



Città
di Lucca

La casa
della Città

il Piano Operativo

Relazione illustrativa
delle indagini geologiche

QG.19

I N D I C E

PREMESSA	3
1. IL QUADRO CONOSCITIVO DEL PIANO OPERATIVO.....	4
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO.....	7
3. CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA	24
4. CARTOGRAFIE DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2	25
4.1. INTRODUZIONE	26
4.2. CARTA GEOLOGICO TECNICA E CARTA DELLE INDAGINI.....	28
4.2.1. <i>Potenziale di liquefazione dei depositi</i>	28
4.3. MICROZONAZIONE DI LIVELLO 1: LE NUOVE MOPS	32
4.4. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI DEPOSITI.....	38
4.5. CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2	43
4.5.1. <i>Criteri generali adottati</i>	45
4.5.2. <i>Zone stabili non suscettibili di amplificazione stratigrafica (Z1-Z4)</i>	46
4.5.3. <i>Zone stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica (Z6-Z22)</i>	47
4.5.4. <i>Zone stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica - Substrato ≤ 30 m (Z5-Z16)</i>	47
4.5.5. <i>Zone stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica-Substrato > 30 m (Z18-Z20)</i>	51
4.6. CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA	56
5. CARTA DEGLI AMBITI, DELLE PERTINENZE FLUVIALI E DELLE AREE DESTINATE AGLI INTERVENTI DI LAMINAZIONE DELLE PIENE	58
6. CARTA DELLA PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONI.....	59
7. CARTA DELLA MAGNITUDINE IDRAULICA	60
8. CARTA DEI BATTENTI	60
9. CARTA DELLA VELOCITÀ DELLA CORRENTE.....	60
10. CARTA DELLE AREE PRESIDiate DA SISTEMI ARGINALI	59
11. CARTA DELLE AREE ED ELEMENTI ESPOSTI A FENOMENI ALLUVIONALI	62
12. CARTA DELLE AREE ED ELEMENTI ESPOSTI A FENOMENI GEOLOGICI.....	64
13. CARTE RELATIVE AL RISCHIO SISMICO	64
13.1. CARTA DELLA VULNERABILITÀ SISMICA.....	64
13.2. CARTA DELL'ESPOSIZIONE SISMICA.....	65
13.3. CARTA DELLE AREE A RISCHIO SISMICO	65

PREMESSA

L'attuale strumento di pianificazione del Comune di Lucca (Piano Strutturale approvato con Deliberazione C.C. n. 39 del 24/04/2017) risulta supportato da indagini geologico-tecniche redatte in conformità al D.P.G.R. 53/R/2011 ed al PAI del F. Serchio e rappresentate dai seguenti elaborati:

- QG 01 *Nord, centro e sud - Carta geologica*
- QG 02 *Nord, centro e sud - Carta geomorfologica*
- QG 03 *Nord, centro e sud - Carta litologica – tecnica*
- QG 04 *Nord, centro e sud - Carta idrogeologica e della vulnerabilità degli acquiferi*
- QG 05 *Nord, centro e sud - Carta delle aree a pericolosità geomorfologica*
- QG 06 *Nord, centro e sud - Carta delle frequenze principali di risonanza del sottosuolo nell'intervallo 0.1 – 1.0 Hz*
- QG 07 *Nord, centro e sud - Carta delle frequenze principali di risonanza del sottosuolo nell'intervallo 1.0 – 20 Hz*
- QG 08 *Nord, centro e sud - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)*
- QG 09 – *Sezioni geologiche rappresentative del modello di sottosuolo*
- QG 10 *Nord, centro e sud - Carta delle categorie di sottosuolo*
- QG 11 *Nord, centro e sud - Carta della pericolosità sismica*
- QG 12 *Nord, centro e sud - Carta delle aree allagabili per tempo di ritorno 30 anni*
- QG 13 *Nord, centro e sud - Carta delle aree allagabili per tempo di ritorno 200 anni*
- QG 14 *Centro - Carta delle aree soggette a potenziale ristagno*
- QG.14.1 - *Carta di approfondimento delle aree depresse*
- QG 15 *Nord, centro e sud - Carta delle aree a pericolosità idraulica*
- QG 16 *Nord, centro e sud - Carta degli ambiti, delle pertinenze fluviali e delle aree destinate agli interventi di laminazione delle piene*
- QG 17 - *Dati geognostici*
- QG 18 – *Relazione illustrativa degli approfondimenti idraulici*
- QG 18.1 – *Relazione idrologico-idraulica*
- QG.19 bis - *Relazione illustrativa degli approfondimenti sulla pericolosità da dinamica torrentizia.*

Premesso quanto sopra, le successive intervenute specifiche disposizioni in materia di rischio da alluvioni (L.R. n. 41 del 24/07/2018) e di indagini geologiche (D.P.G.R. 30 gennaio 2020 n. 5/R), unitamente alle nuove mappe di pericolosità contenute nel progetto di variante al PAI del Serchio denominato "*Piano di bacino del fiume Serchio, stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) – Variante generale funzionale all'adeguamento del PAI del fiume Serchio al Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale*", adottata dalla Conferenza Istituzionale Permanente con Delibera n. 14 del 18 novembre 2019, hanno comportato la necessità di aggiornare buona parte del quadro conoscitivo del

PS al fine di adeguarlo alle citate nuove disposizioni e mappe, compresi nuovi approfondimenti sismici a supporto della redazione di cartografie di MS di livello 2.

Essendo inoltre nel frattempo stato adottato, con Delibera n. 20 del 20/12/2019 della Conferenza Istituzionale Permanente, il “*Progetto di Piano di bacino del distretto idrografico dell’Appennino Settentrionale, stralcio Assetto Idrogeologico (PAI frane) per la gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica*”, è stato deciso di aggiornare, in sede di formazione del Piano Operativo, anche la Carta delle aree a pericolosità geologica, adeguandola alle mappe del PAI frane le quali hanno introdotto alcune modifiche alle cartografie dell’ex PAI Serchio, da cui sostanzialmente derivano.

A supporto, inoltre, della valutazione delle condizioni di pericolosità in contesti di particolare fragilità idro-geomorfologica sono stati condotti, su una serie di corsi d’acqua minori, approfondimenti finalizzati al riconoscimento della tipologia di trasporto solido atteso in occasione di eventi severi. Tali approfondimenti sono riportati in ALL. G.2 (*Approfondimenti idro-geomorfologici sui corsi d’acqua minori*).

All’interno del territorio urbanizzato sono stati, infine, condotti approfondimenti sui dissesti attivi e quiescenti al fine di valutare la necessità di variare od affinare il quadro conoscitivo di base utilizzato (PS e PAI frane). Tali approfondimenti sono riportati nell’All. G.3.

1. IL “QUADRO GEOLOGICO-TECNICO” (QG)

Il “**Quadro geologico – tecnico**” (QG), ovvero le indagini di fattibilità idraulica, geomorfologica e sismica, redatte ai sensi dell'articolo 104, comma 3 della LR 65/2014 e in applicazione delle disposizioni del Regolamento di cui alla DPGR. 5R/2020, è composto dai seguenti elaborati:

QG.I. Relazione generale di fattibilità geologica

QG.II. Carta delle aree ed elementi esposti a fenomeni alluvionali

QG.III. Carta delle aree ed elementi esposti a fenomeni geologici

QG.IV. Carta della vulnerabilità sismica

QG.V. Carta dell’esposizione sismica

QG.VI. Carta delle aree a rischio sismico

Il quadro geologico–tecnico (QG) è altresì corredato e supportato da approfondimenti di indagine, studi specialistici ed analisi che integrano ed aggiornano - in coerenza con l’art. 2 dell’Allegato C alla disciplina di piano del PS vigente, con il “*Piano di bacino del fiume Serchio, stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) – Variante generale funzionale all’adeguamento del PAI del fiume Serchio al Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico dell’Appennino Settentrionale*” e con il “*Progetto di Piano di bacino del distretto idrografico dell’Appennino Settentrionale, stralcio Assetto Idrogeologico (PAI frane) per la*

gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica” - le “Indagini di pericolosità idrogeologica e sismica” (QG) dello stesso PS vigente. In particolare secondo il codice unico alfanumerico indicato dal PS:

QG 02 - Carta geomorfologica

QG 03a - Carta delle indagini e dei dati di base

QG 03b - Carta geologico-tecnica

QG 05 - Carta della pericolosità geologica

QG 06 - Carta delle frequenze fondamentali dei terreni

QG 07a - Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FHa 0.1”-0.5”

QG 07b - Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FHa 0.5”-1”

QG 07c - Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FHa max

QG 08 - Carta delle MOPS

QG 09 - Sezioni geologico-tecniche

QG 11 - Carta della pericolosità sismica locale

QG 12 - Carta dei battenti Tr 30 anni

QG 12a - Carta della velocità della corrente Tr 30 anni

QG 13 - Carta dei battenti Tr 200 anni

QG 13a - Carta della velocità della corrente Tr 200 anni

QG 15 - Carta della pericolosità da alluvioni

QG 15a - Carta della magnitudine idraulica

QG 16 - Carta degli ambiti, delle pertinenze fluviali e delle aree destinate agli interventi di laminazione delle piene

QG 17 - Relazione misure HVSR 2020

QG 18 - Relazione idrologico-idraulica

QG 18.1 - Relazione idrologico-idraulica integrativa

QG 19 - Relazione illustrativa delle indagini geologiche

QG.20 – Carta delle aree presidiate da sistemi arginali

ALL. G1 – Dati geognostici e geofisici

ALL. G2 - Approfondimenti idro-geomorfologici sui corsi d’acqua minori

ALL. G3 – Approfondimenti geomorfologici nel territorio urbanizzato

ALL. I1 – Idrologia – Calcoli delle portate di massima piena

ALL. I1.1 - Idrologia – calcoli delle portate di massima piena –Relazione integrativa

ALL. I2 – Idraulica – Simulazioni sul sistema di Sesto di Moriano

ALL. I2.1 - Idraulica – Simulazioni sul sistema Rio Mulerna

ALL. I3 - Idraulica – Simulazioni sul sistema di Ponte a Moriano-Saltocchio

ALL. I3.1 - Idraulica – Simulazioni sul sistema Rio Carraia

ALL. I4 - Idraulica – Simulazioni sul sistema del Rio del Topo

ALL. 14.1 - Idraulica – Simulazioni sul sistema Rio Freddanella S.Alessio
ALL. 15 - Idraulica – Simulazioni sul sistema del Rio Cerchia
ALL. 16 - Idraulica – Simulazioni sul sistema del Rio Canabbia
ALL. 17 - Idraulica – Simulazioni sul sistema del Rio Guappero
ALL. 18 – Carta delle sezioni (Ponte a Moriano – Saltocchio)
ALL. 18.1 - Carta delle sezioni (Rio Mulerna e Rio Carraia)
ALL. 19 – Carta delle sezioni (Rio Topo)
ALL. 19.1 - Carta delle sezioni (Rio Freddanella e Rio Topo)
ALL. 110 – Carta delle sezioni (Rio Cerchia)
ALL: I 11 – Carta delle sezioni (Rio Canabbia)
ALL: 112 – Carta delle sezioni (Rio Guappero)

Rimangono invece invariati i seguenti elaborati del Piano Strutturale:

QG 01 Nord, centro e sud - Carta geologica
QG 04 Nord, centro e sud - Carta idrogeologica e della vulnerabilità degli acquiferi
QG 10 Nord, centro e sud – Carta delle categorie di sottosuolo
QG 14 Centro - Carta delle aree soggette a potenziale ristagno
QG.14.1 - Carta di approfondimento delle aree depresse
QG 19 bis – Relazione illustrativa degli approfondimenti sulla pericolosità da dinamica torrentizia

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGEOLOGICO E SISMICO

Si descrivono di seguito i caratteri geologici, geomorfologici, idrogeologici e sismici del territorio comunale con riferimento alla Cartografia allegata al PS ed al PO.

GEOLOGIA

Il Comune di Lucca è situato nella porzione occidentale della pianura compresa tra le prime alture appenniniche delle Pizzorne a nord e i Monti Pisani a sud nel tratto che precede lo sbocco nella Piana costiera ed ha una superficie di circa 185,53 kmq.

Il territorio di Lucca rientra nella regione temperata sublitoranea tirrenica, caratterizzata da inverni generalmente miti ed umidi, con rare nevicate, estati calde e secche, anche se con qualche precipitazione, da primavera ed autunni piovosi.

Dal punto di vista morfologico nel comune di Lucca si distinguono alcuni ambienti principali:

- la pianura, prevalente come estensione, che presenta una pendenza generale verso sud di circa il 3%, a quote variabili da 6 a 18m. s.l.m.;
- la zona dei rilievi nord in prossimità dello sbocco della valle del F. Serchio nella piana, caratterizzati da elevate pendenze e quote oltre i 700 m nell'alta Brancoleria;
- la zona delle colline dell'Oltreserchio in destra idrografica tra Ponte a Moriano e Balbano con quote oltre i 500 m presso Torre e fino a 3-400 m nei monti di Chiatri, pendenze per lo più blande e che si raccorda dolcemente con le aree di pianura;
- la zona dei M. Pisani a sud tra Cerasomma e la Valle del Rio Guappero caratterizzata da pendenze elevate e presenza di affioramenti rocciosi con quote intorno ai 4-500 m fino agli 829 m di M. Faeta.

Le vicende orogenetiche che hanno interessato l'Appennino settentrionale e quindi anche la zona di Lucca, sono rappresentate fino al Miocene sup. (Tortoniano inf.) da una tettonica compressiva polifasata, connessa con la chiusura della zona oceanica ligure-piemontese che ha dato luogo ad una serie di strutture a pieghe generalmente a vergenza E-NE.

Al termine dei movimenti compressivi della tettonogenesi tortoniana, ha inizio in quest'area una fase di tipo distensivo collegabile ai processi di espansione del Tirreno. A tale fase (databile al Messiniano nelle aree a sud dell'Arno e al Villafranchiano in quelle a nord) è riconducibile la formazione di depressioni

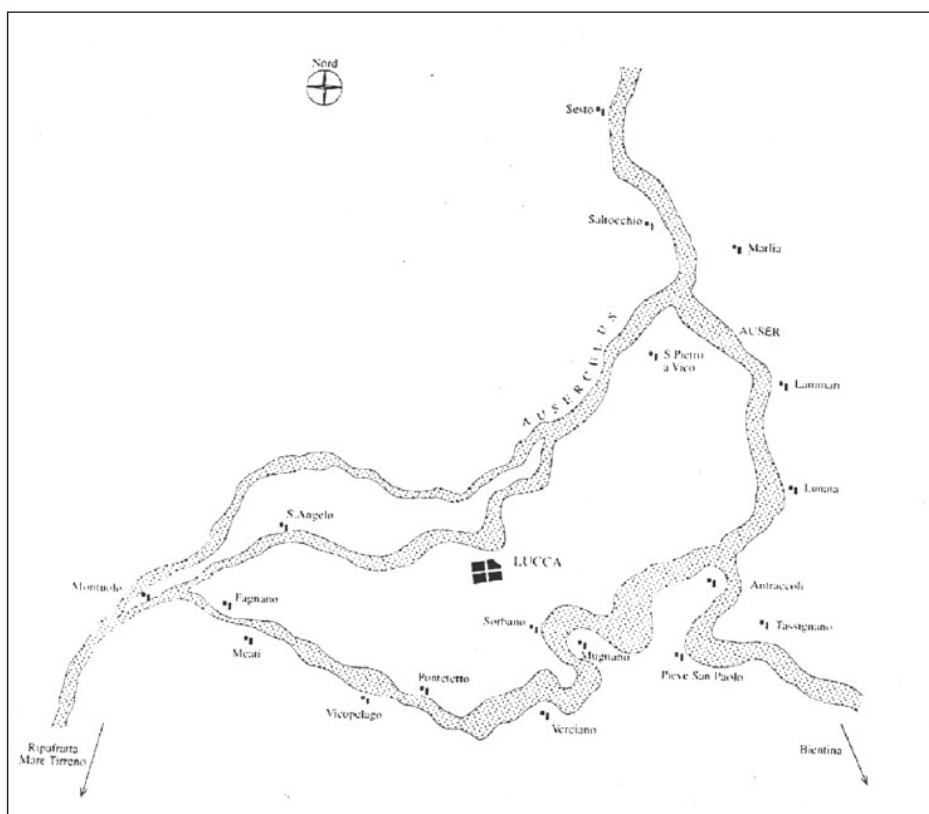
morfologiche in cui si imposta la sedimentazione neogenica dei sedimenti fluvio-lacustri.

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

Dal punto di vista strutturale la Pianura di Lucca corrisponde quindi ad un'ampia depressione tettonica, prolungamento verso SudEst del "graben" del Serchio.

Tale depressione, interessata successivamente da subsidenza, fu colmata inizialmente da depositi lacustri principalmente argillosi e in epoca più recente modellata ed alluvionata dal F. Serchio attraverso il corso principale ed i rami derivati. Più tardi, in epoca storica (VII-XVI sec. d.C.) tutto il sistema fluviale della piana venne regimato con una serie di interventi idraulici che hanno portato alla situazione attuale, con il Serchio arginato e pensile rispetto alla pianura.

In ragione di quanto sopra sono ancora rilevabili, nella pianura, tracce dei numerosi paleoveichi del Serchio, la cui ricostruzione indica che l'antico corso, una volta superata la stretta di Ponte a Moriano, dilagava nella pianura suddiviso in più rami. Una delle ricostruzioni più recenti è quella di M. Cosci (2005).



Rappresentazione schematica dei rami del F. Serchio in epoca medievale (Natali 1994)

La piana di Lucca è pertanto costituita da terreni di origine alluvionale depositati prevalentemente dal F. Serchio. Tali depositi, attribuibili al Quaternario recente, mostrano frequenti variazioni di facies, sia in senso verticale che orizzontale, anche se è in genere riconoscibile la seguente successione stratigrafica tipo con, dall'alto verso il basso, depositi prevalentemente fini (limo-argilloso-sabbiosi), ai quali seguono depositi prevalentemente grossolani (ghiaie, ciottoli e sabbie).

Tale successione sedimentaria recente poggia in profondità, come precedentemente accennato, su depositi più antichi (Pliocene - Villafranchiano), di origine lacustre, prevalentemente argillosi, il cui spessore supera certamente alcune centinaia di metri.

L'ossatura dei rilievi delle Pizzorne è costituita invece da formazioni litoidi appartenenti alla porzione alta della "Successione Toscana non metamorfica", sottostanti verso sud alle "Successioni Liguri s.l.". Più a nord, nella stretta di Vinchiana e fino al Piaggione, una ampia anticlinale porta all'affioramento i termini giurassici della successione.

Nella zona pedecollinare le formazioni litoidi sono coperte da depositi continentali di ambiente lacustre e fluvio-lacustre, formatisi all'interno delle zone tettonicamente depresse, a partire dal Miocene Superiore e almeno fino al Pleistocene Inferiore.

A seguito degli eventi tettonici di età plio-pleistocenica, le Pizzorne hanno subito un forte "ringiovanimento tettonico"; il più recente innalzamento ha portato, oltre che ad una forte tettonizzazione di alcune aree con formazione di faglie e diaclasi, ad una accentuazione dell'attività erosiva dei corsi d'acqua che si presentano fortemente incassati nei versanti.

I rilievi dei Monti Pisani fanno parte della cosiddetta "Dorsale Medio Toscana", separata da faglie dirette, attualmente in gran parte ricoperte da depositi del Quaternario, dalla fossa tettonica della Versilia ad Ovest, dal bacino della fossa tettonica di Lucca a Nord e del bacino della fossa tettonica di Bientina – Cerbaie – Fucecchio ad Est; queste faglie hanno direzione sia appenninica che trasversale rispetto a questa e sono state in seguito parzialmente riprese da movimenti neotettonici di età probabilmente Pleistocene medio e sicuramente Pleistocene superiore.

Su tali rilievi, tra S. Maria del Giudice e Cerasomma, affiorano terreni appartenenti alla Successione Toscana anchimetamorfica, rappresentati in sostanza da terreni simili a quelli presenti nella Successione Toscana, ma soggetti ad un debole metamorfismo che ne ha parzialmente modificato le caratteristiche tessiturali e composizionali.

Sui monti d'Oltreserchio, la fascia di raccordo con la pianura è ancora costituita dai depositi fluvio lacustri già descritti in precedenza. Più in alto si rinvergono le formazioni della Successione Toscana, fino ai termini triassici nella stretta valle del T. Certosa. Più a nord-est, tra S. Macario e Ponte a Moriano, i termini della Successione Toscana sono sovrastati da formazioni riferibili ai Domini Liguri.

Nel territorio comunale di Lucca affiorano formazioni appartenenti a diverse Unità tettoniche (le sigle formazionali utilizzate sono quelle previste dal Regolamento 53/R, che rimanda alla legenda della cartografia regionale, alle quali sono affiancate, in corsivo, le sigle formazionali utilizzate dall'Autorità di Bacino del F. Serchio), che si susseguono dal basso verso l'alto nella maniera che segue:

COMPLESSO METAMORFICO DEI MONTI PISANI

Filladi e Quarziti listate di Buti (FAF; *fqb*) - Filladi grigio-verdi o grigio-violacee finemente listate. Età: ?Cambriano-Ordoviciano

Scisti di S. Lorenzo (VINa; *sSL*) - Alternanze di orizzonti quarzitici, con filladi e micascisti. Età: Westfaliano-Autuniano

Brecce di Asciano (ASC; *brA*) - Filladi quarzitiche violacee; con livelli detritici angolosi, talvolta preponderanti. Età: ?Permiano

Formazione della Verruca (SRC; *V1, V2, V3*) - SRCb: Anageniti minute. Quarziti biancastre alternate a quarziti filladiche. Età: Ladinico. **SRC:** Scisti violetti: Filladi quarzitiche violacee, al tetto livelli quarzitici. Età: Ladinico. **SRCa:** Anageniti grossolane. Conglomerati prevalentemente quarzosi a matrice quarzitico filladica violacea. Età: ?Anisico-Ladinico

Quarziti di M. Serra (QMS; *Qz*) - QMS4: Quarziti viola zonate. Alternanza di quarziti a grana fine e filladi sericitico-cloritiche violacee. Età: Carnico sup. **QMS3:** quarziti bianco-rosa: Quarziti rosate passanti localmente a tipi litologici più grossolani, fino a conglomerati minuti. Età: Carnico **QMS2:** quarziti verdi. Quarziti verdi o grigio-verdi con stratificazione incrociata, alternate a filladi. Età: Carnico. **QMS1:** scisti verdi. Filladi sericitico-cloritiche verdi con sottili intercalazioni di arenarie quarzitiche. Età: Carnico inf.

Grezzoni (GRE; *grI*) - Dolomie e dolomie ricristallizzate grigio-scuri, con limitate modificazioni tessiturali metamorfiche. La parte inferiore è generalmente costituita da brecce a elementi dolomitici, la parte intermedia da dolomie grigio-chiare e scure. Età: Norico-Retico.

Calcarei Ceroidi (MMR; *mI*) - Calcarei subcristallini bianchi, massicci. Età: Lias inf.

Calcarei Selciferi (CLF; *cs*) - Calcarei selciferi metamorfici. Nella zona ove la formazione raggiunge gli spessori maggiori, la parte inferiore è costituita da metacalcilutiti grigio chiare e color avorio, ben stratificate e con liste e noduli di "selci". Età Lias sup.

Marne a Posidonomya (CCI; *cs*) - Marne e calcari marnosi con Posidonomya, Età: Dogger

Calcarei Picchiettati (ENT; *csp*) - calcari con resti di Entrochi, massicci o stratificati, con selce Età: Malm

Diaspri (DSDa; *d*) - Metaradiolariti rosse, violacee, verdastre, sottilmente stratificate, con interstrati di filladi quarzitiche Età: Malm

Scisti sericitici Auctt. (SSR; sv) - Trattasi di filladi muscovitiche verdastre, rosso violacee e più raramente grige, con rari e sottili livelli di filladi carbonatiche, marmi a clorite e metaradiolariti rosse. Età: Cretaceo inferiore - Oligocene.

Pseudomacigno (PSM; pmg1) - Metarenarie quarzoso-feldspatico-micacee alternate a filladi più o meno quarzitiche grigio-scure. Età: Oligocene sup. - Miocene inf.

FALDA TOSCANA

Calcere cavernoso (CCA; cv) - Dolomie e calcari dolomiti scuri brecciati, con una caratteristica struttura a cellette ("calcari a cellette", "calcari carciati e vacuolari"), spesso pulverulenti ("cenerone"), gessi, anidriti e brecce polimittiche. Età: Norico? - Retico inf.

Calcari e Marne a Posidonomya (POD; mp) - Marne e marne calcaree grigio o grigio-verdi, a cui si intercalano calcilutiti marnose o silicee, calcareniti fini silicee, grigie o grigio verdi, con rare liste e noduli di selce, argilliti marnose o silicee e livelli di radiolariti; la formazione è caratterizzata inoltre da brecce calcareo-silicee. Età: Pliensbachiano sup. - Bajociano inf.

Diaspri (DSD; di) - Radiolariti e selci rosse, verdi o grigie, in strati sottili, con intercalazioni di argilliti e marne silicee progressivamente più frequenti nella porzione della formazione, talvolta costituita da una litofacies calcareo-silicea-marnosa. Età: Bajociano - Titonico sup..

Calcere selcifero della Val di Lima (SVL; cs2) - Calcareniti gradate e calcilutiti silicee, grigio-scure, con abbondanti liste e noduli di selce grigio-scuro o nere, a cui si intercalano rare marne silicee o argillose; localmente, nella porzione superiore della formazione, possono essere presenti livelli di brecce calcaree intraformazionali, talora con clasti grossolani. Età: Bajociano - Titoniano sup.

Maiolica (MAI; mac) - Calcilutiti e calcilutiti silicee bianche o grigie, a cui si intercalano calcareniti e calciruditi grigie (talvolta molto spesse) e rari e sottili livelli di argilliti calcaree o marne grigie o grigio verdi; i calcari presentano frequentemente noduli e liste di selce grigio chiaro o avana, più raramente scure. **MAI1; mac1:** calcari bianchi e grigi, a Calpionelle, con fitte intercalazioni di selce. Età Titonico sup. - Neocomiano

Scaglia rossa (STO; sc) - Formazione costituita da più litofacies, comprendenti una litofacies pelitica (prevalente), una litofacies calcareo-pelitica, una litofacies calcarenitico-pelitica ed una litofacies calcareo-silicea (rara). Età: Cretaceo inf. - Oligocene

Microbrecce a Nummuliti (STO3; Nu) - Calcareniti, calcari e calcari silicei (di colore grigiastro con frequenti venature biancastre) prevalentemente nella parte alta della "scaglia rossa", o intercalati a questa. Età: Eocene - Oligocene.

Arenaria "macigno" (MAC; mg) - Arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatiche grigie o grigio verdi, da medio-fini a grossolane, in strati da spessi a molto spessi,

talvolta amalgamati, a cui si intercalano strati sottili di arenarie fini, siltiti, argilliti e argilliti siltose; nella parte superiore a luoghi prevale una litofacies pelitico-arenacea con strati da sottili a spessi. Età: Oligocene sup. - Miocene inf.

UNITÀ DI CANETOLO

Argille e Calcari (ACC; *ac*) - Argilliti grigio-scuri o neri, alternate a calcari e calcareniti grigio-scuri. Età: Paleocene - Eocene medio

DOMINIO LIGURE INTERNO

Argille a Palombini (APA; *ap*) - Argilliti grigio - scuri o neri, da fogliettate a scagliose a cui si intercalano strati medi e sottili di calcilutiti marnose o silicee grigiochiare, calcareniti grigio - scuri talora in strati spessi, areniti fini e siltiti. Età: Cretaceo inf.

Scisti della Val Lavagna (LVG; *SVL*) - Scisti policromi, marne siltose con intercalazioni di calcari ed arenarie. Età: Cretaceo sup.

Arenarie di M. Gottero (GOT; *aG*) - Torbiditi arenacei in strati spessi e molto spessi a cui si intercalano calcilutiti e calcilutiti marnose, areniti fini, argilliti e argilliti marnose. Età: Campaniano sup. - Paleocene

DOMINIO LIGURE ESTERNO

Brecce Calcaree (CCVb; *bc*) - Brecce clasto-sostenute a prevalenti elementi calcarei. Età: Campaniano

Complesso di base (CCV2; *cb*) - Paraconglomerati polimittici, grigio-scuri o grigio-verdi matrice o clasto-sostenuti; i clasti, da subangolosi a subarrotondati, da centimetrici a metrici, sono costituiti da calcari silicei (prevalente), radiolariti, ofioliti e più raramente da marne e graniti; la matrice argillitica siltitica o siltitico-arenacea è generalmente scagliosa. Età: Campaniano inf.

Flysch ad Elmintoidi (OTO; *fh*) - Torbiditi calcareo-marnosi grigio scuri in strati da medi a molto spessi, (talvolta a base calcarenitica), a cui si intercalano marne siltose, argilliti e argilliti calcaree, arenarie fini e siltiti. Età: Campaniano inf. - Maastrichtiano inf.

DEPOSITI FLUVIO-LACUSTRI DEL BACINO DI LUCCA-MONTECARLO-VINCI

Argille, Sabbie e Conglomerati di S. Macario (VIL; *fl*) - Si tratta in genere di argille, argille sabbiose bluastre e sabbie ocracee con livelli lenticolari, talvolta estesi e continui, di conglomerati poligenici dispersi in matrice sabbiosa. Età: Pliocene medio (?) sup. - Villafranchiano

DEPOSITI QUATERNARI

Depositi alluvionali terrazzati antichi (bnb; *at*, *ct/mg*) - Ghiaie, sabbie e limi di composizione poligenica, talvolta terrazzati. Età: Pleistocene medio-sup. (**bna; *at*, *ct***). Ghiaie, sabbie e limi di composizione poligenica, ghiaie monogeniche a ciottoli di arenaria Macigno in matrice sabbiosa, di colore rosso ocra in più ordini di terrazzi. Età: Olocene.

Depositi alluvionali attuali e recenti (e3a; *tl*) - Terreni palustri limoso-argillosi e torbosi. Età: Olocene. (**b1; *all*, *all1***) - Ghiaie eterometriche, sabbie e limi di composizione generalmente poligenica dei terrazzi fluviali recenti, anche in facies di conoide. Età: Olocene (**b2; *all2***) - Ghiaie eterometriche, sabbie e limi di composizione generalmente poligenica dei letti fluviali attuali. Età: Olocene

Detriti e terreni di copertura (aa; *dt*). Accumuli di frammenti litici eterometrici, frequentemente monogenici, con matrice sabbiosa o sabbioso-limosa in quantità variabile; possono essere organizzati in falde.

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

Le *Sezioni geologico-tecnico* (Elaborato QG 09 alla scala 1:15.000/1:5.000), finalizzate essenzialmente ad esplicitare i rapporti tra le formazioni rocciose ed i depositi quaternari, anche nell'ottica della pericolosità sismica, attraversano il territorio comunale nelle direzioni principali O-E (sezione A-B) e N-S (sezione C-D).

La sezione A-B attraversa la Piana dalle prime alture dell'Oltreserchio di S. Maria a Colle fino al confine comunale a San Filippo. Si evidenziano in particolare i depositi argillosi di S. Maria a Colle, in luogo di quelli più tipicamente limo-sabbiosi della Piana, la potenza del livello ghiaioso-ciottoloso all'altezza del F. Serchio rispetto ai normali spessori del resto della Piana stessa.

La sezione C-D inizia poco a monte di Ponte a Moriano in corrispondenza dell'ampio affioramento di arenaria Macigno sul quale si accavalla il Flysch ad Elmintoidi, ricoperto a sua volta sul fondovalle da depositi pleistocenici a ciottoli di macigno. Verso sud il substrato roccioso resta a modesta profondità fino all'altezza di San Pietro a Vico, sempre sovrastato da depositi prima argillosi e poi ghiaiosi e limosi.

Nella Piana aperta non si hanno documentazioni¹ dirette esaustive sulla profondità del substrato roccioso, comunque superiore ai 100 m, mentre variano talvolta i rapporti tra le coperture. Infine la sezione si attesta sulle formazioni metamorfiche del rilievo dei Monti Pisani nei pressi di Pozzuolo, dopo aver interessato la fascia di depositi conoidali pedecollinari di Vicopelago.

Sono state inoltre aggiunte, in sede di redazione del presente studio, due sezioni (E-F e G-H) finalizzate ad illustrare due zone di passaggio tra substrato geologico a profondità <30 m e profondità > 30m, in particolare per la zona di Montuolo (sezione E-F) e per la zona di Monte San Quirico (sezione G-H).

GEOMORFOLOGIA

I caratteri geomorfologici del territorio comunale sono rappresentati nella *Carta Geomorfologica* (Elaborato QG 02), realizzata seguendo i criteri di rappresentazione del regolamento 53/R, riportando le forme ed i processi rappresentati nelle cartografie del PAI, implementati con quelli propedeutici alle altre carte redatte a supporto del piano vigente sulla base dei censimenti e studi di frane forniti dai vari settori tecnici del Comune.

L'aggiornamento della carta geomorfologica ha riguardato esclusivamente l'introduzione di alcuni elementi mancanti che la rendevano incoerente con la nuova Carta della pericolosità geologica e, in dettaglio l'introduzione:

- di una frana attiva in loc. Chiesa di Chiatri;
- di n. 2 doline sul Monte Penna;
- di tutte le aree definite nell'ex PAI Serchio come:
 - ✓ *aree soggette a franosità in terreni prevalentemente argillitici acclivi e/o con situazioni morfologiche locali che ne favoriscono l'imbibizione;*
 - ✓ *Aree soggette a franosità in terreni detritici acclivi;*
 - ✓ *Aree soggette a franosità in terreni acclivi argilloso-sabbiosi e sabbioso-conglomeratici;*
 - ✓ *aree in rocce coerenti e semicoerenti soggette a franosità per forte acclività, in particolare aree esposte a possibili fenomeni di crollo o distacco di massi;*
 - ✓ *aree soggette a franosità per erosione di sponda;*

¹ L'unico sondaggio profondo che ha intercettato il bedrock carbonatico (alla profondità di 350 m) è quello eseguito dall'AGIP in loc. Pontetetto negli anni '60.

L'aspetto geomorfologico rappresenta un istante a scala umana dell'evoluzione del paesaggio, imputabile prevalentemente a fattori naturali a forte ruolo morfogenetico, come i sollevamenti neotettonici, le variazioni eustatiche del livello marino ed i periodi climatici estremi caratterizzati da elevate precipitazioni. I fattori evolutivi di maggior rilievo sono rappresentati dalle frane, dai fenomeni erosivi e dalle alluvioni.

Lo sfondo della cartografia è rappresentato dalle varie classi litogeomorfologiche individuate:

depositi alluvionali; depositi terrazzati; sabbie, sabbie argillose e conglomerati neogenico-quadernari; rocce filladiche, scistose, argilliti e argilloscisti; flysch arenacei, calcarei e calcareo-marnosi; rocce stratificate competenti; calcari cavernosi e brecce; calcari massicci e marmi

Tra le forme e i depositi gravitativi di versante sono stati segnalati:

- **Depositi di frana:** sono distinti rispetto allo stato di attività, in:
 - *attivi*, quando riferiti tanto a processi in atto al momento del rilevamento quanto a processi non in atto ma ricorrenti, per evidenze o testimonianze varie, con frequenza stagionale;
 - *quiescenti*, quando riferiti a processi avvenuti nell'attuale sistema morfoclimatico e suscettibili di riattivazione con frequenza pluriennale.
- **Orlo di scarpata di frana:** anch'esse distinte in attive e quiescenti sono state riportate in cartografia quando ben distinguibili sul terreno.
- **Deposito di versante:** costituiti da detriti di varia forma e dimensioni accumulati senza una particolare genesi lungo i versanti;
- **Deformazione gravitativa profonda di versante:** si tratta di movimenti unitari di porzioni di versante in aree ad elevata energia di rilievo, con superfici di scorrimento profonde e legate generalmente ad discontinuità preesistenti (fratturazioni, faglie, giunti di stratificazione) che tendono a plasticizzarsi verso la base.

Tra le forme e i depositi dovuti all'azione dei processi fluviali ed epigei si ricordano:

- **Conoidi alluvionali:** sono il prodotto di una rapida e per lo più caotica deposizione di materiale fluitato a seguito di una repentina diminuzione di pendenza. Tutte le conoidi censite risultano attualmente inattive e talora in fase di reincisione
- **Superficie di terrazzo alluvionale:** sono state segnalate le spianate morfologiche relitte a seguito dell'azione fluviale; in particolare quelle di età pleistocenica al margine sud dei M. Pisani, reincise a più riprese, in un susseguirsi di fasi erosive e di nuovo deposito.
- **Orlo di terrazzo:** limite superiore della scarpata di una spianata alluvionale o di erosione fluviale.

- **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.
- **Doline.** Forme carsiche superficiali presenti sul M. Penna.

Tra i depositi antropici sono presenti:

Terreni di riporto: accumuli eterogenei di materiale generalmente addensati, come già precedentemente descritti.

La Carta geomorfologica segnala inoltre i principali elementi geologico-strutturali, tra i quali in particolare le condizioni giaciture delle rocce stratificate, le faglie ed i limiti di sovrascorrimento tra le unità tettoniche dei complessi rocciosi.

Sono infine riportate le principali grotte e doline conosciute nonché, per evidenziare i principali allineamenti montuosi e i relativi spartiacque, le linee di crinale delle aree collinari e montuose.

IDROGEOLOGIA

I caratteri idrogeologici del territorio comunale sono rappresentati nella *Carta idrogeologica e di vulnerabilità degli acquiferi* del PS (Elaborato QG 04).

La piana di Lucca è una pianura alluvionale costituita prevalentemente da alluvioni grossolane, in affioramento nella porzione settentrionale e centrale della stessa, e ricoperti da materiali più fini di natura limoso argillosa, di spessore sempre più crescente nella porzione sud-orientale.

Questo orizzonte sabbioso – ghiaioso-ciottoloso, il cui spessore nel Comune di Lucca varia per lo più tra 10 e 20 m, raggiungendo valori massimi intorno ai 25 m lungo il F. Serchio nel tratto Nozzano-Ponte S. Pietro - poggia in profondità sui depositi alluvionali del Pleistocene Superiore-Olocene e sulle sottostanti argille lacustri di età Villafranchiana.

In tale orizzonte trova sede un acquifero alluvionale che con continuità areale si estende con spessore variabile sotto tutta la pianura, le cui condizioni lito-stratigrafiche fanno sì che la falda idrica sotterranea presenti caratteristiche freatiche nel settore settentrionale della piana in cui la falda non risulta confinata verso l'alto da terreni impermeabili, mentre assume caratteristiche di artesianità nel settore meridionale della stessa con il progressivo ispessimento della coltre superficiale impermeabile. L'acquifero in esame è pertanto da considerarsi un acquifero mono-falda anche se a luoghi, nel settore centro meridionale, possono essere presenti – all'interno della copertura fine – modeste e compartimentale falde superficiali, essenzialmente di tipo sospeso.

Studi sulle caratteristiche della falda sotterranea della piana lucchese hanno avuto inizio negli anni '70, periodo in cui per la prima volta si è proceduto ad un censimento dei numerosi pozzi esistenti adibiti a vari usi, mediante i quali è stato possibile eseguire misure di livello e ricostruire numerose carte piezometriche nelle varie situazioni stagionali le quali evidenziano sensibili variazioni delle direzioni di

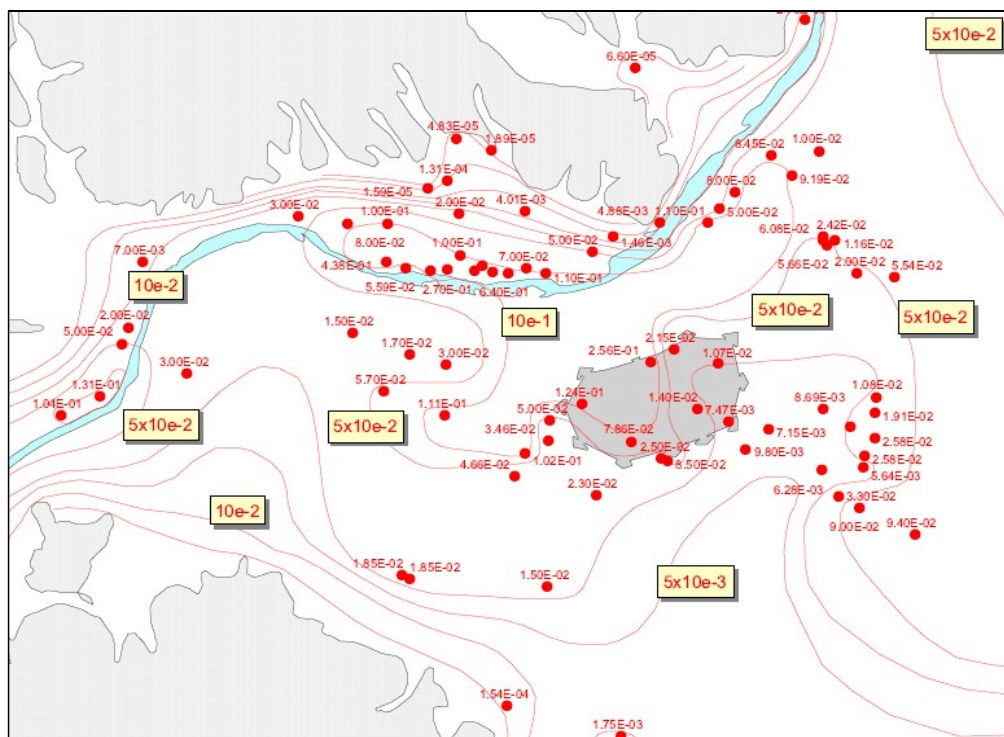
flusso nelle varie situazioni di ricarica. Le oscillazioni stagionali del livello della piezometrica caratterizzate da un andamento pressoché ciclico, sono un evidente segno della rapidità dei tempi di ricarica dell'acquifero, alla cui alimentazione contribuiscono:

- l'infiltrazione meteorica diretta nelle zone in cui l'acquifero è freatico;
- la ricarica di subalveo del Fiume 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.

Gli afflussi apportati dai primi tre agenti della ricarica sono legati all'alternarsi dei fenomeni naturali, mentre per quanto concerne l'infiltrazione di acque irrigue, questa risulta collegata con l'attività antropica. L'entità di tale fenomeno è tale da determinare in un vasto settore settentrionale della piana un innalzamento della piezometrica nel trimestre estivo (giugno-settembre) anche di 1,5 m.

Più in generale le oscillazioni piezometriche della falda della piana di Lucca, così come risultanti da un monitoraggio di lungo periodo (2001÷2015) svolto dagli scriventi su vari pozzi distribuiti nella piana, evidenziano chiaramente ricariche a frequenza stagionale 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} m²/s. Di seguito si riporta uno stralcio cartografico, ripreso dal progetto LIFE “*Serchio river alimented well-fields integrated rehabilitation*”, illustrante la distribuzione dei valori di trasmissività dell'acquifero della piana lucchese.



Distribuzione dei valori di trasmissività dell'acquifero della piana lucchese

SISMICA

Al fine di comprendere le motivazioni per cui il Comune di Lucca è classificato sismico, è stata eseguita una ricerca degli eventi storici con risentimento nel territorio comunale, all'interno dei cataloghi sismici pubblicati da vari enti di ricerca, in modo da avere un'idea sulla sismicità storica del territorio.

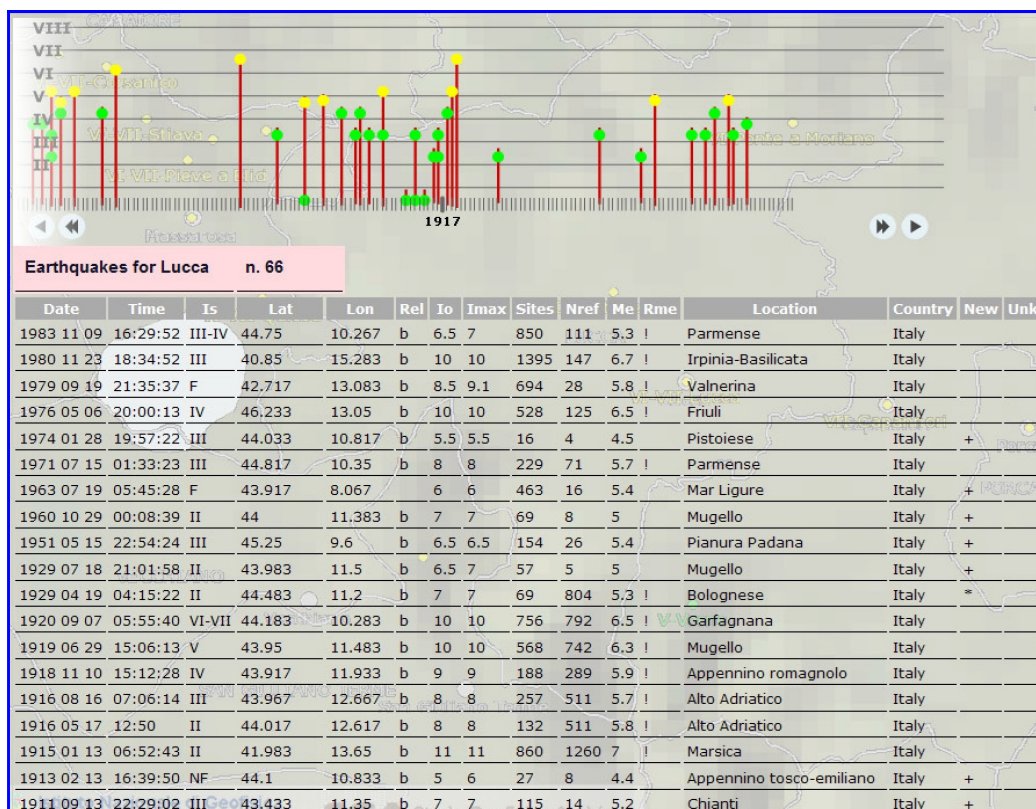
I Cataloghi consultati sono:

1. **CPTI11 – Catalogo parametrico dei Terremoti Italiani.** Rappresenta ad oggi il catalogo di riferimento più completo e affidabile.

2. **CFTI4 med – Catalogo dei forti terremoti in Italia** tra il 461 a.C. ed il 1997 e nell'area Mediterranea tra il 760 a.C ed il 1500. Contiene tutti i terremoti italiani aventi intensità epicentrale di grado VIII o superiore e una selezione dei terremoti più piccoli (in totale 1257 terremoti).

2. **DOM 4.1 - Database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno** (GNDT 1997). Non si tratta di un vero e proprio catalogo ma di un data-base delle osservazioni macrosismiche contenente circa 37.000 osservazioni su circa 10.000 località per 904 terremoti; da tale elaborato deriva la Carta delle Massime Intensità macrosismiche (vedi Fig. 1).

Non sono stati rilevati forti terremoti con epicentri localizzati nel territorio comunale di Lucca. Gli epicentri dei sismi catalogati sono quasi tutti collocati in area appenninica ed in particolare in Garfagnana-Lunigiana che rappresenta l'area sismogenetica più vicina e più attiva, dove si segnala il terremoto del 1920 con intensità epicentrale del X° MCS che comportò un risentimento (intensità al sito Is) del VII° MCS a Capannori e del VI°-VII° MCS a Lucca. Più in particolare la consultazione del catalogo CFTI4 med indica per il Comune di Lucca 66 eventi sismici, come da estratto seguente:



Estratto del catalogo CFTI 4 med per Lucca

Dalla Carta delle massime Osservazioni macrosismiche rilevate nei comuni italiani si deduce invece come il massimo storicamente osservato per il Comune di Lucca sia l’VIII MCS (vedi Fig. 1).

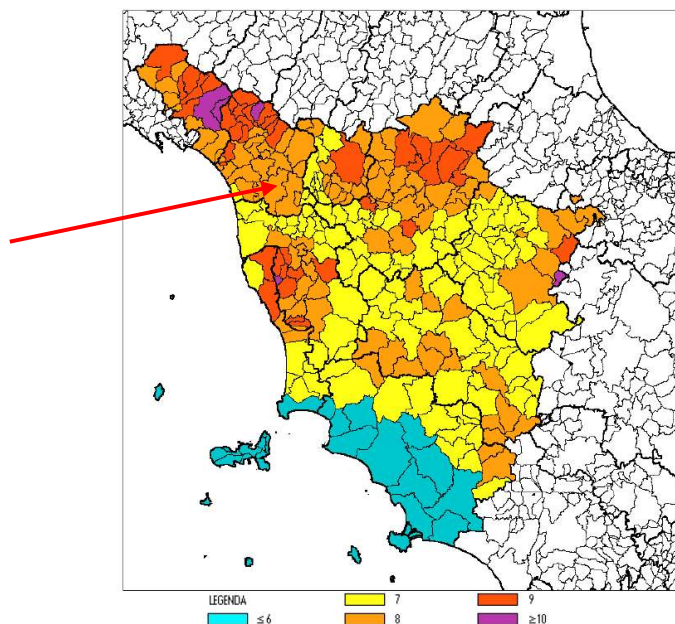


Fig. 1 – Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni toscani valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti dell’INGV marzo 1997

Con la pubblicazione dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°

3274 del 20 marzo 2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (Supplemento Ordinario n. 72 della G.U. n. 105 del 8.05.2003) è finalmente entrata in vigore la nuova Classificazione Sismica del Territorio Italiano, basata sulle indicazioni del Gruppo di Lavoro del Dipartimento della Protezione Civile del 1998: la nuova classificazione è stata recepita dalla Regione Toscana con D.G.R.T. n. 751 del 28 luglio 2003, in base alla quale il territorio del Comune di Lucca, precedentemente Non Classificato N.C., è stato definito sismico di Zona 3, zona infine riconfermata dalla Delibera GRT n° 878 dell'8 Ottobre 2012.

Successivamente la Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile ha approvato, nella seduta del 6 aprile 2004, la nuova Mappa di Pericolosità sismica del Territorio Nazionale (vedi Fig. 2 e 3): questa è stata recepita dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28 Aprile 2006 (vedi Fig. 4) ed è divenuta infine la mappa di riferimento prevista dal D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni.

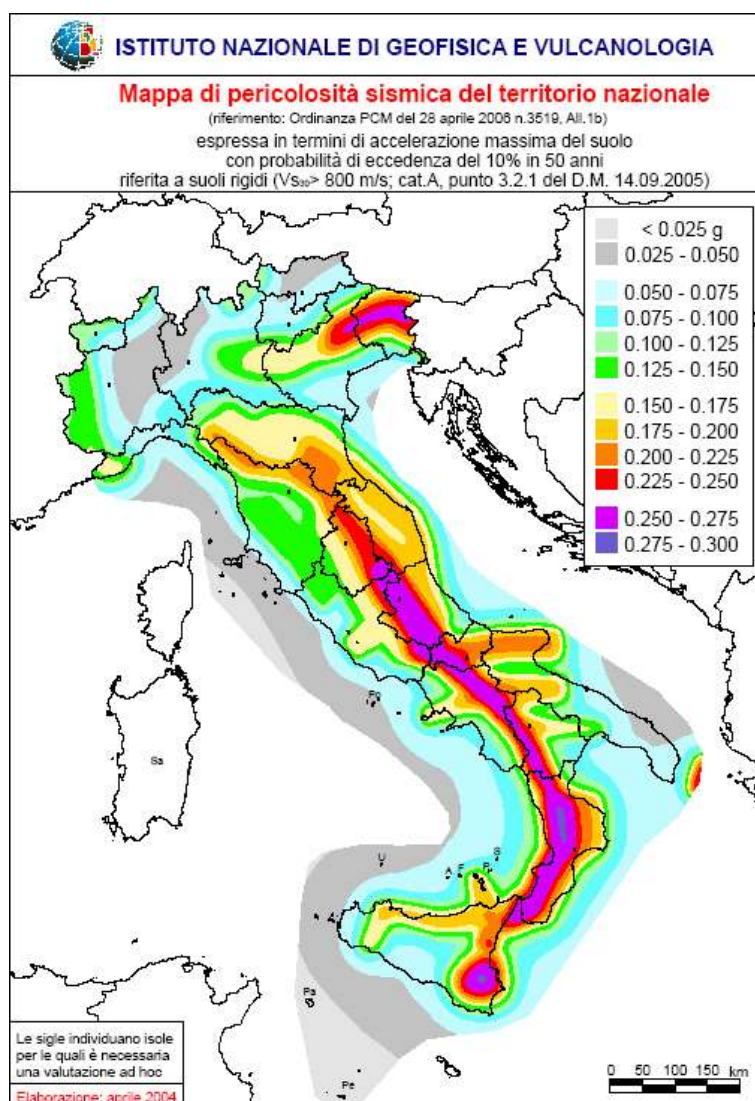


Fig. 2 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

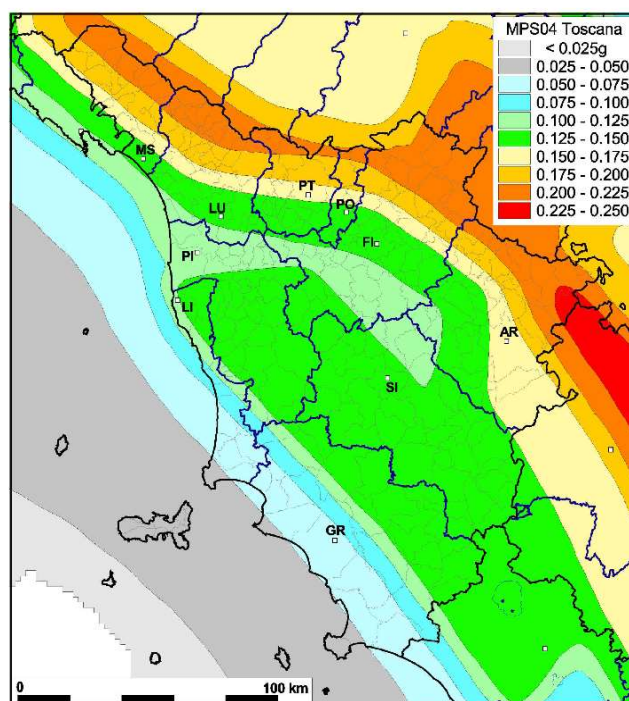


Fig. 3 – Mappa di pericolosità sismica della Regione Toscana

Con Decreto del 14 Gennaio 2008, pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4.02.2008 suppl. ord. n° 30, sono state infine approvate le nuove Norme tecniche per le costruzioni, entrate in vigore il 23 Marzo 2008 ma prorogate successivamente fino alla definitiva scadenza del 30 giugno 2009. Da tale data, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, viene definita mediante un approccio “sito dipendente” e non più “zona dipendente”: in altre parole, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso tra 4 dei 10751 punti della griglia di accelerazioni (Tab 1 del D.M. 14 Gennaio 2008), e, tramite media pesata, ad esso competerà un valore specifico di accelerazione (vedi ad esempio la griglia delle accelerazioni per la Provincia di Lucca in Fig. 5).

La classificazione sismica regionale ex DGRT n° 878/2012, di cui alla Fig. 4, e la suddivisione in zone, rimangono pertanto al solo fine di disciplinare le modalità di controllo dei progetti.

Nel territorio del Comune di Lucca ricadono 4 punti della griglia, con accelerazioni comprese tra 0.1272 e 0.1355 g.

Zona 2
(95 comuni)

Zona 3
(168 comuni)

Zona 4
(24 comuni)

[illegible]

Srv:\Lavori 2020\PO LUCCA - Relazione illustrativa indagini geologiche

3. CARTA DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

La *Carta della Pericolosità geologica* (Elaborato QG 05) è stata redatta partendo dalle condizioni di pericolosità del territorio comunale definite nel Progetto di PAI “frane”, il quale distingue le seguenti 4 classi di pericolosità:

- pericolosità molto elevata (P4): aree instabili interessate da fenomeni di dissesto attivi di tipo gravitativo, erosivo e/o dovuti all'azione delle acque incanalate negli alvei naturali /artificiali o lungo le pendici;
- pericolosità elevata (P3) – aree potenzialmente instabili, suddivise in due sottoclassi:
 - (P3a) – aree non interessate da fenomeni di dissesto attivi ma in cui sono presenti indicatori geomorfologici diretti, quali aree interessate da instabilità in passato e/o segni precursori o premonitori di movimenti gravitativi, sulla base dei quali non è possibile escludere la riattivazione dei dissesti;
 - (P3b) - aree interessate da possibili instabilità di tipo gravitativo, erosivo e/o dovuti all'azione delle acque incanalate negli alvei naturali /artificiali o lungo le pendici, per effetto di condizioni geomorfologiche e fisiche sfavorevoli che determinano elevata propensione al dissesto.
- pericolosità media (P2): aree stabilizzate, aree stabili interessate tuttavia da litologie e condizioni strutturali e geomorfologiche che possono dar luogo a modifica della loro condizione di stabilità;
- pericolosità moderata (P1): aree stabili con condizioni litologiche, strutturali e geomorfologiche aventi caratteri per lo più favorevoli alla stabilità.

Tale classificazione e conseguente zonizzazione è sostanzialmente identica a quella del PAI Serchio (1° e 2° aggiornamento), da cui si distingue solo per l'introduzione della sottoclasse P3b, relativa a situazioni di potenziale instabilità precedentemente appartenenti alla classe di pericolosità G2 del Piano Strutturale, e per la maggiore estensione dei poligoni delle frane attive in quanto comprensive anche delle fasce di influenza, quest'ultime riconosciute dal PAI Serchio solo in normativa.

Così come nel PAI Serchio anche nel PAI “frane” la pericolosità molto elevata P4 non comprende però in realtà solo fenomeni attivi, ma anche situazioni di potenziale instabilità (*aree in rocce coerenti e semicoerenti soggette a franosità per forte acclività, in particolare aree esposte a possibili fenomeni di crollo o distacco di massi, aree al bordo di terrazzi fluviali o morfologici*) che costituiscono un elemento di incoerenza con la classificazione del regolamento 5/R/2020, per il quale nella pericolosità geologica molto elevata (G.4) rientrano solo fenomeni attivi.

Nel PAI frane la perimetrazione delle aree a pericolosità P1 comprende inoltre talora anche aree collinari e montane classificate nel Piano strutturale vigente a pericolosità G.2 o G.3, in quanto caratterizzate da condizioni di acclività, litologia e giacitura che non consentono di escludere l'attivazione di processi morfo-evolutivi.

Nei casi di cui sopra, al fine di produrre un elaborato coerente anche con il regolamento 5/R/2020, nella Carta della pericolosità geologica si è ritenuto necessario sia distinguere in carta le P4 del PAI “frane” derivanti da forme attive dalle P4* associate a situazioni di potenziale instabilità, sia classificare a pericolosità G.2 o G.3 le aree classificate come tali nel PS e ricadenti invece in classe P1 nel PAI frane.

Le classi di pericolosità geologica adottate ed i relativi caratteri presenti nel territorio comunale sono sintetizzate nella tabella che segue.

CLASSIFICAZIONE PAI "frane"	CLASSIFICAZIONE 5/R/2020	CARATTERI
P4	G.4	Aree interessate da fenomeni franosi attivi e relative aree di evoluzione; aree con presenza di intensi fenomeni geomorfologici attivi di tipo erosivo; doline attive
	G.3*	Aree in rocce coerenti e semicoerenti soggette a franosità per forte acclività, in particolare aree esposte a possibili fenomeni di crollo o distacco di massi, aree al bordo di terrazzi fluviali o morfologici
P3a	G.3a	Frane quiescenti; aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, acclività e litologia; masse rocciose dislocate unitariamente da movimenti franosi; aree interessate da deformazioni gravitative profonde certe; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15°; conoidi di detrito pedemontano e conoidi soggetti a fenomeni di debris-flow
P3b	G.3b	Aree interessate da possibili instabilità di tipo gravitativo, per effetto di condizioni geomorfologiche e fisiche sfavorevoli che determinano elevata propensione al dissesto
P2	G.2	Aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori a 15°; conoidi misti detritico-alluvionali; aree interessate da deformazioni gravitative profonde presunte
P1	G.1	Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche e giaciturali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi
	G.2	Aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto
	G.3b	Aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, acclività e litologia

Limitatamente al territorio urbanizzato sono stati inoltre condotti approfondimenti sui dissesti attivi e quiescenti (cfr. ALL. G.3) finalizzati sia ad evidenziarne lo stato di attività, sia a riconoscere la necessità o meno di ampliare le fasce di influenza definite nel PAI frane che, conclusivamente, non hanno riconosciuto la necessità di apportare variazioni alcuna.

Solo in loc. Sesto di Moriano, allo sbocco nel Serchio del T. Canabbia, il PAI frane riporta un bordo di scarpata classificata P4 (codifica geomorfologica FD3) che gli approfondimenti svolti hanno accertato in realtà inesistente e per la quale è stata conseguentemente avanzata formale osservazione di revisione all'Autorità di bacino distrettuale. Nella carta della pericolosità geologica tale area è stata comunque mantenuta P4, con una simbologia però a parte in maniera tale da poter essere automaticamente riclassificata allorquando la variazione richiesta venga formalmente recepita dall'Autorità di bacino

4. CARTOGRAFIE DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2

4.1. Introduzione

Il PS vigente è supportato da analisi di Microzonazione Sismica di Livello 1, per la realizzazione delle quali furono raccolti dalla documentazione disponibile, o eseguiti all'uopo, i seguenti elementi:

n° 46 sondaggi a carotaggio continuo, dei quali 12 con prova downhole e 8 con analisi di laboratorio sui campioni prelevati.

n° 105 prove penetrometriche statiche CPT di cui 51 approfondite con prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH

n° 15 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU di cui 7 approfondite con prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH

n° 21 prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH

n° 63 prospezioni sismiche a rifrazione con onde P ed Sh

n° 198 misure di rumore sismico a stazione singola

Tale mole di dati geognostici e geofisici ha consentito una buona ricostruzione della situazione litotecnica e sismostratigrafica del territorio comunale, concretizzatasi nella redazione delle seguenti cartografie:

Carta litologica – tecnica – Scala 1:15.000

N° 2 Sezioni geologiche rappresentative del modello di sottosuolo

Carta delle frequenze principali di risonanza del sottosuolo nell'intervallo 0.1 – 1.0 Hz - Scala 1:15.000

Carta delle frequenze principali di risonanza del sottosuolo nell'intervallo 1.0 – 20 Hz - Scala 1:15.000

Carta delle Microzonee Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) - Scala 1:15.000

A seguito di concertazione con i Tecnici del Servizio Sismico – Prevenzione sismica della Regione Toscana, i suddetti dati sono stati integrati 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 dato infatti è discriminante per l'applicazione degli abachi per il calcolo dei fattori amplificativi (vedi di seguito).

I dati vecchi e nuovi sono riportati nelle aggiornate Carta Geologico Tecnica (Elaborato QG 03b), Carta delle indagini (Elaborato QG 03a) e Carta delle Frequenze di risonanza (Elaborato QG 06), alla Scala 1:10.000.

Il passaggio dalla Microzonazione Sismica di Livello 1 al superiore Livello 2 si traduce essenzialmente nel passaggio da un livello qualitativo, rappresentato dalla suddivisione del territorio in zone omogenee dal punto di vista della risposta sismica locale attraverso la cartografia MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica), ad un livello quantitativo, ovvero ad una cartografia che prevede la suddivisione del territorio in zone caratterizzate da fattori di amplificazione del moto sismico (F_a) omogenei.

Tali fattori di amplificazione F_a sono calcolati a partire da alcuni parametri (velocità delle onde di taglio V_{s30} e frequenza di risonanza dei depositi), estrapolabili dagli studi di MS di Livello 1 e da appositi abachi predisposti dalla Regione Toscana nell'ambito di un Accordo di Collaborazione Scientifica stipulato con il Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente dell'Università degli Studi di Siena.

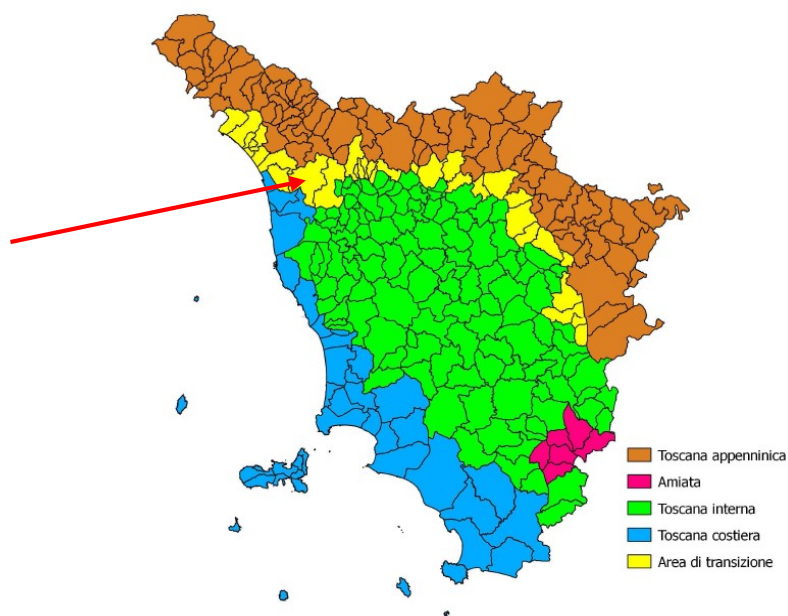


Fig. 6.3 – Suddivisione del territorio toscano in macroaree per la scelta degli abachi di secondo livello

Gli abachi si differenziano in funzione della collocazione del territorio in studio nel panorama regionale, secondo la distribuzione illustrata in Fig. 6.3 delle “*Specifiche tecniche regionali per l’elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica e prescrizioni per le analisi della Condizione Limite per l’Emergenza*” – rev. 02/10/2018, da cui si può osservare come il Comune di Lucca ricada nelle “Zone di transizione”.

Ha collaborato all’elaborazione e all’interpretazione delle indagini sismiche il Dott. Geol. Donato Merola. Hanno collaborato alla compilazione della cartografia GIS il tirocinante Dott. Matteo Rinaldi.

4.2. Carta geologico tecnica e Carta delle Indagini

La Carta geologico tecnica e la Carta delle indagini sono state aggiornate con i dati acquisiti nel presente lavoro, seguendo gli *Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.1.*

La *Carta geologico tecnica* (Elaborato QG 03b) e la *Carta delle Indagini* (Elaborato QG 03a) derivano dagli elaborati redatti in sede di MS di Livello 1. Come anticipato in premessa, furono utilizzati i dati provenienti da:

n° 46 sondaggi a carotaggio continuo, dei quali 12 con prova downhole e 8 con analisi di laboratorio sui campioni prelevati.

n° 105 prove penetrometriche statiche CPT di cui 51 approfondite con prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH

n° 15 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU di cui 7 approfondite con prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH

n° 21 prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH

n° 63 prospezioni sismiche a rifrazione con onde P ed Sh

n° 198 misure di rumore sismico a stazione singola

A questi dati sono state aggiunte le informazioni derivanti dalle indagini integrative (60 misure HVSR) e da quelle fornite da Comune di Lucca (prospezioni downhole e Masw essenzialmente).

I rapporti tra le formazioni/litologie sono illustrati nelle *Sezioni geologico-tecniche* (Elaborato QG 09) scala 1:15.000/1:5.000, finalizzate ad esplicitare i rapporti tra le formazioni rocciose ed i depositi quaternari, anche nell'ottica della pericolosità sismica e ad illustrare il passaggio tra le zone con substrato roccioso posto a profondità <30 m e zone con substrato posto a profondità >30 m.

4.2.1. Potenziale di liquefazione dei depositi

Il D.M. 17 Gennaio 2018 – Norme tecniche per le costruzioni, prescrive che la verifica alla liquefazione non sia eseguita qualora si verifichi almeno una delle seguenti condizioni:

- 1) accelerazione massima attesa in superficie in condizioni free-field (assenza di manufatti) minore di 0.1 g;
- 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 $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ kPa, dove $(N_1)_{60}$ è il

valore della resistenza determinata con prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa e q_{C1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;

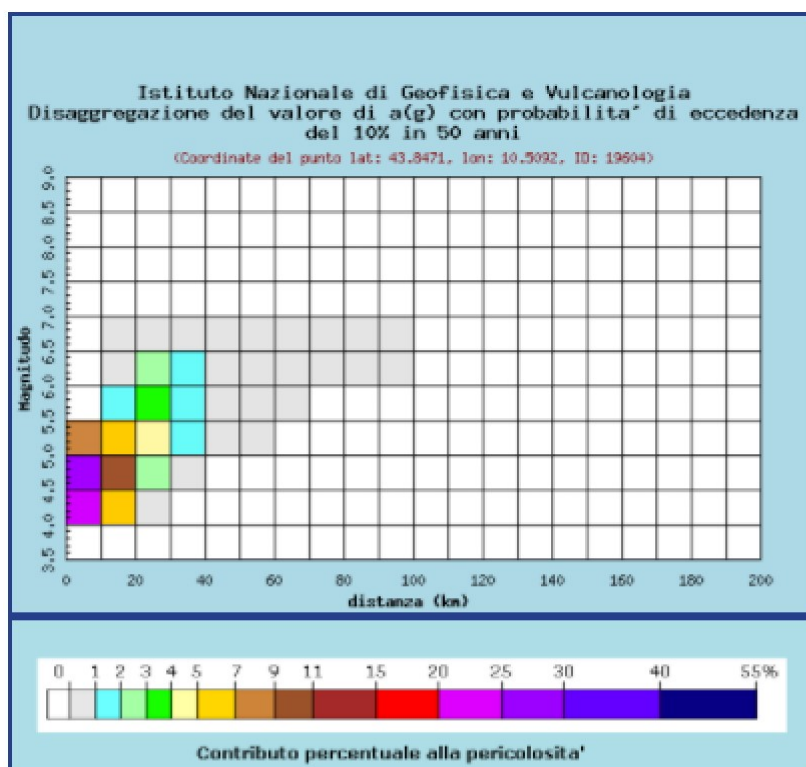
- 4) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle Fig. 7.11.1 delle norme.

Alla pagina seguente si riporta un diagramma di flusso per la stima del potenziale di liquefazione che tiene conto sia delle indicazioni delle NTC 2018, sia di quelle riportate in Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS 2008).

Per il territorio in esame, assunto che non si verifichi alcuna delle condizioni suddette, si ritiene comunque che non sussistano le condizioni per cui possano verificarsi fenomeni di liquefazione, sia in relazione alla bassa energia del terremoto atteso, sia in relazione all'assenza di depositi di sabbie pulite.

Infatti, secondo la zonazione sismogenetica ZS9 ed i dati di disaggregazione INGV, la coppia Magnitudo-Distanza M-R che fornisce il maggior contributo alla pericolosità sismica del territorio in esame è data da $M = 4,5-5,0$ e $R = 0-10$ km, con magnitudo media $M_m = 4.90$ (vedi grafici alla pag. seguente) e $M_{wmax1} = 5.68$ della zonazione sismica ZS9 INGV.

D'altronde, a prescindere dalla granulometria dei terreni, generalmente i valori di velocità delle onde sismiche trasversali V_s attinenti i depositi prevalentemente sabbiosi presenti nel territorio comunale sono superiori a $200 \div 220$ m/s, quindi si ritiene improbabile il verificarsi di fenomeni di liquefazione in relazione ai criteri di resistenza indicati in ICMS 2008 validi per magnitudo $M = 7.5$ contro 5,68 di Lucca; vedi anche il diagramma di flusso e il "criterio dello stato di addensamento valutato attraverso la velocità delle onde di taglio V_s .



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.8471, lon: 10.5092, ID: 19604)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	21.400	26.400	8.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	5.290	10.700	6.570	1.610	0.987	0.131	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.300	2.660	4.060	3.100	2.210	0.336	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.073	1.040	1.540	1.370	0.243	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.092	0.547	0.661	0.134	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.004	0.124	0.216	0.051	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.076	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Valori medi											
Magnitudo	Distanza	Epsilon									
4.900	12.100	1.090									

P. Barsanti 2018



4.3. Microzonazione di livello 1: le nuove MOPS

La necessità di adeguamento ai più recenti standards del DPC e all'All. A al DPGR 5/R/2020, in particolare per quanto riguarda: 1) la distinzione tra zone caratterizzate da substrato sismico posto a profondità inferiori a 30 m e zone con substrato a profondità maggiori di 30 m; 2) la differenziazione delle caratteristiche del substrato geologico, assunto "indifferenziato" nelle MOPS del 2015 ed ora suddiviso in Lapideo (LP), Lapideo stratificato (LPS), Alternanza di litotipi stratificati (ALS) e Alternanza di litotipi – AL, ha comportato una completa revisione della cartografia di Livello 1 con passaggio da 10 MOPS (Z1 – Z10) a ben 22 (Z1-Z22).

Parallelamente è stato necessario realizzare nuove sezioni geologico-tecniche per illustrare i suddetti "vincoli".

A tal fine sono state innanzitutto eseguite indagini integrative, costituite da 60 misure di rumore sismico ambientale a stazione singola realizzate dalla Soc. Geoprove S.a.S. di cui i sottoscritti sono titolari. Per i dettagli sulle modalità operative ed elaborazione dei dati si rimanda all'elaborato QG 17, mentre di seguito si riportano esclusivamente i risultati delle indagini.

Sono stati inoltre considerati sondaggi geognostici a carotaggio continuo, indagini downhole ed altre prospezioni geofisiche eseguite dopo il 2014 e fornite dall'Amministrazione comunale di Lucca, che sono andate ad implementare il database stratigrafico e sismico.

Alla luce dei risultati delle misure di rumore, è stato ricostruito l'andamento, 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 dato infatti è discriminante per l'applicazione degli abachi per il calcolo dei fattori amplificativi. Dove le misure di frequenza non erano disponibili, è stato adottato un criterio cautelativo basato sull'andamento della morfologia ed altimetria rapportato alla geologia locale (presenza di incisioni, conoidi alluvionali etc.).

Si distinguono così ora (vedi anche le citate sezioni geologico-tecniche alla scala orizzontale 1:15.000 e verticale 1:5.000):

Elementi di superficie

Le coperture sono distinte in funzione della composizione e della granulometria del materiale presente, secondo gli standard previsti dagli Indirizzi e Criteri di

Microzonazione Sismica (ICMS) del DPC (Vers. 4.1).

Le classi riconosciute sono le seguenti:

LP – Substrato geologico lapideo: sono stati associati a questa categoria le formazioni rocciose compatte non stratificate

LPS – Substrato geologico lapideo stratificato: è stata associata a questa categoria l'arenaria macigno e altre formazioni stratificate

ALS - Substrato geologico alternanza di litotipi stratificati: sono state associate a questa categoria le formazioni costituite da alternanze regolari di argilliti e calcari

AL - Substrato geologico alternanza di litotipi: sono state associate a questa categoria le argilliti caotiche

CO - Coesivo sovraconsolidato: sono state associate a questa categoria le argille e argille sabbiose del ciclo lacustre

GM - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo: sono stati associati a questa categoria le alluvioni antiche dei terrazzi fluviali più bassi

GW - Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie: sono stati associati a questa categoria le alluvioni attuali dei corsi d'acqua

SM - Sabbie limose, miscela di sabbia e limo: sono stati associati a questa categoria i depositi alluvionali costituiti prevalentemente da sabbie e limi

CL - Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre: sono stati associati a questa categoria i depositi alluvionali a forte componente argillosa

RI - Terreni contenenti resti di attività antropica

Sono poi indicate tutte le zone di attenzione per instabilità di pendio (ZAfr) presenti nell'area in studio in riferimento ai litotipi sottostanti.

Le aree MOPS

Lo studio di MS di livello 1 ha la finalità di determinare nella pianificazione attuativa scelte mirate e idonee che tendano ad assicurare la riduzione del rischio sismico. La cartografia MOPS prodotta con gli elaborati previsti per il Livello 1, consente inoltre di identificare le aree per le quali non sono richiesti studi di approfondimento.

La *Carta delle MOPS* (Elaborato QG 08) è realizzata alla scala 1:10.000 (n° 10 elementi) per ottenere un adeguato dettaglio, utile per il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- caratterizzazione del substrato geologico, quando presente a profondità indagabili;
- caratterizzazione dei terreni di copertura;
- ricostruzione delle aree potenzialmente interessate da deformazioni permanenti in caso di evento sismico;
- definizione di eventuali forme geomorfologiche di superficie e sepolte,

particolarmente importanti per problematiche sismiche.

Questi obiettivi sono perseguibili con la distinzione in cartografia di tre tipologie di zone (A, B, C) e con simboli indicanti forme di superficie e forme sepolte:

A. Zone stabili suscettibili di amplificazione topografica, sono le zone dove è affiorante il substrato (geologico e sismico, con eventuale copertura fratturata ed alterata fino ad uno spessore di 3 m) con morfologia inclinata (pendii con inclinazione maggiore di 15°):

Zona 1: Substrato geologico lapideo – LP con morfologia non definibile pianeggiante o poco inclinata (spessore >100m), con eventuale alterazione superficiale di spessore entro 3 m.

Zona 2: Substrato geologico lapideo stratificato - LPS con morfologia non definibile pianeggiante o poco inclinata (>100m), con eventuale alterazione superficiale di spessore entro 3 m.

Zona 3: Substrato geologico alternanza di litotipi stratificati – ALS con morfologia non definibile pianeggiante o poco inclinata (>100m), con eventuale alterazione superficiale di spessore entro 3 m.

Zona 4: Substrato geologico alternanza di litotipi – AL con morfologia non definibile pianeggiante o poco inclinata (>100m), con eventuale alterazione superficiale di spessore entro 3 m.

B. Zone stabili suscettibili di amplificazioni stratigrafiche, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale. Sono le zone dove sono presenti terreni di copertura o di alterazione con spessori superiori ai 3 m

Zona 5: Coesivo sovraconsolidato (1-35m) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100m)

Zona 6: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo - GM (1-15 m) su coesivo sovraconsolidato - CO (3-35m) su substrato lapideo stratificato - LPS (spessore >100m)

Zona 7: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo – GM (<30 m) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100 m)

Zona 8: Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia – GW (<30 m) su substrato lapideo - LP (>100 m)

Zona 9: Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia – GW (<30 m) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100 m)

Zona 10: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo – GM (<30 m) su substrato lapideo - LP (>100 m)

Zona 11: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo - SM (<30 m) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100 m)

Zona 12: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo – GM su sabbie limose, miscela di sabbia e limo - SM (<30 m) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100 m)

Zona 13: Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre - CL (<30 m) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100 m)

Zona 14: Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia - GW (1-10m) su coesivo sovraconsolidato - CO (1-20m) (<30 m nel complesso) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100 m)

Zona 15: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo - SM (1-5m) su ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia - GW (1-10m) su coesivo sovraconsolidato - CO (1-20m) (<30 m nel complesso) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100 m)

Zona 16: Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre - CL (1-10m) su sabbie limose, miscela di sabbia e limo - SM (0-10m) su ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia - GW (10-25m) su coesivo sovraconsolidato - CO (1-15m) (<30 m nel complesso) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100 m)

Zona 17: Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia - GW (10-30m) su coesivo sovraconsolidato - CO (10->100m) (>30 m nel complesso) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100 m)

Zona 18: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo - SM (5-10m) su ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia - GW (10-30m) su coesivo sovraconsolidato - CO (10->100m) (>30 m nel complesso) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100 m)

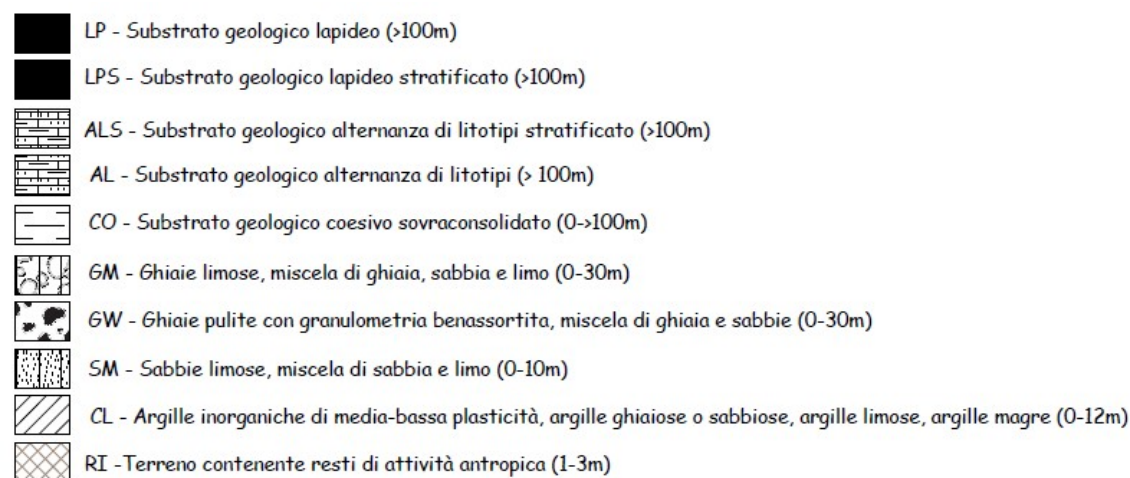
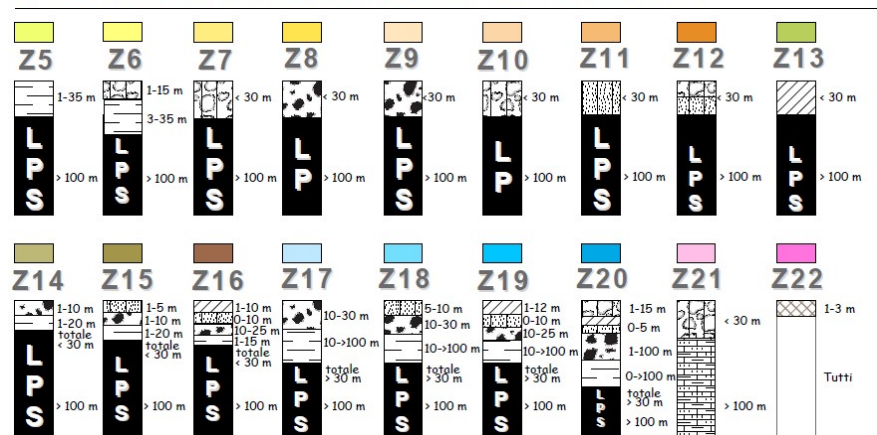
Zona 19: Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre - CL (1-12m) su sabbie limose, miscela di sabbia e limo - SM (0-10m) su ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia - GW (10-25m) su coesivo sovraconsolidato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

Zona 20: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo - GM (1-15 m) su argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre - CL (0-5m) su sabbie limose, miscela di sabbia e limo - SM (0-5m) su ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia - GW (10-25m) su coesivo sovraconsolidato - CO (1-100m) (>30 m nel complesso) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100 m)

Zona 21: Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo - GM (<30 m) su substrato geologico alternanza di litotipi stratificato - ALS (>100 m)

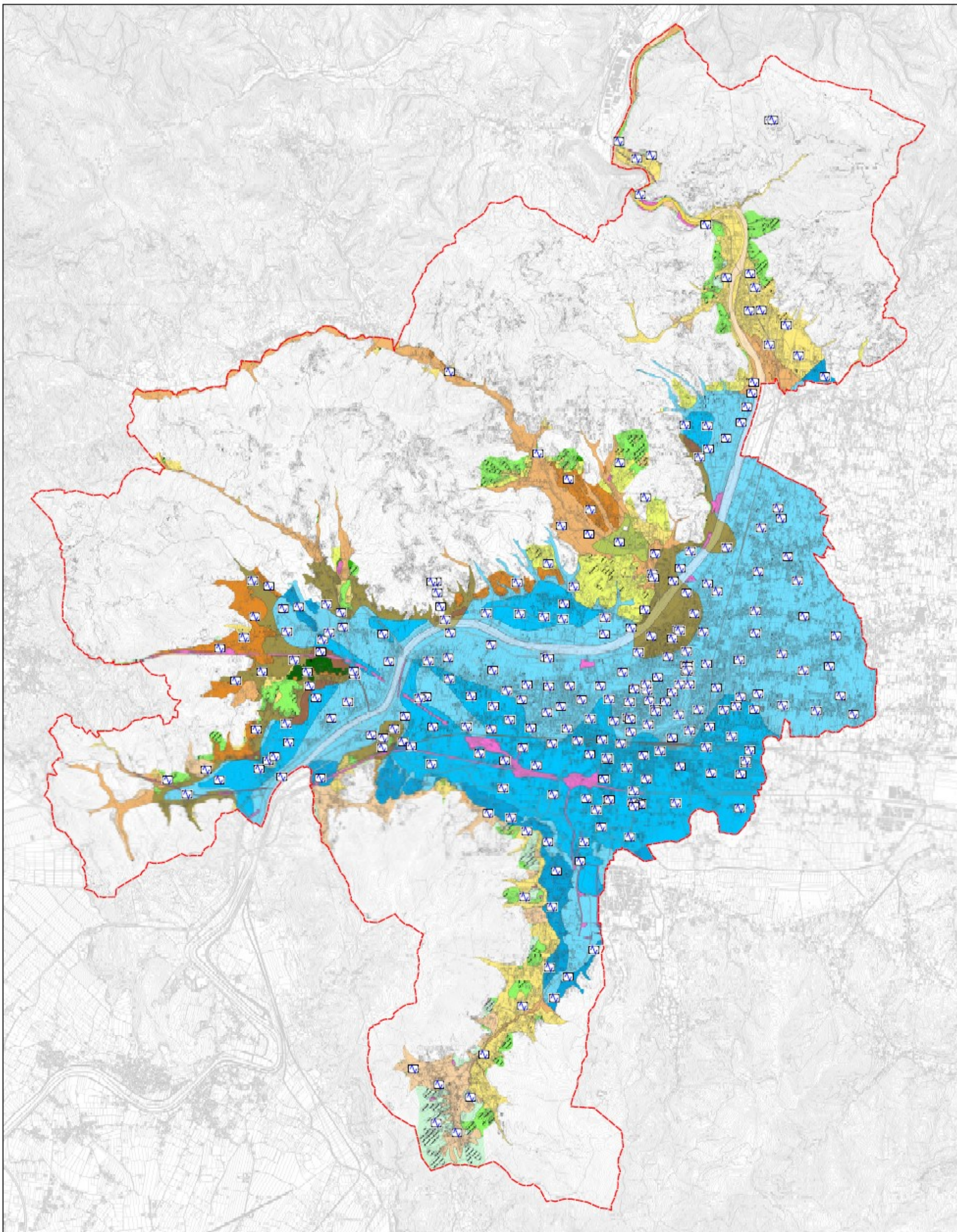
Zona 22: I terreni contenenti resti di attività antropica, dati i modesti spessori presenti (0-3m) e la loro ininfluenza ai fini urbanistici, assumono le caratteristiche sismiche delle relative stratigrafie sulle quali insistono. Per evidenziarne la presenza vengono comunque raccolti tutti nella presente zona MOPS.

C. zone di attenzione per instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono naturalmente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto).



ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITA' DI VERSAM





Carta MOPS revisionata e utilizzata come base per la MS di Livello 2

4.4. Carta delle frequenze fondamentali dei terreni

La *Carta delle frequenze fondamentali dei terreni* (Elaborato QG 06) è stata redatta 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 nuove misure HVSR eseguite (60 misure). Complessivamente sono state realizzate ed utilizzate per la redazione della carta n° 263 misure come da tabella seguente:

Numero Misura		Località di rilevamento	Picchi						Classe
ID campagna	ID database		Picco di maggiore A		Altri picchi				
			Ampiezza	Freq (Hz)	Ampiezza	Freq (Hz)	Ampiezza	Freq (Hz)	
1	479	P.zza Arcives covato	2.15	0.94	2.09	7.19			A1
2	480	Cortile Carrara	2.69	1.06					A1
3	481	Mercato Carmine	2.44	1.22					A1
4	482	Villa Bottini	2.43	1.22	2.1	7.8			A1
5	483	H San Luca	2.46	1.56					A1
6	484	Palazzo Orsetti	3.51	0.73	2	8.13			A1
7	485	Piazza Cittadella	4.64	0.66	2	8			A1
8	486	Via Nottolini	4.21	0.89	2	7.09			A1
9	487	Via del Tempietto	4.94	0.81					A1
10	488	Via Nazario Sauro	4.87	0.78	2.2	6			B1
11	489	Via Carrara	3.48	0.78					A1
12	490	Via Urbiciani	3.56	1.16	2.4	6.19			A1
13	491	San Concordio campo sportivo	3.56	0.92					B1
14	492	Via Consani	2.5	1.19	2	7			A1
15	493	Viale tr II	3.96	4.5	3.2	0.7			B1
16	494	Via Gardenie	6.43	0.69	2.48	4.77			A1
17	495	Via Formica	3.06	1.36	2	6.5			A1
18	496	Pontetetto chiesa	2.54	0.81	2	5.16			B1
19	497	Pontetetto depuratore GEAL	3.03	1.05	2.1	5.16			A1
20	498	Via Gardenie	3.08	0.78	2	4.8			B1
21	499	Via Bandettini	2.53	0.88	2.29	4.53			A1
22	500	Via Custer Denobili	3.13	5.63	3	0.7			B1
23	501	Viale Luporini	2	8.03	2	0.84			B1
24	502	S. Cassiano a Vico Via Cecchetti	3.81	4.69	2.4	16.75			B1
25	503	S. Anna parco giochi	2.95	1.08					A1
26	504	S. Anna Corte Venuti	3.23	0.69	3	10			A1
27	505	S. Donato V.le Luporini	NP	-					A2
28	506	S. Anna Via Togliatti	2.48	0.78	2.09	9.13			B1
29	507	S. Donato chiesa	2.87	5.25	2.25	1.09			A1
30	508	S. Anna via vecchi pardini	3.17	6.38	2.19	0.94			A1
31	509	S. Anna Via Matteotti	3.29	6	3	0.69			A1
32	510	S. Anna Via Pistelloni	3.57	0.83	2.66	9.2			A1
33	511	S. Anna V.le Einaudi	3.27	7.31	2.23	0.73			B1
34	512	S. Anna V.le Luporini	2.55	7.97	2	0.78			B1
35	513	S. Donato via s. donato	4.17	1.3	2.6	4			B1
36	514	S. Donato via s. donato	2.99	4.69	2.18	1.22			B1
37	515	S. Donato Via Villa Alfieri	4.11	1.25	3.05	4.03			A1
38	516	Ponteletto Via per Vicoipelago	4.15	1.25	2	2.8			A1
39	517	Vicoipelago cimitero	3.2	1.72					A1
40	518	Zoppino Via per Pozzuolo	5.06	2.72					A1
41	519	Gattaiola Villa Alfieri	2.71	1.78					B1
42	520	Gattaiola cimitero	4.87	6.06					B1
43	521	Gattaiola Via dei Poncioni	5.6	2.66					B1
44	522	S. Donato Via di Ronco	3.79	1.25	2.32	3.67			A1
45	523	Via S. Donato Corte Bandi	4.65	1.38	2.84	3.66			B1

46	524	Fagnano Via Comuni d'Europa	4.64	2.47					B1
47	525	Montuolo Via Serafini	8.31	2.97					A1
48	526	Montuolo chiesa	4.39	4.81					B1
49	527	Montuolo Via Bozzi	8	2.39					A1
50	528	Fagnano Via Pisana	5.8	1.81	3	3.2			A1
51	529	S. Angelo campo chiesa	3.89	5.5	2.51	1.06			B1
52	530	S. Angelo Corte Bozzi	3.59	4.16	2.7	0.63			A1
53	531	S. Angelo Via Sillori	3.68	4.38	3.28	1.34			B1
54	532	Nave Via Paoletti	3.99	1.41	3.24	3.63			A1
55	533	Nave Via Lippi Bassi	3.16	1.09	2.96	4.38			A1
56	534	S. Anna Palazzaccio	3.74	7.5	2.89	1.25			A1
57	535	S. Anna Via del Poggetto	2.86	0.72	2.15	6.69			A1
58	536	S. Donato Via Corte Belli	4.38	4.88	3.35	0.73			A1
59	537	S. Donato Via Viaccia II	3.42	0.84	3.12	4.22			A1
60	538	Fagnano Via Pisana	5.63	3.88	3.11	1.13			A1
61	539	Ponte S. Pietro Via Sarzanese	5.71	1.94					B1
62	540	S. Macario campo sportivo	5.87	1.56					A1
63	541	S. Maria a Colle scuole elementari	7.13	3.13					A1
64	542	Maggiano chiesa	3.98	3.06					B1
65	543	Maggiano cimitero	4.44	3.28					A1
66	544	Fameta chiesa	2.46	3					B1
67	545	Fameta Via di Chiatri	3.4	2.47					A1
68	546	Maggiano Via Fregionaia	3.08	20					A1
69	547	S. Maria a Colle chiesa	2.28	19.8	2.13	7.58			B1
70	548	S. Maria a Colle Via Torre	8.19	1.92					A1
71	549	Ponte S. Pietro cimitero	5.22	1.44					A1
72	550	Nozzano Via dei Bollori	5.51	1.72					A1
73	551	Nozzano castello	2.13	3.91					B1
74	552	Nozzano Via Bordogna	5.53	5.81					A1
75	553	Balbano Via di Balbano	3.67	4.31					A1
76	554	Mugnano campo sportivo	2.76	4.06	2	1.3			B1
77	555	Sorbano del Vescovo	4.29	5.13	2.91	1.09			B1
78	556	Mugnano Via di Fontanella	2.79	5.63	2.38	1.25			A1
79	557	Mugnano Via di Mugnano	2.54	9.25	2.42	1.22			A1
80	558	S. Filippo parco giochi	2.42	4.84	2.22	1.56			A1
81	559	S. Filippo iti	2.74	1.66	2	6.5			A1
82	560	Mugnano	4.26	4.63					B1
83	561	S. Filippo Via Martini	3.14	0.69	2.2	6.72	2.2	1.2	B1
84	562	Arancio	3.03	8.06	2.82	0.63	2.55	1.38	A1
85	563	S. Marco H campo di marte	2.5	0.59	2.25	14.84			A1
86	564	S. Marco V.le Marconi	2.44	1.53	2.26	0.78			A1
87	565	S. Marco Via Tito Strocchi	2.38	2.11					B1
88	566	S. Filippo Via Macelli	2.58	0.77	2.16	1.2			B1
89	567	Arancio cimitero	2.07	5.75	2.02	1.5			A1
90	568	Antraccoli Via Paladini	3.55	9.06	2.17	1.56			A1
91	569	Antraccoli scuola	2.23	16.25	2.03	1.34			B1
92	570	Antraccoli chiesa	2.53	16.88	2.04	1.47			B1
93	571	Antraccoli Via del Cantone	2.7	15.28					A1
94	572	Picciorana Via dei Lombardi	2.17	1.94					A1
95	573	Picciorana Via di Picciorana	NP	-					A2
96	574	Tempagnano Via di Tempagnano	NP	-					B2
97	575	P.le S. Donato	2.66	0.78					B1
98	576	Giardino osservanti	2.95	0.72	2.6	1.25			B1
99	577	Via Bacchettoni	2.66	0.75	2.23	1.09			B1
100	578	Via Buiamonti	2.08	1.66					A1
101	579	S. Marco Vaa Jacopo d Quercia	2.84	5.31					B1
102	580	S. Marco Via Lucio Papa III	2.95	4.11	2.9	10			B1
103	581	S. Marco Via Acquacalda	3.76	15.19	2.2	1.95			A1
104	582	SS Annunziata chiesa	NP	-					B2
105	583	S. Vito al tondo	2.19	1.33			2.48	0.63	B1
106	584	S. Vito cimitero	3.18	6.17			3.1	0.61	A1
107	585	SS. Annunziata	3.7	4.19					A1
108	586	S. Pietro a Vico Via dei Marzi	3.55	5.81					B1
109	587	S. Pietro a Vico Via Ville	2.67	2.03					B1
110	588	S. Pietro a Vico Via del Ponte	3.13	15	2.18	1.5			B1
111	589	S. Pietro a Vico laghetto	3.39	6.25					A1
112	590	M. S. Quirico chiesa	2.42	3.5					B1
113	591	M. S. Quirico Tre Cancelli	11.28	3.67					B1
114	592	M. S. Quirico Via Querce	5.15	3.38	4	1.9			B1
115	593	S. Marco Via Tagliate	2.29	3.44	2	1.6	2	0.72	A1

116	594	M. S. Quirico peep	4.79	7.19					A1
117	595	S. Alessio Vigna Ilaria	NP	-					B2
118	596	S. Alessio	3.37	1.94	2.9	3.4			A1
119	597	Cappella Via per Camaiole	9.16	6.56					B1
120	598	M. S. Quirico Via delle Maulina	NP	-					B2
121	599	Saltocchio Campo Sèprivo	7.23	7.19	3.5	19			B1
122	600	Ponte a Moriano via Volpi	6.16	6.16					A1
123	601	Ponte a Moriano sp 20	2.6	5.28	2.5	10			B1
124	602	Piaggione chiesa	8.89	7.66					A1
125	603	Ponte a Moriano Via Fambrini	5.77	11.19					B1
126	604	S. Maria del Giudice Catro	3.73	2.66					A1
127	605	S. Maria del Giudice cima al mont	NP	-					A2
128	606	S. Maria del Giudice ss 12	3.28	4.69					A1
129	607	S. Maria del giudice la quercia	NP	-					A2
130	608	S. Maria del giudice parco giochi	3	3.28	2.15	1.8	2	20	A1
131	609	S. Lorenzo Vaccoli Via Vaccoli	2.72	2.5					A1
132	610	S. Maria del Giudice ss 12 tr. III	2.25	5.31					A1
133	611	S. Lorenzo a Vaccoli V. S. Maria	4.51	4					A1
134	612	Massa Pisana Via Colletto	2.97	2.16					A1
135	613	Vicopelago cimitero	4.12	1.75					A1
136	614	Cerasomma ss 12	6.02	2.03					B1
137	615	Balbano alla croce	NP	-					B2
138	616	Ponte Maddalena sp 1	2.66	10.28	2.5	7			A1
139	617	Piaggione Cava Audero	15.83	7.3					B1
140	618	Sesto Moriano Via Lodovica	3.43	3.75					B1
141	619	Saltocchio Via della Croce	6.59	8.38					A1
142	620	Monte S. Quirico nuovo ponte	3.38	3.13	2.9	10			B1
143	621	Arancio Via Cadorna	3.32	10.31	2.4	1.47			B1
144	622	S. Vito Via Comacchie	NP	-					B2
145	623	S. Marco Via Bichi	3	11.88	2.61	3.69			A1
146	624	S. Michele in Escheto	4.96	2.47					A1
147	625	Lucca Parcheggio Carducci	2.1	4.53	2	1.09			B1
148	626	S. Quirico Moriano Corte Cioni	3.5	4.25					B1
149	627	S. Concordio inizio viale	2.93	5.63	2.85	1.1	2.59	0.78	A1
150	628	S. Anna liceo scientifico	2	8			2.22	0.94	A1
151	693	itis fermi S. Filippo	2.4	1.84					A1
152	694	itis fermi S. Filippo	2.63	7.56					B1
153	695	ist. Arte p.zza napoleone	4.36	0.75					B1
154	696	liceo passaglia v. fillungo	2.66	1.38					B1
155	697	liceo passaglia v. fillungo	2.72	1.41					B1
156	698	Liceo Classico machiavelli	3.12	1.34	2.3	9.8	2.1	0.6	B1
157	699	Liceo Classico machiavelli	2.51	1.31	2.1	0.6			B1
158	700	Chiesa S. Maria forisportam	3.04	0.69	2.7	1.2	2	7.8	B1
159	701	Chiesa S. Maria forisportam	2.54	1.19			0	0	B1
160	702	Chiesa S. Maria forisportam	2.55	1.13	2.3	0.85	2.1	8.2	B1
161	712	Pontetetto	4.9	0.7	2.9	4.34			B1
162	713	Pontetetto	4.8	0.7	2.41	4.34			B1
163	714	Monte S. Quirico	NP	-					B2
164	715	Monte S. Quirico	8.84	5.31					B1
165	716	Monte S. Quirico	5.85	5.05					B1
166	717	S. Angelo	7.26	2.19					B1
167	718	S. Angelo	7.94	2.5					A1
168	719	S. Pietro a Vico	2.3	20					B1
169	720	S. Pietro a Vico	NP	-					B2
170	721	S. Alessio	4.54	13.44					B1
171	722	S. Alessio	2.4	4.8	2.3	4.8			B1
172	723	Park tagliate	3.1	1					B1
173	724	Piazza di Brancoli	3.91	4.91	3.85	5.5			B1
174	725	Piazza di Brancoli	NP	-					B2
175	726	Piaggione	2.49	6.56					B1
176	727	Piaggione	2.9	10					B1
177	728	Arsina	4	3.66					B1
178	729	S. Concordio	3.24	4.97	3	0.85			A1
179	730	S. Concordio	3.03	5.63	2.6	0.83			B1
180	731	Sorbano	4.2	1					A1
181	732	Sorbano	4.42	1.03					A1
182	733	Sorbano	4.33	0.91					A1
183	734	Sorbano	5.14	0.89					A1
184	735	Sorbano	4.41	0.89					A1
185	736	Sorbano	4.93	1.02	2.05	6.9			B1

186	737	Sorbano	4.9	1	2.5	6			B1
187	703	itc carrara	2.35	1.85					A1
188	704	itc carrara	2.33	1.75					A1
189	705	itc carrara	2.47	1.69	2.1	0.75			A1
190	706	itc carrara	2.4	1.56	2.25	0.78			A1
191	707	itc carrara	2.53	1.56	0.76	2.05			A1
192	708	itc carrara	2.47	1.44					A1
193	738	Casa del boia	2.64	1.31	2.1	0.8			A1
194	739	Via tiro a segno	3.26	1.16	3.15	0.5	2.1	7	B1
195	740	Via tiro a segno	2.85	1.19	2.7	0.6	2	7	B1
196	741	V.le del Prete	2.43	12.09					B1
197	742	S. Marco	2.4	6.5					B1
198	743	S. Marco	2.35	10.53					B1
199	638	Saltoocchio	2.51	5.94	2	8			B1
200	639	S. Pancrazio	2.13	0.84					A1
201	640	S. Cassiano di Moriano	5.06	12.19	2.6	2.7			B1
202	641	S. Cassiano di Moriano	3.6	15	3.4	1.63			B1
203	642	S. Cassiano di Moriano	3.03	11.13	2.3	2.25			B1
204	643	S. Cassiano di Moriano	2.87	15.25					A1
205	644	S. Quirico di Moriano	2.86	12.63	1.98	0.8			A1
206	645	S. Quirico di Moriano	2.49	1.56					B1
207	646	S. Quirico di Moriano	3.03	15					B1
208	647	S. Quirico di Moriano	2.98	1.66					A1
209	648	Monte S. Quirico	6.17	2.38	3.58	8.94			B1
210	649	Monte S. Quirico	5.94	2.25	16.4	2.83			B1
211	650	Monte S. Quirico	9.77	3.3	7.5	2.1	2.4	10.7	B1
212	651	Monte S. Quirico	5.79	6.75					A1
213	652	Monte S. Quirico	3.49	12.72	3	2.8			B1
214	653	Monte S. Quirico	4.23	7.19					B1
215	654	S. Marco	3.1	1.78	2.61	13.1			B1
216	655	S. Marco	2.86	4.63					A1
217	656	S. Marco	4.67	6.13					A1
218	657	Monte S. Quirico	2.68	1.78					B1
219	658	S. Alessio	4.53	6.22					A1
220	659	S. Alessio	4.72	4.88					A1
221	660	S. Alessio	4.53	2.44	3	5.5			A1
222	661	S. Alessio	3.41	2.25	2.8	8.2			A1
223	662	Carignano	2.2	20					B1
224	663	Carignano	2.07	2.03					A1
225	665	Carignano	3.23	3.56					A1
226	664	Nave	4.86	2.31					A1
227	666	Montuolo	7.04	2.5					A1
228	667	Montuolo	8.44	2.34					A1
229	668	Montuolo	8.48	2.72					A1
230	669	Montuolo	4.83	2.5					A1
231	670	S. Maria a Colle	3.45	7.06					A1
232	671	S. Maria a colle	8.42	2.09					B1
233	672	Maggiano	5.52	3.34					B1
234	673	Maggiano	5.76	2.72					B1
235	674	Maggiano	5.8	3.25					A1
236	675	Arlano	4.39	4.16					B1
237	676	Farneta	3.13	3.69					B1
238	677	Farneta	3.39	1.53					B1
239	678	Farneta	5.39	1.38					B1
240	679	Farneta	2.96	3.56					A1
241	680	S. Macario in piano	4.19	4.31					A1
242	681	S. Macario in piano	2.5	20					B1
243	682	S. Maria a Colle	5.85	2.06					A1
244	683	Nozzano castello	8.9	1.88					A1
245	684	Nozzano S. Pietro	5.17	3.09	2.02	15.63			A1
246	685	Nozzano castello	9.71	1.84					A1
247	686	Nozzano castello	7	1.75					A1
248	687	Castiglione	7.39	2.31					A1
249	688	Balbano	5.36	2.09					B1
250	689	Nozzano castello	3.43	1.53					B1
251	690	S. Lorenzo a Vaccoli	2.74	3.19					B1
252	691	S. Lorenzo a Vaccoli	4.54	3.03	4.1	4.5	2.3	18	A1
253	692	S. Lorenzo a Vaccoli	4.19	2.19	2.1	1.5			B1
254	629	S. Maria a Colle T. Contesora	2.7	3.8	2.4	1.8			B1
255	630	S. Alessio Via delle Piagge	5.1	3.06					B1
256	631	S. Michele in escheto	4.9	1.2					A1
257	632	Carignano ex ospedale	NP	-					B2
258	633	Carignano ex ospedale	2.5	10					B1
259	634	Mugnano	3.5	0.72					B1
260	635	Mugnano	3.4	0.72	2.2	5.5			B1
261	636	S. Gemignano	6.3	9					B1
262	637	Ponte a Moriano scuola media	4	6.13	3.5	9.5			B1
263	745	Acquedotto Nottolini	1.1	4	2.05	16	1.95	5	A1

Le curve H/V ottenute sono attribuibili in parte alla classe A (134, corrispondenti al 51% circa del totale) e in parte alla classe B (129) secondo la classificazione di Albarello et alii (2011) e Albarello e Castellaro (2011).

Tutte le curve che ricadono in classe B sono coerenti con le curve delle misure circostanti e in ragionevole accordo con i dati stratigrafici di sottosuolo disponibili. Anche le curve classificate in classe B, quindi, esprimono in maniera affidabile le frequenze di risonanza del sottosuolo.

In relazione alla definizione delle Classi di pericolosità sismica di cui al par. 2.5., si riporta di seguito un estratto delle misure caratterizzate da frequenza fondamentale di vibrazione < 1.0 Hz:

COMUNE DI LUCCA									
Numero Misura		Località di rilevamento	Picchi						Classe
			Picco di maggiore /		Altri picchi				
ID campagna	ID database		Ampiezza	Freq (Hz)	Ampiezza	Freq (Hz)	Ampiezza	Freq (Hz)	
85	563	S. Marco H campo di marte	2.5	0.59	2.25	14.84			A1
7	485	Piazza Cittadella	4.64	0.66	2	8			A1
16	494	Via Gardenie	6.43	0.69	2.48	4.77			A1
26	504	S. Anna Corte Venuti	3.23	0.69	3	10			A1
83	561	S. Filippo Via Martini	3.14	0.69	2.2	6.72	2.2	1.2	B1
158	700	Chiesa S. Maria forisportam	3.04	0.69	2.7	1.2	2	7.8	B1
161	712	Pontetetto	4.9	0.7	2.9	4.34			B1
162	713	Pontetetto	4.8	0.7	2.41	4.34			B1
57	535	S. Anna Via del Poggetto	2.86	0.72	2.15	6.69			A1
98	576	Giardino osservanti	2.95	0.72	2.6	1.25			B1
259	634	Mugnano	3.5	0.72					B1
260	635	Mugnano	3.4	0.72	2.2	5.5			B1
6	484	Palazzo Orsetti	3.51	0.73	2	8.13			A1
99	577	Via Bacchettoni	2.66	0.75	2.23	1.09			B1
153	695	ist. Arte p.zza napoleone	4.36	0.75					B1
88	566	S. Filippo Via Macelli	2.58	0.77	2.16	1.2			B1
10	488	Via Nazario Sauro	4.87	0.78	2.2	6			B1
11	489	Via Carrara	3.48	0.78					A1
20	498	Via Gardenie	3.08	0.78	2	4.8			B1
28	506	S. Anna Via Togliatti	2.48	0.78	2.09	9.13			B1
97	575	P.le S. Donato	2.66	0.78					B1
9	487	Via del Tempietto	4.94	0.81					A1
18	496	Pontetetto chiesa	2.54	0.81	2	5.16			B1
32	510	S. Anna Via Pistelloni	3.57	0.83	2.66	9.2			A1
59	537	S. Donato Via Viaccia II	3.42	0.84	3.12	4.22			A1
200	639	S. Pancrazio	2.13	0.84					A1
21	499	Via Bandettini	2.53	0.88	2.29	4.53			A1
8	486	Via Nottolini	4.21	0.89	2	7.09			A1
183	734	Sorbano	5.14	0.89					A1
184	735	Sorbano	4.41	0.89					A1
182	733	Sorbano	4.33	0.91					A1
13	491	San Concordio campo sportivo	3.56	0.92					B1
1	479	P.zza Arcivescovato	2.15	0.94	2.09	7.19			A1

4.5. Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2

Le indagini integrative effettuate hanno complessivamente confermato il modello geologico generale, le sezioni litotecniche e la suddivisione in Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica effettuata nelle indagini di Livello 1, anche se i più recenti Standard di rappresentazione hanno reso necessaria, come già detto, la revisione della Carta MOPS delle relative colonnine stratigrafiche e delle sezioni geologico-tecniche.

Si è quindi proceduto ad assegnare alle varie Zone MOPS, individuate in fase di MS di Livello 1, i valori dei Fattori di Amplificazione per periodi compresi tra 0.1-0.5 s ($FHa_{0.1-0.5}$) e 0.5-1 s ($FHa_{0.5-1}$) secondo le procedure indicate nella relazione esplicativa sull'utilizzo degli Abachi Regionali (DSFTA – Unisi 2013).

I fattori di amplificazione FHa vengono calcolati, per ogni verticale, sulla base degli appositi abachi predisposti dalla Regione Toscana, a partire dalla misura della velocità delle onde di taglio (V_{s30} o V_{sh} , se il substrato è a meno di 30 metri di profondità) e dalla frequenza fondamentale di risonanza dei depositi (f_0).

La scelta degli abachi più idonei al Comune sottoposto ad analisi di microzonazione sismica di Livello 2 è vincolata dai seguenti fattori:

- 1) Macroarea di appartenenza del Comune. Il territorio della Regione Toscana è stato suddiviso in 5 macroaree: Toscana appenninica, Amiata, Toscana interna, Toscana costiera e area di transizione. (v. figura pag. 4)
- 2) Valore di accelerazione di base per un tempo di ritorno di 475 anni (a_g 475 anni), con riferimento alla griglia di valori della *Mappa di Pericolosità sismica (INGV 2004)*.
- 3) Profondità del substrato sismico (maggiore o minore di 30 metri) per ogni sito scelto per la valutazione dei fattori di amplificazione FHa , sulla base dei dati di sottosuolo diretti e indiretti disponibili. Ciò consentirà di scegliere l'abaco più idoneo al profilo sismostratigrafico della verticale di analisi.

Il Comune di Lucca si trova nella *macroarea di transizione* ed è caratterizzato da valori di a_g ($TR=475$ anni) inferiori a 0,150 g. Nel territorio comunale il *substrato sismico* giace sia a profondità superiore ai 30 metri (piana di Lucca) sia a profondità inferiori ai 30 metri (aree collinari e montane che delimitano la piana).

Ne consegue che gli abachi da applicare per il calcolo dei fattori di amplificazione $FHa_{0.1-0.5}$ e $FHa_{0.5-1}$ sono i seguenti:

Area di transizione (substrato geologico ≤ 30 m)

Valore di ag (TR=475 anni) < 0.15g

0.1 - 0.5 s

VsH (m/s) f0 (Hz)	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
<200	1.1	1.5	1.9	2.5	2.1	2.1	2.0	2.0	1.5	1.9
300	0.7	1.3	1.8	2.1	2.0	1.8	1.8	1.7	1.5	1.8
500			1.5	1.7	1.7	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4
700					1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
≥800										

0.5 - 1 s

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

Popolosità celle

VsH (m/s) f0 (Hz)	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
<200	10	157	80	34	25	17	13	4	80
300	5	154	470	392	259	203	134	98	560
500			16	55	94	97	94	49	785
700					31	53	61	55	283
≥800									

Classi

frequenza (Hz)	f0 < 1
	1.5 1 ≤ f0 < 2
	2.5 2 ≤ f0 < 3
	3.5 3 ≤ f0 < 4
	4.5 4 ≤ f0 < 5
	5.5 5 ≤ f0 < 6
	6.5 6 ≤ f0 < 7
velocità (m/s)	7.5 7 ≤ f0 < 8
	≥ 8
	Vs < 200
	300 200 ≤ Vs < 400
	500 400 ≤ Vs < 600
700 600 ≤ Vs < 800	
≥ 800	

Area di transizione (substrato geologico > 30 m)

Valore di a_g (TR=475 anni) < 0.15g

0.1 - 0.5 s

V_{s30} (m/s) f_0 (Hz)	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
<200	1.0	1.3	2.0							1.2
300	1.1	1.4	1.7	1.8	1.7	1.7	2.0	2.0	1.8	1.4
500	1.1	1.3	1.5	1.7	1.6	1.5	1.5	1.7	1.6	1.4
700	0.9	1.1	1.3	1.5	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2
≥800	1.0	1.0	1.0					1.2	1.1	1.0

0.5 - 1 s

V_{s30} (m/s) f_0 (Hz)	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
<200	1.8	2.2	2.3							2.1
300	1.4	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.6	1.6	1.8	1.8
500	1.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.6	1.5
700	1.1	1.3	1.4	1.3	1.2	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2
≥800	1.1	1.2	1.2					1.0	1.0	1.1

Popolosità celle

V_{s30} (m/s) f_0 (Hz)	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
<200	118	63	1						
300	1436	1358	498	159	57	7	9	19	90
500	1077	654	528	309	146	139	55	49	347
700	278	145	75	43	28	20	11	21	142
≥800	78	61	15					1	13

Classi	
frequenza (Hz)	$f_0 < 1$
	1.5 $1 \leq f_0 < 2$
	2.5 $2 \leq f_0 < 3$
	3.5 $3 \leq f_0 < 4$
	4.5 $4 \leq f_0 < 5$
	5.5 $5 \leq f_0 < 6$
	6.5 $6 \leq f_0 < 7$
7.5 $7 \leq f_0 < 8$	
	≥ 8
velocità (m/s)	$V_s < 200$
	300 $200 \leq V_s < 400$
	500 $400 \leq V_s < 600$
	700 $600 \leq V_s < 800$
	≥ 800

Una volta individuati gli abachi da utilizzare si è proceduto al calcolo dei fattori di amplificazione su tutte le verticali (263) corrispondenti alle misure di microtremore a stazione singola HVSR. E' stato così possibile avere a disposizione diversi valori di amplificazione su ogni *Microzona Omogenea in Prospettiva Sismica* che hanno consentito di trasformare ogni *MOPS* in una o più microzone sismiche di Livello 2. Per ogni verticale sono stati calcolati i fattori di amplificazione di Housner FH_a 0.1-0.5 e

FHa 0.5-1. Dall'interpolazione dei dati relativi ai fattori di amplificazione calcolati sono nate tre sintesi cartografiche: *Carta di microzonazione sismica di livello II - FHa 0.1-0.5 s* (Elaborato QG 07a); *Carta di microzonazione sismica di livello II - FHa 0.5-1.0 s* (Elaborato QG 07b); *Carta di microzonazione sismica di livello II - FHa max* (Elaborato QG 07c), quest'ultima derivante dall'incrocio delle due carte precedenti.

Sono state complessivamente distinte 13 microzone di Livello 2 (Mz2): una microzona per le zone stabili (A), 6 per le zone stabili suscettibili di amplificazione locale (B-G) e 6 per le aree instabili per frana (H-M). Le 13 Mz2, con i fattori di amplificazione attribuiti ad ognuna di esse, sono riportate nel quadro seguente.

Zone stabili		Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali		Zone di attenzione per instabilità di versante – ZAFr	
A	FA = 1	B	FA = 1,1 - 1,2	H	FA = 1,1 - 1,2
		C	FA = 1,3 - 1,4	I	FA = 1,3 - 1,4
		D	FA = 1,5 - 1,6	J	FA = 1,5 - 1,6
		E	FA = 1,7 - 1,8	K	FA = 1,7 - 1,8
		F	FA = 1,9 - 2,0	L	FA = 1,9 - 2,0
		G	FA = 2,1 - 2,2	M	FA = 2,1 - 2,2

Attribuzione dei valori dei fattori di amplificazione e microzone di Livello 2

In questo paragrafo, per ogni zona di Livello 1, vengono sintetizzati in forma tabellare e commentati i dati di base utilizzati ed i conseguenti fattori di amplificazione calcolati. Ogni tabella riporta nella parte sinistra (“indagini sismiche”) i dati sismici usati per il calcolo dei fattori di amplificazione e nella parte destra (“abachi”) i valori calcolati, utilizzando gli abachi regionali, delle frequenze fondamentali f_0 , delle velocità V_{s30} o V_{sH} e dei due fattori di amplificazione per ogni verticale di misura. Le ultime tre colonne a destra, infine, riportano, per ognuna delle tre carte di microzonazione di Livello 2 prodotte, le Mz2 distinte all'interno di ogni zona di Livello 1.

4.5.1. Criteri generali adottati

Ai fini dell'attribuzione dei fattori di amplificazione (FA) sono stati inoltre adottati i seguenti criteri:

- 1) Nella fase di interpolazione dei dati che ha portato alla definizione delle microzone sismiche di Livello 2, soprattutto nell'area della piana di Lucca, singole verticali che restituivano valori di FA più bassi rispetto a quelli delle verticali circostanti sono state incluse, per motivi di cautela, nella Mz2 spettante a queste ultime.

- 2) Nelle MOPS con poche misure HVSR, la scelta dei FA da attribuire a tali aree è stata guidata da considerazioni sul contesto geologico-stratigrafico, sugli spessori stimati delle unità geologico-tecniche e sul confronto con le aree in cui sono presenti misure di microtremore. Nei casi in cui le informazioni disponibili non sono state sufficienti ad arrivare ad una ragionevole conclusione, le aree prive di misure sono state cautelativamente attribuite alla Mz2 con FA più alto della stessa MOPS.
- 3) La scelta dei fattori di amplificazione da attribuire alle MOPS in cui non sono disponibili misure HVSR (ad esempio MOPS Z6) è stata guidata da considerazioni sulle zone vicine, caratterizzate da stratigrafie simili. Nella maggior parte dei casi il FA calcolato con “fo” corrispondente al 75° percentile si è dimostrato ragionevolmente accettabile.
- 4) Per la stima dei valori di VsH da utilizzare per il calcolo dei FA sono stati utilizzati per diverse MOPS indagini provenienti da database privati, i cui dati non sono riportati in questo lavoro perché protetti da vincoli di riservatezza.
- 5) Nella pianura di Lucca diversi sono i casi in cui accanto a misure con curve H/V piate, a sole poche decine di metri di distanza, ci sono misure che restituiscono curve H/V caratterizzate da decisi picchi di risonanza del sottosuolo. Inoltre, le numerose misure effettuate nella piana indicano che l'assenza di risonanza all'interno di questi depositi alluvionali è rara e decisamente circoscritta. Per questi motivi il FA attribuito alle verticali caratterizzate da misure con curve H/V prive di picchi di risonanza è stato adeguato al FA delle misure circostanti; nella maggior dei casi il FA calcolato con fo corrispondente al 75° percentile si è dimostrato ragionevolmente coerente con il contesto.

4.5.2. Zone stabili non suscettibili di amplificazione stratigrafica (Z1-Z4)

Le MOPS da Z1 a Z4 sono costituite da roccia affiorante o sub-affiorante, con caratteristiche di substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/sec) e con una copertura di alterazione dello spessore massimo di 3 metri. Le quattro zone differiscono dal punto di vista geologico-tecnico per la natura del substrato: substrato lapideo massiccio-LP (zona Z1), lapideo stratificato-LPS (Z2), alternanza di litotipi stratificati-APS (Z3), alternanza di litotipi-AP (Z4).

Queste zone sono prive di amplificazione stratigrafica e pertanto sono state tutte incluse nella microzona di secondo livello A (FA=1).

Futuri approfondimenti di indagine finalizzati alla progettazione di opere dovranno prevedere per queste aree anche una valutazione del contributo al fattore di amplificazione dovuto alla topografia di superficie nei casi di versanti con acclività superiore ai 15°, casi comunque molto rari nell'area studiata in questo lavoro.

4.5.3. Zone stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica (Z6-Z22)

Le zone MOPS Z8, Z9, Z14, Z17, corrispondenti a tratti dell'alveo del Fiume Serchio, e la zona Z22, la cui stratigrafia differisce dalle zone che la includono esclusivamente per la presenza di esigui spessori di materiali di riporto (1-3 metri), ai fini della zonazione di 2° livello sono state considerate come le zone di 1° livello che le contengono poiché, rispetto ad esse, non presentano differenze sismostratigrafiche tali da produrre fattori di amplificazione significativamente diversi.

4.5.4. Zone stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica - Substrato ≤ 30 m (Z5-Z16)

Zona Z5 e Z6

Queste due zone, costituite da lembi discontinui ubicati prevalentemente nella parte settentrionale del territorio comunale studiato, non includono indagini sismiche, ad eccezione di due misure di microtremore effettuate sulla Z5 (Tr117 e Tr120) che restituiscono entrambe curve H/V piatte, prive cioè di picchi di risonanza del sottosuolo. Per l'attribuzione dei fattori di amplificazione ai vari lembi di queste due zone sono stati utilizzati i criteri riportati precedentemente, in particolare quelli descritti ai punti 2, 3 e 4.

La zona Z5 e la zona Z6 sono state entrambe attribuite alla Mz2 C, per FHa(0.1-0.5s) e alla Mz2 B, (per FHa(0.5-1.0s).

Zona Z7

La zona Z7 include 13 misure di microtremore a stazione singola, 4 linee di sismica a rifrazione e due indagini in foro di sondaggio tipo downhole. Le VsH misurate all'interno di questa zona variano da 345 a 580 m/sec. Per il calcolo dei fattori di amplificazione abbiamo scelto, per motivi di cautela, di utilizzare la classe di VsH=300 m/sec per la maggior parte delle aree in cui è presente la Z7, limitando l'utilizzo della classe superiore (500 m/sec) solo alle aree in cui sono stati misurati in campagna valori di VsH decisamente superiori ai 400 m/sec (SR 14 e SR15, v. tabella sottostante).

Al suo interno sono state distinte 2 Mz2 per FHa(0.1-0.5s) 3 Mz2 per FHa(0.5-1.0s) (v. tabella).

Zona Z7 (substrato ≤30 m)										ZONE LIVELLO 2			
INDAGINI SISMICHE					ABACHI					FHa 0.1-0.5s	FHa 0.5-1.0s	FHa MAX	
Misure di microtremore			Altre indagini		f ₀ (Hz)	VsH (m/s)	Fattori di amplificazione						
N°	A	f ₀ (Hz)	tipo e N°	VsH					FHa 0.1-0.5 s	FHa 0.5- 1 s	FHa MAX		
Tr122/600	6	6.16	SR32 DH244 MW48 MW57	412 402 363 406 345	6.5	300	1.8	1.2	1.8	D	B	D	
Tr125/603	5.77	11.19			>8		1.5	1.1	1.5				
Tr141/619	6.59	8.38			>8		1.5	1.1	1.5				
Tr261/636	6.3	9			>8		1.5	1.1	1.5				
Tr121/599	7.23	7.19			7.5		1.7	1.1	1.7				
Tr123/601	2.6	5.3			5.5		1.8	1.2	1.8	E		E	
Tr124/602	8.98	7.66			7.5		1.7	1.1	1.7				
Tr199/638	2.51	5.94			5.5		1.8	1.2	1.8				
Tr262/637	4	6.13			6.5		1.8	1.2	1.8				
Tr040/518	5.06	2.72			2.5		1.8	1.9	1.9				
Tr132/610	2.25	5.31			5.5		1.8	1.2	1.8				E
Tr133/611	4.51	4			4.5	500	1.7	1.2	1.7	B	E		
Tr146/624	4.96	2.47	SR14 SR15	580 529	2.5		1.5	1.4	1.5			C	

SR= Sismica a rifrazione; MW=MASW; E=Esac; DH=Downhole.
SR*= linea sismica ubicata in parte in un'altra zona adiacente.
Note: la numerazione delle indagini sismiche è quella riportata nella Carta delle indagini; per le misure di microtremore (prima colonna) è stata anche riportata la numerazione di campagna preceduta dalla sigla Tr.

Zona Z10

La zona Z10 include 6 misure di microtremore a stazione singola, e una linea di sismica a rifrazione. Per la valutazione delle VsH, oltre ai valori misurati lungo la linea sismica riportata, sono state utilizzate anche altre indagini sismiche private (qui non mostrate perché coperte da vincoli di segretezza; v. punto 4 del § “criteri generali adottati”) che restituiscono valori di VsH compresi tra 200 e 400 m/sec.

La zona Z10 è stata suddivisa, in base ai valori dei fattori di amplificazione calcolati attraverso gli abachi regionali, in 3 Mz2 per FHa0.1-0.5 (E, F, G) e 4 Mz2 per FHa0.5-1.0 (B, C, D, F).

Zona Z10 (substrato ≤30 m)										ZONE LIVELLO 2		
INDAGINI SISMICHE					ABACHI					FHa 0.1-0.5s	FHa 0.5-1.0s	FHa MAX
Misure di microtremore			Altre indagini		f ₀ (Hz)	VsH (m/s)	Fattori di amplificazione					
N°	A	f ₀ (Hz)	tipo e N°	VsH			FHa 0.1-0.5 s	FHa 0.5- 1 s	FHa MAX			
Tr042/520	4.87	6.06	SR13	344	6.5	300	1.8	1.2	1.8	E	B	E
Tr075/553	3.67	4.3			4.5		2.0	1.3	2.0	F	C	F
Tr128/606	3.28	4.69			4.5		2.0	1.3	2.0			
Tr126/604	3.73	2.66			2.5		1.8	1.9	1.8			
Tr129/607	-	NP			75° perc		1.8	1.6	1.8	E	D	E
Tr130/608	3.00	3.28			3.5		2.1	1.6	2.1	G		

SR= Sismica a rifrazione; MW=MASW; E=Esac; DH=Downhole.
SR*= linea sismica ubicata in parte in un'altra zona adiacente.

Note: 1) la numerazione delle indagini sismiche è quella riportata nella Carta delle indagini; per le misure di microtremore (prima colonna) è stata anche riportata la numerazione di campagna preceduta dalla sigla Tr; 2) La valutazione delle Vs30 è basata anche su altri dati, qui non riportati perché protetti da vincoli di riservatezza (v. testo).

Zona Z11

La zona Z11 comprende 8 misure di microtremore a stazione singola e due linee di sismica a rifrazione lungo le quali sono stati misurati valori di VsH di 501 m/sec (SR 8) e 257 m/sec. Anche in questa zona, per la valutazione delle VsH, oltre ai valori misurati lungo le due linee sismiche riportate, sono state utilizzate anche altre indagini sismiche private, qui non mostrate (v. punto 4 del § “criteri generali adottati”).

La zona Z11 è stata suddivisa, in base ai valori dei fattori di amplificazione calcolati attraverso gli abachi regionali, in 4 Mz2, 2 per FHa0.1-0.5 (C, E) e 2 per FHa0.5-1.0 (B, F). Tutti i dati sono sintetizzati nella tabella sottostante.

Zona Z11 (substrato ≤30 m)								ZONE LIVELLO 2				
INDAGINI SISMICHE					ABACHI					FHa 0.1-0.5s	FHa 0.5-1.0s	FHa MAX
Misure di microtremore		Altre indagini			f ₀ (Hz)	VsH (m/s)	Fattori di amplificazione					
N°	A	f ₀ (Hz)	tipo e N°	VsH			FHa 0.1-0.5 s	FHa 0.5- 1 s	FHa MAX			
Tr201/640	5.06	12.19	SR9	501	>8	500	1.3	1.1	1.3	C	B	C
Tr203/642	3.03	11.13			>8		1.3	1.1	1.3			
Tr211/650	7.8	2.2	SR22	257	2.5	300	1.8	1.9	1.9	E	F	F
Tr213/652	3.0	2.8			2.5		1.8	1.9	1.9			
Tr212/651	5.79	6.75			6.5		1.8	1.2	1.8			
Tr164/715	8.84	5.31			5.5		1.8	1.2	1.8			
Tr165/716	5.85	5.05			5.5		1.8	1.2	1.8		B	E
Tr119/597	9.16	6.56			6.5		1.8	1.2	1.8			

SR= Sismica a rifrazione; MW=MASW; E=Esac; DH=Downhole.
SR*= linea sismica ubicata in parte in un'altra zona adiacente.
Note: 1) la numerazione delle indagini sismiche è quella riportata nella Carta delle indagini; per le misure di microtremore (prima colonna) è stata anche riportata la numerazione di campagna preceduta dalla sigla Tr; 2) La valutazione delle Vs30 è basata anche su altri dati, qui non riportati perchè protetti da vincoli di riservatezza (v. testo).

Zona Z12

La zona Z12 include 9 misure di microtremore a stazione singola e due linee di sismica a rifrazione. Queste ultime restituiscono valori di VsH medi di 183 m/sec (SR12) e 450 m/sec (SR450). Considerazioni basate anche su ulteriori dati sismici provenienti da database privati (v. § “criteri generali adottati”) hanno suggerito di adottare la classe VsH= 300 m/sec per il calcolo dei fattori di amplificazione.

La zona Z12 è stata suddivisa, in base ai valori dei fattori di amplificazione calcolati, in 6 Mz2, 3 per FHa0.1-0.5 (E, F, G) e 3 per FHa0.5-1.0 (B, C, D). Tutti i dati sono sintetizzati nella tabella seguente.

Zona Z12 (substrato ≤30 m)								ZONE LIVELLO 2				
INDAGINI SISMICHE				ABACHI					FHa 0.1-0.5s	FHa 0.5-1.0s	FHa MAX	
Misure di microtremore			Altre indagini		f ₀ (Hz)	VsH (m/s)	Fattori di amplificazione					
N°	A	f ₀ (Hz)	tipo e N°	VsH			FHa 0.1-0.5 s	FHa 0.5-1 s	FHa MAX			
Tr64/542	3.98	3.06	SR12 SR16	183 450	3.5	300	2.1	1.6	2.1	G	D	G
Tr65/543	4.44	3.28			3.5		2.1	1.6	2.1			
Tr66/544	2.46	3.0			3.5		2.1	1.6	2.1			
Tr240/679	2.96	3.56			3.5		2.1	1.6	2.1			
Tr114/592	5.15	3.38			3.5		2.1	1.6	2.1			
Tr177/728	4.0	3.66			3.5		2.1	1.6	2.1			
Tr74/552	5.53	5.81			5.5		1.8	1.2	1.8	E	B	E
Tr138/616	2.5	7.0			7.5		1.7	1.1	1.7			
Tr171/722	2.4	4.8			4.5		2.0	1.3	2.0	F	C	F

R= Sismica a rifrazione; MW=MASW; E=Esac; DH=Downhole.

SR*= linea sismica ubicata in parte in un'altra zona adiacente.

Note: 1) la numerazione delle indagini sismiche è quella riportata nella Carta delle indagini; per le misure di microtremore (prima colonna) è stata anche riportata la numerazione di campagna preceduta dalla sigla Tr; 2) La valutazione delle Vs30 è basata anche su altri dati, qui non riportati perchè protetti da vincoli di riservatezza (v. testo).

Zona Z13

La zona Z13, che comprende un unico piccolo lembo a cavallo del Torrente Freddana (località “Ai tre Cancelli”), include solo una misura di microtremore. L’attribuzione del fattore di amplificazione per questa zona è basata anche su dati sismici inediti, in

particolare per la scelta della classe VsH=300 m/sec, utilizzata per il calcolo. La zona è stata attribuita alle Mz2 G (FHa0.1-0.5) e D (FHa0.5-1.0), come mostrato nella tabella seguente.

Zona Z13 (substrato ≤30 m)							ZONE LIVELLO 2			
INDAGINI SISMICHE			ABACHI				FHa 0.1-0.5s	FHa 0.5-1.0s	FHa MAX	
Misure di microtremore			f ₀ (Hz)	VsH (m/s)	Fattori di amplificazione					
N°	A	f ₀ (Hz)					FHa 0.1-0.5 s	FHa 0.5- 1 s	FHa MAX	
Tr113/591	11.28	3.67	3.5	300	2.1	1.6	2.1	G	D	G

SR= Sismica a rifrazione; MW=MASW; E=Esac; DH=Dow nhole.
Note: 1) la numerazione delle indagini sismiche è quella riportata nella Carta delle indagini; per le misure di microtremore (prima colonna) è stata anche riportata la numerazione di campagna preceduta dalla sigla Tr; 2) La valutazione delle Vs30 è basata su dati qui non riportati perchè protetti da vincoli di riservatezza (v. testo).

Zona Z15

La zona Z15 include 19 misure di microtremore a stazione singola, una linea sismica a rifrazione e un'indagine downhole. Le VsH misurate variano da 213 m/sec (DH181) e a 360 m/sec (SR30), valori che rappresentano approssimativamente gli estremi di variabilità di questo parametro all'interno dei depositi della zona.

All'interno della Z15 (v. tabella) sono state distinte 3 Mz2 per FHa(0.1-0.5s) 4 Mz2 per FHa(0.5-1.0s).

Zona Z15 (substrato ≤30 m)							ZONE LIVELLO 2					
INDAGINI SISMICHE				ABACHI				FHa 0.1-0.5s	FHa 0.5-1.0s	FHa MAX		
Misure di microtremore			Altre indagini		f ₀ (Hz)	VsH (m/s)	Fattori di amplificazione					
N°	A	f ₀ (Hz)	tipo e N°	VsH					FHa 0.1-0.5 s	FHa 0.5- 1 s	FHa MAX	
Tr115/893	2.29	3.44	SR30 DH181	213 360	3.5	300	2.1	1.6	2.1	G	D	G
Tr145/623	2.61	3.69			3.5		2.1	1.6	2.1			
Tr216/655	2.86	4.6			4.5		2.0	1.3	2.0			
Tr225/665	3.23	3.56			3.5		2.1	1.6	2.1			
Tr233/672	5.52	3.34			3.5		2.1	1.6	2.1			
Tr235/674	5.8	3.25			3.5		2.1	1.6	2.1			
Tr237/676	3.13	3.69			3.5		2.1	1.6	2.1			
Tr236/675	4.36	4.16			4.5		2.0	1.3	2.0			
Tr048/526	4.39	4.81			4.5		2.0	1.3	2.0	F	C	F
Tr241/680	4.19	4.31			4.5		2.0	1.3	2.0			
Tr242/681	2.5	20			>8		1.5	1.1	1.5			
Tr142/620	2.8	10			>8		1.5	1.1	1.5	E	B	E
Tr217/656	4.67	6.13			6.5		1.8	1.2	1.8			
Tr197/742	2.4	6.5			6.5		1.8	1.2	1.8			
Tr198/743	2.3	10.53			>8		1.5	1.1	1.5			
Tr111/589	3.39	6.25			6.5		1.8	1.2	1.8			
Tr214/653	4.23	7.19			7.5		1.7	1.1	1.7			
Tr227/666	7.04	2.5			2.5		1.8	1.9	1.9		F	F
Tr229/668	8.48	2.72			2.5		1.8	1.9	1.9			

SR= Sismica a rifrazione; MW=MASW; E=Esac; DH=Dow nhole.
SR*= linea sismica ubicata in parte in un'altra zona adiacente.
Nota: la numerazione delle indagini sismiche è quella riportata nella Carta delle indagini; per le misure di microtremore (prima colonna) è stata anche riportatata la numerazione di campagna preceduta dalla sigla Tr.

Zona Z16

La zona Z16 è costituita da pochi lembi di piccola estensione ai margini orientale e settentrionale della piana di Lucca. La zona include tre misure di microtremore che restituiscono massimi nelle relative curve H/V a frequenze comprese tra 2.5 e 7.5 Hz, generati quindi da contrasti di impedenza sismica a profondità abbastanza diverse, in linea con quanto succede nell'adiacente piana di Lucca, dove spesso sono presenti più di un contrasto di impedenza significativo anche lungo la stessa verticale. Anche per

questa zona la valutazione dei fattori di amplificazione è basata su dati sismici inediti relativamente alla classe VsH da utilizzare (300m/sec) nel calcolo dei fattori di amplificazione.

La zona 16 è stata attribuita alle Mz2 E e F (FHa0.1-0.5) e alle Mz2 B, C ed F (FHa0.1-0.5).

Zona Z16 (substrato ≤30 m)							ZONE LIVELLO 2			
INDAGINI SISMICHE			ABACHI				FHa	FHa	FHa	
Misure di microtremore			f ₀ (Hz)	VsH (m/s)	Fattori di amplificazione			0.1-0.5s	0.5-1.0s	MAX
N°	A	f ₀ (Hz)			FHa 0.1-0.5 s	FHa 0.5- 1 s	FHa MAX			
Tr148/626	3.5	4.25	4.5	300	2.0	1.3	2.0	F	C	F
Tr234/673	5.76	2.7	2.5		1.8	1.9	1.9	E	F	
Tr231/670	3.45	7.06	7.5		1.7	1.1	1.7		B	E

SR= Sismica a rifrazione; MV=MASW; E=Esac; DH=Downhole.

Note: 1) la numerazione delle indagini sismiche è quella riportata nella Carta delle indagini; per le misure di microtremore (prima colonna) è stata anche riportata la numerazione di campagna preceduta dalla sigla Tr; 2) La valutazione delle Vs30 è basata su dati qui non riportati perchè protetti da vincoli di riservatezza (v. testo).

4.5.5. Zone stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica-Substrato > 30 m (Z18-Z20)

Queste zone, in particolare le MOPS Z18 e Z19, si estendono sulla quasi totalità della Piana di Lucca, dove sono presenti la maggior degli agglomerati urbani del Comune. La grande mole di dati disponibili in quest'area di pianura ha consentito di individuare le microzone Mz2 con un certo dettaglio, grazie all'interpolazione dei fattori di amplificazione calcolati su verticali di misura molto fitte (174 delle 263 misure di microtremore utilizzate sono ubicate all'interno delle Z18 e Z19).

Zona 18

La zona Z18 include 104 misure di microtremore, 17 linee di sismica a rifrazione, 11 indagini sismiche in foro (downhole) e 1 MASW. I valori di Vs30 calcolati, ad eccezione della parte settentrionale della piana dove sono costantemente intorno o superiori a 450 m/sec (SR1, SR2, SR21 e SR25), variano per la maggior parte della piana tra 236 e 393 m/sec, con soli due valori di poco superiori ai 400 m/sec (S37 e SR40) e una sola misura che restituisce valori al disotto dei 200 m/sec (SR36). Quindi come riferimento della Vs30 per il calcolo dei fattori di Housner è stata scelta la classe 500 m/sec per il settore settentrionale, e la classe 300 m/sec per il resto della zona. Il valore inferiore ai 200 metri al secondo è stato trascurato perché, oltre ad essere molto circoscritto, non contribuisce in maniera significativa all'incremento dei fattori di amplificazione.

La zona è stata suddivisa, in base ai valori dei fattori di amplificazione calcolati, in 5 Mz2 per FHa0.1-0.5 (B, C, D; E, F) e 4 per FHa0.5-1.0 (C, D; E, F). Tutti i dati utilizzati per la microzonazione di Livello 2 della Z18 sono sintetizzati nella tabella seguente.

Zona Z18 (substrato >30 m)										ZONE LIVELLO 2		
INDAGINI SISMICHE					ABACHI					FHa 0.1-0.5s	FHa 0.5-1.0s	FHa MAX
Misure di microtremore			Altre indagini		f ₀ (Hz)	Vs30 (m/s)	Fattori di amplificazione					
N°	A	f ₀ (Hz)	tipo e N°	Vs30 (m/s)					FHa 0.1-0.5 s	FHa 0.5- 1 s	FHa MAX	
Tr202/641	3.6	15	SR1	471	≥8	500	1.6	1.6	1.6	D	D	D
Tr204/643	2.87	15.25			≥8		1.6	1.6	1.6			
Tr205/644	2.86	12.63			≥8		1.6	1.6	1.6			
Tr168/719	2.3	20			≥8		1.6	1.6	1.6			
Tr110/588	3.13	15			≥8		1.6	1.6	1.6			
Tr024/502	3.81	4.69			4.5		1.6	1.5	1.6			
Tr109/587	2.67	2.03			2.5		1.5	1.6	1.6			
Tr215/654	2.6	13.1			≥8		1.6	1.6	1.6			
Tr102/580	2.95	4.11			4.5		1.6	1.5	1.6			
Tr103/581	3.76	15.2			≥8		1.6	1.6	1.6			
Tr169/720	NP	-	SR2	448	75 perc	500	1.4	1.5	1.5	D	D	D
Tr144/622	NP	-			75 perc		1.4	1.5	1.5			
Tr104/582	NP	-			75 perc		1.4	1.5	1.5			
Tr206/645	2.49	1.56			1.5		1.3	1.7	1.7			
Tr095/573	NP	-			75 perc		1.4	1.8	1.8			
Tr096/574	NP	-			75 perc		1.4	1.8	1.8			
Tr106/584	3.1	0.61			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr150/628	2.22	0.94			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr028/504	3.23	0.89			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr028/506	2.48	0.68			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr027/505	NP	-	SR3	369	75 perc	300	1.4	1.8	1.8	C	D	D
Tr032/510	3.57	0.83			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr094/572	2.17	1.94			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr105/583	2.19	1.33			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr189/705	2.47	1.69			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr190/706	2.4	1.56			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr191/707	2.53	1.56			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr192/708	2.47	1.44			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr187/703	2.45	1.41			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr188/704	2.33	1.75			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr193/709	2.64	1.31	SR4	387	1.5	300	1.4	2.0	2.0	C	F	F
Tr086/702	2.44	1.53			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr099/577	2.23	1.09			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr100/578	2.08	1.66			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr098/576	2.6	1.25			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr004/482	2.43	1.22			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr159/701	2.54	1.19			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr160/702	2.55	1.13			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr158/700	3.04	0.69			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr003/481	2.44	1.22			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr154/696	2.66	1.38	SR7	387	1.5	300	1.4	2.0	2.0	C	F	F
Tr155/697	2.72	1.41			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr156/698	3.12	1.34			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr157/699	2.51	1.31			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr002/480	2.69	1.06			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr172/723	3.1	1			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr218/606	2.68	1.78			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr025/503	2.95	1.08			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr195/740	2.85	1.19			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr194/739	3.26	1.16			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr055/533	3.16	1.09	SR26	391	1.5	300	1.4	2.0	2.0	C	F	F
Tr054/534	3.99	1.41			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr247/686	7	1.75			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr072/550	5.51	1.72			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr070/548	8.19	1.92			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr071/549	5.22	1.44			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr062/540	5.87	1.56			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr239/678	5.39	1.38			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr238/677	3.39	1.53			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr039/517	3.2	1.72			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr209/648	6.17	2.38	DH2	327	2.5	300	1.7	1.9	1.9	C	D	D
Tr210/649	5.94	2.25			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr087/567	2.38	2.11			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr108/586	3.55	5.81			5.5		1.7	1.5	1.7			
Tr107/585	3.7	4.19			4.5		1.7	1.6	1.7			
Tr101/579	2.84	5.31			5.5		1.7	1.5	1.7			
Tr093/571	2.7	15.28			≥8		1.8	1.8	1.8			
Tr092/570	2.53	16.88			≥8		1.8	1.8	1.8			
Tr091/569	2.23	16.25			≥8		1.8	1.8	1.8			
Tr090/568	3.55	9.06			≥8		1.8	1.8	1.8			
Tr089/567	2.07	5.75	DH201	287	5.5	300	1.7	1.5	1.7	E	E	E
Tr084/562	3.03	8.06			≥8		1.8	1.8	1.8			
Tr085/563	2.25	14.84			≥8		1.8	1.8	1.8			
Tr143/621	3.32	10.31			≥8		1.8	1.8	1.8			
Tr196/741	2.43	12.09			≥8		1.8	1.8	1.8			
Tr170/721	4.54	13.44			≥8		1.8	1.8	1.8			
Tr088/566	2.58	0.77			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr010/488	4.87	0.78			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr001/479	2.15	0.94			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr006/484	3.51	0.76			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr153/695	4.36	0.75	SR25	458	<1	300	1.1	1.4	1.4	B	C	C
Tr011/489	3.48	0.78			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr149/627	2.79	0.78			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr007/485	4.64	0.66			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr097/575	0.78	2.67			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr219/658	4.53	6.22			6.5		2.0	1.6	2.0			
Tr116/594	4.79	7.19			7.5		2.0	1.6	2.0			
Tr034/512	2.55	7.97			7.5		2.0	1.6	2.0			
Tr030/508	3.17	6.38			6.5		2.0	1.6	2.0			
Tr031/509	3.29	6			6.5		2.0	1.6	2.0			
Tr033/511	3.27	7.31	SR25	458	7.5	300	2.0	1.6	2.0	F	D	D
Tr056/534	3.74	7.5			7.5		2.0	1.6	2.0			
Tr057/535	2.15	6.69			6.5		2.0	1.6	2.0			
Tr226/664	4.86	2.31			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr166/717	7.26	2.16			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr167/718	7.94	2.5			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr060/538	5.63	3.88			3.5		1.8	1.7	1.8			
Tr047/525	8.31	2.97			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr230/669	4.83	2.5			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr248/687	7.39	2.31			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr069/547	2.28	2.1	SR25	458	2.5	300	1.7	1.9	1.9	E	F	F
Tr254/629	2.7	3.8			3.5		1.8	1.7	1.8			
Tr243/682	5.85	2.06			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr252/691	4.54	3.03			3.5		1.8	1.7	1.8			

SR= Sismica a rifrazione; MW=MASW; E=Escal; DH=Downhole.
SR* = linea sismica ubicata in parte in un'altra zona adiacente.
Nota: la numerazione delle indagini denotata è quella riportata nella Carta delle indagini; per le misure di microtremore (prima colonna) è stata anche riportata la numerazione di campagna preceduta dalla sigla Tr.

Zona Z19

La zona Z19 comprende 70 misure di microtremore, 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). La tabella di sintesi sottostante riassume tutti i dati usati per la microzonazione di Livello 2 della Z19.

Zona Z19 (substrato >30 m)										ZONE LIVELLO 2		
INDAGINI SISMICHE					ABACHI					FHa 0.1-0.5s	FHa 0.5-1.0s	FHa MAX
Misure di microtremore			Altre indagini		f ₀ (Hz)	Vs30 (m/s)	Fattori di amplificazione					
N°	A	f ₀ (Hz)	tipo e N°	Vs30 (m/s)			FHa 0.1-0.5 s	FHa 0.5- 1 s	FHa MAX			
Tr083/561	3.14	0.69	SR3 SR4 SR5 SR6 SR11 SR23 SR24 SR29 SR39* SR41 DH4 DH79 DH80 DH245 DH256 MW54	190 300 324 277 278 315 403 259 311 319 400 255 264 293 254 297	<1	300	1.1	1.4	1.4	B	C	C
Tr008/486	4.21	0.89			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr009/487	4.94	0.91			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr183/734	5.1	0.9			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr182/733	4.33	0.91			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr184/735	4.41	0.89			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr162/713	4.8	0.7			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr020/498	3.08	0.78			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr016/494	6.43	0.69			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr018/496	2.54	0.81			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr208/647	2.98	1.66			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr152/694	2.45	1.4			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr005/483	2.46	1.56			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr151/693	2.4	1.84			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr081/559	2.74	1.66			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr263/745	4.1	1.09			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr014/492	2.5	1.19			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr013/491	3.56	0.92			<1		1.1	1.4	1.4			
Tr017/495	3.06	1.36			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr180/731	4.2	1.0			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr181/732	4.4	1.0			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr185/736	4.9	1.0			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr186/737	4.9	1.0			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr019/497	3.03	1.05			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr038/516	4.15	1.25			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr256/631	4.9	1.2			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr037/515	4.11	1.25			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr050/528	5.8	1.81			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr045/523	4.65	1.38			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr035/513	4.17	1.3			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr044/522	3.79	1.25			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr061/539	5.71	1.94			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr244/683	8.9	1.88			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr250/689	3.43	1.53			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr246/685	9.71	1.84			1.5		1.4	2.0	1.9			
Tr012/490	3.56	1.16			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr049/527	8	2.39			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr228/667	8.44	2.34			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr046/524	4.64	2.47			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr043/521	5.6	2.66			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr118/596	3.37	1.94			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr221/660	4.53	2.44			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr063/541	7.13	3.13			3.5		1.8	1.7	1.8			
Tr232/671	8.42	2.09			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr245/684	5.17	3.09			3.5		1.8	1.7	1.8			
Tr249/688	5.36	2.09			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr222/661	3.41	2.25			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr207/646	3.03	15			≥8		1.8	1.8	1.8			
Tr079/557	2.54	9.25			≥8		1.8	1.8	1.8			
Tr080/558	2.42	4.84			4.5		1.7	1.6	1.7			
Tr078/556	2.79	5.63	5.5	1.7	1.5	1.7						
Tr260/635	2.2	5.5	5.5	1.7	1.5	1.7						
Tr077/555	4.29	5.13	5.5	1.7	1.5	1.7						
Tr082/560	4.26	4.63	4.5	1.7	1.6	1.7						
Tr076/554	2.76	4.06	4.5	1.7	1.6	1.7						
Tr015/493	3.96	4.5	4.5	1.7	1.6	1.7						
Tr023/501	2	8.03	≥8	1.8	1.8	1.8						
Tr147/625	2.1	4.53	4.5	1.7	1.6	1.7						
Tr022/500	3.13	5.63	5.5	1.7	1.5	1.7						
Tr179/730	3.03	5.63	5.5	1.7	1.5	1.7						
Tr178/729	3.24	4.97	4.5	1.7	1.6	1.7						
Tr021/499	2.29	4.53	4.5	1.7	1.6	1.7						
Tr029/507	2.87	5.25	5.5	1.7	1.5	1.7						
Tr036/514	2.99	4.69	4.5	1.7	1.6	1.7						
Tr059/537	4.38	4.22	4.5	1.7	1.6	1.7						
Tr058/536	4.38	4.88	4.5	1.7	1.6	1.7						
Tr052/530	3.59	4.16	4.5	1.7	1.6	1.7						
Tr051/529	3.28	5.5	5.5	1.7	1.5	1.7						
Tr053/531	3.68	4.38	4.5	1.7	1.6	1.7						
Tr220/659	4.72	4.88	4.5	1.7	1.6	1.7						
SR= Sismica a rifrazione; MW=MASW, E=Esac; DH=Downhole. SR*= linea sismica ubicata in parte in un'altra zona adiacente. Nota: la numerazione delle indagini sismiche è quella riportata nella <i>Carta delle indagini</i> ; per le misure di microtremore (prima colonna) è stata anche riportata la numerazione di campagna preceduta dalla sigla Tr.												

SR= Sismica a rifrazione; MW=MASW; E=Esac; DH=Downhole.

SR*= linea sismica ubicata in parte in un'altra zona adiacente.

Nota: la numerazione delle indagini sismiche è quella riportata nella Carta delle indagini; per le misure di microtremore (prima colonna) è stata anche riportata la numerazione di campagna preceduta dalla sigla Tr.

Zona Z20

La zona Z20 costituisce lembi localizzati principalmente lungo la stretta fascia di pianura ai piedi dei rilievi collinari e montuosi che delimitano a sud la Piana di Lucca. Lembi di limitato spessore sono presenti anche lungo i bordi settentrionali della piana. La zona include 9 misure HVSR e una misura di sismica a rifrazione. (v. tabella seguente). Per la scelta della classe Vs30 da utilizzare nel calcolo dei fattori di amplificazione sono stati utilizzati anche ulteriori dati (v. punto 4 del § “criteri generali adottati”) che hanno consentito di confermare la classe di 300 m/sec per la maggior

parte della zona e di scegliere la classe superiore (500 m/sec) per il piccolo lembo più settentrionale della Z20.

La zona è stata suddivisa in 3 Mz2 per FHa0.1-0.5 (B, C, E) e 3 Mz2 per FHa0.5-1.0 (B, E, F).

Zona Z20 (substrato >30 m)										ZONE LIVELLO 2		
INDAGINI SISMICHE					ABACHI					FHa 0.1-0.5s	FHa 0.5-1.0s	FHa MAX
Misure di microtremore			Altre indagini		f ₀ (Hz)	Vs30 (m/s)	Fattori di amplificazione					
N°	A	f ₀ (Hz)	tipo e N°	Vs30 (m/s)			FHa 0.1-0.5 s	FHa 0.5- 1 s	FHa MAX			
Tr041/519	2.71	1.78	SR28*	272	1.5	300	1.4	2.0	2.0	C	F	F
Tr135/613	4.12	1.75			1.5		1.4	2.0	2.0			
Tr136/614	6.02	2.03			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr067/545	3.4	2.47			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr131/609	2.72	2.5			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr134/612	2.97	2.16			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr253/692	4.19	2.19			2.5		1.7	1.9	1.9			
Tr251/690	2.74	3.19			3.5		1.8	1.7	1.8			
Tr200/639	2.13	0.84			<1		1.1	1.2	1.2	B		
						500						

SR= Sismica a rifrazione; MW=MASW; E=Esac; DH=Downhole.

SR*= linea sismica ubicata in parte in un'altra zona adiacente.

Note: 1) la numerazione delle indagini sismiche è quella riportata nella *Carta delle indagini*; per le misure di microtremore (prima colonna) è stata anche riportata la numerazione di campagna preceduta dalla sigla Tr;

2) La valutazione delle Vs30 è basata anche su altri dati qui non riportati perchè protetti da vincoli di riservatezza (v. testo).

Zone di attenzione per instabilità di versante (ZAfr)

Le aree instabili per frana si trovano nelle regioni collinari e montane che circondano e delimitano la pianura di Lucca e interessano i depositi delle zone MOPS Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z7 e Z20. In queste aree, tranne rare eccezioni, non sono presenti misure di microtremore a stazione singola né indagini sismiche di altro tipo.

Alle aree in frana è stata attribuita una classe di amplificazione pari a quella delle aree che le includono aumentata, in via cautelativa, di una classe.

In base ai criteri sopra descritti, le zone di attenzione per instabilità di versante sono state attribuite a 7 Mz2: microzona H (FHa=1.1-1.2), microzona I (FHa=1.3-1.4), microzona J (FHa=1.5-1.6), microzona K (FHa=1.7-1.8), microzona L (FHa=1.9-2.0) e microzona M (FHa=2.1-2.2).

4.6. Carta della Pericolosità sismica

La *Carta della pericolosità sismica locale* (Elaborato QG 11) riporta le condizioni di pericolosità sismica locale valutate sulla base di tutte le informazioni derivanti dagli studi di MS di Livello II e distinte nelle seguenti 4 classi, così come definite dal regolamento 5/R/2020. In particolare, per quanto concerne alle “*zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione $(F_x) > 1.4$* ”, si precisa che la Carta di riferimento è la *Carta di microzonazione sismica di livello II - FHa 0.1-0.5 s*.

Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4):

- a. *aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e capaci, in grado di creare deformazione in superficie;*
- b. *terreni suscettibili di liquefazione dinamica accertati mediante indagini geognostiche oppure notizie storiche o studi preesistenti;*
- c. *aree interessate da instabilità di versante attive e relativa area di evoluzione, tali da subire un'accentuazione del movimento in occasione di eventi sismici.*

Nel territorio comunale in esame sono presenti solo aree interessate da instabilità di versante attive (condizione c), peraltro in numero molto limitato.

Pericolosità sismica locale elevata (S.3):

- 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.*

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 sismostratigrafiche 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 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.

Pericolosità sismica locale media (S.2):

- a. *zone stabili suscettibili di amplificazioni locali connessi con contrasti di impedenza sismica attesa oltre alcune decine di metri dal piano campagna e con frequenza fondamentale del terreno indicativamente inferiore a 1hz;*
- b. *zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (F_x) < 1.4 ;*
- c. *zone stabili suscettibili di amplificazione topografica (pendii con inclinazione superiore a 15 gradi);*
- d. *zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, non rientranti tra quelli previsti nelle classi di pericolosità sismica S.3.*

Nel territorio comunale sono presenti tutte le condizioni sopracitate: in particolare ricadono in Classe S.2 quasi interamente il Centro Storico di Lucca e parte delle frazioni di S. Anna, Arancio, Pontetetto. Possono coesistere le condizioni a e b in ordine alle misure di rumore sismico ambientale caratterizzate da frequenze fondamentali di vibrazione < 1.0 Hz (vedi par. 2.3.).

Pericolosità sismica locale bassa (S.1):

- *zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata (pendii con inclinazione inferiore a 15 gradi), dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.*

Nel territorio comunale non sono presenti zone ricadenti in Classe S.1.

5. CARTA DEGLI AMBITI, DELLE PERTINENZE FLUVIALI E DELLE AREE DESTINATE AGLI INTERVENTI DI LAMINAZIONE DELLE PIENE

La “Carta degli ambiti, delle pertinenze fluviali e delle aree destinate agli interventi di laminazione delle piene” (Elaborato QG 16), è stata aggiornata e resa adeguata alle attuali normative ed allo stato delle conoscenze.

In dettaglio la carta riporta i seguenti elementi:

- il reticolo idrografico di cui all’articolo 22, comma 2, lettera e), della legge regionale 27 dicembre 2012, n. 79, così come aggiornato dalla D.C.R. 28/2020;
- le aree destinate a casse di laminazione delle piene, così come individuate dal "*Piano di bacino del fiume Serchio, stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) – Variante generale funzionale all’adeguamento del PAI del fiume Serchio al Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico dell’Appennino Settentrionale*";
- l’ambito a₀: **alveo fluviale ordinario in modellamento attivo**. Rappresenta la porzione dell'alveo raggiungibile dalle piene stagionali, che quindi non necessariamente corrisponde al letto di magra, ma che risulta comunque attualmente in modellamento attivo, caratterizzato da ciottolame mobile, depositi sabbiosi e limosi sciolti, mentre la vegetazione eventualmente presente è per lo più arbustiva; il limite esterno, coincidente con il ciglio di sponda;
- l’ambito a_g: **aree golenali**. Sono fasce a lato dell'alveo, comprese tra le sponde del corso d'acqua e gli argini maestri, nelle quali le acque si espandono con andamento stagnante o comunque diverso da quello della corrente principale del fiume. Rispetto alle perimetrazioni effettuate in sede di Piano Strutturale è stata corretta e ridotta in loc. Salicchi l’area golenale in sinistra del F. serchio, eliminando la porzione compresa tra l’argine maestro di II categoria e l’argine relitto declassificato in quanto non svolgente più alcuna funzione idraulica;
- l’ambito a_e: **aree di naturale esondazione e di tutela dei caratteri ambientali dei corsi d’acqua**. Sono aree essenzialmente di fondovalle caratterizzate da indicatori idrogeomorfologici (in genere depositi alluvionali recenti) e talora biologici (vegetazione) naturali, riconoscibili in loco o da fotointerpretazione, nelle quali il legame con il corso d'acqua è ancora evidente, a prescindere dalla presenza di interventi antropici e dalle condizioni di pericolosità idraulica scaturenti tanto dai dati storici quanto da verifiche idrauliche;
- l’ambito A1: comprende sia gli alvei, le golene e gli argini, sia le due fasce di larghezza di 10 m dal piede esterno dell’argine o, in mancanza, dal ciglio di sponda dei corsi d’acqua del reticolo idrografico di cui all’articolo 22, comma 2, lettera e), della legge regionale 27 dicembre 2012, n., con gli aggiornamenti previsti dalla D.C.R. 28/2020.

6. CARTA DELLE AREE PRESIDATE DA SISTEMI ARGINALI

La *Carta delle aree presidiate da sistemi arginali* (QG 20) è stata realizzata dallo Studio INGEO. Le aree presidiate da rilievi arginali sono definite nell'articolo 2, comma 1, lettera s della LR 41/2018, come:

“aree situate a quote altimetriche inferiori alla quota posta a 2 metri sopra il piede esterno dell'argine. Il limite esterno di tali aree è determinato dai punti di incontro delle perpendicolari all'asse del corso d'acqua con il terreno alla quota altimetrica sopra individuata pari a 2 metri, comunque non superiore alla distanza di 300 metri dal piede esterno dell'argine.”

Per l'individuazione di tali aree è stato eseguito un algoritmo geospaziale tramite software QGIS a partire dai seguenti dati di input:

- Tracciato dei rilevati arginali: è stato utilizzato il layer vettoriale fornito dal Genio Civile. Durante i vari step di costruzione della carta, questo dato è stato sottoposto a dei controlli effettuati sia mediante Google Earth sia mediante sopralluoghi.
- Modello digitale del terreno della Regione Toscana: in questo caso è stato utilizzato il modello digitale realizzato a partire dalla carta tecnica regionale della Regione Toscana 1:10000 e fornito dall'Ufficio Cartografico Regionale.

L'algoritmo è riassunto nei seguenti punti:

- Tracciamento delle sezioni perpendicolari al corso d'acqua ad interasse variabile, con estensione di 300 m esternamente allo sviluppo dell'argine (Layer 1);
- Estrazione dei punti di intersezione tra i rilevati arginali e le sezioni trasversali, con importazione, nella tabella degli attributi, della quota del modello digitale del terreno della Regione Toscana in corrispondenza di tale punto (Layer 2);
- Importazione del campo di quota del Layer 2, aumentato di 2 metri, nel Layer 1;
- Interpolazione delle sezioni trasversali, in relazione alle quote altimetriche aumentate del Layer 1, in modo tale da ottenere un raster rappresentativo di una superficie avente quota pari a quella del terreno nei punti esterni all'argine, aumentata di 2 m (Layer 3);
- Utilizzo del calcolatore raster per determinare i punti laddove il Layer 3 risulta maggiore del DTM: ciò permette di individuare la fascia di 300 metri esterna da un certo rilevato arginale e, all'interno di questa, quelle aree poste al di sopra e al di sotto della quota posta a 2 metri sopra il piede esterno all'argine. Queste ultime corrispondono alle ricercate aree presidiate da rilevati arginali.

Nelle carte coi risultati di questa elaborazione sono rappresentate sia le fasce di 300 metri esterne ai rilevati arginali, sia le fasce presidiate dai rilevati arginali così come delineate dalla LR 41/2018

7. CARTE DEI BATTENTI

La *Carta dei battenti*, per lo scenario sia trentennale (Elaborato QG 12) che duecentennale (QG 13), è stata determinata dallo Studio INGEO sovrapponendo i risultati degli studi idraulici condotti con tutti quei dati raccolti nella fase preliminare degli studi, con particolare riferimento agli studi sul fiume Serchio e alle Aree di Potenziale Esondazione (APE).

Tecnicamente, la carta è stata prodotta attraverso una operazione GIS tra raster, sovrapponendo gli strati relativi ai diversi dati di battente disponibili (sia quelli desunti dagli studi idraulici del presente studio sia quelli già disponibili) prendendo, per ogni pixel della mappa per cui sussisteva sovrapposizione, il battente di esondazione massimo. Laddove non c'era sovrapposizione è stato utilizzato il dato singolo disponibile

8. CARTE DELLE VELOCITÀ DELLA CORRENTE

La *Carta delle velocità della corrente* (Elaborati QG 12a e QG 13a) è stata determinata dallo Studio INGEO in modo del tutto analogo al caso precedente, attraverso un'operazione GIS di sovrapposizione. In questo caso, tuttavia, alle APE del Fiume Serchio e alle altre zone per cui, pur in presenza di battente, non era nota la velocità, è stata attribuita l'etichetta "dato non disponibile". Per completezza, si fa presente che il valore numerico dei pixel aventi questa caratteristica è stato imposto pari a zero. Anche in questo caso le carte si riferiscono sia allo scenario trentennale sia allo scenario duecentennale.

9. CARTA DELLA MAGNITUDINE IDRAULICA

La *Carta della magnitudo idraulica* (Elaborato QG 15a), elaborata dallo Studio INGEO, caratterizza l'entità dell'esondazione, andando a incrociare i dati di altezza e velocità della corrente (in questo caso solo sui parametri dell'esondazione duecentennale). La carta della magnitudo è stata costruita sulla base delle indicazioni riportate all'interno della LR 41/2018 (art. 2) che per comodità di lettura si riportano di seguito:

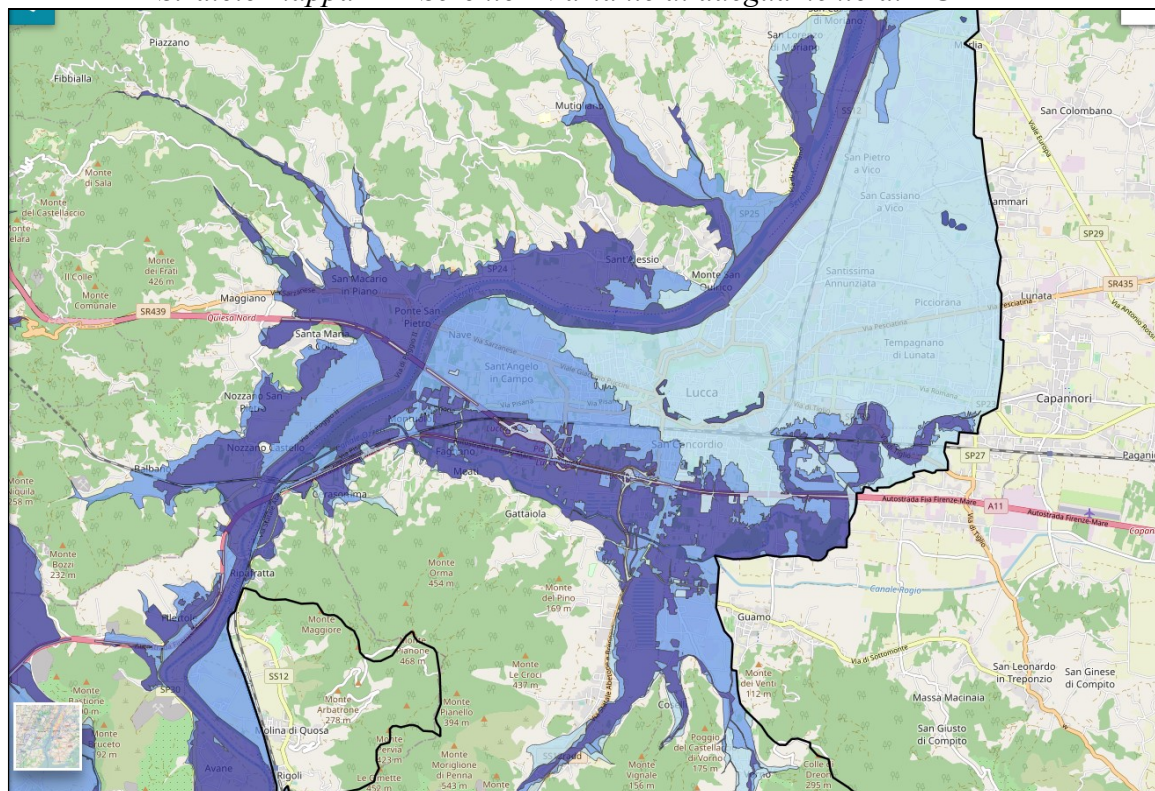
- magnitudo idraulica moderata: valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente uguale o inferiore a 0,3 metri;
- magnitudo idraulica severa: valori di battente inferiore o uguale a 0,5 metri e velocità superiore a 1 metro per secondo (m/s) oppure battente superiore a 0,5 metri e inferiore o uguale a 1 metro e velocità inferiore o uguale a 1 metro per secondo (m/s). Nei casi in cui la velocità non sia determinata, battente superiore a 0,3 metri e inferiore o uguale a 0,5 metri;

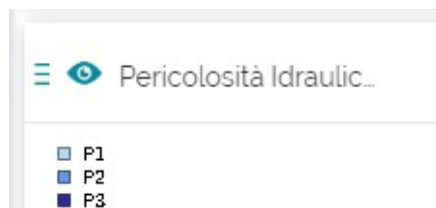
10. CARTA DELLA PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONI

La *Carta della pericolosità da alluvioni* (Elaborato QG 15) è stata elaborata implementando le mappe di pericolosità contenute nel progetto di variante al PAI del Serchio, denominato "*Piano di bacino del fiume Serchio, stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) – Variante generale funzionale all'adeguamento del PAI del fiume Serchio al Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale*", adottata in sede di Conferenza Istituzionale Permanente con Delibera n. 14 del 18/09/2019, con i risultati di studi idrologico-idraulici svolti dallo Studio INGEO di Lucca su una serie di corsi d'acqua minori, ai quali si rimanda per un esame dettagliato delle verifiche svolte (v. Elaborati QG18 e QG18.1), concretizzatesi nella elaborazione delle Carte dei battenti relativi agli scenari alluvionali $Tr = 30$ anni e $Tr = 200$ anni.

Le aree interessate dai battenti, così come risultante dalla modellazione idraulica, evidenziava tuttavia zone, per lo più di margine, caratterizzate da una distribuzione frammentata di microaree con valori minimali di battente ($0.5 \div 3$ cm), il cui inviluppo entro un'unica macroarea avrebbe portato ad una eccessiva e non giustificata estensione delle aree a pericolosità P2 e P3. In tali casi si è ritenuto opportuno operare in via ragionata una perimetrazione delle aree a pericolosità, escludendo tutta una serie di pixel o poligoni isolati.

Stralcio mappa PAI Serchio - Variante di adeguamento al PGRA





In particolare i nuovi studi idraulici hanno interessato i tratti di una serie di corsi d'acqua minori attraversanti il territorio urbanizzato, appartenenti al reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012.

Sugli stessi corsi d'acqua sono stati inoltre svolti - ad integrazione degli approfondimenti sulla dinamica torrentizia già svolti in sede di formazione del Piano Strutturale vigente e descritti nell'elaborato QG 19bis – approfondimenti sulla tipologia di trasporto solido in occasione di eventi severi, i cui risultati hanno portato ad applicare fattori amplificativi delle portate liquide calcolate in via idrologica (v. ALL. G2).

Tali nuovi studi, oltre ad implementare le mappe del PAI, hanno anche talora comportato una modifica delle condizioni di pericolosità dello stesso PAI, là dove le pericolosità di quest'ultimo erano state definite, in assenza di studi idraulici, essenzialmente su base geomorfologica.

Le condizioni di pericolosità riportate in carta sono state conclusivamente distinte – in conformità al regolamento 5/R/2020 ed alla L.R. 41/2018 – nelle seguenti 3 classi:

- *P3 – aree a pericolosità per alluvioni frequenti o a pericolosità elevata (aree inondabili da eventi con tempo di ritorno inferiore o uguale a 30 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);*
- *P1 – Aree a pericolosità per alluvioni rare o a pericolosità bassa (aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni).*

In frazione di Maggiano, loc. Case Nobili, è stata inoltre riconosciuta e mappata ” - in coerenza con gli approfondimenti svolti sul trasporto solido illustrati nell'allegato G2 - un'area lungo il Rio Canabbia centro potenzialmente soggetta a fenomeni di “debris flow”.

Al di fuori del territorio urbanizzato, in presenza di aree non caratterizzate da studi idraulici, sono state inoltre individuati gli ambiti di fondovalle posti in situazione morfologicamente sfavorevole, in quanto poste a quote inferiori a metri 2 rispetto al piede dell'argine o, in mancanza dell'argine, rispetto al ciglio di sponda.

Per l'individuazione di tali ambiti è stato eseguito un algoritmo geospaziale tramite software QGIS a partire dal tracciato dei corsi d'acqua utilizzando il rilievo LIDAR.

11. CARTA DELLE AREE ED ELEMENTI ESPOSTI A FENOMENI ALLUVIONALI

La *Carta delle aree ed elementi esposti a fenomeni alluvionali* (Elaborato QG.II), elaborata ai sensi del § 3.1.1, Allegato A del DPGR 5/R/2020, evidenzia 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.

11.1 Pericolosità da flasch-flood

La mappa della pericolosità da flasch-flood, definente la predisposizione al verificarsi di eventi intensi e concentrati, è stata elaborata dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale nell'ambito della "*Variante generale funzionale all'adeguamento del PAI del fiume Serchio al Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale*". In tale mappa la propensione è discriminata nelle seguenti 4 classi di pericolosità crescente: Basso, Medio, Elevato e Molto elevato.

12. CARTA DELLE AREE ED ELEMENTI ESPOSTI A FENOMENI GEOLOGICI

La *Carta delle aree ed elementi esposti a fenomeni geologici* (Elaborato QG.III), elaborata ai sensi del § 3.1.2, Allegato A del DPGR 5/R/2020, evidenzia i seguenti elementi:

- le aree a pericolosità geologica;
- 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.

13. CARTE RELATIVE AL RISCHIO SISMICO

Gli elaborati previsti dal regolamento 5/R/2020 per la caratterizzazione del rischio sismico di livello 1 sono:

- la *Carta della Vulnerabilità sismica* (Elaborato QG.IV)
- la *Carta dell'Esposizione sismica* (Elaborato QG.V)
- la *Carta delle aree a Rischio sismico* (Elaborato QG.VI)

L'elaborazione dei dati relativi al rischio sismico di livello 1 è stata direttamente effettuata dalla Regione Toscana, che ha messo a disposizione tutti i dati (scaricabili dal sito all'indirizzo <https://www.regione.toscana.it/-/rischio-sismico>) per redigere le tre carte sopra elencate.

13.1. Carta della vulnerabilità sismica

La *vulnerabilità sismica*, intesa come propensione a subire un danno da parte del patrimonio edilizio e dei centri urbani a fronte di un evento sismico, risulta suddivisa nelle seguenti 4 classi:

- alta (4)
- medio-alta (3)
- medio-bassa (2)
- bassa (1)

13.2. Carta dell'esposizione sismica

L'*Esposizione* sismica è connessa con la natura, qualità e quantità dei beni esposti ed esprime la possibilità di subire un danno economico e sociale, sia in termini di vite umane che in termini di beni esposti. Anche tale parametro, stimato dalla Regione in forma qualitativa a partire dai dati ISTAT disponibili relativi a popolazione residente e numero di edifici e alla destinazione dell'area (abitativa e produttiva), è suddiviso in 4 classi:

- alta (4)
- medio-alta (3)
- medio-bassa (2)
- bassa (1)

13.3. Carta delle aree a rischio sismico

La classe di *Rischio* sismico deriva dalla combinazione dei valori di esposizione (E), vulnerabilità (V) e pericolosità sismica (P), sulla base del valore dell'Indicatore di rischio (IR) che risulta dalla seguente formula:

$$IR = P + V + E$$

Il valore di **IR** consente di discriminare 4 classi di rischio, come da tabella che segue.

Rischio sismico	Valore di IR	Classe di Rischio
alta	$IR \geq 10$	4
medio-alta	$8 \leq IR < 10$	3
medio-bassa	$6 \leq IR < 8$	2
bassa	$IR < 6$	1

Lucca 23 luglio 2021

STUDIO DI GEOLOGIA BARSANTI, SANI & ASSOCIATI
Dott. Paolo Sani