

## Indice generale

1.Introduzione.....	2
2.Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	4
3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area.....	12
4.Dati geotecnici e geofisici.....	22
4.1.Dati bibliografici.....	22
5.Modello del sottosuolo.....	44
6.Interpretazioni e incertezze.....	45
7.Metodologie di elaborazione e risultati.....	46
8.Elaborati cartografici.....	48
8.1.Carta delle indagini.....	48
8.2.Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica e sezioni geologico tecniche.....	49
8.3.Carte di approfondimento della Regione Emilia-Romagna.....	54
8.3.1.Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	54
8.3.2.Carta delle Vs.....	55
8.4.Carta delle microaree a comportamento sismico omogeneo (MOPS) – livello 1.....	56
8.5.Carta di microzonazione sismica – livello 2.....	60
8.6.Commenti finali e criticità.....	62
9.Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati.....	62
10.Bibliografia.....	63
Allegati al testo.....	70
Allegati cartografici.....	70
Allegati cartografici della Regione Emilia-Romagna.....	70

## **1.Introduzione**

Il presente lavoro viene redatto in attuazione dell'Art.11 della Legge n.77 del 24 giugno 2009 e in base a quanto stabilito nella D.G.R. n. 1302 del 10/09/2012 “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'O.P.C.M. 4007/2012 a favore degli enti locali” (Regione Emilia-Romagna).

La delibera suddetta stabilisce, in Allegato 3, i criteri tecnici che devono essere seguiti per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica dei comuni della Regione Emilia-Romagna. Quanto non specificato nel documento regionale viene indicato dai criteri nazionali riportati in ICMS 2008 (AA.VV., 2008) e nella Vers.2.0 del documento “Microzonazione sismica; standard di rappresentazione e archiviazione informatica” (AA.VV., 2012).

Al fine di ottimizzare costi e tempi, la microzonazione sismica è richiesta nelle aree urbanizzate, in quelle suscettibili di trasformazioni urbanistiche e lungo le fasce a cavallo delle principali reti infrastrutturali.

In particolare si è deciso di procedere con la microzonazione dei centri abitati più popolosi e in corrispondenza dei quali sono previste future espansioni urbanistiche. Tale selezione è stata effettuata, di concerto con i tecnici comunali, in funzione della quantità dei dati pregressi disponibili per le diverse frazioni del territorio comunale; si è deciso pertanto di procedere laddove una presenza diffusa di indagini già disponibili, offriva una base di partenza sufficientemente dettagliata per poter procedere con le nuove indagini previste dal piano di lavoro, in maniera tale da ottenere il grado di dettaglio necessario alla realizzazione dei lavori di microzonazione sismica, secondo gli standard richiesti dal Dipartimento Nazionale di Protezione Civile.

Si sottolinea che tutto il territorio comunale del Comune di Lesignano de' Bagni è stato nel recente passato sottoposto a studi di microzonazione sismica allegati al PSC (Piano Strutturale Comunale), a carattere di inquadramento generale, su tutto il territorio comunale (cfr. fig.3.4 e 3.5). Tali studi hanno anche rappresentato un'ottima base di partenza grazie alla quale poter avviare la pianificazione del presente lavoro.

L'attenzione del presente studio è stata quindi focalizzata sul Capoluogo di Lesignano de' Bagni e sulle frazioni di Santa Maria del Piano e La Bassa, poste nella parte Nord del territorio comunale, le quali costituiscono le zone residenziali principali, verso cui è indirizzato l'interesse per il futuro sviluppo urbanistico comunale.

In effetti, come si evince anche dal Documento Preliminare “Strategie e Azioni” del P.S.C., l'attuale assetto insediativo del territorio di Lesignano de' Bagni vede uno sviluppo maggiore delle località situate lungo la Strada Provinciale n° 16, per la facilità di trasporto delle merci e di collegamento

con la città di Parma, ed una prevalenza netta del Capoluogo e di Santa Maria del Piano sia per la funzione residenziale che per le aree produttive.

In effetti, in queste due zone la pianificazione urbanistica locale ha da sempre localizzato le maggiori aree edificabili di espansione residenziale, mentre alle altre frazioni sono state destinate modeste quote insediative. Negli ultimi anni il tessuto è stato completato con l'attuazione di Piani Particolareggiati nati proprio con l'obiettivo di dare continuità alla trama residenziale dei due centri principali.

Non stupisce, quindi, che il Capoluogo e Santa Maria del Piano contengano la quasi totalità delle Diretrici Residenziali (DR1, DR2, DR4, DR5, DR6) previste dal PSC ad oggi vigente, all'interno delle quali si potranno realizzare case singole, abbinata, schiere, tipologie condominiali e attrezzature per servizi pubblici e di interesse pubblico.

Questi ambiti DR corrispondono agli ambiti residenziali di nuova edificazione da attuare tramite PUA, previo inserimento nel POC, nei quali il PSC persegue strategie di sviluppo sostenibile degli insediamenti abitativi, secondo logiche di perequazione e mitigazione degli impatti ambientali, perseguendo obiettivi di miglioramento della qualità del vivere e dell'abitare attraverso il reperimento di aree pubbliche per dare continuità al sistema del verde e dei percorsi ciclo-pedonali e per la realizzazione di attrezzature collettive, delle reti tecnologiche e di opere di mitigazione degli impatti.

Il Capoluogo spicca per importanza su tutti gli altri centri abitati, oltre che per motivi urbanistici e demografici, anche per la presenza dei servizi. Escludendo la frazione di Mulazzano Ponte, caratterizzata dalla prevalente presenza di insediamenti artigianali-industriali, il rimanente territorio è caratterizzato dal sistema dei borghi di antico impianto localizzati in prevalenza lungo le strade di crinale e i percorsi storici che innervano la collina ed è punteggiato dall'edilizia agricola, con alcuni casi esemplari di rilevante interesse storico.

Si è scelto di comprendere all'interno del presente studio, in accordo con i tecnici comunali, anche l'abitato di La Bassa, ubicato nel settore nord-occidentale del territorio comunale, collegato direttamente con le due aree più importanti sopra descritte e caratterizzato da quartieri residenziali non pianificati attestati lungo le strade di comunicazione quasi fino a raggiungere il Capoluogo stesso.

## 2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

La *pericolosità sismica* di un territorio è la probabilità che in un determinato intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi una soglia di intensità, magnitudo o accelerazione di picco (PGA (Peak Ground Acceleration – grandezza di significato analogo ad  $A_g$  ma che tiene conto dell'influenza degli eventuali effetti di amplificazione del moto sismico dovuti alle caratteristiche del sottosuolo o alla topografia) di nostro interesse. Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input (tra cui il catalogo dei terremoti, le zone sorgente, la relazione di attenuazione del moto del suolo, etc.) e dei parametri di riferimento (quali lo scuotimento in accelerazione o spostamento, il tipo di suolo, la finestra temporale, etc.).

La pericolosità sismica di base è una componente della pericolosità sismica dovuta alle caratteristiche sismologiche dell'area (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti). Essa calcola, per una certa regione e un determinato periodo di tempo, i valori dei parametri corrispondenti a prefissate probabilità di eccedenza. Tali parametri (velocità, accelerazione, intensità) descrivono lo scuotimento prodotto dal terremoto in condizioni di suolo rigido e senza irregolarità morfologiche (terremoto di riferimento).

L' O.P.C.M. 3274/2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*" e ss.mm.ii., ha introdotto in Italia per la prima volta un metodo per la stima della pericolosità sismica di base a partire da dati e metodi attuali, allo scopo di ottenere la "*Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale*" presentata nell'aprile 2004 dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (fig.2.1).

Secondo l'O.P.C.M. 3519/2006, aggiornamento della precedente, il Comune di Lesignano de' Bagni ricade nella **zona sismica 3**, vale a dire con pericolosità sismica bassa che può essere soggetta a scuotimenti modesti. A questa corrisponde un valore di accelerazione orizzontale massima su suolo rigido e pianeggiante  $A_g$  (con probabilità di superamento del 10% in 50 anni) compresa tra 0,05 e 0,15g ed un'accelerazione massima del suolo ( $A_{max}$ ) compresa tra 0.150 e 0.175 g secondo la Mappa di pericolosità sismica (fig.2.1).

Strumenti fondamentali per stabilire la pericolosità sismica di un sito sono le zonazioni sismogenetiche, studi sismologici che tenendo conto delle caratteristiche geodinamiche del territorio nazionale lo suddividono in zone caratterizzate dal medesimo regime tettonico, all'interno delle quali si possono attendere fenomeni sismici con caratteristiche generali potenzialmente simili. La zonazione sismogenetica attualmente in uso in Italia è la Zonazione Sismogenetica ZS9.

La Zonazione Sismogenetica ZS9 è il risultato di modifiche, accorpamenti ed elisioni nelle numerose zone indicate nella Zonazione Sismogenetica ZS4 (Scandone *et alii*, 2000).

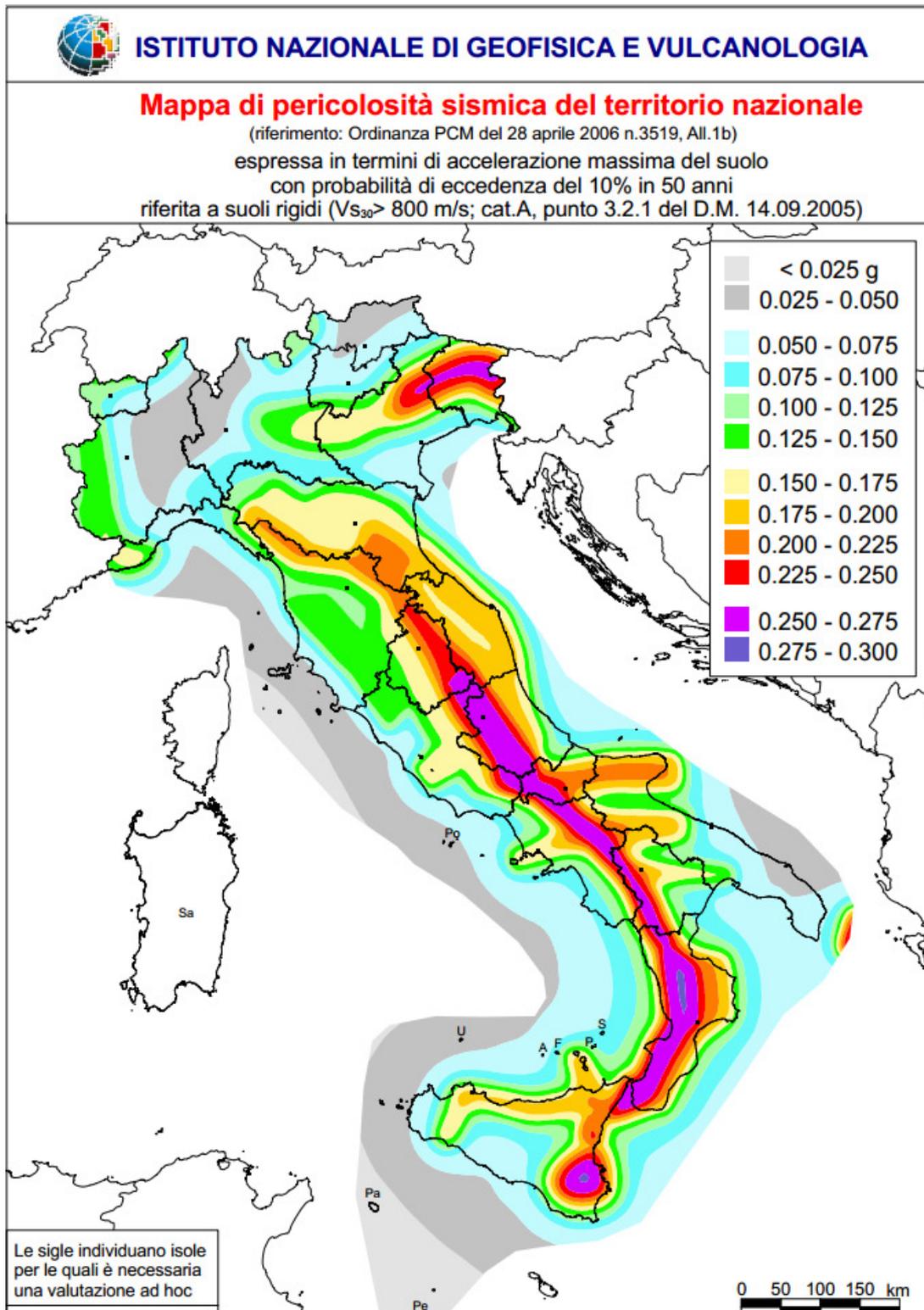


Fig. 2.1 - “Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale” presentata nell’aprile 2004 dall’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

L’obiettivo di questa ricerca è stato la realizzazione di un modello più coerente con i nuovi dati e con il quadro sismo tettonico oggi disponibile, in cui gli elementi di novità stanno in un più ricco

catalogo sismico ed in una maggiore conoscenza sulla geometria delle sorgenti sismogenetiche.

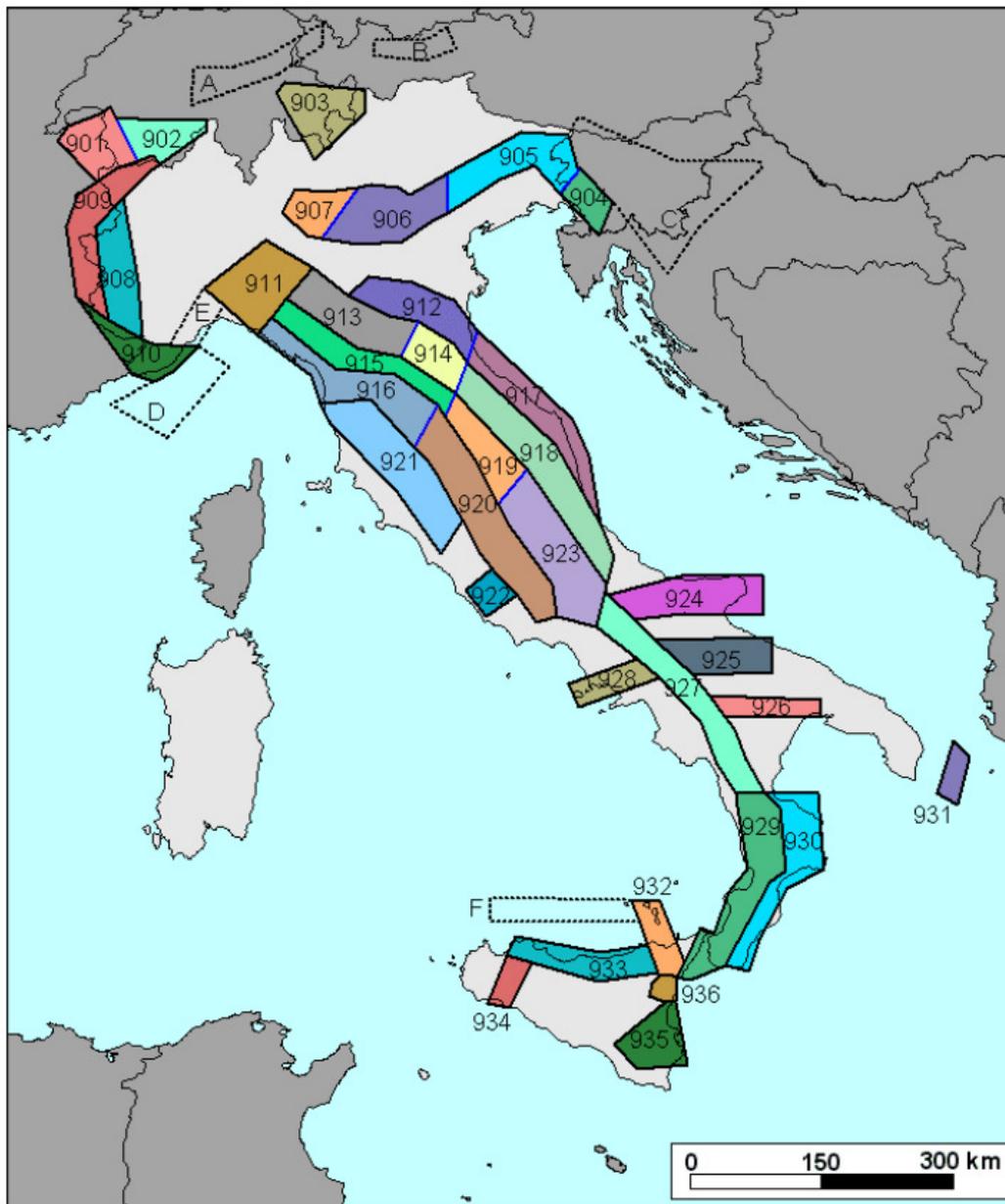


Fig. 2.2 – Zonazione sismogenetica ZS9 (Tratta da: “Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica – Rapporto conclusivo – bozza aprile 2004” - INGV). Il limite delle zone in nero definisce i limiti il cui tracciamento è esclusivamente derivato da informazioni tettoniche o geologico strutturali (es. presenza di faglia di trasferimento oppure terminazione di un determinato sistema di faglie di trasferimento ecc.), in blu invece definisce suddivisioni in zone con uno stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche della sismicità (distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata ecc.).

Le 42 zone sono state identificate con un numero (da 901 a 936) o con una lettera (da A a F).

In base alla ZS9, il Comune di Lesignano de' Bagni ricade all'interno della zona **913**. Le zone 913, 914 e 918, risultano dalla scomposizione della fascia che da Parma si estende fino all'Abruzzo. Nella Zona 913 si verificano terremoti prevalentemente compressivi, mentre nelle altre zone della fascia prevalgono in genere meccanismi focali distensivi (AA.VV., 2004). La zona 913 è caratteriz-

zata da terremoti di bassa-media magnitudo, la cui origine è riconducibile alla presenza delle strutture sepolte attive. Il maggior numero di terremoti che si verificano in questa zona, presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 12 e 20 km e i valori di magnitudo massima previsti, sulla base dei meccanismi focali, sono pari a  $M_{wmax} = 5,91$ .

Un altro strumento importante ai fini della valutazione della pericolosità sismica è il DISS 3.0 (Database delle strutture sismogenetiche in Italia; vers. 3.0), sul quale vengono riportate le strutture tettoniche che sono potenzialmente in grado di produrre fenomeni sismici (fig.2.3), corredate da tutta una serie di dati che ne descrivono la capacità sismogenetica.

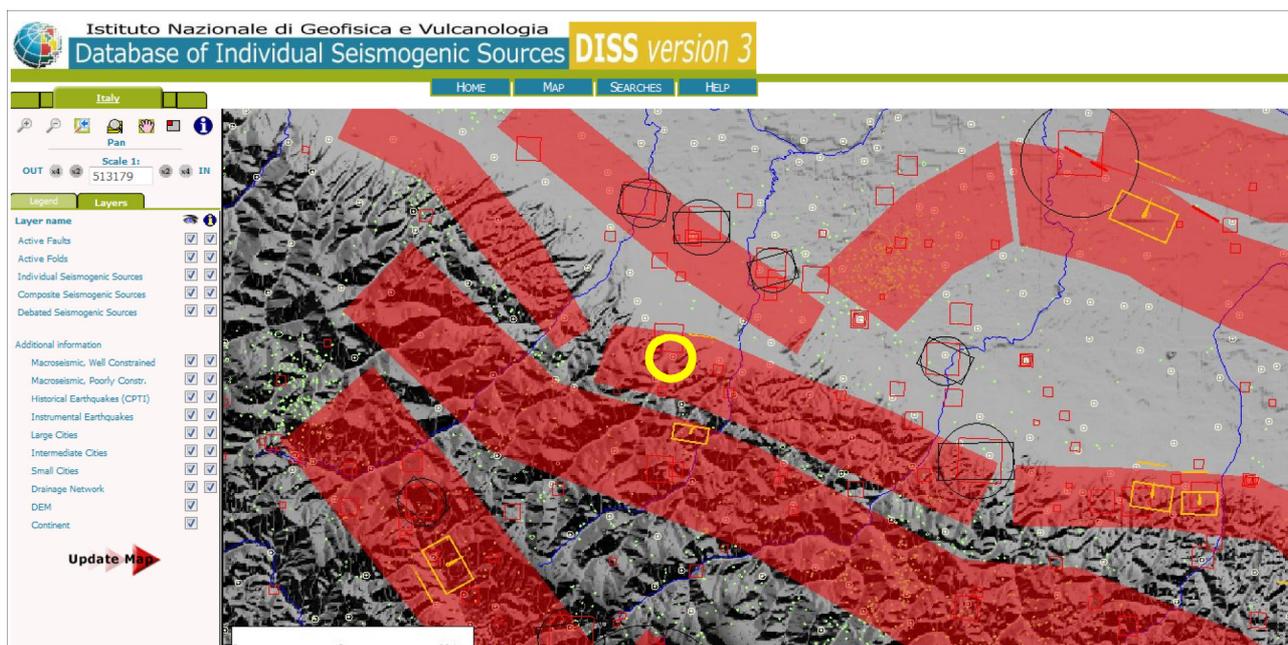


Fig. 2.3 – DISS3.0; la posizione del territorio comunale di Lesignano de' Bagni è contrassegnata da un cerchio giallo (da: [http://diss.rm.ingv.it/GFMaplet3\\_INGV/GFMaplet/Default](http://diss.rm.ingv.it/GFMaplet3_INGV/GFMaplet/Default))

L'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) rende disponibili online importanti strumenti per la valutazione della pericolosità sismica ai fini del calcolo del segnale atteso in un determinato sito; in fig. 2.4 si riporta il risultato della consultazione tramite l'applicazione online <http://esse1-gis.mi.ingv.it> della mappa probabilistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa su una griglia regolare a passo  $0.05^\circ$  relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da  $a$  (g) (accelerazione orizzontale massima del suolo).

Al fine di ricostruire la sismicità storica del sito, si è provveduto ad estrarre dal Database Macro-sismico Italiano 2011 dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), che costituisce la base del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11) e dalle schede tecniche del Dipartimento di Protezione Civile, gli eventi sismici che hanno interessato del Comune di Lesignano de' Bagni (tab. 2.1).

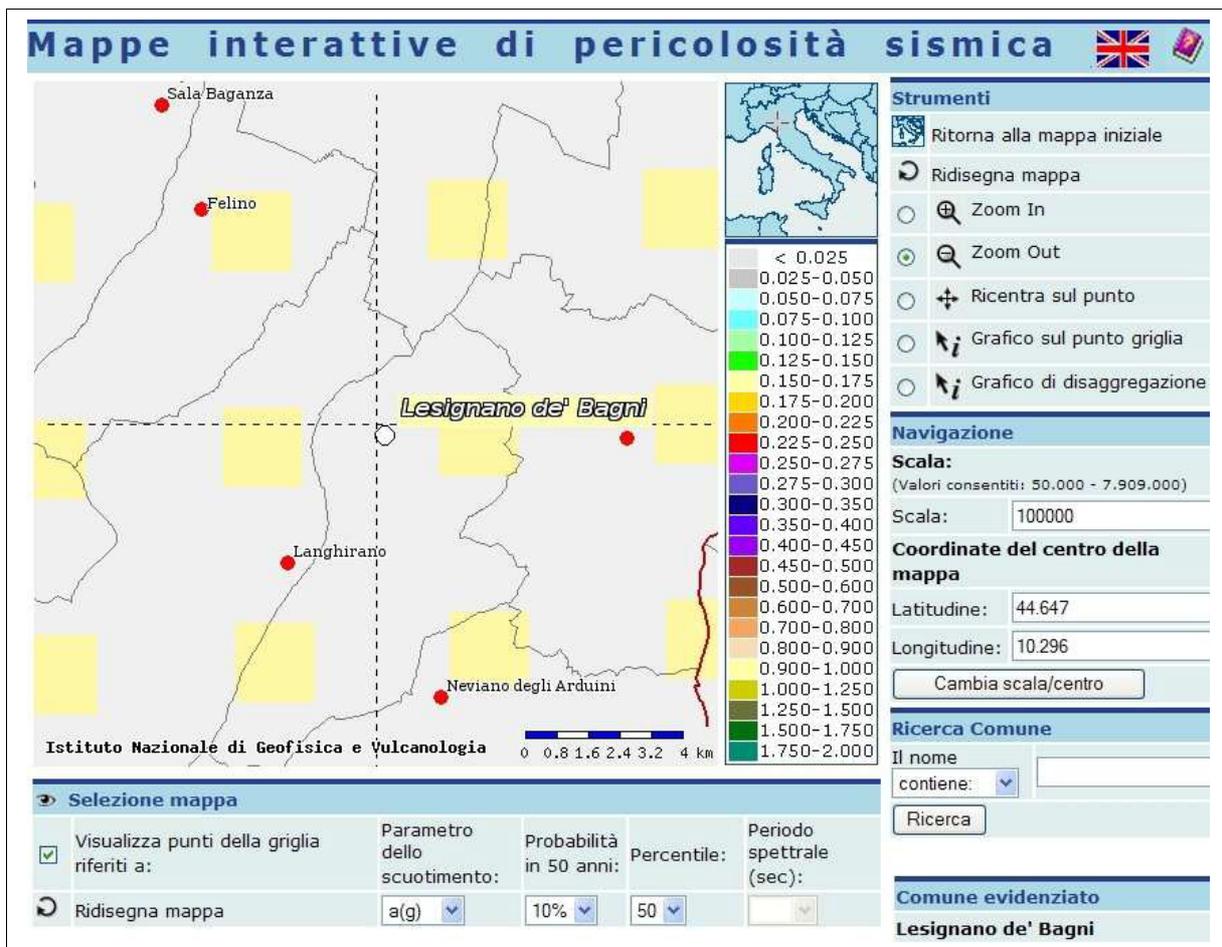


Fig. 2.4 – Stralcio della Mappa di pericolosità sismica del Comune di Lesignano De' Bagni espressa in termini di  $a(g)$  per un Tempo di ritorno di 475 anni (da: <http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

Al fine di disporre di un'ampia massa di dati, l'estrazione è stata fatta con riferimento alla città di Parma, che dista circa 17 km in direzione NNE.

Is	Data	Area Epicentrale	Intensità massima/MCS	Magnitudo	Descrizione
7	15/11/1409	Parma	6 / VII	5,1	Danni di lieve entità a Parma
8	11/06/1438	Parmense	8 / VIII	5,6	L'evento interessò Parma, Piacenza, Castelnuovo Parmense, Borgo S. Donnino
7	09/12/1818	Langhirano	7-8 / VII	5,5	La scossa danneggiò alcune case e le chiese di Langhirano, Lesignano de' Bagni, San Michele di Tiorre e Arola (ove ci furono due vittime)
7	11/09/1831	Reggiano	7-8 / VII-VIII	5,5	Danni a Parma, Sorbolo, Reggio, Modena e Sassuolo
7	13/03/1832	Reggiano	7-8 / VII-VIII	5,5	Le località più interessate furono Parma, Reggio, Castelnuovo di Sotto

-	4/03/1898	Valle del Parma	VII-VIII	5,4	Le località più colpite furono Barbiano, Langhirano e Vidiana, dove alcune case e la chiesa risultarono inagibili.
7	15/07/1971	Parmense	7-8 / VIII	5,6	Danni in un'area ristretta compresa tra le Province di Parma e di Reggio Emilia.
7	09/11/1983	Parmense	6-7 / VI-VII	5,1	Terremoto profondo che provoca danni di media gravità in numerosi centri abitati tra i quali, in area epicentrale, Parma e Collecchio.
-	23/12/2008	Appennino Emiliano	VII	5,4	Il danneggiamento più diffuso interessa alcune località minori del reggiano e parmense lungo le sponde del torrente Baganza. L'unico centro abitato di dimensioni consistenti con danni significativi è quello di Langhirano.

Tab. 2.1 – Elenco dei terremoti più forti registrati nell'area di Parma dal 1400 al 2008. Fonte dei dati - Database Macrosismico Italiano 2004 dell'INGV e schede tecniche del Dipartimento di Protezione Civile

Le ricerche in campo sismotettonico avviate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna” (2004), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali attivi del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici. In particolare, con riferimento all'area in esame, risultano attivi i sovrascorrimenti del fronte padappenninico (fig.2.5).

L'Emilia Romagna, rappresenta un settore della catena appenninica esterna caratterizzato da una sismicità frequente che può essere definita media in relazione alla sismicità nazionale. La sismicità rappresenta uno strumento indispensabile per le analisi sismotettoniche e un utile supporto alla geologia strutturale, in quanto le diverse tipologie di dati sismici possono fornire indicazioni per l'identificazione e la caratterizzazione delle strutture geologicamente attive. Con il termine generico di “dati sismici”, si intende tutto l'insieme delle informazioni disponibili sui terremoti avvenuti in passato, ottenute secondo metodi di analisi di tipo sia strumentale che non strumentale. I dati strumentali consistono essenzialmente in registrazioni del moto del terreno dalle quali è possibile ricavare l'ipocentro (in termini di latitudine, longitudine, profondità e relative incertezze), così come la dimensione (in termini di magnitudo o momento sismico) e la tipologia del meccanismo del terremoto (in termini di parametri di faglia o di tensore momento). I dati non strumentali, invece, consistono essenzialmente in informazioni sulla distribuzione spaziale degli effetti indotti dal terremoto sulle persone, sulle cose e sull'ambiente, dalle quali, attraverso la codifica di una scala di Intensità macrosismica, è possibile ricavare la localizzazione, la magnitudo equivalente, le dimensioni fisiche ed anche l'orientazione della struttura sismogenetica.

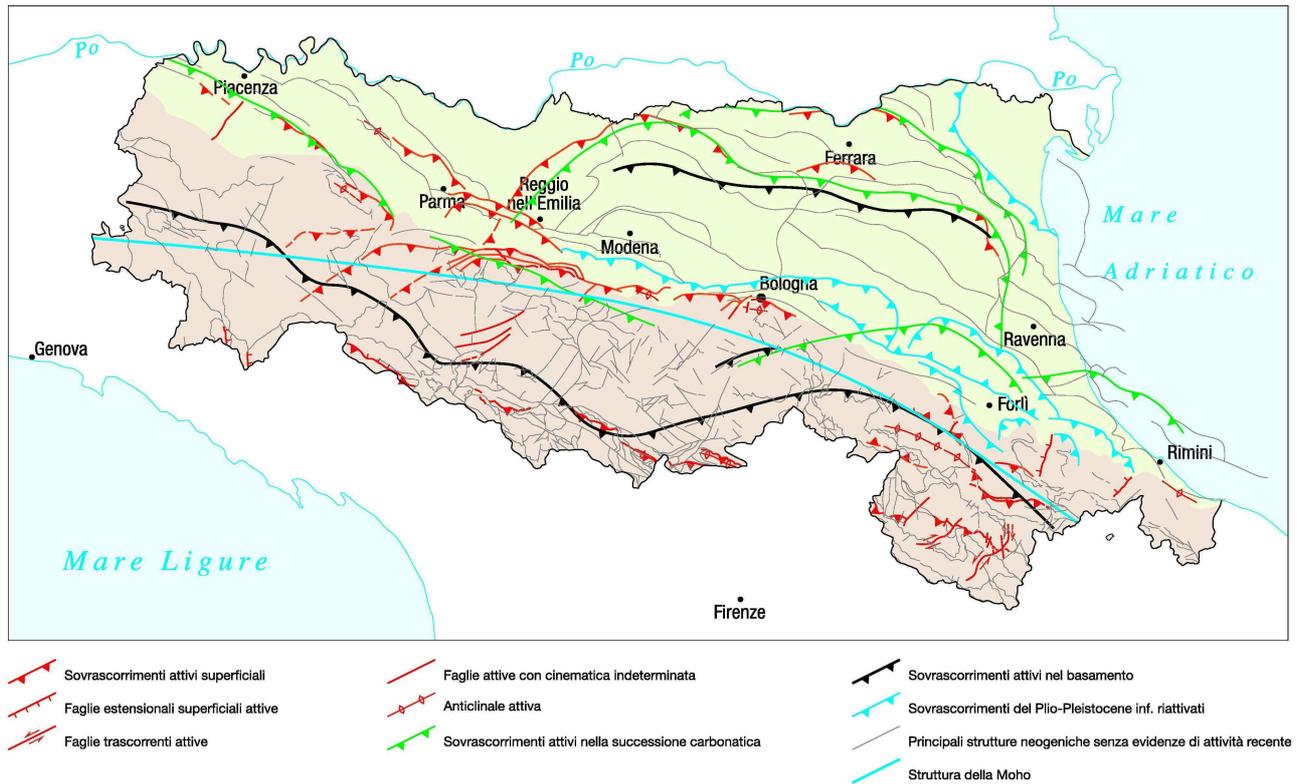


Fig. 2.5 – Attività neotettonica in Emilia-Romagna (Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna”, Servizio Geologico e Sismico dei Suoli – Regione Emilia-Romagna – 2004).

Per molti terremoti relativamente superficiali è stato possibile calcolare i meccanismi focali, al contrario la bassa magnitudo di quelli più profondi ha permesso solo in pochi casi una ricostruzione attendibile dei meccanismi focali. Il confronto tra dati geologici, morfologici e sismologici ha permesso la realizzazione di questa carta sismo tettonica e l'individuazione delle principali strutture attive in Emilia Romagna.

Sulla base della distribuzione e frequenza delle strutture attive riconoscibili in superficie, emerge che queste non sono omogeneamente distribuite sul territorio regionale ma risultano ben localizzate permettendo l'individuazione di tre distinti settori:

- Un allineamento abbastanza continuo di strutture attive è riconoscibile al margine meridionale della carta, in corrispondenza del crinale appenninico coincidente con il fronte di accavallamento delle unità tettoniche Cervarola e Falterona sulle Liguridi, in Emilia e sulla Marnoso-arenacea in Romagna. Questo fronte ha agito come *thrust* fuori sequenza probabilmente già a partire dal Pliocene.
- Un altro allineamento di strutture attive coincide con gran parte del margine appenninico-padano.
- Per frequenza ed evidenze delle strutture sono a sua volta riconoscibili tre distinti settori. Da NW verso SE si individuano:

- il settore a ovest della Val Taro;
  - il settore compreso tra le valli del Taro e dell'Idice (a est di Bologna);
  - il settore a est della Valle dell'Idice, corrispondente al margine romagnolo.
- 
- Infine, un importante allineamento di strutture attive coincide con l'alto delle Pieghe Ferraresi e delle Pieghe Emiliane.

### 3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Il Comune di Lesignano De' Bagni si colloca all'interno del Foglio 199 "Parma Sud" della carta a scala 1:50.000 del progetto CARG.

In riferimento ad essa, si può affermare che nella fascia collinare e montana dell'areale in oggetto, affiorano formazioni litologicamente molto variabili, a componente argillosa dominante o comunque rilevante, depositatesi in un arco temporale compreso indicativamente tra il Cretaceo inferiore e l'Oligocene. Il quadro tettonico-evolutivo è localmente molto complesso e articolato, con unità che risultano fortemente tettonizzate a causa degli sforzi a cui sono state soggette.

Gli affioramenti del substrato sono molto rari e in molti settori del tutto assenti, ciò, insieme alle litologie che caratterizzano l'area, prevalentemente argillose a sabbiose, ha reso di fatto impossibile eseguire rilievi geomeccanici per quantificare lo stato di fratturazione, il quale nel contesto in esame finisce per essere privo di significato.

Si riporta nelle pagine seguenti la carta geologica realizzata per l'area di studio (che ha fornito la base di partenza per lo sviluppo della Carta geologico-tecnica) e la descrizione delle formazioni affioranti nell'area e dei rispettivi membri, raggruppati secondo le diverse unità tettoniche presenti e contraddistinte con le sigle utilizzate nella cartografia geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo.

#### **Dominio padano-adriatico: successione post-evaporitica del margine padano adriatico**

##### *Supersintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES)*

Si tratta di una unità alluvionale terrazzata costituita da ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali (depositi di conoide e depositi intravallivi terrazzati) passanti a limi prevalenti con rare intercalazioni di sabbia e ghiaia nelle aree di interconoide (*Pleistocene medio – Olocene*). Questo supersintema risulta divisibile in 5 subsintemi, due dei quali verranno di seguito descritti poiché affioranti a quote progressivamente decrescenti lungo il margine appenninico. In ordine crescente di età troviamo:

*Subsintema di Ravenna (AES<sub>8</sub>)*, in cui troviamo l'*Unità di Modena (AES<sub>8a</sub>)* costituita da ghiaie prevalenti e sabbie (fig.3.1), ricoperte da una coltre limoso – argillosa discontinua: depositi alluvionali intravallivi, terrazzati e di conoide. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore.

*Subsintema di Villa Verucchio (AES<sub>7</sub>)*, in cui troviamo le *Unità di Niviano (AES<sub>7a</sub>)* e di *Vignola (AES<sub>7b</sub>)*. la prima è costituita da Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati: depositi di conoide ghia-

iose e depositi intravallivi terrazzati. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore ai 15 m. L'unità presenta una copertura fine, composita e discontinua, di spessore fino a 3 m, costituita da limi e limi argillosi grigiastri. La seconda da Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, localmente con copertura discontinua di limi argillosi: depositi di conoide ghiaiosa e depositi terrazzati.

Limi e limi sabbiosi con intercalazioni di ghiaie e sabbie: depositi del reticolo idrografico secondario. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore ai 15 m.



Fig. 3.1 – Ghiaie e Ghiaie sabbiose (indicate come **Gptf** sulla Carta geologico-tecnica) presenti in corrispondenza del terrazzo alluvionale del Subsistema di Ravenna; Unità di Modena (AES8a).

### *Supersistema Quaternario Marino - Sistema del Torrente Stirone (ATS)*

È costituito da terreno depositi in ambienti sedimentari di prodelta, piattaforma, fronte deltizio, piana deltizia e di delta-conoide. Affiora in modo pressoché continuo al di sopra delle argille plioceniche e con giacitura costantemente tra N e NE lungo tutta la fascia di raccordo tra l'Appennino e l'alta pianura parmense.

In particolare l'ATS è stato suddiviso sulla base delle diverse associazioni di facies che lo contraddistinguono nelle due litofacies, tra loro etero piche,  $ATS_b$  costituita da alternanze di corpi sabbiosi ed orizzonti limoso- argillosi depositi in ambiente marino marginale e  $ATS_a$ , caratterizzata da depositi di prodelta prevalentemente fini (*Pliocene sup. – Pleistocene inf.*).

### Argille di Lugagnano (LUG)

Tale formazione è costituita da una monotona successione di argille marnose compatte grigio azzurre, a fatturazione concoide con rari livelli sabbioso-siltosi per lo più concentrati nella porzione basale della formazione e rari livelli siltosi in quella superiore (*Pliocene – Pleistocene inf.*).

### Formazione a Colombacci (FCO)

Unità continentale di ambiente transizionale tra quello fluviale e quello lagunare, sviluppando quindi tre diverse litofacies (FCO<sub>a</sub>, FCO<sub>b</sub>, FCO<sub>c</sub>) la cui litologia varia da arenitica a pelitica; caratteristica la presenza di livelli carbonatici chiari detti “Colombacci”.

In particolare la FCO<sub>b</sub> è costituita da Paraconglomerati poligenici grossolani gradati, a matrice sabbiosa, spesso poco cementati e poco organizzati, in corpi canalizzati. Verso la porzione superiore locali intercalazioni di areniti da grossolane a fini in strati da medi a spessi, a geometria lenticolare (*Messiniano medio-sup.*).

### **Successione Epiligure – Gruppo di Bismantova**

La successione epiligure (Ricci Lucchi & Ori, 1985) costituisce una delle successioni meglio preservate dell'Appennino Settentrionale. È in discordanza sulle unità tettoniche liguri deformate dalla fase tettonica dell'Eocene medio e la sua storia deposizionale costituisce un'importante documentazione dell'evoluzione geologica tardo-paleogenica e neogenica del prisma appenninico (Papani et alii, 1987). Questa successione estesa all'Eocene medio al Miocene superiore, è caratterizzata da un'estrema variabilità delle facies sedimentarie le quali, insieme alla composizione del detrito arenitico, indicano un ambiente deposizionale confinato ed articolato, da relativamente profondo a piattaforma che migrava insieme al substrato ligure.

Il Gruppo di Bismantova comprende le unità stratigrafiche prevalentemente arenacee ed arenaceo pelitiche di età Burdigaliano sup.-Serravalliano.

La porzione inferiore del gruppo è costituita dalla Formazione di Pantano, mentre quella superiore dalla formazione di Cigarellino.

### Formazione di Pantano (PAT)

È costituita da alternanze di areniti fini siltose, siltiti e marne siltose di colore grigio, ocraceo se alterate, in strati da medi a molto spessi, talora gradati. Rapporto arenaria/pelite molto variabile (da 1 a >5). Stratificazione pianoparallela molto spesso obliterata dalla completa bioturbazione del sedimento con strutture sedimentarie generalmente non preservate; sono osservabili solo localmente impronte di fondo. Intercalazioni sporadiche di pacchi di strati di spessore medio di calcareniti da grossolane a fini a marcata componente bioclastica. (*Burdigaliano sup-Langhiano inf.*)

### Formazione di Cigarellò (CIG)

È costituita da marne argilloso-siltose, marne siltose e subordinate marne sabbiose, di colore grigio chiaro, con comuni intercalazioni di strati e pacchi di strati medi o sottili di siltiti e areniti fini. Stratificazione spesso poco distinguibile per l'intensa bioturbazione. (*Langhiano-Serravalliano inf.*)

### Dominio Ligure

Le unità del dominio Ligure presenti in questa zona sono coinvolte in una tettonica tardiva che spesso le ha dislocate e deformate anche dopo gli eventi polifasati classici dell'Appennino Emiliano, rendendole di difficile descrizione. Queste unità risultano molto spesso fortemente deformate e talora indistinguibili quando la componente argillosa sia dominante, ottimi invece gli affioramenti nei flysch marnoso-calcarei.

### Unità tettonica Grotta – Complesso di Case Boscaini (CBB)

È costituito da breccie matrice sostenute a prevalenti clasti calcilutitici chiari tipo palombino mediamente arrotondati, in matrice argillosa o siltosa grigia, più rari clasti di biocalcareni giallo ocra e areniti grigio scure; sono spesso inclusi lembi tettonizzati di Argille Varicolori (fig.3.2) e olistoliti provenienti da differenti unità (*Campaniano*).



Fig. 3.2 – Lembo di Argille Varicolori nel Complesso di Case Boscaini – CCB (indicate come substrato **NSR** sulla Carta geologico-tecnica), affioranti a Lesignano, nei pressi della strada per Stadirano.

### Unità tettonica Sporno – Flysh di monte Sporno (FYS)

Unità torbidityca prevalentemente calcareo-marnosa e pelitico marnosa suddivisa in tre sottounità; stratigraficamente dal basso troviamo il membro di rio Brugnara (FYS1), il membro di Armorano (FYS2) ed il membro di Calestano (FYS3). L'ultima delle tre viene presa in considerazione, ed è costituita da marne e marne argillose grigie a frattura da concoide a poliedrica e marne siltose fogliettate, grigio scuro-verdastre, in strati spessi e molto spessi, intercalate a set di strati sottili e medi di areniti medie grigio-nocciola e peliti brune. Alla base degli strati marnosi sono talora presenti calcari e calcari marnosi, in strati medi laminati ben stratificati. Rari livelli marnosi verso il tetto del membro. (*Selandiano – Luteziano*)

### ***Aspetti geomorfologici***

L'evoluzione morfodinamica generale dell'area di studio, in gran parte ricadente in zona collinare e montana, è legata principalmente all'azione della gravità che si sviluppa anche su versanti a modesta acclività attraverso movimenti franosi complessi a cinematisimo lento, attivi e quiescenti.

Tali processi interagiscono frequentemente con le caratteristiche morfologiche ed idrauliche delle aste fluviali sottostanti che presentano un andamento sinuoso, visibile con deviazioni o ostruzioni parziali causate dalle discese di masse gravitative in alveo avvenute in passato.

Lo scalzamento al piede dei versanti operato nelle condizioni idrauliche di piena dagli stessi corsi d'acqua, può determinare situazioni morfologiche critiche di particolare rilievo: la variazione degli stati tensionali per decompressione al piede dei pendii, conseguente all'evoluzione retrogressiva delle sponde, può compromettere nel tempo l'equilibrio delle pendici, rendendo possibili, seppur in via eccezionale, anche rimobilizzazioni generali di movimenti gravitativi attualmente quiescenti.

Accanto a queste manifestazioni intense di degradazione dei versanti, contribuiscono in maniera rilevante al modellamento del rilievo i lenti movimenti di versante ascrivibili a soliflusso e/o generalizzati fenomeni di *creep*, localmente accentuati, che interessano le coltri eluvio-colluviali di alterazione, spesso saturate dalle intense e/o prolungate precipitazioni autunnali e primaverili.

La forte propensione al dissesto di suddette coperture appare strettamente connessa a processi persistenti di imbibizione e plasticizzazione. Ciò è in relazione sia al contatto basale della coltre con formazioni permeabili per fratturazione, sia alla scarsa capacità drenante dei terreni e alla mancanza di una idonea rete di scolo superficiale che sia in grado di smaltire rapidamente le acque meteoriche. I suddetti aspetti sono alla base di un decadimento delle caratteristiche geomeccaniche dei materiali.

I processi gravitativi interessano preferenzialmente terreni litologicamente e strutturalmente complessi, a componente argillosa rilevante, a permeabilità ridotta, intensamente tettonizzati e fratturati a seguito della storia tettonica. In questa categoria rientrano gli ammassi argillosi sovraconsolidati e fessurati dei Complessi di base (ad es. Argille Varicolori di Case Crovini, Complesso di Case Bo-

scaini), le sequenze fliscioidi liguri (ad es. Unità Sporno, Unità Caio) e le coperture detritiche di versante.

La franosità del territorio in esame, non determina in genere particolari condizioni di rischio per l'incolumità di vite umane, in relazione al lento cinematismo dei fenomeni franosi cartografati (vedi cartografia IFFI in allegato).

In essa si possono riconoscere tre diverse tipologie di frana: colamento lento, scivolamento rotazionale/traslato e, nella maggior parte dei casi, movimento complesso (Varnes, 1978).

Si definiscono colamenti lenti quelle frane in cui la deformazione del materiale è continua lungo tutta la massa in movimento, con una velocità minore di  $5 \cdot 10^{-6}$  m/s.

Gli scivolamenti invece si distinguono, in base alle caratteristiche geometriche della superficie di scorrimento, in movimenti per scivolamento planare o rotazionale. Nel primo caso avvengono principalmente su superfici discontinue già inclinate, o meglio ancora su pendii a franapoggio, quando gli strati non si riescono a sostenere tra loro con l'attrito tra le due superfici di contatto. Nel secondo si verificano tramite superfici curve, in materiali coerenti o pseudocoerenti, quando viene superata la resistenza al taglio degli stessi materiali.

Le frane complesse derivano dalla combinazione di due o più tipi di movimento nello spazio e nel tempo.

L'azione delle acque correnti di superficie costituisce un'ulteriore causa di degradazione dei versanti che spesso si presentano interessati da fenomeni erosivi che determinano la genesi di forme calanchive.

Nelle zone adiacenti all'asta fluviale del Torrente Parma, laddove il fondovalle diventa più ampio, sono rilevabili in maniera estesa i depositi alluvionali terrazzati, geneticamente connessi a vicissitudini di natura tettonico-sedimentaria e climatica che hanno interagito in modo complesso con il naturale spostamento laterale del corso d'acqua; tali depositi sono costituiti generalmente da ghiaie eterometriche di natura prevalentemente calcareo-marnosa ed arenacea, in matrice sabbioso-limosa, e corrispondenti ai diversi cicli di deposizione del corso d'acqua.

Il bacino del fiume Parma ha una forma decisamente allungata con una superficie complessiva di 815 km<sup>2</sup>, di cui il 60% in ambito montano e il restante in pianura. L'asta principale scorre in direzione SO-NE e dopo un percorso di circa 100 km si immette in Po in località Mezzano Superiore.

La larghezza dell'alveo che ricade nel territorio comunale di Lesignano de' Bagni forma anse, accentuate dai fronti di frana presenti, che inducono fenomeni di erosione della sponda opposta, con problemi di instabilità di versante. A partire dalla Località Capoponte, l'alveo mantiene le caratteristiche di canale tipo *braided*, con presenza di più gruppi di barre longitudinali separate da canali, in genere attivi in occasione di portate significative e soggetti a modificazioni solo a seguito di eventi

alluvionali rilevanti (fig.3.3). L'indice di ramificazione di mantiene invariato, le quote di fondo sono stabili e non vi è una diminuzione significativa di larghezza d'alveo.



Fig. 3.3 – Alveo del Torrente Parma nei pressi di Lesignano de' Bagni – Evidenti gruppi di barre longitudinali separate da canali (corso *braided*).

La larghezza dell'alveo è regolare fino alla Località Torrechiara, a circa 3 km di distanza in direzione Nord Ovest dall'abitato oggetto di studio, per poi ridursi progressivamente.

Le sorgenti del corso d'acqua si attestano nell'area sommitale dell'Appennino parmense traendo origine dal Lago Santo (Parma del Lago Santo) e dai laghetti Gemini e Scuro (Parma di Badignana) posti sul crinale nei settori dei Monti Orsaro (1.830 m s.m.) e Sillara (1.861 m s.m.).

### ***Elementi strutturali***

L'area delimitata per gli studi di microzonazione sismica e riportata sulla tavola esposta alle pagine precedenti (Carta Geologica alla scala 1:10.000) mette in evidenza come il territorio esaminato risulti sostanzialmente diviso in due settori. Un settore di SO, caratterizzato dalla presenza del Complesso di Case Boscaini e un settore di NE, in cui invece il substrato risulta costituito dalla Formazione di Pantano, dalla Formazione di Cigarellino, dalla Formazione a Colombacci e dalle Argille di Lugagnano (cfr. Argille Azzurre).

Le suddette due porzioni di territorio risultano messe in contatto fra loro da dei lineamenti tettonici di incerta caratterizzazione, evidenziati sulla Carta Geologica alla scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna; nella stessa cartografia un altro contatto di tipo tettonico viene rappresentato al margine sud-occidentale dell'area di studio, fra il già citato Complesso di Case Boscaini e l'unità del Flysh di Monte Sporno, ancora più a SO.

Nel complesso, in funzione dell'obiettivo del presente lavoro, va sottolineata l'intensa tettonizzazione che caratterizza l'Unità del Complesso di Case Boscaini (che comprende al suo interno olistoliti e lembi tettonizzati di Argille Varicolori), che costituiscono il substrato di base (non rigido) in corrispondenza del Capoluogo Lesignano de' Bagni. Tale tettonizzazione molto spinta, finisce per influenzare notevolmente il comportamento sismico del substrato, il quale dalle indagini geofisiche eseguite nell'area, mostra localmente delle variazioni importanti nelle profondità e nelle entità dei contrasti di impedenza sismica osservati. Tale variabilità va ad aggiungersi a quella determinata dalla presenza di coperture alluvionali ed eluvio-colluviali quaternarie che ricoprono il substrato stesso, determinando di fatto un quadro sicuramente non semplice dal punto di vista della RSL (Risposta Sismica Locale).

#### ***Precedenti lavori di microzonazione sismica***

Come già menzionato, il Comune di Lesignano de' Bagni è già stato interessato da studi di microzonazione sismica che hanno esaminato tutto il territorio comunale (fig.3.4 e 3.5) e allegati al PSC (Piano Strutturale Comunale).

Tali studi, non inquadrati nelle linee guida in seguito redatte dal Dipartimento di Protezione Civile Nazionale e finalizzati in particolare alla definizione generale delle caratteristiche litologiche e dinamiche dei terreni del territorio comunale, hanno fornito un valido punto di partenza per l'attuazione del presente lavoro e rappresentano di fatto ad oggi un completamento dello stesso, che, conformemente a quanto previsto dal piano nazionale, ha focalizzato l'attenzione unicamente sulle aree di maggior interesse urbanistico.



  
**COMUNE DI LEGNANO DE' BAGNI**  
 PROVINCIA DI PARMA

**PSC**  
 PIANO STRUTTURALE COMUNALE  
 QUADRO CONOSCITIVO - STUDIO GEOLOGICO

**TAV. 3 - CARTA DELLE AREE SUSCETTIBILI  
 DI EFFETTI LOCALI**  
 scala 1:10.000

I Progettisti:  
 Arch. Enzo Motta, Arch.  
 Arch. Enzo Motta, Arch.  
 Arch. Enzo Motta, Arch.

I Collaboratori:  
 Arch. Enzo Motta, Arch.  
 Arch. Enzo Motta, Arch.

Data della tavola: 01/05/2012  
 Firma: Enzo Motta / ingegneri Motta  
 Enzo Motta

Luglio 2012

**LEGENDA**

-  **LIMITO COMUNALE**
-  **CORSO CIVICO**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**
-  **AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**

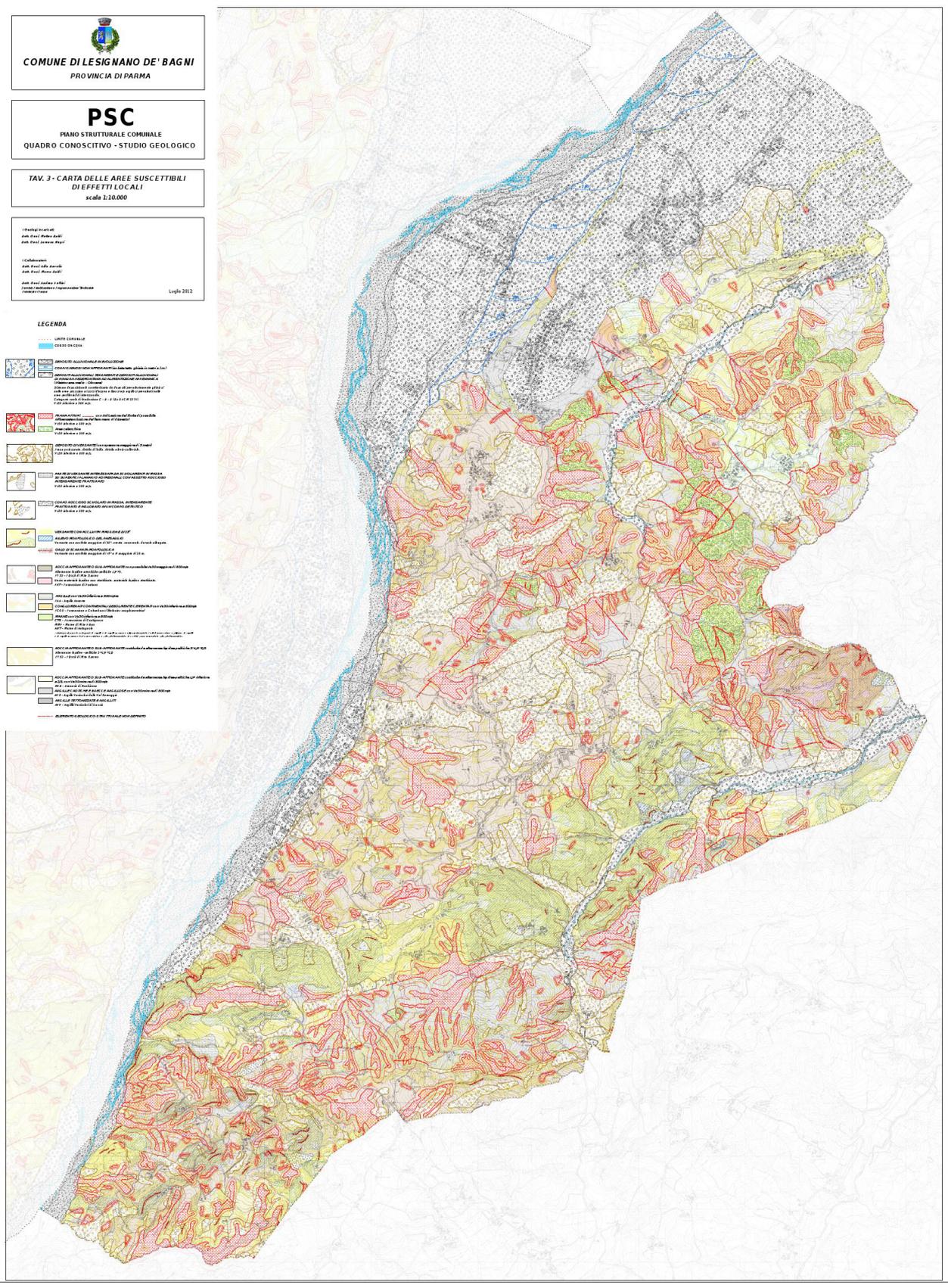


Fig. 3.5 – Carta delle aree suscettibili di effetti locali.

## **4.Dati geotecnici e geofisici**

### 4.1.Dati bibliografici

Come prima operazione del presente studio è stato raccolto il maggior numero possibile di informazioni sulle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche effettuate negli anni all'interno delle aree urbanizzate del Comune di Lesignano de' Bagni, la cui ubicazione è riportata all'interno della Carta delle Indagini. Il materiale proviene dall'archivio comunale o dalle banche dati interattive del portale della Regione Emilia-Romagna riguardanti la cartografia geologica.

Inoltre sono state eseguite in modo specifico per il presente studio nuove indagini geofisiche di tipo HVSR al fine di ottenere informazioni sulle frequenze fondamentali delle diverse porzioni del territorio considerato, utili al fine della valutazione della risposta sismica locale.

I dati relativi alle indagini reperite e a quelle di nuova esecuzione sono stati inseriti nelle sei tabelle fornite a completamento della Carta delle Indagini, denominate Sito\_Puntuale, Sito\_Lineare, Indagini\_Puntuale, Indagini\_Lineari, Parametri\_Puntuale, Parametri\_Lineari. Per la loro compilazione si sono seguiti gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, versione 2.0beta-II (AA. VV., 2012) a cura della Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica.

Di seguito si riporta l'elenco delle indagini relative al territorio comunale di Lesignano de' Bagni, effettuate tra il 1983 e il 2013, distinte per tipologia.

Sono presenti anche sei indagini che sono risultate soggette ad una interpretazione non corretta, pertanto esse non sono poi state considerate ai fini effettivi della realizzazione degli elaborati cartografici originali del presente lavoro. A queste, i cui codici identificativi sono evidenziati nelle descrizioni delle diverse tipologie di indagine sotto riportate, è stata assegnata una bassa attendibilità.

### ***Sondaggi geognostici e pozzi***

La tabella seguente riporta l'elenco dei sondaggi e dei pozzi grazie ai quali si sono ricavate numerose informazioni dirette riguardo alla litologia della zona, allo spessore delle coperture, all'eventuale raggiungimento del substrato o presenza di acqua di falda.

I sondaggi risultano indagini particolarmente importanti perché permettono di ricostruire la stratigrafia del terreno mediante la campionatura completa dei litotipi attraversati dall'utensile di perforazione, di prelevare campioni indisturbati su cui eseguire prove di laboratorio per la determinazione dei parametri geotecnici, di porre in opera eventuale strumentazione piezometrica ed inclinometrica, di eseguire all'interno del foro alcuni tipi di prove geotecniche o geofisiche in sito e di tarare le metodologie sismiche di superficie eseguite in loro prossimità.

Sono state reperite informazioni riguardanti sondaggi eseguiti secondo due modalità: a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo.

I sondaggi a carotaggio continuo, eseguiti con sistema a rotazione, permettono il recupero di tutta la carota di terreno. L'avanzamento nel terreno è realizzato applicando contemporaneamente all'utensile di perforazione spinta e rotazione attraverso una batteria di aste cave, avvitate in serie man mano che la perforazione procede. L'utensile di perforazione è costituito da un tubo carotiere che ha all'estremità una corona dentata che, ruotando, seleziona una carota cilindrica, che viene recuperata periodicamente.

Esistono diverse tipologie di carotieri, scelti in base alle caratteristiche del terreno da attraversare: carotieri semplici con valvola di testa a sfera e calice; carotiere doppio a corona sottile con estrattore; carotiere triplo con portacampione interno estraibile e apribile longitudinalmente con estrattore e calice.

La perforazione può avvenire a secco o tramite circolazione di un fluido (acqua, aria compressa o fango) dall'interno delle aste verso l'esterno (circolazione diretta) o dal foro verso le aste (circolazione inversa).

Si possono estrarre due tipologie di campioni: quelli rimaneggiati, da cui si possono ricavare informazioni sulle caratteristiche chimiche e fisiche del terreno; quelli indisturbati, da cui si possono ricavare informazioni anche sulle caratteristiche meccaniche ed idrauliche, prelevati con campionatori a pareti sottili infissi a pressione (campionatore a parete sottile tipo Shelby del diametro minimo di 80 mm), con campionatori a pistone idraulici o meccanici (tipo Osterbeg) o con campionatori rotativi a doppia o a tripla parete con scarpa avanzata (tipo Denison o tipo Mazier modificato).

Per il Comune di Lesignano de' Bagni è stato reperito un numero esiguo di tali indagini; due di queste raggiungono i 20 m di profondità. Tutte raggiungono il substrato non rigido.

In alcuni casi sono stati prelevati campioni destinati alle indagini di laboratorio o sono state eseguite prove SPT all'interno del foro di sondaggio.

ID_INDP	SONDAGGIO	PROFONDITÀ RAGGIUNTA (m)	INDIRIZZO	DATA
034019P12SS14	S1	10.0	Strada Carattino	10/06/2007
034019P13SS15	S2	10.0	Strada Carattino	10/06/2007
034019P14SS16	S3	10.0	Strada Carattino	11/06/2007
034019P32SS36	Sondaggio n. 6	20.0	Via XXV Aprile	
034019P40SS49	S.1	10.0	Via Roma	27/07/2007
034019P41SS50	S.2	10.0	Via Roma	25/07/2007
034019P104SS114	S1	15.0	Via XXV Aprile	11/11/2008

034019P105SS117	S1	15.0	Viale delle Terme	07/11/2008
034019P106SS122	S2	15.0	Viale delle Terme	07/11/2008
034019P107SS127	S01	10.0	Via Argini	18/06/2009
034019P108SS128	S02	5.0	Via della Bassa	19/06/2009
034019P109SS130	S03	5.0	Via della Bassa	19/06/2009
034019P110SS132	S04	5.0	Via della Bassa	18/06/2009
034019P111SS134	S05	5.0	Via della Bassa	19/06/2009
034019P112SS136	S06	5.0	Via della Bassa	19/06/2009
034019P113SS138	S07	5.0	Via della Bassa	22/06/2009
034019P119SS145	S01	20.0	Via della Bassa	25/07/2012

Tab. 4.1 – Elenco sondaggi geognostici a carotaggio continuo.

Si ricorre, invece, ai sondaggi a distruzione di nucleo quando non interessa il recupero delle carote o quando sono necessari rapidi avanzamenti. In questo caso l'attrezzo tagliente (scalpello o punta dentata) frantuma i detriti che vengono portati in superficie a circolazione di acqua o di fango; non è necessario estrarre periodicamente la batteria di aste per recuperare il carotaggio.

Di seguito si riportano i sondaggi di questo tipo eseguiti nelle aree di studio; eccetto un caso, essi raggiungono sempre il substrato non rigido.

ID_INDP	SONDAGGIO	PROFONDITÀ RAGGIUNTA (m)	INDIRIZZO	DATA
034019P127SDS158	P042	4.0	Via Fusana	
034019P128SDS159	P043	4.0	Via Fusana	
034019P129SDS160	P044	4.0	Via Fusana	
034019P130SDS161	P045	4.0	Via Fusana	
034019P131SD162	P041	4.0	Via Fusana	
034019P137SDS171	P066	3.5	Via della Rondella	
034019P138SDS172	P065	3.5	Via della Rondella	
034019P139SDS173	P063	4.0	Via della Liberazione	
034019P140SDS174	P062	4.0	Via della Liberazione	
034019P141SDS175	P064	4.0	Via della Liberazione	

Tab. 4.2 – Elenco sondaggi a distruzione di nucleo.

Nel caso dei pozzi reperiti, per lo più eseguiti all'inizio degli anni Ottanta, è stata rilevata anche la profondità del pelo libero dell'acqua di falda dal piano campagna. Tutte le perforazioni esaminate raggiungono un substrato non rigido di natura argillosa.

Nella tabella seguente si riassumono le indagini di questo tipo.

ID_INDPU	SONDAGGIO	PROFONDITÀ RAGGIUNTA (m)	INDIRIZZO	DATA
034019P124PA155	199160P631	4.7	Via della Bassa	
034019P125PA156	P674	6.0	Via Pietro da Lesignano, 15	29/03/1983
034019P126PA157	P675	10.0	Via Pietro da Lesignano	27/05/1983
034019P132PA163	P679	85.0	Via Martiri della Libertà	
034019P133PA164	P676	6.5	Via Argini	01/12/1983
034019P145PA179	P601	20	Via XXV Aprile	02/05/1985

Tab. 4.3 – Elenco pozzi.

Alle informazioni derivanti da queste tipologie di indagine si è attribuita un'alta attendibilità perché derivanti da un'osservazione diretta delle condizioni del sottosuolo da parte dei professionisti.

Tra le indagini reperite non sono state rinvenute informazioni riguardo all'installazione di piezometri o inclinometri.

#### ***Pozzetti esplorativi e trincee***

Tra le indagini reperite sono presenti molti pozzetti esplorativi o trincee eseguite tramite escavatore, che forniscono informazioni solo sulla porzione più superficiale di sottosuolo.

Questo tipo di indagini consente di identificare i singoli strati del primo sottosuolo, di eseguire prove in sito per la determinazione delle proprietà geotecniche del terreno e di prelevare campioni destinati alla determinazione in laboratorio delle proprietà fisico-meccaniche.

In un gran numero di casi lo scavo raggiunge il substrato argilloso, mentre in altri le trincee si attestano su strati di limo argilloso o di ghiaie in matrice sabbioso-limosa.

L'attendibilità di questo tipo di indagine si considera alta, in quanto deriva da osservazioni dirette della litologia visibile dal fronte di scavo.

Di seguito si riporta un elenco di questa tipologia di indagine.

ID_INDPU	POZZETTO - TRINCEA	PROFONDITÀ RAGGIUNTA (m)	INDIRIZZO	DATA
034019P16T18	SOND1	4.4	Via della Parma	03/01/2007
034019P24T28	SOND.1	5.3	Viale delle Terme	20/01/2006
034019P25T29	SOND.2	4.8	Viale delle Terme	20/01/2006
034019P26T30	SOND.3	4.7	Viale delle Terme	20/01/2006
034019P27T31	SOND.1	3.4	Via della Rondella	23/11/2000
034019P28T32	Sondaggio n.1	5.0	Via della Parma	16/02/1999

034019P34T43	SOND.1	3.3	Viale delle Terme	23/11/2000
034019P35T44	S1	3.4	Strada Carattino	15/03/1999
034019P36T45	S2	4.6	Strada Carattino	15/03/1999
034019P37T46	S3	3.0	Strada Carattino	15/03/1999
034019P51T60	S1	4.0	Via della Parma	10/11/2000
034019P52T61	S2	4.0	Via della Parma	10/11/2000
034019P53T62	SOND.1	3.5	Via I Maggio	15/04/2009
034019P54T63	SOND.2	4.0	Via I Maggio	15/04/2009
034019P55T64	SOND.1	3.0	Via Canneto	10/12/2009
034019P56T65	SOND.2	3.1	Via Canneto	10/12/2009
034019P57T66	SOND.3	3.1	Via Canneto	10/12/2009
034019P59T68	SOND.1	3.0	Via I Maggio	10/02/2011
034019P60T69	SOND.2	3.3	Via I Maggio	10/02/2011
034019P65T74	S2	4.0	Via Martiri della Libertà	
034019P66T75	S3	3.4	Via Martiri della Libertà	
034019P67T76	SOND.1	3.0	Via Don Attilio Mori	01/10/2007
034019P68T77	SOND.2	2.7	Via Don Attilio Mori	01/10/2007
034019P69T78	SOND.3	3.4	Via Don Attilio Mori	01/10/2007
034019P70T79	SOND.4	3.2	Via Don Attilio Mori	01/10/2007
034019P77T86	SOND.1	4.2	Via Canneto	08/11/2000
034019P93T103	1	4.0	Via Aldo Moro	10/03/2002
034019P94T104	2	4.0	Via Aldo Moro	10/03/2002
034019P95T105	3	4.0	Via Aldo Moro	10/03/2002
034019P96T106	4	4.0	Via Don Attilio Mori	10/03/2002
034019P97T107	5	4.0	Via Don Attilio Mori	10/03/2002
034019P98T108	6	4.0	Via Don Attilio Mori	10/03/2002
034019P99T109	7	4.0	Via Don Attilio Mori	10/03/2002
034019P100T110	8	4.0	Via Don Attilio Mori	10/03/2002
034019P101T111	9	4.0	Via Don Attilio Mori	10/03/2002
034019P114T140	PZ01	2.8	Via della Bassa	22/06/2009
034019P115T141	PZ02	2.6	Via della Bassa	22/06/2009
034019P116T142	PZ03	2.5	Via della Bassa	18/06/2009
034019P120T151	Pozzetto n.4	6.5	Via Argini	30/07/2012
034019P121T152	Pozzetto n.5	6.4	Via Argini	30/07/2012

Tab. 4.4 – Elenco di trincee e pozzetti esplorativi.

### ***Prove penetrometriche***

Sono state rinvenute numerosissime prove penetrometriche statiche e dinamiche, pesanti o leggere. Le prove penetrometriche statiche consistono nell'infissione nel terreno mediante pressione di una punta conica di dimensioni standard. La penetrazione viene ottenuta tramite un dispositivo di spinta

(martinetto idraulico) ancorato al suolo, che agisce su una batteria doppia di aste coassiali, alla cui estremità è collegata la punta. Si ricavano misure separate dello sforzo necessario per la penetrazione della punta ( $q_c$ ) e dell'adesione terreno-acciaio di un manicotto posizionato sopra la punta ( $f_s$ ).

Le prove penetrometriche dinamiche consistono nell'infissione verticale nel terreno di una punta conica metallica, avvitata all'estremità inferiore di una batteria di aste, mediante battitura con un maglio che cade liberamente da un'altezza costante; i colpi necessari per la penetrazione di ciascun tratto di lunghezza prefissata vengono annotati e costituiscono la resistenza del terreno alla penetrazione della punta conica. La prova viene sospesa quando il numero dei colpi per infiggere la punta supera il valore di 100 (rifiuto alla penetrazione).

Questo tipo di prove è molto diffuso grazie alla loro semplicità esecutiva e rapidità di esecuzione; esso permette di ricavare un'immagine in continuo delle caratteristiche meccaniche del terreno attraversato.

Attualmente vengono utilizzate seguenti tipologie di penetrometri dinamici, in base al diverso peso del maglio:

- Penetrometro Dinamico Leggero (DPL)
- Penetrometro Dinamico Medio (DPM)
- Penetrometro Dinamico Pesante (DPH)
- Penetrometro Dinamico Super-Pesante (DPSH): si differenzia in penetrometro di tipo Emilia o di tipo Meardi in base al peso del maglio.

Per ricavare informazioni sui terreni attraversati, si usa rapportare il numero di colpi  $N$  di una prova dinamica a  $N_{SPT}$ , ottenuto tramite la prova Standard Penetration Test, su cui si basano numerose correlazioni in letteratura.

Il valore di  $N_{SPT}$ , richiesto oltretutto dagli Standard di Microzonazione Sismica come risultato delle prove dinamiche, può essere desunto solo tramite correlazioni indirette dal numero di colpi misurato in sito, quindi si è riconosciuta a questo tipo di dati un'affidabilità media, mentre il valore della resistenza alla punta richiesto per le statiche ha un'affidabilità superiore perché riscontrato direttamente in sito.

Nelle tabelle seguenti si riporta un elenco delle prove penetrometriche statiche e di quelle dinamiche.

ID_INDPU	PROVA PENETROMETRICA STATICA	PROFONDITÀ RAGGIUNTA (m)	INDIRIZZO	DATA
034019P1CPT1	CPT2	8.2	Via Carattino, 20	29/10/2008
034019P2CPT2	CPT1	9.4	Via Carattino, 20	29/10/2008
034019P3CPT3	1A	2.0	Via della Bassa	23/11/2000
034019P4CPT5	2A	2.4	Via della Bassa	23/11/2000
034019P7CPT9	CPT1	3.8	Via della Bassa	14/06/2006
034019P11CPT13	CPT1	5.2	Via XXV Aprile	29/03/2004
034019P15CPT17	CPT1	8.0	Via Belvedere	28/01/2003
034019P17CPT19	CPT1	3.0	Via della Parma	19/08/2008
034019P18CPT21	CPT2	2.4	Via della Parma	19/08/2008
034019P19CPT23	CPT3	7.4	Via della Parma	19/08/2008
034019P20CPT24	CPT6	7.4	Via della Parma	19/08/2008
034019P21CPT25	CPT1	7.0	Via della Bassa	14/01/2006
034019P22CPT26	CPT3	3.8	Via della Bassa	14/01/2006
034019P23CPT27	CPT4	5.6	Via della Bassa	14/01/2006
034019P38CPT47	CPT1Bocchia	7.4	Via Belvedere	
034019P39CPT48	CPT3Bocchia	6.2	Via Belvedere	
034019P47CPT56	CPT12	7.0	Via della Rondella	25/07/2007
034019P62CPT71	CPT1	5.4	Via Zucchi	28/10/2009
034019P63CPT72	CPT1	6.0	Via Zucchi	25/05/2010
034019P64CPT73	CPT2	3.2	Via Don Attilio Mori	28/12/2007
034019P73CPT82	CPT2	3.0	Via Aldo Moro	23/09/2010
034019P74CPT83	CPT2	3.2	Via Fusana	15/09/2011
034019P79CPT88	CPT1	3.4	Via Canneto	20/10/2006
034019P82CPT92	C1P1	2.4	Via Martiri della Libertà	03/09/1998
034019P83CPT93	C2P1	3.8	Via Martiri della Libertà	03/09/1998
034019P84CPT94	C3P1	6.2	Via Fusana	03/09/1998
034019P85CPT95	C3P2	6.0	Via Fusana	03/09/1998
034019P86CPT96	C4P1	2.2	Via I Maggio	03/09/1998
034019P87CPT97	C4P2	3.2	Via Zucchi	03/09/1998
034019P88CPT98	C4P3	2.0	Via Canneto	09/09/1998
034019P89CPT99	D5P2	2.0	Via Don Attilio Mori	03/09/1998
034019P90CPT100	C6P1	8.8	Via della Liberazione	09/09/1998
034019P91CPT101	C7P1	7.4	Via della Rondella	09/09/1998
034019P92CPT102	C7P2	6.4	Via della Rondella	09/09/1998

Tab. 4.5: Elenco delle prove penetrometriche statiche.

ID_INDPU	PROVA PENETROMETRIC A DINAMICA	PROFONDITÀ RAGGIUNTA (m)	INDIRIZZO	DATA
034019P3DP4	1B	11.1	Via della Bassa	23/11/2000
034019P4DP6	2B	9.9	Via della Bassa	23/11/2000
034019P5DP7	SCPT1	1.2	Via Bassetta	08/05/1989
034019P6DP8	SCPT2	1.2	Via Bassetta	08/05/1989
034019P8DP10	DIN1	6.0	Via della Bassa	31/05/2011
034019P9DP11	DIN2	6.0	Via della Bassa	31/05/2011
034019P17DP20	SCPT1	3.4	Via della Parma	19/08/2008
034019P18DP22	SCPT2	2.8	Via della Parma	19/08/2008
034019P29DL33	Test n. 3 Area V3	4.7	Via Argini	
034019P30DL34	Test n. 4 Area V3	3.9	Via Argini	
034019P31DL35	Test n. 2 Area V5	2.7	Via XXV Aprile	
034019P33DL42	DPL.1	5.0	Via Oltre il Rio	28/11/2000
034019P42DP51	DIN2	7.0	Via della Rondella	23/07/2007
034019P43DP52	DIN3	7.0	Via della Rondella	23/07/2007
034019P44DP53	DIN6	6.0	Via della Rondella	23/07/2007
034019P45DP54	DIN8	6.0	Via della Rondella	23/07/2007
034019P46DP55	DIN9	6.0	Via della Rondella	23/07/2007
034019P48DP57	DIN14	3.2	Via della Rondella	24/07/2007
034019P49DP58	DIN16	7.0	Via della Rondella	24/07/2007
034019P50DP59	DIN17	6.2	Via della Rondella	24/07/2007
034019P71DP80	DPSH1	3.8	Via Don Attilio Mori	07/05/2007
034019P72DP81	DPSH3	3.6	Via Don Attilio Mori	07/05/2007
034019P75DL84	Test n. 1 Area V3	4.3	Via Fusana	
034019P76DL85	Test n. 3 Area V3	3.3	Via Fusana	
034019P78DL87	DPL2	3.4	Via Martiri della Libertà	21/11/2000
034019P79DP89	SCPT1	8.6	Via Canneto	20/10/2006
034019P80DL90	DIN1	4.0	Via I Maggio	19/01/2009
034019P81DL91	DIN2	2.6	Via I Maggio	19/01/2009
034019P102DP112	DPSH1	4.8	Via Bassetta	14/07/2010
034019P103DP113	DPSH2	4.2	Via Bassetta	14/07/2010
034019P134DP168	S047	6.3	Via Aldo Moro	24/10/1987
034019P135DP169	S046	6.6	Via Aldo Moro	24/10/1987
034019P136DP170	S048	6.3	Via Aldo Moro	24/10/1987
034019P142DL176	D059	2.6	Via della Liberazione	15/03/1992
034019P143DL177	D060	3.4	Via della Liberazione	15/03/1992
034019P144DL178	D056	4.5	Via della Liberazione	15/03/1992

Tab. 4.6 – Elenco delle prove penetrometriche dinamiche.

### ***Indagini geoelettriche***

Nelle aree esaminate sono state effettuate quattro indagini geoelettriche con metodo tomografico (nel Capoluogo ed a Santa Maria del Piano).

La tomografia geoelettrica fornisce informazioni su sezioni verticali del sottosuolo; è una tecnica non invasiva che permette di individuare aree inquinate, cavità, nonché corpi anomali, geometrie sepolte e falde acquifere. Essa si basa sulla misura della differenza di potenziale tra due elettrodi mediante immissione nel sottosuolo di una corrente elettrica tra altri due elettrodi. La tecnica multielettrodo prevede l'infissione nel terreno di un numero elevato di elettrodi, generalmente disposti lungo un profilo, con passo dipendente dalla risoluzione e dalla profondità d'indagine richieste. Su essi alternativamente viene inviata la corrente e misurata la differenza di potenziale, in una sequenza automatica. Si ottiene così una pseudosezione di resistività elettrica apparente, cioè la resistività di un semispazio elettricamente omogeneo ed isotropo che presenti gli stessi rapporti misurati tra la corrente applicata e la differenza di potenziale per una data disposizione e spaziatura degli elettrodi. Essa viene convertita con un algoritmo d'inversione in resistività reale, i cui valori forniscono le caratteristiche elettro-stratigrafiche del sottosuolo ed indirettamente quelle litologiche. Di seguito si riportano le tomografie geoelettriche reperite:

ID_INDLN	TOMOGRAFIA GEOELETTRICA	DATA
034019L1ERT1	T1	29/04/2013
034019L2ERT2	T6	29/04/2013
034019L3ERT3	T5	29/04/2013
034019L4ERT4	T2	29/04/2013

Tab. 4.7 – Elenco delle indagini geoelettriche con metodo tomografico.

### ***Indagini geofisiche lineari***

All'interno delle zone di interesse del territorio comunale di Lesignano de' Bagni sono state effettuate indagini sismiche lineari con il metodo a rifrazione (nel Capoluogo), stendimenti REMI (nel Capoluogo e nella Bassa) e MASW (nel Capoluogo ed a Santa Maria del Piano).

Il metodo sismico a rifrazione consiste nel trasmettere delle onde elastiche nel suolo grazie ad una sorgente e captare, tramite appositi sensori chiamati geofoni, le onde riflesse e/o rifratte dalle varie superfici di discontinuità presenti in profondità, registrando il tempo necessario a tali onde per tornare in superficie. Queste onde percorrono a bassa velocità gli strati superficiali ma a velocità più elevata la superficie di separazione di due mezzi elastici differenti.

La prospezione sismica a rifrazione è particolarmente indicata per ottenere rapide informazioni

strutturali nel caso di strutture a grandi dimensioni, che siano costituite almeno da uno strato rifrangente ad alta velocità, giacente sotto una serie stratigrafica avente velocità più bassa. Se in un sistema di assi cartesiani si riportano i tempi di arrivo delle onde sismiche in funzione della loro distanza dal punto di scoppio, si ottiene una famiglia di curve tempi-distanze dette "dromocrone" che dipendono dalle caratteristiche geologiche locali. È possibile registrare l'arrivo di onde sia di compressione che di taglio.

ID_INDLN	INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE	DATA
034019L5SR5	L1	15/12/2008
034019L6SR6	L2	15/12/2008
034019L9SR9	T_1	15/07/2012

Tab. 4.8 – Elenco delle prospezioni sismiche a rifrazione.

Il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi geofoni posti sulla superficie del suolo.

Anche in questo caso si tratta di un metodo di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da uno stendimento lineare di sensori (geofoni). Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 2-100Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa tra i 10 m ed i 50 m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente, quindi presenta una maggiore affidabilità per profondità di circa 20 m.

La tecnica MASW ha il vantaggio di essere particolarmente indicata per terreni attenuanti ed ambienti rumorosi, di avere una buona risoluzione e di essere in grado di evidenziare inversioni nel profilo di velocità.

L'attendibilità delle MASW reperite è considerata media, tranne per l'indagine contraddistinta da ID\_INDLN 034019L13MASW13, i cui risultati la rendono scarsamente attendibile.

ID_INDLN	INDAGINE MASW	DATA
034019L7MASW7	MW_A	10/07/2012
034019L8MASW8	MW_B	10/07/2012
034019L11MASW11	MASW1	18/05/2010
034019L12MASW12	MASW_1	23/09/2010
034019L13MASW13	MASW1	15/09/2011

Tab. 4.9 – Elenco delle indagini MASW.

Un altro tipo di prospezione sismica che utilizza le onde superficiali è la ReMi (Refraction Microtremor). Si tratta di un metodo di indagine passivo poiché non utilizza alcuna sorgente di energizzazione ma registra un segnale di maggiore durata generato da qualsiasi tipo di attività, antropica e non. La fonte di energia delle onde di superficie per il ReMi è costituita dai microtremori generati dall'ambiente e in superficie, presenti soprattutto in contesti urbani; sono quindi possibili misure in siti particolarmente rumorosi.

La strumentazione necessaria è la stessa del metodo MASW e della più nota sismica a rifrazione; per registrare i microtremori si usa infatti un normale sismografo con uno stendimento di 12 o più geofoni verticali.

I vantaggi promessi da questo metodo sono molteplici: è molto veloce e semplice da organizzare, è molto economico rispetto ai metodi più invasivi, raggiunge una buona profondità e risoluzione di indagine, ma soprattutto permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati. Con questo metodo, inoltre, è possibile caratterizzare un orizzonte meno veloce sottostante ad uno più veloce, il che rappresenta una condizione non distinguibile con il metodo tradizionale della sismica a rifrazione.

Si è ritenuto di assegnare alle indagini di tipo ReMi (ID\_INDLN: 034019L10REMI10, 034019L14REMI14, 034019L15REMI15) un'attendibilità scarsa a causa di evidenti incongruenze legate alla fase di elaborazione delle indagini.

ID_INDLN	INDAGINE RE.MI.	DATA
034019L10REMI10	REMI1	14/07/2010
034019L14REMI14	RE.MI.1	03/05/2007
034019L15REMI15	REMI Comparto C5	23/07/2007

Tab. 4.10 – Elenco delle indagini ReMi.

## *Indagini geofisiche puntuali*

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - Metodo di Nakamura) è una tecnica di indagine sismica passiva rapida e non invasiva, relativamente recente. Si può applicare ovunque e non necessita di perforazioni, stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale, presente ovunque in natura.

Le misure puntuali di rumore sismico possono essere utilizzate sia per la caratterizzazione sismica del sottosuolo, sia per la stima degli effetti di sito (funzione di amplificazione) e degli effetti sulle costruzioni. Le vibrazioni sismiche ambientali (rumore sismico o microtremore) sono onde sismiche di bassa energia con ampiezze dell'ordine di  $10^{-4} - 10^{-2}$  mm, originate dalle attività antropiche, propagandosi poi come onde superficiali di Rayleigh, o dalle perturbazioni atmosferiche sugli oceani che si propagano come onde superficiali sui continenti.

La caratterizzazione sismica dei terreni tramite questa tecnica è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito mediante il rapporto spettrale H/V. Tramite l'elaborazione dei dati di campagna è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli generati dai modi superiori o da artefatti.

I dati che si possono ricavare sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito, che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale, in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare manufatti aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi in caso di sisma;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. Sarà quindi possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità media delle onde di taglio  $V_s$ , calcolata tramite un apposito codice di calcolo. E' necessario in questo caso, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio geognostico, stesa sismica, dati bibliografici, etc.) e riconoscibile nella curva H/V. Dai dati è possibile calcolare la  $V_{s30}$  e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dal DM 14/01/08 a partire dal piano fondale;
- la sismo-stratigrafia del sottosuolo, con l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la ricostruzione della profondità del locale sub-strato geologico (o bedrock geofisico). Lo strato è inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V,

permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici).

Sono state reperite tramite ricerca documentale alcune misurazioni passive del tremore sismico ambientale effettuate nelle aree oggetto di studio.

Le indagini reperite si considerano mediamente attendibili, tranne quelle contrassegnate da ID\_INDPU 034019P10HVSR12 e 034019P122HVSR153, che non sono per niente attendibili in quanto mostrano notevoli problematiche a livello interpretativo.

Dati i vantaggi sopra illustrati, la tecnica HVSR è stata scelta per realizzare nuove indagini, al fine di avere una determinazione dettagliata delle frequenze di risonanza del sito e una copertura significativa di tutta l'area in studio per quanto riguarda l'ordine di grandezza delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ , utili per l'applicazione degli abachi per la stima dei fattori di amplificazione (microzonazione di livello 2). Le trenta nuove misurazioni sono state effettuate per la maggior parte in prossimità di altre indagini reperite in archivio (principalmente sondaggi), che costituiscono un termine su cui basare la taratura.

La tecnica consiste nel registrare il microtremore sismico ambientale in un sito per alcuni minuti tramite strumenti (velocimetri) opportunamente sensibili e nel ricavare il rapporto tra componenti orizzontali e verticali del moto (H/V).

Nel caso in esame, le misure a stazione singola H/V sono state eseguite per mezzo di un tromografo digitale portatile (TROMINO, Micromed S.p.A.) di dimensioni ridotte (10x7x14 cm, 1 kg di peso), progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico ambientale.

Lo strumento è dotato di GPS e di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati secondo le direzioni N-S, E-W e verticalmente; si tratta di un dispositivo ad alta definizione, alimentato a batterie, senza cavi esterni. I dati registrati vengono trasferiti all'esterno tramite cavo USB; TROMINO ha in dotazione un software (Grilla) che consente di immagazzinarli, elaborarli ed interpretarli.

Lo strumento permette di campionare a diverse frequenze tra 100 e 16 kHz.

Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero si ricava la curva H/V, secondo la procedura descritta in Castellaro *et alii* (2005), avendo utilizzato i seguenti parametri:

- larghezza delle finestre d'analisi 20 s
- lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari a 10% della frequenza centrale
- rimozione dei transetti sulla serie temporale degli H/V.

La curva H/V viene riprodotta creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

Tale operazione è possibile esclusivamente in presenza di un vincolo che può essere la profondità, nota tramite prove dirette (Sondaggi eseguiti in situ), di un riflettore sismico il cui marker sia riconoscibile nelle curve H/V (Castellaro & Mulargia, 2008) o la velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) del primo strato nota da altre indagini.

Si è attribuita a queste indagini un'attendibilità elevata, naturalmente sempre dipendente dai limiti intrinseci della metodologia, in quanto eseguite direttamente in condizioni ottimali ed elaborate da personale altamente esperto e qualificato.

Di seguito si riportano le tabelle riassuntive delle prove reperite e di quelle di nuova realizzazione, unitamente ad alcune immagini dell'esecuzione di queste ultime:

ID_INDPU	INDAGINE HVSR	INDIRIZZO	DATA
034019P10HVSR12	HVSR1	Via Bassetta	03/05/2007
034019P58HVSR67	1	Via Canneto	24/11/2009
034019P61HVSR70		Via I Maggio	14/02/2011
034019P117HVSR143	TR_A	Via della Bassa	04/07/2012
034019P118HVSR144	TR_B	Via della Bassa	04/07/2012
034019P122HVSR153	HVSR1	Via Bassetta	14/07/2010
034019P123HVSR154	TR1	Via Carattino, 20	27/10/2010

Tab. 4.11 – Elenco delle misure passive del rumore sismico ambientale con tecnica HVSR reperite.

ID_INDPU	INDAGINE HVSR	INDIRIZZO	DATA
034019P146HVSR181	MZS 6	Via Pietro da Lesignano	13/05/2013
034019P147HVSR182	MZS 4	Via Bassetta	13/05/2013
034019P148HVSR183	MZS 5	Via della Bassa	13/05/2013
034019P149HVSR184	MZS 3	Via Bassetta	13/05/2013
034019P150HVSR185	MZS 2	Via della Bassa	13/05/2013
034019P151HVSR186	MZS 7	Via Molinazzo	13/05/2013
034019P152HVSR187	MZS 16	Via Martiri della Libertà	13/05/2013
034019P153HVSR188	MZS 17	Via Martiri della Libertà	13/05/2013
034019P154HVSR189	MZS 9	Via Aldo Moro	13/05/2013
034019P155HVSR190	MZS 8	Via Fusana	13/05/2013
034019P156HVSR191	MZS 14	Borgo dei Segantini	13/05/2013
034019P157HVSR192	MZS 34	Via Don Attilio Mori	14/05/2013
034019P158HVSR193	MZS 12	Via Fusana	13/05/2013
034019P159HVSR194	MZS 13	Via Fusana	13/05/2013
034019P160HVSR195	MZS 15	Via Fusana	13/05/2013

034019P161HVSR196	MZS 11	Via I Maggio	13/05/2013
034019P162HVSR197	MZS 33	Via Argini	14/05/2013
034019P163HVSR198	MZS 18	Via Argini	13/05/2013
034019P164HVSR199	MZS 24	Via Carattino	13/05/2013
034019P165HVSR200	MZS 23	Via della Rondella	13/05/2013
034019P166HVSR201	MZS 19	Via Sette Fratelli Cervi	13/05/2013
034019P167HVSR202	MZS 26	Via XXV Aprile	14/05/2013
034019P168HVSR203	MZS 27	Via della Liberazione	14/05/2013
034019P169HVSR204	MZS 20	Via della Rondella	13/05/2013
034019P170HVSR205	MZS 21	Via della Rondella	13/05/2013
034019P171HVSR206	MZS 32	Strada del Masdone	14/05/2013
034019P172HVSR207	MZS 28	Via degli Alpini	14/05/2013
034049P173HVSR208	MZS 31	Via Marzabotto	14/05/2013
034019P174HVSR209	MZS 30	Via Belvedere	14/05/2013
034019P175HVSR210	MZS 29	Via XXV Aprile	14/05/2013

Tab. 4.12 – Elenco delle misure passive del rumore sismico ambientale con tecnica HVSR di nuova esecuzione.



Fig. 4.1 – Esecuzione indagine MZS 2 (ID\_INDPU: 034019P150HVSR185).



Fig. 4.2 – Esecuzione indagine MZS 3 (ID\_INDPU: 034019P149HVSR184) e esempio di terreno di copertura.



Fig. 4.3 – Esecuzione indagine MZS 4 (ID\_INDPU: 034019P147HVSR182).



Fig. 4.4 – Esecuzione indagine MZS 5 (ID\_INDPU: 034019P148HVSR183).



Fig. 4.5 – Esecuzione indagine MZS 6 (ID\_INDPU: 034019P146HVSR181).



Fig. 4.6 – Esecuzione indagine MZS 7 (ID\_INDPU: 034019P151HVSR186).



Fig. 4.7 – Esecuzione indagine MZS 13 (ID\_INDPU: 034019P159HVSR194).



Fig. 4.8 – Esecuzione indagine MZS 16 (ID\_INDPU: 034019P152HVSR187).



Fig. 4.9 – Esecuzione indagine MZS 19 (ID\_INDPU: 034019P166HVSR201).



Fig. 4.10 – Esecuzione indagine MZS 23 (ID\_INDPU: 034019P165HVSR200).



Fig. 4.11 – Esecuzione indagine MZS 26 (ID\_INDPU: 034019P167HVSR202).



Fig. 4.12 – Esecuzione indagine MZS 27 (ID\_INDPU: 034019P168HVSR203).



Fig. 4.13 – Esecuzione indagine MZS 30 (ID\_INDPU: 034019P174HVSR209).



Fig. 4.14 – Esecuzione indagine MZS 31 (ID\_INDPU: 034049P173HVSR208).



Fig. 4.15 – Esecuzione indagine MZS 34 (ID\_INDPU: 034019P157HVSR192).

## **5. Modello del sottosuolo**

La definizione di un modello geologico dettagliato per l'area di studio, è il primo passo per procedere alla realizzazione di un lavoro di microzonazione sismica, sia esso di livello 1 o di livello 2 o 3. Nell'ambito di una microzonazione di livello 1, il modello geologico deve essere in grado di fornire gli strumenti e le informazioni necessarie alla realizzazione di una Carta delle Microaree Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) e viene implementato anche al fine di definire quelle zone che necessiteranno di ulteriori indagini per il completamento/approfondimento del quadro conoscitivo, nei livelli successivi di microzonazione sismica. Passando ad un livello 2 di approfondimento, le informazioni già disponibili al livello 1 dovranno essere integrate da indagini mirate in particolare a riconoscere più dettagliatamente le variazioni di velocità delle onde sismiche di taglio  $V_s$  e gli eventuali contrasti di impedenza presenti nella colonna stratigrafica, anche in corrispondenza delle unità del substrato; tutto ciò al fine di rendere possibile l'applicazione degli abachi per la stima dei fattori di amplificazione ( $F_a$ ,  $F_v$ , etc.)

### ***Dati e informazioni di base***

Nel presente lavoro di microzonazione sismica, i dati che si sono assunti come base per lo sviluppo del modello geologico di riferimento, il quale ha successivamente condotto alla definizione delle differenti microzone a comportamento sismico omogeneo, sono i seguenti:

- Cartografia topografica CTR (Carta Tecnica Regionale) alla scala 1:5.000;
- Rilievi geologici e geomorfologici alla scala 1:10.000 eseguiti per la realizzazione del CARG della Regione Emilia-Romagna per le aree di interesse;
- Carta Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (*Progetto IFFI*);
- Cartografie geologiche e geomorfologiche allegate al PSC (Piano Strutturale Comunale) e alle varianti urbanistiche relative alle previste aree di espansione;
- Cartografie relative ai precedenti lavori di microzonazione sismica realizzati per tutto il territorio comunale di Lesignano de' Bagni;
- Dati stratigrafici, geotecnici e geofisici derivanti dai sondaggi eseguiti in corrispondenza delle aree di interesse (reperiti presso l'Ufficio Tecnico Comunale del Comune di Lesignano de' Bagni);
- Rilievi geologici e geomorfologici originali eseguiti nell'ambito del presente lavoro (maggio 2013);
- Indagini HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) eseguite nel maggio 2013 e realizzate in particolare per poter disporre di un'adeguata caratterizzazione del territorio per quanto riguarda le frequenze fondamentali di sito ( $f_0$ ) e per avere una quantità di dati sufficiente a

poter inquadrare l'area di studio negli abachi per la stima dei fattori di amplificazione sismica (livello 2).

Le suddette informazioni hanno permesso lo sviluppo di un modello geologico adeguato alla realizzazione delle indagini di microzonazione sismica di livello 1 e di livello 2 per il territorio in esame.

### ***Definizione del modello geologico***

Al fine di integrare i dati disponibili e farli quindi confluire nel modello geologico finale, si sono inserite tutte le informazioni riportate al precedente paragrafo in un sistema GIS (basato sul software QuantumGis); gli standard di rappresentazione e archiviazione informatica vers. 2.0 (AA.VV., 2012), forniscono una struttura di archiviazione per le indagini geologiche, geotecniche e geofisiche (Carta delle Indagini) e per tutti i livelli che caratterizzano la procedura di realizzazione della Carta geologico-tecnica (giaciture, strutture tettoniche, forme geomorfologiche, sondaggi che raggiungono il substrato, etc.). Seguendo tale procedura si è potuto così progressivamente sviluppare un prodotto cartografico digitale integrato (il quale ha poi in ultima analisi dato origine alla Carta geologico-tecnica), che ha rappresentato la base per lo sviluppo del modello geologico.

Le informazioni fornite dalla Carta geologico-tecnica, integrate dai dati geognostici resi disponibili tramite l'archiviazione delle indagini, hanno reso possibile lo sviluppo di sezioni geologico-tecniche e il riconoscimento di stratigrafie tipo per le diverse aree analizzate nel presente studio; tali stratigrafie tipo hanno di fatto dato origine al modello proposto per le MOPS. L'ulteriore implementazione del modello geologico, realizzata tramite l'esecuzione di indagini geofisiche HVSR ad una maglia relativamente stretta sulle aree effettivamente sottoposte a microzonazione sismica, ha permesso di affinare tale modello con i dati relativi alle frequenze fondamentali di sito e alle velocità delle onde sismiche di taglio  $V_s$ .

### **6. Interpretazioni e incertezze**

Le incertezze del modello geologico (e geologico-tecnico) ricostruito, sono fondamentalmente legate al fatto che non si dispone di un numero sufficientemente elevato di sondaggi e indagini geognostiche, tale da escludere un significativo grado di interpretazione da parte del soggetto realizzatore, su quello che è il risultato finale. Se l'informazione fornita da un sondaggio è in grado di trasmetterci dettagli abbastanza precisi della stratigrafia in quel punto specifico, la correlazione di quell'informazione con altre, eseguite spesso a distanza non trascurabile, appare molto complessa e per essere attuata deve far ricorso a delle semplificazioni che conducono necessariamente

all'impossibilità di assumere tutte le informazioni iniziali fornite dal singolo sondaggio, in quello che sarà poi il modello di sintesi finale.

Nell'ambito di un lavoro di microzonazione sismica, un aspetto di fondamentale importanza è quello della determinazione della profondità del contatto fra bedrock e coperture e delle geometrie sepolte che caratterizzano il contatto stesso. Dai dati a disposizione per il presente lavoro, si è stati in grado di determinare abbastanza bene gli aspetti suddetti, ma è necessario comunque evidenziare alcune criticità. Molti dei sondaggi e delle indagini geognostiche disponibili (di varia tipologia; cfr. Carta delle Indagini), non raggiungono quello che può essere assunto come il substrato litologico, lasciando di fatto incertezza sullo spessore dei terreni di copertura in più della metà dei casi.

Le indagini geofisiche disponibili (sismica a rifrazione, indagini geoelettriche, HVSR, etc.) ed eseguite ex novo per il presente lavoro di microzonazione (HVSR, vincolati con indagini stratigrafiche) hanno permesso di ricostruire con sufficiente affidabilità le geometrie sepolte del substrato, di riconoscere eventuali contrasti di impedenza significativi di identificare nella maggior parte dei casi quello che può essere assunto come *bedrock* rigido da un punto di vista strettamente geofisico ( $V_s > 800$  m/s). Le suddette indagini geofisiche hanno dimostrato che il substrato litologico non corrisponde al substrato geofisico; in altre parole, spesso i litotipi appartenenti alle formazioni “di base”, non mostrano una velocità delle onde sismiche di taglio  $V_s > 800$  m/s, ma valori inferiori; valori prossimi a quelli che potrebbero evidenziare un substrato rigido si registrano in genere solo a profondità relativamente elevate rispetto al piano campagna (variabili localmente fra i 60 e i 140 m).

E' evidente che da un punto di vista della risposta sismica locale, situazioni di questo tipo, nelle quali all'interno del substrato marino di base si identificano contrasti di impedenza che potrebbero essere alla base di fenomeni di amplificazione sismica, non possono essere considerate come aree “stabili”, ma devono essere inserite fra le zone “stabili suscettibili di amplificazione sismica”. Quanto suddetto trova ampiamente riscontro nell'applicazione degli abachi per la stima dei fattori di amplificazione nella fase di microzonazione di livello 2, che restituiscono una situazione in cui i fenomeni di amplificazione del segnale risultano ampiamente diffusi su tutto il territorio analizzato (cfr. par. 8.5).

## **7. Metodologie di elaborazione e risultati**

In questo capitolo vengono espone le metodologie utilizzate per l'elaborazione dei risultati e in particolare si descrivono le procedure tecnicamente più articolate e rilevanti; altri aspetti legati alla realizzazione del lavoro vengono riportati, per maggiore chiarezza e continuità logica, direttamente

nella descrizione degli elaborati cartografici definitivi (Capitolo 8).

### ***Sviluppo delle zone stabili suscettibili di amplificazione sismica (Carta delle MOPS)***

La Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) si genera come il diretto risultato dell'iterazione fra i dati riportati sulla Carta delle Indagini e la Carta geologico-tecnica. Infatti, una volta realizzate le due suddette cartografie, si dispone già di un'ottima base di partenza per la zonazione del territorio, fornita dalla Carta geologico-tecnica, la quale andrà arricchita con le informazioni relative ai sondaggi, al fine di identificare e pertanto delimitare le aree per le quali si presume una risposta sismica locale confrontabile.

Nel processo di sviluppo della Carta delle MOPS del Comune di Lesignano de' Bagni sono state riconosciute e identificate su carta, 4 MOPS stabili suscettibili di amplificazione sismica locale (cfr. par. 8.4).

### ***Analisi per lo studio delle morfologie superficiali e sepolte***

Al fine di eseguire l'analisi delle morfologie superficiali e sepolte e svolgere le relative valutazioni a riguardo, si sono utilizzate semplici metodologie di elaborazione tridimensionale dei dati. Le analisi descritte nel presente paragrafo sono state implementate con il software gis opensource GRASS.

In particolare, per avere a disposizione uno strumento utile nelle procedure di realizzazione dei profili topografici e per la valutazione delle pendenze dei versanti, è stato realizzato un DEM (*Digital Elevation Model*) con maglia a risoluzione 5 m, relativamente alle aree di studio da sottoporre a microzonazione sismica (fig.7.1). I dati di partenza che sono stati utilizzati per tali elaborazioni, sono quelli altimetrici derivanti dalla CTR alla scala 1:5.000 della Regione Emilia-Romagna. Il DEM sviluppato ha permesso la rapida realizzazione dei profili topografici archiviati nel presente lavoro e utilizzati in seguito per la realizzazione delle tre sezioni geologico-tecniche.

Il modello di archiviazione informatica dei dati, prevede la realizzazione di uno shapefile relativo alle isobate del substrato (linee di uguale profondità dell'interfaccia substrato-coperture). L'efficace implementazione di questo livello dipende direttamente dalla disponibilità delle informazioni fornite dai sondaggi che intercettano il substrato; cercare di ottenere linee di uguale spessore delle coperture da dati troppo scarsi, lontani fra loro o poco affidabili (come nel caso di prove penetrometriche) potrebbe condurre a indicazioni non corrette e quindi fuorvianti. Nel presente lavoro sono state generate, attraverso una semplice procedura di triangolazione geometrica (TIN; altre metodologie risultano inadatte) le isobate del substrato per il Capoluogo Lesignano e per le due frazioni studiate. Si sottolinea che i risultati dell'elaborazione suddetta vanno assunti con cautela e a solo scopo indicativo.

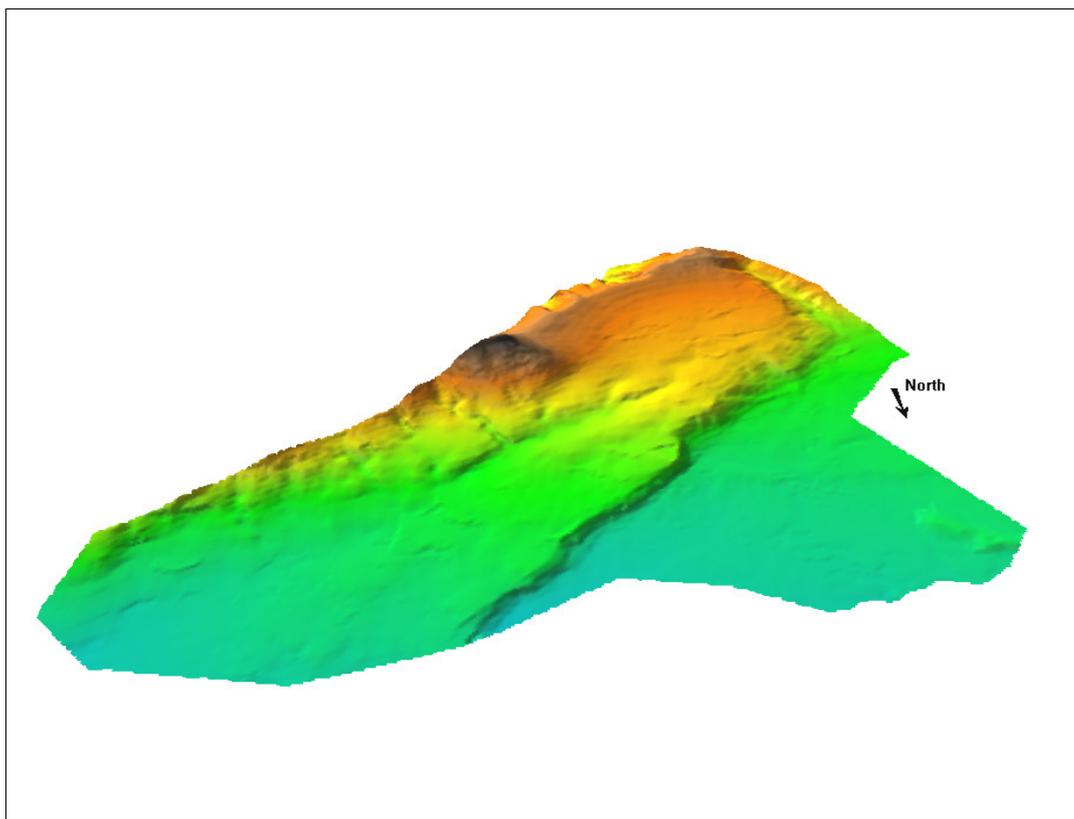


Fig. 7.1 – DEM (Digital Elevation Model) elaborato per l'area di studio, al fine di valutare possibili amplificazioni sismiche dovute agli effetti topografici.

## **8.Elaborati cartografici**

### 8.1.Carta delle indagini

L'elaborato relativo alla rappresentazione cartografica delle indagini raccolte per il presente lavoro di microzonazione sismica è stato realizzato, come per la Carta geologico-tecnica, tramite due fogli in formato A1. La maggior parte delle indagini riportate sulla cartografia in esame ha un'origine pregressa (conformemente a quanto previsto dal livello 1 di microzonazione), mentre altre sono state eseguite ad hoc per il presente studio.

Le indagini sono state posizionate su carta tramite applicativi GIS, in base all'ubicazione rinvenuta all'interno degli elaborati geologico-tecnici da cui esse provenivano (cfr. Riferimenti bibliografici). Tutte le indagini e le informazioni geotecniche correlate ad esse sono state archiviate nella banca dati proposta dagli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 2.0 per la realizzazione di lavori di microzonazione sismica (AA.VV., 2012). Anche la legenda utilizzata per la rappresentazione delle varie tipologie di indagini, sia puntuali che lineari, è quella proposta dal suddetto documento.

Sulla carta non sono stati riportati rilievi geomeccanici realizzati tramite la stima del  $J_v$  come

proposto dagli ICMS2008; ciò è dovuto alla difficoltà di disporre di affioramenti adeguati a tale tipo di rilievo, il quale inoltre, a causa dell'intensa tettonizzazione dell'area, risulterebbe di fatto privo di significato poiché presenterebbe, su quelle litologie che potrebbero permetterne una valutazione, sempre e comunque valori estremi verso l'alto.

La tipologia delle indagini a disposizione, il loro grado di accuratezza e le problematiche emerse dalla loro analisi al fine del presente lavoro, vengono descritte specificatamente al Capitolo 4.

## 8.2. Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica e sezioni geologico tecniche

### ***Carta geologico-tecnica***

Su questo elaborato cartografico vengono riportati tutti gli aspetti geologico-tecnici utili alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS). La base topografica di riferimento è la Carta Tecnica Regionale della Regione Emilia-Romagna alla scala 1:5.000. La mappatura degli aspetti geologico-tecnici è stata eseguita per un areale ritenuto significativo, unicamente in corrispondenza dei diversi centri abitati di interesse al fine degli studi di microzonazione sismica. L'area di studio è stata in genere definita assumendo in primo luogo come riferimento le zone interessate dalla presenza di edifici ed estendendo l'ambito di indagine o fino ai versanti della valle in caso di abitati vallivi, oppure almeno fino all'apice e al piede del versante, in caso di abitati posizionati su un rilievo. L'area sottoposta alla mappatura degli aspetti geologico-tecnici è in genere di maggiore estensione rispetto a quella che in seguito è stata scelta per la definizione delle MOPS e della microzonazione sismica di livello 2.

La legenda della carta è stata sviluppata seguendo le indicazioni fornite negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica vers.2.0 (AA.VV., 2012) e su Martini et alii (2011).

Di seguito vengono descritti nel dettaglio tutti gli elementi che rientrano nella legenda della Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica.

### ***Terreni di copertura***



***GPtf*** – ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Depositi moderatamente addensati.

Tali terreni mostrano la tipica variabilità dei depositi di origine alluvionale, con la possibile presenza di livelli e lenti a granulometria fine (limi e argille). Gli spessori sono generalmente variabili dai 5 ai 15 m.

***GMtf*** – ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo. Ambiente deposizionale costituito da

*terrazzo alluvionale. Depositi moderatamente addensati.*

*Tali terreni mostrano la tipica variabilità dei depositi di origine alluvionale, con la possibile presenza di livelli e lenti a granulometria fine (limi e argille). Gli spessori sono generalmente variabili dai 5 ai 15 m.*

**GCtf** – *ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Depositi moderatamente addensati.*

*Tali terreni mostrano la tipica variabilità dei depositi di origine alluvionale, con la possibile presenza di livelli e lenti a granulometria fine (limi e argille). Gli spessori sono generalmente variabili dai 5 ai 15 m.*



**MLtf** – *Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità. Ambiente deposizionale costituito da terrazzo alluvionale. Coesivo moderatamente consistente.*

*Tali terreni mostrano la tipica variabilità dei depositi di origine alluvionale, con la possibile presenza di livelli e lenti a granulometria grossolana (ghiaie e sabbie). Gli spessori sono generalmente variabili dai 5 ai 10 m.*

**MLec** – *Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità. Origine deposizionale eluvio-colluviale. Coesivo moderatamente consistente. Costituiti generalmente da clasti spigolosi immersi in abbondante matrice limoso-argillosa.*

**CLec** – *Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre. Origine deposizionale eluvio-colluviale. Coesivo poco consistente. Costituiti generalmente da rari clasti spigolosi immersi in abbondante matrice argillosa.*

**CLz** – *Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre. Ambiente deposizionale marino: depositi di prodelta, piattaforma e scarpata sottomarina. Coesivo moderatamente consistente.*

### **Substrato geologico**



**NR** – *Substrato geologico non rigido.*

*Substrato che presenta generalmente  $V_s < 800$  m/s; riferibile dal punto di vista litostratigrafico alla Formazione a Colombacci – litofacies conglomeratica.*

**NRS** – *Substrato geologico non rigido stratificato.*

*Substrato che presenta generalmente  $V_s < 800$  m/s; riferibile dal punto di vista litostratigrafico alle seguenti unità litostratigrafiche marine: Argille di Lugagnano, Formazione di Cigarello, Formazione di Pantano, Complesso di Case Boscaini, Flysch di Monte Sporno.*

## ***Instabilità di versante***

*Le instabilità di versante della Carta geologico-tecnica realizzata, sono state riconosciute e distinte in base a quanto riportato sull'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI).*

*In linea con quanto emerso da studi ed indagini specifiche commissionate dall'Amministrazione Comunale, argomentate in maniera esaustiva nella "Relazione di fattibilità geologica - Ambito ADT – Terme di Lesignano Dé Bagni" in allegato al PSC adottato con D.C.C. N° 23 del 20/04/2009, non è stato indicato il fenomeno franoso quiescente, individuato invece nella cartografia IFFI, nel settore ovest del capoluogo.*

*Nel sovracitato documento viene esplicitato quanto segue:*

*"(...)l'analisi condotta ha escluso, allo stato, la presenza di fenomeni gravitativi nell'area in esame. Nulla toglie, come di seguito meglio specificato, alla fragilità del versante il quale, pur presentando nella parte terminale bassa acclività molto modeste, deve essere considerato con grande attenzione in occasione di qualunque intervento o modifica (scavi, riporti, scarichi idrici, regimazione superficiale e sub-superficiale delle acque, rilevati...) che ne possa alterare l'equilibrio geostatico attuale, in particolare nella zona al contorno alto esterno (zona S-SE) dell'areale in questione, in relazione all'assetto litostratigrafico, geomorfologico ed alla maggiore acclività (...)"*

*I depositi di frana presenti nell'area di studio sono sostanzialmente costituiti da accumuli caotici di elementi litoidi in matrice pelitica.*



*Scorrimento – attiva*



*Colamento – attiva*



*Scorrimento – quiescente*

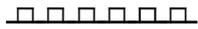


*Complessa – quiescente*

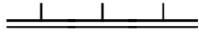
## ***Forme di superficie e sepolte***



*Orlo di scarpata morfologica di h maggiore di 20 m*



*Orlo di scarpata morfologica di h compresa fra 10 e 20 m*



*Orlo di terrazzo fluviale di h maggiore di 20 m*



*Cresta*



*Scarpata sepolta*



*Valle sepolta stretta con C maggiore o uguale a 0,25 (dove  $C = H/L$  con H profondità della valle e L semilarghezza della stessa)*



*Valle sepolta larga con C minore di 0,25 (dove  $C = H/L$  con H profondità della valle e L semilarghezza della stessa)*

### ***Elemento tettonico – strutturali***

*Gli elementi tettonico – strutturali riportati sulla carta geologico-tecnica sono stati ottenuti dalle informazioni rese disponibili dalla Carta Geologica Regionale della Regione Emilia-Romagna (CARG; rilievi alla scala 1:10.000).*



*Faglia trascorrente/obliqua attiva certa*



*Faglia trascorrente/obliqua attiva incerta*



*Traccia della sezione rappresentativa del sottosuolo (traccia lungo la quale è stata realizzata una*

sezione geologico-tecnica di riferimento)

### **Elementi geologici e idrogeologici**



*Giacitura di strato (normale) e valore di inclinazione degli strati*



*Profondità (m) sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato*



*Profondità (m) sondaggio o pozzo che ha raggiunto il substrato.*

*Dato che il substrato presente nell'area di studio può essere considerato unicamente non rigido, è stato riportato quest'ultimo come substrato di base, al fine di evidenziare il contatto con le soprastanti coperture quaternarie e non perdere quindi questa informazione.*

*Ulteriori informazioni, riguardanti il contatto fra la parte più superficiale del sottosuolo e il substrato rigido ( $V_s > 800$  m/s), possono essere desunte dalla descrizione degli schemi dei rapporti stratigrafici più significativi che stanno alla base della definizione delle MOPS e dalle sezioni geologico-tecniche.*



*Profondità della falda in aree con sabbie e/o ghiaie*

### **Sezioni geologico-tecniche**

All'interno dell'area di studio delimitata per la realizzazione della Carta geologico-tecnica, sono stati identificati tre profili topografici significativi in corrispondenza dei quali sono state realizzate altrettante sezioni geologico-tecniche.

La legenda riportata nelle sezioni è sostanzialmente la stessa che è stata utilizzata per la carta, sia per quanto riguarda le simbologie che i colori. Per le aree instabili si è fatto riferimento invece ai tematismi a tinta unita delle MOPS, più semplici da riportare in sezione e sono stati indicati, oltre ai punti dei sondaggi che raggiungono il substrato, anche i siti di misura di rumore ambientale tramite metodologia HVSR, con le relative frequenze fondamentali di sito.

In sezione si sono riportate, a differente profondità rispetto alla superficie topografica, delle linee a tratteggio che indicano approssimativamente la posizione dei principali contrasti di impedenza che sono alla base di quanto evidenziato tramite le misure di rumore ambientale (frequenze alle quali si osservano aumenti del rapporto H/V). Tali contrasti di impedenza, che comunque mostrano un significativa variabilità verticale all'interno del substrato non rigido, si dimostrano in genere più

importanti dei salti di velocità che si osservano, tra l'altro solo a volte, al contatto fra coperture alluvionali e substrato non rigido. Spesso d'altra parte, le coperture alluvionali ad elevato contenuto di ghiaie, mostrano delle velocità delle onde sismiche di taglio maggiori rispetto ai primi metri di substrato alterato, determinando quindi un'inversione di velocità nel profilo  $V_s$ .

Naturalmente il grado di incertezza delle suddette modellazioni è fortemente legato alla tipologia delle indagini utilizzate le per la sua elaborazione (prevalentemente HVSR).

### 8.3. Carte di approfondimento della Regione Emilia-Romagna

Queste cartografie sono state appositamente sviluppate in base a quanto riportato sull'Allegato 3 della D.G.R. n. 1302 del 10/09/2012 “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'O.P.C.M. 4007/2012 a favore degli enti locali”. La loro realizzazione non era quindi prevista a livello di linee guida nazionali, ma è stata indicata come obbligatoria dalla Regione Emilia-Romagna.

#### 8.3.1. Carta delle frequenze naturali dei terreni

In questo elaborato cartografico vengono riportati i risultati ottenuti tramite le indagini HVSR eseguite per l'area di indagine (aree in cui è stata effettuata la microzonazione sismica di livello 1 e 2). Per ogni punto è stata riportata la frequenza fondamentale di sito  $f_0$ , intesa come la frequenza più significativa da un punto di vista ingegneristico (valori indicativamente compresi fra 1,0 e 10,0 Hz). I diversi punti di registrazione sono stati tematizzati in base ai valori di  $f_0$  osservati, secondo le seguenti classi:

**0,9 Hz <  $f_0$  < 2,0 Hz;**

**2,0 Hz <  $f_0$  < 3,0 Hz;**

**3,0 Hz <  $f_0$  < 5,0 Hz;**

**5,0 Hz <  $f_0$  < 7,0 Hz;**

**7,0 Hz <  $f_0$  < 10,0 Hz.**

Oltre ad  $f_0$ , per ogni punto sono state indicate anche le altre frequenze di relativo interesse a cui si sono osservati dei picchi di amplificazione. Le frequenze inferiori a quella fondamentale sono state indicate con *flow*, mentre le frequenze superiori a quella fondamentale sono state indicate con *fh*.

Dall'analisi generale dei risultati emerge come sia solitamente presente un picco (a valori di rapporto H/V in genere relativamente contenuti) fra 0,4 e 0,8 Hz, indicativo del contrasto di

impedenza che si registra a profondità relativamente elevate (80 – 140 m dal p.c.) fra bedrock rigido ( $V_s \geq 800$  m/s) e orizzonti sovrastanti a velocità  $V_s$  inferiori.

Sono stati indicati sulla carta, con apposita simbologia (cerchio di colore verde) i valori di  $f_0$  caratterizzati da contrasto di impedenza sismica relativamente elevato ( $H/V > 2,5$ ).

I dati di frequenza fondamentale del sito sono stati inseriti in un shapefile appositamente sviluppato che presenta i seguenti campi di informazione:

ID\_SPU = identificativo prova;

Tp\_prova = tipologia della prova;

$f_0$  = frequenza fondamentale;

$f_1$  = ulteriore frequenza di interesse;

$f_2$  = ulteriore frequenza di interesse;

N\_P = flag assenza di picco;

note = campo note;

aff = affidabilità della prova;

eti\_1, eti\_2, eti\_3 = etichette;

HVSR = valore del rapporto H/V.

### 8.3.2. Carta delle $V_s$

In questa cartografia vengono riportati tutti i punti di misura delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  e fondamentalmente, per ogni punto di indagine sono stati indicati i seguenti valori:

**Velocità delle onde di taglio media delle coperture  $V_{sH}$  (m/s)**; per coperture sono intesi anche gli spessori di substrato non rigido che si rinvengono al di sopra del contrasto di impedenza più significativo per l'area in esame;

**Profondità del substrato non rigido  $H$  (m)**, intesa come profondità del contrasto di impedenza più significativo;

**Velocità  $V_{s30}$  (m/s)**, media  $V_s$  nei primi 30 m di sottosuolo ;

**Velocità del substrato (non rigido)  $V_{s\_sub}$  (m/s)**.

In corrispondenza di ogni punto di indagine è stata indicata la tipologia di prova dalla quale in dato riportato deriva (HVSr, MASW, etc.)

I dati di velocità  $V_s$  sono stati inseriti in un shapefile appositamente sviluppato che presenta i seguenti campi di informazione:

ID\_SPU = identificativo prova;

Tp\_prova = tipologia della prova;

H = profondità del contrasto di impedenza più significativo;

$V_{sH}$  = velocità media delle onde sismiche di taglio  $V_s$  delle coperture, fino alla profondità del contrasto di impedenza più significativo;

$V_{s30}$  = velocità  $V_s$  media nei primi 30 metri di sottosuolo;

$V_{s\_sub}$  = velocità  $V_s$  del substrato non rigido;

note = campo note;

grado\_aff = affidabilità dell'indagine;

eti1 = campo etichetta;

DVs = differenza  $V_{s\_sub} - V_{sH}$ .

#### **8.4. Carta delle microaree a comportamento sismico omogeneo (MOPS) – livello 1**

In base alle caratteristiche del territorio e quindi del modello geologico emerso dalla carta geologico-tecnica si sono individuate le aree suscettibili di effetti locali (riportate sulla carta delle MOPS), per le quali si attendono effetti di amplificazione del segnale sismico; per tali aree era prevedibile eseguire, come è stato poi di fatto realizzato, un livello 2 di approfondimento.

Anche per tale elaborato cartografico, la base topografica assunta come riferimento è la Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000. Le superfici coperte dai tematismi della Carta delle MOPS, sono più limitate rispetto a quelle analizzate dal punto di vista geologico-tecnico nella relativa cartografia; questo aspetto è dettato dal fatto che, interessando il progetto di microzonazione unicamente le aree edificate, potenzialmente edificabili o occupate da infrastrutture di primaria importanza, la mappatura come MOPS di zone non appartenenti a queste tipologie, avrebbe di fatto reso necessaria l'esistenza di microaree a comportamento sismico omogeneo inutili da un punto di vista pratico.

I tematismi riportati in legenda sono i seguenti:

*Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali*

*Zone suscettibili di instabilità*

*Forme di superficie e sepolte*

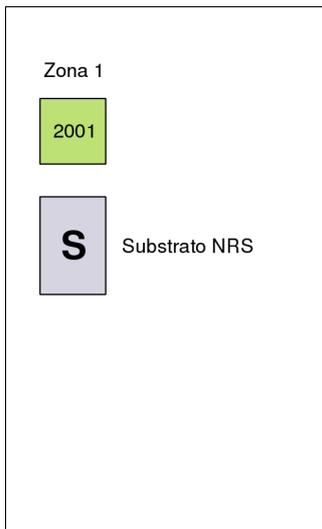
*Faglie attive*

Come già riportato nel precedente paragrafo (cfr. Cap. 5) non sono state riconosciute aree classificabili come “stabili” e quindi non suscettibili di amplificazione del segnale sismico.

Si descrivono di seguito i diversi tematismi riportati sulla Carta delle MOPS:

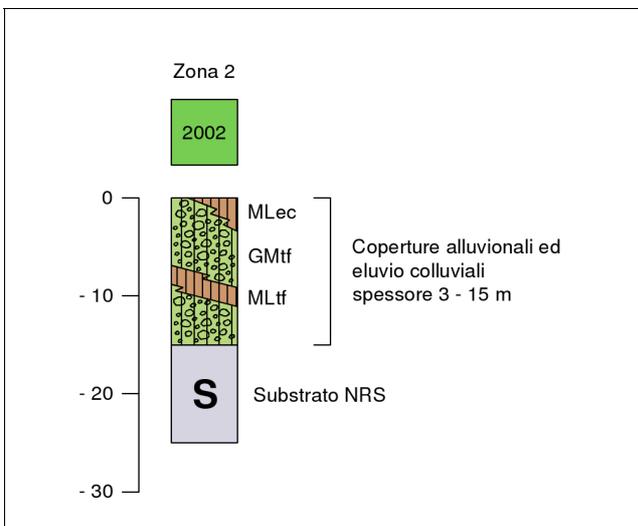
*Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.* Il presente tematismo è stato realizzato in base alle Successioni stratigrafiche rappresentative delle MOPS che vengono descritte in seguito nel dettaglio. Ad ogni colore e codice riportato in legenda e sulla carta, corrisponde una MOPS contraddistinta da una successione stratigrafica tipo. Di seguito vengono descritte nel dettaglio le diverse microzone omogenee in prospettiva sismica riconosciute.

## Zona 1



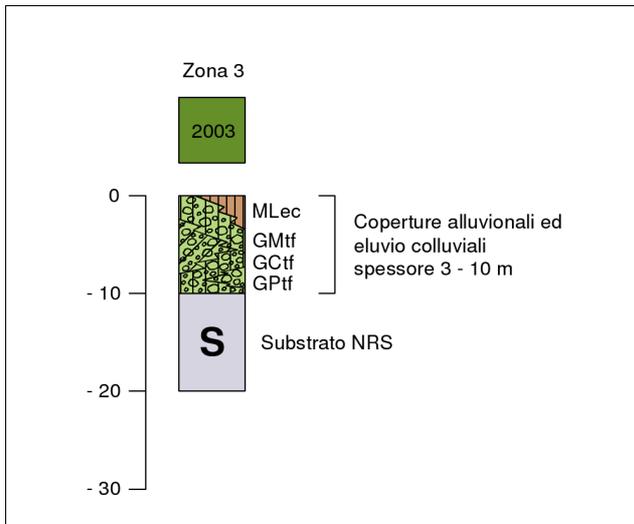
*Questa zona è caratterizzata dalla presenza di substrato non rigido stratificato affiorante ed è contraddistinta da contrasti di impedenza sismica lungo la colonna stratigrafica, che determinano rilevanti effetti di amplificazione sismica locale. La parte più superficiale del substrato ( $V_sH$ ; crf. 8.3.2) presenta in genere velocità  $V_s$  comprese fra 350 e 400 m/s, mentre la velocità del substrato non rigido sottostante è indicativamente compresa fra 650 e 700 m/s.*

## Zona 2



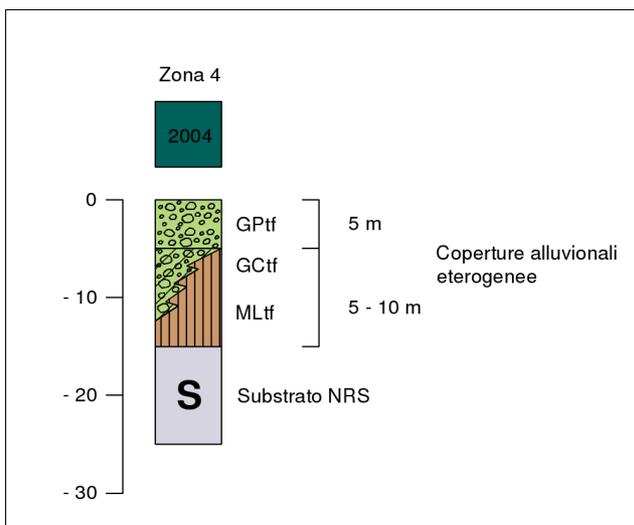
*Zona che contraddistingue il Capoluogo Lesignano. Tale MOPS è caratterizzata da coperture alluvionali ed eluvio-colluviali (MLec) anche in eteropia laterale fra loro, che presentano degli spessori molto variabili (dai 3 ai 15 m), con alcuni punti in cui si ha di fatto il substrato NRS sub-affiorante (superficie terrazzata di erosione?). Le coperture alluvionali sono prevalentemente costituite da ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GMtf), con la presenza di livelli di limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (MLtf). Il substrato non rigido stratificato è contraddistinto da contrasti di impedenza sismica lungo la colonna stratigrafica, che determinano rilevanti effetti di amplificazione sismica locale. La parte più superficiale, costituita dalle coperture alluvionali ed eluvio-colluviali e dal substrato più alterato ( $V_sH$ ; crf. 8.3.2) presenta indicativamente velocità  $V_s$  comprese fra 300 e 450 m/s, mentre la velocità del substrato non rigido sottostante è compresa fra 550 e 700 m/s.*

### Zona 3



Zona che contraddistingue la frazione di Santa Maria del Piano. Tale MOPS è caratterizzata da coperture alluvionali ed eluvio-colluviali (MLec) anche in eteropia laterale fra loro, che presentano degli spessori molto variabili (dai 3 ai 10 m), con alcuni punti in cui si ha di fatto il substrato NRS sub-affiorante (superficie terrazzata di erosione?). Le coperture alluvionali sono prevalentemente costituite da ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo (GMtf), ma presentano variazioni laterali e verticali contraddistinte da una minore (GPtf) o maggiore (GCtf) componente di materiali a granulometria fine. Il substrato non rigido stratificato è contraddistinto da contrasti di impedenza sismica lungo la colonna stratigrafica, che determinano rilevanti effetti di amplificazione sismica locale. La parte più superficiale, costituita dalle coperture alluvionali ed eluvio-colluviali e dal substrato più alterato (VsH; crf. 8.3.2) presenta indicativamente velocità Vs comprese fra 300 e 400 m/s, mentre la velocità del substrato non rigido sottostante è compresa fra 600 e 700 m/s.

### Zona 4



Zona che contraddistingue la frazione di La Bassa. Tale MOPS è caratterizzata da coperture esclusivamente alluvionali che presentano degli spessori molto variabili (dai 10 ai 15 m totali). E' in genere sempre osservabile un orizzonte di ghiaie pulite ben addensate con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie (GPtf), al di sotto del quale si osserva la presenza di depositi

*più eterogenei, ad elevata variabilità laterale, contraddistinti sia da orizzonti di ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla (Gctf) che da livelli di limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità (Mltf). Il substrato non rigido stratificato è contraddistinto da contrasti di impedenza sismica lungo la colonna stratigrafica, che determinano rilevanti effetti di amplificazione sismica locale. La parte più superficiale, costituita dalle coperture alluvionali e dal substrato più alterato ( $V_sH$ ; crf. 8.3.2) presenta indicativamente velocità  $V_s$  comprese fra 350 e 400 m/s, mentre la velocità del substrato non rigido sottostante è compresa fra 600 e 700 m/s.*

*Zone suscettibili di instabilità.* Le zone suscettibili di instabilità riportate sulla carta delle MOPS per il Comune di Lesignano de' Bagni sono di due tipologie:

**instabilità di versante attiva;**

**instabilità di versante quiescente.**

Le instabilità di versante derivano dal medesimo tematismo riportato sulla Carta geologico-tecnica, pertanto per la loro descrizione si veda il relativo paragrafo del presente lavoro.

Per il Comune di Lesignano de' Bagni non sono state identificate instabilità da liquefazione. Infatti, benché siano presenti sondaggi che mostrano un livello dalla falda al di sopra dei 15 m dal p.c., alla luce della modesta determinatezza spaziale e temporale di tali dati e della difficoltà nell'identificare la continuità laterale di livelli potenzialmente liquefacibili in base ai sondaggi geognostici a disposizione, risulta praticamente impossibile perimetrare in pianta, in maniera affidabile, zone caratterizzate da livelli potenzialmente liquefacibili. I fenomeni di liquefazione sono d'altra parte considerati abbastanza remoti in virtù delle classi geotecniche riconosciute nell'area di studio, che sono in genere caratterizzate o da un elevato contenuto in fini o da un'elevata componente di ghiaia.

*Forme di superficie e sepolte.* Le forme di superficie e sepolte riportate sulla Carta delle MOPS derivano direttamente da quelle presenti sulla Carta geologico-tecnica. Non si hanno forme di superficie areali (assenza di depositi detritici s.s.)

*Faglie attive.* Le faglie attive derivano da quanto riportato nel tematismo Elementi tettonico strutturali della Carta geologico-tecnica.

Si sottolinea che non sono presenti, nel territorio esaminato per il presente lavoro, evidenze superficiali di strutture sismogenetiche attive e capaci (che quindi possano essere inserite fra le aree potenzialmente instabili).

## 8.5. Carta di microzonazione sismica – livello 2

La microzonazione di livello 2 è stata eseguita in corrispondenza delle aree già identificate come di rilievo per la definizione delle MOPS (microzone omogenee in prospettiva sismica).

Per la realizzazione delle carte dei fattori di amplificazione sono stati utilizzati gli abachi regionali predisposti per il margine appenninico padano ( $V_s$  del substrato  $\leq 800$  m/s), che sono apparsi da subito più adeguati di quelli realizzati a scala nazionale e riportati negli ICMS 2008, al fine di analizzare dal punto di vista della risposta sismica locale l'area di studio.

L'analisi tramite gli abachi nazionali è stata comunque eseguita, anche se di fatto i risultati che emergono dalla stessa non sono confrontabili con quelli che risultano dagli abachi regionali a causa delle assunzioni necessarie per operare con le tabelle proposte da ICMS 2008; in particolare il fatto di dover considerare  $V_s$  del substrato obbligatoriamente  $> 800$  m/s comporta un aumento dello spessore  $H$  delle coperture che deve essere assunto nelle analisi. Fondamentalmente attraverso l'analisi eseguita con gli abachi nazionali si perdono gli effetti dovuti ai contrasti di impedenza presenti alle profondità comprese fra i 10 e i 40 m, che sono responsabili dei maggiori effetti di amplificazione sismica osservabili nell'area. Quindi, di fatto, l'efficacia dei risultati derivanti dalle tabelle nazionali risulta inferiore rispetto a quella degli abachi predisposti dalla Regione Emilia-Romagna.

Oltre ad  $F_a$  ed  $F_v$  derivanti dagli abachi nazionali, sono stati quindi considerati nella analisi anche i seguenti fattori di amplificazione indicati nella D.A.L. 112/2007:

$$F_x = F_{A\_pga}$$

Accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0), con PGA0 accelerazione massima orizzontale al suolo di riferimento;

$$F_y = F_{A\_0,1-0,5\ s}$$

Rapporto di intensità spettrale di Housner ( $S_I/S_{I0}$ ) per l'intervallo di periodo spettrale compreso fra 0,1 e 0,5 s;

$$F_z = F_{A\_0,5-1,0\ s}$$

Rapporto di intensità spettrale di Housner ( $S_I/S_{I0}$ ) per l'intervallo di periodo spettrale compreso fra 0,5 e 1,0 s.

I fattori di amplificazione  $F_x$ ,  $F_y$  ed  $F_z$  come sopra definiti, sono stati riportati, come appositi campi, nello shapefile *Stab* (anche in base agli accordi intercorsi fra Regione Emilia-Romagna e Dipartimento Nazionale di Protezione Civile) e sono pertanto disponibili per la tematizzazione dei livelli di amplificazione sismica attesi (livello 2).

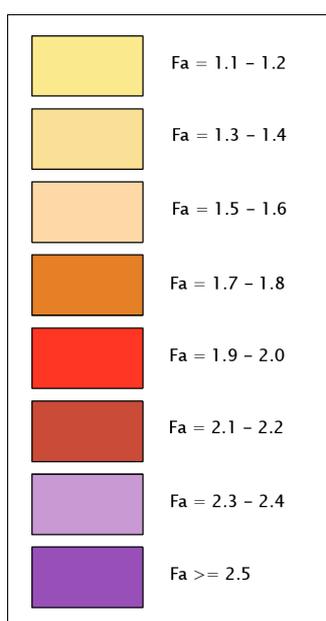
Nell'area indagata ai fini della microzonazione sismica di livello 2 non si osservano zone in cui

possono essere attesi fenomeni di amplificazione topografica di grado significativo e non trascurabile rispetto ai fattori di amplificazione dovuti agli effetti stratigrafici.

Le aree che delimitano porzioni di territorio per le quali si prevedono determinati fattori di amplificazione del segnale sismico (FA, FV, Fx, Fy, Fz), sono state determinate a partire dalla Carta delle MOPS realizzata, in base alle indagini geofisiche disponibili per l'area di studio e di nuova realizzazione. In particolare si è fatto riferimento ai dati ottenuti da HVSR, MASW e SR, che hanno permesso anche di realizzare la Carta delle frequenze naturali dei terreni e la Carta delle Vs, previste dalla D.G.R. n. 1302 del 10/09/2012 della Regione Emilia-Romagna.

Il procedimento di realizzazione della Carta di microzonazione sismica (livello 2) ha trovato un valido ausilio nei processi di interpolazione lineare TIN (Triangulated Irregular Network) disponibili in ambiente GIS. Tramite tale metodologia, i diversi valori di amplificazione utilizzati per la restituzione dei risultati e relativi alle singole verticali di indagine, sono stati messi in relazione; ciò ha permesso di definire delle aree caratterizzate da un certo range di valori distribuiti nello spazio. Tale prima suddivisione in aree è stata poi rettificata, per necessaria semplificazione, tramite l'approssimazione dei valori di amplificazione ottenuti, eseguita utilizzando un approccio cautelativo, attribuendo ad una certa area il valore del limite superiore di amplificazione registrato.

Il risultato finali di tali analisi sono tavole cartografiche che per ogni tipologia di parametro considerato identificano con lo stesso colore le porzioni di territorio caratterizzate da un certo intervallo di valori del fattore di amplificazione in esame. Di seguito viene riportata la legenda utilizzata nelle cartografie, la quale utilizza intervalli e colori standard secondo quanto definito nella Vers.2.0 del documento “Microzonazione sismica; standard di rappresentazione e archiviazione informatica” (AA.VV., 2012):



Nella classe 1.1 – 1.2 sono compresi i valori di Fa da 1.05 a 1.24, nella classe 1.3 – 1.4 sono compresi i valori di Fa da 1.25 a 1.44 e così via per tutte le altre classi.

#### 8.6. Commenti finali e criticità

Le analisi di microzonazione sismica eseguite nelle aree perimetrate a tale fine hanno permesso, nel complesso e in relazione alla quantità e alla tipologia di indagini stratigrafiche e geofisiche disponibili, una buona definizione generale delle caratteristiche di risposta sismica locale secondo i criteri previsti dai livelli 1 e 2 di studio.

Le criticità applicative di ogni elaborato cartografico sono state ampiamente descritte nei relativi paragrafi.

Per quanto riguarda le aree di instabilità di frana riconosciute e distinte sulle diverse cartografie redatte, esse necessiteranno di un livello 3 di approfondimento, atto fondamentalmente a definire la reale pericolosità dei fenomeni franosi segnalati (prossimi ai centri abitati) in caso di evento sismico e gli spostamenti eventualmente attesi.

Nell'area di studio non sono state riconosciute altre tipologie di aree classificabili come instabili, in base a quanto già espresso nei precedenti paragrafi.

#### **9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati**

Non si hanno a disposizione dati esaustivi sulla distribuzione dei danni relativa agli eventi sismici verificatisi nel passato per il Comune di Lesignano de' Bagni, che possano in qualche modo rendere possibile una verifica di quanto stabilito dal presente lavoro di microzonazione sismica di livello 1 e 2.

## 10. Bibliografia

AA.VV., 2004 – *Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al rapporto conclusivo*. A cura di C. Meletti e G. Valensise; con contributi di: R. Azzaro, S. Barba, R. Basili, F. Galadini, P. Gasperini, M. Stucchi e G. Vannucci. Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza P.C.M. 20/03/03 n. 3274). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

AA.VV., 2005 – *Note illustrative del Foglio della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 199 Parma sud*. APAT (Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici); Dipartimento Difesa del Suolo, Servizio geologico d'Italia.

AA.VV., 2008 – *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Gruppo di lavoro “Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica”. A cura di F. Bramerini, G. Di Pasquale, G. Naso & M. Severino. Presidenza del Consiglio dei Ministri. Dipartimento della Protezione Civile. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome; commissione protezione civile, Sottocommissione 8 Attuazione della normativa sismica.

AA.VV., 2010 – *Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana*. Gruppo di lavoro Microzonazione sismica dell'area aquilana. A cura di S. Castenetto & G. Naso. Presidenza del Consiglio dei Ministri. Dipartimento della Protezione Civile. Regione Abruzzo.

AA.VV., 2012 – *Microzonazione Sismica. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica*. Versione 2.0 (Roma, giugno 2012) – documento redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica – art.5, c.7 dell'OPCM 13.11.2010, n.3907.

D. Albarello, S. Castellaro, 2011 – *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola*. Supplemento alla rivista trimestrale *Ingegneria Sismica*. Anno XXVIII, n.2; pag. 32 – 62.

S. Castenetto, 2011 – *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica”: un riferimento per la caratterizzazione sismica del territorio*. Supplemento alla rivista trimestrale *Ingegneria Sismica*. Anno XXVIII, n.2; pag. 6 – 13.

S. Foti, F. Santucci de Magistris, F. Silvestri & C. Eva, 2011 – *Valutazione degli standard di esecuzione e dell'efficacia delle indagini di sismica attiva e passiva*. Supplemento alla rivista trimestrale *Ingegneria Sismica*. Anno XXVIII, n.2; pag. 23 – 31.

G. Martini, S. Castenetto & G. Naso, 2011 – *La carta geologico tecnica per gli studi di MS*. Supplemento alla rivista trimestrale *Ingegneria Sismica*. Anno XXVIII, n.2; pag. 14 – 17.

G. Papani, C. Tellini, L. Torelli, L. Vernia & S. Iaccarino, 1987 – *Nuovi dati stratigrafici sulla Formazione di Bismantova e sui suoi rapporti con il substrato nell'Appennino reggiano*. Mem. Soc. Geol. It., 39: 245-275.

F. Ricci Lucchi & G.G. Ori, 1985 – *Field excursion D: syn-orogenic deposits of a migrating basin system in the NW Adriatic Foreland*. In: P.H. Allen, P. Homewood & G. Williams (Eds.) *Excursion Guidebook. Foreland Basins Symposium*. Fribourg, 137-176.

P. Scandone & M. Stucchi, 2000 – *La Zonazione sismogenetica ZS4 come strumento per la valutazione della Pericolosità sismica*. In: Galadini F., Meletti C. e Rebez A. (a cura di), *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)*. Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, 3 – 14.

### ***Riferimenti normativi***

D.G.R. n. 1302 del 10/09/2012 “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'O.P.C.M. 4007/2012 a favore degli enti locali”.

D.A.L. 112/2007 e relativi allegati tecnici.

### ***Relazioni e carte***

*Variante Generale 1998 del Piano Regolatore Comunale. Allegato F4: Relazione Geologica relativa alle aree di espansione di nuova individuazione. Campagna di indagine geognostica integrativa* – P.R.G. Studio geologico, Dott. Geol. Alberto Corradini – Anno 1998.

*Variante al P.R.G.. Relazione Geologico-Tecnica. Località S. Maria del Piano* – Prof. G. Zucchellini – Anno 1988.

*Variante al P.R.G.. Relazione Geologico-Tecnica. Località Lesignano Capoluogo* – Prof. G.

Zucchellini – Anno 1988.

*Variante al P.R.G.. Relazione Geologico-Tecnica. Località Lesignano Bassa – Prof. G. Zucchellini – Anno 1988.*

*Documento Preliminare Piano Strutturale Comunale. Comune di Langhirano e Comune di Lesignano de' Bagni – Strategie e Azioni e Tavole– Centro Cooperativo di progettazione S.c.r.l. – Anno 2008.*

*Piano Strutturale Comunale in forma associata con il Comune di Langhirano. P.S.C. 2008. Relazione di fattibilità geologica Ambito ARI2 (lotto sud-ovest) – Geostudi S.r.l. – Anno 2012.*

*Piano Strutturale Comunale in forma associata con il Comune di Langhirano. P.S.C. 2008. Relazione di fattibilità geologica direttrice residenziale DR4 - Geostudi S.r.l. – Anno 2012.*

*Piano Strutturale Comunale in forma associata con il Comune di Langhirano. P.S.C. 2008. Relazione di fattibilità geologica direttrice residenziale DR5 – Geostudi S.r.l. – Anno 2012.*

*Piano Strutturale Comunale in forma associata con il Comune di Langhirano. P.S.C. 2008. Relazione di fattibilità geologica Ambito ADT – Terme di Lesignano de' Bagni – Geostudi S.r.l. – Anno 2012.*

*Relazione Geologica allegata al P.S.C. del Comune di Lesignano de' Bagni (PR) - Dott. Geol. Matteo Baldi, Dott. Geol. Lorenzo Negri – Anno 2007.*

*Piano Strutturale Comunale del Comune di Lesignano de' Bagni – Relazione Illustrativa e Tavole – Centro Cooperativo di progettazione S.c.r.l. – Anno 2009.*

*Relazione Geologica e di modellazione sismica preliminare. Progetto per la realizzazione di bretella di collegamento tra la S.P. 16 degli Argini e la Strada Comunale Lesignano-Langhirano - dott. Stefano Castagnetti – Anno 2012.*

*Realizzazione di bretella di collegamento tra SP 16 e la S.C. Lesignano – Langhirano. Progetto definitivo - Relazione geologica e di modellazione sismica - Studio di Geologia dott. Stefano Castagnetti – Anno 2013.*

*Studio geologico-sismico inerente lo stralcio di P.O.C. finalizzato alla realizzazione di nuove infrastrutture per la mobilità – preordinato all'apposizione del vincolo espropriativo (Artt. 30 – 34 Lg. Rg. n°20/2000 e s.m.i.) – Geodtudi S.r.l. – Anno 2012.*

*Relazione Geologico-Tecnica sui terreni di proprietà dell'Immobiliare Michela per la costruzione di un fabbricato residenziale con garages seminterrati in Via Carattino n° 20 a Lesignano de' Bagni – Dott. Geol. Pescatori Fabio.*

*Relazione Geologico-Tecnica. Intervento edilizio Piano Particolareggiato di iniziativa privata Comparto C5. – Studio Panicieri – Anno 2007.*

*Relazione Geologico-Geotecnica. Realizzazione di Autorimessa a Lesignano de' Bagni (Mappale 361) – Studio di Geologia Dott. Alberto Trivioli Geologo – Anno 2006.*

*Relazione Geologica, Relazione Geotecnica, Relazione Sismica. Nuova costruzione di edificio residenziale monofamiliare in Via XXV Aprile – Parmageo S.r.l.*

*Relazione Geologica. Costruzione di edificio residenziale Lesignano de' Bagni Parma – Geode s.c.r.l. – Anno 2008.*

*Relazione Geologico-Tecnica. Indagine geologico-tecnica a corredo del progetto di nuova costruzione di n° 2 edifici monofamigliari a di n° 1 edificio trifamigliare – Soilexpert S.r.l. – Anno 2006.*

*Relazione Geologico-Tecnica. Costruzione di edificio misto produttivo-residenziale – Dott. Geol. Matteo Baldi – Anno 2006.*

*Relazione Geologica. Studio geologico di fattibilità relativo alla edificabilità dell'area di proprietà della Sig.ra Clerici Cristiana - Dott. Geol. Matteo Baldi – Anno 2000.*

*Relazione Geologica. Osservazione alla Variante Generale al P.R.G.. Richiedente: Sig.ra Fontana Pia – Studio Associato Panicieri – Anno 2000.*

*Relazione Geologica. Studio geologico di fattibilità relativo alla edificabilità dell'area di proprietà*

*della ditta VEREL S.r.l. - Dott. Geol. Matteo Baldi – Anno 2000.*

*Relazione Geologica. Osservazione alla Variante Generale al P.R.G.. adottata con delibera del C.C. n. 73 del 30/11/1998. Committente: Sig. Oddi Mauro – Geostudio Geologi Associati di Merlini-Monelli-Mattioli – Anno 1999.*

*Relazione Geologica. Osservazione alla Variante Generale Piano Regolatore Generale. Committente: Sig.ra Mazzoli Anna Maria – Geode – Anno 2000.*

*Relazione Geologico-Tecnica. I Rustici del Carattino – Studio Panicieri.*

*Relazione Geologica. Osservazione alla Variante Generale al P.R.G.. Richiedente: Sig.ra Dalla Casa Maria Lina – Studio Associato Panicieri – Anno 2000.*

*Relazione Tecnica e Sismica. Indagine geofisica per la determinazione delle caratteristiche sismiche dell'area di edificazione sita in Via Basetta - Lesignano de' Bagni – Centrogeo Survey S.n.c. – Anno 2007.*

*Studio Geologico a supporto della richiesta di Variante Parziale al vigente Piano Regolatore Generale. Committente: Istituto Diocesano sost. Clero – Geostudi S.r.l. – Anno 2000.*

*Relazione Geologica. Progetto di ristrutturazione di fabbricati esistenti – Ambiter – Anno 2006.*

*Relazione Geologica, Sismica e geotecnica. Fabbricato ad uso abitativo in Via Bassa Lesignano de' Bagni – Parmageo – Anno 2011.*

*Relazione Geologico-Tecnica. Costruzione di abitazione monofamiliare; proprietà: SITEC S.r.l. - Dott. Geol. Matteo Baldi – Anno 2009.*

*Relazione Geologico-Tecnica. Costruzione di n°2 unità abitative; proprietà: SITEC S.r.l.; committente: Lombardo Vito S.r.l. - Dott. Geol. Matteo Baldi – Anno 2010.*

*Relazione Geologico-Tecnica. Costruzione di abitazione monofamiliare; proprietà: Cattabiani Aldo - Dott. Geol. Matteo Baldi – Anno 2011.*

*Studio geologico di fattibilità ed analisi geotecnica preliminare a corredo del progetto per la realizzazione di tre edifici residenziali siti in Santa Maria del Piano, Comune di Lesignano de' Bagni (PR) – MaC Studio Associato – Anno 2009.*

*Relazione Geologica, Relazione Geotecnica, Relazione Sismica. Costruzione di nuovo edificio residenziale plurifamigliare Lotto 14 – Parmageo S.r.l. e Geode S.c.r.l. – Anno 2009.*

*Relazione Geologico-Tecnica. Progetto di complesso residenziale “Torricella 2” – Studio Panicieri.*

*Relazione Geologico-Tecnica. Costruzione di fabbricato residenziale; proprietà: Impresa Ferretti S.r.l. - Dott. Geol. Matteo Baldi – Anno 2007.*

*Relazione Geologico-Geotecnica. Progetto di nuova costruzione di un edificio a destinazione residenziale in Santa Maria del Piano – Lesignano Bagni nell’ambito del comparto residenziale di espansione “S. Maria Sud-Ovest” – Studio di Geologia Dott. Alberto Trivioli Geologo – Anno 2007.*

*Relazione Geologica. Studio geologico di fattibilità relativo alla edificabilità dell’area di proprietà del Sig. Vitali Romano - Dott. Geol. Matteo Baldi – Anno 2000.*

*Relazione Geologica. Osservazione alla Variante Generale al P.R.G.. Richiedenti: PAE S.r.l. e Tirelli Leonardo - Studio Associato Panicieri – Anno 2000.*

*Relazione Geologica e Geotecnica. Costruzione servizi accessori all’unità abitativa – Geol. Giovanni Michiara – Geode S.c.r.l.*

*Relazione Geologico-Tecnica. Progetto di costruzione di nuovi fabbricati residenziali su terreni di proprietà dei Signori Vignali Giovanni e Vignali Maria – Dr. Geol. Stefano Castagnetti – Anno 2009.*

*Relazione Geologico-Tecnica. Piano Particolareggiato di iniziativa privata “Santa Maria Sud-Ovest”; Committenti: Ferrari Mario, Carlo e Enrico; Stocchi Velia, Armelloni Ilva - Studio Associato Panicieri.*

*Relazione Geologico-Geotecnica-Sismica. Progetto di costruzione hangar per ricovero attrezzature*

*e scorte aziendali – Geotech di Fornaciari Dr. Andrea – Anno 2012.*

*Relazione Geologico-Geotecnica e Sismica. Costruzione di fabbricato residenziale monofamiliare in località S. Maria del Piano - Dott. Geol. Marco Baldi – Anno 2010.*

*Studio geologico e sismico di fattibilità ed analisi geotecnica preliminare a corredo del progetto di ampliamento di un fabbricato industriale, sito in Via Aldo Moro, 1 in località Santa Maria del Piano, Comune di Lesignano de' Bagni (PR) - MaC Studio Associato – Anno 2010.*

*Studio geologico e sismico di fattibilità ed analisi geotecnica preliminare a corredo del progetto di ampliamento di un capannone industriale, sito in Via Fusana, in località Santa Maria del Piano, Comune di Lesignano de' Bagni (PR) - MaC Studio Associato – Anno 2011.*

#### ***Riferimenti in rete***

- <http://www.mi.ingv.it/pericolosita-sismica/>
- <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/webgis>

### **Allegati al testo**

Carta Geologica alla scala 1:10.000 dell'area di studio

Carta dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia alla scala 1:10.000 dell'area di studio

### **Allegati cartografici**

Carta delle Indagini alla scala 1:5.000

Carta geologico-tecnica alla scala 1:5.000

Sezioni geologico-tecniche alla scala 1:2.000

Carta delle microaree omogenee in prospettiva sismica (MOPS) alla scala 1:5.000

Carta di microzonazione sismica Livello 2 (FA) 1:5.000

Carta di microzonazione sismica Livello 2 (FV) 1:5.000

Carta di microzonazione sismica Livello 2 (Fx) 1:5.000

Carta di microzonazione sismica Livello 2 (Fy) 1:5.000

Carta di microzonazione sismica Livello 2 (Fz) 1:5.000

### **Allegati cartografici della Regione Emilia-Romagna**

Carta delle frequenze naturali dei terreni alla scala 1:5.000

Carta delle Vs alla scala 1:5.000