SPsp, entrambi contraddistinti da caratteristiche geotecniche scadenti.

La classe "G.4" è stata attribuita a quelle aree segnalate dal PAI come a franosità diffusa attiva, associate all'erosione degli argini dei bacini idrici delle ex cave di sabbia.

7

**CARTA DELLE INDAGINI E DEI DATI DI
BASE – TAVOLA Q.G 1.5.1, TAVOLA
1.5.2 E TAVOLA 1.5.3**

La cartografia relativa alle Indagini e dati di base è stata redatta in scala 1:5.000, suddividendo il territorio comunale in 3 tavole.

Le tavole sono state realizzate mediante piattaforma GIS, riportando sulla cartografia del territorio comunale tutte le prove presenti, sia di archivio che di nuova realizzazione. Le indagini geognostiche e geofisiche inserite derivano da:

- precedenti strumenti urbanistici,
- archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale,
- Tesi inedita dell'Università di Pisa (Mattei, 2008),
- Database Geologico Regionale,
- Indagini sismiche condotte a supporto degli studi di Microzonazione sismica di primo livello ed una nuova campagna di indagini geofisiche eseguita ad aprile 2024 (necessaria alla definizione del livello 2 di Microzonazione sismica)

Le indagini realizzate durante il mese di aprile (2024) sono state così suddivise:

- 11 misure del microtremore ambientale a stazione singola (HVSr),
- 1 profilo sismico di superficie (MASW).

Le nuove indagini sono state ubicate in modo da poter sopperire alle zone di territorio comunale non interessate da campagne di indagini precedenti.

I dati a disposizione sono stati selezionati in ragione della loro utilità per la definizione delle caratteristiche geologico-tecniche e sismiche dei depositi presenti, fornendo così due tipologie di banche dati di seguito elencate:

- **Banca Dati Geognostica**: insieme di indagini geognostiche utili alla definizione delle caratteristiche lito-stratigrafiche e tecniche del territorio, differenziate come segue:
 - prove penetrometriche statiche CPT, CPTU, CPTe ed SCPT
 - prove penetrometriche dinamiche leggere e medie DPL, DPM
 - prove penetrometriche dinamiche pesanti e super pesanti DPS, DPSH
 - pozzi per acqua
 - sondaggi a carotaggio continuo
 - sondaggi a distruzione
 - prove penetrometriche dinamiche in foro SPT
 - prova di permeabilità *Lefranc*

- **Banca Dati Geofisica**: insieme di indagini geofisiche distribuite utili ad inquadrare al meglio le caratteristiche sismiche del territorio, differenziate come segue:
 - misure di microtremori a stazione singola HVSR
 - profili sismici di superficie MASW/SASW
 - profili sismici a rifrazione
 - indagine sismica *down-hole*

Tutte le indagini sono state organizzate in un database strutturato come richiesto negli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” redatti dalla “Commissione tecnica per la Microzonazione Sismica”, versione 4.2.

In Appendice alla presente relazione (vedasi Allegato I), sono state inserite due tabelle di correlazione: una per le indagini puntuali e una per le indagini lineari, nelle quali alla sigla indicata in carta è associato un campo in cui è stato scritto il nome del relativo documento allegato e contenuto nella cartella "QG 1.15_Cartella indagini Viareggio".

Nelle tabelle, alla sigla delle indagini come da cartografia è correlata la tipologia dell'indagine, il nome del documento di riferimento e la relativa pagina (se ricompresa all'interno di un documento con più indagini).

8

CARTA GEOLOGICO TECNICA – TAVOLA Q.G 1.6

La carta geologico-tecnica è stata derivata dalla riclassificazione della carta geologica secondo le indicazioni degli ICMS e degli standard di rappresentazione e archiviazione informatica.

La Tavola QG1.6 riporta le unità geologico-litologiche presenti nel territorio comunale distinte in base alla loro granulometria e tipologia di deposizione. Questa distinzione è stata eseguita utilizzando il modello *Unified Soil Classification System* (ASTM, 1985 modificato) come indicato negli ICMS (2008).

Nel complesso sono state individuate 3 Unità geologico-tecniche principali, riportate nella seguente tabella 8.1.

Oltre alle informazioni precedentemente citate, sono stati riportati anche i pozzi e i sondaggi effettuati all'interno del territorio comunale, con indicato il valore della profondità raggiunta.

Infine, con apposita campitura, sono state inserite le aree a franosità diffusa attiva (classe FD3) di cui alla Tavola QG1.1., individuate come "Instabilità di versante attiva, non definita", secondo le indicazioni contenute negli ICMS (2008).

Tabella 8.1: Principali Unità Geologico-tecniche e loro caratteri principali

Tipologia dell'Unità (Tipo_gt)	Formazione	Stato di addensamento o di consistenza (Stato)	Ambiente genetico e deposizionale (Gen)
RI	Terreni con resti di attività antropica	14	zz
SP	Sabbie pulite con granulometria ben assortita	13	sp/cl
PT	Torbe ed altre terre fortemente organiche	13	lc

Le definizioni utilizzate per la classificazione dei terreni di copertura (*Tipo_gt*), del loro stato di addensamento (*Stato*) e dell'ambiente genetico deposizionale (*Gen*) sono riportate in tabella 8.2.

Tabella 8.2: Definizione delle sigle relative alle Unità Geologico-tecniche

<i>Tipologia dell'Unità (Tipo_gt)</i>	
RI	Terreni contenenti resti di attività antropica
SP	Sabbie pulite con granulometria ben assortita
PT	Torbe ed altre terre fortemente organiche
<i>Stato di addensamento o di consistenza (Stato)</i>	
14	Sciolto
13	Poco addensato
<i>Ambiente genetico e deposizionale (Gen)</i>	
zz	Antropico
sp	Spiaggia
cl	Cordone litoraneo
lc	Lacustre

9

CARTA DELLE SEZIONI GEOLOGICO-TECNICHE – TAVOLA Q.G 1.7

Per rappresentare l'assetto geologico-tecnico del territorio comunale sono elaborate 3 sezioni con andamento SW-NE in modo da intersecare tutto il territorio comunale. La traccia delle sezioni è riportata nella Tavola Q.G 1.6 Carta Geologico Tecnica.

Le sezioni sono state rappresentate partendo da una Tesi del Geol. Roberto Mattei "Analisi dei depositi tardo quaternari del bacino di Viareggio" (Dipartimento di scienze della Terra dell'Università di Pisa, 2008) con l'aggiunta di informazioni derivanti da alcune indagini geognostiche eseguite a supporto degli strumenti urbanistici precedenti.

Per ogni formazione riscontrata è stata indicata la sigla geologica, con annesse informazioni sia di carattere litologico che deposizionale. Dai risultati ottenuti si apprezza una generale tabularità dei depositi, con orizzonti prevalentemente sabbiosi che sovrastano potenti orizzonti argillosi.

Nello specifico è stato osservato come la porzione sommitale dei depositi sia rappresentata da sabbie recenti e, nelle aree più interne del territorio comunale, da depositi torbosi e torboso-limosi. Al di sotto di questi orizzonti superficiali è stata riscontrata, grazie ad un copioso numero di indagini a disposizione, la presenza di un livello sabbioso da mediamente a molto addensato, situato a modeste profondità, con spessori compresi tra 5 e 15 m.

L'andamento di questo orizzonte sabbioso è delineato sia nelle tre sezioni geotecniche (A-A', B-B' e C-C') che nella Tavola Q.G 1.1 Carta Geologica e Geomorfologica.

Questo orizzonte è stato identificato a partire dai *report* delle prove penetrometriche, poiché presenta valori di resistenza alla punta 'Rp' elevati, compresi fra 100 e 150 kg/cmq, con massimi isolati anche superiori a 150 kg/cmq.

A partire all'incirca da 25-30 m dal p.c., i sondaggi a disposizione hanno messo in evidenza la presenza di livelli a composizione prevalentemente argilloso-limosa, continui fino a profondità di circa 60 m dal p.c. (massimo raggiunto dai sondaggi osservati).

Nei sondaggi osservati non è mai stata riscontrata la presenza di substrato roccioso.

La qualità del modello geologico tecnico appena descritto è in funzione della densità di indagini per cui risulta maggiore laddove queste ultime sono ben distribuite e in gran numero come nel caso delle aree ricadenti nel territorio urbanizzato.

Nelle altre aree il modello può presentare incertezze derivanti da un minor numero di indagini.

10

**CARTA DELLE FREQUENZE
FONDAMENTALI DEI DEPOSITI -
TAVOLA Q.G 1.8**

La Tavola QG1.8 riporta i risultati delle 54 misure strumentali a stazione singola (HVSR) realizzate all'interno del Comune di Viareggio. Grazie a queste indagini sono state definite le principali caratteristiche della risposta sismica locale delle aree in esame.

Nella Carta delle frequenze fondamentali dei depositi sono state inserite le indagini a disposizione (reperite grazie agli uffici tecnici comunali), quelle effettuate nel mese di aprile 2024 a supporto del presente PS, ed alcune prove penetrometriche CPTU eseguite recentemente all'interno della Pineta di Ponente.

Le stazioni di acquisizione visibili in Carta sono state categorizzate in base ai valori di frequenza caratteristica di sito (f_0) e ampiezza del picco nel grafico del rapporto H/V (A_0).

Le frequenze di sito (f_0) registrate dalle prove eseguite sono abbastanza monotone essendo tutte ricomprese fra 0,2 e 0,5 Hz, con ampiezze (A_0) variabili da 0,8 fino a 13,9.

I picchi che si ritrovano in tutte le misure eseguite a frequenze mediamente comprese tra 0,2 e 0,5 Hz, sono da ricondurre al contrasto tra i depositi più recenti ed il substrato litoide che, considerando le velocità sismiche della porzione sovrastante fino a 400 m/s, può attestarsi a profondità minime di 250 metri.

11

CARTA DELL'INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE - TAVOLA Q.G 1.9

La liquefazione è un processo in seguito al quale un deposito sabbioso o sabbioso-limoso saturo perde temporaneamente resistenza e si comporta come un liquido viscoso a causa di un aumento della pressione neutra e di una riduzione della pressione efficace.

Queste condizioni possono registrarsi a seguito di terremoti forti ($M_w \geq 5$), provocando una drastica caduta di resistenza al taglio dei depositi e, di conseguenza, una perdita di capacità portante del terreno.

Gran parte del territorio del Comune di Viareggio è caratterizzato dalla presenza di un substrato costituito prevalentemente da depositi sabbiosi intercalati a depositi sabbioso-limosi, immersi in falda fino ad una profondità di circa 25-30 m dal p.c.

Con tali condizioni non è da escludere che i depositi possano essere suscettibili al fenomeno della liquefazione. Questa suscettibilità deve essere valutata secondo criteri e modalità di cui alle Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione ("Commissione Tecnica per la Microzonazione sismica art. 5 - comma 7, OPCM 13 novembre 2010, n. 3907").

Inoltre, ai sensi della normativa vigente sulla pianificazione urbanistica (D.P.G.R. 30/01/2020 n.5/R), le aree in cui si può ipotizzare l'insorgere della liquefazione sono condizionanti in sede di definizione di pericolosità sismica del territorio.

Ai fini della redazione della Tavola QG1.9, sono state svolte delle verifiche alla liquefazione con metodi semplificati (Robertson & Wride 1998, 2009), utili alla definizione dell'indice di potenziale liquefazione (IPL), distinguendo con diversa campitura le zone con $0 < IPL \leq 2$, quelle con $2 < IPL \leq 5$ e quelle con $5 < IPL \leq 15$, secondo *Iwasaki* (1978). Questa suddivisione ha riflessi diretti nella classificazione di pericolosità sismica del territorio.

11.1 Verifiche a liquefazione

Nel contesto del presente lavoro, vista la presenza di depositi sabbiosi (olocenici) scarsamente consolidati, e vista la presenza di una falda acquifera che può raggiungere quote prossima al piano campagna, sono state svolte delle verifiche utili alla definizione dell'Indice di Potenziale Liquefazione (IPL).

Il punto di partenza è stato lo studio condotto dalla Regione Toscana insieme all'Università di Pisa (Relazione conclusiva Lo Presti C.F.D & Tognotti L., 2018).

Successivamente sono state condotte ulteriori verifiche utilizzando i risultati di prove penetrometriche statiche (sia CPTm che CPTu) reperite presso gli uffici tecnici del Comune di Viareggio. Queste prove sono state indagate utilizzando 4 metodi semplificati e noti, elencati di seguito:

- Metodo di Robertson & Wride (1998)
- Metodo di Robertson & Wride modificato
- Idriss e Boulanger (2008)
- Idriss e Boulanger (2014)

che sono serviti per calcolare l'Indice di Potenziale Liquefazione (IPL) per ciascun strato attraversato dalla prova penetrometrica; l'IPL è stato definito secondo il metodo di Iwasaki (1978) utilizzando il *software* Geostru Liquiter, nella versione 2024.24.5.1069.

Per ogni prova penetrometrica sono stati raccolti i valori di **Qc** (resistenza all'avanzamento della punta) ed **Fs** (resistenza per attrito laterale del manicotto – punta Begemann), elaborati in un foglio di calcolo per poi essere inseriti nel software Geostru Liquiter.

Il peso di volume del terreno è stato assegnato sulla base dei dati forniti dai risultati delle indagini eseguite nel territorio o, dove mancanti, prendendo dati da letteratura.

11.1.1 Metodo di Robertson & Wride (1998)

Il 'metodo di Robertson & Wride' è basato sui risultati di prove CPT (*Cone Penetration Test*) ed utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo **IC** che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = \left[(3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5}$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100$$

dove:

q_c è la resistenza alla punta misurata

Pa è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{vo}

f_s è l'attrito del manicotto

n è un'esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume $n = 1$, come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di **IC** con la (11.1a).

Se $IC > 2,6$ il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma. Il terreno non si considera a rischio di liquefazione.

Se $IC \leq 2,6$, vuol dire che l'ipotesi assunta è errata, il suolo è di natura granulare, **Q** verrà ricalcolato utilizzando la (10.1b) usando come esponente $n = 0,5$.

Se è ancora $IC \leq 2,6$, significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece $IC > 2,6$, vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso. **Q** deve essere nuovamente ricalcolato dalla (10.1b) ponendo $n = 0,75$.

Calcolato **IC**, si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata **q_c** mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n$$

Dove l'esponente di sforzo n è lo stesso utilizzato nel calcolo di I_C .

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene determinata dalla seguente procedura:

Robertson & Wride classico

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N}$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88$$

11.1.2 Metodo di Robertson & Wride modificato

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N}$$

dove K_c dipende dal contenuto di fine, FC (%):

$$K_c = 0 \quad \text{per } FC \leq 5$$

$$K_c = 0,0267(FC - 5) \quad \text{per } 5 < FC \leq 35$$

$$K_c = 0,8 \quad \text{per } FC > 35$$

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1,75 (I_c)^{3,25} - 3,7$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR**7,5) si calcola con le espressioni seguenti:

se $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0,833 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05$$

se $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08$$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 (**CSR_{7,5}**) si determina dalla seguente espressione:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}} r_d$$

Per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** (*Magnitude Scaling Factor*) come raccomandato dal **NCEER** (vedi Tabella 11.2)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF}$$

Tabella 11.2: Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. (1982)	Ambraseys N.N (1988).	NCEER (Seed R. B. et alii) (1997; 2003)
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo **r_d** vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del **NCEER** (*National Center for Earthquake Engineering Research*):

per $z < 9,15$ m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z$$

per $9,15 \leq z < 23$ m

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione **FS** viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

mentre l'**indice e il rischio di liquefazione** vengono calcolati con il metodo di **Iwasaki et al. (1982)**.

11.1.3 Metodo di Idriss & Boulanger (2008)

Nel metodo proposto da **Idriss & Boulanger** l'indice di comportamento **I_c** per il tipo di suolo è ricavato con le formule riportate di seguito:

$$I_c = \left[\left(\log_{10} Q - 3,47 \right)^2 + \left(\log_{10} R_f + 1,22 \right)^2 \right]^{0,5}$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100$$

dove

q_c è la resistenza alla punta misurata

Pa è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{vo}

f_s è l'attrito del manicotto

n è un'esponente che dipende dal tipo di suolo, variabile tra 0,5 e 1.

Calcolato **I_c**, si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata q_c mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = C_Q \cdot \left(\frac{q_c}{Pa} \right)$$

$$C_Q = \left(\frac{Pa}{\sigma'_{v0}} \right)^n \leq 1,7$$

dove **n** si determina per via iterativa dalla seguente relazione:

$$n = 1,338 - 0,249 \cdot q_{c1N}^{0,264}$$

La correzione della resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene valutata mediante la seguente procedura:

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N}$$

$$\Delta q_{c1N} = \left(5,4 + \frac{q_{c1N}}{16} \right) \cdot \exp \left[1,63 + \frac{9,7}{FC + 0,01} - \left(\frac{15,7}{FC + 0,01} \right)^2 \right]$$

Dove la frazione di fine FC(%) viene calcolata mediante l'espressione seguente:

$$FC(\%) = 2,8 \cdot (I_c)^{2,60}$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR_{7,5}**) si calcola da:

$$CRR = \exp \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{540} + \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{67} \right)^2 - \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{80} \right)^3 + \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

Per $z_w > z$, con z_w profondità della falda, e per $(q_{c1N})_{cs} \leq 160$ il terreno è non liquefacibile (NL).

Il rapporto di sforzo ciclico **CSR** (*Cyclic Stress Ratio*) si determina da:

$$CSR = 0,65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \cdot r_d$$

Dove per il coefficiente di riduzione delle tensioni **r_d** si utilizza la formula, con **M** si indica la magnitudo:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M]$$

$$\alpha = -1,1012 - 1,126 \cdot \sin \left[\frac{z}{11,73} + 5,133 \right]$$

$$\beta = 0,106 + 0,118 \cdot \sin \left[\frac{z}{11,28} + 5,142 \right]$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione è definito nel modo seguente:

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_{\sigma}$$

Per determinare il fattore di scala della magnitudo **MSF**, la formula di **Idriss & Boulanger** utilizza l'espressione:

$$MSF = 6,9 \cdot \exp \left(- \frac{M}{4} \right) - 0,058 \leq 1,8$$

Il fattore di correzione della pressione di confinamento K_{σ} è dato da:

$$K_{\sigma} = 1 - C_{\sigma} \cdot \ln \left(\frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right) \leq 1$$

$$C_{\sigma} = \frac{1}{37,3 - 8,27 \cdot (q_{c1N})^{0,264}} \leq 0,3$$

11.1.4 Metodo di Idriss & Boulanger (2014)

Tutti i metodi semplificati di stima del rischio di liquefazione che utilizzano i risultati di prove penetrometriche statiche sono calibrati sull'apparecchiatura a punta elettrica (CPTe). L'uso di tali metodi con i risultati di prove CPT a punta meccanica può condurre ad una sovrastima della resistenza CRR e quindi del fattore di sicurezza.

$$q_{clN} = C_N \cdot \frac{q_c}{p_a}$$

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m \leq 1.7$$

$$m = 1.338 - 0.249 \cdot (q_{clNcs})^{0.264} \quad \text{con } 21 \leq q_{clNcs} \leq 254$$

$$q_{clNcs} = q_{clN} + \Delta q_{clN}$$

$$\Delta q_{clN} = \left(11.9 + \frac{q_{clN}}{14.6} \right) \cdot \exp \left[1.63 - \frac{9.7}{FC + 2} - \left(\frac{15.7}{FC + 2} \right)^2 \right]$$

FC è il contenuto di fine espresso in %. In assenza di determinazione sperimentale di laboratorio FC può essere stimato con l'espressione empirica:

$$FC = 80 \text{ Ic} - 137$$

in cui Ic è l'indice di classificazione del terreno da prova CPT proposto da Robertson (1990):

$$I_c = \sqrt{(\log F + 1.22)^2 + (\log Q_n - 3.47)^2}$$

con

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma'_{v0}} \cdot 100$$

E Q_n si ricava dalla seguente formula

$$Q_n = \left(\frac{q_c - \sigma'_{v0}}{p_a} \right) \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^m$$

La resistenza alla liquefazione (**CRR**) si ricava da:

$$CRR = \exp \left[\frac{q_{c1Ncs}}{113} + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1Ncs}}{140} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{137} \right)^4 - 2.80 \right]$$

Mentre la **MSF** si ricava da:

$$MSF = 1 + (MSF_{\max} - 1) \left[8.64 \exp \left(\frac{-M}{4} \right) - 1.325 \right]$$

$$MSF_{\max} = 1.09 + \left(\frac{q_{c1Ncs}}{180} \right)^3 \leq 2.2$$

$$C_{\sigma} = \frac{1}{37.3 - 8.27(q_{c1Ncs})^{0.264}} \leq 0.3$$

$$C_{\sigma} = \frac{1}{37.3 - 8.27(q_{c1Ncs})^{0.264}} \leq 0.3$$

$$K_{\sigma} = 1 - C_{\sigma} \cdot \ln \left(\frac{\sigma'_v}{P_a} \right) \leq 1.1$$

11.1.5 Dati di input delle verifiche a liquefazione

I dati di input utilizzati all'interno del *software* Liquiter (2024.24.5.1069) sono riportati in tabella 11.1.

La profondità della falda è stata impostata a -0,5 m dal p.c.

<i>Tabella 11.1</i>							
Verifica	Località	Penetrometria di riferimento	Prof. Falda m dal p.c.	Mw	Ag	Cat. sottosuolo	Amax
1	Cotone	P2 14m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
2	Marco Polo	P10 15m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
3	Marco Polo	P11 15m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
4	Cotone	P15 9,8m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
5	Centro città	P22 10m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
6	Piazza Giuseppe Mazzini	P26 20m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
7	Terminetto	P31 10m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
8	Carbonara	P34 10m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
9	Terminetto	P38 11,6m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
10	Molo E Guidotti	P40 15,48m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
11	Piazza Giuseppe Mazzini	P42 15,18m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
12	Piazza Maria Luisa	P45 15,18m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
13	Terrazza della Repubblica	P47 15,96	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
14	Terminetto	P59 15m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
15	Ex Campo d'Aviazione	P74 10m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
16	Elcchio	P89 9,6m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g
17	Migliarina (depuratore)	P90 8m	0,5	6,14	0,121g	C	0,1815g

18	Mgliarina (depuratore)	P96 7,6m	Q5	6,14	Q,12lg	C	Q,1815g
----	---------------------------	-------------	----	------	--------	---	---------

11.1.6 Risultati delle verifiche a liquefazione e considerazioni finali

La Tavola Q.G 1.9 mette a confronto i risultati delle verifiche a liquefazione eseguite a supporto del presente Piano Strutturale, con quelle eseguite sia dallo studio della Regione Toscana (Relazione conclusiva, Lo Presti & Tognotti, 2018) che dagli studi eseguiti all'interno della Pineta di Ponente.

I metodi utilizzati per le verifiche relative al presente studio hanno portato ad una grande variabilità in termini di risultati relativi all'Indice di Potenziale di Liquefazione.

In assenza di qualsiasi indicazione normativa in riferimento al metodo da utilizzare, abbiamo ritenuto di scegliere quello proposto da *Robertson & Wride* (1998; 2009), in quanto risulta il più idoneo per i litotipi costituenti il substrato del territorio in esame, caratterizzato nelle porzioni più superficiali da depositi sabbiosi con intercalazioni di materiali più fini.

Il metodo si dimostra più stabile e rappresentativo per la tipologia di suddetti terreni (<https://www.nationalacademies.org/read/23474/chapter/6#76>), poiché fornisce correlazioni empiriche che consentono di stimare il contenuto di fini (FC) direttamente dai parametri di prove CPT, permettendo di individuare l'indice di comportamento I_c del terreno e di distinguere la variazione tra sabbie pulite, sabbie limose e limi sabbiosi, transizioni tipiche delle stratigrafie quaternarie costiere come quella del substrato della costa Versiliense.

Nei metodi di *Idriss & Boulanger* e *Juang et al.*, al contrario, l'indice di comportamento I_c è utilizzato solo indirettamente per stimare un contenuto di fini equivalente, mentre la procedura di calcolo procede con minore controllo e definizione della variabilità litologica fine in contesti stratigrafici eterogenei.

Individuare questa differenza risulta cruciale nei sedimenti con variazioni litologiche come quelle presenti nel substrato del territorio oggetto di studio, anche su spessori inferiori al metro, in quanto influenzano in modo significativo la risposta ciclica dei terreni (CRR) e dunque il valore di IPL finale.

Le classi di distinzione dell'IPL sono state stabilite utilizzando la relazione di Iwasaki (1978).

I risultati ottenuti dal *software* Liquiter mostrano che la quasi totalità del territorio comunale è caratterizzata dalla presenza di depositi non liquefacibili, in quanto le verifiche hanno fornito valori di $IPL < 2$.

Tuttavia, nelle verifiche condotte su CPTu eseguite lungo il litorale costiero, sono emersi valori di $5 < IPL < 15$, indicando come certe zone del territorio presentino un potenziale di liquefazione Alto (Iwasaki, 1978).

Queste aree sono caratterizzate dalla presenza di depositi superficiali sabbiosi poco o mediamente addensati al di sotto dei quali non è stato riscontrato (in base ai *report* delle indagini geognostiche a disposizione) il livello di sabbie da addensate a molto addensate, potente da 5 a 15 m, che invece è stato rinvenuto nel substrato delle aree più interne del territorio comunale.

I risultati delle singole verifiche a liquefazione sono riportati in Tavola QG1.9, dove sono state delineate 3 zone in cui, in base al valore di IPL calcolato dal software ($5 < IPL \leq 15$), potrebbero generarsi degli effetti legati a fenomeni di liquefazione del terreno post evento sismico. Nella stessa carta sono state individuate anche le aree con $0 < IPL \leq 2$, e quelle con $2 < IPL \leq 5$.

Tuttavia, si vuole ricordare come per il territorio di Viareggio (così come per la zona della Versilia) non siano presenti testimonianze storiche riguardo accadimenti di questo fenomeno; infine, come già accennato, è stata osservata anche una estrema variabilità dei risultati a seconda dei metodi di verifica utilizzati.

12

**CARTA DELLE MICROZONE
OMOGENEE IN PROSPETTIVA
SISMICA (MOPS) E DELLE
COLONNE MOPS - TAVOLA Q.G
1.10**

Il D.P.G.R. 30/01/2020 n. 5/R prevede che nell'ambito dell'aggiornamento del quadro conoscitivo del Piano Strutturale sia realizzato uno studio di Microzonazione Sismica (MS) di livello 1 nel caso in cui non siano disponibili studi precedenti, e/o di livello 2 nel caso in cui sia già disponibile uno studio di livello 1.

Il comune di Viareggio era già dotato di studi di microzonazione sismica di primo livello, redatti nel 2018 con il precedente Regolamento Urbanistico. In conseguenza dell'aggiornamento del quadro conoscitivo geologico-tecnico e geomorfologico, e a seguito dell'acquisizione di nuovi dati geognostici e sismici, si è reso necessario rivedere ed aggiornare i suddetti studi di microzonazione sismica di primo livello, e redigere gli studi di microzonazione di secondo livello come disposto dal D.P.G.R. 30/01/2020 n. 5/R.

E' stata quindi redatta una nuova carta MOPS, che individua le microzone omogenee nelle quali, sulla base di osservazioni geologiche, geomorfologiche e dei dati derivati da indagini sismiche, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (come ad esempio amplificazione e liquefazione).

Nello specifico delle aree studiate, le microzone individuate rientrano tutte all'interno delle "Zone stabili suscettibili di amplificazione locali", e sono state identificate in Tavola QG 1.10 mediante l'uso di un retino a tinta unita.

Le microzone nelle quali si possono avere effetti prodotti dall'azione sismica, come nel caso della liquefazione, dei cedimenti differenziali o per instabilità di versante, sono state identificate in carta utilizzando un sovrastante retino trasparente, individuandole rispettivamente come: Zone di Attenzione per liquefazione (ZAlq), Zone di Attenzione per cedimenti differenziali (ZAcD) e Zone di Attenzione per instabilità di versante (ZAfr).

Secondo quanto definito nel documento "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ) – versione 1.0 (Roma, 2017)", le zone dove si possono registrare gli effetti di liquefazione sono state identificate con la sigla ZAlq.

Nelle carte di microzonazione sismica (TAVV QG1.12, QG1.13 e QG1.14), come meglio descritto nel relativo capitolo, le ZAlq sono state poi suddivise in base al valore dell'Indice Potenziale di Liquefazione IPL ottenuto dalla verifiche di liquefazione eseguite.

Infine, la classificazione sismica redatta dalla Regione Toscana (D.G.R.T. Del 26 maggio 2014, n. 421), che aggiorna il quadro precedentemente definito dal O.P.C.M. 3274/2003 e dalla D.G.R.T. 461/2006, conferma il Comune di Viareggio nella Zona 3.

12.1 Zone stabili suscettibili di amplificazione

All'interno di questa classe rientrano la totalità delle microzone individuate per il territorio in esame.

Ad ogni zona individuata corrisponde una colonna stratigrafica, caratterizzata da unità geologiche individuate utilizzando la classificazione dettata dagli standard di rappresentazione ed informatizzazione informativa versione 4.2.

Nella carta delle MOPS del precedente Regolamento Urbanistico furono distinte 3 microzone omogenee (Z6, Z8 e Z13). In questo studio, a partire dall'osservazione di un gran numero di indagini geognostiche a disposizione, è stato possibile aggiornare e suddividere l'area del comune di Viareggio in 5 zone (2001, 2002, 2003, 2004 e 2005).

La numerazione delle zone fornita nel precedente strumento di pianificazione non è stata mantenuta, in quanto è stato necessario aggiornarla nel rispetto degli standard di rappresentazione grafica e di informatizzazione informatica versione 4.2.

Le microzone 2001 e 2002 sono state classificate come 'Zone di Attenzione per liquefazione (ZAlq)'; gli studi di microzonazione sismica di livello 2, inoltre, hanno consentito di perimetrare delle aree all'interno delle zone 2001 e 2002 che ricadono nelle 'Zone di Suscettibilità alla Liquefazione (ZSlq)'.

Per maggiori dettagli si rimanda alla Tavola QG 1.10 "Carta delle MOPS".

Di seguito si riportano le descrizioni delle colonne stratigrafiche rappresentative delle microzone MOPS. Le colonne sono riportate in veste grafica nella Tavola QG 1.10 "Colonne Stratigrafiche MOPS".

ZONE	Descrizione generale	Considerazioni inerenti le valutazioni di frequenza-velocità sismica	Misure di frequenza	Misure di Vs	Ambito abaco utilizzato (ambiti Vs cop. e F0)	FA 0105
2001	Caratterizzata alla base da un potente spessore di argille e <i>silt</i> (CL) di cordone litoraneo, il quale è sovrastato da un livello di <i>argille</i> (CL) di origine lacustre. Risalendo la stratigrafia si trovano sabbie (SP) da poco a mediamente addensate, localmente interrotte da depositi ghiaiosi. Chiude la colonna stratigrafica un orizzonte di sabbie sciolte recenti di ambiente costiero (SP).	I valori di V_{seq} della copertura si attestano sui 200 m/s o poco al di sotto, sulla base delle indagini sismiche a disposizione. Sono stati registrati picchi di amplificazione abbastanza monotoni con valori di f_0 da 0,2 a 0,5 Hz e valori di A da 0,8 a 9,7	P44 0,5Hz A0,8 P321 0,2Hz A9,7	L8 183 m/s (Vs 30) L25 200 m/s (Vs 30)	<u>Abaco > 30m</u> $V_s=200$ m/s f_0 =non significativo, assunto <1Hz	1,3
2002	Caratterizzata alla base da un potente spessore di argille e <i>silt</i> (CL) di cordone litoraneo, il quale è sovrastato da un modesto livello di argille (CL) di origine lacustre. Chiudono la stratigrafia delle sabbie (SP) da poco a mediamente addensati, localmente interrotte da depositi ghiaiosi.	I valori di V_{seq} della copertura si attestano sui 200 m/s o poco al di sopra, sulla base delle indagini sismiche a disposizione. Sono stati registrati picchi di amplificazione abbastanza monotoni con valori di f_0 da 0,3 a 0,5 Hz e valori di A da 1,8 a 4,8	P351 0,4Hz A1,8 P54 0,3Hz A4,8	L26 265 m/s (Vs 30) L4 204 m/s (Vs 30)	<u>Abaco >30m</u> $V_s=300$ m/s f_0 =non significativo, assunto <1Hz	1,2

ZONE	Descrizione generale	Considerazioni inerenti le valutazioni di frequenza-velocità sismica	Misure di frequenza	Misure di Vs	Ambito abaco utilizzato (ambiti Vs cop. e F0)	FA 0105
2003	Caratterizzata alla base da un potente livello di argille e <i>silt</i> (CL) di origine da cordone litoraneo, il quale è sovrastato da un livello di argille (CL) di ambiente lacustre. Risalendo la stratigrafia si trovano sabbie (SP) da poco a mediamente addensate, all'interno delle quali si ritrovano dei livelli di sabbie da addensate a molto addensate. Chiudono la colonna stratigrafica sabbie fini e medie di ambiente litoraneo (SP)	I valori di V_{seq} della copertura si attestano poco al di sotto dei 200 m/s, sulla base delle indagini sismiche a disposizione. Sono stati registrati picchi di amplificazione abbastanza monotoni con valori di f_0 da 0,3 a 0,5 Hz e valori di A da 2,1 a 9,8	P330 0,3Hz A4,2 P112 0,5Hz A5	L21 194 m/s (Vs 30)	<u>Abaco >30m</u> Vs=300 m/s f_0 =non significativo, assunto <1Hz	1,3
2004	Caratterizzata alla base da un potente livello di argille e <i>silt</i> (CL) di origine da cordone litoraneo, il quale è sovrastato da un livello di argille (CL) di ambiente lacustre. Risalendo la stratigrafia si trovano sabbie fini e medie (SP), da poco a mediamente addensate, interrotte da livelli di sabbie da addensate a molto addensate. Al di sopra di questo livelli si ritrovano sabbie fini e medie di ambiente litoraneo. Chiudono la colonna stratigrafica sabbie recenti sciolte di ambiente costiero (SP).	I valori di V_{seq} della copertura si attestano al di sopra dei 200 m/s, sulla base delle indagini sismiche a disposizione. Sono stati registrati picchi di amplificazione abbastanza monotoni con valori di f_0 da 0,3 a 0,5 Hz e valori di A da 2,1 a 9,8	P342 0,5Hz A2,1 P323 0,3Hz A9,8	L5 233 m/s (Vs 30) L23 205 m/s (Vs 30) L13 213 m/s (Vs 30) L3 253 m/s (Vs 30)	<u>Abaco >30m</u> Vs=300 m/s f_0 =non significativo, assunto <1Hz	1,2

ZONE	Descrizione generale	Considerazioni inerenti le valutazioni di frequenza-velocità sismica	Misure di frequenza	Misure di Vs	Ambito abaco utilizzato (ambiti Vs cop. e F0)	FA 0105
2005	Caratterizzata alla base da un potente livello di argille e silt (CL) di origine da cordone litoraneo, il quale è sovrastato da un livello di argille (CL) di ambiente lacustre. Risalendo la stratigrafia si trovano sabbie fini e medie (SP), da poco a mediamente addensate, interrotte da livelli di sabbie da addensate a molto addensate. Al di sopra di questo livelli si ritrovano sabbie fini e medie di ambiente litoraneo. Chiudono la colonna stratigrafica livelli di torbe e terre organiche (PT) di ambiente lacustre.	I valori di V_{seq} della copertura si attestano al di sopra dei 200 m/s, sulla base delle indagini sismiche a disposizione. Sono stati registrati picchi di amplificazione abbastanza monotoni con valori di f_0 da 0 a 0,4 Hz e valori di A da 2,1 a 13,9	P53 0,4Hz A2,1 P329 0,4Hz A9,5	L20 238 m/s (Vs 30) L10 266 m/s (Vs 30)	<u>Abaco >30m</u> Vs=300 m/s f0=non significativo, assunto <1Hz	1,2

13

**CARTA DI MICROZONAZIONE
SISMICA DI SECONDO LIVELLO -
TAVOLA Q.G 1.11, TAVOLA Q.G 1.12
E TAVOLA Q.G 1.13**

Le Tavole Q.G. 1.11, Q.G. 1.12 e Q.G. 1.13 presentano gli esiti dello studio di microzonazione sismica di secondo livello. Ciascuna tavola mostra i fattori di amplificazione di sito prendendo in esame periodi differenti di oscillazioni (T) delle strutture tra $0,1 < T < 0,5s$ (Tavola Q.G. 1.11), $0,4 < T < 0,8s$ (Tavola Q.G. 1.12) e $0,7 < T < 1,1s$ (Tavola Q.G. 1.13).

Considerando il contesto edilizio del territorio in esame, l'ambito del periodo T di interesse significativo a fini urbanistici è quello rappresentato nella Tavola QG 1.11 (0,1 - 0,5 secondi); pertanto proprio questo elaborato rappresenta la base per la redazione della carta di Pericolosità Sismica locale (Tavola Q.G 1.14).

Per la realizzazione di queste carte risulta fondamentale la disponibilità di dati (f_0 e V_s) necessari per una corretta applicazione degli appositi abachi.

Difatti, per la definizione del fattore di amplificazione sismica nelle aree analizzate si è fatto uso degli abachi regionali che, tramite un approccio semplificato, consentono di quantificare l'amplificazione attesa nelle zone "stabili suscettibili di amplificazione".

Tali abachi si differenziano sulla base dei seguenti fattori:

1. Area geografica;
2. Tipologia dell'input sismico;
3. Presenza di substrato sismico a profondità maggiore o minore a 30m;
4. Tipo di fattore di amplificazione.

Il Comune di Viareggio fa parte della Macroarea Toscana Costiera i cui abachi di riferimento sono riportati in figura 13.1, successiva.

Per la realizzazione della Carta MS si è pertanto proceduto ad assegnare alle varie Microzone, individuate nello studio di Livello 1, i valori del Fattore di Amplificazione secondo la procedura indicata nelle Specifiche Tecniche Regionali (2021).

Il fattore di amplificazione (fattore di amplificazione di Housner – FA), che si distingue in FA (0,1-0,5 s), FA (0,4–0,8 s) e FA (0,7-1,1 s) è funzione delle classi relative ai valori dei due parametri rappresentativi dalla situazione sismo-stratigrafica locale ovvero della frequenza fondamentale (f_0) e della velocità media V_{s30}/V_{sh} .

Per ciascuna Microzona sono state definite le condizioni al contorno (A_g e profondità del substrato) ed individuate le misure di rumore presenti nonché le indagini sismiche utili alla definizione della V_s necessarie alla determinazione delle classi di frequenza e velocità per l'utilizzo degli abachi.

Figura 13.1: Abaco di riferimento Toscana Costiera

Toscana costiera



FA 0.1 < T < 0.5 s										
	Vs30 (m/s)	f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
	<200	1.3	1.4	2.1						1.4
	300	1.2	1.4	1.7	1.7	1.8	1.5	1.5	1.1	1.7
	500	1.0	1.2	1.3	1.5	1.5	1.4	1.2	1.5	1.3
	700	0.9	1.1	1.3			1.4	0.9	1.2	1.1
	≥800	0.8	0.8							0.8

FA 0.4 < T < 0.8 s										
	Vs30 (m/s)	f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
	<200	1.8	2.2	2.9						2.0
	300	1.4	1.9	2.1	1.7	1.6	1.5	1.5	1.1	1.6
	500	1.2	1.4	1.4	1.5	1.3	1.2	1.1	1.2	1.3
	700	1.1	1.3	1.5			1.3	0.9	1.1	1.1
	≥800	0.9	0.9							0.9

FA 0.7 < T < 1.1 s										
	Vs30 (m/s)	f0 (Hz)								
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
	<200	2.1	2.7	2.6						2.5
	300	1.5	1.9	1.8	1.5	1.7	1.7	1.5	1.1	2.2
	500	1.3	1.6	1.4	1.6	1.3	1.2	1.2	1.2	1.3
	700	1.1	1.5	1.3			1.4	0.9	1.0	1.2
	≥800	1.0	1.0							1.0

CLASSI

Velocità (m/s)	
Vs < 200	
300	200 ≤ Vs < 400
500	400 ≤ Vs < 600
700	600 ≤ Vs < 800
≥ 800	

Frequenza (Hz)	
1.5	f0 < 1
2.5	1 ≤ f0 < 2
3.5	2 ≤ f0 < 3
4.5	3 ≤ f0 < 4
5.5	4 ≤ f0 < 5
6.5	5 ≤ f0 < 6
7.5	6 ≤ f0 < 7
≥ 8	7 ≤ f0 < 8

In queste cartografie sono stati inoltre aggiunti:

il perimetro delle ZAlq (per $0 < IPL \leq 2$), come individuato nella carta MOPS. Questo inserimento non è previsto dalla normativa, che per le carte di microzonazione sismica di II livello richiede l'inserimento delle sole ZSlq. Tuttavia, considerando l'incertezza di tutti i dati inseriti per giungere al valore di IPL, è stato deciso comunque di conservare il perimetro delle ZAlq, al cui areale è stato attribuito, in via cautelativa, la classe di pericolosità sismica S3;

le zone ZSlq, come individuate nella carta dell'indice di potenziale liquefazione, suddivise in $2 < IPL \leq 5$ e $5 < IPL \leq 15$;

le zone ZAcD, di attenzione per cedimenti differenziali;

le zone ZAid di attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti, corrispondenti a liquefazione e cedimenti differenziali per le aree lungo il litorale costiero, mentre per quelle inerenti gli argini degli invasi idrici (le aree 'FD3' in Tavola QG1.1) corrispondono a cedimenti differenziali e instabilità di versante attiva.

14

**CARTA DELLA PERICOLOSITA'
SISMICA – TAVOLA Q.G 1.4**

La sintesi di tutte le informazioni derivanti dagli studi microzonazione sismica di livello 1 e di livello 2 hanno consentito di valutare le condizioni di pericolosità sismica all'interno delle aree MOPS secondo i criteri dettati dal D.P.G.R. n. 5/R del 2020, di seguito elencati:

Pericolosità sismica molto elevata (S4):

- aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e capaci, in grado di creare deformazione in superficie **(non presenti nelle zone di studio)**;
- terreni suscettibili di liquefazione dinamica accertati mediante indagini geognostiche oppure notizie storiche o studi preesistenti;
- aree interessate da instabilità di versante attive e relativa area di evoluzione, tali da subire un'accentuazione del movimento in occasione di eventi sismici.

Pericolosità sismica locale elevata (S.3):

- aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti rilevanti;
- aree potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica, caratterizzate da terreni per i quali, sulla base delle informazioni disponibili, non è possibile escludere a priori il rischio di liquefazione;
- zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse **(non presenti nelle zone di studio)**;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, connesse con un alto contrasto di impedenza sismica atteso entro alcune decine di metri dal piano di campagna **(non presenti nelle zone di studio)**;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (F_x) > 1.4 **(non presenti nelle zone di studio)**;
- aree interessate da instabilità di versante quiescente, relative aree di evoluzione, nonché aree potenzialmente franose, di seguito, e come tali, suscettibili di riattivazione del movimento in occasione di eventi sismici **(non presenti nelle zone di studio)**.

Pericolosità sismica locale media (S.2):

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connessi con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1 Hz;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (F_x) < 1.4;
- zone stabili suscettibili di amplificazione topografica (pendii con inclinazione superiore a 15 gradi) **(non presenti nelle zone di studio)**;

- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, non rientranti tra quelli previsti nelle classi 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 (pendii con inclinazione inferiore a 15 gradi), dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica **(non presenti nelle zone di studio)**.

Nella legenda inserita in cartografia le classi di pericolosità S3 ed S4 sono state suddivise in base al fenomeno che le determina, indicando il valore di IPL per la liquefazione dinamica.

Dall'analisi della Tavola Q.G1.14 risultano essere prevalenti le classi di pericolosità sismica elevata (S.3) e pericolosità sismica locale media (S.2). A seguito delle verifiche a liquefazione è stato possibile, inoltre, identificare alcune zone che ricadono in classe di pericolosità sismica locale molto elevata (S.4) avendo $5 < IPL \leq 15$.

In classe S4 ricadono anche le aree interessate da instabilità di versante attive corrispondenti alle sponde degli invasi idrici delle ex cave di sabbia.

La classe di pericolosità sismica S.2 ricomprende la parte centrale del territorio comunale, caratterizzata, per quanto riguarda il substrato, dalla presenza di uno spessore modesto di sabbie da addensate a molto addensate.

La classe di pericolosità sismica S.3 è stata attribuita ad una fascia di litorale interposta fra Marina di Torre del Lago e la foce del Fiume Camaio. Un'altra area ricadente nella stessa classe di pericolosità è in prossimità del lago di Massaciuccoli, dove sono presenti torbe e terre organiche che presentano caratteristiche geotecniche scadenti.

Le aree ricadenti in classe di pericolosità S.4 comprendono 3 porzioni di territorio poste nella zona settentrionale del Comune, corrispondenti a parte del litorale costiero ed alcune aree molto ristrette all'interno della Pineta di Ponente.

15 | **SALVAGUARDIE DEL TERRITORIO**

I criteri di fattibilità per gli interventi, graduati in base alle classi di pericolosità geologica, sismica ed idraulica sono quelli previsti del D.P.G.R. 5/R/2020. Per gli aspetti geologici ed idraulici valgono inoltre le limitazioni previste nel PAI, nel PGRA e nel PGA dell'Autorità distrettuale dell'Appennino Settentrionale; ulteriori limitazioni per gli aspetti idraulici sono dettati dalla L.R. 41/2018.

L'aggiornamento, l'integrazione, oppure la correzione di errori materiali contenuti, negli elaborati concernenti le indagini di pericolosità idrogeologica e sismica, comprensive delle presenti disposizioni, non costituiscono variante agli strumenti della pianificazione territoriale, ai sensi dell'articolo 21 della L.R. 65/2014.

Relativamente agli elaborati da produrre in sede di redazione di relazione geologica di supporto ad interventi diretti, a piano attuativi o a varianti, è necessario:

- l'aggiornamento in relazione alla continua evoluzione normativa: la relazione darà atto che non sono intervenute modifiche rispetto al quadro conoscitivo di riferimento, relativamente agli aspetti geologico, idraulico e sismico. In caso contrario, è necessario procedere ad aggiornare tale quadro conoscitivo con riferimento alla porzione di territorio interessata dalle mutate condizioni di pericolosità.
- eseguire approfondimenti in relazione alle problematiche individuate nelle cartografie di PS e valutare la possibile interferenza di diversi fattori di pericolosità nella fragilità complessiva e nella fattibilità delle trasformazioni. La relazione geologica o altra documentazione tecnica similare, sulla base degli approfondimenti condotti dovrà certificare che l'intervento previsto risulta ammissibile.

Ad integrazione di quanto dettato dalle normative sovraordinate, di seguito si elencano una serie di limitazioni che si intendono prescrittive in attesa della redazione del Piano Operativo. In tutti i casi gli approfondimenti di indagine richiesti dovranno essere rispondenti alla normativa sovraordinata vigente (NTC2018, DPGR 1/R e relativi allegati, PAI, PGRA, etc.) e commisurati con l'importanza dell'intervento e con la sua rilevanza in termini di pubblica incolumità.

15.1 Aspetti geologici

Classe G2: per questa classe non state individuate particolari situazioni di criticità da associare alla presenza di fenomeni o processi in atto. Tuttavia, la fattibilità degli interventi ricadenti in tale classe è subordinata a:

- a. indagini di approfondimento estese all'ambito geologico, geomorfologico e geotecnico significativo;
- b. l'intervento previsto non deve modificare negativamente le condizioni ed i processi geomorfologici presenti nell'area;

- c. la relazione geotecnica dovrà verificare che l'intervento non costituisca una problematica dal punto di vista geotecnico per eventuali edifici e/o strutture limitrofe;
- d. le relazioni geologica e geotecnica dovranno essere corredate da indagini geognostiche di dettaglio (al minimo secondo quanto previsto dalla normativa regionale) realizzate all'interno del sito oggetto di intervento, finalizzate alla caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del terreno di fondazione.

Classe G.3: in questa classe sono state individuate e perimetrate quelle aree in cui sono riscontrabili fenomeni associabili a cedimenti del terreno e/p a fenomeni evolutivi della costa. Nella carta di pericolosità geologica, questi le suddette aree sono state campite con retinato differente in modo da poterle distinguere.

- a. Nelle zone perimetrate per possibili cedimenti, l'attuazione di interventi di nuova edificazione o nuove infrastrutture è subordinata all'esito di idonei studi geologici, idrogeologici e geotecnici finalizzati ad individuare la loro possibile insorgenza; nel caso di esito positivo, in fase progettuale dovranno altresì essere realizzati tutti gli accorgimenti volti all'eliminazione di suddetti fenomeni.
- b. Nelle zone perimetrate come soggette a fenomeni evolutivi della costa, possono verificarsi fenomeni erosivi in occasione di forti mareggiate; pertanto, oltre a quanto prescritto per la classe G2, la fattibilità degli interventi è subordinata all'esito di studi geologici, idrogeologici e rilievi, finalizzati alla verifica delle effettive condizioni di stabilità del sito. Qualora dagli studi, dai rilievi e dalle indagini ne emerga l'esigenza, la fattibilità degli interventi è subordinata alla preventiva o contestuale realizzazione degli interventi di messa in sicurezza.

Gli interventi di messa in sicurezza, che sono individuati e dimensionati in sede di intervento edilizio diretto, sono tali da:

- c. non pregiudicare le condizioni di stabilità nelle aree adiacenti;
- d. non limitare la possibilità di realizzare interventi definitivi di stabilizzazione;
- e. consentire la manutenzione delle opere di messa in sicurezza;
- f. la durata del monitoraggio relativo agli interventi di messa in sicurezza è definita in relazione alla tipologia e sarà concordata con la struttura regionale competente;
- g. Il raggiungimento delle condizioni di sicurezza costituisce il presupposto per il rilascio di titoli abilitativi.

Classe G.4: questa classe ricomprende le perimetrazioni già presenti nelle cartografie dell'Autorità Distrettuale dell'Appennino Settentrionale (classe P4) che coinvolgono le sponde degli invasi idrici delle ex cave di sabbia. In queste aree, sono da prevedersi solo interventi di messa in sicurezza e/o di stabilizzazione dei fenomeni. Eventuali

interventi di messa in sicurezza dovranno essere sottoposti al parere dell'Autorità Distrettuale e dovranno essere tali da:

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

15.2 Aspetti sismici

Classe S3: questa classe ricomprende le aree in cui non si possono escludere fenomeni legati al cedimento dei terreni, e/o insorgenza di fenomeni legati alla liquefazione.

- a. In questa classe, oltre alle zone ZSlq con valori di $2 \leq IPL \leq 5$, in via cautelativa, sono state ricomprese anche le zone che in prima analisi sono state definite come ZAlq (vedasi Carta MOPS), ma per le quali risulta $0 \leq IPL \leq 2$.
- b. Per queste zone (ZAlq) si chiede di porre comunque particolare attenzione alla problematica, verificando nel dettaglio, sulla base di indagini condotte in sito (nel rispetto del D.P.G.R. 1/R/22) la possibile insorgenza dei fenomeni di liquefazione.
- c. Per le aree individuate come (ZSlq con $2 \leq IPL \leq 5$): la fattibilità degli interventi di nuova edificazione è subordinata all'esito delle verifiche delle condizioni di liquefazione dei terreni e, in funzione di tali analisi, all'eventuale realizzazione di interventi di riduzione della pericolosità sismica dei terreni (in conformità a NTC2018, punto 7.11.3.4).
- d. La fattibilità degli interventi sul patrimonio edilizio esistente, fatti salvi quelli che non incidono sulle parti strutturali degli edifici e fatti salvi gli interventi di riparazione o locali (NTC18, punto 8.4.3), è subordinata, se necessari, all'esecuzione di interventi di miglioramento o adeguamento sismico (in coerenza con le NTC 2018, punto 8.4).
- e. Per gli aspetti relativi a possibili cedimenti differenziali vale quanto dettato per questa fenomenologia nella classe G3.

Classe S4: questa classe ricomprende le aree interessate da possibili instabilità (sponde degli invasi idrici delle ex cave di sabbia) e quelle zone individuate come ZSlq con $5 \leq IPL \leq 15$.

Per le aree individuate come (ZSlq con $5 \leq IPL \leq 15$):

- a. la fattibilità degli interventi di nuova edificazione è subordinata alla preventiva realizzazione di interventi finalizzati alla riduzione della pericolosità sismica dei

terreni (in conformità a NTC 2018, punto 7.11.3.4) da accertare in funzione dell'esito delle verifiche geotecniche in fase di rilascio del titolo abilitativo;

- b. la fattibilità degli interventi sul patrimonio edilizio esistente, fatti salvi quelli che non incidono sulle parti strutturali degli edifici e fatti salvi gli interventi di riparazione o locali (NTC18, punto 8.4.3), è subordinata all'esecuzione di interventi di miglioramento o adeguamento sismico (in coerenza con le NTC 2018, punto 8.4).

15.3 Aspetti idraulici

Si ricorda che negli alvei, nelle golene, sugli argini e nelle aree comprendenti le due fasce di larghezza di dieci metri dal piede esterno dell'argine o, in mancanza, dal ciglio di sponda dei corsi d'acqua del reticolo idrografico, si applicano le misure di tutela dell'articolo 3 della L.R. 41/2018.

Nelle aree di fondovalle poste in situazione morfologica sfavorevole, come individuate al paragrafo B4 della DGRT 31 del 20 gennaio 2020, esterne agli studi idraulici, e per tematiche non riferibili agli elementi studiati, la fattibilità degli interventi è condizionata alla realizzazione di studi idraulici finalizzati all'aggiornamento e riesame delle mappe di pericolosità di alluvione di cui alla L.R. 41/2018, commisurati alle opere in progetto.

Si ricorda che nelle aree poste a pericolosità idraulica di PGRA non legata a specifici studi idraulici che ne definiscano l'entità di battente, velocità e magnitudo, il battente di riferimento, viene altrimenti definito con le procedure dell'art. 18 della L.R. 41/2018.

In ogni caso gli interventi proposti devono prevedere che non sia superato il rischio medio R2 (D.P.C.M.29/09/1998).

Quando l'attuazione della previsione sia condizionata dalla realizzazione di opere di sopraelevazione, di cui all'art. 8 della L.R.41/2018, conseguendo la classe di rischio medio R2, la quota di riferimento per la sopraelevazione risulta quella del battente individuato nello studio idraulico per alluvioni poco frequenti, più un opportuno franco, dove i valori minimi sono stabiliti:

- di cm.20 per il piano di calpestio in corrispondenza di magnitudo idraulica moderata;
- di cm.30 per il piano di calpestio in corrispondenza di magnitudo idraulica severa o molto severa;
- di cm.50 a tutela degli eventuali volumi interrati;

Per le aree a parcheggio a raso poste in pericolosità idraulica, in considerazione delle condizioni di fattibilità, dovrà essere valutata la compatibilità con il raggiungimento del valore di rischio R2 di cui all'art. 13 c.4 lett b). La quota minima di progetto del finito del parcheggio a raso potrà quindi essere posta pari al battente della Tr200, ammettendo un battente residuo pari a 5 cm in condizioni di magnitudo moderata, o assumendo franco idraulico pari a 10 cm in condizioni di magnitudo severa o molto severa. E' comunque prescritto che il Piano Comunale di Protezione Civile ne regoli preventivamente l'utilizzo in caso di eventi alluvionali.

15.4 Aspetti idrogeologici

Nei mesi di dicembre 2023 ed aprile 2024, sono state condotte due campagne di monitoraggio per lo studio qualitativo generale delle acque superficiali e sotterranee per l'intero territorio comunale. Gli esiti sono descritti nella relazione geologica di supporto al PS.

Precedentemente al PO, è auspicabile che le misurazioni vengano ripetute, anche nell'ottica della richiesta di modifica ed aggiornamento delle "Aree ad intrusione salina come cartografate nel progetto PAI "Piano di Gestione delle acque".

15.5 Invarianza idraulica

- a. Ogni trasformazione del suolo deve garantire il mantenimento di una superficie scoperta permeabile, cioè tale da consentire l'assorbimento anche parziale delle acque meteoriche, pari ad almeno il 25% della superficie fondiaria (rapporto di permeabilità pari al quoziente tra la Superficie permeabile di pertinenza fratto la superficie fondiaria), come stabilito dal DPGR 39/R/2018, e comunque secondo quanto normato nelle NTA.
- b. In occasione di ogni trasformazione di realizzazione o di adeguamento, di piazzali, parcheggi, elementi di viabilità pedonale o meccanizzata, devono essere adottate modalità costruttive che consentano l'infiltrazione, oppure la ritenzione, anche temporanea, delle acque meteoriche. Può essere fatta eccezione soltanto per dimostrati motivi di sicurezza ovvero di tutela di interessi storico-ambientali.
- c. I progetti delle trasformazioni comportanti la realizzazione di superfici impermeabili o parzialmente permeabili, o che prevedano modifiche di uso e/o utilizzo del suolo devono prevedere il rispetto dell'invarianza idraulica. Sono esenti dal realizzare la relazione sull'invarianza idraulica quegli interventi che comportano un incremento della superficie impermeabile sino a 10 mq a condizione che realizzino un volume di invarianza di almeno 0,5 mc. Per interventi che realizzino fino a 100 mq di superficie di nuova impermeabilizzazione il volume di invarianza può essere gestito secondo modalità di ritenzione e progressiva laminazione e restituzione usualmente adottate (vasche e tubazioni di raccolta e laminazione con fondo perdente e/o con bocca tarata etc.).
- d. Il volume minimo di cui al comma precedente derivante dalle nuove impermeabilizzazioni e soggetto a invarianza idraulica deve essere calcolato secondo la procedura ritenuta idonea e giustificata dal professionista nella specifica relazione idraulica di accompagnamento al progetto.

- e. Possono essere adottate soluzioni alternative a quella della realizzazione del volume d'invaso di cui ai commi precedenti, purché si dimostri la pari efficacia in termini di mantenimento dei colmi di portata di piena ai valori precedenti l'impermeabilizzazione o trasformazione dei suoli. A tal fine il proponente dovrà corredare il progetto di un'apposita documentazione idrologica ed idraulica.
- f. Della sussistenza delle condizioni di invarianza idraulica richiamate ai punti precedenti deve essere dato atto nel procedimento amministrativo relativo al titolo abilitativo all'attività edilizia.

15.6 Fognature

- a. Le reti fognarie di nuova realizzazione per le acque bianche dovranno essere progettate per favorire il massimo invaso di acqua, ottenibile attraverso ampie dimensioni, ridotta profondità (in modo da mantenerle vuote nei periodi asciutti) e bassa pendenza (per ridurre la velocità del flusso).
- b. E' vietato il convogliamento delle acque raccolte dai pluviali delle coperture in fognatura o nei corsi d'acqua, quando sia tecnicamente possibile il loro convogliamento in aree permeabili, senza determinare fenomeni di ristagno e/o di instabilità. Qualora ciò non fosse possibile potranno essere immesse in fognatura o nei corsi d'acqua, prevedendo a monte sistemi di laminazione del picco di piena, valutato per eventi con tempo di ritorno ventennale (Tr20) di durata oraria (1h) o secondo metodi di comprovata validità e provvedendo preventivamente alla richiesta delle necessarie autorizzazioni da parte degli enti competenti.
- c. Qualora sia previsto il convogliamento delle acque defluenti dalle fosse campestri nella fognatura pubblica, dovranno essere previsti manufatti per l'abbattimento del trasporto solido per preservare nel tempo la funzionalità delle condotte sotterranee.

15.7 Vulnerabilità dell'acquifero a fenomeni di intrusione salina

- a. Nelle aree identificate nella Tavola QG 1.3.3 "Carta delle problematiche idrogeologiche", con la sigla IS1 ed IS2 valgono le limitazioni di cui al Piano di Gestione delle Acque (2021-2027 III ciclo) dell'Autorità distrettuale dell'appennino settentrionale.
- b. Nella stessa tavola sono identificati gli areali per i quali, sulla base della campagna di misurazione eseguita nel dicembre 2023 e nell'aprile 2024, la conducibilità dell'acquifero superficiale risulta maggiore di 1000 *microsiemens*. In tali aree è necessario porre l'attenzione alle quantità ed alla qualità della

risorsa idrica sotterranea. A tale riguardo, fermo restando i condizionamenti e le limitazioni imposte dalle normative sovraordinate, si prescrive di limitare i nuovi prelievi/emungimenti delle acque di falda nelle portate e nei tempi, e di effettuare una valutazione ambientale dei nuovi prelievi/emungimenti dai corpi idrici sotterranei, a qualunque uso richiesti, in conformità agli obiettivi di tutela del Piano di Gestione delle Acque dell'Appennino Settentrionale per attestare la fattibilità dell'intervento. Tale valutazione ha lo scopo di stabilire le condizioni per il prelievo di acqua da corpi idrici sotterranei, in modo da non deteriorare le condizioni dell'area.

- c. Nelle aree di cui alla lettera b, non potranno essere attivati nuovi emungimenti dal sottosuolo, né incrementati quelli esistenti, compresi gli emungimenti temporanei realizzati per gli scavi sotto falda, ad esclusione di quelli con profondità inferiore a 1.5 m dalla superficie libera della falda e/o di quelli i cui effetti siano annullabili attraverso impianti di reimmissione o limitazione delle portate emunte.
- d. Per l'intero territorio comunale devono essere incentivate soluzioni alternative di approvvigionamento idrico quali: riciclo di acque interne e/o esterne (da impianti di depurazione), il riuso consortile.

15.8 Pozzi

- a. Al fine di tutelare la risorsa idrica sotterranea, si rimarca in generale la necessità che siano gestiti gli emungimenti sotterranei in maniera tale da evitare in particolare fenomeni di aggravamento del quadro relativo alla intrusione del cuneo salino e alla propensione alla subsidenza. In questo senso tutti gli emungimenti ed in funzione del loro utilizzo, dovranno essere autorizzati preventivamente dalla Regione Toscana previo studio idrogeologico e tecnico redatto in conformità alla normativa vigente in materia e assoggettati a specifica valutazione ambientale con limitazioni della portata istantanea e dei quantitativi prelevabili.
- b. Negli allegati agli indirizzi del Piano Gestione Acque dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale si evidenzia, a questo proposito, la Scheda norma 7 – Limitazioni temporanee alle derivazioni da acque superficiali e sotterranee dal bacino del lago di Massaciuccoli che disciplina le disposizioni relative alle acque sotterranee e superficiali a cui attenersi per tutto il territorio del Comune di Viareggio ricadente all'interno del bacino del lago di Massaciuccoli.
- c. La realizzazione di nuovi pozzi, esclusivamente nelle aree esterne alla perimetrazione di cui alla conducibilità > 1.000 *microsiemens*, è soggetta a quanto definito dal T.U. n. 1775/1933, dal D.P.G.R. 61/R/2016 e dalle norme del Piano di Gestione delle Acque PGA (2021-2027 III ciclo) dell'Autorità distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

- d. Intorno ai pozzi per qualsiasi utilizzo, dovrà essere mantenuta una fascia di rispetto minima di 30 m all'interno della quale sono vietati lo scarico diretto nel terreno tramite subirrigazione o pozzi assorbenti, la fertirrigazione, lo spandimento di acque vegetative nonché la realizzazione di lagoni di accumulo di liquami, di strutture interrate di deposito o magazzinaggio di prodotti chimici e simili.

15.9 Viabilità

- a. La realizzazione di nuova viabilità non dovrà costituire ostacolo al normale deflusso delle acque superficiali. Eventuali rilevati stradali dovranno essere corredati da specifici studi che prevedano la ricucitura del reticolo idrografico minore ed analizzino l'interazione del nuovo manufatto con la distribuzione delle acque in caso di esondazione dai corsi d'acqua limitrofi.
- b. La realizzazione di nuove strade o accessi carrabili (in rilevato e non) dovrà mantenere inalterata l'efficienza del reticolo idrografico, verificando le sezioni idrauliche preesistenti ed intervenendo in caso di insufficienza.
- c. Da tali studi dovranno emergere le soluzioni da adottare per non incrementare il livello di rischio idraulico nelle aree circostanti.
- d. Per le aree interessate da pericolosità da alluvione, vale quanto previsto dalla L.R. 41/2018

15.10 Reticolo idrografico minore

- a. Per gli interventi riguardanti i corsi d'acqua inseriti nel Reticolo Idrografico e di gestione della Regione Toscana, vale quanto previsto dalla L.R. 79/2012 e dalla L.R. 41/2018.
- b. Qualunque intervento che modifichi l'assetto originario del reticolo idrografico minore esterno al Reticolo individuato dalla L.R. 79/2012 (sul quale gli interventi sono di competenza regionale) dovrà essere supportato da uno studio che dimostri la funzionalità del sistema drenante e le eventuali modifiche da apportare. L'indagine dovrà essere estesa all'area scolante attraverso un rilievo di dettaglio, in modo da definire i rapporti gerarchici tra le varie linee di drenaggio delle acque superficiali.
- c. Anche i tombamenti, laddove ammissibili, nonché preventivamente autorizzati, di ogni dimensione e lunghezza, in aree urbane o agricole, dovranno essere opportunamente dimensionati e supportati da apposito progetto che dimostri la funzionalità dell'opera.
- d. I proprietari dei fondi interessati da corsi d'acqua o linee di drenaggio sono tenuti alla loro manutenzione senza apportare modifiche alle caratteristiche

funzionali, nonché al ripristino delle stesse nei casi di non funzionamento. Sui corsi d'acqua non ricompresi nel Reticolo Idraulico definito ai sensi della L.R. 79/2012, nonché sulle fossette campestri, gli interventi di alterazione del tracciato e/o di copertura dell'alveo potranno avvenire solo per comprovata necessità e dovranno essere opportunamente dimensionati e supportati da apposito progetto che dimostri la funzionalità dell'opera. Eventuali solchi da erosione venutisi a creare in seguito ad eventi anche eccezionali dovranno prontamente essere ripristinati, avendo cura di aumentare il volume delle affossature, per evitare il ripetersi del fenomeno.

- e. In generale tutti gli interventi non dovranno essere limitati alla conservazione dello stato attuale ma prevedere il miglioramento dell'assetto idraulico complessivo previo rilascio delle necessarie autorizzazioni da parte degli enti preposti.

15.11 Costruzioni interrato sotto falda

La messa in opera di impianti di abbattimento temporaneo della falda freatica, funzionali alla realizzazione di scavi temporanei deve essere autorizzata dalla Regione Toscana ai sensi del Regolamento di Attuazione dell'art. 11 commi 1 e 2 della LR 80/2015 – norme in materia di difesa del suolo, tutela delle risorse idriche e tutela della costa e abitati costieri. Nello studio idrogeologico per la realizzazione dell'impianto di abbattimento temporaneo della falda, dovranno essere valutati gli effetti che la depressione della falda comporta su edifici e opere limitrofe, nei confronti della subsidenza e del cuneo salino rispettando le prescrizioni di cui al PGA dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale nonché le limitazioni imposte nel caso in cui si ricada in aree vulnerate con conducibilità $> 1.000 \text{ microsiemens}$ (ammessi gli emungimenti temporanei realizzati per gli scavi sotto falda con profondità massima inferiore a 1,5 m dalla superficie libera della falda e/o quelli i cui effetti siano annullabili attraverso impianti di reimmissione o limitazione delle portate emunte).

Ponsacco 09/02/2026

Geol. Emilio Pistilli