

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Capraia Fiorentina – Limite – Castra

Regione Toscana Comune di Capraia e Limite (FI)



<p>Regione Regione Toscana – Settore Sismica</p>	<p>Soggetto realizzatore: Comune di Capraia e Limite/Servizio Assetto del Territorio/RUP Arch. Roberto Montagni</p> <p>Professionisti incaricati: Dott. Geol. Eros Aiello Dott. Geol. Gabriele Grandini</p>  <p>Via Andrea del Castagno, 8 - 50132 Firenze tel.055/571393, 055/575954; fax.055/5522329 ✉ info@geocoprogetti.com</p>	<p>Data dicembre 2020</p>
---	---	--------------------------------------

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.....	13
2.4 PERICOLOSITA' SISMICA.....	16
2.5 VERIFICHE DI PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DI SITO.....	23
2.6 LIQUEFAZIONE – BASE TEORICA E VERIFICA PER LOCALITA'.....	33
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	47
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO.....	47
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NOTAZIONI STRATIGRAFICHE.....	47
3.4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....	52
3.5 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E NOTAZIONI IDROGEOLOGICHE.....	55
3.6 ACCLIVITA' DEI VERSANTI.....	57
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	58
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	68
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	69
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	70
8. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	71
8.1 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE.....	79
8.2 CARTA DELLE INDAGINI E CARTA DELLE FREQUENZE.....	79
8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA.....	81
8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS).....	87
8.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA.....	89
8.6 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	92
8.7 CONSIDERAZIONI RELATIVE AGLI APPROFONDIMENTI CONDOTTI SULLE VARIE PORZIONI DI TERRITORIO INDAGATE.....	103
9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....	119
10. BIBLIOGRAFIA.....	120
11. ALLEGATI.....	121

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 Capraia e Limite 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 2) 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 Capraia e Limite 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 Capraia e Limite, di compendio con la Struttura Regionale deputata alla Prevenzione Sismica (Direzione Ambiente ed Energia – Settore Sismica), ha individuato le seguenti aree:

- capoluogo di Limite sull'Arno,
- frazioni di Capraia Fiorentina,
- frazioni di Castra.

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 di particolare interesse 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 in scala 1:2.000 realizzate nell’ambito del supporto geologico tecnico al vigente Regolamento Urbanistico del Comune di Capraia e Limite. 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 – MARZO 2014

- n. 3 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. 6 prove di array sismico con metodo ESAC per la valutazione, delle velocità V_s nel sottosuolo;
- n. 6 prospezioni di sismica attiva frequenziale con tecnica di tipo MASW per la valutazione del V_{s30} ;
- n. 24 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 determinare l’eventuale comportamento amplificativo del terreno.

CAMPAGNA DI INDAGINI PROPEDEUTICA AGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISIMICA DI LIVELLO 2 – MARZO 2020

- n. 1 linea 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, per caratterizzare dinamicamente sia la copertura presente sia il substrato roccioso ed individuarne la morfologia del tetto del substrato roccioso;
- n. 6 prove Masw per caratterizzare la velocità delle onde sismiche di taglio nel suolo e definire la categoria sismica di sottosuolo secondo le N.T.C. 2008;
- n. 5 prove di array sismico con metodo Esac per la valutazione delle velocità delle onde sismiche di taglio nel suolo;
- n. 33 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
G.0	Relazione illustrativa		dicembre 2020
	Capraia Fiorentina – Limite sull'Arno - Castra		
G.01	Carta delle indagini	1:5.000	dicembre 2020
G.02	Carta delle frequenze		dicembre 2020
G.03	Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica	1:5.000	dicembre 2020
G.04	Carta delle Microzone Omogenee in Prospezione Sismica (MOPS)	1:5.000	dicembre 2020
G.05	Carta di Microzonazione Sismica – FA01-05	1:5.000	dicembre 2020
G.06	Carta di Microzonazione Sismica – FA04-08	1:5.000	dicembre 2020
G.07	Carta di Microzonazione Sismica – FA07-11	1:5.000	dicembre 2020
G.08	Sezioni geologico-tecniche con indicazioni zone Mops	1:2.000	dicembre 2020
	Data base “cartella indagini” contenente certificazioni indagini stratigrafiche, geotecniche e sismiche strutturata come da istruzioni “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per Microzonazione Sismica – Versione 4.1” (in formato digitale)		dicembre 2020
	Indagini geofisiche integrate di caratterizzazione sismica propedeutiche alla redazione di cartografie di microzonazione sismica mops e pericolosità sismica – ENKI srl - Relazione tecnica - Tav. 01 – Carta delle indagini -Tav. 02 – Carta delle frequenze - Tav. 03 – Carta di dettaglio indagini		marzo 2014
	Relazione delle indagini geofisiche - Microzonazione sismica di livello 2 – Dott. Pieroni e Dott. Puccetti		marzo 2020

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 Capraia e Limite, ai sensi del Regolamento Regionale n. 53/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.

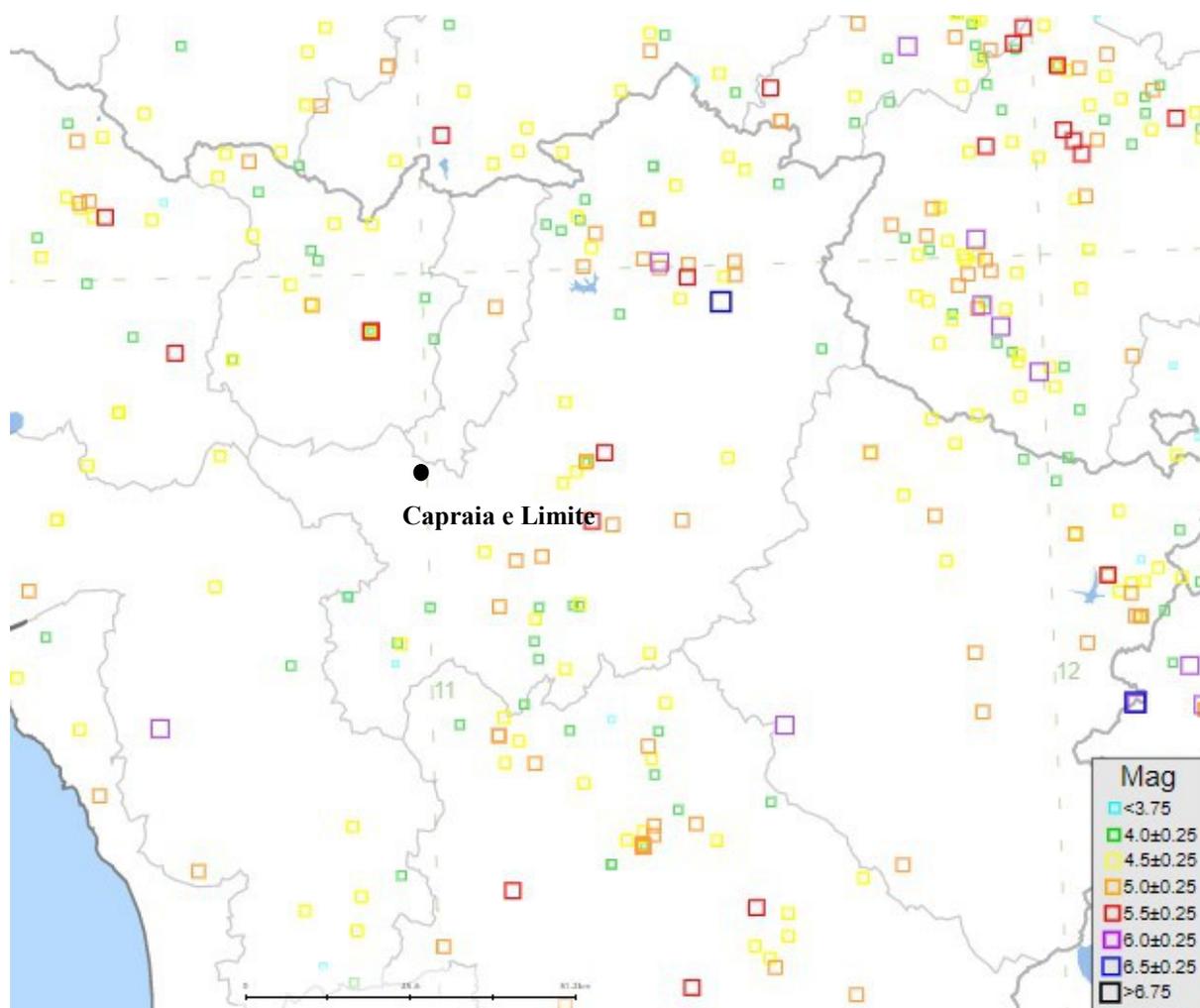
I dati tematici sono tutti vettoriali ed inseriti all'interno di una Banca Dati GIS facilmente interrogabile e aggiornabile, in ottemperanza a quanto richiesto nell'art. 28 della L.R. 1/2005; in particolare, i dati consegnati alla amministrazione comunale sono in formato sia "shape" che "pdf".

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 Capraia e Limite 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>.



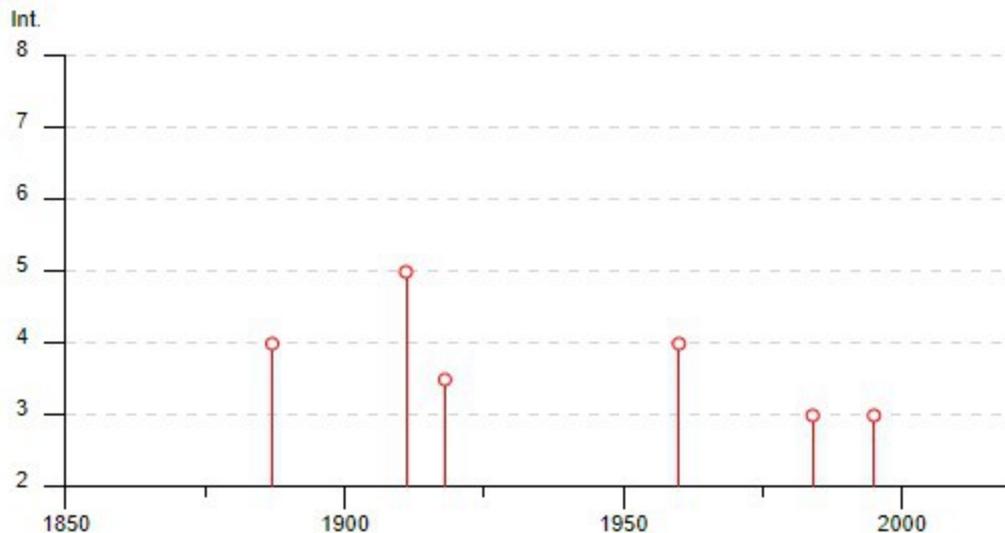
Localizzazione degli eventi macrosismici a livello regionale nel territorio circostante il Comune di Capraia e Limite (Periodo 1005 – 2017)

In particolare gli effetti macrosismici che hanno interessato il Comune di Capraia e Limite sono riconducibili a n. 6 eventi sismici, verificatisi dal 1887 al 1995, 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
4	1887	11	14	05	48	0	Fiorentino	101	6	4.47
5	1911	09	13	22	29	0	Chianti	115	7	5.08
3-4	1918	11	10	15	12	2	Appennino forlivese	187	9	5.96
4	1960	10	29	00	08	3	Mugello	69	7	4.91
3	1984	04	22	17	39	2	Costa pisano-livornese	39	6	4.61
3	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82

Eventi macrosismici riportati nel DBMI15

La maggiore intensità sismica percepita in questo territorio raggiunge il grado 5 MCS nel terremoto avvenuto nel Chianti nel 1911/68 (Mw = 5,08) e il grado 4 MCS registrato durante i terremoti avvenuti sempre nel Fiorentino nel 1887 (Mw = 4,47) e nel Mugello nel 1960 (Mw = 4,91).



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

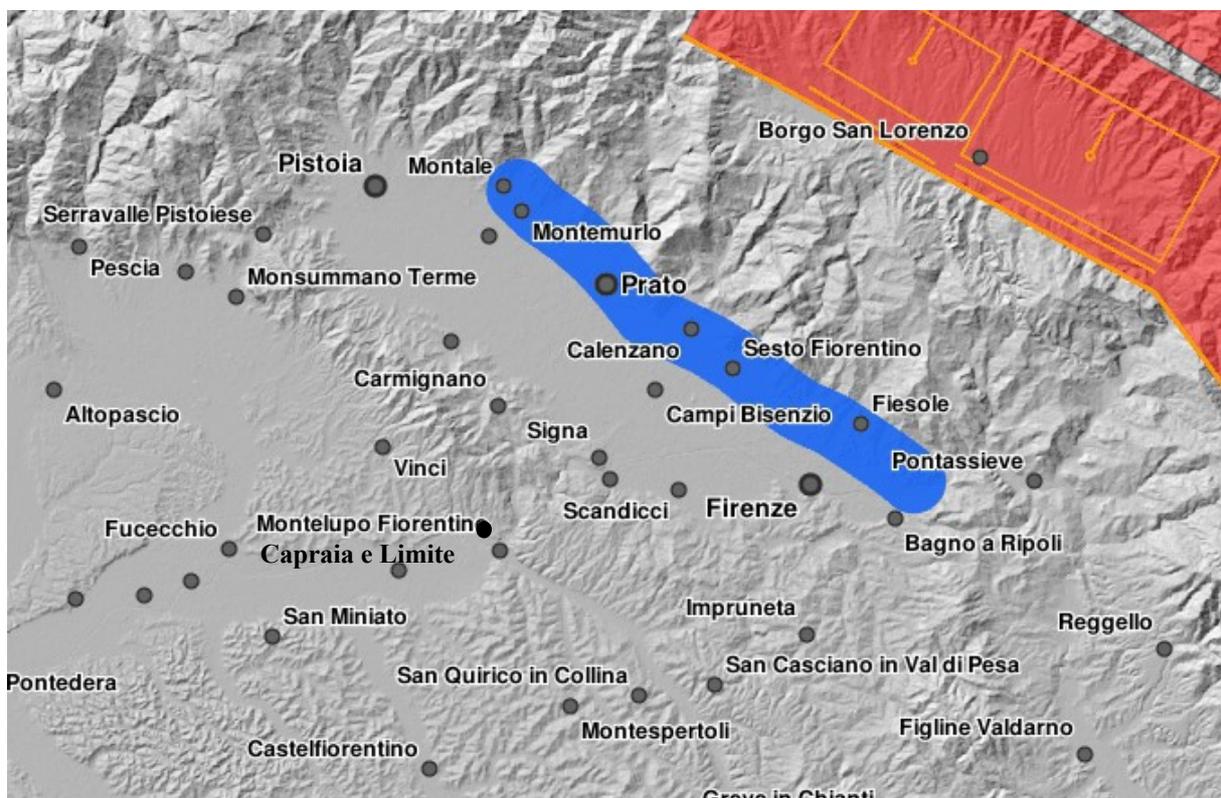
Analizzando il catalogo delle sorgenti sismogenetiche (DISS - Database of Individual Seismogenic Sources - Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi, 2008) si osserva che i territori di interesse si collocano a sud-ovest (a una distanza di circa 35 km) 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

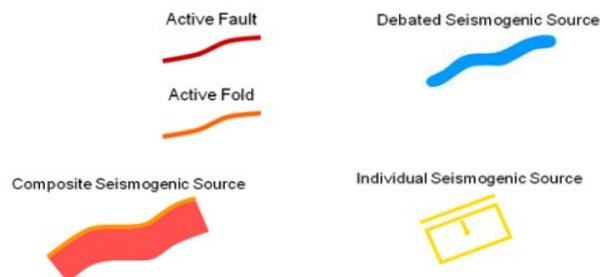
Questa struttura composita corre per oltre 200 km lungo la dorsale dell'Appennino settentrionale, dai settori dell'Appennino Pratese (a nord-ovest) verso l'alta valle del Fiume Nera (a sud-est), e costituisce il nucleo della cintura estensionale dell'"Etrurian Fault System". Questa sorgente è un complesso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

Cataloghi storici e strumentali mostrano terremoti (magnitudo $4.5 < M_w < 5.0$) 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, Spoletino).

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.



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 Capraia e Limite è inserito in Zona 2 con i seguenti parametri:

Zona	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) - (ag/g)
2	0,25

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 *ag* 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 *ag*.

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 Capraia e Limite è stato inserito in zona sismica 3S.

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 Capraia e Limite viene inserito in **zona 3 nella più recente classificazione regionale**.

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.

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 ≥ 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.

Nel caso specifico **$VN = 50$ 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. $CU = 2.0$;

Nel caso in esame 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 qui 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.

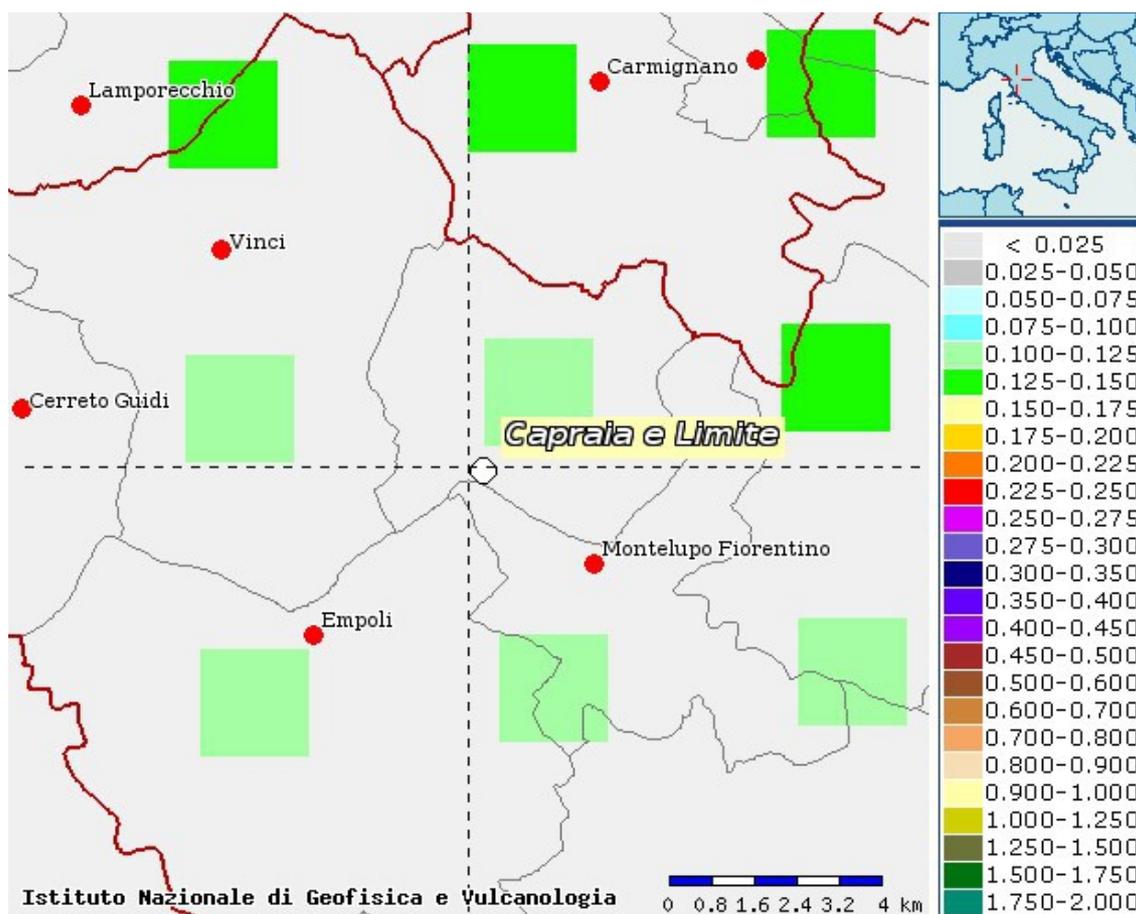
Poiché è **VR = 50 anni**, il tempo di ritorno TR sarà:

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).



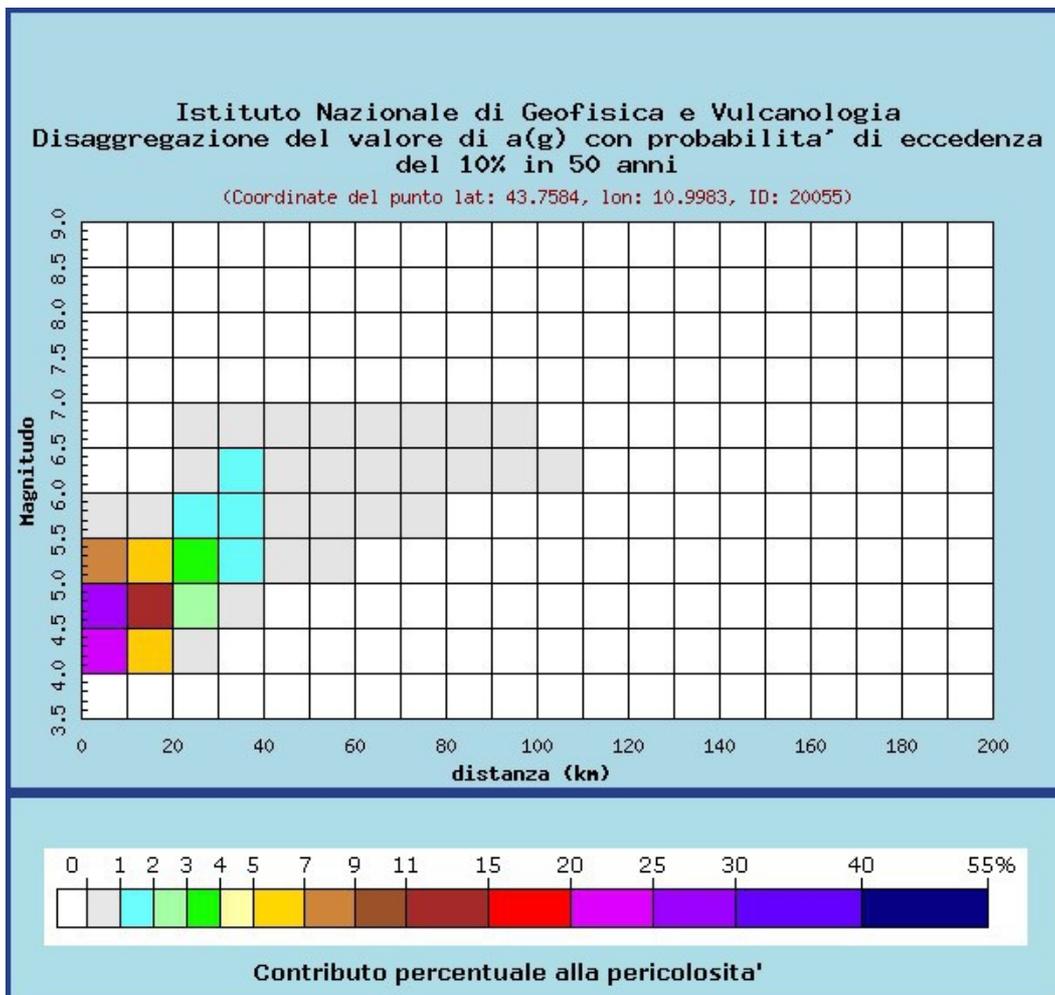
Mapa di pericolosità sismica - Accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s; cat.A) – da INGV

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.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 43.7584, lon: 10.9983, ID: 20055)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	21.900	26.800	8.020	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	6.640	12.500	6.630	0.827	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.379	2.530	3.170	1.720	0.907	0.141	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.137	1.340	1.750	1.490	0.261	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.170	0.784	0.900	0.179	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.015	0.245	0.271	0.062	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.044	0.096	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.031	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.840	11.900	1.070

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 4,84.

Dove ϵ 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:

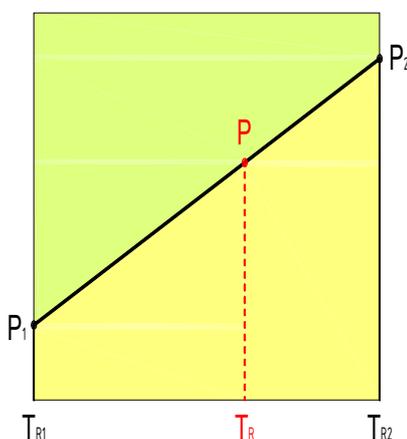
$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

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:

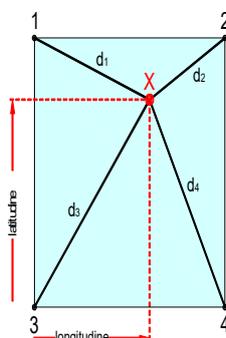
$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (4.2)$$

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

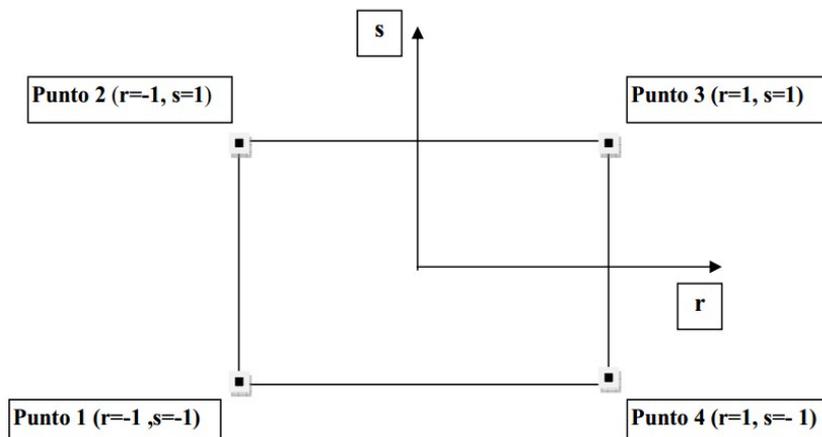
calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine,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

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

dove $R = 6371$ è il raggio medio terrestre in km, mentre $lata$, $lon\alpha$, $lat\beta$ e $lon\beta$ 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

β_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 β_s sono riportati nella seguente tabella.

Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_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

Limite sull'Arno

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):	43,7424278	[°]
Longitudine (WGS84):	10,9759865	[°]
Latitudine (ED50):	43,7433891	[°]
Longitudine (ED50):	10,9769745	[°]

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	20054	43,756910	10,929020	4134,86
2	20055	43,758400	10,998250	2388,74
3	20277	43,708420	11,000230	4314,16
4	20276	43,706930	10,931130	5477,88

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	0,044	2,564	0,246
SLD	50	0,053	2,587	0,258
	72	0,060	2,617	0,269
	101	0,067	2,600	0,275
	140	0,075	2,613	0,280
	201	0,085	2,593	0,287
SLV	475	0,124	2,397	0,292
SLC	975	0,159	2,376	0,297
	2475	0,209	2,403	0,310

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,567	0,247
SLD	50	0,053	2,592	0,259
	72	0,060	2,623	0,271
	101	0,067	2,607	0,277
	140	0,075	2,619	0,282
	201	0,086	2,558	0,289
SLV	475	0,125	2,392	0,294
SLC	975	0,159	2,378	0,298
	2475	0,210	2,404	0,310

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,566	0,247
SLD	50	0,053	2,584	0,258
	72	0,060	2,613	0,269
	101	0,068	2,594	0,275
	140	0,075	2,609	0,279
	201	0,086	2,599	0,285
SLV	475	0,121	2,467	0,290
SLC	975	0,156	2,405	0,295
	2475	0,209	2,391	0,306

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,558	0,244
SLD	50	0,053	2,574	0,256
	72	0,060	2,607	0,267
	101	0,068	2,584	0,272
	140	0,077	2,589	0,276
	201	0,088	2,570	0,282
SLV	475	0,119	2,544	0,289
SLC	975	0,159	2,417	0,293
	2475	0,209	2,422	0,304

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,565	0,246
SLD	50	0,053	2,586	0,258
SLV	475	0,123	2,435	0,292
SLC	975	0,158	2,390	0,296

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

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

Categoria sottosuolo: C

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	0,013	0,016	0,044	0,056
kv	0,007	0,008	0,022	0,028

amax [m/s ²]	0,643	0,780	1,808	2,281
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,037	0,070	--
kv	--	0,019	0,035	--
amax [m/s ²]	0,643	0,780	1,808	2,281
Beta	--	0,470	0,380	--

Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,037	0,070	--
kv	--	0,019	0,035	--
amax [m/s ²]	0,643	0,780	1,808	2,281
Beta	--	0,470	0,380	--

Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

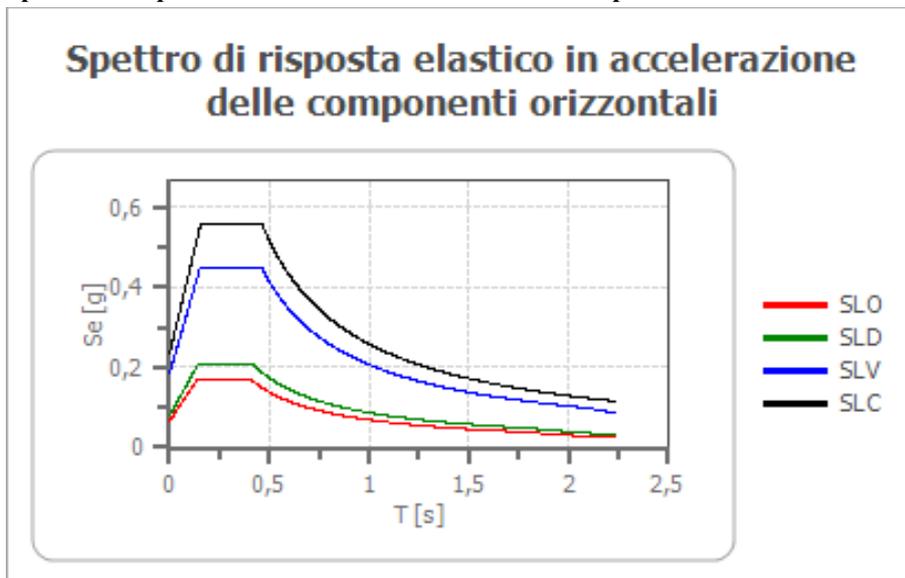
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,051	0,062	0,143	0,180
kv	--	--	--	--
amax [m/s ²]	0,643	0,780	1,808	2,281
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	0,044	2,565	0,246	1,500	1,670	1,000	1,500	1,000	0,137	0,411	1,775	0,066	0,168
SLD	1,0	0,053	2,586	0,258	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,141	0,423	1,812	0,080	0,206
SLV	1,0	0,123	2,435	0,292	1,500	1,580	1,000	1,500	1,000	0,154	0,461	2,092	0,184	0,449
SLC	1,0	0,158	2,390	0,296	1,470	1,570	1,000	1,470	1,000	0,155	0,465	2,233	0,233	0,56

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

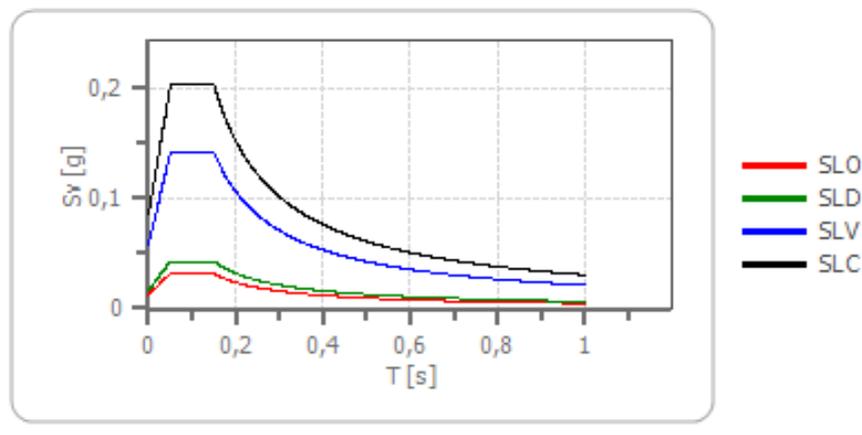
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ:

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 [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,044	2,565	0,246	1	1,670	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,012	0,032
SLD	1,0	0,053	2,586	0,258	1	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,016	0,043
SLV	1,0	0,123	2,435	0,292	1	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,058	0,142
SLC	1,0	0,158	2,390	0,296	1	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,085	0,203

Capraia Fiorentina

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):	43,7360344	[°]
Longitudine (WGS84):	11,0124207	[°]
Latitudine (ED50):	43,7369957	[°]
Longitudine (ED50):	11,0134087	[°]

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	20055	43,758400	10,998250	2673,57
2	20056	43,759850	11,067420	5028,04
3	20278	43,709860	11,069370	5415,38
4	20277	43,708420	11,000230	3349,18

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	0,044	2,567	0,247
SLD	50	0,053	2,592	0,259
	72	0,060	2,623	0,271
	101	0,067	2,607	0,277
	140	0,075	2,619	0,282
	201	0,086	2,558	0,289
SLV	475	0,125	2,392	0,294
SLC	975	0,159	2,378	0,298
	2475	0,210	2,404	0,310

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,571	0,249
SLD	50	0,053	2,598	0,261
	72	0,060	2,631	0,272
	101	0,067	2,614	0,279
	140	0,075	2,626	0,284
	201	0,087	2,551	0,291
SLV	475	0,125	2,388	0,295
SLC	975	0,159	2,386	0,298
	2475	0,211	2,405	0,311

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,043	2,574	0,249
SLD	50	0,052	2,595	0,260
	72	0,059	2,623	0,271
	101	0,067	2,610	0,278
	140	0,074	2,621	0,282
	201	0,085	2,593	0,289
SLV	475	0,123	2,402	0,292
SLC	975	0,157	2,382	0,296
	2475	0,207	2,404	0,309

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,566	0,247
SLD	50	0,053	2,584	0,258
	72	0,060	2,613	0,269
	101	0,068	2,594	0,275
	140	0,075	2,609	0,279
	201	0,086	2,599	0,285
SLV	475	0,121	2,467	0,290
SLC	975	0,156	2,405	0,295
	2475	0,209	2,391	0,306

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,569	0,248
SLD	50	0,053	2,591	0,259
SLV	475	0,124	2,414	0,293
SLC	975	0,158	2,388	0,297

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

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

Categoria sottosuolo: C

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	0,013	0,016	0,044	0,056
kv	0,007	0,008	0,022	0,028
amax [m/s ²]	0,643	0,779	1,817	2,276
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,037	0,070	--
kv	--	0,019	0,035	--
amax [m/s ²]	0,643	0,779	1,817	2,276
Beta	--	0,470	0,380	--

Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,037	0,070	--
kv	--	0,019	0,035	--
amax [m/s ²]	0,643	0,779	1,817	2,276
Beta	--	0,470	0,380	--

Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

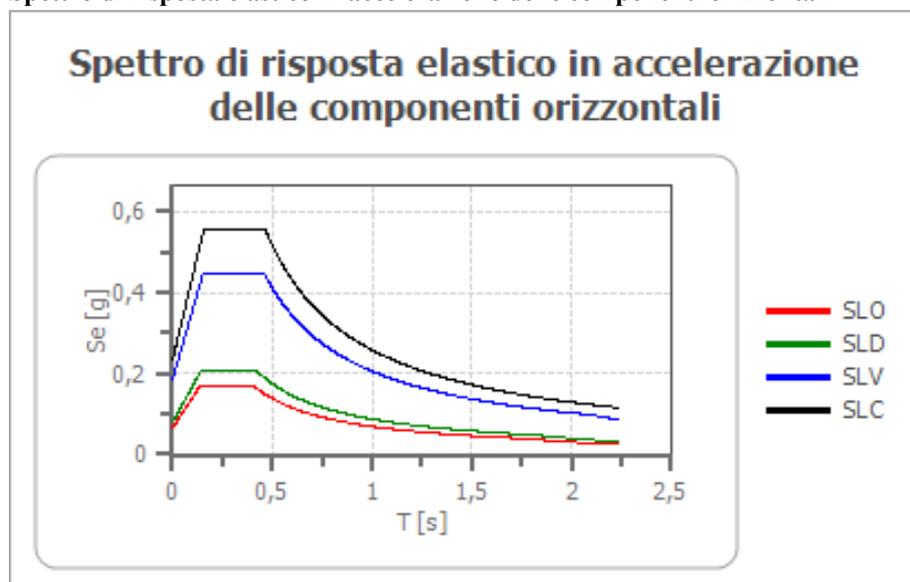
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,051	0,062	0,144	0,180
kv	--	--	--	--
amax [m/s ²]	0,643	0,779	1,817	2,276
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	0,044	2,569	0,248	1,500	1,660	1,000	1,500	1,000	0,137	0,411	1,775	0,066	0,168
SLD	1,0	0,053	2,591	0,259	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,142	0,425	1,812	0,079	0,206
SLV	1,0	0,124	2,414	0,293	1,500	1,570	1,000	1,500	1,000	0,153	0,460	2,094	0,185	0,447
SLC	1,0	0,158	2,388	0,297	1,470	1,570	1,000	1,470	1,000	0,155	0,466	2,232	0,232	0,554

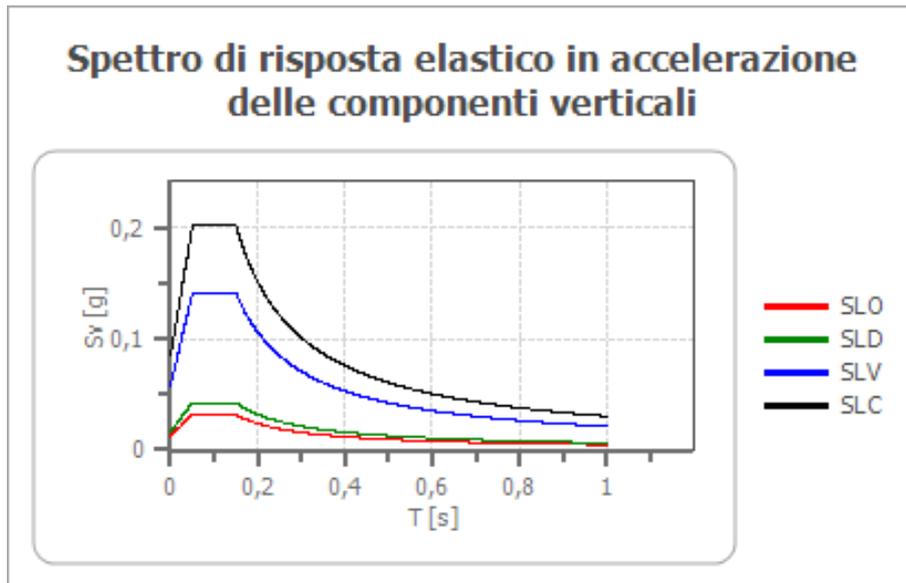
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :

5 %

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

1,000



	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	0,044	2,569	0,248	1	1,660	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,012	0,032
SLD	1,0	0,053	2,591	0,259	1	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,016	0,043
SLV	1,0	0,124	2,414	0,293	1	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,059	0,142
SLC	1,0	0,158	2,388	0,297	1	1,570	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,085	0,202

Castra

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	
Latitudine (WGS84):	43,7692566	[°]
Longitudine (WGS84):	10,9898577	[°]
Latitudine (ED50):	43,7702179	[°]
Longitudine (ED50):	10,9908466	[°]

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	20054	43,756910	10,929020	5180,83
2	20055	43,758400	10,998250	1442,30
3	19833	43,808380	10,996190	4265,06
4	19832	43,806890	10,926920	6554,42

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	0,044	2,564	0,246
SLD	50	0,053	2,587	0,258
	72	0,060	2,617	0,269
	101	0,067	2,600	0,275
	140	0,075	2,613	0,280
	201	0,085	2,593	0,287
SLV	475	0,124	2,397	0,292
SLC	975	0,159	2,376	0,297
	2475	0,209	2,403	0,310

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,567	0,247
SLD	50	0,053	2,592	0,259
	72	0,060	2,623	0,271
	101	0,067	2,607	0,277
	140	0,075	2,619	0,282
	201	0,086	2,558	0,289
SLV	475	0,125	2,392	0,294
SLC	975	0,159	2,378	0,298
	2475	0,210	2,404	0,310

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,045	2,555	0,248
SLD	50	0,054	2,588	0,261
	72	0,061	2,612	0,271
	101	0,070	2,597	0,278
	140	0,077	2,612	0,283
	201	0,091	2,515	0,290
SLV	475	0,129	2,390	0,296
SLC	975	0,163	2,381	0,305
	2475	0,216	2,409	0,313

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,045	2,556	0,246
SLD	50	0,054	2,586	0,259
	72	0,061	2,614	0,270
	101	0,069	2,596	0,277
	140	0,077	2,611	0,282

	201	0,090	2,520	0,289
SLV	475	0,128	2,389	0,294
SLC	975	0,162	2,378	0,303
	2475	0,215	2,406	0,312

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,563	0,247
SLD	50	0,053	2,590	0,259
SLV	475	0,126	2,392	0,294
SLC	975	0,160	2,378	0,300

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

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

Categoria sottosuolo: A

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	0,009	0,011	0,034	0,043
kv	0,004	0,005	0,017	0,022
amax [m/s ²]	0,433	0,524	1,234	1,569
Beta	0,200	0,200	0,270	0,270

Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,025	0,048	--
kv	--	0,013	0,024	--
amax [m/s ²]	0,433	0,524	1,234	1,569
Beta	--	0,470	0,380	--

Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,025	0,048	--
kv	--	0,013	0,024	--
amax [m/s ²]	0,433	0,524	1,234	1,569
Beta	--	0,470	0,380	--

Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

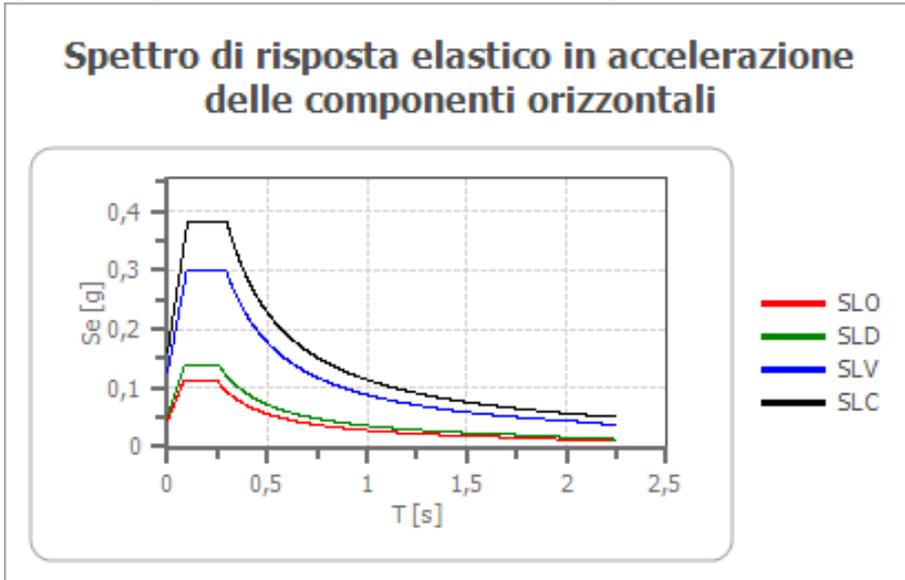
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,034	0,041	0,098	0,124
kv	--	--	--	--
amax [m/s ²]	0,433	0,524	1,234	1,569
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	0,044	2,563	0,247	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,082	0,247	1,777	0,044	0,113
SLD	1,0	0,053	2,590	0,259	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,086	0,259	1,814	0,053	0,138
SLV	1,0	0,126	2,392	0,294	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,098	0,294	2,103	0,126	0,301
SLC	1,0	0,160	2,378	0,300	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,100	0,300	2,240	0,160	0,380

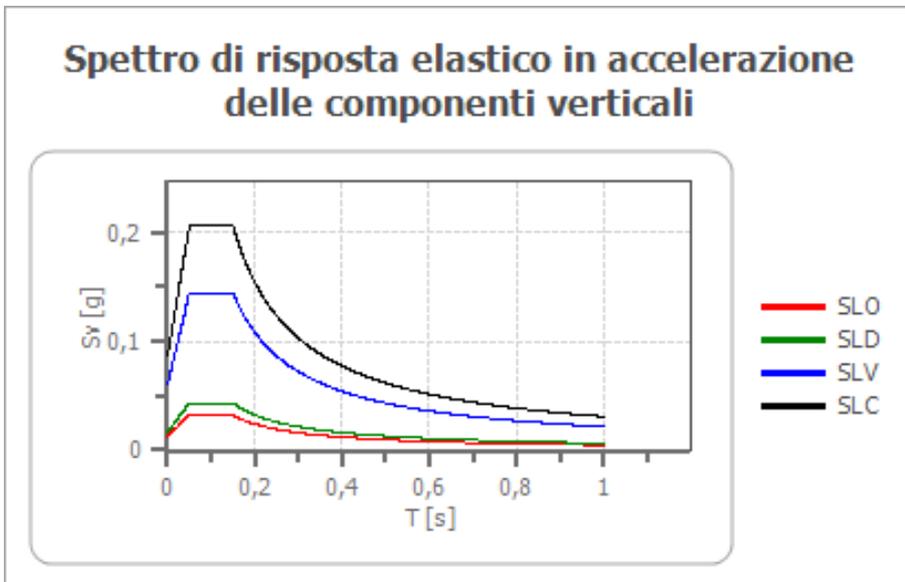
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ:

5 %

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

1,000



	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	0,044	2,563	0,247	1	1,000	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,013	0,032
SLD	1,0	0,053	2,590	0,259	1	1,000	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,017	0,043
SLV	1,0	0,126	2,392	0,294	1	1,000	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,060	0,144
SLC	1,0	0,160	2,378	0,300	1	1,000	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,086	0,205

2.6 LIQUEFAZIONE – BASE TEORICA E VERIFICA PER LOCALITA'

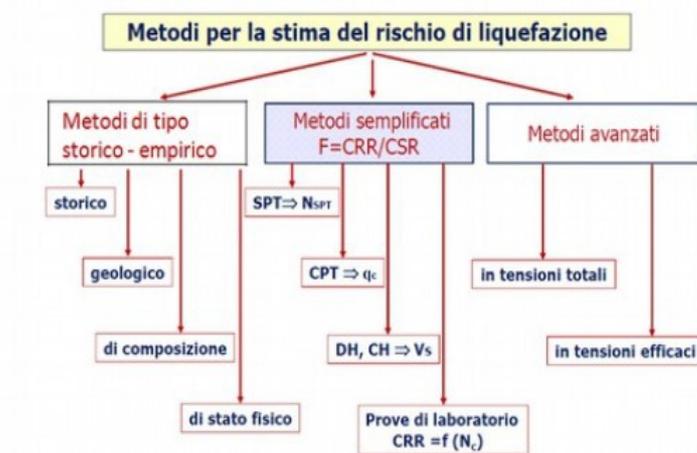
I siti in cui si possa prevedere la realizzazione di edifici e/o manufatti dovranno risultare stabili per quanto concerne fenomeni di liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni non coesivi saturi, 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 $qc1N > 180$ 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 $qc1N$ 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 Capraia e Limite, sono state eseguite e di seguito riportate delle verifiche alla suscettibilità alla liquefazione in corrispondenza degli abitati di Limite sull'Arno e Capraia Fiorentina.

Metodo applicato: Metodi basati sull'EC8 (1998; 2003)

Le indicazioni della normativa europea sono contenute al punto 4.1.3 a cui si aggiungono ulteriori indicazioni che si possono trovare nell'appendice B della parte 5 dell'Eurocodice 8.

Secondo tale normativa si può escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondità di 15 m o quando $a_g < 0,15$ e, contemporaneamente, il terreno soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità > 10 ;
- contenuto di limo superiore al 10% e resistenza $N_{1,60} > 20$;
- frazione fine trascurabile e resistenza $N_{1,60} > 25$.

In generale il metodo è valido se $N_{1,60} < 30$. Per $N_{1,60} > 30$, i suoli sono classificati non liquefacibili (suoli granulari puliti densi).

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, *la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.*

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0.65 \frac{a_g}{g} \cdot S \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \frac{r_d}{MSF}$$

dove S è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

Coefficienti di profilo stratigrafico

Categoria suolo	Spettri di Tipo 1	Spettri di Tipo 2
	S (M > 5,5)	S (M ≤ 5,5)
A	1,00	1,00
B	1,20	1,35
C	1,15	1,50
D	1,35	1,80
E	1,40	1,60

Il fattore di correzione della magnitudo MSF consigliato dalla normativa è quello di **Ambraseys (Tabella 1-metodo Seed Idriss)**.

Nel caso vengano utilizzati dati provenienti da prove SPT la resistenza alla liquefazione viene calcolata mediante la seguente relazione di **Blake, 1997**:

$$CRR = \frac{0,04844 - 0,004721 (N_{1,60})_{cs} + 0,0006136 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,00001673 [(N_{1,60})_{cs}]^3}{1 - 0,1248 (N_{1,60})_{cs} + 0,009578 [(N_{1,60})_{cs}]^2 - 0,0003285 [(N_{1,60})_{cs}]^3 + 0,000003714 [(N_{1,60})_{cs}]^4}$$

dove $(N_{1,60})_{cs}$ viene valutato con il metodo proposto da **Youd e Idriss (1997)** e raccomandato dal **NCEER**:

$$(N_{1,60})_{cs} = \alpha + \beta N_{1,60}$$

dove $N_{1,60}$ è la normalizzazione dei valori misurati dell'indice N_m (ridotti del 25% per profondità < 3 m) nella prova **SPT** rispetto ad una pressione efficace di confinamento di 100 KPa ed a un valore del rapporto tra l'energia di impatto e l'energia teorica di caduta libera pari al 60%, cioè:

$$N_{1,60} = C_N C_E N_m$$

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5}$$

$$C_E = \frac{ER}{60}$$

dove **ER** è pari al (rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico) x 100 e dipende dal tipo di strumento utilizzato (vedi Tabella 2-metodo NTC 2008).

I parametri α e β , invece, dipendono dalla frazione fine FC:

$$\alpha = 0 \text{ per } FC \leq 5\%$$

$$\alpha = \exp[1,76 - (190 / FC^2)] \text{ per } 5\% < FC \leq 35\%$$

$$\alpha = 5 \text{ per } FC > 35\%$$

$$\beta = 1,0 \text{ per } FC \leq 5\%$$

$$\beta = [0,99 + (FC^{1.5} / 1000)] \text{ per } 5\% < FC \leq 35\%$$

$$\beta = 1,2 \text{ per } FC > 35\%$$

Se invece si possiedono dati provenienti da una prova penetrometrica statica (**CPT**), i valori di resistenza alla punta misurati q_c devono essere normalizzati rispetto ad una pressione efficace di confinamento pari a 100 KPa e vanno calcolati mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

come proposto dall'**EC8**, quando sono disponibili i dati provenienti da una prova **CPT**, si può utilizzare la seguente relazione per derivare il valore delle $(N_{1,60})_{cs}$:

$$\frac{(q_{c1N})_{cs}}{(N_{1,60})_{cs}} = 5$$

Il valore della resistenza a liquefazione si determina dalla relazione di **Blake**, 1997. Quando invece si possiedono dati provenienti da prove sismiche di rifrazione, si calcola la velocità di propagazione normalizzata con la relazione di **Robertson et al.**, 1992:

$$V_{S1} = V_S \left(\frac{Pa}{\sigma'_{v0}} \right)^{0,25}$$

per la resistenza alla liquefazione si utilizza la formula di **Andrus e Stokoe**:

$$CRR = 0,03 \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[\frac{1}{(V_{S1})_{cs} - V_{S1}} - \frac{1}{(V_{S1})_{cs}} \right]$$

Limite sull'Arno

DATI GENERALI

Indagine di riferimento: P95

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 5,8 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.15

Fattore amplificazione 2.434

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30 = 180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.2

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 5.5

Distanza epicentro 30 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.18

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unitario volume (KN/mc)	Peso unitario volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granulati (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	7	18	21	0	0	980	0	0
2		7	15	18	21	0	0	1471	0	0

Strato Nr.	Frazione limosa (%)	Frazione argillosa (%)	Indice di plasticità (%)	Tipo Suolo	Validità
1	0	40		C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360	Valido

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Correzione per la pressione litostatica efficace (CN)	Resistenza alla punta corretta qcl (bar)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Probabilità di liquefazione (%)
1	6.00	108.600	106.639	0.968	47.450	0.954	0.104	0.067	1.549	Terreno non suscettibile di liquefazione	8.507
2	6.20	112.800	108.877	0.958	46.960	0.953	0.103	0.068	1.508	Terreno non suscettibile di liquefazione	9.178
3	6.40	117.000	111.116	0.949	46.484	0.951	0.102	0.070	1.470	Terreno non suscettibile di liquefazione	9.862
4	6.60	121.200	113.355	0.939	46.023	0.950	0.101	0.071	1.434	Terreno non suscettibile di liquefazione	10.559

5	6.80	125.400	115.593	0.930	45.575	0.948	0.100	0.072	1.401	Terreno non suscettibile di liquefazione	11.266
6	7.00	129.600	117.832	0.921	45.140	0.946	0.100	0.073	1.370	Terreno non suscettibile di liquefazione	11.983
7	7.20	133.800	120.071	0.913	67.122	0.945	0.146	0.074	1.988	Terreno non suscettibile di liquefazione	4.113
8	7.40	138.000	122.309	0.904	66.505	0.943	0.145	0.075	1.946	Terreno non suscettibile di liquefazione	4.385
9	7.60	142.200	124.548	0.896	65.904	0.942	0.144	0.075	1.906	Terreno non suscettibile di liquefazione	4.664
10	7.80	146.400	126.787	0.888	65.320	0.940	0.143	0.076	1.868	Terreno non suscettibile di liquefazione	4.949
11	8.00	150.600	129.025	0.880	64.751	0.939	0.141	0.077	1.832	Terreno non suscettibile di liquefazione	5.241
12	8.20	154.800	131.264	0.873	64.196	0.937	0.140	0.078	1.798	Terreno non suscettibile di liquefazione	5.539
13	8.40	159.000	133.503	0.865	63.656	0.936	0.139	0.079	1.765	Terreno non suscettibile di liquefazione	5.843
14	8.60	163.200	135.741	0.858	63.129	0.934	0.138	0.079	1.734	Terreno non suscettibile di liquefazione	6.152
15	8.80	167.400	137.980	0.851	62.614	0.933	0.137	0.080	1.705	Terreno non suscettibile di liquefazione	6.467
16	9.00	171.600	140.219	0.844	62.113	0.931	0.136	0.081	1.676	Terreno non suscettibile di liquefazione	6.787
17	9.20	175.800	142.457	0.838	61.623	0.928	0.135	0.082	1.649	Terreno non suscettibile di liquefazione	7.112
18	9.40	180.000	144.696	0.831	61.144	0.923	0.134	0.082	1.624	Terreno non suscettibile di liquefazione	7.442
19	9.60	184.200	146.935	0.825	60.676	0.918	0.133	0.083	1.599	Terreno non suscettibile di liquefazione	7.776
20	9.80	188.400	149.173	0.819	60.219	0.912	0.132	0.083	1.575	Terreno non suscettibile di liquefazione	8.114
21	10.00	192.600	151.412	0.813	59.773	0.907	0.131	0.084	1.552	Terreno non suscettibile di liquefazione	8.457
22	10.20	196.800	153.651	0.807	59.336	0.902	0.130	0.085	1.531	Terreno non suscettibile di liquefazione	8.804
23	10.40	201.000	155.889	0.801	58.908	0.896	0.129	0.085	1.510	Terreno non suscettibile di	9.154

										liquefazione	
24	10.60	205.200	158.128	0.795	58.490	0.891	0.128	0.086	1.489	Terreno non suscettibile di liquefazione	9.508
25	10.80	209.400	160.367	0.790	58.080	0.886	0.127	0.086	1.470	Terreno non suscettibile di liquefazione	9.865
26	11.00	213.600	162.605	0.784	57.679	0.880	0.126	0.087	1.451	Terreno non suscettibile di liquefazione	10.226
27	11.20	217.800	164.844	0.779	57.286	0.875	0.125	0.087	1.433	Terreno non suscettibile di liquefazione	10.589
28	11.40	222.000	167.083	0.774	56.901	0.870	0.124	0.088	1.415	Terreno non suscettibile di liquefazione	10.955
29	11.60	226.200	169.321	0.769	56.523	0.864	0.124	0.088	1.399	Terreno non suscettibile di liquefazione	11.323
30	11.80	230.400	171.560	0.763	56.153	0.859	0.123	0.089	1.382	Terreno non suscettibile di liquefazione	11.694
31	12.00	234.600	173.799	0.759	55.790	0.854	0.122	0.089	1.366	Terreno non suscettibile di liquefazione	12.067
32	12.20	238.800	176.037	0.754	55.435	0.848	0.121	0.090	1.351	Terreno non suscettibile di liquefazione	12.442
33	12.40	243.000	178.276	0.749	55.085	0.843	0.120	0.090	1.336	Terreno non suscettibile di liquefazione	12.819
34	12.60	247.200	180.515	0.744	54.743	0.838	0.120	0.091	1.322	Terreno non suscettibile di liquefazione	13.198
35	12.80	251.400	182.753	0.740	54.406	0.832	0.119	0.091	1.308	Terreno non suscettibile di liquefazione	13.578
36	13.00	255.600	184.992	0.735	54.076	0.827	0.118	0.091	1.295	Terreno non suscettibile di liquefazione	13.959
37	13.20	259.800	187.231	0.731	53.752	0.822	0.118	0.092	1.281	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.342
38	13.40	264.000	189.470	0.726	53.433	0.816	0.117	0.092	1.269	Terreno non suscettibile di liquefazione	14.726
39	13.60	268.200	191.708	0.722	53.121	0.811	0.116	0.092	1.256	Terreno non suscettibile di liquefazione	15.110
40	13.80	272.400	193.947	0.718	52.813	0.806	0.116	0.093	1.244	Terreno suscettibile di liquefazione	15.495
41	14.00	276.600	196.186	0.714	52.511	0.800	0.115	0.093	1.233	Terreno suscettibile di liquefazione	15.881
42	14.20	280.800	198.424	0.710	52.214	0.795	0.114	0.094	1.221	Terreno	16.267

										suscettibile di liquefazione	
43	14.40	285.000	200.663	0.706	51.922	0.790	0.114	0.094	1.210	Terreno suscettibile di liquefazione	16.654
44	14.60	289.200	202.902	0.702	51.635	0.784	0.113	0.094	1.200	Terreno suscettibile di liquefazione	17.041
45	14.80	293.400	205.140	0.698	51.352	0.779	0.112	0.095	1.189	Terreno suscettibile di liquefazione	17.428

IPL (Iwasaki) = 0, Zcrit = 20 m, Rischio = Molto basso

DATI GENERALI

Indagine di riferimento: P36 e P39

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 5 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.25

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30 = 180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.5

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 5.68

Peak ground acceleration (PGA) 0.18

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)
1	0	25	18	21	24

Dr (%)	Validità
65	Valido per sabbie-limose e limi

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Correzione per la pressione litostatica efficace (CN)	Numero colpi corretto (N1,60)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione
5.20	94.200	92.239	1.037	32.389	0.922	0.360	0.054	6.65	Terreno non suscettibile di liquefazione
5.40	98.400	94.477	1.026	32.121	0.919	0.357	0.055	6.49	Terreno non suscettibile di liquefazione
5.60	102.600	96.716	1.015	31.863	0.916	0.354	0.056	6.34	Terreno non suscettibile di liquefazione
5.80	106.800	98.955	1.005	31.614	0.913	0.351	0.057	6.20	Terreno non su-

									scettibile di liquefazione
6.00	111.000	101.193	0.995	31.372	0.910	0.349	0.057	6.08	Terreno non suscettibile di liquefazione
6.20	115.200	103.432	0.985	31.138	0.907	0.346	0.058	5.96	Terreno non suscettibile di liquefazione
6.40	119.400	105.671	0.975	30.912	0.904	0.343	0.059	5.85	Terreno non suscettibile di liquefazione
6.60	123.600	107.909	0.966	30.692	0.901	0.341	0.059	5.75	Terreno non suscettibile di liquefazione
6.80	127.800	110.148	0.957	30.479	0.898	0.339	0.060	5.66	Terreno non suscettibile di liquefazione
7.00	132.000	112.387	0.949	30.271	0.895	0.336	0.060	5.57	Terreno non suscettibile di liquefazione
7.20	136.200	114.625	0.940	30.070	0.892	0.334	0.061	5.49	Terreno non suscettibile di liquefazione
7.40	140.400	116.864	0.932	29.875	0.889	0.332	0.061	5.41	Terreno non suscettibile di liquefazione
7.60	144.600	119.103	0.924	29.684	0.886	0.330	0.062	5.34	Terreno non suscettibile di liquefazione
7.80	148.800	121.341	0.917	29.499	0.883	0.328	0.062	5.27	Terreno non suscettibile di liquefazione
8.00	153.000	123.580	0.909	29.319	0.880	0.326	0.063	5.20	Terreno non suscettibile di liquefazione
8.20	157.200	125.819	0.902	29.143	0.877	0.324	0.063	5.14	Terreno non suscettibile di liquefazione
8.40	161.400	128.057	0.895	28.972	0.874	0.322	0.063	5.09	Terreno non suscettibile di liquefazione
8.60	165.600	130.296	0.888	28.806	0.871	0.320	0.064	5.03	Terreno non suscettibile di liquefazione
8.80	169.800	132.535	0.881	28.643	0.868	0.318	0.064	4.98	Terreno non suscettibile di liquefazione
9.00	174.000	134.773	0.874	28.484	0.865	0.316	0.064	4.93	Terreno non suscettibile di liquefazione
9.20	178.200	137.012	0.868	28.329	0.862	0.315	0.064	4.89	Terreno non suscettibile di liquefazione
9.40	182.400	139.251	0.862	28.178	0.859	0.313	0.065	4.84	Terreno non suscettibile di liquefazione
9.60	186.600	141.489	0.855	28.030	0.856	0.311	0.065	4.80	Terreno non suscettibile di liquefazione
9.80	190.800	143.728	0.849	27.885	0.853	0.310	0.065	4.76	Terreno non suscettibile di liquefazione
10.00	195.000	145.967	0.844	27.744	0.850	0.308	0.065	4.73	Terreno non suscettibile di liquefazione
10.20	199.200	148.205	0.838	27.606	0.847	0.307	0.065	4.69	Terreno non suscettibile di liquefazione
10.40	203.400	150.444	0.832	27.471	0.844	0.305	0.066	4.66	Terreno non suscettibile di liquefazione
10.60	207.600	152.683	0.827	27.338	0.841	0.304	0.066	4.62	Terreno non suscettibile di liquefazione
10.80	211.800	154.921	0.821	27.209	0.838	0.302	0.066	4.59	Terreno non suscettibile di li-

									quefazione
11.00	216.000	157.160	0.816	27.082	0.835	0.301	0.066	4.56	Terreno non suscettibile di liquefazione
11.20	220.200	159.399	0.811	26.958	0.832	0.300	0.066	4.54	Terreno non suscettibile di liquefazione
11.40	224.400	161.637	0.806	26.836	0.829	0.298	0.066	4.51	Terreno non suscettibile di liquefazione
11.60	228.600	163.876	0.801	26.717	0.826	0.297	0.066	4.48	Terreno non suscettibile di liquefazione
11.80	232.800	166.115	0.796	26.600	0.823	0.296	0.066	4.46	Terreno non suscettibile di liquefazione
12.00	237.000	168.354	0.791	26.485	0.820	0.294	0.066	4.44	Terreno non suscettibile di liquefazione
12.20	241.200	170.592	0.786	26.373	0.817	0.293	0.066	4.42	Terreno non suscettibile di liquefazione
12.40	245.400	172.831	0.782	26.262	0.814	0.292	0.066	4.39	Terreno non suscettibile di liquefazione
12.60	249.600	175.070	0.777	26.154	0.811	0.291	0.066	4.37	Terreno non suscettibile di liquefazione
12.80	253.800	177.308	0.773	26.047	0.808	0.289	0.066	4.36	Terreno non suscettibile di liquefazione
13.00	258.000	179.547	0.768	25.943	0.805	0.288	0.066	4.34	Terreno non suscettibile di liquefazione
13.20	262.200	181.786	0.764	25.840	0.802	0.287	0.066	4.32	Terreno non suscettibile di liquefazione
13.40	266.400	184.024	0.760	25.740	0.799	0.286	0.066	4.30	Terreno non suscettibile di liquefazione
13.60	270.600	186.263	0.756	25.641	0.796	0.285	0.066	4.29	Terreno non suscettibile di liquefazione
13.80	274.800	188.502	0.752	25.543	0.793	0.284	0.066	4.27	Terreno non suscettibile di liquefazione
14.00	279.000	190.740	0.748	25.448	0.790	0.283	0.066	4.26	Terreno non suscettibile di liquefazione
14.20	283.200	192.979	0.744	25.354	0.787	0.282	0.066	4.25	Terreno non suscettibile di liquefazione
14.40	287.400	195.218	0.740	25.261	0.784	0.281	0.066	4.23	Terreno non suscettibile di liquefazione
14.60	291.600	197.456	0.736	25.171	0.781	0.280	0.066	4.22	Terreno non suscettibile di liquefazione
14.80	295.800	199.695	0.733	25.081	0.778	0.279	0.066	4.21	Terreno non suscettibile di liquefazione
15.00	300.000	201.934	0.729	24.993	0.775	0.278	0.066	4.20	Terreno non suscettibile di liquefazione
15.20	304.200	204.172	0.725	24.907	0.772	0.277	0.066	4.19	Terreno non suscettibile di liquefazione
15.40	308.400	206.411	0.722	24.821	0.769	0.276	0.066	4.18	Terreno non suscettibile di liquefazione
15.60	312.600	208.650	0.718	24.737	0.766	0.275	0.066	4.17	Terreno non suscettibile di liquefazione
15.80	316.800	210.888	0.715	24.655	0.763	0.274	0.066	4.16	Terreno non suscettibile di liquefazione

16.00	321.000	213.127	0.711	24.574	0.760	0.273	0.066	4.15	Terreno non suscettibile di liquefazione
16.20	325.200	215.366	0.708	24.493	0.757	0.272	0.066	4.14	Terreno non suscettibile di liquefazione
16.40	329.400	217.604	0.705	24.415	0.754	0.271	0.066	4.14	Terreno non suscettibile di liquefazione
16.60	333.600	219.843	0.702	24.337	0.751	0.270	0.065	4.13	Terreno non suscettibile di liquefazione
16.80	337.800	222.082	0.698	24.260	0.748	0.270	0.065	4.12	Terreno non suscettibile di liquefazione
17.00	342.000	224.320	0.695	24.185	0.745	0.269	0.065	4.12	Terreno non suscettibile di liquefazione
17.20	346.200	226.559	0.692	24.110	0.742	0.268	0.065	4.11	Terreno non suscettibile di liquefazione
17.40	350.400	228.798	0.689	24.037	0.739	0.267	0.065	4.11	Terreno non suscettibile di liquefazione
17.60	354.600	231.036	0.686	23.965	0.736	0.266	0.065	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione
17.80	358.800	233.275	0.683	23.893	0.733	0.265	0.065	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione
18.00	363.000	235.514	0.680	23.823	0.730	0.265	0.065	4.09	Terreno non suscettibile di liquefazione
18.20	367.200	237.752	0.677	23.754	0.727	0.264	0.065	4.09	Terreno non suscettibile di liquefazione
18.40	371.400	239.991	0.674	23.685	0.724	0.263	0.064	4.09	Terreno non suscettibile di liquefazione
18.60	375.600	242.230	0.672	23.618	0.721	0.262	0.064	4.09	Terreno non suscettibile di liquefazione
18.80	379.800	244.468	0.669	23.551	0.718	0.262	0.064	4.08	Terreno non suscettibile di liquefazione
19.00	384.000	246.707	0.666	23.486	0.715	0.261	0.064	4.08	Terreno non suscettibile di liquefazione
19.20	388.200	248.946	0.663	23.421	0.712	0.260	0.064	4.08	Terreno non suscettibile di liquefazione
19.40	392.400	251.184	0.661	23.357	0.709	0.260	0.064	4.08	Terreno non suscettibile di liquefazione
19.60	396.600	253.423	0.658	23.294	0.706	0.259	0.063	4.08	Terreno non suscettibile di liquefazione
19.80	400.800	255.662	0.655	23.231	0.703	0.258	0.063	4.08	Terreno non suscettibile di liquefazione
20.00	405.000	257.900	0.653	23.170	0.700	0.257	0.063	4.08	Terreno non suscettibile di liquefazione

IPL (Iwasaki) = 0, Zcrit = 20 m, Rischio = Molto basso

Capraia Fiorentina

DATI GENERALI

Indagine di riferimento: P28 e P29

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa

1.25

FALDA

Profondità falda idrica 7 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.25

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.5

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 5.68

Peak ground acceleration (PGA) 0.18

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)
1	0	25	18	21	34

Dr (%)	Validità
77	Valido per sabbie-limose e limi

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Correzione per la pressione litostatica efficace (CN)	Numero colpi corretto (N1,60)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione
7.20	130.200	128.239	0.894	30.400	0.892	0.338	0.052	6.49	Terreno non suscettibile di liquefazione
7.40	134.400	130.477	0.887	30.164	0.889	0.335	0.053	6.37	Terreno non suscettibile di liquefazione
7.60	138.600	132.716	0.880	29.934	0.886	0.333	0.053	6.26	Terreno non suscettibile di liquefazione
7.80	142.800	134.955	0.874	29.709	0.883	0.330	0.054	6.15	Terreno non suscettibile di liquefazione
8.00	147.000	137.193	0.867	29.490	0.880	0.328	0.054	6.05	Terreno non suscettibile di liquefazione
8.20	151.200	139.432	0.861	29.276	0.877	0.325	0.055	5.95	Terreno non suscettibile di liquefazione
8.40	155.400	141.671	0.855	29.067	0.874	0.323	0.055	5.86	Terreno non suscettibile di liquefazione
8.60	159.600	143.909	0.849	28.863	0.871	0.321	0.055	5.78	Terreno non suscettibile di liquefazione
8.80	163.800	146.148	0.843	28.663	0.868	0.318	0.056	5.70	Terreno non suscettibile di liquefazione
9.00	168.000	148.387	0.837	28.468	0.865	0.316	0.056	5.62	Terreno non suscettibile di liquefazione
9.20	172.200	150.625	0.832	28.276	0.862	0.314	0.057	5.55	Terreno non suscettibile di liquefazione
9.40	176.400	152.864	0.826	28.089	0.859	0.312	0.057	5.48	Terreno non suscettibile di liquefazione

9.60	180.600	155.103	0.821	27.906	0.856	0.310	0.057	5.41	Terreno non suscettibile di liquefazione
9.80	184.800	157.341	0.815	27.727	0.853	0.308	0.058	5.35	Terreno non suscettibile di liquefazione
10.00	189.000	159.580	0.810	27.551	0.850	0.306	0.058	5.29	Terreno non suscettibile di liquefazione
10.20	193.200	161.819	0.805	27.379	0.847	0.304	0.058	5.24	Terreno non suscettibile di liquefazione
10.40	197.400	164.057	0.800	27.210	0.844	0.302	0.058	5.18	Terreno non suscettibile di liquefazione
10.60	201.600	166.296	0.795	27.045	0.841	0.300	0.059	5.13	Terreno non suscettibile di liquefazione
10.80	205.800	168.535	0.791	26.882	0.838	0.299	0.059	5.08	Terreno non suscettibile di liquefazione
11.00	210.000	170.773	0.786	26.723	0.835	0.297	0.059	5.03	Terreno non suscettibile di liquefazione
11.20	214.200	173.012	0.781	26.567	0.832	0.295	0.059	4.99	Terreno non suscettibile di liquefazione
11.40	218.400	175.251	0.777	26.414	0.829	0.293	0.059	4.94	Terreno non suscettibile di liquefazione
11.60	222.600	177.489	0.772	26.263	0.826	0.292	0.060	4.90	Terreno non suscettibile di liquefazione
11.80	226.800	179.728	0.768	26.116	0.823	0.290	0.060	4.86	Terreno non suscettibile di liquefazione
12.00	231.000	181.967	0.764	25.971	0.820	0.289	0.060	4.82	Terreno non suscettibile di liquefazione
12.20	235.200	184.205	0.760	25.828	0.817	0.287	0.060	4.79	Terreno non suscettibile di liquefazione
12.40	239.400	186.444	0.756	25.688	0.814	0.285	0.060	4.75	Terreno non suscettibile di liquefazione
12.60	243.600	188.683	0.751	25.551	0.811	0.284	0.060	4.72	Terreno non suscettibile di liquefazione
12.80	247.800	190.921	0.748	25.415	0.808	0.282	0.060	4.69	Terreno non suscettibile di liquefazione
13.00	252.000	193.160	0.744	25.282	0.805	0.281	0.060	4.66	Terreno non suscettibile di liquefazione
13.20	256.200	195.399	0.740	25.152	0.802	0.279	0.060	4.63	Terreno non suscettibile di liquefazione
13.40	260.400	197.637	0.736	25.023	0.799	0.278	0.060	4.60	Terreno non suscettibile di liquefazione
13.60	264.600	199.876	0.732	24.896	0.796	0.277	0.061	4.57	Terreno non suscettibile di liquefazione
13.80	268.800	202.115	0.729	24.772	0.793	0.275	0.061	4.54	Terreno non suscettibile di liquefazione
14.00	273.000	204.354	0.725	24.649	0.790	0.274	0.061	4.52	Terreno non suscettibile di liquefazione
14.20	277.200	206.592	0.721	24.529	0.787	0.273	0.061	4.49	Terreno non suscettibile di liquefazione
14.40	281.400	208.831	0.718	24.410	0.784	0.271	0.061	4.47	Terreno non suscettibile di liquefazione
14.60	285.600	211.070	0.715	24.293	0.781	0.270	0.061	4.45	Terreno non su-

									scettibile di liquefazione
14.80	289.800	213.308	0.711	24.178	0.778	0.269	0.061	4.42	Terreno non suscettibile di liquefazione
15.00	294.000	215.547	0.708	24.065	0.775	0.267	0.061	4.40	Terreno non suscettibile di liquefazione
15.20	298.200	217.786	0.705	23.953	0.772	0.266	0.061	4.38	Terreno non suscettibile di liquefazione
15.40	302.400	220.024	0.701	23.843	0.769	0.265	0.061	4.36	Terreno non suscettibile di liquefazione
15.60	306.600	222.263	0.698	23.735	0.766	0.264	0.061	4.34	Terreno non suscettibile di liquefazione
15.80	310.800	224.502	0.695	23.628	0.763	0.263	0.061	4.33	Terreno non suscettibile di liquefazione
16.00	315.000	226.740	0.692	23.523	0.760	0.261	0.061	4.31	Terreno non suscettibile di liquefazione
16.20	319.200	228.979	0.689	23.419	0.757	0.260	0.061	4.29	Terreno non suscettibile di liquefazione
16.40	323.400	231.218	0.686	23.317	0.754	0.259	0.061	4.28	Terreno non suscettibile di liquefazione
16.60	327.600	233.456	0.683	23.216	0.751	0.258	0.061	4.26	Terreno non suscettibile di liquefazione
16.80	331.800	235.695	0.680	23.116	0.748	0.257	0.060	4.25	Terreno non suscettibile di liquefazione
17.00	336.000	237.934	0.677	23.018	0.745	0.256	0.060	4.23	Terreno non suscettibile di liquefazione
17.20	340.200	240.172	0.674	22.922	0.742	0.255	0.060	4.22	Terreno non suscettibile di liquefazione
17.40	344.400	242.411	0.671	22.826	0.739	0.254	0.060	4.20	Terreno non suscettibile di liquefazione
17.60	348.600	244.650	0.669	22.732	0.736	0.253	0.060	4.19	Terreno non suscettibile di liquefazione
17.80	352.800	246.888	0.666	22.639	0.733	0.252	0.060	4.18	Terreno non suscettibile di liquefazione
18.00	357.000	249.127	0.663	22.547	0.730	0.251	0.060	4.17	Terreno non suscettibile di liquefazione
18.20	361.200	251.366	0.660	22.456	0.727	0.250	0.060	4.16	Terreno non suscettibile di liquefazione
18.40	365.400	253.604	0.658	22.367	0.724	0.249	0.060	4.15	Terreno non suscettibile di liquefazione
18.60	369.600	255.843	0.655	22.279	0.721	0.248	0.060	4.14	Terreno non suscettibile di liquefazione
18.80	373.800	258.082	0.653	22.192	0.718	0.247	0.060	4.13	Terreno non suscettibile di liquefazione
19.00	378.000	260.320	0.650	22.106	0.715	0.246	0.060	4.12	Terreno non suscettibile di liquefazione
19.20	382.200	262.559	0.648	22.020	0.712	0.245	0.060	4.11	Terreno non suscettibile di liquefazione
19.40	386.400	264.798	0.645	21.937	0.709	0.244	0.059	4.10	Terreno non suscettibile di liquefazione
19.60	390.600	267.036	0.643	21.854	0.706	0.243	0.059	4.09	Terreno non suscettibile di li-

									quefazione
19.80	394.800	269.275	0.640	21.772	0.703	0.242	0.059	4.09	Terreno non suscettibile di liquefazione
20.00	399.000	271.514	0.638	21.691	0.700	0.241	0.059	4.08	Terreno non suscettibile di liquefazione

IPL (Iwasaki) = 0, Zcrit = 20 m, Rischio = Molto basso

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO

Le aree di studio sono inserite nel territorio del Comune di Capraia e Limite (Città Metropolitana di Firenze).

Posto nel settore occidentale della Provincia di Firenze (Coordinate geografiche 43°45'N e 10°59'E) al confine con quella di Prato, il territorio comunale ricade nella parte orientale del Valdarno Inferiore e si estende su una superficie di 24,92 kmq, lungo un'ampia fascia in direzione E-W, interamente ubicata in sinistra idraulica del Fiume Arno

L'area confina amministrativamente a nord con il Comune di Carmignano, ad est e a sud con i Comuni di Montelupo Fiorentino e Empoli (confini segnati dal corso del Fiume Arno); infine, ad ovest, confina con il Comune di Vinci.



Ubicazione del Comune di Capraia e Limite all'interno della Città Metropolitana di Firenze

Dal punto di vista morfologico si tratta di un paesaggio collinare con andamento relativamente omogeneo in cui le sommità dei rilievi raggiungono quote massime di circa 400 m s.l.m. nel settore settentrionale del territorio comunale in prossimità dei limiti amministrativi con il Comune di Carmignano.

Riguardo all'aspetto idrografico, il principale corso d'acqua è il Fiume Arno che ne delimita il confine sud - orientale.

Altri corsi d'acqua di rilievo sono il Borro del Pescaione, il Rio della Botta, Rio di Botricello, Rio dei Morticini e Rio Guidi cui seguono per importanza gli affluenti, in ordine gerarchico decrescente.

Il regime dei corsi d'acqua che interessano l'ambito comunale risulta di tipo torrentizio. Si hanno notevoli portate durante la stagione piovosa ed in occasione di intense precipitazioni, mentre durante la stagione estiva le portate si riducono notevolmente fino a mostrare in taluni casi condizioni di completa assenza d'acqua.

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NOTAZIONI STRATIGRAFICHE

L'area del Comune di Capraia e Limite è collocata nella parte meridionale della dorsale del Monte Albano, sul fianco rovescio di una grossa piega coricata, antifforme, vergente verso NE e con asse orientato in direzione NO-

SE. Questa struttura prosegue verso SE nei Monti del Chianti, con i quali costituisce il cosiddetto fronte della Falda Toscana.

La storia geologica e strutturale del territorio del Comune di Capraia e Limite è molto complessa, poiché sono presenti terreni appartenenti a differenti successioni stratigrafiche che sono state implicate nei movimenti, prima compressivi e poi distensivi legati alla formazione dell'orogene appenninico. Al fine di collocare correttamente da un punto di vista geologico-strutturale l'area, saranno riportate brevemente alcune informazioni riguardo alla storia geologica di questa parte dell'Appennino Settentrionale.

Le rocce più antiche affioranti nell'area in esame sono quelle appartenenti alle Unità Tettoniche Liguri, in particolare alle formazioni cretacico-eoceniche dell'Unità di Monte Morello che giacciono in discordanza sui depositi torbiditici oligo-miocenici della Falda Toscana (Unità Tettoniche Toscane), a seguito del sovrascorrimento e sovrapposizione in età miocenica (medio-superiore) delle Unità Liguri e Sub-Liguri sui terreni appartenenti alla Falda Toscana.

In particolare, nel settore di interesse le formazioni cretacico-eoceniche dell'Unità di Monte Morello sono caratterizzate dalla Formazione di Sillano, costituita dall'alternanza di prevalenti argilliti, calcilutiti, marne calcaree e argillitiche e livelli arenacei e calcarenitici.

Per quanto riguarda le formazioni torbiditiche oligo-mioceniche della Falda Toscana, affiorano le litologie appartenenti alla formazione del Macigno del Miocene Inferiore. I sedimenti che costituiscono la formazione si sono depositi in uno stadio già molto avanzato della chiusura della Tetide Occidentale, quando cioè la subduzione della placca Adriatica sotto quella Sardo-Corsa era di tipo ensialico, ovvero crosta continentale sotto crosta continentale. Le arenarie quarzoso-feldspatiche (la cui fonte di alimentazione può essere individuata nelle Alpi Occidentali che già allora erano in emersione) si depositavano nella fossa di subduzione mediante correnti di torbida parallele alla direzione del bacino. Gli apporti trasversali al bacino consistevano in grosse frane sottomarine di materiale ligure testimoniate dai due olistostromi rilevati nell'area. Questi episodi franosi creavano degli alti strutturali nel fondo che favorivano la sedimentazione di materiale più fine, prevalentemente marnoso e siltoso (Marne di San Polo, Olistostromi e Argilliti rossastre).

La chiusura della deposizione del Macigno corrisponde alla progressiva migrazione verso est del bacino di sedimentazione, dove avveniva la deposizione dei terreni più giovani dell'Unità Cervarola-Falterona.

Sulle formazioni delle Unità Tettoniche Toscane e Liguri depositarono i sedimenti appartenenti alle unità marine e transizionali del Pliocene Inferiore e Medio. Questi giacciono in discordanza sui depositi Miocenici testimoniando che prima della deposizione, in un periodo tra il Miocene Inferiore e il Pliocene Inferiore, è avvenuta: prima una fase compressiva (che ha dato luogo alla piega coricata di M. Albano) che ha generato emersione ed erosione delle Unità Tettoniche Liguri e Toscane; poi una fase distensiva che ha formato una serie di alti (ad esempio M. Albano e i Monti del Chianti) e bassi strutturali nei quali si è verificata la nuova ingressione marina Pliocenica.

I sedimenti Pliocenici testimoniano che l'ambiente deposizionale era di transizione tra il continentale ed il marino: i conglomerati si sono probabilmente depositi in pianure costiere dove confluivano i corsi d'acqua

provenienti dall'area della Calvana; le argille e le sabbie sedimentavano in una lingua di mare poco profondo compresa tra il M. Albano e i Monti Pisani.

Sopra i depositi pliocenici si trovano, con leggera discordanza angolare, sedimenti alluvionali terrazzati pleistocenici e facies lacustri che segnano il definitivo ritirarsi del mare dall'area.

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

In particolare il settore in esame è caratterizzato principalmente dalla presenza di depositi alluvionali recenti, terrazzati o non terrazzati, costituiti da ciottolami in matrice limoso-sabbiosa con tessitura da clasto a matrice sostenuta, ghiaie, sabbie e limi talora variamente pedogenizzati e di depositi eluvio-colluviali, costituiti da materiale con elementi eterometrici prevalentemente fini in abbondante matrice sabbioso-limosa, derivanti trasporto per ruscellamento.

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

Con riferimento alla Carta Geologica in scala 1:10.000 (Tav. G.01), si riassumono i caratteri geologici che contraddistinguono il territorio comunale di Capraia e Limite.

Tuttavia, prima di entrare nel dettaglio delle caratteristiche geologiche delle unità affioranti nel territorio comunale occorre introdurre il concetto di sintema.

Il **sintema** rappresenta un corpo sedimentario complesso delimitato da superfici di discontinuità stratigrafica d'importanza subregionale, costituito da gruppi di strati con geometria e litologia variabili, ma legati geneticamente, ossia depositi in contesti deposizionali diversi e contigui ed in continuità di sedimentazione. Le superfici di strato possono toccare, ma non intersecare le superfici di discontinuità stratigrafica a base ed a letto dei sintemi. La ricostruzione nelle tre dimensioni della geometria e dell'architettura interna dei sintemi presenta il vantaggio di disporre di pacchi rocciosi costituiti al loro interno da gruppi di strati con peculiari giacitura ed organizzazione. La presenza di discontinuità stratigrafiche di ordine secondario consente la successiva divisione in subsintemi o sottosintemi.

Questo concetto ha modificato l'approccio alla geologia degli ultimi anni e ha portato ad una nuova interpretazione della storia evolutiva dei bacini pliocenici.

Nell'area oggetto di studio nel suo complesso si riconoscono sei sintemi di età, come detto plio-quadernaria, e di ambiente da continentale a transizionale a marino: sintema di San Casciano e sintema di San Miniato.

All'interno dei sintemi le litofacies presentano strutture deposizionali cicliche, caratterizzate dall'alternanza di litofacies grossolane e pelitiche, che testimoniano le frequenti variazioni del livello del mare.

Circa l'origine delle superfici di discontinuità (limiti inconformi) queste sarebbero legate ai processi di erosione fluviale innescatisi a seguito dei cambiamenti del livello del mare.

Inoltre, nei settori vallivi e di pianura si rinvengono sedimenti riconducibili a depositi recenti alluvionali e coperture recenti detritiche, eluvio-colluviali e di frana, oltre che a depositi di origine antropica.

In dettaglio, nei settori di interesse del presente studio, si ritrovano, 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, i seguenti depositi e formazioni:

DEPOSITI QUATERNARI DI COPERTURA

Sono costituiti dalle coltri detritiche riconducibili a:

- depositi alluvionali (Pleistocene inferiore / medio e Olocene)
- coltri di frana (*Olocene*)
- depositi eluvio-colluviali (*Olocene*)
- depositi da debris flow e mud flow (*Olocene*)
- depositi detritici (*Olocene*)

I depositi alluvionali attuali e recenti (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 terrazzati (bn), di età pleistocenica, sono costituiti prevalentemente da ciottolami e limi sabbiosi talora moderatamente alterati.

I corpi di frana sono accumuli generalmente eterogenei ed eterometrici di materiale litoide, immersi in una matrice limoso-sabbiosa, caratterizzati da un assetto scompaginato. Si possono distinguere tra corpi di frana in evoluzione (a1a), laddove sono presenti indizi di movimento in atto o recenti, e corpi di frana senza indizi di evoluzione (a1b), laddove non vi è alcun indizio di movimento in atto o recente.

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.

Infine si hanno i depositi da debris flow e mud flow (b4) costituiti da colate detritiche fangose incanalate e depositi alluvionali e misti confinati in alvei ad acclività elevata e depositi detritici (a) costituiti da accumuli di frammenti litici eterometrici, frequentemente monogenici, in matrice sabbiosa o sabbioso limosa.

DEPOSITI FLUVIALI E LACUSTRI DEL BACINO DI LUCCA – MONTECARLO - VINCI

Trattasi di depositi continentali del Pleistocene medio-superiore sovrapposti ai depositi Pliocenici. La successione della deposizione, dal basso verso l'alto, prevede un passaggio da depositi a granulometria più fine quali argille e argille sabbiose con intercalazioni lentiformi di sabbie, a termini più schiettamente sabbiosi, fino ad arrivare a ciottoli poco cementati intercalati da letti sabbiosi.

- **Ghiaie di Monte Albano (CGA)** (*Pleistocene medio – Pleistocene superiore*)

Si tratta di ghiaie eterometriche e blocchi subangolosi clasto-sostenuti, costituiti da elementi di arenaria Macigno, con matrice sabbiosa; la matrice e i clasti sono fortemente arrossati.

- **Conglomerati di Vinci (VNC)** (*Villafranchiano medio*)

Depositi di conoide alluvionale, costituiti dall'alternanza di livelli di conglomerati, talora lentiformi, da medi a grossolani ad elementi di arenaria Macigno e livelli di sabbie da grossolane a fini. Nella porzione superiore prevalgono i livelli conglomeratici che formano potenti banchi.

- **Argille e Sabbie di Morignone – Mastromarco (AGM)** (*?Rusciniano - Villafranchiano medio*)

Costituite da sabbie gialle, limi sabbiosi ed argille limose di colore grigio-nocciola, con strutture sedimentarie, facies di canale e di piana alluvionale, ed associazioni fossilifere, malacofaune dulcicole e terrestri, di ambiente deposizionale fluviale e palustre. Talvolta, nelle facies di canale, sono presenti anche sottili livelli conglomeratici, spesso cementati e con ciottoli prevalentemente carbonatici, dove si distinguono elementi pertinenti alla Falda Toscana (preponderanti) ed elementi del Verrucano dei Monti Pisani (più rari).

DEPOSITI MARINO TRANSIZIONALEI E MARINI DEL BACINO DELL'ELSA – PESA E CERRETO GUIDI

La serie dei terreni pliocenici presenta caratteri di tipo trasgressivo, passando dal basso verso l'alto da depositi a granulometria grossolana a depositi a granulometria più fine. Tale successione può corrispondere ad una trasgressione marina, per cui i depositi basali grossolani si sono sedimentati in ambiente continentale o transizionale, mentre quelli sommitali più fini in ambiente marino sempre più profondo.

Un'ipotesi alternativa è che l'ambiente deposizionale sia sempre rimasto di tipo continentale o transizionale e che a determinare la diminuzione della granulometria dei sedimenti più giovani sia stato il progressivo spostamento e allontanamento del canale principale di alimentazione.

- Argille Limoso-Torbose di Toiano (ATO) (*Pliocene medio*)

Questa Formazione è costituita da argille grigie lignitifere di colore marrone scuro o rosso vinaccia, ricche di cristalli prismatici e lenticolari di gesso, che passano ad argille limose con noduli calcarei concezionali; al tetto sono presenti argille siltose marrone chiaro finemente stratificate, con frequenti lamine rossastre di ossidi di ferro.

- Argille e Sabbie di Cerreto Guidi (ACO) (*Pliocene inferiore – Pliocene medio*)

Si tratta di argille e argille siltoso sabbiose con intercalazioni di sabbie e sabbie argillose. Alla base si possono riconoscere argille azzurre in facies salmastra. Le intercalazioni sabbiose possono variare da sabbia pulita a sabbia con i ciottoli a sabbia argillosa; anche lateralmente all'interno dello stesso banco, non di rado, sono associati livelli conglomeratici a elementi calcarei, radiolariti ed arenarie della Falda Toscana (in prevalenza) e di calcari e arenarie riferibili alle Unità Liguri in s.l.. Al tetto della Formazione è talora presente un banco sabbioso caratterizzato da concrezioni ematitiche, sovrastato da un livello di argille sabbiose.

Si distingue una litofacies prevalentemente argillosa (ACOa) da una litofacies prevalentemente sabbiosa (ACOs)

- Sabbie e Conglomerati di S. Ansano (SBS) (*Pliocene inferiore – Pliocene medio*)

Sabbie siltose grossolane con lenti di conglomerati clasto-sostenuti, composti da arenaria Macigno; le sabbie contengono spesso malacofauna marina.

- SINTEMA DI SAN CASCIANO (*Piacenziano*)

- Litofacies ciottolosa (Cc): ciottolami polimodali a tessitura clasto-sostenuta con abbondante matrice sabbioso-limosa in strati da decimetrici a metrici, tabulari, amalgamati, massicci.

- SINTEMA DI SAN MINIATO (*Piacenziano*)

- Litofacies ciottolosa (Mc): ciottolami polimodali monogenici a tessitura clasto sostenuta con abbondante matrice sabbioso-limosa in strati da decimetrici a metrici tabulari amalgamati, massicci.

- Litofacies ciottoloso-sabbiosa (Ms): ciottolami polimodali a tessitura prevalentemente clasto sostenuta con abbondante matrice sabbioso-limosa e subordinate sabbie medio-grossolane, talora a laminazione piana o inclinata.

- Litofacies limoso-argillosa (Ma): limi e argille limose da giallastre a grigio-azzurre massicce contenenti arricchimenti di sostanza organica.

UNITA' TETTONICHE TOSCANE – FALDA TOSCANA

- **Marne di San Polo (POO)** (*Oligocene superiore – Miocene inferiore*)

Marne e marne siltose grigie o grigio giallastre a frattura scheggiata, con intercalazioni di siltiti ed arenarie fini torbiditiche. Generalmente si rinvengono nella porzione superiore della formazione del macigno e sono generalmente associate al tetto degli olistostromi.

- **Olistostromi (ol)** (*Oligocene superiore – Miocene inferiore*)

Sono corpi lenticolari, generalmente allungati, intercalati stratigraficamente alle altre normali litofacies rappresentati da breccie argillose ad elementi calcarei micritici e siltitici in matrice argillitica da bruna ad ocrea. Si presentano intercalati nella porzione superiore del Macigno.

Per quanto riguarda la loro messa in posto, il meccanismo principale è la gravità, e richiede un'intensa frammentazione delle rocce e una liquefazione del materiale pelitico, spesso proveniente da formazioni ancora poco litificate.

- **Argilliti Rossastre (ar)** (*Oligocene superiore – Miocene inferiore*)

Argilliti rossastre finemente fogliettate con rare passate verdastre.

- **Macigno (MAC)** (*Oligocene superiore – Miocene inferiore*)

Arenarie torbiditiche quarzoso-feldspatico-micacee, spesso gradate, di colore grigio e grigio verdi, marroni giallastre per alterazione, a granulometria generalmente da medio fine a grossolana, in strati da spessi a molto spessi, fino a 4,0 m, talora malgamati, con intercalazioni centimetrico-decimetriche di arenarie fini color grigio e siltiti, argilliti e argilliti siltose color grigio scuro. Nella porzione superiore prevale una litofacies pelitico-arenacea con strati da sottili a spessi e risultano relativamente comuni anche intercalazioni decimetriche di calcilutiti marnose, marne calcaree e di argilliti nerastre.

UNITA' TETTONICHE LIGURI – UNITA' DI MONTE MORELLO

- **Formazione di Sillano (SIL)** (*Cretaceo superiore – Eocene inferiore*)

Argilliti e siltiti fogliettate, grigio scure, nerastre, rosse, marroni e verdastre, alternate a strati calcarei, calcarenitici e calcareo-marnosi torbiditici a grana fine, talora litografici, da sottili a molto spessi, di colore nocciola o giallastri all'alterazione, grigio chiari al taglio, talvolta con patina verdastra. Frequenti strati gradati calcarenitici da medio-fini a grossolane grigio-scuro, marroni all'alterazione. I livelli calcarei si presentano spesso con fatturazione ad incudine.

3.4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Da un punto di vista geomorfologico il territorio comunale 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

la forme e i processi dovuti a gravità si ha la presenza di forme di denudazione (aree in frana e aree instabili per soliflusso generalizzato). Infine si hanno forme antropiche (artificiali) costituite da orli di scarpata di origine antropica, argini artificiali e rilevati stradali.

Il territorio del Comune di Capraia e Limite è caratterizzato dalla presenza di zone di fondovalle a scarsa se non nulla acclività e da settori mediamente acclivi, talora accanto ad altre dalla morfologia decisamente più penduta; queste differenze, così come le diverse forme prodotte dagli agenti esogeni ed endogeni, sono in relazione alla diversa natura del substrato geologico e dal modellamento del paesaggio avvenuto dai corsi fluviali principali.

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 geomorfologica 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.

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 frane. 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/scarpata 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.

Aree instabili per soliflusso generalizzato

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 alterita e/o livelli di terreno coltivo. Talora sono innescati o favoriti da intensa attività antropica.

Soilcreep

Movimenti di massa generalmente abbastanza lenti la cui dinamica interessa generalmente lo spessore di suolo ("coltivo"). Risultano periodicamente obliterati dalle lavorazioni agricole.

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

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 scarpata fluviale o di terrazzo in 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.

Alveo con tendenza all'approfondimento (erosione incanalata)

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.

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.

3.5 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E NOTAZIONI IDROGEOLOGICHE

Il reticolo idrografico che caratterizza il territorio del Comune di Capraia e Limite mostra un andamento generale del principale corso d'acqua, il Fiume Arno, in direzione circa NE - SW (antiappenninica) nel tratto tra La Nave di Camaioni e Capraia e in direzione circa E - W nel tratto tra Capraia e I Paci - il confine con Vinci.

Gli affluenti di ordine gerarchico inferiore, tributari in destra idraulica del Fiume Arno, nel tratto tra Capraia e il confine con il Comune di Vinci, sono orientati generalmente N - S; tra questi si elencano il Riod ei Morticini, il Borro del Pescaione, il Rio Botricello, il Rio Ratto, il Rio dell'Olmo e il Rio Guidi. Invece nel tratto tra La Nave e Capraia, sono orientati generalmente dai quadranti occidentali verso quelli orientali; tra questi si ricorda il Rio Granchiaia e il Borro di Forraineca.

Il reticolo può essere definito di tipo sub-rettangolare e/o dendritico, con aste impostate lungo linee di frattura o di dislocazione o in corrispondenza di litologie maggiormente erodibili. Infine, si osserva un aumento della densità del drenaggio nelle aree in cui si rileva la presenza di terreni prevalentemente argillitici, rispetto a tipi litologici a prevalente composizione sabbiosa grossolana o di natura arenacea con intensa fratturazione.

Il sistema idrogeologico di Capraia e Limite risulta chiaramente alimentato dai rilievi circostanti la pianura alluvionale.

Nel novero dei dati a disposizione dell'Amministrazione Comunale si rinvergono indicazioni in merito a campagne di misurazioni piezometriche, condotte su circa 15/20 pozzi ubicati in prevalenza sull'area di fondovalle del Fiume Arno, con scansione temporale agosto 1988, marzo 1995 e marzo 1999. I relativi report definiscono un profilo della falda iperbolico, con spaziatura tra le linee isofreatiche crescente da monte verso valle che va appiattendosi in corrispondenza della piana dell'Arno.

Generalmente il relativo gradiente idraulico mostra, viceversa, un andamento decrescente da monte verso valle, diversificandosi in dipendenza delle diverse caratteristiche morfologiche e litologiche dei terreni. Per esempio, laddove la piana alluvionale dell'Arno, da Capraia a Torre la Badia e nel settore occidentale dell'abitato di Limite, si restringe in corrispondenza di una cintura collinare immediatamente prospiciente, il gradiente idraulico indicato mostra un valore medio elevato, dal 7% al 10%. Invece, nella pianura alluvionale compresa tra Capraia e Limite, il gradiente idraulico desunto assume valori relativamente bassi, intorno al 2%.

I dati disponibili indicano come la falda alimenti l'Arno. Si può ritenere che tale stato di cose non si modifichi sostanzialmente se non in particolari ed eccezionali episodi di piena del fiume.

Si fornisce di seguito una descrizione sintetica delle diverse situazioni riscontrabili all'interno del territorio comunale.

Falda libera all'interno delle alluvioni del Fiume Arno

Si tratta della risorsa più importante che gode di una situazione idrogeologica particolarmente favorevole in corrispondenza dell'area di fondovalle di Limite e di Capraia. La risorsa principale a disposizione del territorio è rappresentata dai depositi alluvionali del Fiume Arno che poggiano sui depositi pliocenici. Lo spessore di questi depositi è generalmente compreso tra i 10 e i 20 m. L'assetto idrogeologico di questi settori è favorevole in quanto i depositi grossolani (sabbie e conglomerati) pliocenici che affiorano sui margini collinari della valle contribuiscono alla ricarica della falda libera del fondo valle. Questa falda è sfruttata sia a scopo idropotabile sia per scopi diversi con una presenza notevole di pozzi privati.

Circa la profondità della falda, questa tende ad aumentare progressivamente dai settori contermini ai rilievi collinari presenti al margine della piana verso il corso dell'Arno, passando da 2-3 m di profondità (si rilevano valori più bassi nelle vallecole minori) fino a 7-8 m, con massimi di 10 m in prossimità dell'argine del fiume. Lo spessore dell'acquifero può essere stimato, in relazione alla profondità dei pozzi, intorno ai 10 metri.

Falde all'interno dei depositi marini pliocenici

Si tratta di orizzonti isolati e poco produttivi con mancanza di una vera ricarica e con una potenzialità molto ridotta che, per le loro caratteristiche, non possono essere considerate alternative alla falda libera. Inoltre esiste un problema legato alla ricarica, che in questo caso è molto lenta o addirittura inesistente, essendo le ghiaie depositate in lenti all'interno delle argille.

Falde all'interno delle formazioni litoidi

Si tratta di 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 fraposte 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.

3.6 ACCLIVITA' DEI VERSANTI

Si riportano le classi di pendenza in cui è stato suddiviso il territorio comunale, in funzione delle variazioni altimetriche e topografiche, utili per la definizione delle classi di pericolosità geologica e delle zone MOPS delle cartografie di Microzonazione.

La carta delle pendenze rappresenta, pertanto, uno strumento di primaria importanza per la realizzazione della carta della pericolosità, anche perché con 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 MS di Livello 1 e Livello 2 si è provveduto alla raccolta e all'archiviazione organizzata di dati pregressi e alla realizzazione di due specifiche e inedite campagne di indagini (vedi elaborati indagini eseguite da ENKI s.r.l. e da Dott. Pieroni-Dott. Puccetti), eseguite rispettivamente nel Marzo 2014 (a supporto degli studi di Microzonazione Sismica di livello 1) e nel Marzo 2020 (a supporto degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2, ad integrazione e completamento di quanto precedentemente realizzato).

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 precedente studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 e al presente studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 (vedi certificazioni ed allegati forniti dalla ditta ENKI s.r.l. e da Dott. Pieroni-Dott. Puccetti).

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, ESAC e HVSR).

Si citano di seguito le fonti di reperimento 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.

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".

Per la predisposizione degli studi di *Microzonazione Sismica di Livello 1* è stato necessario realizzare una specifica campagna di indagini geofisiche 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; che è consistita nell'esecuzione di:

- n. 2 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. 5 prove di array sismico con metodo ESAC per la valutazione, delle velocità V_s nel sottosuolo;
- n. 6 prospezioni di sismica attiva frequenziale con tecnica di tipo MASW per la valutazione del V_s30 ;
- n. 24 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSR), e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, per determinare l'eventuale comportamento amplificativo del terreno.

Per la predisposizione degli studi di *Microzonazione Sismica di Livello 2*, ad integrazione della precedente campagna, è stata necessario realizzare una specifica campagna di indagini geofisiche integrative 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; che è consistita nell'esecuzione di:

- n. 1 linea 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, per caratterizzare dinamicamente sia la copertura presente sia il substrato roccioso ed individuarne la morfologia del tetto del substrato roccioso;
- n. 6 prove Masw per caratterizzare la velocità delle onde sismiche di taglio nel suolo e definire la categoria sismica di sottosuolo secondo le N.T.C. 2008;
- n. 5 prove di array sismico con metodo Esac per la valutazione delle velocità delle onde sismiche di taglio nel suolo;
- n. 33 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, a corredo degli studi di Microzonazione Sismica.

Limite sull'Arno:

- n. 2 linee di sismica a rifrazione con onde P ed onde SH;
- n. 9 prove Masw;
- n. 8 prove di array sismico con metodo Esac;
- n. 36 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSR).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Limite sull'Arno	L2		X			
	L3				X	
	L4				X	
	L5				X	
	L15				X	
	L16				X	
	L17				X	
	L18				X	
	L20				X	
	L21		X			
	L22				X	
	P4	X				
	P5	X				
	P6	X				
	P7	X				

Località	Id indagine	Tipologia Indagine			
	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			
	P55			X	
	P56			X	
	P57			X	
	P58			X	
	P73	X			
	P74	X			
	P75	X			
	P76	X			
	P77	X			
	P78	X			
	P79	X			
	P80	X			
	P81	X			
	P82	X			
	P83	X			
	P84	X			
	P85	X			
	P86	X			
	P87	X			
	P88	X			
	P89	X			
	P90	X			
	P91	X			
	P118			X	
	P119			X	
	P120			X	
	P121			X	

Capraia Fiorentina:

- n. 3 prove Masw;
- n. 2 prove di array sismico con metodo Esac;
- n. 18 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Capraia Fiorentina	L6				X	
	L7				X	
	L19				X	
	P21	X				
	P22	X				
	P23	X				
	P24	X				
	P59			X		
	P61	X				
	P62	X				
	P63	X				
	P64	X				
	P65	X				
	P66	X				
	P67	X				
	P68	X				
	P69	X				
	P70	X				
	P71	X				
	P72	X				
P92	X					
P93	X					
P117				X		

Castra:

- n. 1 linea di sismica a rifrazione con onde P ed onde SH;
- n. 3 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtrempi (HVSR).

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Castra	L1		X			
	P1	X				
	P2	X				
	P3	X				

Inoltre sono state ricavate dall'archivio dei dati di base a disposizione dell'amministrazione Comunale le seguenti indagini per ciascuna località.

Limite sull'Arno:

- n. 1 prova Masw;
- n. 1 indagine di sismica in foro di tipo down-hole.

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Limite sull'Arno	L13				X	
	P102					X

Capraia Fiorentina:

- n. 7 prove Masw;
- n. 1 indagine di sismica in foro di tipo down-hole.

Località	Id indagine	Tipologia Indagine				
		HVSR	Rifrazione P+Sh	ESAC	MASW	DH
Capraia Fiorentina	L8				X	
	L9				X	
	L11				X	
	L12				X	
	L14				X	
	L31				X	
	L33				X	
	P103					X

L'ubicazione di suddette 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 1 e 2.

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2
Limite sull'Arno	P4	3,69		2,3		A1	
	P5	2,97		2,89		A1	
	P6	5,98		3,13		A1	
	P7	1,48		3,09		A1	
	P8	13,13		3,24		A1	
	P9	1,31		2,53		A2	
	P10	0,59		1,7		A2	
	P11	2,02		3,23		A1	
	P12	0,55		2,31		B2	
	P13	1,83		3,15		A1	
	P14	1,81		2,5		A1	
	P15	2,31		3,32		A1	

Località	Sigla Indagine	F0 Picco 1	F0 Picco 2	A Picco 1	A Picco 2	Classe Picco 1	Classe Picco 2	
	P16	2,34		2,47		A2		
	P17	2,66		4,72		A1		
	P18	0,31		2,11		A1		
	P19	3,31		4,61		A1		
	P20	2		3,03		A1		
	P73	2,32		2,56		A1		
	P74	2,78		2,84		A1		
	P75	3,06		2,82		A1		
	P76	2,82		4,52		A1		
	P77	2,36		2,24		A1		
	P78	2,77		2,39		A1		
	P79	2,48		2,51		A1		
	P80	2,72		2,18		A1		
	P81	2,23		2,44		A1		
	P82	Nessun picco					A2	
	P83	2,78		2,14		A1		
	P84	Nessun picco					A2	
	P85	2,93		2,74		A1		
	P86	2,34		3,73		A1		
	P87	2,13		3,04		A1		
	P88	Nessun picco					A2	
	P89	Nessun picco					A2	
	P90	3,05		3,19		A1		
	P91	3,22		2,64		A1		
Capraia Fiorentina	P21	3,42		2,86		A1		
	P22	6,67		3,93		A1		
	P23	3,39		2,74		A1		
	P24	12,03		2,09		A1		
	P61	Nessun picco					A2	
	P62	3,7		2,74		A1		
	P63	3,56		2,68		A1		
	P64	3,11		3,92		A1		
	P65	3,43		3,47		A1		
	P66	3,31		5,41		A1		
	P67	12,37		3,61		A1		
	P68	15,68		3,67		A1		
	P69	8,18		4,13		A1		
	P70	6,83		2,66		A1		
	P71	7,25		2,52		A1		
	P72	Nessun picco					A2	
	P92	3,5		4,07		A1		
P93	3,49		3,57		A1			
Castra	P1	2,91		1,63		A2		
	P2	19,53		19,53		A2		
	P3	4,98		4,98		A2		

Per ogni misura HVSR, è stata attribuita una delle seguenti 3 classi di appartenenza (cfr. relazione sulle indagini geofisiche svolte nel novero delle attività correlate al presente studio con le relative certificazioni e/o elaborazioni rappresentative):

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
A	$\geq 75 \%$	Carta di livello 1 di ottima qualità
B	50 % - 74 %	Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri
C	25 % - 49 %	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
D	$\leq 25 \%$	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 B

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

- **Unità litologico-tecnica B3:** alternanze ordinate di livelli lapidei e pelitici, con materiale lapideo > 75%. Sono riconducibili a tale unità la formazione geologica del Macigno (MAC).
- **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 Argilliti rossastre (ar), delle Marne di San Polo (POO) e della Formazione di Sillano (SIL).
- **Unità litologico-tecnica Bc:** alternanze disordinate o caotiche di livelli lapidei e pelitici, con materiale pelitico compreso tra 25% e 75%. E' riconducibile a tale unità la litofacies olistostromica (ol) associata al Macigno.

Unità litologico tecnica C

In questa U.L.T. sono comprese rocce e rocce deboli costituite da materiale prevalentemente granulare con grado di cementazione medio basso, che presentano caratteristiche intermedie fra quelle delle rocce e quelle dei terreni in s.s.. Questo raggruppamento comprende le unità litologico tecniche cartografate secondo i seguenti criteri:

- **Unità litologico-tecnica C1:** conglomerati e breccie con medio grado di cementazione clastosostenuti. Sono riconducibili a tale unità la formazione delle Ghiaie di Monte Albano (CGA), la formazione dei Conglomerati di Vinci (VCN), la litofacies ciottolosa del Sistema di San Miniato (Cc) e la litofacies ciottoloso sabbiosa del Sintema di San Miniato (Ms).
- **Unità litologico-tecnica C2:** conglomerati e breccie matrice-sostenuti. E' riconducibile a tale unità la formazione geologica delle Sabbie e Conglomerati di S.Ansano (C2).

Unità litologico tecnica D

In questa U.L.T. sono compresi i terreni coesivi con consistenza elevata. Questo raggruppamento comprende un'unità litologico tecnica cartografata secondo i seguenti criteri:

- **Unità litologico-tecnica D:** depositi coesivi consistenti a granulometria dominante argilloso limosa. Sono riconducibili a tale unità la formazione delle Argille e Sabbie di Morignone-Mastromarco (AGM), la formazione delle Argille e Sabbie di Cerreto Guidi in litofacies sabbiosa e la litofacies limoso argillosa del Sistema di San Miniato (Ma).
- **Unità litologico-tecnica D2:** depositi coesivi consistenti a granulometria dominante argilloso. Sono riconducibili a tale unità la formazione geologica delle Argille limoso torbose di Toiano (ATO) e quella delle Argille e Sabbie di Cerreto Guidi in litofacies argillosa (ACOA).

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 E2:** ghiaie (elementi lapidei compresi mediamente tra 2 – 60 mm). Si tratta di materiali granulari a prevalente composizione ghiaiosa. Ne fanno parte i depositi alluvionali recenti (b), i depositi da debris flow e mud flow (b4) e i depositi detritici (a).

- **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 (bn).

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 Capraia e Limite 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 2.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Gli studi di Microzonazione Sismica Comunale (di seguito MS) svolti per il Comune di Capraia e Limite 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 4.1) 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 4.1).

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 Capraia e Limite sono stati eseguiti sia gli studi di Livello 1 che gli studi di Livello 2.

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: 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 2;
Misura passive del rumore ambientale, mediante tecnica a stazione singola.
Stendimenti di sismica a rifrazione in onde P e Sh

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 di Microzonazione Sismica almeno alla scala 1:5.000-1.10.000, rappresentative dei parametri di FA, in termini di pseudoaccelerazione, corrispondenti ai periodi 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s e 0.7-1.1 s;
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 2

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 4.1), 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 la 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 4.1) in cui vengono presentate le procedure di riferimento per la realizzazione delle suddette carte.

Negli studi di livello 2 viene introdotto l'elemento quantitativo associato all'area omogenea, utilizzando metodologie di analisi numerica semplificate (abachi a scala regionale, modellizzazione 1D, leggi empiriche), anche mediante l'esecuzione di ulteriori e più mirate indagini.

Questa analisi approfondita ha lo scopo di creare la "Mappa di microzonazione sismica".

Il Livello 2, sviluppato per gli studi di pianificazione urbanistica allorché le condizioni geologiche e geomorfologiche consentono l'applicazione di metodi semplificati, ha come scopo quello di:

- ricavare le regole e i requisiti volti a ridurre il rischio sismico per le aree urbane e le nuove aree di previsione;
- individuare le aree ad alto rischio che richiedono particolari dettagli;
- definire le priorità di intervento per edifici strategici e rilevanti;
- prevedere gli scenari di danno.

Questo secondo livello prevede l'uso di parametri che quantificano la variazione del movimento sismico sulla superficie e che possono essere determinati con metodi semplificati, mediante l'uso di specifici "abachi", che definiscono i fattori di amplificazione degli spettri elastici sulla superficie, associati alle singole situazioni litostratigrafiche per le quali sono applicabili.

Gli abachi per la caratterizzazione quantitativa dei fenomeni di amplificazione attesi sono tabelle in cui un insieme di valori assunti da parametri considerati diagnostici e ad un particolare livello di rischio sismico sono associati univocamente ai valori previsti dell'amplificazione del movimento sismico (FA o "Amplificazione del fattore") rispetto a un motivo di riferimento.

Gli abachi sono stati preparati nell'ambito di uno studio commissionato all'Università DST di Siena (Prof. Albarello) e successivamente approvato dalla Risoluzione regionale.

Per ottenere i fattori di amplificazione dagli abachi litostratigrafici è necessario determinare due parametri:

- a) il valore delle V_s equivalenti (velocità delle onde di taglio sismiche fornite dalla media ponderata della velocità delle onde sismiche fino al raggiungimento del "substrato", caratterizzato da velocità superiori a 800 m/s);
- b) il valore della frequenza fondamentale del terreno.

Il parametro utilizzato per la rappresentazione dei livelli di amplificazione è il fattore di amplificazione di Housner (di seguito denominato FHa) misurato come rapporto tra l'integrale dello spettro di accelerazione di uscita (PSAout) e la controparte integrale dello spettro di accelerazione di ingresso (PSAin). Questo fattore di amplificazione viene calcolato per periodi di riferimento specifici: brevi periodi - $0,1 < T < 0,5$ s; lunghi periodi - $0,4 < T < 0,8$ s e $0,7 < T < 1,1$ s.

Di seguito vengono presentati gli abachi usati per gli studi di Microzonazione di Livello 2, con riferimento alla macroarea Toscana Interna di cui il Comune di Capraia e Limite fa parte

Toscana Interna (Substrato sismico ≤ 30m)

Valore di ag (Tr=475 anni) < 0.125g

FA 0.1 < T < 0.5 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
f (m) BSA	<200	1.1	1.5	1.9	2.5	2.1	2.1	2.1	2.1	1.5	1.9
	300	0.6	1.3	1.8	2.0	1.9	1.8	1.8	1.8	1.6	1.9
	500			1.6	1.6	1.6	1.6	1.4	1.5	1.3	1.4
	700					1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	≥800										

FA 0.4 < T < 0.8 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
f (m) BSA	<200	1.5	2.4	2.4	1.8	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	2.2
	300	1.0	2.2	2.1	1.7	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1	1.7
	500			1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
	700					1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1
	≥800										

FA 0.7 < T < 1.1 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
f (m) BSA	<200	2.3	2.5	1.6	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	2.1
	300	1.5	2.0	1.5	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.3
	500			1.2	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	700					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	≥800										

Toscana Interna (Substrato sismico ≤ 30m)

Valore di ag (Tr=475 anni) ≥ 0.125g

FA 0.1 < T < 0.5 s

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

FA 0.4 < T < 0.8 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
f (m) BSA	<200	1.3	2.3	2.4	1.9	1.5	1.3	1.3	1.2	1.1	2.2
	300	1.0	2.1	2.2	1.8	1.4	1.2	1.2	1.2	1.1	1.9
	500			1.6	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
	700					1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.1
	≥800										

FA 0.7 < T < 1.1 s

		f0 (Hz)									75° perc.
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	
f (m) BSA	<200	2.0	2.4	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1	1.1	1.0	2.0
	300	1.6	2.0	1.5	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.3
	500			1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
	700					1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
	≥800										

Toscana Interna (Substrato sismico > 30m)

Valore di a_g ($T_r=475$ anni) < 0.125g

FA 0.1 < T < 0.5 s

		θ (Hz)									75° perc.	
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8		
V_s (m)	0.05 < A	<200	1.1	1.4	1.3							1.2
	300	1.1	1.4	1.7	1.8	1.7	1.9	2.0	2.0	1.8	1.4	
	500	1.1	1.3	1.5	1.6	1.6	1.6	1.5	1.6	1.6	1.4	
	700	0.9	1.1	1.3	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2	
	≥ 800	1.0	1.0	1.0						1.1	1.0	

FA 0.4 < T < 0.8 s

		θ (Hz)									75° perc.	
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8		
V_s (m)	0.05 < A	<200	1.6	2.1	2.1							2.0
	300	1.4	1.9	2.0	1.7	1.6	1.7	1.5	1.6	1.8	1.8	
	500	1.2	1.6	1.7	1.5	1.5	1.6	1.4	1.6	1.6	1.5	
	700	1.0	1.2	1.5	1.4	1.2	1.4	1.3	1.1	1.2	1.2	
	≥ 800	1.1	1.2	1.2						1.1	1.1	

FA 0.7 < T < 1.1 s

		θ (Hz)									75° perc.	
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8		
V_s (m)	0.05 < A	<200	2.1	2.6	2.5							2.4
	300	1.5	2.1	1.6	1.7	1.5	1.7	1.7	1.6	1.7	1.8	
	500	1.2	1.8	1.4	1.3	1.5	1.4	1.4	1.3	1.5	1.5	
	700	1.1	1.5	1.3	1.1	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	
	≥ 800	1.1	1.3	1.1						1.0	1.2	

Toscana Interna (Substrato sismico > 30m)

Valore di a_g ($T_r=475$ anni) \geq 0.125g

FA 0.1 < T < 0.5 s

		θ (Hz)									75° perc.	
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8		
V_s (m)	0.05 < A	<200	1.0	1.3	2.0							1.2
	300	1.1	1.4	1.7	1.8	1.7	1.7	2.0	2.0	1.8	1.4	
	500	1.1	1.3	1.5	1.7	1.6	1.5	1.5	1.7	1.6	1.4	
	700	0.9	1.1	1.3	1.5	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2	
	≥ 800	1.0	1.0	1.0					1.2	1.1	1.0	

FA 0.4 < T < 0.8 s

		θ (Hz)									75° perc.	
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8		
V_s (m)	0.05 < A	<200	1.5	1.9	2.3							1.8
	300	1.4	1.8	2.1	1.8	1.7	1.5	1.7	1.7	1.8	1.7	
	500	1.2	1.6	1.7	1.6	1.5	1.5	1.4	1.6	1.6	1.5	
	700	1.0	1.2	1.5	1.4	1.2	1.4	1.3	1.1	1.2	1.2	
	≥ 800	1.0	1.2	1.2					1.1	1.1	1.1	

FA 0.7 < T < 1.1 s

		θ (Hz)									75° perc.	
		<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8		
V_s (m)	0.05 < A	<200	2.0	2.5	2.1							2.2
	300	1.5	2.0	1.6	1.7	1.5	1.5	1.6	1.6	1.7	1.8	
	500	1.2	1.7	1.4	1.3	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5	
	700	1.1	1.4	1.3	1.1	1.2	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	
	≥ 800	1.1	1.3	1.1					0.9	1.0	1.2	

L'obiettivo fondamentale della procedura è, quindi, quello di fornire delle stime statisticamente valide e ragionevolmente conservative del fattore di amplificazione atteso, nelle varie situazioni litostratigrafiche e in particolare nelle aree a maggior rischio sismico. Queste stime devono poter essere fornite a partire da un numero limitato di osservazioni, relativamente facili da determinare sperimentalmente e comunque rappresentative delle varie possibili situazioni presenti.

Il livello 2 degli studi di Microzonazione Sismica consiste, quindi, nel raggiungere una parametrizzazione dell'amplificazione sismica locale:

- in contesti geologici "semplici" (ad esempio se il modello geologico del sito è caratterizzato dall'assenza di elementi in grado di innescare fenomeni di amplificazione 2D-3D);
- mediante "approcci semplificati" (applicazione di programmi per la stima dell'amplificazione sismica locale);
- senza intervenire sulle aree considerate instabili nello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, poiché tali studi sono previsti per il terzo livello;
- senza intervenire sulle aree considerate nello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 come stabili, poiché per queste aree il fattore di amplificazione atteso è pari a 1.

I criteri principali per il passaggio da uno studio di microzonazione sismica di livello 1 a uno studio di microzonazione sismica di livello 2 sono legati alla valutazione dell'idoneità al passaggio e si basano sulle seguenti verifiche e controlli:

- Verifica della congruenza tra le sezioni geologico-tecniche che definiscono il modello geologico 2D dell'area e la cartografia MOPS che rappresenta in realtà una ricostruzione 3D dello stesso modello geologico.
- Verifica della congruenza tra le sezioni geologico-tecniche e i risultati delle indagini (nel caso in cui non vi siano idonei rilievi sarà necessario effettuare ulteriori indagini al fine di completare la ricostruzione in termini sismostratigrafici del modello geologico).
- Controllo dell'estrapolazione di area del modello geologico tecnico 2D riportato nelle sezioni geologico tecniche.

La procedura per la realizzazione degli studi di costruzione della Microzonazione Sismica di Livello 2 segue i seguenti steps:

- Prima fase

1. Identificazione delle tipologie lito-stratigrafiche
2. Parametrizzazione delle unità lito-stratigrafiche
3. Inserire la selezione del movimento

- Seconda fase

1. Generazione casuale di profili Vs e curve di degrado
2. Selezione dei profili V e curve di degrado compatibili con le osservazioni
3. Costruzione di funzioni di amplificazione e fattori di amplificazione (FA) per singole tipologie lito-stratigrafiche e gruppi di accelerogrammi

- Terza fase

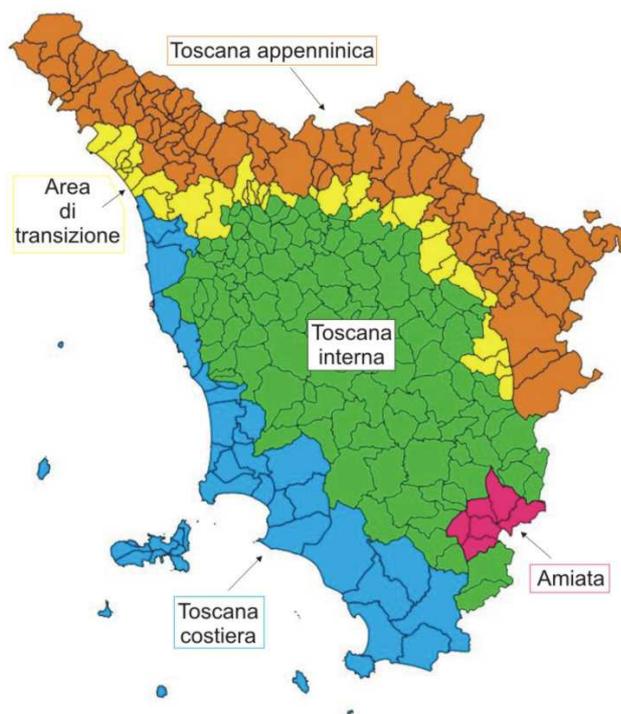
1. Caratterizzazione statistica della distribuzione di valori FA per singole tipologie litografiche e gruppi di accelerogrammi
2. Identificazione dei parametri sperimentali che caratterizzano le varie situazioni lito-stratigrafiche

- Quarta fase

1. Costruzione degli abachi
2. Convalida degli abachi

Per l'utilizzo degli abachi, di seguito sono illustrate le fasi che il professionista incaricato di redigere lo studio di microzonazione sismica di livello 2 deve seguire:

- Verifica dell'ammissibilità: verificare che il comune in esame sia incluso nell'elenco dei comuni ammessi agli studi di microzonazione sismica di secondo livello e per i quali è consentito l'uso di abachi.
- Determinazione della macroarea alla quale appartiene il comune. Nella seguente mappa è possibile visualizzare le diverse macroaree in cui è stato diviso il territorio della Regione Toscana: Toscana appenninica, Toscana interna, Toscana costiera, Area di transizione, Amiata.



- Stima del valore di accelerazione di base: una volta definita la macroarea, è necessario stimare il valore di accelerazione di base per un tempo di ritorno di 475 anni per il centro abitato oggetto di analisi di secondo livello. I valori di soglia sono 0,15 g per le macroaree dell'Appennino toscano e dell'area di transizione e 0,125 g per la Toscana interna. Questa operazione consente di definire il tipo di abaco più adatto al contesto macrosismico dell'area di interesse.
- Verifica dell'idoneità: una volta identificato il sito di misurazione, deve essere verificato che sia adatto per l'applicazione degli abachi litostratigrafici di secondo livello.
- Stima della profondità del substrato: per ciascun sito di misurazione FHA, deve essere stimata se la profondità del substrato sismico è inferiore o superiore a 30,0 m. Questa informazione è essenziale per scegliere l'abaco più adatto per il contesto sismostratigrafico.
- Determinazione dei valori di FHA: per ogni sito deve essere definito il valore della frequenza fondamentale e il valore di Vs30 o Vsh; in modo da poter dedurre i valori di FHA (0,1-0,5s), FHA (0,4-0,8s) e di FHA (0,7-1,1s).
- Estensione areale del modello: una volta definiti i fattori di amplificazione, l'estensione areale deve tenere conto del modello geologico desunto dallo studio di microzonazione sismica di livello 1, opportunamente integrato in questa fase.

È la facoltà del tecnico che esegue lo studio di non utilizzare i risultati dei programmi regionali, ma di effettuare in alternativa specifiche analisi di risposta sismica locale (RSL) in una configurazione monodimensionale, volte a determinare il fattori di amplificazione FHa nell'intervallo 0,1-0,5 secondi , 0,4-0,8 secondi e 0,7-1,1 secondi.

Il risultato fondamentale del secondo 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 la 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 4.1) 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 2° Livello.

8.2 CARTA DELLE INDAGINI E CARTA DELLE FREQUENZE

Le Carte 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 2° 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”.

Nelle Carte 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 Capraia e Limite 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 e della Carta di Microzonazione Sismica di livello 2, ma anche offrire un'indicazione delle profondità di investigazione per l'eventuale successivo livello superiore di MS (livello 3). L'utilizzo della tabella di confronto tra lo spessore di copertura stimato e la frequenza fondamentale del terreno, riportata nel lavoro di *Albarello 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 Capraia e Limite 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) e rappresenta, secondo quanto previsto dalle norme ICMS (versione 4.1), 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 media-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

Legenda della Carta Geologico Tecnica: terreni di copertura

Ambiente vulcanico	
Colate/spandimenti/cupole/domi/dicchi/coni lavici	la
Coni scorie/ceneri	sc
Coltri ignimbritiche	ig
Lahar (colate di fango)	lh
Ambiente di versante	
Falda detritica	fd
Conoide detritica	cd
Conoide di deiezione	cz
Eluvi/colluvi	ec
Ambiente fluvio - lacustre	
Argine/barre/canali	es
Piana deltizia	dl
Piana pedemontana	pd
Bacino (piana) intramontano	in
Conoide alluvionale	ca
Terrazzo fluviale	tf
Lacustre	lc
Palustre	pa
Piana inondabile	pi
Ambiente carsico	
Riempimento di dolina/karren/vaschetta/sinkhole	do
Forme costruite presso sorgenti	so
Forme costruite in canyon carsici	cy
Croste calcaree	cc
Ambiente glaciale	
Morena	mr
Deposito fluvio glaciale	fg
Deposito lacustre glaciale	fl
Till	ti
Ambiente eolico	
Duna eolica	de
Loess	ls
Ambiente costiero	
Spiaggia	sp
Duna costiera	dc
Cordone litoraneo	cl
Terrazzo marino	tm
Palude/laguna/stagno/lago costiero	pl
Altro ambiente	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		
LP	LP	Lapideo
GR	GR	Granulare cementato
CO	CO	Coesivo sovraconsolidato
AL	AL	Alternanza di litotipi
LPS	LPS	Lapideo, stratificato
GRS	GRS	Granulare cementato, stratificato
COS	COS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato
ALS	ALS	Alternanza di litotipi, stratificato
SFLP	SFLP	Lapideo fratturato / alterato
SFGR	SFGR	Granulare cementato fratturato / alterato
SFCO	SFCO	Coesivo sovraconsolidato fratturato / alterato
SFAL	SFAL	Alternanza di litotipi 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 Geologica 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).

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 GWtf-ca:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie, di ambiente genetico fluvio lacustre (da terrazzo fluviale a conoide alluvionale). A questi corrispondono i depositi di ghiaie in matrice sabbiosa delle Ghiaie di Monte Albano (CGA).
- **Unità geologico-tecnica GWca:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie, di ambiente genetico da fluvio lacustre (conoide alluvionale). A questi corrispondono i depositi di conglomerati e sabbie dei Conglomerati di Vinci (VCN).
- **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 di natura detritica (a).
- **Unità geologico-tecnica GMes:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre (argine/barre/canali). A questi corrispondono i depositi alluvionali recenti (b).
- **Unità geologico-tecnica GMdl:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre (piana deltizia). A questi corrispondono i depositi della litofacies ciottolosa del Sistema di San Casciano (Cc) e della litofacies ciottoloso sabbiosa del Sistema di San Miniato (Ms).
- **Unità geologico-tecnica GCcz:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente genetico di versante (conoide di deiezione). A questi corrispondono i depositi di debris flow e di mud flow (b4).
- **Unità geologico-tecnica SWtf:** si tratta di terreni costituiti da sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose di ambiente genetico fluvio lacustre (terrazzo fluviale). A questi corrispondono i depositi sabbiosi con lenti conglomeratiche delle Sabbie e Conglomerati di S. Ansano (SBS).
- **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).
- **Unità geologico-tecnica SMes:** si tratta di terreni costituiti da sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre (argine/barre/canali). A questi corrispondono i depositi alluvionali terrazzati (bn).
- **Unità geologico-tecnica SCtf:** si tratta di terreni costituiti da sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla di ambiente genetico fluvio lacustre (terrazzo fluviale). A questi corrispondono i depositi sabbioso argillosi delle Argille e Sabbie di Morignone-Mastromarco (AGM).
- **Unità geologico-tecnica SCsp-tm:** si tratta di terreni costituiti da sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla di ambiente genetico costiero (da spiaggia a terrazzo marino). A questi corrispondono i depositi della litofacies sabbiosa delle Argille e Sabbie di Cerreto Guidi (ACOs).
- **Unità geologico-tecnica MLca-pl-tm:** si tratta di terreni costituiti da limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limia argillosi di bassa plasticità di ambiente genetico da fluvio lacustre (conoide alluvionale) e di ambiente genetico costiero (da palude/laguna/stagno/lagocostiero a terrazzo marino). A questi corrispondono i depositi della litofacies limoso argillosa del Sistema di San Miniato (Ma).
- **Unità geologico-tecnica CLtf:** si tratta di terreni costituiti da argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre ambiente genetico fluvio lacustre (terrazzo fluviale). A questi corrispondono i depositi argilloso limosi delle Argille limoso torbose di Toiano (ATO).
- **Unità geologico-tecnica CLsp-tm:** i tratta di terreni costituiti da argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di ambiente genetico costiero (da spiaggia a terrazzo

marino). A questi corrispondono i depositi della litofacies argillosa delle Argille e Sabbie di Cerreto Guidi (ACOa).

Per quanto riguarda i corpi di frana, questi sono stati riportati nella cartografia secondo quanto previsto alla figure 1.1.2-1 e 1.1.2-2 delle norme ICMS (versione 4.1), 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 formazione del Macigno (MAC).
- **Unità geologico-tecnica ALS:** corrisponde al substrato geologico costituito da un'alternanza di litotipi stratificati. A questa unità appartengono i depositi appartenenti alla Formazione di Sillano (SIL), alle Marne di San Polo (POO) e alle Argilliti rossastre (ar).
- **Unità geologico-tecnica SFAL:** corrisponde al substrato geologico costituito dall'alternanza di litotipi fratturati e/o alterati. A questa unità appartengono i depositi olistostromici della formazione del Macigno (ol).

Di seguito viene riportata una tabella comparativa delle classi di attribuzione, per ciascun deposito lito-stratigrafico 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 4.1).

<i>SIGLA FORMAZIONE</i>	<i>NOME FORMAZIONE</i>	<i>UNITA' LITOLOGICO- TECNICA (VEL)</i>	<i>UNITA' GEOLOGICO- TECNICA (ICMS)</i>
a1a, a1b	Corpi di frana		varie
b	Depositi alluvionali recenti	E2	GMes
bn	Depositi alluvionali terrazzati	E3	SMes
b4	Depositi da debris flow e mud flow	E2	GCez
a	Depositi detritici	E2	GMfd
b2a	Depositi eluvio-colluviali	E3	SMec
CGA	Ghiaie di Monte Albano	C1	GWtf-ca
VCN	Conglomerati di Vinci	C1	GWca
AGM	Argille e Sabbie di Morignone- Mastromarco	D	SCtf
ATO	Argille limoso torbose di Toiano	D2	CLtf
ACOs	Argille e Sabbie di Cerreto Guidi – litofacies sabbiosa	D	SCsp/tm
ACOa	Argille e Sabbie di Cerreto Guidi – litofacies argillosa	D2	CLsp/tm
SBS	Sabbie e Conglomerati di S.Ansano	C2	SWtf
Cc	Sistema San Casciano – litofacies ciottolosa	C1	GMdl
Ms	Sistema San Miniato – litofacies ciottoloso sabbiosa	C1	GMdl
Ma	Sistema San Miniato – litofacies	D	MLca-pl-tm

	limoso argillosa		
SIL	Formazione di Sillano	B4	ALS
POO	Marne di San Polo	B4	ALS
ar	Argilliti rossastre	B4	ALS
MAC	Macigno	B3	LPS
ol	Olistostromi	Bc	SFAL

A corredo delle carte geologico-tecniche in scala 1:5.000 (Tavola G.03), per ciascun centro urbano di interesse, sono state realizzate alcune sezioni geologiche (Tavola G.08 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 4.1) 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° , 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. ≤ 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 4.1). 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 (cavit  sepolte).

8.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA

La "Carta di Microzonazione Sismica" rappresenta l'elaborato cartografico fondamentale degli studi di microzonazione sismica di Livello 2. Scopo della realizzazione di tale elaborato   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 approvato e sull'applicazione della quantificazione numerica degli effetti, sulla scorta degli abachi di riferimento, in funzione dei valori peculiari di caratterizzazione sismica (V_{s30} , f_0) del sottosuolo di interesse.

Per classificare le aree in esame si   stato fatto riferimento (come da paragrafo 1.1.4 degli ICMS, versione 4.1) alle seguenti categorie di microzone:

- **zone stabili**
- **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**
- **zone suscettibili di instabilit **

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 attribuir  alla microzona un valore uguale a 1,0.

Nell'ambito degli approfondimenti di Livello 2 le amplificazioni vengono valutate attraverso abachi in funzione della bassa complessit  del contesto nel quale   inquadrato lo studio. Nella Carta di Microzonazione Sismica viene riportato il parametro che quantifica l'amplificazione indicato dalla Regione.

Gli ICMS definiscono, nell'ambito degli approfondimenti di Livello 2, una serie di abachi finalizzati all'individuazione di un valore che caratterizzi le microzone stabili suscettibili di amplificazioni locali in termini di fattori di amplificazione.

Le amplificazioni dovute ad effetti litostratigrafici sono espresse con due fattori numerici (FA e FV) da applicare alle ordinate spettrali a basso periodo (FA) e alto periodo (FV). Tra i parametri di amplificazione, potr  essere

inserito anche Ft, che sarà espresso con la stessa simbologia e le stesse classi degli altri parametri di amplificazione.

Gli abachi degli ICMS sono rappresentativi di assetti litostratigrafici semplificati e sono stati sviluppati con la finalità di consentirne un utilizzo quanto più possibile diffuso. La Regione Toscana, si è dotata, come prescritto dalle Linee Guida ICMS di abachi propri e più rappresentativi degli assetti sismotettonici e geologico-tecnici regionali degli ambienti che li caratterizzano.

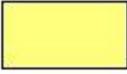
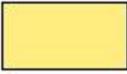
Nella tabella seguente vengono riportati i parametri di amplificazione da riportare secondo i criteri ICMS (versione 4.1) nelle Carte di Microzonazione Sismica.

Parametro	Descrizione
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 facoltativo per il Livello 2 di Microzonazione Sismica qualora siano disponibili abachi regionalizzati, come nel caso della Regione Toscana. Nel caso in esame, essendo stati definiti dalla Regione Toscana gli abachi di riferimento, vengono presentati i valori di FA0105, FA0408 e FA0711.

Nelle carte di Microzonazione Sismica di livello 2 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.

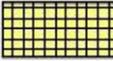
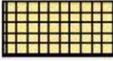
Si precisa che nella zona stabile, con parametro di amplificazione uguale a 1,0 sono comprese le zone con deamplificazione e con amplificazioni fino a 1,04. Nella classe 1,1-1,2, invece, sono compresi valori di amplificazione da 1,05 a 1,24, mentre nella classe 1,3-1,4 sono compresi valori di amplificazione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

Zone stabili (parametro di amplificazione uguale a 1.0).¹²	
	1.0
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (classe del parametro di amplificazione).¹³	
	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 2, le zone suscettibili di instabilità per liquefazione o instabilità di versante conservano la geometria delle zone definite dalla Carta delle MOPS, ma con riferimento alle zone date dall'amplificazione calcolata con gli abachi.

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

Zone di attenzione per instabilità	
Vedi Figura 1.1.4.2-1a	ZARL - Zona di Attenzione per instabilità di versante
Vedi Figura 1.1.4.2-1a	ZALQ - Zona di Attenzione per liquefazioni
	ZAFAC - Zona di Attenzione per faglie attive e capaci
	ZACD - Zona di Attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole
	ZALD - Zona di Attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti

Zone di attenzione per instabilità		
ZARL	ZALQ	PARAMETRO DI AMPLIFICAZIONE
		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. 1.1.4.2-1.a

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

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 negli elaborati Tavola G.04 in scala 1:5.000).

Zone stabili

ID	Descrizione Zona
STAB (1011)	Substrato lapideo stratificato (LPS), in assenza di copertura (spessori generalmente inferiori ai 3,0 m) con pendenza (di seguito "i") < 15° e basso contrasto di impedenza sismica (di seguito "c.i.")

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

ID	Descrizione Zona
Z1 (2001)	Substrato lapideo stratificato (LPS) con coltre di alterazione < 5,0 m, $i > 15^\circ$, basso c.i..
Z2 (2002)	Copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) e ghiaioso argillosa (GC) di ambiente di versante (fd e cz) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, sovrastante un substrato lapideo stratificato (LPS) con coltre di alterazione < 5,0 m, basso c.i..
Z3 (2003)	Copertura recente di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (ec) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, sovrastante un substrato lapideo stratificato (LPS) con coltre di alterazione < 5,0 m, basso c.i..
Z4 (2004)	Copertura "pliocenica" costituita da litotipi di natura sabbioso ciottolosa (SW) di ambiente fluvio-lacustre (tf), dello spessore compreso tra 5,0 e 30,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS), con spessore di coltre di alterazione < 3,0 m, alto c.i..
Z5 (2005)	Copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) e ghiaioso argillosa (GC) di ambiente di versante (fd e cz) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, poggiante su copertura "pliocenica" costituita da litotipi di natura sabbioso ciottolosa (SW) di ambiente fluvio-lacustre (tf), dello spessore compreso tra 5,0 e 30,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS), con spessore di coltre di alterazione < 3,0 m, alto c.i..
Z6 (2006)	Copertura "pliocenica" costituita da litotipi di natura sabbioso ciottolosa (SW) di ambiente fluvio-lacustre (tf), dello spessore > 30,0-40,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori a 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..
Z7 (2007)	Copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) e ghiaioso limosa (GC) di ambiente di versante (fd e cz) e fluvio-lacustre (es), sovrastante copertura "pliocenica" costituita da litotipi di natura sabbioso ciottolosa (SW) di ambiente fluvio-lacustre (tf). Talora poggiano, a profondità generalmente superiori a 50 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto contrasto c.i.. Presenza di eventuali terreni di riporto sovrastanti.
Z8 (2008)	Copertura "pliocenica" costituita dall'alternanza di litotipi di natura sabbioso argillosa (SC) e di natura argilloso limosa (CL) di ambiente da fluvio-lacustre (tf) a costiero (sp-tm), dello spessore > 30,0-40,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Basso c.i..
Z9 (2009)	Copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) e ghiaioso argillosa (GC) di ambiente di versante (fd e cz) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 20,0 m, sovrastante copertura "pliocenica" costituita dall'alternanza di litotipi di natura sabbioso argillosa (SC) e di litotipi di natura argilloso limosa (CL) di ambiente fluvio-lacustre (tf) e costiero (sp-tm), dello spessore > 30,0-40,0 m. Talora poggiano, a profondità generalmente superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Basso c.i..
Z10 (2010)	Copertura "pliocenica" costituita dall'alternanza di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM), presenti in superficie e di litotipi di natura limoso argillosa (ML) di ambiente fluvio-lacustre (ca e dl) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..
Z11 (2011)	Copertura recente di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente da versante (ec) a fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, sovrastante copertura "pliocenica" costituita dall'alternanza di litotipi di natura limosa argillosa (ML) e di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio-lacustre (ca e dl) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..
Z12 (2012)	Copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 5,0 e 20,0 m sovrastante copertura "pliocenica" costituita dall'alternanza di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) e di litotipi di natura limosa argillosa (ML) di ambiente da fluvio-lacustre (dl e ca) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..

- Z13 (2013)** Copertura “pliocenica” costituita dall’alternanza di litotipi di natura limosa argillosa (ML), presenti in superficie, e di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio-lacustre (ca e dl) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..
- Z14 (2014)** Copertura recente di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente da versante (ec) a fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, sovrastante copertura “pliocenica” costituita dall’alternanza di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) e di litotipi di natura limoso argillosa (ML) di ambiente fluvio-lacustre (ca e dl) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..

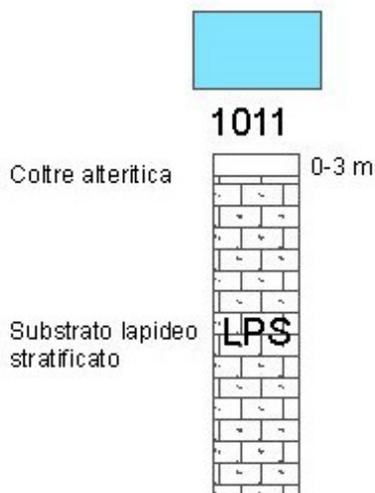
Zone di attenzione per le instabilita'

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).
ZACD	Cedimenti differenziali / crollo di cavità sotterranee / sinkhole.
ZAIID	Sovrapposizione di instabilità differenti.

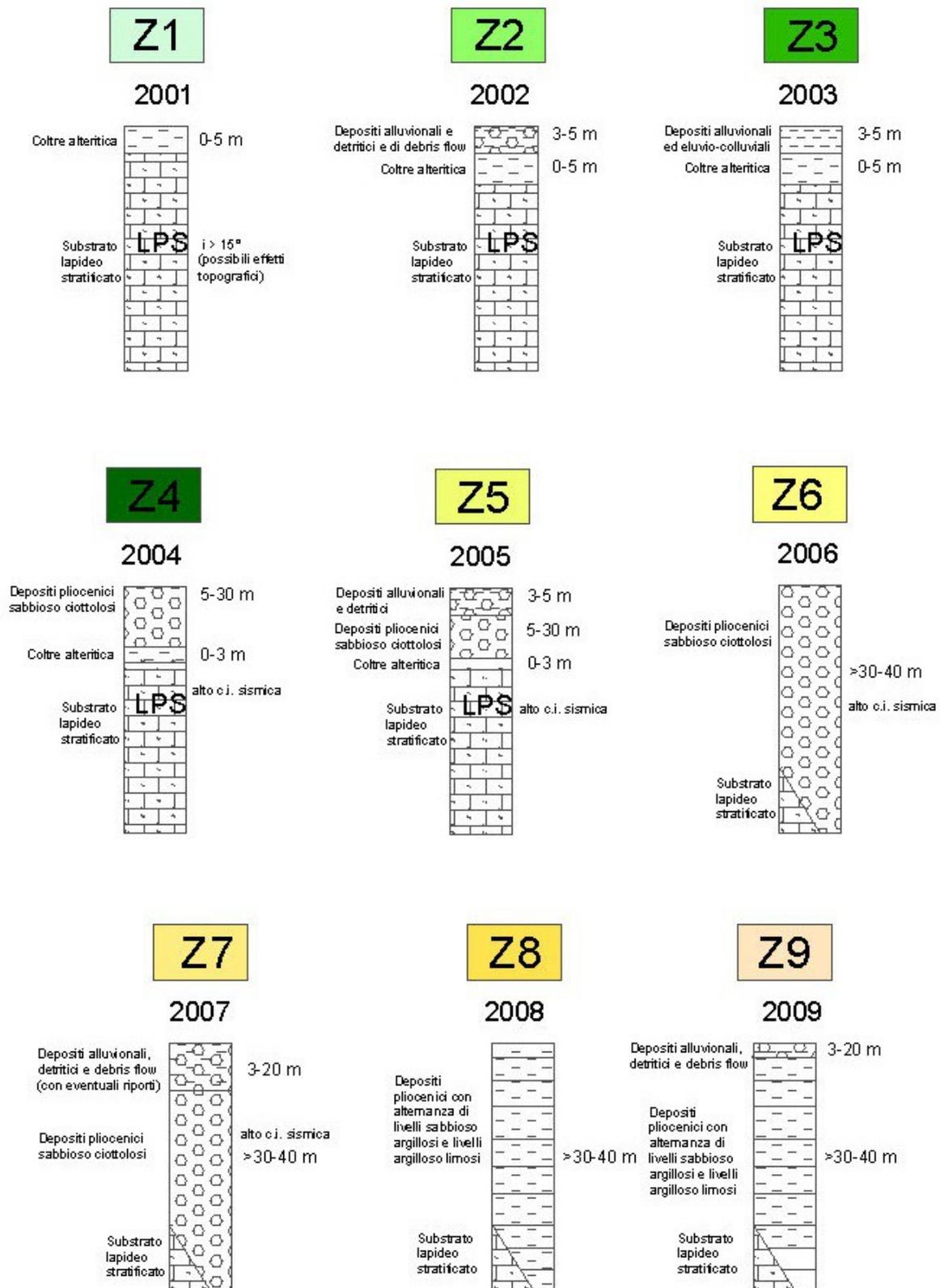
Sulla scorta delle considerazioni e verifiche riportate al paragrafo 2.6 non si ritengono presenti zone di attenzione di instabilità per fenomeni di liquefazione **ZALIQ**.

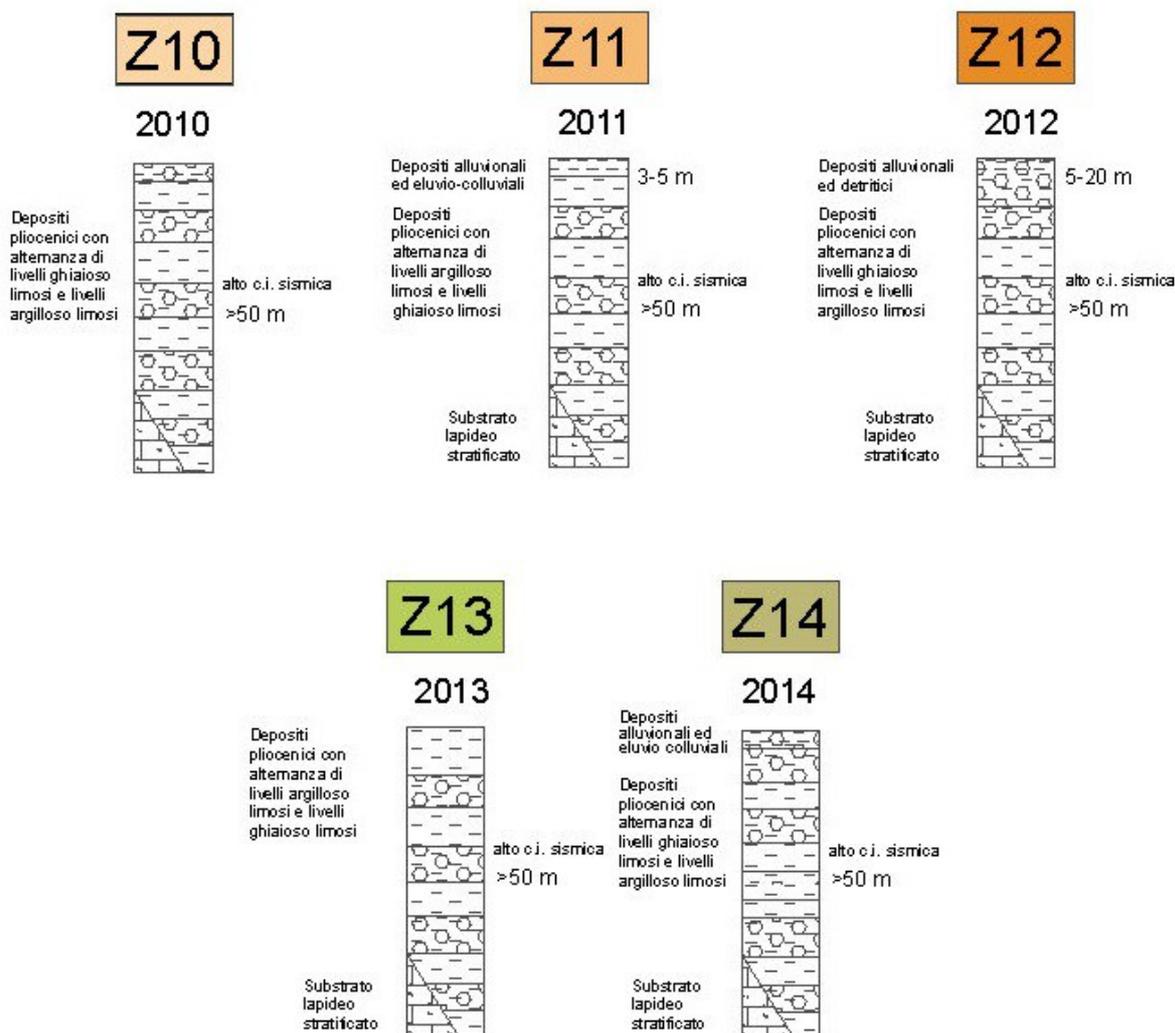
Di seguito vengono riportate graficamente le colonne sintetiche rappresentative delle suddette microzone, riportate anche nella specifica carta delle Mops.

ZONE STABILI



ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI





ELABORAZIONI DI LIVELLO 2

Per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 del territorio comunale di Capraia e Limite, 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.

Relativamente alla Carta delle Frequenze naturali dei depositi è stato confermato l'elaborato redatto per il Livello 1, in quanto non sono state eseguite 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 il fattore di amplificazione FA, ottenute tramite lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 effettuato.

In accordo con i referenti della Regione Toscana per meglio rappresentare gli effetti attesi sono state elaborate tre rappresentazioni cartografiche per ognuna delle zone studiate:

- la carta di microzonazione sismica per il fattore di amplificazione relativo al periodo compreso fra 0.1 e 0.5s,
- la carta di microzonazione sismica per il fattore di amplificazione relativo al periodo compreso fra 0.4 e 0.8s;
- la carta di microzonazione sismica per il fattore di amplificazione relativo al periodo compreso fra 0.7 e 1.1s;
- la carta di microzonazione sismica nella quale sono riportati i fattori di amplificazione massimi, carta quest'ultima propedeutica alla futura realizzazione della carta della pericolosità sismica.

Per detto elaborato le nuove indagini eseguite hanno confermato il modello geologico generale e quindi la classificazione delle microzone eseguita in fase di Livello 1; restano pertanto valide anche le sezioni litotecniche presentate nel precedente studio.

Pertanto, alle varie Zone, individuate in fase di primo livello, sono stati assegnati i valori del Fattore di Amplificazione, secondo le procedure indicate nella relazione esplicativa sull'utilizzo degli Abachi Regionali.

In termini metodologici si è proceduto:

- all'individuazione degli abachi relativi alla zona di interesse, corrispondente alla **Toscana Interna**;
- all'individuazione del valore di A_g (475 anni): è stata utilizzata la griglia dei valori indicati dall'INGV. Il territorio del Comune di Capraia e Limite ricade per la sua interezza in **$A_g < 0,125g$** ;
- alla verifica della profondità del substrato (nel caso in esame risulta **inferiore a 30,0 m** in località Castra e nei settori a nord dell'area di Limite sull'Arno, mentre **superiore a 30,0 m** nell'area di Limite sull'Arno e di Capraia Fiorentina);
- all'utilizzo degli abachi per l'assegnazione dei valori del fattore di amplificazione utilizzando i valori di V_{s30} o V_s equivalenti e di f_0 .

Sono quindi state effettuate le determinazioni dei valori del fattore di amplificazione per le aree oggetto di Microzonazione Sismica di Livello 2 nei siti d'indagine, con i risultati sintetizzati nella Carta di Microzonazione Sismica di Livello 2.

Per semplicità di lettura sono state prodotte quattro carte di cui le prime tre con i fattori di amplificazione relativi rispettivamente a $T_0 = 0.1-0.5s$, $T_0 = 0.4-0.8s$ e a $T_0 = 0.7-1.1s$; la quarta carta riporta i valori massimi relativi ad entrambi gli scenari.

Per l'assegnazione dei valori del fattore di amplificazione (FA) si precisa che i dati geofisici ottenuti dalle campagne di Microzonazione Sismica di Livello 1 e Livello 2 evidenziano in tutte le Finestre di Amplificazione calcolate (FA0.1-0.5, FA0.4-0.8 e FA0.7-1.1) delle particolarità dovute alla peculiarità del contesto geologico, già evidenziate negli studi di Microzonazione di Livello 1.

In particolare:

Per l'Intervallo 0.1-0.5s, con $A_g < 0.125g$ e profondità del substrato $< 30 m$ le zone Mops 1 e 2 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,3–1,4, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 > 8$ Hz e velocità delle onde $V_{sh} = 500$ m/s.

Le zone Mops 3, 4 e 5 presentano valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,5–1,6, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 = 3,5$ e $5,5$ Hz con velocità delle onde $V_{sh} = 500$ m/s.

Per l'Intervallo 0.4-0.8s, con $A_g < 0.125g$ e profondità del substrato $< 30\text{ m}$ le zone Mops 1, 2 e 4 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,1–1,2, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 > 8\text{ Hz}$ e $f_0 = 3,5\text{ Hz}$, con velocità delle onde $V_{sh} = 500\text{ m/s}$.

Le zone Mops 3 e 5 presentano valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,5–1,6, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 = 3,5$ con velocità delle onde $V_{sh} = 500\text{ m/s}$.

Per l'Intervallo 0.7-1.1s, con $A_g < 0.125g$ e profondità del substrato $< 30\text{ m}$ le zone Mops 1, 2, 3 e 4 mostrano valori di amplificazione ricadenti nell'intervallo 1,1–1,2, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 > 8\text{ Hz}$ e $f_0 = 3,5$ e $5,5\text{ Hz}$, con velocità delle onde $V_{sh} = 500\text{ m/s}$.

La zona Mops 5 presenta valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,5–1,6, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 = 3,5$ con velocità delle onde $V_{sh} = 500\text{ m/s}$.

Per l'Intervallo 0.1-0.5s, con $A_g < 0.125g$ e profondità del substrato $> 30\text{ m}$ le zone Mops 8, 11 e 12 presentano valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,1–1,2, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 < 1\text{ Hz}$ e con velocità delle onde V_{sh} pari a 300 e 500 m/s.

Le zone Mops 9 (settore sud di Limite sull'Arno), 10 e 14 presentano valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,3–1,4, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 > 8\text{ Hz}$, con velocità delle onde V_{sh} pari a 500 m/s, e valori medi di frequenza $f_0 = 1,5\text{ Hz}$ con velocità delle onde V_{sh} pari a 300 m/s.

Le zone Mops 6, 7, 9 (settore nord di Limite sull'Arno) e 12 presentano valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,7–1,8, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 = 2,5$ e $3,5\text{ Hz}$, con velocità delle onde V_{sh} pari a 300 m/s.

Per l'Intervallo 0.4-0.8s, con $A_g < 0.125g$ e profondità del substrato $> 30\text{ m}$ le zone Mops 10, 11, 13 e 14 presentano valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,1–1,2, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 < 1\text{ Hz}$, con velocità delle onde V_{sh} pari a 500 m/s, e valori medi di frequenza $f_0 > 8\text{ Hz}$, con velocità delle onde V_{sh} pari a 700 m/s.

La zona Mops 8 presenta valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,3–1,4, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 < 1\text{ Hz}$ e velocità delle onde V_{sh} pari a 300 m/s e valori medi di frequenza $f_0 = 6,5\text{ Hz}$, con velocità delle onde V_{sh} pari a 500 m/s.

La zona Mops 12 presenta valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,7–1,8, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 = 2,5$ e velocità delle onde V_{sh} pari a 500 m/s e valori medi di frequenza $f_0 = 3,5\text{ Hz}$, con velocità delle onde V_{sh} pari a 300 m/s.

Le zone Mops 6, 7 e 9 (nella sua interezza) presentano valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,9-2,0, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza f_0 pari a 1,5 e 2,5 Hz, con velocità delle onde V_{sh} pari a 300 m/s.

Per l'Intervallo 0.7-1.1s, con $A_g < 0.125g$ e profondità del substrato $> 30\text{ m}$ le zone Mops 10, 11, 13 e 14 presentano valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,1–1,2, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 < 1\text{ Hz}$, con velocità delle onde V_{sh} pari a 500 m/s, e valori medi di frequenza $f_0 > 8\text{ Hz}$, con velocità delle onde V_{sh} pari a 700 m/s.

Le zone Mops 6, 7, 8 e 9 (settore nord di Limite sull'Arno) presentano valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,5–1,6, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 < 1\text{ Hz}$ e $f_0 = 2,5$, con velocità delle onde V_{sh} pari a 300 m/s.

La zona Mops 12 presenta valori di amplificazione compresi nell'intervallo 1,7–1,8, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 = 3,5\text{ Hz}$, con velocità delle onde V_{sh} pari a 300 m/s.

La zona 9 (sette sud di Limite sull'Arno) presenta valori di amplificazione compresi nell'intervallo 2,1-2,2, considerando nell'abaco di riferimento valori medi di frequenza $f_0 = 1,5$ Hz, con velocità delle onde V_{sh} pari a 300 m/s.

Zone stabili

 FA = 1

Zone stabili suscettibili di amplificazione locale

 FA = 1,1 - 1,2

 FA = 1,3 - 1,4

 FA = 1,5 - 1,6

 FA = 1,7 - 1,8

 FA = 1,9 - 2,0

 FA = 2,1 - 2,2

Legenda delle carte di Microzonazione Sismica

Inoltre sono state valutate le **Zone di attenzione per instabilità** e in particolare le zone interessate dalla presenza di *instabilità di versante*, comprendenti le aree interessate da frane attive o quiescenti e le zone interessate da *cedimenti differenziali*, cioè quelle aree di contatto tra litotipi con caratteristiche molto diverse. Si tratta di un buffer di 40 metri posto al contatto tra i depositi detritico-alluvionali ed il substrato roccioso.

Sulla scorta delle verifiche alla *liquefazione* eseguite si ritiene ipotizzabile la non presenza di zone instabili per la possibilità di fenomeni di liquefazione.

Inoltre sono state riportate in carta le **zone di attenzione per la sovrapposizione di zone suscettibili di instabilità differenti**.

Si riportano di seguito le Microzone Sismiche individuate nello studio di Secondo Livello e la loro descrizione. (come presentate negli elaborati Tavole G.05, G.06 e G.07, in scala 1:5.000).

Zone stabili

ID	Fattore di Amplificazione e Descrizione Zona
STAB(1011)	Substrato lapideo stratificato, in assenza di copertura (spessori generalmente inferiori ai 3,0 m) con $i < 15^\circ$ e basso c.i.
	FA 0,1-0,5 1,0
	FA 0,4-0,8 1,0
	FA 0,7-1,1 1,0

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

ID	Fattore di Amplificazione e Descrizione Zona
Z1 (2001)	Substrato lapideo stratificato (LPS) con coltre di alterazione $< 5,0$ m, $i > 15^\circ$, basso c.i. <i>Profondità substrato $< 30,0$ m; Ag $< 0,125$g</i>

- FA 0,1-0,5 1,3
FA 0,4-0,8 1,2
FA 0,7-1,1 1,2
- Z2 (2002)** Copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) e ghiaioso argillosa (GC) di ambiente di versante (fd e cz) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, sovrastante un substrato lapideo stratificato (LPS) con coltre di alterazione < 5,0 m, basso c.i..
Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,125g
FA 0,1-0,5 1,3
FA 0,4-0,8 1,1
FA 0,7-1,1 1,1
- Z3 (2003)** Copertura recente di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (ec) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, sovrastante un substrato lapideo stratificato (LPS) con coltre di alterazione < 5,0 m, basso c.i..
Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,125g
FA 0,1-0,5 1,6
FA 0,4-0,8 1,5
FA 0,7-1,1 1,2
- Z4 (2004)** Copertura “pliocenica” costituita da litotipi di natura sabbioso ciottolosa (SW) di ambiente fluvio-lacustre (tf), dello spessore compreso tra 5,0 e 30,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS), con spessore di coltre di alterazione < 3,0 m, alto c.i..
Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,125g
FA 0,1-0,5 1,6
FA 0,4-0,8 1,2
FA 0,7-1,1 1,1
- Z5 (2005)** Copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) e ghiaioso argillosa (GC) di ambiente di versante (fd e cz) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, poggiante su copertura “pliocenica” costituita da litotipi di natura sabbioso ciottolosa (SW) di ambiente fluvio-lacustre (tf), dello spessore compreso tra 5,0 e 30,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS), con spessore di coltre di alterazione < 3,0 m, alto c.i..
Profondità substrato < 30,0 m; Ag < 0,125g
FA 0,1-0,5 1,6
FA 0,4-0,8 1,5
FA 0,7-1,1 1,5
- Z6 (2006)** Copertura “pliocenica” costituita da litotipi di natura sabbioso ciottolosa (SW) di ambiente fluvio-lacustre (tf), dello spessore > 30,0-40,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori a 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..
Profondità substrato > 30,0 m; Ag < 0,125g
FA 0,1-0,5 1,7
FA 0,4-0,8 2,0
FA 0,7-1,1 1,6
- Z7 (2007)** Copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) e ghiaioso limosa (GC) di ambiente di versante (fd e cz) e fluvio-lacustre (es), sovrastante copertura “pliocenica” costituita da litotipi di natura sabbioso ciottolosa (SW) di ambiente fluvio-lacustre (tf). Talora poggiano, a profondità superiori a 50 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto contrasto c.i..
Presenza di eventuali terreni di riporto sovrastanti.
Profondità substrato > 30,0 m; Ag < 0,125g
FA 0,1-0,5 1,7
FA 0,4-0,8 2,0
FA 0,7-1,1 1,6
- Z8 (2008)** Copertura “pliocenica” costituita dall'alternanza di litotipi di natura sabbioso argillosa (SC) e di natura argilloso limosa (CL) di ambiente da fluvio-lacustre (tf) a costiero (sp-tm), dello spessore > 30,0-40,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Basso c.i..
Profondità substrato > 30,0 m; Ag < 0,125g
FA 0,1-0,5 1,1
FA 0,4-0,8 1,4
FA 0,7-1,1 1,5
- Z9 (2009)** Copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) e ghiaioso argillosa (GC) di ambiente di versante (fd e cz) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, sovrastante copertura “pliocenica” costituita dall'alternanza di litotipi di natura sabbioso argillosa (SC) e di litotipi di natura argilloso limosa (CL) di ambiente fluvio-lacustre (tf) e costiero (sp-tm),

dello spessore > 30,0-40,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Basso c.i..

Profondità substrato > 30,0 m; Ag < 0,125g

FA 0,1-0,5 1,7 (settore nord di Limite)
1,4 (settore sud di Limite)
FA 0,4-0,8 2,0 (settore nord di Limite)
1,9 (settore sud di Limite)
FA 0,7-1,1 1,6 (settore nord di Limite)
2,1 (settore sud di Limite)

Z10 (2010) Copertura “pliocenica” costituita dall’alternanza di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM), presenti in superficie e di litotipi di natura limoso argillosa (ML) di ambiente fluvio-lacustre (ca e dl) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..

Profondità substrato > 30,0 m; Ag < 0,125g

FA 0,1-0,5 1,3
FA 0,4-0,8 1,2
FA 0,7-1,1 1,2

Z11 (2011) Copertura recente di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente da versante (ec) a fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, sovrastante copertura “pliocenica” costituita dall’alternanza di litotipi di natura limosa argillosa (ML) e di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio-lacustre (ca e dl) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..

Profondità substrato > 30,0 m; Ag < 0,125g

FA 0,1-0,5 1,1
FA 0,4-0,8 1,2
FA 0,7-1,1 1,2

Z12 (2012) Copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 5,0 e 20,0 m sovrastante copertura “pliocenica” costituita dall’alternanza di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) e di litotipi di natura limosa argillosa (ML) di ambiente da fluvio-lacustre (dl e ca) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..

Profondità substrato > 30,0 m; Ag < 0,125g

FA 0,1-0,5 1,8
FA 0,4-0,8 1,7
FA 0,7-1,1 1,7

Z13 (2013) Copertura “pliocenica” costituita dall’alternanza di litotipi di natura limosa argillosa (ML), presenti in superficie, e di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio-lacustre (ca e dl) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..

Profondità substrato > 30,0 m; Ag < 0,125g

FA 0,1-0,5 1,1
FA 0,4-0,8 1,2
FA 0,7-1,1 1,2

Z14 (2014) Copertura recente di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente da versante (ec) a fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, sovrastante copertura “pliocenica” costituita dall’alternanza di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) e di litotipi di natura limoso argillosa (ML) di ambiente fluvio-lacustre (ca e dl) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..

Profondità substrato > 30,0 m; Ag < 0,125g

FA 0,1-0,5 1,3
FA 0,4-0,8 1,2
FA 0,7-1,1 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).

ZACD Cedimenti differenziali / crollo di cavità sotterranee / sinkhole.

ZAID Sovrapposizione di instabilità differenti.

Sulla scorta delle considerazioni e verifiche riportate al paragrafo 2.6 non si ritengono presenti zone di attenzione di instabilità per fenomeni di liquefazione **ZALIQ**.

Di seguito, al fine di una migliore valutazione delle procedure che hanno portato alla specifica assegnazione dei valori del fattore di amplificazione precedentemente definiti, per ciascuna area di indagine vengono presentate delle specifiche tabelle in cui vengono indicate le condizioni al contorno (valore di A_g di riferimento – $A_g < 0,125$ e profondità del substrato - $> 0 < 30,0$ m dal p.c.) e le Zone riconosciute; e, per ciascuna zona individuata, vengono presentati i risultati di tutte le misure HVSr (valore di F_0) e delle indagini lineari (valore di V_s) eseguiti, nonché i valori dei fattori di amplificazione nei periodi 0,1-0,5s, 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

Si precisa che per le Zone prive di specifiche indagini sismiche di tipo Hvsr o lineari i fattori di amplificazione sono stati ricavati in funzione dei risultati delle indagini sismiche eseguiti in aree limitrofe aventi successione stratigrafica simile e/o interpretate sulla scorta dei risultati delle indagini sismiche eseguite in contesti geologici analoghi ma in aree a diverso A_g di riferimento.

Inoltre si specifica che laddove, soprattutto con riferimento alla profondità del substrato lapideo e quindi dell'eventuale previsto contrasto di impedenza sismica, vi sia discordanza tra i dati di sismica di superficie (in particolari prove Hvsr) e le risultanze delle terebrazioni geognostiche (in particolare sondaggi a carotaggio continuo) è stato data maggior importanza nell'interpretazione del sottosuolo della specifica area alle risultanze delle indagini geognostiche dirette (sondaggi a carotaggio continuo).

Infine, si precisa che per le zone stabili è stato attribuito un fattore di amplificazione di 1,0 per tutti gli intervalli di riferimento (0,1-0,5s, 0,4-0,8s e 0,7-1,1s), indipendentemente dal relativo valore di A_g di riferimento.

CASTRA – ABACO < 0.125g								
ZONA	Indagini Puntuali	Indagini Lineari	Profondità Substrato	Vseq/30 (m/s)	HVSr (Hz)	Fa (0.1-.5s)	Fa (0.4-0.8s)	Fa (0.7-1.1s)
2001	P2 P3	L1	< 30m	500	> 8	1.3	1.2	
2002	Non sono presenti indagini puntuali e lineari		< 30m	500	> 8	1.3	1.1	

LIMITE SULL'ARNO – ABACO < 0.125g								
ZONA	Indagini Puntuali	Indagini Lineari	Profondità Substrato	Vseq/30 (m/s)	HVSr (Hz)	Fa (0.1-.5s)	Fa (0.4-0.8s)	Fa (0.7-1.1s)
2001	P4	L20 L21	< 30m	500	> 8	1.3	1.2	
2002	P87	L20 L21	< 30m	500	> 8	1.3	1.1	
2003	P4 P20 P87	L21	< 30m	500	3.5	1.6	1.5	1.2
2004	P6	L3	< 30m	500	5.5	1.6	1.2	1.1
2005	Non sono presenti indagini puntuali e lineari		< 30m	500	3.5	1.6	1.5	
2006	P7 P86	L3	> 30m	300	2.5	1.7	2	1.6
2007	P6 P11 P15 P17 P74 P75 P76 P77 P90 P91	L3 L5 L17 L18	> 30m	300	2.5	1.7	2	1.6
2008	P10 P89	L20	> 30m	300	< 1	1.1	1.4	1.5
2009 (settore nord)	P13 P78 P79 P80 P81 P85	L4 L13 L16	> 30m	300	2.5	1.7	2.0	1.6

2009 (settore sud)	P18 P82 P83 P84	L15	> 30m	300	1,5	1.4	1.9	2.1
------------------------------	--------------------	-----	-------	------------	------------	------------	------------	------------

CAPRAIA FIORENTINA – ABACO < 0.125g								
ZONA	Indagini Puntuali	Indagini Lineari	Profondità Substrato	Vseq/30 (m/s)	HVSR (Hz)	Fa (0.1-.5s)	Fa (0.4-0.8s)	Fa (0.7-1.1s)
2010	Non sono presenti indagini puntuali e lineari		> 30m	700	>8	1.3	1.2	
2011	P72	Non sono presenti indagini lineari	> 30m	500	<1	1.1	1.2	
2012	P19 P21 P22 P63 P64 P65 P66 P67 P71 P93 P92	L2 L7 L11 L12 L14	> 30m	300	3.5	1.8	1.7	
2013	Non sono presenti indagini puntuali e lineari		> 30m	500	<1	1.1	1.2	
2014	P24 P68 P70 P72	L6 L8 L9	> 30m	700	>8	1.3	1.2	

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.

LIMITE SULL'ARNO

(vedi tavv. G.01, G.02, G.03, G.04, G.05, G.06 e G.07 in scala 1:5.000 e G.08 in scala 1:2.000)

Inquadramento geologico e geomorfologico

L'area su cui sorge l'abitato di Limite è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili ai depositi alluvionali recenti (b) e terrazzati (bn), questi ultimi affioranti limitatamente al settore a nord della località Molino della Rotta. Questi poggiano sui depositi marini di età pliocenico del Bacino dell'Elsa – Pesa e Cerreto Guidi (litofacies argillosa e litofacies sabbiosa della formazione delle Argille e Sabbie di Cerreto Guidi – ACOa e ACOs e formazione delle Sabbie e Conglomerati di S.Ansano – SBS), che costituiscono i terreni presenti nei rilievi collinari attorno all'abitato di Limite.

Talora al di sopra dei suddetti depositi marini si rinvengono litologie sempre di età pliocenica attribuibili ai depositi marino transizionali della formazione delle Argille limoso torbose di Toiano (ATO).

Nel settore orientale dell'areale i depositi riferibili alle litofacies delle Argille e Sabbie di Cerreto Guidi (ACOs e ACOa) e alle Sabbie e Conglomerati di S.Ansano (SBS) vengono sostituiti dalle litofacies ciottoloso sabbiosa (Ms) e limoso argillosa (Ma) del Sintema di San Miniato.

Nei settori settentrionali dell'areale di studio in corrispondenza dei rilievi circostanti il corso del Rio Ratto e del Rio del Pescaione si ha la presenza delle litologie attribuibili alla Falda Toscana e riferibili alla formazione del Macigno (MAC).

In alcuni settori delle zone collinari e pedecollinari si ha la presenza di depositi riferibili a corpi di frana (a1), a depositi di natura eluvio-colluviale (b2a), detritica (a) e depositi da debris flow e mud flow (b4).

Il quadro geomorfologico è caratterizzato dalla presenza di fenomenologie gravitative il cui stato di attività appare da attivo a quiescente e completato dalla presenza di una serie di scarpate di erosione attive e non attive di altezza sia inferiore che superiore ai 20,0 ml e di rotture di pendio. Sono presenti, inoltre, areali con fenomeni di soliflusso localizzato e a franosità diffusa.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia che il settore su cui sorge la maggior parte delle abitazioni presenta una acclività bassa dei versanti (pendenze comprese tra 0% e 10%), mentre le pendenze aumentano (pendenze comprese generalmente tra 10% e 25%) nei settori esterni del centro abitato. Pendenze ulteriormente acclivi (comprese tra 25% e 35%, ma anche superiori al 35%) si rilevano nei settori esterni alle aree abitate e in particolar modo nei settori interessati da fenomenologie franose e calanchive in corrispondenza del corso del Fiume Arno, come ad esempio presso la località I Paci e Il Confine, e dei corsi d'acqua minori.

Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse

Per l'area di Limite sull'Arno 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.

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

- n. 25 sondaggi geognostici a carotaggio continuo di cui n. 11 strumentati con tubo piezometrico, n. 2 strumentati con canna inclinometrica e n. 1 strumentato con tubo per prova down-hole, con le relative risultanze stratigrafiche e talora geotecniche di laboratorio;
- n. 2 trincee esplorative;
- n. 1 terebrazione per pozzo;
- n. 49 prove penetrometriche di cui n. 42 prove penetrometriche statiche e n. 7 prove penetrometriche dinamiche pesanti o leggere;
- n. 1 indagine di sismica in foro di tipo down-hole;
- n. 1 prospezione di sismica a rifrazione con tecnica MASW.

In corrispondenza dell'abitato di Limite sull'Arno sono inoltre stata effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 è stata svolta specificatamente una campagna di indagini geofisiche consistente in n. 1 indagine di sismica a rifrazione in onde P e Sh, n. 3 prove con metodo ESAC, n. 3 prospezioni di sismica a rifrazione con tecnica MASW e in n. 19 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSR).

Mentre per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 1 indagine di sismica a rifrazione in onde P e Sh, n. 6 indagini di sismica tipo MASW, n. 5 indagini di array sismico tipo ESAC e n. 17 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSR).

Modello geologico del sottosuolo

Il substrato geologico su cui sorge l'abitato di Limite risulta costituito, per la maggior parte dell'abitato e dei rilievi collinari circostanti, dai terreni riconducibili ai depositi marini di età pliocenico del Bacino dell'Elsa – Pesa e Cerreto Guidi. In particolare gli areali orientali, in destra del corso del Borro del Pescaione, vedono la presenza di litologie riferibili alla formazione delle Sabbie e Conglomerati di S. Ansano (SBS), mentre gli areali occidentali dalla presenza di litologie riferibili alle litofacies della formazione delle Argille e Sabbie di Cerreto

Guidi (ACOs e ACOa). Negli areali di fondovalle, le suddette formazioni sono sormontate da spessori metrici di depositi alluvionali recenti (b) e secondariamente terrazzati (bn).

Nell'estremo settore orientale dell'areale di Limite, in prossimità della località La Striscia i depositi alluvionali poggiano sulle litofacies ciottoloso sabbiosa (Ms) e limoso argillosa (Ma) del Sintema di San Miniato.

Nel settore della località Paradiso i depositi riferibili alle litofacies delle Argille e Sabbie di Cerreto Guidi (ACOa e ACOs) sono sormontati dalle litologie attribuite alla formazione delle Argille limoso torbose di Toiano (ATO).

Mentre nei settori settentrionali dell'areale di studio in corrispondenza dei rilievi circostanti il corso del Rio Ratto, a nord della località Volpaia, e del Rio del Pescaione, tra le località di Molino della Rotta e di Buca del Molino, si ha la presenza delle litologie attribuibili alla Falda Toscana e riferibili alla formazione del Macigno (MAC).

I settori in corrispondenza delle fasce pedecollinari e/o i settori a pendenza maggiore che circoscrivono gli areali laddove sorgono gli abitati vedono la presenza di depositi detritici (a), di coltri eluvio colluviali (b2a) e di spessori metrici di depositi riferibili a coltri di frana (a1 e a2). Inoltre in corrispondenza delle incisioni e delle aree di scarpata dei settori collinari tra le località di buca del Molino e di Molino della Rotta si ha la presenza di depositi da debris flow e mud flow (b4).

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 recenti sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GMes (Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre - argine/barre/canali) i terreni riferibili ai depositi alluvionali recenti (b), all'unità geologico-tecnica SMes (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre - argine/barre/canali) i terreni riferibili ai depositi alluvionali terrazzati (bn), all'unità geologico-tecnica GCcz (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente genetico di versante - conoide di deiezione) i depositi di debris flow e di mud flow (b4), all'unità geologico-tecnica GMfd (ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico di versante - falda detritica) i corpi di natura detritica (a) e, infine, all'unità geologico-tecnica SMec (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico di versante - eluvi/colluvi) i depositi eluvio-colluviali (b2a).

Per quanto riguarda i terreni di copertura di età plio-pleistocenica sono state eseguite le seguenti attribuzioni:

- all'unità geologico-tecnica CLtf (argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre ambiente genetico fluvio lacustre - terrazzo fluviale) corrispondono i depositi argilloso limosi delle Argille limoso torbose di Toiano (ATO).

- all'unità geologico-tecnica SCsp-tm (sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla di ambiente genetico costiero - da spiaggia a terrazzo marino) corrispondono i depositi sabbioso delle Argille e Sabbie di Cerreto Guidi (ACOs).

- all'unità geologico-tecnica CLsp-tm (argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di ambiente genetico costiero - da spiaggia a terrazzo marino) corrispondono i depositi argillosi delle Argille e Sabbie di Cerreto Guidi (ACOa).

- all'unità geologico-tecnica SWtf (sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose di ambiente genetico fluvio lacustre - terrazzo fluviale) a cui sono riferiti i depositi sabbiosi con lenti conglomeratiche delle Sabbie e Conglomerati di S.Ansano (SBS).

Per i terreni riferibili al substrato geologico sono stati attribuiti all'unità geologico tecnica LPS (substrato geologico costituito da formazioni lapidee, stratificate) i terreni appartenenti alla formazione del Macigno (MAC).

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi attivi e quiescenti, nonché gli orli di scarpata morfologica e le creste morfologiche.

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 rigido raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato rigido.

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 dettaglio precedentemente descritto e da n. 36 misure HVSR di cui n. 28 classificate in classe A1, n. 7 classificata in A2 e n. 1 classificata in classe B2 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 Limite sono state eseguite n. 36 misure di sismica passiva con metodo HVSR nell'ambito dello studio in oggetto.

Le prove P18, P83, P84 e P89 eseguite presso la località La Fornace o non mostrano la presenza di picchi significativi (prove P84 e P89) o mostrano bassi contrasti di impedenza (A_0 compresi tra 2,11 e 2,14).

Presso la prove P83 è stata eseguita l'indagine Masw L15, associata alla prove Esac P55, da cui si ricava un valore di $V_{s30} = 235,5$ m/s.

Anche le indagini svolte in corrispondenza del nucleo storico dell'abitato di Limite sull'Arno (prove P81 e P82) non hanno mostrato picchi di frequenza (prova P82) o alti valori di contrasto di impedenza (prova P81 con $A_0 = 2,44$).

In prossimità della prova P81 è stata eseguita l'indagine Masw L16, associata alla prove Esac P56, da cui si ricava un valore di $V_{s30} = 244$ m/s.

Nei rilievi collinari a monte di suddetto areale la prova P12 ha mostrato anch'essa bassi contrasti di impedenza ($A_0 = 2,31$) ad alte profondità ($f_0 = 0,55$ Hz).

Nel settore della prova P12 è stata svolta una prova Masw (L13) che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 2,5 m avente $V_s = 137$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 5,3 m con $V_s = 251$ m/s, un terzo sismostrato dello spessore di circa 10,0 m con $V_s = 516$ m/s e un quarto, ed ultimo sismostrato, investigato per circa 14,0 m con $V_s = 695$ m/s; da cui si ricava un valore di $V_{s30} = 392$ m/s.

Presso l'area cimiteriale sono state eseguite le prove P13, P14, P79, P80, P85; queste mostrano nell'interezza picchi di frequenza a profondità maggiori di 30,0 m dal p.c. (f_0 compresi tra 1,81 e 2,93 Hz) e bassi contrasti di impedenza (A_0 compresi tra 2,18 e 2,74, ad eccezione della prova P13 che ha registrato una $A_0 = 3,15$).

Nella medesima area la prova Masw L4, associata ad una prova Esac (P121), hanno mostrato la presenza di un primo sismostrato di 3,0 m di spessore avente $V_s = 203$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 16,0 m con $V_s = 237$ m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 11,0 m con $V_s = 285$ m/s e un quarto e ultimo sismostrato avente $V_s = 500$ m/s, investigato per circa 50 cm; da cui si ricava un valore di $V_{s30} = 244$ m/s.

Nei rilievi collinari a monte di suddetto areale la prova P10 ha mostrato anch'essa bassi contrasti di impedenza ($A_0 = 1,7$) ad alte profondità ($f_0 = 0,59$ Hz).

In un simile contesto geologico le prove P9 e P78, eseguite nei settori di fondovalle della porzione nord dell'abitato di Limite sull'Arno, hanno mostrato bassi contrasti di impedenza (A_0 rispettivamente pari a 2,53 e 2,39) con picchi di frequenza compresi tra 1,31 Hz e 2,77 Hz.

Nei rilievi collinari a monte della porzione nord dell'abitato di Limite sull'Arno le prove P7, P8 e P86 hanno mostrato alti contrasti di impedenza (A_0 compresi tra 3,09 e 3,73) con picchi a varie frequenze (rispettivamente uguali a 1,48 Hz, 13,13 Hz e 2,34 Hz).

Nei settori di fondovalle, presso la porzione orientale dell'abitato di Limite sull'Arno, presso l'area del campo sportivo e presso l'area dell'area produttiva de La Mollaia le prove P6, P11, P15, P17, P19, P76 e P90 hanno mostrato alti contrasti di impedenza (A_0 comprese tra 3,13 e 4,72) con picchi di frequenza generalmente compresi tra 2,0 e 3,0 Hz.

Medesime frequenze ma ampiezze leggermente inferiori (A_0 comprese tra 2,24 e 2,84) sono state riconosciute dalle prove P16, P73, P74, P75, P77 e P91.

Nel settore della località La Striscia, in prossimità della prova P19 sono state eseguite n. 1 prova Masw (L22) associata ad una prova Esac (P119) e n. 1 indagine di sismica a rifrazione (L2).

Le prove Masw ed Esac hanno mostrato la presenza di un primo sismostrato sino a 6,2 m dal p.c. avente $V_s = 162$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 8,1 m con $V_s = 282$ m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 10,0 m con $V_s = 379$ m/s, un quarto sismostrato dello spessore di 15,0 m con $V_s = 556$ m/s e un quinto e ultimo sismostrato avente $V_s = 728$ m/s, investigato per 6,0 m; da cui si ricava un valore di $V_{s30} = 290$ m/s.

La prova di sismica a rifrazione (L2) ha ricavato una successione sismostratigrafica che presenta un primo sismostrato dello spessore compreso tra circa 7,0 e 10,0 m con V_s compreso tra 164 e 179 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore variabile tra circa 15,0 e 20,0 m con V_s compreso tra 311 e 380 m/s e un terzo sismostrato con V_s comprese tra 595 e 756 m/s.

Presso la prova P73 è stata eseguita la prova Masw L18, associata alla prova P58, da cui è stato ricavato un valore di $V_{s30} = 229,4$ m/s.

Nell'area prossima al campo sportivo è stata svolta una prova Masw (L5) associata ad una prova Esac (P57).

Tali indagini hanno mostrato la presenza di un primo sismostrato sino a 5,7 m dal p.c. avente $V_s = 160$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 7,7 m con $V_s = 290$ m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 6,0 m con $V_s = 285$ m/s, un quarto sismostrato dello spessore di 6,9 m con $V_s = 353$ m/s e un quinto e ultimo sismostrato avente $V_s = 523$ m/s, investigato per 3,8 m; da cui si ricava un valore di $V_{s30} = 274$ m/s.

Nel settore della prova P6, lungo il corso del Rio Ratto a nord della località Volpaia, è stata eseguita una prova sismica di tipo down-hole (P102) che ha ricavato una successione sismostratigrafica che presenta un primo sismostrato dello spessore di 2,0 m con $V_s = 180$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 6,0 m con $V_s = 343$ m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 4,0 m con $V_s = 413$ m/s, un quarto sismostrato dello spessore di 5,0 m con $V_s = 642$ m/s e un quinto e ultimo sismostrato, investigato per 4,0 m, avente $V_s = 800$ m/s. Infine, nei settori settentrionale dell'areale di indagine, lungo il corso del Rio dei Bovi, sono state eseguito le prove P4, P5, P20, P87 e P88.

La prova P4 eseguita nei settori collinari mostra un picco di frequenza a 3,69 Hz cpon ampiezza $A_0 = 2,3$, mentre le prove eseguite nel fondovalle (prove P5, P20 e P87) mostrano generalmente ampiezze con un valore

attorno a 3 (valori compresi tra 2,89 e 3,04) e frequenze comprese tra 2,0 e 3,0 Hz, ad eccezione della prova P88 che non ha registrato alcun picco significativo.

Nel settore della prova P20 è stata svolta una prova Masw (L3) associata ad una prova Esac (P120), che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato sino a 3,4 m dal p.c. avente $V_s = 147$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 2,5 m con $V_s = 416$ m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 2,9 m con $V_s = 428$ m/s e un quarto e ultimo sismostrato avente $V_s = 559$ m/s, investigato per 21,0 m; da cui si ricava un valore di $V_{s30} = 407$ m/s.

Ad ovest delle prove P5 e P87 sono state svolte la prova Masw (L20) e la stesa di sismica a rifrazione L21.

La stesa di sismica a rifrazione ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di circa 10,0 m avente V_s comprese tra 286 e 346 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore compreso tra 20,0 e 25,0 m con V_s comprese tra 545 e 599 m/s, a cui segue un terzo sismostrato con V_s comprese tra 820 e 890 m/s.

La prova Masw L20 ha permesso di ricavare un valore di $V_{sEq} = 450,2$ m/s.

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

Zone stabili

- **STAB (1011)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con assenza di copertura o presenza di spessori inferiori ai 3,0 m con $i < 15^\circ$ e basso c. i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della formazione del Macigno (MAC).

Sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P4) e data la successione stratigrafica rilevata si evince che tali settori non presentano alti contrasti di impedenza sismica.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,0 per tutti gli intervalli di riferimento (0,1-0,5s, 0,4-0,8s e 0,7-1,1s).

La zona viene individuata nella porzione settentrionale dell'area di indagine di Limite sull'Arno in corrispondenza delle località La Buca del Molino e Podere delle Nicchie.

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 (LPS), con copertura di origine alteritica $< 5,0$ m, $i > 15^\circ$, c.i. basso.

Data la successione stratigrafica rilevata e sulla scorta dello studio sismico complessivo 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 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,2 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nella porzione settentrionale dell'area di indagine di Limite in corrispondenza delle località La Buca del Molino e Podere delle Nicchie.

- **zona 2 (2002)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha una copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) e ghiaioso argillosa (GC) di ambiente di versante (fd e cz) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, sovrastante un substrato lapideo stratificato (LPS) con coltre di alterazione $< 5,0$ m, basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata e sulla scorta dello studio sismico complessivo 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 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nella porzione settentrionale dell'area di indagine di Limite sull'Arno presso la località La Buca del Molino, tra questa e Molino della Botta e a nord e nord-ovest di Podere delle Nicchie.

- **zona 3 (2003)**: questa zona comprende le aree nelle quali è presente una copertura recente di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente di versante (ec) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, sovrastante un substrato lapideo stratificato (LPS) con coltre di alterazione < 5,0 m, basso c.i..

Sulla scorta dei risultati di alcune indagini sismiche eseguite (P20 e P87) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,6 per l'intervallo 0,1-0,5s, un fattore di amplificazione di 1,5 per l'intervallo 0,4-0,8s e un fattore di amplificazione di 1,2 per l'intervallo 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in settori isolati nella porzione settentrionale dell'area di indagine di Limite sull'Arno, tra le località La Buca del Molino e Molino della Botta.

- **zona 4 (2004)**: questa zona comprende le aree nelle quali è presente una copertura "pliocenica" costituita da litotipi di natura sabbioso ciottolosa (SW) di ambiente fluvio-lacustre (tf), dello spessore compreso tra 5,0 e 30,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS), con spessore di coltre di alterazione < 3,0 m, alto c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata e sulla scorta dello studio sismico complessivo si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,6 per l'intervallo 0,1-0,5s, un fattore di amplificazione di 1,2 per l'intervallo 0,4-0,8s e un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nei settori collinari presenti presso la località Podere delle Nicchie, ad est della stessa e a ovest /sud-ovest di La Buca del Molino.

- **zona 5 (2005)**: questa zona comprende le aree nelle quali è presente una copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) e ghiaioso argillosa (GC) di ambiente di versante (fd e cz) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, poggiante su copertura "pliocenica" costituita da litotipi di natura sabbioso ciottolosa (SW) di ambiente fluvio-lacustre (tf), dello spessore compreso tra 5,0 e 30,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS), con spessore di coltre di alterazione < 3,0 m, alto c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata e sulla scorta dello studio sismico complessivo si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,6 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,5 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nei settori di fondovalle presso il corso del Rio di Botricello e del Rio Ratto e nei settori collinari a banda a ovest delle località La Buca del Molino e Molino della Botta.

- **zona 6 (2006)**: questa zona comprende le aree nelle quali è presente una copertura "pliocenica" costituita da litotipi di natura sabbioso ciottolosa (SW) di ambiente fluvio-lacustre (tf), dello spessore > 30,0-40,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori a 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..

Sulla scorta dei risultati di alcune indagini sismiche eseguite (P7 e P86) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,7 per l'intervallo 0,1-0,5s, un fattore di amplificazione di 2,0 per l'intervallo 0,4-0,8s e un fattore di amplificazione di 1,6 per l'intervallo 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nei settori collinari presenti a nord-est dell'abitato di Limite sull'Arno tra il Rio del Pescaione e Rio di Botricello.

- **zona 7 (2007)**: questa zona comprende le aree nelle quali è presente una copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) e ghiaioso limosa (GC) di ambiente di versante (fd e cz) e fluvio-lacustre (es), sovrastante copertura “pliocenica” costituita da litotipi di natura sabbioso ciottolosa (SW) di ambiente fluvio-lacustre (tf). Talora poggiano, a profondità superiori a 50 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto contrasto c.i.. Presenza di eventuali terreni di riporto sovrastanti.

Sulla scorta dei risultati di alcune indagini sismiche eseguite (P6, P11, P15, P17, P19, P76 e P90) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,7 per l'intervallo 0,1-0,5s, un fattore di amplificazione di 2,0 per l'intervallo 0,4-0,8s e un fattore di amplificazione di 1,6 per l'intervallo 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nei settori di fondovalle della porzione orientale dell'abitato di Limite, lungo i corsi d'acqua del Rio del Pescaione, del Rio di Botricello e del Rio Ratto, in alcuni settori collinari a nord-est di Limite sull'Arno e in alcuni settori ad est della località Molino della Botta e a est della località Volpaia.

- **zona 8 (2008)**: questa zona comprende le aree nelle quali è presente una copertura “pliocenica” costituita dall'alternanza di litotipi di natura sabbioso argillosa (SC) e di natura argilloso limosa (CL) di ambiente da fluvio-lacustre (tf) a costiero (sp-tm), dello spessore > 30,0-40,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Basso c.i..

Sulla scorta dei risultati di alcune indagini sismiche eseguite (P10 e P12) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,1-0,5s, un fattore di amplificazione di 1,4 per l'intervallo 0,4-0,8s e un fattore di amplificazione di 1,5 per l'intervallo 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nei settori collinari presenti a ovest e nord-ovest dell'abitato di Limite sull'Arno.

- **zona 9 (2009)**: questa zona comprende le aree nelle quali è presente una copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) e ghiaioso argillosa (GC) di ambiente di versante (fd e cz) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, sovrastante copertura “pliocenica” costituita dall'alternanza di litotipi di natura sabbioso argillosa (SC) e di litotipi di natura argilloso limosa (CL) di ambiente fluvio-lacustre (tf) e costiero (sp-tm), dello spessore > 30,0-40,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Basso c.i..

Sulla scorta dei risultati di alcune indagini sismiche eseguite (P5, P14, P18, P78, P79, P80, P81, P82, P83, P84, P85 e P88) e data la successione stratigrafica rilevata non si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 2 alla zona, nella porzione meridionale del territorio di Limite sull'Arno laddove le misure HVSR hanno mostrato generalmente picchi con frequenze inferiori a 2,0 Hz, viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,7 per l'intervallo 0,1-0,5s, un fattore di amplificazione di 2,1 per l'intervallo 0,4-0,8s e un fattore di amplificazione di 1,6 per l'intervallo 0,7-1,1s. Alla medesima zona, nella porzione settentrionale del territorio di Limite sull'Arno laddove le misure HVSR hanno mostrato generalmente picchi con frequenze

superiori a 2,0 Hz, viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,4 per l'intervallo 0,1-0,5s, un fattore di amplificazione di 1,9 per l'intervallo 0,4-0,8s e un fattore di amplificazione di 2,1 per l'intervallo 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nei settori di fondovalle della porzione occidentale dell'abitato di Limite sull'Arno, nonché in alcuni settori collinari e pedecollinari a nord dell'abitato di Limite sull'Arno. Inoltre viene individuata in alcuni settori a ovest delle località Il Colle e Le Fontanelle e a nord-ovest di Molino della Botta e nei settori collinari e di fondovalle a nord-est di Poggio Musco.

Zone 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 4.1) e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura

le coltri detritiche (coperture eluvio-colluviali, coltri di frana, coperture detritiche e depositi di copertura di età pliocenica) e il substrato lapideo stratificato (LPS) sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**. Come per le altre aree di studio, è stato tracciato un areale ("buffer") di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sono state indicate con una fascia di circa 20 m di ampiezza i settori laddove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

CAPRAIA FIORENTINA

(vedi tavv. G.01, G.02, G.03, G.04, G.05, G.06 e G.07 in scala 1:5.000 e G.08 in scala 1:2.000)

Inquadramento geologico e geomorfologico

L'area su cui sorge l'abitato di Capraia Fiorentina è principalmente caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili ai depositi alluvionali recenti (b) e terrazzati (bn). Questi poggiano sui depositi di età pliocenica del Sintema di San Miniato (litofacies diottoloso-sabbiosa – Ms e litofacies limoso-argillosa – Ma) e del Sintema di San Casciano (litofacies ciottolosa – Cc), che costituiscono i terreni presenti nei rilievi collinari su cui sorge anche l'abitato del nucleo storico di Capraia Fiorentina.

In alcuni settori delle zone collinari e pedecollinari si ha la presenza di depositi di natura eluvio-colluviale (b2a).

Il quadro geomorfologico è caratterizzato dalla presenza di fenomenologie gravitative il cui stato di attività appare da attivo a quiescente e completato dalla presenza di una serie di scarpate di erosione attive e non attive di altezza sia inferiore che superiore ai 20,0 ml e di rotture di pendio. Sono presenti, inoltre, areali con fenomeni di soliflusso localizzato e a franosità diffusa.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia che il settore su cui sorge la maggior parte delle abitazioni del nucleo recente di Capraia Fiorentina presenta una acclività bassa dei versanti (pendenze comprese tra 0% e 10%), mentre le pendenze aumentano (pendenze comprese generalmente tra 10% e 25%) nei settori collinari esterni del centro abitato. Pendenze ulteriormente acclivi (comprese tra 25% e 35%, ma anche superiori al 35%) si rilevano in corrispondenza dei settori di scarpata presso il corso del Fiume Arno e dei corsi d'acqua minori.

Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse

Per l'area di Capraia Fiorentina 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.

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

- n. 8 sondaggi geognostici a carotaggio continuo di cui n. 1 strumentato con tubo per prova down-hole, con le relative risultanze stratigrafiche e talora geotecniche di laboratorio;
- n. 6 trincee esplorative;
- n. 31 prove penetrometriche di cui n. 30 prove penetrometriche statiche e n. 1 prova penetrometrica dinamica pesante;
- n. 1 indagine di sismica in foro di tipo down-hole;
- n. 7 prospezioni di sismica a rifrazione con tecnica MASW.

In corrispondenza dell'abitato di Capraia Fiorentina sono inoltre stata effettuate ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell'analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 è stata svolta specificatamente una campagna di indagini geofisiche consistente in n. 1 prova con metodo ESAC, n. 2 prospezioni di sismica a rifrazione con tecnica MASW e in n. 4 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSr).

Mentre per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 2 è stata svolta specificatamente una inedita campagna di indagini geofisiche consistente in n. 1 indagini di sismica tipo MASW, n. 1 indagini di array sismico tipo ESAC e n. 14 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSr).

Modello geologico del sottosuolo

Il substrato geologico su cui sorge l'abitato di Capraia Fiorentina risulta costituito, per la maggior parte dell'abitato meno recente e del nucleo storico e dei rilievi collinari circostanti, dai terreni riconducibili ai depositi di età pliocenica del Sintema di San Casciano (litofacies ciottolosa – Cc). Questi costituiscono, assieme ai depositi di età pliocenica del Sintema di San Miniato (litofacies ciottoloso sabbiosa - Ms e limoso argillosa – Ma), i rilievi collinari posti a nord della S.P. n. 106 Traversa di Limite.

In particolare i rilievi collinari posti nel settore orientale dell'area di studio, in corrispondenza del nucleo storico di Capraia, di Podere Alto e di Villa Calicarda presentano l'affioramento dei depositi riferibili alla litofacies ciottolosa (Cc) del Sintema di San Casciano, mentre i rilievi posti nel settore occidentale, in corrispondenza delle località Certo Piano e di Villa Bibbiani presentano l'affioramento dei depositi riferibili alla litofacies ciottoloso sabbiosa (Ms) e limoso argillosa (Ma) del Sintema di San Miniato.

Negli areali di fondovalle in prossimità del corso del Fiume Arno e dei suoi affluenti di destra, le suddette formazioni sono sormontate da spessori metrici di depositi alluvionali recenti (b), mentre nei settori sommitali dei rilievi collinari dette formazioni sono sormontate da depositi alluvionali terrazzati (bn).

I settori in corrispondenza delle fasce pedecollinari e/o i settori a pendenza maggiore che circoscrivono gli areali laddove sorgono gli abitati vedono la presenza di spessori di terreno riferibili a coltri eluvio colluviali (b2a).

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 recenti sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GMes (Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre - argine/barre/canali) i terreni riferibili ai depositi alluvionali recenti (b), all'unità geologico-tecnica SMes (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente fluvio lacustre – argine/barre/canali) i terreni riferibili ai depositi alluvionali terrazzati (bn) e all'unità geologico-tecnica SMec (sabbie limose, miscela di sabbia e limo di ambiente genetico di versante - eluvi/colluvi i depositi eluvio-colluviali (b2a).

Per quanto riguarda i terreni di copertura di età pliocenica sono state eseguite le seguenti attribuzioni:

- all'unità geologico-tecnica GMdl (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente genetico fluvio lacustre - piana deltizia) corrispondono i depositi della litofacies ciottolosa del Sistema di San Casciano (Cc) e della litofacies ciottoloso sabbiosa del Sistema di San Miniato (Ms).

- all'unità geologico-tecnica MLca-pl-tm (limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di ambiente genetico da fluvio lacustre - conoide alluvionale e di ambiente genetico costiero - da palude/laguna/stagno/lagocostiero a terrazzo marino) corrispondono i depositi della litofacies limoso argillosa del Sistema di San Miniato (Ma).

Infine sono stati rappresentati i fenomeni gravitativi attivi e quiescenti, nonché gli orli di scarpata morfologica e le creste morfologiche.

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 rigido raggiunto o della profondità di indagine che non ha raggiunto il substrato rigido.

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 dettaglio precedentemente descritto e da n. 18 misure HVSR di cui n. 16 classificate in classe A1 e n. 2 classificate in A2 si ricava una valutazione di qualità pari a 63,2 che la colloca in classe di accettabilità B.

Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione

In corrispondenza dell'abitato di Capraia Fiorentina sono state eseguite n. 18 misure di sismica passiva con metodo HVSR nell'ambito dello studio in oggetto.

Nel settore di fondovalle sono state eseguite n. 13 indagini di sismica passiva a stazione singola di cui le prove P22, P64, P65, P66, P67, P92 e P93 hanno mostrato alti contrasti di impedenza sismica (A0 compresi tra 3,47 e 5,41) con picchi di frequenza generalmente compresi tra 3,0 e 4,0 Hz riferibili a profondità compresa tra 25,0 e 30,0 m dal p.c.. Picchi a frequenze analoghe sono stati riconosciuti anche nelle prove P21, P23, P62 e P63, sebbene con ampiezze leggermente inferiori (valori di A0 compresi tra 2,52 e 2,86).

Nei settori collinari a nord dell'area di studio, tra cui l'area su cui sorge il nucleo storico di Ginestra Fiorentina, le indagini eseguite presso il nucleo storico medesimo (P69) e presso l'area cimiteriale (P68) hanno mostrato alti contrasti di impedenza (A0 rispettivamente pari a 4,13 e 3,67), con picchi superficiali (f0 rispettivamente uguali a 8,18 Hz e 15,68 Hz).

Nel settore della prova P24 è stata svolta una prova Masw (L6) associata ad una prova Esac (P117). Suddette indagini hanno mostrato la presenza di un primo sismostrato di 4,5 m di spessore avente $V_s = 217$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 8,1 m con $V_s = 724$ m/s, un terzo sismostrato dello spessore di

5,1 m con $V_s = 746$ m/s, un quarto sismostrato dello spessore di 6,7 m con $V_s = 1034$ m/s e un quinto e ultimo sismostrato avente $V_s = 1157$ m/s, investigato per 5,5 m; da cui si ricava un valore di $V_{s30} = 597$ m/s.

Nel settore pianeggiante ad est del campo sportivo di Capraia Fiorentina sono state eseguite ulteriori n. 3 prove sismiche di tipo Masw (L7, L11 e L14).

La prova L7 ha mostrato la presenza di un primo sismostrato di 4,9 m di spessore avente $V_s = 162$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 7,0 m con $V_s = 258$ m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 6,8 m con $V_s = 321$ m/s, un quarto sismostrato dello spessore di 4,5 m con $V_s = 504$ m/s e un quinto e ultimo sismostrato avente $V_s = 534$ m/s, investigato per 6,7 m; da cui si ricava un valore di $V_{s30} = 299$ m/s.

La prova L11 ha mostrato la presenza di un primo sismostrato di 7,3 m di spessore avente $V_s = 173$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 3,0 m con $V_s = 186$ m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 8,8 m con $V_s = 330$ m/s e un quarto e ultimo sismostrato avente $V_s = 370$ m/s; da cui si ricava un valore di $V_{s30} = 263$ m/s. Mentre la prova L14 ha mostrato la presenza di un primo sismostrato di 2,6 m di spessore avente $V_s = 167$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 7,2 m con $V_s = 206$ m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 6,8 m con $V_s = 313$ m/s e un quarto e ultimo sismostrato avente $V_s = 427$ m/s; da cui si ricava un valore di $V_{s30} = 289$ m/s.

Nel medesimo areale è stata eseguita una prova sismica di tipo down-hole (P103) che ha ricavato una successione sismostratigrafica che presenta un primo sismostrato dello spessore di 2,0 m con $V_s = 136$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 9,0 m con $V_s = 212$ m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 6,0 m con $V_s = 389$ m/s e un quarto e ultimo sismostrato, investigato per 13,0 m, avente $V_s = 556$ m/s; da cui si ricava un valore di $V_{s30} = 313$ m/s.

Ad ovest del Campo Sportivo è stata svolta l'indagine Masw L12 che ha mostrato la presenza di un primo sismostrato dello spessore di 5,1 m avente $V_s = 171$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 6,1 m con $V_s = 203$ m/s e un terzo sismostrato dello spessore di 7,0 m con $V_s = 350$ m/s e un quarto ed ultimo sismostrato con $V_s = 489$ m/s; da cui si ricava un valore di $V_{s30} = 246$ m/s.

Presso l'area di C. Mazzantini è stata eseguita l'indagine Masw L19, associata alla prova Esac P59, da cui è stato ricavato un valore di $V_{s30} = 272$ m/s.

Nel settore collinare presso la località di Villa Valicarda sono state eseguite le prove sismiche di tipo Masw L8 e L9.

La prova L8 ha mostrato la seguente successione sismostratigrafica; strato 1) spessore 0,8 m, $V_s = 120$ m/s, strato 2) spessore 2,0 m, $V_s = 280$ m/s, strato 3) spessore 1,0 m, $V_s = 410$ m/s, strato 4) spessore 3,0 m, $V_s = 520$ m/s, strato 5) spessore 6,0 m, $V_s = 650$ m/s, strato 6) spessore 6,0 m, $V_s = 718$ m/s, strato 7) spessore 6,0 m, $V_s = 750$ m/s, strato 8) spessore 6,0 m, $V_s = 880$ m/s e strato 9) $V_s = 900$ m/s; da cui si ricava un valore di $V_{s30} = 560$ m/s.

La prova L9 ha mostrato la presenza di un primo sismostrato di 1,7 m di spessore avente $V_s = 160$ m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore di 3,2 m con $V_s = 232$ m/s, un terzo sismostrato dello spessore di 6,7 m con $V_s = 306$ m/s, un quarto sismostrato dello spessore di 11,45 m con $V_s = 514$ m/s e un quinto e ultimo sismostrato avente $V_s = 725$ m/s.

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

Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica locale

- **zona 10 (2010):** questa zona comprende le aree nelle quali è presente una copertura “pliocenica” costituita dall'alternanza di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM), presenti in superficie e di litotipi di natura limoso

argillosa (ML) di ambiente fluvio-lacustre (ca e dl) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata e sulla scorta dei risultati dell'indagine sismica complessiva eseguita si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,2 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nei settori collinari presenti a nord dell'abitato di Capraia Fiorentina.

- **zona 11 (2011)**: questa zona comprende le aree nelle quali è presente una copertura recente di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente da versante (ec) a fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, sovrastante copertura "pliocenica" costituita dall'alternanza di litotipi di natura limosa argillosa (ML) e di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio-lacustre (ca e dl) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..

Sulla scorta dei risultati delle indagini sismiche eseguite (P72) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,1-0,5s, un fattore di amplificazione di 1,2 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nei settori collinari e pede-collinari presenti nel settore settentrionale dell'area di Capraia Fiorentina. Inoltre viene riconosciuta nei settori collinari presenti a nord di Casino del Rio a est del Rio dell'Olmo.

- **zona 12 (2012)**: questa zona comprende le aree nelle quali è presente una copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente di versante (fd) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 5,0 e 20,0 m sovrastante copertura "pliocenica" costituita dall'alternanza di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) e di litotipi di natura limosa argillosa (ML) di ambiente da fluvio-lacustre (dl e ca) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..

Sulla scorta dei risultati di alcune indagini sismiche eseguite (P22, P64, P65, P66, P67, P92 e P93) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,8 per l'intervallo 0,1-0,5s, un fattore di amplificazione di 1,7 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nei settori di fondovalle di Capraia Fiorentina.

- **zona 13 (2013)**: questa zona comprende le aree nelle quali è presente una copertura "pliocenica" costituita dall'alternanza di litotipi di natura limosa argillosa (ML), presenti in superficie, e di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) di ambiente fluvio-lacustre (ca e dl) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata e sulla scorta dei risultati dell'indagine sismica complessiva eseguita si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,1 per l'intervallo 0,1-0,5s, un fattore di amplificazione di 1,2 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nei settori collinari presenti a nord dell'abitato di Capraia Fiorentina.

- **zona 14 (2014)**: questa zona comprende le aree nelle quali è presente una copertura recente di natura sabbioso limosa (SM) di ambiente da versante (ec) a fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m,

sovrastante copertura “pliocenica” costituita dall’alternanza di litotipi di natura ghiaioso limosa (GM) e di litotipi di natura limoso argillosa (ML) di ambiente fluvio-lacustre (ca e dl) e costiero (pl-tm), dello spessore > 50,0 m. Talora poggiano, a profondità superiori di 50,0 m, su substrato lapideo stratificato (LPS). Alto c.i..

Sulla scorta dei risultati di alcune indagini sismiche eseguite (P68 P69) e data la successione stratigrafica rilevata si presume la possibilità di fenomeni di alto contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,3 per l’intervallo 0,1-0,5s, un fattore di amplificazione di 1,2 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata nei settori collinari e pede-collinari presenti nel settore settentrionale dell’area di Capraia Fiorentina. Su questi depositi poggia il nucleo storico di Capraia Fiorentina. Inoltre viene riconosciuta nei settori collinari presenti a nord di Casino del Rio a est del Rio dell’Olmo.

Zone 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 4.1) e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura

CASTRA

(vedi tavv. G.01, G.02, G.03, G.04, G.05, G.06 e G.07 in scala 1:5.000 e G.08 in scala 1:2.000)

Inquadramento geologico e geomorfologico

L’area su cui sorge l’abitato di Castra è caratterizzata dalla presenza di terreni riconducibili alle Unità Tettoniche Toscane e in particolare alla Falda Toscana rappresentata nel settore in esame dalla sola formazione del Macigno (MAC).

In alcuni settori il substrato litoide è ricoperto da spessori metrici di esse zone collinari e pedecollinari si ha la presenza di depositi riferibili a corpi di frana (a1), a depositi di natura detritica (a) e depositi da debris flow e mud flow (b4).

Il quadro geomorfologico è caratterizzato dalla presenza di fenomenologie gravitative il cui stato di attività appare da attivo a quiescente e completato dalla presenza di una serie di scarpate di erosione non attive di altezza inferiore ai 20,0 m e di rotture di pendio. Sono presenti, inoltre, areali con fenomeni di soliflusso localizzato.

Dal punto di vista morfologico si evidenzia che l’abitato di Castra si colloca nei terreni collinari con pendenze generalmente comprese tra il 15% e il 35%, con settori lievemente più pianeggianti. In corrispondenza del corso d’acqua che scorre ad ovest dell’abitato il grado di acclività aumenta superando, in alcuni casi, anche il 45%.

Indagini geognostiche realizzate e/o pregresse

Per l’area di Castra 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.

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

- n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con le relative risultanze stratigrafiche.

In corrispondenza dell’abitato di Castra sono inoltre stata effettuata ulteriori indagini sismiche finalizzate alla definizione dell’analisi e della risposta sismica dei terreni.

In particolare per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 è stata svolta specificatamente una campagna di indagini geofisiche consistente in n. 1 indagine di sismica a rifrazione in onde P e Sh e in n. 3 prove di sismica passiva mediante tecnica a stazione singola sulle vibrazioni ambientali (HVSr).

Non è stata eseguita alcuna ulteriore prova in sede di studio di Microzonazione Sismica di Livello 2.

Modello geologico del sottosuolo

Il substrato geologico su cui sorge l'abitato di Castra risulta costituito dalla sola formazione del Macigno (MAC). Questa è talora sormontata da spessori metrici di elle zone collinari e pedecollinari si ha la presenza di depositi riferibili a corpi di frana (a1), a depositi di natura detritica (a) e depositi da debris flow e mud flow (b4).

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 recenti sono stati attribuiti all'unità geologico-tecnica GCcz (ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di ambiente genetico di versante - conoide di deiezione) i depositi di debris flow e di mud flow (b4) e all'unità geologico-tecnica GMfd (ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico di versante - falda detritica) i corpi di natura detritica (a).

Per i terreni riferibili al substrato geologico sono stati attribuiti all'unità geologico tecnica LPS (substrato geologico costituito da formazioni lapidee, stratificate) i terreni appartenenti alla formazione del Macigno (MAC).

Inoltre si hanno settori limitati interessati da fenomenologie gravitative con stato di attività da attivo, a quiescente, a inattivo.

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 dettaglio precedentemente e da n. 3 misure HVSr classificate in classe A2 si ricava una valutazione di qualità pari a 57,6 che la colloca in classe di accettabilità B.

Misure di frequenza naturale e indagini di sismica a rifrazione

In corrispondenza dell'abitato di Castra sono state eseguite n. 3 misure di sismica passiva con metodo HVSr (P1, P2 e P3) nell'ambito dello studio in oggetto.

Le registrazioni eseguite rispettivamente a nord, al centro e a sud del nucleo abitativo di Castra presentano bassi contrasti di impedenza sismica (ampiezze rispettivamente di 1,63, 1,24 e 1,14) con una frequenza del picco principale rispettivamente di 2,91, 19,53 e 4,98 Hz, che denotano contrasti a profondità variabili tra i 5,0 e i 30,0 m dal p.c..

Nel settore occidentale dell'abitato è stata eseguita una prova sismica a rifrazione in onde P e Sh (L1). La prova ha ricavato una successione sismostratigrafica che presenta un primo sismostrato dello spessore di circa 2,0 m con Vs compreso tra 310 e 404 m/s, a cui segue un secondo sismostrato dello spessore variabile tra circa 2,0 e 5,0 m con Vs compreso tra 1040 e 1077 m/s e un terzo sismostrato con Vs comprese tra 1246 e 1435 m/s.

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

Zone stabili

- **STAB (1011)**: questa zona comprende le aree nelle quali affiora o è sub-affiorante un substrato lapideo stratificato (LPS), con assenza di copertura o presenza di spessori inferiori ai 3,0 m con $i < 15^\circ$ e basso c. i.. Il substrato compreso all'interno della zona è riconducibile alla presenza della formazione del Macigno (MAC).

Sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P1 e P2) e data la successione stratigrafica rilevata si evince che tali settori non presentano alti contrasti di impedenza sismica.

Dagli studi di Livello 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,0 per tutti gli intervalli di riferimento (0,1-0,5s, 0,4-0,8s e 0,7-1,1s).

La zona viene individuata lungo i versanti meno acclivi dell'area di indagine e in particolare in corrispondenza dell'abitato di Castra.

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 (LPS), con copertura di origine alteritica $< 5,0$ m, $i > 15^\circ$, c.i. basso.

Sulla scorta delle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite (P3) 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 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,2 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata lungo i versanti maggiormente acclivi attorno al nucleo dell'abitato di Castra.

- **zona 2 (2002)**: questa zona comprende le aree nelle quali si ha una copertura recente di natura ghiaioso limosa (GM) e ghiaioso argillosa (GC) di ambiente di versante (fd e cz) e fluvio-lacustre (es), dello spessore compreso tra 3,0 e 5,0 m, sovrastante un substrato lapideo stratificato (LPS) con coltre di alterazione $< 5,0$ m, basso c.i..

Data la successione stratigrafica rilevata e sulla scorta dello studio sismico complessivo 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 2 alla zona viene attribuito un fattore di amplificazione di 1,3 per l'intervallo 0,1-0,5s e un fattore di amplificazione di 1,1 per gli intervalli 0,4-0,8s e 0,7-1,1s.

La zona viene individuata in settori isolati a sud-ovest e a nord-ovest all'abitato di Castra.

Zone 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 4.1) e mantenendo le informazioni sulla litostratigrafia delle zone stabili suscettibili di amplificazione locale a cui sono associate.

In corrispondenza del limite stratigrafico individuato tra i depositi di copertura

le coltri detritiche (coperture eluvio-colluviali, coltri di frana e coperture detritiche) e il substrato lapideo stratificato (LPS) sono state delineate le zone potenzialmente interessate da **cedimenti differenziali (ZACD)**.

Come per le altre aree di studio, è stato tracciato un areale ("buffer") di circa 20 m di ampiezza, a partire dal limite stratigrafico. Il buffer rappresenta una zona di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse. In questo caso non è stata utilizzata alcuna nomenclatura.

Inoltre sono state indicate con una fascia di circa 20 m di ampiezza i settori laddove si ha la **sovrapposizione di zone di attenzione di instabilità differenti (ZAID)**.

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 Capraia e Limite ha registrato nel passato alcuni episodi sismici, sebbene di non importante intensità; inoltre non sono stati storicamente registrati particolari danni a opere civili e/o infrastrutture, in occasione di scosse di terremoto avvertite anche nel territorio comunale di Capraia e Limite.

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 4.1.
- 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.
- 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 on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.

11. ALLEGATI

- Tav. G.01 Carta delle indagini – Capraia Fiorentina – Limite sull'Arno - Castra (scala 1:5.000)
- Tav. G.02 Carta delle frequenze – Capraia Fiorentina – Limite sull'Arno - Castra (scala 1:5.000)
- Tav. G.03 Carta geologico tecnica per la Microzonazione Sismica – Capraia Fiorentina – Limite sull'Arno - Castra (scala 1:5.000)
- Tav. G.04 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica – Capraia Fiorentina – Limite sull'Arno - Castra (scala 1:5.000)
- Tav. G.05 Carta di Microzonazione Sismica FA01-05 - Capraia Fiorentina – Limite sull'Arno - Castra (scala 1:5.000)
- Tav. G.06 Carta di Microzonazione Sismica FA04-08 - Capraia Fiorentina – Limite sull'Arno - Castra (scala 1:5.000)
- Tav. G.07 Carta di Microzonazione Sismica FA07-11 - Capraia Fiorentina – Limite sull'Arno - Castra (scala 1:5.000)
- Tav. G.08 Sezioni geologico-tecniche con indicazione zone Mops - Capraia Fiorentina – Limite sull'Arno - Castra (scala 1:2.000)
- Indagini geofisiche integrate di caratterizzazione sismica propedeutiche alla redazione di cartografie di microzonazione sismica mops e pericolosità sismica – ENKI srl
 - Relazione tecnica
 - Tav. 01 – Carta delle indagini
 - Tav. 02 – Carta delle frequenze
 - Tav. 03 – Carta di dettaglio indagini
- Relazione delle indagini geofisiche - Microzonazione sismica di livello 2 – Dott. Pieroni e Dott. Puccetti

Firenze li 29.12.2020

Prof. Geol. Eros Aiello

Dott. Geol. Gabriele Grandini