



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



 Regione Emilia Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della Legge 24 Giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia Romagna

Comune di Parma



Regione:



Università di Parma
Dipartimento di Fisica
e Scienze della Terra
Responsabile scientifico
e progettista:
Dr. Roberto Francese

Data:

20 dicembre 2016



Comune di Parma
Settore Lavori Pubblici
e Patrimonio

S.O. Sismica-Energetica
S.O. Protezione Civile e Sicurezza



Sommario

1.	Introduzione	1
1.1	Premessa	1
1.2	Articolazione dello studio di Microzonazione Sismica	4
1.3	Delimitazione territoriale.....	5
2.	Definizione della pericolosità di base degli eventi di riferimento	6
2.1	Pericolosità sismica regionale.....	6
2.2	Eventi di riferimento	8
3.	Assetto geologico e geomorfologico dell'area	12
3.1	Assetto tettonico-strutturale	12
3.2	Geologia e stratigrafia di suolo e sottosuolo	13
3.3	Morfologia del territorio	17
3.4	Idrogeologia (cenni).....	19
4.	Dati geotecnici e geofisici	20
4.1	Banca dati regionale e altre fonti	20
4.2	Misure sismiche.....	20
4.3	Acquisizione dei dati, strumentazione e rete di misura	20
5.	Modello di sottosuolo	24
5.1	Modello geologico concettuale	24
6.	Interpretazioni ed incertezze	27
7.	Elaborazione dei dati e risultati.....	29
7.1	Elaborazione dei dati sismici	29
8.	Elaborati cartografici.....	33
8.1	Carta delle indagini	33
8.2	Carta geologico-tecnica (CGT).....	33
8.3	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (CMOPS)	35
8.3.1	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.....	36
8.3.2	Zone di attenzione per le instabilità	37
8.4	Sezioni litostratigrafiche.....	40



8.5	Approfondimenti di II livello	42
8.5.1	Carta delle frequenze	43
8.5.2	Carta delle V_s	45
8.5.3	Carta di microzonazione sismica.....	46
9.	Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati.....	53
10.	Considerazioni finali	57
	Bibliografia essenziale	59



1. Introduzione

1.1 Premessa

Nell'ambito delle risorse economiche stanziare con O.C.D.P.C. n. 171 del 19 giugno 2014 - Attuazione dell'art. 11 del d.l. 28 aprile 2009, n. 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n. 77 - il Comune di Parma ha intrapreso lo studio di Microzonazione Sismica (MS) di II livello e l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) dell'intero territorio comunale. Tale lavoro, infatti, ha ricevuto il finanziamento della Regione Emilia-Romagna di cui alla deliberazione di G.R. n. 1227 del 31 agosto 2015 pari a € 32.212,20 - CUP: I92F15000010005 - per un importo totale di € 42.949,60. La somma è stata così suddivisa:

- € 37.949,60 relativa alla predisposizione dello studio di MS;
- € 5.000,00 relativa alla predisposizione dell'analisi della CLE.

La necessità di uno studio di MS si è manifestata dopo i numerosi eventi sismici accaduti in Italia negli ultimi anni e che hanno reso maggiormente evidente la vulnerabilità sismica del territorio italiano. L'osservazione degli effetti ha inoltre mostrato come i danni a fabbricati ed infrastrutture si manifestino con differenze notevoli in centri abitati posti anche a piccole distanze tra loro. Le cause di queste situazioni, oltre alla differente tipologia costruttiva, vanno ricercate in una diversa pericolosità sismica locale, accentuata dalle differenti modalità di propagazione delle onde sismiche, funzione delle caratteristiche geometriche, elastico-acustiche e di instabilità di suolo e sottosuolo.

La Regione Emilia-Romagna ha disciplinato in via generale la tutela e l'uso del territorio con la L.R. 20/2000 ed ha affrontato in modo specifico le problematiche del rischio sismico con la L.R. 19/2008 nella quale i piani urbanistici comunali vengono subordinati alla redazione di studi di MS. Gli indirizzi per gli studi di MS erano stati precedentemente definiti mediante D.A.L. 112/2007. A seguito del sisma del maggio 2012 i criteri per gli studi di MS sono stati aggiornati mediante D.G.R. 2193/2015 che ad oggi rappresenta il documento di riferimento in attuazione delle linee guida nazionali "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" del Dipartimento di Protezione Civile e della Conferenza delle Regioni e Province Autonome (ICMS, 2008). Il quadro normativo completo nazionale e regionale è riportato in Appendice R.

La MS prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente:

LIVELLO I: si applica tipicamente in sede di PSC (ad una scala di maggior dettaglio rispetto alla pianificazione sovraordinata del PTCP) e consente di delineare gli scenari della pericolosità sismica e di identificare le parti del territorio comunale suscettibili di effetti sismici locali.



LIVELLO II: si applica in sede di PSC a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati nella precedente fase e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio che comportano un incremento dei carichi urbanistici/insediativi e per il territorio compreso nel perimetro del "centro abitato" così come previsti dalla normativa vigente;

LIVELLO III: si applica tipicamente in sede di POC per le scelte di trasformazione urbanistica nelle aree con particolari criticità geologiche, geomorfologiche e geotecniche. Si applica altresì alle aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

Lo studio è finalizzato ad una definizione degli effetti di sito attesi attraverso una modellazione alla scala regionale delle strutture sedimentarie superficiali e sepolte in rapporto ai caratteri litologico-tessiturali ed alle geometrie e proprietà elastico-acustiche del sottosuolo.

Lo studio di MS è stato condotto dal Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università di Parma, sotto la responsabilità scientifica del Dr. Roberto Francese, In particolare, hanno partecipato allo studio i soggetti di cui al presente elenco:

Gruppo di lavoro

Prof. Alessandro Chelli
Dott. Fabio Molinari
Dott. Andrea Quagliarini;
Dott. Mattia Pains;
Filippo Galli;
Dragica Tomova;
Federico Conte;
Thomas Gennari.

L'analisi della CLE costituisce elemento essenziale per l'individuazione delle vulnerabilità del sistema strutturale e infrastrutturale del territorio comunale, nonché per la gestione dell'emergenza a seguito di un evento sismico. Da quest'ultimo punto di vista, l'analisi della CLE diventerà parte integrante del Piano Comunale di Protezione Civile come previsto dalla d.G.R. 1227/2015, nonché degli strumenti di piano come previsto dall'O.C.D.P.C. 171/2014.

L'obiettivo primario dell'analisi della CLE è definire il quadro generale di funzionamento dell'insediamento urbano per la gestione a seguito di un'emergenza sismica, tenendo conto del contesto territoriale. A tal fine vengono identificati i principali elementi fisici del sistema di gestione dell'emergenza definiti nel Piano Comunale di Protezione Civile, quali edifici sede di coordinamento, aree di emergenza e infrastrutture di collegamento, al fine di garantire l'operatività del sistema stesso dopo il terremoto. A valle di tale studio sarà possibile



valutare il sistema di gestione dell'emergenza, pervenendo ad un giudizio basato sul confronto tra lo stato attuale e le prestazioni richieste al sistema nel suo complesso.

Tale obiettivo è stato perseguito utilizzando la modulistica predisposta dalla Commissione Tecnica di cui all'art. 5, commi 7 e 8, dell'O.P.C.M. 3907/2010 ed emanata con apposito decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, distinguendo tra:

- edifici e aree che garantiscono le funzioni strategiche per l'emergenza (rispettivamente, schede ES e AE);
- infrastrutture di accessibilità e connessione con il contesto territoriale degli edifici e delle aree strategiche (scheda AC);
- aggregati strutturali e singole unità strutturali interferenti con le infrastrutture di accessibilità e di connessione e con le aree di emergenza (rispettivamente, schede AS e US).

L'analisi è stata condotta in concomitanza con lo studio di MS a livello comunale, in considerazione del fatto che l'individuazione delle zone stabili, stabili con amplificazione e instabili viene riportata sulle schede della CLE diventandone parte integrante e indice di rischio sismico.

Ai fini della compilazione delle schede si è resa necessaria l'esecuzione di sopralluoghi speditivi degli edifici, delle aree di emergenza e delle reti infrastrutturali, oltre al reperimento di informazioni presso i soggetti gestori degli edifici strategici.

Il Comune di Parma ha scelto di condurre internamente le attività finalizzate all'analisi della CLE, avvalendosi delle competenze presenti nella Struttura Operativa (S.O.) Sismica-Energetica e nella S.O. Protezione Civile e Sicurezza. In particolare, hanno partecipato allo studio i dipendenti di cui al presente elenco:

Responsabile del progetto

Arch. Enzo BERTOLOTTI, funzionario tecnico titolare di posizione organizzativa

Team di lavoro

Ing. Marcello BIANCHINI FRASSINELLI, funzionario tecnico;

Ing. Alice BONATI, funzionario tecnico;

Ing. Cecilia DAMONI, funzionario tecnico;

Ing. Daniele FRATTA, istruttore direttivo tecnico;

Ing. Marco MORDACCI, istruttore direttivo tecnico.

Le attività di sopralluogo e la catalogazione degli edifici strategici, delle aree di emergenza e delle infrastrutture di accessibilità/connessione sono rimaste in capo al personale dipendente dell'Amministrazione, mentre l'individuazione e la schedatura degli aggregati strutturali e delle singole unità strutturali interferenti è stata oggetto di apposita convenzione.



Infatti, considerato che il Comune, attraverso l'art. 2, co. 5, dello suo Statuto, promuove l'esercizio delle proprie funzioni anche attraverso le attività che possono essere adeguatamente svolte dall'autonoma iniziativa dei cittadini e delle loro formazioni sociali, l'Associazione Geometri volontari per la Protezione Civile (A.Ge.Pro) di Parma ha ricevuto l'incarico di cui alla DD-2016-1017 del 29/04/2016 per l'individuazione e la successiva compilazione delle schede AS e US effettuando appositi sopralluoghi.

L'A.Ge.Pro. persegue finalità di solidarietà sociale e di impegno civile e concorre all'attività di protezione civile sul territorio provinciale e nazionale avvalendosi in modo determinante e prevalente delle prestazioni personali, spontanee, volontarie e gratuite dei propri aderenti. L'Associazione è iscritta all'Albo delle Libere Forme Associative del Comune di Parma al numero 249 ed è composta da personale tecnico con esperienza e formazione specifica che possiede adeguata esperienza nell'ambito della Protezione Civile.

La convenzione ha avuto la durata di 210 giorni, naturali e consecutivi, a partire dalla data di sottoscrizione della stessa avvenuta in data 26/05/2016, con termine, pertanto, il 22/12/2016.

1.2 Articolazione dello studio di Microzonazione Sismica

Lo studio si è articolato in tre fasi principali: la costruzione di un modello stratigrafico concettuale sulla base dei dati geologici, geotecnici e geofisici disponibili, la parametrizzazione sismica del modello mediante misure HVSR e di V_s ed infine il calcolo dei fattori di amplificazione dell'intensità spettrale di Housner e della PGA sulla base delle tabelle di cui all'Allegato 2 della D.G.R. 2193/2015.

Una particolare attenzione è stata posta nella progettazione della rete di misura che è stata ottimizzata in funzione delle informazioni geologiche disponibili privilegiando la copertura delle diverse unità deposizionali piuttosto che predisporre una rete di misura con classica maglia regolare. Questo approccio, a guida geologica, rispetto a quelli tradizionali, presenta un grande vantaggio che è quello di limitare il numero di stazioni di misura privilegiando la caratterizzazione delle singole unità geologiche e riducendo l'influenza della geometria della griglia di campionamento sulla successiva fase di generalizzazione delle misure e di interpolazione dei dati sull'intero territorio.

L'organizzazione in fasi sequenziali ha garantito il rispetto delle procedure di acquisizione ed elaborazione dei dati e di restituzione dei risultati.

Il Sistema Informativo Geografico, realizzato secondo gli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica (versione 4.0b, ottobre 2015), è servito da collettore di tutte le informazioni esistenti e dei dati di nuova generazione. Nello specifico sono stati organizzati e omogeneizzati i dati idrogeologici, geologico-stratigrafici, tettonici e geomorfologici provenienti dai documenti di pianificazione a scala comunale, in particolare dal PSC, dalla



letteratura scientifica, dalle banche dati disponibili, dagli studi professionali consultabili e dalle indagini geologico-geofisiche integrative condotte ad hoc per l'analisi di MS e quanto utile alla costruzione di un modello geologico concettuale.

Al fine di ottimizzare la campagna di misura, preliminarmente all'acquisizione di nuovi dati, è stato costruito un modello geologico embrionale per identificare le parti di territorio suscettibili di effetti sismici locali (amplificazione, cedimenti, instabilità dei versanti, liquefazione, etc).

1.3 Delimitazione territoriale

Il Comune di Parma si estende su una superficie di circa 261 km² e confina con i comuni di Sorbolo, Gattatico (RE) e Sant'Ilario d'Enza (RE) ad est, con il comune di Montechiarugolo a sud-est, con i comuni di Traversetolo, Lesignano dè Bagni, Langhirano e Felino sul fronte meridionale, con i comuni di Sala Baganza, Collecchio, Noceto, Fontevivo e Fontanellato ad ovest ed infine con i comuni di Trecasali, Torrile e Mezzani sul fronte settentrionale.

2. Definizione della pericolosità di base degli eventi di riferimento

Per quanto concerne la pericolosità sismica del territorio dell'Emilia-Romagna ci si può riferire alle mappe ufficiali elaborate dall'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia (INGV) ed ai diversi studi condotti dalla Regione Emilia-Romagna in collaborazione con Università ed EPR.

2.1 Pericolosità sismica regionale

La pericolosità di base è ben descritta attraverso le mappe di accelerazione massima del suolo o Peak Ground Acceleration - PGA (http://zonesismiche.mi.ingv.it/mappa_ps_apr04/italia.html) ridefinita in base all'Ordinanza P.C.M. 3519/2006 (Figura 1).

Il territorio comunale ricade nell'intervallo di PGA compreso tra valori massimi di circa 0.155 g del settore meridionale pedeappenninico a valori minimi di 0.1 g della bassa pianura settentrionale del Fiume Parma verso il Fiume Po.

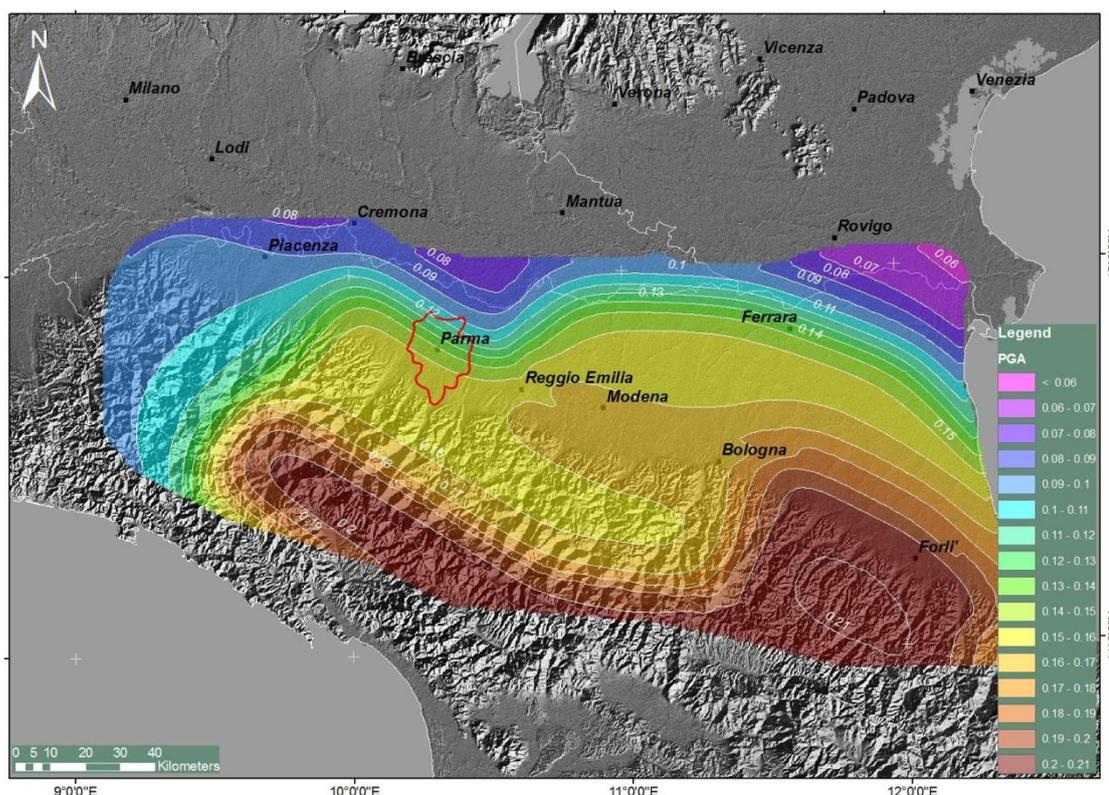


Figura 1. Accelerazione massima del suolo (PGA) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s). La scala è espressa in g (fonte INGV). Il limite indicativo del territorio comunale è rappresentato con una linea rossa.

Per quanto riguarda la zonazione sismogenetiche (Figura 2) proposta da Meletti e Valensise (2004) il territorio comunale si colloca al limite della zona 913 per la quale i meccanismi focali non sono ben determinati ma, che, in via generale, hanno carattere compressivo che può diventare trascorrente nei settori di svincolo. Le sorgenti sismogenetiche sono definite nel database nazionale redatto da INGV (<http://diss.rm.ingv.it/diss/>).

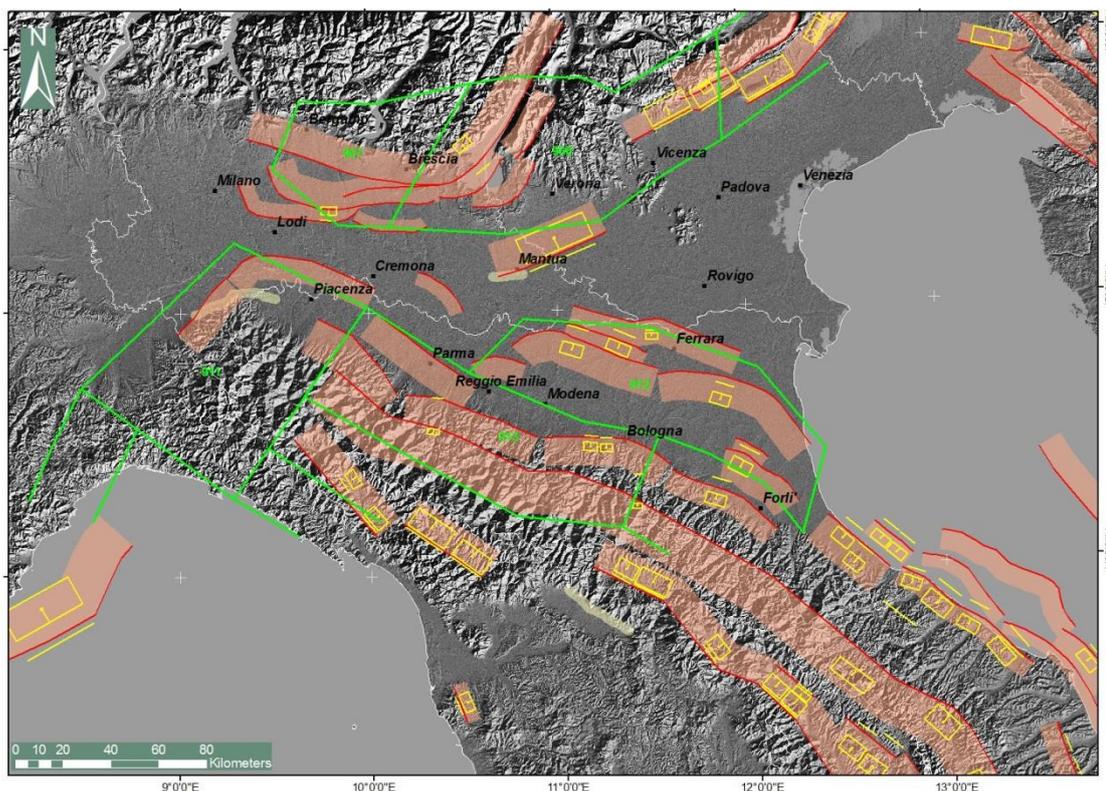


Figura 2. Zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), in colore verde e principali sorgenti sismogenetiche tratte dal database DISS 3.2.0 (DISS Working Group, 2015).

Nell'area di studio viene riportata un'importante struttura con allineamento sub-parallelo al margine appenninico che taglia trasversalmente il territorio comunale. Si tratta della struttura Busseto-Cavriago, attiva nell'intervallo di profondità 2-8 km, e capace di magnitudo massime pari a 5.6. nelle immediate vicinanze si trova anche la struttura Campegine-Correggio, attiva nell'intervallo di profondità 3-10 km, e capace di magnitudo massime pari a 5.5.

Lo studio sismotettonico regionale (Boccaletti e Martelli, 2004) definisce con maggior dettaglio le diverse strutture sismogenetiche presenti nel territorio emiliano e romagnolo (Figure 3), nella zona di Parma sono visibili una serie di thrust disposti con tipico orientamento appenninico ed alcune strutture di svincolo.

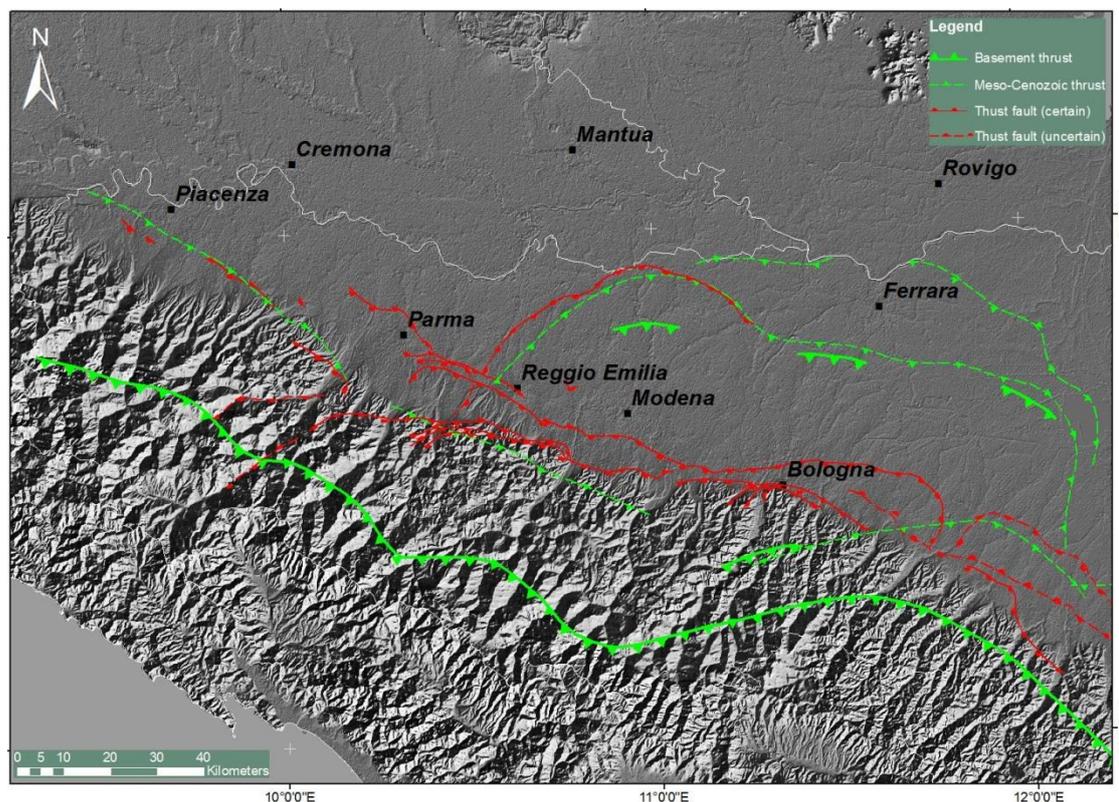


Figura 3. Principali strutture tettoniche della pianura emiliana. Rielaborate da Carta Sismotettonica dell’Emilia-Romagna (Boccaletti e Martelli, 2004).

2.2 Eventi di riferimento

La rappresentazione in mappa dei fuochi dei terremoti strumentali e storici (rielaborata da tre cataloghi INGV di sismologia strumentale: CNT – <http://cnt.rm.ingv.it/> e CSI – <http://csi.rm.ingv.it/> e di sismologia storica e macrosismica CPT115 – <http://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBMI15/>) mostra per la zona di Parma (Figura 4 e Figura 5) un numero nel complesso esiguo di eventi anche se sono riportati 5 eventi con magnitudo superiore a 5 verificatisi tra il 1409 ed il 1983 (Tabella 1). Nella mappa (Figura 4) è anche ben visibile l’area sismica del 2012 rappresentata da un denso cluster di eventi.

Tra i vari eventi vanno sicuramente segnalati i due di magnitudo superiore a 5.5 che datano rispettivamente all’anno 1438 ed al più recente 1971 i cui epicentri sono localizzati appena a nord-est del centro urbano di Parma e circa 10 km ad ovest di Parma stessa.

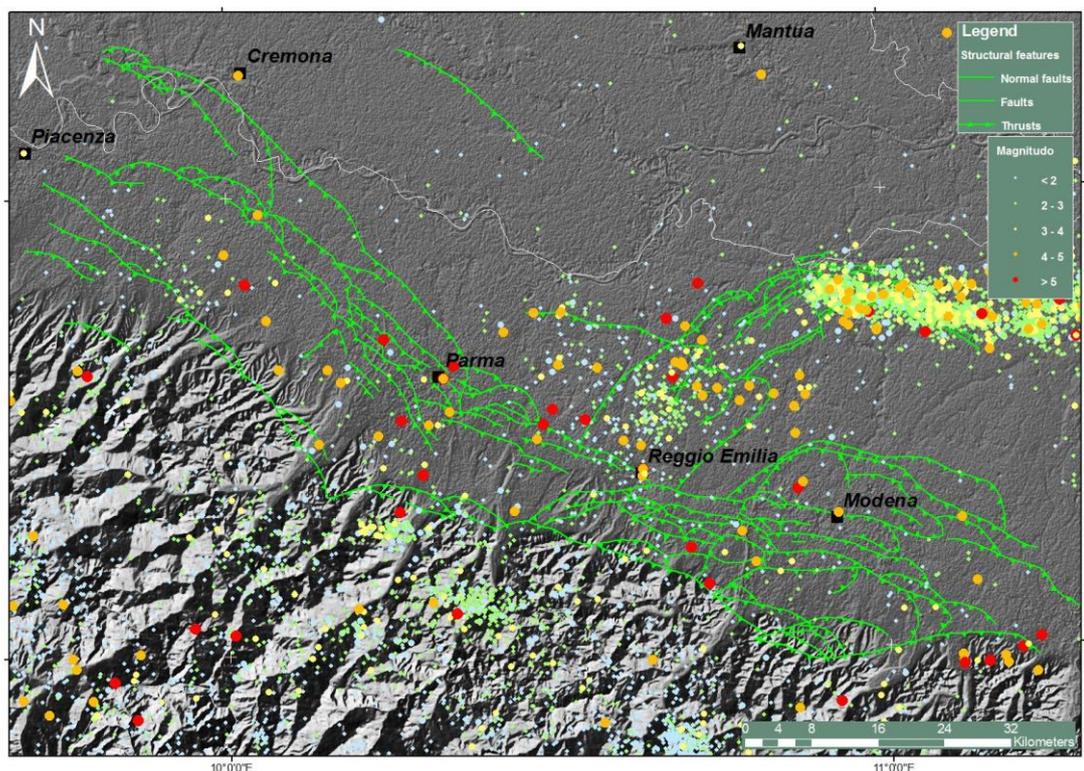


Figura 4. Mappa degli epicentri e della magnitudo dei terremoti strumentali e storici nell'emiliano (fonte INGV).

Si tratta di eventi che qualora si ripetessero, specie se con fuochi superficiali, come nel caso del 1971 ($Z \sim 6.6$ km), potrebbero causare ingenti danni e, qualora non opportunamente mitigati, anche perdite di vite umane.

Data	Magnitudo	Località
1971-lug-15	5.67	Parmense
1438-giu-11	5.56	Parmense
1832-mar-13	5.51	Reggiano
1831-sep-11	5.48	Pianura emiliana
1898-mar-4	5.37	Parmense
1818-dec-9	5.24	Parmense
1983-nov-9	5.14	Parmense
1857-feb-1	5.11	Parmense-Reggiano
1409-nov-15	5.10	Parma
1738-nov-5	5.10	Emilia occidentale

Tabella 1. Terremoti con magnitudo maggiore di 5 con epicentro nel parmense e in area reggiana.

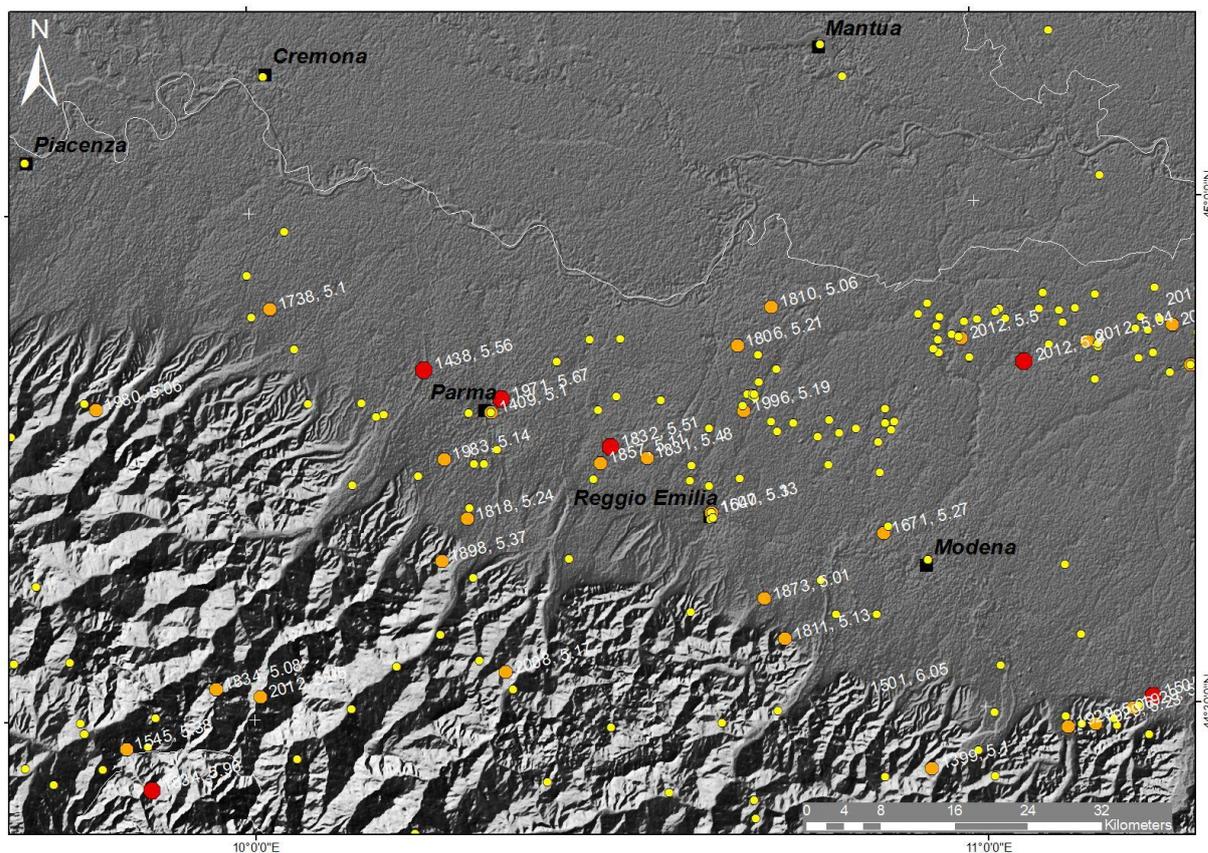


Figura 5. Mappa degli epicentri e della magnitudo dei terremoti strumentali e storici in vicinanza di Parma (fonte INGV).

Tra gli eventi più recenti si possono invece ricordare il terremoto del 1983 (Figura 5 e Figura 6) e quello del 2012 nel modenese (Figura 6). Il terremoto del 1983, di magnitudo 5.1, ha avuto un fuoco piuttosto profondo (circa 23 km) ed ha causato solo danni, seppur rilevanti, a diversi edifici pubblici ed edifici di culto. Per quanto riguarda l'evento del 2012 il fuoco è stato superficiale e gli effetti sono tristemente noti, la scossa non ha comunque avuto effetti rilevanti nel parmense. Altri eventi recenti, seppur di minor rilievo sono stati quelli del 1996 a Correggio, del dicembre 2008 nell'Appennino Emiliano con danni al castello di Torrechiara e tra Langhirano e Sala Baganza ed infine quello del giugno 2013.

L'unico evento che provocò vittime, in località Arola, fu comunque quello del dicembre 1818, con magnitudo 5.3, che danneggiò alcune case e le chiese di Langhirano, Lesignano dé Bagni, San Michele Tiorre e Arola. A Parma caddero molti comignoli. La profondità del fuoco non è nota e l'epicentro fu nell'area compresa tra le frazioni Pilastro e Corcagnano.

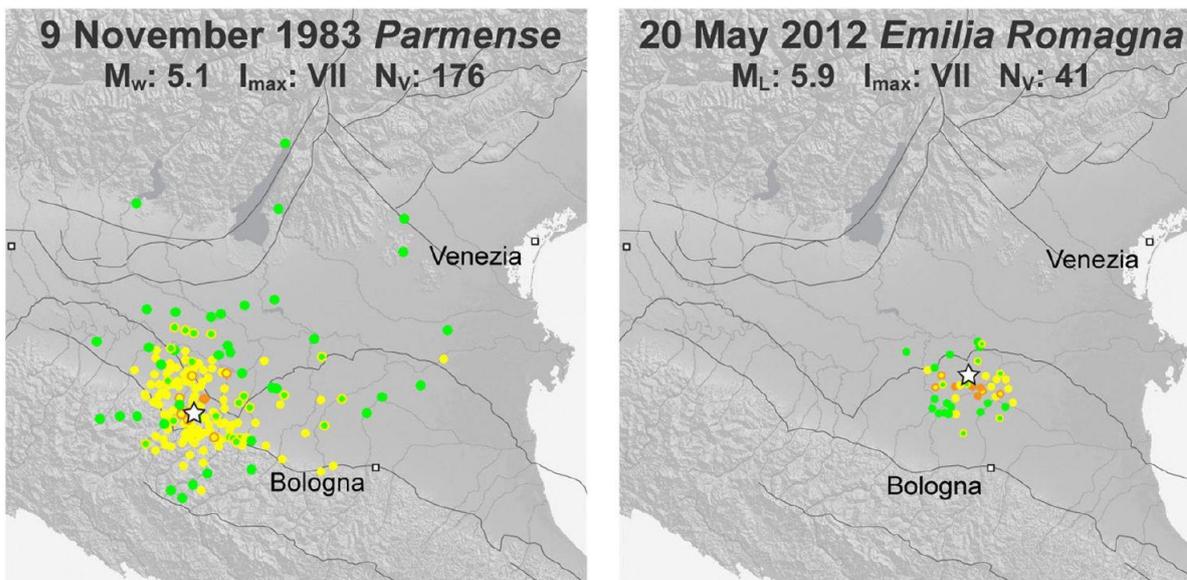


Figura 6. Mappa degli epicentri e della magnitudo dei terremoti strumentali e storici in vicinanza di Parma (modificato da Vannoli et al., 2015). A sinistra terremoto di Parma del 1983 con fuoco a profondità di circa 23 km; a destra terremoto del modenese del 2012 con fuoco a circa 8 km di profondità.

Secondo la più recente classificazione (2015) il comune di Parma è inserito in categoria di pericolosità 3, intendendo che in questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari.

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

3.1 Assetto tettonico-strutturale

L'area di Parma si colloca nella zona di fronte avanzato del sistema appenninico (Figura 7) ed in particolare occupa la rientranza tra i due salienti formati dall'arco emiliano (EA in Figura 7) e dall'arco ferrarese-romagnolo (FRA in Figura 7). Attualmente la zona di Parma insiste sull'avanfossa padana (ppf in Figura 7) che rappresentava il depocentro del bacino sedimentario (Vannoli et al., 2015). In questa zona la proiezione in superficie degli archi esterni del fronte appenninico (EA-FRA in Figura 8) corrisponde approssimativamente con la città di Parma. Secondo alcune teorie (Bernini e Papani, 1987) l'arretratezza del fronte è probabilmente dovuta alla presenza, nella crosta superiore, di zone con maggiore rigidità che hanno impedito lo scollamento delle successioni mesozoiche e terziarie dal sottostante basamento.

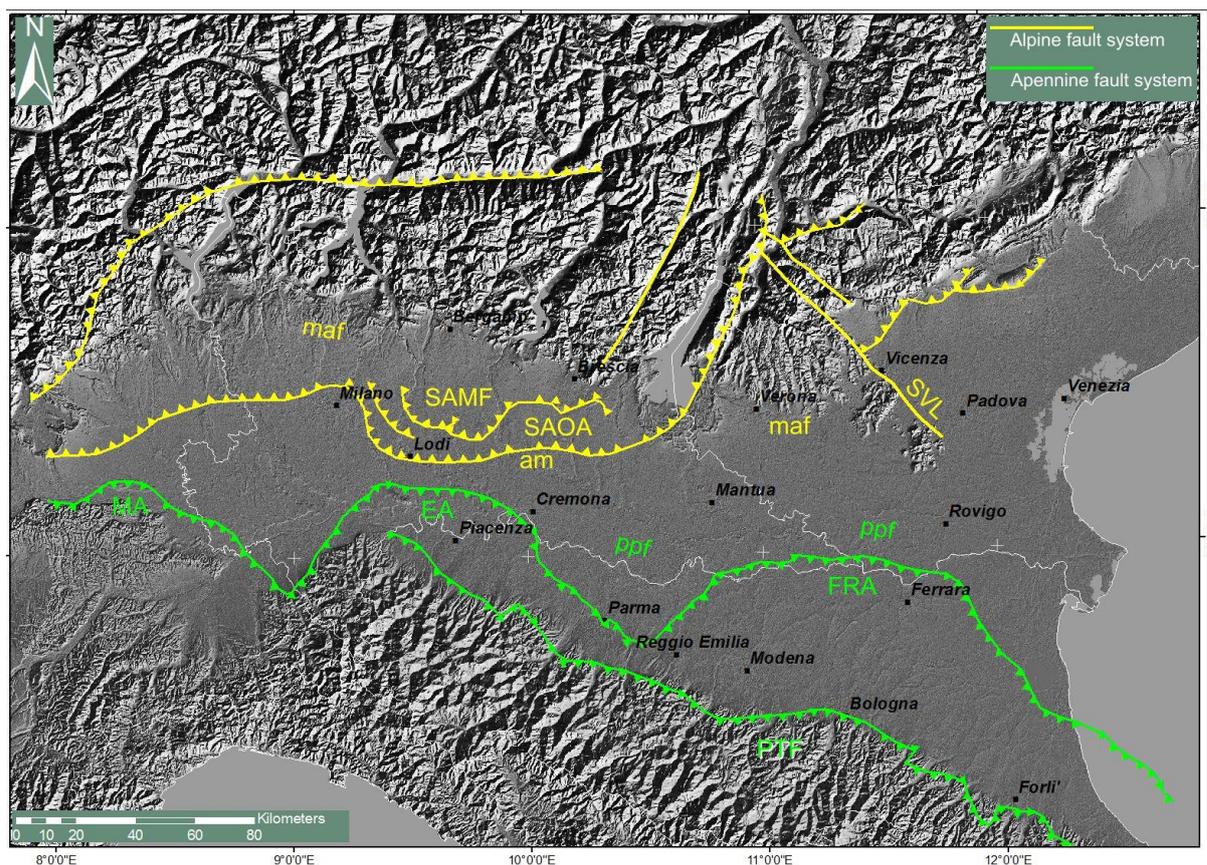


Figura 7. Schema strutturale della Pianura Padana. Le strutture del sistema appenninico e del sistema alpino sono evidenziate rispettivamente in verde e in giallo. Parma (modificato da Vannoli et al., 2015). PFT: sistema di sovrascorrimento pedeappenninico; MA, EA e FRA: archi dei sovrascorrimenti avanzati; ppf: avanfossa padana; SAMF: fronte alpino; SAOA: archi esterni delle Alpi Meridionali.

Il sistema strutturale del margine padano meridionale rappresenta l'effetto della collisione tra la microplacca dell'Appenninico Settentrionale e la microplacca Adriatica con una parziale subduzione di quest'ultima al disotto della prima.

Come noto questa collisione si è verificata nell'ambito della più grande convergenza tra la placca africana e quella euroasiatica con campo di stress orientato in direzione pressoché meridiana.

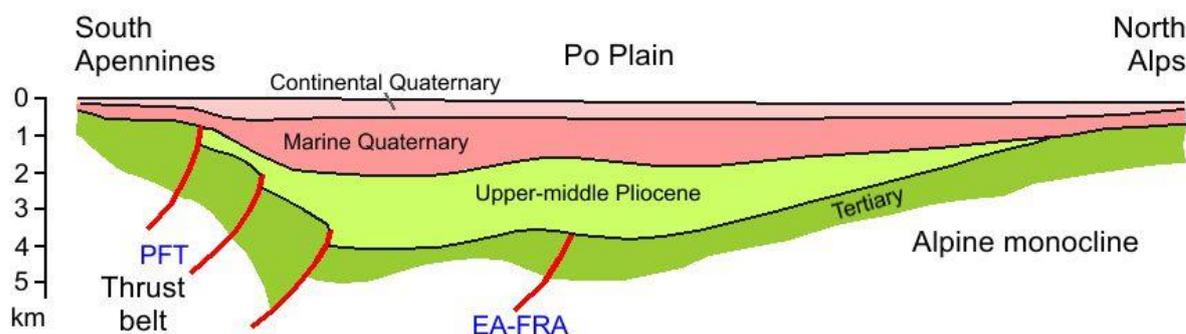


Figura 8. Sezione strutturale schematica della Pianura Padana (modificato da Pieri e Groppi, 1981). Il fronte esterno dell'arco appenninico, che nello schema dell'immagine raggiunge il centro della pianura padana è indicato con la sigla EA-FRA (cfr. Figura 7) mentre il sistema di sovrascorrimento appenninico è indicato con la sigla PFT.

Le strutture tettoniche dell'arco esterno (sistema EA-FRA) unitamente alle strutture del sistema di sovrascorrimento pedeappenninico (PFT) sono tra le principali cause della sismicità del parmense e del reggiano.

Per ulteriori approfondimenti sull'assetto strutturale dell'area di studio si rimanda alla letteratura tecnico-scientifica in materia (Il PSC e la bibliografia in calce riportano diversi riferimenti).

3.2 Geologia e stratigrafia di suolo e sottosuolo

I depositi presenti nel territorio comunale sono cronologicamente riferibili al periodo Quaternario e si presentano come una potente successione di depositi continentali e marini (Di Dio et al., 2005; Pizziolo et al., 2005). A grande scala si tratta di una sequenza regressiva inizialmente costituita da depositi marini ad elevata frazione terrigena (i più profondi) che diventano deltizi e marcatamente fluviali in epoca recente (i più superficiali). I sistemi deltizio e fluviale si presentano complessi in quanto vi sono due fattori di controllo coalescenti della deposizione: un primo elemento è il sistema del Po mentre un secondo è quello dei fiumi appenninici. I depositi, specie nella parte distale, sono quindi una continua



interdigitazione di facies deposizionali con controllo ora padano ed ora appenninico (Di Dio et al., 1997).

Si possono distinguere due sequenze principali denominate supersintemi (Di Dio et al., 2005; Calabrese et al., 2009) che dal più recente al più antico sono:

- Supersintema Emiliano-Romagnolo, costituita da depositi di ambiente continentale;
- Supersintema del Quaternario Marino, costituito da depositi di ambiente marino;

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo può essere ulteriormente suddiviso in 2 sintemi principali che dal più recente al più antico sono:

- *Sintema Emiliano Romagnolo superiore* - (Pleistocene medio - Olocene).
- *Sintema Emiliano Romagnolo inferiore* - (Pleistocene medio);

Anche il Supersintema del Quaternario Marino può essere ulteriormente suddiviso in 3 cicli deposizionali che dal più recente al più antico sono:

- *Qm3 - Allomembro del Quaternario Marino 3* (Pleistocene medio).
- *Qm2 - Alloformazione di Costamezzana* (Pleistocene medio-inferiore);
- *Qm1 - Alloformazione del Torrente Stirone* (Pliocene superiore - Pleistocene inferiore);

Nel complesso vi sono quindi 5 cicli deposizionali (Figura 9): due continentali (i più recenti) e tre marini (i più antichi).

Il *sintema Emiliano Romagnolo superiore* consiste in un'unità alluvionale in prevalenza grossolana che poggia con contatto basale discordante sul sintema sottostante. All'interno del sintema si riconoscono tre sistemi deposizionali: alta pianura ad alimentazione appenninica (apaa), bassa pianura ad alimentazione appenninica (bpaa) e bassa pianura ad alimentazione padana (bpap). Il passaggio tra sistema apaa e di bpaa si realizza all'incirca all'altezza della Via Emilia nel settore centrale del territorio comunale e all'altezza dell'Autostrada del Sole nei settori orientale e occidentale. Il passaggio tra i sistemi bpaa e bpap si verifica, per gli strati più superficiali, nel settore settentrionale del territorio provinciale di Parma mentre negli strati più profondi il limite si sposta marcatamente verso sud.

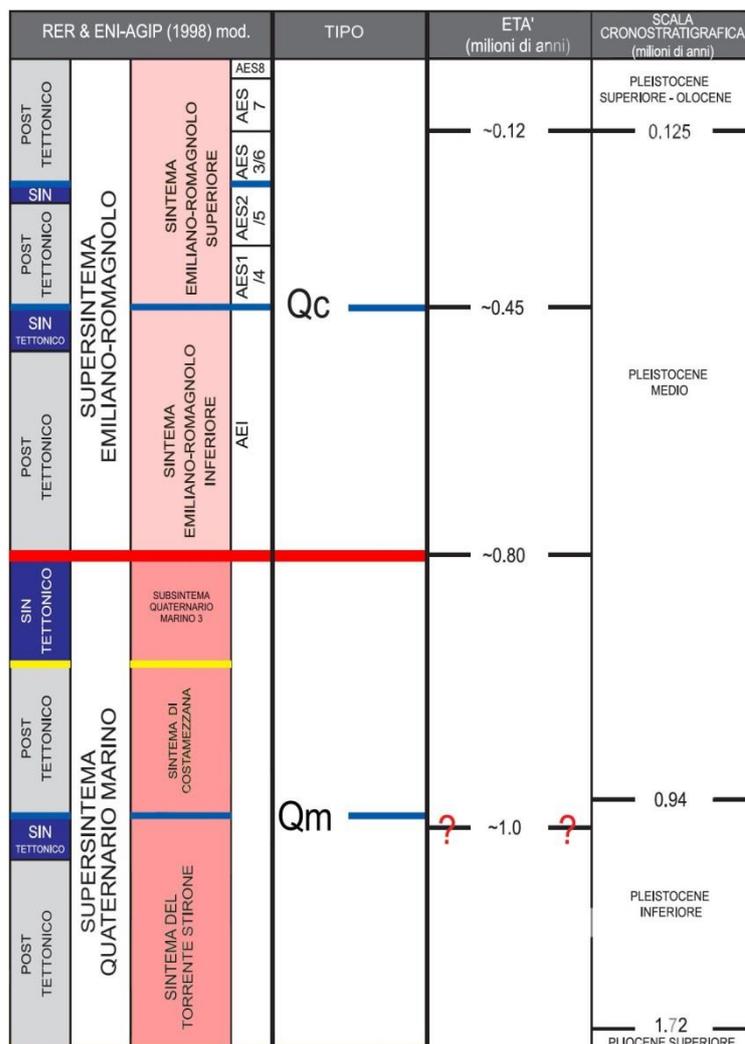


Figura 9. Schema stratigrafico e cronologico dei 5 cicli deposizionali presenti nel parmense. Qc: Quaternario continentale; Qm: Quaternario marino (modificato da Di Dio et al., 2005).

Il sistema deposizionale dell’alta pianura ad alimentazione appenninica consiste in sedimenti organizzati in grandi sistemi di conoide alluvionale, dove si osserva una prevalenza di corpi tabulari a tessitura grossolana (ghiaie e sabbie) alternati a corpi lentiformi a tessitura fine (limi ed argille).

Il sistema deposizionale della bassa pianura ad alimentazione appenninica è caratterizzato da una prevalenza di depositi a tessitura fine che contengono corpi nastriformi a tessitura grossolana (ghiaie e sabbie) orientati grosso modo parallelamente al massimo gradiente topografico attuale.

Il sistema deposizionale della bassa pianura ad alimentazione padana consiste prevalentemente in sedimenti a tessitura grossolana (spesse bancate di sabbie con livelli ghiaiosi) e con intercalazioni lentiformi di depositi a tessitura fine (limi ed argille).



Il *sintema Emiliano Romagnolo inferiore* consiste in un'unità di piana alluvionale in prevalenza fine (limi e limi argillosi) con intercalazioni grossolane (ghiaie e sabbie ghiaiose) per lo più localizzate in corrispondenza dei paleo-assi deposizionali di Taro, Baganza, Parma ed Enza. Questo sintema poggia con contatto discordante e talora erosivo sul sottostante sintema del Quaternario Marino.

Il *sintema Qm3* si tratta di depositi a prevalente tessitura granulare fine (limi sabbiosi con intercalazioni sabbiose con qualche livello lenticolare di ghiaie) con rari livelli di depositi fini e organici (limi argillosi e torbe).

Il *sintema Qm2* denominato anche Alloformazione di Costa Mezzana. Da un punto di vista tessiturale si riconoscono tre facies sovrapposte vertico-lateralmente in sequenza che può essere schematizzata granulare - coesivo - granulare. Il livello di tetto è costituito da sabbie e sabbie ghiaiose e subordinatamente da ghiaie in bancate. Il livello intermedio comprende sabbie medio-fini con intercalazioni di limi argillosi. Il livello basale è costituito nuovamente da sabbie e ghiaie da ghiaie argillose con intercalati livelli argillo-limosi.

Il *sintema Qm1* denominato anche Alloformazione del Torrente Stirone. Da un punto di vista tessiturale si riconoscono due facies parzialmente eteropiche. La litofacies di tetto ha una prevalente tessitura fine (riferibile a limi ed argille) con intercalazioni di livelli sabbiosi mentre la litofacies basale ha una prevalente tessitura granulare con prevalenza di sabbie, talora con livelli ghiaiosi e qualche intercalazione di materiali coesivi. Il limite basale è discordante sul sottostante substrato geologico Pliocenico ed è costituito da un livello calcarenitico di spessore variabile e che può raggiungere anche diversi metri. La calcarenite basale separa quindi il substrato geologico dalle soprastanti coperture quaternarie. La calcarenite è un ottimo marker geofisico in quanto in virtù del contrasto di proprietà fisiche con i materiali sopra- e sottostanti si identifica facilmente sia con i log di pozzo che con il classico profilaggio sismico a riflessione.

Per quanto riguarda gli spessori di queste cinque unità deposizionali (Figura 10) essi aumentano man mano che ci si sposta dagli alti della zona pedeappenninica al depocentro del bacino (bassa pianura verso il Fiume Po) con superfici di separazione tra le diverse unità ad andamento chiaramente divergente.

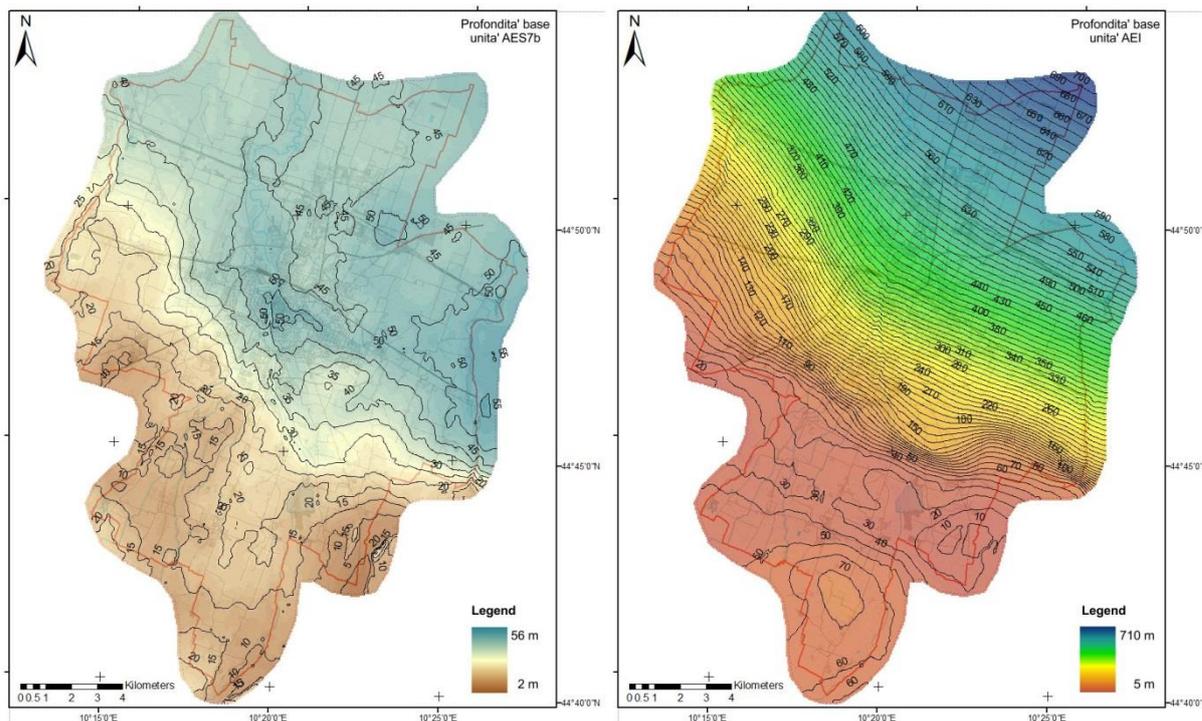


Figura 10. Mappe di profondità della base di due importanti unità stratigrafico-deposizionali presenti nel territorio comunale. La mappa di sinistra rappresenta la base dell'unità AES7b del sistema Emiliano Romagnolo superiore. Nella mappa di destra è rappresentata la base del sistema AEI che costituisce anche il limite tra depositi continentali e depositi marini.

La base della sequenza continentale, che potrebbe rappresentare una importante interfaccia elastico-acustica si trova ad una profondità di circa 50–60 m nella zona pedeappenninica, risale ad una profondità di 10–15 m in corrispondenza dell'alto sepolto di Monticelli Terme per poi affondare nuovamente, con forte gradiente, verso la città di Parma e la pianura del Po.

3.3 Morfologia del territorio

Il principale fattore di modellamento del territorio parmense è l'orogenesi appenninica come fattore di controllo delle aste fluviali e della conseguente aggradazione della pianura sotto il controllo della continua migrazione laterale dei fiumi nella loro divagazione.

Lo spaglio dei sedimenti fluviali, controllato dall'idrografia, ha quindi modellato la pianura definendone la morfologia. La pianura presenta una lieve immersione verso nord/nord-est (Figura 11), localmente complicata dalla presenza di grandi conoidi pedeappenniniche coalescenti. La progressiva diminuzione della velocità di deflusso delle acque, passando dalla zona di sbocco dei fiumi in pianura alla bassa pianura, ha determinato la classazione granulometrica dei sedimenti.

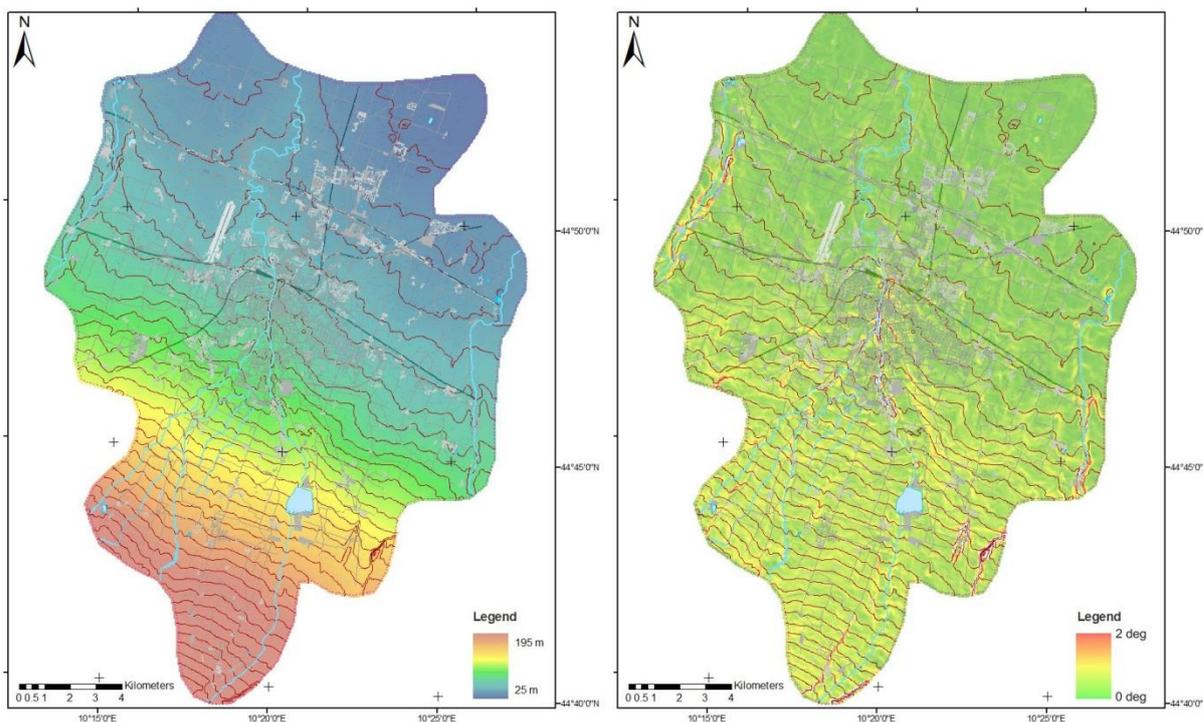


Figura 11. Modello della superficie topografica (a sinistra) e mappa di acclività (a destra) del territorio comunale (curve di livello ogni 5 m).

La pianura parmense, può quindi essere schematicamente suddivisa in tre fasce subparallele: alta, media e bassa pianura. Il passaggio tra alta e media pianura è chiaramente marcato da una brusca variazione del gradiente topografico (Figura 11) e si colloca a sud dell'abitato di Parma mentre il passaggio tra media e bassa si realizza appena a nord del limite comunale in corrispondenza delle località Colorno – Tre Casali.

Le quote della superficie topografica variano da 195 m s.l.m. della zona pedepenninica a 25 m s.l.m. delle estreme propaggini verso nord-est della bassa pianura. La morfologia è più acclive nei settori meridionali con forme di erosione e di accumulo più pronunciate (Figura 11). Un esempio è quello delle superfici relitte terrazzate (attribuibili alla formazione di Niviano) che corrispondono alla vecchia superficie topografica del Pleistocene Superiore (dorsale di forma allungata in località Marano). Altre forme sono rappresentate da una serie di dossi fluviali pronunciati che si trovano nel quadrante sud-ovest di Parma tra il Fiume Taro ed il Torrente Baganza e da alcuni dossi meno pronunciati collocati nel quadrante nord-est di Parma nel settore tra il Torrente Parma ed il Torrente Enza. Da un punto di vista sismico queste forme, data la loro geometria, non dovrebbero modificare in modo sostanziale l'ampiezza delle onde elastiche al passaggio del treno d'onde generate da un terremoto.

3.4 Idrogeologia (cenni)

Le isofreatiche mostrano una superficie nel complesso regolare con vergenza verso nord/nord-est (Figura 12). La mappa ad isolinee è stata rielaborata dalla tavola “SA5-04, Idrogeologia” del PSC (Ambiter Srl, 2006), riferita ad una campagna piezometrica del maggio-giugno 2000 (Froldi, 2000) nell’ambito di uno studio idrogeologico del territorio comunale.

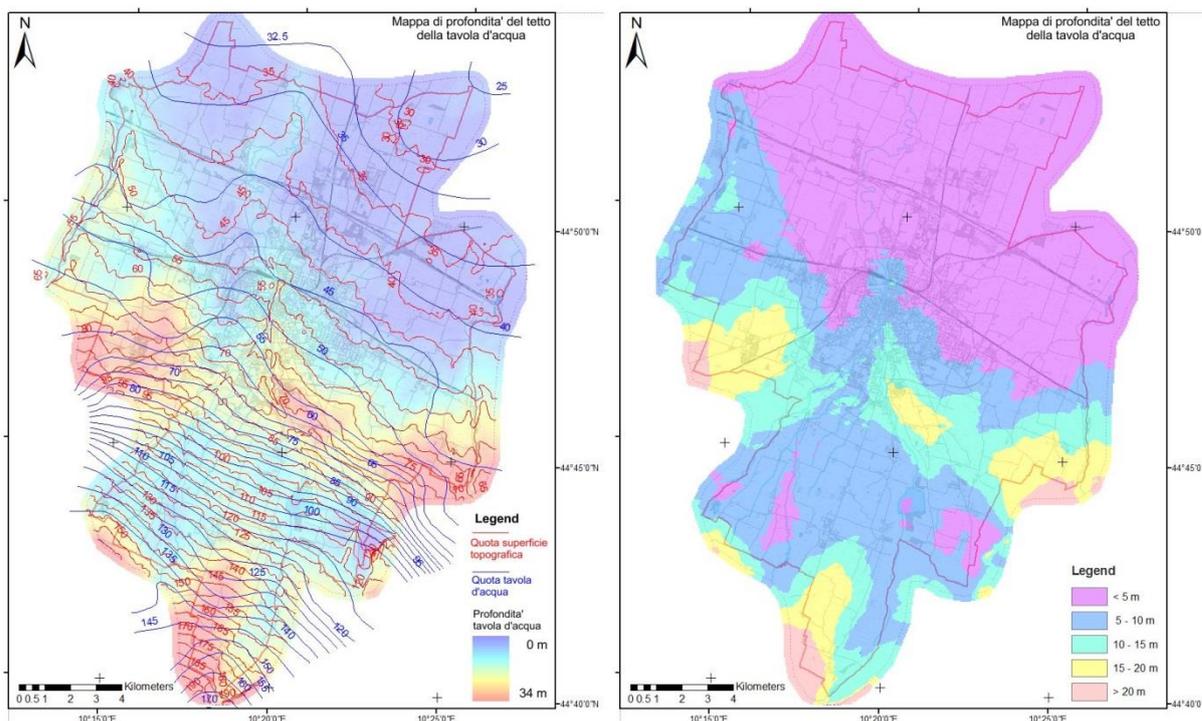


Figura 12. Mappa della profondità della superficie freatica (a sinistra), sono altresì visibili le isolinee di quota assoluta della superficie freatica e della superficie topografica. Stessa mappa discretizzata in 5 classi per le finalità della MS.

Le quote sul livello del mare variano da 170 m a 25 m con alcune chiare saccature. La soggiacenza della falda (Figura 12) è stata ottenuta per sottrazione dal DTM elaborato dalla CTR. La mappa di soggiacenza classificata (Figura 12 a destra) evidenzia come il territorio comunale sia sostanzialmente quadripartito per fasce sub-parallele al rilievo pedeappenninico con un’alternanza di soggiacenza alto-basso. Per quanto riguarda le finalità del presente studio si può osservare come vi siano ampie porzioni del territorio ove la soggiacenza sia inferiore ai 15 metri, valore indicato dalle norme vigenti in materia di costruzioni (NTC, 2008) come profondità massima alla quale si può verificare il fenomeno della liquefazione. Come noto questo fattore è uno di quelli da considerare per una verifica semplificata della liquefacibilità di suolo e sottosuolo durante lo scuotimento sismico indotto da un terremoto.



4. Dati geotecnici e geofisici

4.1 Banca dati regionale e altre fonti

I dati geotecnico-stratigrafici raccolti e rielaborati dal Servizio Geologico Regionale costituiscono una delle più dettagliate banche dati disponibili nel panorama nazionale. Questi dati si sono rivelati fondamentali per una reinterpretazione in chiave sismica del sottosuolo parmense. Anche i diversi studi condotti dalla Regione Emilia-Romagna (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998; Boccaletti e Martelli, 2004; Di Dio et al., 2005; etc) con parziale rielaborazione del dato hanno reso disponibile una solida piattaforma conoscitiva sulla quale impostare lo studio di MS comunale. Altre importanti fonti di dati per le finalità dello studio sono state la banca dati geologico-stratigrafica del Comune di Parma, la cartografia allegata allo strumento urbanistico vigente (PSC), la relazione geologica del PSC, La cartografia del PTCP e la relazione illustrativa e infine una serie di dati geologici e geofisici inediti disponibili presso il Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra dell'Università di Parma. A questi vanno aggiunti i dati di nuova acquisizione come i dati sismici ed i rilievi di campo.

4.2 Misure sismiche

Per la parametrizzazione sismica del sottosuolo sono stati utilizzati i metodi REMI e HVSR i cui principi di base sono riportati in Appendice A ed Appendice B. Il metodo Remi è stato impiegato per ricostruire il profilo medio di velocità delle onde di taglio dalla superficie topografica alla prima importante interfaccia elastico-acustica assimilabile al substrato rigido. Il metodo HVSR è stato utilizzato per verificare la presenza in profondità di interfacce elastico-acustiche e per valutare qualitativamente situazioni di possibile amplificazione del moto del suolo durante lo scuotimento sismico dovuto ad un sisma. Secondariamente le frequenze di sito possono essere anche confrontate con le geometrie dei fabbricati esistenti o di futura edificazione per prevenire o mitigare potenziali fenomeni di doppia risonanza.

4.3 Acquisizione dei dati, strumentazione e rete di misura

Come già anticipato l'acquisizione dei dati è stata progettata sulla base delle informazioni geologiche e geomorfologiche disponibili ed anche di alcune prove pilota effettuate in alcuni siti ritenuti particolarmente significativi. La distribuzione spaziale dei siti è stata definita secondo un doppio criterio basato su genesi deposizionale e vicinanza della stazione ai

centri abitati (Figura 15) mentre le geometrie ed i parametri di acquisizione definitivi sono stati scelti dopo aver valutato le condizioni di rumorosità dei siti campione.

Per l'acquisizione dei dati ReMI è stato impiegato un sismografo a 24 canali GEOMETRICS Geode (Figura 13). Per l'ascolto del campo d'onda sono invece stati utilizzati dei geofoni OYO Geospace a frequenza naturale di 4.5 Hz. L'amplificatore sismico scelto per le misure ha una precisione di 24 bit nella conversione A/D risultando quindi dotati di una dinamica sufficiente per campionare il rumore sino a frequenze di 2.0–2.5 Hz.

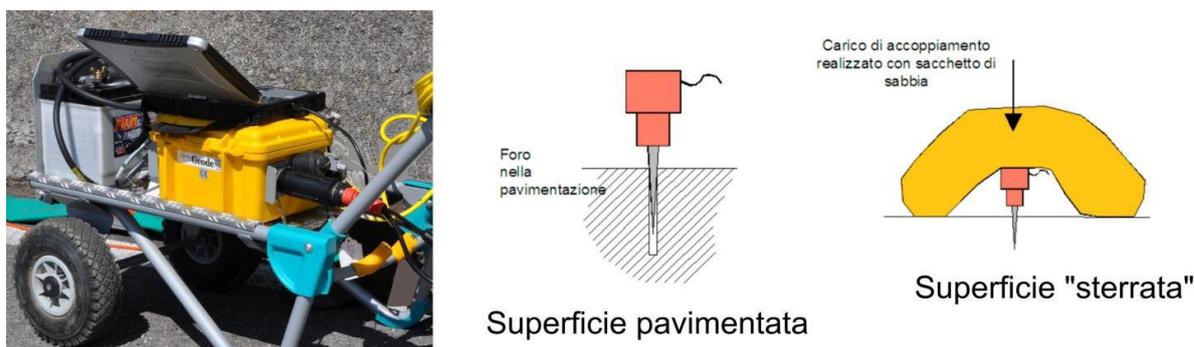


Figura 13. Acquisitore sismico GEOMETRICS Geode (a sinistra) e schema di accoppiamento dei geofoni (al centro e a destra) in condizioni non-ottimali.

La spaziatura intergeofonica è stata impostata a 3.0 m ed in corrispondenza di ciascuna stesa sono state acquisite un minimo di 10 sessioni di registrazione della durata di 30 s. Le sorgenti ambientali di rumore sono state integrate con delle sorgenti continue disposte in modo casuale lungo la linea di misura.

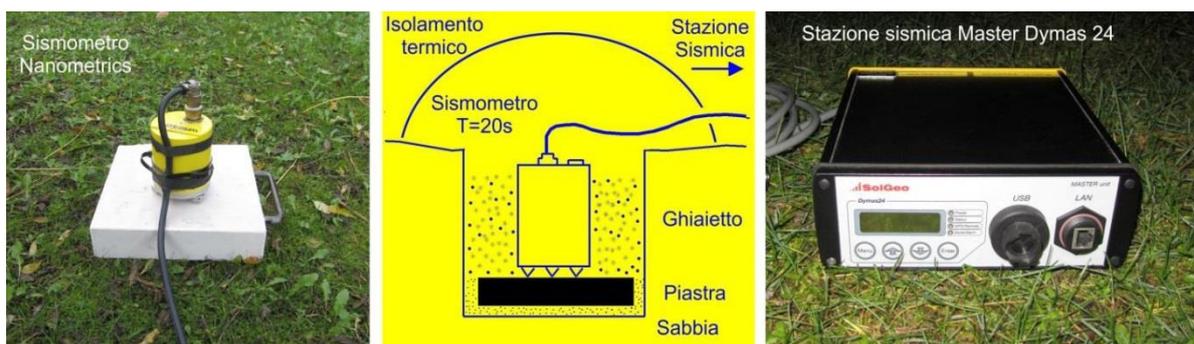


Figura 14. Strumentazione per la misura della frequenza di risonanza dei siti. A sinistra Sismometro Nanometrics con $T=20s$ ($f=0.05$ Hz); Al centro schema della modalità di accoppiamento del sismometro con il suolo; a destra stazione sismica Solgeo Dymas 24

Questo ha consentito di ottenere una discreta rappresentatività statistica delle caratteristiche spazio-temporali delle onde superficiali in ciascun sito. La qualità dei dati è stata controllata in tempo reale e tutte quelle registrazioni nelle quali era visibile una

sorgente di rumore polarizzato sono state ri-acquisite. Solo in pochi casi è stato necessario ruotare lo stendimento di 90 gradi per evitare le sorgenti polarizzate.

Per la misura della frequenza fondamentale sono state impiegate due stazioni sismiche a 6 canali: una RefTek 130 ed una Dymas24 (Figura 14 a destra). Entrambe sono dotate di GPS per il timing. Sono stati poi impiegati tre sismometri: due Nanometrics Trillium (Figura 14 a sinistra) a periodo T rispettivamente di 20 s e di 120 s e quindi sensibili sino alla frequenza minima di 0.008 Hz; un Lennartz 3D-lite a frequenza di 1 Hz.

Particolare attenzione è stata posta nell'accoppiamento del sismometro con il terreno. Si tratta infatti di un fattore assolutamente critico che può inficiare totalmente le misure. Il sismometro (Figura 14 al centro) è stato collocato su una piastra in pietra appoggiata sul fondo di un piccolo foro (parzialmente riempito di sabbia). I tempi di acquisizione sono stati variabili da 1h a 1h e 30m ma comunque sufficientemente lunghi da garantire almeno due finestre di elaborazione. Per limitare la deriva termica il sismometro è stato coperto mediante un isolamento termico in polistirene che ha ridotto anche l'azione diretta del vento.

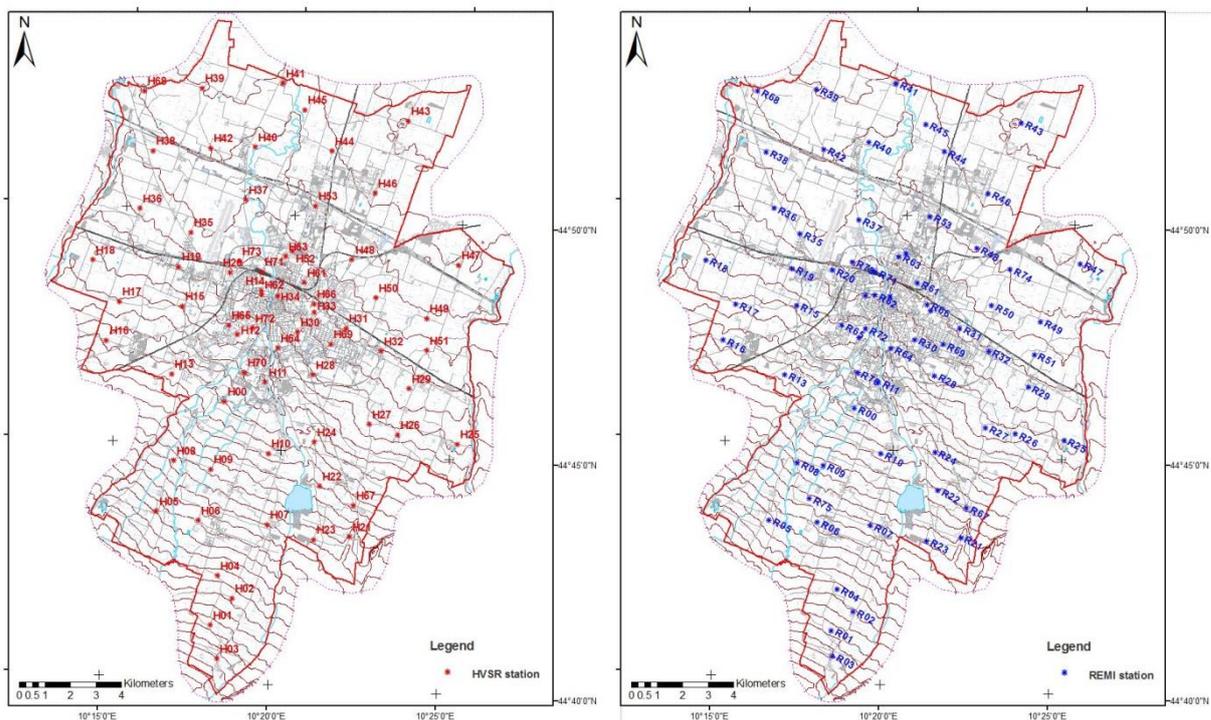


Figura 15. Stazioni di misura dei microtremori - HVSr (a sinistra) e della V_S - ReMi (a destra). In mappa è anche riportato il limite comunale.

Sono state acquisite un totale di 69 stazioni di misura della V_S e 67 stazioni di misura dei Microtremori - HVSr (Figura 15).



Le coordinate plano–altimetriche di tutte le stazioni di misura sono state misurate avvalendosi di un dispositivo GPS (*Global Positioning System*) palmare. I valori, rilevati nativamente nel sistema di riferimento geografico WGS84, sono stati proiettati nel sistema UTM fuso 33.



5. Modello di sottosuolo

Il quadro conoscitivo necessario a realizzare il modello concettuale del sottosuolo si basa sulla raccolta di dati pregressi e sulla loro rielaborazione, integrata con nuove indagini, che possono identificarsi in rilievi geologici, geomorfologici e geofisici. La base informativa sulla quale si è basato lo studio di MS si è fondata sui dati di cui al Paragrafo 4 (Dati geotecnici e geofisici).

Particolare attenzione è stata dedicata alla ricostruzione dei caratteri geotecnici (classificati in base agli standard informativi MS 4.0b) e sismici dei depositi di copertura e delle principali morfologie, e all'individuazione del substrato geologico e di quello sismico. La trasposizione delle caratteristiche geologico-sedimentologiche dei depositi nelle equivalenti categorie geotecniche non è sempre univoca in quanto la descrizione geotecnica nasce per finalità completamente diverse. È quindi possibile che lo stesso deposito, descritto solitamente su base qualitativa, venga attribuito a categorie geotecniche diverse.

5.1 Modello geologico concettuale

Il sottosuolo del territorio del comune di Parma è stato modellato tridimensionalmente. All'interno della successione Quaternaria sono state ricostruite quattro superfici chiave che corrispondono ad altrettante interfacce elastico-acustiche primarie.

Le quattro superfici, che immergono verso nord, sono rappresentate dalla base delle sequenze AES7B, AEI, QM3 e QM2 (Figura 9). Il substrato geologico strictu sensu, che corrisponde alla base della sequenza QM1 (Figura 9) è quasi sempre molto profondo ad eccezione della fascia Lemignano, Vicofertile, Fiume Taro dove si trova ad una profondità compresa tra 200 m e 350 m. In questa zona la base del QM è marcata da un orizzonte significativo denominato "crostone fossilifero" o calcarenite, che corrisponde anche ad una chiara anomalia di resistività elettrica (misurata mediante log in foro nei pozzi per idrocarburi), e che può essere correlato lateralmente in modo abbastanza agevole. Questo livello litoide rappresenta anche un'interfaccia elastico-acustica, tuttavia lo spessore è troppo modesto per causare l'intrappolamento dell'energia e determinare fenomeni di amplificazione stratigrafica durante lo scuotimento indotto da un sisma.

Come noto la regola di base della risonanza è quella del "quarto di lunghezza d'onda" (Joyner et al., 1981). In una semplice ipotesi di una V_sH pari a 500 m/s e di un'interfaccia elastico acustica collocata a 200 m di profondità la $\lambda/4$ della frequenza risonante risulterebbe pari a 200 m e pertanto lo strato al di sotto dell'interfaccia per intrappolare

l'energia tra la sua sommità e la superficie topografica dovrebbe avere uno spessore da confrontabile a superiore a 200 m. In questa ipotesi la massima frequenza di sito sarebbe pari a 0.6 Hz.

In tutte le altre aree del territorio comunale il substrato geologico si trova ad una profondità tale da poter escludere fenomeni di amplificazione stratigrafica.

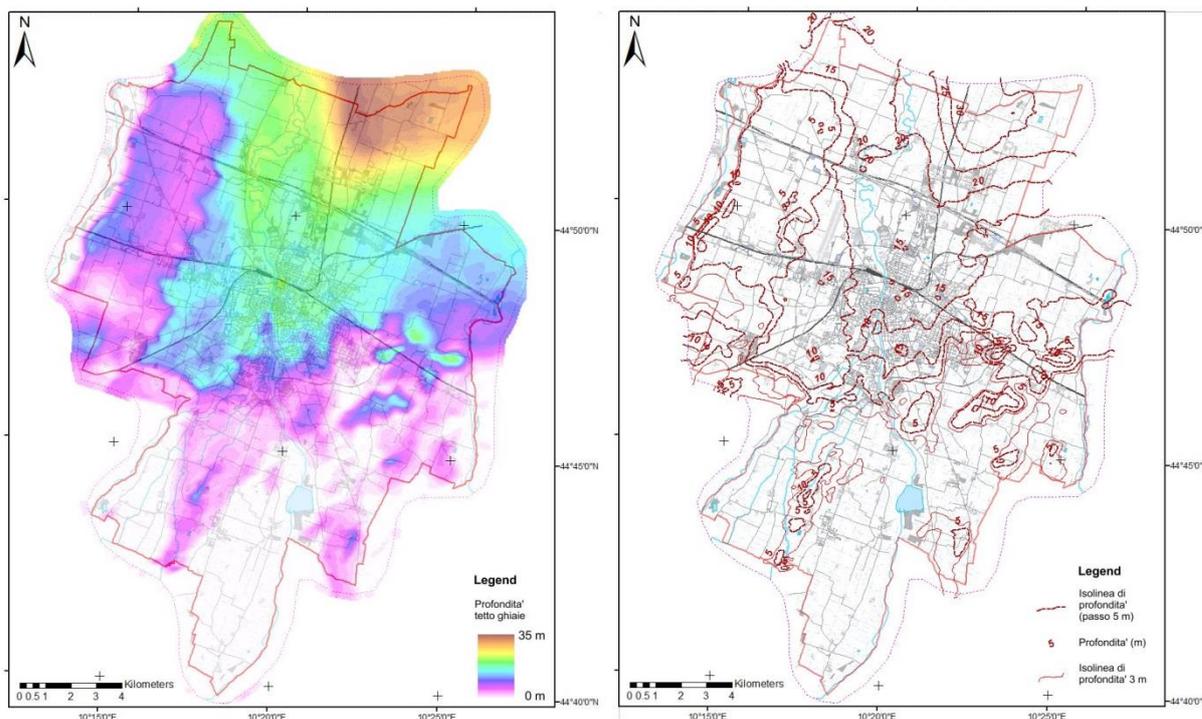


Figura 16. Mappa della profondità del tetto delle ghiaie in rappresentazione *raster* (a sinistra) e ad isolinee di profondità (a destra).

In aggiunta è stata ricostruita una quinta superficie che è rappresentata dal tetto delle ghiaie (Figura 16) e che immerge verso nord. In questo caso non si tratta, come nei casi precedenti, di una superficie correlabile dal punto di vista stratigrafico (questi livelli ghiaiosi possono infatti appartenere ad unità geologiche diverse che sono pertanto diacrone), ma piuttosto al primo forte contrasto di velocità presente all'interno dei depositi di copertura. Tale contrasto di impedenza acustica può essere valutato mediamente in un rapporto 2:1 rappresentando, di fatto, il **substrato sismico**.

Questo substrato è tanto più significativo quanto più potente è il livello ghiaioso (vedi regola del quarto di lunghezza d'onda). I livelli ghiaiosi non sono omogenei dal punto di vista granulometrico e passano dalle ghiaie grossolane e poco assortite della zona pedeappenninica (classificate come GP secondo standard informatici MS 4.0b) a ghiaie ben



assortite con ciottoli di minori dimensioni (classificate come GW secondo standard informatici MS 4.0b) nella zona di pianura distale.

La diminuzione della granulometria implica anche una riduzione della velocità delle onde di taglio nei livelli ghiaiosi distali (GW), che si avvicina a quella di livelli sabbiosi grossolani. Ne segue che anche il contrasto di velocità diminuisce passando da un 2:1 ad un 1.5:1 riducendo anche l'effetto di questo tipo di amplificazione stratigrafica.

Nella zona di pianura distale (leggi pianura medio-bassa) i livelli ghiaiosi non sono più organizzati in corpi tabulari molto estesi lateralmente ma piuttosto in corpi nastriformi allungati nella direzione di trasporto (i.e. sso-nne) e con sezione tipicamente lentiforme. Infine questi livelli ghiaiosi hanno spesso uno spessore modesto e quindi riescono ad "intrappolare" solo le componenti di frequenza più alta dello scuotimento sismico

In zona di pianura distale la stima dell'amplificazione stratigrafica tout court risente quindi inevitabilmente dell'approssimazione di considerare il tetto del livello ghiaioso come interfaccia simile a quella di un bedrock sismico seminfinito.

La situazione è diversa nella zona della media pianura dove la profondità del tetto delle ghiaie è compresa grossomodo tra 5 e 15 m e dove lo strato ghiaioso può essere considerato sub-tabulare e caratterizzato da uno spessore importante capace di intrappolare anche le frequenze più basse tipiche di intervalli spettrale rilevanti per l'amplificazione stratigrafica. Questo fenomeno può essere ulteriormente evidente in presenza di livelli ghiaiosi parzialmente cementati con contrasti di impedenza acustica che passano da 2:1 a valori superiori a 3:1.

Condizioni geologiche del tipo di quelle descritte al precedente paragrafo sembrano essere presenti nella zona di San Pancrazio dove vi è una convergenza tra spettri ReMi con multipli modi energetici e la presenza di chiari picchi di frequenza nei rapporti spettrali HV.



6. Interpretazioni ed incertezze

La ricostruzione del modello geologico locale, realizzato con il contributo di tutte le informazioni esistenti e con quelle di nuova acquisizione è giocoforza dipendente dalla qualità e dalla quantità dei dati disponibili. Il sottosuolo del territorio comunale è certamente ben descritto dal punto di vista geologico-stratigrafico in virtù della grande abbondanza di prove disponibili entro i primi 50 m di profondità (la sola banca dati regionale conta più di 1950 indagini tra prove penetrometriche, carotaggi meccanici e pozzi per acqua). A queste informazioni si aggiungono anche i dati profondi provenienti dai pozzi per idrocarburi che attraversano l'intera colonna stratigrafica e penetrano nel substrato geologico ed i dati desunti dall'archivio comunale. Tuttavia nella zona di medio-bassa pianura dove le geometrie deposizionali passano da tabulari a nastro-lentiformi la correlabilità tra orizzonti non è più immediata come nel caso della pianura medio-alta. Ecco che vi possono essere zone nelle quali l'interpolazione spaziale di marker stratigrafici non è del tutto realistica.

Questa considerazione vale sia per il tetto del livello ghiaioso (confronta con la discussione di cui al paragrafo 5.1) che per la presenza di corpi limo-sabbiosi sottofalda di spessore tale da essere potenzialmente liquefacibili per effetto dello scuotimento sismico.

La rete di misura sismica, seppur geo-ottimizzata ed adatta a descrivere il territorio comunale nei suoi aspetti generali non ha una densità sufficiente per "catturare" i diversi ambiti geologici locali certamente presenti nel territorio stesso.

Per lo studio della liquefacibilità potenziale in pianura medio-bassa sono stati utilizzati esclusivamente i dati del database regionale, unitamente alle risultanze delle nuove misure sismiche. Le caratteristiche di tessitura dei corpi limo-sabbiosi sono state stimate sulla ri-elaborazione, a campione, di alcune prove CPT (Robertson e Wride, 1998). La liquefacibilità dei terreni è stata considerata possibile sino a 15 m di profondità secondo le indicazioni riportate nelle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC, 2008). I terreni nella zona della pianura distale sono stati poi considerati saturi sino al piano campagna.

Per quanto riguarda la pianura medio-alta la verifica alla liquefazione delle sabbie secondo i criteri stabiliti dalle linee guida non preveda la possibilità di liquefazione. È comunque opportuno considerare che potrebbero essere presenti lenti o livelli di sabbia che per geometria e caratteristiche geotecniche e giaciture rientrano nei casi di potenziale liquefazione dei terreni in presenza di temporanee falde sospese che non è possibile escludere.



Le informazioni sulla soggiacenza della falda sono relative ad uno studio dell'anno 2000 (Froldi) e risentono del numero di pozzi in osservazione. Per tale motivo è opportuno considerare che il limite stabilito con tecniche di overlay tra i diversi livelli informativi sia puramente indicativo, poiché andrebbero considerati gli scostamenti connessi alle oscillazioni della falda (compreso il più recente innalzamento).

L'assetto stratigrafico relativo a ciascuna microzona definita nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica tiene conto delle successioni deposizionali prevalenti ottenute dalle osservazioni di superficie, dai rilievi, dalla cartografia e dai carotaggi disponibili; pertanto, in funzione della densità delle indagini e della variabilità intrinseca degli ambienti deposizionali continentali, vi possono essere degli scostamenti rispetto alle sequenze sedimentarie tipo.

A valle di quanto discusso emerge chiaramente come ogni futuro intervento si intenda avviare sul territorio, sia esso la realizzazione di una nuova opera o una miglioria di una esistente, questo necessiti di adeguati studi conoscitivi di tipo geologico e geofisico, supportati da rilievi di terreno capaci di descrivere dettagliatamente le caratteristiche di suolo e sottosuolo.

7. Elaborazione dei dati e risultati

7.1 Elaborazione dei dati sismici

Il dato ReMi è stato elaborato con il programma opensource Seismic Unix (Colorado School of Mines – Center for Wave Phenomena) e con il programma SEISOPT ReMi. Il primo codice è stato impiegato per le conversioni di formato, la ri-formattazione dell'header binario ed il bilanciamento dell'energia tra registrazioni diverse ed il secondo ha consentito di effettuare l'elaborazione strictu sensu e cioè di calcolare gli spettri, di identificare le curve di dispersione e di costruire il modello di velocità 1D per ciascun sito investigato.

Le registrazioni, originariamente acquisite in formato SEG-2, sono state prima singolarmente convertite nel formato SEG-Y e poi nel formato SU. In questo formato, che consente un più diretto accesso alle informazioni dell'header si è proceduto all'azzeramento di tutti i parametri geometrici presenti nel file, alla rinumerazione delle tracce ed a una prima equalizzazione delle ampiezze. A questo punto le registrazioni sono state aggregate in un unico file e convertite in uscita nel formato standard internazionale SEG-Y con valori numerici memorizzati nel formato IBM float a 32 bit.



Figura 17. Gruppo di spettri p - f (REMI), con centro nella zona di San Pancrazio, in cui sono chiaramente visibili due modi molto energetici e con andamento chiaramente discordante.

L'elaborazione numerica delle registrazioni si è articolata sostanzialmente in due fasi.

Nella prima fase, per ciascun sito, sono stati calcolati gli spettri p-f di tutte le sessioni di misura per valutare quello di migliore qualità da utilizzare per la stima della curva di dispersione. In alcuni casi, qualora vi fossero delle incertezze sulla qualità dello spettro, gli spettri migliori sono stati sommati per costruire uno spettro medio.

In una seconda fase si è proceduto alla modellizzazione acustica 1D del sottosuolo per la stima del profilo verticale di V_s secondo la tecnica del best fitting.

I dati registrati sono risultati nel complesso interpretabili. In alcuni casi vi sono state delle incertezze circa la determinazione dello spettro del modo fondamentale di vibrazione delle onde di Rayleigh, queste hanno coinciso con aree dove nel primo sottosuolo vi è presumibilmente un forte contrasto di impedenza acustica e che è risultato in spettri multimodali con alcune difficoltà nella individuazione del modo fondamentale (Figura 17).

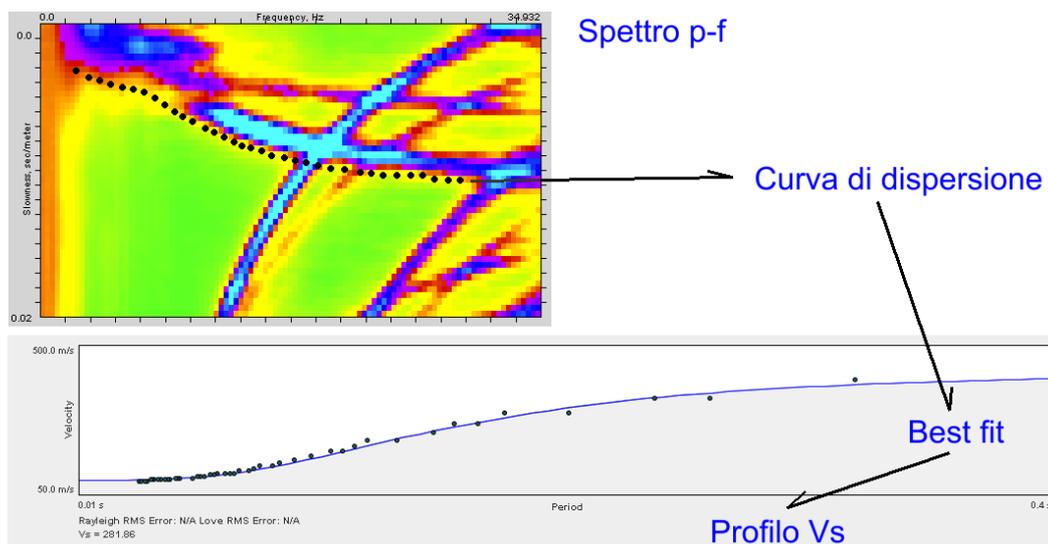


Figura 18. Esempio di spettro ReMi acquisito in uno dei siti test (sopra) e curva di *bestfit* (sotto).

In tutti gli altri casi il picking della curva di dispersione è stato quindi nel complesso abbastanza agevole, come pure il processo di inversione (Figura 18). Per creare una base di elaborazione omogenea che consentisse un confronto rigoroso tra i valori della V_s il sottosuolo è stato arbitrariamente diviso in strati dello spessore di 2 m sino alla profondità di 20 m dal p.c. e più in profondità in strati dello spessore di 5 m sino a -35.

I valori di V_{s30} , così determinati e relativi alla totalità dei siti, investigati sono stati quindi consolidati su una griglia regolare, con maglia quadrata di 1 km di apertura. Secondariamente sono state costruite anche delle mappe di V_{s15} per valutare la liquefacibilità dei livelli limo-sabbiosi e di V_{sH} per la stima dell'amplificazione stratigrafica secondo i dettami delle prescrizioni regionali (DGR 2193/2015).



Il dato HVSR è stato elaborato utilizzando i programmi Matlab e Geopsy. L'elaborazione di questo tipo di dato è stata piuttosto complessa a causa della frequente presenza di rumore superficiale che ha contaminato le serie temporali e quindi degradato gli spettri.

I dati sono stati convertiti dal formato RefTek Pascal e/o dal formato binario Dymas al formato standard SAF (Progetto EU Sesame), che è un formato ASCII, attraverso l'impiego a cascata di convertitori basati su routine proprietarie RefTek e su routine Matlab realizzate *ad hoc* per il progetto.

Gli spettri orizzontali H e verticale V sono stati calcolati su intervalli privi di interferenze significative (Figura 19), secondo finestre di 60 s (in caso di zone particolarmente rumorose la finestra temporale è stata ridotta a 30 s). La disponibilità di registrazioni lunghe ha consentito di avere una maggiore flessibilità nella scelta della finestre di calcolo degli spettri.

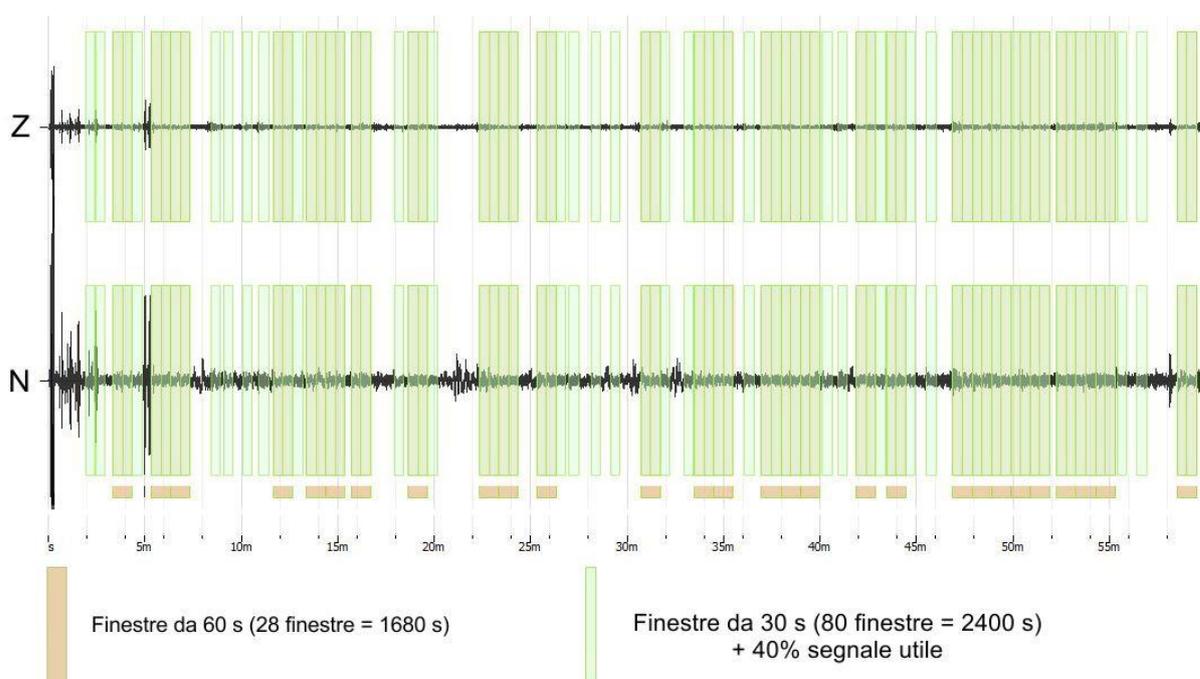


Figura 19. Esempio di segmenti temporali dei canali V (sopra), H1 (sotto) privo di interferenze significative scegliendo finestre da 60 s (in arancio) e da 30 s (in verde). Le finestre da 30 s consentono di recuperare una maggiore aliquota di rumore “bianco” per il calcolo del rapporto spettrale.

La scelta della finestra di calcolo del rapporto spettrale condiziona inevitabilmente anche il risultato

In alcuni casi si sono osservate delle chiare presenze di rumore periodico di chiara natura artificiale, anche di tipo ciclico (Figura 20), che ha determinato una contaminazione dello spettro.

In questi casi il picco in frequenza e la relativa amplificazione non sono stati considerati validi e quindi la misura è stata esclusa da quelle significative ai fini della zonazione. Nella maggior parte dei casi gli spettri HV sono risultati di buona qualità e perfettamente confrontabili nella risposta dei due diversi sismometri impiegati per la misura.

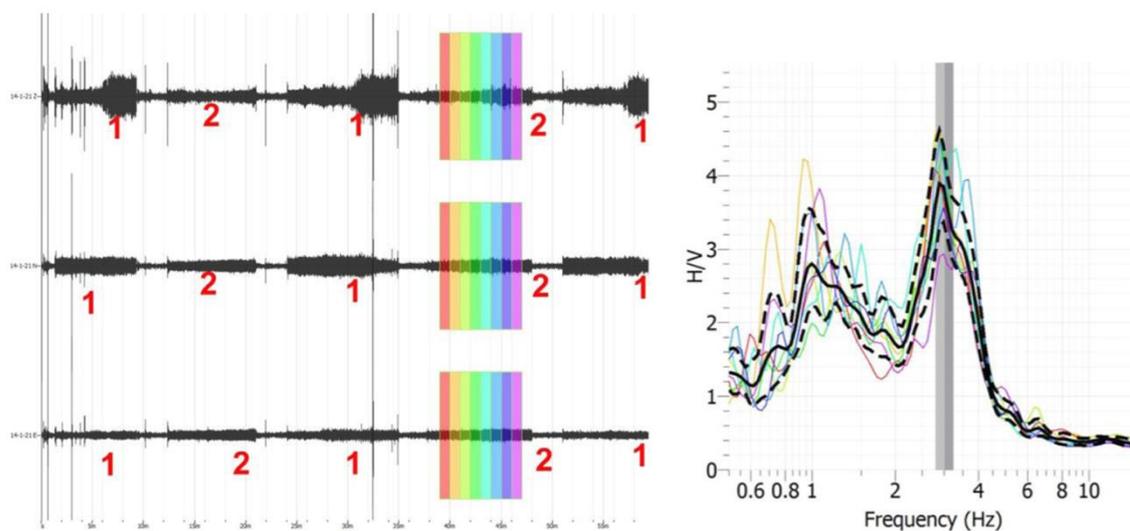


Figura 20. Esempio di rumore ciclico (1,2 a sinistra) che contamina le sequenze temporali dei microtemori. Il relativo rapporto spettrale (a destra), calcolato nel segmento di rumore ciclico 2, mette in evidenza un picco di frequenza 3Hz che non è determinato da interfacce geologiche.

La misura dei rapporti spettrali va comunque analizzate sempre con grande cautela in quanto il segnale che viene registrato, a meno di periodi di osservazione molto lunghi, non ha quelle caratteristiche di stazionarietà che consentono una sistematica ripetizione della misura.



8. Elaborati cartografici

8.1 Carta delle indagini

La Carta delle Indagini contiene l'ubicazione delle indagini preesistenti e di quelle di nuova realizzazione. Nello studio le indagini sono state distinte per tipo e profondità raggiunta.

A ciascuna indagine è stato assegnato un codice identificativo univoco (Id) e attraverso l'insieme di dati raccolto è stata popolata la banca dati digitale nei formati richiesti dalla Protezione Civile Nazionale secondo delle codifiche predeterminate.

Le indagini sono state rappresentate in forma simbolica secondo quanto previsto dagli Standard di Rappresentazione informatica (Vers. 4.0b). Il complesso di punti di indagine presenti sul territorio è suddiviso tipologicamente come segue:

INDAGINI PUNTUALI				
TIPO DI INDAGINE	CLASSE	CODICE	DEFINIZIONE INDAGINE PER MS	TOTALE
Geotecnica in sito	GS	CPT	P. Penetrom. statica con p.ta meccanica	8
Geotecnica in sito	GS	CPTU	P. Penetrom. statica con piezocono	9
Geologia	GG	S	Sondaggio a carotaggio continuo	198
Idrogeologia	IG	PA	Pozzo per acqua	645
Geofisica	GF	HVSR	Misura microtremore a stazione singola	67

INDAGINI LINEARI				
TIPO DI INDAGINE	CLASSE	CODICE	DEFINIZIONE INDAGINE PER MS	TOTALE
Geofisica	GF	REMI	Prova REfractionMIcrotremors	69

Tabella 1. Indagini classificate per tipologia. In rosso le misure di nuova acquisizione.

L'ubicazione delle prove è stata condizionata dalla morfologia del territorio e soprattutto dal diverso grado di urbanizzazione. Sono state selezionate le indagini maggiormente significative ai fini della costruzione del modello sismo-stratigrafico

8.2 Carta geologico-tecnica (CGT)

La Carta Geologico-Tecnica (CGT), alla scala 1:10.000 e le relative sezioni elaborate sulla base della CTRN Emilia-Romagna contengono le informazioni derivate dalle carte già previste nell'ambito del PSC, della cartografia CARG e di altra cartografia geologica inedita disponibile per l'area. Le sezioni litostratigrafiche significative allestite ai fini del presente studio hanno avuto la funzione di illustrare le successioni litologiche e le varie problematiche individuate e suscettibili di approfondimenti. I dati riportati nella CGT sono stati impiegati



anche per la definizione del modello di sottosuolo e sono funzionali alla realizzazione della Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS).

Nel territorio comunale non vi sono affioramenti di substrato e pertanto la carta rappresenta solo terreni di copertura (Figura 21). La classificazione dei depositi è avvenuta in funzione del processo genetico di formazione e della granulometria prevalente dei depositi. Per descrivere la tessitura dei terreni è stato utilizzato l'Unified Soil Classification System (leggermente modificato, ASTM, 1985), un sistema di classificazione dei suoli che può essere applicato alla maggioranza dei materiali non consolidati ed è composto da una sigla formata da 2 lettere. Tale codice, relativo al terreno di copertura, è stato completato col codice relativo agli ambienti genetico-deposizionali.

Terreni di copertura

  	<p>GW pd – Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie GP pd – Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie</p> <p>SP pd – Sabbie pulite con granulometria poco assortita SM pd – Sabbie limose, miscela di sabbia e limo</p> <p>MH pd – Limi inorganici, sabbie fini CL pd – Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre</p>
---	---

Elementi geologici e idrogeologici

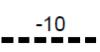
    	<p>Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)</p> <p>Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico (profondità in m)</p> <p>Profondità (m) della falda in aree con sabbie e/o ghiaie</p> <p>Traccia di sezione geologica rappresentativa del modello di sottosuolo</p> <p>-10 Isobata del tetto delle ghiaie (m)</p>
---	---

Figura 21. Legenda della carta geologico-tecnica.

Per ciò che concerne gli elementi geologico tecnici, si rimanda alla tabella di conversione (Tabella 2).

Per quanto riguarda gli elementi lineari si è optato per non inserire la traccia delle faglie sepolte in quanto potevano indurre confusione ai fini dello studio di MS, lo stesso per gli orli dei terrazzi fluviali che data la modesta dimensione delle scarpate non determinano condizioni di amplificazione topografica. Le grandi conoidi alluvionali pedemontane, data la coalescenze e le dimensioni, sono state rappresentate in modo indifferenziato sotto la denominazione piana pedemontana.



Sigla CGT	Formazione/materiale	Descrizione
GP pd	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia.	Unità AES8 – ghiaie grossolane della zona apicale delle conoidi pedeappenniniche e ghiaie dell'apparato del Fiume Taro.
GW pd	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie.	Unità AES8 – ghiaie, ghiaie sabbiose e sabbie in ambienti di alveo degli apparati attuali dei fiumi Taro, Baganza, Parma ed Enza.
SP pd	Sabbie pulite con granulometria poco assortita.	Unità AES8a – sabbie limose, sabbie e ghiaie sabbiose depositate in ambiente di argine distale degli apparati attuali dei fiumi Taro, Baganza e Parma.
SM pd	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo.	Unità AES8 - limi argillosi, limi, e limi sabbiosi di media e bassa pianura.
MH pd	Limi inorganici, sabbie fini, limi micacei.	Unità AES8, AES8a, AES7b – limi e limi argillosi di copertura delle unità ghiaiose pedeappenniniche e degli apparati dei fiumi Enza e Taro.
CL pd	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre.	Unità AES8 e AES8a – Limi argillosi ed argille limose della pianura distale.

Tabella 2. Descrizione delle campiture per la CGT. Legenda dei codici relativi agli ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura: pd=piana pedemontana

La carta CGT riporta infine alcuni pozzi chiave (distinti in base al raggiungimento o non-raggiungimento del substrato geologico) ed i pozzi per acqua dai quali è stata ottenuta una misura diretta della profondità di falda.

8.3 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (CMOPS)

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (CMOPS) costituisce il documento fondamentale della MS di livello I. La Carta è stata redatta alla scala 1:10.000 a partire dalla CGT con le opportune integrazioni e implementazioni derivanti dal quadro complessivo delle conoscenze acquisite.

La Carta è realizzata per ottenere un adeguato dettaglio, utile per il raggiungimento dei seguenti obiettivi:

- caratterizzazione del substrato;
- caratterizzazione dei terreni di copertura;
- ricostruzione delle aree potenzialmente interessate da deformazioni permanenti in caso di evento sismico;
- definizione di forme di superficie e sepolte, particolarmente importanti per problematiche sismiche.



La CMOPS suddivide il territorio comunale in aree omogenee dal punto di vista della risposta sismica. Nelle Linee guida nazionali (ICMS, 2008) tali aree sono classificate come segue:

1. Zone stabili
2. **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**
3. **Zone di attenzione per le instabilità**
 - a. Zone di Attenzione per le FR
 - b. Zone di Attenzione per le LQ**
 - c. Zone di Attenzione per le FAC
4. Faglie attive e capaci
5. Forme di superficie e sepolte

Nel territorio comunale sono state individuate e cartografate le classi 2 e 3b. Nel territorio non sono previste zone stabili anche se a parere degli scriventi gli apparati ghiaiosi pedeappenninici, le cui V_{s30} sono medianti superiori a 500 m/s e con funzioni velocità-profondità che crescono chiaramente in modo monotono, potrebbero essere assimilabili a questa classe.

8.3.1 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Si tratta di zone nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale. Secondo normativa, sono le aree dove siano presenti terreni di copertura con spessori superiori ai 5 m.

Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locale prevedono per il Comune di Parma la suddivisione in 5 microzone, così distinte:

	<p>Zona 1 – 2001</p> <p>Terreni granulari ghiaiosi grossolani con coperture politessiturali di spessore variabile da 0 a 3 metri. Alta pianura pedeappenninica e apparato ghiaioso vicinale del Fiume Taro.</p>
	<p>Zona 2 – 2002</p> <p>Terreni granulari ghiaiosi grossolani con copertura coesiva limo-argillosa di spessore variabile da 3 a 10 metri. Alta e media pianura pedeappenninica e apparato ghiaioso vicinale del Fiume Taro.</p>



	<p>Zona 3 – 2003</p> <p>Terreni granulari ghiaiosi grossolani con coperture politessiturali di spessore variabile da 3 a 10 metri. Media pianura.</p>
	<p>Zona 4 – 2004</p> <p>Terreni prevalentemente coesivi con strati granulari fini di spessore complessivo variabile da 10 a 20 metri su livelli ghiaiosi profondi. Media e “bassa” pianura (pianura distale).</p>
	<p>Zona 5 – 2005</p> <p>Terreni coesivo–granulari limo–sabbiosi di spessore inferiore a 5 metri su livelli prevalentemente coesivi di spessore variabile da 10 a 20 metri a loro volta su livelli ghiaiosi profondi. Dosso fluviale del Torrente Parma.</p>

Si tenga presente che le stratigrafie indicate per ciascuna MOPS hanno valore indicativo e rappresentano l’assetto di riferimento del sottosuolo, che tuttavia può discostarsi dal modello di sintesi per geometria, spessore e tipologia dei materiali. La ricostruzione è stata infatti condotta attraverso l’impiego di stratigrafie e di dati geofisici discreti. La loro distribuzione, il dettaglio dei log e la complessità intrinseca dei sistemi geologico–deposizionali impongono tutte le consuete limitazioni ad una generalizzazione del sottosuolo.

8.3.2 Zone di attenzione per le instabilità

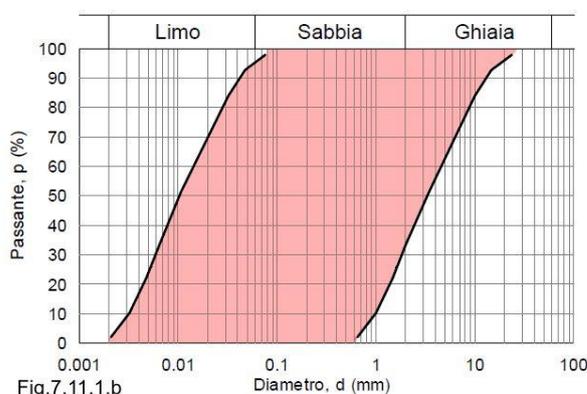
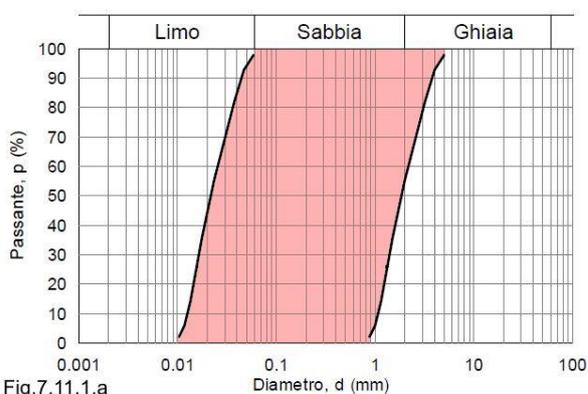
In questa categoria sono comprese le aree suscettibili di liquefazione. I fenomeni di liquefazione dei terreni avvengono solitamente in depositi sabbiosi e/o sabbio–limosi e limo–sabbiosi poco addensati, a granulometria uniforme, normalmente e sotto–consolidati, e saturi. Durante la fase di carico, le sollecitazioni indotte nel terreno, quali possono essere quelle derivanti da un evento sismico, possono causare un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare le tensioni efficaci (dovute al carico dei sedimenti soprastanti). Viene così annullata la resistenza al taglio del terreno secondo il principio delle pressioni efficaci di Terzaghi, e si assiste così a un fenomeno di fluidificazione del suolo.

Secondo le Linee Guida nazionali (NTC 2008) la verifica a liquefazione può essere omessa in determinate circostanze. Si riporta di seguito il testo integrale.



la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.



Nel territorio del Comune di Parma vi sono diverse aree per le quali può essere esclusa la liquefazione sulla base delle condizioni (3), (4) o (5). Aree con queste caratteristiche sono ad esempio tutta la zona dell'alta pianura dove il materasso ghiaioso è ben classato oppure tutta la zona in destra del Fiume Taro. La condizione (3) è stata definita in modo analitico sulla base delle isofreatiche disponibili nello studio del PSC. Per quanto riguarda invece la sola condizione (5) i dati stratigrafici disponibili non evidenziano la presenza di corpi sabbiosi tabulari persistenti lateralmente. La sola eccezione, anche se non si tratta di un vero e proprio corpo tabulare, è quella del dosso sabbioso e limo-sabbioso del Torrente Parma a valle della città. Le NTC indicano come liquefacibili anche terreni con frazioni limose importanti (qualora il coefficiente di uniformità sia superiore al valore limite di 3.5). Inoltre,

in virtù dei meccanismi deposizionali che hanno agito nella pianura distale, non è possibile escludere la presenza di corpi sabbiosi a geometria lentiforme anche di dimensioni rilevanti entro i primi 15 metri di profondità.

Estendendo la potenziale liquefacibilità anche alle tessiture più fini, spostando quindi la condizione (5) al limite tra granulare e coesivo, l'intero quadrante nord-orientale del territorio comunale si trova in una situazione nella quale vi è una combinazione di condizioni predisponenti. A favore della sicurezza va comunque ricordato che i potenziali livelli liquefacibili sono quasi sempre confinati e sigillati verso l'alto da un "tappo" limo-argilloso di spessore superiore a 3 m.

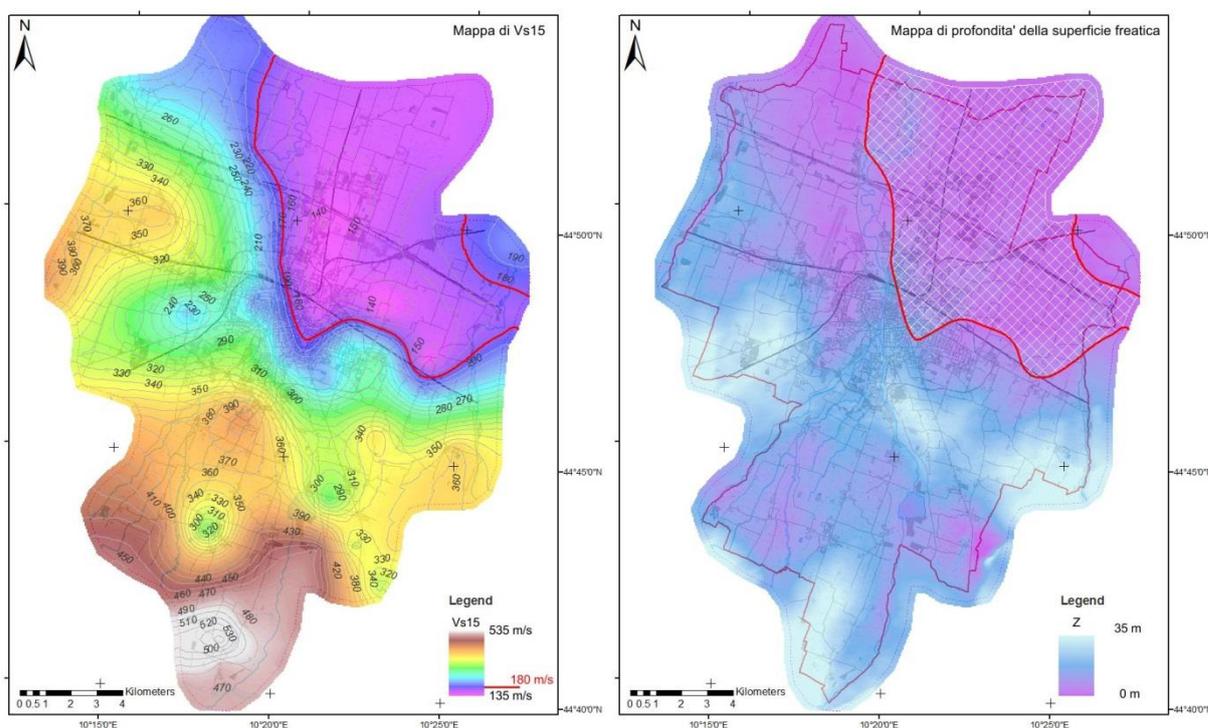


Figura 22. Mappa delle V_{S15} (a sinistra) e isolinea di V_S con valore pari a 180 m/s sovrapposta alla mappa di soggiacenza della falda (a destra) riferita all'anno 2000 (fonte PSC). Il poligono retinato indica l'area all'interno della quale la V_S presenta valori inferiori a 180 m/s.

Per delimitare con un criterio semi-quantitativo le aree liquefacibili (Andrus et al., 2004) è stato utilizzato il parametro della V_S che, tra quelli disponibili, è l'unico che può essere interpolato (trattandosi di un valore medio) mantenendo una certa rappresentatività. Per lo scopo è stata costruita una mappa della V_{S15} (limite basale dei fenomeni di liquefazione secondo le NTC) dell'intero territorio comunale (Figura 22), è stata quindi identificata l'isolinea con valore di 180 m/s ed è stata confrontata con la soggiacenza della tavola d'acqua. Sulla base di questi elementi è stata perimetrata la zona di attenzione per fenomeni di liquefazione (ZALQ). Questa zona è stata sovrapposta e combinata con i poligoni delle verticali sub-omogenee definendo due zone di attenzione per instabilità.



<p style="text-align: center;">2006</p>	<p>Zona 6 – 2006</p> <p>Terreni prevalentemente coesivi con rari strati granulari fini di spessore complessivo variabile da 10 a 30 metri su livelli ghiaiosi profondi. Gli strati granulari (lenti sabbiose) seppur rare possono avere spessore significativo. Media e “bassa” pianura (pianura distale).</p>
<p style="text-align: center;">2007</p>	<p>Zona 7 – 2007</p> <p>Terreni prevalentemente coesivi con alternanze di strati granulari fini di spessore complessivo variabile da 10 a 20 metri su livelli ghiaiosi profondi. All’interno dello strato coesivo vi possono essere lenti sabbiose significative. Media e “bassa” pianura (pianura distale).</p>

È opportuno che in tutti gli studi futuri (siano essi relativi a nuove opere o all’adeguamento/ristrutturazione di opere esistenti) che ricadano nelle due aree di ZALQ sia sempre valutato il coefficiente di sicurezza alla liquefazione.

La suscettibilità del terreno dovrà essere valutata sulla base di prove adeguate (preferibilmente riferibili a prove CPTe o eventualmente anche a prove CPT, CPTU e/o SPT), esplorando un numero di verticali adeguato all’importanza dell’opera e all’estensione dell’area di indagine e sufficiente ad accertare la variabilità spaziale delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del deposito. Dovrà anche essere determinata con appropriate rilevazioni l’entità delle fluttuazioni dei livelli di falda e nelle analisi dovrà considerarsi la condizione meno cautelativa.

8.4 Sezioni litostratigrafiche

In relazione alle caratteristiche geologiche e strutturali, alla morfologia, ai rapporti tra depositi di copertura e substrato e alla distribuzione delle aree in studio sono state ricostruite due sezioni geologico–tecniche utili a svolgere le prime considerazioni sulla pericolosità sismica locale. In particolare, possono essere evidenziate quelle situazioni che richiedono specifici approfondimenti di modellazione numerica della risposta sismica locale.

Per il territorio del comune di Parma sono state riprese le tracce di due delle sezioni idrogeologiche redatte per il PSC (Ambiter Srl, 2006) e le stesse sono state rielaborate, semplificandole, in chiave sismica (Figura 23) secondo gli standard informatici della MS. La traccia delle due sezioni è rappresentata nella Carta Geologico-Tecnica.

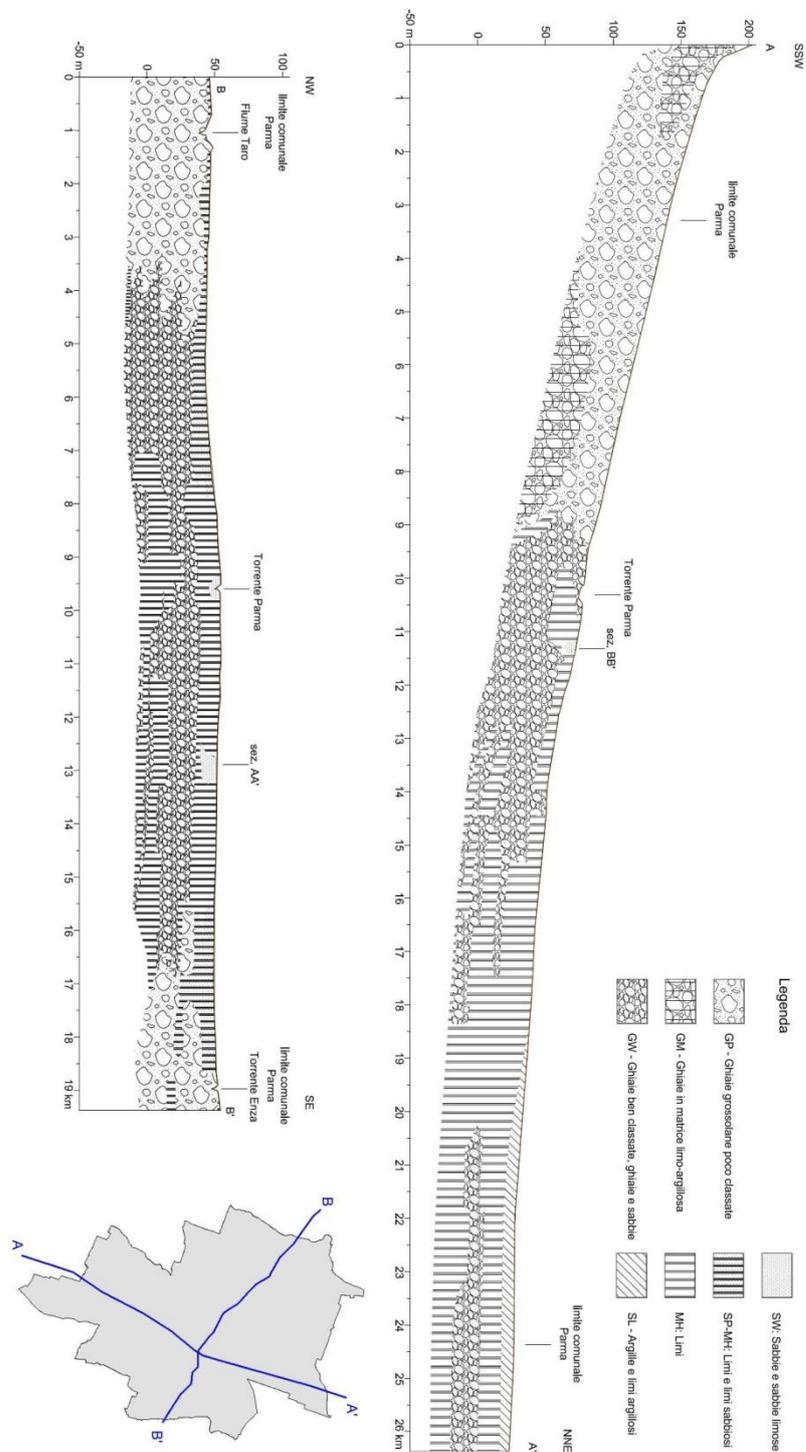


Figura 23. Sezioni litostratigrafiche significative semplificate in chiave sismica.



Nelle sezioni è rappresentato l'andamento indicativo del tetto dei depositi ghiaiosi e le diverse tipologie di depositi di copertura. I depositi ghiaiosi passano dalla granulometrie grossolane (indicate con lettera GP) poco classate della zona pedeappenninica a granulometrie più fini, ad abbondante frazione sabbiosa, e meglio classate (indicate con lettera GW).

8.5 Approfondimenti di II livello

Gli studi di microzonazione sismica di secondo livello si applicano a tutte le parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica individuati negli studi di primo livello e per le quali si prevedono trasformazioni urbanistiche del territorio o incremento dei carichi urbanistici, per il territorio compreso nel perimetro del centro abitato, delle frazioni, delle zone artigianali ed industriali e lungo le fasce delle principali vie di comunicazione. Nella carta degli ambiti, redatta dai tecnici comunali, vengono descritte 1133 aree urbanizzabili (corrispondenti ad altrettanti poligoni nel sistema informativo) e 6284 aree urbanizzate (Tabella 3).

Tipologia area	Numero unità	Superficie cumulata (kmq)	Superficie cumulata (%)
Base	6230	0.2	< 1
Parco	844	28.2	10.7
Rurale	3580	169.1	64.4
Urbanizzat	6284	33.6	12.8
o			
Urbanizza	1133	18.6	7.1
bile			
Altro		12.9	4.9

Tabella 3. Elenco degli ambiti.

La superficie del territorio comunale è di circa 260 kmq dei quali 33.6 kmq, per una percentuale indicativa del 12.8 % è urbanizzato e 18.6 kmq, per una percentuale indicativa del 7.1 % è urbanizzabile. Ambiti urbanizzati ed ambiti urbanizzabili rappresentano un puzzle di 7417 poligoni dei quali 6284 di tipo "urbanizzato" e 1133 di tipo "urbanizzabile".

Lo studio di approfondimento è stato condotto avvalendosi di misure sismiche realizzate con tecniche HVSR e ReMi (così come descritto al paragrafo 4). L'obiettivo era la parametrizzazione elastico-acustica del sottosuolo per la quantificazione degli effetti di scuotimento sismico attraverso la stima dei fattori di PGA (massima accelerazione al suolo) e di SI (intensità spettrale) negli intervalli di frequenza 1, 2 e 3 previsti dalla normativa regionale.



8.5.1 Carta delle frequenze

Le misure HVSR hanno consentito di determinare la frequenza di sito e la relativa ampiezza del rapporto spettrale H/V. La carta delle frequenze del territorio comunale, alla scala 1:10,000, mostra una situazione piuttosto variegata, come poi è da attendersi in un contesto di territorio pedecollinare e di alta pianura, dove sono rappresentate tutte le classi tessiturali e spesso anche il substrato risultando in frequenti situazioni di forte contrasto dell'impedenza acustica. Alcune misure di sono state chiaramente contaminate da sorgenti polarizzate, spesso con componenti di vibrazione orizzontale molto ampie, che hanno richiesto un'analisi approfondita per l'estrazione della componente geologica dal segnale registrato.

Esempi in questo senso sono presenti nel settore centro-orientale del territorio comunale, dove è probabile che alcuni siti produttivi abbiano generato una maggiore presenza di rumore polarizzato. In generale i picchi, qualora non determinati da sorgenti polarizzate, sono da attribuire alla presenza di interfacce elastico-acustiche che non hanno carattere di ubiquitarietà e che possono essere correlate solo su piccole distanze. Anche i valori di ampiezza del rapporto H/V sono estremamente variabili.

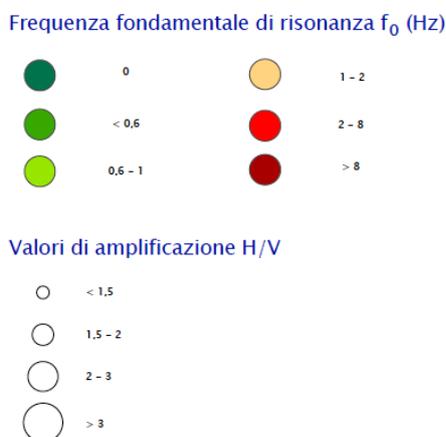


Figura 24. Legenda della carta delle frequenze.

In legenda della carta delle frequenze (Figura 24) la classe (0) è stata utilizzata come indicatore di assenza di un picco significativo mentre nella classe (< 0.6) sono stati inseriti quei picchi di bassa frequenza presumibilmente attribuibili a rumore polarizzato. Nelle etichette delle stazioni di misura (non prevista in legenda), è stata descritta anche una ulteriore classe (> 15), che quasi sempre è quella caratterizzata dai valori più alti del rapporto H/V, e che comunque, data l'alta frequenza, non sono significativi in termini di eventuale amplificazione stratigrafica.

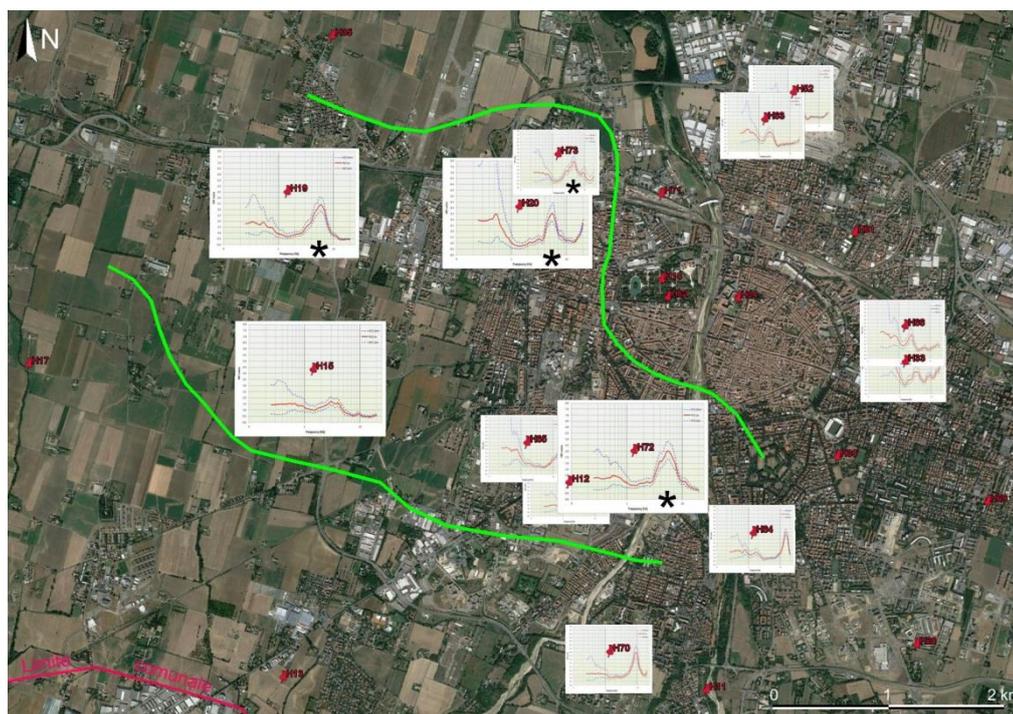


Figura 25. Gruppo di spettri HVSR con in evidenza dei chiari picchi di natura geologica (evidenziati con l'asterisco) nell'intervallo 3-6 Hz.

Per quanto riguarda le ampiezze, a parte quelle della classe (> 15), i valori sono nel complesso modesti. Vi è comunque un'area, ubicata tra sponda sinistra del Parma e le frazioni di San Pancrazio - Vigolante, dove una serie di stazioni evidenziano dei picchi chiaramente geologici nell'intervallo di frequenza compreso tra 3 Hz e 6 Hz (Figura 25). Quest'area corrisponde grossomodo ad una zona dove gli spettri ReMi avevano un chiaro aspetto plurimodale (Figura 17). Questo fenomeno (spettro ReMi plurimodale associato ad chiaro picco HVSR) sembrerebbe tipico di aree di dove vi è un forte contrasto di impedenza acustica nei primi 10-20 m di profondità o delle zone di transizione tra stratigrafie deposizionali molto differenziate (Greggio, 2016).

Recenti indicazioni tratte dalle risultanze del progetto europeo SESAME (Sesame Team, 2004) suggeriscono di non considerare significativo, in termini di potenziale amplificazione, un picco il cui valore del rapporto H/V sia inferiore a 2. La normativa regionale (DGR 2193/2015) abbassa la soglia di attenzione al valore di 1.5.



8.5.2 Carta delle V_s

Le misure sismiche effettuate nel territorio comunale hanno consentito di ottenere una serie di informazioni sul campo di velocità medio delle onde di taglio su strati di profondità variabile da 2 m a 35 m di profondità (Figura 26). Le informazioni sono disponibili in sintesi nella carta delle V_s realizzata alla scala 1:10,000. Dall'analisi dei dati si osserva una forte differenziazione dei valori della V_{s30} che scende dagli oltre 600 m/s nei depositi ghiaio-sabbiosi dell'alta pianura pedeappenninica a valori anche inferiori a 160–170 m/s nei terreni limo-argillosi e torbosi poco consolidati presenti nel quadrante a nord-est del centro di Parma. La geologia, come peraltro atteso nei corpi deposizionali più importanti, esercita quindi un forte controllo sul campo di velocità delle onde di taglio.

Per quanto riguarda l'alta pianura pedeappenninica (settore meridionale del comune) si osserva una correlazione quasi diretta tra la presenza di corpi ghiaiosi grossolani affioranti e valori molto elevati della V_s . In alcuni siti la V_s supera anche i 600 m/s come ad esempio nella zona compresa tra le località Pilastro e Corcagnano e l'alveo del Torrente Parma. La velocità molto elevata, unitamente al basso gradiente ed al carattere monotono delle forme spettrali, indica come queste aree, seppur caratterizzate da una $V_s < 800$ m/s potrebbero essere assimilate ad aree sismicamente stabili. La V_s è alta (con valori comunque inferiori a quelli della zona pedeappenninica) non anche a valle della zona di sbocco del Fiume Taro in pianura. Il livello di energia dell'asta fluviale nel tardo Pleistocene ha quindi consentito la deposizione di un apparato ghiaioso rilevante in tutto il settore occidentale del territorio comunale anche oltre la flessura topografica che marca il passaggio tra alta e media pianura.

Spostandosi verso nord/nord-est (settore centrale e settentrionale del comune) la V_s si abbassa progressivamente a valori compresi tra 250 m/s e 350 m/s in funzione di un prevalere in superficie di tessiture via via più fini, dell'abbassamento del tetto delle ghiaie e della progressiva riduzione, in questi corpi ghiaiosi, della dimensione dei ciottoli. Localmente vi possono essere anche dei minimi o dei massimi ma nel complesso la V_s varia con gradualità secondo un asse nne-ssso che è poi l'asse di aggradazione della pianura.

Nel quadrante nord-orientale del territorio comunale i valori di V_s scendono al di sotto dei 180 m/s marcando anche il passaggio alla categoria di suolo D (così come definita nelle NTC, 2008). In quest'area vi è una prevalenza di depositi di natura coesiva che, data la bassa velocità (la V_{s15} scende anche al di sotto della soglia dei 140 m/s), sono poco consolidati ed anche con presenza di livello di materiali torbosi.

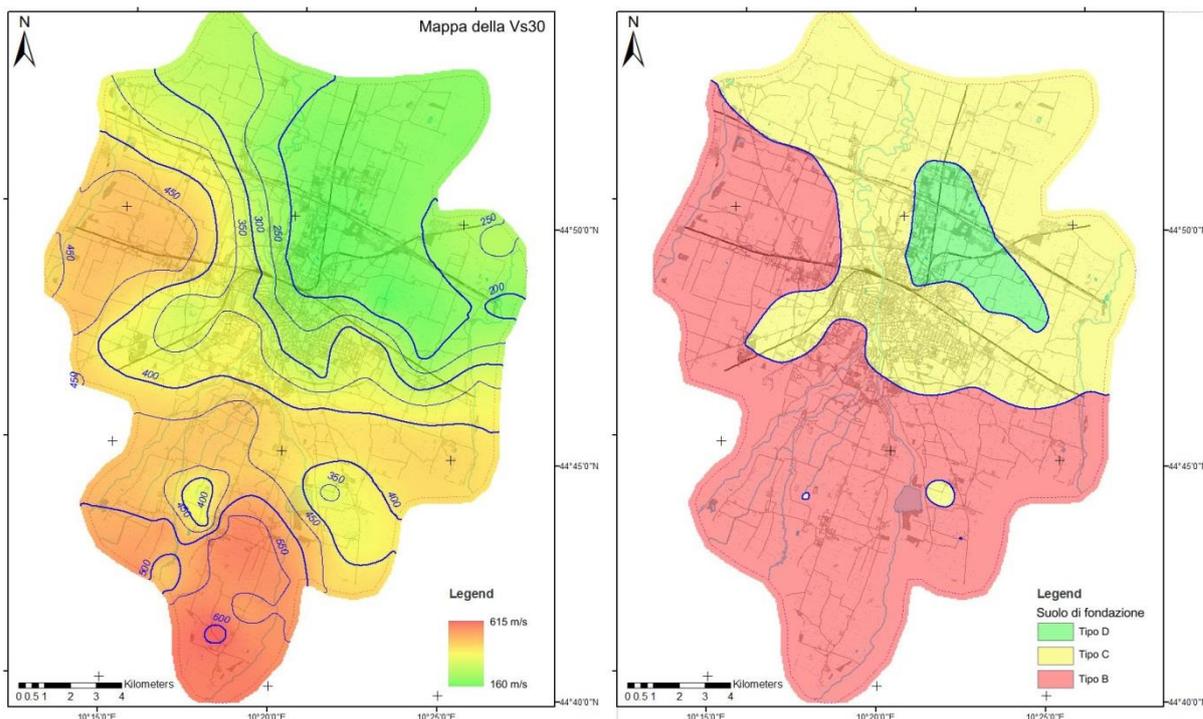


Figura 26. Mappa della V_{S30} (a sinistra) con isolinee direttrici ed ausiliarie e limiti tra le diverse categorie di suolo (a destra) così come definite dalla normativa vigente in materia di costruzioni (leggi NTC, 2008). Cat.B: $V_{S30}=360-800$ m/s; Cat.C: $V_{S30}=180-360$ m/s; Cat.D: $V_{S30}\leq 180$ m/s;

Da un punto di vista meramente normativo (NTC, 2008), e quindi relativamente alle problematiche urbanistiche, ingegneristiche e geotecniche, il sedime del territorio comunale è descrivibile attraverso le tre categorie di suoli di fondazione (Figura 26): la zona B (in pianura pedeappenninca e destra Taro), la zona C (in tutto il settore centro-settentrionale) e la zona D (nel centro del quadrante nord-orientale a valle della città). Nella zona B rientrano tutti quei siti nei quali i valori della V_{S30} risultano compresi nell'intervallo 360–800 m/s, la zona C classifica i siti con valori della V_{S30} ricadenti nell'intervallo 180–360 m/s mentre nella zona D rientrano i siti con valori della V_{S30} inferiore a 180 m/s. Questa zonazione, anche se viene in qualche modo “superata” dallo studio di MS comunale, resta tuttavia un utile elemento di confronto.

8.5.3 Carta di microzonazione sismica

La carta di microzonazione sismica, secondo DGR 2193/2015, deriva da un'applicazione puntuale dei valori tabellari di amplificazione di PGA, SI1, SI2 ed SI3 (allegato A2 alla DGR 2193/2015) sulla base di una scelta di tipo-dominio (appenninico, margine o pianura) e dei valori di V_{SH} (V_S media dalla superficie al substrato rigido o del tetto del livello ad esso assimilabile) ed H (quota inversa del substrato o rigido o del tetto del livello ad esso



assimilabile). La discrezionalità riguarda pertanto due fattori: il tipo–dominio e la definizione del substrato sismico.

La scelta del tipo–dominio va fatta tra quelli definiti nella DGR 2193/2015 (Tabella 4).

Tipo-dominio	Subtipo
Appenninico	a, presenza di substrato rigido ($V_s > 800\text{m/s}$) b, presenza di substrato non rigido ($V_s < 800\text{m/s}$) c, presenza di substrato marino non rigido affiorante ($V_s < 800\text{m/s}$)
Margine appenninico	A – spessore dei depositi fini su depositi grossolani < 30 m B – spessore dei depositi fini su depositi grossolani > 30 m
Pianura padana e costa	1 – tetto del substrato rigido ≤ 100 m da p.c. 2 – tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c. 3 – tetto del substrato rigido non inferiore a 300 m da p.c.

Tabella 4. Elenco dei tipo-domini per la scelta dei fattori di amplificazione previsti in DGR 2193/2015.

Per quanto riguarda il substrato sismico per il territorio del comune di Parma è stato scelto come interfaccia ad esso assimilabile il tetto dei depositi ghiaiosi nella condizione in cui i livelli ghiaiosi fossero caratterizzati da uno spessore sufficiente per poter intrappolare l'energia sismica causando amplificazione dello scuotimento alla superficie (cfr. paragrafo 5.1). Nella maggior parte delle verticali indagate, e sulla base di altri dati geofisici, inediti si è osservato che il rapporto di impedenza acustica tra i livelli ghiaiosi profondi e i livelli superficiali a tessitura fine varia da 2 ad 1.5 (cfr. paragrafo 5.1) rappresentando quindi un'interfaccia da tenere in considerazione per l'amplificazione.

Per le finalità di MS comunale il substrato sismico è stato quindi definito non solo sulla base del raggiungimento, ad una certa profondità, del valore soglia di V_s (pari a 800 m/s), ma, anche e soprattutto, sulla base di un forte contrasto di V_s nell'ipotesi che il mezzo inferiore abbia spessore sufficiente.

Intervallo	Frequenze	Tipo-dominio
SI1	2 Hz – 10 Hz	Appennino, margine, pianura
SI2	1 Hz – 2 Hz	Appennino, margine, pianura
SI3	0.67 Hz – 2 Hz	Pianura, margineB

Tabella 5. Intervalli di intensità spettrale (SI) di Housner da utilizzare per la stima dei fattori di amplificazione.

Le tre intensità spettrali (SI) di Housner (Housner, 1953) sono relative a tre intervalli di frequenza (Tabella 5).

Nel territorio comunale (Figura 27) sono state distinte tre zone (1, 2 e 3) che per le loro caratteristiche sismostratigrafiche sono associabili al tipo–dominio di “appennino con substrato non rigido” (zona 1), “margine di tipo A” (zona 2) e “pianura 1” (zona3).

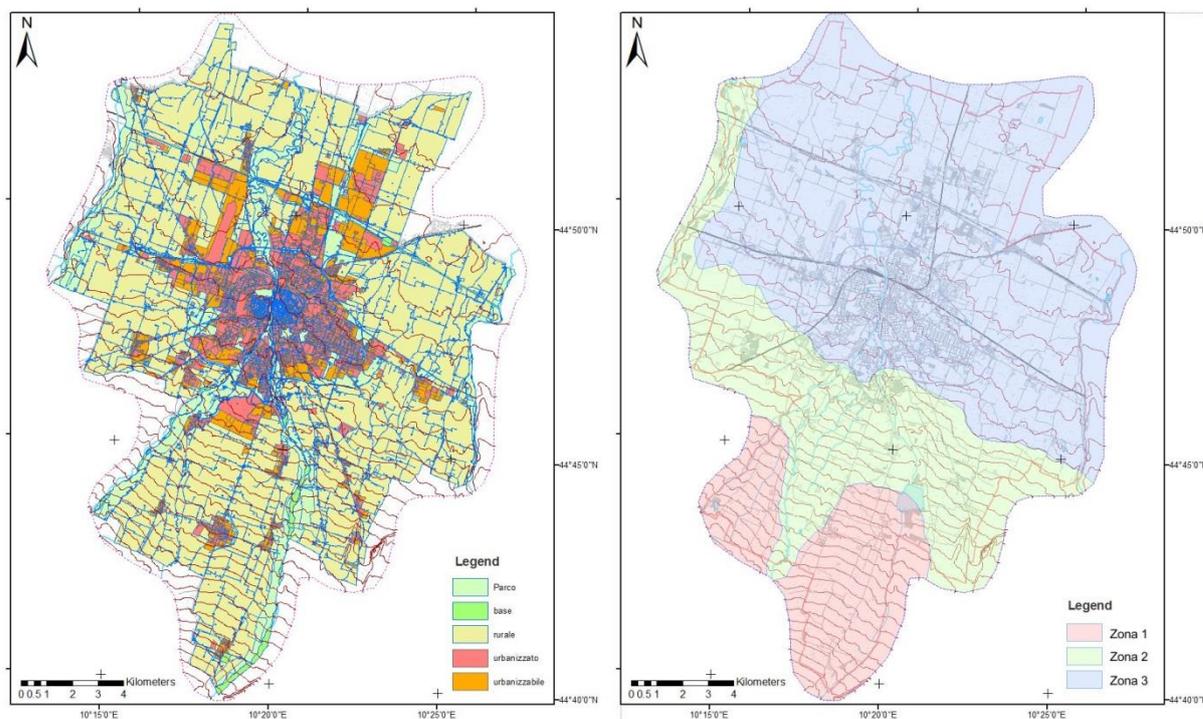


Figura 27. Carta degli ambiti urbanistici (a sinistra) e suddivisione del territorio comunale in tipo–domini geosismici (a destra). Zona 1: appennino b; zona 2: margine A; zona 3: pianura1. Nelle mappe sono riportate anche le isolinee di quota della superficie topografica (passo 5m).

I limiti di zona sono stati scelti sulla base del contesto deposizionale, del gradiente topografico e della profondità del tetto delle ghiaie ove queste siano assimilabili al substrato sismico. La zona 1 corrisponde alle ghiaie grossolane e compatte affioranti. La zona 2 corrisponde alle ghiaie coperte da esigui spessori di materiali a tessitura fine. Il limite tra la zona 1 e la zona 2 è stato tracciato sulla base del gradiente topografico nella fascia tra i gradienti topografici più elevati dell’alta pianura e quelli più bassi della pianura distale. La zona 3 corrisponde ad una zona dove il substrato sismico passa progressivamente da pochi metri di profondità a profondità superiori ai 30 m.

Per la stima dei fattori di amplificazione il territorio comunale è stato suddiviso con una maglia quadrata di un km di apertura. In corrispondenza di ogni nodo sono state ricalcolate, per interpolazione dalle stazioni sismiche più vicine (cfr. misure di cui al paragrafo 4), le



grandezze V_{s30} , V_sH ed H . Per ciascun nodo si è quindi proceduto, all'attribuzione ad una delle zone e per associazione con i valori tabellari, alla definizione dei parametri di PGA, di SI1, di SI2 e di SI3 (ove quest'ultima fosse richiesta). I quattro insiemi di dati sono stati quindi consolidati su una griglia a maggior risoluzione ed interpolati. Le zone urbanizzate/urbanizzabili sono state quindi prima aggregate in macropoligoni e poi suddivise in sottopoligoni sulla base delle isolinee che definiscono i limiti di categoria (Figura 28) delle aree a diversa amplificazione (secondo standard informatici di MS 4.0b). I limiti di classe sono da intendere estesi superiormente sino a +0.04 e quindi inferiormente sino a -0.05.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

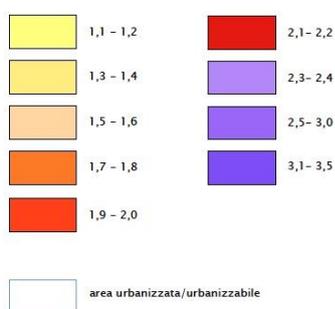


Figura 28. Legenda delle classi di amplificazione per i diversi fattori (PGA, SI1, SI2 ed SI3) riportati nelle carte di microzonazione sismica.

Questo tipo di approccio di calcolo è stato considerato il migliore possibile nell'impossibilità di disporre di dati sismici puntuali per parametrizzare ciascuna verticale dei diversi ambiti urbanizzati/urbanizzabili.

8.5.3.1 Carta di PGA

La carta di PGA, realizzata alla scala 1:10,000, mostra valori di amplificazione che variano da un minimo di 1.05 ad un massimo 2.04 (della scala di cui alla Figura 28). I valori massimi (Figura 29) sono localizzati in una zona ubicata in vicinanza dell'abitato di Vicofertile che risente di un minimo locale del valore di V_sH . Un massimo locale, anche se molto blando, si trova invece a sud-ovest della località Pilastro. Gli altri settori del territorio dove i valori sono relativamente elevati ($PGA > 1.65$) corrispondono grossomodo al quadrante nord-orientale del territorio comunale (Figura 29), dove la V_{s30} raggiunge i valori minimi in virtù della

presenza di un sedime prevalentemente coesivo e poco consolidato. Il centro città ricade nell'intervallo di isolinee di PGA 1.60 - 1.70.

8.5.3.2 Carta di intensità spettrale (SI) intervallo 1 (2 Hz - 10 Hz)

La carta di SI1, realizzata alla scala 1:10,000, mostra valori di amplificazione che variano da un minimo di 1.25 ad un massimo 2.24 (della scala di cui alla Figura 28). Anche in questo caso i valori massimi (Figura 29) sono localizzati in una zona ubicata in vicinanza dell'abitato di Vicofertile che risente di un minimo locale del valore di $V_S H$. Un massimo locale si trova invece a sud-ovest della località Pilastro e risente, anche in questo caso di un basso valore della $V_S H$ negli strati a tessitura fine di copertura del materasso ghiaioso. Nel resto del territorio, in analogia con la mappa di PGA, i valori di SI1 crescono in modo quasi monotono spostandosi da sud-ovest verso nord-est dove i valori sono relativamente elevati ($SI1 > 1.9$) in quella zona del territorio comunale, dove la $V_S 30$ raggiunge i valori minimi in virtù della presenza di un sedime prevalentemente coesivo e poco consolidato. Il centro città ricade nell'intervallo di isolinee di SI1 1.65 - 1.90.

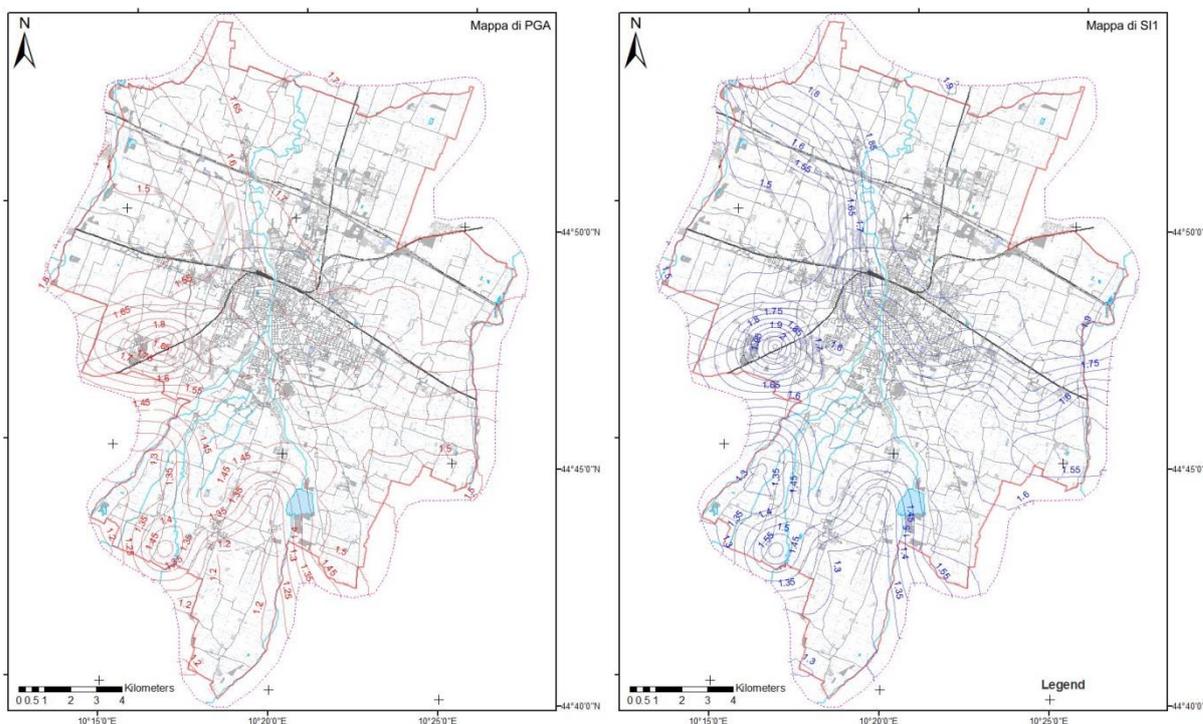


Figura 29. Mappe interpolate della PGA (a sinistra) e dell'intensità spettrale SI1 (a destra) relativa all'intervallo di frequenza 2Hz - 10 Hz.

8.5.3.3 Carta di intensità spettrale (SI) intervallo 2 (1 Hz - 2 Hz)

La carta di SI2, realizzata alla scala 1:10,000, mostra valori di amplificazione che variano da un minimo di 1.25 ad un massimo 3.04 (della scala di cui alla Figura 28). La SI2 varia con gradualità senza evidenziare massimi locali spostandosi dai settori di sud-ovest a quelli di nord-est del territorio comunale (Figura 30). Si osserva ancora il massimo locale che si trova a sud-ovest della località Pilastro che, come descritto sopra, risente di un basso valore della V_{5H} negli strati a tessitura fine di copertura del materasso ghiaioso.

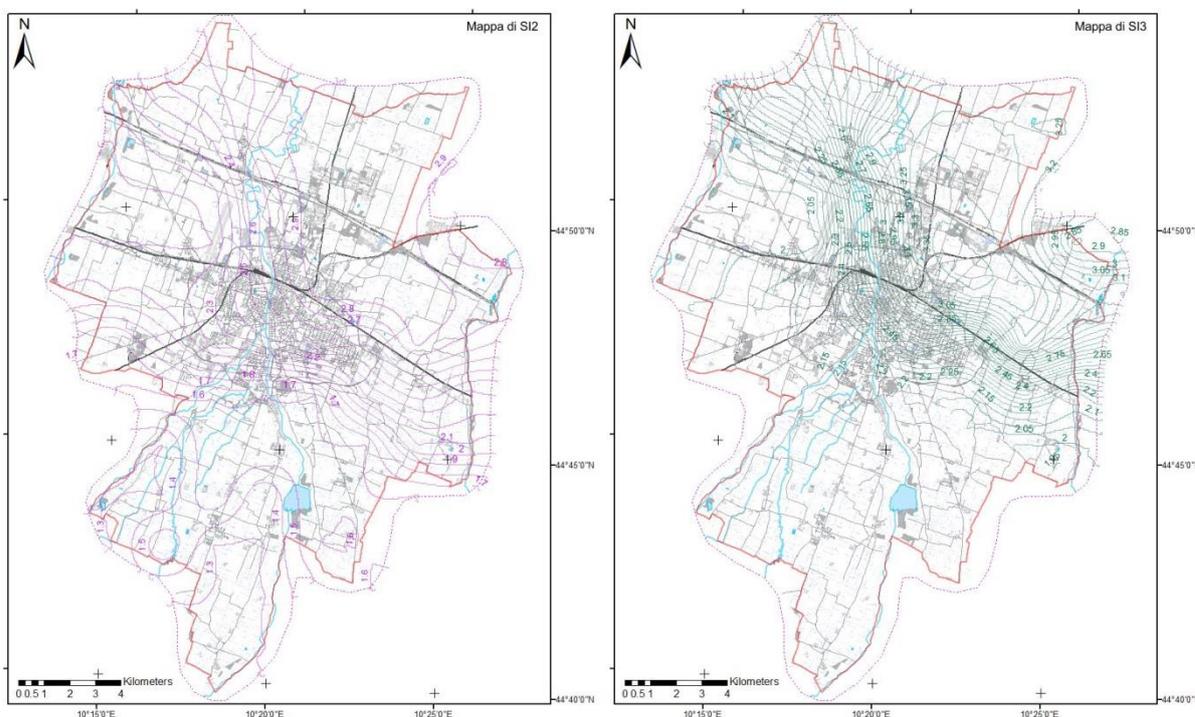


Figura 30. Mappe interpolate della SI2 (a sinistra) relativa all'intervallo di frequenza 1 Hz - 2 Hz e dell'intensità spettrale SI3 (a destra) relativa all'intervallo di frequenza 0.67 Hz - 1 Hz.

Nel resto del territorio, in analogia con la mappa di PGA e di SI1, i valori di SI2 crescono in modo quasi monotono spostandosi da sud-ovest verso nord-est dove i valori sono relativamente elevati ($SI2 > 2.9$). Come descritto sopra in quella zona del territorio comunale, la V_{530} raggiunge i valori minimi in virtù della presenza di un sedime prevalentemente coesivo e poco consolidato. Il centro città ricade nell'intervallo di isolinee di SI2 2.20 - 2.90.



8.5.3.4 Carta di intensità spettrale (SI) intervallo 3 (0.67 Hz - 2 Hz)

La carta di SI3, realizzata alla scala 1:10,000, nel territorio comunale è stata calcolata nel solo tipo-dominio di pianura. La carta mostra valori di amplificazione che variano da un minimo di 1.85 ad un massimo 3.54 (della scala di cui alla Figura 28). La SI3 varia con gradualità spostandosi dai settori di sud-ovest a quelli di nord-est del territorio comunale (Figura 30). Il valore massimo coincide con la zona di valori minimi della V_{s30} nel quadrante posto a nord-est del centro città.

Il gradiente del fattore di amplificazione SI3 è elevato ed il centro città abbraccia un intervallo di isolinee che va da un minimo di 2.40 ad un massimo di 3.30.



9. Confronto con la distribuzione dei danni degli eventi passati

Si presenta di seguito un sintetico resoconto dei terremoti che hanno investito il parmense ed il reggiano (<http://www.protezionecivile.gov.it/>). Per quanto riguarda i terremoti del passato non sono state reperite specifiche testimonianze storiche o documentarie relative a danni subiti dai fabbricati nel territorio comunale.

Terremoto del 15 novembre 1409

Si tratta di un terremoto che ha avuto come area epicentrale la città di Parma e che ha causato danni di lieve entità. La magnitudo (Mw) è stata pari a 5.1.

Terremoto dell'11 giugno 1438

Si tratta di un terremoto che ha avuto area epicentrale nel parmense e che ha causato danni di lieve entità a Parma, Piacenza, Castelnuovo Parmense, Borgo S. Donnino. La magnitudo (Mw) è stata pari a 5.6.

Terremoto del 10 febbraio 1547

Si tratta di un terremoto che ha avuto area epicentrale in vicinanza della città di Reggio Emilia e che ha causato lievi danni in città e nei territori circostanti. La magnitudo (Mw) è stata pari a 5.1.

Terremoto del 9 dicembre 1818

Si tratta di un terremoto che ha avuto area epicentrale nel parmense. La scossa danneggiò alcune case e le chiese di Langhirano, Lesignano dé Bagni, San Michele di Tiorre e Arola, dove ci furono anche 2 vittime. A Parma caddero molti comignoli. La scossa fu sentita fino ad Ancona e Milano. La magnitudo (Mw) è stata pari a 5.3.

Terremoto dell'11 settembre 1831

Si tratta di un terremoto che ha avuto area epicentrale nel reggiano. La scossa fece danni a Parma, Sorbolo, Reggio, Modena e Sassuolo. La magnitudo (Mw) è stata pari a 5.5.

Terremoto del 13 marzo 1832

Si tratta di un terremoto che ha avuto area epicentrale nel reggiano. La scossa fece danni a Parma, Reggio e Castelnuovo di Sotto. La magnitudo (M_w) è stata pari a 5.5.

Terremoto del 4 luglio 1834

Si tratta di un terremoto che ha avuto area epicentrale nell'Appennino Parmense. La scossa fece danni a Parma e S. Vitale di Baganza. La magnitudo (M_w) è stata pari a 5.7.

Terremoto del 4 marzo 1898

Si tratta di un terremoto che ha avuto area epicentrale nella Valle del Torrente Parma. La scossa fu sentita in una vasta area dell'Italia settentrionale, senza vittime e leggeri danni. I danni maggiori si registrarono nella vallata del torrente Parma. Tra le località più colpite furono Barbiano, Langhirano e Vidiana, dove alcune case e la chiesa risultarono inagibili. La magnitudo (M_w) è stata pari a 5.4.

Terremoto del 17 settembre 1937

Si tratta di un terremoto che ha avuto area epicentrale nel parmense. La scossa fu fortemente risentita a Parma e furono danneggiate le località di Mariano, Porporano, San Prospero. La magnitudo (M_w) è stata pari a 4.6.

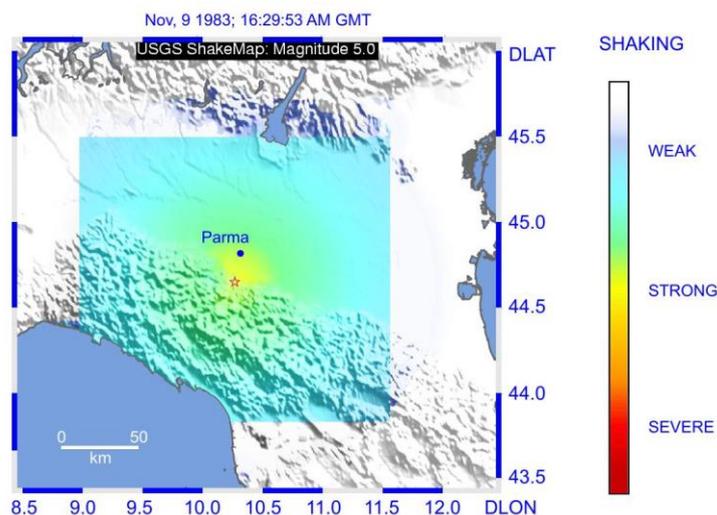


Figura 31. Mappa di scuotimento relativa all'evento del novembre 1983 nel parmense (modificato da USGS).

Terremoto del 15 luglio 1971

Si tratta di un terremoto che ha avuto area epicentrale nel parmense. La scossa provocò danni in un'area ristretta compresa tra le province di Parma e di Reggio Emilia. Le zone più danneggiate si localizzarono sulle due sponde del torrente Enza, e comprendendo i comuni di Casalbaroncolo, Casaltone, Noceto e Sorbolo. La magnitudo (M_w) è stata pari a 5.6.

Terremoto del 9 novembre 1983

Si tratta di un terremoto che ha avuto area epicentrale nel parmense (Figura 31). La scossa provocò danni di media gravità in numerosi centri abitati tra i quali, in area epicentrale, Parma e Collecchio. La magnitudo (M_w) è stata pari a 5.1.

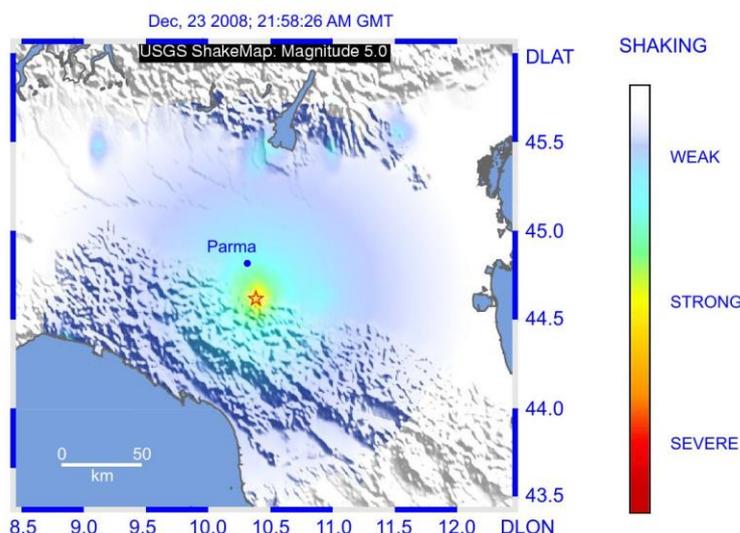


Figura 32. Mappa di scuotimento relativa all'evento del dicembre 2008 nel parmense (modificato da USGS).

Terremoto del 15 ottobre 1996

Si tratta di un terremoto che ha avuto epicentro a Correggio. La scossa provocò diversi danni a edifici, chiese e infrastrutture pubbliche in 33 comuni. Due anziani morirono per il forte shock. A seguito dell'evento fu necessario ordinare anche lo sgombero di alcune abitazioni pericolanti. La magnitudo (M_w) è stata pari a 5.4.

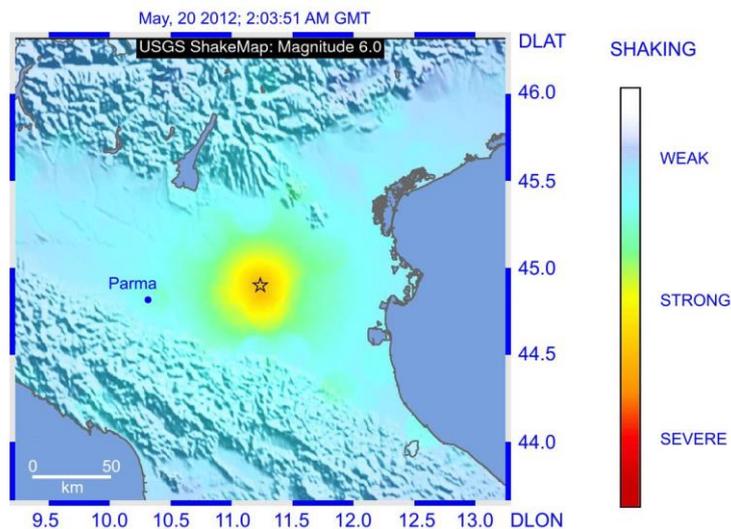


Figura 33. Mappa di scuotimento relativa all'evento del maggio 2012 nel modenese (modificato da USGS).

Terremoto del 23 dicembre 2008

Si tratta di un terremoto che ha avuto area epicentrale nell'Appennino emiliano (Figura 32). Il danneggiamento più diffuso interessò alcune località minori del reggiano e parmense lungo le sponde del torrente Baganza, fra i comuni di Felino, Sala Baganza e Calestano. L'unico centro abitato di dimensioni consistenti con danni significativi, fu quello di Langhirano. La magnitudo (M_w) è stata pari a 5.1.

Terremoto del 20 maggio 2012

Il recente terremoto del 20 maggio 2012 (con replica il 29 dello stesso mese) che ha interessato il modenese, con magnitudo (M) pari a 6.0 e profondità di 6.3 km, con i ben noti e funesti esiti non ha provocato danni rilevanti nel parmense. Le mappe elaborate da USGS (Figura 33) mostrano effetti del tutto trascurabili nel parmense.



10. Considerazioni finali

Lo studio di MS del territorio del comune di Parma ha consentito di approfondire il quadro conoscitivo generale sulle caratteristiche fisiche dei depositi e si inserisce nella cornice degli studi di area medio-vasta. Il territorio presenta una discreta variabilità morfologica mentre il sedime ha una forte variabilità litostratigrafica. Il substrato geologico è molto profondo e le coperture quaternarie, che hanno spessori dell'ordine delle centinaia di metri, sono alquanto differenziate nei caratteri tessiturali in funzione delle condizioni deposizionali, della distanza dal rilievo e della morfologia del substrato controllata in prevalenza dal recente sollevamento appenninico.

Il primo livello di approfondimento trova la sua sintesi nella carta delle MOPS nella quale il territorio è stato classificato in zone stabili suscettibili di amplificazione e zone instabili. Le diverse zone stabili sono sostanzialmente raggruppiabili in due macrounità: materasso ghiaioso affiorante e materasso ghiaioso sepolto con spessori variabili di materiali di copertura. Le zone instabili sono quelle dove i livelli ghiaiosi sono relativamente profondi ed in superficie vi è una predominanza di materiali poco consolidati a tessitura granulare fine o coesiva. Questi materiali hanno caratteristiche tali da poter essere soggetti, in particolari condizioni, a fenomeni di liquefazione. La realizzazione di nuove opere o il miglioramento di opere esistenti dovranno tenere in debita considerazione questa situazione. Gli studi geologici dovranno quindi includere anche degli approfondimenti specifici, di tipo analitico-quantitativo, sulla liquefacibilità dei suoli durante lo scuotimento sismico.

Il secondo livello di approfondimento trova la sua sintesi nelle carte dei fattori di amplificazioni (PGA, S11, S12 ed S13). Queste carte sono state costruite secondo un percorso guidato sulla base degli abachi predisposti dalla Regione Emilia-Romagna. La particolare stratigrafia del sottosuolo nel territorio comunale, anche con forti contrasti di proprietà sismiche, determina condizioni anche di importante amplificazione stratigrafica con valori che superano anche il limite di 3 per l'intervallo spettrale S13. Da un punto di vista meramente progettuale vi è la possibilità di definire questi fattori con maggior precisione conducendo specifici studi di risposta sismica locale. Tali studi sono auspicabili e sarà interesse del progettista richiederli in quanto riduzioni, anche di pochi decimali, dei fattori di



amplificazione hanno una immediata trasposizione in termini di onerosità economica della componente strutturale del progetto stesso.

Il dato sismico, acquisito nel corso del presente progetto, è infatti di tipo parametrico-quantitativo e benchè articolato su un numero relativamente ridotto di stazioni di misura ben rappresenta la variabilità del territorio. I dati sismici, unitamente alla rielaborazione dei dati lito-stratigrafici esistenti, rappresentano il cuore ed il valore intrinseco dello studio di MS ed arricchiscono la base informativa in funzione dei futuri approfondimenti conoscitivi non solo in chiave sismica ma anche in chiave geotecnica ed idrogeologica.

Le indagini geognostiche disponibili per il territorio del comune di Parma sono innumerevoli e spesso raggiungono profondità interessanti rappresentando un dato di notevole valore, anche economico qualora riutilizzato per altre finalità. Questi dati necessiterebbero comunque di una ri-organizzazione e soprattutto di una omogenizzazione per essere fruibili in modo efficiente sotto forma di base dati per qualsivoglia progetto applicativo che, in un futuro breve o medio, implichi l'utilizzo della risorsa sottosuolo. La parametrizzazione di molte verticali ha consentito di "etichettare" la maggior parte dei corpi deposizionali in chiave sismica, lo studio andrebbe comunque completato con altri dati, questo sarebbe possibile, senza aggravii di costo, prescrivendo specifici formati di indagine nei rilievi tecnici necessari per le nuove opere.

È importante infine sottolineare come lo studio di MS sia stato progettato e condotto con finalità principalmente pianificatorie e quindi che la scala di studio, come pure la rete di misura, hanno un carattere regionale con la principale finalità di caratterizzazione, da un punto di vista sismico, di quei corpi deposizionali che costituiscono il suolo ed il sottosuolo del territorio comunale. Lo studio, ha quindi una valenza generale e deve servire come guida per un corretto approfondimento delle conoscenze locali. Le indagini di legge, previste per le singole opere di ingegneria civile, da effettuare in situ, non devono in nessun modo essere sostituiti dal presente documento.



Bibliografia essenziale

Ambiter Srl, 2006, Relazione geologica per il Piano Strutturale Comunale – PSC, 69 pp.

Andrus, R., D., Piratheepanb, P., Ellisc, B., S., Zhanga, J., and Juang, C., H., 2004, Comparing liquefaction evaluation methods using penetration–VS relationships. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 24, 713–721.

Bard, P.-Y., 1998, Microtremor measurements: a tool for site effect estimation? *Proceeding of the Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion*. Yokohama, Japan, pp. 1251–1279.

Bernini, M. and Papani, G., 1987, Alcune Considerazioni Sulla Struttura Del Margine Appenninico Emiliano Fra Lo Stirone E L'Enza (e sue relazioni Con il sistema del F. Taro). *L'Ateneo Parmense – Acta Naturalia*, 23, 219–240.

Boccaletti, L., and Martelli, L., (a cura di), 2004, Note illustrative della carta Sismotettonica della Regione Emilia–Romagna alla scala 1:250.000, Regione Emilia–Romagna, servizio geologico, sismico e dei suoli, SELCA, Firenze, 60 pp.

Calabrese, L., 2009, Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 181 – Parma nord. Regione Emilia–Romagna, 76 pp.

Di Dio, G., 1996, La nuova carta geologica della Provincia di Parma in scala 1:50.000: presupposto fondamentale per lo studio della geometria e della ricarica degli acquiferi. In: Alifracco G. (a cura di), *L'Acquifero Parmense – Relazione Annuale 1995*, vol. 2, Amministrazione Provinciale di Parma, Assessorato Ambiente e Difesa del Suolo, 215–224.

Di Dio G., Lasagna S., Preti D. and Sagne M., 1997, Stratigrafia dei depositi quaternari della Provincia di Parma. *Boll. Soc. Paleont. Ital.*, 35, 181–189.

Di Dio, G., 1998, Applicazione di concetti e metodi della stratigrafia fisica alla ricerca di risorse idriche nel sottosuolo: l'idrostratigrafia sequenziale del bacino idrogeologico della pianura emiliano–romagnola. *Giornale di Geologia, Serie 3a*, 60: 35–39.

DISS Working Group, 2015, Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0.



Di Dio, G., Lasagna, S., Martini, A., e and Zanzucchi, G., 2005, Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 199 – Parma sud. Regione Emilia–Romagna, 180 pp.

Froldi, G., 2000, Studio e rilievo idrogeologico dei pozzi sul territorio comunale di Parma, Relazione inedita.

Greggio, S., 2016, Caratterizzazione sismo–deposizionale della fascia pedemontana orientale della provincia di Treviso, Tesi di laurea magistrale inedita, Università di Padova.

Housner, G., W., Martel, R., R., and Alford, J., L., 1953, Spectrum analysis of strong–motion earthquakes, Bulletin of the Seismological Society of America, 43, 97–119.

Joyner, W., B., Warrick, R., E., and Fumal, T., E., 1981, The effect of Quaternary alluvium on strong ground motion in the Coyote Lake, California, earthquake, 1979, Bulletin of the Seismological Society of America, 71, 1333–1349.

Louie, J., 2001, Faster, better; shear–wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays, Bulletin of the Seismological Society of America, 91, 347–364.

Meletti C., and Valensise G. (2004). Zonazione Sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo, Appendice 2 al documento “Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica prevista dall’Ordinanza PCM del 20 marzo 2003, n. 3274, All.1 – Rapporto Conclusivo, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>.

Nakamura, Y., 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Quaterly Report Railway Tech. Res. Inst., 30, 25–30.

Nakamura, Y., 2000, Clear identification of fundamental idea of Nakamura’s technique and its applications, Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand.

Nogoshi, M. and Igarashi, T., 1971, On the Amplitude Characteristics of Microtremor (Part 2) (in Japanese with English abstract), Jour. Seism. Soc. Japan, 24, 26–40.

NTC – Norme tecniche per le costruzioni 2008, Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008, 428 pp.

Pieri, M., and Groppi, G., 1981, Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy, In Progetto Finalizzato Geodinamica, C.N.R., Publ. 414.

Pizziolo, M., Segadelli, S., and Vaiani, S., C., 2005, Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 200 – Reggio nell’Emilia, Regione Emilia–Romagna, 76 pp.



Provincia di Parma, 2008, Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale –PTCP, 661 pp.

Regione Emilia–Romagna & ENI–AGIP, 1998, Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia–Romagna. A cura di G. Di Dio. S.EL.CA., Firenze, 120 pp.

Robertson, P. K., CE (Fear) Wride, 1998, Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test, *Canadian Geotechnical Journal*, 35(3): 442–459, 10.1139/t98–017.

Sesame Team, 2004, EU project SESAME, Deliverable D23.12 – WP12 – Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.

Stokoe, K.H., Wright, S.G., Bay, J.A., and Roesset, J.M., 1994, “Characterization of Geotechnical Sites by SASW Method,” Technical Review: Geophysical Characterization of Sites, ISSMFE Technical Committee 10, edited by R.D. woods, Oxford Publishers, New Delhi.