



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile

**REGIONE
 TOSCANA**



**CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME**

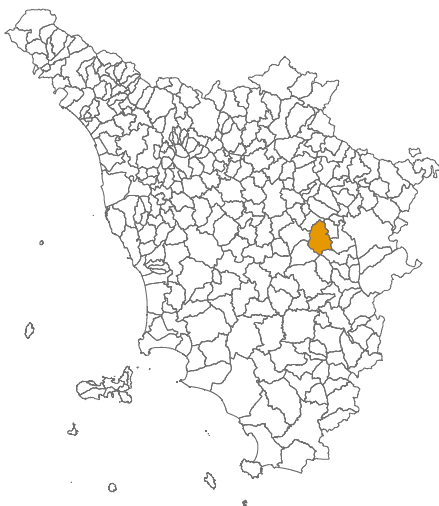
Attuazione dell'articolo 11 dalla legge 24 giugno 2009, n.77

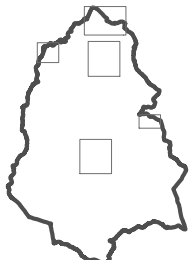
MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione tecnica illustrativa

Regione Toscana

Comune di Bucine



<p>Regione Toscana</p>	<p>Soggetto realizzatore ProGeo Engineering srl referente e coordinatore delle attività geol. MASSIMILIANO ROSSI geol. FABIO POGGI MOPS geol. LUCA BERLINGOZZI responsabile del procedimento: Arch. Meri Nocentini</p>	<p>Data Dicembre 2018</p> 
------------------------	---	---

Sommario

1 – PREMESSA	2
2 - RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE	4
3 - SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE	5
4 - PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO.....	6
5 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO.....	12
6 – INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE PREGRESSE E REALIZZATE	15
7 – MODELLO DI SOTTOSUOLO: INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE NELLA SUA DEFINIZIONE.....	17
8 – CLASSE DI QUALITÀ DELLA CARTA DI LIVELLO I	18
9 – METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI FINALI	19
10 – ELABORATI CARTOGRAFICI	23
11 – DESCRIZIONE DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA	24
12 – DESCRIZIONE DELLA CARTA GEOLOGICO TECNICA	27
13 – CONSIDERAZIONI SULLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	29
<i>FATTORI PREDISPONENTI</i>	29
<i>FATTORI SCATENANTI</i>	29
14 – ELABORAZIONI DI LIVELLO 2	30

TAVOLE ALLEGATE

- Carta delle indagini (Tavv. 1-6)	scala 1:5000
- Carta Geologico - Tecnica (Tavv. 1-6)	scala 1:5000
- Carta delle frequenze naturali dei depositi (Tavv. 1-6)	scala 1:5000
- Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (Tavv. 1-6)	scala 1:5000
- Sezioni Geologico – Tecniche	scala 1:2500-5000
- Carta di microzonazione sismica Fattore di amplificazione FH _a (0.1 – 0.5 s)	scala 1:5000
- Carta di microzonazione sismica Fattore di amplificazione FH _a (0.5 – 1.0 s)	scala 1:5000
- Carta di microzonazione sismica FH _a massimo (0.1 – 1.0 s)	scala 1:5000



1 – PREMESSA

Gli studi di Microzonazione Sismica hanno l’obiettivo di individuare ad una scala comunale le zone in cui le condizioni locali (geologia, litologia, stratigrafia, struttura e morfologia), possono modificare le caratteristiche di un terremoto o possono produrre deformazioni permanenti rilevanti per le costruzioni, le infrastrutture e l’ambiente.

Il presente lavoro ha adeguato lo Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 (già prodotto nel 2017 per il nuovo Piano Strutturale del Comune di Bucine) agli "Standard per l'informatizzazione degli studi di Microzonazione Sismica" emanati dalla Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica istituita con l'OPCM 3907/2010 e ha prodotto inoltre lo studio di microzonazione sismica di livello 2 sulle medesime aree del livello 1.

Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 rappresenta un livello propedeutico ai successivi studi di MS, che consiste in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e 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”).

Lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 è basato sull’utilizzo di abachi litostratigrafici.

I passi seguiti per la realizzazione dello studio sono stati i seguenti:

- definizione della macroarea di appartenenza del comune: nel caso del comune di Bucine è la Toscana interna;
- stima dell’accelerazione di base: per un tempo di ritorno di 475anni (ag475anni) del centro abitato oggetto di analisi di secondo livello si è fatto riferimento alla Mappa di Pericolosità sismica (INGV, 2004) riportata nell' Allegato B delle NTC2008. Nel caso del comune di Bucine il valore è pari a 0.128 g;
- stima della profondità del substrato: a partire dai risultati dello studio di livello 1 è stato scelto l’abaco di riferimento distinto in base alla profondità del substrato minore o maggiore di 30 m;



- determinazione dei valori di FHa: basandosi sul dato della frequenza fondamentale ed il valore di Vs30 o Vsh si è pervenuti alla determinazione dei valori di FHa (0.1-0.5s) e di FHa (0.5-1.0s).

Per il presente studio i dati esistenti sono stati implementati con le seguenti indagini geofisiche:

- n° 71 misure di frequenze naturali dei terreni H/V
- n° 1 stendimento sismico a rifrazione in onde P ed Sh della lunghezza di 120 m
- n° 2 indagini geofisiche mediante misura con antenna sismica (ESAC)
- n° 15 indagini geofisiche mediante metodologia MASW



2 - RIFERIMENTI NORMATIVI E SPECIFICHE TECNICHE

Lo studio e le indagini geofisiche sono stati condotti secondo le specifiche normative tecniche contenute nell’Ordinanza C.D.P.C. n. 532/2018, che seguono le precedenti Ordinanze DPC n. 3907/2010, 4007/2012, 52/2013, 171/2014, 293/2015 e n. 344/2016.

Con Delibera di G.R.T. n. 1162 del 22/10/2018, la Regione Toscana ha approvato un nuovo aggiornamento delle specifiche tecniche regionali (Allegato A), che sostituisce ed amplia le precedenti specifiche per la redazione di indagini e studi di MS approvate con Deliberazioni di G.R.T. 261/2011, 741/2012, 971/2013, 144/2015 e 468/2018. Nelle specifiche tecniche regionali si individuano i territori nei quali è prioritaria la realizzazione degli studi di MS, si definiscono le modalità di recepimento e utilizzo dei risultati degli studi di MS in fase pianificatoria, i criteri di selezione dei soggetti realizzatori degli studi di MS, le modalità di finanziamento per la realizzazione e le modalità di certificazione degli studi.

Le specifiche tecniche e gli standard di riferimento con cui è stato condotto lo studio di MS di livello 1, indicate dalla struttura Servizio Sismico regionale, sono le seguenti:

- Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS), approvati il 13 Novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome;
- Specifiche tecniche regionali: Allegato A alla DGRT n.144/2015, Appendice 1, Appendici 1-6;
- Istruzioni Tecniche del Programma VEL (Valutazione Effetti Locali) della Regione Toscana;
- Indicazioni contenute nel volume di Ingegneria sismica 2/2011;
- Standard per la stesura della carta delle indagini e l’informatizzazione: Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica – Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica, Versione 4.0.1.



3 - SELEZIONE E DELIMITAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE

Il Comune di Bucine è classificato ai sensi del Del. GRT n° 878 dell' 8/10/2012 (pubblicata su BURT Parte Seconda n. 43 del 24.10.2012 Supplemento n. 136) e confermato a seguito dell'aggiornamento avvenuto con Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014 in Zona Sismica 3 e non rientra nel Programma VEL (Valutazione degli Effetti Locali) della Regione Toscana, motivo per il quale non sono stati acquisiti dati provenienti da tale progetto. L'aggiornamento è stato redatto ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3519/2006.

Le zone di indagine sono state scelte e localizzate in corrispondenza delle aree che il Comune di Bucine e i tecnici del Servizio Sismico della regione Toscana hanno individuato seguendo le specifiche di cui al Par. 1.B.1.2 delle Istruzioni Tecniche del Programma VEL ed ha perimetrato secondo i criteri definiti al par. 3.4.2 degli ICMS.

Le aree indagate sono le seguenti

1. Bucine
2. Ambra
3. Levane
4. Badia Agnano
5. Mercatale Valdarno



Le zone di indagine sono state localizzate in corrispondenza dei centri abitati e delle aree ad essi limitrofe per un'adeguata ampiezza necessaria alla comprensione della situazione geologico-stratigrafica.

Per la precisa delimitazione delle aree indagate si rimanda alle tavole cartografiche allegata alla presente relazione.

4 - PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE ED EVENTI DI RIFERIMENTO

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una pericolosità sismica di base del sito che è descritta dalla probabilità che in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Ai fini della determinazione delle azioni sismiche la pericolosità sismica è definita convenzionalmente facendo riferimento ad un sito rigido con superficie topografica orizzontale in condizioni di campo libero, cioè in assenza di manufatti. Le caratteristiche del moto sismico atteso si ritengono individuate quando se ne conosca l'accelerazione.

Il Comune di Bucine è classificato in base alla suddivisione delle zone sismiche in relazione all'accelerazione di picco su terreno rigido (OPCM 3519/06), in classe 3 ($0.05 < a_g \leq 0.15$).



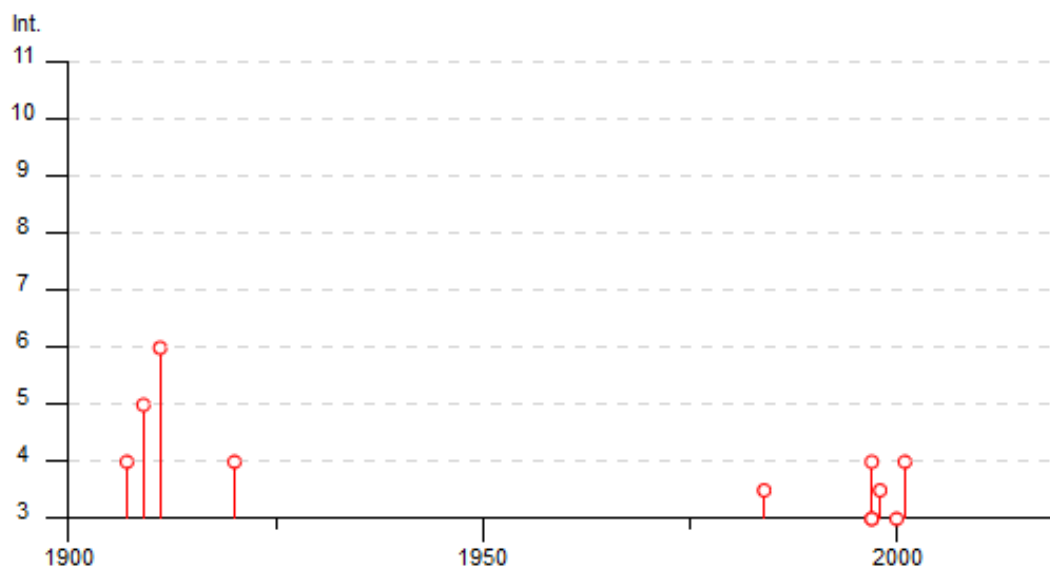
Il primo passo per la definizione della pericolosità è la conoscenza dei dati macrosismici presenti nel Database Macrosismico Italiano la cui ultima versione è il DBMI 2015 (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>) messo a disposizione dall'INGV; all'interno del catalogo possono essere selezionati gli eventi di maggiore rilevanza che hanno interessato una data località. Nel caso di Bucine vengono evidenziati 19 eventi a partire dal 1558, con relativa Magnitudo di Momento (Mw) dell'epicentro della scossa.

Bucine



PlaceID IT_46865
 Coordinate (lat, lon) 43.478, 11.617
 Comune (ISTAT 2015) Bucine
 Provincia Arezzo
 Regione Toscana
 Numero di eventi riportati 19

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
8	1558	04	13	09			Valdarno superiore	29	9	5.97
F	1895	06	06	00	35	0	Fiorentino	29	5-6	4.55
2-3	1906	04	21	06	35		Valdelsa	45	5-6	4.30
NF	1906	12	20	02	38		Valdelsa	28	4	3.96
4	1907	12	20	10	29	1	Chianti	35	6	4.44
5	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34
6	1911	09	13	22	29	0	Chianti	115	7	5.08
4	1920	11	24	04	20		Senese	15	4-5	4.07
NF	1952	12	02	06	13	2	Appennino forlivese	53	5	4.42
NF	1969	08	09	09	20	5	Appennino tosco-romagnolo	33	5	4.20
3-4	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
NF	1990	05	08	22	33	1	Alta Valtiberina	64	5	3.77
3	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
4	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
3	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62
3-4	1998	04	05	15	52	2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
3	2000	06	22	12	16	3	Bacino di Gubbio	107	5	4.47
4	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6	4.63
NF	2003	12	07	10	20	3	Forlivese	165	5	4.18



Intensità stimata dei terremoti nell’area senese a partire dal 1900

Da tale catalogo è stato evidenziato ad esempio il terremoto avvenuto nel 1558 nel Valdarno Superiore con Magnitudo di Momento prossima a 6 e con effetti registrati nell’area di Bucine:

1558 aprile 13 09
Valdarno superiore



EqID 15580413_0000_000

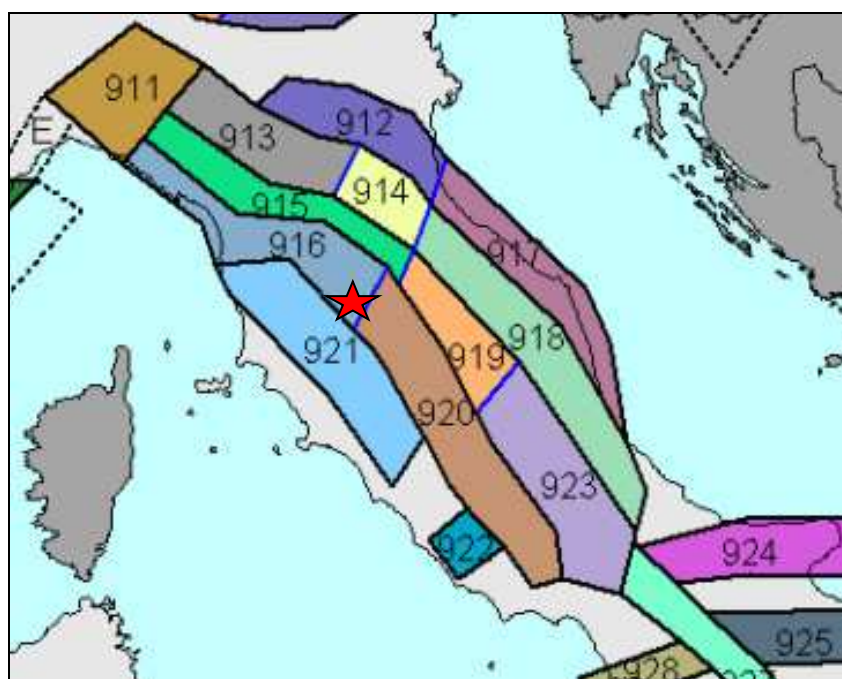
	Rif	Lat	Lon	Io	Mw	ErMw	Profond.
★	CPTI15	CAMAL011b	43.456 11.564	MM	9	5.97 ± 0.23	Mdm
▣	Macro	CAMAL011b	43.456 11.564	b×0	9	5.97 ± 0.23	bxn

MDP set di Camassi et al., 2011b (CAMAL011b)
NMDP 29 Imax 9 MCS

PlaceID	Località	Sc	Lat	Lon	Int
IT_47291	Caposelvi		43.491	11.583	9
IT_47653	Castagnoli		43.442	11.454	9
	Chianti	TE			HD
	Contado di Siena	TE			HD
	Valdarno di Sopra	TE			HD
IT_46857	Ambra		43.415	11.603	8
IT_46865	Bucine		43.478	11.617	8
IT_46861	Badia Agnano		43.435	11.649	7-8

Il territorio del Comune di Bucine è compreso all'interno della zona 916 come definita nella “Zonazione Sismogenetica ZS9” (Meletti C., Valensise G., 2004); tale zona, assieme alla 920 è compresa entro il settore in distensione tirrenica definito dal modello sismo-tettonico di Meletti et al.(2000). Questa zona è caratterizzata da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati; la maggiore frequenza di eventi nella zona 920 la distingue dalla 916.

L'intero settore è caratterizzato da una sismicità di energia moderata, rappresentando un settore di transizione alla distensione peritirrenica.



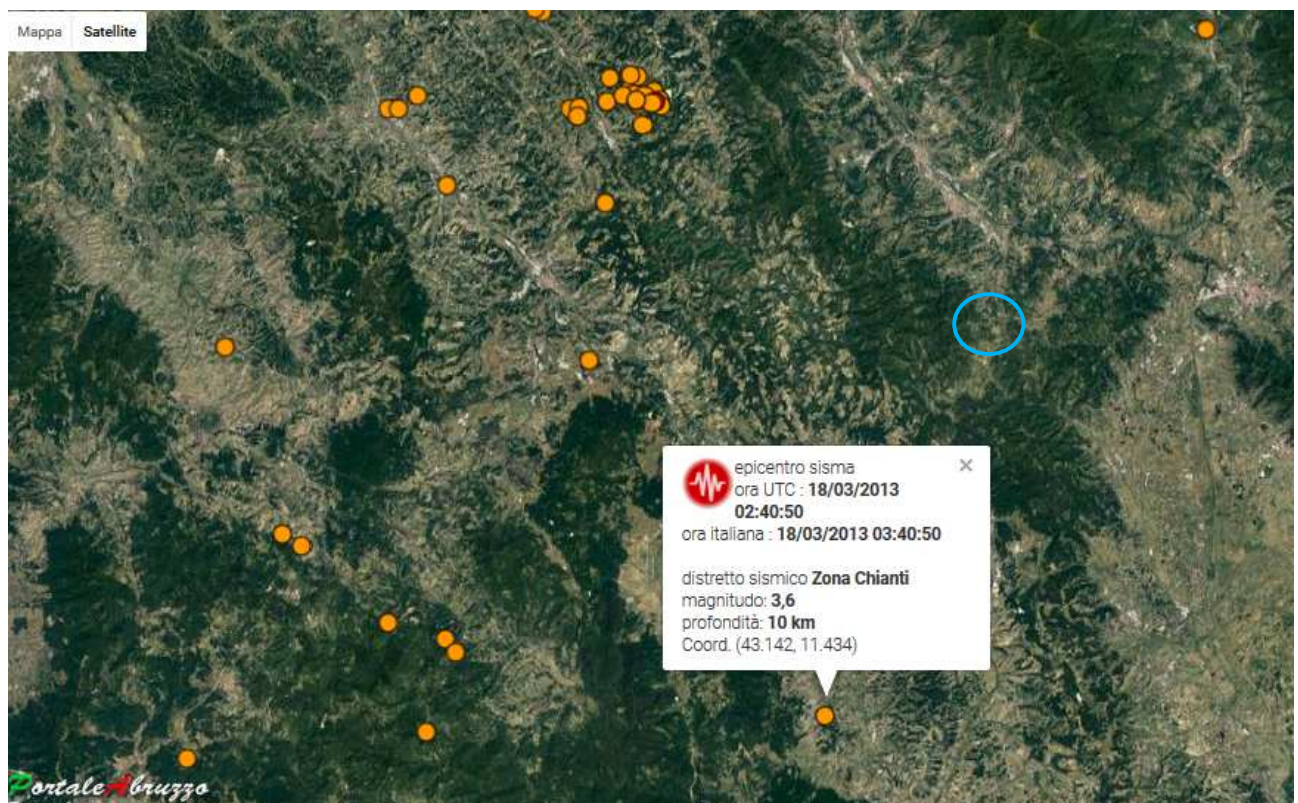
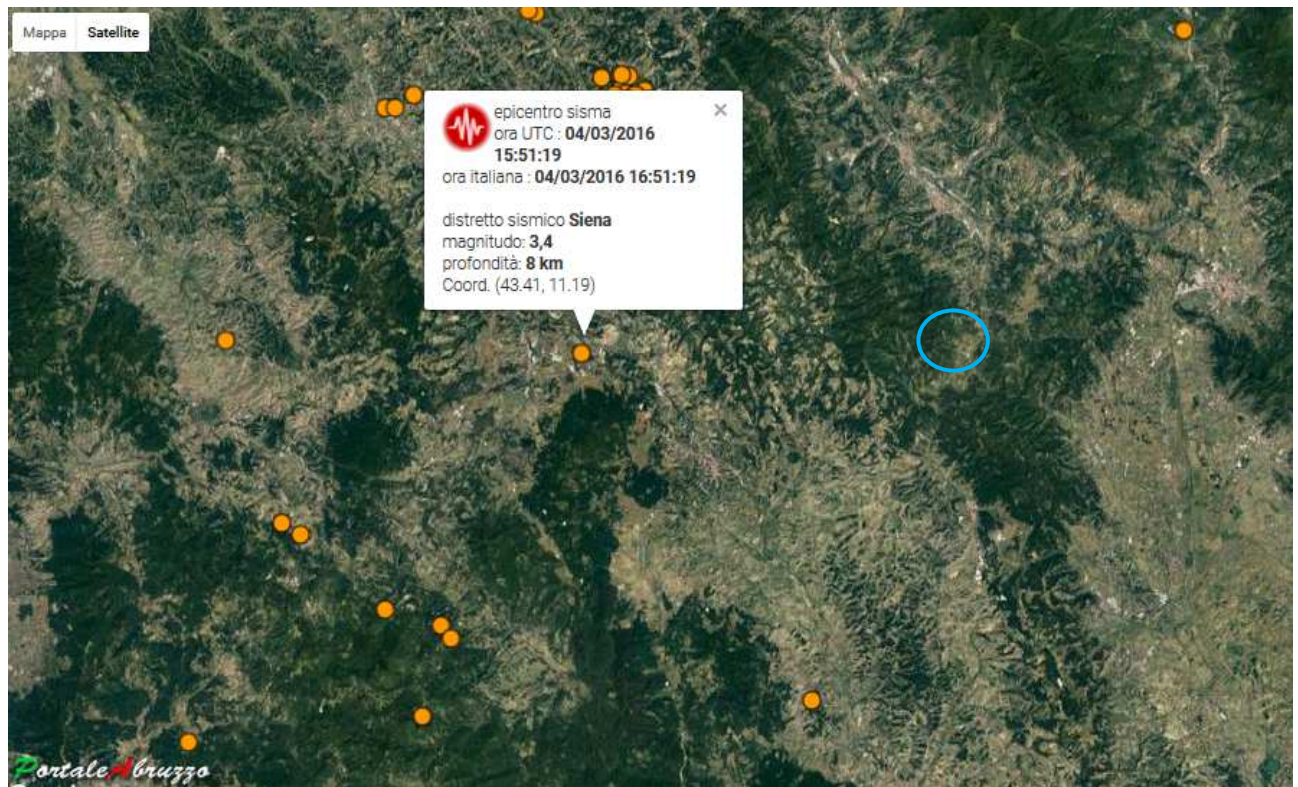
ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9

Nella tabella seguente vengono riassunte le principali caratteristiche della zona 916.

ZONA	Numero di eventi Md>2.0	Numero di eventi Md>2.5	Numero di eventi Md>3.0	Magnitudo massima (Md)	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
916	140	83	16	4,6	5-8	6

Di seguito sono rappresentati, i terremoti avvenuti negli ultimi 15 anni in Toscana centrale, tratti da “PortaleAbruzzo”: con i punti rossi quelli con magnitudo >4; con i punti arancio quelli con magnitudo >3. Con il cerchio azzurro è indicata l’area di Bucine.







5 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO

Il territorio del Comune di Bucine ha un'estensione di circa 131 kmq ed occupa per la maggior parte la valle del Fiume Ambra. La morfologia è collinare e le quote assolute sono comprese tra un minimo di 150 metri s.l.m. nella zona di Levane sino alla massima elevazione nei pressi di Solata a quota 650 m s.l.m. circa.

Il principale lineamento morfologico del territorio è rappresentato dal corso del fiume Ambra che corre da SO verso NE. La parte meridionale del territorio è occupata da rilievi costituiti in massima parte da terreni e rocce afferenti alla Formazione del Macigno. In particolare dominano nelle aree di Mercatale, Montebenichi, Pietraviva, Rapale, Sogna e San Pancrazio e Ambra. Nella porzione centrale dell'area comunale, in corrispondenza degli abitati di Cennina e Badia Agnano per proseguire verso nord, in direzione di Bucine e Levane, il substrato è costituito dalle formazioni della Successione di Monte Senario, quali quella delle "Arenarie di Monte Senario" e quella dei "Calcari e Brecciole di M.Senario". In genere le formazioni dell'"Unità tettonica sub-ligure" appaiono in affioramento molto tettonizzate, motivo per il quale, raramente è possibile vedere porzioni molto estese delle successioni sedimentarie indisturbate. In particolare nell'area di Levane e di Bucine il substrato non affiora quasi mai in superficie, ma è visibile a poca distanza da entrambi i centri abitati nell'incisione in corrispondenza dell'alveo del Fiume Ambra, in cui sono visibili le bancate calcarenitiche e calcilutitiche di spessore decimetrico e gli interstrati argillitici relativamente più erosi dei Calcari e Brecciole di Monte Senario. Nelle porzioni collinari ad est e ovest di Levane sono presenti le formazioni depositatesi nel corso della seconda e della terza fase fluvio-lacustre (Pliocene terminale-Pleistocene medio) con spessori anche notevoli di litologie prevalentemente limoso-argillose nelle porzioni inferiori (Limi di Terranuova, Argille del T.Ascione, Limi e Sabbie del T.Oreno) e più sabbioso-limoso con ghiaie e ciottolami nei terreni della Terza fase (i.e. Ciottolami di Laterina, Sabbie di Levane, Limi di Latereto). La porzione di fondovalle, a circa 3 km di distanza dalla confluenza del Fiume Ambra nell'Arno, è occupata per uno spessore inferiore a 15 m dai depositi alluvionali recenti costituiti da litologie sabbioso-ghiaiose e ciottolami. Al di sotto sono presenti le litologie prevalentemente coesive sopra menzionate.

I depositi del terzo ciclo costituiscono le colline sulle quali si ramifica l'abitato di Bucine; il substrato roccioso è affiorante o molto prossimo alla superficie nelle incisioni vallive come ad



esempio anche nell'area compresa tra il cimitero e San Salvatore o più a sud in prossimità di Pogi; il massimo spessore di copertura stimato in base ai dati raccolti è di circa 50 metri; le litologie prevalenti sono costituite da sabbie con percentuali non irrilevanti di ciottolami e limi massicci.

A circa 4 km ad est di Bucine, quasi “appoggiato” alle prime propaggini dei Monti del Chianti si trova Mercatale Valdarno: il substrato è qui costituito per la maggior parte dalla Formazione del Macigno con bancate arenacee anche di notevole spessore e dai Calcari e Brecciole di Monte Senario a nord del piccolo nucleo della Torre e nella porzione orientale dell'abitato. A Mercatale si osserva una variazione notevole dello spessore dei sedimenti del terzo ciclo fluvio-lacustre in poche decine di metri in senso E-O, anche dovuta a fenomeni erosivi che hanno creato contropendenze per esempio in corrispondenza della chiesa di Santa Reparata dove lo spessore della coltre è verosimilmente prossima a 30 m come testimoniato dai dati di base e dalle indagini sismiche per poi ridursi notevolmente sino quasi ad annullarsi in corrispondenza dell'abitato di Torre.

Anche Badia Agnano è situata alla base di colline modellate sulle formazioni del Macigno e dei Calcari e brecciole di Monte Senario; il contatto tra le due formazioni divide il centro abitato in parti arealmente paragonabili; tuttavia non sono visibili affioramenti significativi, data la presenza di uno spessore significativo di materiale eterogeneo di origine detritica ed eluvio-colluviale in corrispondenza delle prime propaggini collinari e a quote più basse per la presenza dei sedimenti della terza fase fluvio-lacustre.

In corrispondenza dell'abitato di Ambra l'ampiezza della valle dell'omonimo fiume, si restringe relativamente; il substrato è costituito ubiquitariamente dalla Formazione del Macigno; se però in destra idrografica del fiume il versante diviene ripido piuttosto velocemente, in sinistra esso è caratterizzato dall'affioramento in senso trasversale alla valle per alcune centinaia di metri dei sedimenti prevalentemente sabbioso-ghiaiosi ed anche in aree meno depresse rispetto al fondovalle la presenza del “Macigno” è testimoniato a profondità massime di circa 30 m, fatto che porta a ipotizzare una certa asimmetria della valle dal punto di vista della deposizione dei sedimenti pleistocenici e di conseguenza un controllo tettonico che lo ha guidato. Di conseguenza nella porzione settentrionale dell'abitato il substrato è pressoché sub affiorante, mentre in corrispondenza del nucleo storico sino perlomeno all'area delle scuole elementari e medie esso è senzaltro più profondo; in aggiunta a questo, le misure HVSR



effettuate hanno evidenziato un doppio picco in frequenza riconducibile alla presenza oltre a quella del substrato roccioso, a quella di lenti di ghiaie e ciottolami cementati tra circa 10 e 20 metri di profondità. Tali lenti non sembrano essere presenti nella porzione più a meridione di quella studiata dove sondaggi a carotaggio continuo (profondi 20 - 25 m) non hanno intercettato né il substrato, né litologie molto grossolane.

Sono presenti poi coperture e depositi alluvionali olocenici; le coperture sono costituite per la maggior parte da eluvi-colluvi e accumuli detritici, legati a processi di erosione di versante.

Dal punto di vista geomorfologico i principali agenti di modellazione delle forme del paesaggio sono riferibili ai processi di versante (in particolare per l'azione delle acque di ruscellamento superficiale e per l'azione della gravità) e ai processi di erosione incanalata ad opera dei corsi d'acqua.

I fenomeni franosi presenti possono essere suddivisi tra quelli che interessano prevalentemente una coltre detritica “appoggiata su roccia” e compresi nella categoria dei movimenti per scorrimento generalmente traslazionale o rotazionale con ampio raggio e tra quelli che interessano i litotipi argilloso-limosi molto sensibili alle variazioni del contenuto in acqua e che in occasioni di precipitazioni significative danno luogo a fenomeni di variazione di volumetria anche importanti e compresi nella categoria dei movimenti complessi. Tali forme sono presenti in modo particolare sui versanti in prossimità dell'abitato di Levane.

Inoltre, sono rilevabili nel territorio molti fenomeni antichi stabilizzati o quiescenti e situazioni di attività caratterizzate da più fenomenologie che si sovrappongono.

I processi erosivi dovuti alle acque selvagge danno origine a coltri prevalentemente limose-sabbiose che si depositano ove il versante si raccorda con il fondo vallivo o anche lungo il versante stesso. Essi si sviluppano con maggior facilità nelle aree prive di copertura arborea.

Il principale corso d'acqua dell'area, il fiume Ambra, esercita attualmente una azione prevalentemente erosiva, sicuramente prevalente su quella deposizionale (preponderante in fasi climatiche differenti dalle attuali e legate probabilmente a periodi glaciali-interglaciali).



6 – INDAGINI GEOLOGICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE PREGRESSE E REALIZZATE

Da un punto di vista geologico-geomorfologico sono stati analizzati gli elaborati cartografici di base del Piano Strutturale e la cartografia presente nel database geologico della Regione Toscana. Il presente studio di Microzonazione sismica di livello 1 ha comportato, in prima istanza, il reperimento e la raccolta dei dati relativi alle indagini del sottosuolo effettuate nell'area di interesse.

Tale raccolta ha comportato la consultazione di varie banche dati: la banca dati delle indagini geotematiche (BDIG) della Regione Toscana, che raccoglie i dati di base allegati agli strumenti urbanistici vigenti; la banca dati dei pozzi della Regione Toscana presente nella “Banca dati sottosuolo”; la banca dati delle indagini del sottosuolo presenti nel Portale del Servizio Geologico d'Italia dell'ISPRA; i dati presenti nell'Archivio dell'Ufficio Urbanistica del Comune di Bucine e nell'Archivio dell'Ufficio Tecnico del Genio Civile. Di particolare interesse sono risultati i dati riguardanti interventi recenti e quindi non allegati agli strumenti urbanistici vigenti.

I dati archiviati sono rappresentati in massima parte da prove penetrometriche statiche, prove penetrometriche dinamiche, sondaggi a carotaggio continuo, pozzi per acqua, indagini sismiche MASW e HVSR.

Le indagini realizzate *ad hoc* per il presente studio sono consistite in 34 (fase studio MS1) + 37 (fase studio MS2) misure di rumore sismico ambientale con metodologia a stazione singola HVSR in 1 stendimento sismico a rifrazione in onde P ed SH e in 2 stendimenti sismici di tipologia ESAC + MASW e in 13 stendimenti sismici MASW.

Nel complesso i dati di base a disposizione del presente studio sono stati i seguenti:

- n° 23 sondaggi a carotaggio continuo
- n° 46 prove penetrometriche dinamiche
- n° 39 prove penetrometriche statiche
- n° 111 sondaggi a distruzione di nucleo per pozzi per acqua
- n° 18 trincee o pozzetti esplorativi
- n° 74 indagini di sismica passiva tramite stazione singola (HVSR)
- n° 17 indagini sismiche MASW
- n° 2 indagini sismiche a rifrazione



Come sopra accennato, sono state effettuate delle misure a stazione singola per l'analisi dei microtremori ambientali (misure H/V). Lo scopo principale di tale tipologia d'indagine è quello di approfondire le conoscenze stratigrafiche ed in particolare di distinguere eventuali contrasti di impedenza sismica, tra materiali con velocità delle onde sismiche di taglio significativamente differenti.

I dati di base sono stati informatizzati secondo quanto previsto dagli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica”, versione 4.0.1:

- Ind_pu (feature class puntuale) contenente l'ubicazione delle prove puntuali;
- Ind_In (feature class lineare) contenente l'ubicazione delle prove lineari;
- Sito_Puntuale (tabella) contenente le informazioni relative al sito di indagine;
- Sito_Lineare (tabella) contenente le informazioni relative al sito di indagine;
- Indagini_Puntuali (tabella) contenente le informazioni relative alla tipologia di indagine puntuale effettuata;
- Indagini_Lineari (tabella) contenente le informazioni relative alla tipologia di indagine lineare effettuata;
- Parametri_Puntuali (tabella) contenete i parametri geotecnici e geofisici puntuali determinati, relativi alle varie unità geologico-tecniche;
- Parametri_Lineari (tabella) contenente i parametri geofisici lineari relativi alle varie unità geologico-tecniche;
- Curve (tabella) contenente i dati relativi a curve cumulative di prove di laboratorio.



7 – MODELLO DI SOTTOSUOLO: INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE NELLA SUA DEFINIZIONE

Per la descrizione dei risultati delle misure di rumore effettuate si rimanda al successivo paragrafo 10; mentre, per la loro precisa ubicazione, con indicazioni anche della frequenza e dell’ampiezza del picco, si rimanda alla Tavola “Carta delle frequenze fondamentali dei depositi”.

Partendo da nord, l’abitato di Levane occupa una conca valliva piuttosto chiusa dal lato meridionale e più aperta verso settentrione verso il Valdarno dove lo spessore del materasso sedimentario è prossimo ai 50 m; a sud affiorano i termini più competenti del Macigno e delle formazioni afferenti al Complesso di Canetolo; gli spessori della coltre sedimentaria sono molto variabili e in generale si riducono sino ad annullarsi risalendo la valle dell’Ambra. Gli spessori della coltre sedimentaria, benché con caratteristiche sedimentologiche arealmente differenti, sono in quasi tutte le zone studiate comprese entro i 50 m, fatto testimoniato senza eccezioni da tutte le misure effettuate. Unica parziale eccezione è quella dell’abitato di Badia Agnano, dove se anche evidenze morfologiche portavano all’evidenza di un certo spessore di materiali sciolti, non sono apparsi molto netti i contrasti di impedenza sismica a testimonianza di una relativa “somiglianza” tra depositi grossolani e substrato alterato.

In questo lavoro non è stata fatta una distinzione del substrato sismico in base a differenti caratteristiche geologiche, in quanto pur avendo la Formazione delle Brecciole e Calcari di Monte Senario una certa componente argillitica, gli affioramenti presenti dimostrano altresì la presenza di caratteristiche litologiche di buona competenza (i.e. calcareniti e calciruditi), motivo per il quale avrebbe portato ad una sottostima non cautelativa una sua distinzione rispetto al Macigno, non corroborata dalle indagini di campagna, che hanno dimostrato pressoché ovunque la presenza di picchi in frequenza significativi.

8 – CLASSE DI QUALITÀ DELLA CARTA DI LIVELLO 1

La raccolta delle indagini pregresse e l’effettuazione ex-novo di misure di rumore ambientale a stazione singola ha consentito di giungere all’ottenimento della classe di qualità A (87.8%).

Di seguito si riporta il foglio di calcolo per la valutazione della qualità della carta di livello 1.

b	Carta Geologico tecnica	1	Anno Rilevamento	Progetto	Scala
	<i>Punteggi indicatori</i>	1	1	1	1
	<i>Pesi indicatori</i>	0.33	0.33	0.33	0.33
c	Sondaggi a distruzione	0.5	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>	0.66	0.66	0.66	0.66
	<i>Pesi indicatori</i>	0.33	0.33	0.33	0.33
d	Sondaggi a carotaggio continuo	1	Numero sondaggi	% celle occupate	Num. Sondaggi bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>	0.66	0.33	0.33	0.33
	<i>Pesi indicatori</i>	0.33	0.33	0.33	0.33
e	Indagini geofisiche	0.5	Numero misure	% celle occupate	% indagini al bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>	0.66	0.66	1	1
	<i>Pesi indicatori</i>	0.33	0.33	0.33	0.33
f	Prove geotecniche	0.25	Numero prove	% celle occupate	% prove al bedrock
	<i>Punteggi indicatori</i>	1	0.66	0.33	0.33
	<i>Pesi indicatori</i>	0.33	0.33	0.33	0.33
g	Misure Frequenze	0.75	Numero misure	% celle occupate	Classe di affidabilità
	<i>Punteggi indicatori</i>	1	0.66	1	1
	<i>Pesi indicatori</i>	0.33	0.33	0.66	0.66

Tabella 1 – Quadro riassuntivo dei parametri e dei relativi indicatori con l’attribuzione dei pesi e dei punteggi

Parametro (peso parametro)	Peso Indicatore	Indicatore	Valutazione indicatore (punteggio)			
			Nulla (0)	Bassa (0.33)	Media (0.66)	Alta (1)
Carta geologico-tecnica (1)	0.33	Anno rilevamento	No data	< 2000		> 2000
	0.33	Progetto	No data	Altro	Allegato piano urbanistico	Ad hoc
	0.33	Scala rilevamento	No data	50.000-20.000	25.000-11.000	10.000-2.000
Sondaggi a distruzione (0.50)	0.33	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Sondaggi a carotaggio continuo (1)	0.33	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Indagini geofisiche (0.50)	0.33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	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)	0.33	Numero di prove	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Misure delle frequenze del sito (0.75)	0.33	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
	0.33	Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%	>66%
	0.33	Classe di affidabilità misure (Abarelo et alii)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%

* D. Albarello, C. Cesu, V. Enalili, F. Gnerini, E. Lunardi, E. Panfili, D. Pileggi, L.M. Puzelli - Il contributo della sismica passiva nella microzonazione di due macroaree abruzzesi. In stampa su Boll. Geofis. Teor. Appl.

a	25	punteggi parziali	CLASSE	VALORI	INDICAZIONI
b	0.99	24.8	A	³ 75%	Carta di livello 1 di ottima qualità
c	0.33	8.2	B	50%-74%	Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri
d	0.44	10.9	C	25%-49%	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
e	0.38	9.6	D	≤ 25%	Carta di livello 1 di scarsa qualità: non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICMS08 e Linee Guida Regione Toscana
f	0.16	4.1			
g	0.91	22.6			
Tot	80.1	80.1	Classe B		

REGIONE TOSCANA





9 – METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI FINALI

Allo scopo di definire le caratteristiche fisiche, elastiche e geometriche del sottosuolo è stata eseguita, oltre a 1 stendimento sismico a rifrazione e ai 2 con metodologia ESAC-MASW e ai 13 con metodologia MASW, una campagna di n°71 misure di rumore sismico ambientale di tipo H/V.

Le ubicazioni e i risultati delle misure sono visibili nella cartografia prodotta “*Carta delle frequenze naturali dei depositi*” in scala 1:5000. Le misure sono state eseguite in punti disposti in modo da consentire una buona copertura areale e da analizzare zone dalle diverse e rappresentative caratteristiche geologico-stratigrafiche. Le misure hanno avuto ognuna una durata di almeno 20 minuti in modo da poter avere un numero di finestre statisticamente significativo su cui effettuare una media (considerando l’eliminazione di talune finestre per la presenza di disturbi) e di adeguata lunghezza (tra 20-30 s) per l’analisi di frequenze anche molto basse (fino circa a 0.2 Hz). La frequenza di campionamento in fase di acquisizione è stata di 300 campioni per secondo.

Gli spettri sperimentali, al fine di definirne l’affidabilità, sono stati confrontati con i criteri SESAME (2004) e con la classificazione delle misure proposta da Albarello et alii (2010). Si rimanda al relativo allegato per le schede delle singole misure effettuate.

Nell’ambito di questo lavoro le misure hanno avuto la finalità dell’individuazione di fenomeni di risonanza stratigrafica con l’indicazione delle frequenze in corrispondenza delle quali tale fenomeno si manifesta. E’stato possibile così giungere ad una indicazione dello spessore delle coperture poste su un substrato rigido o in ogni caso della profondità di un contrasto di impedenza sismica significativo. La definizione dell’entità di tale contrasto è solo indicativa e l’ampiezza del rapporto H/V dato dal picco o dai picchi della curva non può essere messo in correlazione diretta con la reale amplificazione subita dalle onde sismiche che si potrà manifestare in occasione di terremoti.

Al fine di una corretta valutazione delle caratteristiche geologico-stratigrafiche la scelta del luogo di misura è stata preceduta da sopralluoghi e da uno studio di tutta la cartografia geologica, litotecnica e geomorfologica disponibile, in modo da poter avere più opzioni di posizionamento per una stessa unità formazionale o litologica in aree ritenute utili per lo studio di microzonazione sismica.



Gli spessori delle coperture poste su substrato o le profondità di contrasti di impedenza sismica significativi possono in prima approssimazione essere ricavati da un abaco; tali valori hanno però solo un valore indicativo e necessitano di confronto con prove indipendenti perché gli spessori siano definiti con maggiore precisione e accuratezza.

F0 (Hz)	h(m)
<1	>100
1-2	50-100
2-3	30-50
3-5	20-30
5-8	10-20
8-20	5-10
>20	<5

Abaco per la stima dello spessore delle coperture conoscendo i valori delle frequenze di risonanza F0 date dalle misure H/V.

		Frequenza di picco	Ampiezza picco H/V
1	Levane	3.7	4.6
2	Levane	3.9	2.8
3	Levane	2.1	3.5
4	Levane	2.3	4.9
5	Levane	2.1	3.5
6	Levane	3.2	4.8
7	Levane	2.9	4.2
8	Bucine	3.5	3.4
9	Bucine	4.1	3.4
10	Bucine	2.6	4.8
11	Bucine	2.4	6.7
12	Bucine	7.3	4.5
13	Bucine	8.2	3.9
14	Bucine	6.8	7.9
15	Bucine	2.1	4.4
16	Bucine	6.9	7.9
17	Ambra	4	4.9
18	Ambra	4.3	7.2
19	Ambra	3.7	9
20	Ambra	3.4	8.6
21	Ambra	5.4	6.2
22	Ambra	7.3	5.9
23	Ambra	5	6.2
24	Ambra	11	5.2
25	Ambra	11.5	12.9
26	Badia Agnano	7.4	1.9
27	Badia Agnano	15.3	2.1
28	Badia Agnano	18.5	2
29	Badia Agnano	18.5	3.2
30	Mercatale V.no	15.9	3.7
31	Mercatale V.no	14.8	5.1
32	Mercatale V.no	3.9	8.7
33	Mercatale V.no	17.8	5.6
34	Levane	2.2	6.4

Risultati delle misure di microtremore a stazione singola H/V (fase studio MS1)

		Frequenza di picco	Ampiezza picco H/V
1	Bucine	1.8	2.8
2	Bucine	2.2	2.6
3	Bucine	2.1	3.0
4	Bucine	3.7	4.4
5	Bucine	0.0	0.0
6	Pogi Alto - Bucine	0.0	0.0
7	Molino di Mezzo	4.9	2.9
8	Levane	3.0	3.1
9	Levane	2.1	4.8
10	Levane	2.7	2.7
11	Levane	3.0	2.1
12	Badia Agnano	20.0	1.7
13	Levane	8.0	2.2
14	Badia Agnano	0.0	0.0
15	Levane	2.8	1.9
16	Levane	1.3	2.9
17	Badia Agnano	3.7	1.9
18	Mercatale	3.9	3.2
19	Levane	5.0	2.6
20	Ambra	6.4	3.2
21	Bucine	3.3	2.4
22	Ambra	0.0	0.0
23	Ambra	5.6	2.5
24	Mercatale	20.0	2.9
25	Mercatale	8.3	4.3
26	Mercatale	3.9	4.8
27	Levane	4.4	2.8
28	Ambra	5.2	2.6
29	Ambra	4.5	3.4
30	Molino di Mezzo	2.4	3.1
31	Badia Agnano	6.4	3.9
32	Badia Agnano	3.0	2.3
33	Badia Agnano	5.8	2.5
34	Bucine	3.2	3.4
35	Bucine	3.3	3.4
36	Molino di Mezzo	20.0	2.7
37	Badia Agnano	11.7	2.7

Risultati delle misure di microtremore a stazione singola H/V (fase studio MS2)



10 – ELABORATI CARTOGRAFICI

Gli elaborati cartografici prodotti a seguito dello Studio MS1 sono i seguenti:

- Carta delle indagini in scala 1:5000 (fase studio MS1 + fase studio MS2)
- Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica in scala 1:5000
- Carta delle frequenze fondamentali dei depositi in scala 1:5000
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) in scala 1:5000
- Sezioni geologico-tecniche in scala 1: 1:5000/1:2500








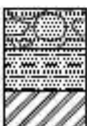
Gli elaborati cartografici prodotti a seguito dello Studio MS2 sono i seguenti:

- Carta di microzonazione sismica Fattore di amplificazione FHa (0.1 – 0.5 s)
- Carta di microzonazione sismica Fattore di amplificazione FHa (0.5 – 1.0 s)
- Carta di microzonazione sismica Fattore di amplificazione FHa massimo (0.1 – 1.0 s)

11 – DESCRIZIONE DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

11.1 - ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

		Substrato lapideo fratturato o alterato (3-10 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
		Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico) affiorante su superficie topografica con inclinazione > 15° in cui non si esclude la presenza di porzione superficiale fratturata o alterata con spessore fino a 10 m
		Sabbie limose, sabbie con ghiaie eterometriche e ciottoli (3-10 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
		Argille limose, limi argilloso-sabbiosi (3-30 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
		Limi sabbiosi, limi argillosi (3-10 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
		Sabbie limose, sabbie con ghiaie eterometriche e ciottoli (10-30 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
		Limi sabbiosi, limi argillosi (3-10 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
		Sabbie limose, sabbie con ghiaie eterometriche e ciottoli (10-30 m) Argille limose, limi argilloso-sabbiosi (3-30 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
		Sabbie limose, sabbie con ghiaie eterometriche e ciottoli con livelli granulari cementati tra 10 e 20 m (10-30 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
		Sabbie limose, sabbie con ghiaie eterometriche e ciottoli (3-10 m) Argille limose, limi argilloso-sabbiosi (3-30 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)

2010 Zona 10		Argille limose, limi argilloso-sabbiosi (30-80 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
2011 Zona 11		Sabbie limose, sabbie con ghiaie eterometriche e ciottoli (3-10 m) Argille limose, limi argilloso-sabbiosi (30-80 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
2012 Zona 12		Sabbie limose, sabbie con ghiaie eterometriche e ciottoli (30-50 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
2013 Zona 13		Sabbie limose, sabbie con ghiaie eterometriche e ciottoli (3-10 m) Limi sabbiosi (10-20 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
2014 Zona 14		Sabbie limose, sabbie con ghiaie eterometriche e ciottoli (10-20 m) Argille limose, limi argilloso-sabbiosi (30-80 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
2015 Zona 15		Riperto antropico (3-5 m) Sabbie limose, sabbie con ghiaie eterometriche e ciottoli (10-30 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
2016 Zona 16		Ruditi in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)
2017 Zona 17		Ruditi in matrice limoso-sabbiosa (3-10 m) Limi sabbiosi (3-10 m) Substrato lapideo stratificato (substrato geologico e sismico)

11.2 - ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ

All'interno dell'area di studio è stata discriminata la presenza di zone di attenzione per instabilità: in particolare sono state mappate zone di attenzione per instabilità di versante in stato attivo, quiescente e inattivo. Le diverse fenomenologie che hanno evidenziato indizi di attività durante gli ultimi cicli stagionali (evidenze di movimenti per franosità diffusa e frane per scivolamento) sono raggruppate entro la categoria FR_A e determinano una Pericolosità Sismica S4.

Nella Carta delle MOPS, le aree di attenzione per instabilità (FR_), sono rappresentate da un “righettato” obliquo che va a sovrapporsi alla microzona stabile suscettibile di amplificazione, mantenendo in tal modo l'informazione riguardante la litostratigrafia. Il colore del “righettato” corrisponde a quello presente nella Carta Geologico-tecnica e dà informazioni sullo stato di attività.

11.3 - DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Le microzone individuate hanno portato alla definizione delle aree a pericolosità sismica locale:

- Aree a “Pericolosità sismica locale molto elevata (S.4): zone suscettibili di instabilità di versante attiva che pertanto potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici
- Aree a “Pericolosità sismica locale elevata (S.3): zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri ”
- Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali non rientranti tra i criteri previsti per la Classe “Pericolosità sismica locale elevata (S.3)” vengono inserite all'interno della Classe “Pericolosità sismica locale media (S.2)”.
- Zone stabili non sono state cartografate, motivo per il quale non vi sono aree inserite all'interno della Classe “Pericolosità sismica locale bassa (S.1)”.

12 – DESCRIZIONE DELLA CARTA GEOLOGICO TECNICA

Nella carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica vengono rappresentate le informazioni riguardanti i litotipi affioranti, distinti in primis tra terreni di copertura e substrato; nel caso del presente lavoro sono state distinte due tipologie di substrato.

Le correlazioni tra unità geologiche e unità Geologico – Tecniche sono di seguito illustrate:

- substrato geologico lapideo stratificato fratturato o alterato (rappresentato geologicamente dalle formazioni del “Macigno” (Falda Toscana – Dominio Toscano) e delle “Brecce di Monte Senario” (Unità di Canetolo – Dominio sub-ligure). Nella “Carta Geologico – Tecnica” e nella carta delle “Sezioni Geologico – Tecniche” è rappresentato dal simbolo “SFLPS”.
- Substrato geologico granulare: è rappresentato nella carta delle MOPS da livelli di conglomerati in matrice limoso-sabbiosa e da sabbie cementate; nella Carta Geologico-Tecnica non è rappresentato in affioramento, mentre è visibile in sezione nella tavola delle “Sezioni Geologico – Tecniche” con il simbolo “GR”.
- Sabbie limose, sabbie con ghiaie eterometriche e ciottoli: geologicamente corrispondenti alle formazioni plio-pleistoceniche dei “Limi di Latereto e di Pian di Tegna” , delle “Sabbie di Levane”, dei “Ciottolami di Laterina”, delle “Sabbie di Palazzetto” sono rappresentate nella “Carta Geologico – Tecnica dal simbolo “**SMin**” (Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di bacino (piana) intramontano);
- Argille limose, limi argilloso – sabbiosi: geologicamente corrispondenti alle formazioni plio-pleistoceniche dei “Limi e sabbie del T.Oreno”, delle “Argille del T.Ascione”, dei “Limi di Terranuova” sono rappresentate nella “Carta Geologico – Tecnica dal simbolo “CLpa” (Argille inorganiche di medio bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di ambiente palustro-lacustre);
- Limi sabbiosi, limi argillosi: geologicamente corrispondenti alle formazioni pleistoceniche dei “Limi di Latereto e di Pian di Tegna” e delle “Sabbie di La Loccaia” sono rappresentate nella “Carta Geologico – Tecnica dal simbolo “MLin” (Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di bacino (piana) intramontano);



- Ruditi in matrice limoso – sabbiosa: geologicamente corrispondenti a depositi di origine eluvio-colluviale sono rappresentate nella “Carta Geologico – Tecnica dal simbolo “GMec” (Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (eluvi/colluvi));
- Riporti, terreni contenenti resti di attività antropica: definiti nella “Carta Geologico - Tecnica dalla sigla “**RI**” hanno uno spessore massimo di 5 m.

Lo spessore minimo delle coperture rappresentate è di 3 metri; la litologia dei terreni è stata descritta tramite sistema di classificazione *Unified Soil Classification System* (leggermente modificato, ASTM, 1985). Inoltre è stata aggiunta una sigla che descrive l’ambiente deposizionale del litotipo.

Vengono altresì rappresentati i seguenti elementi geologici ed idrogeologici:

- giaciture degli strati;
- l’ubicazione di sondaggi che hanno raggiunto il substrato (con indicazione della profondità ove il substrato è stato rinvenuto) e l’ubicazione di sondaggi che non hanno raggiunto il substrato (con indicazione della massima profondità raggiunta dalla perforazione).

13 – CONSIDERAZIONI SULLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione è un processo in seguito al quale un sedimento che si trova al di sotto del livello della falda perde temporaneamente resistenza e si comporta come un liquido viscoso a causa di un aumento della pressione neutra e di una riduzione della pressione efficace.

Essa ha luogo quando la pressione dei pori aumenta fino a eguagliare la pressione intergranulare. L'incremento della pressione neutra è indotto dalla tendenza di un materiale sabbioso a compattarsi quando è soggetto ad azioni cicliche di un sisma, con conseguente aumento del potenziale di liquefazione del terreno.

Il fenomeno di liquefazione può essere ottenuto dalla combinazione di:

FATTORI PREDISPONENTI

- Terreno saturo, non compattato, non consolidato, sabbioso limoso o con poca argilla;
- Distribuzione granulometrica, uniformità, saturazione, densità relativa, pressioni efficaci di confinamento, stato tensionale in sito.

FATTORI SCATENANTI

- La sismicità: magnitudo, durata, distanza dall'epicentro, accelerazione in superficie.

Generalmente la liquefazione si verifica in depositi recenti di sabbia e sabbia siltosa, depositi che spesso si trovano negli alvei fluviali o aree di costa.

I terreni suscettibili al fenomeno di liquefazione sono:

- Suoli non coesivi e saturi (*sabbie e limi, occasionalmente ghiaie*) con contenuti di fini plastici relativamente basso;
- Suoli costituiti da particelle relativamente uniformi;
- Depositii sabbiosi recenti (*Olocenici*).

Per valutare il potenziale di liquefazione sulla base dei dati disponibili è stata utilizzata l'analisi qualitativa, basata sulle osservazioni delle caratteristiche sismiche, geologiche e geotecniche dei siti interessati o potenzialmente interessati dal fenomeno della liquefazione.

Tale analisi ha portato ad evidenziare la presenza di depositi costituiti da materiali con ampia distribuzione granulometrica, con percentuali elevate di materiali con componente coesiva (<

0.062 mm) e con presenza non trascurabile di granulometrie ruditiche, motivo per il quale i terreni analizzati presentano una scarsa suscettibilità alla liquefazione.

Nel contesto del presente lavoro, la valutazione relativa alla suscettibilità alla liquefazione è puramente qualitativa ed in sede di predisposizione dei piani complessi di intervento o dei piani attuativi o, in loro assenza, in sede di predisposizione dei progetti edilizi dovrà comunque essere verificata la stabilità nei confronti della liquefazione secondo il paragrafo 7.11.3.4 delle NTC/18.

14 – ELABORAZIONI DI LIVELLO 2

Sulla base di tutti i dati a disposizione si è potuto procedere alla quantificazione numerica degli effetti sismici evidenziati nell’analisi di livello 1 al fine della redazione della carta di microzonazione sismica di livello 2.

Per l’attribuzione dei valori dei fattori di amplificazione alle microzone in cui è suddiviso il territorio del comune di Bucine, sono stati utilizzati gli abachi riferiti alla macroarea Toscana Appenninica con valore di $ag \geq 0.125g$ (TR=475 anni). Il parametro utilizzato per la rappresentazione dei livelli amplificativi è il fattore di amplificazione di Housner (denominato FHa) misurato come rapporto tra l'integrale dello spettro di accelerazione in output (PSAout) e l'omologo integrale dello spettro di accelerazione in input (PSAin):

$FHa_{(0,1+0,5)} = \frac{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{out}(T)dT}{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{in}(T)dT}$	(1)
$FHa_{(0,5+1,0)} = \frac{\int_{0,5}^{1,0} PSA_{out}(T)dT}{\int_{0,5}^{1,0} PSA_{in}(T)dT}$	(2)

E’ stato in particolare valutato un duplice intervallo di integrazione: il primo tra 0.1 e 0.5 secondi (denominato FHa0.1-0.5), significativo per le strutture più rigide, a basso periodo proprio, il secondo per le strutture più flessibili (denominato FHa0.5-1), ad elevato periodo proprio.



I parametri geologici s.l. d'ingresso, per poter estrapolare il valore del fattore di amplificazione FH_a negli intervalli 0,1-0,5 secondi e 0,5-1,0 secondi sono due:

- Il periodo fondamentale di vibrazione del sito (T_0) o la corrispondente frequenza fondamentale (f_0);
- Il valore della velocità media delle Onde S nei primi 30 metri di sottosuolo (V_{s30}) o, se il basamento sismico si trova a meno di 30 metri dalla superficie, il valore della velocità media delle onde S fino al basamento sismico (V_{SH}).

Toscana interna (substrato geologico ≤ 30 m)



Valore di a_g (TR=475 anni) ≥ 0.125g

0.1 - 0.5 s

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

0.5 - 1 s

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

Popolosità celle

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

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

Toscana interna (substrato geologico > 30 m)



Valore di a_g (TR=475 anni) ≥ 0.125g

0.1 - 0.5 s

Vs30 (m/s) f0(Hz)	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
<200	1.0	1.3	2.0							1.2
300	1.1	1.4	1.7	1.8	1.7	1.7	2.0	2.0	1.8	1.4
500	1.1	1.3	1.5	1.7	1.6	1.5	1.5	1.7	1.6	1.4
700	0.9	1.1	1.3	1.5	1.3	1.3	1.2	1.2	1.3	1.2
≥800	1.0	1.0	1.0					1.2	1.1	1.0

0.5 - 1 s

Vs30 (m/s) f0(Hz)	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8	75° perc.
<200	1.8	2.2	2.3							2.1
300	1.4	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.6	1.6	1.8	1.8
500	1.2	1.7	1.6	1.5	1.5	1.5	1.4	1.5	1.6	1.5
700	1.1	1.3	1.4	1.3	1.2	1.3	1.2	1.1	1.2	1.2
≥800	1.1	1.2	1.2					1.0	1.0	1.1

Popolosità celle

Vs30 (m/s) f0(Hz)	<1	1.5	2.5	3.5	4.5	5.5	6.5	7.5	≥ 8
<200	118	63	1						
300	1436	1358	498	159	57	7	9	19	90
500	1077	654	528	309	146	139	55	49	347
700	278	145	75	43	28	20	11	21	142
≥800	78	61	15					1	13

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



ZONA 2099

$$FH_a = 1,5 \div 1,1$$

La Zona risulta costituita da una copertura derivante da alterazione del substrato geologico caratterizzata da uno spessore medio ≤ 30 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $f_0 \geq 8$ Hz.

ZONA 2001

$$FH_a = 1,5 \div 1,1$$

La Zona è delimitata in base alla pendenza della superficie topografica ($>15^\circ$) e risulta costituita da substrato subaffiorante e/o da una copertura derivante da alterazione del substrato caratterizzata da uno spessore medio ≤ 30 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s > 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $f_0 \geq 8$ Hz.

ZONA 2002

$$FH_a = 1,5 \div 1,1$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di sabbie limose e sabbie con ghiaie caratterizzata da uno spessore compreso tra 3 e 10 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $f_0 \geq 8$ Hz.

ZONA 2003

$$FH_a = 1,8 \div 1,9$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di argille limose e limi argilloso-sabbiosi caratterizzata da uno spessore compreso tra 3 e 30 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).



Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $2 \leq f_0 < 3$ Hz.

ZONA 2004

$$FH_a = 1,8 \div 1,2$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di limi sabbiosi e limi argillosi caratterizzata da uno spessore compreso tra 3 e 10 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $6 \leq f_0 < 7$ Hz.

ZONA 2005

$$FH_a = 2,1 \div 1,6$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di sabbie limose e sabbie con ghiaie caratterizzata da uno spessore compreso tra 10 e 30 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $3 \leq f_0 < 4$ Hz.

ZONA 2006

$$FH_a = 2,1 \div 1,6$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di limi sabbiosi e limi argillosi caratterizzata da uno spessore compreso tra 10 e 30 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $3 \leq f_0 < 4$ Hz.



ZONA 2007

$$FH_a = 2,1 \div 1,6$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di sabbie limose e sabbie con ghiaie caratterizzata da uno spessore compreso tra 10 e 30 m e di argille limose e limi argilloso-sabbiosi con uno spessore compreso tra 3 e 30 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $3 \leq f_0 < 4$ Hz.

ZONA 2008

$$FH_a = 1,8 \div 1,2$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di sabbie limose e sabbie con ghiaie caratterizzata da uno spessore compreso tra 10 e 30 m con livelli cementati tra 10 e 20 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $6 \leq f_0 < 7$ Hz.

ZONA 2009

$$FH_a = 1,8 \div 1,9$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di sabbie limose e sabbie con ghiaie caratterizzata da uno spessore compreso tra 3 e 10 m e di argille limose e limi argilloso-sabbiosi con uno spessore compreso tra 3 e 30 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $2 \leq f_0 < 3$ Hz.



ZONA 2010

$$FH_a = 1,4 \div 2,0$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di argille limose e limi argilloso-sabbiosi caratterizzata da uno spessore compreso tra 30 e 80 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $1 \leq f_0 < 2$ Hz.

ZONA 2011

$$FH_a = 1,7 \div 1,9$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di sabbie limose e sabbie con ghiaie caratterizzata da uno spessore compreso tra 3 e 10 m e di argille limose e limi argilloso-sabbiosi con uno spessore compreso tra 30 e 80 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $2 \leq f_0 < 3$ Hz.

ZONA 2012

$$FH_a = 1,7 \div 1,9$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di sabbie limose e sabbie con ghiaie caratterizzata da uno spessore compreso tra 30 e 50 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $2 \leq f_0 < 3$ Hz.



ZONA 2013

$$FH_a = 1,5 \div 1,1$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di sabbie limose e sabbie con ghiaie caratterizzata da uno spessore compreso tra 3 e 10 m e di limi sabbiosi con uno spessore compreso tra 10 e 20 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $f_0 \geq 8$ Hz.

ZONA 2014

$$FH_a = 1,4 \div 2,0$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di sabbie limose e sabbie con ghiaie caratterizzata da uno spessore compreso tra 10 e 20 m e di argille limose e limi argilloso-sabbiosi con uno spessore compreso tra 30 e 80 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $1 \leq f_0 < 2$ Hz.

ZONA 2015

$$FH_a = 2,1 \div 1,6$$

La Zona risulta costituita da una copertura di terreni di riporto con spessore fino a 5 metri sovrapposta ad una sedimentaria di sabbie limose e sabbie con ghiaie caratterizzata da uno spessore compreso tra 10 e 30 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $3 \leq f_0 < 4$ Hz.



ZONA 2016

$$FH_a = 1,5 \div 1,1$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di ruditi in matrice limoso - sabbiosa caratterizzata da uno spessore compreso tra 3 e 10 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $f_0 \geq 8$ Hz.

ZONA 2017

$$FH_a = 1,5 \div 1,1$$

La Zona risulta costituita da una copertura sedimentaria di ruditi in matrice limoso – sabbiosa caratterizzata da uno spessore compreso tra 3 e 10 m e di limi sabbiosi con uno spessore compreso tra 3 e 10 m e da una velocità media di propagazione $V_{sh} = 300$ m/s, poggiante su substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s).

Tale situazione litostratigrafica determina la presenza di un contrasto di impedenza sismica con valori di frequenza $f_0 \geq 8$ Hz.

ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITÀ DI VERSANTE:

Per l'attribuzione a queste Zone dei valori dei fattori di amplificazione sono stati utilizzati gli abachi di riferimento; ai valori ottenuti, a favore di sicurezza, è stata applicata una maggiorazione di 0.2.



CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA (LIVELLO 2)

Gli elaborati sino prodotti alla scala 1:5.000, sulla carta di base C.T.R.

Le carte riportano la distribuzione delle aree caratterizzate da amplificazioni locali del moto sismico per effetti litostratigrafici, per le quali è stato quantificato il fattore di amplificazione FH_a , ottenute tramite lo studio di MS 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 0,5 secondi;
- la carta di microzonazione sismica per il fattore di amplificazione relativo al periodo compreso fra 0,5 e 1,0 secondi;
- la carta di microzonazione sismica nella quale sono riportati i fattori di amplificazione massimi.

Arezzo, dicembre 2018

ProGeo Engineering

Dott. Geol. *Massimiliano Rossi*

Dott. Geol. *Fabio Poggi*

Collaboratori:

Dott. Geol. *Luca Berlingozzi*