



CITTÀ DI VIAREGGIO

# Piano Attuativo degli Arenili

## RELAZIONE INERENTE GLI STUDI GEOLOGICI

**Sindaco**

GIORGIO DEL GHINGARO

**Assessore alla Pianificazione Strategica della Città**

FEDERICO PIERUCCI

**Dirigente Settore Pianificazione Urbanistica - Infrastrutture**

STEFANO MODENA

**Garante della Comunicazione**

IVA PAGNI

**Settore Pianificazione Urbanistica - Infrastrutture  
Collaboratori**

Ornella Angeli | Cesare Berti  
Cristiana Bertucelli | Simonetta Bruciati  
Claudia Fruzza | Eleonora Giannecchini  
Eleonora Lencioni | Peter Andrew Moggia  
Jonas Muraro | Sabrina Petri

**Progettazione urbanistica**  
Gabriele Borri | Pier Paolo Baldini

**Studi geologici**  
Francesco Ceccarelli

**Autorità Competente VAS**

Dirigente Settore LL.PP. e Progettazione - Silvia Fontani  
Gianlorenzo Dalle Luche | Paola Malcontenti  
Maurizio Tani

**Valutazione Ambientale Strategica  
Processo di partecipazione**  
Università di Pisa  
Scuola di Ingegneria - DESTeC  
Coord. scientifico - Fabrizio Cinelli  
Spec. VAS - Marco Mancino

2021

## SOMMARIO

SINTESI DELLE CONOSCENZE .....	3
ANALISI ED APPROFONDIMENTI .....	3
VALUTAZIONI DELLE PERICOLOSITÀ .....	4
ELABORATI PRODOTTI .....	4
<b>Elementi per la valutazione degli aspetti geologici .....</b>	<b>5</b>
INQUADRAMENTO GENERALE - GEOGRAFICO E MORFOLOGICO .....	5
INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	5
La piana Versiliese .....	5
L'ANDAMENTO DELLA COSTA .....	8
Apporto bilancio e sedimentologia del litorale .....	8
Valutazioni sulla base dei dati di letteratura e su dati prodotti dal Consorzio Pisa Ricerche stesso, dall'università di Firenze nell'ambito del progetto ARPAT per il monitoraggio dell'erosione costiera nel tratto tra Livorno e Punta Bianca e da ulteriori studi effettuati sulle dinamiche del litorale.....	11
profilo trasversale della spiaggia .....	12
Il moto ondoso.....	14
ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI GEOLOGICI - TAVOLA G.1 CARTA GEOLOGICA GEOMORFOLOGICA .....	17
ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI GEOLOGICO-TECNICI -TAVOLA G.2 CARTA LITOTECNICA .....	18
ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI GEOLOGICO-TECNICI - TAVOLA G.3 CARTA DEI DATI DI BASE.....	19
ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI CONNESSI ALLA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA - TAVOLA G.4 CARTA IDROGEOLOGICA .....	20
ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO - TAVOLA G.11 VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO .....	22
<b>Elementi per la valutazione degli aspetti sismici .....</b>	<b>23</b>
La sismicità storica.....	23
Sorgenti Sismogenetiche.....	26
Pericolosità sismica.....	28
CARTA DELLE FREQUENZE - TAVOLA G.5.....	33
CARTA DELLE VS - TAVOLA G.6 .....	34
VALUTAZIONE DELLA CARTA DELLE MOPS - TAVOLA G.7 .....	35
CARTE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA - TAVOLA G.8 A, B, C.....	36
Verifica del potenziale di liquefazione.....	40
<b>LE CARTE DELLA PERICOLOSITÀ .....</b>	<b>43</b>
CARTA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA - TAVOLA G.9 .....	44
CARTA PERICOLOSITÀ SISMICA - TAVOLA G.10 .....	45
CARTA PERICOLOSITÀ IDRAULICA E ALLUVIONI COSTIERE - TAVOLA G.12 .....	46
<b>CRITERI UTILIZZATI PER LA VALUTAZIONE DELLE FATTIBILITÀ .....</b>	<b>48</b>
MATRICI DI FATTIBILITÀ.....	48
<b>Bibliografia.....</b>	<b>51</b>

## Premessa

A seguito dell'incarico ricevuto dall'Amministrazione Comunale di Viareggio sono condotte le indagini geologiche, idrogeologiche e sismiche di supporto al nuovo Piano Attuativo degli Arenili ai sensi della L.R. 65/2014 DECRETO DEL PRESIDENTE DELLA GIUNTA REGIONALE 30 gennaio 2020, del DPGR n. 5/R Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 "Norme per il governo del territorio" e delle norme PAI e PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Gli studi di microzonazione sismica sono redatti ai sensi del OPCM 13-11-2010 n 3907 e standard versione 4.1.

## SINTESI DELLE CONOSCENZE

La presente relazione si è avvalsa della raccolta di documentazione riguardante il quadro conoscitivo esistente come quello derivante dai Piani di Bacino, dal Piano di Indirizzo Territoriale e dal Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, al fine di inquadrare le problematiche e i vincoli presenti sul territorio e sulla cui base, indirizzare le successive analisi ed approfondimenti.

Le presenti indagini geologiche, idrogeologiche e sismiche redatte a supporto del nuovo Piano Strutturale comunale, sono state condotte prendendo in considerazione quanto già presente nel quadro conoscitivo derivante dai precedenti studi comunali di governo del territorio, le informazioni disponibili nel Piano di Bacino dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale ai sensi del Decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n. 294 del 25 ottobre 2016 – entrato in vigore il 17 febbraio 2017) e nelle banche dati presenti nel portale della Regione Toscana (GeoScopio) attraverso la consultazione della cartografia geologica regionale (Database Geologico della Regione Toscana, scala 1:10.000 - aggiornamento del Continuum Geologico Regionale).

Sono consultati:

- Piano di Indirizzo Territoriale con valenza di Piano Paesaggistico (P.I.T.);
- Piano Territoriale di Coordinamento della Provincia di Lucca (P.T.C.P.);
- Ricerca dei dati di base litostratigrafici, geotecnici e sismici appartenenti al comune di Viareggio;
- Banca Dati stratigrafica della Toscana (SIRA);
- Consultazione Banca dati del Servizio Geologico d'Italia (ISPRA)
- Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), realizzato dall'ISPRA
- Dati di Interferometria SAR satellitare geo portale LAMMA
- Consultazione del portale ARPAT – SIRA

## ANALISI ED APPROFONDIMENTI

Gli approfondimenti, estesi a tutto il territorio comunale oggetto di Piano Attuativo degli Arenili, hanno riguardato gli elementi geologici geomorfologici, gli elementi litologici, gli elementi per la valutazione degli aspetti idrogeologici e topografici, i quali sono stati aggiornati e modificati, quando necessario, a seguito di specifici sopralluoghi e nuovi rilievi.

L'assetto idrogeologico è stato delineato considerando eventuali situazioni di criticità e valutando gli aspetti connessi alla risorsa idrica sotterranea in relazione anche ad interventi antropici.

Gli aspetti sismici sono valutati con lo studio di Microzonazione Sismica (MS) di Livello 2, sono state inoltre effettuate valutazioni in merito alla liquefazione.

#### VALUTAZIONI DELLE PERICOLOSITÀ

La pianificazione urbanistica, che sarà attuata con la pianificazione operativa, è strettamente legata alle situazioni di pericolosità e di criticità esposte nelle carte redatte a seguito delle presenti indagini geologiche, idrogeologiche e sismiche.

Il PUA evidenzia i fattori di pericolosità collegati alle caratteristiche fisiche del territorio, al fine di:

- valutare le condizioni ed i limiti di trasformabilità,
- garantire e mantenere condizioni di equilibrio idrogeologico,
- recuperare situazioni di criticità esistenti.

#### ELABORATI PRODOTTI

Le indagini di carattere geologico e sismico sono costituite dagli elaborati di seguito elencati.

-CARTOGRAFIE IN SCALA 1:5.000:

Tavola G.1	carta geologica e geomorfologica	scala 1:5000
Tavola G.2	carta litotecnica	scala 1:5000
Tavola G.3	carta dei dati di base	scala 1:5000
Tavola G.4	carta idrogeologica	scala 1:5000
Tavola G.5	carta delle Ampiezze	scala 1:5000
Tavola G.6	carta delle Vs	scala 1:5000
Tavola G.7	carta delle MOPS	scala 1:5000
Tavola G.8a	carta di microzonazione sismica II livello FH <sub>a</sub> 0.1-0.5 sec	scala 1:5000
Tavola G.8ba	carta di microzonazione sismica II livello FH <sub>a</sub> 0.4-0.8 sec	scala 1:5000
Tavola G.8c	carta di microzonazione sismica II livello FH <sub>a</sub> 0.7-1.1 sec	scala 1:5000
Tavola G.9	carta della pericolosità geologica	scala 1:5000
Tavola G.10	carta della pericolosità sismica	scala 1:5000
Tavola G.11	carta della vulnerabilità dell'acquifero	scala 1:5000
Tavola G.12	carta della pericolosità idraulica e alluvioni costiere	scala 1:5000

-ALLEGATI:

ALLEGATO1) RELAZIONE E INDAGINI SISMICHE RELATIVE ALLA MICROZONAZIONE SISMICA

## **ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI GEOLOGICI**

### **INQUADRAMENTO GENERALE - GEOGRAFICO E MORFOLOGICO**

Il Territorio del Comune di Viareggio è morfologicamente caratterizzato da terreni di pianura costituiti dalla piana alluvionale costiera e dalla piana sabbiosa di retroduna. Di particolare pregio naturalistico sono il lago di Massaciuccoli e la parte di spiaggia e dune poste a levante del porto e rientrante nel Parco Naturale Regionale Migliarino-San Rossore-Massaciuccoli.

La parte a nord del porto è caratterizzata da una intensa urbanizzazione, esclusa l'area a verde della pineta di ponente, mentre l'area a levante del porto presenta ancora vaste aree naturali soprattutto nella porzione costiera.

Il territorio comunale è bagnato dal lago di Massaciuccoli e le principali aste idriche sono la Fossa dell'Abate posta a confine con il comune di Camaiore, i canali Burlamacca, Farabola, Fosso Le Quindici e i molti altri canali delle paludi che circondano il lago di Massaciuccoli.

### **INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

#### **LA PIANA VERSILIESE**

La ricostruzione paleogeografica della pianura alluvionale costiera che comprende il litorale Apuano e la Versilia, è effettuata mediante prospezioni geofisiche eseguite in una serie di campagne oceanografiche per conto del Consiglio Nazionale delle Ricerche nel mare prospiciente la Versilia e nella Pianura di Pisa dall'Agip.

Da tali indagini è risultato che la Pianura della Versilia corrisponde al fianco di un ampio bacino di sprofondamento che si estende fra le Alpi Apuane e il Monte Pisano verso est, i Monti Livornesi verso Sud e le dorsali sommerse della meloria e di Maestra verso Ovest (fig. 1).

L'andamento del sottosuolo è stato ricostruito sia per la pianura che per i fondali marini, in particolare la sezione AB di fig. 1 riporta la superficie che è posta a 2 mila metri sotto il livello del mare fra Pietrasanta e Pisa e che bruscamente risale fino ad affiorare e raggiungere quote di circa 2 mila metri nelle Alpi Apuane. La ripida salita di questo significativo livello geologico avviene ai bordi del bacino di sprofondamento, su piani fortemente inclinati, sub verticali, corrispondenti a specchi di faglia. Queste suddividono l'edificio strutturale, dal crinale Appenninico fino ai fondali del Mar Ligure e dell'area dell'Arcipelago Toscano, in una serie di gradini a varia elevazione, ossia zone montane e bacini di sedimentazione risalenti, i primi al Miocene superiore, gli altri, di più recente impostazione, al Pliocene e al Pleistocene.

La costruzione della pianura è avvenuta sia per accumulo di materiali portati dai corsi d'acqua che scendono dalle Apuane, sia per l'apporto di sabbia da parte dell'Arno e del Magra, distribuita dalle correnti e dal drift litoraneo lungo la costa.

Nel Quaternario l'alternarsi di fasi di subsidenza rapida e di fasi di apporto sedimentario, a cui si sono aggiunte le variazioni del livello marino legate a fasi glaciali e interglaciali, hanno determinato la successione di sedimenti continentali (ghiaie, sabbie e limi) con depositi marini costituiti prevalentemente da sabbie. Questo bacino raggiunge profondità di circa 2000 metri.

L'andamento della linea di riva ha spesso subito delle variazioni notevoli, conseguenza delle ingressioni e regressioni marine che si sono da sempre succedute, causate essenzialmente dalle diverse condizioni

paleoclimatiche. Nel periodo postglaciale si sono sempre verificati fenomeni di ingressione e regressione marina ma di entità più limitata. Dal Pleistocene medio hanno assunto grande importanza nel modellamento geomorfologico della pianura e dei litorali a questa latitudine, le variazioni del livello marino collegate alle vicende del glacialismo.

In particolare, durante la glaciazione wurmiana, si è avuta un'importante variazione negativa che ha portato all'emersione di tutta la pianura Versiliese ben oltre il limite della spiaggia attuale. Al climax della Wurm III (circa 18000 anni fa) la linea di costa si trovava a circa 25/30 Km verso ovest rispetto alla posizione attuale, posizione più o meno corrispondente all'attuale batimetrica 100. Questa fase paleografica è stata rappresentata in figura 2 dove appare molto evidente la grande espansione della

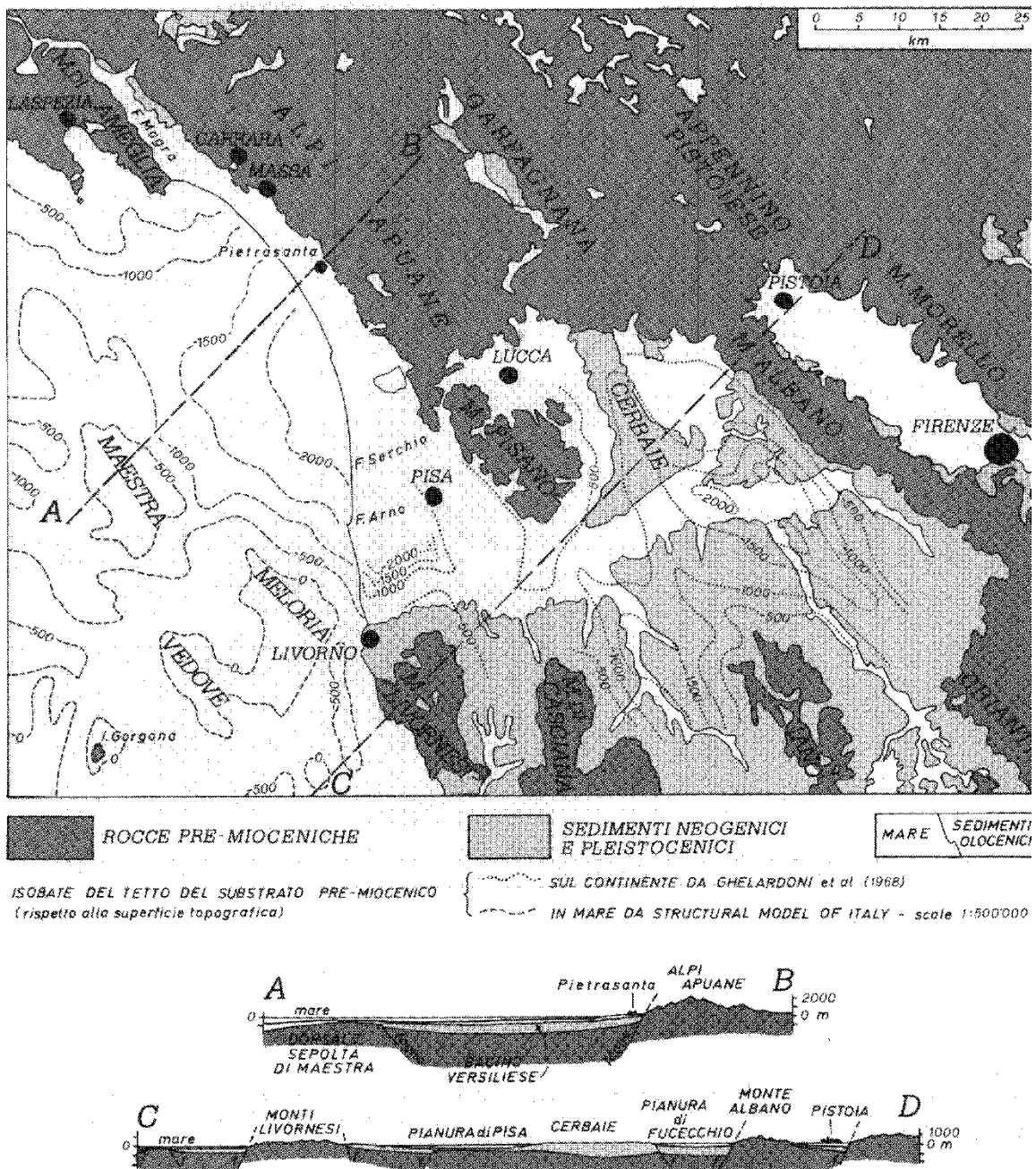
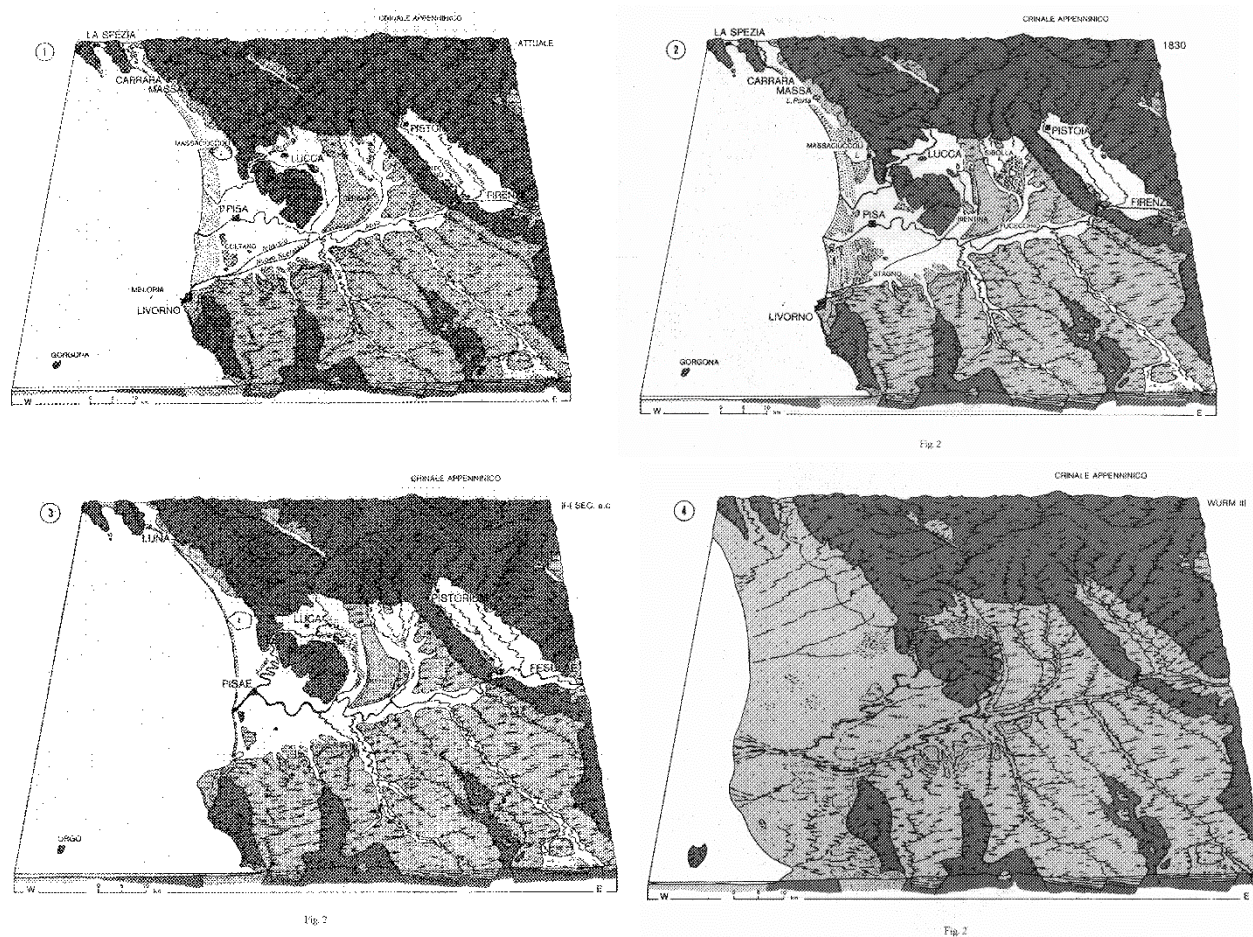


Figura 1 :: Sezioni geologiche. DELLA ROCCA et al.,1988



pianura e la presenza ai piedi delle Apuane dei coni di deiezione che non erano ancora stati sepolti dai sedimenti olocenici. La ricostruzione paleografica effettuata con quattro immagini mostra la costa apuo-versiliese in relazione al suo entroterra e al braccio di mare che la bagna, evidenziando in grigio scuro le rocce più antiche del Miocene superiore, in grigio chiaro le rocce più recenti del Miocene superiore e in bianco i sedimenti olocenici e le acque marine e continentali.



**Figura 2 :** Ricostruzione paleografica della costa apuo-versiliese (Federici e Mazzanti 1988)

Dopo l'acme del periodo glaciale, il livello del mare è tornato a salire, sia pure con fasi di arresto e, verosimilmente, con qualche temporanea diminuzione, ed il fenomeno di maggiore rilevanza in quest'epoca (Olocene) è rappresentato dalla trasgressione Versiliana.

L'ultima grande ingressione risale a circa il 5000 a.C. a seguito di una glaciazione, visibile mediante una falasia, che conserva ancora i suoi tratti peculiari, nella area a nord della pianura versiliese.

Nel periodo postglaciale successivo si sono sempre verificati fenomeni di ingressione e regressione marina ma di entità più limitata.

In seguito, in area marina, è emerso un cordone litoraneo che ha separato il mare aperto da una successione di aree umide interne, verosimilmente in un primo tempo lagunari e in seguito lacustri e/o palustri.

Il massimo sviluppo areale della bassa Versilia si è avuto tuttavia dopo la formazione di questo lido, in gran parte in epoca post-romana, e deve, come detto, la sua progressione all'incremento dell'apporto solido dei corsi d'acqua in specie ovviamente a quello dei fiumi maggiori: Magra, Serchio ed Arno.

Geologicamente la fascia costiera risulta costituita da alluvioni formati da ghiaie e ciottoli derivanti dai rilievi retrostanti e formanti i conoidi di deiezione suddetti, che per la bassa pendenza e la forte antropizzazione risultano di difficile individuazione, spostandoci verso mare si passa a sabbie costiere con locali livelli di limo. Tali sabbie risultano rimaneggiate per azione essenzialmente eolica.

Riassumendo, la successione stratigrafica nella piana può essere schematizzata come segue:

- torbe attuali;
- sabbie superiori;
- argille e argille torbose;
- sabbie marine inferiori;
- argille continentali;
- conglomerato e cemento carbonatico;
- ciottoli e ghiaie intercalati a livelli di argille.

La carta geomorfologica mette in evidenza la presenza di una spiaggia attuale in espansione caratterizzata da sabbia a granulometria media-fine, con alle spalle tracce di un cordone litoraneo (tombolo) che corrisponde circa al tracciato del viale a mare, parallelo alla linea di costa e con quote massime di quasi 3 m s.l.m. Dietro si sviluppa la parte retrodunale depressa, con quote talora vicine al livello del mare.

Questo sistema spiaggia - cordone litoraneo - pianura retrodunale è tagliato trasversalmente dalla Fossa dell'Abate e dal Canale Burlamacca, che costituiscono gli unici due sbocchi a mare nell'area oggetto di Piano Attuativo degli Arenili.

Il tratto di costa oggetto di studio risulta in avanzamento secondo i dati pubblicati nell'Atlante diacronico delle coste toscane pubblicato dalla Regione Toscana in scala 1:10000.

Negli anni compresi tra il 1954 e la fine degli anni '80 si è registrato un aumento medio della spiaggia di circa 50 metri, contrario all'andamento medio della zona, che soprattutto a Nord risulta in forte erosione.

La spiaggia della pianura Apuo-Versiliese, a nord di Vittoria Apuana, sta subendo un processo di forte erosione dovuto alle conseguenze di alcuni interventi operati dall'uomo: in primo luogo la notevole diminuzione degli apporti sedimentari del Fiume Magra, soggetto per anni ad escavazioni continue del proprio alveo, e l'ampliamento dei due porti di Marina di Carrara e di Viareggio. La presenza delle strutture portuali, infatti, rappresenta una barriera all'alimentazione naturale delle sabbie provenienti dal Fiume Magra, per la zona litorale fino al Cinquale, e dai Fiumi Serchio ed Arno, per il tratto a sud di tale località. Questa sorta di interferenza causa fenomeni di forte erosione in alcuni tratti e di avanzamento in altri, come ad esempio la spiaggia che si estende a sud di Forte dei Marmi.

#### L'ANDAMENTO DELLA COSTA

Riportiamo un sunto di alcuni studi reperiti.

#### APPORTO BILANCIO E SEDIMENTOLOGIA DEL LITORALE

I principali fiumi che sfociano nel tratto di costa compreso fra Bocca di Magra e Livorno sono il Magra, il Serchio e l'Arno.

Il Fiume Magra sfocia all'estremità settentrionale e per lunghezza (62 km) e per estensione del suo bacino idrografico (1693 kmq) è il terzo fiume dell'unità fisiografica; esso fornisce alla costa un notevole



apporto sedimentario (portata solida media annua di  $632 \times 10^3$  t/anno, secondo Cavazza, 1984) ed è quindi la principale fonte di alimentazione per il tratto settentrionale.

Il Fiume Serchio, lungo 89 km, scorre in un bacino imbrifero di 1408 km ed ha una portata solida media annua di  $23 \times 10^3$  t/anno (Cavazza, 1984); lo scarso apporto solido di questo fiume, dovuto alle caratteristiche litologiche del bacino e ai numerosi sbarramenti artificiali presenti lungo il suo corso e su quello dei suoi affluenti, fa sì che il suo contributo al bilancio sedimentario dell'unità fisiografica sia marginale. Il fiume Serchio sfocia circa 12 km sottoflutto a Bocca d'Arno, dove il trasporto lungo riva è pari a circa  $150000 \text{ m}^3$ /anno; con i suoi  $13000 \text{ m}^3$ /anno di sedimenti portati a mare il Serchio non è in grado di modellare la costa e la sua foce è deviata verso nord da una barra di sabbia proveniente dalle spiagge alimentate dal fiume Arno (Pranzini 2004).

L'Arno, con i suoi 241 km di lunghezza e gli 8228 kmq di estensione del bacino idrografico è il corso d'acqua principale dell'unità fisiografica al cui bilancio sedimentario contribuisce con  $1524 \times 10^3$  t/anno (Cavazza, 1984).

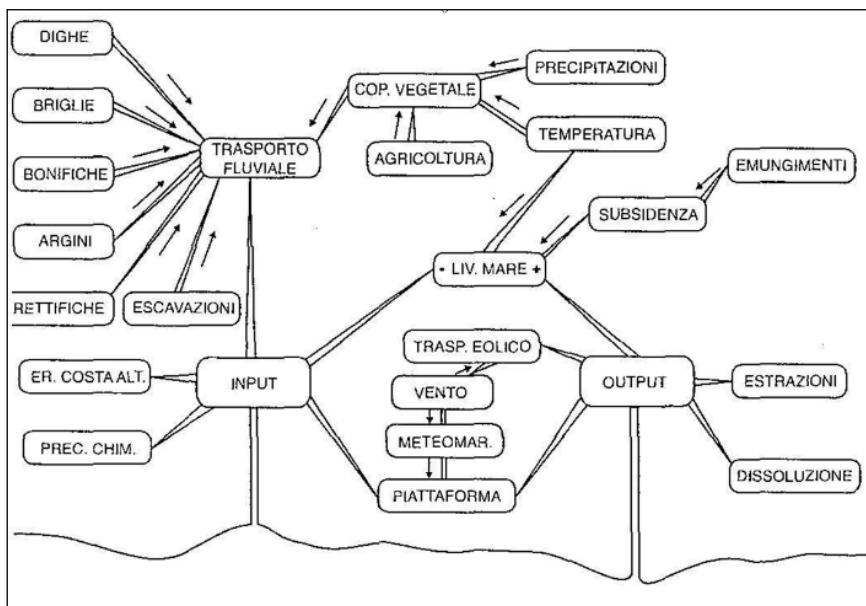
Le variazioni della linea di riva sono causate dall'erosione o alla progradazione della spiaggia, e sono l'effetto di un bilancio sedimentario non paritario fra i materiali in entrata e in uscita. I materiali sono trasportati da un flusso che attraversa ogni tratto di spiaggia e dà luogo a uno scambio continuo con i settori di costa limitrofi e con i fondali antistanti. Il bilancio sedimentario è caratterizzato in entrata dai sedimenti dal sistema fluviale e in uscita dal flusso dei sedimenti verso il largo. In realtà questo bilancio è assai più complesso, in quanto ogni processo che determina input e output di sedimenti risente, a sua volta, di processi «lontani».

La gran parte delle spiagge comunque deve la propria origine e alimentazione all'apporto sedimentario dei corsi d'acqua, e proprio le variazioni di input fluviale sono la causa di molte delle oscillazioni della linea di riva avvenute in epoca storica e tuttora in atto.

L'input fluviale è caratterizzato da diversi fattori, sia naturali che antropici. I fattori naturali, principali sono le variazioni del regime pluviometrico, in quanto esso influenza direttamente i tassi di erosione del suolo e incide sulle capacità di trasporto dei fiumi, la copertura vegetale che, a sua volta, protegge i suoli e ostacola il ruscellamento superficiale, tanto da determinare una riduzione dell'input fluviale. Variazioni di questo tipo sono certamente avvenute nell'Olocene e possono avere modificato, anche sensibilmente, il bilancio sedimentario del litorale.

In base allo schema riportato in figura si compie un percorso in base al quale la linea di riva subisce delle variazioni. Generalmente il movimento longitudinale delle sabbie è dovuto alla componente lungo riva di onde che giungono in prossimità delle coste con fronti obliqui: in questi casi singole mareggiate possono far transitare migliaia di metri cubi di sedimenti.

Questo movimento determina un flusso continuo di sabbia e generalmente la quantità asportata in un settore è bilanciata da un pari volume proveniente da settori limitrofi, tanto che il bilancio netto delle spiagge si mantiene in pareggio. In base ai rilievi e alle foto storiche del litorale è stata svolta una valutazione delle superfici di spiaggia emersa guadagnate e perse nei vari settori può consentire di evidenziare i grandi flussi sedimentari in atto su questo litorale.



Principali voci che costituiscono il bilancio sedimentario di una spiaggia. Le frecce indicano il senso nel quale agisce un fattore, quando i collegamenti si stringono il fattore determina una inibizione del fenomeno, si allargano quando esso lo incentiva. (da Panzini 1995).

Questo movimento determina un flusso continuo di sabbia e generalmente la quantità asportata in un settore è bilanciata da un pari volume proveniente da settori limitrofi, tanto che il bilancio netto delle spiagge si mantiene in pareggio. In base ai rilievi e alle foto storiche del litorale è stata svolta una valutazione delle superfici di spiaggia emersa guadagnate e perse nei vari settori può consentire di evidenziare i grandi flussi sedimentari in atto su questo litorale.

La tabella di seguito riporta i dati di "Studi costieri" n° 4 del 2001 relativi alle variazioni areali di spiaggia emersa avvenute nei vari intervalli di tempo considerati in tratti omogenei di litorale e su tutta l'unità fisiografica (Cipriani et al 2001).

	1938-1954	1954-1967	1967-1978	1978-1985	1985-1997/98	1938-1998
Livorno						
Bocca d'Arno	140081	46705	129755	-10907	-12626	293007
Porto di Viareggio	292948	-329461	61746	43274	-244467	-175960
Porto di Marina di Carrara	263164	-14620	279790	160816	73085	762236
Bocca di Magra	60711	28008	16375	-27171	19000	96923
Livorno - Bocca di Magra	756905	-269368	487666	166012	-165008	976207

Variazioni areali della spiaggia emersa nei vari intervalli di tempo considerati per vasti settori costieri.

Nel tratto di litorale compreso tra il porto di Viareggio ed il porto di M. di Carrara, il valore della variazione areale è positivo in tutti i periodi, tranne che negli anni compresi tra il 1954 ed il 1967, bisogna però sottolineare ancora una volta che i rilievi del 1967, potrebbero risentire dei danni provocati dalla forte mareggiata del 1966. Il bilancio sedimentario complessivo tra il 1938 ed il 1997/98 risulta essere quindi positivo per 762236 m<sup>2</sup>, dunque, la spiaggia è in ripascimento, grazie anche al fatto che

all'interno di questo tratto di costa è presente la zona di convergenza all'interno della quale si depositano sia i sedimenti provenienti da nord che quelli provenienti da sud.

Complessivamente, il bilancio sedimentario nel tratto di costa tra Livorno e Bocca di Magra tra il 1938 ed il 1997/98 risulta essere positivo per 976207 m<sup>2</sup>.

L'attuale deficit (periodo 1985 ÷ 1997/98) può essere attribuito a modesti flussi sedimentari in uscita, localizzati in corrispondenza della zona di convergenza e dei porti di Viareggio e di Marina di Carrara.

VALUTAZIONI SULLA BASE DEI DATI DI LETTERATURA E SU DATI PRODOTTI DAL CONSORZIO PISA RICERCHE STESSO, DALL'UNIVERSITÀ DI FIRENZE NELL'AMBITO DEL PROGETTO ARPAT PER IL MONITORAGGIO DELL'EROSIONE COSTIERA NEL TRATTO TRA LIVORNO E PUNTA BIANCA E DA ULTERIORI STUDI EFFETTUATI SULLE DINAMICHE DEL LITORALE.

La costa sabbiosa di Viareggio a Nord del porto si colloca all'interno di un tratto di costa che non presenta fenomeni di erosione a differenza di settori vicini di spiaggia (M. di Massa, M. di Carrara, ecc...) che presentano importanti fenomeni di regressione della linea di spiaggia. Nello studio è riportata un'analisi dettagliata dell'evoluzione del litorale nel periodo dal 1938 al 1998, la costa è stata suddivisa in settori di indagine a partire da Livorno sino a Bocca di Magra. Per ogni settore sono stati riportati i dati relativi alla variazione areale, alla variazione lineare e ai tassi di variazioni lineari medi della spiaggia emersa nei vari intervalli di tempo. Tale studio conferma le tendenze evolutive del litorale viareggino: la spiaggia in esame risulta avanzata anche di 60 metri negli ultimi 60 anni a nord del porto, a levante dello stesso l'avanzamento supera i 200 m.

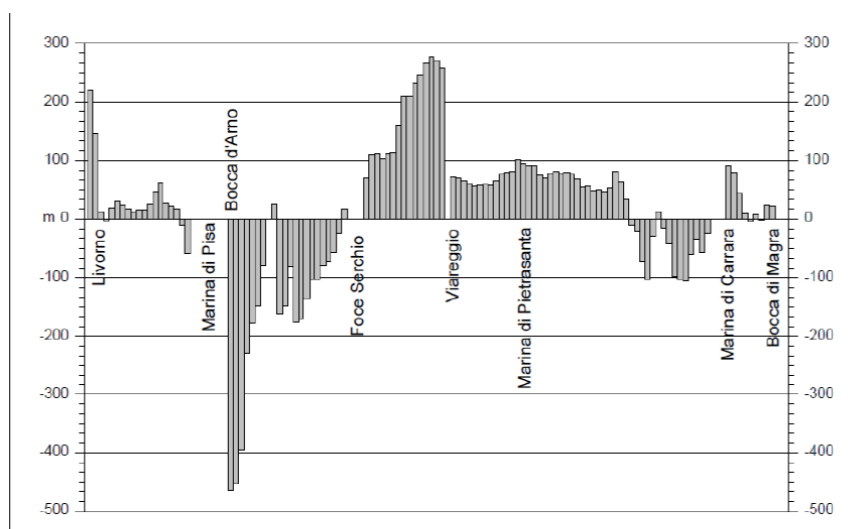


Figura 1 - Spostamento medio della linea di riva fra il 1938 e il 1997/98 nell'unità fisiografica Livorno – Bocca di Magra (settori ampi 500 m).

Figura tratta da studio università di Firenze

Oltre l'evoluzione della linea di riva, gli autori tentano di dare un'interpretazione all'evoluzione della morfologia dei fondali, secondo dati provenienti dall'Istituto Idrografico della Marina Militare e da dati elaborati da rilievi eseguiti dall'università di Firenze. Dal confronto dei risultati è stato possibile ottenere un'analisi della pendenza della spiaggia sommersa e uno studio della morfologia del sistema di barre e della sua estensione verso il largo.

La carta elaborata mostra una maggiore pendenza della spiaggia entro l'isobata 10 metri nel tratto centrale dell'area in esame, con valori massimi fra Marina di Pietrasanta e il Cinquale. Nella zona di

Marina di Pietrasanta è stata eseguita un'analisi di dettaglio del sistema di barre che risulta complesso nel tratto di fondale compreso entro l'isobata dei 5 metri: qui sono presenti una barra esterna longitudinale parallela e continua e due barre interne assai più discontinue. Tali barre migrando in occasione di eventi meteomarinari estremi potranno comportare variazioni altimetriche superiori ai due metri.

Una analisi dettagliata delle caratteristiche petrografiche e granulometriche delle sabbie permette di valutare la loro distribuzione e il loro trasporto ad opera del moto ondoso. Gli studi confermano l'esistenza di una zona di convergenza del drift litoraneo e della presenza di due vettori di trasporto principali: uno proveniente dal Magra e presente fino all'incirca a Forte dei Marmi e un secondo vettore che dall'Arno si propaga fino ad annullarsi in prossimità della suddetta località. Dall'analisi granulometrica dei sedimenti risulta che le sabbie presentano una diminuzione nelle dimensioni andando da nord verso sud, fino a circa 6 Km dal porto di Viareggio quando le sabbie iniziano ad assumere dimensioni maggiori. Tale andamento è tipico di un downdrift fining ossia di una riduzione delle dimensioni dei sedimenti nel senso del trasporto litoraneo per progressivo abbandono delle frazioni più grossolane. Ciò accade sia nel settore nord dove la deriva litoranea è diretta verso sud e nel settore meridionale dove viceversa la deriva è diretta verso nord. La zona ove troviamo materiali dalle dimensioni più fini viene ad identificare la cosiddetta zona di convergenza: tale zona sembra essere identificata nel settore compreso tra la foce del F. Motrone e quella del F. Fiumetto, in corrispondenza della spiaggia di marina di Pietrasanta. Risultato ulteriore dello studio è la creazione di una carta dei vettori di flusso principali secondo il metodo di Gao e Collins (1992) i quali vanno ad evidenziare i trend regionali già citati e in più identificano la presenza di una serie di microcelle succedentesi lungo la costa ogni 2/3 Km. In ultimo il calcolo del trasporto potenziale di sabbia lungo la costa evidenzia di nuovo la presenza di una zona neutra prospiciente la spiaggia di Marina di Pietrasanta ove il trasporto potenziale netto annuo tende a zero. Dal grafico è possibile notare come si passi da 300000 m<sup>3</sup>/anno verso sud a Marina di Carrara ad un valore di 0 m<sup>3</sup>/anno a Marina di Pietrasanta per assistere poi ad un aumento del trasporto in senso opposto che arriva a 100000 m<sup>3</sup>/anno all'altezza del porto di Viareggio.

#### PROFILO TRASVERSALE DELLA SPIAGGIA

La spiaggia è soggetta alla modellizzazione da parte del moto ondoso che si abbatte su di essa. La forma risultante dipende dalle caratteristiche granulometriche dei sedimenti e da quelle delle onde incidenti, tanto che al variare dello stato del mare cambia in continuazione il profilo della spiaggia emersa e di quella sommersa. La modellizzazione della costa ad opera delle onde inizia dal momento in cui il moto orbitale delle particelle d'acqua, associato alla loro propagazione, subisce l'attrito con il fondale, e quindi la parte dinamicamente attiva di una spiaggia si estende, in teoria, fino a dove si ha una profondità pari a circa la metà della lunghezza dell'onda incidente. Le parti più attaccate sono quelle più prossime a riva, e meno profonde, ovvero saranno rimodellate in continuazione, mentre quelle più distanti, e più profonde, manterranno la propria forma per molti anni, fino a quando a causa di un evento eccezionale o a causa di opere che possono trasformare l'assetto creato saranno rimossi i sedimenti che lì si erano depositi.

La profondità di chiusura (dei profili batimetrici) ossia quella oltre la quale rilievi ripetuti negli anni non evidenziano variazioni di quota è stata individuata in modo statistico in quanto allungando il periodo di osservazione aumentano le probabilità che si verifichi un evento nel quale il moto ondoso può spostare

sedimenti a profondità sempre maggiore. Il calcolo della profondità di chiusura si può effettuare con la formula proposta da Hallemaier (1977):

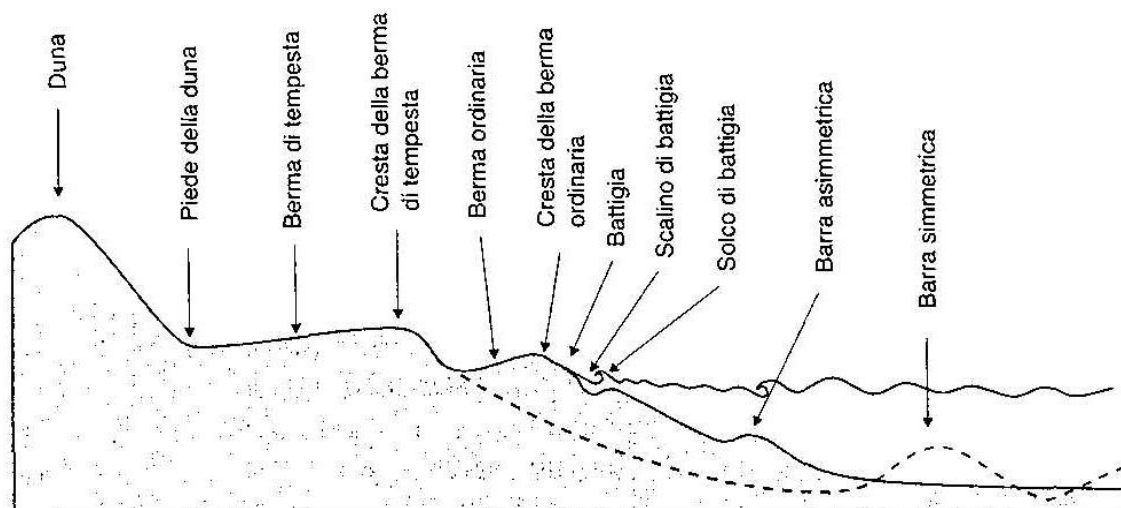
$$d = 2,28 H - 68,5(H^2/gT^2)$$

dove H e T sono rispettivamente l'altezza d'onda significativa locale superata per 12 ore all'anno e il periodo significativo a essa associata; g è l'accelerazione di gravità.

La teoria di Shepard (1950) asserisce che il profilo trasversale della spiaggia varia a seconda delle stagioni introducendo i termini di profilo estivo e di profilo invernale per evidenziare le forti modificazioni che subisce una spiaggia nel corso dell'anno.

Tale condizione è determinata dal clima meteomarinico per il quale in inverno si susseguono intense mareggiate, mentre nel periodo estivo è caratterizzato da mare più calmo. La stessa spiaggia in inverno presenta un arenile assai più stretto di quanto non lo sia nella stagione balneare.

Durante le mareggiate invernali si formano numerose barre, mentre nella stagione estiva le onde diventano meno ripide ed esercitano un'azione costruttiva, spostando la sabbia verso costa. Le barre iniziano così a muoversi, diventano più basse e asimmetriche, e possono anche raggiungere la riva fino a saldarsi alla spiaggia emersa.



*Profilo trasversale di una spiaggia nella sua configurazione stiva, la linea tratteggiata indica il profilo invernale.*

Per questo il profilo invernale di una spiaggia è caratterizzato dalla presenza di numerose barre, mentre in quello estivo ne troviamo meno, più basse e vicine a riva. Il frangimento incrementa in modo significativo la componente onshore delle particelle d'acqua che si muovono nello strato superficiale, e quando queste giungono a riva risalgono la battigia fino a che la loro energia cinetica non si trasforma completamente in energia potenziale; dopo di che ridiscendono la battigia sotto l'azione della gravità. Nel punto in cui l'acqua dell'onda precedente che discende incontra quella della nuova onda in arrivo (immediatamente all'esterno della linea di riva in condizioni di mare calmo) si forma un vortice che scava uno scalino (step) sul quale si trovano, generalmente, i sedimenti più grossolani di tutta la spiaggia. In prossimità della riva è stata riscontrata la presenza di una piccola barra che limita un canale parallelo a costa (solco di battigia).

La pendenza della battigia viene quindi influenzata dall'asimmetria dei flussi, dovuta anche all'infiltrazione, che è a sua volta condizionata dalla granulometria dei sedimenti presenti sulla battigia. A parità di energia del moto ondoso, spiagge costituite da sedimenti fini hanno una minore pendenza rispetto a quella che caratterizza le spiagge formate da materiali grossolani, mentre a parità di granulometria le spiagge particolarmente esposte hanno una battigia a pendenza minore di quella delle spiagge più riparate (Komar, 1998), con un evidente processo di feedback che porta la spiaggia a distendersi per ridurre la quantità di energia incidente per unità di superficie.

Durante le mareggiate più forti, che spingono l'acqua in alto sulla berma, vengono erose le creste più basse e si forma una cresta più arretrata e più alta.

In seguito a un periodo di intense mareggiate è possibile identificare la cresta detta berma più alta (berma di tempesta) o altre creste minori a quote decrescenti, fino a giungere alla cresta della berma ordinaria, in equilibrio con le onde meno intense del momento dell'osservazione. Ciascuna cresta è costituita da un cordone con forte pendenza sul lato mare e debole pendenza sul lato terra: una spiaggia è così formata da tanti gradini in discesa verso l'interno. La spiaggia inoltre subisce il rimodellamento effettuato dal vento che può mascherare questi gradini e dare l'idea che la superficie della spiaggia discenda progressivamente verso il mare.

La frequentazione estiva delle spiagge antropizzate, nelle quali il rimodellamento viene effettuato costantemente durante le operazioni di pulizia, non permette di apprezzare queste morfologie che raccontano la storia recente del litorale.

#### IL MOTO ONDOSO

Il testo di seguito riprodotto è integralmente tratto dalla pubblicazione APAT Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici, Dipartimento Tutela delle Acque Interne e Marine, Servizio Difesa delle Coste - CAPITOLO 3 - "IL CLIMA ONDOSO A LARGO DELLE COSTE ITALIANE"

Nella elaborazione del clima ondoso lungo il settore C1, che si estende da Portofino a Capo Linaro, sono stati considerati, per i tratti costieri settentrionale (Lig-2) e meridionale (Laz-1), rispettivamente 14.5 e 1.5 anni di dati. A partire dall'analisi delle tabelle di distribuzione congiunta delle altezze d'onda disponibili per il settore direzionale C1, Tabb.1.21 e 1.31, è stato possibile individuare il picco di frequenza degli eventi e la direzione a questo associata.

Le direzioni caratteristiche lungo le quali è stato osservato il maggior numero di osservazioni sono:

- a) Sud Ovest (240°N) è la direzione prevalente. Le onde sono distribuite tra 215°N e 250°N (Figg. 3.1.1 – 3.1.3);
- b) Sud (180°N) è la direzione corrispondente al secondo picco in frequenza.

L'ampiezza dell'intervallo direzionale è tra 155°N e 200°N. Il rapporto tra i casi b) ed a) è di 1:11 nel tratto costiero Lig-2.

Le onde provenienti da Sud sono associate ad altezze d'onda generalmente inferiori a quelle dirette secondo la direzione prevalente. Tale tendenza appare accentuata soprattutto nel tratto Lig-2. (Figg.3.1.1 e 3.1.2).

### 3.1 Settore costiero C1: Portofino - C.po Linaro

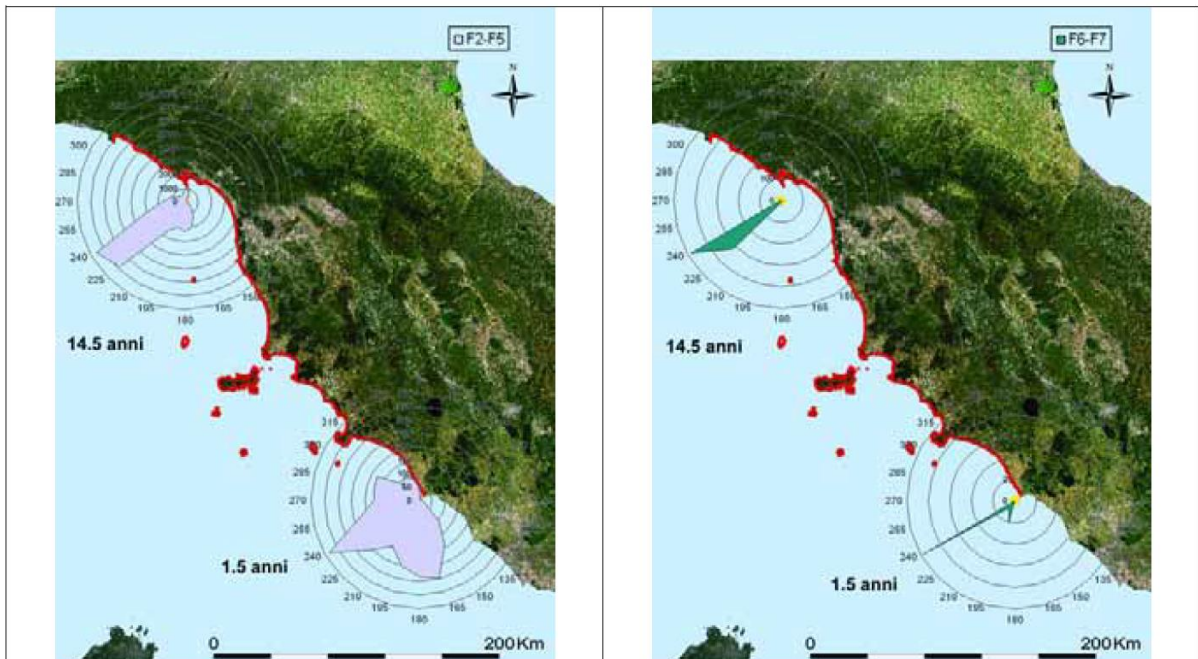


Fig 3.1.1 Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_{m0}-\alpha$  Tab 1.21 e Tab 1.31 - onde basse - tratto costiero da Portofino a C.po Linaro – dati triorari, periodo: intero

Fig 3.1.2 Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_{m0}-\alpha$  Tab 1.21 e Tab 1.31 - onde medie - tratto costiero da Portofino a C.po Linaro – dati triorari, periodo: intero

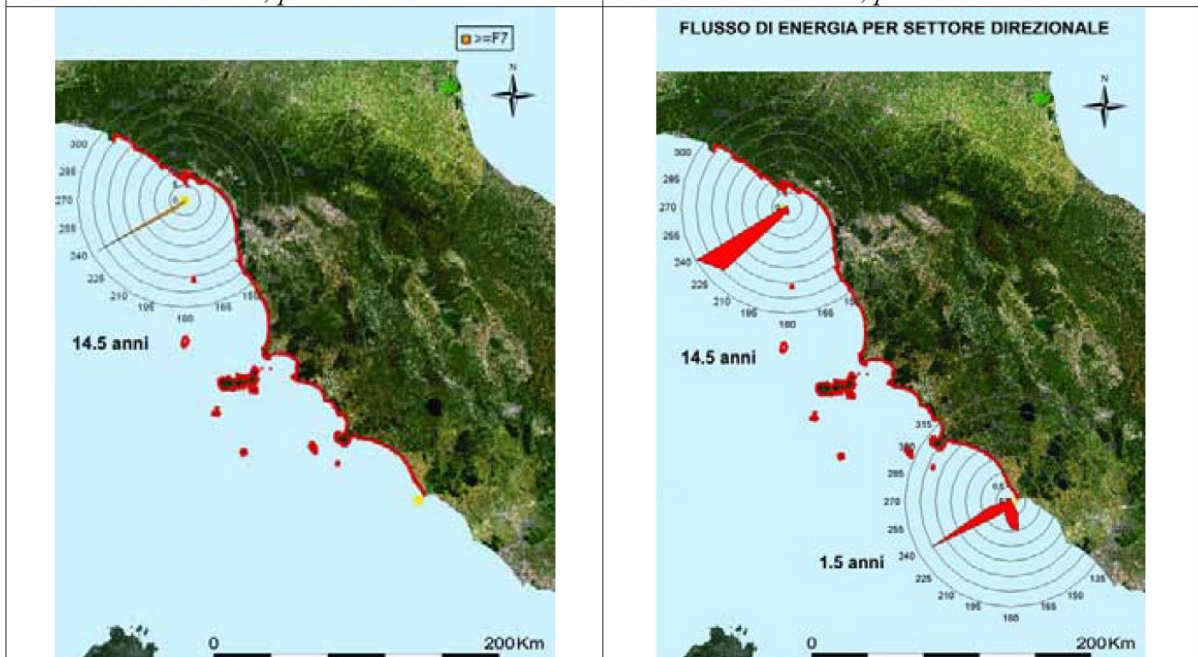


Fig 3.1.3 Rappresentazione delle tabelle a doppia entrata  $H_{m0}-\alpha$  Tab 1.21 e Tab 1.31 - onde alte - tratto costiero da Portofino a C.po Linaro – dati triorari, periodo: intero

Fig 3.1.4 Media annuale del flusso lordo di energia in Kw/m per settori direzionali di 15° - tratto costiero da Portofino a C.po Linaro – dati triorari, periodo: intero



### *Onde basse*

Lungo la parte settentrionale della linea di costa considerata (Tabb.1.22 – 1.24) le onde basse non risentono di variazioni stagionali. Nel tratto meridionale, in inverno e in autunno, prevale la direzione caratteristica Sud (Tabb.1.32, 1.34 e 1.35) (Figg.3.1.5, 3.1.16), mentre in estate sono più numerose le osservazioni aventi direzione Sud Ovest (Fig.3.1.13). In primavera il numero di occorrenze risulta dello stesso ordine di grandezza per entrambe le direzioni (Tab.1.33, Fig.3.1.9).

E' opportuno tenere in considerazione la differente rappresentatività statistica degli insiemi di dati considerati: nella parte meridionale del settore sono disponibili meno del 17% dei dati presenti nel resto del settore.

### *Onde medie*

Le onde medie si distribuiscono principalmente attorno alla direzione prevalente Sud Ovest in tutte le stagioni e per l'intero settore costiero (Figg. 3.1.6, 3.1.10, 3.1.14, 3.1.17). Nella rappresentazione grafica del clima ondoso relativamente al tratto meridionale (Laz- 1), in autunno, (Tab.1.35) viene data una particolare rilevanza agli eventi lungo la direzione da Sud (Fig.3.1.17). Tali eventi, presenti in realtà anche nella parte settentrionale, sono tuttavia qui mascherati dal molto maggiore numero di casi considerati.

### *Onde alte*

Nel tratto di costa settentrionale si evidenzia la presenza di onde alte quasi esclusivamente dirette lungo la distribuzione direzionale Sud Ovest.

Le onde alte sono frequenti molto più in (tardo) autunno che in inverno (Tabb.1.27, 1.30; Figg.3.1.7, 3.1.18). Le mareggiate osservate hanno altezze non superiori a 7.1 m (Fig.3.14).

Nella parte meridionale del settore ci si trova in assenza di eventi classificabili come onde alte, soprattutto a causa del ridotto periodo temporale di rilevamento disponibile. Infatti, assumendo come rappresentativo il calcolo del periodo di ritorno presente in letteratura (Franco et Al. 2004) per i dati della boa di La Spezia, ad un'altezza significativa di oltre 5 metri corrisponderebbe un periodo di ritorno di almeno due anni, superiore dunque alla lunghezza della serie temporale disponibile.

Il fatto che nello studio del clima ondoso sia possibile riconoscere i due diversi regimi Sud Ovest e Sud non indica l'esistenza di due diversi tipi di mareggiate: ad esempio, almeno due tra le mareggiate più alte registrate come Sud (Fig 3.14), sono dovute alla rotazione di mareggiate provenienti da Sud Ovest. Nel settore C1 risulta particolarmente difficile ipotizzare un regime ondoso nel tratto costiero Lig-1 a causa dell'esposizione geografica del litorale e della mancanza di osservazioni.

*Nota. Per le immagini non riportate si rimanda alla pubblicazione APAT*

## ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI GEOLOGICI - TAVOLA G.1 CARTA GEOLOGICA GEOMORFOLOGICA


Per la realizzazione delle carte geologiche a supporto del presente studio sono state utilizzate le carte geologiche messe a disposizione dalla Regione Toscana sul suo portale Geoscopio (Progetto Carta Geologico-Regionale della Toscana) aggiornate sulla base dei rilievi effettuati e dei precedenti studi condotti.

La simbologia adottata nella legenda della carta geologica - geomorfologica ed i criteri di rappresentazione dei dati fanno riferimento alla nuova legenda della carta geomorfologica del territorio regionale (Specifiche tecniche per la strutturazione, la codifica e l'acquisizione in formato digitale delle cartografie della banca dati geomorfologica della Regione Toscana).

Si riportano le unità geo litologiche rilevate nel sistema costiero.

### Legenda

#### Linea di riva

 Linea di riva in avanzamento

#### Depositi Superficiali



**Deposito eolico**  
Sabbie fini e silt di trasporto e deposizione eolica accumulate in dune e cordoni dunali, per lo più in aree costiere.



**Deposito palustre**  
Deposito prevalentemente argilloso-siltoso, con abbondante materia organica spesso caratterizzato dalla presenza di paleosuoli o tracce di apparati radicali di vegetazione sia sommersa sia emersa.



**Spiaggia**  
Depositi generalmente sciolti messi in posto ad opera del moto ondoso in ambiente di spiaggia emersa e sommersa la cui tessitura varia a seconda della morfologia del litorale.

Tra le forme antropiche particolarmente caratteristiche ed importanti per l'area oggetto di studio si richiama il porto il quale costituisce non solo una modifica sostanziale della costa, ma come riportato nei paragrafi precedenti, definisce le modifiche alle correnti marine con conseguenti variazioni dei depositi sabbiosi.

Una visione d'insieme dei rapporti tettonici e stratigrafici tra le diverse formazioni affioranti nell'area oggetto di studio è rappresentata nella carta geologica scala 1:5000.

## ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI GEOLOGICO-TECNICI -TAVOLA G.2 CARTA LITOTECNICA

La finalità dell'elaborato è quella di raggruppare i vari litotipi individuati sulla base delle loro caratteristiche fisico-meccaniche e di determinare la corrispondenza con i parametri che caratterizzano la litologia dal punto di vista della risposta sismica.

Le modalità di modellazione geologica e caratterizzazione sismica dei terreni si basa sulle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche condotte seguendo le istruzioni tecniche regionali del programma valutazione effetti locali, denominato "Programma VEL".

Rispetto ai tre macro raggruppamenti che riguardano le rocce litoidi e i depositi naturali e i depositi di tipo antropico nell'area oggetto di studio si hanno solo depositi incoerenti.

Si riportano le Unità Litologico-Tecniche adottate per la stesura della Carta Litotecnica.

### Legenda

#### Litologia



SWde - Sabbie pulite e ben assortite  
ambiente di formazione duna eolica



SPsp - Sabbie pulite con granulometria poco assortita  
ambiente di formazione spiaggia



OLpl - Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità  
ambiente di formazione palude/laguna/stagno/lago costiero

#### ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI GEOLOGICO-TECNICI - TAVOLA G.3 CARTA DEI DATI DI BASE

Per la ricostruzione del modello geologico di sottosuolo e la stesura della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), è stata realizzata una ricerca bibliografica ed in rete dei dati geotecnici e geofisici oltre che la raccolta di dati ottenuti da indagini svolte sul territorio dallo scrivente nell'ambito degli studi di microzonazione e di studi geologici realizzati nel comune.

La carta dei dati di base raccoglie le informazioni che in fase di stesura del quadro geologico sono risultate utili per investigare il territorio oggetto di PUA.

Le ubicazioni delle indagini raccolte, sia pregresse che di nuova realizzazione, sono state riportate nella Tavola G3 carta dei dati di base, realizzata in formato digitale (GIS) in scala 1:5.000.

A seguire stralcio della legenda riportata in Tavola G3 carta dei dati di base

## Legenda

### Indpu



DPL - Indagine penetrometrica dinamica leggera



HVSR - Stazione microtremori a stazione singola



CPTU - Indagine penetrometrica statica con piezocono

Per la redazione del piano degli arenili sono state eseguite 4 indagini penetrometriche CPTu utili per verificare il potenziale di liquefazione dei terreni oggetto di studio e 5 indagini a sismica passiva HVSR utilizzate per la redazione degli studi di microzonazione sismica di II livello.

ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI CONNESSI ALLA RISORSA IDRICA SOTTERRANEA - TAVOLA G.4 CARTA IDROGEOLOGICA

La ricostruzione dell'assetto idrogeologico è finalizzata, all'individuazione dei corpi idrici sotterranei, alla definizione della loro configurazione, degli schemi della circolazione idrica sotterranea, delle eventuali interconnessioni tra acquiferi limitrofi e acque superficiali.

A tale fine sono utilizzati i dati del lavoro contenuto nel Piano Strutturale redatto dal collega Ferrari e del Piano Strutturale redatto dal collega De Martin Mazzalon (2019) ed ai quali si rimanda per maggiori dettagli.

La determinazione delle classi di permeabilità delle diverse formazioni e litotipi rinvenuti è stata effettuata adottando uno schema che tiene conto sia del grado di permeabilità di ogni unità esaminata, sia del tipo di permeabilità: crescente o decrescente.

La permeabilità è la proprietà che hanno i diversi litotipi di lasciarsi attraversare dall'acqua quando questa è sottoposta ad un certo carico idraulico, essa esprime l'attitudine a fare defluire l'acqua sotterranea.

In natura si distinguono schematicamente strati permeabili e strati quasi impermeabili. Le rocce permeabili sono a loro volta distinte in permeabili per porosità, ovvero vi è presenza di numerose cavità tra loro comunicanti, e permeabili per fessurazione. La permeabilità, come detto, può inoltre essere distinta anche come crescente (per esempio fenomeni di carsismo) o decrescente (ad esempio argillificazione delle fratture).

Lo schema base adottato per definire le classi di permeabilità è il seguente: nell'asse delle x è riportato il tipo di permeabilità, mentre nell'asse delle y il grado di permeabilità:

	Porosità	Fratturazione decrescente	Fratturazione crescente	Mista
Permeabilità alta	PPa	PFad	PFac	Ma
Permeabilità media	PPm	PFmd	PFmc	Mm
Permeabilità bassa	PPb	PFbd	PFbc	Mb
Impermeabile	I			

Al fine di facilitare una lettura dei dati idrogeologici della pianura nei due periodi di morbida e di magra si è scelto di inserire nella carta idrogeologica la piezometrica del mese di Aprile, ossia quella posta alla fine del periodo di maggiori precipitazioni e quella di magra normalmente relativa al mese di settembre per le nostre latitudini.

Sono state distinte due classi di permeabilità, una permeabilità alta per i depositi sabbiosi e di spiaggia e una permeabilità medio alta per i depositi di origine palustre

## Legenda



CPTU



Isosaline  
(con valore conducibilità elettrica  
in microsiemens; es: 1000  $\mu$ S)

### Isofreatiche



Aprile - morbida  
(con valore altezza falda s.l.m.m in metri)



Settembre - magra  
(con valore altezza falda s.l.m.m. in metri)

### Classi di permeabilità



Permeabilità alta



Permeabilità medio-alta

In merito all'andamento delle isofreatiche si evidenzia che non vi è correlazione tra la carta del Piano Strutturale approvato nel 2019 e quella proposta nel presente piano. Infatti la carta del PS 2019 evidenzia un andamento delle isofreatiche perpendicolare alla linea di costa, probabilmente dovuto alla sola interpretazione e interpolazione spaziale del dato che non ha tenuto conto del livello marino, una interpretazione dei dati riportati nel PS 2019, aggiornato con i valori di piezometrica rilevati durante le indagini CPTu effettuate nel presente PUA e il livello marino, mostra un andamento delle piezometriche molto simile a quelle rilevate dal geologo Ferrari nel precedente Piano Strutturale.

In cartografia del PUA si hanno riportate isofreatiche che mostrano un naturale scarico verso mare della falda freatica, localmente influenzata dalla presenza di emungimenti e dalle 2 aste idriche principali.

In carta sono inoltre riportate le isoconduttive dalle quali emerge una salinizzazione della falda soprattutto nella zona del canale della Burlamacca lungo il quale la risalita di acqua salmastra ravvena la falda aumentandone il grado di salinità.

ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO - TAVOLA G.11 VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO

La stima del grado di vulnerabilità degli acquiferi è stata effettuata adottando un metodo qualitativo che fa riferimento alla seguente tabella:

Grado di vulnerabilità	Tipo di acquifero
EE	Falda acquifera libera in materiali alluvionali, da grossolani a medi, con scarsa o nulla copertura
E - A	Falda acquifera libera in depositi sabbiosi di origine marina, lacustre ed eolica con scarsa o nulla copertura e alluvioni terrazzate e cementate
M	Falda acquifera libera in depositi continentali a granulometria mista, sciolti o parzialmente cementati
M	Falda acquifera confinata, semi-confinata o libera protetta in superficie da una copertura di bassa permeabilità di spessore compreso tra 5 e di 10 m
B - BB	Falda acquifera confinata protetta in superficie da una copertura a bassissima permeabilità con spessore > 10 m
BB-B	Depositi prevalentemente argillosi o argilloso-limoso-sabbiosi praticamente privi di circolazione idrica sotterranea
EE	Rete acquifera in complessi carbonatici fratturati e a carsismo molto sviluppato
E - A	Rete acquifera in complessi carbonatici stratificati, interessati da un moderato carsismo e da interstrati argillitici e/o marnosi, Calcarea Cavernoso
M	Reti acquifere in arenarie molto fratturate
B	Reti acquifere in arenarie poco fratturate
M - B	Complessi flyschiodi costituiti da alternanze di litotipi calcareo - arenacei ed argillitico - marnosi con circolazione idrica sotterranea modesta e compartimentata
B - BB	Complessi caotici argillitico-calcarei arenacei con circolazione idrica sotterranea molto compartimentata e limitata
BB	Complessi marnosi ed argillitici con circolazione idrica sotterranea da assente a molto modesta
M - B	Reti acquifere in quarziti sedimentarie e metamorfiche molto fratturate
B - BB	Rocce metamorfiche di epi-meso-catazona poco fratturate
M - B	Reti acquifere in vulcaniti normalmente fratturate
B	Rocce ignee intrusive normalmente fratturate

Vista la tipologia dei diversi litotipi presenti nell'area oggetto di studio si è classificata tutta l'area a vulnerabilità Elevata E, ovvero Falda acquifera libera in depositi sabbiosi di origine marina, lacustre ed eolica con scarsa o nulla copertura e alluvioni terrazzate e cementate.



### **ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEGLI ASPETTI SISMICI**

Lo studio della Microzonazione Sismica di II livello relativo all'area oggetto del Piano Attuativo degli Arenili, integra gli studi e le indagini eseguite per lo studio di Microzonazione Sismica di I livello vigente nell'attuale PS ed RU.

Gli elaborati dello studio di MS I Livello sono state pertanto riviste ed aggiornate e costituiscono la base per lo studio di Microzonazione Sismica di II Livello oggetto della presente relazione.

Il presente studio ha comportato la revisione della carta delle indagini dello studio di MS I Livello con integrazioni di indagini realizzate (4 CPTu e 5 HVSR).

Sono state pertanto redatte una carta delle frequenze aggiornata ed una carta delle Vs suddivisa nelle classi di velocità previste dalle tabelle degli abachi.

È stata infine redatta la carta della Microzonazione Sismica di II livello.

Sono state interpretate 4 indagini CPTu per la stima del potenziale di liquefazione.

### LA SISMICITÀ STORICA

La storia della sismicità del Comune di Viareggio è stata ricostruita facendo riferimento al Database Macrosismico Italiano DBMI15 v3.0 che fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2019.

Il DBMI15 è stato realizzato nell'ambito dell'Allegato A dell'Accordo quadro tra il Dipartimento di Protezione Civile e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia 2012-2021. Il DBMI15, è consultabile liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15> e attraverso il "web service" dell'Archivio Storico Macrosismico Italiano (ASMI) all'indirizzo <https://emidius.mi.ingv.it/ASMI/services/>.

DBMI15 è un prodotto scientifico dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) la cui realizzazione ha richiesto anni di lavoro e raccoglie il frutto della ricerca di diversi autori di diversi enti. L'utilizzo, anche parziale, del database è consentito a condizione che la fonte sia sempre citata come segue:

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2021). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.3>

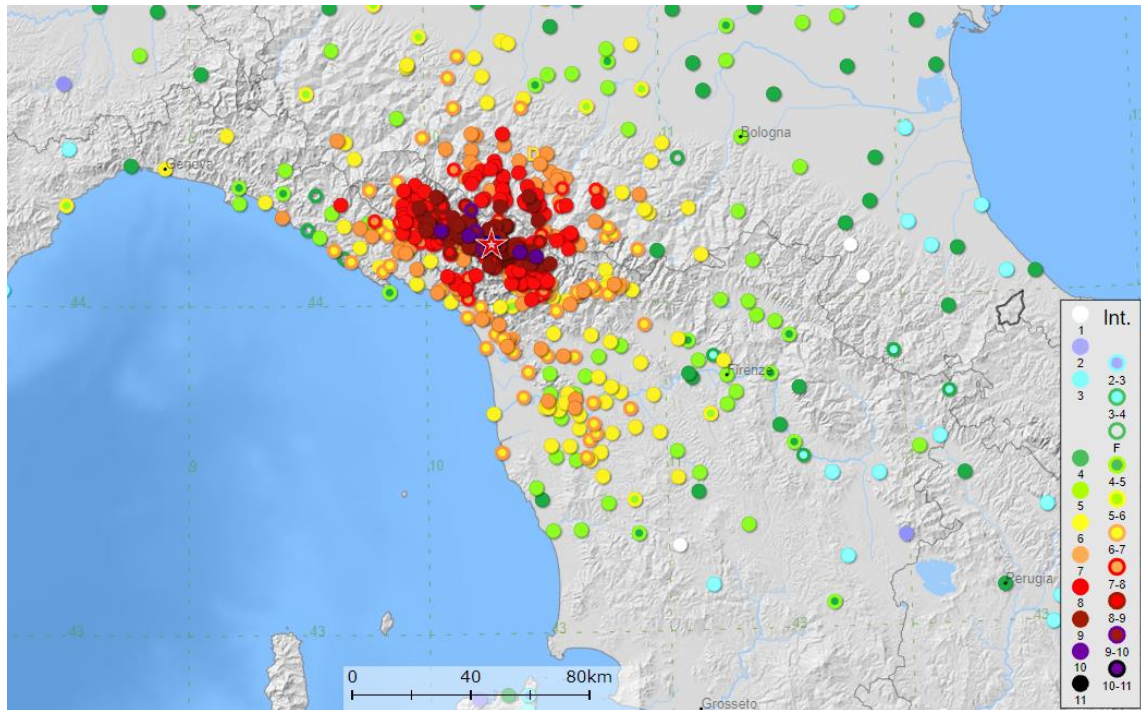
I dati contenuti nel DBMI15 fanno parte del CPTI15 v3.0 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani che fornisce i dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  o magnitudo  $\geq 4.0$  d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2019

Il CPTI15 è stato realizzato nell'ambito delle attività dell'Allegato A dell'Accordo quadro tra il Dipartimento di Protezione Civile e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia 2012-2021.

Il CPTI15 è consultabile liberamente all'indirizzo <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15> e attraverso il "web service" dell'Archivio Storico Macrosismico Italiano (ASMI) all'indirizzo <https://emidius.mi.ingv.it/ASMI/services/>. Il CPTI15 è un prodotto scientifico dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) la cui realizzazione ha richiesto anni di lavoro e raccoglie il frutto della ricerca di diversi autori di diversi enti. L'utilizzo, anche parziale, del catalogo è consentito a condizione che la fonte sia sempre citata come segue:

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2021). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3>

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2020). The Italian earthquake catalogue CPTI15. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(7), 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>.  
Nella successiva figura e nel relativo diagramma sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15.



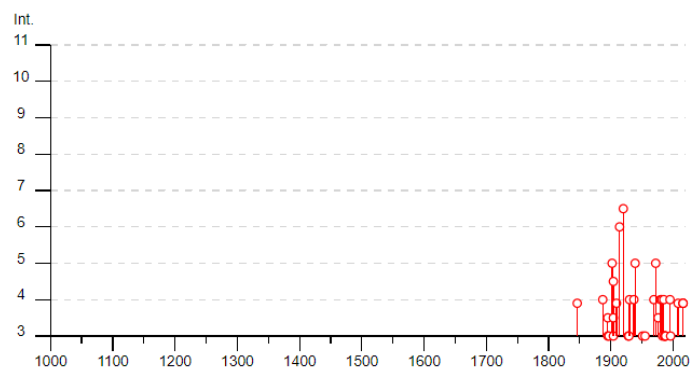
La cartografia mostra la distribuzione areale della sismicità storica delle aree centro settentrionali.

Nella tabella seguente sono stati elencati i maggiori eventi registrati, con indicate la data (anno, mese, giorno, ora, minuto) e la magnitudo momento (Mw).

### Viareggio

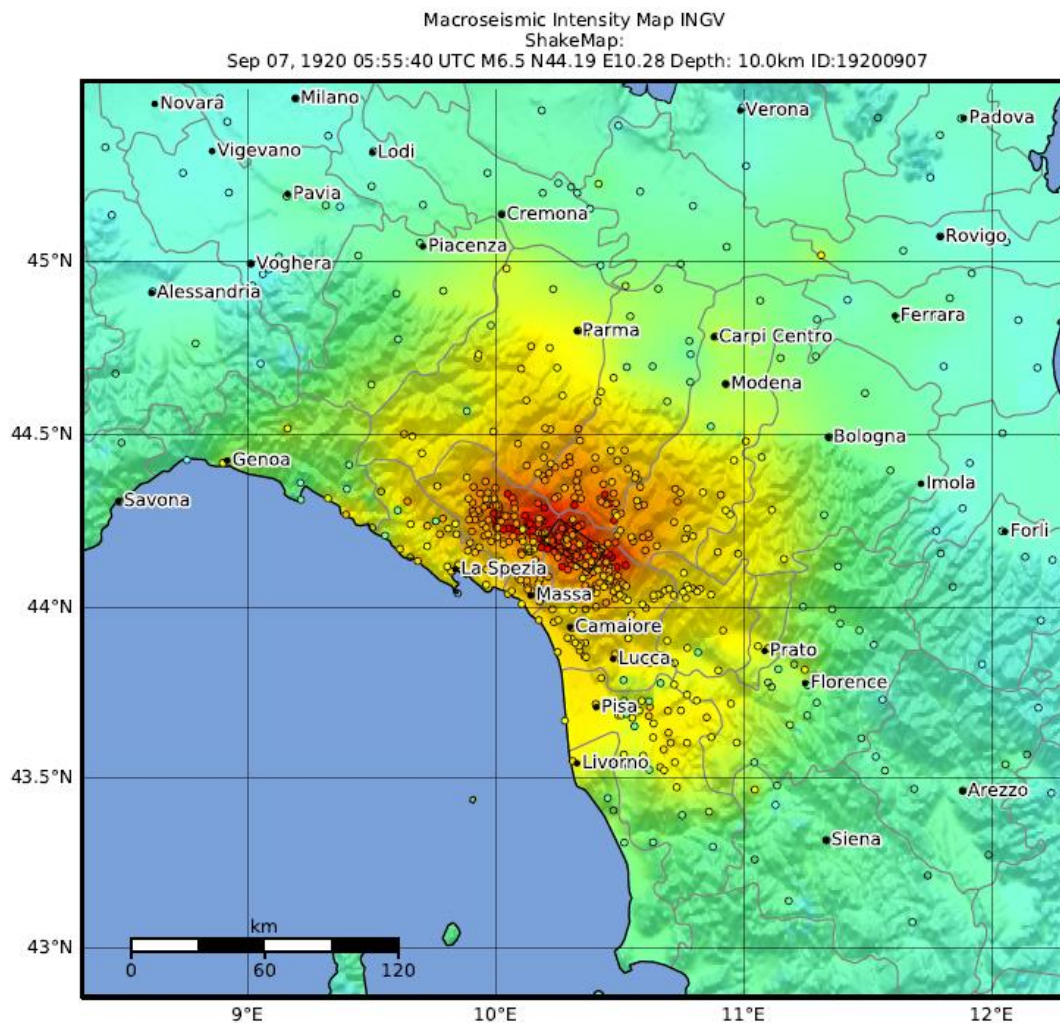


PlaceID	IT_43897
Coordinate (lat, lon)	43.870, 10.248
Comune (ISTAT 2015)	Viareggio
Provincia	Lucca
Regione	Toscana
Numero di eventi riportati	46



Negli ultimi mille anni si hanno circa 46 terremoti che interessano il comune di cui tutti (per motivi di registrazione del dato) negli ultimi 150 anni. Di questi 3 hanno intensità 5, uno 6 e uno, il più intenso, pari a 6-7 riferito al terremoto del 1920 che distrusse il paese di Fivizzano in Lunigiana.

Nell'Appennino centro-settentrionale, dove si trovano i territori della Garfagnana e della Lunigiana, sono stati rilevati diversi eventi con magnitudo attorno a 5.0, e inferiore a 6.0. L'unico evento che supera la magnitudo di 6.0 è l'evento del 7 settembre 1920, che raggiunse una MW strumentale pari a 6.5, il terremoto più forte avvenuto in tutto l'Appennino settentrionale. L'immagine a seguire mostra come il terremoto del 1920 ha interessato l'Appennino Settentrionale.



SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
DAMAGE	None	None	None	Very light	Light	Moderate	Moderate/heavy	Heavy	Very heavy
PGA(%g)	<0.0556	0.212	0.808	1.97	4.82	11.8	28.7	70.1	>171
PGV(cm/s)	<0.0178	0.0775	0.337	0.898	2.39	6.37	17	45.2	>120
INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based on Faenza and Michelini (2010, 2011) Version 1: Processed 2021-01-13T10:26:00Z  
 Δ Seismic Instrument ○ Reported Intensity ★ Epicenter □ Rupture

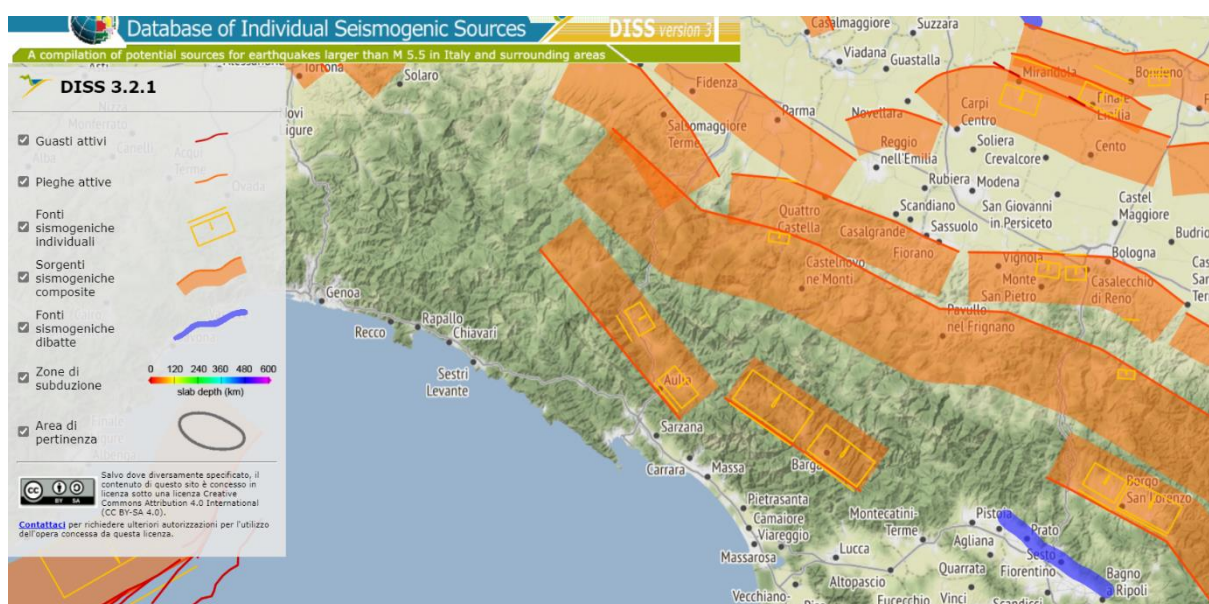


L'intensità dello scuotimento del suolo relativo a tale evento e la distribuzione delle scosse è fornita da INGV, attraverso la redazione della mappa di scuotimento elaborata con ShakeMap e mostrata nella figura sopra riportata. Il comune di Viareggio è stato interessato da danni moderati.

#### SORGENTI SIMOGENETICHE

Le sorgenti sismogenetiche rappresentano le zone di origine dei terremoti valutate tramite la sismicità storica e le indagini geologiche.

Per la valutazione delle sorgenti sismogenetiche è utilizzato il Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), redatto dai ricercatori dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. Il Database comprende una grande quantità di materiale originale e pubblicato sulle principali fonti sismogenetiche d'Italia insieme a informazioni geografiche, sismologiche, geologiche e tettoniche di fondo.

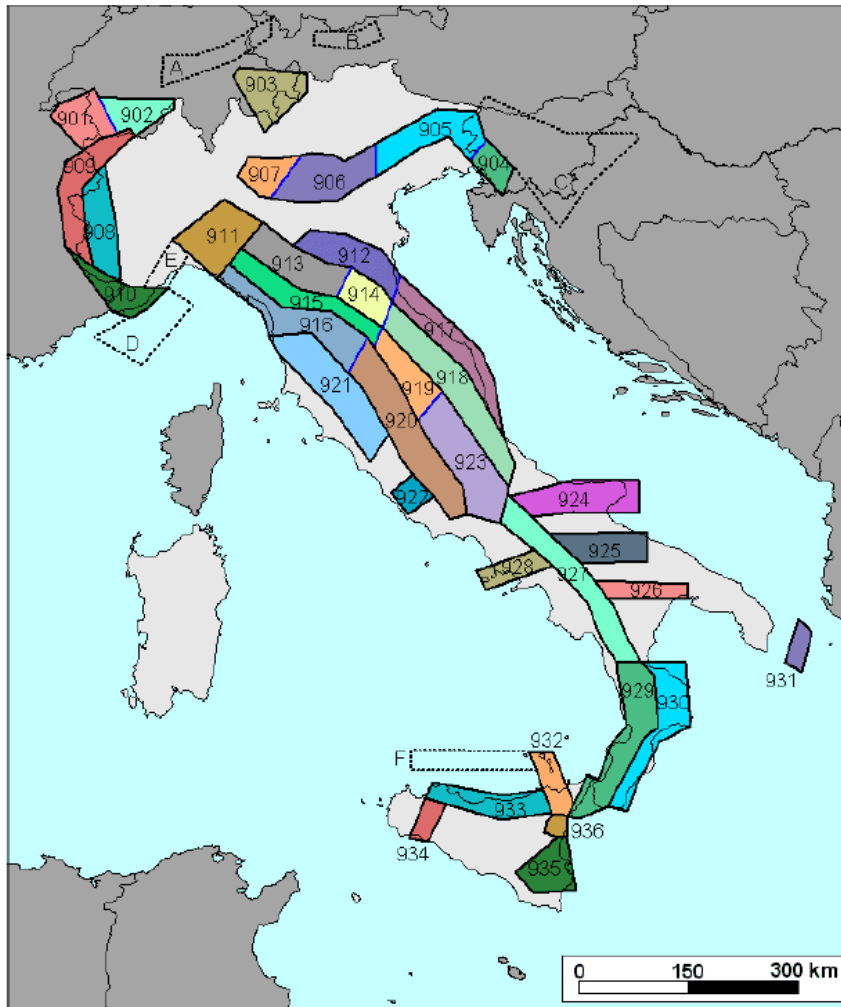


La zonazione sismogenetica ZS9 è un modello di sorgente sismica per l'Italia da utilizzare come input per la valutazione probabilistica della pericolosità sismica a livello nazionale (PSHA) nell'ambito della compilazione della mappa di riferimento nazionale.

La zonazione sismogenetica ZS9 è composta da 36 zone in cui sono previsti terremoti con  $M_w \geq 5$  inoltre ogni zona è caratterizzata anche dalla sua profondità sismogenetica media (la profondità del volume crostale che presumibilmente rilascerà terremoti futuri) e dal meccanismo focale predominante (il loro meccanismo di rottura più probabile). Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2004). Zonazione sismogenetica ZS9 [Set di dati]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/sh/zs9>.

Il comune di Montignoso ricade nella zona 916 appartiene al settore in distensione tirrenica definito nel modello sismotettonico di Meletti et al. (2000). Questa zona è caratterizzata da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati.

L'area sismicamente più attiva è quella riguardante le aree della Garfagnana Lunigiana, che appartengono alla zona 915 con sistemi di faglie legati all'estensione appenninica a differenza della zona 916 che rappresenta una distensione peritirrenica.



La magnitudo è una grandezza molto importante per la definizione della pericolosità sismica e quindi dell'azione sismica.

Un metodo semplice e in favore di sicurezza utilizzato per stimare il valore di magnitudo di sito da utilizzare nelle varie verifiche sismiche prevede i seguenti passaggi:

1. Si considera la zonazione sismogenetica (ZS 9), secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima  $M_{wmax50}$ .
2. Per i siti che cadono in una delle 36 zone sismogenetiche predette si assume come M il valore di  $M_{wmax}$  presenti nella tabella 2.8-1 degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" di cui si riporta di seguito un estratto.

**Tabella 2.8-1 – Valori di  $M_{wmax}$  per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)**

Nome ZS	Numero ZS	$M_{wmax}$
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

#### PERICOLOSITÀ SISMICA

La pericolosità sismica stima lo scuotimento del suolo atteso in un sito a causa di un terremoto. Essendo prevalentemente un'analisi di tipo probabilistico, si può definire un certo scuotimento solo associato alla probabilità di accadimento nel prossimo futuro. La stima quantitativa dello scuotimento del terreno include le analisi di pericolosità sismica di base e di pericolosità sismica locale.

La Pericolosità sismica di base è dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti) e si calcola generalmente in maniera probabilistica, per una certa regione e in un determinato periodo di tempo, i valori di parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento). La scala di studio è solitamente regionale.

La pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche locali (litostratigrafiche e morfologiche) è la pericolosità sismica locale, lo studio della pericolosità sismica locale è condotto a scala di dettaglio partendo dai risultati degli studi di pericolosità sismica di base (terremoto di riferimento) e analizzando i caratteri geologici, geomorfologici geotecnici e geofisici del sito.

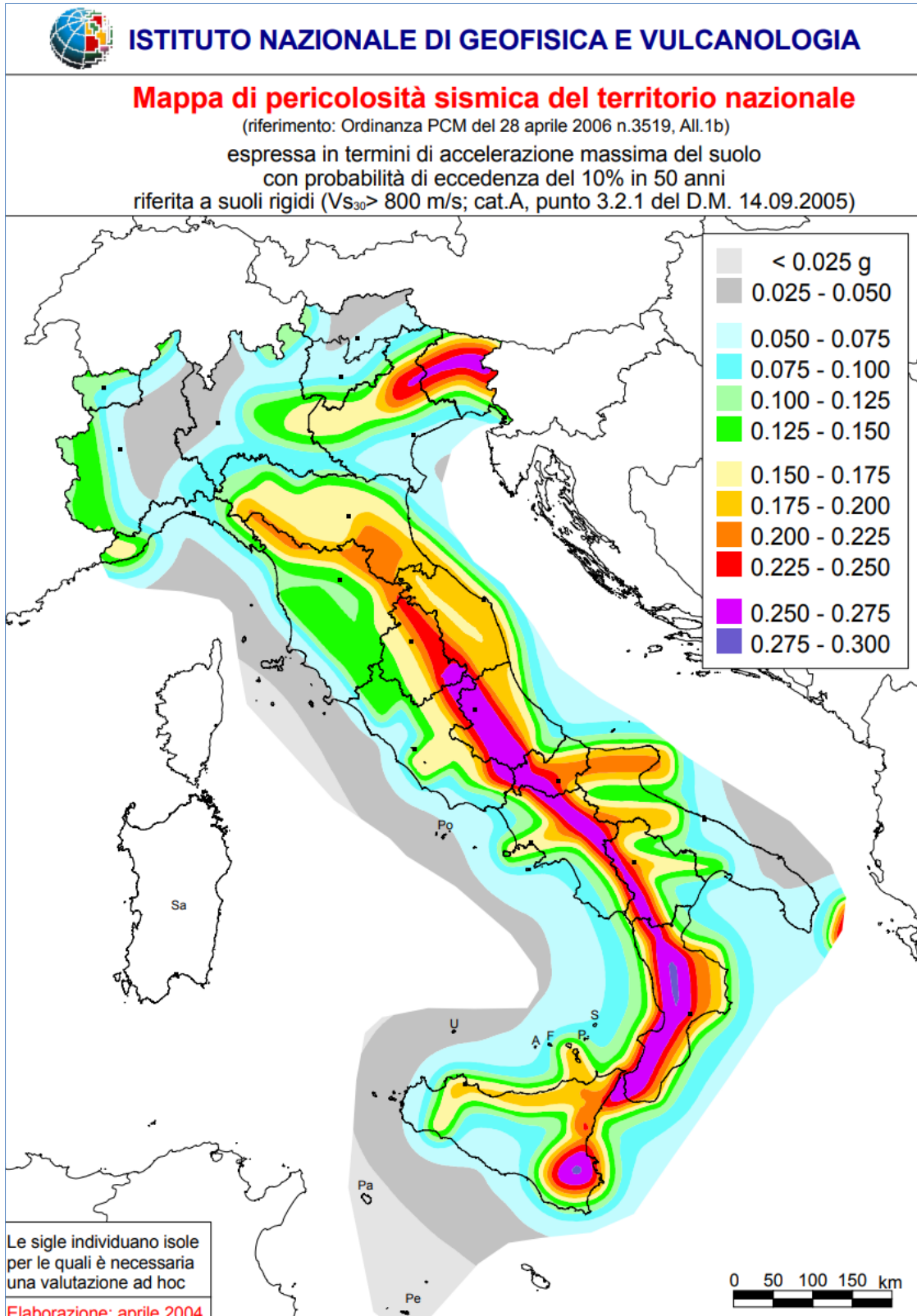
La pericolosità sismica locale permette di definire le amplificazioni locali e la possibilità di accadimento di fenomeni di instabilità del terreno, questi studi determinano la carta di microzonazione sismica.

Nel 2004 è stata rilasciata la mappa della pericolosità sismica che fornisce un quadro delle aree più pericolose in Italia. La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale è espressa in termini di accelerazione orizzontale del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi. L'Ordinanza PCM n. 3519/2006 ha reso tale mappa uno strumento ufficiale di riferimento per il territorio nazionale.

I diversi colori indicano i valori di accelerazione del terreno che hanno una probabilità del 10% di essere superati in 50 anni. Indicativamente i colori associati ad accelerazioni più basse indicano zone meno pericolose, dove la frequenza di terremoti più forti è minore, ma questo non significa che non possano verificarsi.

Gli scuotimenti più forti, con valori delle accelerazioni del suolo superiori a 0.225 g ( $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ , accelerazione di gravità), sono attesi in Calabria, Sicilia sud-orientale, Friuli-Venezia Giulia e lungo tutto l'Appennino centro-meridionale. Valori medi sono riferiti alla Penisola Salentina, lungo la costa tirrenica tra Toscana e Lazio, in Liguria, in gran parte della Pianura Padana e lungo l'intero Arco Alpino. La

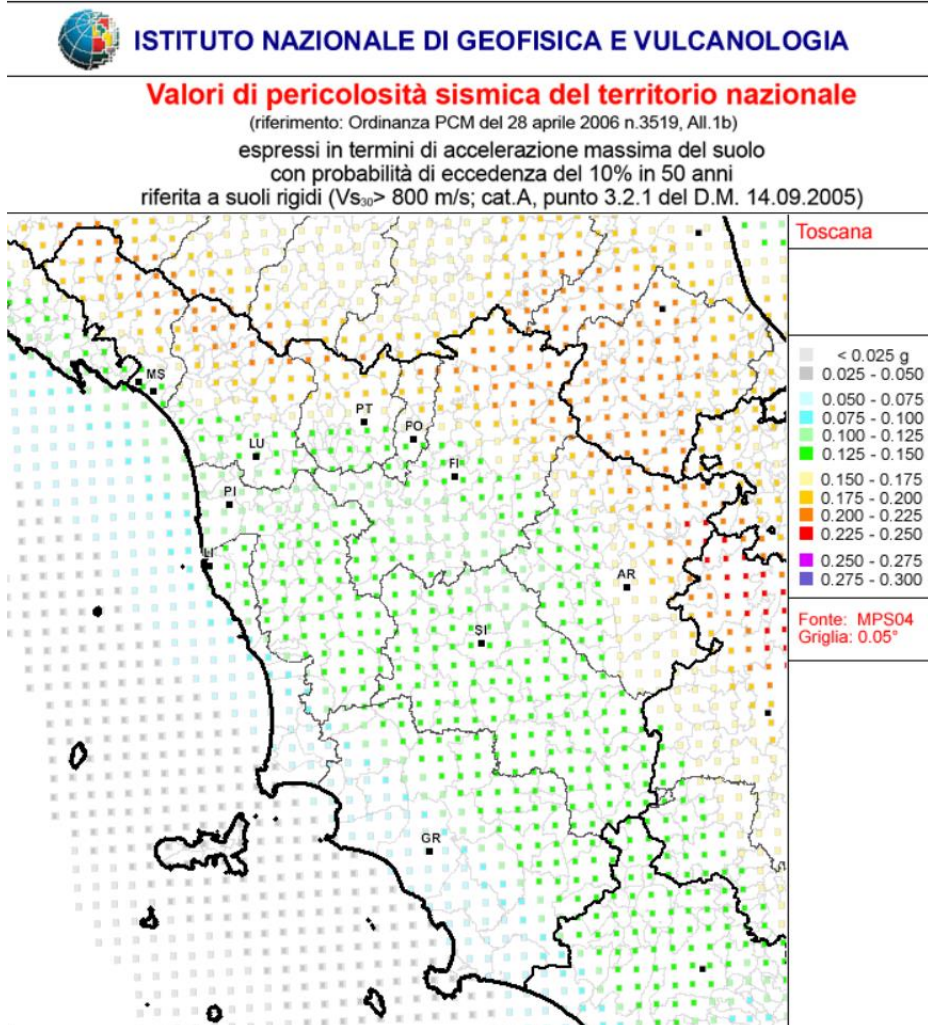
Sardegna è la regione meno pericolosa con valori di scuotimento atteso moderati (zonazione sismogenetica ZS9- app.2 al rapporto conclusivo).



La pericolosità sismica del territorio nazionale (Ordinanza PCM n. 3519/2006, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>) (Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Akinci A., Faccioli E., Gasperini P., Malagnini L., Valensise G. (2004).



Nel dettaglio, per la Toscana, la mappa di pericolosità sismica riporta le seguenti pericolosità:



Il Peak ground acceleration (PGA) è la misura della massima accelerazione del suolo indotta dal terremoto e registrata dagli accelerometri. Il PGA misura l'intensità di un terremoto in una singola area geografica. In base al valore massimo del PGA, il territorio italiano è suddiviso in quattro zone sismiche:

a) Ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima del suolo  $a_g$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da  $V_{s30} > 800$  m/s, secondo lo schema seguente:

zona	accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni $[a_g]$	accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico $[a_g]$
1	$0,25 < a_g \leq 0,35 g$	0,35 g
2	$0,15 < a_g \leq 0,25 g$	0,25 g
3	$0,05 < a_g \leq 0,15 g$	0,15 g
4	$\leq 0,05 g$	0,05 g

La Regione Toscana con DELIBERAZIONE del 26 maggio 2014, n. 421 ha aggiornato l'allegato 1 (elenco dei comuni) e l'allegato 2 (mappa) della deliberazione G.R.T. n. 878 dell'8 ottobre 2012, recante "Aggiornamento della classificazione sismica regionale in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi

del D.M. 14.01.2008 - Revoca della D.G.R.T. 431/2006" e cessazione di efficacia dell'elenco dei Comuni a Maggior Rischio Sismico della Toscana (D.G.R.T. 841/2007).

Sotto il profilo della pericolosità sismica di base e della classificazione sismica, l'aggiornamento ha previsto semplicemente la conferma della classificazione sismica dei comuni originari oggetto di fusione.

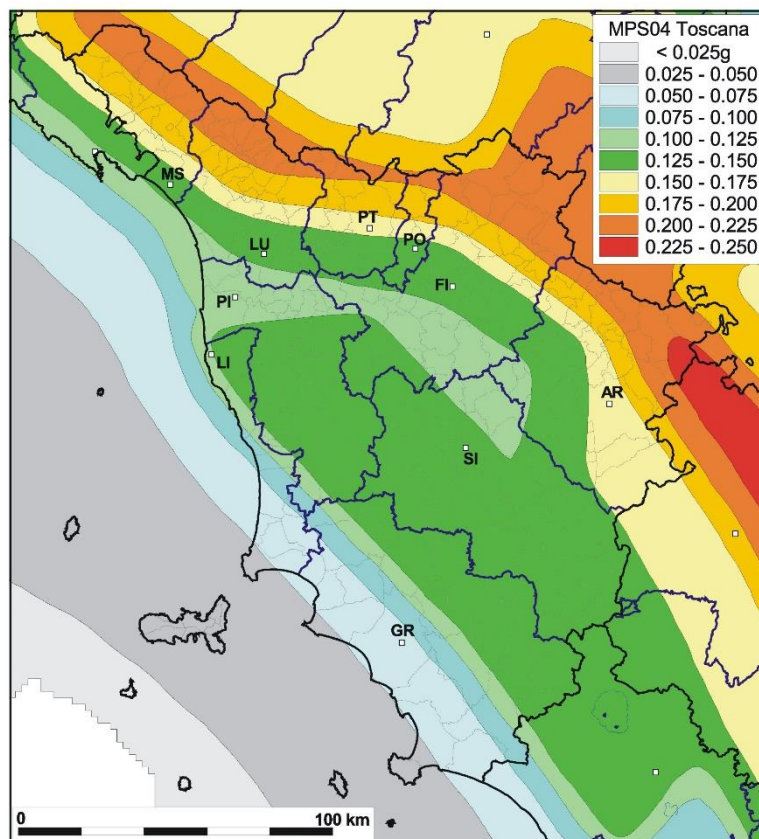


Regione Toscana

RISCHIO SISMICO



Mappa di pericolosità sismica (MPS) della Toscana (mappa mediana al 50° percentile).  
I valori di accelerazione sono riferiti ad un tempo di ritorno pari a 475 anni (INGV, 2004)



L'aggiornamento della precedente classificazione approvata con Deliberazione GRT n. 878 dell'8.10.2012 si è reso necessario a seguito della fusione di 14 comuni toscani, con conseguente istituzione dal 1° gennaio 2014 di 7 nuove amministrazioni comunali (consulta la storia della classificazione):

Fabbriche di Vergemoli in provincia di Lucca

Crespina Lorenzana e Casciana Terme Lari in provincia di Pisa

Figline e Incisa Valdarno e Scarperia e San Piero in provincia di Firenze

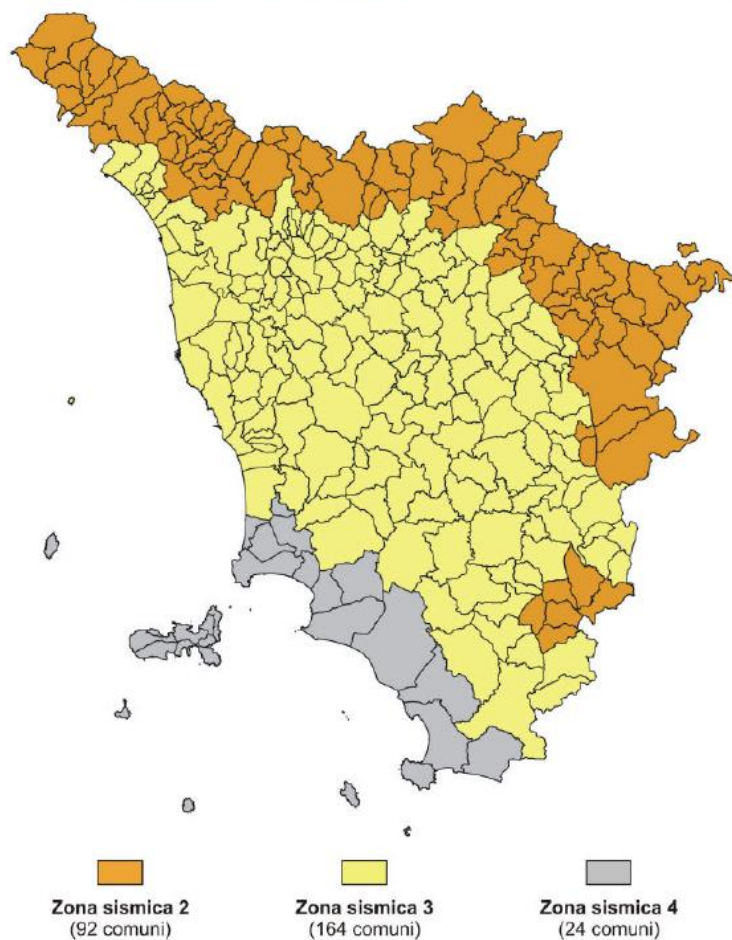
Castelfranco Piandiscò e Pratovecchio Stia in provincia di Arezzo

Contestualmente, è cessata l'efficacia della Deliberazione GRT n. 841 del 26 novembre 2007 "Approvazione dell'elenco aggiornato dei comuni a maggior rischio sismico della Toscana". perché sono venute meno le condizioni per mantenere all'interno della zona sismica 2 la distinzione dei Comuni a Maggior Rischio Sismico.

Questa operazione, inoltre, considerati i moderni criteri nazionali di stima della pericolosità sismica (O.P.C.M. 3519/2006 e NTC 2008), peraltro già recepiti dal 2012 nella classificazione sismica regionale,

consente la determinazione puntuale di tale parametro (approccio "sito-dipendente"), permettendo in tal modo di discriminare a livello regionale le aree a maggior pericolosità sismica.

#### ALLEGATO II



Il comune di Viareggio ricade nella zona sismica 3.

#### CARTA DELLE FREQUENZE - TAVOLA G.5

Nella carta delle frequenze sono riportati in forma schematica i punti di misura HVSR indicando con un pallino di colore diverso il range di frequenza, mentre la grandezza del simbolo indica l'ampiezza del picco misurato.

L'elaborazione dei risultati ottenuti ha fornito indicazioni e conferme ai fini della ricostruzione del modello geologico, con particolare riferimento al confronto tra lo spessore delle coperture stimate e le frequenze fondamentali (Albarello et al., 2010). Infatti, la frequenza di risonanza del sedimento dipende dallo spessore H e dalla velocità media delle Vs dello stesso secondo la relazione:

$$v = V_s/4H$$

Analizzando i dati in termini frequenziali si può evidenziare una sostanziale uniformità dei dati ottenuti ed il sottosuolo delle aree indagate presenta picchi del rapporto H/V di interesse sismico e geotecnico.

Le misure effettuate presentano picchi HVSR con frequenze pari a 0.5 Hz per le misure HVSR 2-4 mentre la misura HVSR 1 ha registrato valore di picco di frequenza pari a 4.2. Tale valore risulta anomalo rispetto ai valori misurati e a quelli riportati nel Piano Strutturale di Camaiore.

Il sito non è risultato influenzato da fonti di rumore antropiche.

La durata totale dell'acquisizione è stata di 45 minuti per ogni registrazione.

Le misure effettuate presentano i seguenti picchi HVSR:

- 1) HVSR 1 4.2 Hz
- 2) HVSR 2 0.5 Hz
- 3) HVSR 3 0.5 Hz
- 4) HVSR 4 0.5 Hz
- 5) HVSR 5 0.5 Hz

Nella figura, di seguito riportata, vengono individuati i range di frequenze ( $f_0$  Hz) e profondità (m):

$f_0$ (Hz)	h (m)
< 1	> 100
1 - 2	100 - 50
2 - 3	50 - 30
3 - 5	30 - 20
5 - 8	20 - 10
8 - 20	10 - 5
> 20	< 5

Tabella Frequenze – Profondità (da Albarello et alii, 2010).

Nel caso in esame, non conoscendo la velocità dei sismo strati è solo possibile stimare la profondità del cambio litologico responsabile del contrasto sismico in base alla tabella sopra riportata.

Le frequenze 0.5 Hz evidenziano eterogeneità dei depositi con probabili contrasti di impedenza posti a profondità superiori ai circa 100 metri.

Per maggiori dettagli sulle misure effettuate si rimanda all'allegato delle indagini.

#### CARTA DELLE VS - TAVOLA G.6

Per la stesura della carta della Microzonazione Sismica è necessario individuare i fattori di amplificazione, i quali sono determinati sulla base degli abachi approntati dal Prof. Dario Albarello per conto della Regione Toscana.

A tal fine è necessario redigere una carta delle Vs30 o Vsh.

Sulla base delle conoscenze sul territorio è stata redatta la carta delle Vs alle quali si rimanda.

La carta delle Vs è riclassificata secondo le seguenti classi:

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

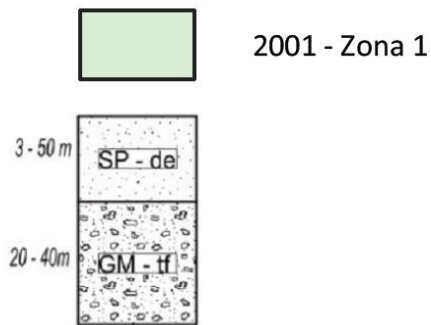
Tutta l'area oggetto di studio è inserita in classe 300.



#### VALUTAZIONE DELLA CARTA DELLE MOPS - TAVOLA G.7

Le nuove indagini eseguite in parte convalidano ed in parte rivedono lo studio di microzonazione sismica di I livello eseguito nel Piano Strutturale 2019.

In particolare con il presente studio si è elaborata una unica classe MOPS suscettibile di amplificazioni locali caratterizzata dalla presenza di un deposito sabbioso caratterizzato da sabbie più o meno fini dello spessore sino a circa 50 metri cui segue un deposito sabbioso con ghiaie dello spessore sino a circa 40-50 metri.



Nell'area oggetto di studio non si hanno zone instabili.

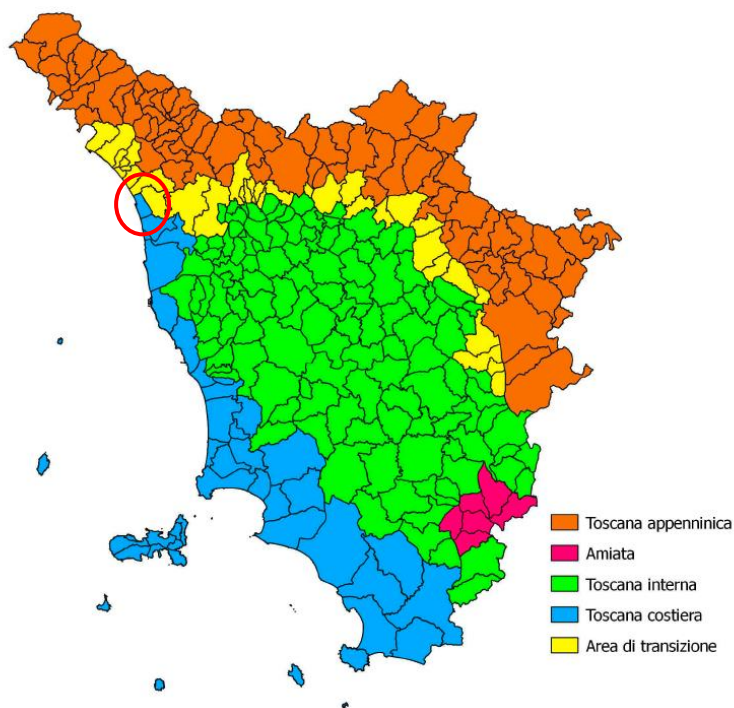
Per le zone suscettibili di instabilità si sono distinte aree a possibile liquefazione, le zone caratterizzate da frane attive e da frane quiescenti.

Nella carta della Microzonazione Sismica è riportata una zona di attenzione per liquefazione.

#### CARTE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA - TAVOLA G.8 A, B, C

La carta della microzonazione sismica è l'elaborato di sintesi in base al quale si vanno a stimare i fattori di amplificazione.

Il comune di Viareggio è inserito nell'area costiera e ricade nei comuni con valore di  $a_g$  (TR=475 anni) maggiore o uguale a 0.15g.



Pertanto le tabelle degli abachi prese a riferimento sono le seguenti:

Toscana costiera



FA 0.1 < T < 0.5 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<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	1.4
	500	1.0	1.2	1.3	1.5	1.5	1.4	1.2	1.5	1.3	1.2
	700	0.9	1.1	1.3			1.4	0.9	1.2	1.1	1.0
	≥800	0.8	0.8								0.8

FA 0.4 < T < 0.8 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<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	1.6
	500	1.2	1.4	1.4	1.5	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2	1.3
	700	1.1	1.3	1.5			1.5	0.9	1.1	1.1	1.1
	≥800	0.9	0.9								0.9

FA 0.7 < T < 1.1 s

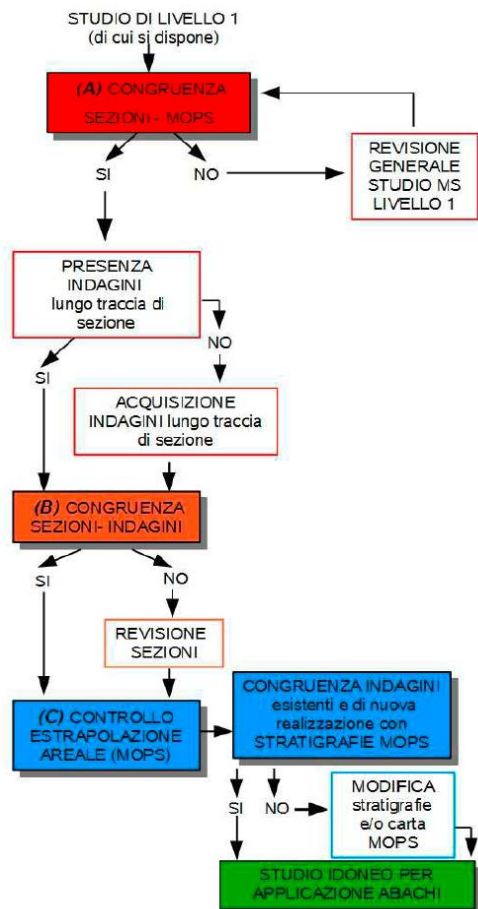
		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥8	
Vs30 (m/s)	<200	2.1	2.7	2.6							2.5
	300	1.5	1.9	1.8	1.5	1.7	1.7	1.5	1.1	2.2	1.6
	500	1.3	1.6	1.4	1.6	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.3
	700	1.1	1.5	1.3			1.4	0.9	1.0	1.2	1.2
	≥800	1.0	1.0								1.0

CLASSI

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

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

Il flusso di lavoro seguito per verificare l'applicabilità degli abachi è tracciato nel seguente schema (come illustrato nei paragrafi precedenti):





Per la determinazione delle zone suscettibili di amplificazione si è adottato il seguente criterio di studio: esame e valutazione della carta delle frequenze e delle misure ritenute valide per assegnare ad ogni misura il valore di frequenza di riferimento e quindi la classe:

## CLASSI

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

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

Esempio, determinazione classe frequenza 1.5 per quelle misure con f0 compreso tra 1 e 2

Dalle carte delle Vs (descritta nei paragrafi precedenti) è stata determinata la classe di velocità:

## CLASSI

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

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

Esempio, determinazione classe velocità 300 per quelle aree con Vs compresa tra 200 e 400

Determinati per ogni punto di indagine i valori delle classi di frequenza e di velocità, attraverso gli abachi di riferimento per aree costiere si sono determinati i valori di FH<sub>a</sub>:

### Toscana costiera



		FA 0.1 < T < 0.5 s										
		f0 (Hz)										
		<	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.	
Vs (m/s)	< 200	1.3	1.4	2.1							1.4	
	300	1.2	1.4	1.7	1.8	1.5	1.5	1.1	1.7		1.4	
	500	1.0	1.2	1.3	1.5	1.5	1.4	1.2	1.5	1.3	1.2	
	700	0.9	1.1	1.3			1.4	0.9	1.2	1.1	1.0	
	≥ 800	0.8	0.8								0.8	


		FA 0.4 < T < 0.8 s										
		f0 (Hz)										
		<	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.	
Vs (m/s)	< 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	1.6	
	500	1.2	1.4	1.4	1.5	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2	1.3	
	700	1.1	1.3	1.5			1.5	0.9	1.1	1.1	1.1	
	≥ 800	0.9	0.9								0.9	

Esempio applicato per determinare valori di FH<sub>a</sub>


Ricavati i valori di FHa (0.1-0.5s), FHa (0.4-0.8s) e FHa (0.7-1.1s) puntuali in coincidenza delle stazioni di misure HVSR, sulla base del modello geologico del territorio dell'area oggetto di PUA e delle MOPS, sono state redatte le carte della microzonazione sismica dove sono riportate le estensioni areali dei fattori di amplificazione.


In tali tavole sono riportate le zone suscettibili di amplificazioni locali, categorizzate per valori di FA e una zona di attenzione per la liquefazione. A seguire stralcio della legenda della tavola di microzonazione sismica.


### Zone stabili


 Classe < 1,0


### Zone stabili suscettibili di amplificazione

 Classe 1,1 - 1,2


 Classe 1,3 - 1,4


 Classe 1,5 - 1,6

 Classe 1,9 - 2,0

 Classe 2,1 - 2,2

### Zone di attenzione per instabilità

 ZA instabilità di versante

 ZA suscettibilità a liquefazione

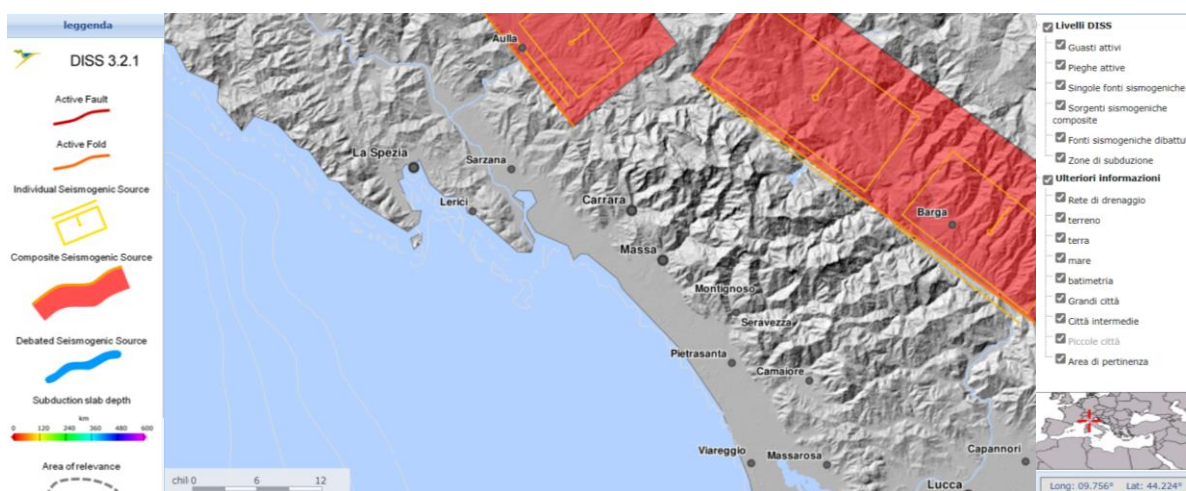
## VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

L'area oggetto di Piano Attuativo degli Arenili, così come tutta la costa apuoversiliense, per caratteristiche sismogenetiche e di magnitudo attesa, rientra tra quelle suscettibili a liquefazione.

Le caratteristiche granulometriche e la presenza di falda superficiale suggeriscono di porre attenzione a tali fenomeni, tanto più che l'analisi qualitativa delle prove penetrometriche effettuate nell'area presentano caratteristiche tali da ritenere possibile la liquefazione dei terreni.

### Valutazione degli aspetti sismici

Il Comune di Viareggio in seguito alla delibera di Giunta Regionale n° 431 del 19 giugno 2006, recepisce l'Ordinanza del C.d.M. n° 3274 del 20/03/03 si inserisce in zona sismica tre.



Fonte: Gruppo di lavoro DISS (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: Una raccolta di potenziali fonti per terremoti superiori a M 5.5 in Italia e nelle aree circostanti. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1"

### Valutazioni sulla pericolosità sismica e liquefazione

L'ultimo evento sismico della Garfagnana, è datato 7 settembre 1920, fu di magnitudo 6.5, ebbe il suo epicentro, secondo il catalogo CPTI04 dell'INGV, nei pressi di Nicciano, in pratica al confine delle attuali province di Massa-Carrara e Lucca, le aree interessate furono sia la Lunigiana che la Garfagnana.

Il motore che determina il movimento delle strutture tettoniche della catena appenninica settentrionale, causando la relativa sismicità, è rappresentato dalla subduzione della micro placca Adria al di sotto della placca Europea.

Il versante toscano è caratterizzato da una tettonica estensionale in cui si possono verificare movimenti trascorrenti sempre associati ad una distensione litosferica in direzione NE-SW. Non si può dunque escludere che, data la tettonica di questi elementi strutturali e la sismicità storica, in aree come Lunigiana, Garfagnana, si possano in futuro sviluppare terremoti di una certa intensità.

Gli effetti di sito o locali possano amplificare le onde sismiche e creare fenomeni particolari come la liquefazione.

Gli "effetti di sito" possono verificarsi anche in Versilia che in linea d'aria dista una ventina di km dalla Garfagnana. Le sabbie fini, granulometricamente uniformi, piuttosto porose e poco addensate, con la

falda acquifera molto vicina al piano campagna, rappresentano le condizioni ideali per lo sviluppo della liquefazione.

Le caratteristiche geologiche litologiche e geomorfologiche unite alla vulnerabilità della zona, oltre alla vicinanza con aree sismogenetiche attive non sono da sottovalutare e richiedono valutazioni di approfondimento tramite indagini dirette nella pianura costiera atte a valutare sia le specifiche profondità dei depositi, che le caratteristiche dei sedimenti recenti che ricoprono le aree della Versilia. Al fine di verificare e approfondire quanto redatto nello studio di Microzonazione Sismica di I livello in merito a possibili fenomeni di liquefazione, è stato calcolato il potenziale di liquefazione dei terreni mediante l'elaborazione di varie indagini CPT con l'utilizzo di più metodi di calcolo.

Le verifiche sono state effettuate adottando una magnitudo di riferimento pari a 6.14 anche se potrebbe essere preso 5.68.

La procedura per la stima del potenziale di liquefazione si basa nella stima di due parametri: il CRR che definisce la capacità del terreno di resistere alla liquefazione e rappresenta il rapporto di sforzo ciclico per il quale si verifica la liquefazione, ed il CSR o rapporto di sforzo ciclico. In modo deterministico si ha che la liquefazione è possibile quando la domanda sismica (CSR) è maggiore della resistenza del terreno (CRR).

In via del tutto generale il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione è definito da:

$$FSL = CRR/CSR$$

Tale valore non è riferito alle condizioni di piano campagna, ma al singolo strato sulla verticale dell'indagine in elaborazione.

Per stimare il valore del potenziale di liquefazione si ricorre pertanto alla seguente formula che assegna un peso diverso a seconda della profondità:

$$IPL = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

In forme leggermente diverse la formula sopra è stata proposta sia da Iwasaki e al. che da Sonmez. Il calcolo permette di definire per ogni prova elaborata il potenziale di liquefazione sulla base della seguente tabella:

IPL	Potenziale di liquefazione	
0	Non liquefacibile	
0 < LPI ≤ 2	Basso	
2 < LPI ≤ 5	Moderato	
5 < LPI ≤ 15	Alto	
LPI > 15	Molto alto	

Nel caso in esame si sono utilizzati vari metodi quali Robertson e Wride, Robertson e Wride modificato, Idriss e Boulanger 2008, Idriss e Boulanger 2014 e Juang et al 2006.

La tabella seguente riporta i valori di IPL calcolati per ogni CPTu elaborata, effettuati sia per magnitudo pari a 5.68 che per magnitudo 6.14.

Magnitudo 5.68

prova	Robertson e Wride	Robertson e Wride mod	Idriss e Boulanger 2008	Idriss e Boulanger 2014	Juang et al 2006
CPTu 1	0.81	1.07	1.72	19.6	7.62
CPTu 2	5.08	5.53	6.36		14.31
CPTu 3	0.92	1.24	2.29	19.04	8.8
CPTu 4	0.66	0.98	1.81	19.89	8.97

Magnitudo 6.14

prova	Robertson e Wride	Robertson e Wride mod	Idriss e Boulanger 2008	Idriss e Boulanger 2014	Juang et al 2006
CPTu 1	5.3	6.14	5.75	23.02	14.49
CPTu 2	13.48	14.05	12.73	26.93	20.06
CPTu 3	6.24	7.26	7.03	22.69	14.9
CPTu 4	6.79	7.5	14.31	27.95	18.84

L'utilizzo di diversi metodi per la valutazione del potenziale di liquefazione ha mostrato una mancanza di uniformità nei risultati, indicando, a giudizio dello scrivente, che i metodi utilizzati non sono probabilmente adatti alla realtà geologica e sismica dei territori oggetto di studio.

È poco credibile che per una stessa indagine metodi diversi calcolano potenziale di liquefazione da basso ad alto.

In base alle elaborazioni effettuate, valutati i vari metodi applicati, si ritiene di prendere a riferimento il metodo di Idriss e Boulanger (2008).

I risultati delle elaborazioni mostrano che non vi è una strettissima correlazione tra la solita unità litologiche e il valore di IPL, la liquefazione non è legata esclusivamente alla litologia ma probabilmente è più influenzata dal grado di addensamento del deposito.

Sulla base della distribuzione delle varie indagini si è stimato per l'area oggetto di piano attuativo un potenziale di liquefazione moderato.

## **LE CARTE DELLA PERICOLOSITÀ**

Il territorio è stato caratterizzato in aree omogenee dal punto di vista delle pericolosità geologica, sismica e da alluvioni costiere rispetto agli specifici fenomeni che le generano. Tali analisi e approfondimenti sono integrati rispetto a quelli già contenuti nei piani di bacino e nei quadri conoscitivi esistenti.

Le carte rappresentano le maggiori problematiche relative alle differenti pericolosità geologica, sismica e idraulica che caratterizzano il territorio dell'area oggetto di PUA.

Sono riprodotte:

CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA TAVOLA G.9

CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA TAVOLA G.10

CARTA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA E DA ALLUVIONI COSTIERE G.12



**CARTA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA - TAVOLA G.9**

Per "pericolosità geologica" s'intende l'identificazione qualitativa di aree omogenee, in cui si possono sviluppare o riattivarsi, in termini di possibilità, fenomeni d'instabilità.

Nelle aree di fondovalle e nelle aree con affioramenti di depositi detritici, la pericolosità è determinata dalla presenza di livelli scarsamente portanti e compressibili nei depositi quaternari, i quali possono provocare fenomeni di rottura e consolidazione per interventi antropici inadeguati. Per gli aspetti puramente geotecnici delle aree di pianura, in questo lavoro, si è preferito eseguire una ulteriore aggiuntiva pericolosità litotecnica, nella quale illustrare in maniera dettagliata le classi di pericolosità litotecniche.


È stata inserita una classe in pericolosità G3a per l'azione dinamica sulla spiaggia delle alluvioni costiere e delle maree.

Il grado di pericolosità è stato determinato in conformità alla seguente tabella:

Classi di pericolosità geologica			
	Classe di Pericolosità	Caratteri	Pericolosità DPGR 5/R del 2020
	<b>G2 Media</b>	Aree in cui sono presenti fenomeni geomorfologici inattivi; aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto.	Pericolosità geologica media (G.2)
	<b>G3a Medio-elevata</b>	Aree con potenziale instabilità connessa a fenomeni evolutivi della costa a seguito di alluvioni costiere e fenomeni di marea	Pericolosità geologica elevata (G.3)

Nella pianura costiera la pericolosità geologica è determinata dalla presenza di livelli scarsamente portanti e compressibili nei depositi quaternari e attuali che possono provocare fenomeni di rottura e consolidazione per interventi antropici inadeguati.

Classi di pericolosità geolitotecnica:

Classi di pericolosità geolitotecnica			
	Classe di Pericolosità	Caratteri	Pericolosità DPGR 5/R del 2020
	<b>G2lt Media</b>	Corrisponde a situazioni geologico-tecniche apparentemente stabili, sulle quali permangono dubbi sulle capacità portanti e valutazioni dei cedimenti che potranno essere chiariti a livello d'indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia.	Pericolosità geologica media (G.2)



#### CARTA PERICOLOSITÀ SISMICA - TAVOLA G.10

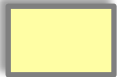
La sintesi di tutte le informazioni derivanti dagli studi di MS ha consentito la valutazione delle condizioni di pericolosità sismica locale e l'individuazione delle aree, dove possono verificarsi effetti locali o di sito. La valutazione preliminare degli effetti locali o di sito ai fini della riduzione del rischio sismico ha consentito di rappresentare:

1. probabili fenomeni di amplificazione stratigrafica;
2. terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento;


Tale valutazione è rappresentata nella tavola delle MOPS e nelle tavole della microzonazione sismica di II livello.

Nella carta della Pericolosità sismica sono riportate le condizioni geologiche e morfologiche che possono produrre alterazioni importanti della risposta sismica locale. Tra queste ultime assumono particolare importanza sia quelle che producono amplificazioni della risposta sismica senza deformazioni permanenti del suolo, sia quelle nelle quali l'anomalia sismica è rappresentata da una deformazione permanente quale liquefazione di terreni.

Sulla base delle considerazioni suddette il territorio oggetto di Piano Attuativo è stato suddiviso in 4 classi di pericolosità come descritte nella tabella sottostante:

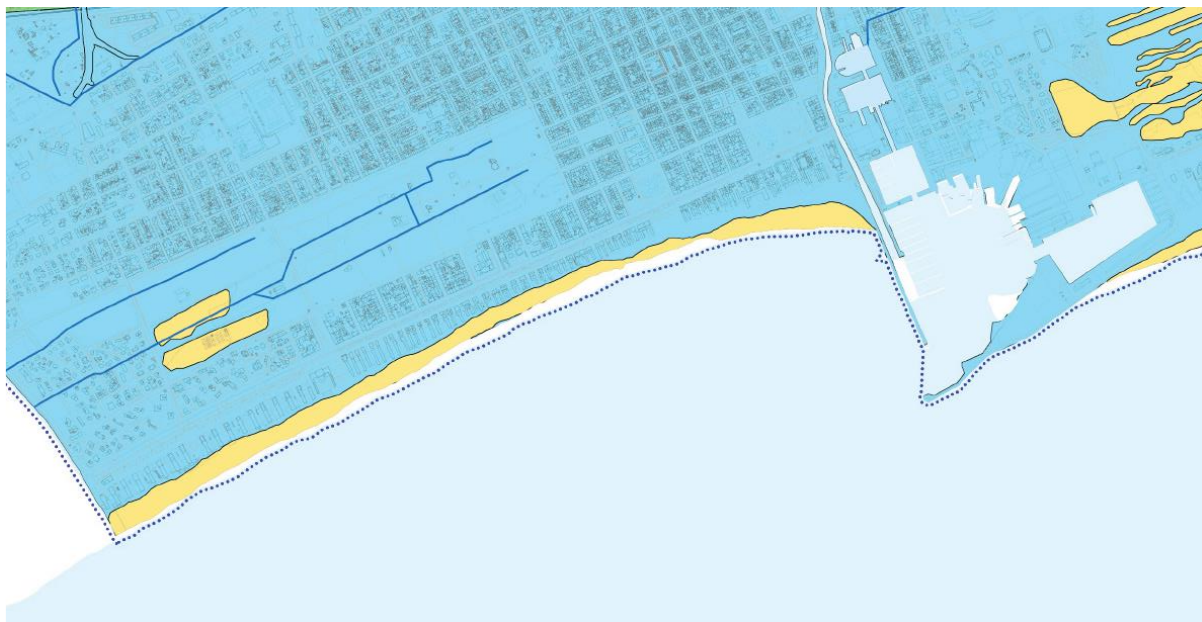
	Classe di Pericolosità	Caratteri
	<b>S2 Media</b>	zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connessi con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1hz;

Oltre alle classi suddette nella tavola G11 sono stati indicati i terreni suscettibili a liquefazione (ZSLQ).

	Classe di Pericolosità	Caratteri
	<b>S3 Elevata</b>	Zone di suscettibilità a liquefazione (ZSLQ), terreni potenzialmente soggetti a liquefazione dinamica

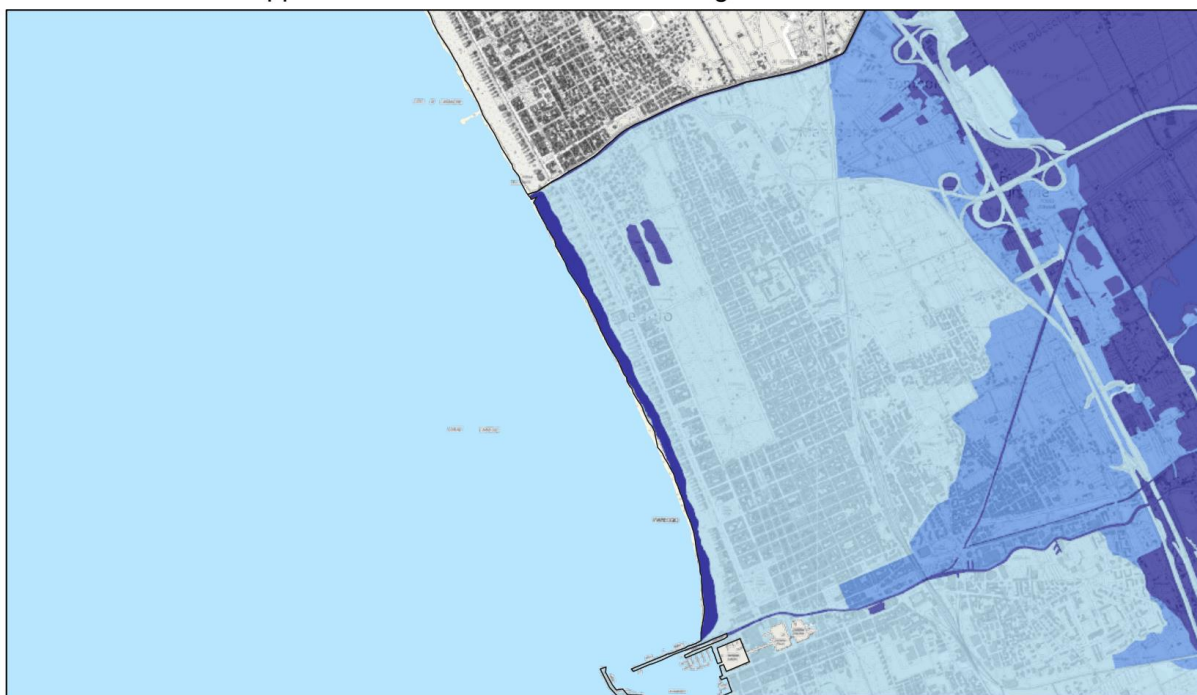
### CARTA PERICOLOSITÀ IDRAULICA E ALLUVIONI COSTIERE - TAVOLA G.12

L'area oggetto di studio non è stata oggetto di nuovi studi idraulici. Per la valutazioni delle aree alluvionabili si è fatto riferimento al Piano Strutturale vigente e al PGTRA del Bacino Appennino Settentrionale.



Carta della pericolosità idraulica del Piano Strutturale approvato 2019

### Mappa della Pericolosità da alluvione Vigente - UoM Serchio



22/10/2021, 11:48:56

Unit of management

Pericolosità da alluvione - Serchio - Dominio fluviale

P1

P2

P3

P3

1:36,112  
0 0.23 0.45 0.9 mi  
0 0.35 0.7 1.4 km

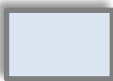

Esri, Intermap, NASA, NGA, USGS, Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale, Esri, HERE, Garmin, INCREMENT P, METU/NASA, USGS

AoB Distretto Appennino Settentrionale

L'estratto della carta della pericolosità idraulica del Piano Strutturale vigente evidenzia la presenza di aree alluvionabili I4 per alluvioni costiere e I2 per restante parte del territorio oggetto di Piano Attuativo. Tale definizione delle pericolosità è confermata dalle carte del PGRA del Bacino Distretto Appennino Settentrionale, che individua pericolosità P3 per alluvioni costiere e pericolosità P1 per restante parte del territorio dell'area oggetto di Piano Attuativo degli Arenili.

Per tipologia di pericolosità idraulica (P3 - I4 per alluvioni costiere) non si hanno battenti stimati.

Nella carta della pericolosità idraulica del Piano Attuativo degli arenili sono riportate le seguenti pericolosità:

Classi di pericolosità idraulica e alluvioni costiere		
	Classe di Pericolosità	Caratteri
	I2 – P1	Aree caratterizzate da alluvioni rare (TR > 200 anni)
	I4 – P3	Aree a pericolosità idraulica alta per alluvioni costiere

### **CRITERI UTILIZZATI PER LA VALUTAZIONE DELLE FATTIBILITÀ**

Le fattibilità rappresentano la sintesi finale nella quale è espresso il grado di fattibilità geologica, simica, e idraulica.

Le fattibilità tengono conto del grado di esposizione delle destinazioni d'uso delle diverse aree previste nel PUA. in rapporto alle classi di pericolosità definite.

Per la determinazione del grado di esposizione si è fatto riferimento al seguente criterio:

- Grado di esposizione basso: Componenti territoriali non adibiti ad utilizzazioni comportanti presenza continuativa ovvero temporanea ma frequente di persone: caccia; pesca; attività escursionistiche, ricreative, d'osservazione e di studio; ricoveri connessi alle attività escursionistiche; strutture connesse alla ordinaria coltivazione del suolo, alle attività selvicolturali, alle attività di pascolo, alla zootecnia, alla itticoltura; magazzini; depositi a cielo aperto; impianti scoperti per la pratica sportiva; mobilità pedonale; mobilità meccanizzata in elementi di viabilità minore (strade vicinali, poderali, interpoderali), e simili.
- Grado di esposizione medio: Componenti territoriali destinabili ad utilizzazioni comportanti bassa densità di presenza continuativa ovvero temporanea ma frequente di persone: attività estrattive; lavorazione degli inerti; parchi urbani e territoriali; abitazioni rurali; abitazioni ordinarie o artigianato o esercizi commerciali di vicinato o pubblici esercizi in edifici isolati in territorio non urbano; impianti coperti per la pratica sportiva in edifici isolati in territorio non urbano; mobilità meccanizzata in elementi di viabilità locale; attrezzature tecnologiche a rete e puntuali di rilevanza locale, e simili.
- Grado di esposizione alto: Componenti territoriali destinabili ad utilizzazioni comportanti elevata densità di presenza continuativa o temporanea di persone: territorio urbano nel suo complesso (comprese le aree ad organizzazione morfologica specialistica per la produzione e/o l'erogazione di beni o servizi); consistenti strutture insediative extraurbane abitative, per la produzione e/o l'erogazione di beni o servizi (attività produttive agroindustriali, manifatture, medie e grandi strutture di vendita, centri commerciali, attività ricettive, strutture per l'istruzione, culturali, ricreative, religiose, sanitarie ed assistenziali, cimiteriali); mobilità ferroviaria e meccanizzata in elementi di viabilità sovralocale oppure locale ma di interesse strategico; attrezzature tecnologiche a rete e puntuali di rilevanza sovralocale, e simili.

### **MATRICI DI FATTIBILITÀ**

Le fattibilità definite sulla base della DPGR 5/R del 2020 sono indicate con le sigle FGX per le fattibilità geologiche in senso lato, FSX per la fattibilità sismica e Fix per le fattibilità idrauliche, e si riferiscono alle condizioni di seguito riportate:

1. Fattibilità senza particolari limitazioni (F1): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali non sono necessarie prescrizioni specifiche ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.
2. Fattibilità con normali vincoli (F2): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali è necessario indicare la tipologia di indagini e/o specifiche prescrizioni ai fini della valida formazione del titolo abilitativo all'attività edilizia.
3. Fattibilità condizionata (F3): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali per le quali, ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi.
4. Fattibilità limitata (F4): si riferisce alle previsioni urbanistiche ed infrastrutturali la cui attuazione è subordinata alla realizzazione di interventi di messa in sicurezza che vanno individuati e definiti in sede di redazione del medesimo regolamento urbanistico, sulla base di studi e verifiche atti a determinare gli elementi di base utili per la predisposizione della relativa progettazione.

A seguito dei criteri adottati si è redatta la seguente matrice di fattibilità nella quale sono riportate le tipologie di intervento previste dal PUA e le Pericolosità del PUA.

Tale tabella è fedelmente riportata nelle **NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE GEOLOGICHE**.

Determinazione della fattibilità sulla base della pericolosità e del tipo di intervento:

	Classe di pericolosità e di fattibilità						
	Pericolosità geomorfologica Tavola 9G		Pericolosità geolitotecnica Tavola 9G	Pericolosità simica Tavola 10G		Pericolosità idraulica Tavola 12G	
Tipo di intervento edilizio/Pericolosità	G2	G3a	G2lt	S2	ZSlq	P1	P3
Scavi e rinterri di qualsiasi genere volumetria maggiore di 3 mc	FG2	FG3	FG2	FS2	-	-	F14 e Fattibile con criteri LR41/18

Manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro e risanamento conservativo, che non comportino sovraccarichi sulle fondazioni.	FG1	FG1	FG1	-	-	FIO	F14 e Fattibile con criteri LR41/18
Interventi di ristrutturazione edilizia	FG2	FG3	FG2	FS2	FS3	FIO	F14 e Fattibile con criteri LR41/18
Interventi di addizione volumetrica	FG2	FG3	FG2	FS2	FS3	FIO	F14 e Fattibile con criteri LR41/18
Interventi di demolizione e ricostruzione	FG2	FG3	FG2	FS2	FS3	FIO	F14 e Fattibile con criteri LR41/18
Demolizione senza ricostruzione	FG1	FG1	FG1	-	-	-	-
Interventi per l'eliminazione delle barriere architettoniche	FG2	FG3	FG2	FS2	FS3	-	F14 e Fattibile con criteri LR41/18
Aree verdi attrezzate	\	\	\	\	\	\	\
Opere di piccole dimensioni e/o temporanee (anche connesse con verde attrezzato), piccoli edifici tecnici, di servizio e per funzioni igienico sanitarie.	FG1	FG1	FG2	FS2	FS3	FIO	F14 e Fattibile con criteri LR41/18
Piccoli edifici e impianti di servizio di infrastrutture a rete (acquedotto impianti adduzione e distribuzione gas, cabine trasformazioni ENEL, impianti telefonia fissa e mobile).	FG2	FG3	FG2	FS2	FS3	FIO	F14 e Fattibile con criteri LR41/18
Realizzazione di impianti sportivi e piscine all'aperto e relativi locali di servizio	FG2	FG3	FG2	FS2	FS3	FIO	F14 e Fattibile con criteri LR41/18
Per gli interventi non ricompresi nell'elenco soprastante va utilizzato il criterio di analogia.							

## **BIBLIOGRAFIA**

- AA. VV. (1990) (a cura di Tomei P. E., Amadei L., Maccioni S.) - *Etruscorum antequam ligurum*. Pontedera.
- AA.VV. (2001) - Atti del Workshop Internazionale "Strategie per la ricostruzione e la stabilizzazione delle spiagge turistiche lungo la costa Apuo-Versiliese", F. dei Marmi Settembre 2001.
- Albani D. (1940) - Le spiagge della Toscana settentrionale dalla foce del fiume Magra ai monti livornesi. In "Ricerche sulle variazioni delle spiagge italiane. II – Le spiagge toscane", C.N.R., Roma, pp. 11-86.
- Albani D. (1940) - Le spiagge della Toscana settentrionale dalla foce del fiume Magra ai Monti Livornesi. In "Ricerche sulle variazioni delle spiagge italiane. TI - Le spiagge toscane", C.N.R., Roma, pp. 11-86.
- Bartolini C., Cipriani L.E., Pranzini E. e Sargentini M. (1989) - Caratteristiche geomorfologiche ed evoluzione della linea di riva del litorale toscano e criteri di lettura. In: "Coste toscane", Regione Toscana. pp. 33-56. Cartografia dell'evoluzione della linea di riva in scala 1:5.000.
- Bartolini et alii (1989) - Caratteristiche geomorfologiche ed evoluzione della linea di riva del litorale toscano e criteri di lettura. In "Coste toscane", Regione Toscana. Pp. 33-56. Cartografia dell'evoluzione della linea di riva in scala 1:5000.
- Blanc, A.C. (1934) - Formazioni Pleistoceniche nel sottosuolo della Versilia. *Atti Soc. tosc. Sci. nat.*, 43, 129-143.
- Blanc, A.C. (1937) - La stratigraphie de la plaine côtière de la Basse Versilia (Italie) et la transgression flandrienne en Méditerranée. *Rev. Géogr. phys. Géol. dyn.*, 9 [2].
- Camosci Arnaldo (1961)- Relazione sullo stato erosivo del litorale di Massa, sulle ragioni che l'hanno prodotto e sul sistema atto a reintegrare il passato aspetto.
- Chiabrera G., Corradi N. e Fierro G. (1980) - Le barre della spiaggia sottomarina del litorale toscano (classi ficagione mo su base aerofotografica e rilievi batimetrici. *Atti dell'Accademia di Scienze e Lettere*, 37: 3-17.
- Cipriani L., Ferri S., Iannotta P., Paolieri F., Pranzini E. (2001) – Morfologia e dinamica dei sedimenti del litorale della Toscana settentrionale. *Studi costieri* -2001-4:119-156
- Consorzio Pisa Ricerche (2002) - Analisi del moto ondoso ed effetti sul litorale del pontile di M. di Pietrasanta. Comune di Pietrasanta.
- Federici P. R., R. Mazzanti (1995) - Note sulle pianure costiere della Toscana, Assetto fisico e problemi ambientali delle pianure italiane. *Mem.Soc. Geogr. Italiana* vol LIII pp. 165-270.
- Giampalo Stefano (1984) – "Vita di sabbie e d'acque" Il litorale di Massa dal 1500 al 1900.
- Gnaccolini M. (1968) - Caratteristiche granulometriche di alcuni campioni di sabbie di spiaggia, di dune costiere, di fiume, di ambiente marino epineritico e di arenaria presumibilmente deposte da correnti di torbiditi. *Mcm Soc. Geol. It.* 7: 361-378.
- Mazzanti R. et alii (1989) - La pianura versiliese nel contesto geomorfologico.
- Mazzanti R., M. Pasquinucci (1983) - L'evoluzione del litorale lunense-pisano fino alla metà del XIX secolo. *Boll. Soc. Geogr. It.*, ser. X, vol. XII, 1983, pp. 605-628.



- Mazzanti R. e Pasquinucci M. (1983) - The evolution of the Luni-Pisa coastline (II cent. B. C - second half of the XIX cent.). In: Coastal problems in the Mediterranean Sea, E.C.F. Bird and P. Fabbi Eds, IGU, Commission on Coastal Environment, Bologna 10-14 May 1982.
- Milano V. (1994) - L'evoluzione e le caratteristiche meteo-marine del litorale compreso tra i porti di Livorno e di Viareggio dal 1864 a 1983. In "L'evoluzione e la dinamica del litorale prospiciente i bacini dell'Arno e del Serchio e i problemi di erosione della costa". Aut. Di Bacino dell'Arno e del Serchio 3: 53-90.
- Mussi Luigi (1937) - "Una bonifica importante" Memoria storico-geologica.
- Pranzini E. (1985) - La gestione delle aree costiere. XI 145-171.
- Pranzini E. (1994) - Bilancio sedimentario ed evoluzione storica delle spiagge. Il Quaternario, 7: 197-204.
- Pranzini E. (1995) - Cause naturali ed antropiche nelle variazioni del bilancio sedimentario dei litorali. MCM. Riv. Geogr. It., N.s. 1: 47-62.
- Pranzini E. (2001) - Updrift river mouth migration on cusped deltas: two examples from the coast of Tuscany «t a/y). Geomorphology, 1-2: 125-132.
- Pranzini E. (2004) - La forma delle coste geomorfologia costiera impatto antropico e difesa dei litorali.
- Barlohi C. e Pranzini E. (1979): Le alterazioni del bilancio sedimentario dei litorali italiani. CNR, Convegno sulla Difesa del suolo. Firenze, maggio 1978, pp. 6.
- Pranzini E. et alii (1999) - Studio generale del litorale compreso fra Livorno e Bocca di Magra. ARPAT.
- Sestini A. (1950) - Un'antica ripa marina nella pianura costiera apuana. Sc. Nat. Vol LVII serie A.
- Sportelli S. (1999) - L'evoluzione del paesaggio versiliese. In, Studi Versiliesi. XI.
- Toniolo A.R. (1927) - Le variazioni storiche del litorale toscano tra l'Arno e il Magra. Atti del X Congresso Geografico italiano, Milano, 1927.
- BOCCALETTI M., ELTER P. & G. GUAZZONE G. (1971) - Plate Tectonic Models for the Development of the Western Alps and Northern Apennines. Nature Physical Science, 234, pp. 108-111
- CARMIGNANI L., CONTI P., DISPERATI L., FANTOZZI P.L., GIGLIA G. & MECCHERI M. (2000) - CARTA GEOLOGICA DEL PARCO DELLE APUANE. Scala 1:50.000, Parco Regionale delle Alpi Apuane, Massa - SELCA, Firenze
- CARMIGNANI L. & KLIGFIELD R. (1990) - Crustal extension in the Northern Apennines: the transition from compression to extension in the Alpi Apuane core complex. Tectonics, 9, pp. 1275-1303
- DOGLIONI C. (1991) - A proposal for the kinematic modeling of W-dipping subduction - possible applications of the Thyrrenian - Apennines System. Terra Nova, 3, pp. 423-434
- ELTER P. (1994) - Introduzione alla geologia dell'Appennino Ligure-Emiliano. In G. Zanzucchi (Ed.) Appennino Ligure Emiliano, 10 itinerari. Guide Geologiche Regionali S.G.I., 6, pp. 17-24
- Università di Pisa - Dipartimento di ingegneria civile e industriale Geotecnica (2018) - Analisi finalizzate alla verifica alla liquefazione dei terreni nell'area della provincia di Pisa e Lucca, <https://www.regione.toscana.it/-/studi-sulla-suscettibilit%C3%A0-alla-liquefazione-dei-terreni>
- Istruzioni Tecniche per le indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche per la valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana - Volume 1B "Criteri, metodologie, modalità di

presentazione delle indagini e degli elaborati” - Istruzioni Tecniche del Programma VEL (Valutazione Effetti Locali) della Regione Toscana (2007);

Catalogo parametrico dei terremoti italiano (CPTI15) dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.G.N.V.);  
Rapporto Tecnico Finale "Definizione dello stato delle conoscenze in materia di pericolosità sismica del territorio regionale, con approfondimento su elementi e aree particolari" redatto dal INGV (C. Meletti, R. Camassi, M. Stucchi, G. Valensise, 2004);

REGIONE TOSCANA - UNIPI - ANALISI FINALIZZATE ALLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE DEI TERRENI NELL'AREA DELLA PROVINCIA DI PISA E LUCCA. RELAZIONE CONCLUSIVA NOVEMBRE 2018

Prof. Diego C. F. Lo Presti (Responsabile Scientifico) - Prof. Leonardo Tognotti (Direttore del Dipartimento).

Microzonazione sismica STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA Versione 4.1 Roma, novembre 2018

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3> Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2021).

The Italian earthquake catalogue CPTI15. Bulletin of Earthquake Engineering, 18(7), 2953-2984. Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2020).

Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 3.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Antonucci A. (2021).

Zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. 2004).

Database of Individual Seismogenic Sources (DISS).

Modello sismotettonico di Meletti et al. (2000).

Ordinanza PCM n. 3519/2006, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>) (Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Akinci A., Faccioli E., Gasperini P., Malagnini L., Valensise G. (2004