

2.2.02.a-P

PROVINCIA DI PISA
Settore Viabilità, Trasporti e Protezione Civile



**APPALTO CONGIUNTO PER LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA E LA REALIZZAZIONE DEI
LAVORI, INERENTE LA VIABILITÀ DI RACCORDO NORD TRA IL NUOVO POLO OSPEDALIERO,
LA S.S. N. 12 DEL BRENNERO, LA S.S. N. 1 AURELIA E LA S.P. N. 2 VICARESE**

**TRATTO FUNZIONALE TRA I NODI 1-2
VARIANTE AL c.a. DI MADONNA DELL'ACQUA - S.GIULIANO TERME**

PROPOSTA TECNICA MIGLIORATIVA

PROGETTAZIONE:



Ing. Livio Radini
Albo degli Ingegneri
Provincia di Lucca n. A776

ATI IMPRESE:



Dott. Carlo Agnese S.p.A.
Corso Italia, 50
20122 - Milano - (MI)



Impresa Forti SpA
Via Archimede Bellatalla, 10
56121 - Ospedaletto - (PI)



IGP Giuliani Piero s.r.l.
Via Sterpulino 9-15
56121 - Pisa - (PI)

C					
B					
A	Gennaio 2026	Emissione Variante	R. MAGGIORE	M. PIANIGIANI	L. RADINI
EM./RE.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO

**AMBITO GEOLOGIA E GEOTECNICA
GEOLOGIA**

RELAZIONE GEOLOGICA INTEGRATIVA - VARIANTE

Scala:

CODICE IDENTIFICATIVO:	558EGEOGEO02A	CIG 9532901EC1
-------------------------------	----------------------	-----------------------

Il Responsabile Unico del Procedimento

Ing. Cristiano Ristori

Il Direttore dell'esecuzione

Ing. Erika Banti

INDICE

1. INTRODUZIONE	4
2. Riferimenti normativi	4
3. Area di intervento	5
4. GEOLOGIA.....	5
5. IDROGEOLOGIA E IDROGRAFIA	8
6. PERICOLOSITA' TERRITORIALE.....	10
6.1. PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA	10
6.2. PERICOLOSITA' idrogeologica	12
6.3. PERICOLOSITA' sismica	14
6.4. SISMICITA'	15
6.4.1. Microzonazione sismica del Comune di San Giuliano Terme.....	16
6.4.2. 1° Livello di Microzonazione sismica del comune di San Giuliano Terme	16
6.4.3. Caratterizzazione sismica del sito.....	19
7. INDAGINE GEOGNOSTICHE	23
7.1. Descrizione delle indagini eseguite.....	24
7.1.1. Sondaggio geognostico.....	24
7.1.2. Prove penetrometriche statiche (CPT)	24
7.1.3. Indagine sismica – Analisi multicanale delle onde Superficiali (MASW)	24
7.1.4. Configurazione e risultati della prospezione sismica MASW	25
8. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO RICAVATO DALLE INDAGINI.....	27
8.1.1. Assetto litostratigrafico dell'area - vedi sezione litologica Tavola 3/3.....	27
8.1.2. Parametri Geotecnici	28

1. INTRODUZIONE

Il presente documento, redatto nell'ambito della Variante al Progetto Esecutivo del tratto funzionale tra i nodi 1 e 2, denominato "Lotto Stralcio 1-2", della più ampia viabilità di raccordo nord tra il nuovo polo ospedaliero, la S.S.12 del Brennero, la S.S.1 Aurelia e la S.P.2 Vicarese, costituisce un aggiornamento della relazione geologica integrativa redatta in fase di Progetto Esecutivo **fermi restando i suoi contenuti**. Le informazioni di quest'ultima erano estratte a sua volta dal Progetto Definitivo e dalla campagna di indagine integrativa realizzata nel periodo novembre-dicembre 2023.

Il progetto di variante prevede il collegamento della nuova viabilità, che costeggia il rilevato ferroviario esistente della linea Tirrenica, con la S.S.1 Aurelia attraverso una rampa ed una nuova rotatoria di intersezione posta alla quota altimetrica della predetta S.S.1 Aurelia, senza più la necessità di realizzare il cavalcavia precedentemente previsto dal Progetto Esecutivo.

L'intervento oggetto di Variante ricade nel Comune di San Giuliano Terme (PI). La relazione definisce i lineamenti geologici, geomorfologici e idrogeologici dell'area e delinea il modello geologico di riferimento per la progettazione geotecnica degli interventi in progetto.

La Variante si inserisce in un progetto più ampio la cui area, mostrata in Figura 1, interessa un'ampia porzione della pianura Nord di Pisa che si estende dalla frazione di Migliarino Pisano a nord-ovest fino alla fine del centro abitato della frazione di Madonna dell'acqua.



Figura 1: area di intervento

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito sono eseguite in conformità alla normativa vigente (D.M. 14.01.2008 "Nuove Norme tecniche per le costruzioni" e Circolare Ministero dei LL.PP. 2 febbraio 2009 n. 617 - Istruzione per l'applicazione delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni") che definisce i principi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, nei riguardi delle loro prestazioni richieste in termini di requisiti essenziali di resistenza meccanica e portanza.

Nello specifico si fa esplicito riferimento a quanto riportato al paragrafo 6.1.2 delle N.T.C. 2008 secondo il quale *"le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese dalle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. I risultati dello studio rivolto alla*

caratterizzazione e modellazione geologica di cui § 6.2.1, devono essere esposti in una specifica relazione geologica.

3. AREA DI INTERVENTO

La zona di studio dell'intero progetto è ubicata nella pianura alluvionale pisana, compresa tra il fiume Arno a sud e il fiume Serchio a nord. Si tratta di una fascia stretta e lunga che, nel tratto esaminato, tende a diminuire di quota da est (3.5 m s.l.m.) verso ovest (1.5 m s.l.m.). Il profilo topografico sub-pianeggiante, si caratterizza per modeste variazioni morfologiche dovute all'intervento antropico: ampi tratti della pianura mantengono l'originale "tessuto agricolo", ma la fascia di terreno è attraversata da numerosi assi infrastrutturali (stradali e ferroviari) di direzione dominante nord-sud; a questi si aggiungono un elemento idraulico rilevante come il Fiume Morto.

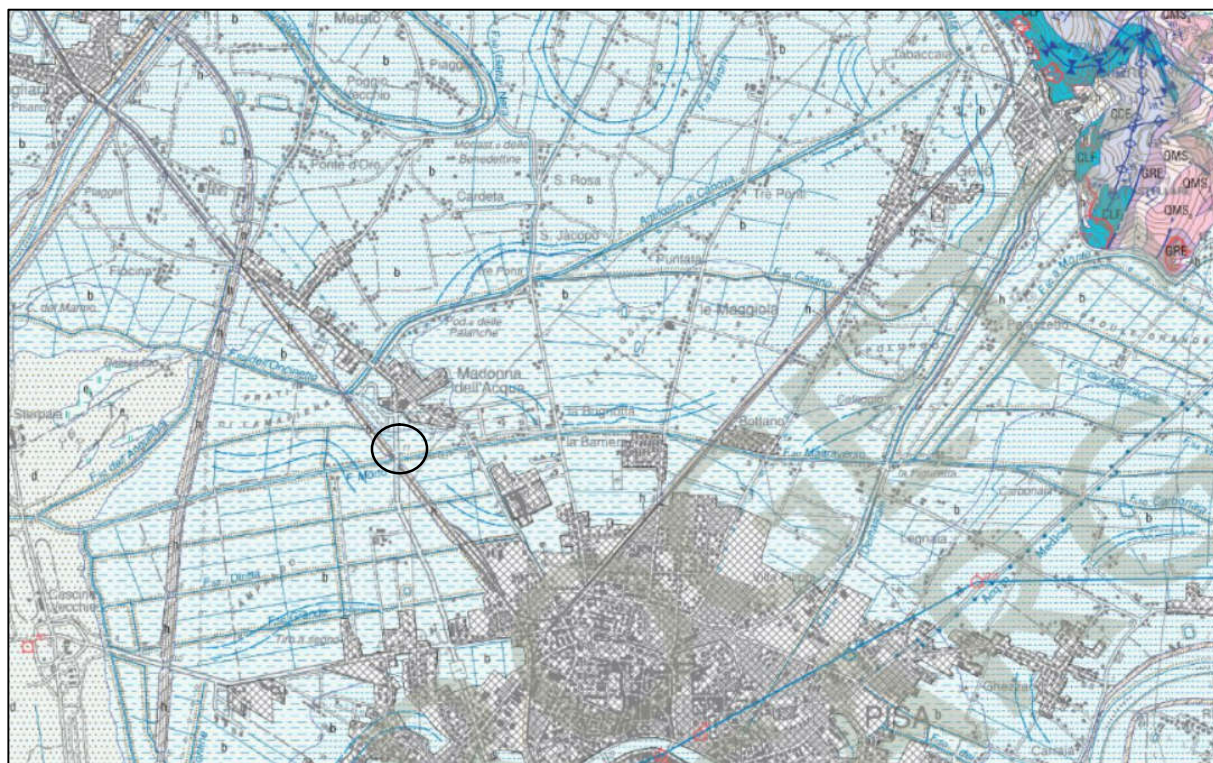
La porzione oggetto di variante in particolare si ubica in località Madonna dell'Acqua, in corrispondenza della S.S.1, a sud della nuova rotatoria che porta al Parco Commerciale "La Torre", a nord del Fiume Morto e dell'intersezione della S.S.1 con la Linea Ferroviaria Genova-Pisa, come meglio si può evincere dagli elaborati allegati al progetto.

4. GEOLOGIA

L'assetto dell'area di studio è legato alla storia evolutiva dell'Appennino Settentrionale derivato, quest'ultimo, dalla deformazione terziaria di un settore del paleomargine continentale della microplacca adriatica prospiciente il Dominio Oceanico Ligure. A partire dal Miocene la deformazione compressiva si è propagata da W ad E fino all'Adriatico (Merla, 1952) e, contemporaneamente, nella parte interna della catena, si è avuta una importante fase distensiva che ha interessato le precedenti strutture compressive. I movimenti tettonici distensivi hanno abbassato il margine occidentale dei Monti d'Oltre Serchio e dei Monti Pisani creando il bacino versiliese-pisano (schema tettonico seguente da R.Mazzanti e M.Pasquinucci 1983) dove, durante il quaternario, si sono alternate oscillazioni climatiche legate al glacialismo, che hanno determinato fasi trasgressive marine (interglaciali), con sommersione della pianura fino ai primi contrafforti collinari e regressioni (fasi glaciali), con denudamento ed innalzamento delle terre per accumulo di sedimenti continentali e marini. Con la fine dell'ultima glaciazione wurmiana e l'inizio della trasgressione Versiliana (circa 8.000 anni fa), su tutta la piana dal Magra fino all'Arno ed oltre, si è verificato l'avanzamento delle spiagge. Il meccanismo naturale di sviluppo della linea di costa si è esplicato con ampi lidi e barre sabbiose (tomboli o cotoni) che separavano zone depresse (lagune), inizialmente collegate al mare attraverso ristretti passaggi, in seguito isolate e impaludate (lame). I lidi emersi e le dune parallele alla linea di riva hanno costituito una barriera all'ingressione delle acque marine e favorito la separazione di ampi specchi d'acqua interni. La pianura di Pisa si è originata in seguito al progressivo sprofondamento (dell'ordine delle migliaia di metri) del litorale pisano-versiliese causato dall'azione della tettonica distensiva, e in particolare di un sistema di faglie dirette. La subsidenza di quest'area, collegata al sollevamento generale dei rilievi montuosi formatisi durante l'orogenesi dell'Appennino, è stata "controbilanciata" dalla sedimentazione marina e fluvio-lacustre a partire dal Miocene superiore. Questa attività tettonica distensiva è ben documentata fino al Pleistocene medio, ma non è escluso che sia tuttora attiva, considerando l'attuale morfologia e le tendenze evolutive della pianura alluvionale di Pisa. La pianura pisana ha inoltre subito importanti trasformazioni per opera dell'uomo sin dall'epoca romana, con opere di bonifica e sistemazione idraulica che hanno reso il drenaggio superficiale per lo più artificiale. La maggior parte dei corsi d'acqua ha tracciati imposti dall'uomo, con la rete idrica minore destinata per lo più allo smaltimento degli afflussi meteorici locali. Tra le opere idrauliche più importanti va ricordata la rettifica dell'Arno tra Montecchio e San

Giovanni alla Vena che ha determinato l'abbandono del meandro che arrivava fino a Bientina, le bonifiche del Fiume Morto e di Coltano, il prosciugamento del Lago di Bientina, l'escavazione del Canale Demaniale dei Molini o di Ripafratta ecc. L'attuale situazione geologica e stratigrafica più superficiale della Pianura di Pisa è quindi prevalentemente il risultato di attività di trasporto ed esondazione dei corsi d'acqua principali e delle divagazioni del loro corso, compresa la presenza di aree più o meno vaste di zone paludose venutesi a creare in rapporto alle variazioni eustatiche e alla dinamica costiera. Nelle zone più depresse, un tempo permanentemente o temporaneamente paludose, si sono deposte anche argille organiche e torbe frequentemente alterate a depositi limo sabbiosi incoerenti. Sulla base dei dati disponibili, il sottosuolo della pianura di Pisa può essere schematicamente diviso in tre porzioni:

- *substrato profondo* comprende le formazioni litoidi della Serie Toscana, le stesse che affiorano sui Monti Pisani a nord di Pisa e che nella pianura sono ribassate dall'azione delle faglie dirette: tra le rocce della Serie Toscana sono predominanti le formazioni carbonatiche e le formazioni del complesso filladico quarzítico del Verrucano (Ghelardoni *et al.*, 1968);
- *substrato intermedio* è costituito da sedimenti "neo-autoctoni" la cui deposizione ha un inizio variabile da zona a zona: si tratta di sedimenti depositi in presenza di una subsidenza di origine tettonica. La successione inizia alla base con sabbie e conglomerati a cui seguono argille lagunari sormontate da gessi alternati a strati argillosi la cui deposizione coincide con l'interruzione della comunicazione tra il Mediterraneo e l'Oceano Atlantico. Al di sopra dei gessi si ritrovano sabbie, argille e conglomerati che testimoniano sedimentazione di bacino senza comunicazione con il mare aperto; a questi è seguita la deposizione di argille azzurre di facies marina e sabbie gialle di ambiente più o meno profondo di età pleistocenica. Un fenomeno di regressione marina avvenuta al termine del Pleistocene inferiore tali sabbie contengono al loro interno fossili che testimoniano un episodio di sedimentazione di mare basso (Fancelli *et al.*, 1986);
- *substrato superiore* è formato da sedimenti posteriori al Pleistocene inferiore depositi in regime di variazione del livello marino, fluviale e climatico come testimonia la variazione granulometrica più o meno fine dei clasti. Al substrato superiore appartiene la "Formazione dei Conglomerati dell'Arno e del Serchio da Bientina" che sono uniformemente presenti nel sottosuolo Pisano e affiorano con spessori da 4 a 10 metri. Tali conglomerati sono sede di un importante acquifero artesianamente attualmente molto sfruttato: si sostiene che l'apporto dei clasti più grossolani sia dovuto al trasporto del Serchio che scorreva impetuoso a partire dai rilievi delle Alpi Apuane, mentre le acque dell'Arno avrebbero fornito un contributo clastico più fine in quanto dotate di minore energia;
- al di sopra della formazione appena descritta si trova un livello di "Limi fluvio-palustri del sottosuolo" corrispondenti ad una fase più limitata di attività fluviale come appare dalla diminuzione drastica dei clasti rispetto a quelli della formazione sulla quale poggiano (Della Rocca *et al.*, 1987). Tale diminuzione è legata ad un cambiamento climatico più arido con la successiva deposizione nel Pleistocene superiore delle dune sabbiose conseguente al fenomeno di ingressione marina e sollevamento eustatico. A queste sabbie segue la deposizione dei "Limi fluvio-lacustri di superficie", legati a fenomeni di esondazione dell'Arno e di corpi idrici minori che spesso si impaludavano nella pianura.



Legenda:
Depositi Olocenici

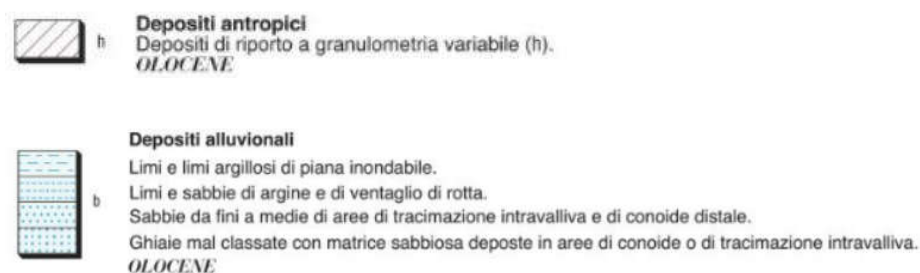


Figura 2: area estratto carta geologica d'Italia con indicata area oggetto di variante

La Figura 2 mostra che la pianura pisana è costituita quasi esclusivamente da depositi continentali olocenici di natura alluvionale: si tratta di *limi e limi argillosi di piana inondabile*, *limi e sabbie di argine e di ventaglio di rotta*, *sabbie da medie a fini*, *ben classate di cordone dunare e intercordone*. Essendo l'area urbanizzata, sono presenti anche *depositi antropici* costituiti da *rilevati stradali*, *rilevati ferroviari* e *argini fluviali*.

Da un punto di vista paleogeografico, la zona è inquadrabile come un ambiente di sedimentazione retrodunale, caratteristico delle aree costiere toscane. In quest'area a bassa energia, protetta dal mare ad ovest da una serie di dune, negli ultimi migliaia di anni i corsi d'acqua più importanti hanno depositato limi e torbe. I dati dei profili litostratigrafici, disponibili già in fase di progettazione preliminare, confermano questa ricostruzione: ad uno strato metrico superficiale di limi (in prevalenza sabbiosi) legato ad episodi esondativi del fiume Arno, segue una bancata plurimetrica di argille plastiche associata ad ambiente deposizionale di tipo fluvio-lacustre. Al di sotto delle argille si rinvencono sabbie limose e limi sabbiosi, con locali intercalazioni ghiaiose, associabili ad un momento deposizionale a maggiore energia (probabilmente post-glaciale). Di seguito viene descritta

la successione stratigrafica presente nell'area interessata dal tracciato stradale in progetto, a partire dal piano campagna fino ai termini più antichi e profondi, in una distinzione principalmente basata sulle caratteristiche geotecniche dei terreni secondo il modello adottato dalla "Commissione Polvani" (pubblicazione di Calabresi *et al.*, 1971):

- **Complesso "A":** *sabbie superiori*, costituite da strati misti superiori di limi (debolmente sabbiosi), argille e sabbie di vario spessore ed irregolarmente disposti, di colore grigio-giallastro e spessori generalmente di circa 10 m; all'estremo inferiore di questo complesso, a contatto con le sottostanti argille, si incontra spesso uno strato di limi torbosi di colore più grigio, potenti un paio di metri.
- **Complesso "B":** costituito prevalentemente da argille, si estende fino alla profondità di 40 m circa. Al suo interno si distinguono:
 - ✓ le *argille superiori (B1)*, dette "*pancone*", che hanno consistenza media, da leggermente sovraconsolidate a normalconsolidate, tra 10 e 21 m;
 - ✓ le *argille intermedie (B2)*, tra 21 e 25 m di profondità, di elevata consistenza e sovraconsolidate;
 - ✓ le *sabbie intermedie (B3)*, tra 25 e 27 m;
 - ✓ le *argille inferiori (B4)*, tra 27 e 40 m di profondità, normalconsolidate e mediamente consistenti.
- **Complesso "C":** *sabbie inferiori*, talvolta limose e mediamente addensate, che possono giungere fino alla profondità di circa 70 m.

5. IDROGEOLOGIA E IDROGRAFIA

Nella pianura ha sede una complessa struttura idrogeologica composta, oltre che da discontinui livelli freatici superficiali, da un Acquifero Multistrato Confinato (Amc di Baldacci *et al.* 1994). I livelli acquiferi superficiali sono freatici o semiconfinati e costituiti da limi più o meno sabbiosi argillosi, e/o sabbie limose che formano un insieme di corpi lentiformi discontinui a permeabilità maggiore di quella dei terreni circostanti. L'Acquifero multistrato confinato descritto da Baldacci *et al.* 1994 è costituito sostanzialmente da due orizzonti acquiferi principali denominati:

- "1° acquifero artesiano in sabbie" (superiore);
- "1° acquifero artesiano in ghiaie" (inferiore).

L'acquifero freatico è generalmente poco produttivo, specie dove sono presenti terreni più fini, mentre l'acquifero confinato, più profondo che si attesta nelle ghiaie, è molto produttivo ed è quello maggiormente sfruttato. La struttura idrogeologica di cui sopra è rappresentata nella sottostante sezione litostratigrafica tratta da: "Struttura e piezometria del 1° acquifero artesiano in ghiaie della pianura di Pisa" (F. Baldacci *et al.* 1994)

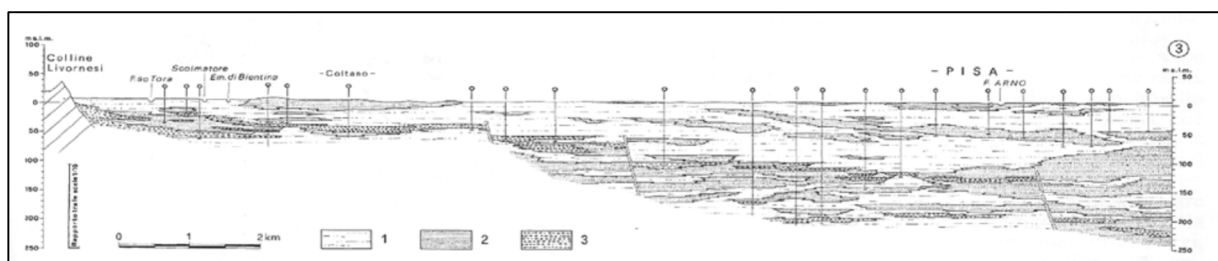


Fig. 2 - Sezione litostratigrafica interpretativa attraverso la Pianura pisana.

Legenda: 1. *Argille e limi*: argille limose, talvolta torbose, e limi argillosi, passanti a limi sabbiosi con lenti e straterelli sabbiosi; 2. *Sabbie*: sabbie prevalentemente medio fini, talvolta limose, con intercalazioni sia limose che sabbiose grossolane, fino a ghiaiose-ciottolose; 3. *Ghiaie*: ciottoli e ghiaie, talvolta con matrice sabbiosa in varie proporzioni, con intercalazioni di livelli francamente sabbiosi.

Per le caratteristiche di permeabilità delle Unità idrogeologiche si veda la Tabella 5 in Baldacci *et al.*, 1994; la traccia della sezione è nella Fig. 3.

Figura 3: area estratto carta geologica d'Italia

Questa ricostruzione risulta in accordo con la stratigrafia rilevata durante i carotaggi presi in considerazione, costituita da alternanze di sedimenti argilloso limosi poco permeabili e intercalazioni limo sabbiose possibili sedi di acquiferi semiconfinati o confinati con modesta circolazione idrica.

La porzione superficiale di terreno può tuttavia comportarsi come un acquitrino, ossia avere una bassa conduttività idraulica nonostante sia saturo di acqua proveniente in questo caso da precipitazioni intense e prolungate o da infiltrazioni provenienti dalla rete idrica minore.

Durante le attività sono stati installati piezometri con cella Casagrande a varie profondità, nei pressi dei sondaggi profondi denominati S1, S2 e S3 (a nord dell'area di studio); le falde rilevate in corrispondenza delle verticali investigate nella zona oggetto di variante attestano la presenza di una falda a poco oltre -1,5 m da p.c. Ad ogni modo la presenza della falda non interferirà con tale intervento.

Per quanto riguarda il reticolo idraulico superficiale della zona è inserito nel sistema della bonifica idraulica della Piana di Pisa (zona settentrionale) in parte a scolo naturale ("acque medie") ed in parte a scolo meccanico ("acque basse"). Si tratta di un complesso sistema di fossetti che recapitano le acque ai collettori principali che confluiscono rispettivamente nel Fiume Morto (acque medie) o ai punti di sollevamento (impianti idrovori) della rete di bonifica meccanica (acque basse).

I corsi d'acqua principali (Arno, Serchio e Canale Demaniale di Ripafratta), classificati "acque alte", non ricevono invece alcun contributo dal reticolo locale.

Il reticolo di riferimento fa capo al fiume Morto che drena la pianura compresa tra Serchio e Arno (**Figura 4**). Tale bacino si estende per oltre 100 km², anche se la superficie effettiva risulta pari a circa 76 km². La parte montuosa è drenata da affluenti che scendono dai monti di Calci mentre la parte pianeggiante drena la zona nord della città di Pisa e quella a sud del fiume Serchio. Tutto il territorio comunale posto a nord dell'Arno, convoglia le sue acque (meteoriche, reflue trattate e non) nel fiume Morto: tale zona fa parte della più ampia bonifica del fiume Morto, il cui comprensorio è definito dalla linea di displuvio dei Monti Pisani, dal fiume Serchio, dall'Arno e dal mare.

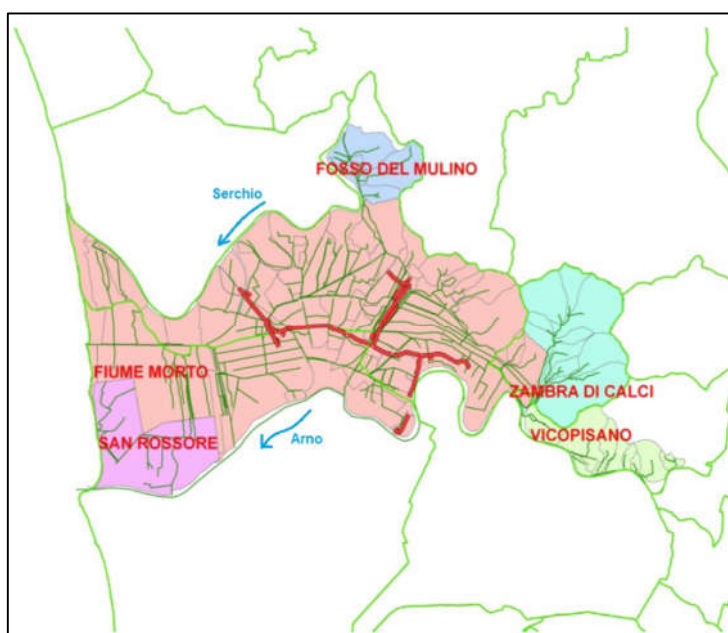


Figura 4: reticolo idrografico

Il canale demaniale di Ripafratta, detto anche Fosso del Mulino, è il canale di irrigazione che deriva dalle acque del fiume Serchio. Presenta un alveo incassato da Ripafratta fino all'abitato di Orzignano, poi le acque scorrono in un alveo pensile contenuto da due arginature a terra fino all'abitato di Pisa; prosegue poi nuovamente incassato fino ad immettersi nell'Arno. Nella parte arginata per impedire l'esondazione delle acque di piena, furono costruite cateratte per scaricare le acque in esubero in altri corsi d'acqua. Dall'opera di presa nel fiume Serchio alle mura urbane di Pisa vi è un dislivello di 4 km coperto con pendenza media di 0,33 m per metro lineare.

Entrando nel dettaglio dell'opera oggetto di Variante, costeggerà un fosso minore, denominato BV5735 e facente parte del Reticolo Idrografico Regionale di cui alla L.R. n. 79/2012, il quale mostra un andamento all'incirca est-ovest e si immette oltre l'Autostrada A12 nel Fosso dell'Anguillara.

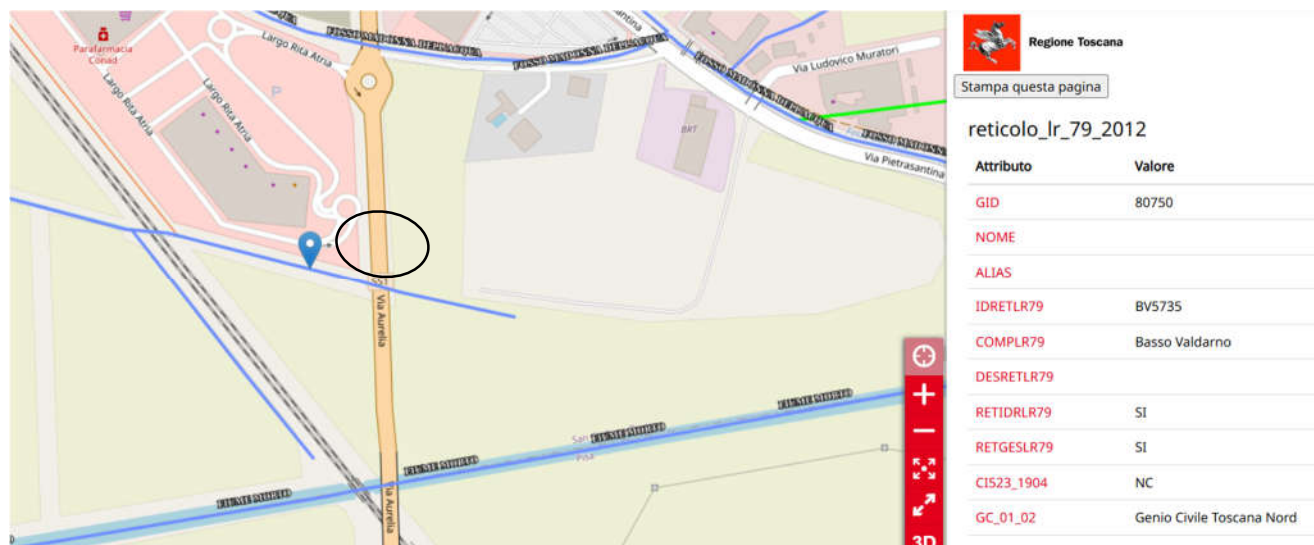


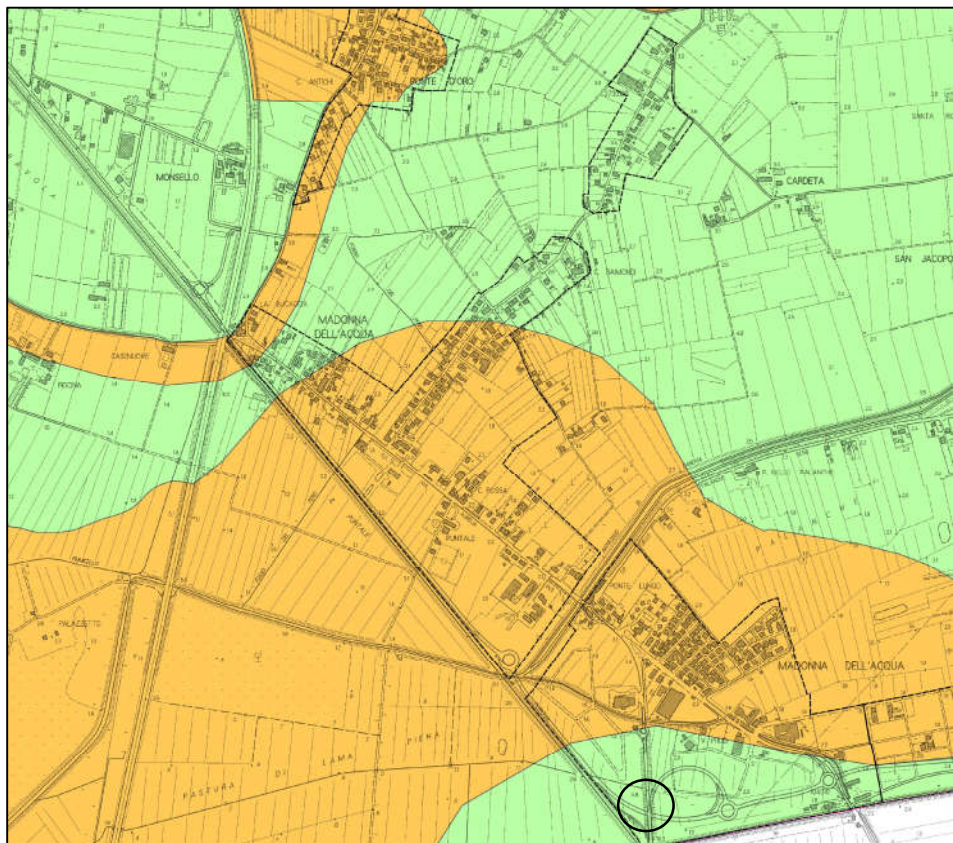
Figura 5: reticolo idrografico di gestione Regione Toscana - Legge regionale 79/2012

6. PERICOLOSITA' TERRITORIALE

Di seguito si mostrano le pericolosità dell'area desunte dal Piano Operativo Comunale (POC) di San Giuliano Terme redatte ai sensi del DPGR 53/R/2011

6.1. PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA

L'area oggetto di intervento si trova in una zona pianeggiante del comune di San Giuliano Terme caratterizzata da depositi olocenici alluvionali terrazzati di vario ordine prevalentemente limo sabbiosi. Nell'area non sono stati rilevati dissesti.



Legenda

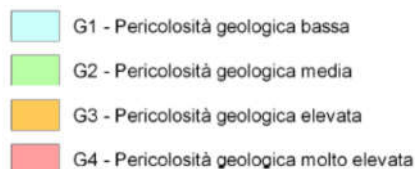


Figura 5: estratto carta della pericolosità geologica e legenda

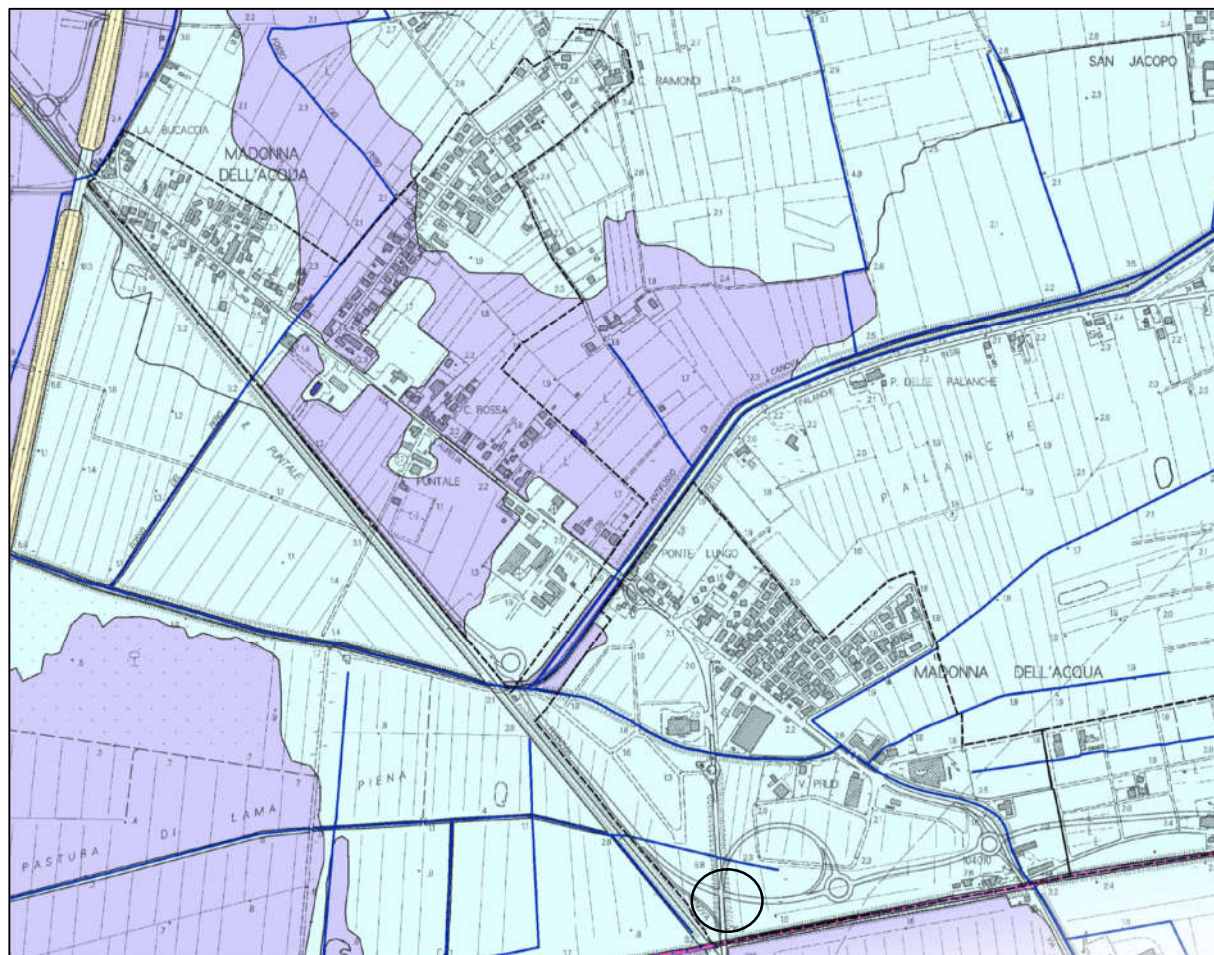
Come riportato in figura 5 l'area di intervento rientra nella seguente classe di pericolosità:

➤ **G2 pericolosità media:**

In questa classe sono state inserite le aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto. Sono ricompresi i versanti del complesso litoide affiorante o subaffiorante caratterizzati da pendenze inferiori al 75%, e terreni con caratteristiche litologiche mediocri, o con una sottile copertura pedologica purché con pendenze mediamente inferiori al 50%. Si riconoscono inoltre le aree di fondovalle con terreni di media consistenza e non soggetti a subsidenza diffusa né ad azioni erosive.

6.2. PERICOLOSITA' IDROGEOLOGICA

La carta della pericolosità idraulica estratta dal POC del Comune di San Giuliano Terme indica che l'area di studio ricade all'interno della classe di pericolosità idraulica, I3. Uno stralcio della carta di pericolosità comunale è riportato nella figura successiva:



LEGENDA

I.3 - Pericolosità idraulica elevata
Alluvioni poco frequenti ai sensi della L.R.41/2018

Aree interessate da allagamenti con $30 < Tr \leq 200$ anni

- Da studio idraulico eseguito nella presente indagine
- Da strumenti sovraordinati (PGRA - PAI Serchio)

I.4 - Pericolosità idraulica molto elevata
Alluvioni frequenti ai sensi della L.R.41/2018

Aree interessate da allagamenti con $0 < Tr \leq 30$ anni

- Da studio idraulico eseguito nella presente indagine
- Da strumenti sovraordinati (PGRA - PAI Serchio)

Figura 6: estratto carta della pericolosità idraulica

Di seguito le pericolosità ai sensi del DPGR 53/R/2011:

I.3 - Pericolosità idraulica elevata: aree fragili per eventi di esondazione compresi tra $30 < Tr > 200$ anni.

Il 17 dicembre del 2015 è entrato in vigore il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) che recepisce la direttiva comunitaria 2007/60/CE, il decreto legislativo 23/02/2010 n.49 e che sostituisce il Piano di Assetto Idrogeologico relativamente agli aspetti legati alla pericolosità idraulica.

La nuova normativa prevede la classificazione di pericolosità idraulica del territorio secondo tempi di ricorrenza identici a quelli individuati dal D.P.G.R. 53/R, anche se viene adottata una differente denominazione per le varie classi. Per comparare le due normative si può far riferimento alla tabella seguente

Tempi di ricorrenza D.P.G.R.53/R PGRA L.R.41/2018	Tempi di ricorrenza D.P.G.R.53/R PGRA L.R.41/2018	Tempi di ricorrenza D.P.G.R.53/R PGRA L.R.41/2018	Tempi di ricorrenza D.P.G.R.53/R PGRA L.R.41/2018
TR<= 30 anni Pericolosità idraulica	TR<= 30 anni Pericolosità idraulica	TR<= 30 anni Pericolosità idraulica	TR<= 30 anni Pericolosità idraulica
30< TR<= 200 anni Pericolosità idraulica	30< TR<= 200 anni Pericolosità idraulica	30< TR<= 200 anni Pericolosità idraulica	30< TR<= 200 anni Pericolosità idraulica
200< TR<= 500 anni Pericolosità idraulica	200< TR<= 500 anni Pericolosità idraulica	200< TR<= 500 anni Pericolosità idraulica	
500 anni< TR Pericolosità idraulica	500 anni< TR Pericolosità idraulica	500 anni< TR Pericolosità idraulica	

Tabella 2: classificazione di pericolosità idraulica

Con riferimento al quadro conoscitivo del Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico P.A.I. – I Aggiornamento e II° Aggiornamento” (piani non più vigenti nel settore del rischio idraulico) confluito nella “Variante generale funzionale all’adeguamento del PAI del fiume Serchio al Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico dell’Appennino Settentrionale” (piano adottato con Del. Conf. Ist. Perm. N.14 del 18/11/2019), l’area in oggetto si trova all’interno della classe di Pericolosità P2. Uno stralcio è riportato in figura successiva

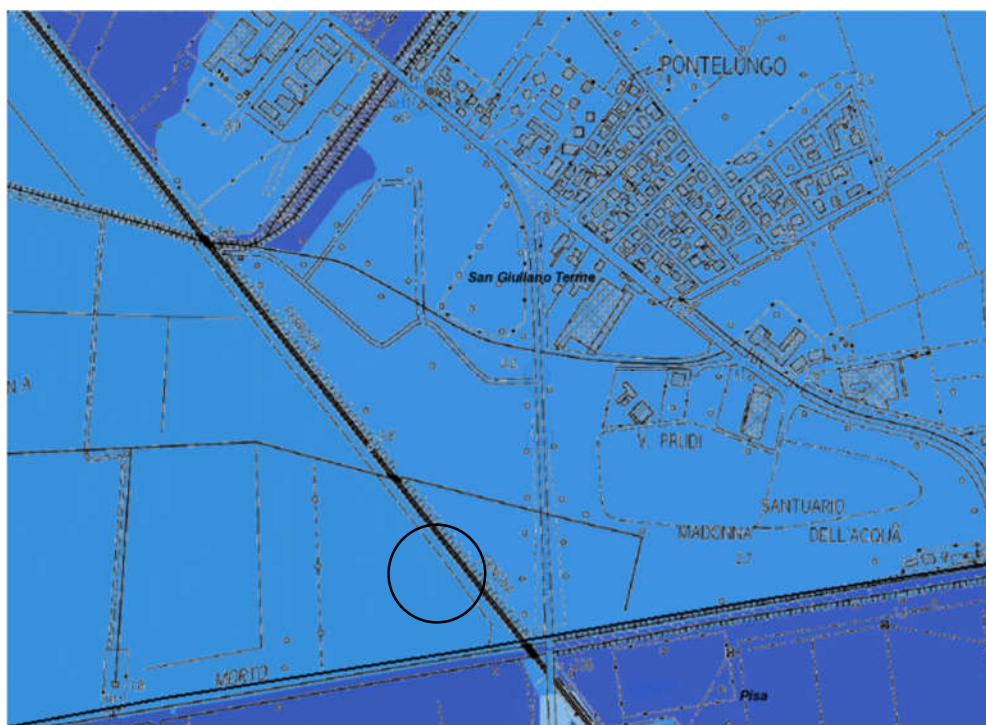


Figura 7: estratto PGRA caratteristiche idrauliche

Pericolosità da alluvione - Serchio - Dominio fluviale



L'area ricade in:

- pericolosità da alluvione media (P2), comprendenti le aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni;

Per la fattibilità dell'intervento di variante si rimanda agli elaborati idrologici/idraulici allegati al progetto. Si sottolinea che in tali documenti verranno affrontati i temi dell'invarianza idraulica e dei volumi di compensazione per l'area allagabile.

6.3. PERICOLOSITA' SISMICA

Per quanto riguarda la pericolosità sismica l'area di intervento secondo il POC del Comune di San Giuliano Terme rientra in aree caratterizzate da pericolosità sismica media (S2).

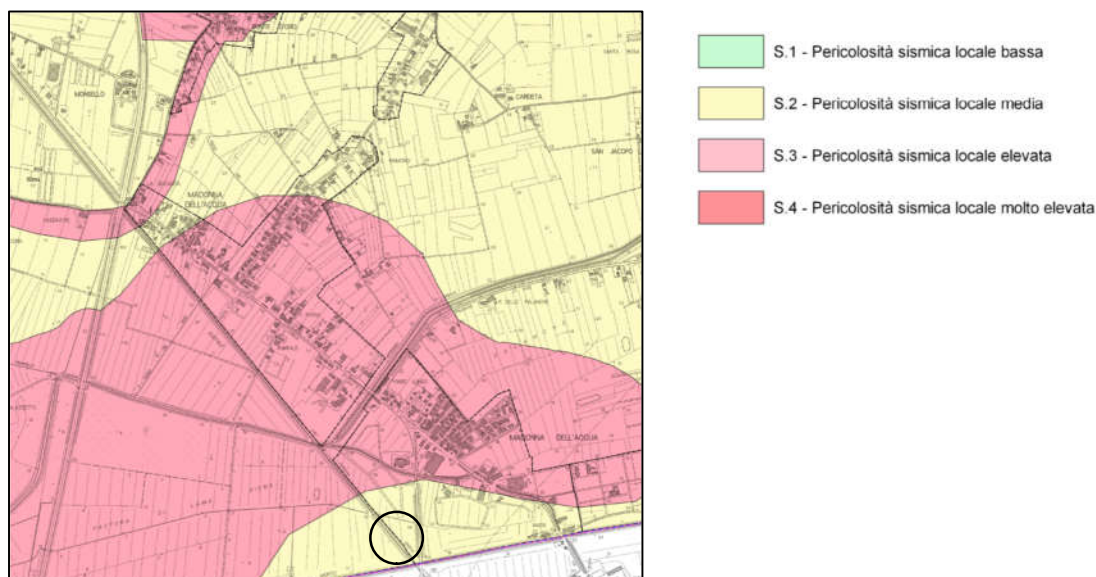


Figura 8: estratto carta della pericolosità sismica

Come si può vedere dalla figura 8 nell'area di intervento risulta essere presente la seguente sismicità:

- Pericolosità sismica media (S2) è stata attribuita alle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali non ricadenti in classe di pericolosità superiore.

Si tratta delle aree di fondovalle non cedevoli, caratterizzate da terreni di media qualità geotecnica, e le aree montane prive di elementi di potenziale instabilità.

6.4. SISMICITA'

Il sito oggetto di studio è inserito in un'area che si colloca all'interno delle strutture tettoniche caratteristiche dell'Appennino settentrionale su cui si ripercuotono i movimenti sismici che interessano la Lunigiana e l'alta Garfagnana.

Per quanto riguarda il rischio sismico, la Regione Toscana con la Deliberazione della Giunta Regionale n. 421 del 26 Maggio 2014 e pubblicata sul B.U.R.T.- Parte Seconda n. 22 del 04 giugno 2014, è stato approvato un aggiornamento della classificazione sismica regionale, relativo all'aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della D.G.R.T. n. 878 dell'8 ottobre 2012 dove venivano recepiti i moderni criteri nazionali di stima della pericolosità sismica (O.P.C.M. 3519/2006 ed NTC 2008).

Vengono distinte quattro zone, a pericolosità decrescente:

- Zona 1 - E' la zona più pericolosa. Possono verificarsi fortissimi terremoti
- Zona 2 - In questa zona possono verificarsi forti terremoti
- Zona 3 - In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari
- Zona 4 - E' la zona meno pericolosa. I terremoti sono rari

Ad ognuna delle suddette zone sismiche viene assegnata l'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06) come accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ed indicata con "ag":

- zona 1 - $ag > 0.25$
- zona 2 - $0.15 < ag \leq 0.25$
- zona 3 - $0.05 < ag \leq 0.15$
- zona4 - $ag \leq 0.05$

Dalla mappa di pericolosità sismica della Regione Toscana riportata nel suddetto allegato 2 al DGRT n.421/2014, il Comune di di San Giuliano Terme viene classificata come zona 3 (figura sottostante). Per cui il sito di interesse ricade interamente in un'area a bassa pericolosità sismica.

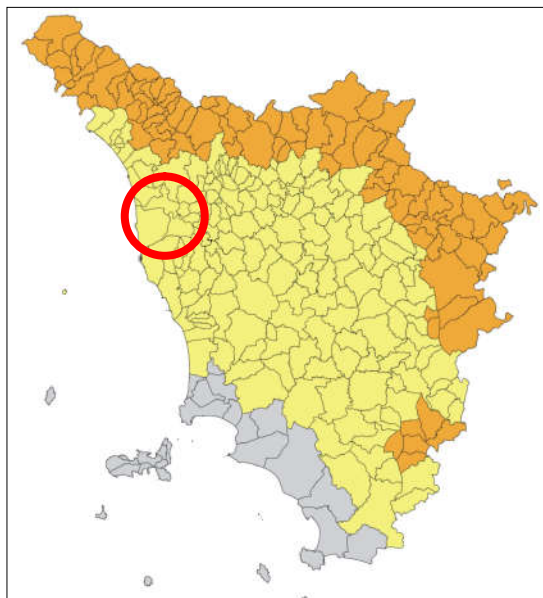


Figura 9: estratto stralcio della Carta della "Classificazione Sismica della Regione Toscana" allegato 2 al DGRT n.421/2014.

6.4.1. Microzonazione sismica del Comune di San Giuliano Terme

Il Comune di San Giuliano Terme si è dotato della Microzonazione Sismica (di seguito definita MS) che rappresenta la valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo. In sostanza, la MS individua e caratterizza le Zone stabili, le Zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le Zone suscettibili di instabilità. È ormai noto che lo stesso evento sismico può provocare scuotimenti decisamente differenti a seconda degli spessori e delle qualità dei terreni posti a copertura del bedrock e delle caratteristiche morfologiche del sito. È, inoltre, riconosciuto che gli effetti di un terremoto variano col variare delle condizioni geologiche in cui esso si sviluppa. In funzione dei diversi contesti e dei diversi obiettivi, gli studi di MS possono essere effettuati a vari livelli di approfondimento, con complessità e impegno crescenti, passando dal Livello 1 fino al Livello 3:

- il Livello 1 è un livello propedeutico ai veri e propri studi di MS, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee rispetto alle zone sopra descritte;
- il Livello 2 si propone di quantificare l'effetto sismico proprio di ogni zona omogenea individuata nel Livello 1, utilizzando allo scopo ulteriori e mirate indagini, ove necessario, e definisce la Carta di Microzonazione Sismica;
- il Livello 3 restituisce una Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti su tematiche o aree particolari

6.4.2. 1° Livello di Microzonazione sismica del comune di San Giuliano Terme

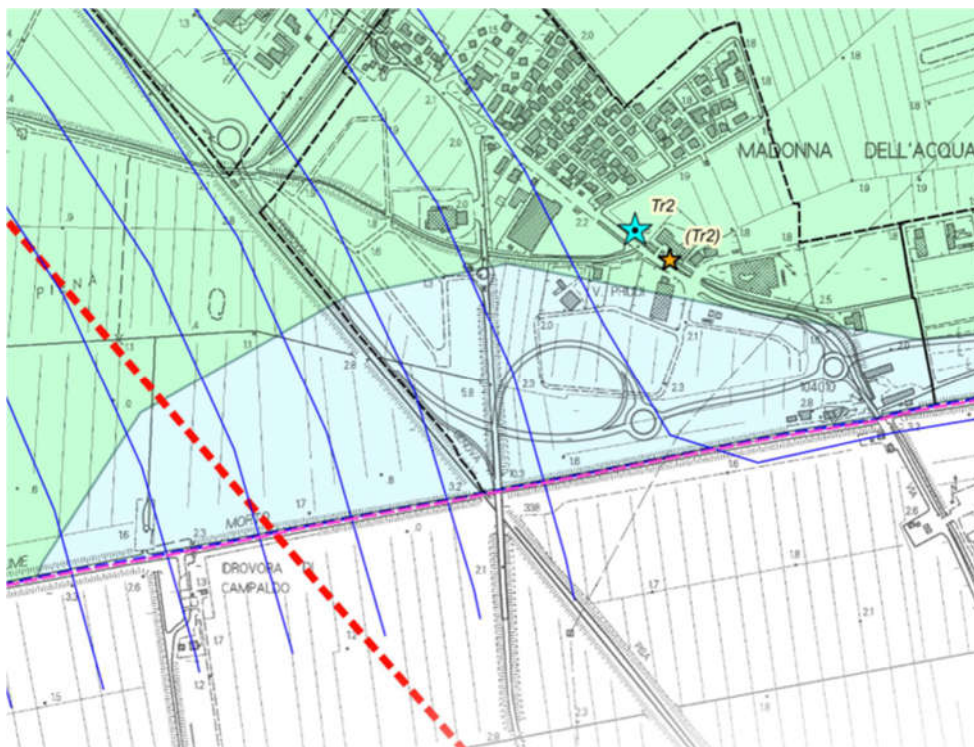
La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) allegata al POC del Comune di San Giuliano Terme ha come finalità la suddivisione del territorio comunale nelle seguenti aree:

- Zone stabili
- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
- Zone suscettibili per instabilità

La MOPS è stata ricostruita alla scala 1:10.000 a partire dalla Carta geologico-tecnica, integrandone e rivedendone i contenuti; nella stessa carta sono state riportate anche le misure delle frequenze fondamentali dei depositi. Per quanto riguarda il territorio comunale di San Giuliano Terme, vista la vicinanza reciproca delle UTOE è stato scelto di perimetrare un'unica area di lavoro vasta (in seguito definita "Area MOPS"), che racchiude tutte le UTOE e comprende anche parte del parco naturale di Migliarino San Rossore, dove affiora una porzione di sedimenti di età Pleistocenica superiore. Da una analisi complessiva delle indagini geognostiche, ed in particolare delle perforazioni profonde e delle indagini simiche, sono state definite le aree di fondovalle caratterizzate da uniformi caratteristiche stratigrafiche di massima. Per quanto riguarda le aree montane il sottosuolo è caratterizzato da rocce stratificate con valori di Vs generalmente superiori a 800m/s. Questo territorio è stato quindi unificato in una microzona unica (Zona 1) alla quale si sono aggiunte e distinte le aree con detrito da quelle con dissesti di carattere geomorfologico.

In figura successiva si mostra la tavola Microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS e frequenze fondamentali; l'area di interesse ricade all'interno delle **"zone stabili suscettibili di amplificazioni locali"**.

Nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono possibili amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale.



LEGENDA

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

- ZONA 5 - Depositi alluvionali attuali e recenti
- ZONA 4 - Depositi incoerenti di età pleistocenica
- ZONA 3 - Alluvioni terrazzate su roccia
- ZONA 2 - Conoide alluvionale su roccia

Figura 10: estratto POC carta della MOPS

Di seguito si riporta un estratto della carta delle colonne stratigrafiche delle MOPS che rappresentano lo sviluppo in profondità delle varie microzone omogenee:

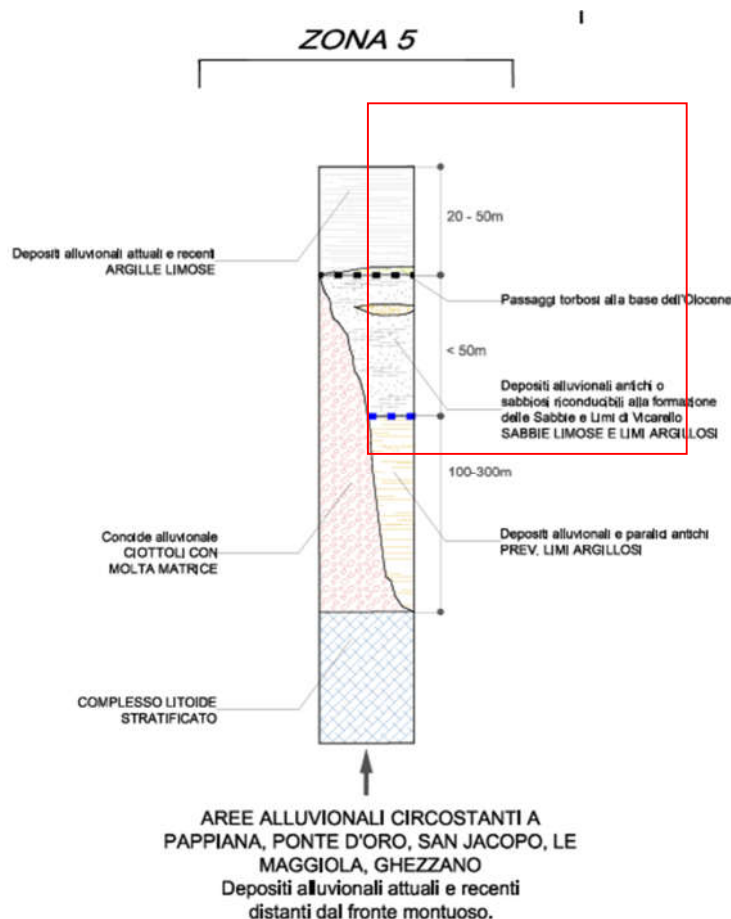


Figura 11: estratto POC carta delle colonne stratigrafiche delle MOPS

La “Zona 5”, all’interno della quale ricade l’area di studio si riferisce a tutte le aree di fondovalle caratterizzate da sedimenti alluvionali olocenici affioranti di natura prevalentemente coesiva poco consistente. La zona 5 è attraversata dalla maggior parte delle indagini geognostiche in quanto in essa, unitamente alle zone più fragili affini (“CD”, “L”, “Amplificazione Stratigrafica”), si sviluppano gran parte dei centri urbani tra cui loc. Pappiana, San Jacopo, Le Maggiola, Ghezzano. Le numerose perforazioni che attraversano questa formazione (tra le principali ricordiamo 192894, 192856, 192804, 7283, 192808, 192892, 299) mostrano prevalenti argille limose molto spesso torbose o fossilifere, di consistenza plastica, che raggiungono spessori compresi tra 20m e 60m. Le velocità di propagazione delle onde di taglio, registrate nelle numerose indagini geofisiche a disposizione (prevalentemente MASW, tra cui ad esempio le S70, S45, S3, S12, S103, S75 etc.) nei primi 30m sono comprese tra 150 e 170m/s.

In fase di progettazione definitiva è stata eseguita la verifica di suscettibilità alla liquefazione. I risultati di tale verifica sono riportati all’interno della Relazione Geotecnica elaborato 2.3.1 nome file 558D12GEO100C, a cui si rimanda per ulteriori dettagli.

6.4.3. Caratterizzazione sismica del sito

All'interno delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 14/01/2008), elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, è stato inserito l'allegato A che prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti nel sito dell'INGV. Come noto, l'Ordinanza 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri del 20/03/2003 ha esplicitamente previsto la definizione di una mappa aggiornata di pericolosità sismica del territorio italiano, stata affidata all'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che ha rimappato il territorio nazionale in zone sismogenetiche, tale zonazione viene definita ufficialmente ZS9 (Meletti e Valensise, 2004). La zonazione è costituita da 42 zone-sorgente, identificate da un numero che va da 901 a 936, che presentano limiti di colorazione nera e blu; i limiti neri definiscono limiti il cui tracciamento dipende esclusivamente da informazioni tettoniche o geologico strutturali. L'area oggetto di studio ricade all'interno della zona sismogenetica identificata con il valore 916. (zonazione sismogenetica ZS9, INGV)

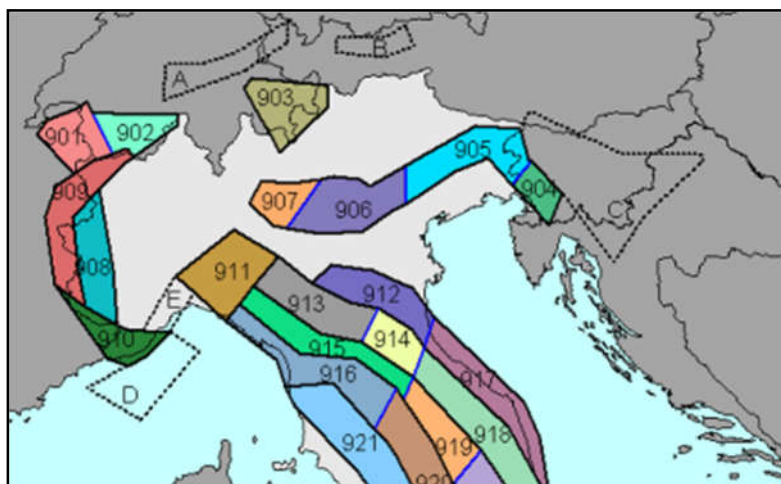


Figura 12: zona sismogenetica ZS9

Per la scelta della magnitudo attesa per il territorio del Comune di San Giuliano Terme è pari a MW= 6,14 circa, il valore è indicato dall'INGV, come riportato dalla seguente tabella:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	DISS2 MwMax	CPTI2 MwMax	CPTI2 MwMax (classe)	CPTI2 completo 04.2	Az1	Mw Max1	Az2	Mw Max2
Savoia	901		5.79	5.68	5.68	+1(a)	5.91	+2(d)	6.14
Vallese	902		6.10	6.14	6.14		6.14		6.14
Grigioni-Valtellina	903		5.79	5.68	5.22	+3(b)	5.91	+4(d)	6.14
Trieste -Monte Nevoso	904		5.71	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Friuli -Veneto Orientale	905	6.4	6.66	6.60	6.60		6.60		6.60
Garda-Veronese	906	6.2	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60
Bergamasco	907	5.9	5.67	5.68	5.68	G	5.91	+2(d)	6.14
Piemonte	908		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Alpi Occidentali	909		5.54	5.45	5.45	+1(a)	5.68	+3(d)	6.14
Nizza-Sanremo	910	6.3	6.29	6.37	6.37		6.37		6.37
Tortona-Bobbio	911		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Dorsale Ferrarese	912	6.2	5.88	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14
Appennino Emiliano-Romagn.	913		5.85	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Forlivese	914		5.97	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Garfagnana-Mugello	915	6.4	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60
Versilia-Chianti	916		5.52	5.45	5.45	+1(c)	5.68	+3(d)	6.14
Rimini-Ancona	917	6.1	5.94	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzz.	918		6.23	6.14	6.14	+1(a)	6.37	+1(a)	6.37

Figura 13: estratto Rapporto Conclusivo della Redazione della
Mappa di Pericolosità Sismica (Aprile 2004) dell'INGV

Facendo riferimento allo studio pubblicato dall'INGV (Database of Individual Seismogenic Sources - versione 3.2.0 - giugno 2015 - <http://diss.rm.ingv.it/diss/Downloads.html>), è possibile verificare che sono presenti diverse importanti strutture sismogenetiche.

Tra queste la più vicina al sito in esame è la struttura sismogenetica classificata come ITC5088 "Livorno Hills" secondo DISS3, ubicata a sud della piana pisana, con orientazione NNW-SSE. Tale struttura è in grado di produrre sismi di magnitudo fino a 5.7 Richter con profondità variabili tra 1 e 7 km (cfr. **Figura 14**).

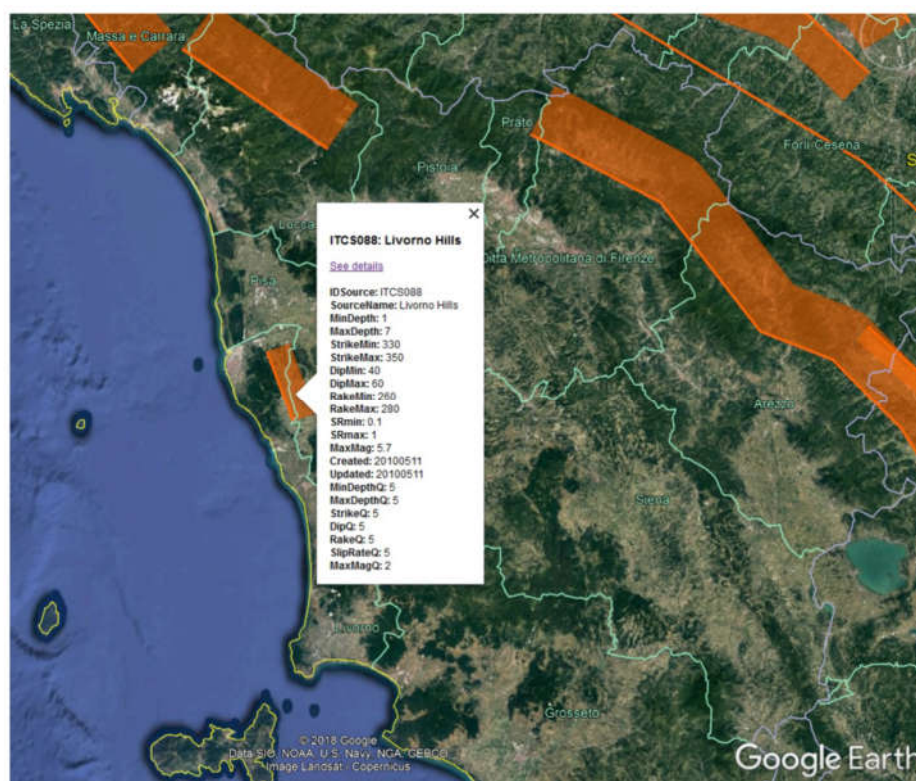


Figura 14: INGV - DISS3 - Mappa dei lineamenti sismogenetici su Google Earth (dettaglio)

È opportuno citare anche le strutture sismogenetiche ITC5083 "Garfagnana" e ITC5026 "Lunigiana", entrambe orientate NW-SE, posizionate a NNO dell'area in esame. La prima è in grado di produrre sismi fino a 6.4 Richter, con profondità variabili tra 1 e 10 km: questa struttura composta comprende la regione della valle del Serchio e include una serie di faglie riattivate durante i sismi sopracitati. La seconda struttura, caratterizzata da magnitudo fino a 6.0 Richter e profondità tra 1 e 10 km, può essere intesa come il possibile prolungamento verso NO del Sistema di Faglie appenniniche immergenti a NE e segna il limite nordoccidentale del sistema di faglie distensive degli Appennini Settentrionali.

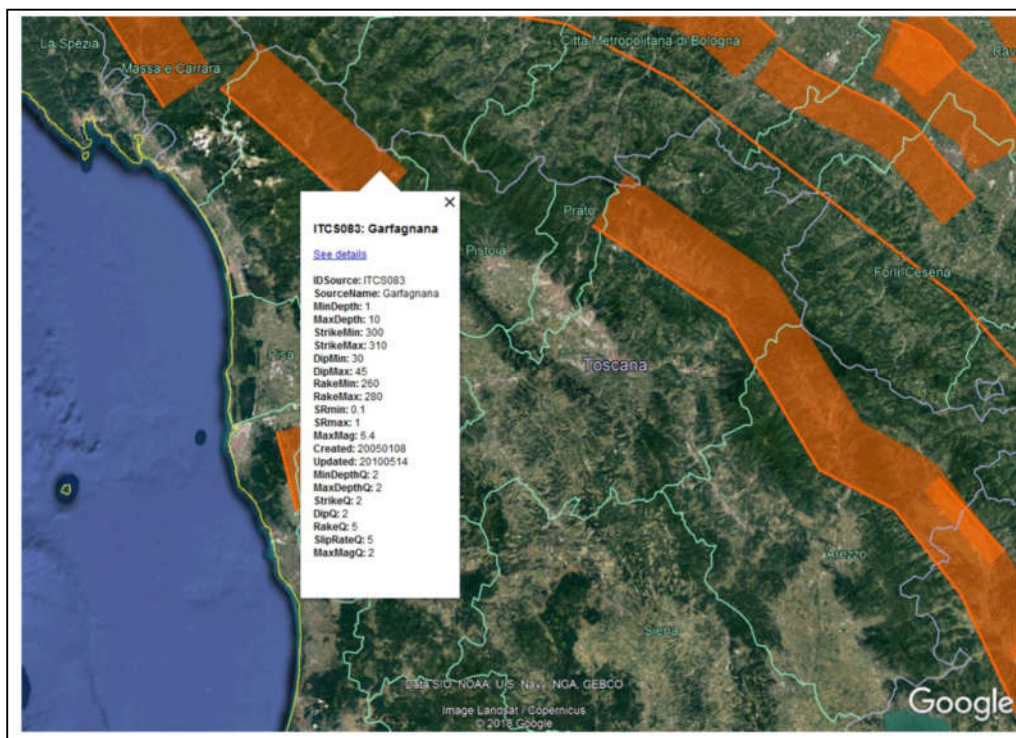


Figura 15: INGV - DISS3 - Mappa dei lineamenti sismogenetici su Google Earth (dettaglio)

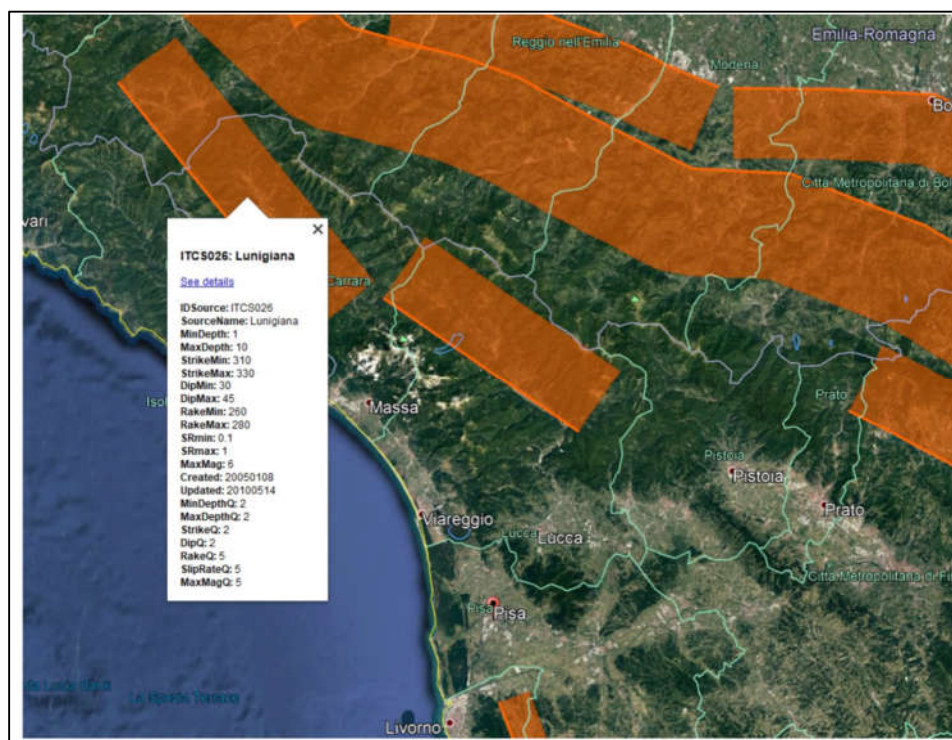


Figura 16: INGV - DISS3 - Mappa dei lineamenti sismogenetici su Google Earth (dettaglio)

La Figura successiva mostra invece l'epicentro dell'ultimo terremoto registrato, di magnitudo 5.36, compreso nel "Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (Rovida et al., 2016), ubicato a Parma in Emilia Romagna, che è stato risentito nel Comune di Pisa con intensità pari a 4.

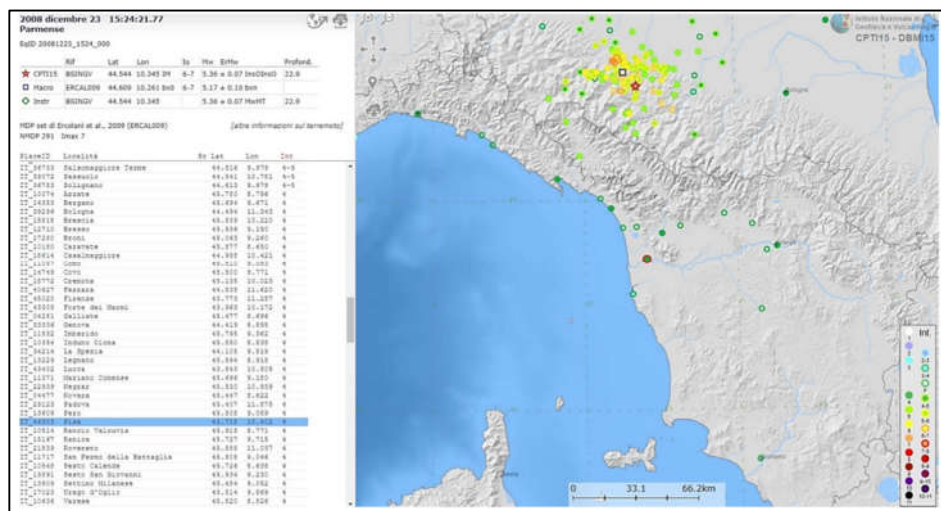


Figura 17: Dati relativi al terremoto del 23 dicembre 2008 - Parma, Emilia Romagna

Il Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Rovida et al., 2016) è utile a fornire un quadro completo dei livelli di sismicità dell'area di interesse, contenendo tutte le informazioni riguardanti le intensità macrosismiche osservate a seguito dei terremoti accaduti fino al 2014. In particolare, il grafico di **Figura 18** mostra la storia sismica del Comune di Pisa dal 1100 ad oggi, con la presenza di sismi le cui massime intensità risentite arrivano a valori di 6-7 (cfr. database in **Figura 19**).

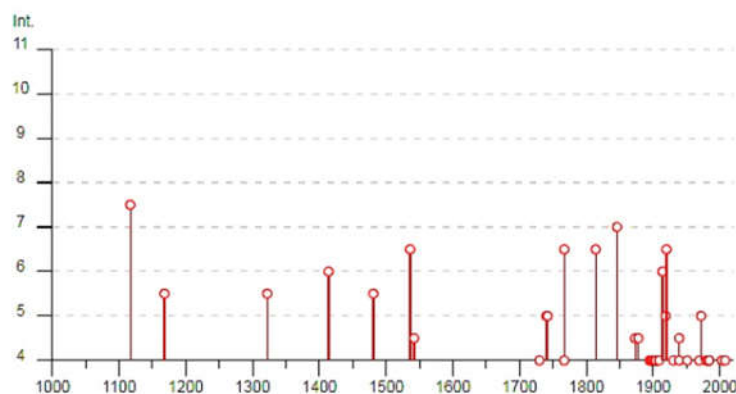


Figura 18: Storia sismica del comune di Pisa

Pisa

Stato: IT_44000
Coordinate (lat,lon): 43.713, 10.402
Comune (ISTAT 2015): Pisa
Provincia: Pisa
Regione: Toscana
Numero di eventi riportati: 80

Effetti	In occasione del terremoto del	Int.	Anno	Me	Gi	Mo	Mi	Se	Area spicciolare	MED	Io	Me
Int.	1117	01	00	15	18				Monti Pisani	8		
1-6	1119	01	10						Pisa	2	5-6	4.40
1-6	1322								Pisa	2	5-6	4.40
HF	1348	01	28						Alpi Giulie	89	8	4.83
HF	1349	03	09	05	16				Viterbo	9		
6	1414	08	07						Colline Metallifere	8	7-8	5.70
1-6	1481	02	04	21	16				Monti Pisani	4	5-6	4.40
6-7	1556	03	17	09	05				Appennino settentrionale	10	6-7	5.12
4-5	1642	06	15	02	15				Mugello	46	5	4.02
1	1720	03	29	00	05				Venezia	4	4	3.70
5	1740	03	04	05	40				Garfagnana	32	5	5.64
5	1742	01	27	11	20				Livornese	16	4	4.87
7	1746	07	28	18	18				Garfagnana	10	7	5.15
4-7	1787	01	22	07	45				Lunigiana	10	7	5.27
4	1787	01	22	09					Lunigiana	7	5-6	4.60
7	1771	01	08	05	30				Livorno	2	5-6	4.40
5	1775	01	04	12					Appennino emiliano	6	4	4.45
7	1778	01	08	22	48				Appennino emiliano	7	5	4.55
4-7	1814	04	09						Costa pisano-livornese	4	4-7	5.12
7	1840	10	20	05	00				Mugello	17	6-7	5.00
7	1848	08	14	12					Collina Pisana	111	9	6.04
5	1849	11	20	12					Val di Taro	7	6	4.60
3-4	1871	07	29	20	48				Val di Cecina	14	7-8	5.15
3-6	1879	02	12	23	04				Appennino marchigiano	195	8	5.55
4-5	1879	03	17						Appennino toscano-ligure	64	6-7	5.06
4-5	1879	04	10	18	55				Lunigiana	12	6-7	4.99
5	1887	02	20	00	21				Liguria occidentale	1511	9	6.27
HF	1887	11	14	05	48				Florentino	101	6	4.47
5	1891	05	07	01	06				Valle d'Ilasi	403	2-3	5.07
4	1898	05	18	19	58				Florentino	401	5	5.50
5	1899	09	07	19	49				Appennino toscano-emiliano	84	5	4.67
2	1897	07	27	09	02				Valdarno inferiore	55	5-6	4.27
4	1897	09	04	08	10				Valdarno inferiore	104	5-6	4.55
1	1898	03	04	21	05				Parma	313	7-8	5.07
4	1899	06	26	25	17				Valle del Bisenzio	138	7	5.02
5	1901	10	30	14	49				Costa occidentale	289	7-8	5.44
4	1902	03	05	07	06				Garfagnana	59	7	4.90
4	1902	08	04	22	34				Lunigiana	40	6	4.79

5	1905	07	27	05	46				Lunigiana	75	7-8	5.15
5	1906	02	26	18	47				Rapagnano	62	6	4.91
6	1904	08	10	11	26				Frignano	102	6	4.82
4	1904	11	17	08	03				Stivellano	354	7	5.10
4	1905	01	15	00	45				Enlila Bonagugliata	887	6-7	5.06
HF	1909	09	24	00	22				Costa Senesi	259	7-8	5.04
4	1914	01	14	03	27				Livornese	24	5	4.99
4	1914	18	07	08	23				Livornese	460	7	5.48
2	1918	01	15	04	52				Mediceo	1341	11	7.05
3	1916	05	17	12	40				Ravennese	192	5	4.62
7	1916	08	14	07	04				Ravennese	297	8	5.92
5	1919	04	29	18	04				Mugello	888	10	6.58
6-7	1920	03	07	05	55				Garfagnana	750	10	6.55
HF	1920	10	04	22	47				Montevetro	19	6-6	4.24
3-4	1924	04	12	21	03				Frignano	28	5-6	4.46
3	1928	03	18	17	18				Appennino toscano-emiliano	18	4	4.10
4	1930	05	24	22	02				Appennino toscano-emiliano	4	4	3.91
3	1937	12	10	10	04				Frignano	23	6	5.00
4-5	1939	10	18	10	06				Garfagnana	62	6-7	4.98
4	1939	10	18	10	06				Lunigiana	19	5-6	4.88
2	1950	04	01						Livornese	15	4	4.55
4	1951	08	12	21	10				Garfagnana	21	6	4.95
2	1960	10	29	00	09				Mugello	89	7	5.91
5	1961	07	19	05	44				Mar Ligure	412	8	5.55
4	1969	01	06	22	00				Appennino pisano	74	6-7	4.67
2-3	1970	09	19	12	23				Colline Metallifere	25	6	4.69
5	1972	10	26	21	49				Appennino settentrionale	195	8	5.97
5	1974	08	15	05	21				Triuli	84	5-6	4.98
4	1980	04	07	15	35				Garfagnana	102	6	4.64
2	1980	12	23	12	01				Pistoiese	67	5-7	4.67
3	1982	09	01	18	39				Valle del Serchio	47	5-6	4.21
4	1983	11	09	16	29				Torinese	880	6-7	5.04
4	1984	04	22	17	55				Costa pisano-livornese	35	6	4.61
4	1984	06	01	22	16				Costa pisano-livornese	16	5	4.69
3	1986	01	23	10	10				Garfagnana	78	6	4.60
3-4	1987	05	22	08	10				Costa pisano-livornese	187	5-6	4.15
3-4	1988	02	08	15	56				Trignano	43	5	4.20
2-4	1990	10	10	06	14				Lunigiana	581	7	5.92
3	1996	10	18	09	54				Parma emiliana	139	7	5.38
4	2003	09	14	21	42				Appennino tosco-livornese	133	4	4.14
3-4	2004	11	24	22	53				Costa occidentale	176	7-8	5.35
4	2008	12	29	18	24				Parma	291	6-7	5.05

Figura 19: Storia sismica del comune di Pisa

7. INDAGINE GEOGNOSTICHE

Gli elementi necessari per la progettazione delle opere previste per la nuova viabilità sono stati ricavati principalmente dall'interpretazione dei dati geognostici disponibili dalle diverse campagne di indagine eseguite ed allegate al Progetto Definitivo ed Esecutivo.

In particolare si è fatto riferimento alle quelle ubicate in prossimità della zona di studio, eseguite nel 1999 e nel 2017, ovvero:

- N.1 sondaggio geognostico a rotazione a carotaggio continuo (**SN1**), spinto a profondità di 50 m, in modo da caratterizzare completamente il volume geotecnicamente significativo, con esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro di sondaggio tipo SPT, prove di permeabilità in foro di sondaggio tipo Lefranc, prelievo di campioni rimaneggiati e campioni indisturbati di terreno per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio oltre al prelievo di campioni ambientali di terreno per l'esecuzione di analisi chimiche per la verifica della compatibilità dei terreni con le CSC e per la verifica dell'idoneità al riutilizzo – **anno 2017**;
- N.1 prova penetrometrica statica CPT a punta meccanica (**CPT3**), spinta a profondità di 25 m – **anno 2017**;
- N.1 prospezione sismica di tipo MASW e H/V, eseguita in corrispondenza della postazione del sondaggio SN1, per la caratterizzazione dinamica dei terreni (VS30) – **anno 2017**;
- N.2 prove penetrometriche statiche spinte fino a (CPT 10384 e CPT 10385) – **anno 1999**.

Le ubicazioni delle prove prese in considerazione sono rappresentate in tavola 3/3 allegata alla Relazione Geologica Integrativa appartenente al P.E.

7.1. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

7.1.1. Sondaggio geognostico

Il sondaggio è stato eseguito mediante sonda di perforazione a carotaggio continuo “Atlas Copco 9F3” (diametro 101/127 mm). Il metodo a carotaggio continuo consiste nella perforazione del terreno mediante un carotiere avvitato all'estremità inferiore della batteria di perforazione, formata da una serie di aste avvitate tra loro. Il carotiere taglia una corona di terreno lasciandone intatta la parte cilindrica centrale (carota) che viene distaccata dal sottostante terreno e portata alla superficie ed alloggiata in apposite cassette catalogatrici. La perforazione è stata caratterizzata da basso numero di giri utilizzando un carotiere semplice di diametro 101 mm con, eventuale, rivestimento metallico a seguire di diametro 127 mm per evitare il crollo delle pareti del foro. Il carotaggio a basso numero di giri ha consentito di ottenere carote di terreno indisturbate riducendo l'attrito tra aste e terreno. Le carote estratte sono state alloggiare in cassette catalogatrici in materiale plastico atossico dotate di separatori interni su cui sono state apposte, in maniera chiara ed indelebile, le informazioni relative a: nome del sito, numero del sondaggio, profondità dell'intervallo di carota contenuto nella cassetta.

Durante l'avanzamento del sondaggio sono stati prelevati campioni indisturbati con fustella Shelby e campioni rimaneggiati nei terreni incoerenti.

I report delle indagini prese in considerazione per la Variante sono inseriti negli Allegati 2.1.1 e 2.1.2 del Progetto Definitivo.

7.1.2. Prove penetrometriche statiche (CPT)

La prova penetrometrica del 2017 è stata effettuata mediante un Penetrometro statico/dinamico modello DEEP DRILL SP50-SM SPINTA 50 kN.

Durante la prova penetrometrica statica, ogni 20 cm di avanzamento sono state fatte misure di resistenza alla punta (Q_c), di resistenza laterale (F_s) e spinta totale (rivestimento + punta) (Q_t); è stato inoltre calcolato per le varie profondità il rapporto Q_c/F_s (rapporto Begemann) utile per l'interpretazione stratigrafica e per dedurre i seguenti parametri geotecnici:

- γ (gamma) = peso di volume (kg/dm³)
- σ'_{vo} (sigma) = pressione verticale efficace (kg/cm²)
- $\Phi(f_i)$ = angolo di attrito interno (°)
- c_u = coesione non drenata (kg/cm²)
- OCR = grado di sovraconsolidazione
- E_u = modulo di deformazione non drenato
- M_o = modulo di deformazione edometrico (kg/cm²)

7.1.3. Indagine sismica – Analisi multicanale delle onde Superficiali (MASW)

La conoscenza dell'andamento nel primo sottosuolo della velocità di propagazione delle onde di taglio è, come noto, importante negli studi di microzonazione sismica dedicati alla stima di possibili effetti di sito, capaci di amplificare il moto del terreno durante un terremoto. Negli ultimi anni hanno avuto ampio sviluppo tecniche geofisiche basate sull'analisi della propagazione delle onde superficiali ed in particolare, delle onde di Rayleigh. Le proprietà dispersive di tali onde in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S. Il metodo di indagine attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è basato su una artificiale energizzazione sismica del suolo

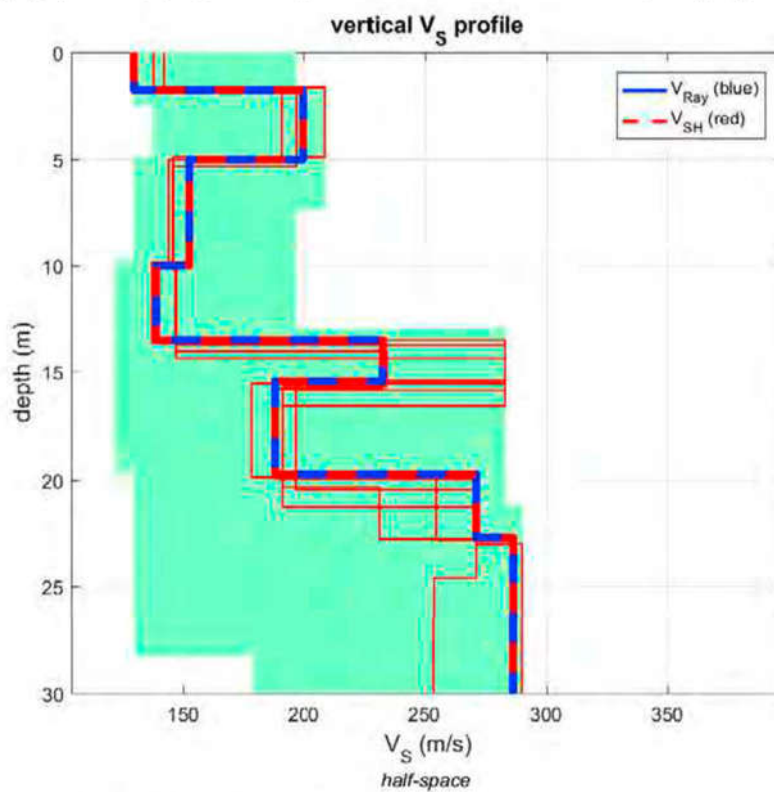
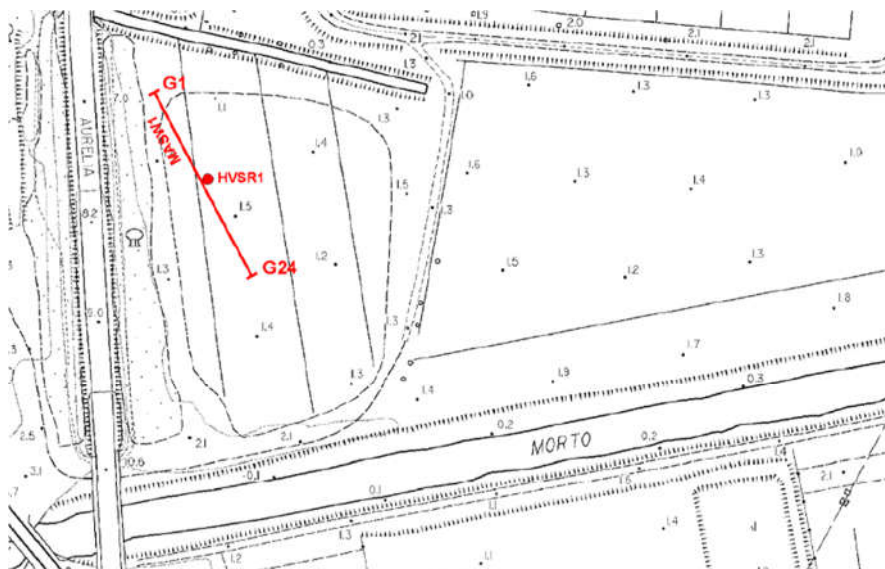
e sull'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999). La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Tali valori di velocità sono intimamente legati alle proprietà meccaniche del mezzo in cui l'onda si propaga (velocità delle onde S, delle onde P e densità). Tuttavia, diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che la velocità delle onde P e la densità sono parametri di second'ordine rispetto alle onde S nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh. Quindi, dato che le onde superficiali campionano una porzione di sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda e che la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato, la forma di questa curva è essenzialmente condizionata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con la profondità delle velocità delle onde S.

Pertanto, utilizzando appositi formalismi è possibile stabilire una relazione (analiticamente complessa ma diretta) fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. Tale relazione consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli. L'operazione di inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali delle curve di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S - profondità".

7.1.4. Configurazione e risultati della prospezione sismica MASW

L'utilizzo di geofoni da 4,5 Hz orizzontali associati ad una finestra temporale di acquisizione pari a 1,5 secondi ha consentito, lungo il medesimo allineamento delle tomografie sismiche in onde SH (Par. 4.2.1). Lo schema per la stese sismiche MASW è riportato a seguire:

Le registrazioni avvenute in campagna sono state ottenute, in fase di acquisizione, utilizzando la medesima sensibilità per ciascun geofono e senza l'utilizzo di filtraggio delle frequenze. Le analisi MASW effettuate lungo i medesimi allineamenti delle stese SH (Onde di Love). Infatti, a partire dal modello medio ricavato dalle tomografie sismiche, sono state effettuate le analisi MASW che hanno individuato i vari sismostrati (spessori) con le relative velocità V_s , riportati nelle tabelle sottostanti:



Rayleigh dataset: 6ZVFstack.sgy
Love dataset: 6thfstack.sgy
Rayleigh wave dispersion curve: ray.cdp
Love wave dispersion curve: love.cdp

MASW 1 SS1 AURELIA, SAN GIULIANO TERME SONDAGGIO GEOGNOSTICO SN1		
	velocità onde S (m/s)	spessore (m)
sismostrato 1	133 1,7	
sismostrato 2	201 3,3	
sismostrato 3	149 5,0	
sismostrato 4	145 3,8	
Sismostrato 5	261 2,0	
Sismostrato 6	191 4,4	
sismostrato 7	263 2,9	
sismostrato 8	282 6,9	

MASW1 SS1 Aurelia, S. Giuliano Terme – sondaggio geognostico SN1 $VS_{30} = 193$ m/s

Figura 25: tabella riassuntiva MASW

8. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO RICAVATO DALLE INDAGINI

Sulla base delle indagini prese in considerazione (SN1, CPT10384, CPT3, CPT10385), è stato elaborato il modello geologico-stratigrafico della zona oggetto di variante.

8.1.1. Assetto litostratigrafico dell'area - vedi sezione litologica Tavola 3/3

Di seguito si riporta schematicamente la stratigrafia tipo in corrispondenza della verticale della zona oggetto di variante:

- da 0,0 a -0,2/0,6. Terreno vegetale o rimaneggiato – **V/R**;
- da -0,2/0,9 a -12,0/13,0 m: limi ed argille da debolmente sabbiosi a sabbiosi con livelli limo-argillosi e torbosi – **al/la**;
- da 12,0/13,0 a 15,0 m: sabbie limose e sabbie medio fini grige – **sl/ls**;
- da 15,0 a 20,0 m: limi argillosi e sabbiosi - **al/la**;
- da 20,0 a 50,0m: sabbie medio fini talora debolmente limose – **s**.

Come si può vedere dal profilo litostratigrafico riassunto sopra, al di sotto della coltre vegetale, fino a circa 12 m, è presente uno spessore di terreno limo argilloso sabbioso (**al/la**) le cui caratteristiche geomeccaniche sono scadenti con $q_c < 5$ MPa.

L'orizzonte sabbioso (**sl/ls**) sottostante, lo ritroviamo da ca.-12,0 fino a -15,0 m di profondità e presenta buone caratteristiche geomeccaniche $q_c > 10$ Mpa.

Oltre questa profondità fino a ca. 20,0m si ritrova un orizzonte coesivo poco compatto (**al/la**) con $q_c < 5$ MPa. A profondità maggiori si presentano le sabbie compatte (**s**) con alti valori di q_c che portano al rifiuto strumentale.

8.1.2. Parametri Geotecnici

L'analisi delle indagini effettuate in corrispondenza della zona di studio oggetto di variante, conferma sostanzialmente la caratterizzazione geotecnica allegata al progetto esecutivo, qui di seguito si riporta la tabella con la caratterizzazione geotecnica dei vari orizzonti:

Codice/Descrizione Terreno	Profondità m da p.c.	γ KN/m ³	E Mpa	c' Kpa	Φ	Cu Kpa
V/R Terreno vegetale o di riporto	0,2 – 0,6	17	10	0	33	70
Al/Ia – argille elimi	0,2/0,6-12 e 15,0-20,0	17-19	2,0-5,0	0	22	30-55
s/Is – sabbia poco addensata	12,0 – 15,0	18,0	40	5	31	
s - sabbia	20,0 – 50,0	19,0	50	8	34	

Legenda: γ = Peso di volume, ϕ = Angolo di attrito interno, c' = Coesione drenata C_u = Coesione non drenata, E = Modulo edometrico