

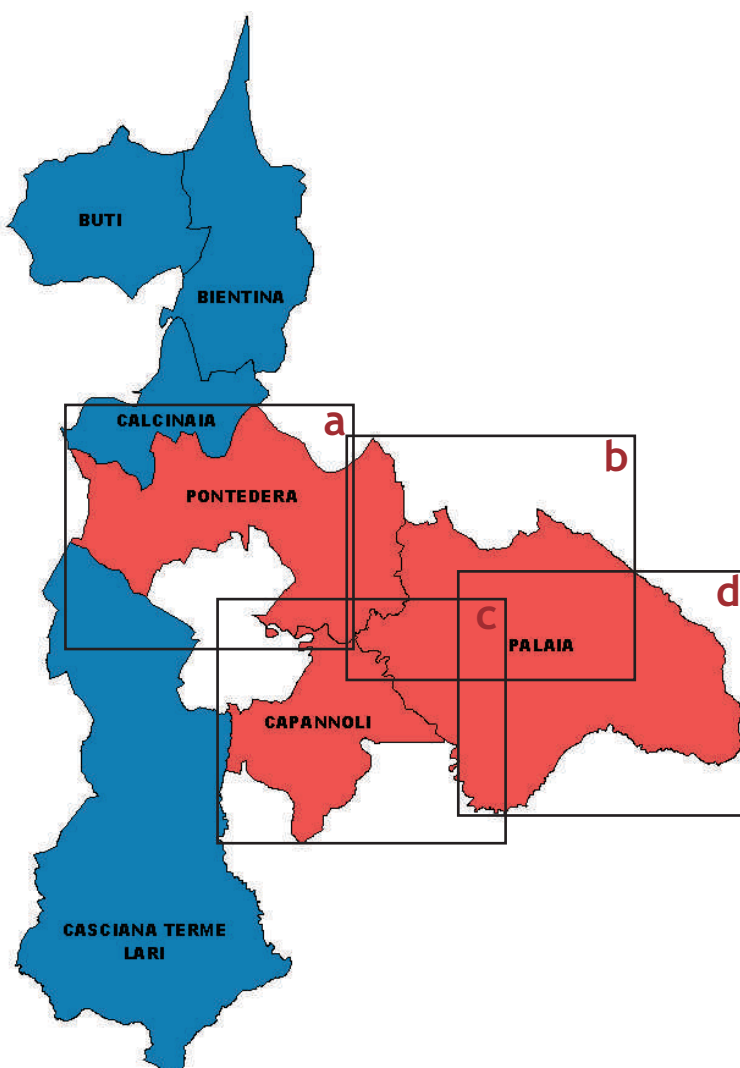


VALDERA
UNIONE DEI COMUNI

Studi ed indagini di Microzonazione Sismica di Livello 1

**COMUNI DI PALAIA
CAPANNOLI
PONTEREDERA**

Relazione



RTP incaricata:

Dott. Geol. Fabio Mezzetti
Dott. Geol. Andrea Casella
Dott. Geol. Alessandro Fontanelli
Dott. Geol. Benedetta Polverosi
Dott. Geol. Giorgio Della Croce
Studio ass. Geol. Appl. di Benedetti e Carmignani
Arch. Maria Rosaria De Vita

MS.00

Premessa

La presente relazione tecnica illustra gli studi di microzonazione sismica di livello 1 finanziati dal Settore Sismica della Regione Toscana (D.D. di G.R.T. n.16585 del 06.11.2017) per i Comuni di Pontedera, Capannoli, Palaia facenti parte dell'Unione Valdera.

Le aree di indagine per i suddetti studi sono quelle relative alle zone di territorio urbanizzato interessate dalle vigenti U.T.O.E. o comunque dalla pianificazione urbanistica dei singoli comuni interessati.

Le carte tematiche sono state prodotte in formato digitale attraverso la georeferenziazione dei vari tematismi in ambiente GIS e la creazione del loro rispettivo database, utilizzando come base cartografica la Carta Tecnica Regionale al 10.000.

Gli studi di microzonazione sismica di livello 1 sono stati condotti nel corso delle indagini di approfondimento del quadro conoscitivo intercomunale per gli aspetti sismici svolti a supporto del nuovo piano strutturale.

La campagna geognostica e sismica di approfondimento è stata svolta dal mese di Giugno al mese di Settembre 2018 ed in particolare sono state realizzate:

- n.146 misure in sismica passiva HVSR;
- n.24 indagini MASW-ESAC;
- n.4 linee sismiche a rifrazione in onde S;
- n.6 profili geoelettrici in tomografia 2D;
- n.4 prove CPTU.

Sono stati redatti i seguenti elaborati cartografici:

MS.01 - Carta delle Indagini

contiene l'ubicazione puntuale dei dati geognostici e sismici presenti sui territori comunali di Palaia, Capannoli e Pontedera derivanti da indagini eseguite in situ che sono stati utilizzati per la caratterizzazione litotecnica, stratigrafica e sismica dei terreni; tali dati sono relativi a prove penetrometriche statiche e dinamiche, saggi e sondaggi geognostici, logs stratigrafici relativi a pozzi per acqua e prove sismiche e geofisiche (esac, hvsr, masw, rifrazione, downhole); la cartografia è restituita in scala 1:5.000.

MS.02 - Carta Geologica e Geomorfologica

contiene informazioni sulle unità geologiche costituenti il territorio e che definiscono l'assetto strutturale tettonico; le unità sono distinte sulla base delle caratteristiche litologiche, paleontologiche, sedimentologiche, petrografiche e mineralogiche riconoscibili in affioramento e per mezzo delle indagini in situ; sono inoltre contenute le informazioni sulle forme, i processi ed i depositi legati alla dinamica di versante, alla dinamica fluviale ed all'attività antropica; gli elementi evidenziati nella cartografia derivano da quelli riportati nel quadro conoscitivo del progetto CARG e per quanto riguarda i processi geomorfologici di versante e da frana, dagli elaborati del P.A.I.; la cartografia è restituita in scala 1:5.000.

MS.03 - Carta Geologico Tecnica

contiene informazioni sulle caratteristiche geotecniche dei terreni più superficiali riscontrate ed analizzate per mezzo soprattutto delle numerose indagini in situ effettuate sui territori comunali, che hanno consentito di suddividerli in zone caratterizzate da litotipi che possono manifestare comportamento meccanico omogeneo raggruppati in unità litotecniche; gli elementi evidenziati nella cartografia derivano da quelli riportati nel vigente quadro conoscitivo del progetto CARG e dagli elaborati del P.A.I.; la cartografia è restituita in scala 1:5.000.

MS.04 - Carta MOPS Sezioni Stratigrafiche Tipo

contiene l'elaborazione e la correlazione tra le successioni stratigrafiche rinvenute nelle banche dati comunali e provinciali, della Regione Toscana, Ispra e Lamma, per la definizione delle zone a comportamento omogeneo in prospettiva sismica secondo quanto disposto dal Settore Sismica della Regione Toscana; sono indicate, per ogni livello litostratigrafico rappresentato, le classi di consistenza dei depositi definite come depositi poco addensati o consistenti, depositi mediamente addensati o consistenti, depositi addensati o consistenti; sono individuati nelle colonne stratigrafiche tipo i presunti limiti inferiori dei sedimenti olocenici e di quelli pleistocenici; la cartografia è restituita in scala 1:500.

MS.05 - Carta MOPS Frequenze naturali dei depositi

contiene la distribuzione delle frequenze naturali dei terreni misurate per la distinzione delle aree caratterizzate da assenza o presenza di fenomeni di risonanza significativi e zone caratterizzate da alti o bassi contrasti di impedenza; sono riportati i punti relativi alle misure tromometriche eseguite e la misura effettiva della loro frequenza fondamentale; la cartografia è restituita in scala 1:5.000.

MS.06 - Carta MOPS Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

contiene l'individuazione delle microzone dove è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.); sono rappresentate le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (prive di un alto contrasto di impedenza sismica), le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (con un alto contrasto di impedenza sismica) e le zone suscettibili di instabilità; la cartografia è restituita in scala 1:5.000.

Inquadramento geografico, geologico e strutturale

Il territorio comunale di Capannoli ha un'estensione di circa 23 kmq; esso si sviluppa fra le zone delle valli del F. Cascina, verso ovest, e quella del F. Era/Roglio, verso est. Le quote di campagna sono comprese fra minimi di poco più di 20 metri slm e massimi di poco meno di 150 metri slm.

Nella porzione collinare del territorio affiorano sedimenti marini del Neautoctono, con formazioni in cui si alternano "membri" a composizione dominante sabbioso-limosa e "membri" a composizione dominante limoso-argillosa.

La rete idrografica secondaria che interessa il sistema collinare è articolata secondo una serie di vallecole minori, lungo i cui versanti l'azione erosiva è spesso intensa e determina fenomenologie di alterazione o vero e proprio dissesto a carico dei terreni delle serie plio-pleistoceniche.

Le zone di pianura sono impostate nei depositi alluvionali legati alle direttrici idrografiche del F. Cascina e del F. Era/Roglio.

Il territorio comunale di Palaia presenta una superficie di circa 74 kmq; esso è compreso tra la valle del F. Era a sud ovest, la valle del torrente Chiecina a nord est, la vallecchia del rio Melogio a sud ed i rilievi collinari di Pontedera e Montopoli a nord.

La zona collinare, che occupa gran parte del territorio in oggetto, è impostata nei sedimenti marini plio-pleistocenici, le cui formazioni sono caratterizzate da alternanze fra strati a dominante sabbioso-limosa e strati prevalentemente limo-argillosi, il che condiziona l'evoluzione morfologica del paesaggio.

La porzione pianeggiante è impostata nei depositi alluvionali del sistema idrografico del Fiume Roglio e dei suoi affluenti posti in destra idrografica.

Il territorio comunale di Pontedera si estende per circa 46 Km² a partire dalla zona di fondovalle del F. Arno a nord, fino ai rilievi collinari di Palaia e di Montopoli ad est e sud est, fino alle valli del F. Era e del F. Cascina a sud e fino alla pianura alluvionale dell'Arno relativa ai territori comunali di Cascina e Casciana Terme Lari.

* * *

L'evoluzione geologica del territorio della Valdera comprende un bacino di sedimentazione che, dal Trias, vede la deposizione di sedimenti carbonatici da facies di mare aperto, che portano alla sedimentazione di sedimenti anche silicei in corrispondenza del periodo di maggiore approfondimento del bacino. Si passa poi a sedimenti di un bacino marino di profondità inferiore, fino al Miocene inferiore.

A partire dal Miocene medio si hanno le prime fasi compressive, che determinano la creazione di tre dorsali allineate secondo una direzione grossolanamente N-S; a questo seguono dei processi distensivi, in seguito ai quali si originano delle fosse tettoniche, una delle quali è la fossa Sterza/Cascina/Era; a partire dal Pliocene inferiore e medio inizia la deposizione di serie sedimentarie (prevalentemente argillose, sabbioso-argillose e sabbiose) nell'ambito delle valli che si sono venute a creare.

Al Pliocene medio si ha una fase di sollevamento, con conseguenti fenomeni erosivi a carico di parte delle formazioni precedentemente sedimentate.

Una nuova trasgressione marina è quella che, nel Pleistocene inferiore, origina la deposizione di formazioni prevalentemente sabbiose e sabbioso-argillose, nell'ambito di un'area che comunque è meno ampia rispetto al precedente bacino di deposizione pliocenico. A questa fase ne segue una di sollevamento lento che porta all'innalzamento delle formazioni precedentemente sedimentate; il massimo innalzamento si ha nella zona più a Sud, in cui di conseguenza si arriva ad avere le argille plioceniche in affioramento.

Il complesso delle formazioni neotettoniche presenta una giacitura a monoclinale con debole immersione verso N-NE.

* * *

Nell'ambito del territorio comunale di Pontedera sono presenti le formazioni oloceniche (depositi alluvionali attuali e recenti) nell'ampia porzione settentrionale di territorio pianeggiante; le formazioni plio-pleistoceniche affiorano nelle zone collinari che vanno da La Rotta, a nord est, fino alla zona di Treggiaia e Montecastello a sud est.

Il territorio comunale di Capannoli è impostato nelle formazioni plio-pleistoceniche per quanto riguarda la zona di San Pietro Belvedere e la fascia pedecollinare del Capoluogo; per il resto sono presenti i sedimenti alluvionali olocenici delle valli del F. Era ad est ed, in parte, del F. Cascina ad ovest.

Nell'ambito del territorio di Palaia i rilievi collinari sono impostati prevalentemente nei sedimenti pliocenici per gran parte del territorio comunale, mentre i terreni pleistocenici sono pressoché limitati alla zona settentrionale e ad alcune zone di alto morfologico intracollinare. Le formazioni alluvionali oloceniche sono invece localizzate prevalentemente lungo il fondovalle del F. Era, ad ovest, e nelle vallecole interne del sistema collinare con minore estensione e potenza.

Caratteristiche geologiche

Nel presente lavoro si è fatto riferimento, per omogeneità, alla definizione e descrizione delle formazioni secondo la “Legenda Unità Geologiche e Depositi Superficiali della Regione Toscana”. Le formazioni presenti nell’areale indagato sono le seguenti:

DEPOSITI OLOCENICI

- b** Depositi alluvionali attuali : ghiaie, sabbie e limi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione con ordinari processi fluviali
- bn_a** Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati ; ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali
- e3_a** Depositi palustri

DEPOSITI DEL PLEISTOCENE MEDIO-SUPERIORE

- bn_b** Depositi alluvionali terrazzati ; ghiaie, sabbie e limi dei terrazzi fluviali

DEPOSITI CONTINENTALI RUSCINIANI E VILLAFRANCHIANI

- VIL_g** Conglomerati e ciottolami ad elementi arenacei (depositi fluvio-lacustri di Casa Poggio ai Lecci ; conglomerati, sabbie e limi di Casa Poggio ai Lecci)
- VIL_e** Sabbie e conglomerati (depositi fluvio-lacustri di Casa Poggio ai Lecci ; conglomerati, sabbie e limi di Casa Poggio ai Lecci; conglomerati, sabbie e limi di Casa Poggio ai Lecci)
- VIL_b** Sabbie, sabbie ciottolose e sabbie siltoso-argillose e limi sabbiosi (depositi fluvio-lacustri di Casa Poggio ai Lecci)
- VIL_a** Conglomerati e ciottolami poligenici (Formazione di Casa Poggio ai Lecci - QPL)
- CIN** Cineriti

DEPOSITI MARINI PLEISTOCENICI

- PLE_e** Arenarie e conglomerati con fossili marino-marginali (arenarie e conglomerati di Bibbona, subsintema del torrente Botra)
- PLE_b** Sabbie, limi sabbiosi marino-transizionali (sabbie ad Artica Islandica, Sabbie di Nugola Vecchia)

DEPOSITI MARINI PLIOCENICI

- PLI_c** Calcareniti e calciruditi bioclastiche (Zancleano-Piacenziano)
- PLI_s** Sabbie e arenarie gialle (Zancleano-Piacenziano)
- FAA** Argille azzurre – argille e argille siltose grigio-azzurre localmente fossilifere (Zancleano-Piacenziano)
- FAA_b** Argille azzurre - argille sabbiose, limi e argille siltose con intercalazioni sabbiose con fossili marini (Zancleano-Piacenziano)

Sulla tavola MS.02 sono riportate anche le tracce delle sezioni geologiche A, B e C, sezioni che sono riportate nella tavola MS.02.1 Sezioni Geologiche e che sono riconducibili all'attuale quadro conoscitivo regionale (progetto CARG).

Nella tavola MS.02.1 è quindi riportato l'andamento geologico schematico del sottosuolo della zona di studio con particolare riferimento ai rilievi collinari di Palaia e Pontedera; in particolare la sezione A, con un andamento nord ovest - sud est, si estende dai rilievi collinari di C.le Poggione fino a quelli dell'abitato di Partino mettendo in evidenza i sedimenti pleistocenici sovrastare i depositi pliocenici prevalentemente sabbiosi che costituiscono l'ossatura dei rilievi collinari contermini. La sezione B, con un andamento sud ovest - nord est, si estende dai rilievi collinari dell'abitato di Partino fino a quelli dell'abitato di La Serra, oltrepassando la valle del torrente Chiecina evidenziando nei depositi pliocenici marini le intercalazioni dei sedimenti argillosi all'interno di quelli prevalenti sabbiosi. La sezione C, con andamento nord ovest - sud est, si estende dalla pianura alluvionale dell'Arno fino ai rilievi dell'abitato di San Bartolomeo in Comune di Montopoli in Val d'Arno evidenziando spessori delle alluvioni del fondovalle dell'Arno, soprastanti le unità pleistoceniche, dell'ordine dei 30 metri.

Caratteristiche geomorfologiche

Da un punto di vista morfologico il territorio di Pontedera si distingue per la sua prevalente configurazione di fondovalle alluvionale relativo al sistema fluviale dell'Arno ed in subordine da quello del Cascina e dell'Era; il territorio di Palaia risulta di prevalente configurazione collinare mentre quello di Capannoli è interessato da entrambe le configurazioni.

Le porzioni pianeggianti dei fondovalle sono interessate da sedimenti da fini a grossolani a secondo della loro distanza dal corso d'acqua e della loro posizione altimetrica più o meno elevata ed in prevalenza sono dotati da caratteristiche fisico meccaniche non scadenti. I rilievi collinari sono dotati di pendenze piuttosto acclivi e data una certa prevalenza dei livelli argillosi rispetto a quelli sabbiosi e limosi, si ha una maggiore incidenza del fenomeno delle frane.

I terrazzi fluviali delle terminazioni collinari, che si collocano in concordanza stratigrafica con le sabbie, hanno uno sviluppo assai regolare e sub-parallelo al fianco sinistro della valle dell'Arno, anch'essi si presentano spesso interessati dall'azione di una idrografia che si è sviluppata successivamente al loro deposito e con andamento prevalente sud-nord cioè perpendicolare all'asse del Valdarno.

La tessitura del fondovalle alluvionale è inoltre conseguenza di una marcata azione antropica che ha modificato alcuni lineamenti morfologici attraverso la realizzazione di argini, scavi, ricolmi e riporti di terreno a supporto delle zone urbanizzate e dei loro accessi viari.

Il fondovalle è inoltre caratterizzato da aree interessate da alvei fluviali abbandonati, testimoniando le divagazioni subite nel tempo dai corsi d'acqua, aree interessate da arginature e canali e specchi d'acqua artificiali, in genere provenienti dalle attività estrattive.

Nelle porzioni collinari sono presenti orli dei terrazzi, depositi di versante, di falda ed eluvio-colluviali, corpi di frana, con detritici ed alluvionali.

Gli elementi geomorfologici presenti e rappresentati sulla tavola MS.02 sono quelli costituenti il quadro conoscitivo del progetto CARG della Regione Toscana, in sintesi possono essere riassunti come di seguito:

FORME PROCESSI E DEPOSITI GRAVITATIVI DI VERSANTE

- Depositi di versante e detriti di falda: sono accumuli lungo i versanti di materiali eterometrici, con matrice sabbiosa o limosa, derivanti dall'alterazione e dalla rideposizione dei terreni affioranti sulle porzioni più elevate dei rilievi.
- Depositi eluvio-colluviali : derivano da processi di rideposizione dei materiali alterati di versante a seguito dei processi di dilavamento dovuti alle acque di ruscellamento superficiale.
- Depositi da debris flow e mud flow : derivano da forti fenomeni di dilavamento in versanti collinari particolarmente acclivi dove si crea un trasporto di massa di materiali per lo più poco coerenti.
- Corpo di frana attivo/quiescente (di scorrimento lento o rapido) : movimento gravitazionale caratterizzato da deformazione di taglio e spostamento lungo una o più imprecisate superfici di rottura preesistenti localizzate a diversa profondità nel terreno, la massa dislocata si muove lungo tale superficie che rappresenta il limite tra la zona che è instabile e quella che invece è stabile.
- Corpo di frana attivo/quiescente (di colamento lento o rapido) : movimento gravitazionale caratterizzato da deformazione continua nello spazio di materiali sciolti per ammolimento ad opera dell'acqua che non avviene solo sulla superficie di separazione fra massa in frana e materiale in posto, ma anche nel corpo di frana stesso che tende a muoversi come un fluido viscoso attraverso superfici di taglio multiple.
- Corpo di frana attivo/quiescente (di crollo) : consiste nel distacco improvviso di masse di terreno da pareti particolarmente acclivi dove nel movimento iniziale prevale la componente verticale.
- Corpo di frana stato di attività indeterminato : movimento gravitazionale di difficile o complessa identificazione tipologica con un indeterminato stato di attività.

FORME PROCESSI E DEPOSITI PER ACQUE CORRENTI SUPERFICIALI

- Alvei fluviali abbandonati : nelle porzioni di pianura alluvionale sono individuati i tratti di alvei fluviali sepolti, testimonianza del divagare nel tempo dei corsi d'acqua principali.
- Orlo e superficie di terrazzo : limite di passaggio tra una morfologia sommitale di spianata ed una morfologia di versante in scarpata per erosione fluviale, si sviluppano a coronamento degli impluvi e si evolvono in scarpate nelle vallate più interne con morfologia più senile.
- Conoide alluvionale e da debris flow : nelle porzioni di versante con terreni poco coerenti l'acqua incanalata erode in solchi e dilava provocando smottamenti, il materiale discendendo il versante si sparpaglia perdendo l'acqua contenuta e forma accumuli di forma irregolare o a ventaglio verso il fondovalle.
- Cono detritico : accumuli di materiale eterogeneo nelle incisioni vallive per lo più originato da fenomeni di crollo in corrispondenza del piede di scarpate molto acclivi a forma di cono a ventaglio verso il fondovalle.

FORME PROCESSI E DEPOSITI ANTROPICI

- Discariche : sono individuate le aree interessate da discarica presenti in alcune zone dell'areale indagato.
- Specchi d'acqua : sono evidenziati alcuni laghetti o invasi artificiali utilizzati per scopi irrigui in ambito agricolo, per attività ricreativa o derivanti da attività estrattiva.
- Riporti : sono messi in evidenza i terreni di riporto più significativi relativi ai rilevati stradali, alle zone arginali e/o di sponda ed alle zone urbanizzate.

RETICOLO IDROGRAFICO AI SENSI DELLA L.R 79/2012

nella tavola MS.02 è stato inoltre inserito il reticolo idrografico principale e secondario di scolo delle acque superficiali ai sensi della L.R. 79/2012 aggiornato con D.G.R.T. n.899/2018.

Caratteristiche litologico tecniche

I vari litotipi cartografati e sopra descritti sono stati raggruppati in “unità litotecniche”, secondo parametri che consentano di delimitare i terreni che possono presentare caratteristiche tecniche comuni.

A tale proposito si è provveduto ad utilizzare anche i dati delle numerose indagini geotecniche eseguite sui territori comunali in esame per il rilascio delle concessioni edilizie. Su alcune di queste, ed in particolare sulle prove penetrometriche statiche/dinamiche, è stata eseguita un’analisi dei primi 3/5 metri di sottosuolo rilevando la resistenza media di punta offerta dai terreni più superficiali all’avanzamento della punta del penetrometro.

Sulla Carta Geologico Tecnica di tavola MS.03 sono riportate le unità litotecniche distinte in base alle loro caratteristiche fisico meccaniche, indipendentemente dalla loro collocazione geometrica, e prendendo in esame la composizione mineralogica, il tipo di stratificazione, lo stato di fratturazione e degradazione, la granulometria ed il grado di cementazione dei terreni. Le unità litostratigrafiche affioranti sul territorio in esame sono state così raggruppate in sette unità litotecniche, ognuna di esse contraddistinta da un colore e da un numero:

- Unità 1 : formazioni semicoerenti conglomeratiche (VILa - VILe - VILg - PLEe); comprendono terreni a granulometria più grossolana.
- Unità 2 : formazioni incoerenti sabbiose (PLIs); comprendono litotipi prevalentemente sabbiosi.
- Unità 3 : formazioni pseudocoerenti argilloso sabbiose (b - bna - bnb - superfici di terrazzo); costituiscono in prevalenza i fondovalle alluvionali.
- Unità 4 : formazioni semicoerenti sabbioso limose (VILb - PLEb - CIN); comprendono litotipi prevalentemente sabbioso limosi.
- Unità 5 : depositi di copertura semicoerenti ed accumuli di materiale rimaneggiato (discariche, detrito di versante, frane, ex cavi); identifica sia le zone interessate da forte antropizzazione che ha alterato l’originario assetto dei luoghi come le aree urbanizzate dei centri abitati che quelle situazioni caratterizzate da accumulo di materiale rimaneggiato.
- Unità 6 : formazioni semicoerenti argillose e siltose (FAA - FAAb); identifica le zone di affioramento dei terreni pliocenici a prevalente composizione argillosa ed argilloso sabbiosa caratterizzate da sovraconsolidazione e debole cementazione.
- Unità 7 : formazioni coerenti calcaree (PLIc - SVL); identifica le zone di affioramento dei sedimenti marini pliocenici a comportamento litoide.

La distinzione operata permette una schematica valutazione circa i fenomeni e le eventuali problematiche ad essi connesse riguardanti la compressibilità dei terreni, le loro caratteristiche fisico-meccaniche, la loro propensione al dissesto in funzione dell’acclività e del grado di cementazione, la loro erodibilità.

Per quanto riguarda le successioni ghiaiose-sabbiose e argillose, i possibili fenomeni connessi sono relativi a problemi di instabilità dinamica locale in zone acclivi e dilavate dalle acque di ruscellamento in terreni ghiaiosi poco addensati ed a prevalenza sabbiosa; possibili fenomeni

di crollo in terreni a prevalenza detritica; possibili cedimenti delle strutture indotti da scadenti caratteristiche di capacità portante dei terreni negli interstrati argillosi presenti nelle successioni a prevalenza sabbioso-ghiaiosa e possibili locali deformazioni gravitative per imbibizione delle acque meteoriche e superficiali non regimate in zone acclivi.

Per quanto riguarda le successioni argilloso sabbiose e limose, la fenomenologia connessa può essere legata a scadente capacità portante dei terreni ed ai cedimenti delle strutture; problemi relativi alla saturazione in acqua ed all'abbassamento dei terreni per subsidenza.

Sulla tavola MS.03 sono riportati anche i punti di indagine geognostica relativi alle prove penetrometriche statiche/dinamiche, suddivisi con tre diversi tipi di colorazione, in funzione delle analisi eseguite sui risultati della resistenza media alla punta che il penetrometro ha incontrato nei primi 3/5 metri di sottosuolo investigato e precisamente per R_p minore di 10 Kg/cmq (1-rosso), R_p tra 10 e 20 Kg/cmq (2-blu) ed R_p maggiore di 20 Kg/cmq (3-verde).

Indagini geognostiche e sismiche

Come sopra esposto la caratterizzazione litologico tecnica e stratigrafica dei terreni che costituiscono il sottosuolo dei territori comunali indagati è stata operata sulla base dei numerosi dati acquisiti, soprattutto negli archivi tecnici comunali, relativi a "prove geotecniche in situ" ed in particolare a sondaggi e saggi geognostici, prove penetrometriche statiche e prove penetrometriche dinamiche eseguite per conto di enti e privati, oltre ai dati stratigrafici acquisiti per la realizzazione di pozzi per acqua.

In aggiunta a questi è stata condotta una campagna di indagini geofisiche (per i dettagli delle quali si rimanda alle relative relazioni) al fine di approfondire il quadro conoscitivo di questi aspetti per finalità di tipo urbanistico.

Complessivamente è stata consultata una banca dati geognostici e geofisica costituita da circa 1.400 dati puntuali tra cui per gli aspetti geologico tecnici circa 1.050 dati mentre per gli aspetti sismici e geofisici circa 350 dati.

In particolare le prospezioni effettuate appositamente nell'ambito dei presenti studi sono le seguenti:

- 146 misure in sismica passiva HVSR;
- 24 indagini MASW-ESAC;
- 4 linee sismiche a rifrazione in onde S;
- 6 profili geoelettrici in tomografia 2D;
- 4 prove CPTU.

L'ubicazione di queste prove, distinte con diversa simbologia e numerazione, è individuata sulla Carta delle Indagini di tavola MS.01.

Caratteristiche sismiche

Nella classificazione sismica della Regione Toscana (DGRT n.421 del 26/05/2014) i territori comunali di Palaia, Capannoli e Pontedera si collocano in zona sismica 3 caratterizzata da accelerazione orizzontale massima convenzionale (a_g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico di 0,125-0,150g.

In epoca storica il sisma più intenso registrato nella Valdera è quello dell'Agosto 1846 che colpì la zona di Orciano Pisano, S. Luce e Lorenzana con intensità massima fino al X° grado della scala Mercalli provocando danni notevoli e numerose vittime; di altri terremoti di

intensità minore (V° - VI° grado) si ha notizia tra il Dicembre 1896 ed il Luglio 1897 con epicentro Pontedera. Chianni fa registrare un sisma del V° grado nel Luglio 1930 ed uno del VII° grado nel Novembre 1947, Vicopisano uno del V° grado nel 1930. Scosse ancora più deboli (III° e IV° grado) e con epicentro sempre nei dintorni di Pontedera sono avvenute nel 1934, 1977 e 1978.

Gli studi di microzonazione sismica di Livello 1, comprendenti la realizzazione delle Analisi CLE, sono stati eseguiti secondo le modalità, criteri, procedure e termini di attuazione previsti nelle specifiche tecniche regionali di cui alla DGRT n.144 del 23 febbraio 2015 e più in generale facendo riferimento al documento nazionale degli ICMS (Indirizzi e Criteri Generali per la Microzonazione Sismica Nazionale).

Gli studi, come detto, sono stati effettuati in corrispondenza dei principali centri abitati dei territori comunali in esame e di fatto estesi, di concerto con la struttura regionale competente che ha fornito il programma delle attività da svolgere nonché approvato la mappatura delle zone soggette ad indagine, alle vigenti U.T.O.E. ed alle zone interessate da pianificazione urbanistica.

Nella fase preliminare dello studio si è proceduto all'acquisizione dei dati geofisici di base (stendimenti sismici di superficie, misure di sismica passiva, prove sismiche in foro, ecc.) messi a disposizione dall'Unione Valdera ed all'integrazione di quelli stratigrafici, sempre forniti dalla stessa, mediante ricerca in altre banche dati di accesso pubblico, con particolare riferimento ai sondaggi geognostici a carotaggio ed ai sondaggi a distruzione per la realizzazione di pozzi per acqua.

Tale acquisizione ha consentito di redigere una prima cartografia aggiornata dei dati geognostici e sismici a disposizione, sulla base della quale il Settore Sismica della Regione Toscana ha definito la tipologia e la quantità minima delle indagini da svolgere e successivamente ne ha condiviso la loro ubicazione.

In sintesi delle n.108 indagini puntuali minime previste (n.3 sismica a rifrazione, n.15 esac/masw, n.90 hvsr) ne sono state realizzate n.184 (n.4 sismica a rifrazione, n.24 esac/masw, n.146 hvsr, n.6 prospezioni geoelettriche, n.4 prove penetrometriche cptu) la cui ubicazione è riportata nella Carta delle Indagini di tavola G.01.

La campagna di indagini è stata svolta nel periodo Giugno-Settembre 2018. *Al termine delle indagini stesse sono state restituite le relazioni descrittive e report di quanto svolto; tale documentazione, contenente quindi tutte le informazioni sulle metodologie e sulle strumentazioni utilizzate nonché i risultati ottenuti dalle campagne di indagine, è già stata inoltrata al Settore Sismica della Regione Toscana.* Di seguito esponiamo in sintesi quanto ottenuto:

Indagini HVSR

Sono state eseguite in totale 146 misure di rumore sismico con elaborazione in termini di rapporto energetico tra le componenti spettrali orizzontale e verticale o funzione di Nakamura (HVSR). Lo scopo dell'indagine consiste nella ricerca delle frequenze naturali di vibrazione del suolo, legate alla struttura sismo-stratigrafica del sito e in particolare alla impedenza sismica dei terreni e alla profondità delle superfici di interfaccia tra livelli omogenei.

Variazioni nette di impedenza sismica tra due stati inducono un fenomeno di risonanza, che deriva dall'intrappolamento di energia sismica (essenzialmente delle fasi SH) all'interno delle coperture di bassa velocità. La frequenza naturale di vibrazione di un terreno da origine nella funzione di Nakamura a un picco, generato dal decremento della componente verticale e, in alcuni casi, dall'incremento delle componenti orizzontali. In questo modo, a partire da una distribuzione stocastica delle sollecitazioni, si ottiene un andamento della curva HVSR nettamente dominata, al netto dei transienti e delle sollecitazioni direzionali valutabili negli spettri delle singole componenti e nella distribuzione direzionale e temporale del segnale, dal comportamento sismico del suolo.

Le prospezioni sono state eseguite mediante l'utilizzo di uno strumento TROMINO® della *Micromed Geophysics*, espressamente progettato per misure di microtremore.

Il lavoro si è articolato individuando, nelle zone di interesse, 146 postazioni di misura, in ciascuna delle quali è stata effettuata una rilevazione del microtremore sismico ambientale con le seguenti modalità:

- durata dell'acquisizione pari a 20' ;
- suddivisione dell'acquisizione stessa in "finestre" temporali di 20" ;
- frequenza di campionamento pari a 128 Hz.

Per ogni stazione di misura è stata redatta una scheda che illustra la posizione di dettaglio da cartografia e da documentazione fotografica. In linea generale tali postazioni non sono state ubicate in prossimità di fonti di rumore tali da ostacolare e/o obliterare una corretta acquisizione dei segnali.

I risultati delle acquisizioni tromometriche sono contenuti nei singoli reports. Sono stati poi sintetizzati ed organizzati in tavole che contengono, per ciascun territorio comunale, i grafici H/V suddivisi in tre categorie, per immediata visualizzazione e confronto:

- grafici privi di picchi apprezzabili o di entità degna di nota;
- grafici contenenti picchi poco significativi in termini di ampiezza e/o nitidezza nel campo delle frequenze;
- grafici con picchi significativi.

Questa suddivisione consente di apprezzare e confrontare il contenuto delle varie acquisizioni tromometriche, in modo da poter agevolmente individuare i trend principali e collegarli infine alle varie porzioni di territorio.

I risultati ottenuti mostrano diversi picchi molto accentuati alle altissime frequenze, privi di valore sotto il profilo ingegneristico e della risposta sismica; i picchi rilevati a frequenze

significative mostrano andamento moderati, con ampiezza media di 2.8 relativamente ai soli picchi dominanti, e ampiezze modeste o appena apprezzabili sotto il profilo stratigrafico per gli eventuali picchi secondari (<2).

Le frequenze dominanti sono risultate tra 1 e 3 Hz, corrispondenti a superfici di interfaccia poste a bassa profondità (da una a poche decine di m), e riferibile al contatto tra coperture “lente” e substrato plio-pleistocenico o pliocenico più “veloce”, oppure a coperture con migliori caratteristiche sismo-stratigrafiche; presente anche una anomalia di bassa frequenza, tra 0.4 e 0.6 Hz, rappresentata quasi ovunque sebbene con ampiezze solitamente molto modeste, riferibile a una interfaccia profonda (da una a poche centinaia di m), identificabile con una variazione intraformazionale all’interno del substrato pliocenico.

Nel seguito i risultati delle indagini e le assunzioni di sintesi adottate nella redazione della carta delle frequenze.

| HVSR | F dominante solo se >2 | A | F secondario anche <2 | A |
|------|---------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 1 | no | | | |
| 2 | 6,1 | 3,7 | | |
| 3 | 4 | 2 | | |
| 4 | 2,5 | 2 | | |
| 5 | no | | | |
| 6 | no | | | |
| 7 | no | | | |
| 8 | 5,1 | 4 | | |
| 9 | no | | | |
| 10 | no | | | |
| 11 | 7,4 | 3,2 | 1,1 | 2,1 |
| 12 | 1,4 | 2 | | |
| 13 | no | | | |
| 14 | no | | | |
| 15 | 12,5 | 2,3 | 1,5 | 2 |
| 16 | 3,5 | 3,1 | | |
| 17 | no | | | |
| 18 | no | | | |
| 19 | no | | | |
| 20 | no | | | |
| 21 | 1,5 | 2 | 0,6 | 1,7 |
| 22 | 9,3 | 2,8 | | |
| 23 | 1,7 | 2 | | |
| 24 | 4,6 | 4 | | |
| 25 | 0,9 | 2 | 10 | 2 |
| 26 | 0,9 | 2 | | |
| 27 | 0,8 | 2,5 | | |
| 28 | 0,8 | 2,2 | | |
| 29 | 9,0 | 2 | 0,8 | 1,7 |
| 30 | 4 | 3 | 0,8 | 2,2 |
| 31 | 5,6 | 2,5 | 1,5 | 2 |
| 32 | 5 | 2,2 | | |
| 33 | 14 | 2,2 | 0,7 | 2 |
| 34 | no | | | |
| 35 | 1,6 | 2 | 13 | 1,5 |

| | | | | |
|----|------|-----|-----|-----|
| 36 | 1,5 | 2 | | |
| 37 | no | | | |
| 38 | no | | | |
| 39 | 0,7 | 2,9 | | |
| 40 | 0,7 | 3,3 | | |
| 41 | 0,7 | 3 | | |
| 42 | no | | | |
| 43 | no | | | |
| 44 | no | | | |
| 45 | no | | | |
| 46 | no | | | |
| 47 | 1,3 | 3 | | |
| 48 | no | | | |
| 49 | 1,1 | 2,2 | | |
| 50 | 1,3 | 3,1 | | |
| 51 | 1,3 | 2,9 | | |
| 52 | 1,4 | 3,5 | | |
| 53 | 1,2 | 2,1 | | |
| 54 | no | | | |
| 55 | 1,1 | 2,9 | | |
| 56 | no | | | |
| 57 | 1,3 | 2,5 | 0,4 | 2 |
| 58 | no | | | |
| 59 | 0,6 | 3 | | |
| 60 | no | | | |
| 61 | no | | | |
| 62 | 12,1 | 2 | | |
| 63 | no | | | |
| 64 | 1,1 | 2 | | |
| 65 | no | | | |
| 66 | no | | | |
| 67 | 4,2 | 3 | | |
| 68 | 0,6 | 3,2 | 1,4 | 3 |
| 69 | 4,3 | 2,8 | 0,5 | 2,6 |
| 70 | no | | | |
| 71 | 0,4 | 2,8 | | |
| 72 | ? | | | |
| 73 | 0,4 | 2,3 | | |
| 74 | 1,9 | 2,5 | 0,5 | 2,3 |
| 75 | 0,5 | 3 | 1,8 | 2 |
| 76 | 0,5 | 3 | 1,9 | 2 |
| 77 | 0,5 | 3,1 | 1,5 | 2 |
| 78 | 0,5 | 2,7 | | |
| 79 | 3 | 2,5 | 0,5 | 2 |
| 80 | 0,4 | 2,4 | | |
| 81 | no | | | |
| 82 | 6 | 2 | | |
| 83 | 15 | 2,8 | 4 | 2,6 |
| 84 | 4,5 | 2,6 | | |
| 85 | 4,2 | 2,2 | 0,4 | 1,8 |
| 86 | 2 | 3,2 | | |
| 87 | 7,5 | 2 | | |

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 88 | 1,2 | 3,2 | | |
| 89 | 1,2 | 3,4 | 0,5 | 2 |
| 90 | 1,3 | 3,1 | 0,5 | 1,8 |
| 91 | 1,2 | 4 | 0,6 | 1,7 |
| 92 | 1,3 | 3,8 | | |
| 93 | 1,5 | 2,5 | | |
| 94 | no | | | |
| 95 | 1 | 4,3 | | |
| 96 | 5,2 | 2,2 | 1 | 1,8 |
| 97 | 1 | 3,2 | 6 | 2,5 |
| 98 | 1,6 | 3 | 0,4 | 1,9 |
| 99 | 1 | 3 | | |
| 100 | 1,1 | 2,9 | | |
| 101 | 1,6 | 3,7 | | |
| 102 | 1,1 | 2,9 | | |
| 103 | 1,5 | 2,8 | | |
| 104 | 2,3 | 2,2 | 0,5 | 2,2 |
| 105 | 1,5 | 3,1 | 0,5 | 3 |
| 106 | 1,3 | 3,5 | 0,4 | 2,7 |
| 107 | 0,5 | 3 | 1,1 | 2,5 |
| 108 | 1,2 | 3,3 | 0,4 | 1,7 |
| 109 | 1,1 | 3,4 | 0,5 | 2 |
| 110 | 1,5 | 4 | | |
| 111 | 1,2 | 4 | | |
| 112 | 1,8 | 4 | 0,5 | 1,8 |
| 113 | 1,2 | 3,5 | 0,5 | 1,9 |
| 114 | 1,5 | 3,2 | | |
| 115 | 1,1 | 3,2 | 0,6 | 2,3 |
| 116 | 1,1 | 3,3 | 0,5 | 1,7 |
| 117 | 1,1 | 3,2 | 0,5 | 1,8 |
| 118 | 1,1 | 4 | 0,5 | 1,7 |
| 119 | 1,3 | 3,3 | 0,4 | 2 |
| 120 | 1,5 | 4 | 0,5 | 1,8 |
| 121 | no | | | |
| 122 | no | | | |
| 123 | no | | | |
| 124 | 3,5 | 2 | 1 | 2 |
| 125 | 3 | 2,2 | | |
| 126 | 4 | 2 | | |
| 127 | 5 | 2 | | |
| 128 | no | | | |
| 129 | 1,5 | 2 | | |
| 130 | no | | | |
| 131 | no | | | |
| 132 | no | | | |
| 133 | 2 | 2 | | |
| 134 | 0,5 | 2,8 | 1,5 | 2,8 |
| 135 | 1,3 | 3,5 | 0,5 | 1,9 |
| 136 | 1,1 | 3,2 | 0,5 | 2 |
| 137 | no | | | |
| 138 | no | | | |
| 139 | 1,4 | 4,5 | 0,5 | 2,2 |

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 140 | 1,2 | 3,3 | 0,5 | 1,7 |
| 141 | 1,1 | 4 | 0,5 | 2,3 |
| 142 | 1 | 3,3 | | |
| 143 | 1,3 | 3,4 | 0,5 | 1,7 |
| 144 | 1,1 | 4 | | |
| 155 | 1,4 | 2,1 | | |
| 146 | 16 | 8 | | |

Indagini MASW-ESAC

Sono state eseguite 24 prove sismiche finalizzate alla determinazione del profilo sismo-stratigrafico del sottosuolo in termini di Vsh, consistenti di una prova multicanale attiva con tecnica MASW (geometria lineare), associata a una prova multicanale passiva con tecnica ESAC a geometria bidimensionale (antenna sismica); entrambe le prove utilizzano la dispersione delle onde superficiali, energeticamente dominanti, rilevate da una serie di strumenti di ricezione (geofoni), per stimare l'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità. La limitata capacità di penetrazione della MASW trae notevole beneficio, qualora la risposta sismica del terreno e la presenza di sollecitazioni di lunghezza d'onda elevata lo consentano, dall'interpretazione congiunta con la prova ESAC il cui risultato può andare a implementarne i risultati alle basse frequenze.

I risultati ottenuti mostrano velocità delle coperture superficiali piuttosto modeste, con Vs comprese tra 150 e 250 m/s, solo in alcuni casi sovrapposte a un substrato con maggiore impedenza sismica e velocità delle onde di taglio dell'ordine di 350-500 m/s. Non sono state riscontrate criticità sotto il profilo della risposta sismica, quali inversioni di velocità significative o contrasti di rigidità molto netti.

Per ciascuna prova la tabella seguente riassume i risultati dell'interpretazione congiunta ESAC-MASW in termini di spessori/profondità/velocità delle onde di taglio; si aggiunge anche la valutazione della Vs30 e la velocità equivalente della copertura per ciascuna interfaccia identificata.

| | | | | | | | | | |
|---------|------|----------|-----|-------|----------|------|----------|-----|-------|
| PROVA 1 | | | | | PROVA 13 | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | livello | H | spessore | Vs | vs eq |
| 1 | 4,8 | 4,8 | 154 | 154,0 | 1 | 4,7 | 4,7 | 193 | 193,0 |
| 2 | 16 | 11,2 | 182 | 172,6 | 2 | 9 | 4,3 | 235 | 211,0 |
| 3 | 21,6 | 5,6 | 187 | 176,1 | 3 | 12,4 | 3,4 | 185 | 203,2 |
| 4 | | | 194 | | 4 | | | 314 | |
| vs30 | 181 | | | | vs30 | 256 | | | |
| PROVA 2 | | | | | PROVA 14 | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | livello | H | spessore | Vs | vs eq |
| 1 | 5,6 | 5,6 | 177 | 177,0 | 1 | 4,7 | 4,7 | 148 | 148,0 |
| 2 | 11,5 | 5,9 | 181 | 179,0 | 2 | 7,2 | 2,5 | 191 | 160,6 |
| 3 | 14,4 | 2,9 | 183 | 179,8 | 3 | 9,8 | 2,6 | 215 | 172,1 |
| 4 | 14,4 | | 260 | | 4 | 12,2 | 2,4 | 218 | 179,5 |
| vs30 | 214 | | | | 5 | | | 327 | |

| | | | | | | | | | | | |
|---------|------|----------|-----|-------|----------|----------|----------|-----|-------|-------|-----|
| | | | | | vs30 | 245 | | | | | |
| PROVA 3 | | | | | PROVA 15 | | | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | livello | H | spessore | Vs | vs eq | | |
| 1 | 2 | 2 | 169 | 169,0 | 1 | 7,1 | 7,1 | 189 | 189,0 | | |
| 2 | 13,6 | 11,6 | 232 | 219,9 | 2 | 9,1 | 2 | 292 | 204,9 | | |
| 3 | 14,6 | 1 | 282 | 223,3 | 3 | | | 300 | | | |
| 4 | | | 461 | | vs30 | | | | | 263 | |
| vs30 | | | | | 304 | PROVA 16 | | | | | |
| PROVA 4 | | | | | PROVA 17 | | | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | livello | H | spessore | Vs | vs eq | | |
| 1 | 2 | 2 | 168 | 168,0 | 1 | 7,3 | 7,3 | 176 | 176,0 | | |
| 2 | 3,1 | 1,1 | 220 | 183,4 | 2 | 11,4 | 4,1 | 212 | 187,4 | | |
| 3 | 10,8 | 7,7 | 250 | 226,4 | 3 | 14,8 | 3,4 | 224 | 194,7 | | |
| 4 | | | 385 | | 4 | | 28 | 270 | | | |
| vs30 | | | | | 307 | vs30 | | | | | 227 |
| PROVA 5 | | | | | PROVA 18 | | | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | livello | H | spessore | Vs | vs eq | | |
| 1 | 4,7 | 4,7 | 151 | 151,0 | 1 | 3,8 | 3,8 | 148 | 148,0 | | |
| 2 | 10,1 | 5,4 | 189 | 169,2 | 2 | 6 | 2,2 | 199 | 163,3 | | |
| 3 | 13,2 | 3,1 | 191 | 173,8 | 3 | 6,9 | 0,9 | 225 | 169,4 | | |
| 4 | | | 220 | | 4 | 8 | 1,1 | 306 | 180,5 | | |
| vs30 | | | | | 197 | 5 | 11 | 3 | 367 | 209,5 | |
| PROVA 6 | | | | | 6 | | | | | 524 | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | vs30 | | | | | 338 | |
| 1 | 3,6 | 3,6 | 146 | 146,0 | PROVA 19 | | | | | | |
| 2 | 9,7 | 6,1 | 169 | 159,7 | livello | H | spessore | Vs | vs eq | | |
| 3 | 17,2 | 7,5 | 226 | 183,1 | 1 | 2,8 | 2,8 | 152 | 152,0 | | |
| 4 | | | 331 | | 2 | 24,8 | 22 | 189 | 183,9 | | |
| vs30 | | | | | 226 | 3 | 26 | 1,2 | 221 | 185,4 | |
| PROVA 7 | | | | | 4 | | | | | 316 | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | vs30 | | | | | 196 | |
| 1 | 3,9 | 3,9 | 135 | 135,0 | PROVA 19 | | | | | | |
| 2 | 18,2 | 14,3 | 174 | 163,9 | livello | H | spessore | Vs | vs eq | | |
| 3 | 45,2 | 27 | 234 | 199,6 | 1 | 5,3 | 5,3 | 150 | 150,0 | | |
| | | | | | 2 | 14,3 | 9 | 162 | 157,3 | | |
| | | | | | 3 | 16,7 | 2,4 | 240 | 165,5 | | |
| | | | | | 4 | | 32 | 257 | | | |

| | | | | | | | | |
|----------|------|----------|-----|-------|--|--|--|--|
| vs30 | 186 | | | | | | | |
| PROVA 8 | | | | | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | | | | |
| 1 | 3,2 | 3,2 | 140 | 140,0 | | | | |
| 2 | 15,1 | 11,9 | 200 | 183,3 | | | | |
| 3 | 21,8 | 6,7 | 150 | 171,6 | | | | |
| 4 | | | 352 | | | | | |
| vs30 | 200 | | | | | | | |
| PROVA 9 | | | | | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | | | | |
| 1 | 2 | 2 | 136 | 136,0 | | | | |
| 2 | 4,1 | 2,1 | 227 | 171,1 | | | | |
| 3 | | | 365 | | | | | |
| vs30 | 316 | | | | | | | |
| PROVA 10 | | | | | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | | | | |
| 1 | 2,8 | 2,8 | 154 | 154,0 | | | | |
| 2 | 8,1 | 5,3 | 199 | 180,7 | | | | |
| 3 | 10,9 | 2,8 | 244 | 193,6 | | | | |
| 4 | | | 350 | | | | | |
| vs30 | 270 | | | | | | | |
| PROVA 11 | | | | | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | | | | |
| 1 | 2,9 | 2,9 | 138 | 138,0 | | | | |
| 2 | 7,5 | 4,6 | 186 | 163,9 | | | | |
| 3 | 11,6 | 4,1 | 184 | 170,5 | | | | |
| 4 | 32,3 | 20,7 | 271 | 223,7 | | | | |
| 5 | | | 367 | | | | | |
| vs30 | 221 | | | | | | | |
| PROVA 12 | | | | | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | | | | |
| 1 | 3 | 3 | 269 | 269,0 | | | | |
| 2 | 6,6 | 3,6 | 262 | 265,1 | | | | |
| 3 | 10,9 | 4,3 | 453 | 317,0 | | | | |
| 4 | 30,5 | 19,6 | 322 | 320,2 | | | | |
| 5 | | | 453 | | | | | |
| vs30 | 197 | | | | | | | |
| PROVA 20 | | | | | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | | | | |
| 1 | 5,1 | 5,1 | 175 | 175,0 | | | | |
| 2 | 7,8 | 2,7 | 187 | 179,0 | | | | |
| 3 | 18,6 | 10,8 | 195 | 187,9 | | | | |
| 4 | | | 262 | | | | | |
| vs30 | 210 | | | | | | | |
| PROVA 21 | | | | | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | | | | |
| 1 | 2,4 | 2,4 | 138 | 138,0 | | | | |
| 2 | 3,9 | 1,5 | 137 | 137,6 | | | | |
| 3 | 20,9 | 17 | 201 | 185,1 | | | | |
| 4 | | | 329 | | | | | |
| vs30 | 213 | | | | | | | |
| PROVA 22 | | | | | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | | | | |
| 1 | 1,8 | 1,8 | 174 | 174,0 | | | | |
| 2 | 19,4 | 17,6 | 205 | 201,7 | | | | |
| 3 | 22 | 2,6 | 129 | 189,1 | | | | |
| 4 | 24,8 | 2,8 | 206 | 190,8 | | | | |
| 5 | | | 266 | | | | | |
| vs30 | 200 | | | | | | | |
| PROVA 23 | | | | | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | | | | |
| 1 | 3,6 | 3,6 | 144 | 144,0 | | | | |
| 2 | 6,9 | 3,3 | 143 | 143,5 | | | | |
| 3 | 12 | 5,1 | 197 | 162,2 | | | | |
| 4 | | 8 | 324 | | | | | |
| vs30 | 231 | | | | | | | |
| PROVA 24 | | | | | | | | |
| livello | H | spessore | Vs | vs eq | | | | |
| 1 | 2,8 | 2,8 | 185 | 185,0 | | | | |
| 2 | 6 | 3,2 | 221 | 202,6 | | | | |
| 3 | 13 | 7 | 231 | 217,0 | | | | |
| 4 | | | 324 | | | | | |

| | | | |
|------|-----|------|-----|
| vs30 | 320 | | |
| | | vs30 | 267 |

Indagini SISMICHE A RIFRAZIONE

Come già accennato, sono state effettuate 6 linee a rifrazione in onde S, ciascuna articolata secondo 7 “shots”, ubicate in zone prossime al passaggio tra la pianura alluvionale e le propaggini dei rilievi collinari. I “reports” delle indagini (ai quali si rimanda per i dettagli) contengono i seguenti allegati:

- i sismogrammi in onde S relativi ai diversi shots ;
- le dromocrone relative ai primi arrivi ai 7 shots ;
- il profilo ricostruito con il metodo ABC (*delay method*).

Con il metodo dell’intercetta (IT) si sono ottenute le seguenti sismostratigrafie al di sotto degli shots 2,3,4,5,6 :

| profilo 1 - Forcoli - sismostratigrafia onde S da metodo IT | | | | | | | | | |
|---|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| SHOT 2 | | SHOT 3 | | SHOT 4 | | SHOT 5 | | SHOT 6 | |
| 258 | | 255 | | 264 | | 266 | | 278 | |
| | 2,33 m | | 2,24 m | | 1,70 m | | 1,48 m | | 1,81 m |
| 352 | | 369 | | 350 | | 322 | | 350 | |
| | 7,64 m | | 8,18 m | | 9,10 m | | 5,91 m | | 5,44 m |
| 406 | | 406 | | 406 | | 406 | | 406 | |

| profilo 2 - I Fabbri - sismostratigrafia onde S da metodo IT | | | | | | | | | |
|--|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| SHOT 2 | | SHOT 3 | | SHOT 4 | | SHOT 5 | | SHOT 6 | |
| 200 | | 211 | | 225 | | 217 | | 203 | |
| | 1,96 m | | 2,21 m | | 4,26 m | | 2,84 m | | 4,02 m |
| 253 | | 240 | | 283 | | 250 | | 285 | |
| | 7,77 m | | 5,82 m | | | | 9,20 m | | 9,49 m |
| 484 | | 484 | | | | 484 | | 484 | |

| profilo 3 - Capannoli - sismostratigrafia onde S da metodo IT | | | | | | | | | |
|---|---------|------------|---------|------------|--------|------------|--------|------------|---------|
| SHOT 2 | | SHOT 3 | | SHOT 4 | | SHOT 5 | | SHOT 6 | |
| 140 | | 155 | | 152 | | 166 | | 160 | |
| | 3,82 m | | 3,14 m | | 4,77 m | | 3,85 m | | 6,99 m |
| 213 | | 212 | | 200 | | 186 | | 216 | |
| | 12,20 m | | 11,42 m | | | | 13,6 m | | 14,34 m |
| 316 | | 316 | | 406 | | 316 | | 316 | |

| profilo 4 - Pontedera - sismostratigrafia onde S da metodo IT | | | | | | | | | |
|---|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| SHOT 2 | | SHOT 3 | | SHOT 4 | | SHOT 5 | | SHOT 6 | |
| 54 | | 89 | | 82 | | 44 | | 61 | |
| | 0,45 m | | 0,14 m | | 0,71 m | | 0,48 m | | 0,59 m |
| 122 | | 125 | | 149 | | 148 | | 156 | |
| | 4,55 m | | 3,93 m | | 5,12 m | | 5,39 m | | 5,39 m |
| 186 | | 180 | | 179 | | 183 | | 180 | |
| | 8,59 m | | | | | | | | 9,83 m |
| 198 | | | | | | | | 198 | |

La ricostruzione dell'andamento del passaggio al substrato più veloce, con gli spessori dei vari sismo-strati sotto ogni geofono con il *delay method* (ABC), fornisce un risultato più articolato (vedere i profili ottenuti).

Come già detto, i profili geosismici sono stati ubicati in zona prossime al passaggio tra la pianura alluvionale e le propaggini dei rilievi collinari. In tale ottica, in tutte le prospezioni si è rilevata la presenza di una coltre superficiale a velocità più bassa, e di un "substrato" le cui Vs medie sono coerenti con la presenza di terreni consistenti/addensati ascrivibili alle formazioni plio-pleistoceniche.

In corrispondenza del profilo n. 1 (Forcoli) si ha la presenza di terreni piuttosto "veloci" già al di sotto dei primi 2 m circa, con passaggio a litotipi aventi Vs dell'ordine dei 400 m/sec a profondità variabili fra i 5 ed i 9 m.

Il profilo n. 2 è localizzato nel tratto di pianura immediatamente prospiciente all'abitato de "I Fabbri". Anche in questo caso si ha un "substrato" avente Vs superiore ai 450 m/sec, e una coltre meno veloce, di spessore variabile tra minimi di 5-6 m a massimi dell'ordine dei 10 m.

Il profilo n. 3 è stato posizionato in corrispondenza di un tratto di pianura al bordo dell'abitato di Capannoli, a breve distanza dai rilievi collinari posti a SW. Anche in questo caso si ha una prima coltre a bassa velocità Vs (dell'ordine dei 190-210 m/sec), che poggia su un rifratore avente Vs di poco superiore ai 300 m/sec, quindi sensibilmente inferiore a quanto rilevato nei due casi precedentemente citati. Tale rifratore potrebbe corrispondere al "tetto" dei sedimenti pleistocenici, o a un livello sedimentario olocenico più consistente/addensato.

Il profilo n. 4 evidenzia un assetto sismostratigrafico diverso dai precedenti, in quanto, al di sotto di un primo spessore di terreno alterato-rimaneggiato avente Vs molto bassa, si ha uno strato con Vs dell'ordine dei 180 m/sec, fino a profondità fra i 9 ed i 14 m ca. Questo rifratore evidenzia comunque una Vs modesta (ca 200 m/sec); il che è coerente con il fatto che l'area indagata è più distante, rispetto alle altre, dal bordo collinare (posto a SE), e quindi lo spessore di terreno indagato è, in questo caso, interamente compreso nei sedimenti alluvionali olocenici, senza aver intercettato il passaggio ai terreni più "veloci" pleistocenici.

Indagini GEOELETTRICHE

Le prospezioni in oggetto sono state effettuate in alcune aree dell'abitato in prossimità di fenomeni di dissesto; si sono articolate sull'esecuzione di 6 profili tomografici 2D, ed hanno avuto lo scopo di ottenere informazioni relativamente alle caratteristiche dei terreni presenti. Questo tipo di prospezioni geofisiche consente, infatti, di effettuare ricostruzioni di insieme delle caratteristiche di resistività del terreno secondo profili bidimensionali, potendo infine

ricollegare le variazioni di resistività rilevate alle variazioni litologiche e di porosità/alterazione/saturazione.

Per i profili geoelettrici è stato utilizzato l'array *Wenner-Schlumberger*, che consente un'indagine in alta risoluzione (ridondanza di punti) e un buon compromesso tra il rapporto segnale/rumore e la sensibilità di indagine in senso sia verticale che orizzontale.

E' stato utilizzato in tutti i casi un dispositivo con 48 elettrodi, con passo elettrodico variabile tra 2,0 e 2,5 m in rapporto alla locale logistica. I dati delle prospezioni sono i seguenti:

| | |
|--|---|
| profilo 1 – loc. "Il Logo" Palaia | array <i>Wenner-Schlumberger</i> |
| lunghezza tot. | 94,0 m |
| num. elettrodi | 48 |
| passo elettrodico | 2,0 m |
| num. letture totali | 843 |
| opzione <i>model refinement</i> | largh. blocchi = ½ spaziatura elettrodica |
| model blocks | 858 |
| model layers | 14 |
| punti utilizzati per l'inversione | 826 |
| pseudodepth | min. 1,04 - max 17,9 |
| errore sull'inversione | 5 iteraz. - 3,02 % |
| range ρ | min. 2,78 - max 1241,50 Ω m |
| profilo 2 – loc. Alica - Palaia | array <i>Wenner-Schlumberger</i> |
| lunghezza tot. | 94,0 m |
| num. elettrodi | 48 |
| passo elettrodico | 2,0 m |
| num. letture totali | 913 |
| opzione <i>model refinement</i> | largh. blocchi = ½ spaziatura elettrodica |
| model blocks | 870 |
| model layers | 14 |
| punti utilizzati per l'inversione | 911 |
| pseudodepth | min. 1,04 - max 17,9 |
| errore sull'inversione | 3 iteraz. - 3,67 % |
| range ρ | min. 4,81 - max 411,54 Ω m |
| profilo 3 – "Alpaca" - Pontedera | array <i>Wenner-Schlumberger</i> |
| lunghezza tot. | 86,0 m |
| num. elettrodi | 44 |
| passo elettrodico | 2,0 m |
| num. letture totali | 748 |
| opzione <i>model refinement</i> | largh. blocchi = ½ spaziatura elettrodica |
| model blocks | 744 |
| model layers | 13 |
| punti utilizzati per l'inversione | 740 |
| pseudodepth | min. 1,04 - max 16,4 |
| errore sull'inversione | 3 iteraz. - 3,01 % |
| range ρ | min. 16,90 - max 391,89 Ω m |
| profilo 4 – Capannoli | array <i>Wenner-Schlumberger</i> |
| lunghezza tot. | 117,5 m |
| num. elettrodi | 48 |
| passo elettrodico | 2,5 m |
| num. letture totali | 913 |
| opzione <i>model refinement</i> | largh. blocchi = ½ spaziatura elettrodica |
| model blocks | 840 |
| model layers | 14 |
| punti utilizzati per l'inversione | 814 |
| pseudodepth | min. 1,30 - max 22,4 |

| | |
|-----------------------------------|---|
| errore sull'inversione | 2 iteraz. - 12,74 % |
| range ρ | min. 7,86 - max 807,14 Ωm |
| profilo 5 – Palaia | array Wenner-Schlumberger |
| lunghezza tot. | 117,5 m |
| num. elettrodi | 48 |
| passo elettrodico | 2,5 m |
| num. letture totali | 913 |
| opzione <i>model refinement</i> | largh. blocchi = $\frac{1}{2}$ spaziatura elettrodica |
| model blocks | 870 |
| model layers | 14 |
| punti utilizzati per l'inversione | 913 |
| pseudodepth | min. 1,30 - max 22,4 |
| errore sull'inversione | 5 iteraz. - 0,88 % |
| range ρ | min. 28,03 - max 239,28 Ωm |
| profilo 6 – Montefoscoli | array Wenner-Schlumberger |
| lunghezza tot. | 117,5 m |
| num. elettrodi | 48 |
| passo elettrodico | 2,5 m |
| num. letture totali | 913 |
| opzione <i>model refinement</i> | largh. blocchi = $\frac{1}{2}$ spaziatura elettrodica |
| model blocks | 864 |
| model layers | 14 |
| punti utilizzati per l'inversione | 903 |
| pseudodepth | min. 1,30 - max 22,4 |
| errore sull'inversione | 4 iteraz. - 3,53 % |
| range ρ | min. 2,53 - max 498,62 Ωm |

Alla relazione sulle indagini sono allegate le tavole con gli schemi dei modelli a blocchi utilizzati per l'inversione dei dati, e i grafici delle pseudosezioni e dei modelli di resistività ottenuti tramite il processo di inversione; tali grafici si riferiscono, dall'alto verso il basso, a:

- pseudosezione di resistività apparente *rilevata* dai dati di campagna;
- pseudosezione di resistività apparente *calcolata* in base al modello (c);
- modello di resistività del terreno ottenuto dall'inversione.

Le sezioni elettrostratigrafiche risultanti, con il modello corretto in funzione della locale topografia, sono state riportate ad una scala variabile fra 1:350 e 1:450, a seconda della lunghezza di stendimento. Nelle sezioni sono riportate delle note relative a una *possibile* interpretazione in funzione delle resistività.

- Il profilo 1 evidenzia un substrato molto resistivo (prevalenti sabbie e sabbie cementate ?) mentre lo strato immediatamente sotto il riporto della sede stradale è più conduttivo; potrebbe trattarsi di terreni a granulometria più fine, da argille e limi argillosi nella zona iniziale a limi argilloso-sabbiosi nel tratto finale del profilo.

Nell'ottica della situazione locale, caratterizzata da una zona di sommità stabile e un versante SE in condizioni di equilibrio non sufficientemente garantito, è presumibile che lo strato limo-argilloso superficiale "giochi" da spessore instabile, su un substrato costituito da prevalenti sabbie e sabbie cementate. L'eventuale imbibizione dello spessore superficiale, avente spessore inferiore ai 10 m, può portare a fenomeni franosi, come quello già manifestato lungo il versante ed evidente nelle cartografie geologico-morfologiche e di pericolosità.

- Il profilo 2 presenta, a partire da una profondità dell'ordine dei 4-6 m, un resistivo che potrebbe essere interpretato come prevalenti sabbie e sabbie limose; si intuisce, in profondità, il passaggio a terreni più conduttivi (litotipi limosi ?), mentre nel "pacco" di terreni più

superficiali si ha una notevole variabilità, con zone molto resistive che si alternano a zone più conduttive. E' presumibile che nello strato più superficiale si alternino, ai terreni naturali, riporti e strutture interrato conseguenti agli interventi di sistemazione eseguite sull'area.

Questo profilo è stato effettuato lungo un gradone, nell'ottica di un tratto di versante interessato in precedenza da fenomeni franosi. L'indagine geoelettrica ha infatti rilevato la presenza di un primo spessore di terreno, essenzialmente coesivo, dove le variazioni di resistività sono perlopiù ascrivibili alla presenza di riporto e degli interventi eseguiti (anche drenaggi).

Al di sotto dei 7-8 m sono presenti litotipi a dominante sabbioso-limosa, con passaggio in profondità (oltre i 14-15 m) a terreni più conduttivi. Data l'alternanza fra terreni a diverso grado di permeabilità, non è affatto escluso che il livello stabile sia in questo caso rappresentato dalla base delle sabbie limose.

- Il profilo 3 mostra l'alternanza fra litotipi sabbiosi, resistivi, e litotipi limosi e limo-sabbiosi, più conduttivi. Le variazioni superficiali di resistività sono presumibilmente dovute allo strato di copertura/alterazione e di riporto, in corrispondenza dello stradello di accesso, mentre alcune anomalie localizzate di resistività possono essere dovute alla presenza di strutture interrato.

A prescindere da alcune anomalie resistive di superficie, l'elettrostratigrafia ha evidenziato l'alternanza fra strati limo-argillosi e strati sabbioso-limosi; in corrispondenza della zona sommitale (orlo piazzale) e dello stradello esistente si è rilevata la presenza di uno strato di copertura/alterazione e, in parte, riporto. Sembra che sia questo strato potenzialmente interessabile da fenomeni di instabilità.

- Nel profilo 4 si evidenzia nettamente la presenza di un forte resistivo, presumibilmente legato al grosso rilevato stradale; tale resistivo non è infatti presente nel tratto iniziale del profilo, dove la strada si ricollega alla parte alta del rilievo collinare. I terreni sottostanti sono conduttivi, e dovrebbe trattarsi di prevalenti limi, da sabbiosi ad argillosi.

I fenomeni di dissesto che hanno portato anche alla collocazione di parte di questa zona in classe PF3 del PAI sono ascrivibili ad assestamenti del potente strato di riporto/rilevato, che poggia su litotipi prevalentemente coesivi, e che non è presente nel tratto più ad W (zona bivio a monte) dove l'elettrostratigrafia evidenzia la presenza dei terreni limo-sabbiosi e limo-argillosi fin dalla superficie.

- Il profilo 5 ha un andamento relativamente regolare, in quanto si individua un sottile resistivo superficiale (che dovrebbe corrispondere al riporto e alle coperture) che poggia su uno strato più conduttivo (sabbie e sabbie limose), il cui spessore sembra massimo in corrispondenza della zona centrale del profilo stesso. Si ha poi uno strato più resistivo (sabbie, sabbie cementate ?), e si intuisce un possibile passaggio, in profondità, a terreni leggermente più conduttivi (sabbie più fini e/o limose ?).

In questa zona, che si affaccia sul versante SE del rilievo collinare, si ha (al di sotto di uno spessore variabile di riporto e copertura), un primo strato sabbioso e limo-sabbioso, il cui spessore sembra massimo nella zona centrale del profilo. Al di sotto, il forte resistivo evidenziato è ascrivibile alla presenza di prevalenti sabbie e sabbie cementate.

Questa alternanza di litotipi a diverso grado di addensamento, e presumibilmente di permeabilità, porta a ritenere a maggiore rischio di instabilità la porzione di versante impostata nei litotipi posti stratigraficamente al di sopra delle sabbie cementate.

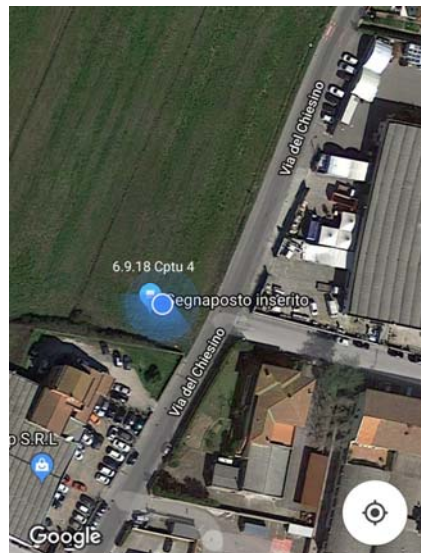
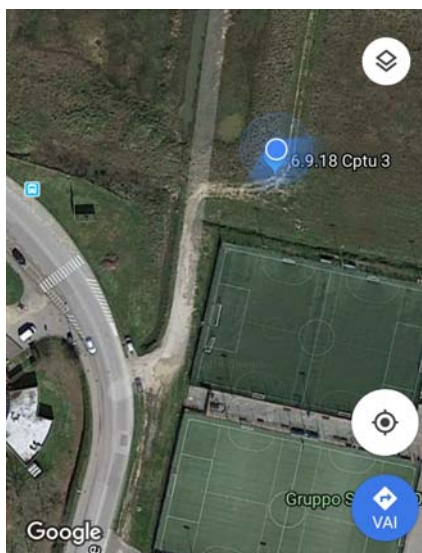
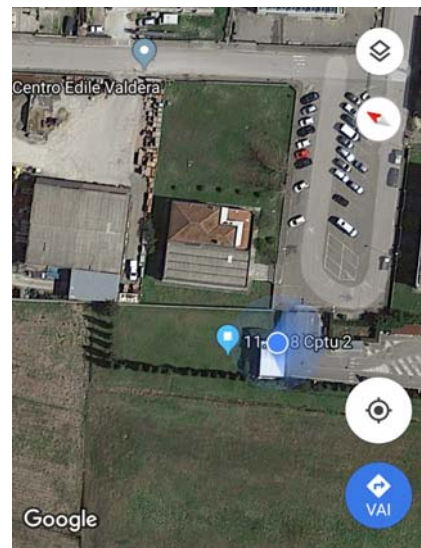
- Il profilo 6 presenta anch'esso un andamento di resistività piuttosto regolare, in quanto è

presente un substrato molto resistivo (sabbie grossolane e/o cementate ?) con uno strato di copertura conduttivo (argille e limi argillosi ?); nel tratto iniziale del profilo si ha una coltre leggermente più resistiva, interpretabile come una forma di accumulo di detrito o di frana. Da notare che il resistivo profondo presenta una notevole variazione di resistività in senso laterale, che fa sospettare la presenza di una disomogeneità litologica, se non di una vera e propria discontinuità, con i terreni profondi della parte iniziale del profilo che risultano decisamente più conduttivi.

Nell'ottica delle condizioni di stabilità locali si ha che il sottile spessore coesivo superficiale è potenzialmente soggetto a fenomeni di instabilità in seguito, ad esempio, ad imbibizione acquifera. In tal senso la forma concava del versante nella zona più depressa del primo tratto del profilo segnala la presumibile presenza di un fenomeno di dissesto pregresso; la coltre resistiva che si evidenzia in questa zona è presumibilmente data da materiale già movimentato.

Indagini PENETROMETRICHE

La campagna di indagini programmata ed eseguita è consistita nell'esecuzione di n. 4 prove CPTU dislocate nelle aree di pianura alluvionale dei territori comunali di Pontedera e Palaia. Di seguito si riportano le localizzazioni dei 4 punti di indagine:



Le risultanze delle prove CPTU in oggetto sono dettagliatamente illustrate nella relativa relazione sulle indagini. Di seguito sono esposti i risultati delle valutazioni sulla relativa suscettibilità alla liquefazione.

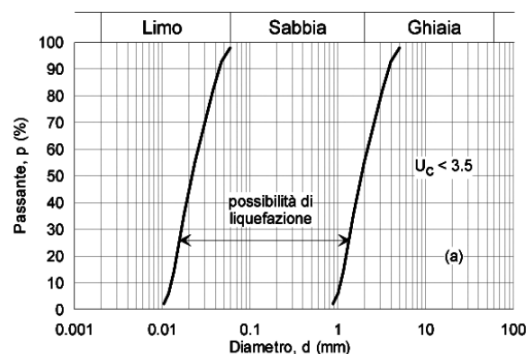
Valutazione sulla Suscettibilità alla Liquefazione

Con il termine “liquefazione” si intendono una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, in presenza di sollecitazione sismica che induca azioni cicliche e dinamiche nel sottosuolo in condizioni non drenate. Tali fenomeni sono legati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che, se positive, causano una riduzione della tensione media efficace presente nel terreno e quindi una riduzione della resistenza a taglio. Questa può rappresentare solo una condizione temporanea, seguita da un successivo recupero, o può indurre nel terreno una condizione di collasso generalizzata e definitiva.

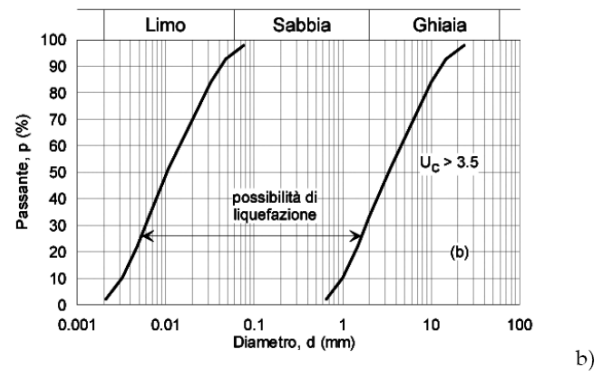
Perché ciò possa accadere occorre che il sedimento sia privo di coesione e che il drenaggio non sia talmente rapido da avvenire istantaneamente. Per tali motivazioni, soltanto i depositi sabbiosi fini monogranulari, saturi e non addensati risultano soggetti a tale tipo di rischio.

Le NTC 2018 al punto 7.11.3.4.2. indicano i criteri di esclusione della verifica alla liquefazione, condizione questa che può essere accertata nel caso si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



a)



Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4. Quando nessuna delle condizioni del § 7.11.3.4.2 risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Il punto 7.11.3.4.3 indica che la verifica può essere effettuata anche con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto.

La sicurezza nei confronti della possibilità che il terreno di intervento sia interessato da processi di “liquefazione”, può quindi essere valutata calcolando il rapporto tra la resistenza ciclica alla liquefazione propria del tipo di terreno e del suo stato di consolidazione $CRR = \tau_f / \sigma'_{v0}$, e la sollecitazione ciclica indotta dall’azione sismica, $CSR = \tau_{media} / \sigma'_{v0}$. La sollecitazione ciclica CSR è correlata alla massima tensione tangenziale indotta dall’azione sismica alla profondità considerata, τ_{max} , che può essere determinata indirettamente, da relazioni empiriche, in funzione dei caratteri del moto sismico atteso al sito.

La resistenza ciclica alla liquefazione CRR può essere definita da correlazioni empiriche basate su risultati di prove e misure in sito; la verifica viene in tal caso effettuata utilizzando degli abachi nei quali vengono raffrontate la sollecitazione ciclica CSR ed una proprietà del terreno, stimata dalle prove in sito (prove penetrometriche statiche o dinamiche o misure in sito della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs); una curva separa stati per i quali nel passato si è osservata la liquefazione da quelli per i quali la liquefazione non è avvenuta.

Il rapporto tra la resistenza e la sollecitazione ciclica costituisce il coefficiente di sicurezza FSL che identifica, nel caso di valore inferiore alla unità, la possibilità che possa avvenire il processo di liquefazione del livello di sottosuolo indagato.

In questa sede la valutazione del rischio di liquefazione, è stata effettuata adottando la procedura di *ROBERTSON e WRIDE* (1997) che definisce la potenzialità di rischio di liquefazione quale sommatoria dei singoli risultati di potenzialità alla liquefazione ricavati per ciascun livello di 20 cm di terreno indagato dalla prova C.P.T. statica (o C.P.T.U.) eseguita, interpretando la tipologia del materiale indagato ed analizzando la potenzialità alla liquefazione secondo i seguenti Autori, ciascuno per una specifica definizione interpretativa:

- Robertson e Fear 1990 (definizione del contenuto massimo di fini F.C.)
- Robertson 1990 (Indice del tipo di terreno I.C.)
- Seed ed Idriss 1971 (fattore di sicurezza FSL)
- Iwasaki 1987 (potenziale di liquefazione P.L.).

La magnitudo assunta nella individuazione della energia di sollecitazione sismica è $M = 7$

(secondo quanto suggerito dal G.N.D.T. e dal servizio Sismico nazionale); la accelerazione dei siti in esame:

- CPTU 1 – Pontedera via Maremmana $a_{gmax.} = 0,127g$
- CPTU 2 – Palaia – fraz. Forcoli, loc. Montanelli $a_{gmax.} = 0,141g$
- CPTU 3 – Pontedera via della Costituzione $a_{gmax.} = 0,125g$
- CPTU 4 – Pontedera via del Chiesino $a_{gmax.} = 0,125g$

La verifica è stata eseguita a partire dalla profondità di -0.6 m dal p.c., considerata quota di possibile imposta della fondazione e concomitante presenza della falda acquifera con livello piezometrico tra -2 e -3 m a secondo delle varie localizzazioni. Di seguito si riportano i risultati delle verifiche effettuate con valori calcolati ogni 20 cm di terreno caratterizzato, mediando i risultati delle prove CPTU con restituzione ogni 2 cm.

Il valore del potenziale di liquefazione del terreno presente nel sottosuolo, come di seguito dettagliato, risulta:

CPTU 1 $\Sigma PL = 0.00$ corrispondente alla classe di **rischio molto basso**

CPTU 2 $\Sigma PL = 0.30$ corrispondente alla classe di **rischio basso**

CPTU 3 $\Sigma PL = 3.60$ corrispondente alla classe di **rischio basso**

CPTU 4 $\Sigma PL = 0.60$ corrispondente alla classe di **rischio basso**

in una scala che vede rischio molto basso, basso, alto, molto alto identificati come segue:

| Valore di P_L | Rischio di liquefazione |
|-------------------|-------------------------|
| $P_L = 0$ | Molto basso |
| $0 < P_L \leq 5$ | Basso |
| $5 < P_L \leq 15$ | Alto |
| $15 < P_L$ | Molto alto |

Da quanto sopra si può concludere che il sottosuolo indagato è scevro da tale potenzialità all'accadimento del processo di liquefazione.

| VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE - Procedura di Robertson & Wride, 19 ⁹⁷ GGsoft | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-------|----|-------------------------|--------------|--------------------|--------------------------|-------|-------|----------------------------------|
| Luogo: Pontedera via Maremmana | | | | | Magnitudo = 7,0 | | | MWF = 0,937 | | | |
| CPT n. 1 | | | | | a _{max} = 0,13 | | | H ₂ O (m) = 3 | | | |
| z | qc | fs | qc/fs | FC | Ic | Tipo terreno | CRR _{7,5} | CSR | FSL | PL(z) | ΣPL |
| (m) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) | | % | | | | | | | |
| 0,6 | 15 | 0,7 | 21 | 15 | 2,1 | 5 | 0,208 | 0,082 | 2,70 | 0,00 | 0,0 rischio molto basso |
| 0,8 | 28 | 2,2 | 13 | 22 | 2,3 | 5 | 0,819 | 0,082 | 10,66 | 0,00 | |
| 1 | 27 | 2,2 | 12 | 31 | 2,5 | 5 | 5,761 | 0,082 | 75,04 | 0,00 | |
| 1,2 | 21 | 1,7 | 12 | 36 | 2,6 | 4 | 0,142 | 0,082 | - | - | |
| 1,4 | 14 | 1,1 | 13 | 38 | 2,7 | 4 | 0,118 | 0,082 | - | - | |
| 1,6 | 11 | 0,8 | 14 | 43 | 2,7 | 4 | 0,091 | 0,082 | - | - | |
| 1,8 | 13 | 0,9 | 14 | 42 | 2,7 | 4 | 0,091 | 0,081 | - | - | |
| 2 | 15 | 1,1 | 14 | 43 | 2,7 | 4 | 0,092 | 0,081 | - | - | |
| 2,2 | 15 | 0,9 | 17 | 41 | 2,7 | 4 | 0,087 | 0,081 | - | - | |
| 2,4 | 13 | 1,0 | 13 | 50 | 2,9 | 4 | 0,079 | 0,081 | - | - | |
| 2,6 | 14 | 0,8 | 18 | 45 | 2,8 | 4 | 0,078 | 0,081 | - | - | |
| 2,8 | 11 | 0,9 | 12 | 58 | 3,0 | 3 | 0,070 | 0,081 | - | - | |
| 3 | 6 | 0,4 | 15 | 70 | 3,2 | 3 | 0,060 | 0,084 | - | - | |
| 3,2 | 10 | 0,2 | 50 | 38 | 2,7 | 4 | 0,067 | 0,087 | - | - | |
| 3,4 | 13 | 0,4 | 33 | 40 | 2,7 | 4 | 0,071 | 0,090 | - | - | |
| 3,6 | 10 | 0,5 | 20 | 54 | 2,9 | 4 | 0,066 | 0,093 | - | - | |
| 3,8 | 10 | 0,5 | 20 | 55 | 2,9 | 4 | 0,065 | 0,096 | - | - | |
| 4 | 11 | 0,5 | 22 | 52 | 2,9 | 4 | 0,066 | 0,098 | - | - | |
| 4,2 | 11 | 0,5 | 22 | 52 | 2,9 | 4 | 0,066 | 0,100 | - | - | |
| 4,4 | 10 | 0,6 | 17 | 61 | 3,0 | 3 | 0,064 | 0,103 | - | - | |
| 4,6 | 10 | 0,6 | 17 | 61 | 3,0 | 3 | 0,063 | 0,105 | - | - | |
| 4,8 | 11 | 0,4 | 28 | 50 | 2,9 | 4 | 0,064 | 0,106 | - | - | |
| 5 | 12 | 0,5 | 24 | 51 | 2,9 | 4 | 0,065 | 0,108 | - | - | |
| 5,2 | 13 | 0,6 | 22 | 52 | 2,9 | 4 | 0,066 | 0,110 | - | - | |
| 5,4 | 13 | 0,6 | 22 | 53 | 2,9 | 4 | 0,066 | 0,111 | - | - | |
| 5,6 | 11 | 0,5 | 22 | 57 | 3,0 | 3 | 0,063 | 0,113 | - | - | |
| 5,8 | 11 | 0,4 | 28 | 54 | 2,9 | 4 | 0,063 | 0,114 | - | - | |
| 6 | 13 | 0,3 | 43 | 43 | 2,8 | 4 | 0,065 | 0,116 | - | - | |
| 6,2 | 14 | 0,4 | 35 | 45 | 2,8 | 4 | 0,065 | 0,117 | - | - | |
| 6,4 | 10 | 0,3 | 33 | 55 | 2,9 | 4 | 0,060 | 0,118 | - | - | |
| 6,6 | 9 | 0,5 | 18 | 70 | 3,2 | 3 | 0,059 | 0,119 | - | - | |
| 6,8 | 12 | 0,8 | 15 | 66 | 3,1 | 3 | 0,062 | 0,120 | - | - | |
| 7 | 11 | 0,2 | 55 | 47 | 2,8 | 4 | 0,061 | 0,121 | - | - | |
| 7,2 | 12 | 0,2 | 60 | 44 | 2,8 | 4 | 0,061 | 0,122 | - | - | |
| 7,4 | 11 | 0,2 | 55 | 48 | 2,8 | 4 | 0,060 | 0,123 | - | - | |
| 7,6 | 12 | 0,3 | 40 | 51 | 2,9 | 4 | 0,061 | 0,124 | - | - | |
| 7,8 | 12 | 0,2 | 60 | 46 | 2,8 | 4 | 0,061 | 0,124 | - | - | |
| 8 | 13 | 0,3 | 43 | 49 | 2,8 | 4 | 0,061 | 0,125 | - | - | |
| 8,2 | 13 | 0,4 | 33 | 54 | 2,9 | 4 | 0,061 | 0,126 | - | - | |
| 8,4 | 13 | 0,3 | 43 | 50 | 2,9 | 4 | 0,061 | 0,126 | - | - | |
| 8,6 | 16 | 0,4 | 40 | 46 | 2,8 | 4 | 0,063 | 0,127 | - | - | |
| 8,8 | 16 | 0,6 | 27 | 53 | 2,9 | 4 | 0,063 | 0,128 | - | - | |
| 9 | 13 | 0,4 | 33 | 56 | 3,0 | 3 | 0,060 | 0,128 | - | - | |
| 9,2 | 11 | 0,2 | 55 | 53 | 2,9 | 4 | 0,058 | 0,128 | - | - | |
| 9,4 | 10 | 0,2 | 50 | 58 | 3,0 | 3 | 0,057 | 0,128 | - | - | |
| 9,6 | 12 | 0,2 | 60 | 50 | 2,9 | 4 | 0,059 | 0,128 | - | - | |
| 9,8 | 13 | 0,3 | 43 | 53 | 2,9 | 4 | 0,059 | 0,128 | - | - | |
| 10 | 13 | 0,4 | 33 | 59 | 3,0 | 3 | 0,059 | 0,128 | - | - | |
| 10,2 | 10 | 0,2 | 50 | 60 | 3,0 | 3 | 0,057 | 0,128 | - | - | |
| 10,4 | 10 | 0,2 | 67 | 57 | 3,0 | 3 | 0,057 | 0,128 | - | - | |
| 10,6 | 10 | 0,2 | 67 | 57 | 3,0 | 3 | 0,056 | 0,128 | - | - | |
| 10,8 | 15 | 0,3 | 50 | 50 | 2,9 | 4 | 0,060 | 0,127 | - | - | |
| 11 | 16 | 0,7 | 23 | 61 | 3,0 | 3 | 0,061 | 0,127 | - | - | |
| 11,2 | 15 | 0,6 | 25 | 62 | 3,1 | 3 | 0,060 | 0,127 | - | - | |
| 11,4 | 11 | 0,4 | 28 | 71 | 3,2 | 3 | 0,057 | 0,127 | - | - | |
| 11,6 | 12 | 0,2 | 80 | 51 | 2,9 | 4 | 0,057 | 0,126 | - | - | |
| 11,8 | 12 | 0,1 | 120 | 47 | 2,8 | 4 | 0,057 | 0,126 | - | - | |
| 12 | 12 | 0,3 | 40 | 63 | 3,1 | 3 | 0,057 | 0,126 | - | - | |
| 12,2 | 12 | 0,1 | 120 | 48 | 2,8 | 4 | 0,057 | 0,125 | - | - | |
| 12,4 | 11 | 0,1 | 110 | 52 | 2,9 | 4 | 0,056 | 0,125 | - | - | |

qc: resistenza di punta - fs: resistenza di attrito laterale - FC: contenuto % di mat. Fini - Ic: indice del tipo di terreno - Tipo di terreno: 2=suoli organici; 3=argille; 4=miscela limosa; 5=miscela sabbiosa; 6=sabbie; 7=ghiaie e sabbie dense - CRR_{7,5}: rapporto di resistenza ciclica per magnitudo 7,5 - CSR= rapporto di tensione ciclica - FSL=fattore di sicurezza = CRR/CSR - ΣPL=Potenziale di liquefazione= Σ F(z) w(z) Δ(z)

| VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE - Procedura di Robertson & Wride, 19 ⁰⁷ GGsoft | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-------|----|-----|-------------------------|--------------------|-------|----------------------------|-------|---------------|
| Luogo: Palaia, fraz. Forcoli - loc. Montanelli | | | | | | Magnitudo = 7,0 | | | MWF = 0,937 | | |
| CPT n. 1 | | | | | | a _{max} = 0,14 | | | H ₂ O (m) = 2,5 | | |
| z | qc | fs | qc/fs | FC | Ic | Tipo | CRR _{7,5} | CSR | FSL | PL(z) | ΣPL |
| (m) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) | | % | | terreno | | | | | |
| 0,6 | 15 | 0,7 | 21 | 15 | 2,1 | 5 | 0,208 | 0,091 | 2,44 | 0,00 | 0,3 |
| 0,8 | 37 | 0,7 | 53 | 6 | 1,7 | 6 | 0,335 | 0,091 | 3,92 | 0,00 | |
| 1 | 37 | 0,4 | 106 | 3 | 1,5 | 6 | 0,206 | 0,091 | 2,42 | 0,00 | rischio basso |
| 1,2 | 14 | 0,7 | 22 | 33 | 2,5 | 5 | 0,589 | 0,091 | 6,92 | 0,00 | |
| 1,4 | 17 | 0,6 | 28 | 24 | 2,3 | 5 | 0,129 | 0,091 | 1,52 | 0,00 | |
| 1,6 | 14 | 0,7 | 20 | 38 | 2,7 | 4 | 0,086 | 0,091 | - | - | |
| 1,8 | 13 | 0,9 | 14 | 42 | 2,7 | 4 | 0,091 | 0,090 | - | - | |
| 2 | 15 | 1,2 | 13 | 44 | 2,8 | 4 | 0,092 | 0,090 | - | - | |
| 2,2 | 11 | 1,1 | 10 | 56 | 3,0 | 3 | 0,077 | 0,090 | - | - | |
| 2,4 | 13 | 1,0 | 13 | 50 | 2,9 | 4 | 0,079 | 0,090 | - | - | |
| 2,6 | 12 | 0,9 | 13 | 52 | 2,9 | 4 | 0,075 | 0,095 | - | - | |
| 2,8 | 13 | 0,7 | 19 | 45 | 2,8 | 4 | 0,076 | 0,099 | - | - | |
| 3 | 14 | 1,0 | 15 | 49 | 2,8 | 4 | 0,077 | 0,103 | - | - | |
| 3,2 | 14 | 1,0 | 14 | 50 | 2,9 | 4 | 0,076 | 0,106 | - | - | |
| 3,4 | 15 | 0,7 | 23 | 41 | 2,7 | 4 | 0,077 | 0,109 | - | - | |
| 3,6 | 11 | 0,8 | 14 | 57 | 3,0 | 3 | 0,069 | 0,112 | - | - | |
| 3,8 | 12 | 0,3 | 40 | 38 | 2,7 | 4 | 0,070 | 0,115 | - | - | |
| 4 | 13 | 0,5 | 26 | 44 | 2,8 | 4 | 0,071 | 0,118 | - | - | |
| 4,2 | 12 | 0,5 | 24 | 47 | 2,8 | 4 | 0,069 | 0,120 | - | - | |
| 4,4 | 11 | 0,3 | 44 | 41 | 2,7 | 4 | 0,066 | 0,122 | - | - | |
| 4,6 | 10 | 0,2 | 50 | 42 | 2,7 | 4 | 0,064 | 0,124 | - | - | |
| 4,8 | 12 | 0,3 | 48 | 39 | 2,7 | 4 | 0,067 | 0,126 | - | - | |
| 5 | 12 | 0,5 | 24 | 50 | 2,9 | 4 | 0,066 | 0,128 | - | - | |
| 5,2 | 12 | 0,4 | 34 | 45 | 2,8 | 4 | 0,066 | 0,130 | - | - | |
| 5,4 | 11 | 0,3 | 44 | 44 | 2,8 | 4 | 0,064 | 0,131 | - | - | |
| 5,6 | 15 | 0,2 | 75 | 32 | 2,5 | 5 | 0,095 | 0,133 | 0,77 | 0,34 | |
| 5,8 | 13 | 0,7 | 20 | 54 | 2,9 | 4 | 0,066 | 0,134 | - | - | |
| 6 | 11 | 0,5 | 22 | 57 | 3,0 | 3 | 0,063 | 0,136 | - | - | |
| 6,2 | 11 | 0,3 | 37 | 49 | 2,9 | 4 | 0,062 | 0,137 | - | - | |
| 6,4 | 11 | 0,3 | 44 | 47 | 2,8 | 4 | 0,062 | 0,138 | - | - | |
| 6,6 | 11 | 0,3 | 44 | 48 | 2,8 | 4 | 0,062 | 0,139 | - | - | |
| 6,8 | 12 | 0,3 | 48 | 45 | 2,8 | 4 | 0,063 | 0,140 | - | - | |
| 7 | 11 | 0,2 | 55 | 46 | 2,8 | 4 | 0,061 | 0,141 | - | - | |
| 7,2 | 9 | 0,2 | 45 | 55 | 2,9 | 4 | 0,059 | 0,142 | - | - | |
| 7,4 | 8 | 0,2 | 40 | 61 | 3,0 | 3 | 0,057 | 0,143 | - | - | |
| 7,6 | 7 | 0,2 | 47 | 64 | 3,1 | 3 | 0,056 | 0,143 | - | - | |
| 7,8 | 7 | 0,1 | 88 | 56 | 3,0 | 3 | 0,056 | 0,144 | - | - | |
| 8 | 8 | 0,1 | 114 | 49 | 2,8 | 4 | 0,057 | 0,145 | - | - | |
| 8,2 | 8 | 0,1 | 80 | 54 | 2,9 | 4 | 0,057 | 0,146 | - | - | |
| 8,4 | 9 | 0,1 | 90 | 49 | 2,9 | 4 | 0,057 | 0,146 | - | - | |
| 8,6 | 9 | 0,2 | 60 | 55 | 3,0 | 3 | 0,057 | 0,147 | - | - | |
| 8,8 | 8 | 0,2 | 40 | 67 | 3,1 | 3 | 0,056 | 0,147 | - | - | |
| 9 | 8 | 0,1 | 80 | 57 | 3,0 | 3 | 0,056 | 0,148 | - | - | |
| 9,2 | 10 | 0,1 | 100 | 47 | 2,8 | 4 | 0,058 | 0,148 | - | - | |
| 9,4 | 11 | 0,2 | 73 | 49 | 2,8 | 4 | 0,058 | 0,148 | - | - | |
| 9,6 | 10 | 0,2 | 67 | 54 | 2,9 | 4 | 0,057 | 0,148 | - | - | |
| 9,8 | 9 | 0,1 | 90 | 54 | 2,9 | 4 | 0,056 | 0,148 | - | - | |
| 10 | 11 | 0,1 | 110 | 46 | 2,8 | 4 | 0,058 | 0,147 | - | - | |
| 10,2 | 10 | 0,1 | 100 | 50 | 2,9 | 4 | 0,057 | 0,147 | - | - | |
| 10,4 | 13 | 0,1 | 163 | 38 | 2,7 | 4 | 0,059 | 0,147 | - | - | |
| 10,6 | 10 | 0,1 | 200 | 44 | 2,8 | 4 | 0,057 | 0,147 | - | - | |
| 10,8 | 11 | 0,1 | 110 | 48 | 2,8 | 4 | 0,057 | 0,146 | - | - | |
| 11 | 11 | 0,1 | 220 | 41 | 2,7 | 4 | 0,057 | 0,146 | - | - | |
| 11,2 | 10 | 0,1 | 167 | 47 | 2,8 | 4 | 0,056 | 0,145 | - | - | |
| 11,4 | 9 | 0,1 | 113 | 56 | 3,0 | 3 | 0,055 | 0,145 | - | - | |
| 11,6 | 8 | 0,1 | 100 | 62 | 3,1 | 3 | 0,054 | 0,145 | - | - | |
| 11,8 | 9 | 0,1 | 180 | 51 | 2,9 | 4 | 0,055 | 0,144 | - | - | |
| 12 | 10 | 0,1 | 125 | 52 | 2,9 | 4 | 0,056 | 0,144 | - | - | |
| 12,2 | 10 | 0,1 | 111 | 54 | 2,9 | 4 | 0,056 | 0,143 | - | - | |
| 12,4 | 9 | 0,1 | 180 | 53 | 2,9 | 4 | 0,055 | 0,143 | - | - | |

qc: resistenza di punta - fs: resistenza di attrito laterale - FC: contenuto % di mat. Fini - Ic: indice del tipo di terreno - Tipo di terreno: 2=suoli organici; 3=argille; 4=miscela limosa; 5=miscela sabbiosa; 6=sabbie; 7=ghiaie e sabbie dense - CRR7,5: rapporto di resistenza ciclica per magnitudo 7,5 - CSR= rapporto di tensione ciclica - FSL=fattore di sicurezza = CRR/CSR - ΣPL=Potenziale di liquefazione= Σ F(z) w(z) Δ(z)

| VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE - Procedura di Robertson & Wride, 19 ⁹⁷ GGsoft | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-------|-------------------------|-----|---------|--------------------|--------------------------|-------------|-------|-----------------------------|
| Luogo: Pontedera - via della Costituzione | | | | Magnitudo = 7,0 | | | | MWF = 0,937 | | | |
| CPT n. 1 | | | | a _{max} = 0,13 | | | | H ₂ O (m) = 2 | | | |
| z | qc | fs | qc/fs | FC | lc | Tipo | CRR _{7,5} | CSR | FSL | PL(z) | ΣPL |
| (m) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) | | % | | terreno | | | | | |
| 0,6 | 15 | 0,7 | 21 | 15 | 2,1 | 5 | 0,208 | 0,081 | 2,75 | 0,00 | 3,6 rischio basso |
| 0,8 | 48 | 2,6 | 18 | 15 | 2,1 | 5 | 1,422 | 0,081 | 18,79 | 0,00 | |
| 1 | 43 | 3,1 | 14 | 21 | 2,3 | 5 | 1,262 | 0,081 | 16,70 | 0,00 | |
| 1,2 | 32 | 2,5 | 13 | 31 | 2,5 | 5 | 4,740 | 0,081 | 62,82 | 0,00 | |
| 1,4 | 26 | 1,7 | 15 | 33 | 2,5 | 5 | 1,869 | 0,080 | 24,82 | 0,00 | |
| 1,6 | 20 | 1,6 | 13 | 36 | 2,6 | 4 | 0,140 | 0,080 | - | - | |
| 1,8 | 18 | 1,5 | 12 | 41 | 2,7 | 4 | 0,108 | 0,080 | - | - | |
| 2 | 11 | 1,0 | 11 | 52 | 2,9 | 4 | 0,082 | 0,086 | - | - | |
| 2,2 | 15 | 0,7 | 21 | 35 | 2,6 | 4 | 0,091 | 0,091 | - | - | |
| 2,4 | 16 | 1,0 | 16 | 40 | 2,7 | 4 | 0,091 | 0,095 | - | - | |
| 2,6 | 16 | 0,9 | 18 | 39 | 2,7 | 4 | 0,089 | 0,099 | - | - | |
| 2,8 | 15 | 0,8 | 19 | 40 | 2,7 | 4 | 0,085 | 0,102 | - | - | |
| 3 | 21 | 0,8 | 26 | 34 | 2,6 | 5 | 0,336 | 0,106 | 3,40 | 0,00 | |
| 3,2 | 24 | 1,5 | 16 | 37 | 2,6 | 4 | 0,102 | 0,108 | - | - | |
| 3,4 | 21 | 1,6 | 13 | 43 | 2,8 | 4 | 0,093 | 0,111 | - | - | |
| 3,6 | 17 | 1,3 | 13 | 48 | 2,8 | 4 | 0,083 | 0,113 | - | - | |
| 3,8 | 23 | 1,1 | 21 | 38 | 2,7 | 4 | 0,086 | 0,115 | - | - | |
| 4 | 22 | 1,3 | 17 | 40 | 2,7 | 4 | 0,089 | 0,117 | - | - | |
| 4,2 | 20 | 1,2 | 17 | 42 | 2,7 | 4 | 0,084 | 0,119 | - | - | |
| 4,4 | 19 | 1,2 | 16 | 45 | 2,8 | 4 | 0,081 | 0,121 | - | - | |
| 4,6 | 15 | 0,9 | 17 | 49 | 2,9 | 4 | 0,074 | 0,122 | - | - | |
| 4,8 | 14 | 0,5 | 31 | 41 | 2,7 | 4 | 0,071 | 0,124 | - | - | |
| 5 | 13 | 0,4 | 33 | 42 | 2,7 | 4 | 0,069 | 0,125 | - | - | |
| 5,2 | 14 | 0,2 | 93 | 29 | 2,5 | 5 | 0,090 | 0,126 | 0,76 | 0,35 | |
| 5,4 | 15 | 0,2 | 100 | 27 | 2,4 | 5 | 0,090 | 0,127 | 0,75 | 0,36 | |
| 5,6 | 18 | 0,6 | 30 | 39 | 2,7 | 4 | 0,074 | 0,128 | - | - | |
| 5,8 | 19 | 0,7 | 27 | 40 | 2,7 | 4 | 0,075 | 0,129 | - | - | |
| 6 | 18 | 0,8 | 23 | 45 | 2,8 | 4 | 0,073 | 0,130 | - | - | |
| 6,2 | 19 | 0,7 | 27 | 41 | 2,7 | 4 | 0,074 | 0,131 | - | - | |
| 6,4 | 13 | 0,5 | 26 | 51 | 2,9 | 4 | 0,065 | 0,132 | - | - | |
| 6,6 | 10 | 0,3 | 40 | 51 | 2,9 | 4 | 0,061 | 0,133 | - | - | |
| 6,8 | 8 | 0,2 | 53 | 54 | 2,9 | 4 | 0,058 | 0,133 | - | - | |
| 7 | 8 | 0,1 | 80 | 49 | 2,8 | 4 | 0,058 | 0,134 | - | - | |
| 7,2 | 11 | 0,6 | 18 | 64 | 3,1 | 3 | 0,061 | 0,135 | - | - | |
| 7,4 | 10 | 0,0 | 1111 | 27 | 2,4 | 5 | 0,073 | 0,135 | 0,57 | 0,54 | |
| 7,6 | 10 | 0,0 | 1429 | 27 | 2,4 | 5 | 0,073 | 0,136 | 0,57 | 0,53 | |
| 7,8 | 10 | 0,0 | 250 | 34 | 2,6 | 5 | 0,080 | 0,136 | 0,63 | 0,45 | |
| 8 | 9 | 0,0 | 450 | 34 | 2,6 | 5 | 0,076 | 0,137 | 0,60 | 0,49 | |
| 8,2 | 22 | 0,1 | 440 | 17 | 2,1 | 5 | 0,082 | 0,137 | 0,64 | 0,43 | |
| 8,4 | 12 | 0,0 | 400 | 29 | 2,5 | 5 | 0,078 | 0,138 | 0,61 | 0,46 | |
| 8,6 | 9 | 0,1 | 100 | 48 | 2,8 | 4 | 0,058 | 0,138 | - | - | |
| 8,8 | 10 | 0,1 | 200 | 39 | 2,7 | 4 | 0,058 | 0,138 | - | - | |
| 9 | 9 | 0,0 | 450 | 36 | 2,6 | 4 | 0,057 | 0,139 | - | - | |
| 9,2 | 10 | 0,1 | 125 | 44 | 2,8 | 4 | 0,058 | 0,139 | - | - | |
| 9,4 | 10 | 0,0 | 333 | 36 | 2,6 | 4 | 0,058 | 0,138 | - | - | |
| 9,6 | 11 | 0,1 | 110 | 44 | 2,8 | 4 | 0,058 | 0,138 | - | - | |
| 9,8 | 10 | 0,1 | 125 | 46 | 2,8 | 4 | 0,057 | 0,138 | - | - | |
| 10 | 9 | 0,1 | 129 | 49 | 2,9 | 4 | 0,056 | 0,137 | - | - | |
| 10,2 | 9 | 0,1 | 180 | 46 | 2,8 | 4 | 0,056 | 0,137 | - | - | |
| 10,4 | 10 | 0,1 | 143 | 46 | 2,8 | 4 | 0,057 | 0,137 | - | - | |
| 10,6 | 12 | 0,2 | 80 | 48 | 2,8 | 4 | 0,058 | 0,136 | - | - | |
| 10,8 | 13 | 0,3 | 43 | 54 | 2,9 | 4 | 0,059 | 0,136 | - | - | |
| 11 | 11 | 0,3 | 44 | 60 | 3,0 | 3 | 0,057 | 0,135 | - | - | |
| 11,2 | 11 | 0,3 | 44 | 61 | 3,0 | 3 | 0,057 | 0,135 | - | - | |
| 11,4 | 12 | 0,0 | 300 | 37 | 2,6 | 4 | 0,058 | 0,134 | - | - | |
| 11,6 | 13 | 0,1 | 130 | 42 | 2,7 | 4 | 0,058 | 0,134 | - | - | |
| 11,8 | 14 | 0,2 | 93 | 44 | 2,8 | 4 | 0,059 | 0,133 | - | - | |
| 12 | 15 | 0,3 | 50 | 51 | 2,9 | 4 | 0,060 | 0,133 | - | - | |
| 12,2 | 15 | 0,4 | 38 | 56 | 3,0 | 3 | 0,059 | 0,132 | - | - | |
| 12,4 | 13 | 0,3 | 43 | 58 | 3,0 | 3 | 0,058 | 0,132 | - | - | |

qc: resistenza di punta - fs: resistenza di attrito laterale - FC: contenuto % di mat. Fini - lc: indice del tipo di terreno - Tipo di terreno: 2=suoli organici; 3=argille; 4=miscela limosa; 5=miscela sabbiosa; 6=sabbie; 7=ghiaie e sabbie dense - CRR7,5:rapporto di resistenza ciclica per magnitudo 7,5 - CSR= rapporto di tensione ciclica - FSL=fattore di sicurezza = CRR/CSR - ΣPL=Potenziale di liquefazione= Σ F(z) w(z) Δ(z)

| VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE - Procedura di Robertson & Wride, 19 ⁹⁷ GGsoft | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-----------------------|-------|----|-----|-------------------------|--------------------|--------------------------|-------|-------|----------------------|
| Luogo: Pontedera, via del Chiesino | | | | | | Magnitudo = 7,0 | | MWF = 0,937 | | | |
| CPT n. 4 | | | | | | a _{max} = 0,13 | | H ₂ O (m) = 3 | | | |
| z | qc | fs | qc/fs | FC | lc | Tipo terreno | CRR _{7,5} | CSR | FSL | PL(z) | ΣPL |
| (m) | (Kg/cm ²) | (Kg/cm ²) | | % | | | | | | | |
| 0,6 | 15 | 0,7 | 21 | 15 | 2,1 | 5 | 0,208 | 0,081 | 2,75 | 0,00 | 0,6 rischio basso |
| 0,8 | 67 | 0,8 | 84 | 1 | 1,4 | 6 | 1,441 | 0,081 | 19,04 | 0,00 | |
| 1 | 76 | 0,8 | 95 | 2 | 1,4 | 6 | 1,135 | 0,081 | 15,03 | 0,00 | |
| 1,2 | 55 | 0,6 | 92 | 4 | 1,6 | 6 | 0,339 | 0,081 | 4,49 | 0,00 | |
| 1,4 | 28 | 0,4 | 70 | 10 | 1,9 | 6 | 0,121 | 0,080 | 1,61 | 0,00 | |
| 1,6 | 12 | 0,7 | 17 | 38 | 2,7 | 4 | 0,093 | 0,080 | - | - | |
| 1,8 | 27 | 0,3 | 108 | 10 | 1,9 | 6 | 0,102 | 0,080 | 1,36 | 0,00 | |
| 2 | 22 | 0,1 | 220 | 9 | 1,8 | 6 | 0,088 | 0,080 | 1,17 | 0,00 | |
| 2,2 | 17 | 0,4 | 43 | 26 | 2,4 | 5 | 0,107 | 0,080 | 1,44 | 0,00 | |
| 2,4 | 9 | 0,2 | 45 | 37 | 2,6 | 4 | 0,069 | 0,080 | - | - | |
| 2,6 | 10 | 0,4 | 25 | 46 | 2,8 | 4 | 0,070 | 0,080 | - | - | |
| 2,8 | 9 | 0,5 | 18 | 55 | 3,0 | 3 | 0,066 | 0,080 | - | - | |
| 3 | 9 | 0,5 | 18 | 56 | 3,0 | 3 | 0,065 | 0,083 | - | - | |
| 3,2 | 7 | 0,2 | 35 | 52 | 2,9 | 4 | 0,061 | 0,086 | - | - | |
| 3,4 | 8 | 0,1 | 80 | 38 | 2,7 | 4 | 0,063 | 0,089 | - | - | |
| 3,6 | 8 | 0,1 | 80 | 39 | 2,7 | 4 | 0,062 | 0,091 | - | - | |
| 3,8 | 9 | 0,1 | 90 | 36 | 2,6 | 4 | 0,063 | 0,094 | - | - | |
| 4 | 11 | 0,3 | 44 | 41 | 2,7 | 4 | 0,066 | 0,096 | - | - | |
| 4,2 | 8 | 0,1 | 160 | 35 | 2,6 | 4 | 0,060 | 0,098 | - | - | |
| 4,4 | 8 | 0,1 | 100 | 40 | 2,7 | 4 | 0,061 | 0,100 | - | - | |
| 4,6 | 7 | 0,1 | 78 | 46 | 2,8 | 4 | 0,059 | 0,102 | - | - | |
| 4,8 | 8 | 0,1 | 80 | 44 | 2,8 | 4 | 0,060 | 0,104 | - | - | |
| 5 | 8 | 0,2 | 53 | 50 | 2,9 | 4 | 0,060 | 0,106 | - | - | |
| 5,2 | 8 | 0,1 | 80 | 45 | 2,8 | 4 | 0,059 | 0,107 | - | - | |
| 5,4 | 8 | 0,2 | 40 | 55 | 3,0 | 3 | 0,059 | 0,109 | - | - | |
| 5,6 | 7 | 0,1 | 117 | 46 | 2,8 | 4 | 0,058 | 0,110 | - | - | |
| 5,8 | 7 | 0,0 | 350 | 37 | 2,6 | 4 | 0,057 | 0,112 | - | - | |
| 6 | 8 | 0,1 | 114 | 44 | 2,8 | 4 | 0,058 | 0,113 | - | - | |
| 6,2 | 10 | 0,2 | 67 | 45 | 2,8 | 4 | 0,060 | 0,114 | - | - | |
| 6,4 | 10 | 0,3 | 33 | 56 | 3,0 | 3 | 0,060 | 0,115 | - | - | |
| 6,6 | 10 | 0,2 | 67 | 46 | 2,8 | 4 | 0,060 | 0,116 | - | - | |
| 6,8 | 9 | 0,2 | 45 | 55 | 3,0 | 3 | 0,058 | 0,117 | - | - | |
| 7 | 9 | 0,2 | 45 | 56 | 3,0 | 3 | 0,058 | 0,118 | - | - | |
| 7,2 | 8 | 0,1 | 80 | 52 | 2,9 | 4 | 0,057 | 0,119 | - | - | |
| 7,4 | 7 | 0,1 | 117 | 52 | 2,9 | 4 | 0,056 | 0,120 | - | - | |
| 7,6 | 8 | 0,0 | 800 | 35 | 2,6 | 5 | 0,074 | 0,120 | 0,66 | 0,43 | |
| 7,8 | 7 | 0,0 | 350 | 44 | 2,8 | 4 | 0,056 | 0,121 | - | - | |
| 8 | 8 | 0,1 | 133 | 49 | 2,8 | 4 | 0,056 | 0,122 | - | - | |
| 8,2 | 8 | 0,1 | 80 | 55 | 3,0 | 3 | 0,056 | 0,123 | - | - | |
| 8,4 | 10 | 0,1 | 100 | 46 | 2,8 | 4 | 0,058 | 0,123 | - | - | |
| 8,6 | 10 | 0,2 | 67 | 52 | 2,9 | 4 | 0,058 | 0,124 | - | - | |
| 8,8 | 10 | 0,3 | 33 | 64 | 3,1 | 3 | 0,058 | 0,124 | - | - | |
| 9 | 10 | 0,1 | 100 | 48 | 2,8 | 4 | 0,057 | 0,125 | - | - | |
| 9,2 | 11 | 0,2 | 73 | 50 | 2,9 | 4 | 0,058 | 0,125 | - | - | |
| 9,4 | 11 | 0,3 | 37 | 61 | 3,0 | 3 | 0,058 | 0,125 | - | - | |
| 9,6 | 12 | 0,4 | 30 | 62 | 3,1 | 3 | 0,059 | 0,125 | - | - | |
| 9,8 | 13 | 0,5 | 26 | 63 | 3,1 | 3 | 0,059 | 0,125 | - | - | |
| 10 | 12 | 0,5 | 24 | 67 | 3,1 | 3 | 0,058 | 0,125 | - | - | |
| 10,2 | 11 | 0,4 | 28 | 68 | 3,1 | 3 | 0,057 | 0,125 | - | - | |
| 10,4 | 10 | 0,4 | 29 | 71 | 3,2 | 3 | 0,056 | 0,125 | - | - | |
| 10,6 | 10 | 0,3 | 33 | 69 | 3,1 | 3 | 0,056 | 0,125 | - | - | |
| 10,8 | 9 | 0,1 | 90 | 58 | 3,0 | 3 | 0,055 | 0,125 | - | - | |
| 11 | 9 | 0,1 | 180 | 50 | 2,9 | 4 | 0,055 | 0,124 | - | - | |
| 11,2 | 20 | 0,1 | 200 | 29 | 2,5 | 5 | 0,091 | 0,124 | 0,78 | 0,19 | |
| 11,4 | 10 | 0,1 | 100 | 54 | 2,9 | 4 | 0,056 | 0,124 | - | - | |
| 11,6 | 10 | 0,2 | 50 | 65 | 3,1 | 3 | 0,056 | 0,123 | - | - | |
| 11,8 | 10 | 0,1 | 100 | 55 | 3,0 | 3 | 0,056 | 0,123 | - | - | |
| 12 | 10 | 0,1 | 100 | 56 | 3,0 | 3 | 0,056 | 0,123 | - | - | |
| 12,2 | 9 | 0,1 | 180 | 54 | 2,9 | 4 | 0,055 | 0,122 | - | - | |
| 12,4 | 9 | 0,0 | 450 | 47 | 2,8 | 4 | 0,055 | 0,122 | - | - | |

qc: resistenza di punta - fs: resistenza di attrito laterale - FC: contenuto % di mat. Fini - lc: indice del tipo di terreno - Tipo di terreno: 2=suoli organici; 3=argille; 4=miscela limosa; 5=miscela sabbiosa; 6=sabbie; 7=ghiaie e sabbie dense - CRR7,5: rapporto di resistenza ciclica per magnitudo 7,5 - CSR= rapporto di tensione ciclica - FSL=fattore di sicurezza = CRR/CSR - ΣPL=Potenziale di liquefazione= Σ F(z) w(z) Δ(z)

In sintesi sulla base di un'accurata analisi dell'incrocio di tutti i dati acquisiti sia di sismica attiva (rifrazioni) che passiva (esac/masw e hvsr), geoelettrici, stratigrafici, geologici e geotecnici è stato possibile dedurre un modello sismo stratigrafico di riferimento per l'elaborazione delle cartografie Mops.

Sulla base di quanto analizzato appare plausibile assumere come substrato sismico, per il territorio in esame, i depositi pliocenici sabbiosi e calcarenitici (PLIs e PLIc) ed argillosi (FAA e FAAb) dei rilievi collinari che risultano costituiti da terreni caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti (passaggio di velocità tra i sedimenti pleistocenici e quelli pliocenici mediamente da circa 350/450 m/s a circa 600/700 m/s). Questo in considerazione del fatto che non si sono registrati valori di Vs superiori agli 800 m/s, come da substrato sismico litoide delle specifiche tecniche nazionali.

Sulla Carta delle Indagini di tavola MS.01, come già detto, sono state riportate per i territori comunali in esame le ubicazioni di tutti i dati geognostici e sismici distinti per tipologia e numerazione facenti parte delle banche dati pubbliche e messe a disposizione dell'Unione Valdera.

Sulla tavola MS.05 "M.O.P.S. Carta delle Frequenze" sono stati riportati i punti relativi alle misure tromometriche Hvsr eseguite e rappresentate con diversa simbologia in funzione dei loro valori di frequenza e di ampiezza registrati, come da indicazioni regionali; inoltre sono stati riportati i perimetri delle aree di analisi della carta MOPS (UTOE vigenti e territorio urbanizzato).

Sulla tavola MS.04 "M.O.P.S. Sezioni Stratigrafiche Tipo" sono state elaborate e correlate le successioni litostratigrafiche delle indagini geognostiche di riferimento definendo:

- *le zone suscettibili di instabilità (derivanti da processi di instabilità di versante):*

Corpo di frana attivo

Corpo di frana quiescente

Area interessata da faglia certa/incerta

- *le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (con un alto contrasto di impedenza sismica):*

Zona 1 - Fondovalle fiume Arno, zona Pardossi, dove sono presenti depositi alluvionali recenti prevalentemente sabbioso limosi da bassa a media consistenza;

Zona 2 - Fondovalle fiume Arno, zona Gello Nord, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti prevalentemente argillosi da bassa a media consistenza / argilloso limosi da bassa a media consistenza / argilloso sabbiosi da bassa a media consistenza;

Zona 4 - Fondovalle fiume Arno, zona Santa Lucia, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti prevalentemente argilloso sabbiosi da bassa a media consistenza / argillosi da bassa a media consistenza / argillosi di media consistenza;

Zona 5 - Fondovalle fiume Arno, zona La Borra, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti prevalentemente argillosi e sabbiosi da bassa a media consistenza;

Zona 6 - Fondovalle fiume Arno, zona Chiesino Collodi, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti prevalentemente argilloso sabbiosi di bassa consistenza / argilloso sabbiosi da bassa a media consistenza;

Zona 7 - Fondovalle fiume Arno, zona Pontedera Ovest, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti prevalentemente argillosi di media consistenza / argilloso sabbiosi da bassa

a media consistenza / argillosi da bassa a media consistenza / argilloso limosi e sabbioso limosi da bassa a media consistenza / argilloso limosi da bassa a media consistenza;

Zona 8 - Fondovalle fiume Arno, zona Pontedera Nord Est, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti prevalentemente argillosi di bassa consistenza / argilloso sabbiosi da bassa a media consistenza / argilloso limosi di bassa consistenza / argillosi e limosi di media consistenza / argilloso limosi da bassa a media consistenza / argillosi e sabbiosi di media consistenza / argillosi e limosi di media consistenza / argillosi di media consistenza;

Zona 9 - Fondovalle fiume Arno, zona Le Cantine, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti prevalentemente argillosi di media consistenza;

Zona 15 - Incisioni vallive Palaia e zone contermini, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti prevalentemente argilloso sabbiosi da bassa a media consistenza;

Zona 19 - Fascia pedecollinare est fiume Era, zona Forcoli, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti prevalentemente limoso argillosi e sabbiosi di bassa consistenza;

Zona 24 - Rilievi collinari Treggiaia, Unità del Pleistocene, dove sono presenti le Formazione PLEb e PLEe prevalentemente sabbiose e argillose da medio a alto addensamento;

• *le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (prive di un alto contrasto di impedenza sismica):*

Zona 3 - Fondovalle fiume Arno, zona Gello Sud - Lavaiano, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti prevalentemente argilloso limosi da media a alta consistenza / argillosi da media a alta consistenza / limosi e argillosi da media a alta consistenza;

Zona 10 - Fondovalle fiume Arno-Era, zona Il Romito - Tiro a Segno, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti e terrazzati prevalentemente argillosi e ghiaiosi da media a alta consistenza;

Zona 11 - Rilievi collinari La Rotta - Castel del Bosco, Unità del Rusciniense, dove è presente la Formazione VILg prevalentemente argillosa e sabbiosa da media a alta consistenza/addensamento;

Zona 12 - Rilievi collinari La Cava - Bosco di Castagni, Unità del Rusciniense, dove sono presenti le Formazioni VILb e VILg prevalentemente argillose di alta consistenza / argillose da media a alta consistenza;

Zona 13 - Rilievi collinari Montecastello - San Gervasio, Unità del Pleistocene, dove sono presenti le Formazioni PLEb e PLEe prevalentemente sabbiose e argillose di alto addensamento/consistenza;

Zona 18 - Fascia pedecollinare est fiume Era, zona Montanelli - Baccanella, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti prevalentemente sabbiosi e argillosi da bassa a media consistenza;

Zona 21 - Rilievi collinari Montechiari - Montacchita, Unità del Pleistocene, dove sono presenti le Formazioni PLEb e PLEe prevalentemente argillose da medio a alto addensamento;

Zona 22 - Fascia pedecollinare est fiume Era, zona Sant'Andrea, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti prevalentemente sabbioso limosi di medio addensamento;

Zona 23 - Fascia pedecollinare est fiume Era, zona Treggiaia, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti e terrazzati prevalentemente argillosi da media a alta consistenza;

Zona 25 - Fascia pedecollinare ovest fiume Era, zona Capannoli Sud/Nord, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti prevalentemente argillosi di media consistenza / sabbiosi di media consistenza;

Zona 28 - Rilievi collinari San Pietro Belvedere - Unità del Rusciniense, dove sono presenti le Formazioni VILb e VILe prevalentemente limoso argillose da media a alta consistenza;

Zona 29 - Rilievi collinari San Pietro Belvedere - Unità del Pleistocene, dove è presente la Formazione PLEb prevalentemente sabbioso limose da medio a alto addensamento;

• *le zone stabili (substrato sismico ipotizzato):*

Zona 14 - Rilievi collinari Palaia e zone contermini - Unità del Pliocene, dove sono presenti le Formazioni FAA, FAAb, PLIc e PLIs prevalentemente sabbiose e argillose di alto addensamento/consistenza;

Zona 16 - Rilievi collinari Toiano - Unità del Pliocene, dove sono presenti le Formazioni FAAb e PLIs prevalentemente sabbiose e limose di alto addensamento/consistenza;

Zona 17 - Rilievi collinari Montefoscoli - Unità del Pliocene, dove sono presenti le Formazioni FAA, FAAb e PLIs prevalentemente sabbiose e argillose di alto addensamento/consistenza;

Zona 20 - Rilievi collinari Forcoli - Unità del Pliocene, dove sono presenti le Formazioni FAA e PLIs prevalentemente sabbiose e argillose di alto addensamento/consistenza;

Zona 26 - Rilievi collinari Capannoli - Unità del Pliocene, dove sono presenti le Formazioni FAAb e PLIs prevalentemente sabbiose e argillose di alto addensamento/consistenza;

Zona 27 - Rilievi collinari San Pietro Belvedere - Unità del Pliocene, dove sono presenti le Formazioni FAAb e PLIs prevalentemente sabbiose e argillose di alto addensamento/consistenza.

Sono state inoltre indicate sulla tavola MS.04, per ogni livello litostratigrafico rappresentato, le classi di consistenza dei depositi definite come depositi poco addensati o consistenti, depositi mediamente addensati o consistenti, depositi addensati o consistenti; infine sono stati individuati nelle colonne stratigrafiche tipo, i presunti limiti inferiori dei depositi alluvionali Olocenici e di quelli Pleistocenici.

Sulla “Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.)” di tavola MS.06 sono state quindi rappresentate, per le porzioni territoriali analizzate, le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (prive di un alto contrasto di impedenza sismica), le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (con un alto contrasto di impedenza sismica) e le zone suscettibili di instabilità.

In sintesi le zone stabili sono individuate nel substrato sismico ipotizzato dei depositi pliocenici sabbiosi dei rilievi collinari di Palaia, Capannoli e di San Pietro Belvedere; le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (prive di un alto contrasto di impedenza sismica) sono individuate nei rilievi collinari pleistocenici di San Pietro Belvedere, nella fascia pedecollinare di Capannoli ed in quella ad est del fiume Era ed in alcune porzioni della pianura alluvionale meridionale di Pontedera caratterizzate da sedimenti alluvionali da bassa/media consistenza ad alta consistenza; le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (con un alto contrasto di impedenza sismica) sono individuate in corrispondenza dell’abitato di Forcoli, allo sbocco della vallata del botro della Tosola nel fondovalle dell’Era, e nella pianura alluvionale dell’Arno in corrispondenza dell’abitato di Pontedera caratterizzata da sedimenti alluvionali da poca a media consistenza; le zone suscettibili di instabilità sono individuate prevalentemente sui rilievi collinari di Palaia dove sono presenti i corpi di frana sia attivi che quiescenti e le faglie certe o incerte.

Pisa, Novembre 2018

CapoGruppo RTP incaricata
Dott. geol. Fabio Mezzetti