



REGIONE TOSCANA



MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione tecnica illustrativa

Regione Toscana

Comune di Borgo San Lorenzo



INDICE

INDICE.....	1
1. Introduzione – individuazione delle aree di indagine.....	2
2. Indagini realizzate e pregresse.....	3
3. Pericolosità di base e eventi di riferimento.....	5
4. Inquadramento geologico e geomorfologico.....	6
5. Modello del sottosuolo: analisi delle aree di indagine.....	9
6. Elaborati cartografici.....	13
7. Individuazione della Classe di Qualita'.....	21
8. Bibliografia.....	22

1. Introduzione – individuazione delle aree di indagine

Gli elementi prioritari per la valutazione degli effetti locali e di sito, con l'obiettivo della riduzione rischio sismico, sono la ricostruzione del modello del sottosuolo in termini di geometrie geologiche e strutturali e la parametrizzazione dinamica dei terreni.

Secondo le modalità ed i criteri specificati nelle Istruzioni tecniche regionali del Programma VEL, nel quadro più generale delle informazioni geologiche e geomorfologiche e della raccolta e acquisizione di dati geofisici e geotecnici, sono stati realizzati gli studi di Microzonazione di livello I secondo le specifiche tecniche definite negli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica (ICMS) e nell'O.P.C.M. 3907/2010, oltre che nelle specifiche tecniche regionali (DGRT 261/2011). Gli studi di Microzonazione di livello I hanno consentito di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico, rappresentate nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).

A scala comunale (o meglio sub-comunale, come vedremo) gli studi di MS hanno l'obiettivo di individuare le zone in cui le condizioni locali possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso o possono produrre deformazioni permanenti per le costruzioni, infrastrutture e ambiente.

Conseguente all'utilizzo delle MOPS nell'ambito della pianificazione urbanistica comunale (Piani Strutturali e Regolamenti Urbanistici) è la valutazione e attribuzione della Pericolosità Sismica locale: l'evidente collegamento è rappresentato dalla coincidenza dei perimetri degli studi di MS con le aree corrispondenti ai centri urbani maggiormente significativi oggetto di pianificazione; nel comune di Borgo San Lorenzo, in aderenza al programma VEL (criteri definiti al par.3.4.2 degli ICMS), sono stati individuati i seguenti centri urbani:

- area urbana "Capoluogo"
- frazione "Sagginale"
- frazione "Panicaglia"
- frazione "Luco di Mugello"
- frazione "Ronta"
- frazione "Polcanto"

2. Indagini realizzate e pregresse

Il comune di Borgo San Lorenzo è stato indagato, nell'ambito degli studi specifici del programma VEL, dal Servizio Sismico Regionale mediante le indagini riportate nella tabella seguente, la cui ubicazione è mostrata nella Carta delle Indagini (Tav.1) e i risultati allegati mediante hyperlink nel relativo GIS:

Indagini eseguite nel corso del Programma VEL nel comune di Borgo S.Lorenzo

AREA DI INDAGINE	Sondaggi geognostici	Prove downhole	Sismica a rifrazione	Prove penetrometriche	Coni sismici
area urbana "Capoluogo"	10	10	15	5	4
frazione "Sagginale"	0	0	2	2	0
frazione "Panicaglia"	2	2	1	5	0
frazione "Ronta"	1	1	1	0	0

Il programma del presente studio, definito di concerto con il Servizio Sismico Regionale, ha integrato le indagini mediante le prove riportate nella tabella seguente, la cui ubicazione compare nella Carta delle Indagini (Tav.1) e nella Carta delle Frequenze (Tav.4) e i risultati riportati in allegato alla presente relazione oltre che mediante hyperlink nel relativo GIS:

Indagini eseguite nel corso dello Studio di Microzonazione Sismica – Livello I nel comune di Borgo S.Lorenzo

AREA DI INDAGINE	Stendimenti di sismica a rifrazione	Prove geofisiche MASW	Misure di rumore sismico
area urbana "Capoluogo"	3	2	30
frazione "Sagginale"			10
frazione "Panicaglia"		2	8
frazione "Ronta"	2		12
frazione "Luco di Mugello"		3	10
frazione "Polcanto"	1		5

Rispetto al quadro descritto, 6 misure di rumore sismico sono state successivamente scartate per difficoltà incontrate nella fase di acquisizione del segnale a causa di disturbi ambientali, raggiungendo quindi un totale di n.69 misure sul territorio comunale.

Le indagini di nuova realizzazione, svolte da GEOTECNO (misure di rumore a stazione singola) e da TRIGEO (stendimenti e prove masw) sono contrassegnate nelle tavole e negli allegati dalla sigla "GEO" seguita dall'Id progressivo e dalla tipologia (es. GEO2_PSH, GEO66_HVSR);

la certificazione delle indagini sismiche e delle misure di frequenza è contenuta nell'apposito allegato.

Infine, per la definizione del modello geologico del sottosuolo è stata svolta una accurata ricognizione nelle banche dati geognostiche presenti in rete sui principali siti istituzionali di riferimento, oltre all'archivio cartaceo a disposizione dell'amministrazione comunale.

E' stato così possibile raccogliere un'ingente quantità di dati di base proveniente principalmente dal DB di Regione Toscana e dall'archivio "Indagini del sottosuolo" di ISPRA, per un totale di 321 siti di indagine rappresentati nella Carta delle Indagini (Tav.1) e nel geodatabase correlato.

3. Pericolosità di base e eventi di riferimento

La mappa di pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale (MPS04), entrata in vigore con l'Ordinanza PCM 3519/2006, descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione massima attesa su suolo rigido e pianeggiante con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. Tale studio considera il territorio comunale di Borgo San Lorenzo a pericolosità media-alta, con valori di a_{max} compresa tra 0,175g e 0,225g.

Le specifiche dei terremoti avvenuti nella zona e registrati nel database del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (progetto "CPTI04") sono compatibili con le assunzioni che stanno alla base della mappa citata, con una magnitudo massima registrata pari a 6.18 relativa all'evento sismico del 29 giugno 1919 con epicentro nei pressi di Vicchio; a tal proposito si riporta nella tabella seguente l'esito dell'interrogazione svolta nel citato archivio CPTI04 per un'area circolare di raggio 20 km intorno al centro urbano del capoluogo.

Per quanto riguarda l'assegnazione dei comuni a una delle quattro zone sismiche sulla base della suddetta mappa di riferimento, la classificazione sismica attuale della Regione Toscana approvata con Deliberazione di G.R. n.431/2006 individua per il Comune di Borgo San Lorenzo **Zona 2** con valore di $A_g/g=0,25$.

Principali eventi sismici registrati a Borgo San Lorenzo secondo la banca dati del Catalogo

N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	Tl	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das
238	DI	1542	6	13	2	15		Mugello	CFTI	47	90	90		44	11.38	A	5.91	0.10		5.90	0.15
293	DI	1597	8	3	23	40		Mugello	CFTI	24	75	75		43.98	11.43	A	5.22	0.13		4.88	0.20
308	DI	1611	9	8	22	10		Scarperia	CFTI	4	75	70		44.02	11.37	A	5.13	0.24		4.75	0.36
492	CP	1729	6	23				FIRENZE	POS85		60			43833	11.25		4.83	0.26		4.30	0.39
561	CP	1762	4	15	22	30		BORGO S. LORENZO	POS85		70			44	11333		5.17	0.30		4.80	0.45
804	CP	1835	2	6	18	50		BORGO S. LORENZO	POS85		70			43933	11383		5.17	0.30		4.80	0.45
866	CP	1849	1	6	3			CASAGLIA	POS85		60			44083	11.5		4.83	0.26		4.30	0.39
941	DI	1864	12	11	17	40		MUGELLO	DOM	9	70	70		44042	11282	A	5.11	0.21		4.72	0.31
1162	CP	1890	5	4	12	9		S. PIERO	POS85		55			44	11.25		4.63	0.13		4.00	0.20
1684	DI	1919	6	29	15	6	13	Mugello	CFTI	269	90	90		43.95	11.48	A	6.18	0.05		6.18	0.05
1823	DI	1929	7	18	21	2		MUGELLO	DOM	56	70	65		43988	11507	A	5.07	0.04		4.66	0.06
1863	DI	1931	9	5	1	26		FIRENZUOLA	DOM	24	70	65		44057	11367	A	5.09	0.01		4.69	0.02
1868	CP	1931	12	15	3	31	22	BORGO S. LORENZO	POS85		60			43967	11383		5.00	0.09		4.55	0.14
1946	DI	1939	2	11	11	17		MARRADI	DOM	31	70	70		44002	11431	A	5.17	0.10		4.80	0.15
2028	CP	1949	3	9	4	16	30	FIRENZUOLA	POS85		60			44.1	11383		4.78	0.15		4.23	0.22
2068	CP	1953	2	13	16	29	45	CASAGLIA	POS85		60			44033	11517		4.83	0.26		4.30	0.39
2155	DI	1960	10	29		9		MUGELLO	DOM	37	70	70		43981	11403	A	4.93	0.10		4.44	0.15
2264	CP	1969	2	15	8	54	39	BARBERINO	POS85		40			44083	11283		4.54	0.14		3.86	0.21
2328	CP	1973	11	7	17	6	17	BORGO S. LORENZO	POS85		65			43983	11417		4.84	0.24		4.31	0.35

Parametrico dei Terremoti Italiani

4. Inquadramento geologico e geomorfologico

Le strutture geologiche del Comune di Borgo San Lorenzo sono complesse e, per l'ampiezza del territorio, rappresentano un'importante campione della geologia dell'Appennino Settentrionale.

4.1. Quadro generale

Il territorio comunale di Borgo San Lorenzo copre un vasto tratto del bacino del Fiume Sieve: nel versante meridionale affiora il basamento roccioso della Serie Toscana, costituito dalle arenarie quarzoso-feldspatiche e calcaree alternate a marne, siltiti e argilliti con lenti di selce della Formazione delle Arenarie del Cervarola (in letteratura conosciuto anche come Macigno di Londa), cui è sovrascorso con andamento NE-SO lungo l'allineamento di Polcanto il complesso di Canetolo (Liguridi) con le arenarie quarzoso-feldspatiche grossolane alternate a argilliti della Formazione delle Arenarie di Monte Senario; al contatto è presente un consistente orizzonte "plastico" costituito dal Complesso Caotico e dalle Marne di Galiga (o Marne di San Polo).

A nord, con allineamento corrispondente al corso del Fiume Sieve, il basamento roccioso è troncato da un'importante dislocazione che delimita il graben del bacino del Mugello, con substrato profondo alcune centinaia di metri sotto i depositi fluvio-lacustri. Questi affiorano su tutto il versante settentrionale fino all'emergenza del basamento roccioso costituito dalle torbiditi a prevalenza marnoso-siltosa con intercalazioni di banconi arenacei della Formazione delle Arenarie di Castel Guerrino. Qui la Serie Toscana è sovrascorsa sulla Serie Umbro-Romagnola rappresentata dalle arenarie e siltiti gradate, quarzoso-feldspatiche, micacee e dolomitiche, alternate a marne siltose della Formazione della Marnosa-Arenacea.

Il sovrascorrimento mantiene l'orientamento appenninico NE-SO e coincide con un discontinuo orizzonte "plastico" (Ronta) argilloso-marnoso attribuibile alla Formazione Marne Varicolori della Serie Toscana.

Il Complesso fluvio-lacustre del bacino del Mugello al contatto settentrionale con il basamento roccioso è costituito da consistenti affioramenti di conglomerati di conoide alluvionale sovrapposti a sabbie di delta-conoide. All'altra estremità, a sud, lungo la scarpata di faglia individuata con un sondaggio profondo in località Sagginale (S14), la conoide di consistente spessore in facies subaerea è limitata al margine orientale del territorio. In successione a tali depositi segue una potente serie di argille limose lacustri di cui si ipotizza spessore di almeno

200-300 metri; a differenza di altre aree del bacino del Mugello (Barberino di M.) non sono stati segnalati depositi lignitiferi.

Le condizioni geologiche locali verranno descritte per migliore comprensione con l'analisi delle singole aree a corredo del modello geologico rappresentato con sezioni.

4.2. Geomorfologia

Nel quadro generale del territorio comunale, oltre ai fenomeni di instabilità originati prevalentemente dall'erosione idrica nei depositi lacustri e delle frane – soprattutto di scoscendimento nelle formazioni lapidee a carico delle parti superficiali alterate e delle coperture detritiche – non si rilevano significativi elementi riconducibili a scarpate con dislivelli maggiori di 10 metri, ovvero a creste morfologiche di particolare interesse; sono state cartografate comunque le forme cui si può attribuire una qualche influenza nell'amplificazione topografica.

Peculiari della fase finale di colmamento del bacino lacustre sono le superfici terrazzate del versante settentrionale della Sieve, peraltro aventi scarso significato litologico per i modesti spessori delle coperture (pochi metri), a composizione eterogenea da ciottolosa a limosa. Esteso è il terrazzo di 1° livello, più antico, con deposizione non riconducibile all'attuale rete dei corsi d'acqua interessati da piccoli terrazzi laterali all'alveo. La più recente impostazione dell'alveo della Sieve ha prodotto un marcato ringiovanimento morfologico con erosione concentrata ad opera degli affluenti e formazione di residui affioramenti del terrazzamento antico nella parte meridionale del versante, che a quote più alte risulta sostanzialmente integro. L'instabilità dinamica attribuita alle aree franose, attive o quiescenti, può manifestarsi presumibilmente con meccanismi diversi. In corrispondenza delle scarpate di erosione fluviale nei sedimenti granulari fluvio-lacustri sono possibili frane di crollo per distacco di lame dal bordo, con fratture subverticali anche in assenza di indizi premonitori.

Per le aree franose segnalate in corrispondenza delle formazioni rocciose la ripresa o l'aggravamento del dissesto per scivolamento sono legati alla presenza di coperture detritiche originate da alterazione del substrato e/o messa in posto gravitativa. Particolare importanza assume la coltre detritica nell'area di Polcanto, originata dalla degradazione delle arenarie grossolane di Monte Senario, in corrispondenza dell'allineamento tettonico del sovrascorrimento sulla Serie Toscana.

Infine gli affioramenti argillosi lacustri a nord del Fiume Sieve sono interessati da franosità diffusa che si manifesta sotto forma di scoscendimenti originati spesso da contrasti di permeabilità nella successione litologica.

5. Modello del sottosuolo: analisi delle aree di indagine

5.1. Borgo San Lorenzo Capoluogo

L'area del Capoluogo occupa storicamente, per motivi di sicurezza idraulica, la parte settentrionale della piana alluvionale della Sieve, lungo il terrazzamento pedecollinare di origine fluviale. Questo presenta un modesto e discontinuo dislivello senza scarpate nette; per la composizione litologica, copertura limosa e modesto spessore di ghiaie in matrice, non è significativamente distinguibile per gli aspetti sismici dalle rimanenti alluvioni fluviali.

La valle ha una struttura geologica asimmetrica: le formazioni del basamento rigido (Arenarie del Cervarola, **AC** e Marne di Galiga, **GAL**) affiorano al margine del versante meridionale, dove una faglia subparallela alla Sieve abbassa di alcune centinaia di metri il substrato medesimo, dando origine al graben del Mugello; tale bacino è successivamente colmato da sedimenti prevalentemente argillosi rilevati su tutta l'area del capoluogo e affioranti a nord nei rilievi marginali alla valle.

Le sezioni litotecniche ricostruiscono il modello geologico del sottosuolo: la sezione AA', longitudinale alla valle e ricca di verticali di indagine, evidenzia un assetto stratigrafico omogeneo con un primo orizzonte alluvionale (**at2**, **at3**), sempre contenuto nello spessore di 10 metri, con valori di Vs compresi tra 190 e 290 m/sec. Il livello successivo è costituito dalle argille limose lacustri (**Vag**) con valori di Vs compresi tra 360 e 460 m/sec. Le sezioni BB' e DD' trasversali alla valle evidenziano il contatto tettonico marginale tra i depositi lacustri ed il bordo del substrato rigido (Serie Toscana). Anche in questo caso il contrasto di velocità tra le coperture alluvionali (Vs= 210-280 m/sec) e argille sottostanti (Vs= 340-370 m/sec) è modesto.

Nella carta MOPS le zone stabili sono limitate a ridotte fasce di versante negli affioramenti del substrato stratificato su pendenze topografiche inferiori a 15°, essendo le altre porzioni di versante con roccia affiorante o subaffiorante assegnate alla categoria di terreni stabili soggetti ad amplificazione sismica per fattori topografici (Zona 1). Sono identificabili al margine sud del perimetro zone stabili suscettibili di amplificazione locale per alto contrasto di impedenza in virtù della presenza di coperture fluviali e fluvio-lacustri con spessori inferiori a 30 metri poggianti su substrato rigido. Prevalgono su tutto il centro abitato condizioni di non elevato contrasto di impedenza.

Le zone suscettibili di instabilità sono limitate ad alcune aree di modesta estensione caratterizzate da fenomeni franosi di scivolamento attivi (porzione nord ovest del capoluogo) o inattivi (porzione nord est del capoluogo).

5.2. **Sagginale**

La frazione occupa il limite SE della piana alluvionale di Borgo S. Lorenzo, al margine del territorio comunale. L'elemento geologico peculiare è la presenza di un consistente accumulo deltizio subaereo (**VcgS**) che copre il basamento rigido (Serie Toscana), con elevata velocità sismica ($V_s = 735$ m/sec). Nella sezione CC' si interpretano i rapporti sempre tettonici tra basamento e complesso lacustre e l'ipotizzata estensione in profondità della conoide, anche sulla base della stratigrafia del sondaggio VEL S14 (profondità 90 metri). Conseguentemente viene individuata una zona stabile suscettibile di amplificazione per alto contrasto di impedenza tra conoide e substrato, corrispondente al centro abitato.

5.3. **Polcanto**

Il contesto geologico si riferisce al fronte di sovrascorrimento (overthrust) Liguridi/Serie Toscana e, come spesso si rileva per tali situazioni tettoniche, il contatto si sviluppa preferenzialmente lungo livelli marnoso-argillitici. Nel nostro caso le Arenarie di Monte Senario (**AMS**) sono sovrascorse sulle Arenarie del Cervarola (**AC**) in corrispondenza dell'orizzonte delle Marne di Galiga (**GAL**) e del Complesso Caotico (non affiorante). La presenza di una diffusa copertura detritica proveniente dalle Arenarie di Monte Senario rende incerta l'interpretazione del rilievo superficiale quando si scende a scala di dettaglio. Lo stendimento sismico a rifrazione GEO2 ha consentito di individuare sotto la copertura detritica di modesto spessore due orizzonti in successione: il primo – probabilmente legata a movimenti gravitativi superficiali segnalati nella carta MOPS – raggiunge la profondità di circa 15 metri dal p.c., il secondo corrisponde al substrato roccioso interpretato come Marne di Galiga, con velocità estremamente elevate ($V_s = 1000-1300$ m/sec).

Tutto il centro abitato presenta condizioni di elevato contrasto di impedenza sismica. Inoltre subito a monte sussistono situazioni di elevata instabilità per frane di scivolamento-scoscendimento.

5.4. **Panicaglia**

La frazione si estende interamente sul pianalto del terrazzamento antico del I° ordine, i cui sedimenti fluviali con spessori di 7-10 metri (**at1**) riposano sui sottostanti terreni lacustri che

affiorano lungo le incisioni del reticolo idrologico: nella parte nord in facies granulata (**Vcg**) e nella parte sud in facies argillosa (**Vag**).

La sezione geologica longitudinale evidenzia i valori di V_s del substrato argilloso che possono anche superare i 700 m/sec. La continuità del livello delle sabbie lacustri (**Vs**) è ipotizzata ma è possibile anche un rapporto di variazione laterale con le argille (**Vag**). Ovunque il rapporto di velocità fra orizzonti successivi è sempre inferiore a 1,6-1,8.

Lungo le scarpate degli impluvi e al margine del terrazzo sono presenti fenomeni di erosione accelerata.

I livelli granulari presentano granulometrie esterne al fuso di potenziale liquefazione, mentre la carta MOPS fornisce un generale quadro di zone stabili soggette ad amplificazione locale per non elevato contrasto di impedenza.

5.5. **Luco di Mugello**

Il perimetro comprende la lingua centrale occupata dal terrazzamento fluviale di I° e II° ordine (**at1** e **at2**) attraversato dal Torrente Bosso, la cui erosione ha messo allo scoperto i terreni fluvio-lacustri: in successione conglomerati (**Vcg**), sabbie (**Vs**) e argille (**Vag**) che affiorano sul versante NO. Nella zona più settentrionale emergono le formazioni della Serie Toscana: Arenarie di Castel Guerrino (**ACG**) e Marne Varicolori (**mv**), con un contatto di faglia che si ipotizza di notevole rigetto e delimitante la fossa del bacino lacustre mugellano.

La sezione longitudinale AA' ricostruisce la struttura ora descritta con il raccordo costituito dal deposito di una conoide fluviale. Si noti che la successiva erosione ha asportato parte della serie fluvio-lacustre e successivamente determinato un contatto di trasgressione fra le alluvioni fluviali del terrazzo e substrato argilloso. A partire dalla profondità di circa 25-30 metri i valori di velocità di quest'ultimo aumentano fino a $V_s = 650-700$ m/sec, forse rappresentativi del passaggio a materiali a maggiore consistenza (individuati come **Vag*** in carta).

La sezione trasversale BB' ricostruisce i probabili rapporti fra gli orizzonti del complesso fluvio-lacustre, ipotizzando la presenza di dislocazioni più giovani rispetto alla loro deposizione.

Nella Carta MOPS si riconosce solo all'estremità nord del perimetro una zona con spessore delle coperture inferiore a 30 metri, che determina un elevato contrasto di impedenza.

Si segnalano infine alcune aree in dissesto (frane inattive) in destra idraulica del torrente Bosso, che interessano la località il Mulino.

5.6. Ronta

La frazione occupa la porzione più montana rispetto alle zone abitate del Comune di Borgo S.Lorenzo ed è posta in corrispondenza di una stretta valle incisa nelle formazioni del basamento rigido e nei depositi di conoide del paleocorso del Torrente Ensa.

La dislocazione bordiera del bacino lacustre è posta nella parte meridionale del perimetro secondo il modello ricostruito nelle sezioni AA' e BB'; a conferma della esistenza di un alto strutturale costituito dalle Arenarie di Castel Guerrino (**ACG**) non sono presenti i depositi lacustri argillosi, altrove sempre rinvenuti.

Si definisce quindi nella carta MOPS una zona che comprende per intero il fondovalle con l'abitato di Ronta, in cui lo spessore delle coperture è molto inferiore a 30 metri, determinando un elevato contrasto di impedenza con il substrato rigido la cui velocità V_s è stata misurata con valori di circa 1000 m/sec.

Per le numerose frane che interessano il versante orientale dei rilievi si ipotizza una connessione con l'assetto stratigrafico e soprattutto con le condizioni di stress lungo la fascia di overthrust.

6. Elaborati cartografici

Per ogni area descritta al cap.1 lo Studio di Microzonazione Sismica è costituito da:

- **Carta delle Indagini** (Tav.1)
- **Carta Geologico-tecnica** (Tav.2)
- **Sezioni Litotecniche** (Tav.3)
- **Carta delle Frequenze fondamentali dei depositi** (Tav.4)
- **Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica** (Tav.5)

La scala di rappresentazione è pari a 1:10.000 per il Capoluogo e Sagginale, 1:5.000 per le altre frazioni.

6.1. Tavola 1: Carta delle Indagini

Vengono riportate tutte le indagini realizzate per il presente studio, oltre alle indagini pregresse raccolte secondo quanto descritto al cap.2 ed utilizzate per la definizione del modello geologico e sismico locale.

Nel complesso i siti indagati risultano 321, per una disponibilità complessiva di più di 450 indagini. Tra di essi, si segnalano per il particolare interesse ai fini della definizione del rischio sismico:

- n.14 prove down-hole in foro di sondaggio (di cui 13 eseguite per il programma VEL)
- n. 4 coni sismici (eseguiti per il programma VEL)
- n. 25 stese di sismica a rifrazione (di cui 6 eseguite per il presente studio, 19 per il programma VEL)
- n.7 indagini geofisiche MASW (eseguite per il presente studio)
- n. 69 misure di rumore sismico (eseguite per il presente studio)

La carta delle indagini viene proposta sia in forma cartacea che digitale (in formato GIS) utilizzando la simbologia e le specifiche tecniche per l'informatizzazione previste dalla "Commissione Nazionale per la Microzonazione Sismica" del Dipartimento nazionale di Protezione Civile. Tramite il sistema informativo territoriale predisposto è possibile accedere al database informativo delle indagini, redatto secondo le specifiche tecniche presenti negli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica v.1.5", e – tramite iperlink – ai rispettivi certificati in formato digitale.

6.2. Tavola 2: Carta geologico-tecnica

Si basa sulla revisione dettagliata della cartografie geologiche e geomorfologiche esistenti negli Strumenti Urbanistici Comunali, degli studi geologici regionali (programma VEL e progetto CARG), integrata da approfondimenti svolti a scala locale tramite rilievo di controllo e dall'analisi dei numerosi dati di base a disposizione (cfr. § 6.1).

Le formazioni geologiche individuate, al netto di coperture detritiche di spessore inferiore ai 3 metri non considerate rilevanti ai fini della microzonazione sismica, sono descritte nel modello geologico del cap. 5 con riferimento alle aree di affioramento e sono le seguenti:

- **R:** riporti
- **C:** aree di cava dismessa
- **dt:** accumuli detritici di versante, principalmente derivanti dalla disgregazione fisico-meccanica dei materiali litoidi del substrato affiorante e degli orizzonti a prevalente componente granulare dei depositi fluvio-lacustri
- **cl:** depositi colluviali ed eluviali

DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI ED ATTUALI

- **a:** depositi fluviali sabbioso-ghiaiosi dell'alveo dei principali corsi d'acqua
- **at3:** alluvioni attuali e recenti del Fiume Sieve e dei suoi affluenti
- **at2:** depositi alluvionali terrazzati del II° ordine costituiti da ghiaie e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa, con orizzonti di sabbie limose e limi argillosi
- **at1:** depositi alluvionali terrazzati del I° ordine costituiti da ghiaie e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa, con orizzonti di sabbie limose e limi argillosi

DEPOSITI DEL BACINO FLUVIO-LACUSTRE DEL MUGELLO

- **Vcg:** conglomerati prevalenti
- **VcgS:** depositi di conoide di bordo del bacino, presenti in località Sagginale, a prevalente composizione granulare
- **Vs:** sabbie prevalenti
- **Vag:** argille e limi prevalenti

SERIE TOSCANA

- **AC**: Arenarie del Cervarola (“Macigno di Londa”), arenarie quarzoso-feldspatiche fini alternate a marne, siltiti e argilliti
- **ACG**: Arenarie di Castel Guerrino, torbiditi a prevalente componente marnoso-siltitica con potenti banchi arenacei
- **ACQ**: Formazione dell'Acquerino, alternanze irregolari arenaceo-pelitiche
- **GAL**: Marne di Galiga, marne siltose ad assetto fortemente tettonizzato
- **mv**: Marne Varicolori, marne e argilliti, talvolta calcilutiti, variegata

SERIE UMBRO-ROMAGNOLA

- **FMA**: Formazione Marnoso-Arenacea, arenarie quarzoso-feldspatiche, micacee e dolomitiche, alternate a marne siltose
- **sl**: “slump” costituito da elementi litoidi scompaginati a litologia marnoso-arenacea, posto in corrispondenza del contatto tettonico per sovrascorrimento tra Serie Toscana e Serie Umbro-Romagnola

COMPLESSO DI CANETOLO (Liguridi)

- **AMS**: Arenarie di Monte Senario, torbiditi arenacee quarzoso-feldspatiche, fini e grossolane, con intercalazioni argillitiche e marnose.

Vengono inoltre individuati e distinti i principali allineamenti tettonici, diretti e rovesci, presenti nelle aree di studio. In particolare si segnalano il thrust di Polcanto, in cui il Complesso di Canetolo sovrascorre sulla Serie Toscana, ed il thrust di Ronta, dove in corrispondenza di un livello fortemente tettonizzato (slump) si assiste al sovrascorrimento della Serie Toscana sulla Formazione Marnosa-Arenacea. Per quanto riguarda la tettonica distensiva, l'elemento principale è costituito dalla faglia diretta che borda il graben del Mugello lungo il versante meridionale in corrispondenza del capoluogo e di Sagginale, con rigetto presunto di varie centinaia di metri, che ribassa il substrato roccioso localmente costituito dalle formazioni torbiditiche della Serie Toscana.

La tavola viene proposta sia in forma cartacea che digitale (in formato GIS).

6.3. Tavola 3: Sezioni litotecniche

Le sezioni, per la cui descrizione dettagliata si rimanda al cap.5, sono state scelte in modo tale da andare a individuare e descrivere i principali elementi geologico-strutturali delle aree di studio. Nella tavola ne vengono presentate n.4 che interessano il Capoluogo e Sagginale, n.1 per Polcanto, n.1 per Panicaglia e n.2 per le frazioni di Luco di Mugello e Ronta (totale 10 sezioni).

La ricostruzione geologica si avvale di tutte le indagini riportate nella tavola 1 e nel relativo geodatabase; per facilità di lettura vengono graficamente riportate, lungo le sezioni, solo le indagini del programma VEL (con sigla “ST”) e le indagini svolte per il presente studio (con sigla “GEO”), con i valori di velocità delle onde S (V_s in m/sec) riscontrati in ciascun orizzonte litologico del sottosuolo.

La tavola viene proposta sia in forma cartacea che digitale (in formato pdf).

6.4. Tavola 4: Carta delle Frequenze fondamentali dei depositi

La tavola presenta i risultati delle elaborazioni svolte sulle 69 misure strumentali a stazione singola realizzate nell'ambito dei 6 centri urbani del Comune di Borgo S.Lorenzo, distribuite sul territorio seguendo i seguenti criteri:

- copertura areale della zona indagata
- associazione con le indagini sismiche a rifrazione / MASW eseguite per il presente studio
- correlazione con i principali litotipi presenti nel sottosuolo del territorio in esame, in modo da poter associare ogni orizzonte sismo-stratigrafico a specifiche frequenze di risonanza

Per le modalità di realizzazione delle prove e la successiva definizione delle classi di affidabilità dello studio si fa riferimento allo studio redatto da Albarello e Castellaro, *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*, pubblicato in “Supplemento di Ingegneria Sismica” n.2/2011.

Le misure sono state condotte mediante sismografo a tre componenti “SARA SR04S3”, dotato di velocimetro a 4,5 Hz, sempre su terreno naturale in condizioni di assenza di vento significativo e di pioggia, con frequenza di acquisizione pari a 100 Hz.

La possibile presenza di importanti contrasti di impedenza sismica posti a elevata profondità, al di sotto della potente successione fluvio-lacustre del bacino del Mugello, ha reso necessario condurre acquisizioni di lunga durata, quasi sempre pari a 45 minuti; infatti laddove si cercano

picchi di H/V a frequenza estremamente bassa, anche inferiore a 0,5 Hz, l'interferenza dei fenomeni transienti rende necessario un'operazione di maggiore "pulitura" del segnale con conseguente aumento delle finestre temporali a disposizione per l'elaborazione. Tali finestre sono state in tutti i casi assunte pari a 20 secondi. Le operazioni di lisciamento si sono avvalse del metodo triangolare costante al 10%.

Gli spettri di rumore sismico acquisiti sono elaborati mediante la nota tecnica di Nakamura che, tramite la valutazione del rapporto sperimentale tra componenti orizzontali e componente verticale delle vibrazioni ambientali, permette di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consente una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni. Contestualmente la tecnica H/V può fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico: a partire da un valore di frequenza di risonanza infatti, nota la V_s delle coperture, si può stimare la profondità dei riflettori sismici principali e dedurre quindi avere indicazioni di massima sul modello sismo-stratigrafico del sottosuolo.

Infine, sulla base della stima dell'ampiezza del picco fondamentale è possibile distinguere, in via del tutto qualitativa, le zone caratterizzate da alti contrasti di impedenza da aree caratterizzate da un minore contrasto.

La carta riporta l'ubicazione di tutti le stazioni acquisite con i rispettivi valori della frequenza fondamentale (f_0), quest'ultimi suddivisi in base a classi di frequenza, come suggerito dalle specifiche regionali, allo scopo di distinguere qualitativamente aree caratterizzate da assenza di fenomeni di risonanza significativi da aree caratterizzate dalla presenza di fenomeni di risonanza. Queste le classi individuate:

- "no picco": assenza di fenomeni di risonanza
- $f_0 = 0,1-1,0$ Hz
- $f_0 = 1,0-2,0$ Hz
- $f_0 = 2,0-8,0$ Hz
- $f_0 = 8-20$ Hz

in cui il valore di frequenza fondamentale risulta in linea di massima inversamente proporzionale allo spessore atteso di coperture sopra al substrato rigido, considerato sismicamente stabile.

I risultati ottenuti confermano e in alcuni casi integrano le conoscenze sismo-stratigrafiche del sottosuolo, costituendo un valido strumento aggiuntivo per la definizione delle zone sismiche nella carta MOPS (tavola 5).

In particolare si segnalano valori di frequenza fondamentale inferiori a 1 Hz nella zona della pianura alluvionale del Capoluogo e di Sagginale, laddove al modesto spessore di deposizione fluviale segue la potente sequenza fluvio-lacustre che supera abbondantemente, nella parte centrale del bacino, i 100 metri di spessore al di sopra del substrato roccioso. Valori leggermente più alti sono presenti nella fascia di pianura prossima ai rilievi che bordano a sud il bacino, a segnalare una modesta ma percepibile diminuzione degli spessori delle coperture avvicinandosi al margine del bacino stesso.

Frequenze fondamentali più varie, comunque quasi sempre inferiori a 8 Hz e con abbondante presenza di valori inferiori a 1Hz, sono proprie dei depositi lacustri della porzione nord del capoluogo e delle frazioni settentrionali, dove gli spessori di coperture sopra il substrato restano significativi.

Valori di frequenza alti, anche superiori a 10 Hz, caratterizzano le coltri detritiche e alluvionali di modesto spessore sopra ai terreni litoidi in posto.

In alcuni casi le elaborazioni mettono in luce la presenza di più picchi H/V: in questi casi, pur riportando nel certificato le valutazioni e i calcoli inerenti il picco ad ampiezza maggiore, è stata eseguita una scelta in favore della frequenza di risonanza considerata più significativa in chiave geologica e sismo-stratigrafica, segnalando questa nella carta delle frequenze.

E' il caso ad esempio delle misure GEO42, GEO55, GEO70, in cui un picco H/V con frequenza pari o inferiore a 1 Hz viene in parte "mascherato" da un picco ad elevata frequenza – valido da un punto di vista sismico – che corrisponde però a contrasti di impedenza superficiali e di scarsa significatività sia in chiave stratigrafica che di rischio sismico.

Per ogni prova eseguita vengono forniti i file di acquisizione di campagna e un certificato riassuntivo della misura stessa, in cui si riportano:

- condizioni logistico-tecniche di acquisizione
- foto della strumentazione durante la misura
- spettro nelle tre componenti (E-O, N-S, Z)
- risultati dell'elaborazione HVSR mediante tecnica Nakamura con il valore del picco fondamentale e di eventuali picchi secondari; viene esplicitata anche la lunghezza della sequenza temporale analizzata rispetto alla durata complessiva dell'acquisizione
- grafico della persistenza (stazionarietà) e della direttività (isotropia) del valore di H/V
- valutazione della qualità statistica del risultato secondo i criteri SESAME (2004) per l'affidabilità della curva e del picco

- attribuzione della classe di qualità secondo le indicazioni di Albarello e Castellaro, (“Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola”, Supplemento di *Ingegneria Sismica* n.2/2011)

La tavola viene proposta sia in forma cartacea che digitale (in formato GIS).

6.5. Tavola 5: Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

Obiettivo principale dello studio di Microzonazione Sismica di Livello 1, la carta MOPS suddivide il territorio urbano e periurbano in microzone sulla base della possibile occorrenza dei diversi fenomeni prodotti dall'azione sismica: in modo particolare vengono segnalate e perimetrate le aree suscettibili di amplificazione sismica per cause topografiche e per contrasti di impedenza, oltre alle forme morfologiche instabili o potenzialmente generatrici di instabilità.

La carta è pertanto il risultato di una molteplicità di osservazioni geologiche, geomorfologiche e geofisiche, oltre che di acquisizioni di dati geognostici di base.

Aspetto cardinale della predisposizione della carta è l'individuazione dei litotipi, generalmente rocciosi, che costituiscano il substrato rigido (“bedrock sismico”) in cui la velocità di propagazione delle onde di taglio sia significativamente maggiore rispetto a quella delle sovrastanti coperture: avvalendosi del modello geologico del sottosuolo e delle indagini geofisiche effettuate sarà possibile giungere ad una stima – pur approssimativa – della profondità del substrato rigido rispetto al piano di campagna e del contrasto di impedenza atteso con le coperture sovrastanti.

Nelle aree esaminate il bedrock sismico viene sempre identificato con le formazioni litoidi del substrato roccioso: laddove pertanto esse si rinvergono in affioramento, o subaffioranti sotto coperture superficiali di alterazione inferiori ai 3 metri, con pendenze fino ai 15°, vanno a costituire le zone stabili della carta MOPS. Le elevate pendenze medie dei rilievi montuosi e collinari delle aree in esame rendono estremamente limitate le zone stabili, attribuendo di conseguenza la maggior parte della porzioni di territorio con bedrock affiorante a “zona stabile suscettibile di amplificazione per effetti topografici” (zona 1); tale zona è diffusamente presente sui rilievi a sud del Capoluogo, a Polcanto e nella parte settentrionale di Ronta e di Luco.

La dettagliata ricostruzione del modello geologico del sottosuolo ha permesso di individuare ben 16 “zone stabili suscettibili di amplificazione sismica per contrasto di impedenza” tra substrato e coperture (zona 2 – zona 17), differenziate tra loro sulla base della successione sismo-stratigrafica, degli spessori e dei valori di velocità Vs dei vari orizzonti. La descrizione

dettagliata delle zone sismiche è riportata nella legenda della Carta MOPS presente in allegato; esse caratterizzano la maggior parte del territorio studiato, l'intera totalità dell'area di Panicaglia e gran parte del territorio del Capoluogo, di Sagginale e di Luco di Mugello.

Infine, particolare attenzione viene dedicata alle zone instabili, in cui sono annoverate tutte le aree di instabilità di versante suddivise tra frane attive, frane quiescenti e frane inattive. Tra le frane attive, di particolare rilevanza e recente attivazione quella lungo la SS Faentina in località Polcanto, oltre ad alcuni piccoli movimenti a nord del centro urbano del capoluogo. Nelle restanti frazioni sono presenti aree di instabilità descritte al cap.5.

Si segnala inoltre la presenza della faglia capace di Borgo capoluogo, ovvero l'allineamento tettonico di tipo normale al margine meridionale del bacino del Mugello.

Infine, la carta riporta anche le principali forme morfologiche di rilevanza per i possibili effetti di amplificazione sismica: sono presenti alcune creste morfologiche, orli di terrazzo e di scarpata (in genere inferiori a 10 metri) e due conoidi alluvionali, in località Sagginale e in località Lutiano Vecchio (a sud del Capoluogo).

7. Individuazione della Classe di Qualita'

La procedura semiquantitativa per stabilire la classe di qualità dello studio eseguito, secondo le indicazioni dell'appendice 1 delle Specifiche tecniche regionali (DGRT 261/2011), si basa su n. 6 parametri (carta geologico-tecnica, sondaggi a distruzione, sondaggi a carotaggio continuo, indagini geofisiche, prove geognostiche, misure delle frequenze di sito) ai quali viene assegnato un peso; ogni parametro prevede 3 indicatori ai quali viene dato un punteggio che deve essere moltiplicato per il peso corrispondente. La somma dei valori dei parametri permette così di stilare una classifica di qualità:

- Classe A, valori superiori a 75%; indicazioni: nessuna, carta di livello 1 di ottima qualità;
- Classe B, valori intervallo (50%-74%); indicazioni: migliorare almeno uno dei parametri
- Classe C, valori intervallo (25%-49%); indicazioni: programmare indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità;
- Classe D, valori inferiori a 25%; indicazioni: la carta di livello 1 è di scarsa qualità e non risponde ai requisiti minimi richiesti dagli ICMS e dalle suddette specifiche.

La valutazione eseguita si avvale di un foglio di calcolo messo a disposizione dal Servizio Sismico Regionale. I risultati, presentati nel dettaglio nel relativo allegato, assegnano allo Studio di Microzonazione Sismica di Livello 1 del Comune di Borgo San Lorenzo **CLASSE B** (67,9%).

8. Bibliografia

- Albarello D. (2011) – Indagini geofisiche di superficie a supporto della progettazione del modello geologico, *Atti del Seminario "Indagini e tecniche di microzonazione sismica di livello 1 e applicazioni in sede di pianificazione territoriale"*.
- Albarello D., Castellaro S. (2011) - Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola, *Supplemento di Ingegneria Sismica n.2*.
- AA.VV. (2011) - Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, vol, I-II-III, Dipartimento della Protezione Civile Presidenza del Consiglio dei Ministri.
- Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica (2011) – Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica v1.5.
- Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica (2011) – Standard per la stesura della carta delle indagini v1.5.
- Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica (2011) - Redazione delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica all.A, *Regione Toscana U.T. Genio Civile*.