



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento di Protezione Civile

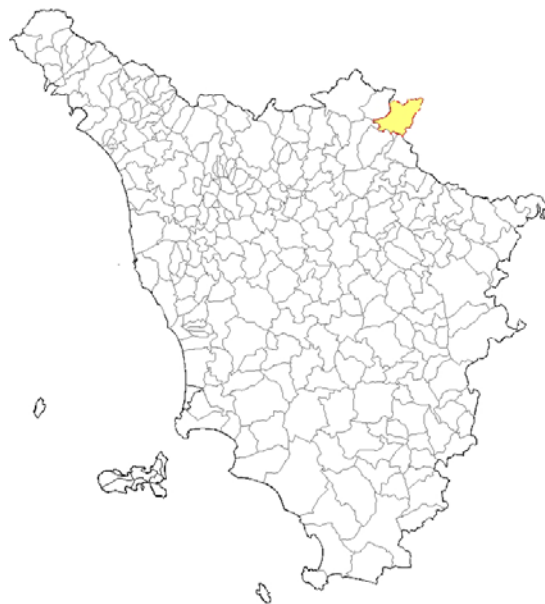


Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Tecnica Illustrativa

Regione Toscana
Comune di Marradi

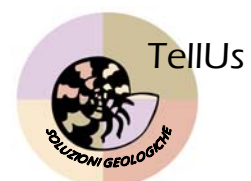


AGOSTO 2012



COMUNE DI MARRADI

Soggetto realizzatore



TELLUS – SOLUZIONI GEOLOGICHE S.n.c.
di Fiori Alberto e Bellini Sandro
Via Celestina Donati, 9 - 50034 MARRADI (FI)

1. PREMESSA

La Regione Toscana con Delibera di GRT n. 261 del 18 aprile del 2011, sulla base delle indicazioni di cui all'art. 5 e 6 dell'Ordinanza DPC n. 3907/2010, ha:

- predisposto le specifiche tecniche regionali per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica (di seguito MS) recependo come documento tecnico di riferimento gli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome;
- definito le condizioni minime necessarie per la realizzazione dei suddetti studi di MS, individuando anche le modalità di recepimento ed utilizzo dei risultati degli studi di MS in fase pianificatoria;
- individuato i territori nei quali è prioritaria la realizzazione degli studi e indagini di MS sulla base delle indicazioni e dei criteri nazionali previsti dall'Allegato 7 dell'Ordinanza 3907/2010;
- definito le modalità di finanziamento di tali studi di MS, prevedendo per i Comuni individuati, un cofinanziamento a carico della Regione Toscana che andrà ad aggiungersi ed integrarsi con quello nazionale.

Per la redazione dello *studio di microzonazione sismica di livello 1* del Comune di Marradi, la Regione Toscana ha previsto il seguente programma minimo di indagini:

- acquisizione delle indagini geotecniche e geofisiche elaborate nell'ambito del progetto VEL;
- acquisizione del Rapporto Tecnico inerente le misure strumentali di rumore sismico prodotto dall'Università di Firenze – Dipartimento di Scienze della Terra in collaborazione con l'ufficio Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica della Regione Toscana;
- esecuzione di n. 5 linee di sismica a rifrazione in onde P e SH nel capoluogo di Marradi, ubicate nella frazione di Biforco, nei pressi della piscina comunale e nella porzione di territorio posto a SW di Villa Ersilia;
- esecuzione di n. 2 linee di sismica a rifrazione in onde P e SH nella frazione di Crespino su Lamone;
- Esecuzione di n. 10 misure di sismica passiva a stazione singola mediante tecnica HVSR nella frazione di Crespino su Lamone.

Per quanto riguarda l'identificazione delle **aree di indagine**, sulla base delle indicazioni riportate dalla Regione Toscana e di quanto concordato preliminarmente con i tecnici del Comune di Marradi, sono state scelte le seguenti macro-aree:

- Capoluogo di Marradi (a partire dalla frazione di Biforco), frazioni di Popolano e S. Adriano in un "continuum" territoriale con superficie complessiva pari a circa 10,5 Km²
- Frazione di Crespino del Lamone (superficie complessiva pari a circa 1,5 Km²).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

2.1 Introduzione

L'alta valle del fiume Lamone si sviluppa interamente in terreni appartenenti alla *Formazione Marnoso-Arenacea (FMA)*, una grande successione torbiditica di età miocenica compresa tra il Burdigaliano sup. ed il Tortonianiano basale.

Lo spessore complessivo dell'intera formazione è caratterizzato da una notevole variabilità, dato che le successioni sedimentarie di avanfossa presentano una tipica sezione a cuneo (fig. 1 e 2) con progressiva diminuzione di spessore verso l'*avampaese* indeformato. All'interno del settore di studio lo spessore massimo è stato stimato in circa 3000 metri (Cremonini, 1982).

Le successioni torbiditiche (comunemente definite *flysch*) sono depositi di mare profondo messi in posto da flussi gravitativi intermittenti e catastrofici detti correnti di torbida. Le correnti di torbida sono sospensioni newtoniane in cui l'energia di moto è fornita da una differenza di densità tra la sospensione ed il fluido circostante. Questi processi sono tipici del sistema scarpata continentale-canyon-piana sottomarina (Ricci Lucchi, 1980) ed in particolare rappresentavano i principali meccanismi di sedimentazione all'interno dell'avanfossa

appenninica, un grande bacino lungo fino a 400 km, che si estendeva dall'Emilia all'Umbria meridionale, il cui asse deposizionale migrò da SW a NE.

Le torbiditi venivano alimentate da fonti poste a NW del bacino dove la catena alpina era già in surrezione. Fonti minori contribuivano per non più del 2-3% dell'apporto totale, alimentando il bacino da SW a NE e producendo eventi torbiditici particolari (strati guida) come le colombine e lo strato "Contessa" (Renzi, 1964; Ricci Lucchi e Pialli, 1973).

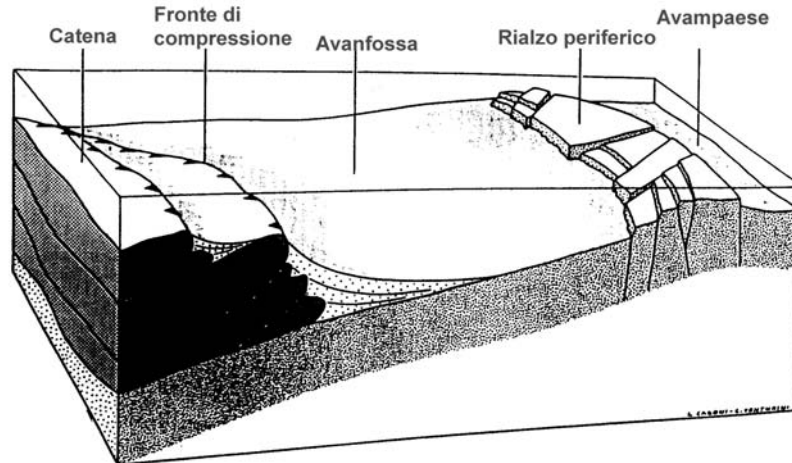


Fig. 1 Sezione tridimensionale del sistema catena-avanfossa-avampaese. (da Vai, 1987)

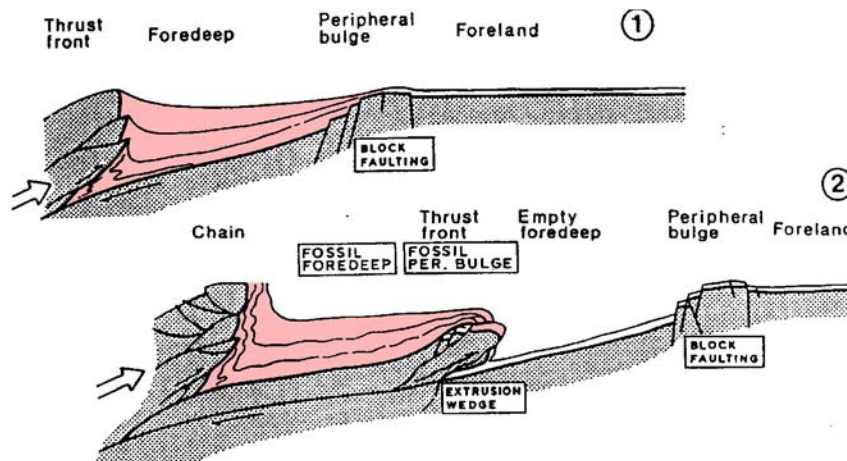


Fig. 2 Schema di migrazione dell'avanfossa con deformazione delle successioni torbiditiche (indicate in rosso) (da Vai, 1987).

2.2 Litologia

SUBSTRATO ROCCIOSO

Il 90% della FMA è costituita da torbiditi, la parte restante da emipelagiti (Ricci Lucchi e Valmori, 1980) e ciò che ne risulta è un'alternanza di unità di sedimentazione (layer) e di unità litologiche (bed). Ogni strato (layer) è costituito di solito da due o tre unità litologiche (bed): unità arenitica, unità pelitica e, sporadicamente, unità emipelagitica.

Ogni strato torbiditico è caratterizzato da una marcata gradazione (dovuta ai processi di sedimentazione precedentemente descritti) ma ciò non pregiudica la distinzione tra le diverse unità litologiche.

Unità arenitica

I letti arenitici sono classificabili in vari modi, secondo il grado di cementazione o lo spessore ad esempio, anche se a volte esiste un legame fra questi due parametri: infatti i livelli di spessore < 30 cm si presentano sempre particolarmente cementati.

Gli spessori in genere variano da un minimo di 2-3 cm fino ad un massimo di 4-5 m (livello guida *Contessa*).

Le impronte di fondo più diffuse ed evidenti sono:

- *groove casts*, prodotti da trascinarsi di oggetti da parte delle correnti di torbida;
- *flute casts*, prodotti dall'azione erosiva dei vortici turbolenti; evidenziano due sensi di trasporto praticamente paralleli fra loro e all'asse del bacino (uno da NW a SE e l'altro da SE a NW).

Le torbiditi di provenienza nordoccidentale, silico-clastiche prevalgono rispetto a quelle calcaree di provenienza sudorientale.

La roccia intatta si presenta con colorazione generalmente grigia e, in seguito a processi di alterazione, assume colori che variano dal bruno scuro fino al giallo ocra.

La composizione media delle arenarie ricade nel campo delle arcose: si tratta di rocce ricche di quarzo, feldspati e miche con pochi frammenti litici, matrice variabile e cemento calcareo (Gandolfi, Paganelli, Zuffa 1983).

La granulometria è piuttosto variabile, da fine a grossolana.

Unità pelitica

E' costituita da peliti torbiditiche, che rappresentano la "coda" della torrente di torbida, composte da materiale estremamente fine con spessore variabile da pochi cm a qualche metro (nel caso dello strato *Contessa*).

Si tratta di marne, marne calcaree, marne argillose, marne siltose, marne siltose e siltiti marnose in prossimità del letto arenitico.

Il colore varia dal grigio scuro al grigio azzurro; se soggette ad alterazione tendono al bruno.

Unità emipelagica

Sono marne calcaree, più o meno siltose, con contenuto variabile di sabbia fine, carbonati e miche. Hanno colore biancastro o grigio chiaro.

Si depositano per lenta decantazione da sospensioni superficiali di particelle terrigene e resti planctonici nei momenti di calma, tra l'arrivo di una corrente torbida e quella successiva.

Si distinguono facilmente dalle peliti torbiditiche per il colore più chiaro e la maggior tenacità (dovuti al contenuto in CaCO₃).

Lo spessore varia da pochi cm fino a 20-30 cm.

I rapporti di spessore tra l'unità arenitica e quella pelitica mostrano una notevole variabilità, in particolare si ha una netta distinzione tra due aree separate da un grande sovrascorrimento con asse NE-SW, passante tra gli abitati di Biforco e Marradi:

- ad E prevalgono le arenarie e le siltiti quarzoso-feldspatiche, micacee rispetto alle marne siltose ed i rapporti di spessore arenaria/pelite sono piuttosto elevati;
- a W si hanno alternanze di arenarie quarzoso-feldspatiche con marne grigio-brune e i rapporti arenaria/pelite si mantengono generalmente più bassi.

COPERTURE

Per quanto riguarda le coperture detritiche sovrastanti il substrato roccioso marnoso-arenaceo, risultano prevalentemente concentrate nelle aree di fondovalle e possono essere distinte in 3 tipologie fondamentali:

- *depositi alluvionali*, prodotti dall'azione deposizionale del corso d'acqua principale (fiume Lamone) e dai tributari, sono costituiti da terreni a composizione granulometrica piuttosto varia con ghiaie in matrice sabbioso-limoso di colore bruno-giallastro;
- *depositi di versante, falde e conoidi detritici*, prodotti dall'azione combinata delle acque di ruscellamento ed incanalate e della gravità (depositi eluvio-colluviali);
- *depositi di origine gravitativa*, prodotti dalla mobilitazione di fenomeni franosi, prevalentemente di scivolamento traslativo lungo una superficie di strato e, più raramente, di scivolamento rotazionale a carico delle coltri detritiche superficiali sovrastanti il substrato roccioso.

2.3 Geomorfologia

AREA DI MARRADI, POPOLANO E S. ADRIANO

La macro-area di studio si sviluppa da Ovest, in corrispondenza della confluenza del torrente Campigno nel fiume Lamone (loc. Biforco), in zona di fondovalle con rilievi laterali di modesta entità (M.te Colombo 650 m slm, Poggio Pergole 687 m slm e Monte Gianni 576 m slm) con assetto geomorfologico regolare in ragione dell'assetto tettonico prevalentemente monoclinale a basso disturbo.

I depositi di fondovalle (con quote variabili da 350 m slm a Biforco, a 240 m slm nella zona industriale di S. Adriano) presentano un'estensione piuttosto limitata fino alla frazione di Popolano, in corrispondenza della quale una serie di faglie trascorrenti (con evidenti dislocazioni dell'asta fluviale principale) unitamente a tassi di sollevamento neotettonico differenziali, hanno prodotto un pronunciato allargamento delle zone alluvionali pianeggianti fino al limite orientale dell'area di studio.

Per quanto riguarda le forme deposizionali secondarie si evidenzia la presenza di estesi conoidi detrico-alluvionali in corrispondenza del centro di Marradi (Rio del Salto), della località Fornace Marcianella (fosso di Gamberaldi) e della frazione di Popolano (fosso Valvitello).

I fenomeni franosi rilevati risultano limitati ad antichi corpi di accumulo di privi di indizi di attività e pertanto classificabili come quiescenti.

AREA DI CRESPINO DEL LAMONE

La macro-area di studio si sviluppa in corrispondenza del fondovalle del Fiume Lamone in prossimità del margine appenninico e pertanto in un contesto decisamente montano con rilievi adiacenti con quota massima di 1011 m slm (Poggio Rimbusine).

L'assetto tettonico si presenta sostanzialmente monoclinale con versanti ripidi e regolari discendenti verso l'alveo incassato del fiume Lamone con quote variabili da 530 a 46 m slm.

L'abitato storico di Crespino del Lamone risulta inserito sulla porzione maggiormente ristretta del fondovalle, direttamente adagiato sul substrato roccioso marnoso-arenaceo, mentre verso est, in corrispondenza dell'area di recente espansione urbanistica, la valle presenta un deciso allargamento imputabile alla presenza di depositi alluvionali e lacustri prodotti dallo sbarramento del corso d'acqua principale in seguito ad un ingente fenomeno franoso preistorico di scivolamento di roccia in blocco discendente dal Poggio di Valdoserà e con accumulo attualmente compreso tra gli abitati di *Pigara* (verso monte) e *Valbura* (verso valle).

Oltre a tale fenomeno franoso, classificato come inattivo in ragione del contesto meteorologico di attivazione decisamente lontano dall'attuale e dell'assenza di indicatori di passata attività, è stato rilevato unicamente un modesto fenomeno di scivolamento rotazionale quiescente a monte della Chiesa di Crespino che è stato oggetto di specifiche indagini sismiche finalizzate a rilevarne gli spessori coinvolti.

Sulla base studio svolto tramite analisi della cartografia geologica e geomorfologica di dettaglio prodotta nell'ambito del progetto VEL supportata da rilevamenti ed indagini sismiche dirette, sono state prodotte le cartografie geologiche e geomorfologiche di riferimento per lo studio di microzonazione sismica di livello 1 riportate rispettivamente nelle Tavole 1A, 1B, 1C e 2A, 2B, 2C.

Sono state infine elaborate n. 8 sezioni geologiche di dettaglio riportate nelle Tavole 3A e 3B.

3. INDAGINI

Le indagini di tipo geologico, geotecnico e geofisico esistenti per il Comune di Marradi sono state estrapolate dai seguenti archivi:

- dati geologici, geotecnici e geofisici acquisiti con il Programma VEL;
- dati desunti dal quadro conoscitivo del Piano Strutturale Comunale;
- dati forniti da professionisti operanti sul territorio;
- dati derivanti dalla campagna di indagine geofisica direttamente condotta dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli studi di Firenze;

La società TellUs S.n.c. ha provveduto ad integrare i dati esistenti con le seguenti indagini:

- n° 35 misure di microtremore a stazione singola della durata di 20 minuti con frequenza di campionamento di 128 Hz utilizzando un tromografo digitale della Micromed S.p.A. denominato "TROMINO®" con successiva elaborazione delle registrazioni con software "Geopsy.org package, release 2.4.2, win 32", utilizzando finestre mobili di 20 sec con overlay del 50%, filtro passa banda Butterworth (0,1 - 40 Hz) e funzione di smoothing di Konno & Ohmachi (constant = 40). Per le registrazioni significative è stata operata una verifica dell'attendibilità del picco H/V secondo i criteri Sesame, 2005 e definita la classe di qualità della prova utilizzando il metodo di D.Albarelo et al, 2011. I risultati delle prove sono riportati in allegato alla presente con la denominazione da HVSR 0039 ad HVSR 0073.
- n° 7 Profili sismici a rifrazione onde p e s (denominazione da PSpsh16 a PSpsh21 in allegato) effettuate direttamente dalla Ditta ENVIA Studio Associato di Geologia e Geofisica, di Durante, Dal Forno e Rispoli con sede a Bologna.

L'insieme dei dati raccolti, ha permesso di disporre di un totale di oltre 140 dati riassunti nella tabella seguente e riportati con simbologia grafica prevista dagli IMCS nelle tavole 4A, 4B e 4C, e catalogati ed archiviati mediante software *Quantum GIS 1.7.3* secondo le specifiche definite nel documento "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" (giugno 2012) redatto dalla Commissione Tecnica per la microzonazione sismica. .

Descrizione prove	quantità
Prove penetrometriche dinamiche leggere	12
Prove penetrometriche dinamiche pesanti	3
Prove penetrometriche statiche con punta meccanica	11
Trincee geognostiche	8
Sondaggio a rotazione	8
Down Hole	4
Prospezione sismica MASW	2
Profilo sismico a rifrazione onde p e s	21
HVSR Microtremore a stazione singola	37
HVSR Microtremore da stazione sismometrica	36

Tab. 1 Banca dati delle indagini geologiche e geofisiche utilizzate per la redazione dello studio di microzonazione sismica di livello 1

4. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

Il punto di partenza per una valutazione della pericolosità sismica di un territorio è rappresentata dalla zonazione sismogenetica ZS9 (fonte: <http://zonesismiche.mi.ingv.it> e Gruppo di Lavoro (2004) - Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 Marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile INGV, Milano - Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici) che costituisce una traduzione operativa del modello sismo-tettonico dell'intera penisola italiana.

Il Comune di Marradi ricade prevalentemente all'interno della zona sismogenetica 914 (fig. 3), che unitamente alla 913 e 918 appartengono al complesso "Appennino settentrionale e centrale" e che costituiscono una fascia di transizione che si estende da Parma fino all'Abruzzo, in cui convivono diversi meccanismi di natura prevalentemente compressiva nella porzione Nord-orientale e distensiva in quella più sud-occidentale. In tale zona la sismicità storica ha raramente raggiunto valori elevati di magnitudo, con profondità ipocentrali che sono mediamente maggiori di quelle delle aree più esterne.

Nella Zona Sismogenetica 914 sono previsti, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a $Mw_{max} = 5,97$.

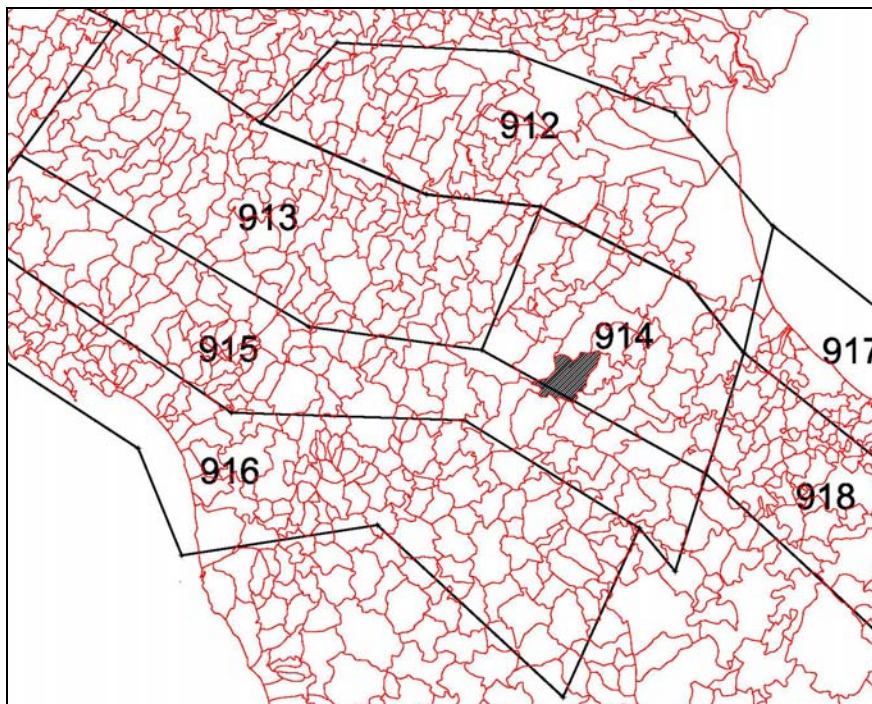


Fig.3 Zonazione sismogenetica ZS9

In termini sismotettonici ("Sismotettonica dell'Appennino Meridionale - Implicazioni per la pericolosità sismica della Toscana", Università di Siena e Regione Toscana, Febbraio 2010) l'area appartiene al cuneo RMU (Romagna-Marche-Umbria) (Fig. 4) che ha subito, a seguito della spinta parallela alla catena appenninica, una estrusione laterale, con deformazioni di tipo compressivo sul fronte esterno adriatico-padano e distensivo estensionale nella parte interna della catena con la formazione di una serie di fosse tettoniche (Valtiberina, Casentino, Mugello, Garfagnana e Lunigiana). La distribuzione dei terremoti con magnitudo maggiore di 5.5, localizzati soprattutto all'interno e lungo i bordi del cuneo, confermerebbe la validità di tale modello geodinamico.

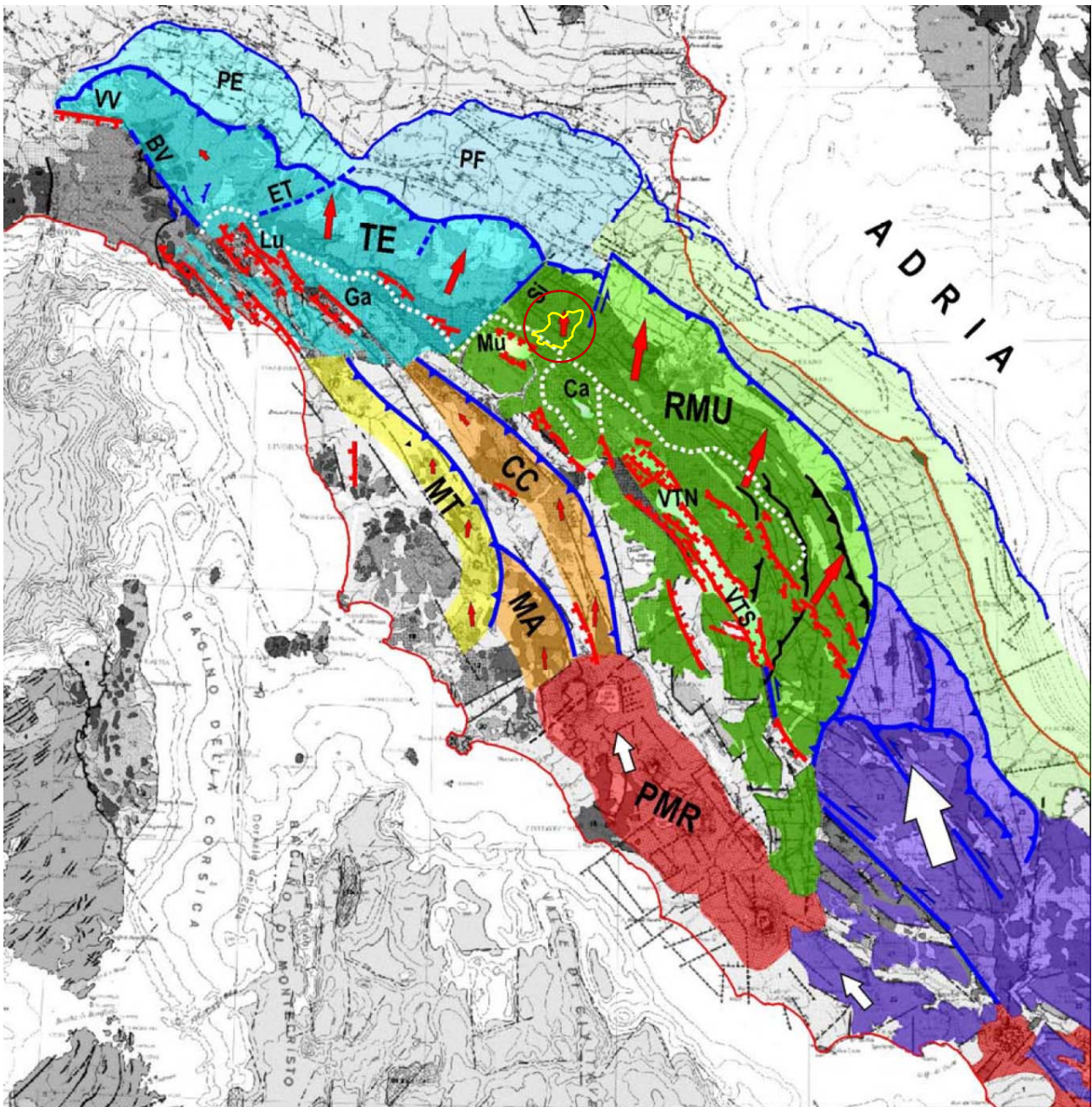


Fig. 4 Schema tettonico/cinematico dell'Appennino settentrionale. Sulla base B/N della Carta Tettonica d'Italia, (Funiello et alii, 1981) sono evidenziati in colore i due settori principali in cui l'Appennino settentrionale è suddiviso:

cuneo Romagna-Marche -Umbria (RMU, verde) e cuneo Tosco-Emiliano (TE, azzurro). Il raccorciamento longitudinale di questo sistema strutturale orogenico è causato dalla spinta longitudinale (freccia grande bianca) della parte orientale della piattaforma Laziale-Abruzzese (viola), nell'ambito geodinamico a larga scala illustrato in figura 3.1.1. Una spinta longitudinale, ma meno intensa (freccie bianche più piccole), passa anche attraverso la parte interna della catena appenninica (Viti et alii, 2006) producendo deformazioni e attività sismica minori nella Toscana interna, principalmente in corrispondenza delle dorsali presenti in questa zona (Chianti-Cetona=CC; Montalcino-Amiata=MA, Medio Toscana=MT) e delle fosse tra esse comprese. Spiegazioni nel testo. BV=zona sismica Bedonia-Varzi, Ca= Casentino, ET=sistema di faglie Enza-Taro, Ga=Garfagnana, Lu= Lunigiana, Mu=Fossa del Mugello, PE, PF =Complessi sepolti delle Pieghe Emiliane e Ferraresi, PMR=Provincia Magmatica Romana, Si=Linea del Sillaro, VTN, VTS= Val Tiberina Nord e Sud, VV= Zona sismica Villalvernia-Varzi.

(desunto da "Sismotettonica dell'Appennino settentrionale - Implicazioni per la pericolosità sismica della Toscana", Università di Siena e Regione Toscana, Febbraio 2010)

In riferimento all'OPCM n. 3519 del 28/04/2006 e alla Delibera di GRT n.431 del 18.06.2006, il Comune di Marradi è classificato in zona sismica 2 (fig. 5), con valori di accelerazione massima orizzontale di riferimento su suolo rigido ($V_s > 800$ m/s) pari a 0.25 g.

REGIONE
TOSCANA



Classificazione sismica della Regione Toscana

Deliberazione di G.R.T. N. 431 del 19 giugno 2006

Ordinanza P.C.M. N. 3519 del 28.04.2006



Zona	Ag/g	Comuni
2	0.25	n°90
3s	0.25	n°106
3	0.15	n°67
4	0.05	n°24

Fig. 5 Estratto Delibera di G.R.T. n° 261 del 18.06.2006

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 - *Norme Tecniche per le Costruzioni* la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente" e l'azione sismica di progetto (in termini di parametri spettrali a_g , F_0 e T^*c) viene definita mediante le informazioni esistenti sul reticolo di riferimento (Allegato B D.M. 14/01/2008) come riportato in fig. 6.

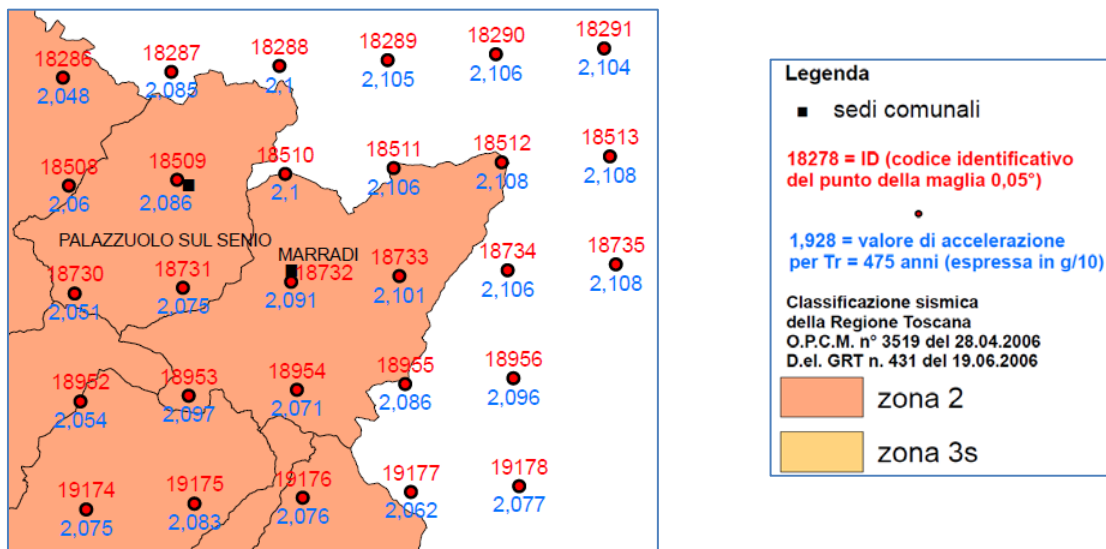


Fig. 6 - Distribuzione dei punti della griglia per il Comune di Marradi

Nella fig. 7 viene riportata l'accelerazione massima al suolo a_{max} con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni), riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/sec; cat. A), in cui viene adottata una suddivisione con intervalli di accelerazione più dettagliati, pari a 0.025g.

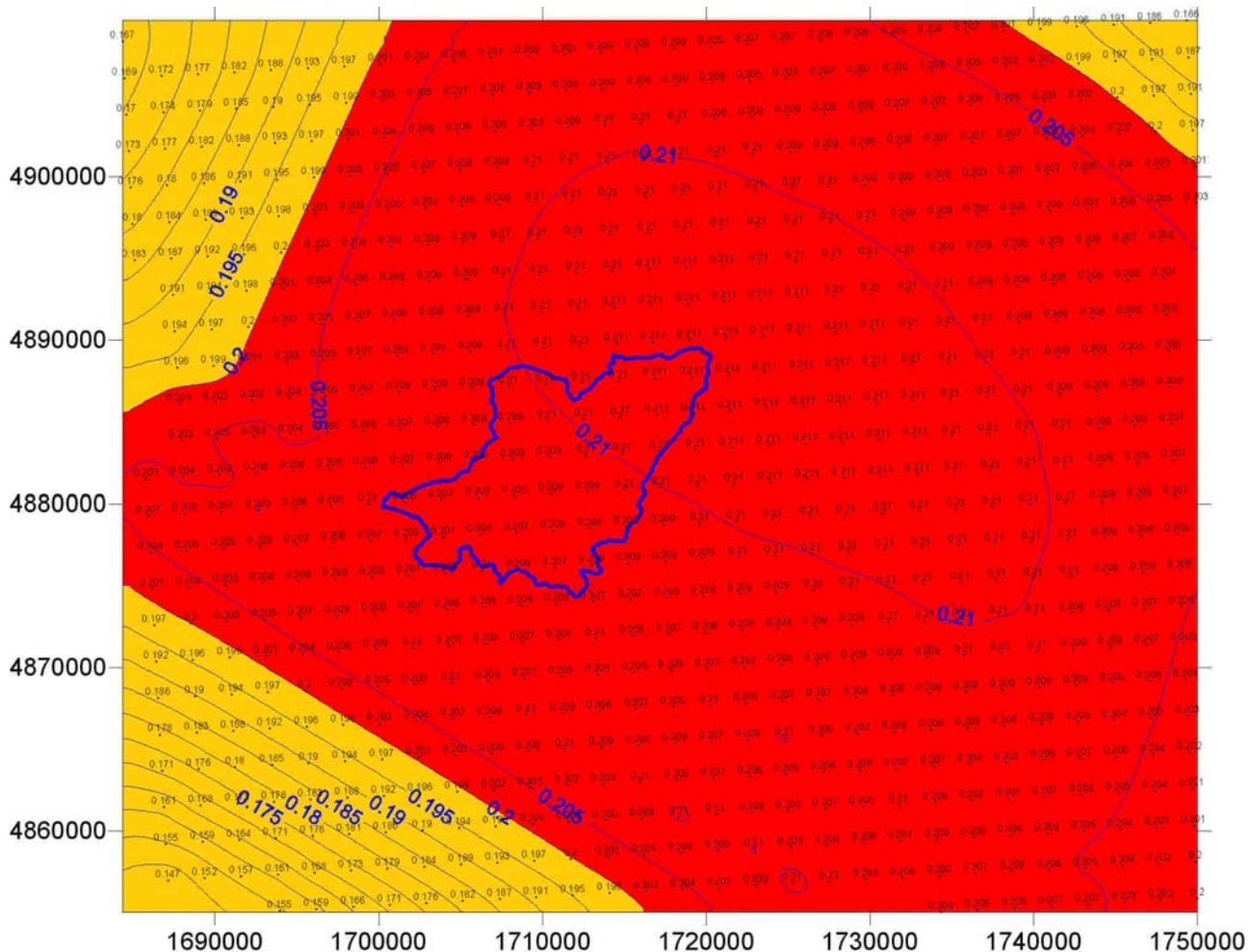


Fig. 7 Dettaglio della mappa di pericolosità per il Comune di Marradi

Per il territorio comunale di Marradi i valori di a_g attesi variano da un minimo di 0.208g nella zona meridionale ad un massimo di 0.221g in quella settentrionale.

Dal catalogo DBMI04 (Stucchi et alii. (2007), il database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI04 (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI04/>. Quaderni di Geofisica, Vol 49, pp. 38), sono stati estratti per il centro abitato di Marradi [44.076, 11.613] i terremoti ed i risentimenti più significativi riportati nella figura 8.

Effetti	In occasione del terremoto del:					
Is	Anno Me Gi Or Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw	
7	1661 03 22 12 45	Appennino romagnolo	58	9	5.83	
6	1688 04 11 11 30	ROMAGNA	36	9	5.88	
4-5	1725 10 28	FAENTINO	17	7	5.26	
6	1874 10 07	IMOLESE	60	7	4.99	
F	1879 04 27 04 06	Valle del Senio	20	7-8	5.18	
3	1891 06 07 01 06	Valle d'Ilasi	403	9	5.71	
3	1895 09 04 13 30	Valle del Montone	15	7-8	5.03	
NF	1904 02 25 18 47	Reggiano	62	7	5.13	
NF	1904 06 10 11 15	Frignano	96	7	5.08	
5	1904 11 17 05 02	PISTOIESE	204	7	5.18	
5	1909 01 13 00 45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53	
3-4	1909 08 25 00 22	MURLO	283	7-8	5.40	
5-6	1913 07 21 22 35	VALLE DEL LAMONE	43	6	5.07	
4	1915 01 13 06 52	AVEZZANO	1040	11	6.99	
3	1916 08 16 07 06	Alto Adriatico	256	8	5.92	
2-3	1917 04 26 09 35	MONTERCHI-CITERNA	128	9-10	5.80	
5	1917 12 02 17 39	GALEATA	32	6-7	5.20	
5	1918 11 10 15 12	Appennino romagnolo	95	8	5.79	
7-8	1919 06 29 15 06	Mugello	267	9	6.18	
6	1929 07 18 21 02	MUGELLO	56	7	5.07	
4	1931 04 05 13 34	FAENTINO	14	6-7	5.10	
4-5	1931 09 05 01 26	FIRENZUOLA	24	7	5.09	
2	1936 10 18 03 10	BOSCO CANSIGLIO	267	9	5.90	
7	1939 02 11 11 17	MARRADI	31	7	5.17	
4	1957 04 17 02 22	S. SOFIA	14	6	4.85	
NF	1984 05 07 17 49	Appennino abruzzese	912	8	5.93	

Is	Intensità al sito (MCS)
Ix	Intensità massima (MCS)
Np	Numero di osservazioni macrosismiche del terremoto

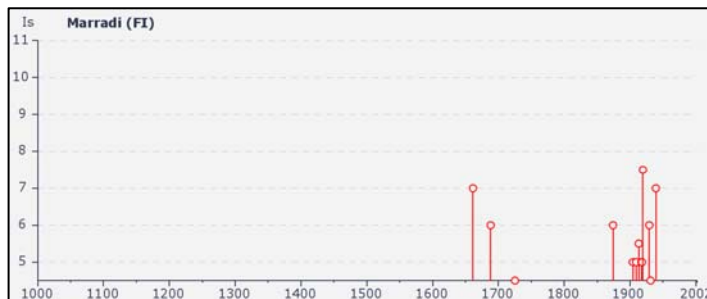


Fig. 8 Osservazioni macrosismiche centro abitato di Marradi

L'analisi critica di tale elenco conferma il numero sostanzialmente limitato di terremoti che hanno direttamente interessato il territorio comunale di Marradi, mentre si rileva l'influenza preponderante dei risentimenti delle zone limitrofe maggiormente attive da punto di vista sismo-genetico.

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO e CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.) costituisce la sintesi degli studi di MS di 1° livello, in cui, sulla base dei dati di natura geologica, geofisica e geotecnica, si individuano sul territorio aree qualitativamente omogenee da un punto di vista del comportamento sismico, specificando le condizioni locali che possono modificare le caratteristiche del moto sismico atteso.

Nella redazione della cartografia delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (M.O.P.S.) sono state utilizzate le specifiche tecniche definite negli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica" oltre gli standard di rappresentazione previsti dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica della Protezione Civile (Versione 2.0, Giugno 2012).

Le analisi effettuate hanno consentito di individuare nel territorio esaminato le Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali riportate in fig. 9, riportate nelle tavole 5A, 5B e 5C.

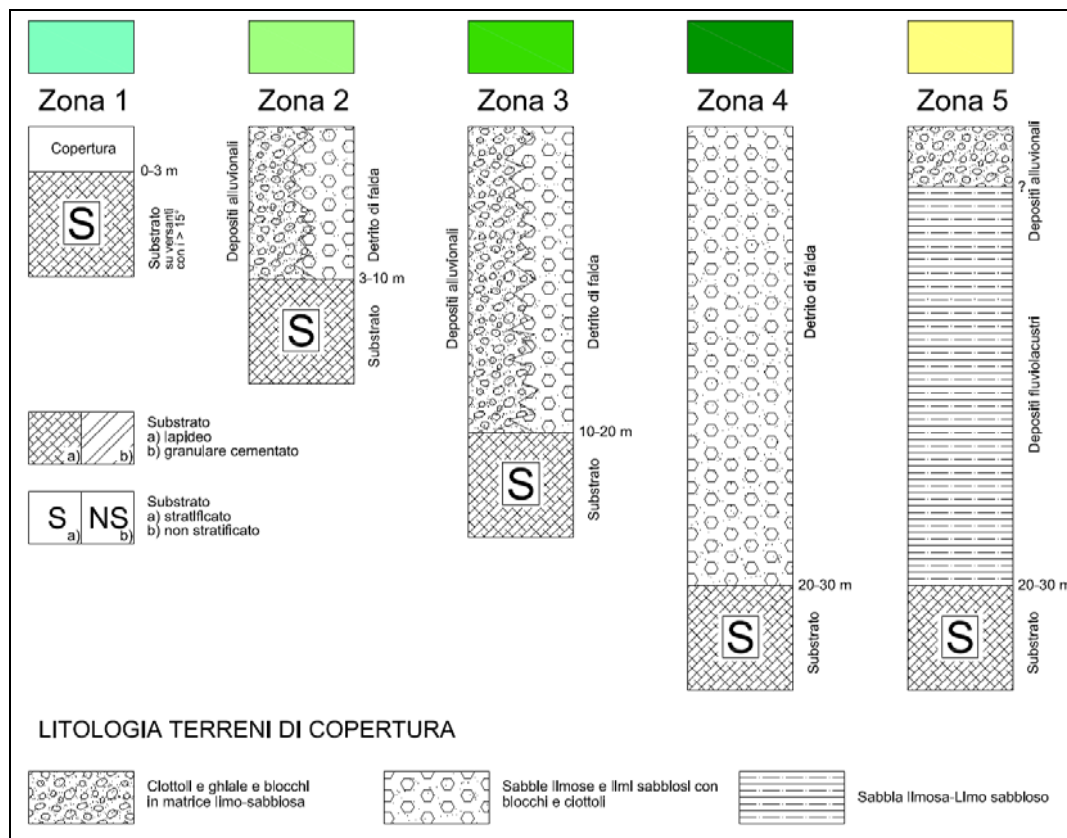


Fig. 9 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

La zona 1 ricomprende prevalentemente settori del territorio caratterizzati da scarsa copertura del substrato lapideo stratificato (compresa tra 0 e 3 metri), in cui sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto della situazione morfologica locale caratterizzata da versanti con inclinazione maggiore di 15°.

Le zone 2, 3 e 4 rappresentano invece settori nei quali l'amplificazione del moto sismico è legato alle condizioni litostratigrafiche, ed in particolare alla presenza di una copertura detritica al substrato rigido, con alto contrasto di impedenza sismica con velocità delle onde di taglio mediamente di circa 400 m/s e valori minimi di 200 m/s, mentre il substrato sismico ha mediamente velocità V_s pari a circa 1200-1300 m/s.

Non si esclude che la risposta sismica locale in tali zone possa essere influenzata dalle condizioni geometriche di valle, che possono determinare una iterazione tra le onde di superficie e di volume molto complessa che rendono poco attendibile una modellazione monodimensionale.

L'individuazione di tali zone è stata effettuata attraverso l'esecuzione di 50 sezioni geologiche, di cui quelle più rappresentative della situazione lito-stratigrafica e strutturale sono riportate nella tavole 3A e 3B (sezioni denominate con le lettere da A a I).

La zona 2 in particolare è caratterizzata da spessori di copertura al substrato compresi tra 3 e 10 metri, litologicamente rappresentati da depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi e depositi detritici di falda. La zona 3 si differenzia dalla zona 2 esclusivamente per lo spessore dei depositi di copertura che sono compresi tra 10 e 20 metri, e costituiscono prevalentemente delle fasce parallele al corso del fiume Lamone, particolarmente estese nella zona meridionale del territorio tra Sant'Adriano e Marradi.

La zona 4 è localizzata esclusivamente su un corpo detritico di falda ubicato immediatamente a sud-Ovest di Sant'Adriano, e presenta coperture con spessori compresi tra 20 e 20 metri.

Sulla base degli standard di informatizzazione dei dati, è stato infine elaborato il file *Stab.shp* assegnando i codici riportati nella tabella seguente

Zona	Tipo_z
1	2001
2	2002
3	2003
4	2004
5	2005

Tab. 2 Codici assegnati alle zone stabili suscettibili di fenomeni di amplificazione stratigrafica

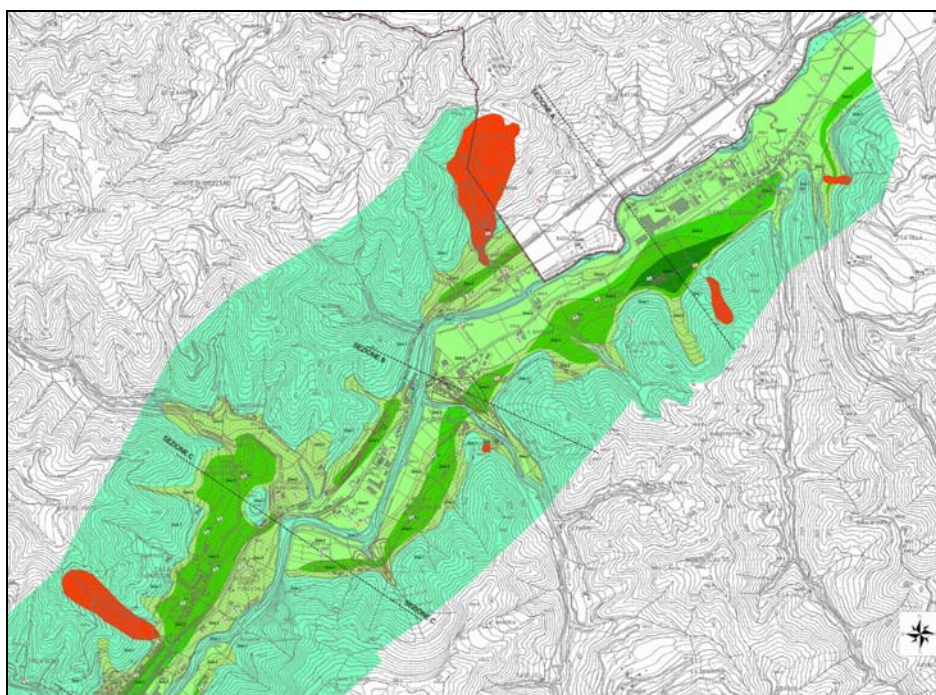


Fig. 10 - Estratto cartografia M.O.P.S. Sant'Adriano- Popolano

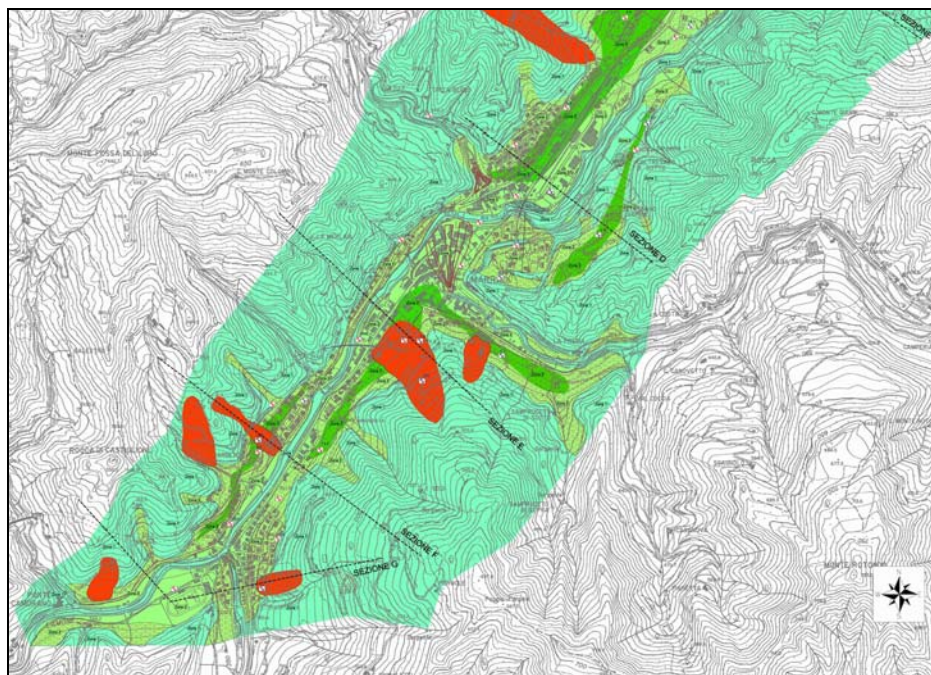


Fig. 11 Estratto della cartografia M.O.P.S. - Marradi – Biforco

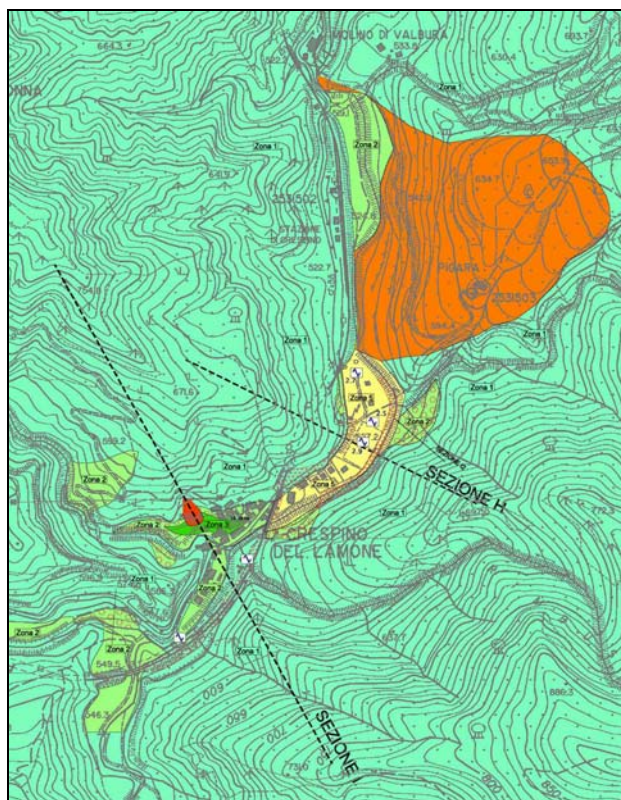


Fig. 12 Estratto della cartografia M.O.P.S. - Crespino del Lamone

La zona 5 individua un settore particolare del fondovalle nella frazione di Crespino del Lamone. Le analisi geologiche e geofisiche hanno evidenziato la presenza di elevati spessori di copertura al substrato (compresi tra 20 e 30 metri - Sezione geologica H), e costituiti da depositi alluvionali superficiali grossolani di spessore indefinito, collocati al disopra di depositi fluvio-lacustri a bassa velocità delle onde di taglio. Tale situazione stratigrafica è anche confermata dai risultati delle indagini HVSR che registrano picchi a frequenze variabili da 2.5 a 3.6 Hz, con andamento dai rapporti H/V che presentano, per frequenze superiori, marcati avvallamenti con valori inferiori a 1, indice di inversioni della velocità di propagazione delle onde di taglio. Anche in questo caso si evidenziano alti contrasti di impedenza sismica.

L'analisi della situazione geologica dell'area (così come riportato nei capitoli precedenti) ha evidenziato come lo spessore elevato di copertura sia con molta probabilità legato alla formazione immediatamente a valle di un lago di sbarramento causato da una frana di scivolamento in blocco, che avrebbe ostruito il corso del fiume Lamone e determinato, immediatamente a valle, la formazione delle cascate di Valbura.

Le condizioni morfologiche in questa situazione determinano che oltre agli effetti litologici si possono produrre effetti geometrici di valle considerando l'alto contrasto di impedenza che il rapporto di forma della valle che è minore di 0.25.

Si tratta comunque di una situazione che richiede ulteriori approfondimenti.

Nella cartografia delle M.O.P.S. sono inoltre individuate le "Zone suscettibili di instabilità", nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio a cui si devono sommare fenomeni di amplificazione come effetto della situazione litostratigrafica.

Tali zone ricomprendono le aree di frana per scorrimenti traslativi e rotazionali quiescenti individuate nel settore di indagine, di cui 4 sono state oggetto di indagini di sismica a rifrazione in onde P e SH, e che hanno evidenziato spessori dei depositi massimi variabili tra 15 e 20 metri, con velocità delle onde di taglio compresi tra 350 e 550 m/s.

Tra le zone suscettibili di instabilità è stato inserito il corpo di paleofrana individuato immediatamente a Nord di Crespino del Lamone, per il quale risultano necessari ulteriori approfondimenti.

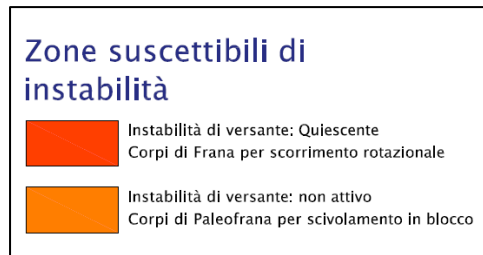


Fig. 13 Estratto della legenda della cartografia M.O.P.S. (aree instabili)

5. CARTA DELLE FREQUENZE (TAV. 6A, 6B E 6C)

La cartografia delle frequenze fondamentali di vibrazione dei terreni è stata effettuata sulla base dei risultati delle indagini sul rumore sismico effettuate dal Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli studi di Siena, integrate dalle prove HVSR effettuate per la redazione del presente lavoro nel 2012.

Il numero elevato di misurazioni disponibili e la definizione in sezione della geometria delle coperture ha consentito una ricostruzione dettagliata della mappa delle frequenze di risonanza per la quale è stata adottata la suddivisione in classi di frequenza riportata in fig. 14, che ben si adatta alla situazione locale.



Fig. 14 Classi di frequenza

I risultati ottenuti, riportati nelle tavole 6A, 6B e 6C (vedi estratti fig. 15, 16 e 17), evidenziano come frequenze più elevate si registrano a ridosso del Fiume Lamone, dove si riduce lo spessore della coltre alluvionale, per poi diminuire progressivamente risalendo i versanti caratterizzati dalla presenza delle falde detritiche maggiormente sviluppate con spessori rilevanti delle coperture sovrastanti il substrato roccioso.

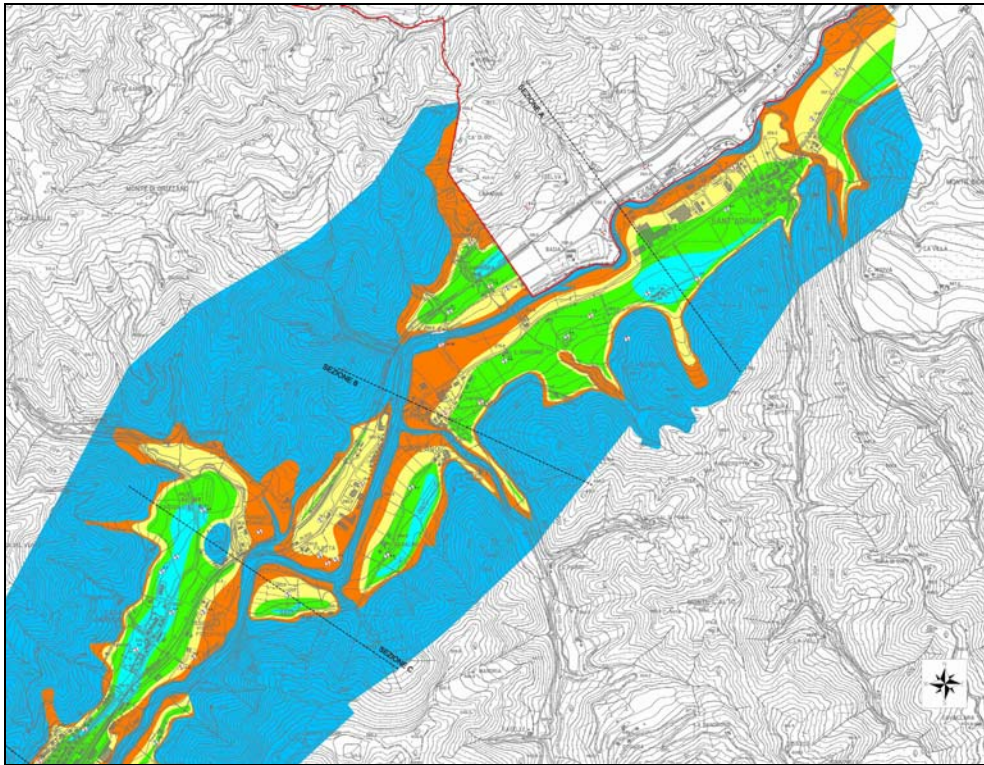


Fig. 15 Estratto cartografia delle frequenze (Sant'Adriano- Popolano)

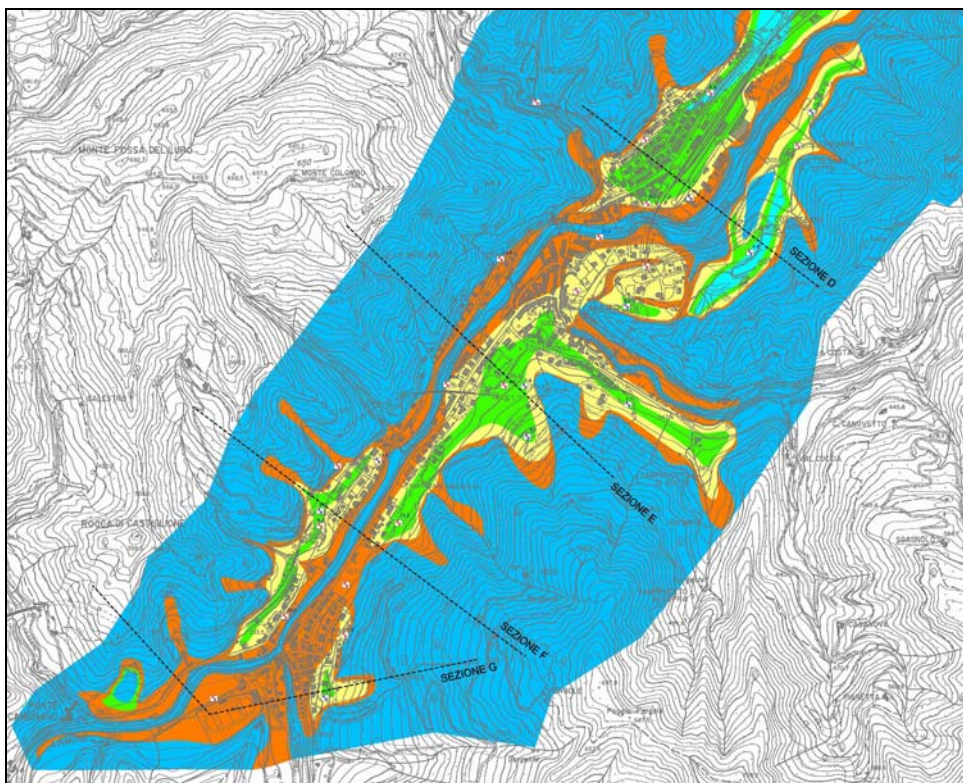


Fig. 16 Estratto cartografia delle frequenze (Marradi - Biforco)

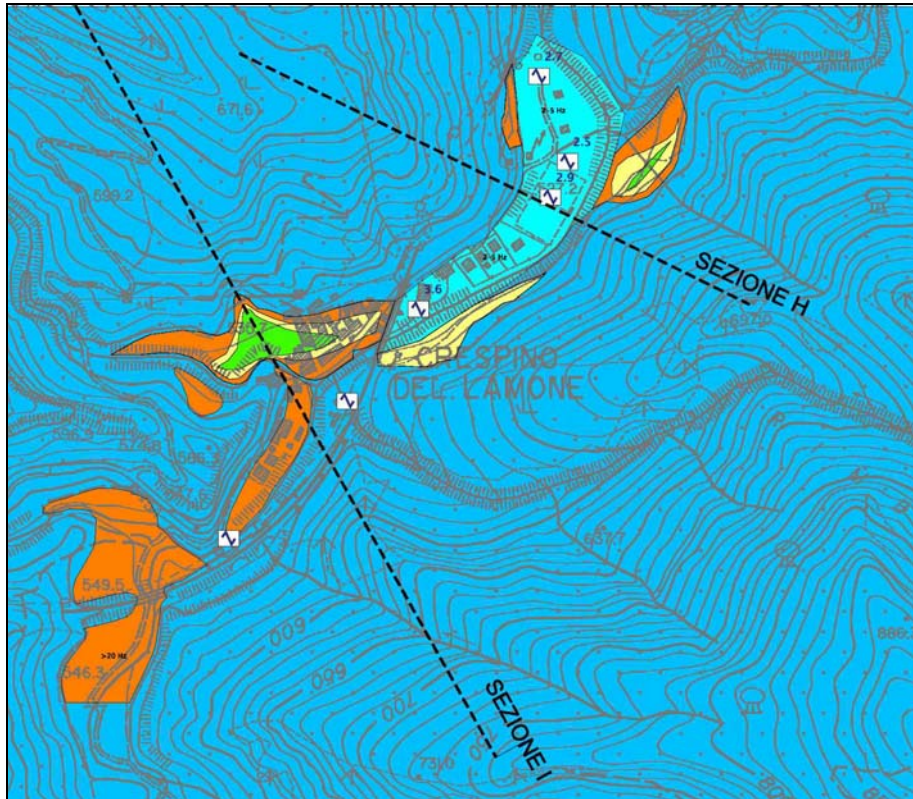


Fig. 17 Estratto cartografia delle frequenze (Crespino del Lamone)

5. CONCLUSIONI

La banca dati delle indagini geognostiche sviluppata nell'ambito del presente studio presenta un livello di copertura territoriale, unitamente alla qualità ed alla varietà tipologica, tale da consentire l'elaborazione di studi di approfondimento sismico di livello superiore con integrazioni conoscitive relativamente limitate.

Lo studio di microzonazione sismica di livello 1 elaborato per il Comune di Marradi (FI) ha consentito di suddividere il territorio indagato in zone caratterizzate da una diversa pericolosità sismica connessa all'assetto geologico/stratigrafico ed alle condizioni topografiche e geomorfologiche locali.

Le condizioni di pericolosità sismica diretta o indotta per le aree indagate del Comune di Marradi risultano strettamente connesse ai seguenti fattori:

- presenza diffusa di spessori rilevanti di coperture detritiche di natura eluvio-colluviale e/o alluvionale sovrastanti il substrato roccioso lapideo (*bedrock* sismico) con contrasti di impedenza generalmente elevati;
- presenza di fenomeni franosi di natura quiescente potenzialmente riattivabili in seguito ad eventi sismici rilevanti.

L'elaborazione degli studi di microzonazione sismica di livello superiore dovrà pertanto prevedere adeguati approfondimenti delle seguenti tematiche:

- **analisi semi-quantitativa** (sulla base delle indicazioni riportate negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome) **dei fenomeni di amplificazione sismica locale attesi nelle aree con rilevanti spessori di coperture detritiche sovrastanti il *bedrock* con elevati contrasti di impedenza;**
- **studio morfometrico e stratigrafico di dettaglio con verifiche della potenziale**

- riattivazione dei fenomeni franosi classificati come “aree instabili” e stima degli spostamenti conseguenti agli eventi sismici di maggiore entità attesi per l’area di studio (sulla base delle indicazioni riportate negli IMCS);
- **definizione dell’assetto stratigrafico di dettaglio dell’area di *Crespino del Lamone* classificata come Zona 5** al fine di giustificare le inversioni di velocità delle onde sismiche rilevate dalle misure effettuate, definire lo spessore dei depositi fluvio-lacustri sovrastanti il substrato roccioso e **valutare le accelerazioni massime attese in superficie mediante l’elaborazione di specifiche analisi di Risposta Sismica Locale (RSL).**