



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



REGIONE
TOSCANA



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Toscana

Comune di Ponsacco



Regione Toscana	Soggetto realizzatore Dott. Geol. Fabio Mezzetti	Data 1 dicembre 2019
--------------------	-----------------------------------------------------	-------------------------

INDICE

1. Introduzione	pag.2
2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento	pag.3
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area	pag.3
4. Dati geotecnici e geofisici	pag.9
5. Modello del sottosuolo	pag.17
6. Interpretazioni e incertezze	pag.19
7. Metodologie di elaborazione e risultati	pag.19
8. Elaborati cartografici	pag.19
8.1. Carta delle Indagini	pag.19
8.2. Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica	pag.20
8.3. Carta delle Frequenze	pag.21
8.4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS–Livello 1)	pag.21
8.5. Commenti finali e criticità	pag.24
9. Confronto con la distribuzione dei danni del passato	pag.24
10. Bibliografia	pag.26
11. Allegati	pag.27

1. Introduzione

Nel presente documento si illustrano gli studi di microzonazione sismica di livello 1 finanziati dal Settore Sismica della Regione Toscana (D.D. n.2230 del 29.01.2018) per il Comune di Ponsacco (PI).

Le aree di indagine per i suddetti studi comprendono quelle relative alle zone interessate dalle vigenti U.T.O.E. della pianificazione urbanistica comunale.

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 una sovrapposizione informatica della Carta Tecnica Regionale al 2.000 e dove non disponibile al 10.000, con una cartografia al 2.000 aggiornata dal Comune di Ponsacco.

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

Sono state condotte campagne geognostiche e sismiche di approfondimento nei mesi di luglio 2016, luglio 2017 e giugno 2018 ed in particolare sono state realizzate:

- n.10 prove penetrometriche statiche CPT;
- n.18 prove sismiche di tipo MASW;
- n.5 prove sismiche di tipo ESAC;
- n.3 prove sismiche di tipo MARW;
- n.1 profilo sismico a rifrazione;
- n.34 misure tromometriche di sismica passiva HVSR.

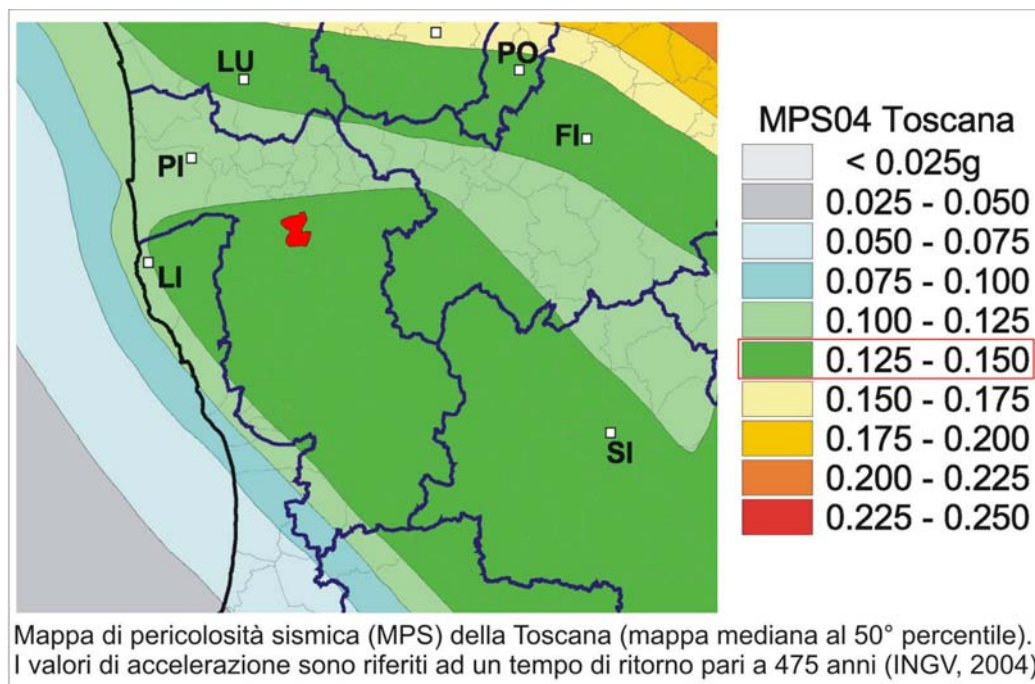
Tutti i dati di sottosuolo (pozzi, sondaggi, prove geognostiche ed indagini geofisiche) disponibili e quelli di nuova acquisizione sono stati oggetto di un'attenta analisi incrociata che correlata alla valutazione locale degli aspetti morfologici, geologici e sismici, ha permesso la costruzione del modello geologico e geofisico dell'area in esame.

Il lavoro si è svolto in più fasi successive partendo dall'acquisizione dei dati geognostici e geofisici esistenti negli archivi regionali, provinciale e comunali, all'esecuzione delle campagne di indagini in siti selezionati per l'acquisizione dei nuovi dati di approfondimento, all'elaborazione dei dati, all'analisi delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e sismiche locali, alla ricostruzione degli andamenti delle coperture e del substrato, alla restituzione cartografica di quanto rilevato ed alla catalogazione ed archiviazione informatica di quanto prodotto.

Gli elaborati sono stati restituiti nel rispetto degli ICMS nazionali e delle specifiche regionali di cui al DGRT n.144 del 23 febbraio 2015, Standard MS-04-0b.

2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

Nella classificazione sismica della Regione Toscana (DGRT n.421 del 26/05/2014) il territorio comunale di Ponsacco si colloca 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 (a Ponsacco la scossa causò danni alla volta di una chiesa); di altri terremoti di intensità minore (V° - VI° grado) si ha notizia tra il Dicembre 1896 ed il Luglio 1897 con epicentro Pontedera. Il 27 Ottobre 1914 un evento avvenuto a forte profondità e con risentimento su un'area molto vasta provocò alcuni danni agli edifici, ma il terremoto più avvertito fu quello del 7 Settembre 1920 dove a Ponsacco causò lievi danni alle abitazioni, alla chiesa e alla canonica (a Calcinaia si contò un morto e quattro feriti e danni, oltre che ad alcune abitazioni, alla chiesa ed al municipio). 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. Non si hanno notizie di effetti particolari sul territorio di Ponsacco.

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Inquadramento geografico geologico e strutturale

La superficie territoriale del Comune di Ponsacco è di circa 20 kmq confinante a nord con il Comune di Pontedera, a sud-est con quello di Capannoli ed a sud-ovest con quello di Casciana Terme Lari.

Pur avendo un'estensione non molto elevata, il territorio comunale si caratterizza per tutta una serie di elementi geologici, morfologici ed idrogeologici che lo identificano come una realtà di tipo intermedio tra quella collinare vera e propria, che predomina più a sud e ad est, a quella di pianura vasta, che prevale invece più a nord e ad ovest. Nel primo settore sono presenti due propaggini collinari che delimitano i due lati della valle del Cascina; le porzioni collinari, circa 4 kmq, costituiscono il 20% dell'intero territorio comunale e le sue quote crescono in direzione sud fino a massimi di 70/80 metri s.l.m.. Nel secondo settore invece prevale l'assetto pianeggiante con quote di circa 20 metri s.l.m..

La posizione geografica di Ponsacco assume un'importanza particolare in quanto questo comune viene a collocarsi all'imbocco di due principali sistemi vallivi e fluviali che confluiscono nella pianura alluvionale in sinistra del fiume Arno, ovvero quelli dei fiumi Era e Cascina. I tratti finali delle due valli di Era e Cascina convergono sul capoluogo stesso il quale viene così a collocarsi sul limite ideale tra i depositi alluvionali di questi due fiumi e quelli ben più estesi dell'Arno, il quale aveva qui uno dei suoi numerosi rami secondari ma che attualmente corre molto più a nord.

La valle del fiume Era drena un bacino di sprofondamento tettonico neogenico ad asse appenninico (NW-SE) posto ad occidente della Dorsale Medio Toscana; questa è rappresentata dai rilievi con affioranti rocce triassiche e pre-triassiche che dal Monte Pisano si prolungano nei nuclei di Iano, della Montagnola Senese, di Monticano fino a quelli del Grossetano (Giannini et al., 1971); nell'insieme la dorsale descrive un arco a concavità occidentale, interno e parallelo a quello dell'attuale crinale dell'Appennino Settentrionale.

La Dorsale Medio Toscana è stata raggiunta e quasi completamente scavalcata dal mare pliocenico la cui trasgressione è avvenuta in un passaggio caratterizzato, nella Toscana occidentale, da accentuati sbalzi morfologici determinati dallo sviluppo della tettonica di distensione; questa è avvenuta in due fasi (Bertini et al., 1991): una prima compresa tra il Miocene medio e il Tortoniano superiore sviluppatasi in corrispondenza delle coperture (successioni toscane, liguri e sub-liguri) con un sistema di faglie dirette, una seconda compresa tra il Tortoniano superiore e il Pliocene medio (fino al Pleistocene inferiore in limitati settori geografici) che ha sviluppato le fosse tettoniche con prevalenti rigetti verticali.

Il quadro paleogeografico di questa parte della Toscana occidentale vedeva una successione di dorsali, a concavità occidentale, nella progressione da ovest: Meloria - Secche di Vada - Peritirrenica - Medio Toscana delineatesi nella prima fase distensiva di grande estensione alle quali si alternavano, in parte intersecandole, i bacini di sprofondamento tettonico a prevalente sviluppo verticale delineatisi a partire dall'inizio della seconda fase distensiva (Bossio et al., 1992).

Durante il Messiniano superiore l'isolamento del Mediterraneo aveva determinato una crisi di salinità per cui i bacini di sprofondamento tettonico della Toscana occidentale andarono a secco e/o furono sommersi dai depositi paralici definiti come di "lago-mare". Col riattivarsi delle comunicazioni tra Atlantico e Mediterraneo si sviluppò l'ingressione marina del Pliocene iniziale, al fondo dei bacini tettonici della Toscana occidentale, con la sostituzione delle acque della facies di lago-mare con acque marine di ambiente profondo realizzando la trasgressione "acqua su acqua" oppure, nelle aree rimaste all'asciutto nelle fasi del miocene terminale, sviluppando una rapida trasgressione diacrona.

In sintesi fino al Miocene inferiore (12 milioni di anni fa) il territorio della Valdera è stato caratterizzato dalla presenza di un mare nel quale, a partire dal Trias (età di apertura di tale mare) avvenne la deposizione di una serie di sedimenti carbonatici di mare aperto (da basso a mediamente profondo) fino ai sedimenti silicei (calcari selciferi e diaspri rispettivamente del Lias e del Malm) in corrispondenza del massimo grado di approfondimento del mare, per tornare poi a sedimenti carbonatici di mare sempre più basso; è possibile quindi ripercorrere le varie fasi, di apertura prima e di successivo approfondimento poi di tale mare.

Risale quindi al Miocene medio, una prima fase di compressione e conseguente corrugamento della crosta terrestre, che per quanto riguarda la zona in esame ha sollevato tre dorsali, che rimangono ancora separate dal mare ed allineate in direzione Nord-Sud. Dette dorsali vengono distinte nel complesso dei Monti Livornesi ad Ovest, complesso di Chianni/Casciana Terme al centro, e complesso di Iano/Montaione ad Est.

Nel Miocene superiore (7 milioni di anni fa), una successiva fase di distensione, e quindi di abbassamento del livello marino, ha dato origine a due fosse tettoniche (Era/Sterza/Cascina ad Ovest e Fine/Tora ad Est) nelle quali cominciano a delinearsi le strutture delle valli dei fiumi di cui sopra.

Nel Pliocene inferiore e medio si è avuto un innalzamento del livello del mare e quindi una sua ingressione nelle valli; in tale fase avvenne la deposizione di notevoli spessori di argille, sabbie argillose e sabbie; restano emerse soltanto le isole di Iano, Montecatini Val di Cecina, Orciatice e Rosignano.

Nel Pliocene medio, una nuova fase di sollevamento ha determinato il ritiro del mare verso Sud e verso Ovest e quindi dal fondo delle valli sono emerse le argille e le sabbie marine che sono state in parte sottoposte ad erosione.

Nel Pleistocene inferiore una nuova fase distensiva con conseguente ingressione marina, che per effetto del sollevamento precedente interessa un'area meno vasta rispetto a quella del Pliocene, ha dato origine nell'area in esame alla deposizione di sabbie argillose e sabbie.

Infine, nel Pleistocene inferiore, una fase "epirogenetica" (lento sollevamento) ha interessato l'intera area meridionale delle Colline Pisane determinando l'innalzamento delle formazioni plioceniche e pleistoceniche; inoltre dalla dorsale di Casciana Terme si sono creati due distinti sistemi idrografici, diretti uno verso Est e l'altro verso Ovest, che hanno dato origine rispettivamente ai fiumi Era/Sterza/Cascina (ad Ovest) e Tora/Fine (ad Est). Le aree più a Sud, interessate dal massimo sollevamento, sono state maggiormente denudate fino alla messa a giorno delle argille plioceniche.

Caratteristiche geologiche e stratigrafiche

Nell'ambito del presente studio è stato eseguito un lavoro di aggiornamento degli aspetti geologici inerenti le "unità litostratigrafiche" affioranti sul territorio comunale di Ponsacco, attraverso una sovrapposizione degli elementi esistenti e costituenti il quadro conoscitivo di supporto al vigente Piano Strutturale comunale con quelli di nuova acquisizione; tali nuovi elementi sono riferibili essenzialmente al Progetto CARG ed alla carta geologica di base al 10.000 della Regione Toscana.

A seguito dell'evoluzione sopra descritta, all'interno del territorio di Ponsacco venivano individuati nella cartografia redatta nel 2003 per il P.S., quattro livelli geologici la cui età aumenta procedendo da Nord verso Sud e precisamente le sabbie e limi di Vicarello del Pleistocene superiore, i conglomerati, sabbie e limi di Casa Poggio ai Lecci del Pleistocene medio, le sabbie ed argille ad Arctica del Pleistocene inferiore e le sabbie del Pliocene inferiore-medio.

Nell'aggiornamento di tale elaborato abbiamo recepito le definizioni delle unità geologiche contenute nel progetto CARG e le perimetrazioni rappresentate nel database geologico della Regione Toscana disponibile sul geoportale GEOscopio, che è lo strumento webgis con cui è possibile visualizzare ed interrogare i dati geografici regionali.

Riportiamo di seguito le unità geologiche affioranti nel territorio comunale partendo da quelle più recenti:

- Depositi alluvionali recenti - Olocene : sono costituiti in prevalenza da limi, argille ed argille limose ed in subordine da sabbie, sabbie limose e ghiaie; di origine fluviale occupano i fondovalle di Era e Cascina e l'intero settore nord ricompreso nella pianura dell'Arno rappresentando circa l'80% dei terreni presenti sul territorio comunale. Nei tre bacini suddetti la distribuzione di questi depositi è diversa, sia in senso areale che in verticale, avendosi spessori crescenti tra le valli del Cascina e dell'Era e la pianura dell'Arno dove predominano i materiali più fini (limi ed argille) con le ghiaie distribuite a varie profondità.
- Depositi alluvionali terrazzati - Olocene : sono costituiti da sedimenti a granulometria mista con litologie prevalenti di tipo limoso e sabbioso; si tratta di depositi alluvionali, di origine fluviale, reinciati in terrazzamenti dei primi ordini presenti nella fascia pedecollinare del Cascina e dell'Era.
- Depositi alluvionali terrazzati - Pleistocene medio/Pleistocene superiore : sono i terrazzamenti dei secondi ordini costituiti anch'essi da sedimenti a granulometria mista con litologie prevalenti di tipo sabbioso; si rinvencono prevalentemente nella valle dell'Era e nella frazione di Val di Cava sebbene la loro estensione non sia così ampia; i ciottoli che vi si rinvencono sono in prevalenza di calcari, scarsi gli elementi di diaspro ed ofioliti.

- Sabbie e conglomerati - Rusciniano/Villafranchiano : sono sabbie debolmente limose con presenza di letti e livelli conglomeratici poligenici; l'origine è continentale e sono presenti alla base dei rilievi collinari di Camugliano e dei Poggini.

- Sabbie, sabbie ciottolose e sabbie siltoso-arenacee e limi sabbiosi - Rusciniano/Villafranchiano : sono depositi di origine continentale ed ambiente di sedimentazione di esondazione fluviale; sono presenti in affioramenti poco estesi nella porzione più a nord delle propaggini collinari di Camugliano e dei Poggini.

- Conglomerati e ciottolami poligenici - Rusciniano/Villafranchiano : sono costituiti da ciottoli di quarziti bianche, rosa, violette e verdi, conglomerati quarziferi e calcari di provenienza, in prevalenza, dal Monte Pisano e dalla Garfagnana; l'origine è fluviale e sono diffusi sia nella zona collinare dei Poggini che di Camugliano.

- Sabbie e arenarie gialle - Zancleano/Piacenziano : si tratta di sabbie fini di deposito marino suddivise in grossi banchi intercalate da strati a granulometria più grossolana di arenaria spesso cementata; sono ricche di macrofossili (Pettinidi, Ostreidi, Balanidi) che denotano un ambiente litorale e di spiaggia; sono maggiormente presenti nella zona collinare di Camugliano.

La ricostruzione delle sezioni geologiche nel presente studio sono un aggiornamento delle sezioni presenti sia nel quadro conoscitivo del P.S. comunale che nel progetto CARG regionale; in sintesi l'andamento geologico schematico del sottosuolo di Ponsacco, nella sezione che si estende da sud est a nord ovest, mette in evidenza i sedimenti alluvionali recenti del fondovalle sovrastare i depositi pleistocenici prevalentemente sabbiosi che costituiscono i rilievi collinari contermini; nella sezione che si estende da sud est a nord ovest, viene evidenziato lo spessore delle alluvioni del fondovalle dell'Era e del Cascina, soprastanti le unità pleistoceniche, stimato intorno ai 30 metri.

I vari tipi di terreno affioranti sul territorio di Ponsacco possono essere raggruppati in "unità litotecniche", secondo parametri che consentano di delimitare i litotipi che possono presentare caratteristiche tecniche comuni. In sostanza sono stati distinti in base alle loro caratteristiche fisico meccaniche, indipendentemente dalla loro collocazione geometrica, 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.

Sono state così individuate cinque unità litotecniche, come di seguito descritte:

- Unità 1 : formazioni semicoerenti conglomeratiche (VILa - VILe); comprendono terreni a granulometria più grossolana.

- Unità 2 : formazioni incoerenti sabbiose (bnat - PLIs); comprendono litotipi prevalentemente sabbiosi.

- Unità 3 : formazioni pseudocoerenti argilloso sabbiose (bna - bnb); sono le più diffuse costituendo il fondovalle alluvionale.

- Unità 4 : formazioni semicoerenti sabbioso limose (VILb); sono le meno diffuse e limitate a due aree alla base dei rilievi collinari meridionali.

- Unità 5 : accumulo di materiale rimaneggiato (discariche, detrito di versante, frane, ex cavi); identifica tutte quelle situazioni caratterizzate da potenziali fenomeni di instabilità morfologica identificate quali le aree interessate da processi di dissesto attivo o quiescente, accumulo di materiale rimaneggiato, laghi.

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.

Caratteristiche geomorfologiche

Da un punto di vista morfologico il territorio di Ponsacco si distingue per la sua prevalente configurazione di fondovalle alluvionale relativo ai sistemi fluviali dell'Arno, del Cascina e dell'Era con una minore porzione meridionale dove sono presenti due propaggini collinari denominate dei Poggini e di Camugliano.

La porzione pianeggiante più vicina all'Arno degrada da nord est (loc. la Borra) a sud ovest (loc. le Melorie) da quote altimetriche di 19 a 16 metri s.l.m., il fondovalle dell'Era degrada dal confine sud al confine nord da quote di 29 a 19 metri s.l.m., mentre il fondovalle del Cascina degrada dal confine sud alla sua immissione nell'Era da quote di 27 a 20 metri s.l.m.. I rilievi collinari dei Poggini e di Camugliano si elevano al massimo a circa 80 metri s.l.m. con delle pendenze piuttosto dolci e data la netta prevalenza delle sabbie e dei limi sui livelli argillosi, il fenomeno delle frane nelle zone collinari è da ritenersi nel complesso piuttosto contenuto, specie se confrontato con l'incidenza che esso ha in comuni limitrofi posti più a sud (come Palaia e Peccioli) dove si ha maggiore acclività e prevalgono le argille azzurre plioceniche.

I terrazzi fluviali di queste propaggini 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 sepolti, testimoniando le divagazioni subite nel tempo dai corsi d'acqua, aree interessate da opere idrauliche come argini e canali e specchi d'acqua artificiali provenienti dalle attività estrattive.

Nelle porzioni collinari sono presenti orli dei terrazzi, depositi di versante, corpi di frana ed aree soggette a possibili fenomeni di soliflusso.

Gli elementi geomorfologici presenti possono essere, in sintesi, riassunti come di seguito:

FORME PROCESSI E DEPOSITI GRAVITATIVI DI VERSANTE

- Depositi di versante : sono accumuli lungo i versanti di frammenti litoidi, eterometrici, con matrice sabbiosa o sabbioso limosa derivanti dall'alterazione e dalla rideposizione dei materiali affioranti sulle porzioni più elevate dei rilievi; si rinvencono a nord ovest della località C. Castellaccia nella zona collinare di Camugliano.

- Soliflusso : fenomeno di fluidificazione del suolo superficiale costituito da sedimenti più fini per imbibizione con lento movimento discendente; sono presenti nelle due propaggini collinari meridionali ed in particolare sul fianco acclive in destra idrografica dell'incisione valliva del rio Zanoncino e sulla porzione di versante con pendenza più accentuata in sinistra idrografica del botro del Marchesato.

- Corpo di frana attivo (di scorrimento lento o rapido) : movimento gravitazionale caratterizzato da deformazione di taglio e spostamento lungo una o più imprecise 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; sono presenti solo due di queste frane attive nella propaggine collinare dei Poggini a sud della località Santa Maria di Spazzavento.

- Corpo di frana 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; sono presenti solo quattro di queste frane di cui una nella propaggine collinare dei Poggini nella zona di Villa Castagnicci e tre in quella di Camugliano nella zona a sud di C. Castellaccia e ad est della Villa di Camugliano.

- Corpo di frana stato di attività indeterminato : movimento gravitazionale di difficile o complessa identificazione tipologica con un indeterminato stato di attività; sono presenti due di queste frane nella zona di Poggio San Giorgio nella propaggine collinare dei Poggini.

- Corpo di frana quiescente (di scorrimento lento o rapido) : questa tipologia di frana è la più presente sul territorio collinare di Ponsacco si rinviene sui versanti in destra idrografica dell'incisione valliva del rio Zanoncino e su quelli ad est e ad ovest di C. Castellaccia.

- Corpo di frana quiescente (di crollo) : consiste nel distacco improvviso di masse di terreno da pareti particolarmente acclivi dove nel movimento iniziale prevale la componente verticale; sono presenti solo due di questi tipi di frane sul versante in destra idrografica dell'incisione valliva del rio Zanoncino nella propaggine collinare sud ovest dei Poggini.

FORME PROCESSI E DEPOSITI PER ACQUE CORRENTI SUPERFICIALI

- Paleoalvei e paleomeandri : nella porzione di pianura alluvionale sono individuati numerosi tratti di alvei fluviali sepolti, testimonianza del divagare nel tempo dei tre corsi d'acqua principali ovvero Arno, Cascina ed Era.

- Orlo 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; sono presenti in entrambe le propaggini collinari dei Poggini e di Camugliano.

- 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; di questo fenomeno è presente un solo caso in località La Cava lungo la S.P. delle Colline per Legoli.

FORME PROCESSI E DEPOSITI ANTROPICI

- Discariche : è individuata l'area interessata da una discarica di residui della lavorazione del marmo presente nella porzione meridionale di fondovalle del Cascina, nei pressi di un suo tratto arginato in sinistra idrografica.

- Cavi ricolmi o parzialmente ricolmi : sono individuati i tre perimetri delle aree di escavazione di sabbia presenti nel fondovalle alluvionale che sono state interessate da totale o parziale riempimento.

- Lago irriguo : sono evidenziati alcuni piccoli specchi d'acqua o invasi artificiali utilizzati per scopi irrigui in ambito agricolo presenti sia nel fondovalle alluvionale che sulle propaggini collinari del territorio comunale.

- Lago derivato da attività estrattiva : sono individuati i laghetti formati a seguito dell'attività di escavazione nel fondovalle alluvionale sia dell'Era che del Cascina compreso quello all'interno del parco urbano nella porzione nord dell'abitato di Ponsacco.

- 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 specie nella porzione occidentale del territorio comunale in località Le Melorie e nella zona produttiva.

- Argini fluviali : sono evidenziate le arginature artificiali realizzate a margine dei corsi d'acqua principali dell'Era e del Cascina.

Per quanto riguarda gli aspetti geomorfologici riportiamo alcune considerazioni già contenute nell'attuale quadro conoscitivo comunale inerenti i processi di modellamento della porzione di pianura alluvionale interessata dall'abitato di Ponsacco. I contributi maggiori alla formazione della stessa sono stati quelli dei fiumi Era e Cascina, i quali hanno subito nel tempo delle modifiche significative dei loro tracciati sia per cause naturali che per interventi dell'uomo; di tali cambiamenti restano tracce evidenti oltre che nella morfologia anche nella disposizione e nell'orientamento dei campi coltivati che vengono di volta in volta ricavati nelle aree abbandonate dai corsi d'acqua. Dalla posizione di queste ultime (paleomeandri e paleolvei), si può supporre che l'intero sistema Era-Cascina si sia progressivamente spostato da Ovest verso Est, man mano che il dislivello tra l'imbocco delle rispettive valli e l'asta dell'Arno veniva ad annullarsi in virtù degli apporti alluvionali che andavano a costituire la pianura.

Nei loro tratti terminali i due fiumi suddetti sono passati da una fase semitorrentizia ad una più matura con andamento tortuoso: l'Era ha mantenuto questa caratteristica che si è invece modificata nel Cascina per le rettifiche su di esso operate dall'uomo. Fonti storiche indicano che nel Medioevo il percorso originario di quest'ultimo fiume non sboccava come ora nell'Era ma, con un diverso tracciato riconoscibile nella parte iniziale dell'attuale Fosso Rotina, sboccava in Arno ad Ovest di Cascina da cui prendeva il nome.

Per i motivi esposti in precedenza, nel suo ultimo tratto il Fiume Cascina aveva uno sgrondo difficoltoso e produceva, nell'area compresa tra Ponsacco e Pontedera, vaste aree paludose alternate a zone boschive. Per ovviare a tale degrado, agli inizi del XII secolo si procedette ad una doppia operazione: la derivazione del Cascina nell'Era, rettificandolo esattamente in direzione Nord, e la costruzione della Fossa Nuova con inizio immediatamente a Sud di Ponsacco e con direzione NordOvest-Ovest. Detta fossa, di cui si ha notizia fino dal 1173, aveva lo scopo di drenare le acque stagnanti presenti nelle zone sopra dette e di riversarle nell'ampio padule che si estendeva a NE di Coltano.

Per tali motivi l'assetto generale di tale settore di pianura è da considerarsi fondamentalmente stabile dal punto di vista morfologico; le modifiche più rilevanti sono state operate dall'uomo specie nel corso degli ultimi decenni con l'espansione urbanistica che ha generato, ad esempio, innalzamenti del piano di campagna tramite riporti di spessore variabile con conseguente alterazione della rete di scolo delle acque superficiali.

4. Dati geotecnici e geofisici

Dati geotecnici

La caratterizzazione litologico tecnica e stratigrafica dei terreni che costituiscono il sottosuolo del territorio comunale di Ponsacco è stata operata sulla base dei numerosi dati acquisiti, soprattutto negli archivi tecnici comunali, relativi a "prove geotecniche in situ", ma anche attingendo dalle banche dati regionali e provinciali nonché da quelle del LAMMA e dell'ISPRA. In particolare si tratta di dati relativi 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.

Complessivamente è stata costituita una banca dati comunale costituita da quasi ottocento dati geotecnici puntuali distinti come di seguito:

- circa n.30 sondaggi geognostici;

- circa n.100 prove penetrometriche dinamiche;
- circa n.600 prove penetrometriche statiche;
- circa n.50 pozzi per acqua a stratigrafia nota.

Per quanto riguarda l'inserimento dei dati nel software di archiviazione SoftMS facciamo presente che per la ricostruzione del modello del sottosuolo sono state selezionate ed inserite come dato puntuale n.22 successioni stratigrafiche relative a sondaggi eseguiti per la realizzazione di pozzi per acqua.

Dati geofisici

Anche in questo caso si è attinto dalle banche dati esistenti con prevalenza delle informazioni acquisite presso gli archivi tecnici comunali ed in aggiunta a questi, negli ultimi due anni, sono state condotte delle campagne di indagini soprattutto di tipo sismico e geofisico, al fine di approfondire il quadro conoscitivo di questi aspetti per finalità di tipo urbanistico, comprendendo anche i presenti studi di microzonazione sismica di livello 1 finanziati dalla Regione Toscana.

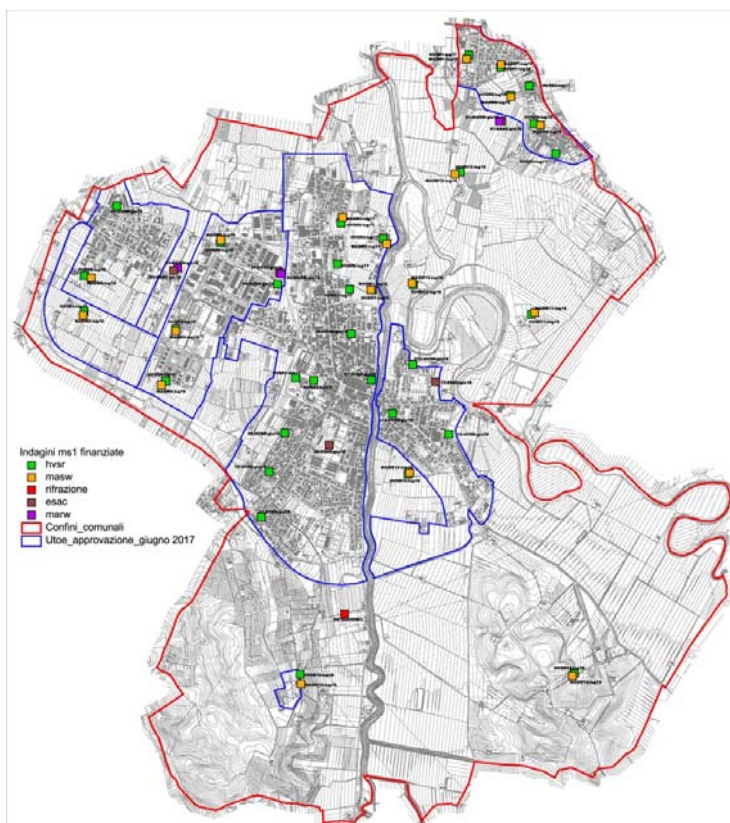
Complessivamente è stata costituita una banca dati comunale costituita da quasi duecento dati geofisici e sismici puntuali distinti come di seguito:

- circa n.80 misure hvsr di sismica passiva;
- circa n.80 stendimenti sismici di tipo masw;
- circa n.10 linee di sismica a rifrazione;
- circa n.5 stendimenti sismici di tipo esac;
- circa n.3 stendimenti sismici di tipo marw.

Per quanto riguarda l'inserimento dei dati nel software di archiviazione SoftMS sono state inserite tutte le indagini geofisiche finanziate ovvero n.34 misure hvsr come dato puntuale e come dato lineare n.18 masw, n.5 esac, n.3 marw, n.1 rifrazione.

Campagne di indagini geofisiche

Riportiamo di seguito l'ubicazione delle indagini geofisiche finanziate dalla Regione Toscana per gli studi di MS1.



Le campagne di indagini si sono svolte nel periodo estivo dell'anno 2016, 2017 e 2018 con misurazioni affidate alle ditte specializzate in servizi geofisici Petra snc di Livorno e Geo-Energizers snc di Cascina sotto la sorveglianza del sottoscritto. Al termine delle indagini le ditte hanno restituito relazione descrittiva 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 stata inoltrata al Settore Sismica della Regione Toscana nella prima fase di consegna degli studi di MS1. Di seguito esponiamo in sintesi quanto ottenuto:

• *Campagna di indagini anno 2016*

In ogni area individuata sono state eseguite prospezioni masw ed acquisizioni in sismica passiva hvsr; per ogni stazione di misura è stata redatta una scheda che illustra la posizione di dettaglio da cartografia e da documentazione fotografica, con le caratteristiche descrittive di ciascun sito di indagine.

Per le prospezioni masw è stata impiegata un'attrezzatura *Ambrogeo "Echo 12-24/2002 Sismic Unit"* da 24 canali, il software di acquisizione dati è *"Echo 12-24 vers. 7.00"*, l'attrezzatura è stata completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spaziatati a 2 m, con connettori *cannon*, montati su rullo, geofoni *"Geospace"* a 4,5 Hz, cannoncino per cartucce industriali, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, geofono starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo. Per la realizzazione dei profili sono stati impiegati n.24 geofoni spaziatati di 2 m utilizzando solo la mazza battente per gli shots a distanza di 4 e 8 m dalla linea geofonica (tempo di acquisizione 1.000 ms).

Le misurazioni sono state elaborate con il software *winMasw* ed il parametro V_{s30} è stato calcolato utilizzando una media ponderata dei valori di velocità delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità con l'espressione seguente:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

I risultati ottenuti sono riassunti nella seguente tabella:

n.indagine	postazione	V_{s30} (m/s)	n.indagine	postazione	V_{s30} (m/s)
1	1	191	11	11	188
2	2	246	12	12	245
3	3	198	13	13	196
4	4	241	14	14	305
5	5	197	15	15	328
6	6	238			
7	7	200			
8	8	154			
9	9	224			
10	10	225			

Per le prospezioni in sismica passiva è stato impiegato uno strumento *TROMINO®* della *Micromed Geophysics*, le misurazioni a stazione singola sono state effettuate con durata dell'acquisizione pari a 20', suddivisione dell'acquisizione stessa in "finestre" temporali di 20" e frequenza di campionamento pari a 128 Hz. Lo strumento è stato orientato verso Nord così che l'intero set delle misure è stato iso-orientato evitando di non ubicare le stazioni di misura in prossimità di fonti di rumore tali da ostacolare e/o obliterare una corretta acquisizione dei segnali.

I risultati ottenuti sono riassunti nella seguente tabella:

n.indagine	postazione	picco basse f.	H/V	picco alte f.	H/V
411	1	1.84	3.7	-	-
412	2	-	-	-	-
413	3	-	-	-	-
414	4	-	-	-	-

415	5	1.84	2.6	-	-
416	6	-	-	-	-
417	7	1.88	2.8	-	-
418	8	1.84	5.4	-	-
419	9	-	-	12.28	2.6
420	10	-	-	-	-
421	11	1.13	2.9	-	-
422	12	-	-	-	-
423	13	1.06	2.9	-	-
424	14	-	-	-	-
425	15	-	-	-	-

le osservazioni sui risultati sono:

- 411 - picco con significato stratigrafico a 1.84 Hz (H/V=3.7).
- 412 - assenza di picchi H/V significativi, se non alle altissime frequenze, senza significato litostratigrafico.
- 413 - assenza di picchi H/V significativi dal punto di vista litostratigrafico; un leggero picco di bassa entità e poco pronunciato a poco più di 1 Hz, e picchi non ben definiti tra i 20 ed i 35 Hz circa.
- 414 - assenza di picchi H/V significativi.
- 415 - picco (non netto) con significato stratigrafico a 1.84 Hz (H/V=2.6).
- 416 - assenza di picchi H/V significativi, se non alle altissime frequenze, senza significato litostratigrafico.
- 417 - picco con significato stratigrafico a 1.88 Hz (H/V=2.8).
- 418 - picco molto netto con significato stratigrafico a 1.84 Hz (H/V=5.4).
- 419 - picco non netto e poco intenso, con significato stratigrafico, ad alte frequenze (12.28 Hz -H/V=2.6).
- 420 - assenza di picchi H/V significativi, se non alle altissime frequenze, senza significato litostratigrafico.
- 421 - picco con significato stratigrafico a 1.13 Hz (H/V=2.9).
- 422 - assenza di picchi H/V significativi, se non alle altissime frequenze, senza significato litostratigrafico.
- 423 - picco non netto con significato stratigrafico a 1.06 Hz (H/V=2.9).
- 424 - assoluta assenza di picchi di H/V.
- 425 - assoluta assenza di picchi di H/V.

• *Campagna di indagini anno 2017*

Anche per questa campagna di indagini valgono le considerazioni tecniche sulle strumentazioni impiegate e sulla metodologia adottata descritte in precedenza, dato che la ditta esecutrice delle prospezioni è stata la stessa (Petra snc).

I risultati ottenuti delle prospezioni masw sono riassunti nella seguente tabella:

n.indagine	postazione	Vs ₃₀ (m/s)	n.indagine	postazione	Vs ₃₀ (m/s)
16	1	246			
17	2	202			
18	3	210			

I risultati ottenuti delle prospezioni in sismica passiva sono riassunti nella seguente tabella:

n.indagine	postazione	picco basse f.	H/V	picco alte f.	H/V
433	PSS1	-	-	39.97	4.5
434	PSS2	0.69	2.9	-	-
426	1	0.48	1.9		
426	1	1.88	2.4		
427	2	0.43	2.2	45	>8
427	2	1.66	2.6		
428	3	0.44	2.4		
428	3	1.90	2.4		
429	4	1.16	3.3		
429	4	0.45	2.7		
430	5	0.38	3.4		
430	5	1.20	3.1		

431	6	0.38	3.0		
431	6	1.20	3.0		
432	7	0.38	3.2		
432	7	1.8	3.0		

- 426 - picco (non netto) a 0.48 Hz ($H/V=1.9$) ed a 1.88 Hz ($H/V=2.4$) con significato stratigrafico.
- 427 - picco (non netto) a 0.43 Hz ($H/V=2.2$) ed a 1.66 Hz ($H/V=2.6$) con significato stratigrafico, picco ad alte frequenze (circa 45 Hz - $H/V>8$) senza significato stratigrafico.
- 428 - picco (non netto) a 0.44 Hz ($H/V=2.4$) ed a 1.90 Hz ($H/V=2.4$) con significato stratigrafico.
- 429 - picco a basse frequenze a 0.45 Hz ($H/V=2.7$) con significato stratigrafico; altro picco a frequenze maggiori a 1.16 Hz con $H/V=3.3$.
- 430 - picco a basse frequenze a 0.38 Hz ($H/V=3.4$) con significato stratigrafico; altro picco a frequenze maggiori tra 1.1 e 1.35 Hz con $H/V=3.1$.
- 431 - picco a basse frequenze a 0.38 Hz ($H/V=3.0$) con significato stratigrafico; altro picco a frequenze maggiori tra 1.1 e 1.35 Hz con H/V inferiore a 3.0.
- 432 - picco a basse frequenze a 0.38 Hz ($H/V=3.2$) con significato stratigrafico; altro picco a frequenze maggiori tra 1.66 e 1.9 Hz con H/V inferiore a 3.0.
- 433 - picco ad alte frequenze (39.97 Hz - $H/V=4.5$) senza significato litostratigrafico.
- 434 - picco (non netto) a 0.69 Hz ($H/V=2.9$) con significato stratigrafico.

• *Campagna di indagini anno 2018*

Sono state eseguite dalla ditta Geo-Energizers snc di Cascina acquisizioni in sismica passiva hvsr, prospezioni esac/masw e misure di sismica attiva con tecnica marw ed a rifrazione; per ogni misurazione è stata redatta apposita scheda e documentazione cartografia e fotografica.

Per le prospezioni esac/masw è stato impiegato un sismografo "Sara Do.Re.Mi." da 24 canali, il software di acquisizione dati è "WinMASW Academy (Dal Moro 2018)", l'attrezzatura è stata completata da 2 cavi sismici, geofoni vert. e orizz. a 4,5 Hz, mazza di battuta da 10 Kg con traversina.

Per la realizzazione dei profili sono stati utilizzati array 2D a forma di L costituiti da n.24 geofoni verticali da 4,5 Hz disposti, con spaziatura variabile da 3 a 5 m (passo di campionamento 0,5 ms e lunghezza di registrazione 30 s).

La tecnica sfrutta, attraverso una geometria di distribuzione bidimensionale dei sensori sul terreno, il principio dell'antenna sismica (array) per l'analisi dei rapporti di fase dei treni d'onda che l'attraversano e quindi per la determinazione delle velocità di propagazione V_s .

Poiché i microtremiti ambientali, proprio a causa della eterogeneità delle sorgenti che li producono, generano segnali che si propagano nel terreno sotto forma di onde piane, caratterizzate da casualità nella distribuzione spazio-temporale, la conformazione 2D dell'array geofonico esac si dimostra efficace sia in termini di indipendenza dei risultati dall'azimut dei segnali sia per l'attendibilità dei valori derivati di V_s .

Nelle seguenti tabelle sono rappresentate le profondità e le velocità di percorrenza delle onde sismiche di taglio nei domini litologici investigati con le prospezioni esac/masw:

indagine n.1 - postazione 01			indagine n.2 - postazione 03		
Sismostrato	Vint (m/s)	Profondità (m)	Sismostrato	Vint (m/s)	Profondità (m)
1	172	6.3	1	195	6.4
2	257	13.9	2	214	9.8
3	301	17.5	3	183	12.7
4	370	22.3	4	307	20.8
5	480	29.8	5	320	26.4
6	580	40.0	6	470	50.0

indagine n.3 - postazione 05

Sismostrato	Vint (m/s)	Profondità (m)
1	190	3.1
2	172	6.4
3	244	12.3
4	195	20.1
5	258	25.1
6	248	28.5
7	477	40.0

indagine n.4 - postazione 08

Sismostrato	Vint (m/s)	Profondità (m)
1	160	6.6
2	166	9.1
3	246	16.1
4	251	19.1
5	151	24.1
6	326	26.6
7	430	50.0

indagine n.5 - postazione 13

Sismostrato	Vint (m/s)	Profondità (m)
1	142	3.0
2	171	10.5
3	231	16.5
4	231	23.5
5	248	30.5
6	202	33.6
7	391	40.0

Per le prospezioni in sismica passiva hvsr, il cui scopo è l'individuazione attraverso il rapporto spettrale H/V delle discontinuità sismiche nel sottosuolo e la ricerca dell'eventuale bedrock geofisico, è stato impiegato un tromometro digitale modello PF S SR04 GBX-45-NNG a 3 canali con capacità di registrazione a 24 bit. Le misurazioni a stazione singola sono state effettuate con durata dell'acquisizione pari a 20', suddivisione dell'acquisizione stessa in "finestre" temporali comprese tra 10-20" e frequenza di campionamento pari a 300 Hz. Lo strumento è stato orientato verso Nord così che l'intero set delle misure è stato iso-orientato evitando di non ubicare le stazioni di misura in prossimità di fonti di rumore tali da ostacolare e/o obliterare una corretta acquisizione dei segnali.

I risultati ottenuti dalle registrazioni hvsr sono riassunti nella seguente tabella:

n.indagine	postazione	picco basse f.	H/V	picco alte f.	H/V
1	02	0.348	4.794	-	-
2	04	0.295	4.910	-	-
3	06	0.297	3.815	-	-
4	07	1.186	4.129	-	-
5	09	0.326	5.281	-	-
6	10	0.320	5.272	-	-
7	11	0.287	3.388	-	-
8	12	0.371	4.077	-	-
8	12	1.197	3.587	-	-
9	14	0.281	3.010	-	-
9	14	1.143	3.793	-	-
10	15	0.300	5.047	-	-

Le prospezioni in sismica attiva con tecnica marw (multichannel analysis of reflected waves), a differenza della sismica a rifrazione, non necessitano dell'assunto che la velocità di propagazione dell'onda aumenti con la profondità; la riflessione infatti sfrutta il solo contrasto di impedenza sismica (sia positivo che negativo) tra materiali di diversa natura; così una variazione delle caratteristiche tra litotipi differenti, o all'interno dello stesso litotipo, dà luogo a una riflessione delle onde elastiche in corrispondenza della superficie di separazione. Il vantaggio significativo di questa tecnica d'esplorazione è la capacità di penetrazione nel sottosuolo e l'accuratezza con cui è possibile localizzare le superfici riflettenti associate alla geometria e all'ubicazione delle discontinuità d'impedenza ivi presenti. La tecnica marw è quindi la semplificazione 1D della classica tecnica a riflessione 2D; il vantaggio di tale tecnica deriva dalla semplificazione di acquisizione di un singolo CDP (*Common Depth Point*) o CSG (*Common Shot Gather*) da analizzare mediante il tradizionale *processing flow* della tecnica a riflessione 2D per ottenere una sismostratigrafia e un modello di velocità del sottosuolo su una verticale singola. Il sistema di acquisizione

impiegato utilizza il sismografo Sara Do.Re.Mi. a 48 canali con geofoni a 4,5 Hz posti con passo di 2 m, il passo di campionamento è 1,0 ms e la lunghezza di registrazione è di 2,0 s, mentre il punto di energizzazione è al centro dello stendimento della linea sismica.

Nelle seguenti tabelle sono riportati i risultati ottenuti con la tecnica marw, sul profilo di velocità (Vsh) delle tre verticali analizzate sono rappresentati i tempi T0 di percorrenza dell'onda riflessa ad offset zero, la velocità di stack dei singoli riflettori (velocità quadratica media), la velocità intervallare dei domini litologici compresi tra due riflessioni continue e la profondità dei riflettori.

indagine n.1 - postazione 01

N.	Tempo 0 (sec)	Vstack (m/s)	Vint (m/s)	Profondità (m)
0	0.0000	138	138	0.00
1	0.0328	138	138	2.27
2	0.0739	171	194	6.25
3	0.1259	193	221	12.00
4	0.2052	243	306	24.14
5	0.2600	293	431	35.94
6	0.4899	404	500	93.40
7	0.6048	448	601	127.92
8	0.8073	520	691	non attendibile
9	2.0000	650	725	non attendibile

indagine n.2 - postazione 03

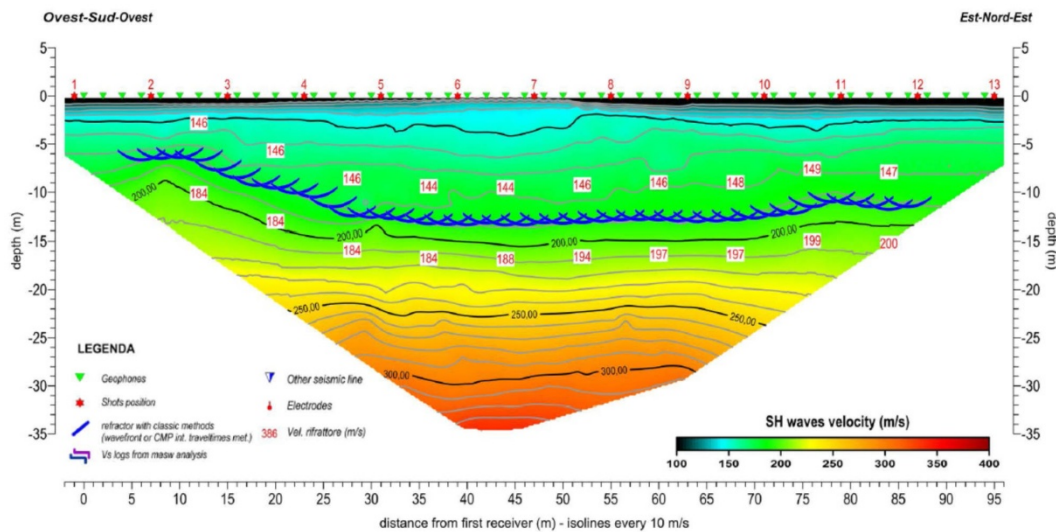
N.	Tempo 0 (ms)	Vstack (m/s)	Vint (m/s)	Profondità (m)
0	0.0000	133	133	0.00
1	0.0356	133	133	2.36
2	0.1314	171	184	11.16
3	0.2052	230	308	22.53
4	0.2737	300	449	37.88
5	0.5720	400	474	108.50
6	0.7881	420	469	159.18
7	1.1384	460	539	non attendibile
8	2.0000	500	548	non attendibile

indagine n.3 - postazione 05

N.	Tempo 0 (ms)	Vstack (m/s)	Vint (m/s)	Profondità (m)
0	0.0000	127	127	0.00
1	0.0410	127	127	2.61
2	0.2518	199	210	24.75
3	0.2950	199	199	29.05
4	0.3310	210	286	34.20
5	0.4379	293	464	58.96
6	0.4899	315	461	70.95
7	0.7498	348	403	123.39
8	2.0000	416	452	non attendibile

Le prospezioni sismiche a rifrazione consistono nel generare artificialmente onde elastiche longitudinali o trasversali in un punto della superficie (shot) e nel misurare il tempo impiegato dalle onde prodotte per propagarsi dalla sorgente ai ricevitori (geofoni), opportunamente disposti sul terreno. Le velocità e le direzioni di propagazione dei raggi sismici generati con lo shot sono strettamente correlate sia al comportamento elasto-meccanico dei terreni attraversati, e dunque alle loro peculiari caratteristiche fisico-meccaniche, che alla presenza di superfici di discontinuità. La tecnica dell'elaborazione tomografica del dato, attraverso la determinazione dei tempi di primo arrivo con il software Rayfract®3.32, permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo, consentendo la ricostruzione della morfologia sepolta anche nel caso di variazioni e discontinuità stratigrafiche particolarmente complesse. La linea sismica di stendimento è composta da 48 geofoni distanziati di 2 m, i punti di scoppio sono stati 13, il tempo di acquisizione 500/1000 ms, la frequenza di campionamento 2000/1000.

Il risultato ottenuto dalla prospezione sismica a rifrazione e restituito con elaborazione tomografica è riportato nella seguente figura.



In sintesi possono essere fatte alcune valutazioni in merito a questa campagna di indagini 2018: le misure esac/masw hanno evidenziato valori di velocità delle onde di taglio maggiori in corrispondenza delle postazioni 01-03-05 mentre le postazioni 08-13 hanno registrato valori mediamente più bassi; , le misure marw hanno fornito valori direttamente confrontabili con le registrazioni esac/masw, tuttavia si osserva, oltre alla maggior capacità di penetrazione delle marw, un valore di Vs da questa tecnica derivato mediamente inferiore rispetto a quello misurato con la tecnica esac/masw. Ciò è verosimilmente riconducibile al fatto che mentre nella tecnica marw si misurano le velocità delle onde di taglio V_{sh} , con la tecnica esac/masw si derivano (tramite processo d'inversione) le onde di taglio V_{sv} . L'andamento delle velocità registrate in corrispondenza delle diverse verticali può ragionevolmente essere messo in relazione con la conformazione delle morfologie sepolte ed in particolare ad un approfondimento dell'incisione valliva in prossimità dei corsi d'acqua Cascina ed Era.

Le misure hvsr hanno indicato, in termini sismo-stratigrafici generali, la presenza di un contrasto d'impedenza a profondità maggiore associato alle frequenze più basse (0.29 Hz) ed un secondo contrasto più superficiale associato ai valori di frequenza più elevati (1.16 Hz).

Volendo tradurre in profondità tali indicazioni è necessario assumere valori di Vs medi rappresentativi del sottosuolo al fine di utilizzare la correlazione che lega la profondità alla frequenza: $H = V_s / 4f_0$.

Nell'effettuare una prima analisi in corrispondenza della postazione 05 per esac-marw e della postazione 04 per hvsr, assumendo come riferimento il valor medio ricavato dall'analisi congiunta esac-marw (risultato dell'ordine di 206 m/sec) ed il picco di frequenza (1,5 Hz) osservato sul grafico del rapporto spettrale della registrazione hvsr, applicando la formula di correlazione tra la velocità e la frequenza si ottiene una profondità di:

$$H = V_s / 4f_0 = 206 / 4 \cdot 1.5 = 34 \text{ m}$$

Tale risultato consente di verificare la coerenza tra le diverse metodologie di misurazione.

Relativamente al picco di frequenza di maggior interesse dal punto di vista di amplificazione sismica (riferito al valore $f_0 = 0.295 \text{ Hz}$) questo è verosimilmente associabile ad un passaggio litologico all'interno dei terreni del Pliocene ($\approx 350 \div 500 \text{ m}$) che si estende a maggiori profondità oltre i 700 m (logs stratigrafico pozzo esplorativo Agip1 in loc. la Rotta nel Comune di Pontedera).

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

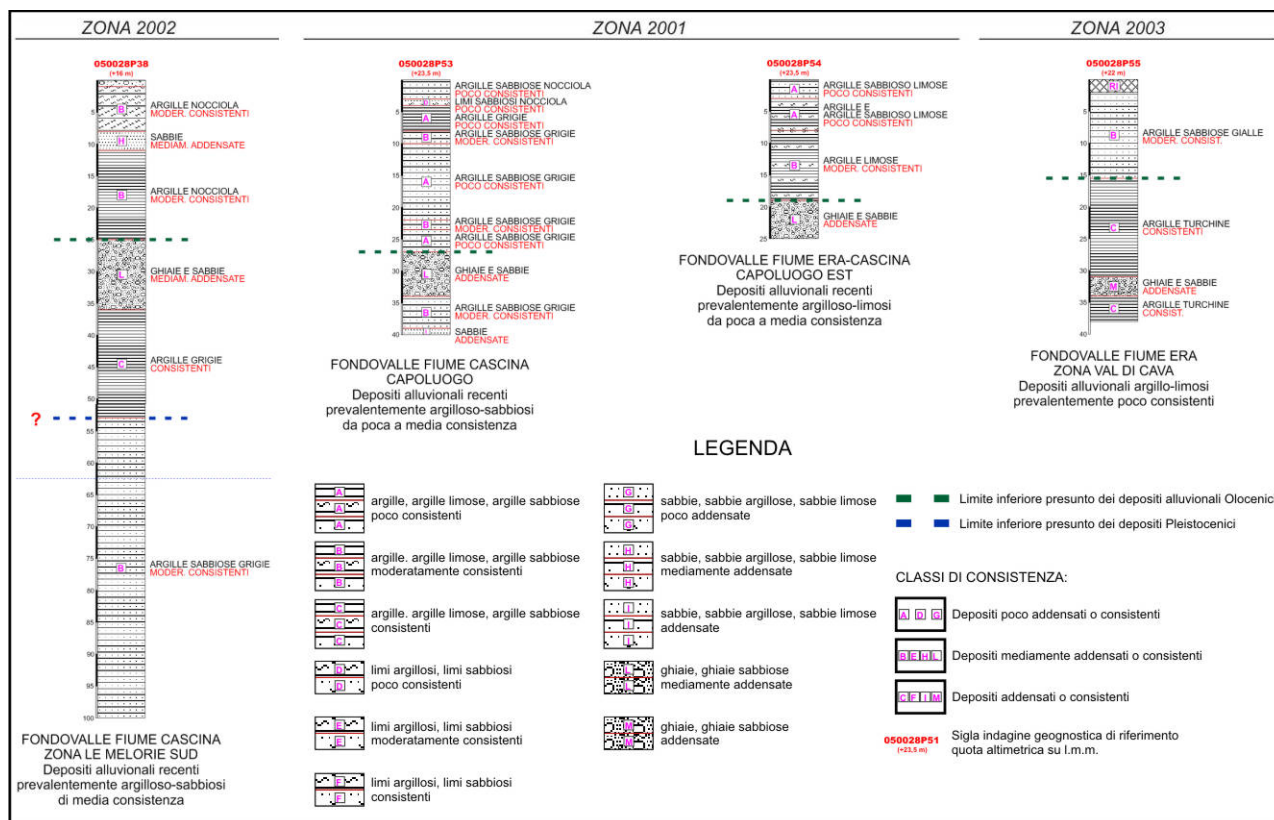
Sulla base di quanto analizzato potrebbe apparire plausibile assumere come substrato sismico, per il territorio in esame, i depositi pliocenici sabbiosi (PLIs) delle propaggini collinari che risultano costituiti da terreni caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S 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 però non viene assunto 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.

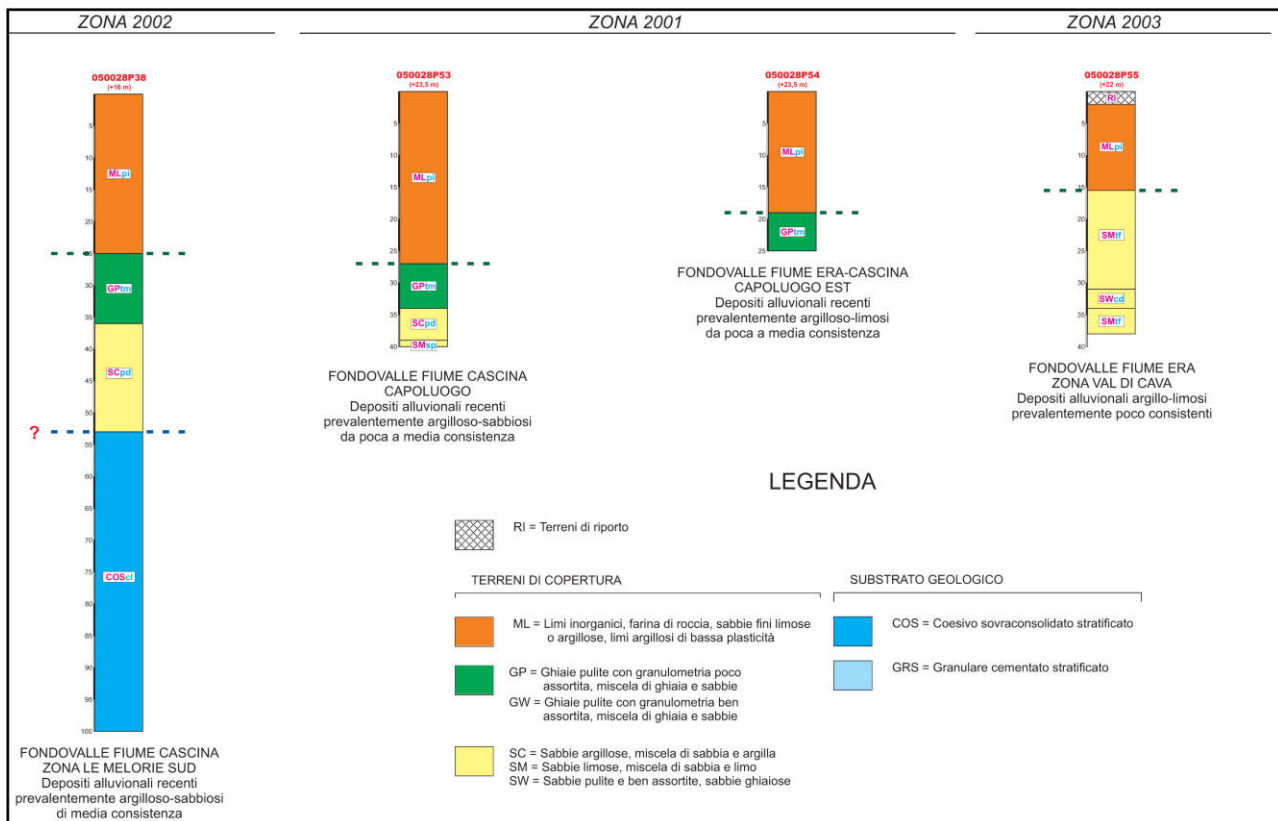
5. Modello del sottosuolo

La mancanza di un alto numero di dati di sottosuolo profondi non ha consentito un'analisi ancor più accurata di quella prodotta che comunque risulta essere esaustiva per l'andamento delle coperture alluvionali rispetto al substrato geologico dei depositi sabbiosi pliocenici.

In sintesi siamo in un fondovalle alluvionale costituito da sedimenti prevalentemente fini argillosi e limosi che sovrastano un substrato maggiormente consistente di depositi pliocenici prevalentemente sabbiosi delle propaggini collinari circostanti.

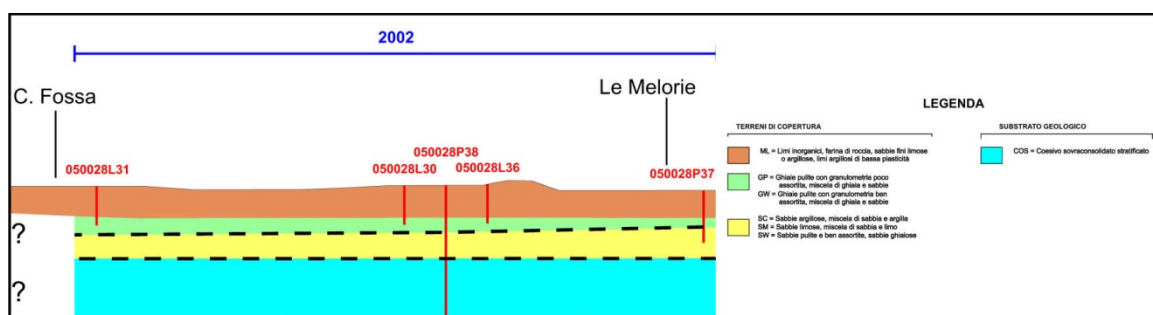
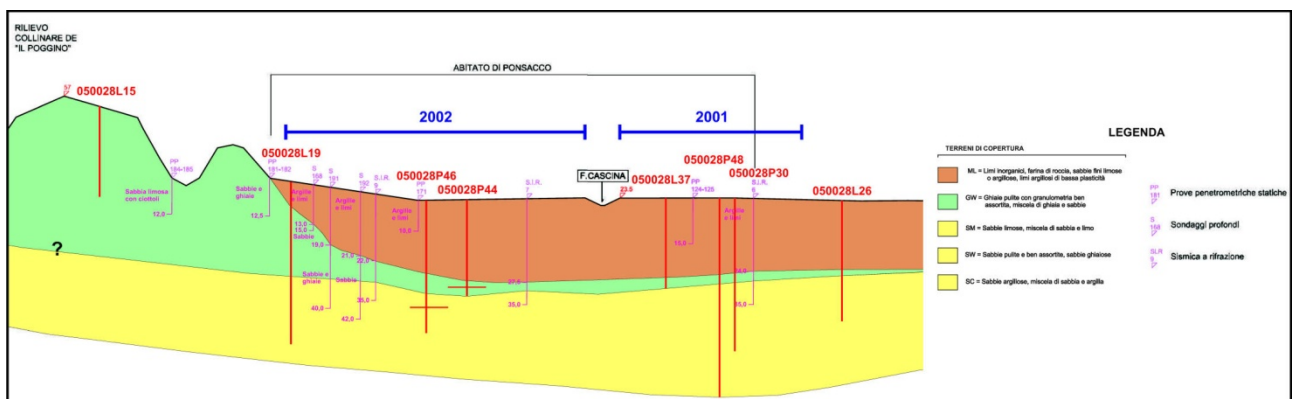
Riportiamo di seguito un estratto delle Sezioni Stratigrafiche Tipo, con la relativa legenda, derivanti dall'analisi e ricostruzione delle successioni dei terreni incontrate nelle perforazioni per la realizzazione di pozzi per acqua e/o di indagini geognostiche; a seguire anche un estratto delle Sezioni Litologiche Tipo relative all'attribuzione delle varie zonizzazioni del territorio secondo gli standard di rappresentazione e di archiviazione informatica di microzonazione sismica.





Per ogni livello stratigrafico rappresentato sono state attribuite le classi di consistenza dei depositi definite come depositi poco addensati o consistenti, depositi mediamente addensati o consistenti, depositi addensati o consistenti; inoltre sono stati individuati nelle colonne litostratigrafiche tipo, i presunti limiti inferiori dei depositi alluvionali Olocenici e di quelli Pleistocenici.

Sono riportate di seguito in un estratto anche le due Sezioni Geologiche che illustrano la struttura del sottosuolo del territorio di Ponsacco, con la relativa legenda.



6. Interpretazioni ed incertezze

Il grado di attendibilità dei dati e le criticità incontrate nelle interpretazioni sono discussi nei Report delle indagini e nei paragrafi relativi ai singoli aspetti.

7. Metodologie di elaborazione e risultati

Le metodologie di interpretazione dei vari modelli e le attrezzature utilizzate per l'esecuzione delle indagini geofisiche sono state discusse nei Report delle indagini e nei paragrafi relativi ai singoli aspetti.

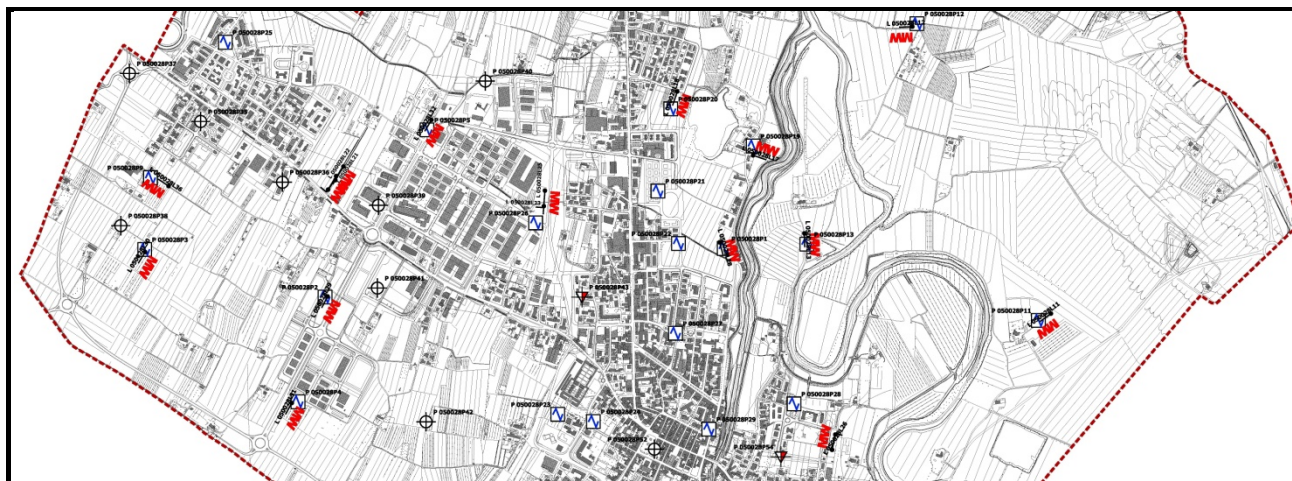
8. Elaborati cartografici

I seguenti elaborati sono stati aggiornati nel rispetto degli ICMS nazionali e delle specifiche regionali di cui al DGRT n.144 del 23 febbraio 2015, Standard MS-04-0b.

8.1. Carta delle Indagini

Sulla Carta delle indagini sono state riportate per l'intero territorio comunale le ubicazioni dei dati geognostici e geofisici, distinti per tipologia e numerazione, relativi agli studi di MS1 finanziati e catalogati nel software di archiviazione SoftMS.

L'ubicazione, la tipologia e la simbologia delle indagini sono state riportate sulla cartografia secondo gli standard di rappresentazione MS, così come indicato nello stralcio della tavola e nella relativa legenda di seguito riportata.



Indagini lineari



MASW

Profilo sismico a rifrazione

Indagini puntuali



Stazione microtremore a stazione singola



Sondaggio a distruzione di nucleo

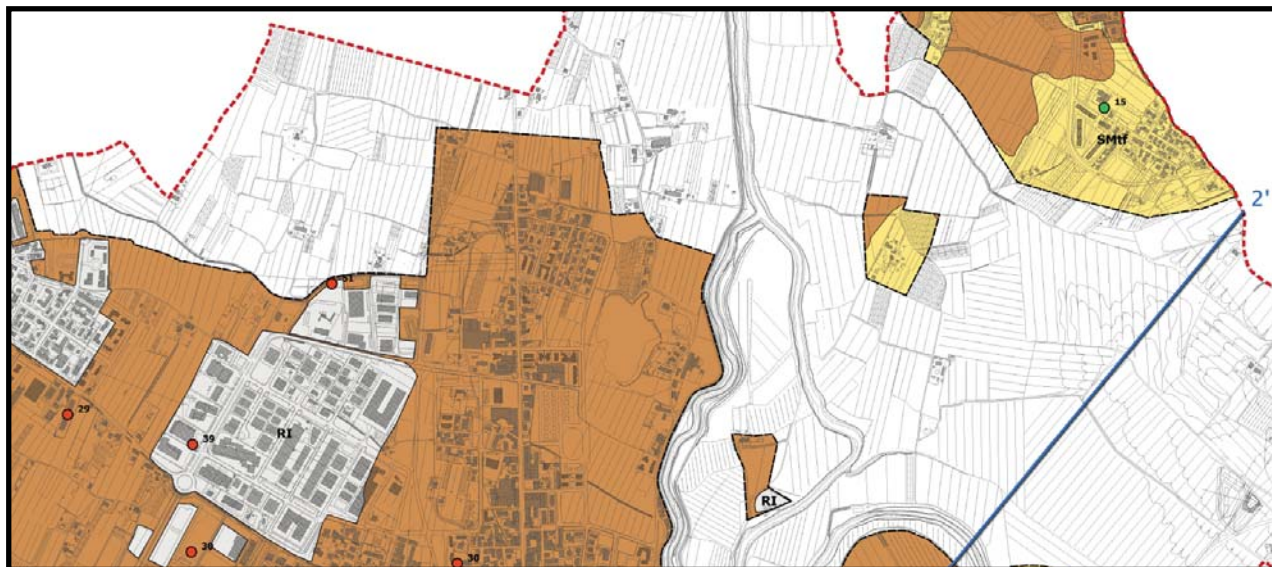


Prova penetrometrica statica con punta meccanica



8.2. Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica

Le formazioni presenti sul territorio sono state suddivise tra substrato geologico e terreni di copertura e classificate in base al tipo litologico dominante e all'ambiente deposizionale; sono sovrapposte alle suddette indicazioni di base le informazioni riguardanti le aree instabili, in questo caso sono presenti unicamente le instabilità di versante, e rispettive tipologie e stati di attività.


Sono inoltre indicate le perforazioni, con la rispettiva profondità, suddivise in base al raggiungimento o meno del bedrock sismico. La carta è estesa a tutta l'area di studio; di seguito si rappresenta uno stralcio della tavola e la legenda finale.



Legenda

-  Limite comunale
-  Area di indagine MS1




Instabilità di versante

-  Frana quiescente di colata






Elementi tettonico strutturali e traccia della sezione geologica

-  Traccia della sezione geologica rappresentativa del modello del sottosuolo

Elementi geologici e idrogeologici

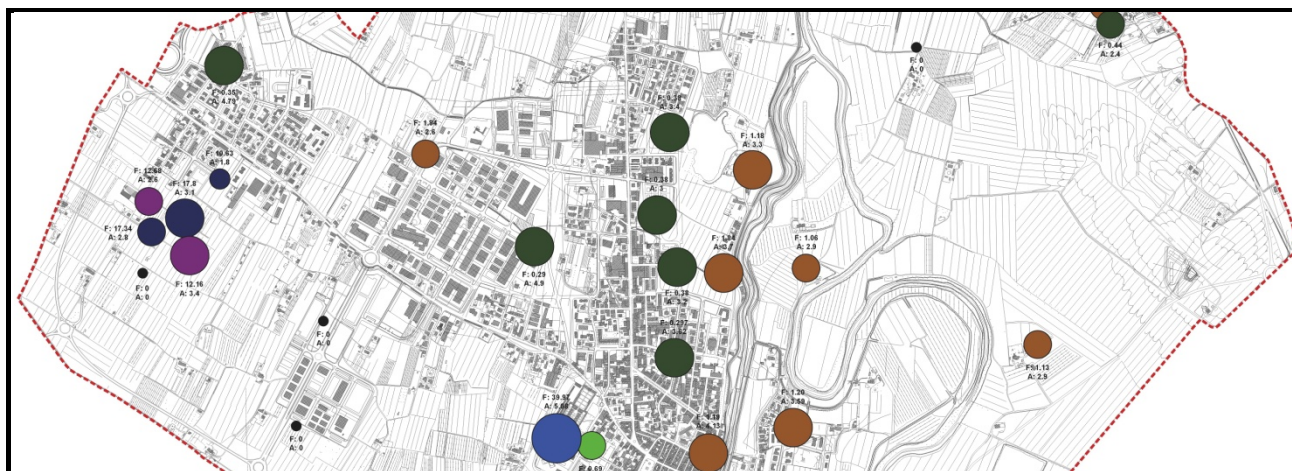
-  Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico
-  Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico
-  Profondità della falda in aree con sabbie e/o ghiaie

Terreni di copertura

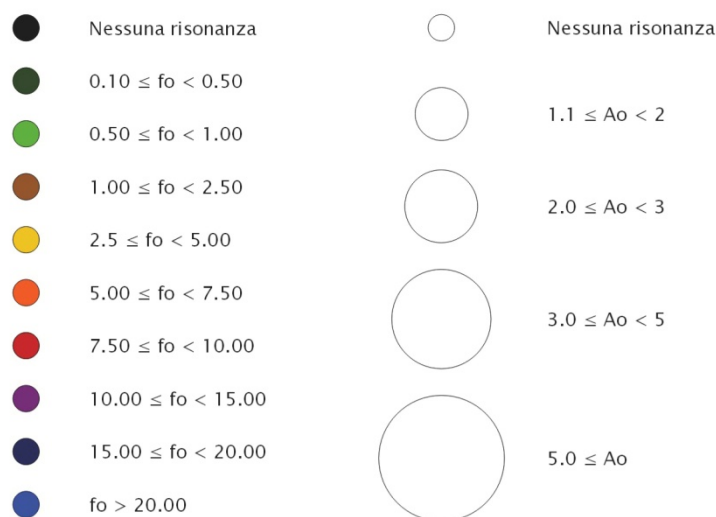
-  Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie
-  Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
-  Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
-  Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose
-  Terreni contenenti resti di attività antropica

8.3. Carta delle Frequenze

Sulla carta delle frequenze sono rappresentate le misurazioni di frequenza ed ampiezza acquisite presso le stazioni di rilevazione microtremore secondo i criteri degli ICMS nazionali e delle specifiche regionali di cui al DGRT 144/2015, Standard MS-04-0b. Riportiamo di seguito un estratto di tale elaborato e della relativa legenda.

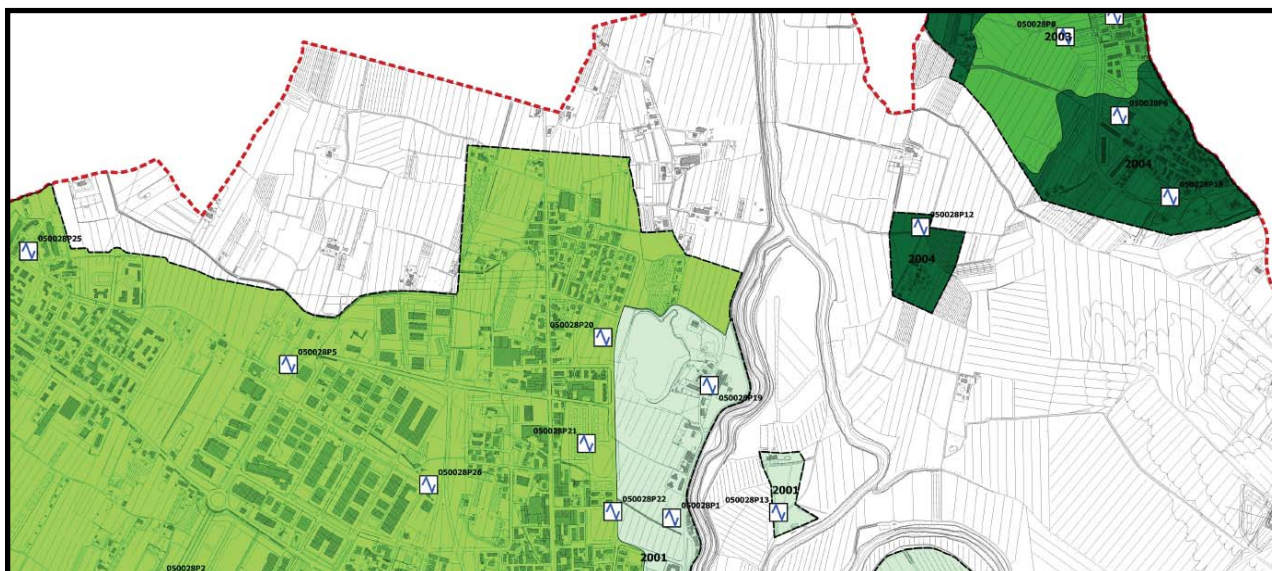


Misura delle frequenze in sito: Frequenza (F) e Ampiezza (A)





8.4. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS-Livello 1)






Le aree di interesse del territorio, esaminate sotto il profilo della struttura sismo-stratigrafica attraverso l'analisi della geologia di base e delle indagini stratigrafiche e sismiche ad oggi disponibili, sono suddivise nella carta MOPS in 5 zone stabili suscettibili di amplificazioni stratigrafiche (non sono presenti zone stabili), queste ultime suddivise per stratigrafia-tipo e per entità del contrasto di impedenza sismica rilevato, a cui si sovrappongono le zone di attenzione per instabilità di versante; nel seguito uno stralcio della carta e la legenda risultante.



Legenda

-  Limite comunale
-  Area di indagine MS1

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

-  2001
-  2002
-  2003
-  2004
-  2005

Zone di attenzione per instabilità dei versanti

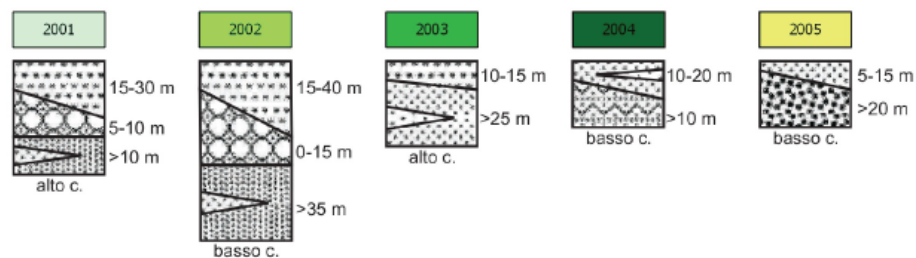
-  Zona di attenzione per instabilità dei versanti - 2005

Punti di misura di rumore ambientale

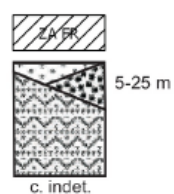
-  Stazione microtremore a stazione singola

Sezioni topografiche

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zone di attenzione per l'instabilità di versante



Nelle tavole delle Sezioni Stratigrafiche Tipo e delle Sezioni Litologiche Tipo le successioni dei terreni sono state raggruppate secondo le condizioni sismiche locali in zone di attenzione per l'instabilità di versante e in zone suscettibili di amplificazioni locali (a loro volta distinte in quelle prive di un alto contrasto di impedenza sismica o con un alto contrasto di impedenza sismica), come sopra detto non sono presenti aree stabili in quanto all'interno del perimetro di studio non affiora il substrato sismico o presunto tale.

Le zonizzazioni risultano come di seguito descritte:

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

Zona 2001

- Fondovalle fiume Cascina, Capoluogo, dove sono presenti depositi alluvionali recenti prevalentemente limosi da poca a media consistenza e depositi alluvionali recenti prevalentemente argilloso-sabbiosi da poca a media consistenza;
- Fondovalle fiume Era e Cascina, Capoluogo Est, dove sono presenti i depositi alluvionali recenti prevalentemente argilloso-limosi da poca a media consistenza;

Zona 2003

- Fondovalle fiume Era, zona Val di Cava, dove sono presenti i depositi alluvionali argillo-limosi prevalentemente poco consistenti;

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

Zona 2002

- Fondovalle fiume Cascina, zona Le Melorie Nord, dove sono presenti depositi alluvionali recenti prevalentemente argillosi di media consistenza e depositi alluvionali recenti prevalentemente argilloso-limosi di media consistenza;
- Fondovalle fiume Cascina, zona Le Melorie Sud, dove sono presenti depositi alluvionali recenti prevalentemente argilloso-sabbiosi di media consistenza;
- Fondovalle fiume Cascina, zona Produttiva Nord, dove sono presenti depositi alluvionali recenti prevalentemente argilloso-limosi di medio/alta consistenza e depositi alluvionali recenti prevalentemente argilloso-sabbiosi di medio/alta consistenza;
- Fondovalle fiume Cascina, zona Produttiva Sud, dove sono presenti depositi alluvionali recenti prevalentemente argilloso-sabbiosi di media consistenza e depositi alluvionali recenti prevalentemente argillosi di medio/alta consistenza;
- Fondovalle fiume Cascina, Capoluogo Nord, dove sono presenti depositi alluvionali recenti prevalentemente limoso-argillosi di media consistenza;
- Fondovalle fiume Cascina, Capoluogo Sud, dove sono presenti depositi alluvionali recenti prevalentemente argillosi di bassa/media e media consistenza e depositi alluvionali recenti prevalentemente argilloso-sabbiosi di bassa/media e media consistenza;
- Fondovalle fiume Era-Cascina, Capoluogo Est, dove sono presenti depositi alluvionali recenti prevalentemente argilloso-limosi di media consistenza e depositi alluvionali recenti prevalentemente argilloso-limosi di bassa/media consistenza;

Zona 2004

- Fondovalle fiume Era, zona Val di Cava, dove sono presenti depositi alluvionali terrazzati pleistocenici prevalentemente argillo-limosi e sabbiosi di media/alta consistenza e depositi alluvionali terrazzati pleistocenici prevalentemente sabbiosi e addensati;

Zona 2005

- Rilievo collinare I Poggini, unità del Pleistocene, dove sono presenti depositi prevalentemente sabbiosi da mediamente addensati a addensati.

8.5. Commenti finali e criticità

Sulla Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.) di Ponsacco sono state quindi rappresentate, per le porzioni territoriali analizzate, 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 di attenzione per l'instabilità di versante; non sono presenti zone stabili.

In sintesi le zone stabili non sono presenti sebbene sia stato individuato un substrato geologico nei depositi pliocenici sabbiosi delle propaggini collinari; le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (prive di un alto contrasto di impedenza sismica) sono individuate in gran parte del fondovalle sia del fiume Era che del Cascina caratterizzato da sedimenti alluvionali da bassa/media consistenza ad alta consistenza e nelle porzioni collinari caratterizzate dalle sabbie pleistoceniche; le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (con un alto contrasto di impedenza sismica) sono individuate in due porzioni di fondovalle fiancheggianti il fiume Cascina, sia alla sua sx che alla sua dx idrografica, all'altezza del Capoluogo caratterizzate da sedimenti alluvionali da poca a media consistenza; e da una porzione della frazione di Val di Cava caratterizzata da sedimenti alluvionali poco consistenti; le zone di attenzione per l'instabilità di versante sono individuate sulle propaggini collinari meridionali dove sono presenti corpi di frana (distinti in attivi o quiescenti) ed aree soggette a soliflusso.

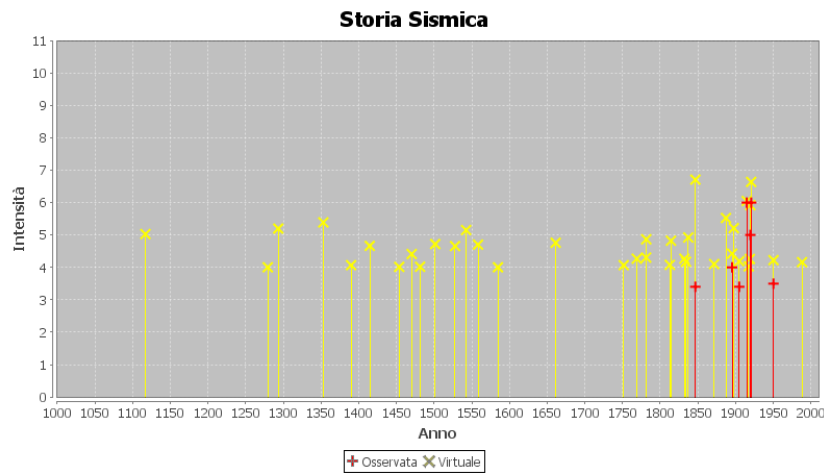
9. Confronto con la distribuzione dei danni del passato

Come già discusso nei paragrafi precedenti non si hanno notizie di effetti particolarmente rilevanti sul territorio di Ponsacco, non risulta quindi possibile in mancanza di dati fare un confronto con la distribuzione dei danni del passato.

E' però possibile integrare i pochi dati disponibili per una certa località con la cosiddetta "storia sismica virtuale": per tutti i terremoti contenuti nel catalogo storico dei terremoti (CPTI15; <http://emiius.mi.ingv.it/CPTI15>) possiamo calcolare quali effetti presumibilmente si possono avere avuto nella località che ci interessa, utilizzando una relazione empirica che ci fornisce il quadro degli effetti attesi a partire da un epicentro, intorno ad esso. Questa è la storia sismica di Ponsacco come risulta dal DataBase Macrosismico Italiano, DBMI15 (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>):



Solo a partire dal '900 si hanno informazioni sui risentimenti per i terremoti nella vicina zona di Pontedera. La sua storia sismica virtuale è invece la seguente:



Lungo la scala del tempo (dall'anno 1000 al 2006, quando finisce l'ultimo catalogo storico disponibile) si hanno tutti i terremoti accaduti in un raggio di circa 200 km da Pontedera, quindi Ponsacco compreso. La barretta colorata indica il valore di intensità macrosismica che il terremoto avrebbe prodotto (valore virtuale, calcolato empiricamente, colore giallo) e il valore realmente verificato (dato osservato, in colore rosso), secondo la scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg).

Si può notare che per i pochi terremoti per i quali si abbia il valore osservato, la differenza tra valore osservato e valore calcolato è minima, soprattutto considerando che il valore calcolato ha una stima con un decimale, mentre quello osservato è rappresentato con il grado intero oppure con il grado intermedio (esempio: 5 oppure 5.5). Oltretutto per i terremoti che virtualmente avrebbero potuto produrre gli effetti maggiori si ha a disposizione il valore osservato che risulta minore di quello virtuale. Si può quindi ragionevolmente pensare che la simulazione sia attendibile e quindi effettivamente il massimo valore di intensità per Pontedera (Intensità MCS 6) sia stato quello prodotto dal terremoto del 1914 e dal forte terremoto del 7 settembre 1920. Resta comunque il fatto che storicamente l'evento del 1846 è l'evento massimo registrato e che ha avuto conseguenze disastrose per alcune località più a sud ovest.

10. Bibliografia

- BALDACCIO F., ELTER P., GIANNINI E., GIGLIA G., LAZZAROTTO A., NARDI R. & TONGIORGI M., 1967. Nuove osservazioni sul problema della Falda Toscana e sulla interpretazione dei Flysch arenacei di tipo "Macigno" dell'Appennino Settentrionale. *Mem. Soc. Geol.* 11., 6.
- BARTOLINI C., BERNINI M., CARLONI G.C., CASTALDINI D., COSTANTINI A., FEDERICI P.R., FRANCAVILLA F., GASPERI G., LAZZAROTTO A., MARCHETTI G., MAZZANTI R., PAPANI G., PRANZINI G., RAU A., SANDRELLI F. & VERCESI P.L., 1983. Carta neotettonica dell'Appennino Settentrionale - Note illustrative. *Boll. Soc. Geol.* II., 101, 1982.
- BENVENUTI M., BERTINI A., CONTI C., DOMINICI S. & FALCONE D., 1995. Analisi stratigrafica e paleoambientale integrata nella parte superiore del Pliocene dei dintorni di S. Miniato (Toscana). *Suppl. 1 Quad. Storia Nat. Livorno*, 1995, 29-49.
- BERARDI R., PETRUNGARO C., ZONETTI L., MAGRI L., MUCCIARELLI M., 1993. Mappe di sismicità per l'area italiana, ISMES/ENEL.
- BOSSIO A., GIANNELLI L., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G., 1981. Gli strati alti del Messiniano, il passaggio Miocene-Pliocene e la sezione plio-pleistocenica di Nugola nelle colline a NE dei Monti Livornesi. In: «IX Convegno della Soc. Paleont. Ital.», 3-8 ottobre 1981, pp. 55-90.
- BERTINI G., CAMELI G.M., COSTANTINI A., DECANDIA F.A., DI FILIPPO M., DINI I., ELTER F.M., LAZZAROTTO A., LIOTTA D., PANDELI E., SANDRELLI F. & TORO B., 1991. Struttura geologica fra i Monti di Campiglia e Rapolano Terme (Toscana meridionale): stato attuale delle conoscenze e problematiche. *Studi Geol. Camerti*, 1991/1: 155-187.
- BOSSIO A., CERRI R., COSTANTINI A., GANDIN A., LAZZAROTTO A., MAGI A., MAZZANTI R., MAZZEI R., SAGRI M., SALVATORINI G. & SANDRELLI E., 1992. I bacini distensivi neogenici e quaternari della Toscana. 76a Riunione estiva S.G.I. - Convegno SIMP (Firenze 21-23 settembre 1992), 199-277.
- BOSSIO A., COSTANTINI A., FORESI L., LAZZAROTTO A. • LIOTTA D., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G. & SANDRELLI E., 1993. Carta del sollevamento dei sedimenti medio-pliocenici nella Toscana meridionale. *Studi Geol. Camerti*.
- BOSSIO A., COSTANTINI A., LAZZAROTTO A., LIOTTA D., MAZZANTI R., MAZZEI R., SALVATORINI G. & SANDRELLI E., 1993 •. Rassegna delle conoscenze sulla stratigrafia del Neautoctono toscano. *Mem. Soc. Geol. It.*, Vol. in onore di L. TREVISAN, 49, 17-98.
- BOSSIO A., MAZZANTI R., MAZZEI R., MENESINI E., NENCINI C., SALVATORINI G. & UGRI R., 1981. Nuove osservazioni sulla stratigrafia delle formazioni plioceniche e pleistoceniche di Casciana Terme. In: IX Convegno della Società Paleontologica Italiana, 3-8 ottobre 1981.
- BOSSIO A., MAZZEI R., SALVATORINI G. & SANDRELLI E., 1993 b. Nuovi dati sui depositi mio-pliocenici del settore meridionale del Bacino del Fiume Elsa. *Paleopelagos*, 3, 97-108.
- CASTELLO B., SELVAGGI G., CHIARABBA C., AMATO A., 2006. CSI Catalogo della sismicità italiana 1981-2002, versione 1.1. INGV, Centro Nazionale Terremoti, Roma
- DELLA ROCCA B., MAZZANTI R., PRANZINI E., 1987. Studio geomorfologico della Pianura di Pisa (Toscana), *Geogr. Fis. Din. Quat.*, vol. 10, pp. 56-84.
- FANCELLI R., GRIFONI CREMONESI R., MAZZANTI R., MENCHELLI S., NENCINI C., PASQUINUCCI M., TOZZI C. (1986) - Evoluzione della Pianura di Pisa. In: «Terre e paduli», Pontedera, pp. 25-39.
- FEDERICI P. R., GRASSI S., RAD A., 1991. Pliocene marino fossilifero al margine occidentale dei Monti Pisani (Toscana - Italia), *Boll. Soc. Geol. Ital.*, vol. 99, pp. 675-681.
- FEDERICI P. R., MAZZANTI R., 1988. L'evoluzione della Paleogeografia e della rete idrografica del Valdarno inferiore, *Boll. Soc. Geogr. Ital.*, val. 5, ser. XI, pp. 573-615.
- FIDOLINI F., GHINASSI M., MAGI M., PAPINI M. & SAGRI M., 2013. The Plio-Pleistocene fluvio-lacustrine Upper Valdarno Basin (central Italy): stratigraphy and basin fill evolution. *Italian Journal of Geosciences*, 132 (1), 13-32.
- GHELARDONI R., GIANNINI E. & NARDI R., 1965. Ricostruzione paleogeografica dei bacini neogenici e quaternari nella bassa valle dell'Arno sulla base dei sondaggi e dei rilievi sismici. *Mem. Soc. Geol. It.*, 7, 91-106.
- GHELARDONI R., GIANNINI E., NARDI R., 1968. Ricostruzione paleogeografica dei bacini neogenici e quaternari nella bassa Valle dell'Arno sulla base dei sondaggi e dei rilievi sismici, *Mem. Soc. Geol. Ital.*, vol. 7, pp. 91-106.
- GHINASSI M., FIDOLINI F., MAGI M. & SAGRI M., 2013. Depositional environments of the Plio-Pleistocene Upper Valdarno Basin (Tuscany, Italy). *Italian Journal of Geosciences*, 132 (1), 33-53.
- GIANNELLI L., MAZZANTI R., MAZZEI R. & SALVATORINI G., 1981. Breve quadro stratigrafico e paleogeografico del Neogene e del Quaternario del Valdarno inferiore, della Val di Fine e della Val di Cecina. In: IX Conv. Soc. Paleont. 11., 3-8 ottobre 1981, Pisa.
- GIANNINI E., LAZZAROTTO A. & SIGNORINI R., 1971. Lineamenti di stratigrafia e di tettonica. In: La Toscana Meridionale. *Rend. Soc. It. Min. Petr.*, 27, 33-168.
- LAZZAROTTO A., ALDINUCCI M., CIRILLI S., COSTANTINI A., DECANDIA F., PANDELI E., SANDRELLI F. & SPINA A., 2003. Stratigraphic correlation of the Upper Paleozoic-Triassic successions in southern Tuscany, Italy. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, Volume speciale, 2, 25-35.

MANTOVANI E., VITI M., BABBUCCI D., CENNI N., TAMBURELLI C., VANNUCCHI A., FALCIANI F., FIANCHISTI G., BAGLIONE M., D'INTINOSANTE V., FABBRONI P., 2011. Sismotettonica dell'Appennino Settentrionale. Implicazioni per la pericolosità sismica della Toscana. Regione Toscana, Centro stampa Giunta Regione Toscana, Firenze.

MANTOVANI E., VITI M., BABBUCCI D., CENNI N., TAMBURELLI C., VANNUCCHI A., FALCIANI F., FIANCHISTI G., BAGLIONE M., D'INTINOSANTE V., FABBRONI P., 2012. Potenzialità sismica della Toscana e definizione di criteri per interventi di prevenzione. Regione Toscana, Centro stampa Giunta Regione Toscana, Firenze.

MARRONI M., MAZZANTI R., NENCINI C., 1990. Geologia e morfologia delle Colline Pisane, Quaderni del Museo di Storia Naturale di Livorno, vol. 11, (suppl.1), pp. 1-40.

MAZZANTI R., 1988. Geomorfologia della Valdera. A cura del Centro Studi Economici Finanziari, Pisa.

MAZZANTI R. & NENCINI C., 1986. Geologia della Val d'Era. Quad. Mus. Storia Nat. Livorno, 7.

MAZZANTI R. & NENCINI C., 1991. Le vicende geologiche e la morfologia del settore nord-orientale della Provincia di Pisa. In: Il Valdarno inferiore pisano - Studio economico e territoriale. A cura di A. Cecchella & M. Pinna. Centro di Studi economici e finanziari, Pisa.

MAZZANTI R., RAU A. 1994, La geologia. In: «La Pianura di Pisa ed i rilievi contermini: la natura e la storia», Mem. Soc. Geogr. Ital., vol. 50.

MERLA G., 1952. Geologia dell'Appennino settentrionale, Boll. Soc. Geol. Hal., vol. 70, pp. 95-382.

NENCINI C., 1984. Il passaggio Plio-Pleistocene e i sedimenti pliocenici e pleistocenici delle Colline di Monte Castello (Pisa). Boll. Soc. Geol. 11.,102,1983,391-398.

PASCUCCI V., MERLINI S. & MARTINI I.P., 1999. Seismic stratigraphy of the Miocene-Pleistocene sedimentary basins of the Northern Tyrrhenian Sea and western Tuscany. Basin Research, 11, 337-356.

11. Allegati

- Carta delle Indagini
- Carta Geologico Tecnica per la microzonazione sismica
- Sezioni Stratigrafiche Tipo
- Sezioni Litologiche Tipo
- Sezioni Geologiche
- Carta delle Frequenze
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS-Livello 1)