



COMUNE DI LUCCA

AMMINISTRAZIONE COMUNALE

Settore Dipartimentale 5 - Lavori Pubblici e Traffico - U.O. 5.4 - Strade - Progettazione

PROGETTO ESECUTIVO

**Realizzazione di nuova rotatoria tra Viale Europa e Via Bandettini
PT 60 - 2024**

CODICE ELABORATO

03_PE_GEN_03

TITOLO ELABORATO

**RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA CON
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA**

SCALA

-

Nr

01

EMISSIONE

Prima emissione PE

DATA

19/12/2025

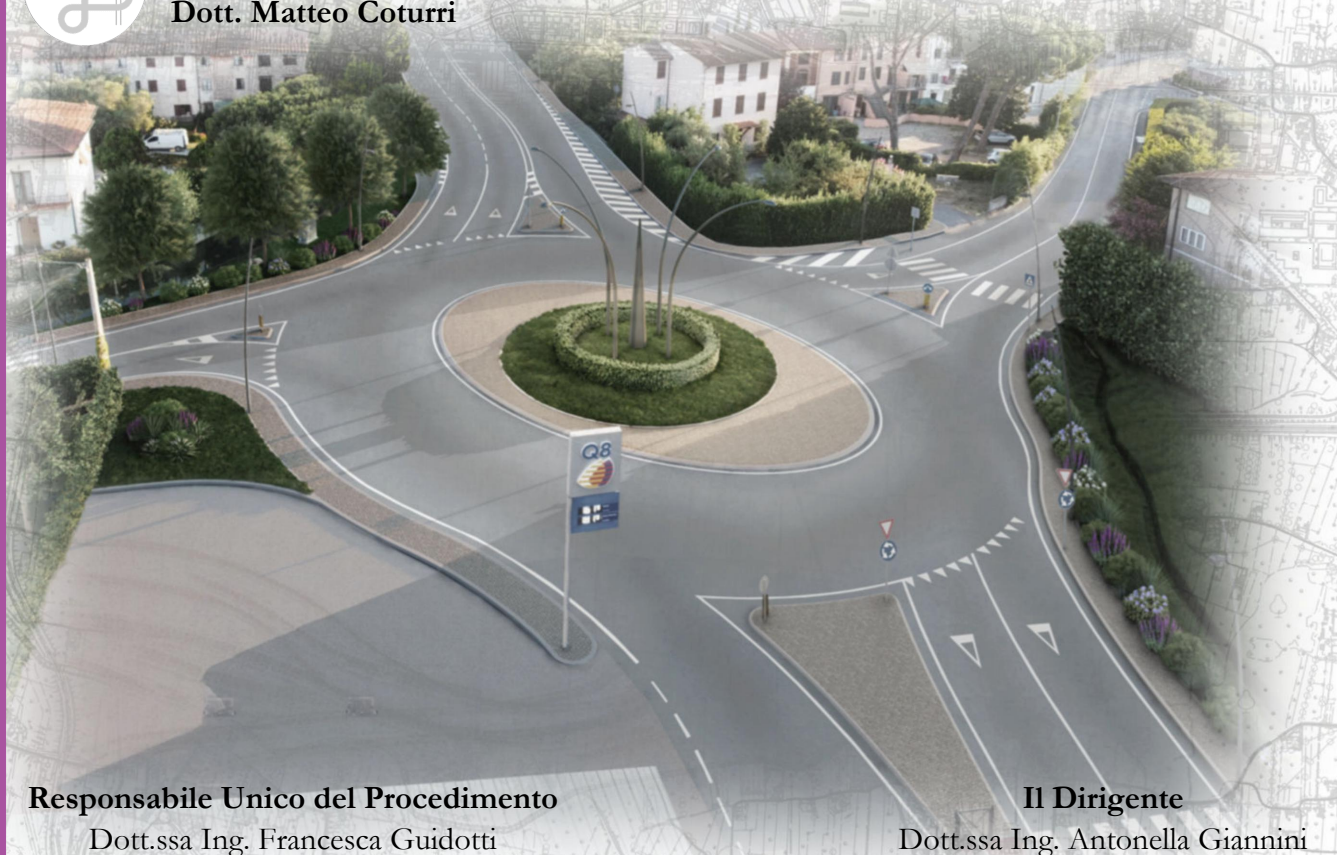
PROGETTISTA:



Ing. Giuseppe Serrapede

Dott. Matteo Coturri

Dott. Geol. Alessandro Ungari



Responsabile Unico del Procedimento

Dott.ssa Ing. Francesca Guidotti

Il Dirigente

Dott.ssa Ing. Antonella Giannini

Sommario

1. Premessa.....	4
2. Tipologia delle opere.....	6
2.1 Vita nominale.....	7
2.2 Classe d'uso.....	7
2.3 Periodo di riferimento.....	8
3. Inquadramento territoriale.....	8
3.1 Quadro morfologico e geomorfologico.....	8
3.2 Quadro geologico e cenni litologico-tecnici.....	9
3.3 Quadro idrografico e cenni idrogeologici.....	10
4. Ricognizione delle norme di salvaguardia e dei vincoli.....	12
4.1 Distretto idrografico Appennino Settentrionale - PGRA.....	12
4.1.1 Pericolosità da alluvione fluviale.....	12
4.1.2 Pericolosità derivata da fenomeni di flash flood.....	13
4.1.3 Rischio di alluvione.....	15
4.1.4 Fase transitoria ai sensi della D.C.I.I. 17 dicembre 2015, n. 232.....	15
4.2 La Normativa idraulica della Regione Toscana.....	16
4.3 Valutazione dei vincoli.....	18
5. Condizioni di pericolosità e vulnerabilità secondo gli SU vigenti.....	18
6. Fattibilità per gli interventi.....	25
7. Indagini in situ.....	27
7.1 Dati di base regionali.....	28
7.2 Penetrometria statica sito specifica.....	29
7.3 Prospezioni geofisiche sito specifiche.....	32
8. Sismicità dell'area e azioni sismiche di sito.....	33
8.1 Zonizzazione sismica.....	33
8.2 Pericolosità sismica del sito.....	34
8.3 Categoria di sottosuolo e condizione topografica.....	35
8.4 Stati limite e probabilità di superamento.....	36
8.5 Valutazione dell'azione sismica di progetto.....	37
8.5.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali.....	38
8.5.2 Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale.....	39
8.5.3 Gli spettri di progetto per gli stati limite.....	40
8.5.4 Calcolo dei parametri sismici e dell'accelerazione massima attesa sul sito.....	40
9. Modellazione geologica e caratterizzazione geotecnica del sottosuolo.....	40
9.1 Il modello geologico.....	40

- Pisa -

9.2 Il modello geotecnico indirizzato alla progettazione.....	41
10. Suscettibilità alla liquefazione.....	43
11. Indicazioni progettuali e modalità costruttive del corpo stradale.....	46
12. Terre e rocce da scavo.....	50
13. Considerazioni conclusive.....	50

Tavole fuori testo

Allegati in fascicolo separato

1. Premessa

Su incarico ricevuto dall'ing. G. Serrapede e per conto del Comune di Lucca (LU), sono stati effettuati studi di natura geologico-tecnica a supporto di un progetto che prevede una nuova rotatoria in corrispondenza dell'incrocio tra il viale Europa e la via Teresa Bandettini, nelle località di San Donato e San Concordio del Comune di Lucca (LU). Il progetto fa riferimento al servizio di ingegneria e architettura, contraddistinto da CIG B3E9BBB20F e CUP J61B24000650004, con affidamento diretto da parte della stazione appaltante comunale al tecnico citato, ai sensi dell'art. 50 comma 1 lettera b) del D.Lgs. 36/2023.

L'inquadramento corografico del sito in esame è riportato nella **Tavola 1** a fine testo, stralcio delle sezioni 261140 e 261150, cartografie tecniche regionali della Toscana alla scala 1:10.000. In maniera più dettagliata, nella **Figura 1** abbiamo la planimetria del sito in esame, tramite il foglio 19F23, CTR della Toscana - in scala 1:2.000.

Le presenti note, basate su di una campagna di indagine geognostica e sul recupero di dati bibliografici riguardanti i terreni dell'intorno del sito in esame, sono finalizzate a stimare le possibili interazioni tra le opere in progetto e la situazione geologica specifica, ricostruire il modello geologico del sottosuolo, che rimane imprescindibile per la redazione del successivo modello geotecnico, e valutare le proprietà sismiche dei terreni, nonché indicare la fattibilità realizzativa degli interventi.

Lo studio, oltre a prendere in esame gli elaborati geologici di pericolosità e fattibilità degli SU vigenti del Comune di Lucca, aggiornati e integrati nel tempo rispetto ai dati di supporto al RU e alle sue Norme Tecniche di Attuazione (vedere PS vigente approvato con Deliberazione C.C. Lucca 24 aprile 2017, n. 39 e POC approvato con Deliberazione C.C. Lucca 15 ottobre 2024, n. 109 ed efficace dal 13 dicembre 2024 dopo i 30 giorni dalla pubblicazione sul BURT), è stato condotto in ottemperanza alle pertinenti normative vigenti di seguito richiamate:

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152 - "Norme in materia ambientale" e successive modifiche e integrazioni;

Decreto Consiglio Regione Toscana 24 luglio 2007, n. 72 - "Piano di Indirizzo Territoriale";

Decreto Ministeriale 5 novembre 2001 - "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" e successive modifiche e integrazioni;

Decreto Ministeriale 19 aprile 2006 - "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle intersezioni stradali";

Legge Regione Toscana 10 novembre 2014, n. 65 - "Norme per il governo del territorio";

Deliberazione Consiglio Regionale 27 marzo 2015, n. 37 - "Atto di integrazione del Piano di Indirizzo Territoriale (PIT) con valenza di piano paesaggistico. Approvazione ai sensi dell'articolo 19, comma 1, della Legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio)";

Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 - "Norme tecniche per le costruzioni";

Legge Regione Toscana 24 luglio 2018, n. 41 - "Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni) Modifiche alla LR 80/2015 e alla LR 65/2014";

Circolare Consiglio Superiore Lavori Pubblici 21 febbraio 2019, n. 7 - "Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle N.T.C. di cui al D.M. 17 gennaio 2018";

Decreto Presidente Giunta Regione Toscana 19 gennaio 2022, n. 1/R - "Regolamento di attuazione dell'articolo 181 della Legge regionale 10 gennaio 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento delle attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico", oltre agli Allegati A, B, C e alle Linee guida sulle tipologie e classi di indagini geologiche, geofisiche e geotecniche da allegare ai progetti da presentare ai sensi dell'art. 3 dello stesso regolamento.

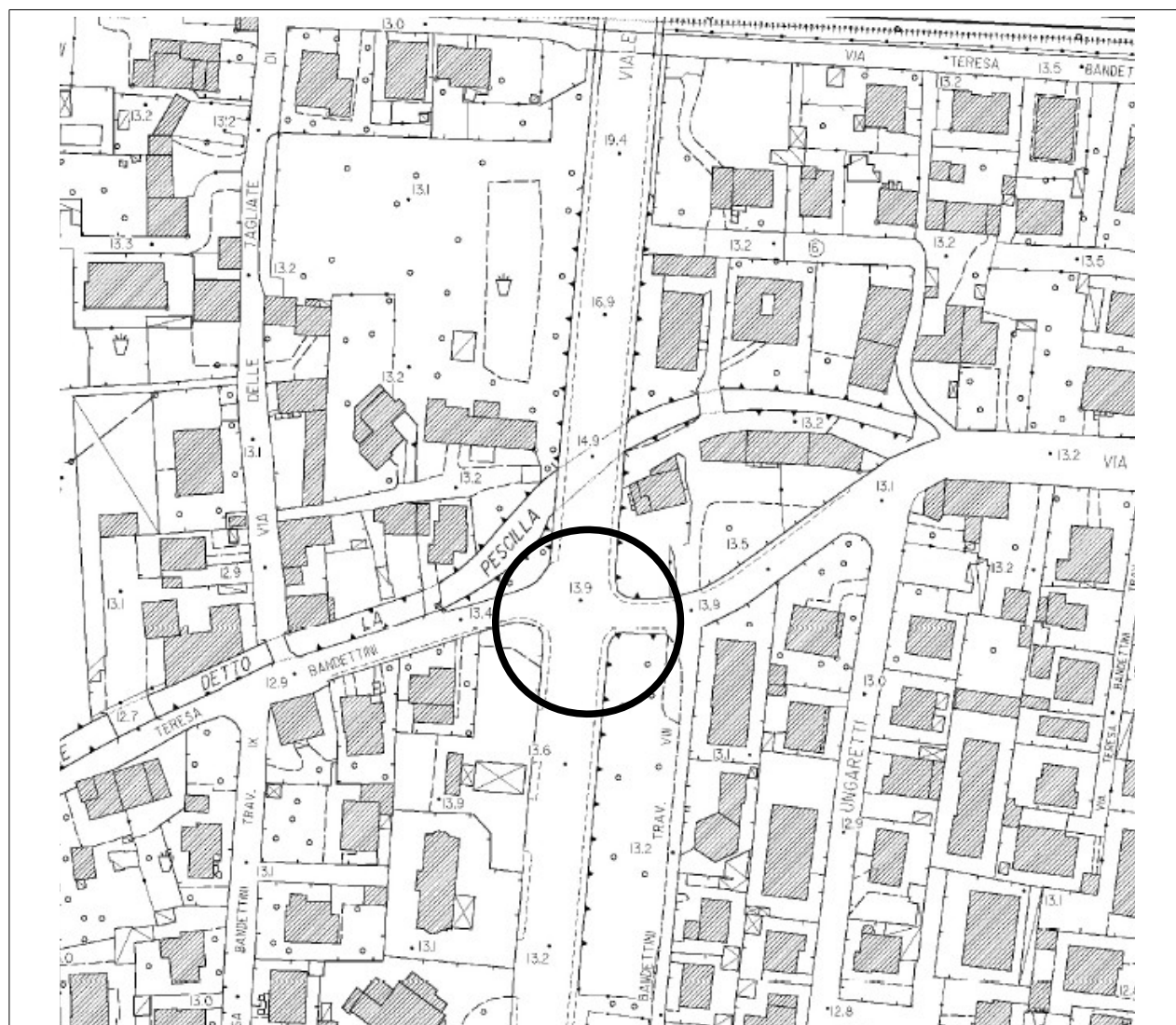


Figura 1 - Ubicazione dell'area d'interesse tramite planimetria di dettaglio estrapolata dalla CTR della Regione Toscana in scala 1:2.000.

Sono state prese in considerazione anche l'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 e le successive modifiche e integrazioni, che definiscono la nuova classificazione sismica del territorio nazionale e le norme tecniche del 2008 per la costruzione in zona sismica.

Inoltre, abbiamo preso visione delle cartografie contenute nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale, con le relative misure di salvaguardia, approvato con Delibera 3 marzo 2016, n. 235 dal Comitato Istituzionale Integrato da

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

componenti designati dalle regioni, il cui territorio ricade nel distretto idrografico, non già rappresentate nel medesimo Comitato, come richiesto dalle due direttive europee 2000/60/CE e 2007/60/CE. In questo modo è stato, così, consultato il Progetto di I Aggiornamento del PGRA citato (II ciclo di gestione 2021-2027 da aggiornare ogni sei anni come richiede la Direttiva 2007/60/CE), con misure di salvaguardia immediatamente vincolanti, adottato con Delibera 20 dicembre 2021, n. 26 da parte della Conferenza Istituzionale Permanente CIP e approvato successivamente con D.P.C.M. 1 dicembre 2022, ai sensi degli artt. 57, 65 e 66 del D.Lgs. 152/2006.

2. Tipologia delle opere

Il progetto in esame prevede, essenzialmente, la realizzazione di una rotatoria sul viale Europa all'incrocio con la via Teresa Bandettini (**Figura 2**).

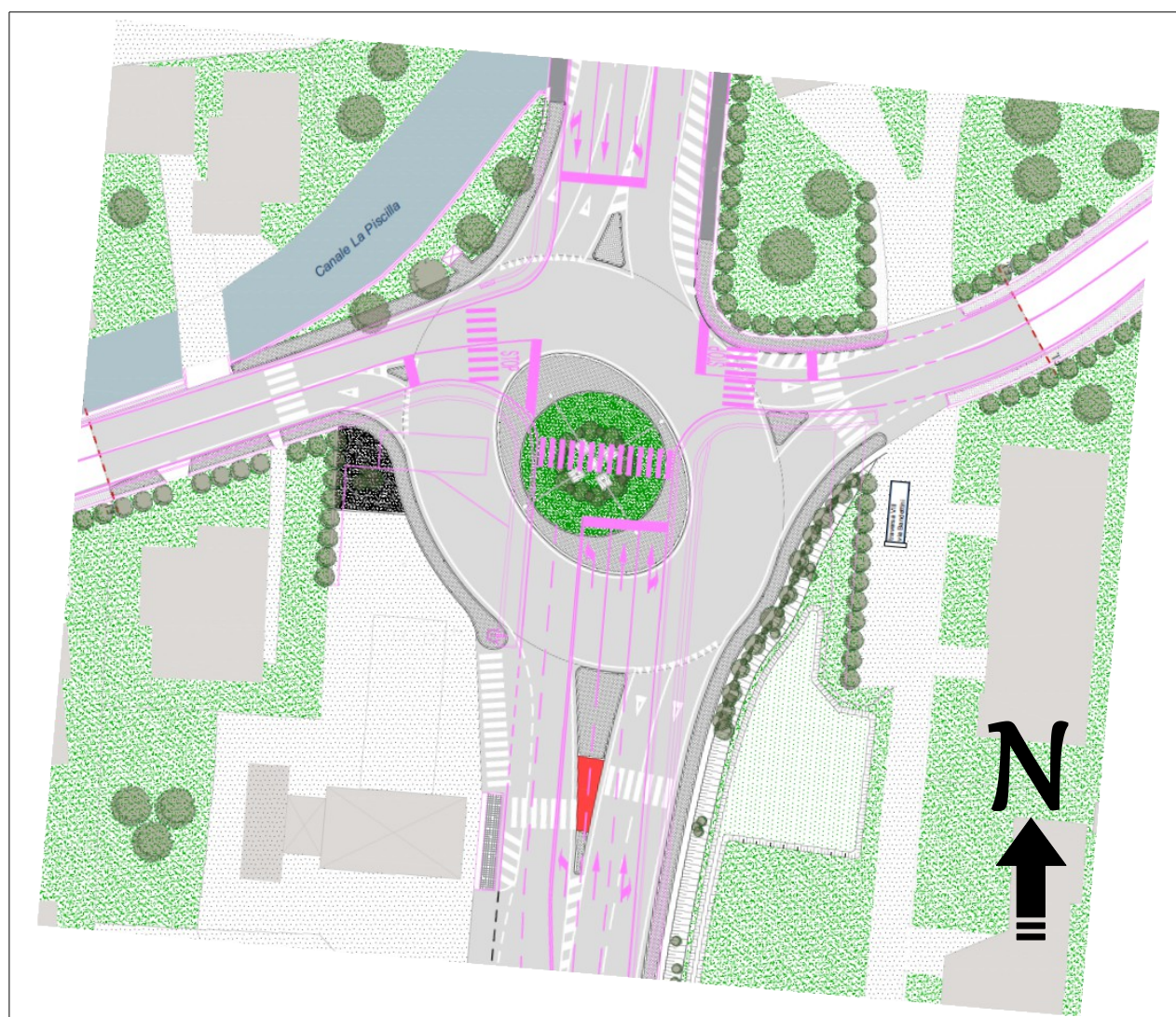


Figura 2 – Immagine tratta da una tavola di progetto rappresentante la rotatoria in esame con alcuni dettagli cartografici e la sovrapposizione dell'attuale incrocio contrassegnato col tratto a color magenta. Fuori scala

La corona giratoria della rotatoria, che andrà a sostituire l'incrocio esistente dotato ad oggi di sistema di controllo del traffico (TCS), insisterà essenzialmente sull'area occupata dall'attuale incrocio,

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126
Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298
C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

su quei terreni a verde posti a SE dello stesso e di proprietà del Comune di Lucca e sulle aree cementate ubicate a SW e appartenenti all'impianto di distribuzione carburanti della Q8, da espropriare. Mentre queste ultime appaiono collocate alla quota della strada, quelle a verde menzionate risultano leggermente depresse. A tale riguardo, sarà necessario procedere alla realizzazione di un ampliamento del rilevato stradale esistente, seppur di modeste dimensioni, sia in senso areale che per spessori, pensando di andare a riempire il settore in maniera idonea e con materiale appropriato.

Siamo di fronte ad un incrocio posizionato all'interno dell'area urbana di Lucca, poco fuori le mura cittadine, dove il tratto del viale Europa viene classificato strada di interquartiere mentre il tratto Est di via T. Bandettini strada interzonale (Piano Generale del Traffico Urbano vigente nell'Amministrazione comunale).

Per quanto riguarda le caratteristiche tecniche dell'opera, ricordiamo che ad oggi la rotatoria prevede un forma ellittica con un asse maggiore esterno di 41,00 m, una doppia attestazione in entrata su entrambi i rami del viale Europa, un unica attestazione in entrata sui i due rami della via T. Bandettini e per tutte le uscite dalla rotatoria una singola carreggiata; l'opera prevede poi un'aiuola centrale circolare a verde e un suo contorno ellittico sormontabile; per finire sono previsti marciapiedi e opere complementari indispensabile alla sua funzionalità, oltre che reti di smaltimento delle acque superficiali.

Rimandiamo, comunque, agli elaborati redatti dall'ing. G. Serrapede, incaricato della progettazione dal Comune di Lucca.

2.1 Vita nominale

La Vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali. I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella **Tabella 1**. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Tabella 1 - Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni (Tab. 2.4.I delle NTC 2018).

2.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le NTC definiscono 4 Classi d'uso. Nel caso specifico, la classe di riferimento è la seguente: Classe II - "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV,

reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti”.

2.3 Periodo di riferimento

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione a un periodo di riferimento V_R : $V_R = V_N \times C_U$ con C_U definito al variare della classe d'uso, come mostrato nella **Tabella 2**. Ne deriva che il periodo di riferimento $V_R = 50 \times 1 = 50$ anni.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Tabella 2 - Valori del Coefficiente d'uso C_U (Tab. 2.4.II delle NTC 2018).

3. Inquadramento territoriale

Il sito in studio si colloca geograficamente a SW del Centro Storico di Lucca, su quel terreno pianeggiante appartenente alla pianura lucchese, qui con la sua porzione Sud-occidentale.

3.1 Quadro morfologico e geomorfologico

La Piana di Lucca rappresenta un'area pianeggiante che si estende attorno al capoluogo lucchese e comprende quasi tutta la lucchesia oltre che tutte le altre aree contigue, sia collinari che montuose. I limiti di questa pianura sono la catena sub-appenninica dei Monti Pisani a W e SW, le propaggini Sud-orientali delle Alpi Apuane e il gruppo montuoso dell'Appennino Tosco-Emiliano (Altopiano delle Pizzorne) a N, il massiccio collinare del Montealbano a E, le modeste alture delle Cerbaie a SE, che la separano dal Valdarno Inferiore, i Monti d'Oltre Serchio a W, che la separano dalla piana versiliese.

L'area è un grande deposito alluvionale che si è venuto a creare grazie alla sedimentazione dei detriti trasportati dagli svariati corsi d'acqua che scendevano dalle vicine alture, come dal Serchio, le cui acque scorrono attualmente al limite dei Colli Apuani per poi essere dirette verso il mare in direzione di Nozzano e Ripafratta.

Dal punto di vista morfologico, la pianura presenta una pendenza media pari al 0,24% lungo la direttrice NW-SE, anche se si deve notare, come avviene in tutte le pianure non troppo estese ed assimilabili ad ampi e piatti conoidi (Piana di Lucca), che la pendenza presenta valori di 0,4% nella sua parte più alta e valori al di sotto di 0,15% nelle porzioni più basse. Il Serchio, nel suo alveo pensile e arginato, presenta da Ponte a Moriano a Ripafratta una pendenza media pari a 0,19% passando dal valore di 0,38% nel tratto Ponte a Moriano - Monte S. Quirico al valore di 0,04% nel tratto Monte S. Quirico - Ripafratta.

Nel quadro sopra indicato s'inseriscono le Zone di San Donato e San Concordio, dove si colloca l'area d'interesse. Anche qui la morfologia risulta sub pianeggiante, senza particolare aspetti geomorfologici di rilievo; il contesto appare fortemente urbanizzato e caratterizzato da quote riferite al l.m.m intorno ai 13/14 m.

Qui le forme geomorfologiche sono principalmente dovute a modificazioni antropiche riconducibili soprattutto alle opere edilizie, alle infrastrutture viarie e alle modellazioni del terreno, senza escludere la presenza di aree interessate da terreni di riporto. Numerosi, invece, sono i paleoalvei, forme di rami fluviali relitti e sepolti, che contornano i terreni qui presenti, come indicato nella **Tavola 2** estratto della Carta geomorfologica del PS di Lucca nella quale si nota la **Traccia di paleoalvei fluviali** (indicazioni, parzialmente obliterate, della direzione di scorrimento degli antichi percorsi dei corsi d'acqua nella Piana di Lucca, riconoscibili essenzialmente da foto interpretazione). La medesima cartografia tematica del POC non cambia quanto già detto sopra, riportando fedelmente gli elementi già rappresentati con la carta di PS.

3.2 Quadro geologico e cenni litologico-tecnici

La Piana di Lucca rappresenta il risultato di una fase di tipo distensivo che è collegabile ai processi di espansione del Tirreno ed è successiva ai movimenti compressivi orogenetici propri di tutto l'Appennino settentrionale, caratterizzato da una serie di strutture a pieghe con vergenza per lo più E-NE. A tale fase (messiniana nelle aree a Sud dell'Arno e villafranchiana in quelle a Nord) è riconducibile la formazione di ampie depressioni morfologiche dove si imposta la sedimentazione neogenica dei depositi lacustri e fluvio-lacustri.

Tali depositi, suddivisi in due successivi cicli di sedimentazione interrotti da episodi di sollevamento e traslazione, si ritrovano attualmente dislocati ai margini settentrionali e orientali della pianura lucchese, mentre nella pianura stessa si ritrovano coperti dai sedimenti alluvionali più recenti lasciati dal Serchio e dai suoi affluenti a partire dalle variazioni climatiche collegate alle glaciazioni quaternarie.

Strutturalmente, quindi, la Piana di Lucca corrisponde ad un'ampia depressione tettonica, prolungamento verso SE del *graben* del Serchio, che interessata poi da subsidenza fu colmata inizialmente da depositi lacustri, soprattutto argillosi, e poi modellata ed alluvionata dal Serchio attraverso il suo corso principale e i suoi rami derivati. In epoca storica, infine, tutto il sistema fluviale venne regimato tramite interventi idraulici per arrivare alla situazione attuale, con il Serchio arginato e pensile rispetto alla pianura.

In ragione di quanto detto, sono rintracciabili sulla pianura particolari forme e specifici lineamenti riconducibili ai vecchi tracciati fluviali del Serchio, come già accennato nel quadro geomorfologico, con l'antico corso che dilagava nella pianura suddiviso in più rami dopo l'uscita dalla stretta di Ponte a Moriano.

La Piana di Lucca è, pertanto, formata da terreni di origine alluvionale depositati prevalentemente dal fiume Serchio e attribuibili al Quaternario recente. Questi mostrano frequenti variazioni di facies, sia in senso verticale che orizzontale, anche se è in genere riconoscibile una successione stratigrafica tipo che, dall'alto verso il basso, mostra depositi a prevalenza fine (limo-argilloso-sabbiosi), posti sopra a depositi a grana più che altro grossolana (ghiaie, ciottoli e sabbie).

Il pacco di strati sopra descritto poggia in profondità, come accennato prima, su depositi più antichi del Pliocene - Villafranchiano, che hanno un'origine lacustre, soprattutto argillosi e con spessore che va oltre alcune centinaia di metri.

Nelle zone pedecollinari le formazioni litoidi, che costituiscono quasi tutti i rilievi che bordano la Piana, sono coperte da depositi continentali di ambiente lacustre e fluvio-lacustre, formati all'interno delle zone tettonicamente depresse, a partire dal Miocene superiore e almeno fino al Pleistocene inferiore.

Le litologie affioranti nell'area d'intervento sono costituite da terreni sedimentari di origine continentale ed età quaternaria (**Tavola 3**). Per queste riportiamo la descrizione come da relazione illustrativa delle indagini geologiche dell'aprile 2017 redatta come elaborato del vigente PS del Comune di Lucca: (**b1; all, all1**) - *ghiaie eterometriche, sabbie e limi di composizione generalmente poligenica dei terrazzi fluviali recenti, anche in facies di conoide, con età Olocene*.

In corrispondenza, invece, dei paleoalvei si riscontrano granulometrie particolarmente grossolane e di tipo ghiaioso.

Dal punto di vista litologico-tecnico (vedere cartografia di PS) e geologico-tecnico (vedere cartografia del POC riportata nella **Tavola 4**), i depositi d'interesse specifico sembrano costituiti da terreni rispettivamente formati da *Argille inorganiche di alta plasticità, argille grasse* (sigla **CL** in carta di PS) e *Argille inorganiche di media-alta plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose e argille magre* (sigla **CLpl** in carta del POC), con quest'ultima categoria associata ai *depositi alluvionali a forte componente argillosa*, come da relazione illustrativa sulle indagini geologiche del POC.

3.3 Quadro idrografico e cenni idrogeologici

L'area in studio si trova su terreno pianeggiante e in una zona urbanizzata posta sulla sinistra idrografica del fiume Serchio, a una distanza di oltre 1500 m dal suo argine. Gli scoli superficiali sono tutti di tipo antropico e spesso tombati. Una nota particolare va spesa per la presenza di un *Infrastruttura Idrica*, il CANALE detto LA PISCILLA (ID 6580), in parte tombato in parte a giorno, che lambisce a NW l'area di progetto, come da cartografia del geoportale.lamma.rete.toscana/difesa_suolo, realizzata secondo le disposizioni dettate dalla L.R. 79/2012, come da aggiornamento avvenuto con D.G.R.T. 25/2024 senza tuttavia far parte del reticolo idrografico e di gestione della Regione Toscana. Tale condotto pubblico risulta di competenza idraulica del CONSORZIO di BONIFICA 1 TOSCANA NORD (**Figura 3**).

Come riportato in precedenza, la Piana di Lucca è una pianura alluvionale costituita prevalentemente da alluvioni grossolane, che affiorano nella porzione settentrionale e centrale della stessa per poi essere ricoperti da materiali più fini di natura limosa e argillosa nella porzione Sud-orientale, verso la quale diventano sempre più spessi.

L'orizzonte sabbioso-ghiaioso-ciottoloso, di spessore variabile tra 10 e 20 m nel territorio comunale lucchese, con punte intorno ai 25 m nel tratto compreso tra Nozzano e Ponte S. Pietro, lungo

il Serchio, si adagia in profondità sui depositi alluvionali del Pleistocene superiore - Olocene e sulle argille lacustri di età Villafranchiana.

Tale orizzonte è sede di un importante acquifero alluvionale, continuo arealmente sotto la pianura lucchese presentando uno spessore variabile. Le condizioni lito-stratigrafiche fanno sì che l'acquifero presenti caratteristiche freatiche nel settore settentrionale della Piana, dove non risulta confinato verso l'alto da terreni impermeabili, mentre assuma caratteristiche di artesianità nel settore meridionale della stessa, verso il quale la coltre superficiale impermeabile tende ad ispessirsi.



L'acquifero, quindi, è da considerarsi un acquifero mono-falda anche se, nel settore centrale e meridionale, può trasformarsi in multi-falda, almeno a luoghi, dove le coperture a granulometria fine possono contenere livelli (e/o lenti) a grana più grossolana, altrettanto sedi di circolazione idrica sotterranea, seppur modesta e di tipo sospeso, nonché compartimentale, anche se con sospette interconnessioni reciproche.

Diversi studi di idrogeologia sulla Piana di Lucca, svoltisi nel tempo attraverso campagne di misurazione per la ricostruzione di numerose carte piezometriche nelle varie situazioni stagionali, hanno sempre evidenziato sensibili variazioni delle direzioni di flusso nelle varie situazioni di ricarica.

Le oscillazioni stagionali dei livelli piezometrici, caratterizzate da andamenti pressoché ciclici, mettono in risalto segni della rapidità dei tempi di ricarica dell'acquifero, alla cui alimentazione contribuiscono: l'infiltrazione meteorica diretta nelle zone del freatico, la ricarica di subalveo del Serchio, gli afflussi idrici sotterranei provenienti dalle conoidi superficiali e sepolte in corrispondenza dei corsi d'acqua minori, le infiltrazioni da parte delle acque irrigue e dalla perdite dai canali irrigui.

I primi tre agenti contribuiscono alla ricarica apportando afflussi legati all'alternarsi dei fenomeni naturali, mentre il quarto risulta collegato all'attività antropica. Tutto ciò va a determinare un

innalzamento piezometrico nel trimestre estivo (da giugno a settembre), anche di 1,5 m, nel settore settentrionale della Piana.

Più in generale, le oscillazioni piezometriche della falda della Piana di Lucca, così come risultanti da un monitoraggio lungo dal 2001 al 2015, svolto da alcuni geologi lucchesi su vari pozzi distribuiti sulla pianura specifica, evidenziano chiaramente ricariche a frequenza stagionale e strettamente correlate al regime pluviometrico, in assenza di trend connotanti criticità in atto.

Nonostante il ridotto spessore dell'acquifero i valori di trasmissività, grazie alle elevate permeabilità del mezzo poroso, sono in genere medio alti e per lo più compresi tra 1 e 5×10^{-2} mq/s.

La Carta idrogeologica, allegata al PS vigente nell'Amministrazione comunale di Lucca e riportata come estratto in **Tavola 5**, evidenzia il tipo di acquifero caratterizzante il sito specifico e il suo grado di vulnerabilità medio, secondo le intrinseche caratteristiche del sedimento qui presente; qui è possibile anche notare la soggiacenza idrica che sembra attestarsi sui 13 m rispetto al l.m.m., ovvero a poco al di sotto della superficie terrestre (dati riferibili al maggio 2007)

Dai dati a disposizione è possibile pensare che i terreni d'interesse specifico presentino una permeabilità media-bassa negli strati più superficiali, mentre per la soggiacenza della falda un livello che può essere influenzato dai periodi stagionali più piovosi (di morbida) e più siccitosi (di magra), con valori più profondi dal p.c. rispetto a quelli riferito sopra e relativi al quadro conoscitivo.

4. Ricognizione delle norme di salvaguardia e dei vincoli

Le vigenti normative in materia di pericolosità e rischio sono dettate essenzialmente dal Comitato Istituzionale Integrato del Distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale e dalla Regione Toscana.

4.1 Distretto idrografico Appennino Settentrionale - PGRA

Per quanto ci riguarda, le mappe di pericolosità e rischio da alluvioni del PGRA indicano che il sito d'interesse specifico non risulta soggetto alla disciplina riguardante la pericolosità da alluvione costiera, non si trova perimetrato in alcuna area destinata alla realizzazione delle misure di protezione (ovvero interventi di qualsiasi tipo da attuare per mitigare gli effetti delle alluvioni sugli elementi esposti al rischio) e non è inquadrato in un'area di contesto fluviale.

4.1.1 Pericolosità da alluvione fluviale

L'area di interesse ricade all'interno delle **Classi di Pericolosità da alluvione bassa P1** (porzione Nord dell'area d'intervento) e **media P2** (porzione Sud dell'area d'intervento), come evidenziato nella **Figura 4**.

Lo scenario alluvionale della **Classe P1** include le aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiori a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale, mentre quello della **Classe P2** include le aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni.

Gli articoli 9 e 10 della Disciplina di Piano, di seguito riportati integralmente, si riferiscono specificamente alle aree **P2**:

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126
Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298
C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

Art. 9 - Aree a pericolosità da alluvione media (P2) - Norme

- 1. Nelle aree P2, per le finalità di cui all'art. 1, sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio, fatto salvo quanto previsto al seguente comma 2 e al successivo art. 10.*
- 2. Nelle aree P2 da alluvioni fluviali l'Autorità di bacino distrettuale si esprime sulle opere idrauliche in merito all'aggiornamento del quadro conoscitivo con conseguente riesame delle mappe di pericolosità.*
- 3. Le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio per la realizzazione degli interventi nelle aree P2.*

Art. 10 - Aree a pericolosità da alluvione media (P2) - Indirizzi per gli strumenti governo del territorio

1. Fermo quanto previsto all'art. 9 e all'art. 14 comma 9, nelle aree P2 per le finalità di cui all'art. 1 le Regioni, le Province, le Città Metropolitane e i Comuni, nell'ambito dei propri strumenti di governo del territorio si attengono ai seguenti indirizzi:

a) sono da subordinare, se non diversamente localizzabili, al rispetto delle condizioni di gestione del rischio, le previsioni di:

- nuove opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali;*
- nuovi impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;*
- sottopassi e volumi interrati*

b) sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio le previsioni di:

- nuove infrastrutture e opere pubbliche o di interesse pubblico;*
- interventi di ampliamento della rete infrastrutturale primaria, delle opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali e degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;*
- nuovi impianti di potabilizzazione e depurazione;*
- nuove edificazioni*

c) sono da privilegiare le trasformazioni urbanistiche tese al recupero della funzionalità idraulica alla riqualificazione e allo sviluppo degli ecosistemi fluviali esistenti, nonché le destinazioni ad uso agricolo, a parco e ricreativo – sportive.

L'art. 11 della Disciplina di Piano, di seguito riportato integralmente, si riferisce specificamente alle aree **P1**:

Art. 11 - Aree a pericolosità da alluvione bassa (P1) - Norme e indirizzi per gli strumenti di governo del territorio

- 1. Nelle aree P1 sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti urbanistici garantendo il rispetto delle condizioni di gestione del rischio.*
- 2. Nelle aree P1 da alluvioni fluviali l'Autorità di bacino distrettuale si esprime sulle opere idrauliche in merito all'aggiornamento del quadro conoscitivo con conseguente riesame delle mappe di pericolosità.*
- 3. La Regione disciplina le condizioni di gestione del rischio per la realizzazione degli interventi nelle aree P1.*

4.1.2 Pericolosità derivata da fenomeni di flash flood

La mappa della Pericolosità derivata da Fenomeni di Flash Flood è ottenuta attraverso studi di tipo statistico e modellistico. In tale mappa viene rappresentata la distribuzione nel bacino della propensione al verificarsi di eventi intensi e concentrati. La rappresentazione è in quattro classi a propensione crescente.

Le mappe della propensione al verificarsi di questi fenomeni vengono periodicamente rielaborate dalle varie Autorità di bacino interessate, in funzione delle modifiche del quadro conoscitivo di base (aggiornamento serie storiche, revisione modellazione idrologica, ulteriori approfondimenti della ricerca scientifica).

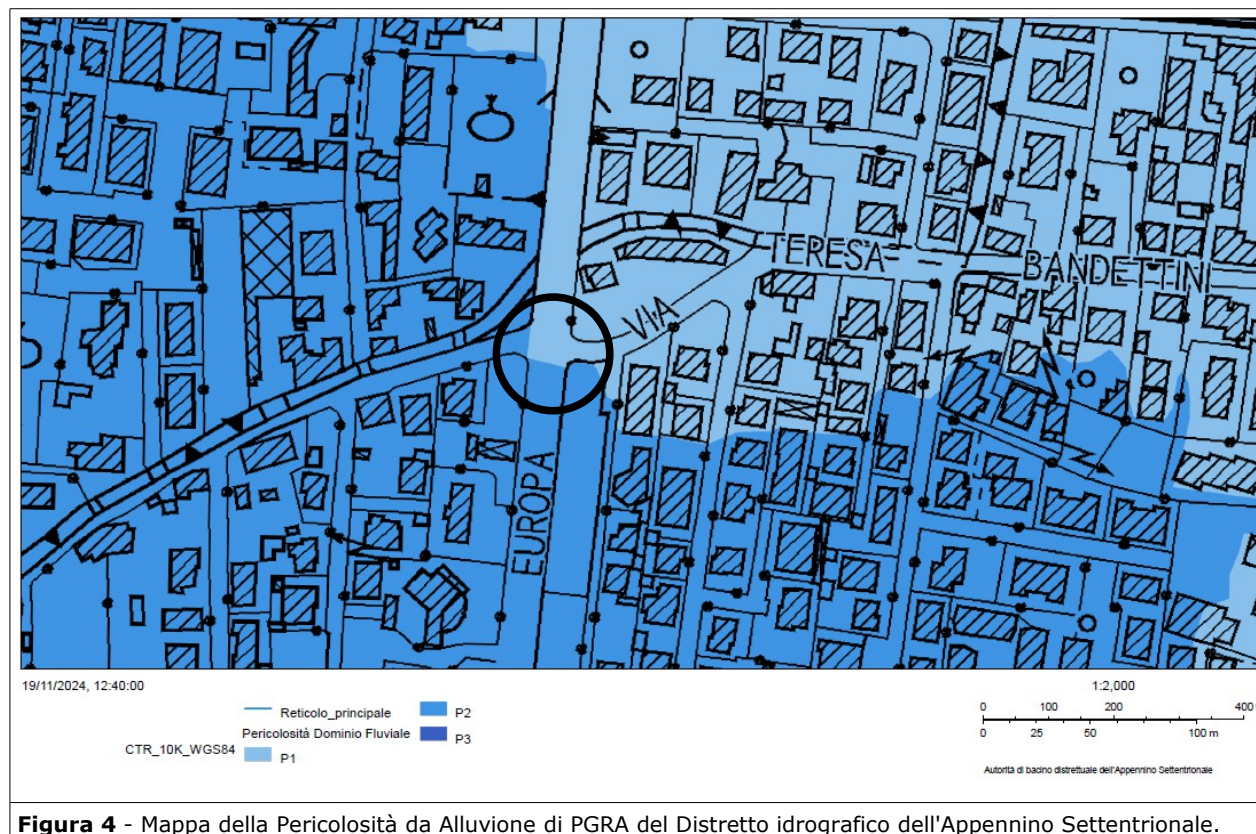


Figura 4 - Mappa della Pericolosità da Alluvione di PGRA del Distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale.

L'area di interesse specifico ricade all'interno della **Classe di Pericolosità moderata P2**.

L'unico articolo della Disciplina di Piano del Distretto dell'Appennino Settentrionale, relativo allo specifico argomento, è l'art. 19 che si riferisce alle aree soggette a pericolosità molto elevata ed elevata, ovvero non quella in studio, e offre i seguenti indirizzi:

Art. 19 - Indirizzi per le aree predisposte al verificarsi di eventi intensi e concentrati (flash flood)

1. La mappa della pericolosità da flash flood di cui all'art. 6 definisce la predisposizione relativa al verificarsi di eventi intensi e concentrati.

2. Nelle aree classificate nella mappa di cui al comma 1 a pericolosità molto elevata ed elevata, per le finalità di cui all'art. 1 le Regioni, le Province, le Città Metropolitane e i Comuni, nell'ambito dei propri strumenti di governo del territorio si attengono ai seguenti indirizzi:

a. per le aree urbanizzate sono da predisporre piani di protezione civile orientati ad affrontare tali eventi, coordinati con i piani di protezione civile sovracomunali e coerenti con la mappa di cui al comma 1;

b. in relazione alle previsioni che comportano nuove edificazioni sono da indicare criteri diretti alla fase di attuazione finalizzati a mitigare gli effetti di eventi intensi e concentrati, tra cui azioni di difesa locale e piani di gestione dell'opera integrati con la pianificazione di protezione civile comunale e sovracomunale;

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126
Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298
C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

c. al fine di diminuire la vulnerabilità degli elementi esposti, sono da incentivare le azioni di proofing e retrofitting degli edifici esistenti e le azioni di difesa locale con particolare riguardo agli eventi di cui al presente articolo.

3. La mappa di cui al comma 1 è riesaminata e, se del caso, aggiornata secondo le scadenze di cui alla direttiva 2007/60/CE e al decreto legislativo 49/2010.

4. L'Autorità di bacino distrettuale procede ad eventuali riesami intermedi in base a mutate condizioni del quadro conoscitivo o ad indagini di dettaglio proposte dalle Regioni e dai Comuni. Tali indagini devono essere trasmesse all'Autorità di bacino distrettuale al fine di integrare il quadro conoscitivo di area.

5. Le modifiche, conseguenti alle attività di cui al comma 3 e 4, sono approvate con decreto del Segretario Generale, previo parere della Conferenza Operativa, assicurando adeguate forme di pubblicità, anche secondo quanto previsto da appositi accordi sottoscritti con le Regioni territorialmente competenti.

4.1.3 Rischio di alluvione

La mappa del rischio di alluvioni definisce la distribuzione degli elementi a rischio ai sensi di quanto previsto dal D.Lgs n. 49/2010 come da Direttiva 2007/60/CE.

La mappa del rischio di alluvioni redatta ai sensi della Direttiva 2007/60/CE rappresenta la distribuzione degli elementi a rischio, individuati ai sensi della direttiva, nella mappa della pericolosità da alluvione. La mappa del rischio di alluvioni redatta ai sensi del D.Lgs. 49/2010 definisce la distribuzione del rischio.

Le aree a rischio sono rappresentate in quattro classi secondo la seguente gradazione: R4, rischio molto elevato; R3, rischio elevato; R2, rischio medio; R1, rischio basso.

La rappresentazione della mappa del rischio deriva, sostanzialmente, dalla sovrapposizione della mappa di pericolosità da alluvione con le classi di danno potenziale.

L'area di interesse ricade all'interno della **Classe di rischio medio R2** (porzione Nord dell'area d'intervento) e in quella **di rischio elevato R3** (porzione Sud dell'area d'intervento), perimetrazioni coincidenti con quelle relative alla pericolosità da alluvione vista in precedenza.

Il rischio R rappresenta il valore atteso delle perdite umane, dei feriti, dei danni alle proprietà, ai beni ambientali, ai beni culturali e delle perturbazioni alle attività economiche dovuto al fenomeno naturale considerato di assegnata intensità. Ai fini applicativi si definisce il valore R del rischio come il prodotto tra pericolosità, vulnerabilità ed entità del bene considerato.

4.1.4 Fase transitoria ai sensi della D.C.I.I. 17 dicembre 2015, n. 232

Le mappe relative alla pericolosità da alluvione contenute nel PGRA hanno sostituito, in coerenza con la normativa specifica, quelle dei PAI con particolare riferimento alla pericolosità idraulica, costituendone l'aggiornamento ai sensi della Direttiva 2007/60/CE, secondo il comma 1 dell'art. 1 della Delibera del Comitato Istituzionale Integrato n. 232 del 17 dicembre 2016.

In base alla stessa delibera, con l'art. 4, la Regione Toscana entro 180 giorni dal 17 dicembre 2015 avrebbe dovuto provvedere ad emanare gli atti diretti a dare applicazione alle disposizioni del piano nel settore urbanistico. Decorso tale termine, infatti, le disposizioni della Disciplina del PGRA hanno avuto carattere immediatamente vincolante, in coerenza con la normativa regionale vigente, per

le amministrazioni, gli enti pubblici nonché per i soggetti privati nel territorio delle unità di gestione dell'Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone.

È dell'ottobre 2018 l'entrata in vigore della Legge regionale della Toscana in materia idraulica che andremo a vedere di seguito (L.R. 24 luglio 2018, n. 41).

4.2 La Normativa idraulica della Regione Toscana

Con questa legge e le sue modiche e integrazioni, la Regione Toscana è andata ad abrogare la vecchia e discussa L.R. 21/2012 che aveva introdotto limiti assai rigidi per tutta una serie di opere ricadenti all'interno delle perimetrazioni a pericolosità idraulica molto elevata, siglate dai PAI con P.I.4 e dai PGRA con P3.

Oltre al fatto di disciplinare le zone soggette a demanio idrico e tutelare le aree dei corsi idrici e quelle adiacenti, si chiude finalmente un ciclo legato alla nota "Direttiva Alluvioni" del 2010, disciplina che ha revisionato profondamente gli strumenti urbanistici e di pianificazione territoriale della Toscana, anche se questi nel loro complesso presentavano già avanzati studi di valutazione del rischio idraulico, proprio per le oggettive caratteristiche di fragilità del territorio.

Sono state inserite, infine, opportune clausole transitorie per consentire l'applicazione e l'uso degli attuali strumenti urbanistici comunali (PS, RU e PO) non ancora aggiornati al D.Lgs 49/2010, in particolare per raccordare i previgenti quattro livelli di pericolosità idraulica con i tre nuovi livelli introdotti appunto dalla Direttiva Alluvioni. In tal modo si vuol evitare i rischi di applicazioni interpretative nel passaggio dal vecchio al nuovo regime di tutela della sicurezza idraulica.

Le nuove disposizioni regionali hanno, quindi, l'obiettivo di ridurre le conseguenze negative, derivanti dalle alluvioni, per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche, nonché mitigare i fenomeni di esondazione e dissesto idrogeologico, disciplinare la gestione del rischio di alluvioni in relazione alle trasformazioni del territorio e tutelare i corsi d'acqua.

Quelle che seguono sono, nel dettaglio e mirate al caso specifico, le basi delle norme contenute nella L.R. 41/2018 sopracitata, in relazione al progetto in esame che interessa direttamente i terreni di viale Europa e via T. Bandettini, oltre a quelli adiacenti e sui quali sono vigenti tutele e prescrizioni da rispettare:

Capo I Disposizioni generali

Art. 1 Oggetto

1. Nel rispetto del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni), la Regione, al fine di ridurre le conseguenze negative, derivanti dalle alluvioni, per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche, nonché al fine di mitigare i fenomeni di esondazione e dissesto idrogeologico, disciplina la gestione del rischio di alluvioni in relazione alle trasformazioni del territorio e la tutela dei corsi d'acqua.

In merito alla Pericolosità idraulica P2 precedentemente richiamata, che interessa direttamente il sito specifico, si aggiunge quanto segue, ripreso ancora dalla legge idraulica regionale:

CAPO III - Interventi edilizi all'interno del perimetro del territorio urbanizzato

Art. 13 Infrastrutture lineari o a rete

.....

2. Nuove infrastrutture a sviluppo lineare e relative pertinenze possono essere realizzate nelle aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali.

3. L'adeguamento e l'ampliamento di infrastrutture a sviluppo lineare esistenti e delle relative pertinenze può essere realizzato nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali.

4. Nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, gli interventi di seguito indicati possono essere realizzati alle condizioni stabilite:

a) itinerari ciclopeditoni, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali;

b) parcheggi in superficie, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio in altre aree, che non sia superato il rischio medio R2 e che siano previste le misure preventive atte a regolarne l'utilizzo in caso di eventi alluvionali;

c) nuove infrastrutture a rete per la distribuzione della risorsa idrica, il convogliamento degli scarichi idrici, il trasporto di energia e gas naturali nonché l'adeguamento e l'ampliamento di quelle esistenti, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio;

d) impianti e relative opere per la produzione di energia da fonti rinnovabili, nonché l'adeguamento e l'ampliamento di quelli esistenti, a condizione che sia realizzata almeno una delle opere di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a), b) o c);

e) impianti e relative opere per il trattamento della risorsa idrica e per la depurazione, a condizione che sia realizzata almeno una delle opere di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a), b) o c);

f) adeguamento e ampliamento degli impianti e delle relative opere di cui alla lettera e), a condizione che sia realizzata almeno una delle opere o interventi di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a), b), c) o d).

.....

Per conoscenza si inserisce anche l'art. 8 della stessa legge regionale più volte sopra richiamato:

Art. 8 Opere per la gestione del rischio di alluvioni

1. La gestione del rischio di alluvioni è assicurata mediante la realizzazione delle seguenti opere finalizzate al raggiungimento almeno di un livello di rischio medio R2:

a) opere idrauliche che assicurano l'assenza di allagamenti rispetto ad eventi poco frequenti;

b) opere idrauliche che riducono gli allagamenti per eventi poco frequenti, conseguendo almeno una classe di magnitudo idraulica moderata, unitamente ad opere di sopraelevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree;

c) opere di sopraelevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree;

d) interventi di difesa locale.

.....

4.3 Valutazione dei vincoli

Oltre a quelli già enunciati, si ricorda che, seppur con un iter conclusosi, sul sito in esame e in particolare sulla porzione SW dell'area d'intervento è stato svolto un procedimento di bonifica (dati SISBON) relativamente ai terreni dell'attuale proprietà del distributore carburanti Q8.

Infine, sussiste per le viabilità coinvolte dal progetto la classificazione funzionale delle strade come da Codice della Strada vigente e le conseguenti fasce di rispetto, come indicate nel POC.

5. Condizioni di pericolosità e vulnerabilità secondo gli SU vigenti

Gli elaborati relativi alla pericolosità, che sono stati redatti a supporto del PS vigente del Comune di Lucca in base al D.P.G.R. Toscana n. 53/R del 2011 e del POC approvato ed efficace ai sensi del nuovo D.P.G.R. 5/R del 2020 (normativa che è andata ad abrogare il precedente 53/R/2011), inquadrano il sito oggetto di studio nel seguente modo:

- in un'area a **CLASSE G.1** di **Pericolosità geomorfologica bassa** (elaborato di PS) confermata anche nell'elaborato del POC (**Pericolosità geologica G1**), come da **Tavola 6**;
- in un'area a **CLASSE I.2 / I.3** di **Pericolosità idraulica moderata / elevata** (elaborato di PS) e a **Pericolosità da alluvione P1 / P2** per l'elaborato del POC, come da **Tavola 7**;
- in un'area a **CLASSE S.2** di **Pericolosità sismica media** (elaborato di PS) e in un'area a **Classe S.3** di **Pericolosità sismica elevata** (elaborato del POC), come da **Tavola 8**.

Per la **Pericolosità geomorfologia** individuata tramite il 53/R/2011 (**CLASSE G.1**), la Relazione illustrativa sulle indagini geologiche di PS indica le *aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi*. Concetti confermati alla lettera anche con gli elaborati del POC approvato e riferiti al 5/R/2020, che parla di **Pericolosità geologica**, coincidente con quella geomorfologica del precedente regolamento.

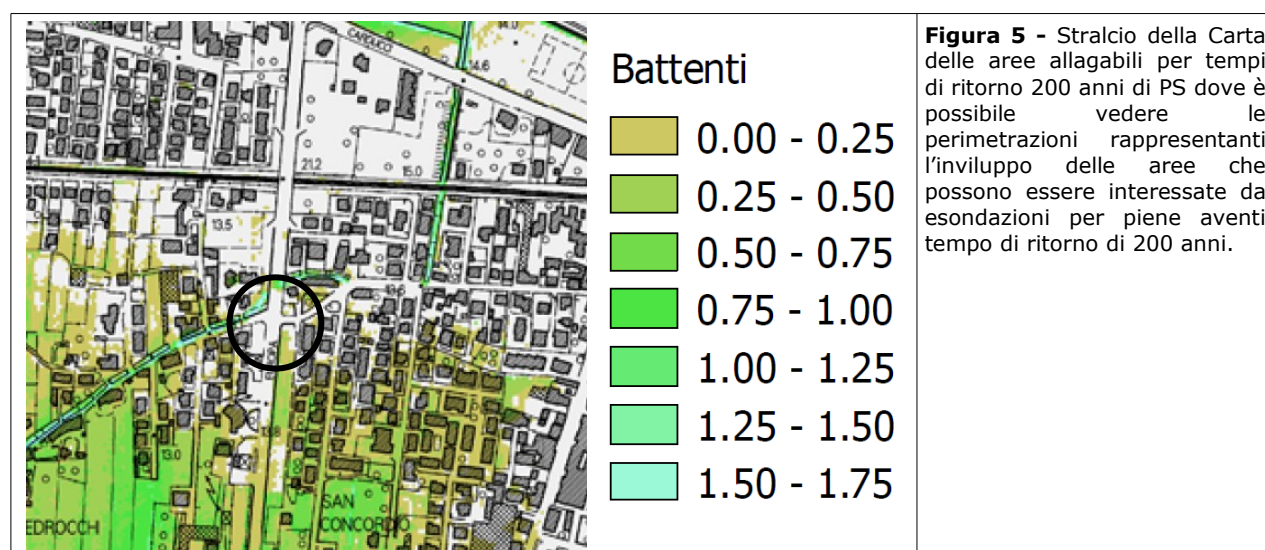
Secondo la Relazione geologico-tecnica di PS, nella **CLASSE I.2** di **Pericolosità idraulica** rientrano le *aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < Tr \leq 500$ anni. Fuori delle unità territoriali organiche elementari (UTOE) potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni: a) non vi sono notizie storiche di inondazioni; b) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di*

sponda; nella **CLASSE I.3** di **Pericolosità idraulica** rientrano le *aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $30 < Tr \leq 200$ anni*.

La **Tabella 3** che segue, sempre tratta dalla relazione sopra citata, compara le classi come da 53/R con quelle derivanti dalle definizioni del vecchio PAI Serchio, prese in considerazione in quanto al tempo vigenti.

Tabella 3 - Comparazione tra la normativa del 53/R e quella del PAI Serchio, che era vigente nel corso della stesura degli elaborati di PS del Comune di Lucca, per le classi di pericolosità idraulica.		Classificazione regolamento 53/R	Classificazione Norme di PAI	Caratteri
	I.1 BASSA			Territorio in condizioni di sicurezza idraulica
	I.2 MEDIA			Aree a pericolosità idraulica moderata individuate su base storica e morfologica
	I.2 MEDIA		BP P2a	Aree a pericolosità idraulica moderata e $Tr > 200$ anni
	I.3 ELEVATA		Ps	Aree a pericolosità idraulica elevata con $30 < Tr < 200$ anni
			MP	
			P2	
	I.4		P2g	Aree a pericolosità idraulica molto elevata con $Tr < 30$ anni
			a1	
			a2	
			AP	
			APg	
			PU	
			P1	

In relazione all'aspetto idraulico, il PS con la Carta degli ambiti, pertinenze fluviali e aree destinate agli interventi di laminazione delle piene ribadisce la presenza nell'area d'intervento di un infrastruttura idraulica, come già messo precedentemente in evidenza (CANALE detto LA PISCILLA). Mentre la Carta delle aree allagabili per tempi di ritorno 200 anni di PS indica, nell'area specifica, criticità idrauliche che possono essere causate da esondazioni per piene aventi tempo di ritorno duecentennale (**Figura 5**).



La Carta delle aree ed elementi esposti a fenomeni alluvionali del POC (riportata nella **Tavola 9** ed elaborata ai sensi del par. 3.1.1, Allegato A del D.P.G.R. 5/R/2020) evidenzia, poi, i seguenti elementi: *il reticolo idrografico di cui all'art. 22, comma 2, lettera e) della L.R. 79/2012; le aree presidiate da sistemi arginali, come definite dall'art. 2, comma 1, lettera s) della LR. 41/2018; le aree a pericolosità da alluvioni; il perimetro del territorio urbanizzato; gli edifici e le infrastrutture, strategici ai fini dell'emergenza come individuati dal piano di protezione civile comunale; gli edifici rilevanti ai sensi del regolamento 36/R/2009; le infrastrutture di mobilità*. Da tale carta si evince che l'area è perimetrata all'interno del territorio urbanizzato, il CANALE detto LA PISCILLA non è parte del reticolo idrografico come da L.R. 79/2012 e vicini all'area d'intervento sono presenti infrastrutture come *Ponti e Viadotti* indicate col codice **14**.

Il più recente elaborato idraulico del POC basato su nuovi studi che hanno interessato, soprattutto, i tratti di una serie di corsi d'acqua minori e attraversanti il territorio urbanizzato (reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012) e prodotto in conformità al 5/R/2020 e alla L.R. 41/2018, ha distinto le ormai classiche pericolosità tra cui quelle di nostro interesse così definite:

- **P1** - Aree a pericolosità per alluvioni rare o a pericolosità bassa (aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni);
- **P2** - Aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti o a pericolosità media (aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e inferiore o uguale a 200 anni).

Detto ciò, occorre ricordare che alle **classi di pericolosità idraulica** (elevata e molto elevata, talvolta media) vengono associati dei battenti idraulici, ovvero dei valori soglia, modellati su un determinato tempo di ritorno e approvati dalle Autorità competenti. Relativamente a questi, già il PS indicava nell'area specifica dei valori, come visto con la carta di **Figura 5**. Gli approfondimenti idraulici, poi, eseguiti per la redazione del POC da parte della ditta INGEO attraverso i suoi tecnici, hanno potuto affinare i dati, incrociando i risultati specifici con quelli degli studi sul fiume Serchio e sulle Aree di Potenziale Esondazione (APE).

A tal proposito, nella **Figura 6** (a sinistra), estratto dagli elaborati del POC di Lucca, sono cartografati tali *battenti idraulici*, che nell'area d'interesse sembrano *compresi tra 0 m e 0,30 m* (l'applicativo WebGis relativo alla Carta dei battenti idraulici del POC di Lucca offre un dato più preciso al quale rimandiamo per la progettazione, come vedremo più avanti). Questi valori soglia sono modellati su un tempo di ritorno duecentennale e riferiti al piano campagna, oltre i quali si ritiene di stare in sicurezza. Sulla base delle definizioni normative (e non per l'incrocio tra i battenti e le velocità della corrente, visto che queste ultime non sono state cartografate), è stata poi definita la Magnitudo Idraulica ai sensi dell'*art. 2 comma 1 lettera h)* della L.R. 41/2018, secondo cui il sito d'interesse presenta una *Magnitudo idraulica moderata M1* (**Figura 6** a destra). Il dato della Magnitudo idraulica risulta indispensabile per la valutazione del rischio dell'area e la conseguente sua gestione.

Riguardo alla **Pericolosità sismica**, la **CLASSE S.2** comprende, per l'elaborato di supporto al PS vigente, le *zone stabili con substrato lapideo affiorante o subaffiorante ma con pendenza superiore a*

15° e le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3, ovvero non caratterizzati da forti contrasti di impedenza sismica (generalmente corrispondenti alle categorie di sottosuolo B o C), ad esempio depositi alluvionali della pianura, depositi detritici su roccia alterata o su depositi fluviolacustri.

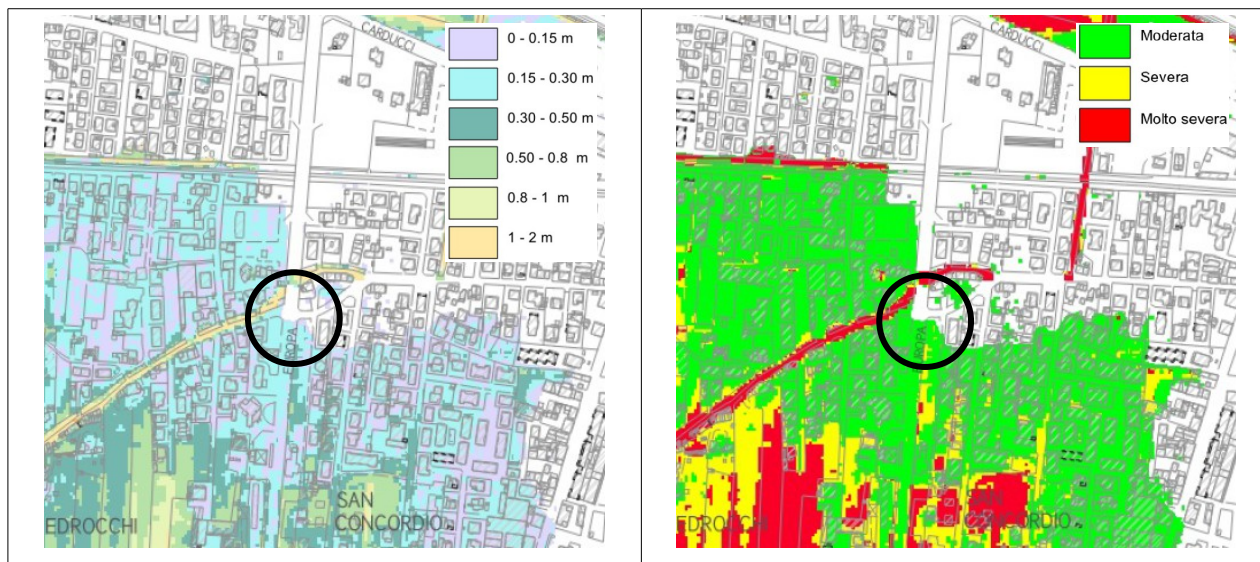


Figura 6 - Carta dei battenti per Tr 200 anni (a sinistra) e Carta della magnitudo idraulica (a destra) alla scala 1:10.000. Tali cartografie sono estratte dalle indagini idrologico-idrauliche redatte da INGEO di Lucca a supporto del POC del Comune di Lucca. La Carta della velocità della corrente per Tr 200 anni non definisce nell'area di studio le relative velocità.

Gli elaborati in materia sismica di supporto al POC approvato ed efficace alzano per il sito in esame la classe precedentemente citata, portandola alla **Pericolosità sismica locale elevata S.3**, alla quale si associano:

- a. aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti rilevanti;
- b. aree potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica, caratterizzate da terreni per i quali, sulla base delle informazioni disponibili, non è possibile escludere a priori il rischio di liquefazione;
- c. zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse;
- d. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, connesse con un alto contrasto di impedenza sismica atteso entro alcune decine di metri dal piano di campagna;
- e. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (F_x) $> 1,4$;
- f. aree interessate da instabilità di versante quiescente, relative aree di evoluzione, nonché aree potenzialmente franose, di seguito, denominate "APF", e, come tali, suscettibili di riattivazione del movimento in occasione di eventi sismici.

La Relazione tecnica aggiunge anche: *Tutte le condizioni, ad esclusione della b. precedentemente commentata al par. 2.1.1., sono rappresentate nel territorio comunale: in particolare si osserva che, coerentemente con le condizioni sismo-stratigrafiche e geotecniche, ricadono in classe di pericolosità S.3 zone in condizione d. (ad esempio Ponte a Moriano/Saltocchio e Monte S. Quirico), ampie aree delle*

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126
Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298
C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

Piana per le quali sono stati calcolati fattori amplificativi $F_x > 1,4$ (condizione e.), peraltro tipici anche delle zone tipo d. e tipo a. e, in genere, le zone di bordo della Piana, i fondovalle e le digitazioni vallive. Si ascrivono inoltre a questa Classe limitate aree in frana quiescente.

Relativamente all'aspetto sismico, l'Amministrazione comunale di Lucca ha adeguato, tramite alcuni tecnici e professionisti, il proprio quadro conoscitivo secondo la normativa vigente. Il prodotto cartografico ultimo, precedente a quello sulla pericolosità sismica del territorio, è rappresentato dall'individuazione delle microzone omogenee in prospettiva sismica, Carta MOPS, nella quale si è valutato, per le aree urbanizzate di Lucca maggiormente significative, gli effetti locali o di sito ai fini della riduzione del rischio sismico.

Tale carta consente di rappresentare: 1) i probabili fenomeni di amplificazione stratigrafica, topografica e per morfologie sepolte; 2) la presenza di faglie e/o strutture tettoniche; 3) i contatti tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti; 4) l'accentuazione dell'instabilità dei pendii; 5) i terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento; 6) i terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali.

Tra questi scenari, nel quadro generale delle conoscenze, risultano essenzialmente individuabili per il territorio di Lucca i fenomeni di amplificazione stratigrafica, topografica e per morfologie sepolte e l'accentuazione dell'instabilità dei pendii.

La valutazione preliminare degli effetti locali o di sito era già stata rappresentata nei vecchi SU attraverso la realizzazione della carta ZMPSL (carta delle Zone a Maggior Pericolosità Sismica Locale) ai sensi del 26/R del 2007.

Le indagini per adeguare il quadro conoscitivo ai requisiti della Microzonazione Sismica di Livello 1 ai sensi del 53/R hanno visto soprattutto la realizzazione di un congruo numero di misure di rumore sismico ambientale a stazione singola e la conseguente redazione della Carta delle frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo (che vedremo più avanti) e l'elaborazione della Carta litologico-tecnica e dei dati di base. Tutto ciò per arrivare, come detto, alla carta MOPS secondo i criteri tecnici dettati dalle normative vigenti e gli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS) del Dipartimento per la Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri.

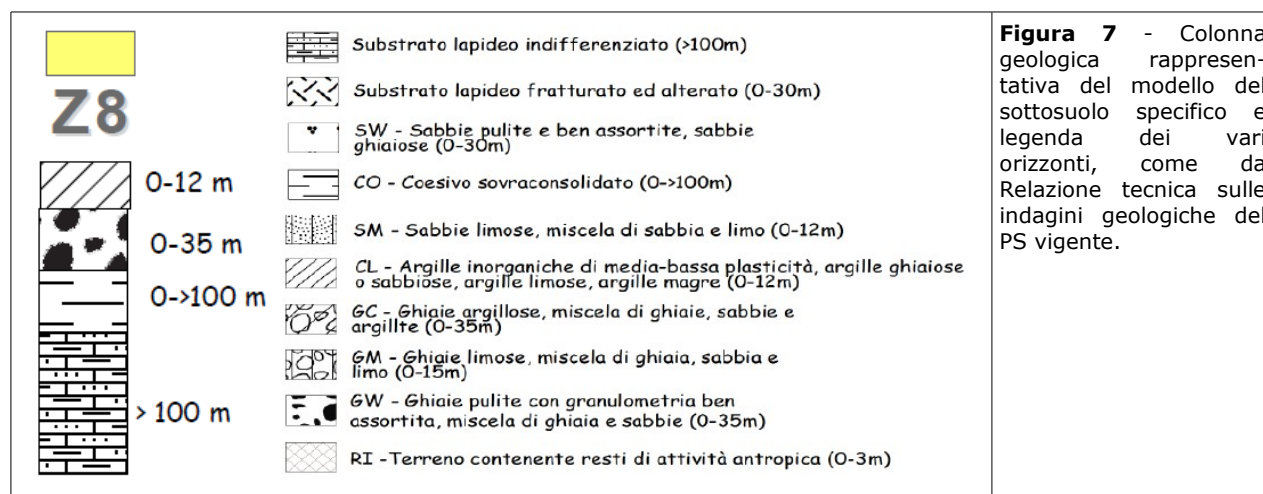
La MOPS individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all'acquisizione, valutazione e analisi dei dati geognostici e di alcune tipologie di dati geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.). A questo scopo risulta importante la ricostruzione del modello litologico-tecnico dell'area, l'individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido (ovvero dei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti) accompagnata da una stima approssimativa della loro profondità rispetto al piano di campagna, una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso. Fondamentale è, anche, l'individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte potenzialmente in grado di causare inversioni della velocità di propagazione delle onde di taglio ed effetti di RSL bi- e tri-dimensionali.

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126
Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298
C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

Nella Carta MOPS di PS troviamo individuate e caratterizzate per il sito in oggetto le Zone stabili suscettibili di amplificazione locale per effetti litostratigrafici e in particolare la zona, per la quale riportiamo anche la propria colonna geologica caratteristica (**Figura 7**):

Zona 8 - Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre (0-12 m) - CL - su Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia (spessore 0-35 m) - GW - su Coesivo sovraconsolidato (0->100 m) - CO - su substrato lapideo indifferenziato (>100 m).



In tali zone stabili suscettibili di amplificazioni stratigrafiche sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale, e sono presenti terreni di copertura o di alterazione con spessori superiori ai 3 m.

Infine, ad integrazione degli elaborati prodotti e, in particolare, ad affinamento della carta della pericolosità sismica, è stata prodotta anche la Carta delle Categorie di Sottosuolo (che vedremo più avanti), al fine di agevolare l'ottemperanza alle norme vigenti, per le costruzioni di modesta entità (Classe di indagine 1 ai sensi del 36/R/2009 vigente al tempo della redazione della carta stessa e adesso abrogato dal 1/R/2022).

Con gli elaborati di supporto al POC approvato ed efficace, secondo il 5/R/2020, il Comune di Lucca è passato dalla Microzonazione Sismica di Livello 1 a quella di Livello 2, ovvero da un livello qualitativo, rappresentato dalla suddivisione del territorio in zone omogenee dal punto di vista della risposta sismica locale (vedi Carta MOPS) ad un livello quantitativo, cioè ad una cartografia che prevede la suddivisione del territorio in zone caratterizzate da fattori di amplificazione del moto sismico (Fa) omogenei. Questi fattori vengono calcolati a partire da alcuni parametri (velocità delle onde di taglio Vs30 e frequenza di risonanza dei depositi), estrapolabili dagli studi di MS di Livello 1 e da appositi abachi predisposti dalla Regione Toscana.

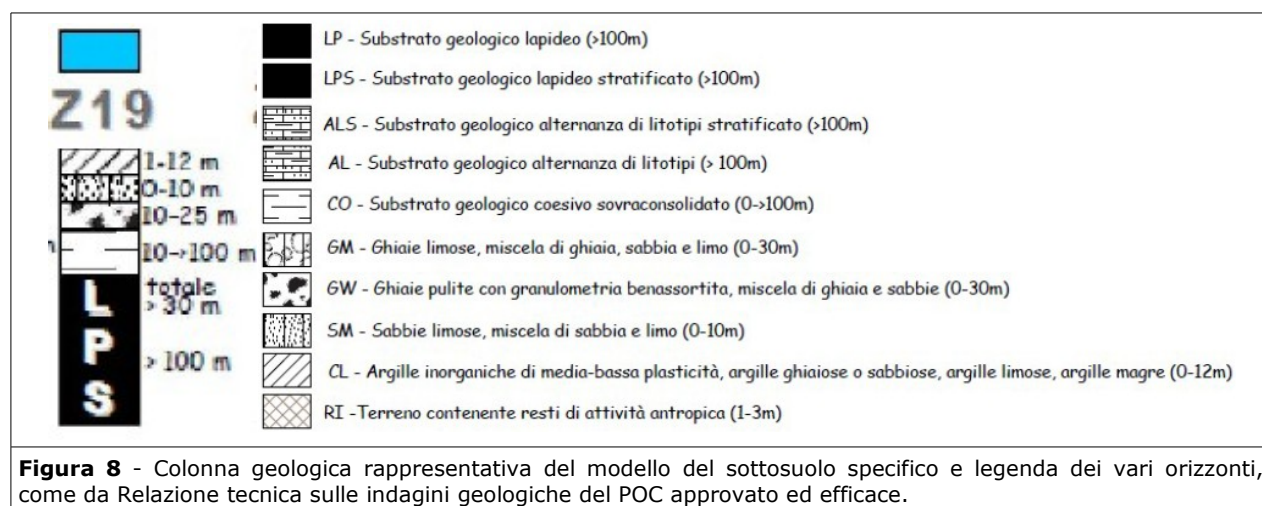
I tecnici hanno così integrato con ulteriori 60 misure del rumore sismico ambientale a stazione singola H/V, finalizzate all'individuazione, ai margini della Piana lucchese, del passaggio tra zone caratterizzate da substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s) a profondità inferiore a 30 m e zone in cui tale

substrato si incontra a profondità > 30 m. Tale informazione, infatti, è discriminante per l'applicazione degli abachi per il calcolo dei fattori amplificativi.

Tutti questi dati, sia vecchi sia nuovi, hanno contribuito all'aggiornamento delle carte geologico-tecnica, delle indagini e delle frequenze di risonanze al fine di una completa revisione della cartografia di Livello 1 con conseguente passaggio da 10 MOPS (Z1 - Z10) a ben 22 (Z1 - Z22) con la Microzonazione di Livello 2.

Nell'estratto del POC di **Tavola 10** è possibile, infatti, intuire le maggiori perimetrazioni relative agli approfondimenti di studio citati, relativamente alla nuova Carta delle MOPS. Per la **Zona 19** (zona stabile suscettibile di amplificazioni locali di tipo stratigrafico), caratteristica del nostro sito, gli elaborati tecnici specificano quanto segue (vedere anche **Figura 8**):

Zona 19 - Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre - CL (1-12 m) su sabbie limose, miscela di sabbia e limo - SM (0-10 m) su ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia - GW (10-25 m) su coesivo sovraconsolidato - CO (10->100 m) (>30 m nel complesso) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100 m).



La Carta delle frequenze fondamentali dei terreni del POC (**Tavola 11**), come già accennato, sintetizza tutti i relativi dati pregressi secondo gli standards regionali per le frequenze 0,1÷20 Hz, accorpando le due carte per le frequenze 0,1÷1,0 Hz e 1,0÷20 Hz realizzate per la MS di Livello 1 ed integrandole con le 60 misure HVSR.

La frequenza fondamentale del sottosuolo o frequenza caratteristica di risonanza del sito è il parametro che può evidenziare la presenza di contrasti nella velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs) all'interno delle coperture o tra le coperture e il bedrock, contrasti che sono i principali responsabili dei fenomeni amplificativi del moto sismico in superficie. L'individuazione di tale frequenza, che avviene tramite misure in sismica passiva di rumori ambientali o microtremiti, permette inoltre di valutare la possibilità di insorgenza del pericoloso fenomeno della doppia risonanza, che si manifesta quando la frequenza propria di vibrazione dei fabbricati replica (o comunque approssima) quella propria del terreno. La tecnica della sismica passiva è riconosciuta, infine, efficace anche nel fornire stime dello

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126
Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298
C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

spessore e delle velocità delle onde S relative alla copertura, qualora si abbiano a disposizione sufficienti dati sismo-stratigrafici al contorno. È per tali motivi che tale cartografia rappresenta un forte contributo a tutti gli elaborati ultimi degli studi di Microzonazione Sismica.

Infine gli Studi di MS2 hanno proceduto ad assegnare alle varie Zone MOPS i valori dei Fattori di Amplificazione per periodi compresi tra 0,1-0,5 s (*Fha0,1-0,5*) e 0,5-1 s (*Fha0,5-1,0*) secondo le procedure tecniche riconosciute (DSFTA - UNISI 2013). In questo modo e sui diversi valori di amplificazione disponibili, ogni MOPS è stata trasformata in una o più microzone sismiche di Livello 2.

Dall'interpolazione dei dati relativi ai fattori di amplificazione calcolati sono state elaborate tre sintesi cartografiche, ovvero la Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2 - FHa0,1-0,5 s, la Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2 - FHa0,5-1,0 s e la Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2 - FHamax, quest'ultima derivante dall'incrocio delle due carte precedenti (**Tavola 12**). Sono state complessivamente distinte 13 microzone, tra le quali 6 per le zone stabili suscettibili di amplificazione locale (B-G) dentro cui si colloca il sito specifico.

La **Zona Z19** include 70 misure di microtremore a stazione singola, 10 linee di sismica a rifrazione, 15 indagini sismiche in foro tipo downhole e 1 MASW. I valori di Vs30 calcolati sono piuttosto uniformi e variano generalmente tra 255 e 324 m/sec, con soli due valori prossimi ai 400 m/sec (S24 e DH4) e una sola misura che restituisce un valore di poco inferiori a 200 m/sec (SR3). Quest'ultimo valore è stato trascurato poiché, oltre ad essere molto circoscritto, non contribuisce in maniera significativa all'incremento locale dei fattori di amplificazione. Quindi come riferimento della Vs30 per il calcolo dei fattori di amplificazione di Housner è stata scelta la classe 300 m/sec.

Sulla base dei valori dei fattori di amplificazione calcolati, la Zona 19 è stata suddivisa in 3 Mz2 per FHa0.1-0.5 (B, C, E) e 4 per FHa0.5-1.0 (C, D; E, F). Nello specifico la Fhamax risulta compresa tra 1,7 e 1,8 s (**Zona E** di MS2).

6. Fattibilità per gli interventi

Sotto il profilo urbanistico, l'area d'interesse risulta inquadrata in un contesto urbano, internamente all'UTOE 7/a Frazione di San Concordio in Contrada, ed è stata oggetto di una variante straordinaria di salvaguardia del PS (conseguente al monitoraggio) con contestuale variante di minima entità allo stesso PS.

Il motivo è l'ampliamento alla viabilità sul viale Europa e su via T. Bandettini al fine di realizzare la rotatoria in progetto sul loro incrocio. Per questa previsione di viabilità stradale è stata assegnata una destinazione urbanistica di tipo viabilità modificando porzioni di terreno che erano destinate ad aree per attività commerciali (art. 127 delle NTA), a fasce di rispetto stradali (art. 136) e ad aree residenziali UR (art. 110).

Nella Relazione generale di fattibilità geologico-tecnica del POC di Lucca, alla quale facciamo riferimento, sono indicati i criteri di fattibilità per disciplinare l'attività urbanistica ed edilizia nel territorio comunale, oltre che per gestire le trasformazioni degli assetti insediativi, infrastrutturali ed edilizi, in coerenza con il quadro conoscitivo e con i contenuti statutari e strategici del PS.

Relativamente agli **aspetti geomorfologici-geologici**, i **criteri di fattibilità (Classe G.1 di Pericolosità)** per l'area in studio non presentano limitazioni o prescrizioni. Le condizioni di attuazione degli interventi sono rappresentate dagli usuali approfondimenti di carattere geotecnico da eseguirsi a livello di intervento diretto sulla base di indagini commisurate a quanto stabilito dalle NTC 2018, finalizzate ad una corretta progettazione degli interventi stessi. In particolare le indagini di supporto alla progettazione edilizia dovranno pervenire alla definizione del modello geologico di riferimento, comprensivo della relativa caratterizzazione stratigrafico-geotecnica ed idrogeologica. Nel caso, poi, di interventi su terreni argillosi dovranno essere valutati i possibili fenomeni di ritiro e rigonfiamento dei terreni stessi per variazioni di umidità del suolo.

Per gli **aspetti idraulici**, le **condizioni di fattibilità** nelle aree a **Pericolosità da alluvioni P2**, come una porzione del sito in esame, sono:

- *....., ai fini del raggiungimento almeno di un livello di rischio medio R2, la fattibilità degli interventi è subordinata alla gestione del rischio di alluvioni rispetto allo scenario per alluvioni poco frequenti, assicurata attraverso la realizzazione di opere idrauliche, opere di sopraelevazione ed interventi di difesa locale, ai sensi dell'articolo 8, comma 1 della L.R. 41/2018.*
- *.....*
- *Nel caso di interventi in aree soggette ad allagamenti, la fattibilità è subordinata a garantire, durante l'evento alluvionale l'incolumità delle persone, attraverso misure quali opere di sopraelevazione, interventi di difesa locale e procedure atte a regolare l'utilizzo dell'elemento esposto in fase di evento. Durante l'evento sono accettabili eventuali danni minori agli edifici e alle infrastrutture, tali da essere rapidamente ripristinabili in modo da garantire l'agibilità e la funzionalità in tempi brevi post evento.*
- *.....*
- *..... Il battente puntuale può comunque essere rilevato, ed utilizzato per la definizione delle condizioni di sicurezza idraulica, consultando il SIT del Comune di Lucca. Quanto sopra ad esclusione delle aree ricadenti nell'intervallo di battente 0 – 15 cm, nelle quali il battente di riferimento dovrà essere cautelativamente assunto pari a 15 cm.*
- *..... Alle infrastrutture lineari e relative pertinenze il franco minimo di sicurezza è 5 cm.*
- *Relativamente alle infrastrutture lineari ed ai parcheggi in superficie può essere ammesso, ai fini del non superamento del rischio medio R2, un battente idrico massimo rispettivamente di 5 e 20 cm. 10.*
- *Il rispetto della prescrizione di non aggravio delle condizioni di rischio richiesto dall'art. 8, comma 1, lettera c) della LR. 41/2018 dovrà essere dimostrato a livello di piano attuativo o di permesso a costruire convenzionato o, in loro assenza, in sede di predisposizione del progetto edilizio.*

-
- *Nelle aree P2 l'Autorità di bacino distrettuale si esprime sugli interventi di seguito elencati, in merito alla compatibilità degli stessi con il raggiungimento degli obiettivi di PGRA:*

.....

c) interventi di ampliamento e ristrutturazione delle opere pubbliche o di interesse pubblico esistenti, riferite ai servizi essenziali, e della rete infrastrutturale primaria, nonché degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo n. 152/2006 dichiarati di interesse pubblico;

d) nuovi interventi relativi alla opere pubbliche o di interesse pubblico riferiti ai servizi essenziali e alla rete infrastrutturale primaria;

.....

Per le porzioni areali che si vengono a trovare in perimetrazioni a **Pericolosità da alluvioni rare P1**, le **condizioni di fattibilità idraulica** per attuare gli interventi ammessi dal POC non presentano limitazioni.

Riguardo agli **aspetti sismici**, le **condizioni di fattibilità (Classe S.3 di Pericolosità)** sono condizionate all'esecuzione di specifiche indagini di approfondimento da eseguirsi in sede di progettazione, ed in particolare:

-
- *nelle zone stabili suscettibili di amplificazione locale, caratterizzate da un alto contrasto di impedenza sismica tra copertura e substrato rigido o entro le coperture stesse entro alcune decine di metri, sono raccolti i dati bibliografici oppure, se insufficienti per una compiuta caratterizzazione, è effettuata una specifica campagna di indagini geofisiche (quali, ad esempio, profili sismici a riflessione o rifrazione, prove sismiche in foro e, ove risultino significative, profili MASW) e geognostiche (quali, ad esempio, pozzi o sondaggi, preferibilmente a carotaggio continuo) che definisca spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti per valutare l'entità del (o dei) contrasti di rigidità sismica tra coperture e bedrock sismico o entro le coperture stesse.*
-

7. Indagini in situ

Oltre ad osservazioni dirette di un congruo intorno del sito in studio ed a una ricerca effettuata grazie all'esistente bibliografia tecnica che ha permesso di raccogliere alcuni dati riguardanti il sottosuolo limitrofo (vedi i dati di base del quadro geologico regionale - Geoscopio Regione Toscana), è stata eseguita tra la fine del 2024 e l'inizio del 2025 una campagna di indagine geognostica, nel corso della quale sono stati effettuati:

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126
Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298
C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

- n. 1 prova penetrometrica statica di tipo meccanico denominata **CPT1** in data 30.12.2024;
- n. 1 prova sismica superficiale **MASW** in onde di Rayleigh in data 30.12.2024;
- n. 1 sondaggio verticale in sismica passiva a stazione singola (**HVSR**) in data 10.01.2025, prossimo all'estremo Nord della stesa MASW e quasi coincidente con la penetrometria statica di tipo meccanico sopra ricordata.

Le ubicazioni delle indagini menzionate sono mostrate tramite la **Figura 9** sotto riportata.



Figura 9 - Ubicazione tramite immagine satellitare delle indagini sito specifiche relative alla rotatoria in progetto. Con la sigla **CPT1** la penetrometria statica di tipo meccanico, con la sigla **MASW** la stesa sismica e con la sigla **HVSR** il sondaggio verticale in sismica passiva.

La sintesi dei dati in nostro possesso ha, così, permesso di caratterizzare dal punto di vista litologico il sito d'interesse, determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni presenti nel sottosuolo specifico e valutarne le proprietà sismiche, ai sensi della normativa vigente NTC 2018 e del D.P.G.R. 19 gennaio 2022, n. 1/R della Toscana. Considerata l'entità degli interventi, i dati in nostro possesso risultano sufficienti e conformi alle indicazioni dettate dalle normative regionali e nazionali vigenti in materia, in particolare le NTC 2018.

7.1 Dati di base regionali

Come accennato, dal database geognostico della Regione Toscana (DB_Geologico di Geoscopio), al fine di ricostruire la litologia del sottosuolo d'interesse, sono state prese anche in considerazione una **penetrometria statica** (ID **CPT_57**) e un **carotaggio geognostico** (ID **SO_104**), prove rispettivamente ubicate a una distanza di 145 m circa e 300 m circa dall'area in esame. I reports

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126
Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298
C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

relativi a queste indagini sono presentati nell'**Allegato A**.

Per la **prova penetrometrica** sarà stato utilizzato quasi sicuramente un penetrometro dinamico/statico di tipo meccanico. L'operazione consiste nell'infiggere le aste di manovra dello strumento nel terreno, a mezzo di un martinetto idraulico, misurando ogni 20 cm di avanzamento i seguenti parametri: Q_c o R_p resistenza alla punta a rottura (kg/cm^2), F_s o R_l resistenza di attrito laterale locale (kg/cm^2) e Q_t o R_L resistenza all'avanzamento totale della colonna di aste (kg).

I dati di campagna acquisiti vengono, in generale, elaborati tramite un programma di calcolo al fine di risalire alla litologia del sottosuolo lungo le varie prove. Ciò si può ottenere, ad esempio, attraverso il calcolo del rapporto q_c/f_s (R_p/R_L), conosciuto con il nome di *Rapporto Begemann* e dipendente dalla granulometria dei terreni attraversati, il quale permette appunto la ricostruzione litologica del sottosuolo.

Le ricostruzioni vengono effettuate tramite interpretazioni e correlazioni, empiriche o semi-empiriche, proposte in letteratura. Nel nostro caso queste ricostruzioni hanno raggiunto la profondità massima indagata ovvero i 9,6 m dal p.c. locale.

Per il **carotaggio geognostico** fu sicuramente utilizzata una sonda al fine di operare l'infissione di un carotiere, effettuata a spinta e rotazione, attraverso aste di piccolo diametro per aprire un foro, tendenzialmente pari a 101 mm di diametro. Per la stabilità delle pareti, i tratti carotati furono di certo rivestiti con tubazione di diametro interno maggiore di quello del carotiere (120 mm). Sarà stato poi seguito il metodo "convenzionale" che consiste in una continua alternanza di manovre di carotaggio e manovre di rivestimento. Con questa tipologia d'indagine fu possibile prelevare sia le carote di terreno sulla verticale del punto di sondaggio, sia dei campioni indisturbati da sottoporre ad analisi di laboratorio, con queste ultime tuttavia non riportate nel DB intercomunale.

La metodologia d'indagine diretta garantita da un sondaggio a carotaggio continuo permette di ricostruire le effettive sequenze litostratigrafiche dei terreni perforati. Nel nostro caso sono state rinvenute successioni deposizionali la cui natura è attribuibile, soprattutto, a facies di pianura alluvionale.

Nell'**Allegato A** sono riportate le descrizioni litologiche degli orizzonti individuati lungo il sondaggio, secondo scansioni variabili con intervalli di profondità da decimetrici a metrici, fino alla massima profondità raggiunta, ovvero 18,5 m dal p.c. locale.

La litologia che è possibile, così, ricostruire con le informazioni descritte sopra e finalizzata allo scopo del lavoro in esame, vede un primo orizzonte di terreno misto alterato e/o di riporto, al quale seguono sedimenti fini e tendenzialmente coesivi, fino ai -3/4 m, oltre i quali si ha un orizzonte più granulare per uno spessore di 1/1,5 m, al quale seguono di nuovo strati a composizione più fine e a comportamento coesivo, per poi passare intorno ai -7/8 m a sedimenti sabbiosi e ghiaiosi.

7.2 Penetrometria statica sito specifica

Lo strumento utilizzato per l'indagine geognostica sito specifica è un penetrometro dinamico/statico modello Pagani Geotechnical Equipment tipo TG 63 - 100/200 kN della **Mappo**

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

Geognostica S.r.l. di Spianate (Altopascio - LU). La prova è stata eseguita nel rispetto delle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche" redatte dall'Associazione Geotecnica Italiana e sulla base della "Raccomandazione ISSMFE" per la standardizzazione delle prove penetrometriche in Europa.

Le penetrometrie statiche, come già accennato prima, consistono nell'infissione di una punta conica nel terreno, a velocità costante, per mezzo di un martinetto idraulico che esercita la spinta necessaria su una batteria di aste alla cui estremità è collegata la punta stessa; ogni 20 cm d'avanzamento vengono misurate la resistenza alla punta a rottura, la resistenza di attrito laterale locale e la resistenza all'avanzamento totale della colonna di aste.

La penetrometria **CPT1** è stata spinta alla profondità di -11,80 m dal punto di inizio perforazione. La profondità di fine prova è dovuta al raggiungimento del rifiuto strumentale determinato da litologie ad alta resistenza meccanica legata ad un probabile loro forte addensamento, tale da alterare i risultati della prova stessa per la mancanza di un adeguato ancoraggio e per un'appropriata verticalità dell'indagine.

I dati di campagna sono stati, poi, elaborati tramite un programma di calcolo per risalire alla litologia del sottosuolo lungo la verticale indagata. Il **Report** delle **prova penetrometrica statica CPT** si trova nell'**Allegato B**. Oltre alle interpretazioni e correlazioni empiriche e/o semi-empiriche come da proposte di letteratura, che consentono di ricostruire direttamente la litostratigrafia del sottosuolo indagato, sono anche rappresentati i grafici relativi ai valori di resistenza alla punta q_c e resistenza laterale f_s , rilevati ogni 20 cm.

La modellazione lungo la verticale indagata **CPT1** è stata eseguita secondo le raccomandazioni AGI '77, le quali adottano l'interpretazione di BEGEMANN (1965) che considera le variazioni litologiche in base al rapporto **q_c/f_s** (Rp/RL). Qui di seguito riportiamo i valori di tale rapporto che caratterizzano i terreni a diversa granulometria:

TERRENO	q_c / f_s
Torbe e argille organiche	$F_t < 15$
Limi e argille	$15 < F_t < 30$
Limi sabbiosi e sabbie limose	$30 < F_t < 60$
Sabbie e sabbie con ghiaia	$F_t > 60$

Gli elaborati riportano anche le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di **q_c** e **$FR = (f_s / q_c)\%$** .

La carta di classificazione più accreditata per il penetrometro statico meccanico è, infatti, quella di Schmertmann (1978), come rappresentata in **Figura 10**.

Da tale figura è possibile notare, in ascissa, il rapporto adimensionale R_f (chiamato prima FR e detto rapporto d'attrito o di frizione o delle resistenze, in scala naturale) e, in ordinata, la resistenza di punta q_c (FL^{-2}) in scala logaritmica.

Dal punto di vista litologico, la verticale penetrometrica indica un sottosuolo formato da un primo orizzonte a composizione mista, da argillosa a limosa, talvolta sabbiosa, alterato per la sua posizione vicina alla superficie terrestre, dove non si esclude la presenza di materiali di riporto, oltre il quale si alternano orizzonti costituiti da sedimenti più o meno fini, che culminano tra i -7 m e i -8 m dal p.c.

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126
Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298
C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

locale in depositi a natura più granulare riconducibili a sabbie fini e medie, talvolta limose, poco ghiaiose, raramente argillose, con le ghiaie che si fanno preponderanti dagli 11 metri in poi.

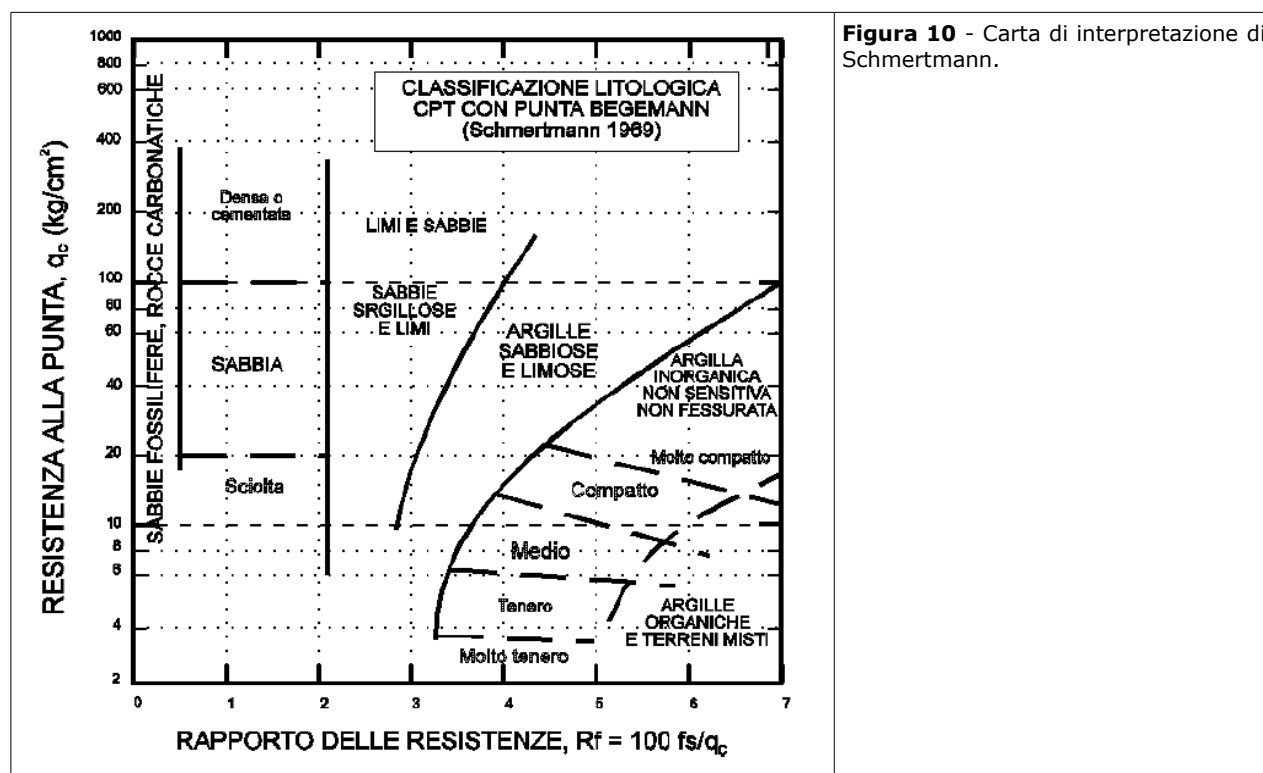


Figura 10 - Carta di interpretazione di Schmertmann.

Nella tabella successiva è riportata, sommariamente, la litologia ricostruita lungo tale verticale:

Profondità dal p.c. (m)	Litologia CPT1
0 - 0,60	Terreno vegetale alterato e/o di riporto
0,60 - 2,20	Depositi limosi e limoso argillosi
2,20 - 2,60	Depositi argillosi e argilloso limosi
2,60 - 5,20	Depositi limosi e limoso argillosi
5,20 - 6,60	Depositi argillosi e argilloso limosi
6,60 - 7,40	Depositi limosi e limoso argillosi
7,40 - 11,60	Depositi sabbiosi e sabbiosi limosi con poche ghiaie che diventano preponderanti dagli 11 metri in poi

Le caratteristiche di compattezza/addensamento risultano variabili nei primi metri dal p.c., mentre con la profondità si fanno sempre più omogenee e migliori, con resistenze al taglio ottime e basse compressibilità. Alcuni di questi orizzonti risultano graficamente ben espressi nel diagramma Profondità / Resistenza alla punta (R_p) riportati nell'**Allegato B**. In particolare, al di sotto dei primi 80 cm costituiti da terreno vegetale alterato e/o di riporto, si possono individuare gli orizzonti sopra descritti e associare a ciascuno determinati valori della resistenza alla penetrazione della punta meccanica.

Dai dati di campagna è stato possibile, inoltre, derivati i valori dei parametri di seguito elencati che, tuttavia, poiché ottenuti attraverso correlazioni empiriche (per i riferimenti rimandiamo

all'**Allegato B**), debbono essere valutati e considerati con le dovute cautele: peso di volume (t/mc), tensione verticale geostatica (kg/cmq), coesione non drenata (kg/cmq), grado di sovraconsolidazione (%), modulo di deformazione non drenato e drenato (kg/cmq), modulo edometrico (kg/cmq), densità relativa D_r (%), angolo di attrito interno (gradi).

7.3 Prospezioni geofisiche sito specifiche

Con l'entrata in vigore delle NTC 2008 la stima della pericolosità sismica viene definita tramite un approccio "sito dipendente" e non più attraverso un criterio "zona dipendente". Al riguardo, come abbiamo già fatto cenno, si è deciso di eseguire alcune indagini geofisiche nell'area d'interesse.

Relativamente alla campagna geofisica svolta, sono state redatte dalla ditta esecutrice **Mappo Geognostica S.r.l.** di Altopascio (LU), delle relazioni tecniche, che alleghiamo al presente studio (**Allegato C**): queste descrivono la strumentazione utilizzata, la metodologia e l'acquisizione delle varie indagini svolte nonché i risultati raggiunti.

Sono state, così, effettuate acquisizioni ed analisi MASW ("Multichannel Analysis of Surface Waves") in onde di Rayleigh. Inoltre, sono state svolte misure di microtremori per analizzare il rapporto spettrale H/V (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio - HVSr) utile a definire eventuali risonanze di sito. Queste ultime, unitamente a misure di dispersione delle onde di superficie, potrebbero meglio vincolare il profilo V_s .

Le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle NTC 2018, che hanno aggiornato le normative del 2008 e 2005). Queste, in buona misura, analizzano la stima dell'effetto di sito, ovvero l'eventuale amplificazione dello scuotimento del suolo in caso di sisma in una certa area, considerano le caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) e caratterizzano l'assetto sismo-stratigrafico dei livelli superficiali del sottosuolo.

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, per mezzo di un'analisi congiunta tra le componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh, il rapporto spettrale radiale / verticale dell'onda di Rayleigh, l'analisi del moto determinato dal passaggio dell'onda di Rayleigh (e forse le misure dei microtremori HVSr), ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde S nel sottosuolo del sito indagato sia il parametro V_{s_eq} : il modello di sottosuolo in termini di V_s è stato, pertanto, ottenuto dal fit congiunto tra tutte le componenti di cui sopra.

Il profilo verticale delle Onde S, ricavato mediante elaborazione dei dati di campagna, ha dato una **$V_{s_eq}(0-30) = 350 \text{ m/s}$** , mettendo altresì in evidenza un trend volto verso un progressivo aumento delle velocità sismiche con la profondità, ad eccezione di una debole inversione piuttosto superficiale (**Tabella 4**).

Tabella 4 - Profilo sismo-stratigrafico con spessore degli strati incontrati tramite l'indagine geofisica MASW e le velocità sismiche delle onde S associate (modello medio dell'elaborazione effettuata dalla Mappo Geognostica S.r.l.).	strato	1	2	3	4	5
	V_{Sh} (m/sec)	140	313	288	418	443
	Spessore(m)	2.17	2.74	2.15	16.28	

Riguardo all'inversione di velocità che è presente nel nostro profilo V_s , occorre dire che, in accordo con le indicazioni sperimentali degli indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (ICMS del Dip. di Protezione Civile), la presenza di una inversione di velocità lungo un profilo di una successione

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

litologica e stratigrafica si intende realizzata quando si verificano contemporaneamente le seguenti 4 condizioni:

- un terreno rigido che in profondità sovrasta un terreno soffice con un rapporto $V_s \text{ rig.}/V_s \text{ sof.}$ superiore a 1,5;
- la differenza tra le V_s dei due terreni è maggiore di 200 m/s;
- lo spessore dello strato a velocità minore è maggiore di 5 m;
- la V_s dello strato più rigido è maggiore o uguale a 500 m/s.

Pertanto, così come descritto sopra, nello specifico profilo V_s di nostro interesse non si può parlare di inversioni di velocità.

In termini di amplificazione sismica, il valore di poco oltre **0,6 Hz** può rappresentare bene la **frequenza di risonanza caratteristiche del sito**: questo va a indicare un contrasto di impedenza che si trova a profondità rilevanti, oltre i 100 m dove è presente il substrato lapideo, come da dati del quadro conoscitivo.

Gli altri valori che emergono dall'indagine sono rispettivamente **4-5 Hz** e **20 Hz** circa. Tali picchi mettono in evidenza altri contrasti di impedenza che, rispetto al primo descritto, risultano più superficiali: per la frequenza più bassa il contrasto d'impedenza è quello del top del substrato geologico coesivo sovraconsolidato, che si trova nell'area intorno ai 20-30 metri di profondità; la frequenza più alta coincide con un contrasto molto superficiale e mal distinguibile nella litologia del sottosuolo specifico. L'orizzonte granulare con il suo top posto intorno ai 7-8 m dal p.c. locale sembra, stranamente, non essere evidenziato dai segnali registrati con l'indagine HVSR.

8. Sismicità dell'area e azioni sismiche di sito

8.1 Zonizzazione sismica

In materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e relativamente alle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica, è stata emanata l'O.P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274 "Primi provvedimenti in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (modificata e integrata nel tempo) che, a seguito della nuova mappa sismica dei comuni italiani contestualmente ridisegnata, disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni.

Con il D.M. 14 gennaio 2008 e la Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 2 febbraio 2009, n. 617 "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008" è diventata operativa la nuova normativa sismica sopra citata.

In base alla nuova mappa di pericolosità sismica dei comuni italiani (O.P.C.M. 28 aprile 2006, n. 3519 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"), le Regioni hanno aggiornato gli elenchi delle zone sismiche, nell'ambito del proprio territorio di competenza, perseguendo altresì l'omogeneizzazione delle mappe, soprattutto nelle aree di confine con altre regioni e definendo eventualmente le sottozone, nell'ambito

di uno stesso comune, differenziate anche in relazione alle caratteristiche geolitologiche e geomorfologiche di dettaglio.

Per quanto riguarda il territorio toscano, la mappa regionale, che è stata approvata con D.G.R.T. n. 878 del 8 ottobre 2012 (aggiornata con D.G.R.T. n. 421 del 26/05/2014), inserisce il territorio del Comune di Lucca in un'area a bassa sismicità, **Zona Sismica 3**.

In base al D.P.G.R. 22 ottobre 2012, n. 58/R della Toscana "Regolamento di attuazione dell'articolo 117, comma 2, lettera g) della legge regionale 3 gennaio 2005, n. 1 (Norme per il governo del territorio). Verifiche nelle zone a bassa sismicità. Determinazione del campione da assoggettare a verifica", la Zona Sismica 3 viene suddivisa in fasce di pericolosità che tengano conto del valore di accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico su suolo rigido e pianeggiante (Categoria A), allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), riferito al periodo di ritorno (T_R) di 475 anni, corrispondente in termini progettuali ad una vita nominale (V_N) di 50 anni e classe d'uso (C_U) pari ad 1 (classe d'uso II), di seguito indicato " a_g ": a) fascia A, con valori di $a_g > 0,15g$; b) fascia B, con valori di $0,125 < a_g \leq 0,15g$; c) fascia C, con valori di $a_g \leq 0,125g$.

Ai sensi dell'art. 107, comma 1, lettera d-bis della L.R. 1/2005, il progettista assevera la zona sismica e la fascia di pericolosità del sito, specificandone il valore a_g .

L'azione sismica di progetto prende in considerazione anche il fattore S che è direttamente legato al profilo litostratigrafico del sottosuolo su cui insistono le opere. Tale fattore S unito al già citato a_g , fornisce un'idea degli effetti di sito attraverso la relazione $S \times a_g$ (Accelerazione di progetto).

Le nuove norme tecniche disciplinano la progettazione e la verifica delle opere e dei sistemi geotecnici, soggetti ad azioni sismiche, nonché i requisiti che devono essere soddisfatti dai siti di costruzione e dai terreni interagenti con le opere in presenza di tali azioni.

In aggiunta, le opere e i sistemi geotecnici devono soddisfare le prescrizioni relative alle combinazioni di carico non sismico.

8.2 Pericolosità sismica del sito

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

Questa rappresenta l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche e viene descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo ("periodo di riferimento" V_R espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari a un valore prefissato; la probabilità è denominata Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento PV_R .

La pericolosità sismica del territorio nazionale è, invece, definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (Categoria A di sottosuolo, vedi oltre), con superficie topografica orizzontale (Categoria topografica T1, vedi oltre), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PV_R nel periodo di riferimento V_R (nostro caso 50 anni).

Un'alternativa è l'uso di accelerogrammi, purché congruenti con la pericolosità sismica del sito.

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

Ai fini delle NTC 2018 le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PV_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale: a_g accelerazione orizzontale massima al sito; F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T^*C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento, i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 2475 anni). I valori dei principali parametri sismici (a_g , F_o , T^*C) sono attualmente forniti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Tutto ciò che riguarda l'individuazione della pericolosità sismica di sito viene riportato nell'**Allegato D** (da "GeoStru Parametri Sismici").

8.3 Categoria di sottosuolo e condizione topografica

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, ovvero dalle caratteristiche stratigrafiche e topografiche del sito specifico.

Per definire l'azione sismica di progetto, come già detto, è possibile valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. I dati acquisiti vanno a confermare quelli di base dei vari studi specifici redatti a supporto degli elaborati tecnici degli SU di Lucca.

Secondo le NTC 2018, la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con h_i spessore dell' i -esimo strato; $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato; N numero di strati; H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, come il nostro, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$ che si ottiene ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

I risultati basati sulle indagini di campagna già richiamate indicano una velocità media delle onde di taglio **$V_{s,eq}(0-30)$** pari a **350 m/s**. Seguendo le NTC 2018 e facendo riferimento all'approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , il quadro a disposizione permette di definire il nostro sito come appartenente alla **Categoria di sottosuolo C** che individua profili di *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s (Tabella 5).*

Dal punto di vista topografico, la superficie del sito presenta una configurazione semplice, pianeggiante e, pertanto, riferibile alla **Categoria T1**, come da classificazione normativa (Tabella 6).

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126
Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298
C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 5 - Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato (Tab. 3.2.II delle NTC 2018).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 6 - Categorie topografiche (Tab. 3.2.III delle NTC 2018).

8.4 Stati limite e probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli **Stati Limite di Esercizio** (SLE) sono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli **Stati Limite Ultimi** (SLU) sono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per

- Pisa -

azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PV_R , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella **Tabella 7**.

Stati Limite	P_{V_R} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 7 - Probabilità di superamento PV_R al variare dello stato limite considerato (Tab. 3.2.I delle NTC 2018).

Qualora la protezione nei confronti degli SLE sia di prioritaria importanza, i valori di PV_R forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere.

Per ciascuno stato limite e relativa probabilità di eccedenza PV_R nel periodo di riferimento V_R si ricava il periodo di ritorno T_R del sisma utilizzando la relazione:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PV_R) = -C_u V_N / \ln(1 - PV_R)$$

L'**Allegato D** (da "GeoStru Parametri Sismici"), che individua la pericolosità del sito specifico, mostra la strategia di progetto, viste la tipologia dell'opera e le considerazioni effettuate precedentemente, ed esplicita i valori di progetto dei parametri sismici per gli stati limite d'interesse, riferiti alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento. Si può notare che, per un $T_R = 475$ anni (stato limite SLV), abbiamo $a_g = \mathbf{0,127\ g\ (SLV)}$, valore che pone il sito specifico nella **fascia B di pericolosità sismica**.

8.5 Valutazione dell'azione sismica di progetto

Secondo le NTC, la stima della pericolosità sismica viene basata su una griglia di 10751 punti, ove viene fornita la terna di valori a_g , F_o e T^*C per nove periodi di ritorno T_R .

Il moto sismico di ciascun punto del suolo al di sotto della costruzione può essere decomposto in componenti secondo tre direzioni ortogonali (due orizzontali contrassegnate da X e Y ed una verticale contrassegnata da Z). Per ciascuna componente dell'azione sismica può essere fornita una rappresentazione puntuale mediante la sola accelerazione massima attesa, attraverso l'intero spettro di risposta o con storie temporali dell'accelerazione (accelerogrammi). Qualora la costruzione sia di dimensioni limitate o le sue fondazioni siano sufficientemente rigide e resistenti, si può assumere che il moto sia lo stesso per tutti i punti al di sotto della costruzione. Altrimenti si deve tener conto della variabilità spaziale del moto, nei modi definiti dalle NTC 2018 (non nel nostro caso).

La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%. Esso fornisce la risposta massima

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126
Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298
C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione $T \leq 4s$ ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno.

8.5.1 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti, nelle quali T e S_e sono, rispettivamente, il periodo di vibrazione e l'accelerazione spettrale orizzontale.

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\ T_C \leq T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Nelle precedenti espressioni i vari termini che entrano in gioco hanno i seguenti significati:

- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente $S = S_s \times S_T$ essendo S_s il coefficiente di amplificazione stratigrafica e S_T il coefficiente di amplificazione topografica;
- η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali $\times$ diversi dal 5%, mediante la relazione $\eta = \sqrt{(10/(5 + \epsilon))} \geq 0,55$ dove ϵ (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;
- F_0 è il fattore di amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;
- T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da $T_C = C_c \times T^*c$ con C_c coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;
- T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante ($T_B = T_C / 3$);
- T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione $T_D = 4,0 a_g / g + 1,6$.

Le condizioni del sito di riferimento rigido, in generale, non corrispondono a quelle effettive. È necessario, quindi, modificare la forma spettrale su sottosuolo di Categoria A attraverso il coefficiente stratigrafico S_s , il coefficiente topografico S_T e il coefficiente C_c che incide sul valore del periodo T_C .

Per sottosuolo di Categoria A, infatti, i coefficienti S_s e C_c valgono 1. Per le Categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T^*c relativi al sottosuolo di Categoria A, mediante le espressioni fornite dalle NTC 2018 (**Tabella 8**), nelle quali $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità e T^*c è espresso in secondi.

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Tabella 8 - Espressioni di S_c e C_c (dalla Tab. 3.2.IV delle NTC).

Allo stesso modo, per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati sotto (**Tabella 9**), in funzione delle categorie topografiche, già definite, e dell'ubicazione dell'opera o intervento.

Anche se non è il nostro caso, ricordiamo che la variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base, dove S_T assume valore unitario.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tabella 9 - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (Tab. 3.2.V delle NTC).

8.5.2 Spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale del moto sismico S_{ve} è definito dalle espressioni che seguono:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

dove T è il periodo proprio di vibrazione (in direzione verticale) e F_v è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione $F_v = 1,35 \times F_o (a_g / g)^{0,5}$.

I valori di a_g , F_o , S , η sono già stati definiti per le componenti orizzontali; i valori di S_s , T_B , T_C e T_D , salvo più accurate determinazioni, sono quelli riportati nella **Tabella 10**.

Per tener conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati in **Tabella 9**.

Categoria di sottosuolo	S_s	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

Tabella 10 - Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale (Tab. 3.2.VI delle NTC 2018).

8.5.3 Gli spettri di progetto per gli stati limite

Per lo stato limite di operatività (SLO) lo spettro di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PV_R considerato.

Qualora le verifiche agli stati limite di danno SLD, di salvaguardia della vita SLV e di prevenzione al collasso SLD non vengano effettuate tramite l'uso di opportune storie temporali del moto del terreno ed analisi non lineari dinamiche al passo, ai fini del progetto o della verifica delle costruzioni le capacità dissipative delle strutture possono essere considerate attraverso una riduzione delle forze elastiche, che tenga conto in modo semplificato della capacità dissipativa anelastica della struttura, della sua sovrarresistenza, dell'incremento del suo periodo proprio di vibrazione a seguito delle plasticizzazioni. In tal caso, lo spettro di risposta di progetto $S_d(T)$ da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per quella verticale, è lo spettro di risposta elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PV_R considerato. Per valutare la domanda verrà utilizzato tale spettro, nel caso di analisi non lineare statica ponendo $\eta = 1$, nel caso di analisi lineare, statica o dinamica con le ordinate ridotte sostituendo nelle formule precedenti (per le componenti orizzontali) e nelle formule specifiche (per le componenti verticali) η con $1/q$, dove q è il fattore di comportamento definito nel capitolo 7 delle NTC. Si assumerà comunque $S_d(T) \geq 0,2 a_g$.

8.5.4 Calcolo dei parametri sismici e dell'accelerazione massima attesa sul sito

Nell'**Allegato D** sono esposti i parametri e i coefficienti sismici (indipendenti e dipendenti), nonché l'accelerazione massima attesa sul sito A_{max} . Tali valori sono riferiti a opere fondazionali superficiali. Questi sono rappresentati dal coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s , coefficiente funzione della categoria di sottosuolo C_c , coefficiente di amplificazione topografica S_T , coefficiente sismico orizzontale K_h , coefficiente sismico verticale K_v e coefficiente sismico orizzontale Beta.

9. Modellazione geologica e caratterizzazione geotecnica del sottosuolo

Attraverso la correlazione dei dati emersi e relazionati in questo lavoro assieme a una ragionata e cautelativa analisi di tutte le informazioni a nostra disposizione, è stato ricostruito il profilo geologico del sottosuolo d'interesse (MODELLO GEOLOGICO). A conclusione del capitolo, sono stati attribuiti alcuni valori geotecnici specifici ai vari orizzonti individuati, andando così ad individuare il MODELLO GEOTECNICO.

9.1 Il modello geologico

Il **MODELLO GEOLOGICO** può essere sintetizzato attraverso gli orizzonti litologici di seguito descritti:

- superficialmente si ha un primo orizzonte di terreno vegetale alterato e/o di riporto, con spessore intorno al mezzo metro, costituito da sedimenti misti, tendenzialmente sciolti, e riferibili ad argilla, limo e sabbia con probabile presenza di materiale più grossolano, anche di tipo antropico;
- al di sotto e fino a circa -2,5 m dal p.c., si registra un orizzonte alluvionale, costituito da depositi limosi e argillosi, poco sabbiosi, a consistenza più o meno mediocre;
- tra i -2,5 m e i -7,5 m vi è un orizzonte formato dall'alternanza di spessi livelli e/o lenti caratterizzati da limo e limo argilloso con esili strati argillosi, talvolta sabbiosi, con proprietà fisico-meccaniche più o meno discrete;
- dai -7,5 m e almeno ben oltre i -12 m di profondità è presente un orizzonte a terreno prevalentemente sabbioso e sabbio-limoso con livelli e/o lenti ghiaiose che si fanno sempre più importanti la profondità e soprattutto nell'ultimo metro (11-12 m dal p.c.), dove l'addensamento dei materiali risulta sempre più spinto.

In profondità, il sottosuolo tende a migliorare ancora di più per resistenza al taglio, registrando ancora ghiaie pulite con grana ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia, fino a raggiungere quel coesivo consolidato come indicato nelle colonne lito-stratigrafiche dello studio MOPS.

Riguardo alle condizioni piezometriche, i dati in nostro possesso indicano un livello idrico più o meno superficiale, ovvero intorno al metro di profondità rispetto al p.c., riferito al terreno naturale e non antropizzato.

9.2 Il modello geotecnico indirizzato alla progettazione

Elaborando i dati a nostra disposizione, siamo andati a definire, grazie al modello geologico già ricostruito, il **MODELLO GEOTECNICO** ovvero uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni interessati dagli interventi in programma, finalizzato all'analisi quantitativa dello specifico problema geotecnico da affrontare.

Il modello geotecnico è riferito tendenzialmente al volume significativo, cioè a quella parte di sottosuolo influenzato, direttamente o indirettamente, dal cuneo di rottura solidale all'opera in progetto, assegnando alle diverse litologie presenti al di sotto della superficie di imposta delle fondazioni determinati valori parametrici, dal punto di vista fisico-meccanico.

Nell'ottica di una progettazione basata sul metodo degli stati limite, i valori dei parametri geotecnici devono essere interpretati nel senso di valori caratteristici, ovverosia di valori ottenuti con una stima ragionata e cautelativa di un dato parametro, in relazione agli stati limite considerati per il progetto. Pertanto, tutti i parametri geotecnici ricavati, sono stati pensati ed elaborati al fine di rilevare per ciascun livello individuato nel modello il valore caratteristico.

Il **MODELLO GEOTECNICO** può essere schematizzato e definito come segue:

- **Corpo geotecnico 1**, da 0 a -0,60 m (**Cgt1**) - questa parte, di caratteristiche meccaniche non

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

certo buone soprattutto per la sue litologie eterogenee, è costituita essenzialmente da terreno vegetale alterato e/o di riporto. In relazione a questo primo strato del modello indichiamo solo alcuni parametri fisico-meccanici:

Rp = 6 kg/cmq	
Peso di volume secco ynat = 1,84 t/mc	Peso di volume saturo ysat = 1,92 t/mc
Angolo di attrito ϕ = 24 gradi	Angolo di attrito efficace ϕ' = 24 gradi
Coesione non drenata Cu = 0,4 kg/cmq	Coesione efficace C' = 0,04 kg/cmq
Grado di sovraconsolidazione OCR	Mod. deformazione drenato E'
Mod. Poisson ν	Mod. edometrico Mo

- **Corpo geotecnico 2**, da -0,60 m a -2,6 m (**Cgt2**) - si tratta di quei terreni composti da sedimenti fini limosi e argillosi, a comportamento coesivo e con caratteristiche geotecniche più o meno mediocri:

Nspt = 8 kg/cmq	
Peso di volume secco ynat = 1,80 t/mc	Peso di volume saturo ysat = 1,88 t/mc
Angolo di attrito ϕ	Angolo di attrito efficace ϕ'
Coesione non drenata Cu = 0,4 kg/cmq	Coesione efficace C' = 0,04 kg/cmq
Grado di sovraconsolidazione OCR = 1/2	Mod. deformazione drenato E'
Mod. Poisson ν = 0,3	Mod. edometrico Mo = 20 kg/cmq

- **Corpo geotecnico 3**, da -2,6 m a -5,2 m (**Cgt3**) - è costituito da sedimenti leggermente più grossolani dei precedenti e costituiti da limo e limo argilloso talvolta sabbioso, a comportamento pseudo-coesivo e con discrete caratteristiche fisico-meccaniche:

Rp = 12 kg/cmq	
Peso di volume secco ynat = 1,85 t/mc	Peso di volume saturo ysat = 1,92 t/mc
Angolo di attrito ϕ = 25 gradi	Angolo di attrito efficace ϕ' = 25 gradi
Coesione non drenata Cu = 0,64 kg/cmq	Coesione efficace C' = 0,064 kg/cmq
Grado di sovraconsolidazione OCR = 2/3	Mod. deformazione drenato E' = 20 kg/cmq
Mod. Poisson ν = 0,34	Mod. edometrico Mo = 40 kg/cmq

- **Corpo geotecnico 4**, da -5,2 a -7 m (**Cgt4**) - siamo di fronte ad un altro orizzonte composto da sedimenti fini limosi e argillosi, a comportamento coesivo e con caratteristiche geotecniche leggermente migliore del similare corpo geotecnico più superficiale (Cgt2):

Rp = 8 kg/cmq	
Peso di volume secco ynat = 1,84 t/mc	Peso di volume saturo ysat = 1,90 t/mc
Angolo di attrito ϕ = 24 gradi	Angolo di attrito efficace ϕ' = 24 gradi
Coesione non drenata Cu = 0,45 kg/cmq	Coesione efficace C' = 0,045 kg/cmq
Grado di sovraconsolidazione OCR = 1/2	Mod. deformazione drenato E'
Mod. Poisson ν = 0,32	Mod. deformazione Mo = 30 kg/cmq

- **Corpo geotecnico 5**, da -7 a -11 m (**Cgt5**) - si tratta di quei terreni composti essenzialmente da sedimenti più granulari, sabbiosi e sabbio-limosi con qualche esile livello e/o lente di ghiaia (comportamento incoerente e caratteristiche geotecniche buone):

Rp = 15/50 kg/cmq	
Peso di volume secco γ_{nat} = 1,92 t/mc	Peso di volume saturo γ_{sat} = 2 t/mc
Angolo di attrito φ = 30 gradi	Angolo di attrito efficace φ' = 30 gradi
Coesione non drenata Cu	Coesione efficace C'
Grado di sovraconsolidazione OCR	Mod. deformazione drenato E' = 100 kg/cmq
Mod. Poisson ν = 0,36	Mod. deformazione Mo =

- **Corpo geotecnico 5**, da -11 a -12 m (**Cgt5**) - si tratta di quei terreni composti essenzialmente da sedimenti ghiaiosi con sabbie miste a comportamento granulare e caratteristiche geotecniche ottime:

Rp = 200/300 kg/cmq	
Peso di volume secco γ_{nat} = 2 t/mc	Peso di volume saturo γ_{sat} = 2,12 t/mc
Angolo di attrito φ = 36 gradi	Angolo di attrito efficace φ' = 36 gradi
Coesione non drenata Cu	Coesione efficace C'
Grado di sovraconsolidazione OCR	Mod. deformazione drenato E' = 300 kg/cmq
Mod. Poisson ν = 0,36	Mod. deformazione Mo

I parametri sopra riportati sono riferiti a: Rp resistenza alla punta penetrometrica, γ = peso di volume naturale, γ_{sat} = peso di volume saturo, φ_u = angolo di attrito in condizioni non drenate, φ' = angolo di attrito efficace in condizioni drenate, Cu = coesione non drenata, C' = coesione efficace, Mo = modulo edometrico (terreni coesivi) e E'50 = modulo di deformazione drenata (terreni granulari) corrispondente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorio pari al 50% (coeff. di sicurezza F = 2). Le formule usate per derivare i valori fisico-meccanici sono quelle riferite nel report penetrometrico della ditta Mappo Geognostica S.r.l. riportato in allegato.

Occorre precisare che il valore dell'angolo d'attrito interno in condizione drenate è stato assunto come uguale a quello che si avrebbe in condizioni non drenate, in quanto risulta pacifico che, a lungo termine e a seguito di una sollecitazione sismica, la disposizione dei grani assume un assetto maggiormente resiliente che a breve termine. Per quel che riguarda la coesione drenata C', sono stati considerati, invece, i valori uguali a 1/10 della coesione non drenata Cu come suggerito dalla letteratura tecnica e scientifica.

Ricordiamo, comunque, che rimane al progettista, in base anche all'opera di progetto definitivo/esecutivo e, di conseguenza, alla sua opera fondale, la scelta ancor più dettagliata dei valori geotecnici nel modo maggiormente appropriato al caso di verifica specifico, quando opportuno.

Dal punto di vista idrogeologico, la soggiacenza dell'acquifero sotterraneo superficiale è da considerare a -80 cm dal p.c.

10. Suscettibilità alla liquefazione

Un incremento istantaneo di pressioni neutre, che può comportare un totale annullamento delle pressioni effettive intergranulari e determinare un completo decadimento della resistenza tangenziale o rigidità di un terreno a comportamento esclusivamente granulare, origina il fenomeno della liquefazione. La causa si può cercare in uno o più eventi sismici e in tutte le manifestazioni associate.

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126
Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298
C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

Durante un sisma, infatti, le sollecitazioni indotte nel terreno possono determinare un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare la pressione litostatica e la tensione di confinamento, annullando la resistenza al taglio / rigidità e inducendo fenomeni di fluidificazione.

In genere, per sismi di elevata magnitudo la liquefazione del deposito può essere indotta da un numero, anche ridotto, di cicli di carico in quanto ad ogni ciclo è associata una sollecitazione dinamica di grande intensità. Al contrario, in terremoti di bassa magnitudo lo stesso effetto lo si può ottenere, con facilità, solo con un numero superiore di cicli di carico. Pertanto una magnitudo elevata del sisma (maggiore intensità degli sforzi di taglio che si applicano al terreno) e una sua lunga durata (maggior numero di cicli di carico) rendono più probabile l'innescarsi del fenomeno in un deposito liquefacibile.

La probabilità che un deposito raggiunga condizioni tali da innescare il fenomeno della liquefazione dipende dalle seguenti condizioni:

- granulometria uniforme nel campo delle sabbie medio-fini;
- terreni immersi in falda, e quindi saturi;
- stato di addensamento sciolto;
- pressione litostatica relativamente ridotta;
- scossa sismica di notevole intensità.

Riprendendo l'Erocodice 8, nelle NTC 2018 viene chiarito che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$, dove $(N1)_{60}$ è la resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_1 è il valore della resistenza determinata con le prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate come sabbia monogranulare pulita, come da figura 7.11.1 delle norme, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ parte (a) e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ parte (b).

Quando la condizione 1 non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche devono essere finalizzate almeno alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle condizioni 2, 3 e 4.

Nel caso in esame, il sito ricade nella zona sismogenetica 916 (Versilia-Chianti), in base alla Zonazione sismogenetica del territorio nazionale elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) e denominata ZS9 (**Figura 11**), cui corrisponde una profondità "efficace", definita

- Pisa -

Via Trieste n. 25 - C.A.P. 56126

Tel.: 050 52 00 054 - Cell.: 347 64 38 298

C.F.: NGRLSN67B07B950H / P.IVA: 01651150508

come l'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti, di 5 - 8 km e un meccanismo di fagliazione prevalentemente normale.

Figura 11 - Zonazione sismogenetica ZS9 (da Rapporto Conclusivo (bozza - aprile 2004) sulla Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica - INGV).



Ad ogni zona sismogenetica corrisponde un valore di M_{max} che rappresenta un elemento di tipo cautelativo adottato per garantire le determinazioni di a_{max} dalla possibilità che si verifichino, seppure con probabilità molto bassa, eventi di magnitudo superiore a quelle verificatisi nel corso del periodo di osservazione del catalogo dei terremoti utilizzato dall'INGV. Questa scelta riflette ovviamente la scarsa conoscenza del potenziale sismogenetico di una data regione; non a caso, è oggetto di particolare attenzione nelle regioni a sismicità medio-bassa e/o in quelle poco investigate.

Nel Rapporto Conclusivo (bozza - aprile 2004) sulla Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica ad opera dell'INGV sono stati definiti due insiemi di valori di M_{max} , determinando inizialmente M_w (Magnitudo momento) e poi gli altri tipi di Magnitudo:

1. uno definito M_{max1} ("osservata") e calibrato, in modo cautelativo, sui dati sismologici e geologici;
2. l'altro, M_{max2} ("cautelativa"), maggiormente cautelativo corrispondente al criterio di portare al valore $M_{wmax} = 6,14 M_w$ tutte le ZS con $M_{wmaxCPTI2}$ inferiore a tale valore.

La zona sismogenetica in oggetto è caratterizzata da un valore M_{max1} di 5,68 e, conseguentemente, da un valore M_{max2} di 6,14.

Il sisma di progetto sarà scelto tra i due suddetti valori in quanto è necessario fare riferimento ad un evento il cui periodo di ritorno è 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) al fine di progettare per evitare il collasso della struttura.

Tuttavia, da quanto riportato negli elaborati tecnici specifici relativi al POC approvato ed efficace dal Comune di Lucca, in base alla Zonazione sismogenetica ZS9 e dai dati di disaggregazione degli INGV, la coppia Magnitudo-Distanza M-R che fornisce il maggior contributo alla pericolosità sismica del territorio lucchese è data da $M = 4,5-5,0$ e $R = 0-10$ km, con magnitudo media $M_m = 4,90$ (vedere anche grafici riportati nella Relazione illustrativa delle indagini geologiche del POC) e $M_{wmax1} = 5,68$ della Zonazione sismica ZS9 INGV.

A prescindere dalla granulometria dei terreni, che tra l'altro non presentano mai depositi di sabbie pulite per le quali sussistano le condizioni per cui possono verificarsi fenomeni di liquefazione, i depositi a prevalenza sabbiosa presenti sul territorio comunale indicano quasi sempre valori di velocità delle onde sismiche trasversali V_s superiori a $200 \div 220$ m/sec, ritenendo quindi improbabile il verificarsi di tali fenomeni in relazione ai criteri di resistenza indicati in ICMS 2008 e validi per magnitudo $M = 7,5$ contro i 5,68 di Lucca.

Ritornando al caso specifico, vista la presenza di depositi misti, sotto falda, e considerate le loro caratteristiche litotecniche assieme alle alte velocità delle onde S, il rischio di liquefazione per il sottosuolo d'interesse non sembra sussistere.

11. Indicazioni progettuali e modalità costruttive del corpo stradale

Dal punto di vista realizzativo, l'opera maggiormente significativa della rotatoria in studio e sulla quale dovrà essere posta l'attenzione risulta il nuovo rilevato stradale posto nella porzione SE dell'attuale incrocio viario, il quale sarà accorpato alla vecchia struttura antropica. A tal riguardo saranno qui fornite specifiche indicazioni e prescrizioni progettuali, nonché dettagli costruttivi.

Prima di procedere alla realizzazione di questo ampliamento del rilevato stradale all'intersezione tra il viale Europa e la via T. Bandettini, occorre smacchiare l'area specifica con taglio di eventuali alberi, arbusti e cespugli, se presenti, ed estirpare radici, ceppaie e quant'altro di vegetale e organico vi si trovi.

In questa fase propedeutica, sono da valutare eventuali indagini di tipo indiretto, attraverso strumentazione georadar e/o gradiometro, in modo da stabilire la presenza o meno di corpi estranei interrati e/o sotto-servizi non censiti.

A questo punto, si può pensare di iniziare con i vari lavori di sbancamento e movimento dei materiali e delle terre, iniziando a denudare il rilevato esistente con asportazione della sua scarpata, in particolare per quanto riguarda il suo piede, al fine di una sua presa visione interna e verificare la profondità di appoggio della sua struttura sul terreno naturale. Potrebbe bastare, a tal riguardo, l'area dell'attuale marciapiede contenuta oggi dal muro esistente.

Nella prima fase lavorativa, occorre assicurare un idoneo piano di appoggio al rilevato, con un'operazione detta scotico, che prevede la rimozione del terreno vegetale o a rilevante contenuto di sostanze organiche, come accennato sopra.

Al riguardo, considerate le caratteristiche fisico-meccaniche eterogenee e scadenti dello strato posto in superficie e visto il suo degrado/rimaneggiamento, si ritiene che i primi 40 cm di terreno sotto il p.c. siano da scoticare e i secondi 20 cm non siano adatti a supportare i carichi indotti dal rilevato stradale in progetto.

Pertanto, si deve procedere all'asportazione della coltre di terreno vegetale ricadente nell'area di impronta del solido stradale e trasportare in idonei luoghi di deposito provvisorio il terreno che non venga utilizzato immediatamente, in vista della sua riutilizzazione per il rivestimento delle scarpate, la formazione di eventuali arginelli e la sistemazione a verde della rotatoria, se prevista.

Le terre ad alto contenuto organico in eccesso rispetto alle esigenze di ricopertura o contaminate, debbono essere portate immediatamente a rifiuto, onde scongiurare ogni rischio di inquinamento dei materiali destinati alla formazione del corpo del rilevato.

Portando via lo spessore di terreno posto alla profondità compresa tra 40 cm e 60 cm dal p.c., si procede, invece, con un'operazione di bonifica, cioè approfondendo lo scavo fino a raggiungere strati di terreno che, precauzionalmente, presentino le condizioni ideali per garantire la stabilità del rilevato.

Relativamente a quest'ultimo punto, il capitolato speciale d'appalto farà riferimento alle analisi e ai controlli da effettuare durante i lavori stradali per tutte le varie tipologie costruttive riguardanti le opere in progetto.

Per questa fase lavorativa, la progettazione dovrebbe aver già condotto verifiche geotecniche di portanza del terreno di fondazione e stime sull'entità dei suoi cedimenti sotto il carico sovrastrutturale in progetto, con analisi del loro andamento nel tempo. A tal proposito, considerate le ridotte dimensioni del rilevato, sia in senso areale che per spessori, si possono escludere problemi di portanza del terreno d'intervento e ritenere che analisi specifiche in questo senso, come per i cedimenti, possono essere trascurate.

Sul piano di posa naturale o bonificato, dovrà essere valutata, quindi, la capacità portante tramite la determinazione del modulo di deformazione **Md** e **M'd** secondo le specifiche tecniche. In questo caso la progettazione esecutiva dovrà indicare precisi valori da rispettare circa il modulo **Md** al primo ciclo di carico, come dato minimo per consentire il corretto costipamento degli strati antropici.

In merito all'entità dei cedimenti ammissibili, a titolo puramente indicativo può dirsi che il cedimento residuo, al termine della costruzione del rilevato e prima della realizzazione della sovrastante pavimentazione (sovrastuttura), deve essere inferiore al 10% del cedimento totale a lungo termine e comunque inferiore a 5 cm circa.

Per il sottofondo stradale, considerata la presenza di depositi fini in superficie, anche di natura argillosa, e viste la superficialità della falda freatica in certi periodi dell'anno, è bene evitare una bonifica attraverso il costipamento, operazione che potrebbe provocare di fatto una riduzione di portanza, andando a distruggere la struttura naturale dell'argilla.

È, invece, pensabile uno scavo riempito con materiale arido (pietrame pulito e asciutto) di pezzatura idonea; quest'ultimo accorgimento, insieme al posizionamento di uno strato di materiale avente opportune caratteristiche di filtraggio e resistenza nonché al preventivo livellamento del piano d'appoggio, garantiscono l'assenza di risalita capillare dell'acqua, sempre presente nel sottosuolo, la separazione tra le parti fini del terreno e il sovrastante materiale arido, nonché una corretta distribuzione dei carichi provenienti dal rilevato.

Il completamento del corpo stradale avviene mediante la realizzazione della cosiddetta sovrastruttura. Come per il resto dell'intervento, anche per questo elemento è necessario procedere alla progettazione in ottemperanza a criteri normativi ben specifici che riguardano sia la composizione che le caratteristiche prestazionali. In linea generale, la sovrastruttura stradale è composta da quattro strati sovrapposti: lo strato di fondazione, lo strato di base, lo strato di collegamento, lo strato di usura.

Le lavorazioni della sovrastruttura (realizzata con la stesa di strati successivi regolarmente compattati prima della stesa dello strato superiore) devono conseguire, alla fine, la sagoma stradale avente le caratteristiche previste in progetto sia in termini di pendenze sia di prestazioni.

Le caratteristiche geometriche degli interventi saranno indicate dal progettista incaricato, ma resta inteso che la ditta esecutrice dovrà provvedere a indicare la natura e le proprietà fisico meccaniche dei materiali che intende adottare, le modalità esecutive, le sequenze cronologiche degli interventi, dovrà fornire, in corrispondenza delle sezioni rappresentative, una serie di verifiche di stabilità a breve e lungo termine relative al rilevato e al complesso rilevato-terreno di fondazione. Dovrà essere verificato il cedimento totale e differenziale del piano di imposta indicando il suo decorso temporale.

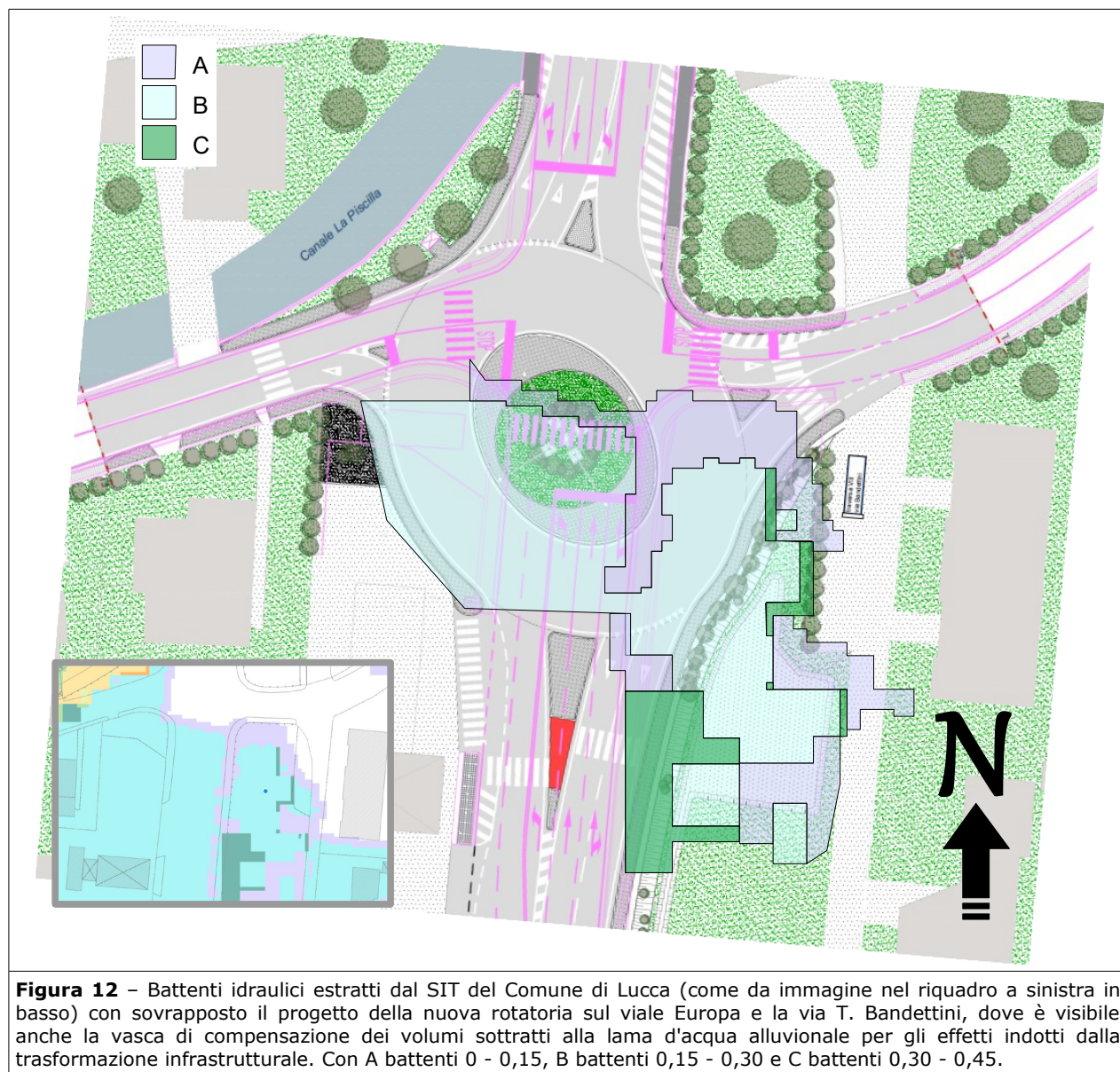
Inoltre, in considerazione di un'eventuale disomogeneità dei terreni, come normale cautela si raccomanda che in corso d'opera, in fase di realizzazione degli scavi, si provveda all'accertamento delle caratteristiche litostratigrafiche, dei reali spessori e delle proprietà geotecniche dei terreni interessati dall'ampliamento dell'attuale sede stradale per la costruzione della rotatoria in progetto.

I controlli di cantiere, che ci permettiamo di suggerire e che comunque risultano necessari, sono quelli relativi allo studio della natura e dello stato dei materiali/terreni. Le verifiche vengono, in genere, svolte tramite analisi granulometriche, misure dei limiti di Atterberg, determinazioni della curva Proctor, definizioni della portanza CBR, caratterizzazioni del grado di costipazione, ecc.

Relativamente all'aspetto idraulico, infine, la progettazione dovrà calcolare i volumi di compensazione degli effetti indotti dalla trasformazione infrastrutturale, secondo il principio della invarianza idraulica del territorio.

Sono stati acquisiti gli studi idraulici condotti a supporto degli SU del Comune di Lucca, dai quali estrapolare i dati sui valori di battente idraulico relativo all'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni (**Figura 12**). Sulla base della quota di allagamento, oltre al franco di sicurezza idraulica indicato per le opere infrastrutturali che è di 5 cm, come da elaborati di fattibilità del POC, è possibile ricavare i volumi di compensazione per quella superficie pari a 550 mq come quella del rilevato in progetto (valore dato dalla progettazione), costruzione che va ad occupare, come visto, la porzione SE dell'attuale incrocio stradale che risulta depressa rispetto a tutto l'intorno.

Per evitare che le opere in progetto possano creare aggravio delle condizioni di rischio idraulico al contorno, le opere di compensazione devono essere realizzate nella porzione interessata dall'evento.



Seguendo il principio dell'invarianza idraulica delle trasformazioni del territorio, secondo la quale ogni intervento sul suolo non deve provocare aggravio della portata di piena del corpo idrico che riceve i deflussi superficiali originati dall'area stessa, occorre prevedere la predisposizione di volumi di invaso a compensazione delle opere di impermeabilizzazione del suolo urbanizzato, perseguendo il fine di non alterazione delle prestazioni complessive del bacino.

L'obiettivo dell'invarianza idraulica richiede, a chi propone una trasformazione di uso del suolo, di accollarsi, attraverso opportune azioni compensative, gli oneri del consumo della risorsa territoriale costituita dalla capacità di un bacino di regolare le piene e quindi di mantenere le condizioni di sicurezza territoriale nel tempo.

In sede di dimensionamento, il volume che dovrebbe essere invasato per compensare la maggior impermeabilizzazione dell'area viene calcolato dal valore medio e cautelativo di 20 cm di battente più i 5 cm di franco moltiplicato per la superficie occupata dal nuovo intervento: questo valore è pari a 137,5 mc che arrotondata arriva a **140 mc**.

L'invarianza idraulica si può ottenere individuando diverse tipologie di soluzione che sono ad esempio:

- vasca in c.a. o altro materiale "rigido" posta nel centro della rotatoria da usare, quando piena, per l'annaffiamento delle aree a verde;
- invaso e/o depressione in terra da adibire in area a verde posto nelle aree immediatamente vicine e disponibili;
- sovradimensionamento delle fognature interne al lotto e/o delle canale perimetrali all'opera.

12. Terre e rocce da scavo

Si ricorda che l'intervento in progetto può comportare la rimozione di una certa quantità di terra o roccia da scavo. Al riguardo, le disposizioni sono contenute nel D.P.R. 279/2016, approvato in via definitiva dal Consiglio dei Ministri il 14 luglio 2016 ed entrato in vigore il 22 agosto 2017 con il **D.P.R. 13 giugno 2017, n. 120** "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'art. 8 del Decreto-Legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla Legge 11 novembre 2014, n. 164". Tale decreto va ad abrogare la normativa precedente ed ha come obiettivo principale quello di agevolare e incrementare il ricorso alla gestione delle terre e rocce da scavo come sottoprodotti, semplificando le procedure e riducendo gli oneri documentali, fissando, inoltre, tempi certi e definiti per l'avvio delle attività di gestione di materiali e garantendo che avvengano in condizioni di sicurezza ambientale e sanitaria, prevedendo un rafforzamento del sistema di controlli e vigilanza da parte delle autorità competenti.

Riguardo al presente argomento ricordiamo che il procedimento di messa in sicurezza, prima, e di bonifica, poi, nell'area occupata dall'attuale distributore carburanti Q8, porzione SW del lotto d'intervento, si è concluso positivamente con Decreto Dirigenziale 17 giugno 2020, n. 8966 della Regione Toscana (Direzione Ambiente ed Energia – Settore Bonifiche e Autorizzazioni Rifiuti) avente ad oggetto: D.Lgs. 152/2006 e D.G.R.T. 301/2010. CERTIFICAZIONE DI AVVENUTA BONIFICA del sito "Distributore Q8 Kuwait PV n. 4316 ubicato in V.le Europa, Comune di Lucca (LU)", codice SISBON LU192*.

Per le altre porzioni di scavo e movimentazione del terreno, come l'area del nuovo rilevato e quella della probabile vasca di compensazione, sono da prevedere analisi chimico-ambientali da svolgere in fase di cantiere, direttamente dall'impresa scelta per caratterizzare le terre e rocce da scavo e poterle conferire in modo appropriato.

13. Considerazioni conclusive

Dal quadro descritto si ritiene che le condizioni geomorfologiche, geologiche e idrogeologiche dell'area in studio, nonché le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione, siano tali da non costituire impedimento alla realizzazione di quanto previsto.

Ricordiamo che potranno essere utili prove di laboratorio su quei terreni appartenenti al rilevato esistente, che verrà tagliato secondo la progettazione per addossarvi la nuova struttura. Questi controlli, mirati alla conoscenza delle proprietà fisiche e delle caratteristiche meccaniche del vecchio corpo stradale, potrebbero dare importanti informazioni per le tecniche e modalità costruttive del nuovo manufatto, nonché per una corretta e attenta scelta dei materiali da impiegare nella nuova costruzione fino alla sovrastruttura, primo step per un appropriato approccio geotecnico al problema progettuale ed esecutivo.

Vogliamo, infine, ricordare quanto siano di estrema importanza le indagini di controllo in cantiere atte ad accertare sia la qualità dei materiali usati sia la validità di esecuzione dell'opera. Tramite questa operazione, infatti, è possibile appurare che il rilevato possieda quelle caratteristiche di resistenza, deformabilità e impermeabilità che sono richieste affinché l'opera risulti efficiente e durevole. Le vie che si seguono prevedono controlli del terreno impiegato nel rilevato, controlli delle modalità di esecuzione del lavoro e dell'efficacia dei mezzi compattanti, controlli delle caratteristiche del terreno compattato. Il tutto è definito dalla normativa tecnica di settore in vigore e mirato alla stabilità dell'insieme terreno-manufatto.

Ferme restando le indicazioni e considerazioni presentate, nonché le normative vigenti, è garantita la fattibilità realizzativa dell'opera.

Si rimane a disposizione per ulteriori chiarimenti di natura geologico-tecnica.

Pisa, gennaio 2025

dott. Geologo Alessandro Ungari



Tavole fuori testo

Tavola 1 - Corografia - Scala 1:10.000

Tavola 2 - Carta geomorfologica - Scala 1:10.000

Tavola 3 - Carta geologica - Scala 1:10.000

Tavola 4 - Carta geologico-tecnica - Scala 1:10.000

Tavola 5 - Carta idrogeologica e della vulnerabilità degli acquiferi - Scala 1:10.000

Tavola 6 - Carte della pericolosità geomorfologica e geologica - Scala 1:10.000

Tavola 7 - Carte delle aree a pericolosità idraulica e della pericolosità da alluvione - Scala 1:10.000

Tavola 8 - Carte della pericolosità sismica - Scala 1:10.000

Tavola 9 - Carte delle aree ed elementi esposti a fenomeni alluvionali - Scala 1:10.000

Tavola 10 - Carte delle MOPS - Scala 1:10.000

Tavola 11 - Carte delle frequenze fondamentali dei terreni - Scala 1:10.000

Tavola 12 - Carta di MS di Livello II per Fha max - Scala 1:10.000

PT 60-2024

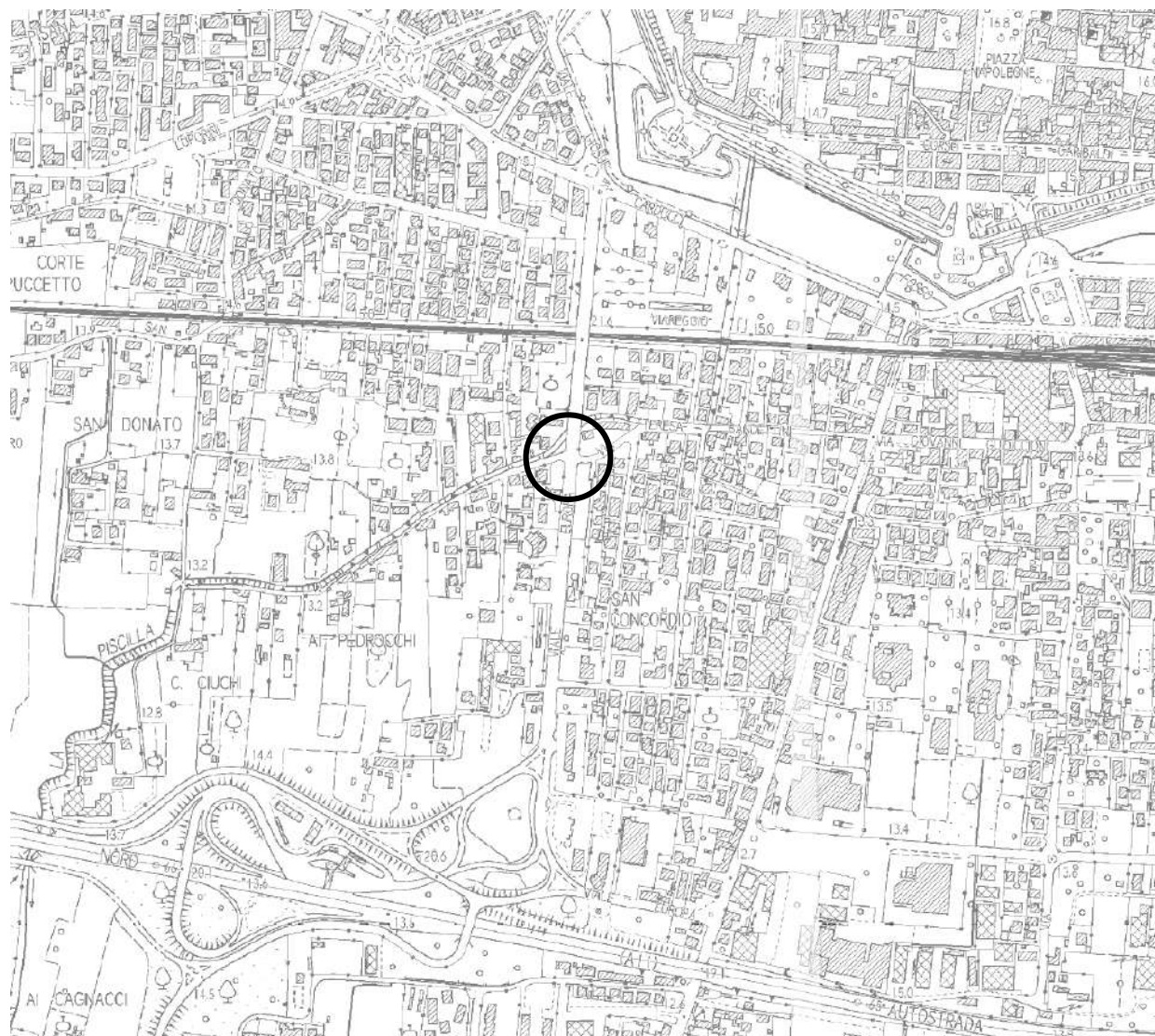
**REALIZZAZIONE DI NUOVA ROTATORIA
TRA VIALE EUROPA E VIA BANDETTINI
PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA
COMUNE DI LUCCA (LU)**

**TAVOLA 1
COROGRAFIA**

LEGENDA



Area di studio



Scala 1:10.000

Estratto della cartografia tecnica regionale della Toscana

Geologo A. Ungari

PT 60-2024

REALIZZAZIONE DI NUOVA ROTATORIA

TRA VIALE EUROPA E VIA BANDETTINI

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

COMUNE DI LUCCA (LU)

TAVOLA 2

CARTA GEOMORFOLOGICA

LEGENDA



Area di studio

Classi litogeomorfologiche



Depositi alluvionali

Depositi di origine antropica

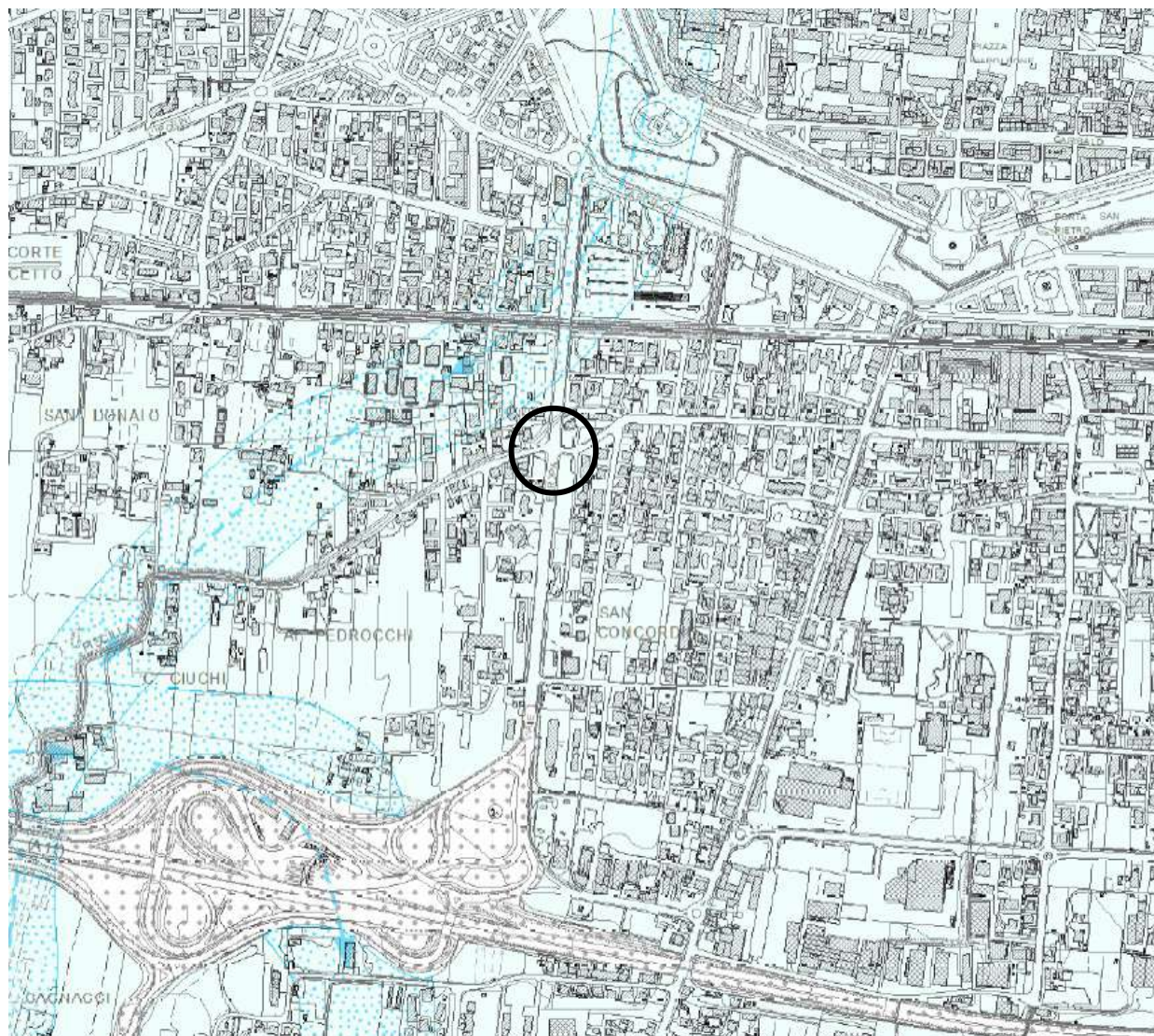


Terreno di riporto

Forme dovute a processi fluviali



Traccia di paleoalveo fluviali



Scala 1:10.000

Estratto della cartografia del PS vigente del Comune di Lucca

Geologo A. Ungari

PT 60-2024

REALIZZAZIONE DI NUOVA ROTATORIA

TRA VIALE EUROPA E VIA BANDETTINI

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

COMUNE DI LUCCA (LU)

TAVOLA 3

CARTA GEOLOGICA

LEGENDA



Area di studio

Depositi quaternari

Depositi antropici



h5 - Accumuli di materiali più o meno omogenei ed eterometrici (h5), riferibili a discariche di inerti, terrapieni e rilevati - **rp**

Depositi alluvionali attuali e recenti



b1 - Ghiaie eterometriche, sabbie e limi di composizione generalmente poligenica dei terrazzi fluviali recenti (Olocene) - **all, all1**



Scala 1:10.000

Estratto della cartografia del PS vigente del Comune di Lucca

Geologo A. Ungari

PT 60-2024

REALIZZAZIONE DI NUOVA ROTATORIA

TRA VIALE EUROPA E VIA BANDETTINI

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

COMUNE DI LUCCA (LU)

TAVOLA 5

**CARTA IDROGEOLOGICA E DELLA
VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI**

LEGENDA



Area di studio



Rete acquifera in complessi carbonatici stratificati, interessati da carsismo e da limitati interstrati argillitici e/o marnosi. **E**



Rete acquifera in complessi carbonatici stratificati, interessati da un moderato carsismo e da interstrati argillitici e/o marnosi. Falda acquifera libera in materiali a granulometria mista, con scarsa o nulla copertura. **A**



Reti acquifere in arenarie molto fratturate. Falda acquifera libera in depositi continentali a granulometria mista, sciolti o parzialmente cementati. Complessi flyscioidi costituiti da alternanze di litotipi calcareo-arenacei ed argillitico-marnosi con circolazione idrica limitata e compartimentata. Reti acquifere in quarziti sedimentarie e metamorfiche molto fratturate. **M**

E - grado di vulnerabilità elevato

A - grado di vulnerabilità alto

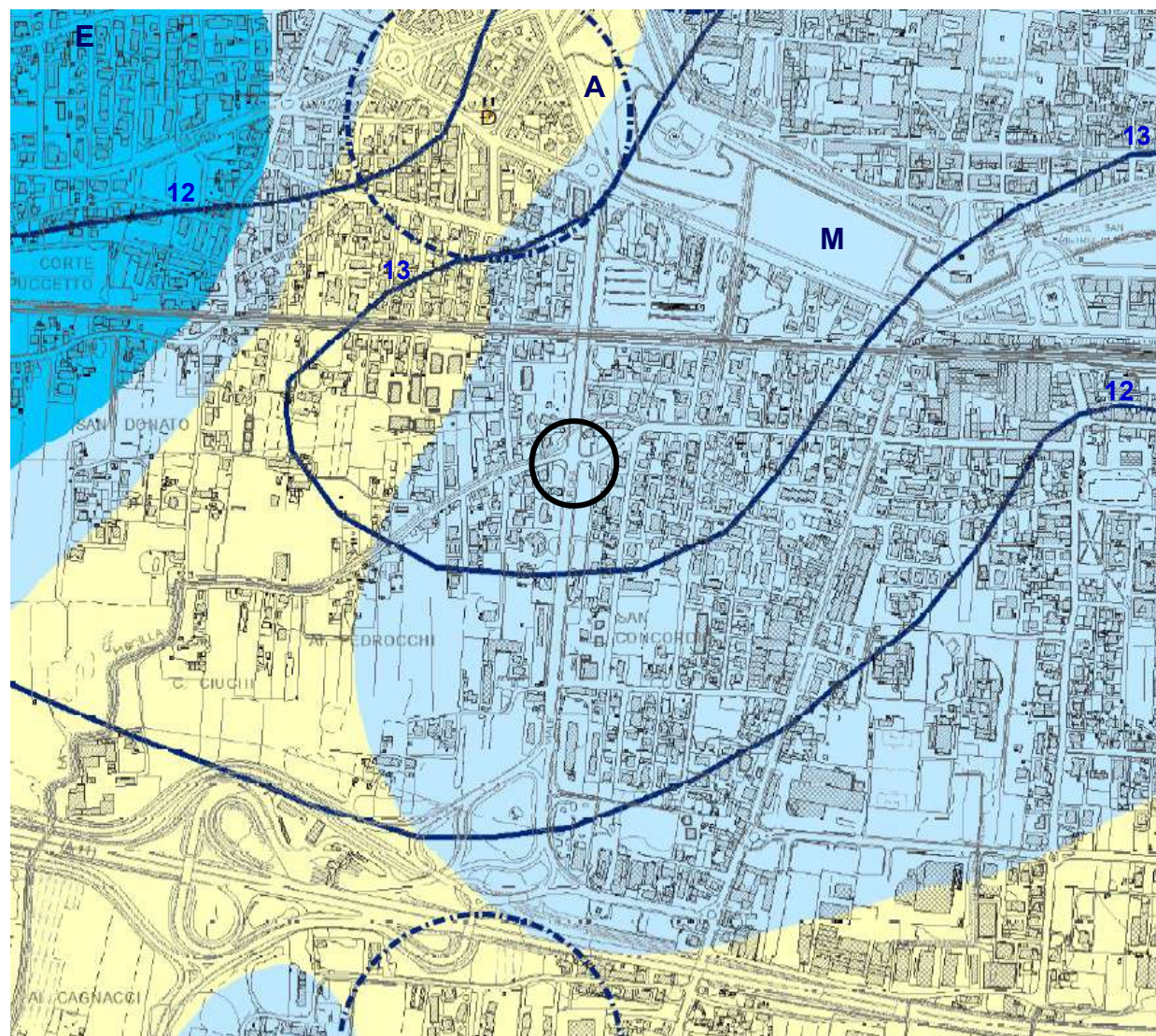
M - grado di vulnerabilità medio



Aree di rispetto dei punti di prelievo ad uso acquedottistico



Isopieze del tetto della falda e quota in m s.l.m. (maggio 2007)



Estratto della cartografia del PS vigente del Comune di Lucca

Scala 1:10.000

Geologo A. Ungari

PT 60-2024

**REALIZZAZIONE DI NUOVA ROTATORIA
TRA VIALE EUROPA E VIA BANDETTINI
PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA
COMUNE DI LUCCA (LU)**

TAVOLA 6

**CARTE DELLA PERICOLOSITA'
GEOMORFOLOGICA E GEOLOGICA**

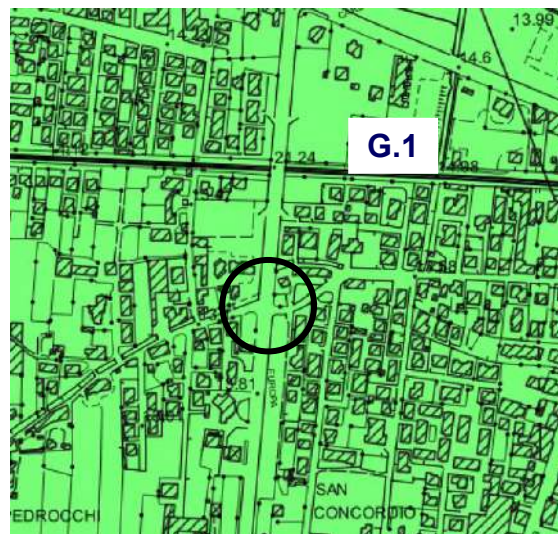
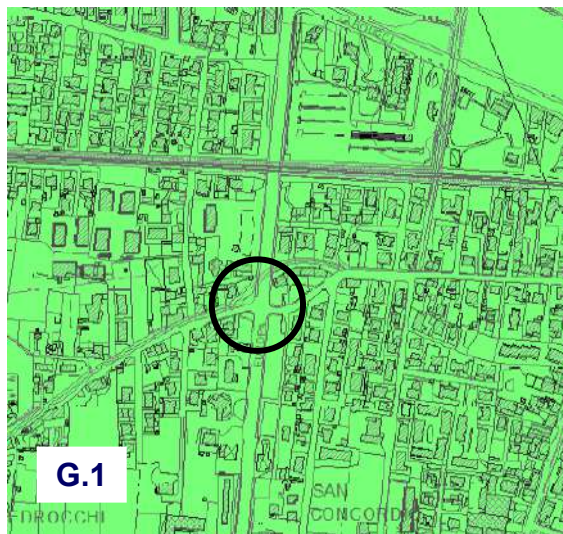
LEGENDA



Area di studio



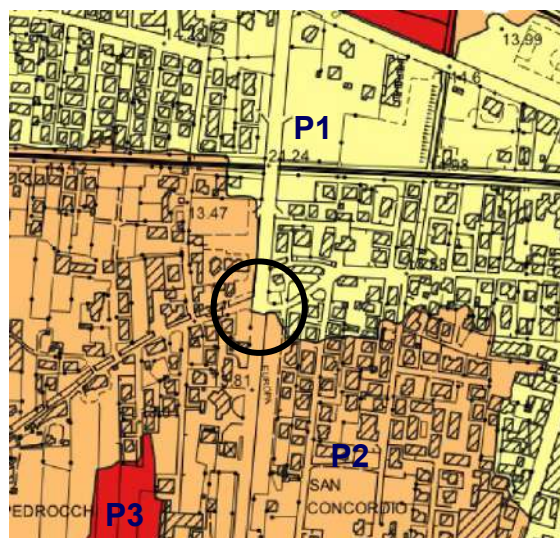
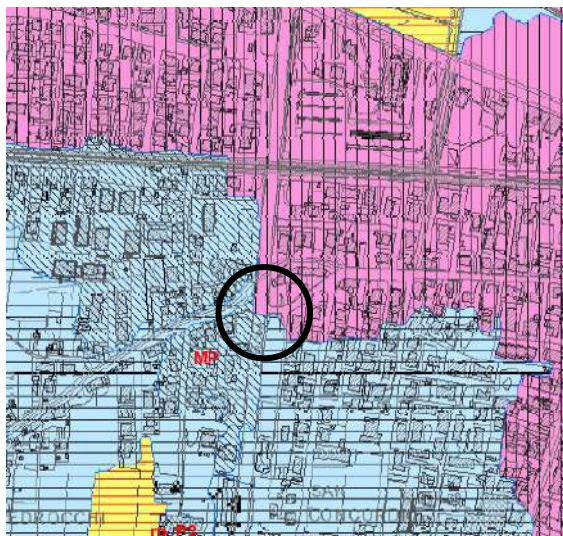
G.1 - Classe di pericolosità bassa



Scala 1:10.000

Estratti della cartografia del PS vigente (in alto a sx) e del POC efficace (in basso a dx) del Comune di Lucca

Geologo A. Ungari



Estratti della cartografia del PS vigente (in alto a sx) e del POC efficace (in basso a dx) del Comune di Lucca

Scala 1:10.000

PT 60-2024

REALIZZAZIONE DI NUOVA ROTATORIA

TRA VIALE EUROPA E VIA BANDETTINI

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

COMUNE DI LUCCA (LU)

TAVOLA 7

CARTE DELLE AREE A PERICOLOSITA'
IDRAULICA E DELLA PERICOLOSITA' DA
ALLUVIONE

LEGENDA



Area di studio

Classificazione regolamento 53/R	Classificazione Norme di PAI	Caratteri
BASSA I.1		Territorio in condizioni di sicurezza idraulica
MEDIA I.2		Aree a pericolosità idraulica moderata individuate su base storica e morfologica
MEDIA I.2	 	Aree a pericolosità idraulica moderata e $Tr > 200$ anni
ELEVATA I.3	 	Aree a pericolosità idraulica elevata con $30 < Tr < 200$ anni
I.4	 	Aree a pericolosità idraulica molto elevata con $Tr < 30$ anni

P3 - Aree a pericolosità per alluvioni frequenti o a pericolosità elevata (aree inondabili da eventi con $Tr \leq 30$ anni); **P2** - Aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti o a pericolosità media (aree inondabili da eventi con $30 < Tr \leq 200$ anni); **P1** - Aree a pericolosità per alluvioni rare o a pericolosità bassa (aree inondabili da eventi con $Tr > 200$ anni).

Geologo A. Ungari

PT 60-2024

**REALIZZAZIONE DI NUOVA ROTATORIA
TRA VIALE EUROPA E VIA BANDETTINI
PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA
COMUNE DI LUCCA (LU)**

TAVOLA 8

CARTE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

LEGENDA



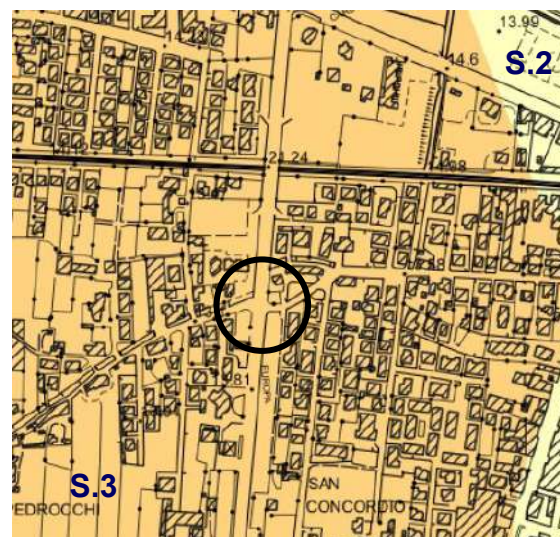
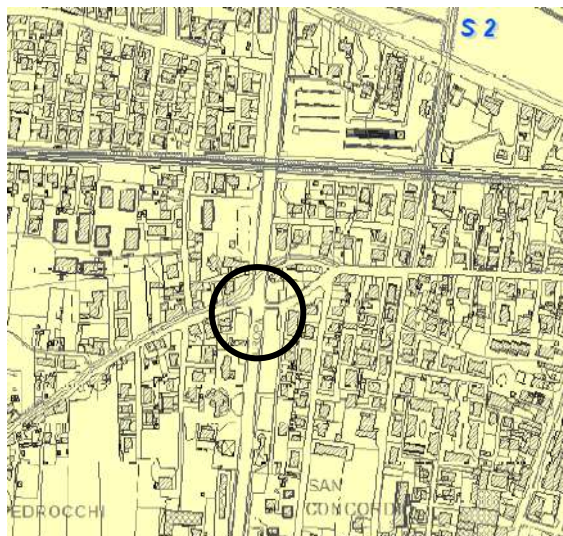
Area di studio



S.2 - Classe di pericolosità media



S.3 - Classe di pericolosità elevata



Scala 1:10.000

Estratti della cartografia del PS vigente (in alto a sx) e del POC efficace (in basso a dx) del Comune di Lucca

Geologo A. Ungari

PT 60-2024

**REALIZZAZIONE DI NUOVA ROTATORIA
TRA VIALE EUROPA E VIA BANDETTINI
PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA
COMUNE DI LUCCA (LU)**

TAVOLA 9

**CARTA DELLE AREE ED ELEMENTI ESPOSTI
A FENOMENI ALLUVIONALI**

LEGENDA



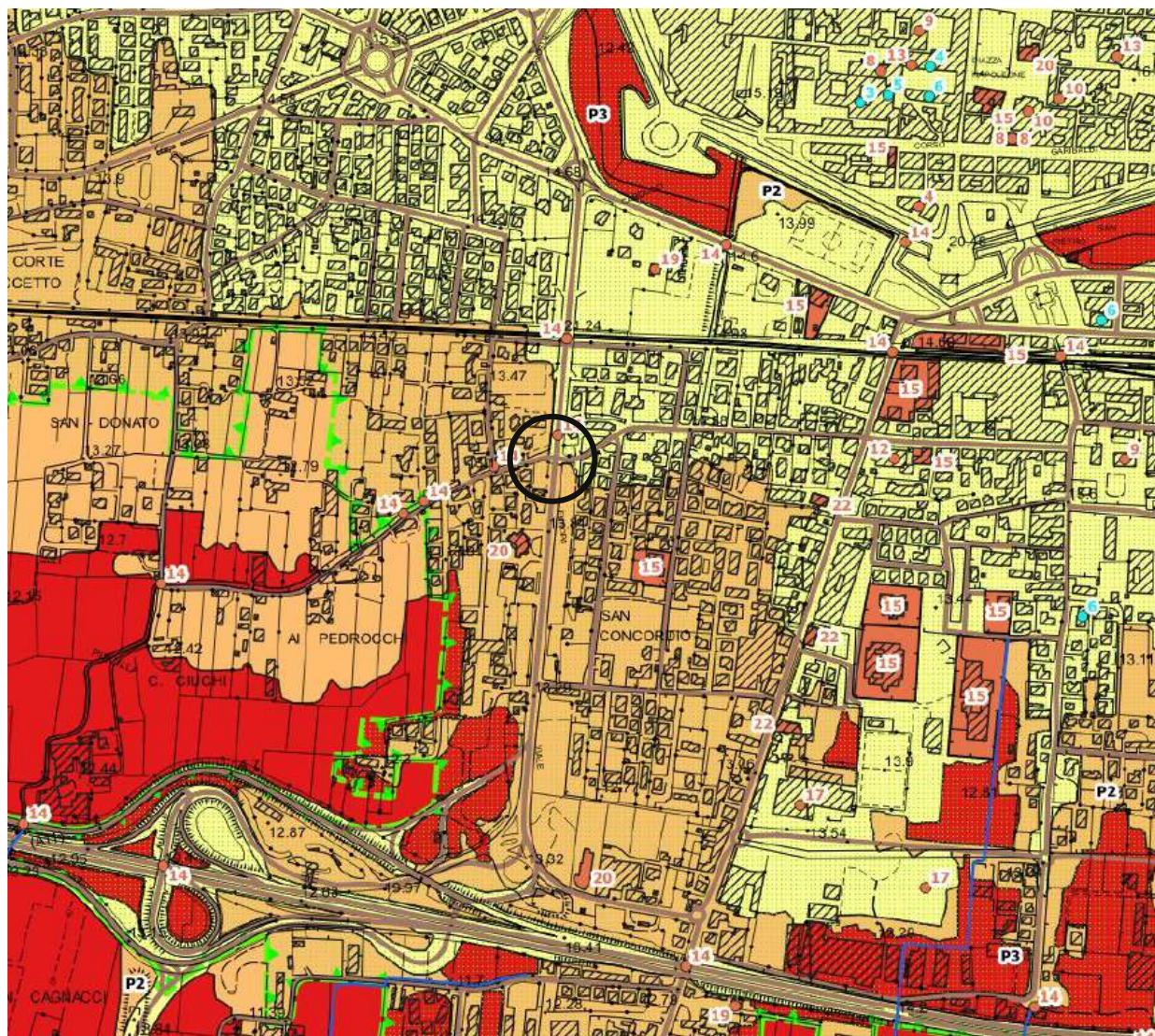
Area di studio

I colori di fondo, rosso, arancio e giallo, sono quelli delle perimetrazioni relative alle pericolosità idrauliche (P3, P2 e P1) già in precedenza viste.

 Reticolo idrografico di cui L.R. 79/2012

 Edifici rilevanti in base al Regolamento 36/R/2009, con il numero 14 che definisce ponti e viadotti.

 Territorio urbanizzato



Scala 1:10.000

Estratto della cartografia del POC efficace del Comune di Lucca

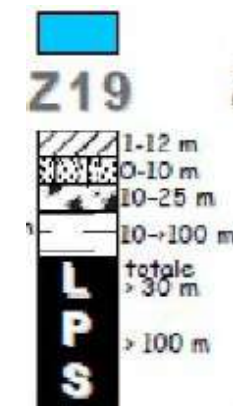
Geologo A. Ungari

**REALIZZAZIONE DI NUOVA ROTATORIA
TRA VIALE EUROPA E VIA BANDETTINI
PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA
COMUNE DI LUCCA (LU)**

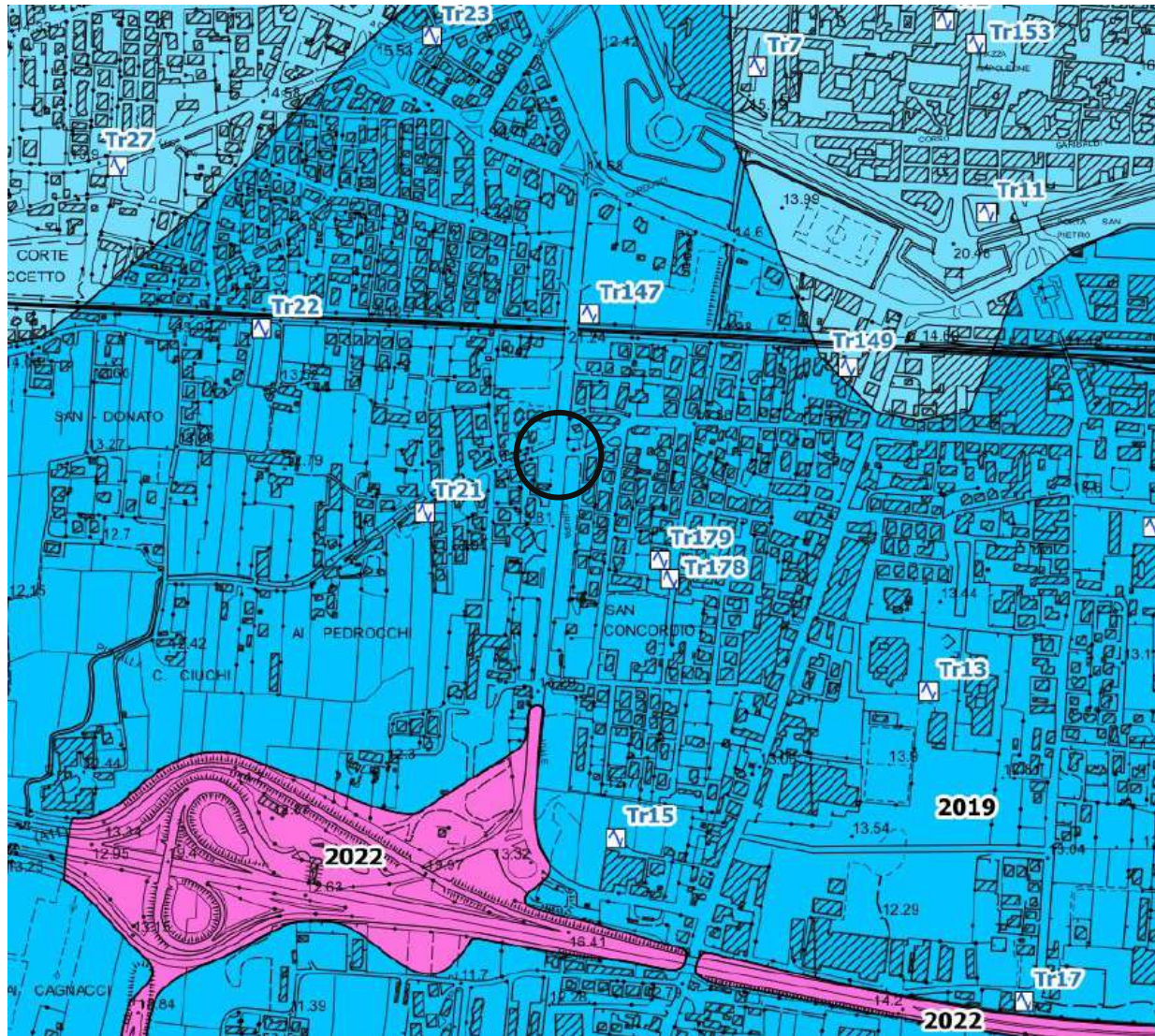
CARTE DELLE MOPS

C

Zone stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica



Per la legenda dei vari orizzonti vedere il testo della relazione tecnica.



Estratto della cartografia del POC efficace del Comune di Lucca

Geologo A. Ungari

PT 60-2024

**REALIZZAZIONE DI NUOVA ROTATORIA
TRA VIALE EUROPA E VIA BANDETTINI
PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA
COMUNE DI LUCCA (LU)**

TAVOLA 11

**CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI
DEI TERRENI**

LEGENDA



Area di studio

Frequenza di risonanza del
picco principale (Hz)

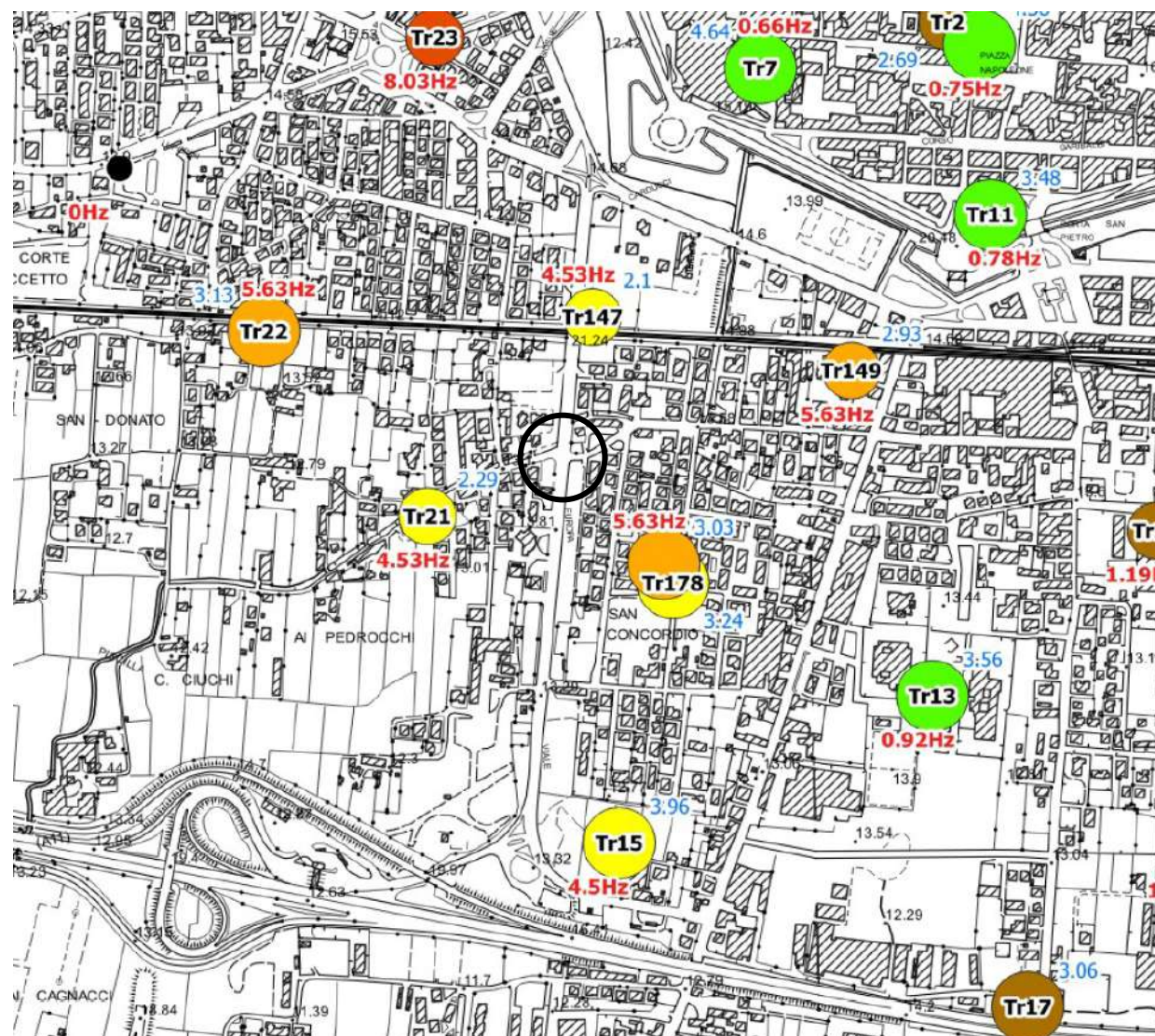
- nessuna risonanza
- 0.1 ≤ f₀ < 0.5
- 0.5 ≤ f₀ < 1.0
- 1.0 ≤ f₀ < 2.5
- 2.5 ≤ f₀ < 5.0
- 5.0 ≤ f₀ < 7.5
- 7.5 ≤ f₀ < 10.0
- 10.0 ≤ f₀ < 15.0
- 15.0 ≤ f₀ < 20.0

- nessuna risonanza
- 1.1 ≤ A₀ < 2.0
- 2.0 ≤ A₀ < 3.0
- 3.0 ≤ A₀ < 5.0
- 5.0 ≤ A₀

Ampiezza di risonanza del
picco principale (H/V)

10.25 Hz
Tr8
3.4

In nero il numero d'ordine
delle stazioni, in rosso i valori
di frequenza e in blu quelli di
ampiezza di risonanza



Scala 1:10.000

Estratto della cartografia del POC efficace del Comune di Lucca

Geologo A. Ungari

PT 60-2024

**REALIZZAZIONE DI NUOVA ROTATORIA
TRA VIALE EUROPA E VIA BANDETTINI
PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA
COMUNE DI LUCCA (LU)**

TAVOLA 12

CARTA DI MS DI LIVELLO II PER F_{ha} MAX

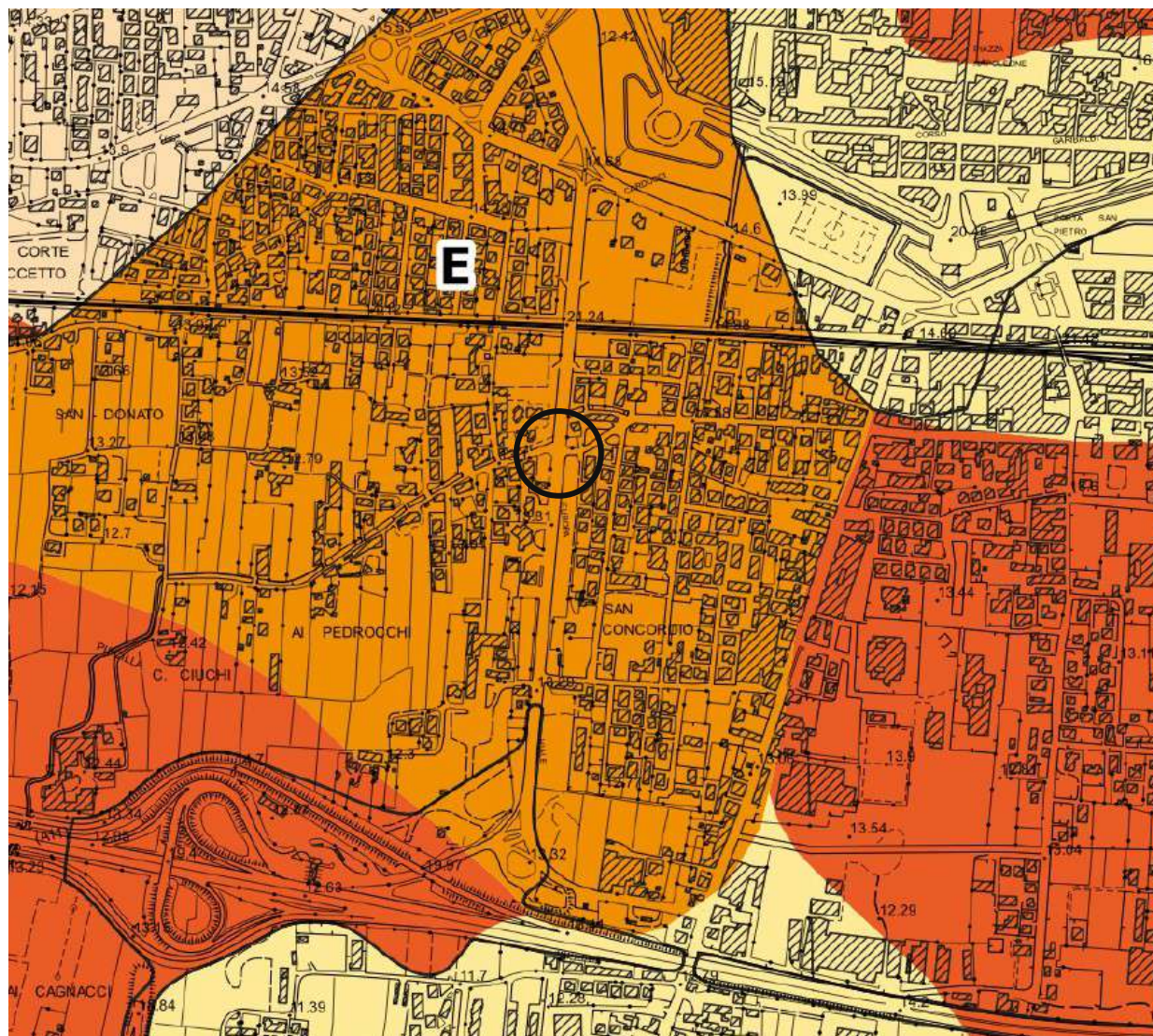
LEGENDA



Area di studio

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

B	FA = 1.1 - 1.2
C	FA = 1.3 - 1.4
D	FA = 1.5 - 1.6
E	FA = 1.7 - 1.8
F	FA = 1.9 - 2.0
G	FA = 2.1 - 2.2



Scala 1:10.000

Estratto della cartografia del POC efficace del Comune di Lucca

Geologo A. Ungari