

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione Illustrativa

### Regione Toscana Comune di Londa (FI)



Regione	Soggetto realizzatore:	Data
Regione Toscana – Settore Sismica	Comune di Londa /Servizio Assetto del Territorio/RUP Geom. Franco Pretolani  Professionisti incaricati: Dott. Geol. Eros Aiello Dott. Geol. Gabriele Grandini Dott. Geol. Cristian Pieroni Dott. Geol. Francesco Puccetti   <small>Via Andrea del Castagno, 8 - 50132 Firenze tel.055/671393, 055/675964; fax.055/6522329 E3 info@geoecoprogetti.com</small>	Dicembre 2021

## Indice generale

1. INTRODUZIONE.....	2
1.1 METODOLOGIA.....	2
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	6
2.1 SISMICITA' DELL'AREA.....	6
2.2 RISCHIO SISMICO.....	9
2.3 MODELLAZIONE SISMICA.....	14
2.4 PERICOLOSITA' SISMICA.....	17
2.5 VERIFICHE DI PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DI SITO.....	24
2.6 LIQUEFAZIONE – BASE TEORICA E VERIFICA PER LOCALITA'.....	34
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	36
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO.....	36
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NOTAZIONI STRATIGRAFICHE.....	37
3.3 DESCRIZIONE DELLE FORMAZIONI.....	38
3.4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....	40
3.5 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E NOTAZIONI IDROGEOLOGICHE.....	45
3.6 ACCLIVITA' DEI VERSANTI.....	46
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	48
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	55
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	56
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	57
8. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	58
8.1 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE.....	64
8.2 CARTA DELLE INDAGINI E CARTA DELLE FREQUENZE.....	64
8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA.....	66
8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS).....	71
8.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA.....	73
8.6 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	78
8.7 CONSIDERAZIONI RELATIVE AGLI APPROFONDIMENTI CONDOTTI SULLE VARIE PORZIONI DI TERRITORIO INDAGATE.....	81
9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....	92
10. BIBLIOGRAFIA.....	93
11. ALLEGATI.....	94

# RELAZIONE ILLUSTRATIVA

## 1. INTRODUZIONE

La Regione Toscana (Direzione Ambiente ed Energia – Settore Sismica) con proprio Decreto Dirigenziale di G.R.T. n. 16262 del 4 ottobre 2018, ha inserito il Comune di Londa nella graduatoria relativa alla erogazione di finanziamenti previsti per la redazione di **indagini e studi di microzonazione sismica sui centri urbani** (studi di MS di livello 3) comunali di cui alla Del. G.R.T. n. 468 del 02.05.2018.

Il presente studio è finanziato ai sensi dell'Ordinanza O.C.D.P.C. n. 344/2016 – art. 2, comma 1 lett. a, che disciplina a livello nazionale i contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico già previsti all'art. 11 della legge n. 77 del 24 giugno 2009.

Con la delibera di cui sopra, la Regione Toscana ha definito le modalità di finanziamento degli studi Microzonazione Sismica.

Il Comune di Londa individuava nella Geo Eco Progetti il “soggetto realizzatore” delle indagini in questione da svolgersi nelle more e modalità previste dalle precipe specifiche tecniche regionali approvate con la citata Del. G.R.T. n. 144 del 23.02.2015 “*Approvazione delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica*” e con esplicito riferimento agli “*Indirizzi e Criteri Generali per la Microzonazione Sismica*” (in seguito denominati ICMS) – GdLDPC/Regioni. Documento approvato dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni nella seduta del 13 novembre 2008.

### 1.1 METODOLOGIA

La Regione Toscana, con propria Del. G.R.T. n. 144/2015, ha definito il “programma minimo” di tali studi dettagliando:

- *indicazione delle aree di indagine,*
- *indicazione del quantitativo minimo e delle tipologie di indagine da realizzare,*
- *indicazione della documentazione tecnica da produrre.*

In merito ai tre citati punti si dettaglia quanto segue:

#### 1) *Indicazione delle aree di indagine*

Secondo quanto indicato dalle istruzioni tecniche in materia le suddette attività devono essere concentrate in corrispondenza dei centri urbani maggiormente significativi che il Comune individua secondo le specifiche di cui al Par. 1.B.1.2 delle ITR (Istruzioni Tecniche Regionali) del Programma VEL e perimetra secondo i criteri definiti dagli ICMS.

L'Amministrazione Comunale di Londa, di compendio con la Struttura Regionale deputata alla Prevenzione Sismica (Direzione Ambiente ed Energia – Settore Sismica), ha individuato le seguenti aree:

- capoluogo di Londa,
- frazione di Rincine.

Al fine di una migliore rappresentazione delle strutture geologiche e delle fenomenologie geomorfologiche, i tematismi cartografici allestiti sono inoltre stati estesi a quelle porzioni di territorio, in adiacenza ai centri urbani,

per cui fosse disponibile cartografia C.T.R. in scala 1:2.000, ricorrendo talvolta a “mosaici cartografici” con cartografia C.T.R. in scala 1:10.000, in settori ove non fosse disponibile cartografia in scala 1:2.000.

## 2) Indicazione del quantitativo minimo e delle tipologie di indagine

Relativamente alle cartografie geologiche e geomorfologiche in prima fase si è fatto riferimento alle cartografie originali realizzate nell’ambito del supporto geologico tecnico al vigente Strumento Urbanistico del Comune di Londa. Tali cartografie sono state rivisitate mediante le recenti indicazioni della cartografia regionale CARG e con appositi rilievi di campagna geologici e geomorfologici di dettaglio.

Si è provveduto inoltre ad acquisire tutte le indagini geognostiche e geofisiche esistenti sulle porzioni di territorio in esame reperibile presso gli archivi regionale, provinciale e comunale.

Il Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica ha, inoltre, fornito l’indicazione di minima, in funzione del quadro conoscitivo esistente, circa la realizzazione delle seguenti indagini geofisiche minime obbligatorie:

### **CAMPAGNA DI INDAGINE PROPEDEUTICA AGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISIMICA DI LIVELLO 1 – MAGGIO 2013**

- n. 4 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 23 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  nel sottosuolo;
- n. 1 prospezioni di sismica superficiale attiva di tipo Masw per caratterizzare la velocità delle onde sismiche di taglio nel suolo e definire la valutazione del  $V_{s30}$ ;
- n. 26 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSR), e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, per la definizione della frequenza naturale dei terreni e per la determinazione dell’eventuale comportamento amplificativo degli stessi.

### **CAMPAGNA DI INDAGINI PROPEDEUTICA AGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISIMICA DI LIVELLO 3 – LUGLIO 2019**

- n. 2 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 3 linee di sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  nel sottosuolo;
- n. 2 indagini sismiche attive congiunte Masw per caratterizzare la velocità delle onde sismiche di taglio nel suolo e definire la valutazione del  $V_{sEq,30}$ ;
- n. 5 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSR), e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, per la definizione della frequenza naturale dei terreni e per la determinazione dell’eventuale comportamento amplificativo degli stessi.

## 3) Indicazione della documentazione tecnica da produrre

La delibera prevede che lo studio di microzonazione sismica restituisca i seguenti elaborati tecnici per ciascuna delle frazioni indagate:

- carta delle indagini

- carta geologico-tecnica con relative sezioni
- carta delle frequenze
- carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (M.O.P.S.) con relative sezioni
- carta di microzonazione sismica

e a compendio delle varie cartografie allestite la presente relazione tecnica illustrativa.

Per le frazioni come sopra dettagliate sono pertanto stati realizzati tutti i tematismi sotto dettagliati su base cartografica C.T.R. in scala 1:5.000 (scala adottata per la restituzione grafica dei tematismi rilevati in scala 1:2.000 di dettaglio).

Vengono di seguito riportati gli elaborati e i tematismi appositamente realizzati per gli studi di Microzonazione Sismica di livello 2.

N° Tavola	Titolo	Scala	Data di emissione
	Relazione tecnica illustrativa		dicembre 2021
	Relazione tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D)		dicembre 2021
	<b>Londa – Rincine</b>		
<b>G.01</b>	Carta delle indagini	1:5.000	dicembre 2021
<b>G.02</b>	Carta delle frequenze	1:5.000	dicembre 2021
<b>G.03</b>	Carta geologico - tecnica	1:5.000	dicembre 2021
<b>G.04</b>	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	1:5.000	dicembre 2021
<b>G.05</b>	Carta di Microzonazione Sismica – FA01-05	1:5.000	dicembre 2021
<b>G.06</b>	Sezioni geologico-tecniche con indicazione zone Mops	1:2.000	dicembre 2021
	<b>Data base “cartella indagini”</b> contenente certificazioni indagini stratigrafiche, geotecniche e sismiche strutturata come da istruzioni “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per Microzonazione Sismica – Versione 4.2” (in formato digitale)		dicembre 2021
<b>Microzonazione sismica di livello 1 - Indagini geofisiche di superficie mediante sismica a rifrazione in onde P e Sh– Trigeo s.n.c.</b>			maggio 2013
<b>Microzonazione sismica di livello 1 - Indagini geofisiche di sismica passiva con prove di tipo Hvsr – Geotecnico</b>			maggio 2013
<b>Microzonazione sismica di livello 3 – Relazione Indagini geofisiche – ENKI s.r.l.</b>			luglio 2019
<b>Microzonazione sismica di livello 3 – Report Sondaggi (Schede stratigrafiche e documentazione fotografica)</b>			giugno 2019

Occorre sottolineare che la cartografia realizzata nel presente studio di “microzonazione sismica” costituisce implementazione e adeguamento del quadro conoscitivo del supporto geologico – tecnico agli strumenti urbanistici del Comune di Londa, ai sensi dell'ex Regolamento Regionale n. 53/R e del Regolamento Regionale n. 5/R, e risulta di fondamentale importanza per improntare future eventuali scelte secondo il principio dello sviluppo sostenibile.

A questo scopo è importante evidenziare che tutta la cartografia tematica elaborata è georeferenziata nel sistema di riferimento Gauss Boaga, e perciò coerente con la topografia della Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 / 1:2.000 ed è presentata anche nel sistema WGS84UTM33N.

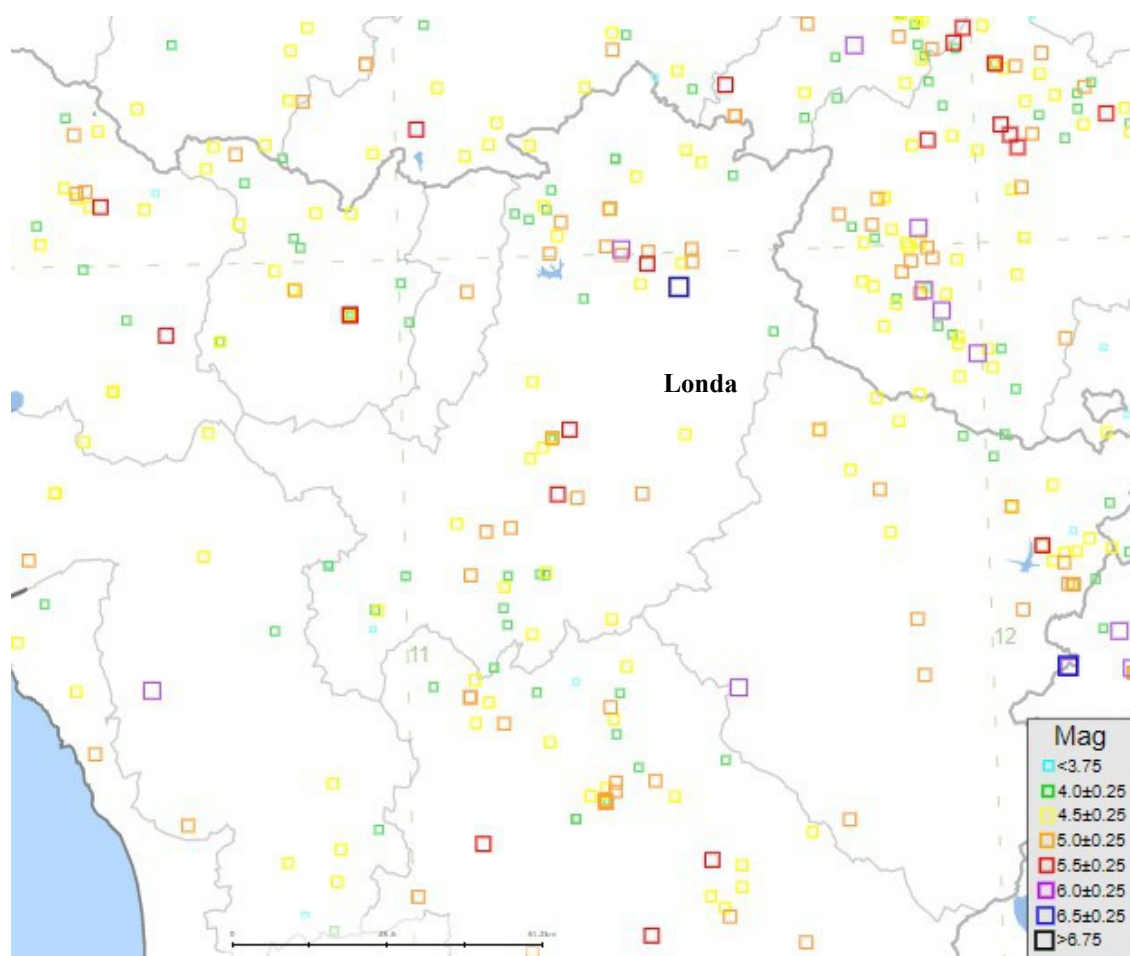
I dati tematici sono tutti vettoriali ed inseriti all'interno di una Banca Dati GIS facilmente interrogabile e aggiornabile, in ottemperanza a quanto richiesto nell'art. 28 della L.R. 1/2005; in particolare, i dati consegnati alla amministrazione comunale sono in formato sia "shape" che "pdf".

Le note illustrative, relative alle tavole elencate, sono contenute nel presente fascicolo "**Relazione illustrativa**".

## 2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 SISMICITA' DELL'AREA

La sismicità storica del Comune di Londa è stata ricostruita con la consultazione del “Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 Release v2.0 - Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2019. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>.



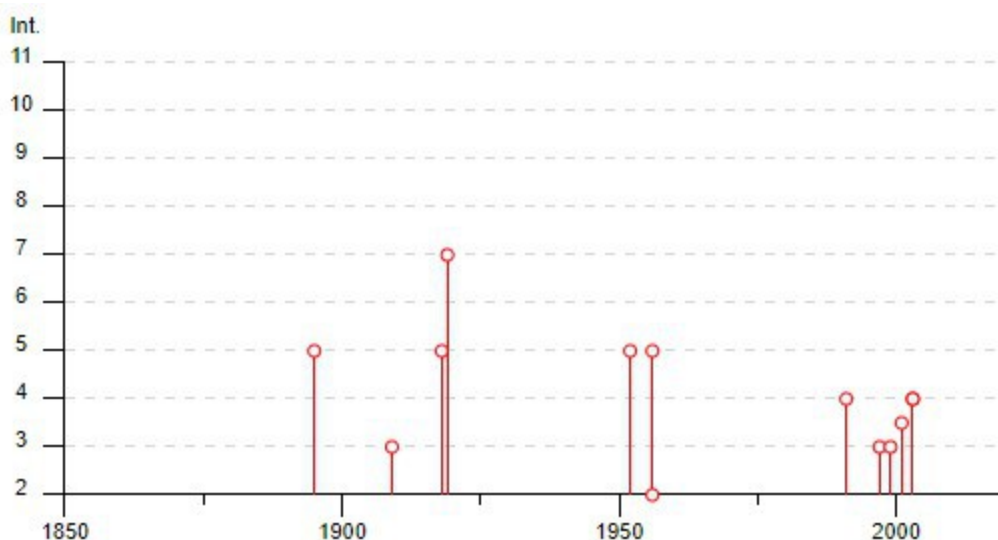
*Localizzazione degli eventi macrosismici a livello regionale nel territorio circostante il Comune di Londa (Periodo 1005 – 2017)*

In particolare gli effetti macrosismici che hanno interessato il Comune di Londa sono riconducibili a n. 20 eventi sismici, verificatisi dal 1895 al 2005, con vario grado di intensità sismica. (cfr. Database Macrosismico Italiano DBMI15 - Release v2.0 - Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Antonucci A.. DBMI15, the version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1895	05	18	19	55	12	Fiorentino	401	8	5.50
3	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
5	1918	11	10	15	12	28	Appennino forlivese	187	9	5.96
7	1919	06	29	15	06	13	Mugello	565	10	6.38
NF	1951	09	01				Monti Sibillini	80	7	5.25
5	1952	07	04	20	35	12	Appennino forlivese	64	7	4.94
NF	1952	12	02	06	13	22	Appennino forlivese	53	5	4.42
NF	1956	04	26	03	00	03	Appennino bolognese	89	6	4.74
5	1956	05	26	18	40		Appennino forlivese	76	7	4.99
2	1956	06	03	01	45	57	Appennino forlivese	62	6	4.51
4	1991	01	14	07	38	3	Casentino	62	5	4.26
3	1997	09	26	09	40	0	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
3	1999	01	25	22	45	5	Appennino forlivese	97	5	4.36
NF	2000	05	08	12	29	0	Faentino	126	5	4.67
NF	2000	05	10	16	52	0	Faentino	151	5-6	4.82
3-4	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6	4.63
4	2003	01	26	20	15	0	Appennino forlivese	63	5-6	4.50
4	2003	01	29	23	50	1	Appennino forlivese	71	4-5	4.06
NF	2003	12	07	10	20	3	Forlivese	165	5	4.18
NF	2005	07	15	15	17	18	Forlivese	173	4-5	4.29

*Eventi macrosismici riportati nel DBMI15*

La maggiore intensità sismica percepita in questo territorio raggiunge il grado 7 MCS nel terremoto avvenuto nel Mugello nel 1919 (Mw = 6,38).



*Distribuzione temporale ed intensità degli eventi macrosismici nel periodo 1850-2020*

Analizzando il catalogo delle sorgenti sismogenetiche (DISS - Database of Individual Seismogenic Sources - Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi, 2008) si



osserva che il territorio del Comune di Londa si colloca all'interno dell'area sismogenetica composite codificata come ITCS037 "Mugello-Città di Castello-Leonessa", caratterizzata dai seguenti parametri:

Strike (angolo rispetto al nord):	280° - 330°
Dip (inclinazione rispetto al piano campagna):	25° - 40°
Profondità min - max:	0,5 - 8 km
Magnitudo massima (Mw):	6,2

Questa struttura composita corre per oltre 200 km lungo la dorsale dell'Appennino settentrionale, dai settori dell'Appennino Pratese (a nord-ovest) verso l'alta valle del Fiume Nera (a sud-est), e costituisce il nucleo della cintura estensionale dell'"Etrurian Fault System". Questa sorgente è un complesso di faglie superficiali a basso angolo che segna il confine estensionale occidentale dell'Appennino settentrionale.

Cataloghi storici e strumentali mostrano terremoti (magnitudo 4.5 < Mw 5.0) potenzialmente dannosi all'interno dell'area, in particolare nei settori nord-occidentale e sud-orientale. Inoltre, si sono verificati i principali terremoti dannosi e distruttivi (da nord-ovest a sud-est): 13 giugno 1542 (Mw 5.9, Mugello), 29 giugno 1919 (Mw 6.2, Mugello), 26 aprile 1917 (Mw 5.8, Monterchi-Citerna), 25 dicembre 1352 (Mw 6.0, Monterchi), 26 aprile 1458 (Mw 5.9, Città di Castello), 13 gennaio 1832 (Mw 5.8, Foligno), 15 set 1878 (Mw 5.5, Montefalco), e 5 giugno 1767 (Mw 5.4, Spolefino).

Relativamente alle Sorgenti Sismogenetiche Individuali (Individual Seismogenic Sources), all'interno della suddetta area sismogenetica composite ITCS037 "Mugello-Città di Castello-Leonessa", si rileva la struttura codificata come ITIS087 "Mugello West" con le caratteristiche principali di cui alla tabella seguente:

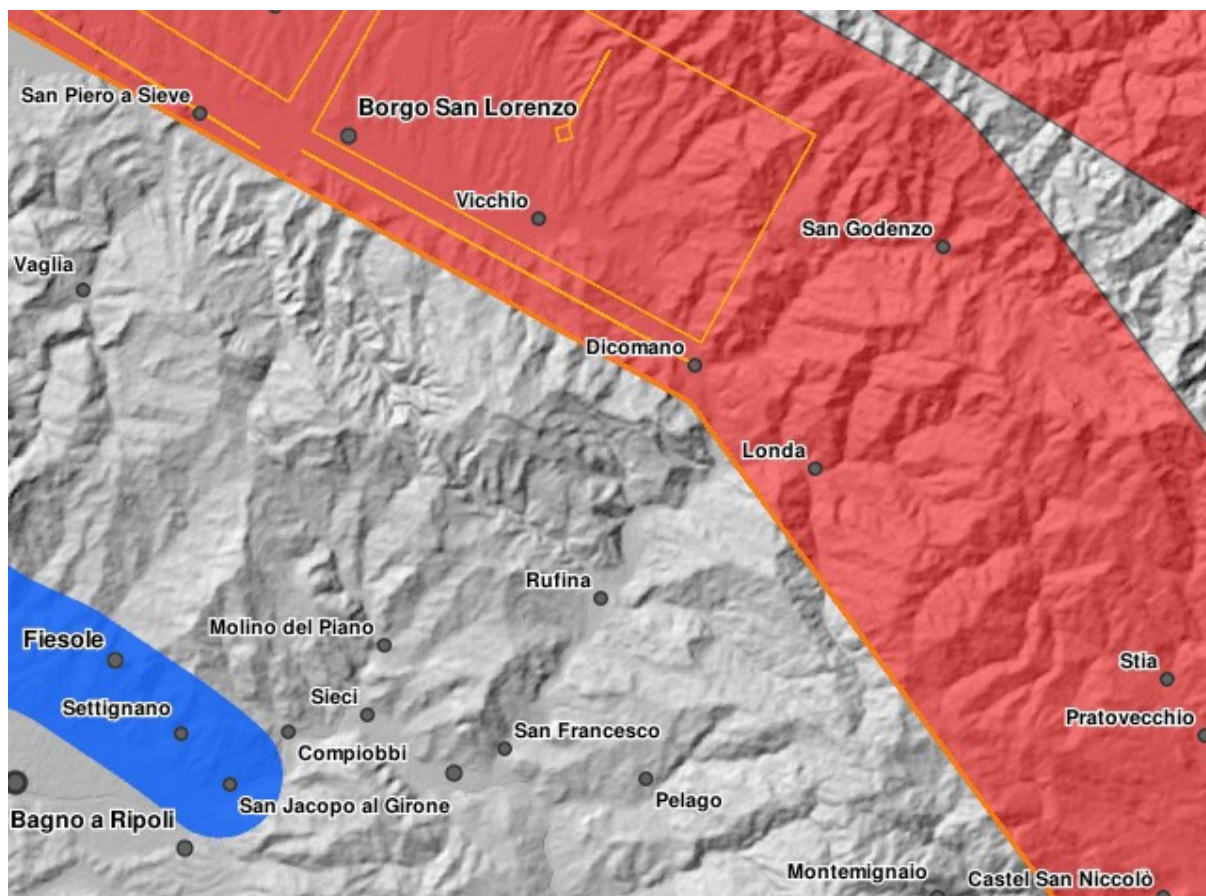
Strike (angolo rispetto al nord):	301°
Dip (inclinazione rispetto al piano campagna):	30°
Profondità min - max:	1,0 - 4,5 km
Magnitudo massima (Mw):	5,9

e la struttura codificata come ITIS086 "Mugello East" con le caratteristiche principali di cui alla tabella seguente:

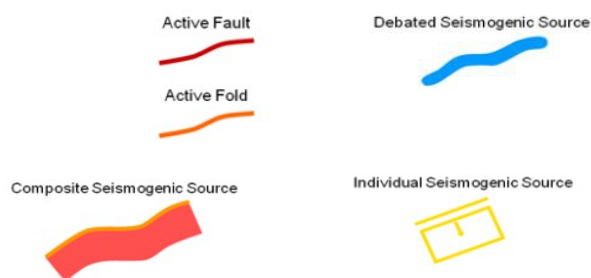
Strike (angolo rispetto al nord):	298°
Dip (inclinazione rispetto al piano campagna):	40°
Profondità min - max:	0,6 - 6,9 km
Magnitudo massima (Mw):	6,2

Dal medesimo catalogo si riconosce, inoltre, la presenza nel settore in esame di una area sismogenetica incerta codificata come ITDS015 "Prato - Fiesole Fault System", che corre con andamento appenninico dall'area di Montale a quella di Bagno a Ripoli.

Le aree sismogenetiche incerte sono quelle aree caratterizzate dalla presenza di faglie potenzialmente attive, sulla scorta dei dati di letteratura, ma che non sono considerate abbastanza affidabili da includerle con certezza nelle aree sismogenetiche certe, in quanto: faglie per cui sono fornite solo minime evidenze superficiali; faglie basate su evidenze geologiche ambigue; faglie di cui ci sono visioni contrastanti in letteratura; faglie che ricadono in zone a sismicità bassa o molto bassa; faglie le cui caratteristiche sono in aperto contrasto con quelle dei sistemi di faglie vicini e di conoscenza più approfondita.



*Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0*



*Potenziali sorgenti sismiche per terremoti con  $M > 5.5$*

## 2.2 RISCHIO SISMICO

Il rischio sismico nella accezione corrente rappresenta il probabile danno che un determinato sito può subire in occasione di un sisma. In maniera analitica può essere espresso come il prodotto della pericolosità sismica, della vulnerabilità sismica e della quantificazione economica delle realtà danneggiate. La pericolosità sismica può essere direttamente riferita alla vibrazione che un sito può subire durante un sisma, mentre la vulnerabilità definisce lo stato di conservazione del patrimonio edilizio e delle strutture sociali potenzialmente rese inattive dal sisma. Il parametro relativo alla quantificazione economica delle realtà danneggiate è di difficilissima valutazione poiché comprende, oltre a edifici, strutture produttive ed infrastrutture, anche vite umane e beni artistici e culturali.

La *valutazione del rischio sismico*, in aree ad estensione regionale, viene effettuata mediante la **macrozonazione sismica**, definita come l'individuazione di aree che possano essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità.

All'interno di queste aree si possono valutare, con maggior dettaglio, le differenze di intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche locali attraverso procedure il cui insieme costituisce la **microzonazione sismica**. Infatti l'esame della distribuzione dei danni prodotti da un terremoto nello stesso territorio dimostra che le azioni sismiche possono assumere anche a distanze di poche decine di metri caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, etc.).

La microzonazione sismica mira ad individuare gli strumenti necessari a prevedere e a mitigare gli effetti sismici in una zona di dimensioni urbane, tramite opportuni criteri d'uso del territorio.



Le indagini per la *valutazione del rischio sismico* sono, pertanto, suddivise in due fasi.

### **Macrozonazione sismica**

Fornisce un quadro generale del potenziale sismico e quindi della pericolosità sismica di una regione, con l'individuazione delle aree sismiche e di quelle non soggette a sisma.

Nell'ambito dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274/03 si sono individuate 4 zone, delle quali le prime tre coincidono con quelle (Categorie) individuate dalla L.n. 64/74 e successivi D.M. ad essa collegati, mentre la quarta è di nuova costituzione. In quest'ultima zona le regioni possono imporre l'obbligo della progettazione antisismica e stabilire norme e criteri specifici.

Sulla scorta di questa nuova classificazione il territorio del Comune di Londa è inserito in Zona 2.

La OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006 disciplina i criteri alla base degli studi per la definizione della pericolosità sismica utili alla riclassificazione sismica del territorio nazionale, ma definisce anche con:

- la lett. g) la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle zone sismiche che dovranno prevedere:
- la discretizzazione dell'elaborato di riferimento rispetto ai confini dei comuni. E' opportuno a tale proposito che il passaggio fra zone sismiche territorialmente contigue sia definito in termini gradualità, sia all'interno di ciascuna regione che al confine di regioni diverse.

- la definizione di eventuali sottozone nell'ambito di uno stesso comune e secondo quanto previsto alla lett. a) per descrivere meglio l'azione sismica, soprattutto in relazione alle esigenze di valutazione e di recupero degli edifici esistenti.

- la lett. c) - sulla base della valutazione di  $a_g$  l'assegnazione di un territorio ad una delle zone sismiche potrà avvenire, secondo la tab. di cui alla lett. a), con la tolleranza di 0,025  $a_g$ .

La Regione Toscana con D.G.R. n. 431 del 19.06.2006 ha proposto la riclassificazione sismica regionale, mantenendo in via preliminare un atteggiamento di cautela soprattutto nelle situazioni che potevano comportare una declassificazione dei comuni dalla zona a media sismicità alla zona a bassa sismica (da zona 2 a zona 3).

A tal proposito ha ritenuto opportuno, nel processo di declassificazione dei comuni, mantenere lo stesso livello di protezione assicurato dalle azioni sismiche della zona 2, provvedendo di conseguenza all'individuazione di una zona 3S. Il territorio comunale di Londa rimane comunque inserito in zona 2.

A distanza di sei anni dall'entrata in vigore della precedente classificazione sismica, la Regione Toscana ha provveduto all'aggiornamento della classificazione sismica del proprio territorio. La nuova mappa sismica è stata approvata con la delibera n. 878 dell'8 ottobre 2012. L'aggiornamento della classificazione sismica, redatto ai sensi dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3519/2006, si è reso necessario al fine di recepire le novità introdotte dall'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC2008) e di rendere la classificazione sismica (riferimento per la disciplina dei controlli sui progetti depositati presso gli Uffici tecnici regionali preposti), maggiormente aderente all'approccio *sito-dipendente* introdotto dalle vigenti Norme. Il territorio comunale di Londa rimane in **zona 2 nella più recente classificazione regionale**.

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni [ $a_g$ ]	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) [ $a_g$ ]	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$a_g > 0,25 \text{ g}$	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g	2.224
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g	3.002
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05 \text{ g}$	0,05 g	1.982

### **Microzonazione sismica**

Individua le risposte sismiche locali nell'ambito di una zona dell'ordine di grandezza di un comune o di una città metropolitana, fornendo informazioni di dettaglio relative agli effetti locali, ottimizzando quindi i dati rilevati tramite la macrozonazione.

Compito precipuo della microzonazione è quello di individuare terreni dinamicamente instabili e stimare le accelerazioni che si possono verificare in terreni dinamicamente stabili, poiché condizioni geologiche,

geomorfologiche ed idrogeologiche particolari possono determinare variazioni nella risposta sismica locale e di conseguenza sulla pericolosità del sito.

### ***NTC***

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) e successivamente del D.M. 17 gennaio 2018 – Nuove norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ( $V_{s30} > 800$  m/s), viene definita mediante un approccio "sito-dipendente" e non più tramite un criterio "zona-dipendente".

Secondo l'approccio "zona dipendente", adottato dalla precedenti normative nazionali in campo antisismico, l'accelerazione di base  $a_g$ , senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni, derivava direttamente dalla Zona sismica di appartenenza del comune nel cui territorio è localizzato il sito di progetto.

Pertanto, la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica. Pertanto, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (tabella 1, allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Tale griglia è costituita da 10.751 nodi (distanziati di non più di 10 km) e copre l'intero territorio nazionale ad esclusione delle isole (tranne Sicilia, Ischia, Procida e Capri) dove, con metodologia e convenzioni analoghe vengono forniti parametri spettrali costanti per tutto il territorio (tabella 2 ,allegato B del D.M. 14 gennaio 2008); tale considerazione riguarda anche le isole dell'arcipelago toscano. La Toscana è interessata da 936 nodi.

Per ciascuno dei nodi della griglia vengono forniti, per 9 valori del periodo di ritorno (da 30 anni a 2.475 anni), i valori dei parametri  $a_g$  (espresso in  $g/10$ ),  $F_0$  (adimensionale) e  $T^*c$  (espresso in secondi) necessari per la definizione dell'azione sismica.

Secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, sarà possibile il calcolo dei suddetti parametri spettrali (per uno dei tempi di ritorno forniti) tramite media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni (Tabella 1 in Allegato B) che comprendono il sito in esame. Qualora il tempo di ritorno richiesto sia differente da uno dei 9 tempi di ritorno forniti in tabella, sarà possibile ricavare il valore del parametro di interesse mediante interpolazione tra i valori dei parametri corrispondenti ai due tempi di ritorno (dei nove forniti per ognuno dei nodi del reticolo di riferimento) che comprendono il tempo di ritorno necessario.

A tale proposito sono state predisposte dal Servizio Sismico della Regione Toscana, le mappe di pericolosità relative alla distribuzione dei nodi della griglia per ciascuna delle dieci province.

Per ogni territorio comunale è riportata inoltre la classificazione sismica (Del. GRT n. 431 del 19 giugno 2006) sia in mappa che in forma tabellare. Infine, sempre in tabella, è illustrato a titolo indicativo anche il valore di accelerazione ( $a_{g475}$ ), calcolato in corrispondenza della sede comunale.

Si ricorda che i valori di accelerazione vanno divisi per 10. Pertanto, i valori di accelerazione del settore nord del territorio comunale (Capoluogo) sono compresi tra 0,125 e 0,150 g, mentre ai restanti settori vengono attribuiti valori di accelerazione compresi tra 0,100 e 0,125 g.

L'attività di valutazione su un territorio (alla scala comunale) delle modificazioni apportate allo scuotimento del suolo dalle condizioni geologico-tecniche locali e dalle condizioni topografiche locali viene chiamata **microzonazione sismica (MS)**.

Tale attività rientra in un quadro più generale nei programmi di prevenzione e di mitigazione degli effetti di un terremoto, in cui è necessario individuare in via preliminare con criteri speditivi le zone a più elevato rischio sismico da sottoporre a studi particolareggiati.

Si definiscono “**condizioni locali di sito**”:

- la geologia e la geomorfologia locale;
- condizioni geotecniche e stratigrafiche locali;
- prossimità ad una faglia sismicamente attiva.

Le condizioni locali di sito sono responsabili degli effetti locali di sito che possono schematicamente essere così riassunti:

- modifica delle caratteristiche dello scuotimento rispetto a quanto definito in termini di pericolosità di base;
- fenomeni di instabilità del terreno.

Per ciò che attiene alla modifica del moto sismico, si tratta di definire la **pericolosità sismica locale**. Ciò comporta in generale un'amplificazione del moto sismico, la cui causa è riconducibile a motivi stratigrafici (presenza di depositi soffici poggianti su substrato roccioso), topografici (amplificazione del moto sismico lungo pendii o alla sommità di scarpate o pendii) oppure riferibile alla presenza di particolari geometrie sepolte, in grado di modificare le caratteristiche del moto sismico sia in termini di intensità sia per quanto concerne il contenuto spettrale.

Per quanto concerne i fenomeni di instabilità dei terreni e delle rocce gli aspetti rilevanti sono quelli che riguardano:

- liquefazione e/o densificazione dei depositi sabbiosi;
- eccessivi cedimenti e deformazioni permanenti del suolo;
- instabilità di pendio in terreni e roccia;
- attività di faglia.

Danni consistenti possono ricorrere quando la frequenza di risonanza di un terreno raggiunta durante un evento sismico corrisponde a quella propria dell'edificio (fenomeno della doppia risonanza).

La pericolosità di base è di norma definita mediante approccio di tipo probabilistico. In generale, per la determinazione della pericolosità di base è necessario definire:

- la sismicità storica;
- le zone sismogenetiche;
- le relazioni di attenuazione;
- le leggi di ricorrenza.

A tal fine è necessario raccogliere e interpretare dati e informazioni riguardanti la sismicità regionale, la sismo-tettonica, dati e registrazioni ottenuti da reti sismiche nazionali e locali.

Per quanto riguarda la stima della pericolosità sismica locale, essa è da ricondurre ad una serie di caratteri geologico-tecnici di un'area più o meno ampia che viene presa in esame. Tali caratteri geologico tecnici come è noto riguardano: la morfologia di superficie, la morfologia sepolta, le litologie, le caratteristiche fisico meccaniche, le condizioni idrogeologiche s.l. Queste condizioni infatti oltre ad essere causa di possibile amplificazione degli effetti sismici possono provocare i cosiddetti fenomeni indotti, quali: attivazione e rimobilizzazione di fenomeni gravitativi, liquefazione in terreni granulari saturi, deformazioni permanenti in terreni di fondazione.

La **valutazione degli effetti locali** di amplificazione del moto sismico e quindi la pericolosità sismica locale sono di norma valutati attraverso analisi di risposta sismica locale dei depositi di terreno.

A riguardo la normativa di riferimento (D.M. 14.09.2008) consente di valutare gli effetti locali di amplificazione del moto sismico sia in modo semplificato, sia con modalità analitiche più rigorose.

Uno degli aspetti più importanti di queste normative è quello di definire e di valutare l'amplificazione sismica dei terreni sulla base della definizione del parametro  $V_s$ , cioè della velocità delle onde di taglio.

## 2.3 MODELLAZIONE SISMICA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica, che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare quel *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, una volta definite le relative *probabilità di superamento*, è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la **pericolosità sismica di base** per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

### **VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO**

Nelle NTC il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \times C_U \quad (2.1)$$

dove:

$V_R$  = *periodo di riferimento*

$V_N$  = *vita nominale*

$C_U$  = *coefficiente d'uso*

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$ , secondo le NTC, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata

e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità:

$VN \leq 10$  anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto  $\geq 2$  anni.

$VN \geq 50$  anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.

$VN \geq 100$  anni per grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.

In esempio  $VN = 50$  anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

**Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.  $CU = 0.7$ ;

**Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.  $CU = 1.0$ ;

**Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.  $CU = 1.5$ ;

**Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.  $CU = 2.0$ ;

In esempio viene presa in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso  $CU = 1$ .

Una volta ottenuti  $VN$  e  $CU$ , è possibile calcolare il periodo di riferimento  $VR$ , che ad esempio vale:

$VR = 50 * 1 = 50$  anni.

### **STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO**

Le NTC prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o



comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

**Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

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

Gli stati limite ultimi sono:

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

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

Le NTC, in presenza di azioni sismiche, richiedono le verifiche allo SLO solo per gli elementi non strutturali e per gli impianti di strutture di classi d'uso III e IV. Lo SLO si utilizza anche come riferimento progettuale per quelle opere che devono restare operative durante e subito dopo il terremoto. Le verifiche allo SLC sono, invece, richieste solo per le costruzioni o ponti con isolamento e/o dissipazione.

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento PVR*, ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento VR, si verifichi almeno un evento sismico ( $n \geq 1$ ) di ag prefissata (ag = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza  $\lambda = 1/TR$  (TR = periodo di ritorno).

*Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR*

Stati limite			PVR
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	81%
	Stato limite di danno	SLD	63%
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	10%
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	5%

Fissati VR e PVR associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica TR, espresso in anni, mediante l'espressione riportata nell'Allegato A delle NTC08:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

Tale relazione tra PVR (probabilità) e TR (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

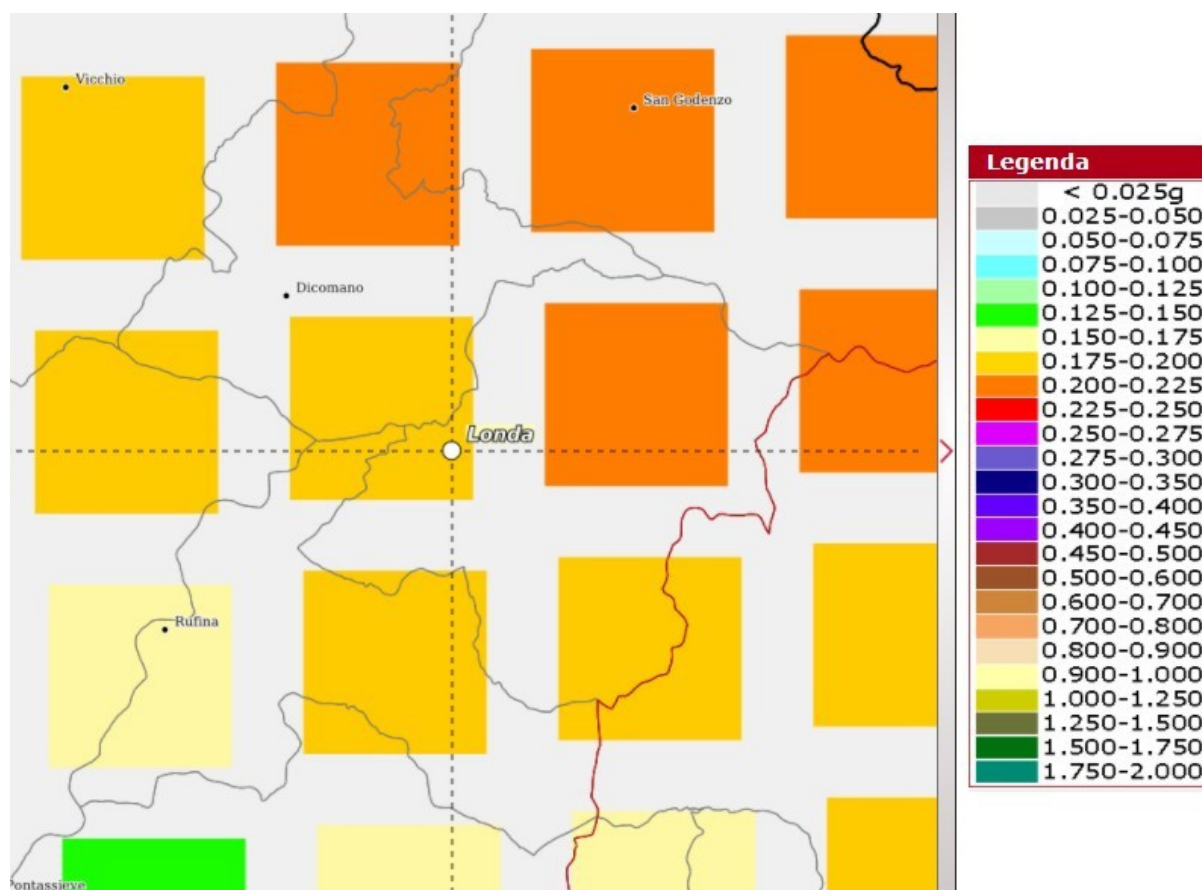
Poiché è **VR = 50 anni**, il tempo di ritorno TR sarà:

*Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento VR*

Stati limite			TR
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	30
	Stato limite di danno	SLD	50
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	475
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	975

## 2.4 PERICOLOSITA' SISMICA

In termini generali la pericolosità sismica dell'area di intervento è valutabile facendo riferimento agli studi condotti dal “Gruppo di Lavoro MPS, 2004” nell’ambito della “Convenzione - Progetto “S1” DPC - INGV 2004-2006” i cui risultati sono stati promulgati mediante l’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006 (cfr. Mappa MPS04-S1).



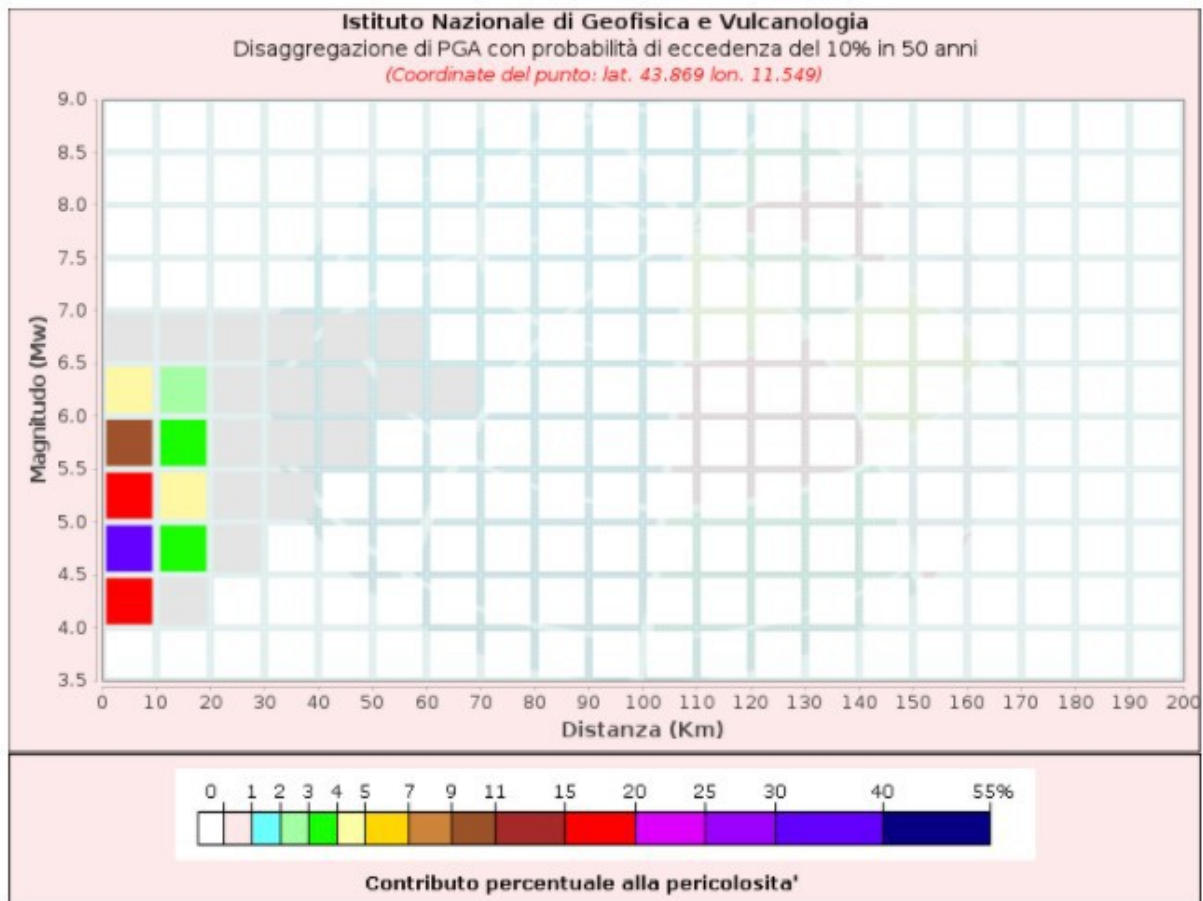
*Mappa di pericolosità sismica - Accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_s > 800$  m/s; cat.A) – da INGV*

Per valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di sito viene operata la disaggregazione della pericolosità sismica. La disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di

pericolosità (terremoto di scenario) come l'evento di magnitudo  $M$  a distanza  $R$  dal sito di interesse, che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica dello stesso.

Dalla mappa di pericolosità sismica viene effettuata un'analisi della disaggregazione dei valori di  $a(g)$  e per ogni nodo della griglia di calcolo è possibile valutare il contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo e distanza.

Questa informazione è riportata sia in forma grafica che in forma tabellare.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.869 lon. 11.549)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	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	0.0000	16.8000	32.7000	19.5000	9.6800	4.1800	0.4570	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	0.7000	3.2300	4.2000	3.5200	2.3300	0.3380	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0000	0.0573	0.5960	0.8570	0.4590	0.0850	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0000	0.0170	0.1600	0.1150	0.0268	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	0.0268	0.0079	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0062	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Questo tipo di analisi è utile nell'individuazione della sorgente sismogenetica che contribuisce maggiormente a produrre il valore di scuotimento stimato in termini probabilistici.

La Magnitudo media riferibile all'area di intervento è pari a 5,06.

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5.06	6.31	0.945

Dove  $\epsilon$  rappresenta il numero di deviazioni standard per cui lo scuotimento (logaritmico) devia dal valore mediano predetto da una data legge di attenuazione dati M ed R.

#### **DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE**

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (ag) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

Secondo le NTC le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'Allegato A alle NTC08:

ag = accelerazione orizzontale massima;

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

TC\* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

ag, il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

Fo e TC\* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti nella seguente tabella, contenuta nell'Allegato B delle NTC08, per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

ID	LON	LAT	TR = 30			TR = 50			TR = 72			TR = 101		
			ag	F0	T*c	ag	F0	T*c	ag	F0	T*c	ag	F0	T*c
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230
13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230

*Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.*

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno TR corrispondente alla VR e PVR fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

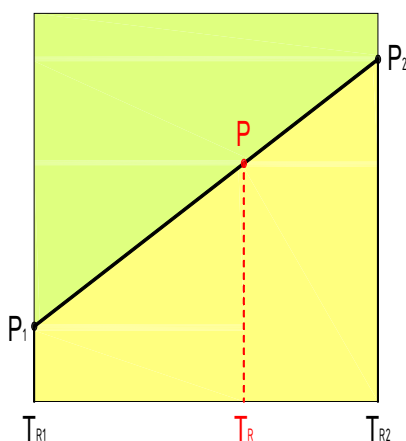
$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse (ag, Fo, TC\*) corrispondente al periodo di ritorno TR desiderato, mentre  $p_1, 2$  è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno TR1, 2.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri  $p$  possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

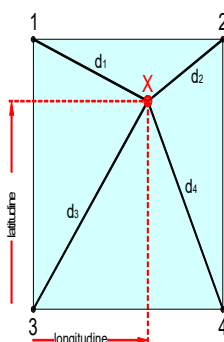
$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (4.2)$$

nella quale  $p$  è il valore del parametro di interesse (ag, Fo, TC\*) corrispondente al punto considerato,  $p_i$  è il valore di tale parametro nell' $i$ -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e  $d_i$  è la distanza del punto in esame dall' $i$ -esimo vertice della suddetta maglia.



*Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.*

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella figura che segue.



*Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.*

Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo

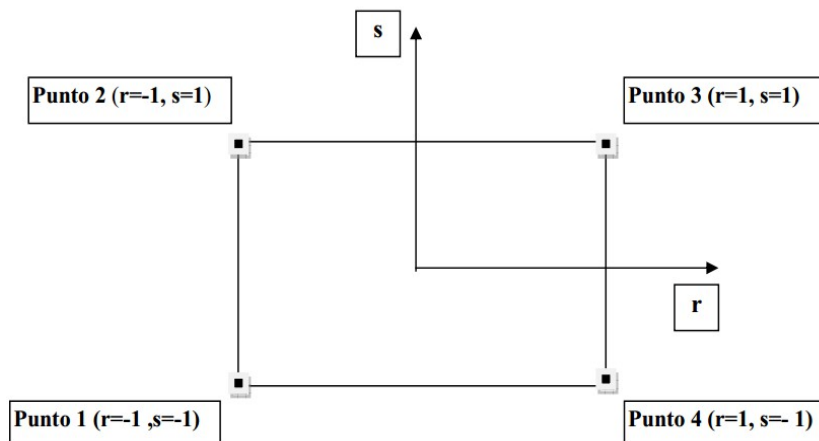
calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza  $d$  tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(\text{lat}\beta) \cdot \sin(\text{lat}\alpha) + \cos(\text{lat}\beta) \cdot \cos(\text{lat}\alpha) \cdot \cos(\text{lon}\alpha - \text{lon}\beta)] \quad (4.3)$$

dove  $R = 6371$  è il raggio medio terrestre in km, mentre  $\text{lat}\alpha$ ,  $\text{lon}\alpha$ ,  $\text{lat}\beta$  e  $\text{lon}\beta$  sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di  $\pm 0,01g$  ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.



*Applicazione dell'interpolazione bilineare.*

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1 - r)(1 - s)/4 \quad (4.4)$$

$$h_2 = (1 - r)(1 + s)/4 \quad (4.5)$$

$$h_3 = (1 + r)(1 + s)/4 \quad (4.6)$$

$$h_4 = (1 + r)(1 - s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate  $x, y$  di un punto generico e le coordinate  $r, s$  dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i x_i = [(1 - r)(1 - s)x_1 + (1 - r)(1 + s)x_2 + (1 + r)(1 + s)x_3 + (1 + r)(1 - s)x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i y_i = [(1 - r)(1 - s)y_1 + (1 - r)(1 + s)y_2 + (1 + r)(1 + s)y_3 + (1 + r)(1 - s)y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s, si determinano i parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i p_i = [(1-r)(1-s)p_1 + (1-r)(1+s)p_2 + (1+r)(1+s)p_3 + (1+r)(1-s)p_4] \quad (4.10)$$

Dove p rappresenta il parametro cercato.

### **PERICOLOSITA' SISMICA DI SITO**

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

### **COEFFICIENTI SISMICI**

I coefficienti sismici orizzontale  $K_h$  e verticale  $K_v$  dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (TR) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$TR = -VR / \ln(1 - PVR)$$

Con VR vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso VR non può essere inferiore a 35 anni.

### **STABILITA' DEI PENDII DI FONDAZIONE**

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti  $K_h$  e  $K_v$  sono così determinati:

$$K_h = \beta_s \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_h$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

I valori di  $\beta_s$  sono riportati nella seguente tabella.

Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20



Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$a_{max} = SS \cdot ST \cdot a_g$

SS (effetto di amplificazione stratigrafica) ( $0.90 \leq S_s \leq 1.80$ ) è funzione di F0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

ST (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

T1: ST = 1.0; T2: ST = 1.20; T3: ST = 1.2; T4: ST = 1.40.

## 2.5 VERIFICHE DI PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DI SITO

### Londa capoluogo – Settori Fondovalle

#### PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn):	50	[anni]
Classe d'uso:	II	
Coefficiente d'uso (Cu):	1	
Periodo di riferimento (Vr):	50	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLO:	30	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	50	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	475	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	975	[anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84):	43.8639145	[°]
Longitudine (WGS84):	11.5627556	[°]
Latitudine (ED50):	43.8648643	[°]
Longitudine (ED50):	11.5637331	[°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	19619	43.868820	11.548530	1295.69
2	19620	43.869950	11.617860	4375.76
3	19842	43.819970	11.619370	6695.61
4	19841	43.818840	11.550090	5233.48

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.061	2.467	0.261
SLD	50	0.079	2.413	0.269
	72	0.093	2.426	0.272
	101	0.107	2.420	0.275
	140	0.124	2.386	0.280
	201	0.141	2.410	0.283
SLV	475	0.194	2.395	0.287
SLC	975	0.248	2.379	0.304
	2475	0.330	2.424	0.319

**Punto 2**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.064	2.444	0.261
SLD	50	0.082	2.425	0.266
	72	0.097	2.422	0.271
	101	0.111	2.414	0.276
	140	0.129	2.387	0.279
	201	0.147	2.404	0.283
SLV	475	0.202	2.378	0.288
SLC	975	0.257	2.403	0.289
	2475	0.342	2.409	0.317

**Punto 3**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.060	2.481	0.262
SLD	50	0.077	2.443	0.271
	72	0.091	2.425	0.272
	101	0.105	2.421	0.276
	140	0.121	2.390	0.282
	201	0.138	2.412	0.284
SLV	475	0.190	2.394	0.288
SLC	975	0.242	2.385	0.304
	2475	0.323	2.429	0.321

**Punto 4**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.058	2.493	0.261
SLD	50	0.072	2.468	0.271
	72	0.086	2.431	0.275
	101	0.099	2.431	0.277
	140	0.113	2.416	0.283
	201	0.131	2.399	0.286
SLV	475	0.178	2.383	0.292
SLC	975	0.227	2.368	0.308
	2475	0.303	2.417	0.317

**Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.061	2.468	0.261
SLD	50	0.078	2.426	0.269
SLV	475	0.193	2.390	0.288
SLC	975	0.246	2.382	0.302

**PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO**Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

**Stabilità di pendii e fondazioni**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.015	0.019	0.056	0.081
kv	0.007	0.009	0.028	0.040
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.718	0.923	2.272	2.822
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

### Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.044	0.088	--
kv	--	0.022	0.044	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.718	0.923	2.272	2.822
Beta	--	0.470	0.380	--

### Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.044	0.088	--
kv	--	0.022	0.044	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.718	0.923	2.272	2.822
Beta	--	0.470	0.380	--

### Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

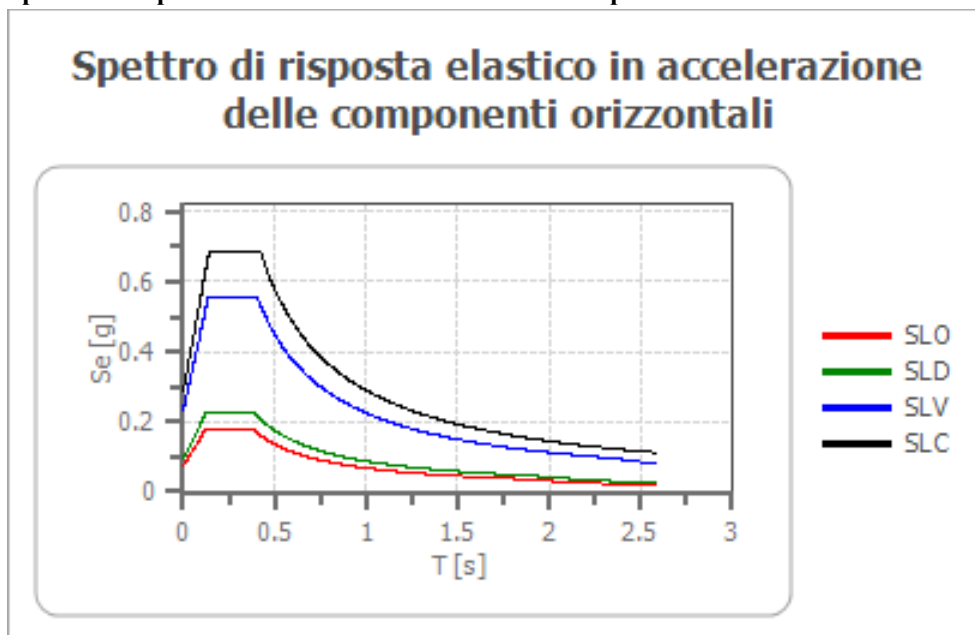
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.057	0.073	0.180	0.223
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.718	0.923	2.272	2.822
Beta	0.776	0.776	0.776	0.776

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.061	2.468	0.261	1.200	1.440	1.000	1.200	1.000	0.125	0.376	1.844	0.073	0.181
SLD	1.0	0.078	2.426	0.269	1.200	1.430	1.000	1.200	1.000	0.128	0.384	1.914	0.094	0.228
SLV	1.0	0.193	2.390	0.288	1.200	1.410	1.000	1.200	1.000	0.135	0.406	2.372	0.232	0.554
SLC	1.0	0.246	2.382	0.302	1.170	1.400	1.000	1.170	1.000	0.141	0.423	2.584	0.288	0.685

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

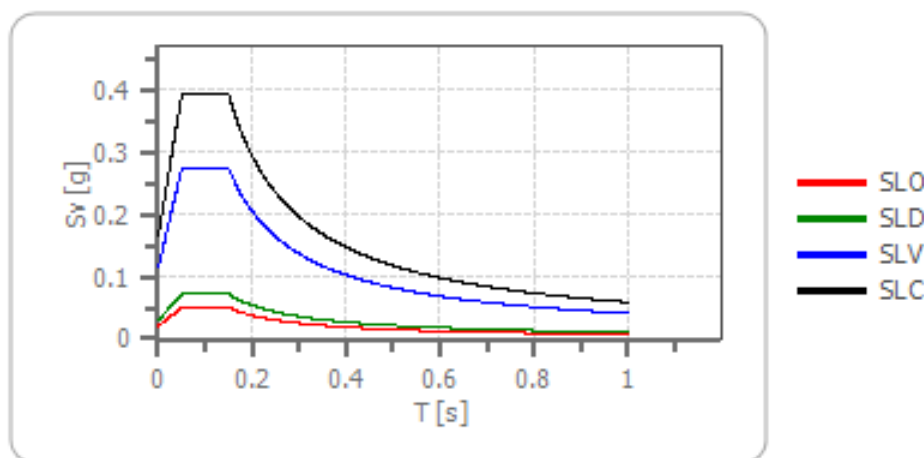
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ:

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10 / (5 + \xi)]^{(1/2)}$ :

1,000

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.061	2.468	0.261	1	1.440	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.020	0.050
SLD	1.0	0.078	2.426	0.269	1	1.430	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.030	0.072
SLV	1.0	0.193	2.390	0.288	1	1.410	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.115	0.274
SLC	1.0	0.246	2.382	0.302	1	1.400	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.165	0.392

### Londa capoluogo – Settori di Versante

#### PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
 Classe d'uso: II  
 Coefficiente d'uso (Cu): 1  
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]  
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

#### Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 43.8581276 [°]  
 Longitudine (WGS84): 11.5691023 [°]  
 Latitudine (ED50): 43.8590813 [°]  
 Longitudine (ED50): 11.5700788 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	19619	43.868820	11.548530	2039.03
2	19620	43.869950	11.617860	4016.74
3	19842	43.819970	11.619370	5877.11
4	19841	43.818840	11.550090	4753.00

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

**Punto 1**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.061	2.467	0.261
SLD	50	0.079	2.413	0.269
	72	0.093	2.426	0.272
	101	0.107	2.420	0.275
	140	0.124	2.386	0.280
	201	0.141	2.410	0.283
SLV	475	0.194	2.395	0.287
SLC	975	0.248	2.379	0.304
	2475	0.330	2.424	0.319

**Punto 2**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.064	2.444	0.261
SLD	50	0.082	2.425	0.266
	72	0.097	2.422	0.271
	101	0.111	2.414	0.276
	140	0.129	2.387	0.279
	201	0.147	2.404	0.283
SLV	475	0.202	2.378	0.288
SLC	975	0.257	2.403	0.289
	2475	0.342	2.409	0.317

**Punto 3**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.060	2.481	0.262
SLD	50	0.077	2.443	0.271
	72	0.091	2.425	0.272
	101	0.105	2.421	0.276
	140	0.121	2.390	0.282
	201	0.138	2.412	0.284
SLV	475	0.190	2.394	0.288
SLC	975	0.242	2.385	0.304
	2475	0.323	2.429	0.321

**Punto 4**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.058	2.493	0.261
SLD	50	0.072	2.468	0.271
	72	0.086	2.431	0.275
	101	0.099	2.431	0.277
	140	0.113	2.416	0.283
	201	0.131	2.399	0.286
SLV	475	0.178	2.383	0.292
SLC	975	0.227	2.368	0.308
	2475	0.303	2.417	0.317

**Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.061	2.469	0.261

SLD	50	0.078	2.431	0.269
SLV	475	0.193	2.389	0.288
SLC	975	0.245	2.383	0.301

#### PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2-Pendii con inclinazione media maggiore di 15°

#### Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.053	0.105	--
kv	--	0.026	0.053	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.861	1.104	2.720	3.377
Beta	--	0.470	0.380	--

#### Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.018	0.023	0.067	0.096
kv	0.009	0.011	0.033	0.048
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.861	1.104	2.720	3.377
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

#### Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.053	0.105	--
kv	--	0.026	0.053	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.861	1.104	2.720	3.377
Beta	--	0.470	0.380	--

#### Paratie NTC 2018

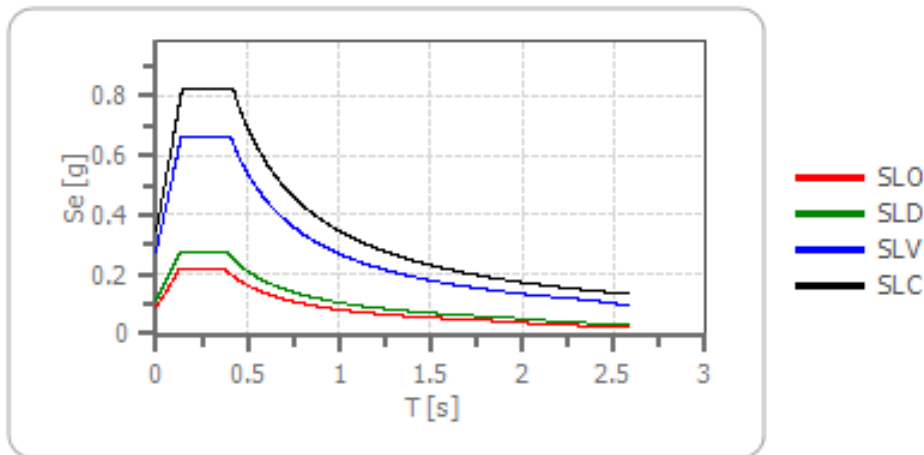
Altezza paratia (H): 3,0 [m]

Spostamento ammissibile us: 0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.068	0.087	0.215	0.267
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.861	1.104	2.720	3.377
Beta	0.776	0.776	0.776	0.776

#### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.061	2.469	0.261	1.200	1.440	1.200	1.440	1.000	0.125	0.376	1.844	0.088	0.217
SLD	1.0	0.078	2.431	0.269	1.200	1.430	1.200	1.440	1.000	0.128	0.384	1.913	0.113	0.274
SLV	1.0	0.193	2.389	0.288	1.200	1.410	1.200	1.440	1.000	0.136	0.407	2.370	0.277	0.662
SLC	1.0	0.245	2.383	0.301	1.170	1.400	1.200	1.404	1.000	0.141	0.422	2.581	0.344	0.821

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

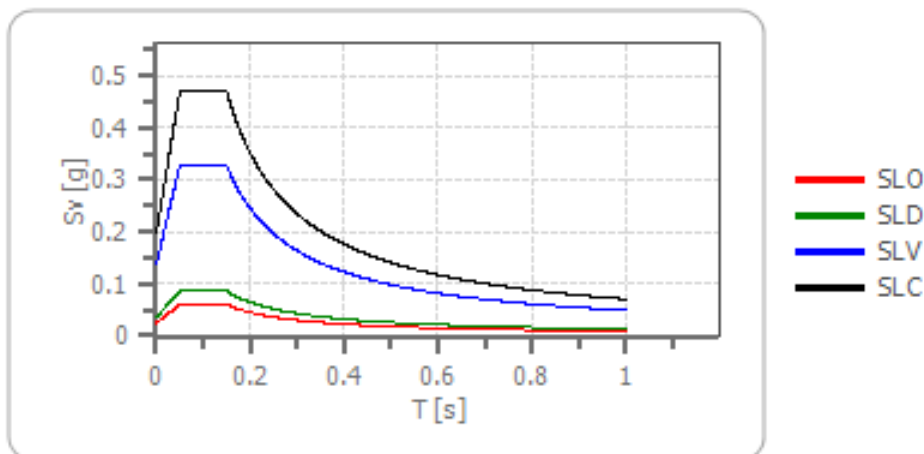
Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10 / (5 + \xi)]^{1/2}$ :

1,000

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.061	2.469	0.261	1	1.440	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.024	0.060
SLD	1.0	0.078	2.431	0.269	1	1.430	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.035	0.086
SLV	1.0	0.193	2.389	0.288	1	1.410	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.137	0.327
SLC	1.0	0.245	2.383	0.301	1	1.400	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.197	0.469

## **Rincine**

### PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn): 50 [anni]  
Classe d'uso: II  
Coefficiente d'uso (Cu): 1  
Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]  
Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]  
Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]  
Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

#### Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 43.8676720 [°]  
Longitudine (WGS84): 11.6039934 [°]  
Latitudine (ED50): 43.8686256 [°]  
Longitudine (ED50): 11.6049700 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	19619	43.868820	11.548530	4524.45
2	19620	43.869950	11.617860	1043.80
3	19842	43.819970	11.619370	5531.99
4	19841	43.818840	11.550090	7072.13

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

#### **Punto 1**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.061	2.467	0.261
SLD	50	0.079	2.413	0.269
	72	0.093	2.426	0.272
	101	0.107	2.420	0.275
	140	0.124	2.386	0.280
	201	0.141	2.410	0.283
SLV	475	0.194	2.395	0.287
SLC	975	0.248	2.379	0.304
	2475	0.330	2.424	0.319

#### **Punto 2**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.064	2.444	0.261
SLD	50	0.082	2.425	0.266
	72	0.097	2.422	0.271
	101	0.111	2.414	0.276
	140	0.129	2.387	0.279
	201	0.147	2.404	0.283
SLV	475	0.202	2.378	0.288
SLC	975	0.257	2.403	0.289
	2475	0.342	2.409	0.317



**Punto 3**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.060	2.481	0.262
SLD	50	0.077	2.443	0.271
	72	0.091	2.425	0.272
	101	0.105	2.421	0.276
	140	0.121	2.390	0.282
	201	0.138	2.412	0.284
SLV	475	0.190	2.394	0.288
SLC	975	0.242	2.385	0.304
	2475	0.323	2.429	0.321

**Punto 4**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.058	2.493	0.261
SLD	50	0.072	2.468	0.271
	72	0.086	2.431	0.275
	101	0.099	2.431	0.277
	140	0.113	2.416	0.283
	201	0.131	2.399	0.286
SLV	475	0.178	2.383	0.292
SLC	975	0.227	2.368	0.308
	2475	0.303	2.417	0.317

**Punto d'indagine**

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.063	2.457	0.261
SLD	50	0.080	2.430	0.267
SLV	475	0.198	2.383	0.288
SLC	975	0.251	2.394	0.295

**PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO**

Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ : 5 %  
 Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ : 1,000  
 Categoria sottosuolo: B  
 Categoria topografica: T2-Pendii con inclinazione media maggiore di 15°

**Muri di sostegno NTC 2018**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.054	0.108	--
kv	--	0.027	0.054	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.883	1.133	2.789	3.432
Beta	--	0.470	0.380	--

**Stabilità di pendii e fondazioni**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.018	0.023	0.068	0.098
kv	0.009	0.012	0.034	0.049
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.883	1.133	2.789	3.432
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

**Fronti di scavo e rilevati**

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.054	0.108	--

kv	--	0.027	0.054	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.883	1.133	2.789	3.432
Beta	--	0.470	0.380	--

### Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

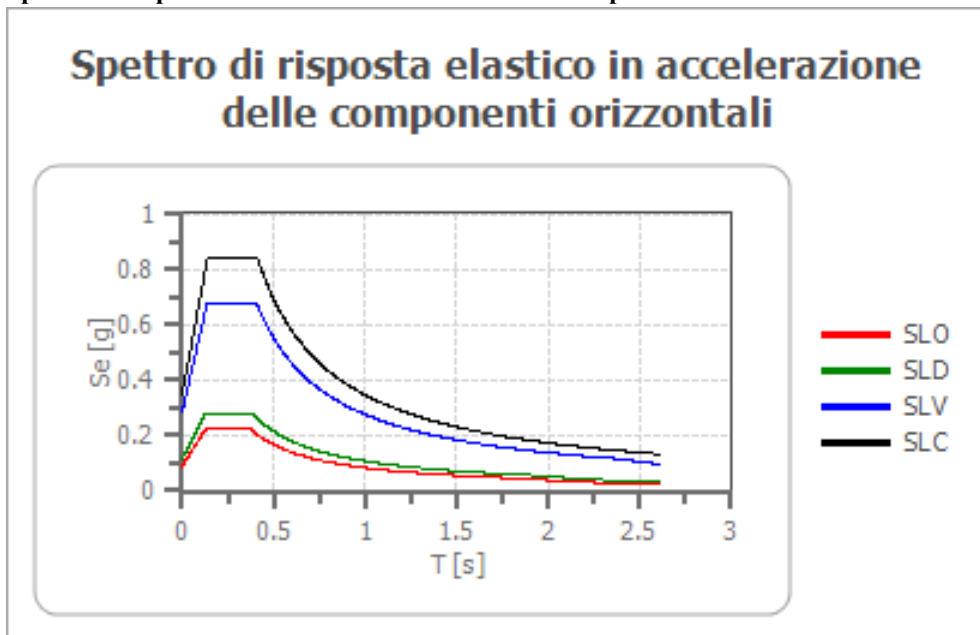
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.070	0.090	0.221	0.272
kv	--	--	--	--
amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.883	1.133	2.789	3.432
Beta	0.776	0.776	0.776	0.776

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.063	2.457	0.261	1.200	1.440	1.200	1.440	1.000	0.125	0.376	1.850	0.090	0.221
SLD	1.0	0.080	2.430	0.267	1.200	1.430	1.200	1.440	1.000	0.127	0.382	1.921	0.116	0.281
SLV	1.0	0.198	2.383	0.288	1.200	1.410	1.200	1.440	1.000	0.136	0.407	2.390	0.284	0.678
SLC	1.0	0.251	2.394	0.295	1.160	1.400	1.200	1.392	1.000	0.138	0.413	2.606	0.350	0.838

### Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

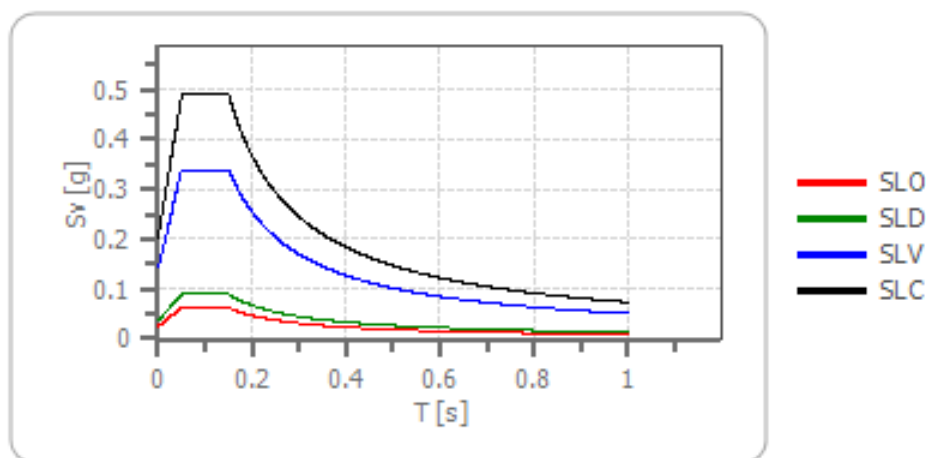
Coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi$ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico  $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$ :

1,000

## Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	$\eta$ [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.063	2.457	0.261	1	1.440	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.025	0.062
SLD	1.0	0.080	2.430	0.267	1	1.430	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.037	0.089
SLV	1.0	0.198	2.383	0.288	1	1.410	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.142	0.339
SLC	1.0	0.251	2.394	0.295	1	1.400	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.204	0.489

### 2.6 LIQUEFAZIONE – BASE TEORICA E VERIFICA PER LOCALITA'

I siti in cui si possa prevedere la realizzazione di edifici e/o manufatti dovranno risultare stabili per quanto concerne fenomeni di liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni non coesivi saturi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

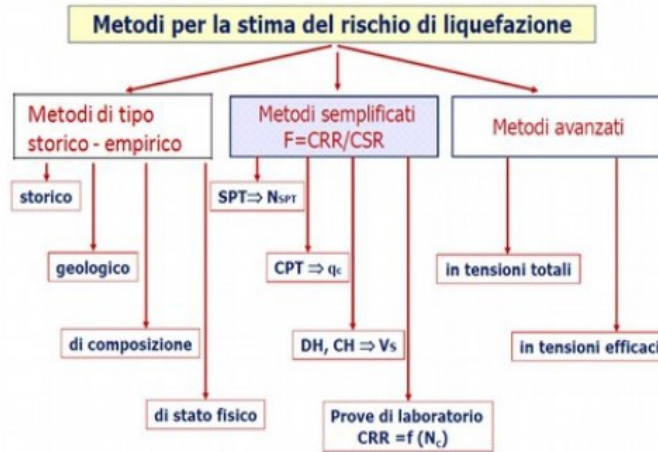
In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni, incrementi indotti nei pali.

Secondo le NTC 2018 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in

prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



Per il territorio comunale di Londa si ritiene che la suscettibilità alla liquefazione dei terreni esaminati sia molto bassa, ossia trattasi di terreni non liquefacibili, considerando anche i modesti spessori in gioco, per la presenza a pochi metri di profondità dal piano campagna del substrato geologico litoide.

### 3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

#### 3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO

Le aree di studio sono inserite nel territorio del Comune di Londa (Città Metropolitana di Firenze), che si sviluppa su di una superficie di 59,29 kmq.

Il territorio del Comune di Londa segna il confine della Provincia di Firenze con quella di Arezzo ad est nel Casentino, esso è delimitato a sud e sudovest dal Comune di Rufina, ad ovest e nordovest dal Comune di Dicomano, ad estr dal Comune di Stia e a nord nord-est dal Comune di S.Godenzo lungo l'allineamento dato dal versante occidentale del Monte Falterona (1654 m) dal Monte Acuto (1410 m) e dal Monte Massicaia (1308 m).



*Ubicazione del Comune di Londa all'interno della Città Metropolitana di Firenze*

Il territorio è segnato in maniera caratteristica dal corso dei Torrenti Moscia e Rincine che lo tagliano in senso sud/est-nord/ovest ed est-ovest rispettivamente.

Altimetricamente si presenta un dislivello di circa 1.100 metri compresi tra un minimo di 190,0 m s.l.m. nei pressi di Loc.Fornace al confine con il Comune di Dicomano lungo la S.S.556, ed un massimo di 1.308,00 m s.l.m. nei pressi del Monte Massicaia.

Dal punto di vista morfologico la tipologia principale è quella del paesaggio medio collinare di transizione a quella di zona montana più aspra. Esso è caratterizzato da condizioni morfologiche riconducibili a poche forme caratteristiche, in quanto la costituzione geologica presenta limitata variabilità. Vi si distinguono cioè settori prevalentemente caratterizzati da morfologia collinare relativamente aspra con modesti rilievi che raggiungono quote comprese tra i 200-550 m s.l.m., con versanti a notevole acclività alternati a dorsali a pendici ripide, non particolarmente larghe e ondulate (nell'insieme si crea un susseguirsi di colline d'erosione separate talvolta da strettissime vallecole). Spostandosi verso sud e verso est da tale paesaggio si passa a zone dove spiccano invece rilievi montuosi che possono raggiungere quote attorno ai 1.000 m s.l.m..

Per quanto riguarda l'ambiente di piana alluvionale si riscontra che qui è poco diffuso, di limitata estensione e disposto in corrispondenza dei due corsi d'acqua principali (Moscia e Rincine), laddove essi scorrono nella parte occidentale del territorio comunale.

L'assetto morfologico è strettamente connesso con la natura geologica dei terreni affioranti e in stretta correlazione con la costituzione geologica e le caratteristiche pedologiche dell'area.

Questa zona è caratterizzata da terreni appartenenti alla Formazione del M. Cervarola e delle Arenarie del Falterona, i quali sono costituiti da sequenze litologiche di arenarie, con intercalazioni siltitico-marnose in vario rapporto di prevalenza tra loro. Le sequenze prevalentemente arenacee presentano delle chiare connotazioni di resistenza e competenza, decisamente superiori rispetto alle siltitico-marnose, riuscendo a mantenere acclività più elevate e determinando una maggiore energia del rilievo.

Inoltre la presenza di suoli diversi, come evidenziato dalla costituzione geologica, determina variazioni anche nella concentrazione ed intensità dell'erosione e si riflette in parte sul tipo di vegetazione presente ed in parte sulla possibilità di uso agricolo.

Le pendenze che caratterizzano mediamente queste aree sono quasi sempre medio-elevate, comprese tra il 20-30%.

### **3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NOTAZIONI STRATIGRAFICHE**

Il territorio comunale di Londa copre un vasto tratto del versante orientale del bacino del Fiume Sieve, dove affiora il basamento roccioso della Serie Toscana, costituito dalle arenarie quarzoso-feldspatiche e calcaree alternate a marne, siltiti e argilliti con lenti di selce della Formazione delle Arenarie del Monte Falterona.

Tale porzione, collocata all'interno dell'Appennino settentrionale, è interessata dall'accavallamento dell'Unità Cervarola-Falterona sulla Serie Umbro-Romagnola.

Il motivo strutturale della zona è quindi una linea di accavallamento con direzione appenninica (NO-SE): si tratterebbe di un sovrascorrimento con estensione totale di circa 200 km, avvenuto lungo un orizzonte plastico coincidente al livello della Scaglia Toscana, interessante la parte alta della Serie Toscana.

Tale sovrascorrimento del "Macigno" (s.l.) della Serie Toscana sulla Marnoso-arenacea Umbro-Romagnola farebbe parte di una tettonica gravitativa interessante tutta la zona: nel tortoniano si sarebbe creato un piano di subduzione corrispondente all'attuale accavallamento, capace di creare una depressione che avrebbe favorito l'avanscorrimento delle Unità Torbiditiche.

Si riconoscono in tale zona due fasi tettoniche distinte: una prima fase di antica compressione che ha originato in prevalenza faglie inverse dando luogo ad un a serie di pieghe sinclinali ed anticlinali vergenti NE (talora rovesciate quindi vergenti SO); una seconda fase, di distensione, che ha in parte riattivato le faglie precedenti trasformandole in dirette.

La natura tettonica di tale contatto fu riconosciuta per primo da Signorini (1925-27); Merla e Bortolotti per questa zona (1969) individuarono tre formazioni, oligomioceniche, appartenenti alla Serie Toscana: Macigno del Chianti (Arenaria che al Pratomagno raggiunge i 2.500 m di spessore e che al Falterona, così come nel bacino del T.Rincine, si aggira attorno a 600-700 m), Macigno del Mugello (alternanza di siltiti e marne con spessore massimo nella zona di Londa di circa 1.500 m), Marne di Pievepelago (al tetto del Macigno del Mugello ma anche intercalate come passaggio laterale fra le due sovraindicate). Pellegrini (1965) ascrive tutte e tre le suddette unità litologiche all'Unità del M. Cervarola-M. Falterona che divide in tre litofacies: Scisti varicolori argilloso-marnosi in basso, in continuità di sedimentazione segue il Macigno e poi l'Arenaria con livelli di torbiditi calcaree. L'ipotesi più recente (Bortolotti et alii, 1970) individua nell'area in esame le seguenti formazioni: Macigno del M. Falterona, Arenaria di M. Cervarola, Marne di Vicchio. La distribuzione areale dei

flysch oligo-miocenici del dominio toscano segue quindi due fasce parallele ad andamento appenninico. Nella fascia più interna affiora la successione Macigno-Arenarie di M.Modino, in quella più esterna la successione Arenarie del Falterona-Arenarie del Cervarola. In tale ottica l'Unità dei Flysch Terziari costituirebbe una successione più recente del Macigno s.l., deposta in minima parte nella stessa area di sedimentazione e, per la quasi totalità, in un bacino contiguo più orientale.

Per quanto riguarda le formazioni torbiditiche oligo-mioceniche del Dominio Toscano, affiorano le litologie appartenenti alla formazione delle Arenarie del M. Falterona nelle sue varietà di litofacies, da quella arenaceo torbiditica con intercalazioni pelitico siltitiche, a quella caratterizzata da marne e argilliti.

Nell'estrema porzione meridionale del territorio comunale di Londa, alcune limitati settori vedono la presenza di terreni flyschoidi da calcareo marnosi ad argillitico marnosi e arenaceo siltitici appartenenti al Dominio Subligure (Unità di Canetolo), che giacciono in discordanza sui depositi torbiditici oligo-miocenici del Dominio Toscano (Unità di M. Cervarola - Falterona), a seguito del sovrascorrimento e sovrapposizione in età miocenica (medio-superiore) delle Unità Sub-Liguri sui terreni appartenenti al Dominio Toscano.

Le formazioni paleocenico-oligoceniche del Dominio Subligure sono costituite da formazioni prevalentemente argillitico-calcaree (i.e Argille e Calcari di Canetolo) e da depositi torbiditici arenacei (Arenarie di Monte Senario).

Nei settori vallivi alle suddette formazioni si sovrappongono i terreni recenti di copertura costituiti dai depositi eluvio-colluviali, dai depositi detritici di versante, dalle alluvioni recenti e dai depositi alluvionali attuali.

In particolare il settore in esame è caratterizzato principalmente dalla presenza di depositi eluvio-colluviali, costituiti da materiale con elementi eterometrici prevalentemente fini in abbondante matrice sabbioso-limosa, derivanti da trasporto per ruscellamento e di depositi detritici di versante e di frana, costituiti da accumuli di materiale litoide eterometrico. Inoltre nei settori vallivi si riscontrano i depositi alluvionali recenti e attuali, costituiti da ciottolami in matrice limoso-sabbiosa con tessitura da clasto a matrice sostenuta, ghiaie, sabbie e limi talora variamente pedogenizzati.

In corrispondenza del centro abitato del capoluogo si rileva una struttura anticlinale con asse circa coincidente con l'alveo del T. Moscia, lungo il quale si sono formati depositi alluvionali antichi e recenti anche terrazzati; ai piedi dei versanti si rinvengono coperture detritiche anche cospicue e vecchi corpi di frana.

In corrispondenza dei settori urbanizzati si ha la presenza di terreni antropici di riporto.

I terreni oggetto di studio appartengono pertanto, per la quasi totalità, ad eccezione dei depositi di copertura, alle formazioni del substrato principalmente oligo-miocenico e secondariamente paleocenico-oligocenico e le suddivisioni litostratigrafiche o allostratigrafiche che sono proposte in letteratura permettono di avere un quadro completo ed esaustivo dei caratteri litologici e sedimentologici, nonché del significato paleo-ambientale della successione in esame.

### **3.3 DESCRIZIONE DELLE FORMAZIONI**

In dettaglio, nell'area del Comune di Londa, si ritrova, dall'alto verso il basso stratigrafico e con nomenclatura congruente con il Progetto CARG (Cartografia Geologica Regione Toscana) e con il Continuum Territoriale Geologico della Regione Toscana:

## **DEPOSITI ANTROPICI**

Sono terreni di origine antropica (h) individuati nelle aree urbane dei centri abitati.

## **DEPOSITI QUATERNARI**

Sono costituiti dalle coltri detritiche riconducibili a:

- coltri di frana
- depositi di versante (aa) e di falda (a3a) (*Olocene*)
- depositi alluvionali attuali (b) (*Olocene*)
- depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati (bna) (*Olocene*)
- depositi eluvio-colluviali (b2a) (*Olocene*)

I depositi alluvionali attuali (b) sono i depositi dei letti fluviali attuali, soggetti ad evoluzione, attraverso processi fluviali ordinari, costituiti da sabbie, limi e ghiaie e da depositi prevalentemente limoso sabbiosi nel caso delle piane alluvionali minori.

I depositi alluvionali recenti, terrazzati o non terrazzati (bna) sono riconducibili a depositi di piana alluvionale, costituiti prevalentemente da ciottolati in matrice limoso-sabbiosa, ghiaie, sabbie e limi talora variamente pedogenizzati.

I corpi di frana e i depositi detritici (aa) di versante e di falda (a3a) sono costituiti da elementi eterometrici prevalentemente grossolani, dispersi in matrice sabbiosa e sabbioso limosa e si trovano accumulati per gravità lungo i versanti o ai piedi di scarpate.

I depositi eluvio-colluviali (b2a) sono costituiti da elementi eterometrici a granulometria minore del detrito di versante, in abbondante matrice sabbioso-limosa, derivanti dall'alterazione del substrato ed accumulati in posto dopo breve trasporto per ruscellamento e per gravità.

Il substrato litoide del territorio comunale è costituito dalle formazioni litoidi riconducibili al Dominio Toscano (Unità di M. Cervarola – Falterona) e al Dominio Subligure (Unità di Canetolo).

## **DOMINIO SUBLIGURE – UNITA' DI CANETOLO**

- Arenarie di Monte Senario (SEN) (*Eocene Medio/Superiore - Oligocene Inferiore*)

Alternanze di arenarie quarzoso-feldspatiche e di arenarie -pelitiche in strati da medi a molto spessi e, più frequentemente, in banchi, con base molto grossolana e presentano laminazione pianoparallela e convoluta. Il rapporto A/P è generalmente compreso tra 1 e 3. Le areniti, di colore giallastro, hanno composizione quarzoso-feldspatica e granulometria da medio-fine a grossolana, fino a microconglomeratica. Presenza di clay chips. Talora sono presenti intercalazioni di strati calcareo-marnosi, di spessore medio, grigi, a frattura scheggiata.

- Argille e Calcari di Canetolo – litofacies calcarea (ACCb) (*Eocene Medio/Superiore*)

Si tratta di calcari e calcari marnosi fini, con base calcarenitica, silicei, in strati generalmente di spessore medio, intercalati a calcareniti in strati da medi a molto spessi, con sottili interstrati pelitico-marnosi. Si rinvencono, inoltre, marne e marne calcaree grigio chiaro, biancastre e talora rosate, calcari marnosi rossastri in strati sottili e medi alternati a argilliti variegata.

## **DOMINIO TOSCANO – UNITA' DI M. CERVAROLA-FALTERONA**

- Arenarie del Monte Falterona – Membro di Lonnano (FAL4) (*Miocene Inferiore*)



Siltiti, argilliti e marne prevalenti,  $A/P < 1/4$ , con presenza di sottili livelli di arenarie fini il cui spessore non supera mai i 20 cm. Le marne sono generalmente di colore grigio chiare, molto fratturate, mentre le altre peliti sono generalmente più scure. I livelli arenacei sono invece di colore grigio-marrone.

- Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto (FAL3) (*Oligocene Superiore - Miocene Inferiore*)

Arenarie, marne, argilliti e siltiti con  $1/4 < A/P < 2$ . Stratificazione da molto sottile a molto spessa, talora in banchi. Si alternano pacchi decametrici di strati sottili con peliti prevalenti a banchi o strati molto spessi ravvicinati. Sono presenti, specialmente verso la base, numerosi livelli calcarenitici, in strati da medi a molto spessi. Nella parte alta del membro prevalenti peliti con rari banchi arenacei.

All'interno del Membro di Montalto si rinviene una litofacies siltoso arenacea (FAL3c) costituita da prevalenti livelli siltitico arenacei color grigio in strati da fini a medi, talora grossolani.

- Arenarie del Monte Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2) (*Oligocene Superiore*)

Arenarie grigio chiare e grigio verdi in strati dello spessore di 0,5-2 metri e peliti subordinate,  $2 < A/P < 10$ , le arenarie sono sempre molto grossolane e con quasi totale assenza di componenti carbonatici (né clasti, né cemento), si presentano in pacchi di 7-10 strati di arenaria con assenza di pelite, alternati a livelli dello spessore di un paio di metri di siltiti e argilliti scure con poche marne. Sono presenti livelli calcarenitici in strati da medi a spessi.

- Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montefalco (FAL1) (*Oligocene Superiore*)

Arenarie grigie in strati spessi in banchi amalgamati talora a base microconglomeratica.

### **3.4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE**

L'indagine geomorfologica si propone, attraverso un'analisi delle forme del paesaggio, di individuare i processi morfogenetici che agiscono nell'area e che nel loro insieme costituiscono la dinamica morfologica.

Senza dubbio questa caratterizzazione fornisce un'ampia gamma di informazioni (dagli aspetti puramente fisici all'assetto delle forme naturali ed antropiche), ma nell'ambito della pianificazione territoriale lo scopo da perseguire è quello di valutare i processi di maggiore rilievo e la loro influenza sull'ambiente.

E' importante sottolineare che dalla lettura geomorfologia del territorio si devono ricavare non solo le informazioni sulle situazioni di degrado in atto, ma anche le correlazioni fra i vari elementi del paesaggio, che consentono di prevedere le dinamiche evolutive dell'ambiente.

La potenzialità previsionale geomorfologica deve venire usata e sviluppata nel modo più opportuno per ottenere una migliore gestione del territorio.

Lo studio geomorfologico del territorio, infatti, fornisce una grande quantità di informazioni utili per valutare lo stato della dinamica morfologica dell'area e per prevedere la sua evoluzione nel periodo immediatamente successivo allo studio stesso.

Le notazioni geomorfologiche sono state rilevate in base ad osservazioni stereoscopiche di aerofotogrammi diacronici relativi a differenti voli eseguiti in periodi successivi a partire dal 1982, congiuntamente all'analisi critica dei documenti presenti per l'area di interesse, la comparazione tra dati provenienti da diverse fonti e in base alla verifica puntuale mediante il rilevamento sul campo.

I documenti presi in esame consistono nelle cartografie del piano strutturale vigente al momento dei rilievi, i dati geomorfologici forniti dal Servizio Geologico – ISPRA, la banca dati frane ed i dati geomorfologici della Regione Toscana (BD\_Frane, BD\_Geom), la banca dati frane ISPRA (Progetto IFFI), i dati relativi al “Censimento delle aree in dissesto da frana” allestita dalla Autorità di Bacino del F. Arno.

Le notazioni ricavate dalla fotointerpretazione e dall'analisi critica dei dati bibliografici sono state verificate in campagna ed integrate a mezzo rilevamento geomorfologico.

Prima di passare all'analisi dei processi morfogenetici ed alle relative forme, è opportuno specificare la distinzione che è stata adottata in cartografia per quanto riguarda le forme attive e quiescenti e le forme inattive. E' da sottolineare che la chiave interpretativa adottata è stata scelta in base agli obiettivi da raggiungere, ossia ottenere uno strumento valido per valutare lo stato del territorio ed individuare dove intervenire per risanare o prevenire eventuali dissesti e dove, invece, prevedere nuove espansioni urbanistiche.

Per **fenomeni attivi** si intendono quelli in continua evoluzione, le cui dinamiche e modificazioni possono essere registrate in breve intervallo temporale; si tratta quindi di fenomeni che non hanno raggiunto condizioni di equilibrio. Questi possono alternare periodi di massima dinamica a periodi di inattività temporanea generalmente legati al ciclo stagionale. Si citano ad esempio l'azione erosiva delle acque incanalate, oppure fenomeni legati alla dinamica gravitativa sui versanti del tipo "soliflusso", che mostrano diversa velocità nei vari periodi dell'anno.

Le **forme "quiescenti"** sono quelle la cui evoluzione non è legata al ciclo stagionale, ma si sviluppa secondo tempi di ricorrenza più lunghi. Infatti tali fenomenologie, pur non avendo raggiunto una situazione di equilibrio o stabilità, possono rimanere temporaneamente inattive anche per lunghi periodi come nel caso delle "paleofrane con tracce di instabilità". Gran parte di tali frane non ha subito sostanziali evoluzioni negli ultimi anni, ma è facilmente prevedibile che riverificandosi eventi meteorici con precipitazioni superiori alla media, si possano verificare riprese nell'attività dinamica di tali dissesti. Tali forme, durante il periodo di inattività, mostrano comunque indicatori tali da far ritenere una più o meno prossima ripresa del movimento.

Le **forme "inattive"** comprendono quelle fenomenologie che hanno raggiunto uno stato di equilibrio tale da far ritenere improbabili nuove evoluzioni in senso dinamico. Per tali forme non è quindi più attivo il processo morfogenetico che le ha innescate, né esistono indizi tali da far prevedere una successiva dinamica evolutiva, se non in seguito all'insorgere di nuovi fattori scatenanti.

Sulla carta geologico tecnica sono stati riportati tutti quei fenomeni geomorfologici che possono avere una particolare importanza ai fini dell'analisi della stabilità delle aree in esame e della valutazione degli effetti della risposta sismica locale.

In particolare sono state individuate:

- *forme, processi e depositi gravitativi di versante;*
- *forme, processi e depositi per acque correnti superficiali;*
- *forme, processi e depositi antropici e manufatti.*

Le principali forme di pendio comprendono le superfici e le scarpate di origine strutturale o litologica, le scarpate di degradazione, i ruscellamenti diffusi, i movimenti franosi, distinti ove possibile nelle varie parti che li compongono (nicchia di distacco, corpo della frana e zona di accumulo) ed i movimenti di massa generalizzati.

Si procede ad una breve descrizione sistematica.

#### **Forme, processi e depositi gravitativi di versante**

##### **Movimenti franosi**

Sono stati suddivisi nelle parti che li compongono: nicchia di distacco/coronamento di frana/scarpatata di frana, corpo della frana, zona d'accumulo. La nicchia di distacco o corona di frana, di facile individuazione in carta perché caratterizzata quasi sempre da una forma arcuata, separa a monte del fenomeno la massa in frana da quella stabile con esposizione del substrato; il corpo della frana è costituito dall'insieme dei terreni mobilizzati sottostanti la zona di distacco fino alla zona d'accumulo; la zona d'accumulo presenta struttura caotica e forma variabile a seconda della tipologia del processo e delle caratteristiche litologiche dei terreni coinvolti.

Per quanto concerne la dinamica sono state individuate:

- frane attive;
- paleofrane con tracce di instabilità o frane quiescenti che evidenziano fenomeni gravitativi avvenuti in tempi passati e che mostrano chiari segni di instabilità quali contropendenze e rotture di pendio;
- paleofrane o frane antiche stabilizzate avvenute in tempi passati, riconoscibili per la loro morfologia, ma tali da poter essere considerate al momento non attive. L'equilibrio così raggiunto può essere turbato, specie in funzione dei terreni presenti, da interventi antropici di modifica dei profili.

#### **Aree molto instabili per franosità diffusa**

Sono zone in cui è stata rilevata la presenza di più fenomeni franosi di svariata dimensione e tipologia; si è pertanto provveduto alla delimitazione del settore comprendente tutti i fenomeni in atto.

#### **Movimenti di massa generalizzati e/o soliflussi**

Sono stati individuati su tratti di versante con evidenti indizi di instabilità (dossi, contropendenze, lacerazioni, ecc.) talvolta singolarmente cartografabili, ma in altri casi interessanti anche vaste porzioni di versante. Mobilizzano, generalmente, limitati spessori di coltre alteritica e/o livelli di terreno coltivo. Talora sono innescati o favoriti da intensa attività antropica.

#### ***Forme, processi e depositi per acque correnti superficiali***

##### **Ruscellamento diffuso**

Forme dovute ad erosione idrica superficiale in rigagnoli o foliare, periodicamente obliterate da pratiche agricole; si innescano nella parte superiore e mediana degli stessi e provocano un progressivo assottigliamento del suolo. A seconda dell'intensità e della diffusione areale caratterizzano "aree soggette ad erosione profonda" o settori "soggetti ad erosione superficiale".

##### **Erosione lineare o incanalata e/o alveo con tendenza all'approfondimento**

Incisioni vallive con versanti ripidi e simmetrici, generalmente prive di depositi alluvio-colluviali, sede di deflusso di acque sia permanente che temporaneo che mostrano incisioni in continuo approfondimento.

##### **Orli di terrazzo o ripe d'erosione**

Brusche rotture di pendio al margine di superfici terrazzate; indicano fenomeni erosivi fluviali in terreni alluvionali più antichi.

##### **Erosioni laterali di sponda**

Attività erosive esercitate dai corsi d'acqua sulle sponde, in particolare in corrispondenza delle anse; tali processi possono causare, a lungo andare, crolli di entità cospicua in aree ritenute ad alta stabilità perché pianeggianti.

### **Forme, processi e depositi antropici e manufatti**

#### **Le forme ed i processi antropici**

Si tratta di forme dovute all'azione dell'uomo sul territorio, quindi rientrano in questa categoria un'ampia gamma di interventi: cave attive o inattive, dighe, rilevati e laghetti artificiali e in generale tutte le aree che per una qualsiasi ragione sono state manipolate dall'uomo.

Nel complesso, da un punto di vista geomorfologico l'areale di interesse è talora interessato sia da forme e processi di erosione idrica e del pendio, sia da forme e processi dovuti a gravità, nonché da forme di origine artificiale (antropica).

Per quanto riguarda la prima tipologia sono presenti forme di denudazione ed erosione (orlo di scarpata fluviale o di terrazzo, orlo rimodellato di scarpata o debole rottura di pendio aree soggette ad erosione superficiale). Tra le forme e i processi dovuti a gravità si ha la presenza di forme di denudazione (frane di limitata estensione e aree instabili per soliflusso generalizzato). Infine si hanno forme antropiche (artificiali) costituite da orli di scarpata di origine antropica, argini artificiali, rilevati stradali, cave attive e inattive e corpi d'acqua.

Dall'analisi generale del territorio di Londa, emerge come questo sia limitatamente caratterizzato dalla presenza di dissesti e processi gravitativi in atto; in particolare per le aree caratterizzate dall'affioramento dei materiali lapidei arenacei (la maggior parte), dove la concomitanza di più fattori sfavorevoli, quali le caratteristiche litologiche, l'acclività dei versanti e la fratturazione e la giacitura degli strati, favoriscono l'instaurarsi di tali processi.

Inoltre c'è anche da evidenziare che esistono chiari segni di tali fenomenologie di mobilitazione di massa attualmente quiescenti e/o inattive, ma che testimoniano una passata propensione all'instabilità.

Analizzando il territorio comunale vengono di seguito descritti i caratteri geomorfologici principali emergenti nelle tipologie di paesaggio prevalenti.

Per ciò che concerne la fascia di alta collina e media montagna, si riscontra un paesaggio fortemente influenzato da litotipi lapidei affioranti, appartenenti alle formazioni geologiche autoctone della Serie Toscana: qui i terreni rocciosi determinano pendii ripidi, solcati da torrenti che generalmente si sono impostati su lineazioni di frattura o faglie. Aree a minor pendenza si rilevano in corrispondenza delle zone dove sono presenti i detriti derivanti dall'alterazione del substrato roccioso, che manifestano spessori consistenti in corrispondenza di accumuli gravitativi.

I dissesti principali che si rilevano nel paesaggio di medio-alta collina si instaurano prevalentemente in corrispondenza delle fratturazioni che, in presenza di forti pendenze, contribuiscono a mobilitare parte delle formazioni, tendendo così ad una configurazione di maggiore stabilità. Generalmente non sono presenti processi attivi; in queste zone sono rilevabili principalmente alcune paleofrane stabilizzate, con coltri detritiche in gran parte erose, o paleofrane con riprese di movimento localizzate. Forme di erosione incanalata vengono individuate lungo i torrenti nelle zone a maggiori pendenze; sono state inoltre rilevate aree soggette ad erosione diffusa e ruscellamento superficiale.

Nelle zone di medio-alta collina, le aree rilevate a maggiore dissesto corrispondono a quelle in cui affiorano litologie prevalentemente marnose e argillitiche, le quali si alternano a quelle siltitiche ed arenacee prevalenti. I dissesti tipici delle formazioni con interstrati siltitici ed argillitici sono del tipo a scorrimento planare per giacitura a franapoggio degli strati; non infrequenti sono anche i fenomeni di crollo che avvengono per lo più lungo incisioni fluviali per erosione al piede delle scarpate.

Per le zone di medio-bassa collina si presenta l'affioramento di litotipi in prevalenza siltitici con alternanza di lapidei arenacei; qui sono notevoli gli accumuli detritici. Si costituiscono rilievi meno aspri caratterizzati da media acclività, delimitati da scarpate a notevoli pendenze.

Dal punto di vista dei dissesti, la zona bassa collinare è interessata principalmente da fenomeni erosivi superficiali, dovuti ad attività agricola con frequenti arature; in queste zone le aree instabili, essenzialmente per solifluzione, sono rare e generalmente di scarsa estensione. Gli eventuali dissesti, caratterizzati da franosità diffusa e da estese paleofrane con riprese di movimento, sono principalmente da imputare ai forti sconvolgimenti degli equilibri idrogeologici.

Le zone ad elevata pendenza sono interessate da numerosi fenomeni erosivi e gravitativi, sempre però estremamente localizzati. Infine si hanno limitate zone di fondo valle caratterizzate da depositi fluviali recenti in corrispondenza dei torrenti principali. Queste sono poche e poco estese, proprio per la conformazione prevalentemente arenacea dei rilievi circostanti, la quale fa sì che i corsi d'acqua siano dotati di forte potere erosivo e si presentino in approfondimento, scorrendo incassati nelle formazioni lapidee stesse.

L'area di fondovalle è infatti caratterizzata da limitatissime zone di pianura alluvionale. La coltre dei depositi fluviali ha uno spessore vario comunque sempre scarso e risulta costituita da limi di alluvioni recenti e prevalentemente da sabbie, ghiaie e ciottoli di sedimentazione d'alveo. Il substrato di tali depositi risulta costituito dalle formazioni lapidee arenacee oligoceniche. L'intensa urbanizzazione del limitato fondovalle principale (T. Moscia) ha provocato un notevole cambiamento nel drenaggio superficiale, talvolta ostruendo la rete di drenaggi preesistenti, determinando in tal modo problemi al deflusso delle acque superficiali e fenomeni di ristagno in varie aree. Le valli degli affluenti minori (T. Rincine ed altri, in parte anche il T. Moscia nella sua parte prossima al Capoluogo), sono state interessate invece dal proliferare degli orti con capanne, recinzioni e depositi di vario genere, che, oltre a cambiarne l'aspetto paesaggistico, hanno in parte provocato un mutamento nella regimazione delle acque superficiali.

Nel quadro generale, nella porzione di territorio comunale indagata, oltre a piccoli dissesti nelle formazioni lapidee a carico delle parti superficiali alterate e delle coperture detritiche, si rilevano significativi movimenti franosi quiescenti nelle coperture detritiche di fondovalle.

Non ricorrono elementi riconducibili a scarpate con dislivelli maggiori di 5/10 metri, ovvero a creste morfologiche di particolare interesse; sono state analizzate comunque le forme cui si può attribuire una qualche influenza nell'amplificazione topografica.

La più recente impostazione dell'alveo della Sieve ha prodotto un marcato ringiovanimento morfologico della rete degli affluenti con erosione concentrata e formazione di residui affioramenti di terrazzamento antico nel fondovalle del T. Rincine.

L'instabilità dinamica attribuita alle aeree franose, inattive e quiescenti, può manifestarsi presumibilmente con meccanismi diversi in corrispondenza delle scarpate di erosione fluviale.

Per le aree franose segnalate la ripresa o l'aggravamento del dissesto per scivolamento sono legati alla presenza di coperture detritiche originate da alterazione del substrato e/o messa in posto gravitativa.

Particolare importanza assume la coltre detritica nell'area di La Torre – Vicorati, originata da meccanismi di trasporto dal versante.

### **3.5 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E NOTAZIONI IDROGEOLOGICHE**

Per quanto riguarda il sistema idrografico i principali corsi d'acqua presenti sono il T. Moscia ed il T. Rincine che tagliano in senso nordovest-sudest ed estovest, rispettivamente, il territorio e la cui confluenza avviene in corrispondenza del Capoluogo, dove il T. Rincine affluisce nel T. Moscia.

Inoltre esistono una serie di altri corsi d'acqua importanti, che, con i loro affluenti minori, danno luogo ad un reticolo idrografico dendritico, fittamente ramificato e notevolmente gerarchizzato: si tratta di un modello di reticolo che si instaura in zone caratterizzate da rocce dello steso tipo (arenacee), le quali, offrendo le stesse caratteristiche di erodibilità, favoriscono lo sviluppo casuale della rete idrografica.

Questo assetto generale in alcuni casi può venire alterato dalla presenza di alcune linee di frattura che in passato hanno costituito un canale preferenziale di scorrimento lungo il quale si sono potuti impostare alcuni corsi d'acqua. E' inoltre da notare che il territorio comunale è interessato parzialmente da altri tre sottobacini, che per la loro maggior parte sono però afferenti a territori extracomunali (Borro Rapale e Borro dell'Inferno ad est, T. Gravina a sud, Borro di Pietramala a sud-ovest).

Il regime dei corsi d'acqua è generalmente torrentizio con piene nella stagione invernale e periodi di magra in quella estiva: essi presentano per tutto il loro corso caratteristiche di notevole energia, potere erosivo accentuato e scorrono incassati nelle formazioni lapidee, presentando lunghi tratti in erosione.

Relativamente alle caratteristiche idrogeologiche dei terreni presenti nel territorio comunale di Londa, questi risultano caratterizzati da ampie aree contraddistinte da acquiferi multifalda in corrispondenza delle formazioni prevalentemente arenacee e siltitico quarzose con livelli argillitici intercalati.

Sono diffusi anche gli acquiferi a limitata produttività presenti in complessi arenacei con frequenti strati marnosi o argillitici, con modesta circolazione idrica. Più rari risultano i sedimenti a grana fine in pratica privi di circolazione idrica sotterranea.

Le falde presenti all'interno delle formazioni litoidi sono costituite da livelli acquiferi presenti all'interno dell'ammasso roccioso in corrispondenza delle linee di filtrazione idrica confinate nelle fasce di fratturazione della formazione litoide.

Talora queste sono frappeste a livelli a minor permeabilità che rendono la falda acquifera di carattere artesiano. La presenza della risorsa idrica è connessa a condizioni di fratturazione e di alimentazione definibili a grande scala e non risolvibili nel ristretto intorno dell'area di captazione e/o di ricerca.

Risultano diffuse, ma con scarsa continuità areale i settori con falde libere presenti in materiali detritici (corpi detritici e accumuli di frana) e i settori con falde presenti in materiali con granulometria da sabbie prevalenti ad argilla, di modesta importanza con protezione di materiali fini (depositi eluvio-colluviali).

Infine risultano arealmente contenute (limitati ai materassi alluvionali presenti nei fondovalle) gli acquiferi liberi in materiali alluvionali a granulometria da grossolana a media (alluvioni recenti e attuali) senza o con scarsa protezione.

Nel territorio del Comune di Londa, la maggior potenzialità idrica è dovuta ai bacini idrografici dei T. Rincine e T. Moscia, che si sviluppano nei litotipi costituiti dall'alternanza di arenarie in spessore variabile con livelli di strati siltitico-marnosi. Le manifestazioni sorgentizie sono legate principalmente agli accumuli detritici ed alle zone nelle quali la roccia sottostante si può presentare fratturata.

Ne deriva un quadro del territorio che, seppure non esaustivo, ne identifica una potenzialità idrica discreta, anche se non distribuita in maniera omogenea.

La porzione di territorio interessata da intenso sfruttamento della risorsa ai fini acquedottistici è la parte nordorientale, soprattutto nei pressi delle località Biforchino, Sette Fonti e Pian dell'Aina. Tutte queste manifestazioni sorgentizie sono caratterizzate da acquifero legato agli accumuli detritici e le scaturigini si creano quando si presenta l'intersezione tra la superficie topografica e quella piezometrica. Queste rappresentano sorgenti in materiale detritico, per le quali l'acquifero sfruttato è funzione della permeabilità primaria del deposito e di quella secondaria (assai variabile) del basamento roccioso fratturato. In tali zone si concentra lo sfruttamento attuale ai fini idropotabili.

Si deve infatti notare che la situazione morfologica, litostratigrafica, strutturale e tettonica costituisce un presupposto di primaria importanza per la formazione di acquiferi di una certa rilevanza che hanno dato luogo alla formazione di manifestazioni sorgentizie diffuse sul territorio. I fenomeni erosivi spesso denudando le formazioni rocciose intensamente fratturate le rendono parzialmente permeabili, interessandole così ad infiltrazioni di acque meteoriche. Con tale situazione geologico-morfologica, consegue che per ciò che concerne la vulnerabilità all'inquinamento la falda può essere soggetta ad importanti rischi laddove i terreni di copertura dell'acquifero si presentano di modesto spessore, e la formazione litica si presenta particolarmente fratturata.

Per quanto riguarda le potenzialità degli acquiferi della zona collinare in genere le formazioni affioranti hanno rapporti molto variabili, e le migliori potenzialità possono essere rilevate nelle formazioni arenacee e detritiche in generale dove, trattandosi di acquiferi per porosità secondaria (per fratturazione delle rocce), è importante che le captazioni ricadano in zone con discreta fratturazione magari anche in corrispondenza di faglie o lineazioni di fratture.

Sulla base sia delle caratteristiche di permeabilità del territorio, che delle informazioni quali-quantitative raccolte sulla potenzialità idrica, è possibile fare alcune considerazioni sulla produttività degli acquiferi (anche eventualmente al fine di un utilizzo futuro): essa si presenta favorevole nelle aree caratterizzate da alta permeabilità, cioè laddove si hanno unità con alta permeabilità (primaria o secondaria), in quanto indiziate di una potenziale buona circolazione idrica sotterranea.

Per quanto riguarda la vulnerabilità della falda rispetto all'inquinamento è evidente come la maggiore o minore permeabilità del terreno e delle rocce che costituiscono il substrato, permetta una maggiore o minore diffusione e dispersione di un inquinante idrocolato. Pertanto, lo sversamento di un inquinante sul terreno produrrà danno maggiore laddove nelle aree dove la permeabilità del terreno è più alta.

### **3.6 ACCLIVITA' DEI VERSANTI**

Le variazioni altimetriche e topografiche sono utili per la definizione delle zone MOPS delle cartografie di Microzonazione, in quanto il progressivo aumento delle pendenze, a parità di condizioni litotecniche e giaciture, si ha un aumento del grado di instabilità di una pendice.

Una maggiore inclinazione del versante favorisce inoltre l'erosione superficiale, con trasporto a valle del materiale detritico asportato da parte delle acque di corrivazione; per contro una inclinazione minore della pendice favorisce i processi chimico-fisici di alterazione del substrato roccioso con formazione di suolo, data la maggiore permanenza delle acque di ristagno.

In particolare sono state definite le seguenti soglie:

- fino al 15 % non si hanno in genere controindicazioni in termini di stabilità dei versanti, anche se tali zone rappresentano una percentuale minima del territorio in aree collinari e montuose;
- dal 15 % al 25 % si possono verificare stati di instabilità dinamica in litologie costituite da sabbie sciolte, argille e limi soffici e detriti, se in presenza di falda superficiale;
- dal 25 % al 35 % possono verificarsi dissesti nelle litologie sopra elencate anche non in presenza di acqua;
- oltre il 35 % questa classe caratterizza versanti molto acclivi nei quali possono verificarsi crolli o distacchi se in presenza di rocce poco cementate, alterate o fessurate sia per fenomeni fisici (gelo-disgelo), che tettonici.



#### 4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per effettuare gli studi di Microzonazione si è provveduto alla raccolta e all'archiviazione organizzata di dati pregressi, quali le indagini eseguite da Trigeo s.n.c. e Geotecno nel maggio 2013 nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1, e alla realizzazione, a supporto degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3, di una specifica e inedita campagna di indagini, eseguita da Enki s.r.l. nel luglio 2019.

Le Carte delle indagini mostrano nel dettaglio, per ciascuna delle frazioni indagate, l'ubicazione di tutte le prove eseguite precedentemente al presente studio reperibili da fonti "bibliografiche" e/o banche dati, nonché l'ubicazione delle indagini geofisiche all'uopo realizzate su indicazione del Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica come supporto al presente studio di Microzonazione Sismica di Livello 3.

La nomenclatura delle diverse tipologie di indagine ubicate sulla CTR, è stata definita sulla base delle indicazioni riportate al par. 1.1.1. degli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica".

La raccolta dei dati esistenti si è basata sull'acquisizione, laddove reperibili, di stratigrafie relative a pozzi e sondaggi, di certificati di prove penetrometriche dinamiche e statiche, di indagini geofisiche (prove di sismica a rifrazione, prove down-hole, Masw e Hvsr).

Si citano di seguito le fonti di riferimento dei dati raccolti nel citato "data base" (per i dati di base da bibliografia):

- Studi geologici e geomorfologici di dettaglio, commissionati dalla Amministrazione Comunale, a supporto alla progettazione di opere di opere pubbliche e/o interventi infrastrutturali;
- Data base della Regione Toscana delle indagini di sottosuolo;
- Data base ISPRA relativamente a stratigrafie di pozzi idrici profondi;
- Archivi comunali in merito alle pratiche urbanistiche, edilizie e lavori pubblici;
- Indagini contenute negli Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di prove e indagini:

- n. 4 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 23 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  nel sottosuolo;
- n. 1 prospezioni di sismica superficiale attiva di tipo Masw per caratterizzare la velocità delle onde sismiche di taglio nel suolo e definire la valutazione del  $V_{s30}$ ;
- n. 26 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSR), e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, per la definizione della frequenza naturale dei terreni e per la determinazione dell'eventuale comportamento amplificativo degli stessi.

Per la predisposizione degli studi di *Microzonazione Sismica di Livello 3* è stata necessario realizzare una specifica campagna di indagini geofisiche, ad integrazione della campagna di indagine realizzata durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1, la cui distribuzione all'interno delle frazioni ed ubicazione in

relazione alle problematiche da indagare è stata concordata con i funzionari del Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica.

Questa campagna è consistita nell'esecuzione di:

- n. 2 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 3 linee di sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  nel sottosuolo;
- n. 2 indagini sismiche attive congiunte Masw per caratterizzare la velocità delle onde sismiche di taglio nel suolo e definire la valutazione del  $V_s$ Eq,30;
- n. 5 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr), e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, per la definizione della frequenza naturale dei terreni e per la determinazione dell'eventuale comportamento amplificativo degli stessi.

Si fornisce il dettaglio delle indagini appositamente eseguite con la loro distribuzione nelle varie frazioni, eseguite con specifico riferimento agli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3.

Londa Capoluogo:

- n. 2 prove Masw;
- n. 2 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 3 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh
- n. 5 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSr	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Londa Capoluogo	L25		X			
	L26		X			
	L27		X			
	L28				X	
	L29				X	
	P49	X				
	P50	X				
	P51					X
	P52					X
	P53	X				
	P54	X				
	P55	X				

Inoltre sono state collezionate sulla scorta delle specifiche indagini eseguite a supporto degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 e dall'archivio dei dati di base a disposizione dell'amministrazione Comunale le seguenti indagini, per ciascuna località.

Londa Capoluogo:

- n. 4 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;

- n. 23 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh;

- n. 21 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSR).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Londa Capoluogo	L1		X			
	L2		X			
	L3		X			
	L4		X			
	L5		X			
	L6		X			
	L7		X			
	L8		X			
	L10		X			
	L11		X			
	L12		X			
	L13		X			
	L14		X			
	L15		X			
	L16		X			
	L17		X			
	L18		X			
	L19		X			
	L20		X			
	L21		X			
	L22		X			
	L23		X			
	L24		X			
	P1					X
	P2					X
	P3					X
	P4					X
	P8		X			
	P9		X			
	P10		X			
P11		X				
P12		X				
P13		X				
P14		X				
P15		X				
P16		X				
P17		X				
P18		X				
P19		X				
P20		X				
P21		X				
P22		X				
P23		X				

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
	P24	X				
	P25	X				
	P26	X				
	P27	X				
	P40	X				

**Rincine:**

- n. 1 prova Masw;

- n. 5 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSR).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Rincine	L9				X	
	P33	X				
	P34	X				
	P35	X				
	P36	X				
	P37	X				

L'ubicazione di tali indagini all'interno delle frazioni, in relazione alle problematiche da indagare, è mostrata nelle sopra citate cartografie, mentre per le risultanze si rimanda agli elaborati ed allegati contenuti nella relazione sulle indagini geofisiche svolte nel novero delle attività correlate al presente studio con le relative certificazioni e/o elaborazioni rappresentative.

Di seguito si riporta una tabella con i risultati delle prove HVSR appositamente eseguite per gli studi di livello 3.

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Londa Capoluogo	P49	8.38		2.12		A2	
	P50	4.97		3.1		B2	
	P53	7.91		3.01		A2	
	P54	25.63		2.36		A2	
	P55	4.56		2.12		A2	

Mentre di seguito si riporta una tabella con i risultati delle prove HVSR ricavate dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 e dai dati di base collezionati.

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Londa Capoluogo	P8	10.45		5.3		A2	
	P9	11.95		6.71		A2	
	P10	11.65		5.76		A2	
	P11	11.8		4.52		A2	
	P12	11.65		4.04		A2	
	P13	6.55		3.26		A1	
	P14	0	22.9	0	3.14		A2

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
	P15	7.75		4.41		A2	
	P16	9.25		2.06		A1	
	P17	4.9		4.3		A2	
	P18	0		0		A2	
	P19	0		0		A2	
	P20	12.55		3.33		A2	
	P21	0		0		A2	
	P22	11.2		3.73		A2	
	P23	0		0		A2	
	P24	9.25		4.21		A2	
	P25	8.2		4.5		A1	
	P26	15.4	8.5	2.57	2.21	A2	B2
	P27	0		0		A2	
	P40	2.8		2.3		A1	
Rincine	P33	6.55		2.73		A1	
	P34	0		0		A1	
	P35	0		0		A2	
	P36	11.5		3.9		A2	
	P37	0		0		A2	

Per ogni misura HVSR, è stata attribuita una delle seguenti 3 classi di appartenenza (cfr. relazioni sulle indagini geofisiche svolte):

Classe A: registrazione affidabile ed interpretabile che può essere utilizzata anche da sola;

Classe B: registrazione sospetta da utilizzare con cautela ed in presenza di altre misure ottenute nelle vicinanze;

Classe C: registrazione scadente e di difficile interpretazione.

Per ciascuna delle frazioni indagate, nel seguito del presente rapporto in cui si descrivono le caratteristiche rilevate per ogni centro urbano studiato, si fornisce indicazione della Classe di qualità ottenuta applicando la “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS, i cui criteri e dati di input sono riassunti nella sotto riportata tabella 1 e i cui “range” di accettabilità sono indicati nel seguente abaco per le classi A, B e C.

CLASSE	VALORI	INDICAZIONI
<b>A</b>	<b>≥ 75 %</b>	Carta di livello 1 di ottima qualità
<b>B</b>	<b>50 % - 74 %</b>	Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri
<b>C</b>	<b>25 % - 49 %</b>	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
<b>D</b>	<b>≤ 25 %</b>	Carta di livello 1 di scarsa qualità: non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICMS08 e Linee Guida Regione Toscana

Parametro	Peso Parametro	Indicatore (peso=0.33)	Valutazione indicatore (punteggio)			
			Nulla (0)	Bassa (0.33)	Media (0.66)	Alta (1)
Carta geologico -tecnica	1	Anno rilevamento	No data	< 2000		> 2000
		Progetto	No data	Altro	Allegato piano urbanistico	Ad hoc
		Scala rilevamento	No data	50.000-26.000	25.000-11.000	10.000-2.000
Sondaggi a distruzione	0.50	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Sondaggi a carotaggio continuo	1	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Indagini geofisiche	0.50	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Percentuale indagini che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio	0.25	Numero di prove	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Misure delle frequenze del sito	0.75	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Classe di affidabilità misure (Albarelli et alii)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%

Relativamente alle notazioni litotecniche e geotecniche, sulla scorta dei risultati degli studi geologici e geologico tecnici dell'attuale Piano Regolatore è possibile distinguere i terreni presenti nel territorio da un punto di vista litotecnico. Infatti i terreni che possono manifestare comportamento meccanico omogeneo vengono accorpati in "unità litotecniche" distinte. Per cui vengono raggruppati nella stessa unità litotecnica quei litotipi che presentano caratteristiche tecniche simili, indipendentemente dalla formazione geologica a cui appartengono, dalla posizione stratigrafica, dai relativi rapporti geometrici, seguendo quindi solamente il criterio del comportamento meccanico omogeneo.

Relativamente alla caratterizzazione geotecnica e litotecnica dei terreni, con riferimento alla descrizione geologica relativa a ciascuna formazione, individuata e distinta nelle zone di studio, è stata definita la classe di appartenenza ad "unità litologico-tecnica – U.L.T." secondo le indicazioni formulate dal Programma VEL.

Le "unità litologico tecniche", cui si fa riferimento per le formazioni geologiche riscontrate nelle aree indagate, sono state distinte in gruppi principali in base alle diverse successioni di terreni che li caratterizzano uniformandosi alla "Legenda per la definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.)" del programma regionale VEL "Istruzioni tecniche per le indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche per la valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana".

Di seguito si riporta brevemente la descrizione delle varie "unità litologico-tecniche" con il dettaglio delle varie formazioni geologiche che a ciascuna di esse si è ritenuto far corrispondere.

### **Unità litologico tecnica A**

Si tratta di materiali lapidei stratificati costituiti da unico litotipi non stratificato. Questo raggruppamento comprende una unità litologico tecnica cartografata secondo i seguenti criteri:

- **Unità litologico-tecnica A:** rocce non stratificate o con bancate di spessore superiore a 3 mt. E' riconducibile a tale unità la formazione geologica delle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montefalco (FAL1).

### **Unità litologico tecnica B**

Si tratta di materiali lapidei stratificati o costituiti da alternanze di diversi litotipi con rapporto lapideo/pelite variabile. Questo raggruppamento comprende unità litologico tecniche cartografate secondo i seguenti criteri:

- **Unità litologico-tecnica B3:** alternanze ordinate di livelli lapidei e pelitici, con materiale lapideo > 75%. E' riconducibile a tale unità la formazione geologica delle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Camaldoli (FAL2).

- **Unità litologico-tecnica B4:** alternanze ordinate di livelli lapidei e pelitici, con materiale pelitico compreso tra 25% e 75%. Sono riconducibili a tale unità le formazioni geologiche delle Argille e Calcari di Canetolo in Ifacies torbiditico calcareo marnosa (ACCb), delle Arenarie di Monte Senario (SEN) e delle Arenarie del Monte Falterona – Membro di Montalto (FAL3).

- **Unità litologico-tecnica B5:** alternanze ordinate di livelli lapidei e pelitici, con materiale lapideo < 75%. Ne fanno parte le Arenarie del Monte Falterona – Membro di Lonnano (FAL4).

### **Unità litologico tecnica E**

Vi sono compresi i terreni con stato di addensamento da addensato a sciolto costituiti da materiali granulari non cementati o con lieve grado di cementazione. Per le varie granulometria può essere valutato lo stato di addensamento mediante prove manuali. Le sabbie, le breccie ed i conglomerati con grado di cementazione medio basso ricadono nella unità "C". Il limite fra le unità litologiche "C" ed "E" può essere considerato convenzionalmente corrispondente ad un numero di colpi della prova Spt uguale a 50.

- **Unità litologico-tecnica E:** materiali granulari non cementati. Si tratta di materiali granulari eterogenei ed eterometrici. Ne fanno parte i detriti appartenenti ai corpi di frana, ai depositi di versante (aa) e ai detriti di falda (a3a).

- **Unità litologico-tecnica E2:** ghiaie (elementi lapidei compresi mediamente tra 2 - 60 mm). Si tratta di materiali granulari generalmente grossolani. Ne fanno parte i depositi alluvionali attuali (b).

- **Unità litologico-tecnica E3:** sabbie (granuli di dimensioni comprese tra 2 mm e 0.06 mm). Si tratta di materiali granulari a prevalente composizione sabbiosa. Ne fanno parte i depositi eluvio-colluviali (b2a) e i depositi alluvionali recenti terrazzati e non (bna).

I depositi antropici, data la loro eterogeneità granulometrica non sono stati attribuiti a una specifica Unità Litologico Tecnica ma vengono evidenziati nella cartografia con una specifica simbologia e sigla (h).

## 5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Viene definito come modello del sottosuolo “una rappresentazione tridimensionale approssimata di una porzione di sottosuolo, nella quale devono essere distinguibili gli elementi qualitativi e quantitativi necessari per il suo impiego nelle valutazioni funzionali alla specifica applicazione. Metodologicamente è il risultato di un processo interattivo e iterativo di trattamento di dati provenienti da diverse fonti informative, riconducibili a specifiche aree disciplinari: geologia, geofisica e geotecnica”.

In sintesi, il processo è indirizzato e finalizzato alla definizione del minimo numero di parametri necessari a fornire una ricostruzione di Unità Omogenee, cioè quelle unità caratterizzate da valori simili dei parametri rilevanti ai fini dello studio. Il processo prevede di passare da unità strettamente litologiche a unità caratterizzate da parametri geotecnici e geofisici simili.

In particolare, si devono definire per le diverse unità:

- le geometrie e i limiti superiori, laterali e inferiori; in particolare, è importante stabilire il rapporto stratigrafico tra i terreni di copertura e il substrato geologico, per definire l'andamento morfologico del tetto del substrato geologico sepolto;
- l'assetto strutturale degli ammassi rocciosi ed eventualmente delle formazioni fortemente sovracconsolidate e/o cementate;
- le proprietà fisiche e meccaniche, sebbene secondo le loro intrinseche variazioni e valutazioni di incertezza;
- la posizione delle falde acquifere e le loro eventuali oscillazioni, con definizione delle condizioni idrodinamiche e di pressione interstiziale.

Il processo di costruzione del modello del sottosuolo è partito, quindi, dalla ricostruzione dell'assetto geologico-geomorfologico e strutturale dell'area indagata, effettuato sia mediante cartografie già a disposizione e redatte in passato, come la Carta Geologica Regionale (1:10.000), la Carta Geologica del P.R.G., ecc..., sia attraverso un'inedita revisione con rilievi di campagna.

Tutta l'informazione geologica acquisita, coadiuvata dai dati geotecnici e geofisici, è stata tradotta in un modello, sintetizzato nelle Carte Geologico Tecniche, fornite in scala 1:5.000, riguardanti i settori del territorio del Comune di Londa scelti per gli studi di Microzonazione Sismica.

L'insieme dei dati geologici finalizzati a definire modelli del sottosuolo, particolarmente inerenti alla Microzonazione Sismica, hanno consentito di:

- distinguere il substrato geologico dai terreni di copertura;
- definire le loro geometrie;
- individuare, nei terreni di copertura, le aree soggette a fenomeni di instabilità dei versanti;
- individuare le criticità geomorfologiche.

Ai dati di superficie sono stati aggiunti i dati prelevati in profondità con le indagini geognostiche:

- successioni litostratigrafiche;
- contatto terreni di copertura – substrato geologico.

Inoltre, come riportato al precedente capitolo sono stati trattati i dati e gli aspetti di carattere geotecnico e geofisico delle varie UO riconosciute.



## **6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE**

La finalità delle indagini geotecniche negli studi di Microzonazione Sismica è pervenire alla conoscenza dettagliata dello stato del sito e dei terreni presenti nell'area in funzione di un evento sismico attraverso lo studio delle condizioni naturali del terreno in sito mediante indagini geognostiche, prove geotecniche in sito e di laboratorio e di indagini geofisiche, che devono contribuire a definire tutte le caratteristiche morfologiche, stratigrafiche, idrogeologiche, e che, soprattutto, devono identificare il comportamento dinamico dei vari terreni presenti nel sito, assegnando dei valori ai parametri dinamici indispensabili per la valutazione della risposta del sito mediante modelli analitici e numerici.

Il programma delle indagini geotecniche va perciò commisurato sia al problema nonché ai modelli di calcolo di analisi numerica.

Pertanto, ad esempio, dovranno essere eseguite specifiche indagini per la valutazione della velocità delle onde sismiche, indagini per la caratterizzazione dinamica dei terreni finalizzate alla definizione dell'analisi di risposta sismica locale, indagini in sito per la valutazione del potenziale di liquefazione, indagini finalizzate alla determinazione dei parametri residui in caso di analisi di stabilità di pendii.

Le incertezze del modello geologico (e geologico-tecnico) ricostruito sono principalmente legate alla mancanza di indagini geognostiche spinte a profondità tali da avere una maggior conoscenza della successione stratigrafica del substrato geologico al fine di evidenziare eventuali variazioni di litofacies in corrispondenza dei contrasti di impedenza riconosciuti dalle indagini HVSR effettuate.

Inoltre dovranno essere implementate le conoscenze relative ai parametri geotecnici desunti da indagini in situ e di laboratorio.

Oltre alle prove geotecniche e indagini in situ dovranno essere realizzate prove geofisiche finalizzate sia alla ricostruzione sismostratigrafica del territorio (i.e. mediante l'esecuzione di indagini di sismica a rifrazione in onde P) sia alla determinazione dei valori di  $V_s$  (i.e. indagini Down-Hole, Masw, ecc...).

Infine, data la categoria granulometrica del fondo, in prima analisi (lettura ed interpretazione delle descrizioni presenti nelle stratigrafie) sembrerebbero esclusi fenomeni di liquefazione. Le indagini geotecniche di cui si è accennato in precedenza (prove CPT, analisi granulometriche, limiti di Atterberg, ecc...) dovranno chiarire e garantire l'eventuale assenza di questa tipologia permanente di deformazione in caso di sisma.

## **7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI**

Per una completa ed esaustiva trattazione delle indagini geofisiche svolte, della loro elaborazione e dei risultati conseguiti si rimanda all'allegata relazione contenente le indagini geofisiche svolte, nel novero del presente studio, per la caratterizzazione sismica e propedeutiche alla redazione della cartografia MOPS di Livello 1 e della Carta di Microzonazione Sismica di Livello 3.

## 8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Gli studi di Microzonazione Sismica Comunale (di seguito MS) svolti per il Comune di Londa sono stati condotti secondo le indicazioni formulate dal Settore Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica nel rispetto degli “Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica Nazionale” (di seguito ICMS, versione 4.2 del dicembre 2020) e delle specifiche tecniche regionali per la microzonazione sismica approvate con Deliberazione di G.R.T. n. 144/2015.

Nei citati ICMS vengono definite le procedure, le metodologie di analisi al fine di individuare e caratterizzare le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità.

Nello specifico la MS individua e caratterizza:

- Le **Zone Stabili**, sono zone nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e pertanto gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- Le **Zone Stabili Suscettibili di Amplificazione Sismica**, sono le zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- Le **Zone di Attenzione per Instabilità**, sono le zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali e sovrapposizione di differenti fenomeni di instabilità).

Per la definizione delle zone e della loro perimetrazione si rimanda a quanto definito al par. 1.1.3 e 1.1.4 degli standard ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020).

Gli studi di MS rivestono una notevole importanza nella pianificazione territoriale, fornendo una base conoscitiva della pericolosità sismica locale, al fine di stabilire gerarchie di pericolosità utili per la programmazione di interventi di riduzione del rischio sismico a varie scale, orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti, definire gli interventi ammissibili in una determinata area, programmare le indagini e i livelli di approfondimento, stabilire orientamenti, modalità e priorità di intervento nelle aree urbanizzate.

In relazione ai diversi contesti geologico-tecnici, alla pericolosità sismica di base ed in funzione dei diversi obiettivi degli studi di MS, possono essere effettuati n. 3 livelli di approfondimento, con complessità e impegno economico crescente.

In particolare possono essere predisposti i seguenti livelli:

- il **livello 1** è un livello propedeutico ai successivi studi di MS, che consiste esclusivamente in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della carta delle “Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)”;
- il **livello 2** è un livello successivo in cui si introduce l’elemento quantitativo associato alle zone omogenee mediante metodologie di analisi numerica di tipo semplificato (abachi regionalizzati, modellazione 1D, leggi

empiriche) e l'esecuzione di ulteriori e più mirate indagini. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della "Carta di Microzonazione Sismica";

- il **livello 3** rappresenta il livello più approfondito che permette di giungere ad una microzonazione approfondita del territorio basata su metodologie analitiche di analisi di tipo quantitativo. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della "Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti".

**Per la Microzonazione Sismica del Comune di Londa sono stati eseguiti sia gli studi di Livello 1 che gli studi di Livello 3.**

Ciascuno dei livelli di approfondimento prevede una serie di adempimenti come sotto elencati e dettagliati nella tabella riassuntiva al fine della definizione del quadro conoscitivo minimo che debba essere raggiunto per ogni livello sulla scorta delle indicazioni contenute negli ICMS:

- la realizzazione di opportune indagini geologiche, geofisiche e geotecniche al fine di definire il quadro conoscitivo;
- l'effettuazione di opportune analisi ed elaborazioni;
- la predisposizione di risultati finali.

**INDAGINI MINIME** Raccolta di tutti i dati pregressi esistenti nell'area: rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, indagini geofisiche, sondaggi e stratigrafie desunte da pozzi;  
Rilevamenti geologici di controllo sul terreno;  
Nuove indagini: Esecuzione di ulteriori indagini geofisiche e geotecniche, qualora la raccolta dei dati pregressi non consenta la ricostruzione di un quadro conoscitivo sufficientemente attendibile rispetto agli obiettivi del livello 1;  
Misura passive del rumore ambientale, mediante tecnica a stazione singola.

**ANALISI ED ELABORAZIONI** Sintesi dei dati e delle cartografie disponibili;  
Rilettura, sintesi dei dati ed eventuali nuovi rilievi geologici.

**PRODOTTI FINALI** Carta delle indagini (sia esistenti che di nuova realizzazione);  
Carta geologico-technica per la microzonazione sismica almeno alla scala 1:5.000-1.10.000;  
Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) almeno alla scala 1:5.000-1.10.000;  
Relazione tecnica illustrativa della carta MOPS;  
Carta delle frequenze fondamentali dei depositi.

*Sintesi del quadro conoscitivo del livello 1*

**INDAGINI MINIME** Raccolta di tutti i dati pregressi esistenti nell'area: rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, indagini geofisiche, sondaggi e stratigrafie desunte da pozzi;  
Rilevamenti geologici di controllo sul terreno;  
Nuove indagini: Programmazione ed esecuzione di ulteriori indagini geofisiche e geotecniche, qualora la raccolta dei dati pregressi non consenta la ricostruzione di un quadro conoscitivo sufficientemente attendibile rispetto agli obiettivi del livello 3;  
Misura passive del rumore ambientale, mediante tecnica a stazione singola.  
Stendimenti di sismica a rifrazione in onde P e Sh.  
Indagini di sismica a rifrazione in onde P e Sh eseguite in foro di sondaggio (prove down-hole e cross-hole).  
Analisi dinamiche di laboratorio.

**ANALISI ED ELABORAZIONI** Analisi numeriche di risposta sismica locale almeno 1D e/o 2D per amplificazioni sismiche e/o deformazioni permanenti.

**PRODOTTI FINALI** Carta delle indagini (sia esistenti che di nuova realizzazione), implementata rispetto a quella del livello 1 e/o 2 con le nuove indagini;  
Carta di Microzonazione Sismica almeno alla scala 1:5.000-1.10.000, rappresentative dei

parametri di FA, in termini di pseudoaccelerazione, corrispondenti al periodo 0.1-0.5 s, considerato l'intervallo di riferimento statisticamente più probabile;  
Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) con eventuali modifiche;  
almeno alla scala 1:5.000-1.10.000;  
Relazione tecnica illustrativa della Carta MOPS e di Microzonazione Sismica.

*Sintesi del quadro conoscitivo del livello 3*

Il Livello 1 può quindi essere caratterizzato essenzialmente in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico.

Le finalità degli studi di MS di livello 1 sono:

- individuare qualitativamente le aree che necessitano di approfondimenti;
- definire le tipologie di effetti attesi;
- individuare il modello geologico di sottosuolo preliminare.

Il principale elaborato previsto in questo livello è la ***Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***. Questa carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all'acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geognostici e di alcune tipologie di dati geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.). Di particolare importanza a questo scopo risulta la ricostruzione del modello geologico-tecnico dell'area, l'individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido (ovvero dei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti) accompagnata da una stima approssimativa della loro profondità rispetto al piano di campagna (del tipo: "qualche metro", "una decina di metri", "alcune decine di metri", "oltre i 100 metri"), una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso (del tipo: "alto" o "basso"). Di particolare importanza sarà l'individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte potenzialmente in grado di causare inversioni della velocità di propagazione delle onde di taglio ed effetti di RSL bi- e tri-dimensionali.

Pertanto, per acquisire tali informazioni di tipo semiquantitativo al fine di consentire la predisposizione della cartografia delle *Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)* si è provveduto alla acquisizione, oltre alle informazioni già previste al par. 1.1.3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020), dei risultati di indagini geofisiche utili alla ricostruzione geometrica dei corpi sepolti (sismica a rifrazione, ERT, gravimetria, ecc.) e alla individuazione di eventuali contrasti di impedenza sismica e possibili fenomeni di risonanza (campagne di misura delle frequenze naturali di sito da vibrazioni ambientali o da terremoti).

Per meglio rappresentare queste caratteristiche la carta dovrà essere corredata da sezioni geolitologiche rappresentative della situazione lito-stratigrafica e strutturale presente.

Attraverso questo livello, quindi, sarà possibile:

- la definizione delle caratteristiche litologiche e geometriche delle unità geologiche del sottosuolo;
- l'individuazione delle aree a minore pericolosità locale (zone stabili);
- l'individuazione delle aree per le quali sono necessari ulteriori livelli di approfondimento;
- definire il livello di approfondimento richiesto nelle aree che necessitano di approfondimenti;

- la programmazione di indagini di approfondimento, sulla base delle diverse tipologie di effetti attesi.

Per le indicazioni tecniche cui attenersi per la predisposizione delle **cartografie delle indagini e delle cartografie delle Microzonazione Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)** si rimanda ai par. 1.1.1, 1.1.2 e 1.1.3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) in cui vengono presentate le procedure di riferimento per la realizzazione delle suddette carte.

Negli studi di livello 3 viene eseguito uno studio parametrico rigoroso che prevede la disamina di tutti gli aspetti propri di una microzonazione sismica (stima dell'azione sismica e, quindi, dell'eventuale livello di amplificazione sismica e definizione delle aree di rispetto e/o suscettibilità per le aree instabili) mediante procedure avanzate finalizzate ad una parametrizzazione quantitativa.

Nell'ambito di studi di Microzonazione Sismica di Terzo Livello la base di riferimento è la valutazione dell'amplificazione sismica che dovrà prevedere la realizzazione di analisi di risposta sismica locale (tipicamente in assetto bidimensionale) per le quali bisogna definire un modello di input sia sismologico (selezione delle storie temporali di input), geometrico (determinazione dell'assetto geometrico sepolto e superficiale dei terreni interessati dallo studio di microzonazione sismica) e fisico-meccanico (parametrizzazione in chiave dinamica dei sismostrati oggetto delle analisi di RSL).

Il Livello 3 rappresenta, quindi, il livello più approfondito che permette di giungere ad una microzonazione del territorio basata su metodologie analitiche di analisi di tipo quantitativo. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della "Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti".

L'obiettivo è valutare e individuare a scala subcomunale (frazioni e centri), aree a comportamento omogeneo sotto il profilo della risposta sismica locale in corrispondenza di un terremoto atteso.

Per ogni centro urbano individuato, è previsto l'avvio di una serie di attività e di indagini per conoscere le caratteristiche geologiche, geotecniche, geofisiche e strutturali dei terreni in funzione dei possibili effetti di amplificazione e di instabilità connessi con un evento sismico.

I dati geologici, geotecnici e geofisici ad oggi acquisiti, hanno permesso di:

- verificare e approfondire le conoscenze geologiche del sottosuolo (con cartografie, sezioni geologiche, logs stratigrafici, sezioni sismostratigrafiche);
- caratterizzare per i siti investigati le unità geologiche in termini di velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_{sh}$ ) e il coefficiente di Poisson dinamico;
- determinare per le unità geologiche campionabili i parametri geotecnici dinamici (curva di decadimento del modulo di taglio, l'incremento dello smorzamento a crescere della deformazione, il coefficiente di Poisson dinamico).

Il programma delle attività è improntato su una filosofia operativa di tipo multidisciplinare ed analitica, assimilabile al livello 3 come meglio definito dagli I&C di Microzonazione Sismica, che prede come riferimento i criteri e le metodologie operative definite ed illustrate nelle Istruzioni Tecniche Regionali e si articola nelle seguenti fasi:

FASE 0. Individuazione delle aree oggetto di indagine Per ognuno dei Comuni sono definite le aree oggetto delle indagini sulla base di alcuni criteri morfologici, geologici e antropici di interesse ai fini della valutazione degli effetti locali;

FASE 1. Redazione e aggiornamento delle Istruzioni tecniche regionali per fissare i criteri e standard previsti per eseguire i rilievi superficiali e le indagini geofisiche e geotecniche di esplorazione del sottosuolo;

FASE 2. Realizzazione di cartografia geologica e geomorfologica in scala 1:2.000 o 1:5.000 ed individuazione della sezione geologica significativa, al fine di acquisire strumenti cartografici di dettaglio alla scala del centro urbano, in relazione soprattutto alla ricostruzione delle geometrie delle unità geologiche presenti, con particolare riferimento agli spessori delle coperture.

FASE 3. Campagna di indagini di sismica a rifrazione in onde P e SH, in grado di fornire una parametrizzazione geometrica e fisico-meccanica, in assetto bidimensionale, per estendere nel sottosuolo le conoscenze di superficie, nei limiti della metodologia e connessi alla logistica delle aree indagate;

FASE 4. Approfondimento delle indagini: Sulla base dei risultati delle indagini sismiche di superficie, vengono realizzate indagini di dettaglio, quali sondaggi geognostici (con prelievo di campioni per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio in campo statico e dinamico) e prove Down-hole, per una migliore e puntuale definizione del profilo sismostratigrafico;

FASE 5. Definizione del modello geologico-tecnico, dell'input sismico ed esecuzione dell'analisi di amplificazione: a seguito della realizzazione di sez. litostratigrafiche e della parallela definizione di un input sismico significativo (eseguito su base deterministica, probabilistica o energetica) vengono realizzate analisi numeriche in campo mono e bidimensionale, per fornire una stima quantitativa della risposta sismica locale;

FASE 6. Definizione dei parametri (spettri di risposta e fattori di amplificazione) da fornire ai comuni per la progettazione di nuovi edifici e per gli interventi di adeguamento e miglioramento sugli edifici esistenti;

FASE 7. Realizzazione di un banca dati geografica (GIS) dei dati acquisiti mediante le indagini geologiche, geotecniche e geofisiche: Lo scopo principale è poter gestire un quantitativo ingente di informazioni provenienti da diverse discipline e integrare tali dati in modo oggettivo e dinamico, in modo da poterli modificare e aggiornare nel corso del progetto ed utilizzarli per scopi diversi, quali la semplice rappresentazione cartografica, l'estrazione dei dati sulla base di specifiche richieste dell'utente (comuni e singoli professionisti) o l'analisi con diversi metodi.

FASE 8 - Redazione di cartografie di microzonazione sismica da fornire agli Enti Locali ed ai professionisti al fine di integrare lo strumento conoscitivo del territorio e costituire la base conoscitiva da utilizzare anche ai fini urbanistici.

L'analisi parametrica finalizzata alla redazione di una cartografia di microzonazione sismica di livello 3, impone la preliminare definizione di un input sismico, costituito da un set di accelerogrammi naturali sismocompatibili con le caratteristiche tettoniche dell'area e spettrocompatibili con quanto prescritto dalle vigenti NTC 2018. L'input sismico è stato definito mediante la procedura messa a punto dall'Università di Pavia nell'ambito di un Accordo di Collaborazione Scientifica con la Regione Toscana, finalizzata alla "Definizione di input sismici sismocompatibili e spettro-compatibili per i comuni della Regione Toscana".

A tal proposito è stato sviluppato un codice di calcolo di semplice utilizzo che fornisce, in funzione del sito e del periodo di ritorno considerati, l'input sismico compatibile con le NTC18 sia in termini spettrali che di accelerogrammi spettro-compatibili.

Il codice, scritto in Fortran90, è chiamato SCALCONA 3.0 (SCALing of COmpatible Natural Accelerograms) ed è in grado di fornire, in funzione del sito e del periodo di ritorno considerati, l'input sismico compatibile con le NTC18 sia in termini spettrali che di accelerogrammi spettro-compatibili.

Gli accelerogrammi così ottenuti rientrano in una banca dati composta da eventi naturali da preferire all'utilizzo di accelerogrammi artificiali secondo la normativa e gli studi accademici svolti negli anni.

Nel caso on esame, ai fini della selezione degli accelerogrammi non è stata necessaria la suddivisione del territorio in più aree omogenee sismicamente in quanto l'estensione ridotta del Comune di Londa oggetto di studio ha permesso l'utilizzo di un solo set di accelerogrammi.

SCALCONA utilizza opportunamente i risultati della selezione degli accelerogrammi, consentendo di restituire, per il sito e periodo di ritorno di interesse, un gruppo di 7 accelerogrammi che soddisfano i requisiti di spettro-compatibilità prescritti dalle NTC18 e succ. Circolare.

Gli accelerogrammi possono essere selezionati per ciascun punto interno ai territori di studio e per ciascuno dei 9 periodi di ritorno considerati nelle NTC18 (ossia 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni).

Le analisi di risposta sismica locale realizzate per la microzonazione sismica di livello 3 oggetto del presente lavoro fanno riferimento ad un input sismico relativo ad un periodo di ritorno di 475 anni (SLV) e di 50 anni (SLD).

Per una verifica dei 7 accelerogrammi utilizzati come input delle analisi svolte riferiti ad una condizione detta di "outcrop" e per una completa trattazione delle analisi e delle elaborazioni relative al livello 3 di indagine si rimanda alla specifica **Relazione tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D)**.

Il risultato fondamentale del terzo livello è la **Carta di Microzonazione Sismica** ottenuta associando la quantificazione numerica degli effetti, con metodi semplificati, alle parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica.

Nella carta vengono individuate le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e le zone suscettibili di instabilità.

Per quanto riguarda le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, le amplificazioni vengono quantificate, come descritto precedentemente, per mezzo di abachi che definiscono i fattori di amplificazione degli spettri elastici in superficie, associati alle singole situazioni litostratigrafiche. Detti abachi vengono predisposti dalle regioni, sulla base di criteri generali comuni, tenendo conto delle peculiarità sismotettoniche e geologiche dei rispettivi territori.

Sulla scorta dei fattori di amplificazione locale ricavati per ogni singola zona stabile suscettibile di amplificazioni locali derivante dalla Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) di Livello 1, le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali vengono raggruppate in base al valore del fattore di amplificazione di riferimento.

Inoltre, nella Carta di Microzonazione Sismica vengono inserite le zone suscettibili di instabilità, con particolare riferimento alle zone di attenzione per instabilità di versante, alle zone di attenzione per liquefazione e alle zone di attenzione per cedimenti differenziali.

Per le indicazioni tecniche cui attenersi per la predisposizione della **cartografie di Microzonazione Sismica** si rimanda ai par. 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3 e 1.1.4 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) in cui vengono presentate le procedure di riferimento per la realizzazione delle suddette carte.



## 8.1 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE

Gli studi di MS si sono concentrati sulla quasi totalità del territorio comunale ad eccezione di quelle porzioni perimetrali o morfologicamente più acclivi laddove non presenti aree edificate.

Infatti l'area di indagine coincide necessariamente con le zone del territorio comunale occupate da insediamenti abitativi, industriali e/o elementi antropici di interesse e sono state, pertanto, sottoposte a studi e indagini specifiche finalizzate alla redazione delle carte di dettaglio con rilievo in scala 1:2.000 e restituzione grafica ed "editing" in scala 1:5.000 (carta delle indagini, carta delle frequenze, carta geologico tecnica per la microzonazione sismica, carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, carta di Microzonazione Sismica) previste per gli studi di microzonazione sismica di 1° e 3° Livello.

## 8.2 CARTA DELLE INDAGINI E CARTA DELLE FREQUENZE

La Carta delle indagini (Tavola G.01) mostrano, nel dettaglio per ciascuna delle frazioni indagate, l'ubicazione di tutte le prove eseguite precedentemente al presente studio reperibili da fonti "bibliografiche" e/o banche dati, nonché l'ubicazione delle indagini geofisiche appositamente realizzate nel novero dello svolgimento delle attività di cui al presente studio di microzonazione sismica di 3° livello (cfr. certificazioni ed elaborazione grafiche e tabellari delle prove stesse).

La nomenclatura delle diverse tipologie di indagine ubicate sulla CTR, è stata definita sulla base delle indicazioni riportate al par. 1.1.1. degli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica" (versione 4.2 del dicembre 2020).

Nella Carta delle frequenze (Tavola G.02) vengono fornite le informazioni ottenute (frequenza e ampiezza del picco di risonanza, classe di appartenenza) dall'interpretazione delle misure di rumore sismico eseguite nelle aree urbanizzate del comune di Londa assoggettate alla presente indagine.

Per ogni misura è stata ottenuta la curva del rapporto H/V del segnale sismico acquisito, sulla quale sono stati eventualmente individuati picchi di risonanza per un certo valore di frequenza.

Tale cartografia riassume e fornisce indicazioni qualitative sulla classe di frequenza fondamentale allo scopo di distinguere:

- aree caratterizzate da assenza di fenomeni di risonanza significativi (ad esempio nessun massimo relativo significativo di  $f_0$  nell'intervallo 0,1-20 Hz);
- aree caratterizzata da presenza di fenomeni di risonanza, distinguendo fra:
  - spessori attesi > di 100 m (indicativamente con  $f_0 < 1$  Hz),
  - spessori compresi fra 100 e 50 m (indicativamente con  $1\text{ Hz} < f_0 < 2$  Hz),
  - spessori compresi fra 50 e 30 m (indicativamente con  $2\text{ Hz} < f_0 < 3$  Hz),
  - spessori compresi fra 30 e 20 m (indicativamente con  $3\text{ Hz} < f_0 < 5$  Hz),
  - spessori compresi fra 20 e 10 m (indicativamente con  $5\text{ Hz} < f_0 < 8$  Hz),
  - spessori compresi fra 10 e 5 m (indicativamente con  $8\text{ Hz} < f_0 < 20$  Hz),
  - spessori minori di 5 m (indicativamente con  $f_0 > 20$  Hz).

Il range significativo a cui fare riferimento per la valutazione della suscettibilità all'amplificazione sismica di un sito è circa 1-10 Hz. Picchi con frequenze di circa 1-2 Hz sono rappresentativi mediamente di contrasti di impedenza sismica collocati a profondità dell'ordine di qualche centinaia di metri. Frequenze di risonanza, invece, comprese nell'intervallo 8-12 Hz sono rappresentative di limiti stratigrafici, esistenti tra coperture detritiche e substrato roccioso, la cui profondità è dell'ordine di qualche metro (mediamente compresa tra 0 e 10 m).

Per la rappresentazione dei risultati, sono stati considerati i seguenti intervalli di frequenza (Hz):

- nessuna risonanza
- 0,1 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,5
- 2,5 - 5,0
- 5,0 - 7,5
- 7,5 - 10,0
- 10,0 - 15,0
- 15,0 - 20,0

Al fine di riportare in carta il dato relativo all'ampiezza del picco fondamentale, sono stati considerati i seguenti intervalli di ampiezza:

- nessuna risonanza
- 1,1 - 2,0
- 2,0 - 3,0
- 3,0 - 5,0
- > 5,0

Ogni coppia di valori (frequenza/ampiezza) individuati, è stato riportato in apposita tabella sulla relativa cartografia di ubicazione indagini.

Per la valutazione dell'entità del contrasto d'impedenza sismica, individuato con l'interpretazione delle misure di rumore, si è fatto riferimento al seguente criterio di classificazione:

- per ampiezze < 3, il contrasto d'impedenza sismico è basso
- per ampiezze > 3, il contrasto d'impedenza sismico è elevato (alto).

Tale discriminazione è stata applicata solo a valori di ampiezza riferite al picco principale.

Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione allegata al presente documento redatta dall'impresa realizzatrice delle indagini sismiche (cfr. relazione collazionata in apposito fascicolo unitamente alle certificazioni ed elaborazione grafiche e tabellari delle prove stesse).

L'entità del contrasto di impedenza sismica non è stato riportato direttamente sulla carta delle frequenze, ma sulle colonne stratigrafiche del modello geologico di sottosuolo, mostrate sulla carta delle MOPS e di Microzonazione sismica e sulle sezioni geologiche.

Tale elaborato ha il duplice scopo di fornire un adeguato strumento per la predisposizione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica di livello 1, ma anche offrire un'indicazione delle profondità di investigazione per il livello superiore di MS (livello 3) e la definizione della relativa Carta di Microzonazione Sismica di livello 3.

L'utilizzo della tabella di confronto tra lo spessore di copertura stimato e la frequenza fondamentale del terreno, riportata nel lavoro di *Albarelo ed alii, 2010.*, costituisce un valido ausilio. Utilizzando questa tabella, infatti, è

quindi possibile ottimizzare i costi ed evitare eventuali indagini geognostiche spinte a profondità eccessive o al contrario a profondità insufficienti a raggiungere il contrasto di impedenza sismico principale.







Una sintetica descrizione delle risultanze delle misure di rumore sismico effettuate con tecnica HVSR presso le aree di indagine nel territorio comunale di Londai è riportata nel seguito del presente rapporto in cui si descrivono le caratteristiche rilevate per ogni frazione studiata.

### **8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA**

La carta geologico tecnica è stata redatta in scala 1:5.000 (Tavola G.03) rappresenta, secondo quanto previsto dalle norme ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020), l'elaborato di compendio di tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche) necessarie alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) e della carta di microzonazione sismica.

Le unità geologico-litologiche vengono distinte tra terreni di copertura, con spessore minimo di 3,0 m, e substrato geologico rigido o non rigido, per giungere ad una standardizzazione delle informazioni relative agli aspetti geologici e litotecnici. La suddivisione dei litotipi in classi predefinite permette, così, di identificare situazioni litostratigrafiche potenzialmente suscettibili di amplificazione locale o di instabilità. Le tipologie dei terreni di copertura in base alle caratteristiche litologiche e i relativi codici corrispondenti vengono descritti utilizzando l'Unified Soil Classification System (ASTM, 1985, modificato) come di seguito presentato:

In aggiunta per i terreni di copertura vengono riportati i codici relativi agli ambienti di possibile genesi e deposizione dei terreni di copertura.

Terreni di copertura		
	RI	Terreni contenenti resti di attività antropica
	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie
	GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
	GM	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
	GC	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla
	SW	Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose
	SP	Sabbie pulite con granulometria poco assortita
	SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
	SC	Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla
	OL	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità
	OH	Argille organiche di media-alta plasticità, limi organici
	MH	Limi inorganici, sabbie fini, Limi micacei o diatomitici
	ML	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
	CH	Argille inorganiche di alta plasticità, argille grasse
	PT	Torbe ed altre terre fortemente organiche
	LC	Litoide di copertura

*Legenda della Carta Geologico Tecnica: terreni di copertura*

<b>Ambiente vulcanico</b>	
Colate/spandimenti/cupole/domi/dicchi/coni lavici	la
Piroclastiti	pc
Scorie laviche	sc
Coltri ignimbritiche/tufi	ig
<i>Lahar</i> (colate di fango)	lh
Depositi epiclastici	ep
<b>Ambiente di versante</b>	
Falda detritica	fd
Conoide detritica	cd
Conoide di deiezione	cz
Eluvi/colluvi	ec
<b>Ambiente fluvio - lacustre</b>	
Argine/barre/canali	es
Piana deltizia	dl
Piana pedemontana	pd
Bacino (piana) intramontano	in
Conoide alluvionale	ca
Terrazzo fluviale	tf
Varve	va
Lacustre	lc
Palustre	pa
Piana inondabile	pi
<b>Ambiente carsico</b>	
Riempimento di dolina/ <i>karren</i> / <i>vaschetta/sinkhole</i>	do
Forme costruite presso sorgenti	so
Forme costruite in canyon carsici	cy
Croste calcaree	cc
<b>Ambiente glaciale</b>	
Morena	mr
Deposito fluvio glaciale	fg
Deposito lacustre glaciale	fl
<i>Till</i>	ti
<b>Ambiente eolico</b>	
Duna eolica	de
Loess	ls
<b>Ambiente costiero</b>	
Spiaggia	sp
Duna costiera	dc
Cordone litoraneo	cl
Terrazzo marino	tm
Palude/laguna/stagno/lago costiero	pl
<b>Altro ambiente</b>	zz

*Legenda della Carta Geologico Tecnica: ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura*

Le unità del substrato geologico vengono definite tenendo conto della tipologia (lapideo, granulare cementato, coesivo sovraconsolidato, alternanza di litotipi), della stratificazione (qualora esistente) e del grado di fratturazione (secondo una valutazione qualitativa).

Substrato geologico		
IS	IS	Incoerente o poco consolidato
LP	LP	Lapideo
GR	GR	Granulare cementato
CO	CO	Coesivo sovraconsolidato
AL	AL	Alternanza di litotipi
ISS	ISS	Incoerente o poco consolidato, stratificato
LPS	LPS	Lapideo, stratificato
GRS	GRS	Granulare cementato, stratificato
COS	COS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato
ALS	ALS	Alternanza di litotipi, stratificato
SFIS	SFIS	Incoerente o poco consolidato fratturato / alterato
SFLP	SFLP	Lapideo fratturato / alterato
SFGR	SFGR	Granulare cementato fratturato / alterato
SFCO	SFCO	Coesivo sovraconsolidato fratturato / alterato
SFAL	SFAL	Alternanza di litotipi fratturato / alterato
SFISS	SFISS	Incoerente o poco consolidato, stratificato fratturato / alterato
SFLPS	SFLPS	Lapideo, stratificato fratturato / alterato
SFGRS	SFGRS	Granulare cementato, stratificato fratturato / alterato
SFCOS	SFCOS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato / alterato
SFALS	SFALS	Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato

*Legenda della Carta Geologico Tecnica: substrato geologico*

In tale cartografia sono stati riportati gli elementi tettonico strutturali (faglie e strutture tettoniche certe o presunte con relativo stato di attività, stratificazioni) e gli elementi geologico e idrogeologici puntuali derivanti dai dati di base (profondità del substrato rigido raggiunto da sondaggio o pozzo, profondità di sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato rigido, profondità della falda).

A riguardo del raggiungimento o meno del substrato rigido si precisa che nella cartografia prodotta viene considerata come substrato rigido la sola unità geologico-tecnica LPS, tra quelle appartenenti al substrato geologico e presenti nel territorio comunale in esame. Infatti le altre unità geologico-tecniche (ALS) appartenenti al substrato geologico non vengono considerate come un substrato rigido in quanto, data la loro natura litologica e stratigrafico-strutturale e sulla scorta delle indagini sismiche effettuate, presentano valori di  $V_s < 800$  m/s.

Inoltre vengono fornite indicazioni relativamente alle fenomenologie di instabilità di versante (tipologia di instabilità e stato di attività), per le cui definizioni riguardanti lo stato di attività dei versanti il riferimento è il progetto IFFI. Infine vengono presentate le forme morfologiche di superficie e sepolte.

Di seguito si riporta brevemente la descrizione delle varie “unità geologico-tecniche” individuate con il dettaglio delle varie formazioni geologiche che a ciascuna di esse si è ritenuto far corrispondere.

#### **Terreni di copertura**

- **Unità geologico-tecnica RI:** corrisponde ai terreni di riporto contenenti resti di attività antropica (h).
- **Unità geologico-tecnica GMfd:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico di versante (falda detritica). A questi corrispondono i corpi detriti appartenenti ai depositi di versante (aa) e ai detriti di falda (a3a).
- **Unità geologico-tecnica GMin:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre (bacino intramontano). A questi corrispondono i depositi alluvionali attuali (b).
- **Unità geologico-tecnica SMin:** si tratta di terreni costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre (bacino intramontano). A questi corrispondono i depositi alluvionali recenti terrazzati o non (bna).
- **Unità geologico-tecnica SMec:** si tratta di terreni costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico di versante (eluvi / colluvi). A questi corrispondono i depositi eluvio-colluviali (b2a).

Per quanto riguarda i corpi di frana, questi sono stati riportati nelle cartografia secondo quanto previsto alla figure 1.1.2-1 e 1.1.2-2 delle norme ICMS (versione 4.2, dicembre 2020), evidenziando per ciascun corpo la sua natura (qualora riscontrabile) e lo stato di attività.

#### **Substrato geologico**

- **Unità geologico-tecnica LPS:** corrisponde al substrato geologico costituito da formazioni lapidee, stratificate. A questa unità appartengono i depositi appartenenti alla litofacies calcareo-marnosa (ACCb) delle Argille e Calcari di Canetolo, alle Arenarie di Monte Senario (SEN), alle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montefalco (FAL1), Membro di Camaldoli (FAL2) e Membro di Montalto (FAL3).
- **Unità geologico-tecnica ALS:** corrisponde al substrato geologico costituito dall'alternanza di litologie stratificate. A questa unità appartengono i depositi appartenenti alle Arenarie del M. Falterona – Membro di Lonnano (FAL4).

Di seguito viene riportata una tabella comparativa delle classi di attribuzione, per ciascun deposito litostratigrafico o formazione geologica, della cartografia litologico-tecnica, secondo le norme VEL, e della cartografia geologico-tecnica per la microzonazione sismica, secondo le norme ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020).

<i>SIGLA FORMAZIONE</i>	<i>NOME FORMAZIONE</i>	<i>UNITA' LITOLOGICO-TECNICA (VEL)</i>	<i>UNITA' GEOLOGICO-TECNICA (ICMS)</i>
h	Depositi antropici di riporto	h	RI
	Corpi di frana	E	varie
a3a	Detrito di falda	E	GM fd
aa	Depositi di versante	E	GM fd
b	Depositi alluvionali attuali	E2	GM in
bna	Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non	E3	SM in
b2a	Depositi eluvio-colluviali	E3	SM ec
SEN	Arenarie di Monte Senario	B4	LPS
ACCb	Argille e Calcari di Canetolo - litofacies calcareo-marnosa	B4	LPS
FAL1	Arenarie del M. Falterona – Membro di Montefalco	A	LPS
FAL2	Arenarie del M. Falterona – Membro di Camaldoli	B3	LPS
FAL3	Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto	B4	LPS
FAL4	Arenarie del M. Falterona – Membro di Lonnano	B5	ALS

A corredo della carta geologico-tecnica in scala 1:5.000 (Tavola G.03) sono state realizzate alcune sezioni geologico-tecniche (Tavola G.06 in scala 1:2.000) rappresentative del modello geologico del sottosuolo. Tali sezioni sono state tracciate in modo tale da intersecare gli elementi strutturali e geomorfologici più rappresentativi anche in funzione delle condizioni di rischio sismico, nonché i rapporti stratigrafici più significativi per la valutazione della suscettibilità all'amplificazione sismica. Ciò ha permesso di rappresentare non solo il modello geologico-stratigrafico e strutturale locale, ma anche di mettere in evidenza le principali criticità legate al profilo dei versanti (scarpate con  $h = 10-20$  m o  $h > 20$  m, picchi isolati, zone di cresta, inclinazioni pendii elevate).

#### **8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)**

La “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” rappresenta l’elaborato cartografico fondamentale degli studi di microzonazione sismica di livello 1. Scopo della realizzazione di tale elaborato è la definizione di zone ad eguale comportamento sismico. La produzione della carta MOPS è basata sulla sintesi delle informazioni di carattere geologico, geomorfologico, litotecnico-tecnico e sismico desunti dalle cartografie tematiche realizzate per lo studio di microzonazione e i “dati di base raccolti” quali stratigrafie e certificazioni di prove penetrometriche, analisi di laboratorio e indagini sismiche per la definizione della velocità delle onde P e SH e misure di frequenza caratteristica dei terreni. Inoltre, al fine di valutare l’influenza degli aspetti topografici



di versate, si sono tenute in considerazione le caratteristiche clivometriche dei luoghi deducibili dalla cartografia ufficiale C.T.R. della Regione Toscana.

Per classificare le aree in esame si è stato fatto riferimento (come da paragrafo 1.1.3 degli ICMS, versione 4.2 del dicembre 2020) alle seguenti categorie di microzone:

- **zone stabili**
- **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**
- **zone di attenzione per le instabilità**

Le **zone stabili** sono quelle nelle quali si ipotizza che non si verifichino significativi fenomeni di amplificazione sismica (presenza di substrato geologico/sismico in affioramento) e per le quali, perciò, in caso di evento sismico, sono attesi scuotimenti equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità sismica di base dell'INGV. Considerando che la pericolosità sismica di base di un sito è definita sull'ipotesi di substrato litoide affiorante su superficie pianeggiante o con inclinazione inferiore a  $15^\circ$ , rientrano nella classe delle zone stabili tutte quelle aree che presentano substrato roccioso in affioramento (con eventuale copertura costituita dalla coltre di alterazione con spessore massimo di 3 m) e per le quali si abbiano condizioni di bassa fratturazione dell'ammasso ( $J_v \leq 10-15$ ), nonché inclinazione del pendio  $< 15^\circ$ . Inoltre, qualora studi pregressi evidenzino una velocità di propagazione delle onde S nei primi 30 m di sottosuolo inferiore a 800 m/s, il substrato affiorante può non essere considerato substrato sismico, ma solamente geologico. La numerazione delle zone stabili è progressiva a partire dalla n.1 fino alla n. K.

Le **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** sono le aree nelle quali si presume che, in presenza di sisma, si possano verificare fenomeni di amplificazione sismica. Sono caratterizzate o dalla presenza solamente di substrato roccioso affiorante con caratteristiche strutturali e/o topografiche e/o sismiche tali da non permettere la delimitazione di una zona stabile, oppure dall'esistenza di coperture riconducibili a depositi di origine alluvionale, a coltri detritiche di versante (detriti di versante, depositi eluvio-colluviali, frane), a depositi di origine antropica. La numerazione è progressiva a partire da k+1 fino a n.

Le **zone di attenzione per le instabilità** sono le zone per le quali, in caso di terremoto, si ipotizza si possano manifestare deformazioni permanenti del sottosuolo. I fenomeni deformativi individuati dagli ICMS come causa dell'evento sismico sono:

- **instabilità di versante (frane attive, quiescenti, inattive)**
- **liquefazione**
- **cedimenti differenziali**
- **faglie attive e capaci**

Le **instabilità di versante** sono legate all'attivazione di nuove frane o alla riattivazione di frane quiescenti o antiche stabilizzate. Le tipologie di movimenti sulla base delle quali possono essere discriminate le frane sono: crollo o ribaltamento, scorrimento, colata, frana complessa.

La **liquefazione** è legata alla presenza di materiali granulari sciolti riconducibili a sabbie, sabbie e limi, sabbie e ghiaie. Inoltre si considerano terreni potenzialmente liquefacibili, quelli nei quali la superficie piezometrica della falda freatica superficiale o di falde confinate più profonde si trovi ad una profondità da p.c.  $\leq 15$  m. Comunque per gli aspetti legati alla liquefacibilità dei terreni, gli aspetti di cui tenere conto sono quelli indicati al par. 7.11.3.4 delle NTC 2008 (per le quali sicuramente la natura granulometrica, la profondità della falda e la

magnitudo attesa costituiscono i principali fattori predisponenti) e gli ulteriori approfondimenti riportati al par. 3.1.3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020). Relativamente a tale aspetto si è tenuto conto delle indicazioni di cui alle “*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione*” editate dalla Commissione Tecnica per la microzonazione sismica – (versione 1.0 del luglio 2013 e versione 1.20 beta del 2014).

I **cedimenti differenziali** sono attesi lungo le zone di contatto tra unità geologiche aventi caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (es. depositi alluvionali su substrato roccioso). Tale differenza si traduce in una diversa risposta sismica, la quale può indurre, in caso di terremoto, cedimenti significativi, soprattutto nei terreni presenti a ridosso del contatto stratigrafico. Le zone di instabilità per cedimenti differenziali possono perciò essere rappresentate tramite buffer.

Le **faglie attive e capaci** sono faglie per le quali si ipotizza che:

- si siano mosse almeno una volta negli ultimi 40.000 anni
- che potenzialmente manifestano deformazioni che si possono propagare fino in superficie.

Come descritto negli ICMS, le potenziali faglie attive da inserire nella cartografia geologica-geomorfologica devono essere confermate da studi di geologia strutturale di comprovata validità. Inoltre l'identificazione di eventuali faglie capaci, deve essere eseguita facendo riferimento allo studio ITHACA dell'INGV, con il quale è stato realizzato un archivio delle faglie capaci presenti sul territorio italiano. Anche nel caso di instabilità per faglie attive e capaci, come per i cedimenti differenziali, si tende a definire un buffer in corrispondenza della lineazione tettonica.

Al fine di integrare le informazioni acquisite con la definizione delle microzone, la carta delle MOPS riporta le morfologie che hanno rilevanza ai fini dell'amplificazione sismica (**forme di superficie e forme/elementi sepolti**). Tali morfologie sono riconducibili a forme deposizionali come conoidi alluvionali e falde detritiche, ma anche a forme di versante quali orli di scarpata morfologica con  $10 < h < 20$  m e  $h > 20$  m, creste e picchi isolati (cocuzzoli), forme fluviali come orli di terrazzi fluviali con  $10 < h < 20$  m e  $h > 20$  m, forme erosive (scarpate e valli) e carsiche (cavità) sepolte.

## 8.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA

La “Carta di Microzonazione Sismica” rappresenta l'elaborato cartografico fondamentale degli studi di microzonazione sismica di Livello 3. Scopo della realizzazione di tale elaborato è la definizione di zone ad uguale comportamento sismico in funzione dello specifico fattore di amplificazione sismica. La produzione della carta di Microzonazione Sismica si basa sulla sintesi delle informazioni di carattere geologico, geomorfologico, litotecnico-tecnico, di indagine e sismico desunti dalle cartografie tematiche realizzate per lo studio di microzonazione sismica di livello 1 e sull'applicazione delle metodologie analitiche di analisi di tipo quantitativo 2D eseguite per le elaborazioni di Livello 3.

Per classificare le aree in esame si è stato fatto riferimento (come da paragrafo 1.1.4 degli ICMS, versione 4.2 del dicembre 2020) alle seguenti categorie di microzone:

- **zone stabili**
- **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**
- **zone suscettibili di instabilità**

Le **zone stabili** e le **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** hanno come attributo i parametri che quantificano l'amplificazione locale del moto sismico di base e uno spettro di risposta elastico rappresentativo.

Le zone stabili sono caratterizzate sempre da un'amplificazione uguale a 1,0. Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono invece caratterizzate da classi di fattori di amplificazione. Se dalle analisi sviluppate con gli abachi o attraverso simulazioni numeriche vengono riscontrate delle deamplificazioni, per convenzione si attribuirà alla microzona un valore uguale a 1,0.

Nell'ambito degli approfondimenti di Livello 3 le amplificazioni vengono valutate attraverso analisi numeriche 2D. Nella Carta di Microzonazione Sismica viene riportato il parametro che quantifica l'amplificazione indicato dalla Regione.

Nella tabella seguente vengono riportati i parametri di amplificazione da riportare secondo i criteri ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) nelle Carte di Microzonazione Sismica.

<b>Parametro</b>	<b>Descrizione</b>
FA	Valore del fattore di amplificazione FA a bassi periodi come definito in ICMS
FV	Valore del fattore di amplificazione FV ad alti periodi come definito in ICMS
Ft	Valore del fattore di amplificazione topografica come definito in ICMS
FH0105	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s
FH0510	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.5-1.0 s
FH0515	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.5-1.5 s
FPGA	Valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA
FA0105	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s
FA0408	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.4-0.8 s
FA0711	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.7-1.1 s












L'inserimento dei valori di FA0105, FA0408 e FA0711, per garantire omogeneità di rappresentazione nel database a livello nazionale, è obbligatorio per il Livello 3.

Nel caso in esame sono state elaborate le analisi riferibili a tutti e tre i suddetti intervalli di integrazione, tuttavia cartograficamente sono stati presentati i valori del solo intervallo FA0105, dato ritenuto maggiormente rappresentativo e statisticamente più probabile.

Oltre ai valori dei fattori di amplificazione e alle analisi numeriche, negli studi di Microzonazione di Livello 3 viene fornito anche lo spettro elastico di risposta in superficie (output) rappresentativo della singola zona, sia in termini di pseudovelocità, che in termini di pseudoaccelerazione, e gli accelerogrammi di input utilizzati per le elaborazioni numeriche. Per ciascuna microzona viene riportata nel DB anche la categoria di sottosuolo indicativa (A, B, C, D, E), così come definita nella normativa antisismica vigente (NTC2018 - Norme tecniche per le costruzioni - D.M. 17 Gennaio 2018; Eurocodice 8. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica). Non è prevista la rappresentazione cartografica delle categorie di sottosuolo.

Nelle carte di Microzonazione Sismica di livello 3 per le zone stabili e per le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali viene usata, secondo quanto riportato alla fig. 1.1.4.1-1 la seguente legenda.

Si precisa che nella zona stabile, con parametro di amplificazione uguale a 1,0 sono comprese le zone con deamplificazione e con amplificazioni fino a 1,04. Nella classe 1,1-1,2, invece, sono compresi valori di amplificazione da 1,05 a 1,24, mentre nella classe 1,3-1,4 sono compresi valori di amplificazione da 1,25 a 1,44, e così via.

<b>Zone stabili (parametro di amplificazione uguale a 1.0).<sup>12</sup></b>	
	1.0
<b>Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (classe del parametro di amplificazione).<sup>13</sup></b>	
	1.1 - 1.2
	1.3 - 1.4
	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2
	2.3 - 2.4
	2.5 - 3.0
	3.1 - 3.5
	>3.5

Per quanto riguarda le zone suscettibili di instabilità, nella carta di Microzonazione Sismica con approfondimento di Livello 3, le zone suscettibili di instabilità per liquefazione o instabilità di versante potranno avere geometrie, descrizioni e indicazioni diverse e aggiuntive rispetto alla geometria delle zone definite dalla Carta delle MOPS, essendo state espletate ulteriori indagini ed elaborazioni proprie di questo livello di approfondimento.

Le Zone Suscettibili di instabilità (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci) potranno essere di 2 tipi:

- ZS: Zone di Suscettibilità (zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifici per l'instabilità in esame e l'applicazione di specifici metodi di calcolo, anche semplificati, è possibile definire la pericolosità in termini quantitativi).
- ZR: Zone di Rispetto (zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di specifici metodi di calcolo, anche avanzati, è possibile quantificare con maggior accuratezza la pericolosità. Tale quantificazione è finalizzata all'analisi dettagliata di aree limitate sulle quali possono essere presenti opere vulnerabili).

Per entrambi i tipi di zone sarà possibile riportare un parametro che quantifichi il fenomeno.

I parametri per le instabilità di versante sono il massimo movimento (FRT, in centimetri) di una frana di scivolamento e il massimo spostamento di blocchi (FRR, in metri) in una frana in roccia.

Il parametro che caratterizza una zona instabile per liquefazione è l'Indice del potenziale di liquefazione (valore medio di IL), così come definito in Sonmez (2003).

Per le faglie attive e capaci il parametro quantitativo richiesto è la dislocazione massima (DISL).

Di seguito vengono riportate le legende relative alle zone di attenzione per instabilità

<b>Zone suscettibili di instabilità</b>	
Vedi Figura 1.1.4.2-2a	ZS <sub>VS</sub> Zona di Suscettibilità per Instabilità di versante
	ZR <sub>VS</sub> Zona di Rispetto per Instabilità di versante
Vedi Figura 1.1.4.2-2b	ZS <sub>LQ</sub> Zona di Suscettibilità per Liquefazione
	ZR <sub>LQ</sub> Zona di Rispetto per Liquefazione
	ZS <sub>FAC</sub> Zona di Suscettibilità per Faglie Attive e Capaci
	ZR <sub>FAC</sub> Zona di Rispetto per Faglie Attive e Capaci
	ZACD - Zona di Attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole *
	ZAI0 - Zona di Attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti *

*Estratto Fig. 1.1.4.2-2*

Parametro di amplificazione <sup>1)</sup>	ZSra			ZRra
	0 < FRT ≤ 15cm 0 < FRR ≤ 10m	15 < FRT ≤ 100cm 10 < FRR ≤ 50m	FRT > 100cm FRR > 50m	
1				
1.1 - 1.2				
1.3 - 1.4				
1.5 - 1.6				
1.7 - 1.8				
1.9 - 2.0				
2.1 - 2.2				
2.3 - 2.4				
2.5 - 3.0				
3.1 - 3.5				
>3.5				

Estratto Fig. 1.1.4.2-2.a

Parametro di amplificazione <sup>1)</sup>	ZS <sub>iq</sub>		ZR <sub>iq</sub>
	2 < IL ≤ 5	5 < IL ≤ 15	IL > 15
1			
1.1 - 1.2			
1.3 - 1.4			
1.5 - 1.6			
1.7 - 1.8			
1.9 - 2.0			
2.1 - 2.2			
2.3 - 2.4			
2.5 - 3.0			
3.1 - 3.5			
>3.5			

Estratto Fig. 1.1.4.2-2.b

In carta, su ciascuna zona di attenzione per instabilità di versante e per liquefazione, viene riportato il valore del fattore di amplificazione ricavato.

## **8.6 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI**

### **ELABORAZIONI DI LIVELLO 1**

Relativamente al livello 1 e alle carte delle indagini, delle frequenze e geologico tecnica per la microzonazione sismica si rimanda a quanto riportato ai paragrafi 8.2 e 8.3, mentre per quanto concerne la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) nel proseguo vengono elencate e descritte le risultanze relative alla elaborazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica eseguita per il territorio comunale (come presentate nell'elaborato Tavola G.04 in scala 1:5.000).

#### **Zone stabili**

<b>ID</b>	<b>Descrizione Zona</b>
<b>(1011)</b>	Substrato lapideo stratificato, in assenza di copertura (o spessori generalmente inferiori ai 3,0 m) con pendenza (di seguito "i") < 15° e basso contrasto di impedenza sismica (di seguito "c.i."). Talora presenza di intercalazioni o orizzonti di litologie riferibili a Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato.

#### **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

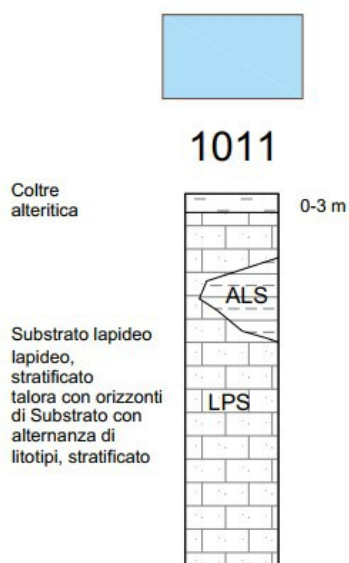
<b>ID</b>	<b>Descrizione Zona</b>
<b>Z1 (2001)</b>	Substrato lapideo stratificato, copertura (di natura prevalentemente sabbioso limosa di origine alteritica) < 3,0 m, i > 15°, c.i. basso. Talora presenza di intercalazioni o orizzonti di litologie riferibili a Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato.
<b>Z2 (2002)</b>	Coperture alluvionali (di natura prevalentemente ghiaioso limosa), poggianti talora su coperture eluvio-colluviali e detritiche (di natura prevalentemente sabbioso limosa) di spessore complessivo compreso tra 5,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato, talora con presenza di intercalazioni o orizzonti di litologie riferibili a Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato. Alto c.i..
<b>Z3 (2003)</b>	Coperture eluvio-colluviali e detritiche (di natura prevalentemente sabbioso limosa) di spessore compreso tra 5,0 e 10,0 m, talora con riporti, su Substrato lapideo stratificato, talora con presenza di intercalazioni o orizzonti di litologie riferibili a Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato. Alto c.i..

#### **Zone di attenzione per le instabilità**

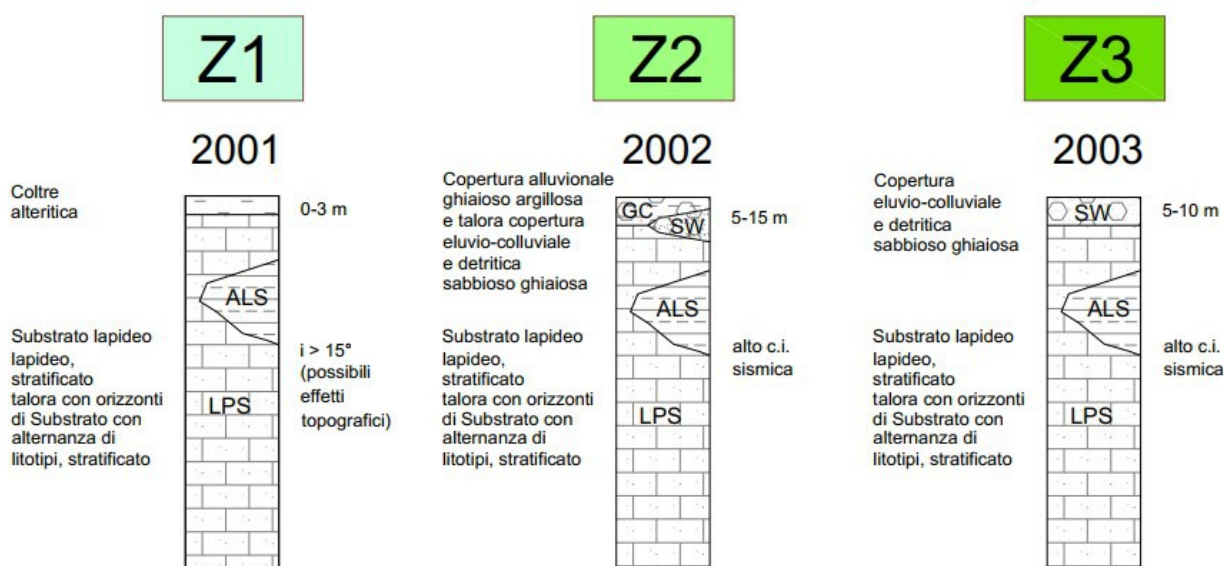
<b>ID</b>	<b>Descrizione Zona</b>
<b>ZAFR1....n</b>	Instabilità di versante per frana (con indicato il numero della zona stabile suscettibile di amplificazione locale a cui il corpo franoso è sovrastante).

Di seguito vengono riportate graficamente le colonne sintetiche rappresentative delle suddette microzone, riportate anche nella specifica carta delle Mops.

## ZONE STABILI



## ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI



### ELABORAZIONI DI LIVELLO 3

Per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3 del territorio comunale di Londa, la Carta delle Indagini di Livello 1 ed il relativo database sono stati aggiornati con i nuovi dati acquisiti durante il presente lavoro; è stata naturalmente seguita la simbologia indicata nelle Istruzioni Tecniche e negli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica ufficiali.

Anche l'elaborato relativo alla Carta delle Frequenze redatto per il Livello 1, è stato aggiornato in funzione delle nuove misure HVSR.



Nella carta sono riportati i risultati della campagna di misure di microtremore a stazione singola HVSR, comunemente nota con il termine H/V condotte secondo gli standard e i criteri stabiliti dagli ICMS e indicati nel Volume di Ingegneria sismica 2/11 per la misura delle frequenze fondamentali dei depositi che costituiscono la copertura della pianura alluvionale e delle coltri detritiche su substrato.

Nella Carta di Microzonazione Sismica è stata riportata la distribuzione delle aree caratterizzate da amplificazioni locali del moto sismico per effetti litostratigrafici, per le quali è stato quantificato analiticamente il fattore di amplificazione FA, ottenuto tramite lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 effettuato.

In accordo con i referenti della Regione Toscana per meglio rappresentare gli effetti attesi è stata elaborata, per le aree di indagine, la sola rappresentazione cartografica relativa a:

- la carta di microzonazione sismica per il fattore di amplificazione relativo al periodo compreso fra 0.1 e 0.5s.

Per detto elaborato le nuove indagini eseguite hanno confermato il modello geologico generale e quindi, sostanzialmente, la classificazione delle microzone eseguita in fase di Livello 1, sebbene con alcune modifiche.

Pertanto, alle varie Zone individuate in fase di primo livello e confermate o modificate in fase di terzo livello, sono stati assegnati i valori del Fattore di Amplificazione, secondo le procedure indicate nella Relazione tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D) e a cui si rimanda per una specifica trattazione.

Si riportano di seguito le Microzone Sismiche individuate nello studio di Terzo Livello e la loro descrizione. (come presentate nell'elaborato Tavola G.05, in scala 1:5.000).

### **Zone stabili**

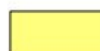
<b>ID</b>	<b>Fattore di Amplificazione e Descrizione Zona</b>
<b>(1011)</b>	Substrato lapideo stratificato, in assenza di copertura (o spessori generalmente inferiori ai 3,0 m) con pendenza (di seguito “i”) < 15° e basso contrasto di impedenza sismica (di seguito “c.i.”). Talora presenza di intercalazioni o orizzonti di litologie riferibili a Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato. FA 0,1-0,5      1,02

### **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

<b>ID</b>	<b>Fattore di Amplificazione e Descrizione Zona</b>
<b>Z1 (2001)</b>	Substrato lapideo stratificato, copertura (di natura prevalentemente sabbioso limosa di origine alteritica) < 3,0 m, i > 15°, c.i. basso. Talora presenza di intercalazioni o orizzonti di litologie riferibili a Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato. FA 0,1-0,5      1,02 Ft 0,1-0,5      1,2 (considerando il contributo potenziale dell'amplificazione topografica)
<b>Z2 (2002)</b>	Coperture alluvionali (di natura prevalentemente ghiaioso limosa), poggianti talora su coperture eluvio-colluviali e detritiche (di natura prevalentemente sabbioso limosa) di spessore complessivo compreso tra 5,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato, talora con presenza di intercalazioni o orizzonti di litologie riferibili a Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato. Alto c.i.. FA 0,1-0,5      1,24
<b>Z3 (2003)</b>	Coperture eluvio-colluviali e detritiche (di natura prevalentemente sabbioso limosa) di spessore compreso tra 5,0 e 10,0 m, talora con riporti, su Substrato lapideo stratificato, talora con presenza di intercalazioni o orizzonti di litologie riferibili a Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato. Alto c.i.. FA 0,1-0,5      1,05 – 1,1

## Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

 FA = 1

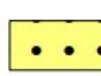
 FA = 1.1 -1.2

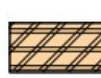
 Ft = 1.2

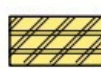
### Zone di attenzione per le instabilità'

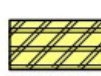
ID	Descrizione Zona
ZAFR1...n	Instabilità di versante per frana (con indicato il numero della zona stabile suscettibile di amplificazione locale a cui il corpo franoso è sovrastante).
(30222001)	FA/Ft 0,1-0,5 1,13 / 1,2 (ZRFR e ZSFR) – 1,31 (ZRFR) – 1,57 (ZRFR)
(30222002)	FA 0,1-0,5 1,13 (ZSFR)
(30222003)	FA 0,1-0,5 1,13 (ZSFR)

## Zone suscettibili di instabilità

 ZSFR = Zona di suscettibilità per frane in terra Ft = 1.2 FRT = 50

 ZRFR = Zona di rispetto per frane in terra Fa = 1.5 - 1.6 FRT = 50

 ZRFR = Zona di rispetto per frane in terra Fa = 1.3 - 1.4 FRT = 50

 ZRFR = Zona di rispetto per frane in terra Ft = 1.2 FRT = 50

### 8.7 CONSIDERAZIONI RELATIVE AGLI APPROFONDIMENTI CONDOTTI SULLE VARIE PORZIONI DI TERRITORIO INDAGATE

Si raccolgono nel presente capitolo considerazioni riassuntive in merito agli aspetti relativi alle indagini eseguite e alla definizione delle zone Mops e dei fattori di amplificazione attribuiti, per ciascuna area oggetto di approfondimento.

#### LONDA – Capoluogo

(vedi tavv. G.01, G.02, G.03, G.04 e G.05 in scala 1:5.000 e G.06 in scala 1:2.000)

#### *Inquadramento geologico e geomorfologico*

L'area su cui sorge l'abitato del Capoluogo è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili alle formazioni dell'Unità di Monte Cervarola – Falterona (Dominio Toscano).

In particolare l'Unità di Monte Cervarola - Falterona è rappresentata dal Membro di Montalto (FAL3) delle Arenarie del M. Falterona, nella sua facies principale costituita da un'alternanza di livelli arenacei, marnosi, argillitici e siltitici.

L'assetto è variabile, con giaciture generalmente a franapoggio più o meno inclinato del pendio, con immersione verso i quadranti settentrionali e inclinazioni variabili tra 20° e 35° in corrispondenza del centro storico; giaciture a reggipoggio con immersione verso i quadranti settentrionali e inclinazioni variabili tra 15° e 35° nei settori in destra idraulica del T. Moscia; giaciture a reggipoggio con immersione verso i quadranti meridionali e inclinazioni variabili tra 15° e 35° nei settori in sinistra idraulica del T. Moscia e, infine giaciture a franapoggio più o meno inclinato del pendio con immersione verso i quadranti occidentali e inclinazioni variabili tra 15° e 30° nei settori dell'abitato di Londa a sud del centro storico del Capoluogo (presso la località La Vigna).

Le litologie del substrato riconosciute sono soventemente sormontate da coltri eluvio-colluviali (b2a) e da coltri detritiche di frana sia attive che quiescenti. Nel settore di fondovalle, lungo il corso del T. Moscia si rinvencono spessori di depositi alluvionali attuali (b).

Il contesto è completato dalla presenza di terreni di origine antropica, in particolare in corrispondenza delle aree intensamente urbanizzate o di manufatti e/o manomissioni di origine antropica.

Il quadro geomorfologico è contraddistinto in alcuni areali da fenomenologie gravitative con i relativi coronamenti il cui stato di attività è quiescente, in particolar modo questi si rinvencono lungo il versante a monte dell'area del campo sportivo, nei versanti a monte del lago e lungo il versante che interessa la località La Vigna e gli insediamenti abitativi a monte della medesima. Il contesto geomorfologico completato dalla presenza di frane di limitata estensione, scarpate di erosione sia attive che non e di orli rimodellati di scarpata o deboli rotture di pendio, nonché, in corrispondenza dei corsi d'acqua di fenomeni di erosione lineare o incanalata.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia una prevalente acclività con pendenze comprese tra 15% e 25% con settori, lungo i versanti che costeggiano il bacino dove sorge l'abitato del Capoluogo, con acclività maggiori (comprese tra 25% e 45% e talora > 45%), e settori, nel fondovalle dell'abitato di Londa con pendenze inferiori al 15%.

Di detti elementi, nel complesso, si deve tenere conto nella definizione delle MOPS e prodromiche alla definizione delle carte di microzonazione sismica e, successivamente di classificazione di pericolosità sismica del sito.

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o progressse***

Per il Capoluogo sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA e con le indagini specificatamente eseguite a supporto degli Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 13 sondaggi geognostici a carotaggio continuo di cui n. 4 strumentati con tubo per prova down-hole, con le relative risultanze stratigrafiche;
- n. 5 stratigrafie da terebrazione di pozzi;
- n. 2 prove penetrometriche dinamiche;
- n. 4 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 23 indagini di sismica a rifrazione con onde P e Sh;
- n. 21 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr).

In corrispondenza dell'abitato del Capoluogo sono inoltre stata effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3.

In particolare è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geognostiche e geofisiche consistente in;

- n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo strumentati con tubo per prova down-hole, con le relative risultanze stratigrafiche;
- n. 2 indagini di sismica a rifrazione in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 3 indagini di sismica a rifrazione con onde P e Sh;
- n. 2 indagini di sismica a rifrazione di tipo MASW;
- n. 5 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtrempi (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico su cui sorge l'abitato di Londa risulta costituito da terreni riconducibili alle litologie appartenenti all'Unità di Monte Cervarola – Falterona.

In particolare l'area dell'abitato del Capoluogo così come tutti i rilievi che lo circondano è contraddistinto dai termini del Membro di Montalto delle Arenarie del M. Falterona (FAL3).

Sudette litologie sono talora sormontate, come nei settori di raccordo con il fondovalle e, in particolare, nella porzione nord-ovest dell'abitato di Londa scendendo in destra idraulica lungo il corso del T. Moscia, da uno spessore di coltre eluvio-colluviale e/o alteritica con spessori rilevati compresi tra 5,0 e circa 10,0 m dal p.c..

Nel fondovalle, lungo il corso del T.Moscia medesimo si ha la presenza di spessori di depositi alluvionali con spessori compresi tra 5,0 e 10,0 m.

Inoltre in alcuni areali, come ad esempio lungo il versante a monte dell'area del campo sportivo, nei versanti a monte del lago e lungo il versante che interessa la località La Vigna e gli insediamenti abitativi a monte della medesima vengono riconosciuti spessori metrici di depositi riferibili a coltri di frana.

Infine vi sono talora spessori di entità variabile di terreni di riporto antropico.

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GMin (Ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre – bacino intramontano) i depositi alluvionali attuali, mentre all'unità geologico-tecnica SMec (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico di versante – eluvi/colluvi) i depositi appartenenti alle coltri eluvio-colluviali. Inoltre vengono riportati i terreni contenenti resti di attività antropica (RI).

I terreni di natura litoide appartenenti alla formazione delle Arenarie del Monte Cervarola – Membro di Montalto (FAL3) riferibili al substrato geologico sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato).

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi quiescenti.

Inoltre vengono presentate le indicazioni delle strutture tettoniche e gli elementi geologici e idrogeologici relativi ai sondaggi e pozzi presenti nell'area con indicazione della profondità del substrato litoide raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato litoide.

### ***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area in esame caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al precedente dettaglio e da n. 31 misure HVSR di cui n. 6 classificate in classe A1, n. 24 classificata in A2 e n. 1 classificata in B2 si ricava una valutazione di qualità pari a 81,0 che la colloca in classe di accettabilità A.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato del Capoluogo durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3 sono state eseguite n. 5 misure di sismica passiva con metodo HVSR finalizzate allo studio in questione (prove con sigle P49, P50, P53, P54 e P55), oltre a n. 2 indagini di sismica a rifrazione in foro di tipo down-hole (indagini P51 e P52), n. 3 stese di sismica a rifrazione in onde P e Sh (indagini L25, L26 e L27) e n. 2 indagini Masw (L28 e L29).

In corrispondenza delle medesime aree sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Londa e dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 21 misure di sismica passiva con metodo HVSR (P8, P9, P10, P11, P12, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P25, P26, P27 e P40), n. 4 indagini di sismica a rifrazione in foro di tipo down-hole (indagini P1, P2, P3 e P4) e n. 23 stese di sismica a rifrazione in onde P e Sh (indagini L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L10, L11, L12, L13, L14, L15, L16, L17, L18, L19, L20, L21, L22, L23 e L24).

Nel settore in ingresso all'abitato di Londa le prove P11 e P15 hanno mostrato alti contrasti di impedenza ( $A_0$  rispettivamente pari a 4,52 e 4,41) con picchi di frequenza entro i primi dieci metri di profondità ( $f_0 = 11,8\text{Hz}$  e  $f_0 = 7,75\text{Hz}$ ).

In corrispondenza della prova P11 è stata eseguita una stesa di sismica a rifrazione denominata L3. L'indagine ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore variabile tra ca. 3,0 e 5,0 m, avente  $V_s$  comprese tra 130 e 175 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore variabile tra ca. 5,0 e ca. 10,0 m con  $V_s = 540$  m/s, a cui segue un terzo e ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1.200 e 1.475 m/s.

Presso l'area del Campo Sportivo le prove P12 e P50 hanno anch'esse mostrato alti contrasti di impedenza ( $A_0$  rispettivamente pari a 4,04 e 3,1) con picchi di frequenza rispettivamente a 11,65 Hz e 4,97 Hz.

Nel medesimo settore è stata eseguita la stesa di sismica a rifrazione L26, che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore variabile tra due e tre metri, avente  $V_s$  comprese tra 350 e 370 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore variabile tra ca. 5,0 e 14,0 m con  $V_s$  comprese tra 555 e 645 m/s, a cui segue un terzo e ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1.005 e 1.355 m/s.

Nelle vicinanze della prova P12 è stata eseguita una prova di sismica a rifrazione in foro di tipo down-hole (prova P52) che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 2,0 m avente  $V_s = 294$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 3,0 m con  $V_s = 377$  m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 3,0 m con  $V_s = 599$  m/s, un quarto sismostrato dello spessore di 1,5 m con  $V_s = 1.000$  m/s e un quinto sismostrato dello spessore di 11,5 m con  $V_s = 1.292$  m/s.

Nel settore subito a monte del Campo Sportivo, presso la S.S. n. 556, sono state eseguite le prove P14 e P40. La prima non ha mostrato la presenza di picchi significativi mentre la seconda un basso contrasto di impedenza ( $A_0 = 2,3$ ) profondo ( $f_0 = 2,8$  Hz).

Presso l'area cimiteriale è stata svolta la prova P13 che ha mostrato un alto contrasto di impedenza ( $A_0 = 3,26$ ) a profondità comprese tra 10,0 e 20,0 m da p.c. ( $f_0 = 6,55$  Hz).

A sud dell'area cimiteriale è stata eseguita una stesa di sismica a rifrazione denominata L20. L'indagine ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore di circa un metro, avente  $V_s$  comprese tra 84 e 101 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore variabile tra ca. 6,0 e ca. 12,0 m con  $V_s$  comprese tra 366 e 450 m/s, a cui segue un terzo e ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1.079 e 1.342 m/s.

Subito a nord-ovest dell'area cimiteriale la prova P49 ha mostrato, invece un basso contrasto di impedenza ( $a_0 = 2,12$ ) maggiormente superficiale ( $f_0 = 8,38$  Hz).

Presso la prova P49 è stata eseguita la stesa di sismica a rifrazione L25 che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore variabile tra uno e quattro metri, avente  $V_s$  comprese tra 270 e 290 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore variabile tra ca. 6,0 e 10,0 m con  $V_s$  comprese tra 405 e 545 m/s, a cui segue un terzo e ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 780 e 1.275 m/s.

Nel settore compreso tra il corso del T. Moscia e la S.S. n. 556 le prove P9 e P10 hanno mostrato un alto contrasto di impedenza ( $A_0$  rispettivamente pari a 6,71 e 5,76) superficiale ( $f_0$  rispettivamente uguale a 11,95 Hz e 11,65 Hz).

Nel medesimo settore, lungo il corso del torrente è stata eseguita la stesa sismica a rifrazione L1. L'indagine ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore di circa un metro, avente  $V_s$  comprese tra 120 e 130 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di ca. 8,0 m con  $V_s$  comprese tra 470 e 530 m/s, a cui segue un terzo e ultimo sismostrato con  $V_s = 1.505$  m/s.

Presso la stesa sismica L1 sono state eseguite n. 3 prove di sismica a rifrazione in foro di tipo down-hole (prove P1, P2 e P5).

L'indagine P1 ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 4,5 m avente  $V_s = 280$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 5,5 m con  $V_s = 520$  m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 4,5 m con  $V_s = 900$  m/s e un quarto sismostrato dello spessore di 3,5 m con  $V_s = 1.230$  m/s.

L'indagine P2 ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 4,5 m avente  $V_s = 270$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 5,5 m con  $V_s = 580$  m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 7,5 m con  $V_s = 1.135$  m/s e un quarto sismostrato dello spessore di 9,5 m con  $V_s = 1.415$  m/s.

L'indagine P4 ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 4,0 m avente  $V_s = 370$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 2,0 m con  $V_s = 298$  m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 6,0 m con  $V_s = 485$  m/s e un quarto sismostrato dello spessore di 6,0 m con  $V_s = 1.388$  m/s.

Risalendo il corso del torrente, poco più a monte della stesa L1, presso Via del Moscia, sono state eseguite le stese di sismica a rifrazione L4 e L5.

L'indagine L4 ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore di circa due metri, avente  $V_s$  comprese tra 340 e 360 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di ca. 8,0 – 10,0 m con  $V_s = 550$  m/s, a cui segue un terzo e ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1.360 e 1.730 m/s.

L'indagine L5 ha mostrato, invece, la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore variabile tra uno e tre metri, avente  $V_s$  comprese tra 230 e 260 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di ca. 8,0 m con  $V_s = 455$  m/s, a cui segue un terzo e ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1.330 e 1.340 m/s.

Presso la località La Torre le prove P16 e P17 hanno rispettivamente mostrato un basso contrasto di impedenza ( $A_0 = 2,06$ ,  $f_0 = 9,25$  Hz) e un alto contrasto di impedenza ( $A_0 = 4,3$ ,  $f_0 = 4,9$  Hz).

Tra le due prove è stata eseguita la stesa di sismica a rifrazione L8, che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore variabile tra uno e tre metri, avente  $V_s$  comprese tra 290 e 370 m/s, a cui

segue un secondo sismostrato dello spessore variabile tra ca. 4,0 e 10,0 m con  $V_s$  comprese tra 515 e 575 m/s, a cui segue un terzo e ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1.015 e 1.280 m/s.

Nel centro storico, presso Piazza Umberto I è stata eseguita la stesa di sismica a rifrazione L6, che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore variabile tra uno e due metri, avente  $V_s$  comprese tra 370 e 410 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore variabile tra ca. 3,0 e 5,0 m con  $V_s = 890$  m/s, a cui segue un terzo e ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1.475 e 1.705 m/s.

Subito ad ovest del centro storico la prova P27 non ha mostrato la presenza di picchi significativi, mentre subito a sud dell'abitato stesso, presso Via Salvo D'Acquisto e Via della Rimembranza le prove P22 e P24 hanno mostrato alti contrasti di impedenza ( $A_0$  pari rispettivamente a 3,73 e 4,21) a profondità comprese nei dieci metri ( $f_0$  rispettivamente pari a 11,2 Hz e 9,25 Hz); la prova P54 ha invece mostrato un basso contrasto dim impedenza ( $A_0 = 2,36$ ) estremamente superficiale ( $f_0 = 25,63$  Hz).

Presso la prova P24 è stata eseguita la stesa di sismica a rifrazione L2 che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore variabile tra due e tre metri, avente  $V_s$  comprese tra 150 e 170 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore variabile tra ca. 4,0 e 10,0 m con  $V_s = 530$  m/s, a cui segue un terzo e ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1.155 e 1.330 m/s.

Nelle vicinanze della stesa L2 è stata anche eseguita l'indagine Masw L29 che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore di 1,9 m avente  $V_s = 486$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 6,14 m con  $V_s = 450$  m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 5,4 m con  $V_s = 942$  m/s e un quarto sismostrato dello spessore di 12,19 m con  $V_s = 941$  m/s. A questo seguono velocità delle  $V_s$  pari a 1.525 m/s.

Nel medesimo settore è stata eseguita una prova di sismica a rifrazione in foro di tipo down-hole (prova P3) che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 3,0 m avente  $V_s = 266$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 8,0 m con  $V_s = 463$  m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 4,0 m con  $V_s = 723$  m/s e un quarto sismostrato dello spessore di 10,0 m con  $V_s = 1.514$  m/s.

Nell'estrema porzione sud dell'area di indagine, a sud-ovest della località La Vigna la prova P23 non ha mostrato la presenza di picchi significativi; così come non lo hanno mostrato le prove P18, P19 e P21 eseguite, a monte e ad est del lago e nei rilievi presenti presso l'estrema porzione nord-orientale dell'area di studio.

Presso la prova P19 la stesa di sismica a rifrazione L27 ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore variabile tra due e quattro metri, avente  $V_s$  comprese tra 340 e 490 m/s, a cui segue un secondo e ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1.275 e 1.770 m/s.

A valle e ad ovest del lago è stata eseguita la stese di sismica a rifrazione L7 che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato superficiale, dello spessore variabile tra uno e due metri, avente  $V_s$  comprese tra 315 e 335 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore variabile tra ca. 4,0 e 7,0 m con  $V_s = 450$  m/s, a cui segue un terzo e ultimo sismostrato con  $V_s$  comprese tra 1.160 e 1.730 m/s.

Nella medesima zona la prova P8 ha mostrato un alto contrasto di impedenza ( $A_0 = 5,3$ ) a profondità superficiali ( $f_0 = 10,45$  Hz).

Presso gli abitati posti nella porzione sommitale di Via di Campobello la prova P20 ha mostrato un alto contrasto di impedenza ( $A_0 = 3,33$ ) a profondità superficiali ( $f_0 = 12,55$  Hz); mentre la prova P55 ha mostrato un basso contrasto dim impedenza ( $A_0 = 2,12$ ) più profondo superficiale ( $f_0 = 4,56$  Hz).

Nel settore subito a monte della località La Vigna le prove P25 e P53 hanno mostrato alti contrasti di impedenza ( $A_0$  rispettivamente pari a 4,5 e 7,91) a profondità di circa 10,0 m dal p.c. ( $f_0$  rispettivamente pari a 8,2 Hz e 7,91 Hz).

Nelle vicinanze della prova P53 è stata anche eseguita l'indagine Masw L28 che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 3,6 m avente  $V_s = 308$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 2,51 m con  $V_s = 549$  m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 3,96 m con  $V_s = 710$  m/s e un quarto sismostrato dello spessore di 4,26 m con  $V_s = 698$  m/s. A questo seguono velocità delle  $V_s$  pari a 955 m/s.

Nel medesimo settore è stata eseguita una prova di sismica a rifrazione in foro di tipo down-hole (prova P51) che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 2,0 m avente  $V_s = 212$  m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 2,0 m con  $V_s = 452$  m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 12,0 m con  $V_s = 667$  m/s e un quarto sismostrato dello spessore di 4,0 m con  $V_s = 735$  m/s.

Infine, la prova P26 eseguita presso Via di Casa Nuova ha mostrato un picco superficiale ( $f_0 = 15,4$  Hz) con basso contrasto di impedenza ( $A_0 = 2,21$ ).

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili**

- **(1001)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato con assenza di copertura o presenza di spessori di coltre di alterazione generalmente inferiori ai 3,0 m, con  $i < 15^\circ$  e basso c. i.. Talora presenza di intercalazioni o orizzonti di litologie riferibili a substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata si evince che tali settori non presentano alti contrasti di impedenza sismica.

Dagli studi di Livello 3 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,02 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in corrispondenza della località Vicorati a nord dell'abitato del Capoluogo.

#### **Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica locale**

- **zona 1 (2001)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato con assenza di copertura o presenza di spessori generalmente inferiori ai 3,0 m, con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Talora presenza di intercalazioni o orizzonti di litologie riferibili a substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P55) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo, tuttavia, data l'inclinazione dei versanti, possono essere suscettibili di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

Dagli studi di Livello 3 si evince che la zona assume un fattore di amplificazione pari a 1,02 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s; tuttavia le viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,2 derivante dall'aver cautelativamente considerato il contributo potenziale dovuto all'amplificazione topografica.

Nella zona sono presenti solamente orli di terrazzo e di scarpata di altezza compresa tra 10 e 20 metri.

La zona viene individuata nella maggior parte dei versanti che delimitano il fondovalle del T. Moscia.



- **zona 2 (2002)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture alluvionali (di natura prevalentemente ghiaioso limosa), poggianti talora, su coperture eluvio-colluviali e detritiche (di natura prevalentemente sabbioso limosa) di spessore complessivo compreso tra 5,0 e 15,0 m, su Substrato lapideo stratificato, talora con presenza di intercalazioni o orizzonti di litologie riferibili a Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P8, P9, P10, P11 e P15) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo, al passaggio tra terreni di copertura e substrato litoide.

Dagli studi di Livello 3 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,24 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata nelle aree di fondovalle lungo il corso del T. Moscia.

- **zona 3 (2003)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha la presenza di coperture eluvio-colluviali e detritiche (di natura prevalentemente sabbioso limosa) di spessore compreso tra 5,0 e 15,0 m, talora con riporti, su Substrato lapideo stratificato, talora con presenza di intercalazioni o orizzonti di litologie riferibili a Substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato. Il substrato è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montalto (FAL3).

Dallo studio complessivo di indagine sismica, sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P13 e P17) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo, al passaggio tra terreni di copertura e substrato litoide.

Dagli studi di Livello 3 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione variabile, in funzione dell'areale di riferimento, tra 1,05 e 1,1 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata principalmente nei settori di raccordo tra i versanti ed il fondovalle nella porzione in destra idraulica del corso del T. Moscia e nei versanti posti a valle e ad ovest della località La Vigna.

#### **Zone suscettibili di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....n)** sono state discriminate considerando l'ordine di rappresentazione indicato al paragrafo 1.1.3-3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

A seguito degli studi di terzo livello, per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s è possibile attribuire valori di amplificazione pari a 1,13 alle zone ZSFR (zona di suscettibilità per frane) riferibili alle zone instabili 30222002 e 30222003 e pari a 1,2 (considerando il contributo potenziale dovuto all'amplificazione topografica) alle zone ZSFR (zona di suscettibilità per frane) riferibili alle zone instabili 30222001. Vengono attribuiti valori di amplificazione variabili tra 1,2 (considerando il contributo potenziale dovuto all'amplificazione topografica), 1,31 e 1,57 alle zone ZRFR (zone di rispetto per frane) riferibili alle zone instabili 30222001 analizzate.

Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine, nell'areale del Capoluogo non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

#### **RINCINE**

(vedi tavv. G.01, G.02, G.03, G.04 e G.05 in scala 1:5.000)

### ***Inquadramento geologico e geomorfologico***

L'area su cui sorge l'abitato di Rincine è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili alle formazioni dell'Unità di Monte Cervarola – Falterona (Dominio Toscano).

In particolare l'Unità di Monte Cervarola - Falterona è rappresentata dal Membro di Monteflaco (FAL1) delle Arenarie del M. Falterona, costituito da arenarie in strati spessi in banchi amalgamati. Subito esternamente, a nord e a sud dell'area di interesse si rinvencono i termini riferibili al Membro di Montalto (FAL3) delle Arenarie del M. Falterona, nella sua facies principale costituita da un'alternanza di livelli arenacei, marnosi, argillitici e siltitici.

L'assetto è variabile, con giaciture generalmente a franapoggio più o meno inclinato del pendio e a reggipoggio, con immersione verso i quadranti settentrionali e inclinazioni variabili tra 30° e 45° in corrispondenza della porzione settentrionale dell'area di studio, e giaciture a franapoggio più o meno inclinato del pendio con immersione verso i quadranti meridionali e inclinazioni variabili tra 25° e 55° nei settori della porzione meridionale dell'area di studio

Le litologie del substrato riconosciute sono sovente sormontate da coltri detritiche di frana quiescenti.

Il quadro geomorfologico è contraddistinto da ampi areali con fenomenologie gravitative con i relativi coronamenti il cui stato di attività è quiescente; questi interessano la quasi totalità delle aree investigate su cui sorge l'abitato di Rincine. Il contesto geomorfologico completato dalla presenza di scarpate di erosione sia attive che non e di orli rimodellati di scarpata o deboli rotture di pendio.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia una prevalente acclività con pendenze generalmente comprese tra 15% e 25% con settori con acclività maggiori (comprese tra 25% e 45%), e settori limitati con pendenze inferiori al 15%.

Di detti elementi, nel complesso, si deve tenere conto nella definizione delle MOPS e prodromiche alla definizione delle carte di microzonazione sismica e, successivamente di classificazione di pericolosità sismica del sito.

### ***Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse***

Per l'area di Rincine sono stati reperiti tutti i dati geognostici (stratigrafici, geotecnici e geofisici) contenuti nella banca dati dell'Archivio Comunale, implementati con i dati geognostici (in particolare stratigrafici) ricavati dalla banca dati ISPRA e con le indagini specificatamente eseguite a supporto degli Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.

In particolare sono state ricavate le risultanze del seguente numero di indagini:

- n. 2 stratigrafie da terebrazioni di pozzi;
- n. 1 indagine di sismica a rifrazione di tipo Masw;
- n. 5 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr).

### ***Modello geologico del sottosuolo***

Il substrato geologico su cui sorge l'abitato di Rincine risulta costituito da terreni riconducibili alle litologie appartenenti all'Unità di Monte Cervarola – Falterona.

In particolare l'area dell'abitato è contraddistinta dai termini del Membro di Montefalco delle Arenarie del M. Falterona (FAL1). Nei rilievi a nord e a sud dell'area dell'abitato di Rincine affiorano, inoltre, i termini del Membro di Montalto delle Arenarie del M. Falterona (FAL3).

Sudette litologie sono sormontate in quasi la totalità dell'area da spessori metrici di depositi riferibili a coltri di frana.

### ***Modello geologico tecnico***

Le formazioni geologiche presenti nell'area in esame sono state assimilate, in funzione delle loro caratteristiche geo-lito-sedimentologiche, a delle specifiche unità geologico-tecniche.

In particolare, per quanto riguarda i terreni di copertura sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GCin (Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla di ambiente fluvio lacustre – bacino intramontano) i depositi alluvionali attuali, mentre all'unità geologico-tecnica SWec (Sabbie limose, miscela di sabbie pulite e ben assortite e sabbie ghiaiose di ambiente genetico di versante – eluvi/colluvi) i depositi appartenenti alle coltri eluvio-colluviali. Inoltre vengono riportati i terreni contenenti resti di attività antropica (RI).

I terreni di natura litoide appartenenti alla formazione delle Arenarie del Monte Cervarola – Membro di Montefalco (FAL1) e Membro di Montalto (FAL3) riferibili al substrato geologico sono stati inseriti nella classe geologico-tecnica LPS (Lapideo, stratificato).

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi quiescenti.

Inoltre vengono presentate le indicazioni delle strutture tettoniche e gli elementi geologici e idrogeologici relativi ai sondaggi e pozzi presenti nell'area con indicazione della profondità del substrato litoide raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato litoide.

### ***Indicazione della classe di qualità mediante “Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS”***

Per l'area in esame caratterizzata da rilievo geologico e geomorfologico appositamente eseguito in scala 1:2.000 e presentato in scala 1:5.000, dalla disponibilità delle indagini geognostiche e sismiche di cui al precedente dettaglio e da n. 5 misure HVSR di cui n. 2 classificate in classe A1 e n. 3 classificate in A2 si ricava una valutazione di qualità pari a 65,2 che la colloca in classe di accettabilità B.

### ***Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione***

In corrispondenza dell'abitato di Rincine sono stati ricavati, dalla banca dati del Comune di Londa e dagli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 precedentemente eseguiti, n. 5 misure di sismica passiva con metodo HVSR (P33, P34, P35, P36 e P37).

Le registrazioni P34, P35 e P37 non hanno mostrato la presenza di picchi significativi di impedenza sismica nel sottosuolo. La prova P33, eseguita presso la chiesa del paese ha registrato un basso contrasto di impedenza ( $A_0 = 2,73$ ) a 6,55 Hz, mentre la prova P36, eseguita nel settore settentrionale dell'abitato ha mostrato un alto contrasto ( $A_0 = 3,9$ ) più superficiale ( $f_0 = 11,05$  Hz).

Nelle vicinanze della prova P35 è stata eseguita l'indagine Masw L9. La stesa ha mostrato la presenza nel sottosuolo di un primo sismostrato dello spessore di circa 2,5 m con  $V_s$  pari a ca. 200 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di circa 2,5 m con  $V_s$  pari a ca. 380 m/s, un terzo sismostrato dello spessore di circa 3,0 m con  $V_s$  pari a ca. 560 m/s e un quarto sismostrato dello spessore di circa 4,0 m con  $V_s$  pari a ca. 750 m/s. Successivamente le velocità delle onde  $Sh$  superano gli 800 m/s di velocità.

### ***Illustrazione della carta delle Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***

#### **Zone stabili**

- (1001): questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato con assenza di copertura o presenza di spessori di coltre di alterazione generalmente inferiori ai 3,0 m, con  $i < 15^\circ$  e basso c. i.. Talora presenza di intercalazioni o orizzonti di litologie riferibili a substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montefalco (FAL1).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata si evince che tali settori non presentano alti contrasti di impedenza sismica.

Dagli studi di Livello 3 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,02 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s.

La zona viene individuata in alcuni limitati settori nella porzione occidentale dell'area di indagine, a valle dell'abitato di Rincine.

#### **Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica locale**

- **zona 1 (2001)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato con assenza di copertura o presenza di spessori generalmente inferiori ai 3,0 m, con  $i > 15^\circ$  e basso c.i.. Talora presenza di intercalazioni o orizzonti di litologie riferibili a substrato costituito da alternanza di litotipi, stratificato. Il substrato compreso all'interno della zona stabile è riconducibile alla presenza della formazione geologica delle Arenarie del M. Falterona – Membro di Montefalco (FAL1).

Dallo studio complessivo di indagine sismica e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo, tuttavia, data l'inclinazione dei versanti, possono essere suscettibili di amplificazione sismica per possibili effetti topografici.

Dagli studi di Livello 3 si evince che la zona assume un fattore di amplificazione pari a 1,02 per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s; tuttavia le viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,2 derivante dall'aver cautelativamente considerato il contributo potenziale dovuto all'amplificazione topografica.

La zona viene individuata in corrispondenza dell'intera area di Rincine laddove non presenti coperture di frana.

#### **Zone suscettibili di attenzione per instabilità**

Le **zone suscettibili di attenzione per instabilità di versante (ZAFR1....n)** sono state discriminate considerando l'ordine di rappresentazione indicato al paragrafo 1.1.3-3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

A seguito degli studi di terzo livello, per l'intervallo di riferimento 0,1-0,5s è possibile attribuire valori di amplificazione pari a 1,2 (considerando il contributo potenziale dovuto all'amplificazione topografica) alle zone ZSFR (zona di suscettibilità per frane) riferibili alle zone instabili 30222001.

Infine, in funzione della successione geologica presente nell'intera area di indagine, nell'areale di Rincine non si riconoscono zone con terreni potenzialmente liquefacibili e pertanto non sono state definite **zone suscettibili di attenzione per liquefazioni (ZALQ)**.

## **9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI**

Come già ampiamente trattato nel precedente capitolo 2, relativo agli eventi sismici di riferimento, il territorio comunale di Londa ha registrato nel passato alcuni episodi sismici, anche di importante intensità; tuttavia non sono stati storicamente registrati particolari danni a opere civili e/o infrastrutture.

Tra questi l'evento sismico maggiormente significativo e ricordato è quello del 1919 che causò oltre 100 morti nel Mugello e che vide come epicentro la zona di Vicchio, dove ci furono una quarantina di vittime e crollò la metà degli edifici esistenti.

Tra i comuni più colpiti da quell'evento si ricorda anche quelli di Dicomano, Borgo San Lorenzo, San Godenzo, Marradi, Firenzuola, Scarperia, Barberino del Mugello, Londa e in parte anche Rufina e Pontassieve.

La zona dove si ebbero i danni maggiori fu quella nelle immediate vicinanze di Vicchio; nel Capoluogo comunale furono distrutte 700 case su 1.500; 500 divennero inagibili e le restanti subirono danni seri. Fu gravemente lesionata anche la casa natale del pittore Giotto nella frazione di Vespignano.

Gravi danni si ebbero anche a Borgo San Lorenzo, dove oltre il 75% delle case fu dichiarato inagibile e si ebbe il crollo della Pieve, di un'altra chiesa e danni seri ad altri edifici; a San Godenzo, dove si ebbero danni gravissimi alla chiesa e gran parte delle case inagibili; a Dicomano, dove crollarono la Torre dell'Orologio, diverse case e gran parte delle altre furono gravemente lesionate; si dovette evacuare l'ospedale di Luco del Mugello. Si ebbero danni gravi anche a Firenzuola ed in alcuni comuni del versante romagnolo ma per fortuna non alle persone, dato che la zona era stata già colpita da un terremoto nel novembre precedente e la popolazione viveva ancora in baracche di fortuna.

Si ricorda, inoltre il terremoto del maggio 1895, allorché una forte scossa di terremoto colpì quasi tutta la provincia di Firenze, causando danni diffusi, in alcune zone anche gravi.

A Firenze i danni furono molto estesi, ma nel complesso non gravissimi. Numerosi danni interessarono l'edilizia residenziale e privata della città, con lesioni diffuse e cadute di soffitti. Complessivamente circa 100 edifici risultarono inagibili. A Firenze non vi furono vittime e si contarono solo alcuni feriti non gravi.

Danni diffusi interessarono diversi comuni e centri del circondario fiorentino, in un'area piuttosto ampia, estesa dal Valdarno Superiore a Prato e ai centri della Valle del Bisenzio, dal Chianti e la Val di Pesa fino al Mugello, bassa Val di Sieve e all'Empolese.

I danni più gravi furono registrati in diverse località nella zona posta immediatamente a sud di Firenze.

Anche la scossa di terremoto avvenuta il 9 dicembre 2019, con epicentro nel Mugello nella zona tra Scarperia e Barberino del Mugello è stata avvertita nel territorio comunale di Londa, senza procurare danni a edifici o manufatti.

Dagli studi eseguiti è possibile desumere che le maggiori lesioni e danni di un evento sismico possono essere registrate laddove si ha la presenza di una coltre di copertura su un substrato litoide, e dove possono avvenire fenomeni di contrasto di impedenza sismica.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- Albarello D. (2013) - I dati di rumore ambientale per la MS di Livello I - Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, 22-23 maggio 2013.
- Albarello D. (2013) - La risposta sismica locale. Seminario ODG – Fermo, 11 Ottobre 2013.
- Albarello D. (2013) - Sismica passiva con tecniche a stazione singola e antenna. Seminario ODG – Fermo, 11 Ottobre 2013.
- Albarello D. (2013) - Misure di rumore ambientale. Corso di microzonazione sismica e valutazione della risposta sismica locale per la ricostruzione post-terremoto.
- Albarello D. & Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola – Supplemento alla rivista trimestrale *Ingegneria Sismica* – Anno XXVIII, n. 2.
- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M. M. & Boschi E. (2008) - DISS - Database of Individual Seismogenic Sources.
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell’OPCM 13 novembre 2010, n. 3907) - Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.2 (dicembre 2020).
- Comune di Londa (1999) – Piano Strutturale Comunale, Indagini geologico tecniche di supporto.
- Geotecno (2013) – Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.
- Gruppo di Lavoro MS (2008) - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd.
- Gruppo di Lavoro MS–AQ (2010) - Microzonazione sismica per la ricostruzione dell’area aquilana. Regione Abruzzo – Dipartimento della Protezione Civile, L’Aquila, 3 vol. e Cd-rom.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Antonucci A.. Database Macrosismico Italiano DBMI15 - Release v2.0 - DBMI15, the version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.
- Meletti C., Valensise G. (2004) - Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo - Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della protezione civile, Ufficio rischio sismico e vulcanico (2012) - Classificazione sismica al 2012 Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell’Ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3274.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B. & Gasperini P. (2016) - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 Release v1.5 2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12 - Guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique oh ambient vibrations measurements, processing and interpretation.

## 11. ALLEGATI

- Tav. G.01 Carta delle indagini – Londa, Rincine (scala 1:5.000)
- Tav. G.02 Carta delle frequenze – Londa, Rincine (scala 1:5.000)
- Tav. G.03 Carta geologico tecnica – Londa, Rincine (scala 1:5.000)
- Tav. G.04 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – Londa, Rincine (scala 1:5.000)
- Tav. G.05 Carta di Microzonazione Sismica FA01-05 - Londa, Rincine (scala 1:5.000)
- Tav. G.06 Sezioni geologico-tecniche con indicazione zone Mops – Londa (scala 1:2.000)
- Relazione tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D)
- Microzonazione sismica di livello 1 - Indagini geofisiche di superficie mediante sismica a rifrazione in onde P e Sh – Trigeo s.n.c.
- Microzonazione sismica di livello 1 - Indagini geofisiche di sismica passiva con prove di tipo Hvsr – Geotecno
- Microzonazione sismica di livello 3 – Indagini geofisiche – ENKI s.r.l.
- Microzonazione sismica di livello 3 – Indagini geofisiche – Carta delle Indagini - ENKI s.r.l.
- Microzonazione sismica di livello 3 – Indagini geofisiche – Carta di dettaglio indagini - ENKI s.r.l.
- Microzonazione sismica di livello 3 – Report Sondaggi (Schede stratigrafiche e documentazione fotografica)

Firenze li 06.12.2021

---

Prof. Geol. Eros Aiello

---

Dott. Geol. Gabriele Grandini