

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna Comune di Reggio Emilia



Regione	Soggetto realizzatore Dott. geol. Stefano Castagnetti 	Data GIUGNO 2013
---------	--	----------------------------

hanno collaborato:

- **Responsabile**

dott. ing. MARIA SERGIO

- **Soggetto realizzatore**

dott. geol. STEFANO CASTAGNETTI

- **Collaboratori**

dott. geol. MARCO BALDI

dott. geol. LORENZO BURATTI

- **Supporto logistico e coordinamento uffici**

dott. ing. ANNA PRATISSOLI

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
2.	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	5
3.	ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	10
4.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	15
5.	MODELLO DEL SOTTOSUOLO	16
6.	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	25
7.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	27
8.	ELABORATI CARTOGRAFICI	29
9.	APPROFONDIMENTI DI 3° LIVELLO	51
10.	CONFRONTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI....	82
11.	BIBLIOGRAFIA	83
12.	ALLEGATI	84

1. INTRODUZIONE

Su incarico del Comune di Reggio Emilia¹ (Provincia di Reggio Emilia) è stato eseguito uno studio di analisi del rischio sismico, finalizzato alla MICROZONAZIONE SISMICA del territorio comunale – SECONDO LIVELLO di approfondimento, con locali approfondimenti di TERZO LIVELLO.

Lo studio è stato realizzato nel rispetto delle seguenti disposizioni normative:

- Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, c. 1, della L.R. 20/2000 per *"Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"* approvato con Delibera dell'Assemblea Legislativa Regione Emilia-Romagna n° 112 del 2 maggio 2007;
- Ordinanza Presidenza Consiglio dei Ministri 29 febbraio 2012, n° 4007 *"Attuazione dell'art. 11 del decreto-legge 28 aprile 2009, n° 39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n° 77. Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'anno 2011"*;
- D.G.R. 10 settembre 2012, n° 1302: *"Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 4007/2012 a favore degli Enti locali"* e relativi allegati tecnici e successiva D.G.R. n° 1514/2012.

Per gli aspetti tecnici si è altresì fatto riferimento al documento *"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"* (ICMS) approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni².

Tutte le fasi del lavoro sono state condotte in stretto raccordo con il Dirigente e con i Funzionari del Servizio Pianificazione e Qualità Urbana del Comune di Reggio Emilia.

L'analisi di carattere generale è stata sviluppata ed estesa all'intero territorio comunale, mentre le indagini sono state limitate al Capoluogo e ai principali centri abitati (Bagno, Canali, Cella, Codemondo, Fogliano, Gavassa, Masone, Massenzatico, Prato Fontana, Rivalta, Roncocesi e Villa Cadè) e ai corridoi infrastrutturali (Fig.1), che si sviluppano nei settori centrale e orientale del territorio, in cui è rispettivamente prevista la realizzazione del nuovo tratto della Tangenziale di Reggio Emilia e la nuova Tangenziale di Rubiera, con interessamento dei Comuni limitrofi di Casalgrande e Rubiera.

¹ Determina Dirigenziale PG n° 22668 del 22/11/2012

² Gruppo di lavoro MS, 2008. *"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"*. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. (http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833)

Il presente studio fa seguito allo Studio geologico-ambientale realizzato nel 2008 a corredo del Quadro Conoscitivo del redigendo Piano Strutturale Comunale e a due successivi Studi di Microzonazione Sismica di secondo livello, rispettivamente condotti nel 2009 e 2010 dallo scrivente professionista, limitatamente agli ambiti per i quali erano previste significative trasformazioni urbanistiche da parte del nuovo strumento urbanistico. Tali studi vennero realizzati nel rispetto della normativa regionale e delle prescrizioni del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Reggio Emilia.

In occasione del primo stralcio (2009) furono indagati i seguenti ambiti: Comparto Polo Funzionale, Comparto Officine Reggiane, Comparto Mancasale Nord, Comparto Prato – Gavassa e Comparto Pratofontana.

Nel corso del secondo stralcio (2010) furono indagati i seguenti ambiti: Comparto “Polo della Cultura”, Comparto residenziale Parco Ottavi, Comparto residenziale Fogliano, Area residenziale Acque Chiare, Area residenziale Bagno (Masone), Comparto residenziale Cadè, Area residenziale Codemondo, Area residenziale Reggia di Rivalta e Area residenziale Roncocesi.

Gli obiettivi del presente lavoro possono essere così riassunti:

- a) definizione del modello geologico di base per la microzonazione sismica
- b) analisi delle condizioni di pericolosità del territorio comunale, individuazione delle aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica e definizione degli effetti attesi;
- c) determinazione delle frequenze naturali dei terreni, ai fini della individuazione di fenomeni di risonanza significativi;
- d) suddivisione dettagliata del territorio, in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità sismica;
- e) conferma o migliore definizione delle aree, indicate dal primo livello di approfondimento, in cui si ritengono eventualmente necessari approfondimenti di terzo livello, con indicazione delle indagini e delle analisi da effettuare;
- f) valutazione più approfondita della risposta sismica locale, in termini di amplificazione e/o stima degli indici di rischio, in aree soggette a liquefazione ed in aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico³.

Tutte le attività sono state svolte nel rispetto delle specifiche di cui agli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” elaborati dalla Commissione Tecnica per il

³ La valutazione della risposta sismica locale va eseguita anche nelle aree instabili e potenzialmente instabili e nelle aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, ma tale condizione non ricorre sul territorio comunale di Reggio Emilia.

monitoraggio degli studi di microzonazione sismica (OPCM 3907/2010, art. 5, comma 7), versione 2.0beta del maggio 2012.

A corredo dello studio di MS è stata condotta l'ANALISI DELLA CONDIZIONE LIMITE DELL'EMERGENZA (CLE) dell'insediamento urbano, nel rispetto degli standard di rappresentazione e archiviazione informatici, di cui al Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile 27.4.2012, n° 1755.

Gli elementi censiti sono stati acquisiti dalla bozza del Piano Comunale di Protezione Civile del Comune di Reggio Emilia, dalla pianificazione provinciale di emergenza predisposta dalla Provincia di Reggio Emilia e dai rilievi sul territorio.

Si sottolinea il limitato e insufficiente numero di aree ad uso emergenza sin qui individuate dalla bozza di Piano Comunale, in particolare per quanto riguarda la destinazione ad accoglienza e ricovero, mentre per quanto concerne l'ammassamento soccorsi, l'ampia area del Campovolo e il Polo logistico realizzato presso l'ex cantiere TAV di Villa Cella soddisfano adeguatamente le esigenze.

Lo studio in oggetto ha comunque rappresentato un'occasione per aprire un confronto interno al Comune di Reggio Emilia, circa l'opportunità di individuare ulteriori aree di ricovero distribuite sul territorio comunale ed in particolare nei vari quartieri del Capoluogo esternamente ai viali di circonvallazione. Tale individuazione sarà facilitata dalla presenza e disponibilità sul territorio comunale di numerose aree verdi e sportive di ampie dimensioni, di proprietà comunale, già dotate dei servizi di base e facilmente connesse alla viabilità principale.

Per quanto riguarda gli edifici interferenti sulle infrastrutture di accessibilità e di connessione, sono stati individuati e censiti tutti i fabbricati lungo le direttrici stradali di collegamento, con esclusione del tratto di via Emilia in attraversamento del centro storico (via Emilia all'Angelo e via Emilia S. Pietro), in quanto in caso di evento sismico di rilevante intensità, è verosimile attendersi l'istituzione di una "Zona rossa" all'interno dei viali di circonvallazione. Inoltre va ricordato che la pianificazione di protezione civile ha individuato le strutture per la gestione dell'emergenza (CUP-CCS e COC) in edifici collocati esternamente al centro storico.

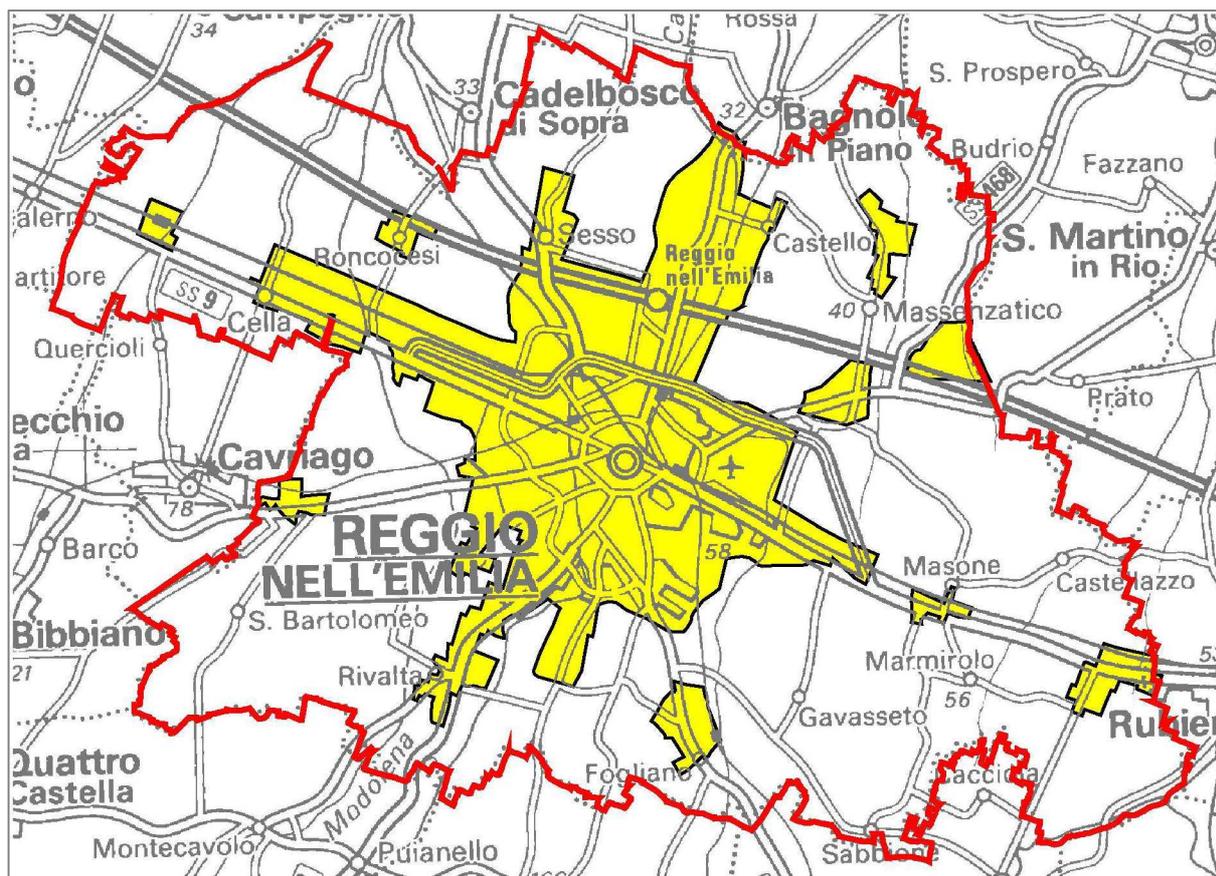


Fig. 1 – Aree oggetto dello studio di microzonazione sismica

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

La fascia di territorio in cui ricade il Comune di Reggio Emilia si inserisce in un vasto contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica di tipo compressivo, conseguenza della convergenza tra la placca africana che si muove verso nord-est e la placca euro-asiatica.

Gli studi sulla pericolosità sismica promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio nazionale denominata "ZS9" (Fig. 2), che prevede l'individuazione di 36 "zone-sorgente", i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e di differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc..

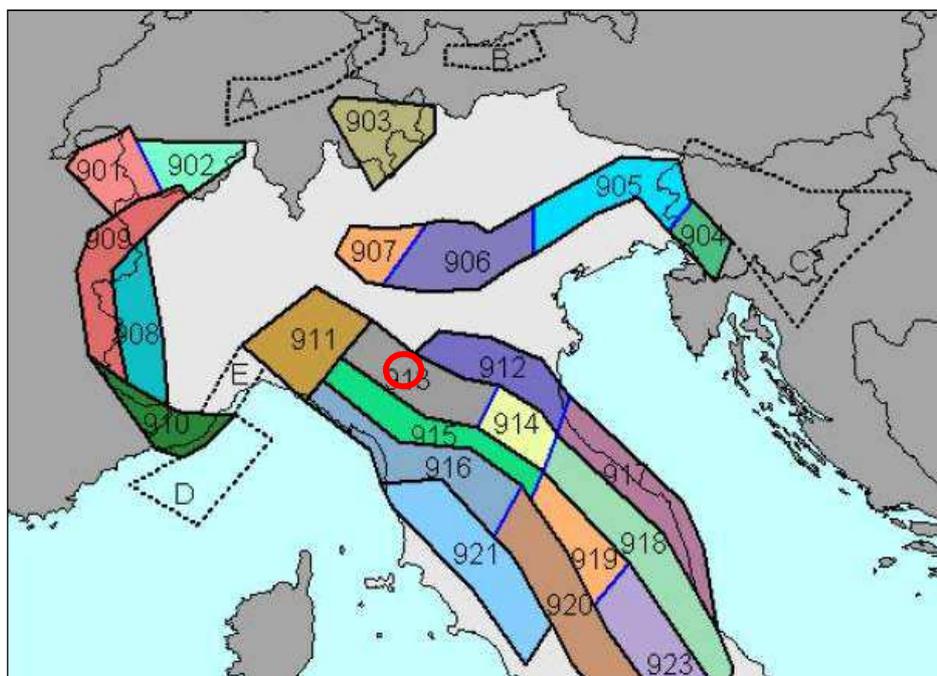


Fig. 2 – Zonazione sismogenetica ZS9. Da: "Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica – Rapporto conclusivo, aprile 2004" – INGV. Il cerchio rosso individua approssimativamente il territorio del Comune di Reggio Emilia

Il territorio del Comune di Reggio Emilia ricade nella zona sismogenetica "913", denominata "Appennino Emiliano", nei pressi del limite con la zona sismogenetica "912" denominata "Dorsale Ferrarese".

La ZSS 913 è caratterizzata da terremoti di magnitudo medio-bassa, originati da movimenti prevalentemente compressivi NW con meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo, che dissecano la continuità longitudinale delle strutture sepolte attive. Il maggior numero di terremoti che si verificano in questa zona, presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 12 e 20 km e i valori di magnitudo massima previsti, sulla base dei meccanismi focali, sono pari a $M_{wmax} = 5,91$.

Viceversa la zona 912 rappresenta la porzione più esterna, sepolta dai sedimenti alluvionali, della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale, ed è caratterizzata da terremoti che avvengono in genere a profondità comprese tra 5 e 8 km. Sulla base dei meccanismi focali, i valori di magnitudo massima previsti sono pari a $M_{wmax} = 6,14$.

Dall'analisi della Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale elaborata dall'INGV nel 2004 (Fig. 3) si può osservare che il territorio del Comune di Reggio Emilia si colloca in un areale, in cui si possono registrare valori di accelerazione massima del suolo pari a $0.125 \div 0.175$ g, con un tempo di ritorno (T_r) pari a circa 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

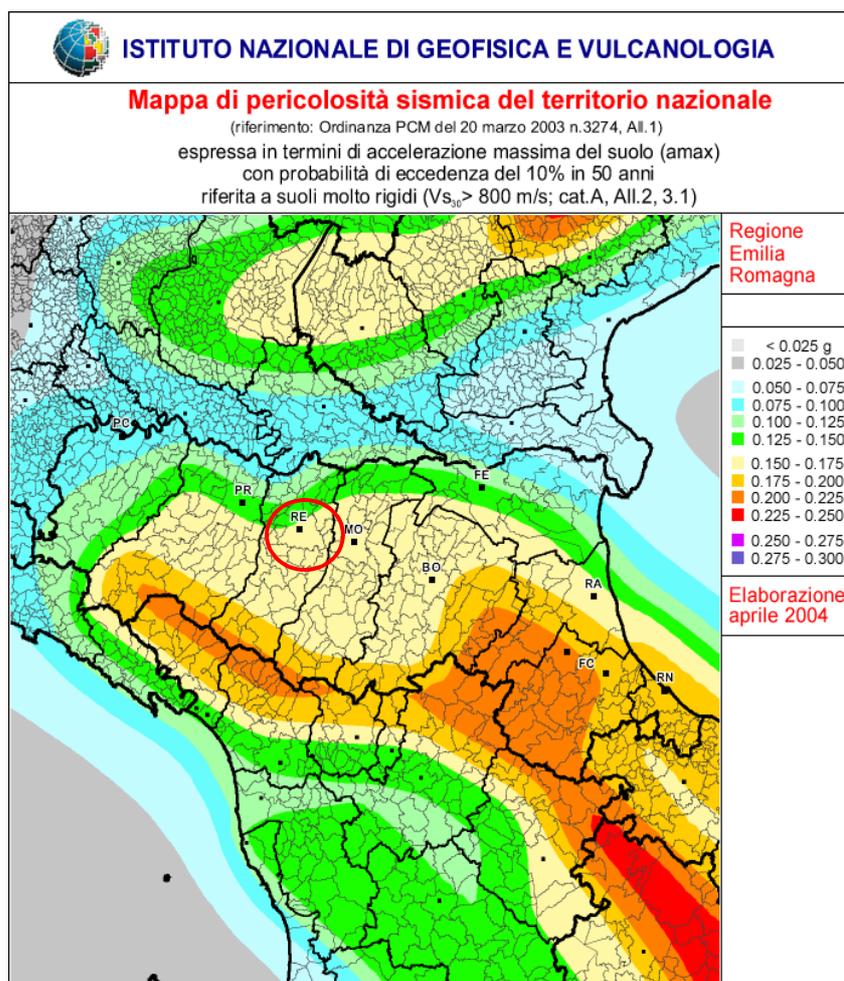


Fig. 3 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV). Dettaglio per la Regione Emilia-Romagna. L'ubicazione del Comune di Reggio Emilia è evidenziata dal cerchio rosso

Tali valori sono coerenti con quanto riportato nell'Allegato A2 della DAL Regione Emilia-Romagna 112/2007, che attribuisce al Comune di Reggio Emilia un valore di accelerazione di picco al suolo a_g (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) di 0.157 g.

In Fig. 4 si riporta il risultato della consultazione tramite il sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it> della mappa probabilistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa su una griglia regolare a passo 0.05° relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da $a(g)$ (accelerazione orizzontale massima del suolo).

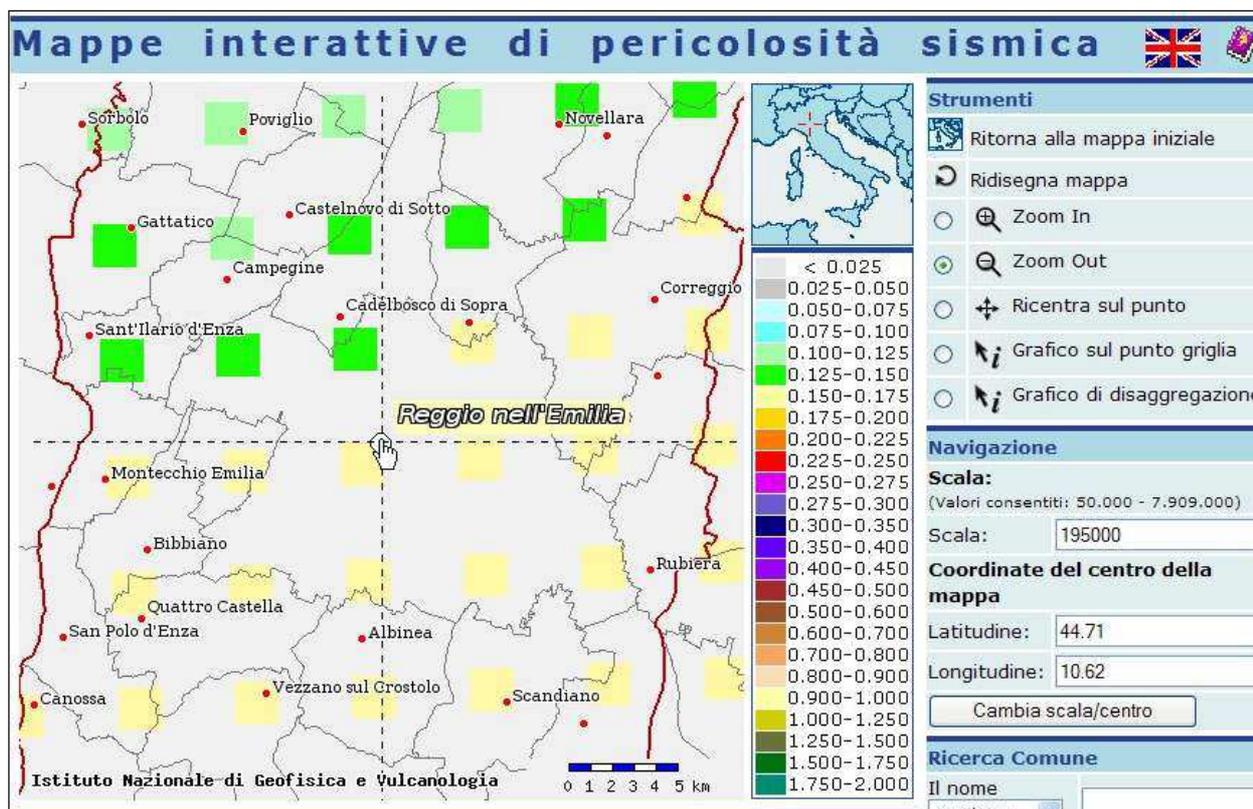


Fig. 4 – Stralcio della Mappa di pericolosità sismica del Comune di Reggio Emilia espressa in termini di $a(g)$ per un Tempo di ritorno di 475 anni

L'areale in cui ricade Reggio Emilia presenta una sismicità propria di livello medio-basso, connessa all'attività del margine appenninico reggiano ed inoltre risente di terremoti prodotti da zone sismogenetiche relativamente distanti quali la "Dorsale ferrarese", il margine appenninico parmense e modenese, il Lago di Garda e la Garfagnana.

Tale situazione è confermata dalla consultazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti (PTI11) e relativo database macrosismico (DBMI11). L'estrazione eseguita con riferimento alla vicina città di Reggio Emilia tra l'anno 1000 e il 2006 (Tab. 1 e Fig. 5) ha restituito numerosi eventi, che hanno prodotto un significativo risentimento sulle strutture antropiche.

Is	data	epicentro	Io	Mw
8	1547 02 10 13:20	Reggio Emilia	7	5.14 ±0.34
7	1671 06 20 10:00	Modena-Reggio Emilia	7	5.25 ±0.72
7	1831 09 11 18:15	Reggiano	7-8	5.54 ±0.32
7	1832 03 13 03:30	Reggiano	7-8	5.53 ±0.18
6-7	1988 03 15 12:03:18	Reggiano	6	4.66 ±0.12
6-7	1465 04 07 15:30	Pianura Padana	5-6	4.51 ±0.34
6-7	1608 01 06 22:20	Reggio Emilia	5-6	4.51 ±0.34
6-7	1806 02 12	NOVELLARA	7	5.19 ±0.39
6-7	1811 07 15 22:44	SASSUOLO	6-7	5.25 ±0.40
6-7	1857 02 01	PARMENSE	6-7	5.09 ±0.25
6-7	1873 05 16 19:35	REGGIANO	6-7	5.09 ±0.59
6-7	1915 10 10 23:08	REGGIO EMILIA	6	5.02 ±0.22
6-7	1971 07 15 01:33:23	Parmense	8	5.64 ±0.09
6	1501 06 05 10:00	Appennino modenese	9	5.98 ±0.32
6	1505 01 03 02:00	Bolognese	8	5.57 ±0.25
6	1591 05 24	REGGIO EMILIA	6	4.72 ±0.34
6	1810 12 25 00:45	NOVELLARA	6	5.29 ±0.22
6	1831 07 14 15:30	Reggiano	5-6	4.69 ±0.44
6	1918 05 06 08:05	Reggiano	5-6	4.52 ±0.69
6	1983 11 09 16:29:52	Parmense	6-7	5.06 ±0.09
6	1987 05 02 20:43:53	Reggiano	6	4.74 ±0.09
6	1996 10 15 09:56:02	Correggio	7	5.41 ±0.09
5-6	1222 12 25 12:30	Basso Bresciano	7-8	5.84 ±0.56
5-6	1547 03 24	Reggio Emilia		
5-6	1914 10 27 09:22:36	Garfagnana	7	5.76 ±0.09
5-6	1967 04 03 16:36:18	Reggiano	5-6	4.69 ±0.19
5-6	2000 06 18 07:42:08	Parmense	5-6	4.43 ±0.09

Tab. 1 – Storia sismica di Reggio Emilia tra il 1000 e il 2006.

(M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11> - parzialmente modificato)

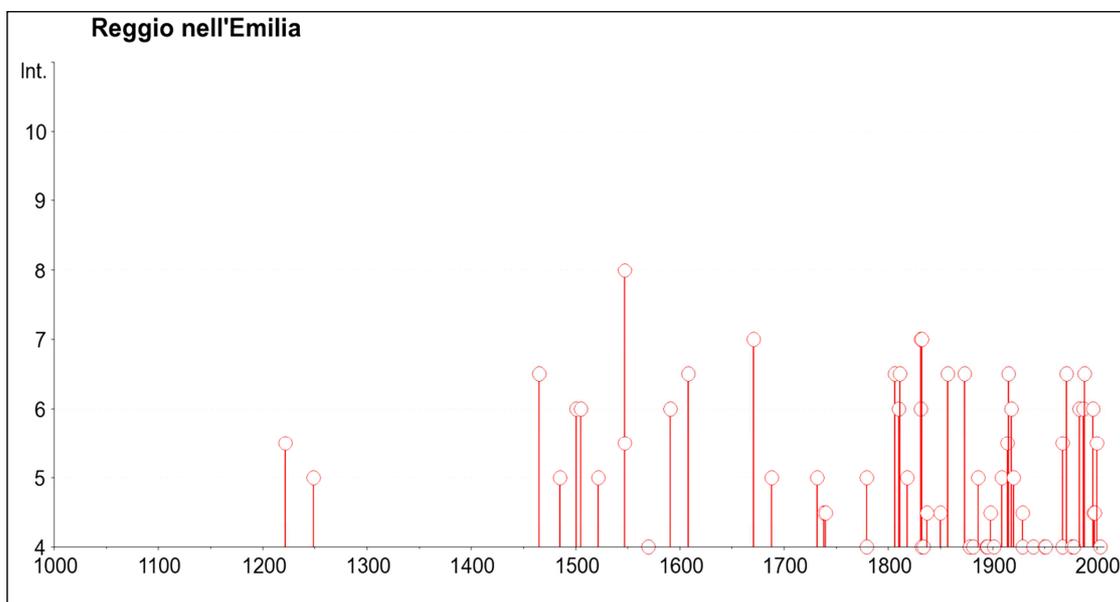


Fig. 5 - Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Reggio Emilia tra il 1000 e il 2006 di cui alla Tab. 1. (M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>)

Per quanto concerne il profilo normativo, a seguito dell'emanazione dell'Ordinanza PCM n° 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i., il Comune di Reggio

Emilia è stato classificato sismico in **ZONA 3**⁴, in quanto ricadente in aree ad elevato rischio sismico, di cui alla precedente Ordinanza DPC n° 2788/98.

La classificazione di cui sopra è riprodotta in Fig. 6 in cui i comuni classificati sismici in zona 2 sono rappresentati con il colore arancione in caso di nuova classificazione oppure azzurro, qualora sia stata confermata la precedente classificazione; i comuni classificati sismici in zona 3 sono rappresentati con il colore giallo ed infine i comuni sismici in zona 4 con il bianco.

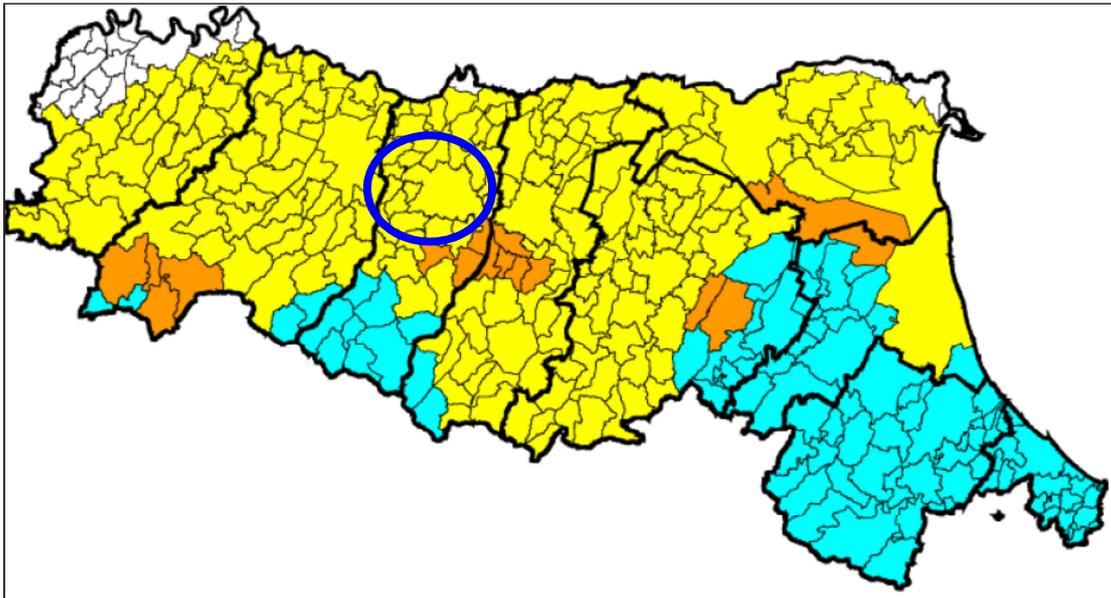


Fig. 6 – Riclassificazione sismica dell'Emilia-Romagna a seguito dell'OPCM n° 3274/2003. Regione Emilia-Romagna – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli. Il cerchio blu individua il territorio del Comune di Reggio Emilia.

⁴ L'OPCM 3274/2003 suddivide i Comuni in 4 "ZONE" sismiche, di cui la zona 1 corrisponde al livello di rischio più elevato, mentre la zona 4 corrisponde al livello di rischio più basso. In precedenza i comuni sismici erano suddivisi in 3 "CATEGORIE" distinte con il medesimo criterio.

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

La pianura emiliano-romagnola è il risultato del riempimento del Bacino Perisuturale Padano, vasta depressione delimitata a cintura dai rilievi appenninici ed alpini, avvenuto attraverso un potente accumulo di depositi marini ed alluvionali di età pliocenica e quaternaria.

L'attuale strutturazione del bacino trae origine dalle spinte deformative che, a partire dal Miocene superiore, hanno coinvolto l'Appennino Settentrionale e l'antistante substrato padano, provocandone la deformazione secondo un modello generale a falde sovrapposte ed embrici NE vergenti (Pieri & Groppi, 1982).

Il riempimento del bacino è costituito da una successione di depositi a carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali. Tale riempimento non è avvenuto in maniera progressiva e continua, ma è il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di marcata subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.

L'interpretazione dei profili sismici eseguiti nel corso degli anni dall'AGIP (Di Dio, 1997) ha permesso di riconoscere due direzioni di progradazione: la prima, assiale, est-vergente, connessa al paleodelta del Po; la seconda, trasversale, nord-vergente, originata dai sistemi deltizi ad alimentazione appenninica.

Sulla base dei moderni concetti di stratigrafia sequenziale, ossia del metodo stratigrafico che utilizza le discontinuità e le superfici di continuità ad esse correlabili per suddividere la successione sedimentaria in sequenze deposizionali, nell'ambito dei depositi quaternari del margine appenninico padano e dell'antistante pianura sono state riconosciute due sequenze principali (Fig. 7), in risposta ad altrettanti eventi tettonici di sollevamento regionale, così denominate:

- **SUPERSINTEMA DEL QUATERNARIO MARINO** (affiorante nella fascia collinare)
- **SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO**

L'organizzazione verticale delle facies di questi sistemi deposizionali è costituita dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria fine, con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana, indotta dalle disattivazioni e dalle successive riattivazioni dei sistemi deposizionali.

All'interno delle sequenze deposizionali principali (Supersintemi) sono state distinte sequenze di rango inferiore, denominate Sintemi, delimitate da superfici di discontinuità indotte da eventi tettonici minori a carattere locale e/o da oscillazioni climatico-eustatiche; a loro volta i Sintemi vengono suddivisi in unità minori (Subsintemi e Unità).

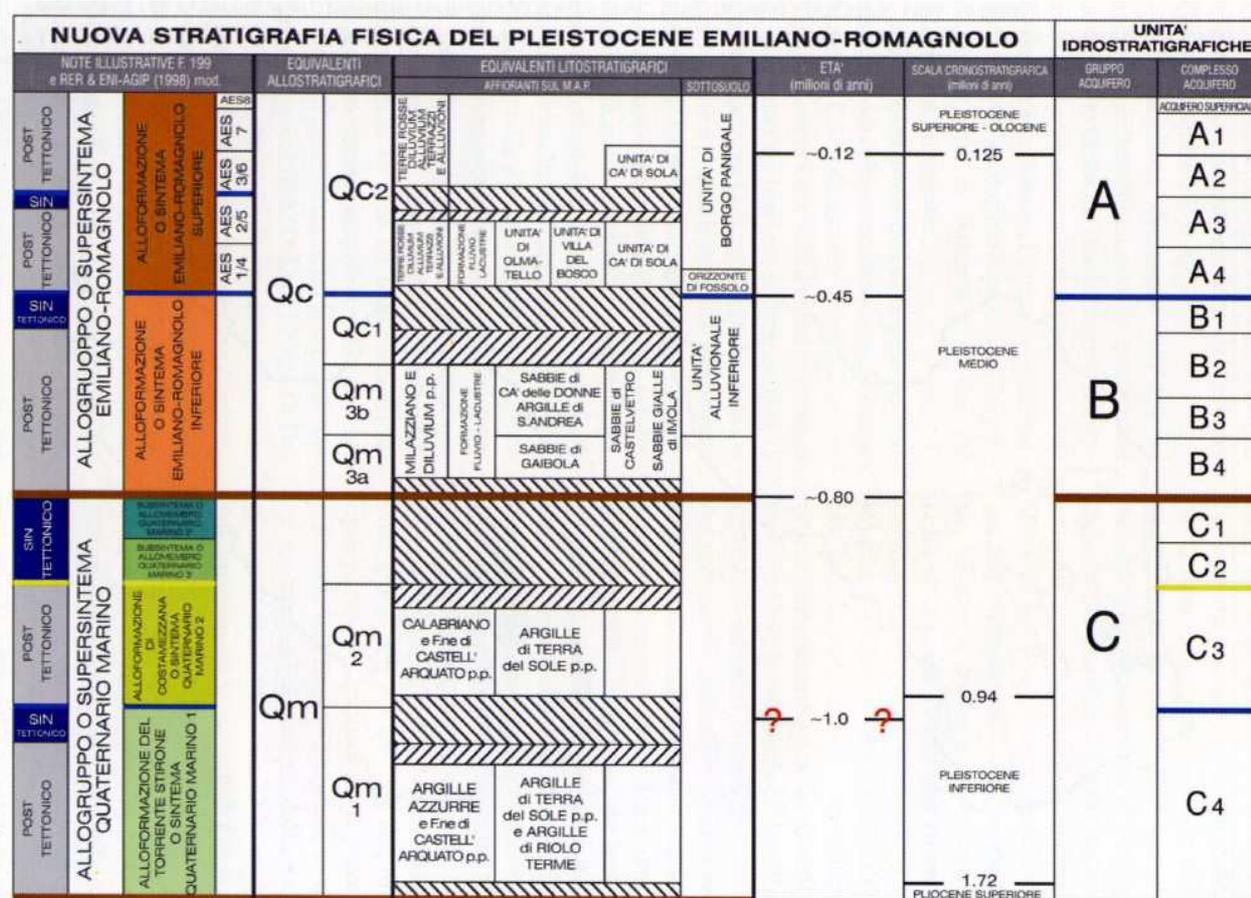


Fig. 7 - Schema geologico-stratigrafico e idrostratigrafico del Bacino Pleistocenico della Pianura Emiliano-Romagnola. (G. Di Dio, 2001)

Il Supersistema Emiliano-Romagnolo, è composto da due unità principali: una unità inferiore, denominata "Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore" ed un'unità superiore detta "Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore", separate da una superficie di discontinuità stratigrafica, individuata in affioramento e seguita nel sottosuolo tramite l'interpretazione dei profili sismici.

Il Supersistema Emiliano-Romagnolo giace in discordanza sul Supersistema Quaternario Marino, di età Pliocene superiore (?) - Pleistocene inferiore, il quale risulta costituito da terreni parali e marini, che si sono depositi al di sopra di una estesa superficie di discontinuità al termine di un evento di sollevamento tettonico di importanza regionale.

I depositi affioranti nel territorio comunale sono costituiti da sedimenti alluvionali riferibili alla deposizione operata nel tempo dai corsi d'acqua di provenienza appenninica, nello specifico (da ovest verso est) il T. Enza, il T. Modolena, il T. Crostolo, il T. Rodano e il T. Tresinaro⁵, che hanno dato origine a conoidi coalescenti, con ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali e limi prevalenti o comunque abbondanti nelle aree di interconoide.

⁵ Nel XII-XIII secolo il T. Tresinaro è stato oggetto di un intervento di deviazione che lo ha portato a confluire nel F. Secchia a monte dell'abitato di Rubiera.

I depositi affioranti risultano costituiti da alternanze di litofacies argillose, limose e ghiaiose a stratificazione lenticolare e cuneiforme, la cui granulometria è in stretto rapporto con l'energia delle correnti fluviali che le hanno originate: i sedimenti grossolani sono il risultato di una deposizione avvenuta in ambiente di canale fluviale, mentre quelli fini di una sedimentazione per tracimazione avvenuta in zone distali dall'alveo attivo (piana alluvionale).

Con riferimento alla nuova “*Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna – Progetto CARG*”, i depositi affioranti negli areali (Fig. 8) di studio sono attribuiti al Supersistema Emiliano-Romagnolo e possono essere così distinti:

- *Subsistema di Ravenna – Unità di Modena* (Olocene): ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso-argillosa. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore;
- *Subsistema di Ravenna* (Pleistocene sup. – Olocene): ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura di limi argillosi. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 m;
- *Subsistema di Villa Verucchio - Unità di Niviano* (Pleistocene sup.): depositi continentali ghiaioso sabbiosi dei terrazzi intravallivi e di conoide dei fiumi principali, e limosabbiosi dei torrenti minori. Al tetto suoli decarbonatati, a luoghi rubefatti, con fronte di alterazione < 5 metri, orizzonti superficiali con colore variabile a seconda della litologia da rosso bruno a giallo bruno. Contatto inferiore in discontinuità su unità più antiche. Contatto superiore coincidente con la superficie topografica nelle aree intravallive e pedecollinari, sepolto da AES7b e AES8 nell'alta pianura. Potenza affiorante < 10 m o non valutabile;
- *Subsistema di Villa Verucchio - Unità di Vignola* (Pleistocene sup. – Olocene basale): Ghiaie con matrice limo-sabbiosa in prossimità dei torrenti e fiumi principali, passanti distalmente e lateralmente a limi e limi sabbiosi. Depositi fluviali intravallivo e di conoide passante lateralmente a interconoide e distalmente a piana inondabile. Al tetto suoli decarbonatati con tracce di illuviazione di argilla e fronte di alterazione tra 1,5 e 2 m, orizzonti superficiali di colore da rosso bruno a bruno scuro. Potenza fino a oltre 20 m.

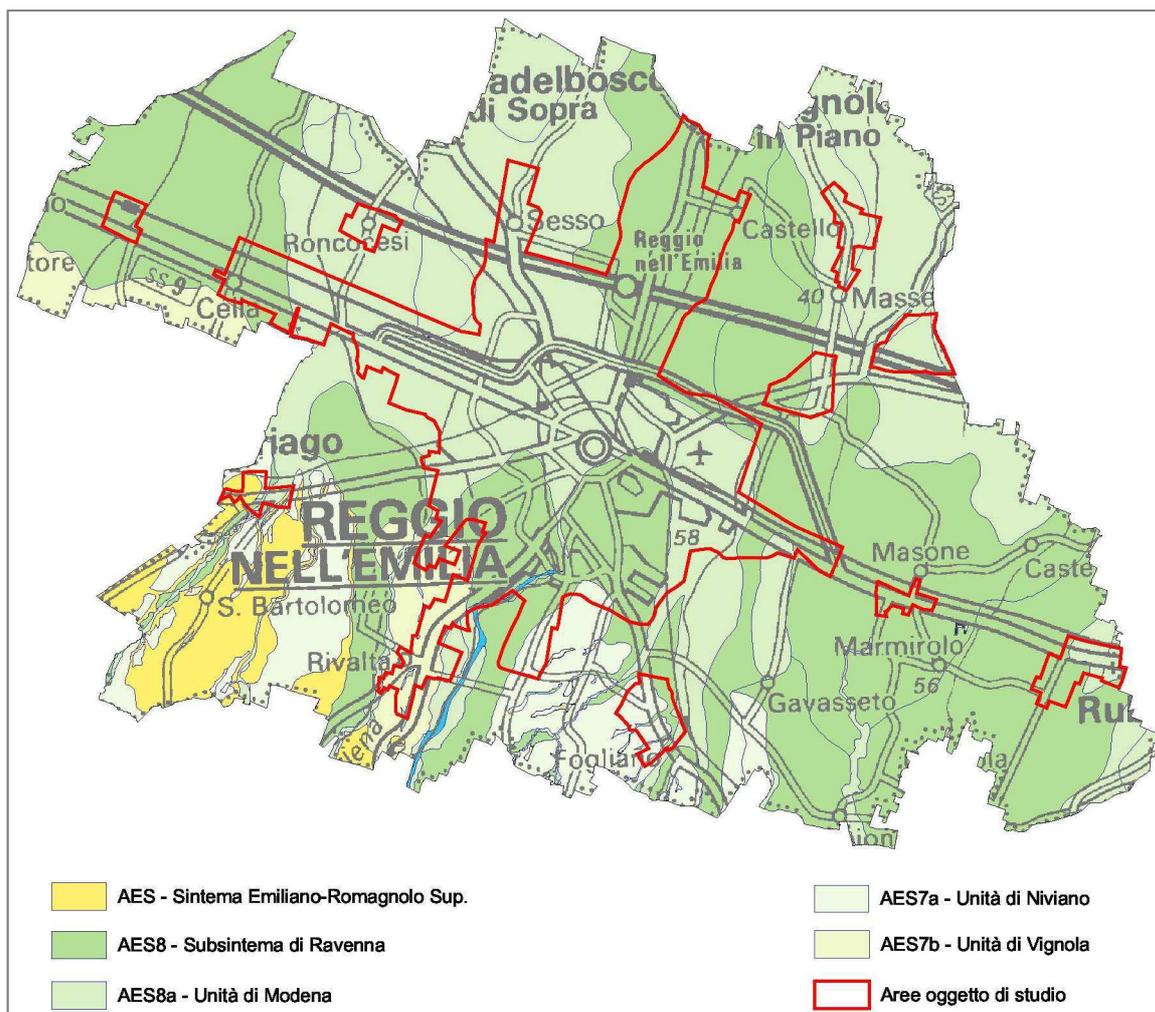


Fig. 8 – Carta geologica (Fonte: Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – Regione Emilia-Romagna)

Il materiale sedimentato ha subito intensi processi di consolidazione, comunemente noti come fenomeno della subsidenza, che interessa l'intero bacino padano. Tale fenomeno è ancora più accentuato nei contesti urbani, quale è la città di Reggio Emilia, laddove si è assistito alla sovrapposizione di livelli antropici nel corso dei secoli, accompagnati da interventi di drenaggio e bonifica delle acque superficiali e, in particolare dal dopoguerra, con importanti prelievi di acque sotterranee.

L'esame dei dati bibliografici, relativi a studi condotti sull'areale del centro storico della città, evidenzia la presenza di un orizzonte superficiale, caratterizzato dalla presenza di reperti archeologici di età romana e medioevale, talvolta ricoperti da depositi alluvionali argilloso-limosi e sabbiosi riconducibili alla deposizione del T. Crostolo.

Come evidenziato nello studio del Prof. M. Cremaschi "Indagine archeologica sulle aree da destinarsi a parcheggio sotterraneo nel perimetro urbano della città di Reggio Emilia al fine di accertare la presenza e la consistenza di eventuali evidenze archeologiche" (1991) la potenza di

questo orizzonte risulta variabile e, assumendo come riferimento la base della stratificazione romana, è possibile rilevare spessori compresi tra 6.00 m, in corrispondenza dell'ex Albergo Cairoli, sino a circa 3.00 m nella zona del Duomo.

Sotto il profilo geomorfologico il territorio comunale, situato a quote comprese tra 30 e 140 m s.l.m., mostra una modesta pendenza verso il quadrante nord-orientale, con valori variabili da 7% nella zona meridionale a 0,2% in quella settentrionale.

Nell'ambito cittadino è riconoscibile il paleoalveo del T. Crostolo il cui tracciato, prima della deviazione avvenuta in epoca medioevale, scorreva in corrispondenza delle odierne via Lodovico Ariosto e Corso Garibaldi.

Il settore settentrionale del territorio comunale è attraversato in senso trasversale da un importante corridoio infrastrutturale, in cui si sviluppano parallelamente i tracciati dell'Autostrada del Sole e della linea ferroviaria ad alta velocità (TAV).

Per quanto concerne gli aspetti idrogeologici il territorio insiste su depositi appartenenti al Gruppo Acquifero A, corrispondente al Sistema Emiliano-Romagnolo Sup., il cui livello basale si colloca a profondità dal piano campagna variabili da circa -40 m nella zona meridionale, sino a -200 m nel settore settentrionale.

La minima soggiacenza dell'acquifero A0 è pari a circa -0.70 m dal p.c. nel settore settentrionale del territorio comunale, come desunto dai livelli di falda misurati nel corso di indagini geognostiche pregresse. La direzione del flusso della falda sotterranea è orientata verso il quadrante nord-orientale.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

La ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale ha consentito di esaminare numerose relazioni geologiche, prodotte a corredo di progetti edilizi e di opere pubbliche e di acquisire copia delle indagini geognostiche e di laboratorio eseguite.

Tutte le indagini sono state trasformate in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS.

A tal proposito sia i dati di base, che i dati elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale (shapefile) nel rispetto delle indicazioni per l'archiviazione informatica, rappresentazione e fornitura dei dati degli studi di microzonazione sismica e dell'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza, di cui all'OPCM 4007/2012 e al Decreto del 16.03.2012 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile.

Tali indagini, unitamente a quelle contenute nella banca dati geognostica della Regione Emilia-Romagna, hanno permesso di ricostruire il modello geologico delle aree interessate dallo studio di microzonazione sismica.

Inoltre ad integrazione dei dati esistenti è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine.

In considerazione del fatto che per le aree oggetto di studio è emersa la disponibilità di un elevato numero di prove pregresse, che hanno consentito di ricostruire la stratigrafia del sottosuolo sino alla profondità di interesse, ai fini del presente studio si è ritenuta sufficiente l'esecuzione di nuove indagini geofisiche finalizzate alla definizione dei profili di Vs e alla misura delle frequenze naturali dei terreni, ritenendo viceversa superflua l'esecuzione di prove geotecniche in sito.

Più in particolare sono state eseguite n° 101 nuove indagini di sismica passiva, mediante misure di ascolto delle vibrazioni ambientali secondo la tecnica HVSR a stazione singola e n° 11 nuove indagini geofisiche tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves).

Le misure HVSR a stazione singola sono state eseguite impiegando un tromografo digitale portatile modello Micromed Tromino® di proprietà dello scrivente soggetto attuatore.

Viceversa le prove MASW sono state commissionate alla società TECNOGEOFISICA S.n.c. con sede a Carpi (MO).

Le risultanze delle misure HVSR sono state riportate nell'Allegato n° 1, mentre le metodologie di esecuzione e le risultanze delle prove MASW sono state riportate nell'Allegato n° 2.

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Come illustrato nel Cap. 3, il territorio del Comune di Reggio Emilia insiste sulle conoidi coalescenti del T. Enza nel settore occidentale e del T. Crostolo e di altri corsi d'acqua minori nei settori centrale e orientale.

Il sottosuolo conseguentemente è caratterizzato nel settore sud-occidentale del territorio comunale dalla presenza di orizzonti ghiaiosi aventi spessori generalmente inferiori a 10 metri con intercalazioni di depositi fini.

All'altezza della Via Emilia i livelli ghiaiosi si assottigliano e i depositi fini limo-argillosi con locali intercalazioni sabbiose tendono a sostituirsi ai depositi grossolani, per poi diventare prevalenti immediatamente a sud dell'abitato di Reggio Emilia (Fig. 9 e 11).

In particolare il Subsistema di Ravenna, presenta estensione delle ghiaie e delle sabbie limitata alle aree prossime ai corsi fluviali attuali con geometria complessivamente nastriforme.

La differente distribuzione areale delle ghiaie e sabbie tra il Subsistema di Ravenna e l'Unità di Vignola appare evidentemente legata al diverso regime idraulico dei corsi d'acqua che si è avuto durante le fasi glaciali, espresse nell'Unità di Vignola, e durante le fasi interglaciali e temperate, che caratterizzano invece la deposizione del Subsistema di Ravenna.

Durante la deposizione dell'Unità di Vignola il T. Enza ha costruito una vera e propria conoide, il cui asse riferito all'unità in questione, passa immediatamente ad ovest di Reggio nell'Emilia e mostra un evidente scostamento dall'attuale corso del torrente (Fig. 13 e 14).

Anche il T. Crostolo ha depositato nel corso del Pleistocene sup. le ghiaie ben oltre il limite di deposizione attuale e con distribuzione non tabulare, a ventaglio, delle ghiaie stesse. La distribuzione delle sabbie si è sviluppata nelle aree sottocorrente rispetto alle ghiaie con estese fasce nastriformi deposte sia dal T. Enza sia dal T. Crostolo. Gli apparati ghiaiosi e sabbiosi appartenenti alle varie unità del T. Crostolo e quelli del T. Enza sono sempre separati anche in profondità da depositi argillosi che vengono a costituire una barriera impermeabile tra di essi.

Le unità sottostanti e la stessa base delle ghiaie dell'Unità di Vignola sono più difficilmente riconoscibili, soprattutto a causa della diminuzione, con la profondità, del numero di dati utilizzabili.

In superficie sono presenti sistemi di canale, argine e rotta fluviale riferiti a paleopercorsi del Torrente Crostolo, caratterizzati essenzialmente da corpi sedimentari a geometria prevalentemente nastriforme di sabbie che fanno transizione laterale a sedimenti prevalentemente fini di piana inondabile. Questi ultimi sono costituiti da argille e argille limose in strati medi e spessi con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose in strati da molto sottili a medi, che nel complesso formano corpi di geometria allungata nelle aree depresse interposte ai depositi di argine. Possono essere inoltre presenti anche livelli di argille e limi argillosi ricchi in sostanza organica.

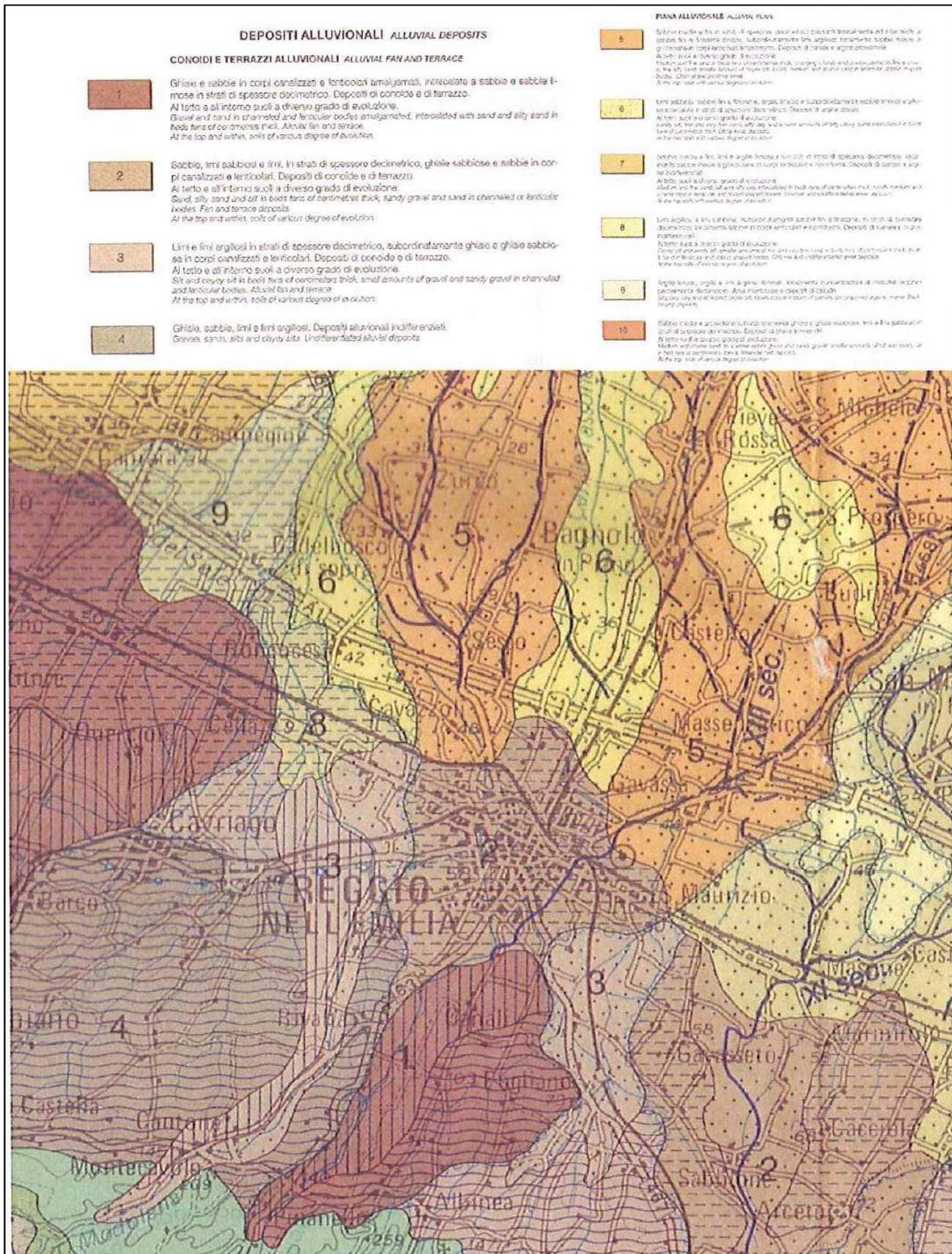


Fig. 9 – Stralcio della Carta geologica di pianura dell'Emilia-Romagna (Fonte: Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – Regione Emilia-Romagna)

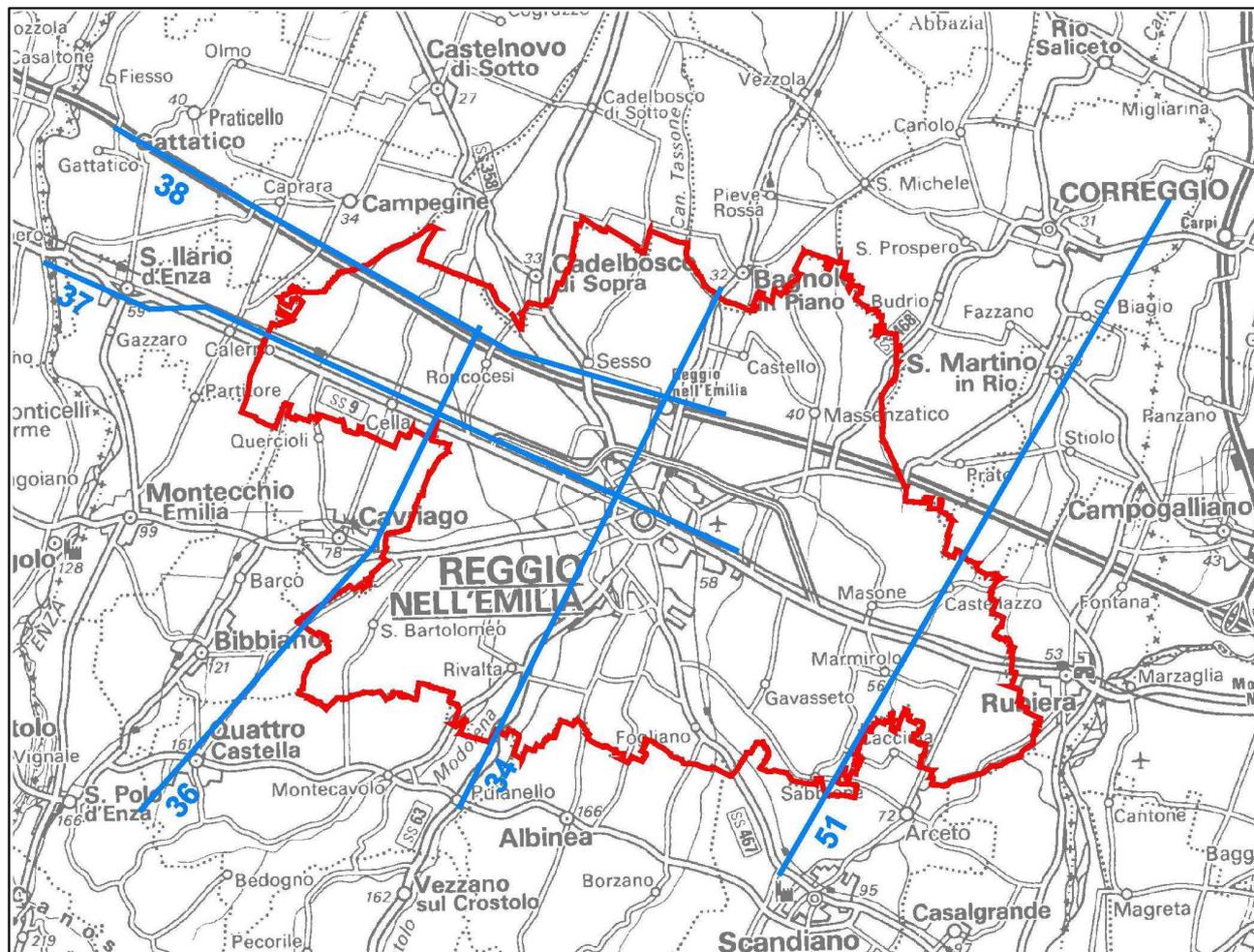


Fig. 10 – Ubicazione sezioni geologiche utilizzate per la definizione del modello del sottosuolo

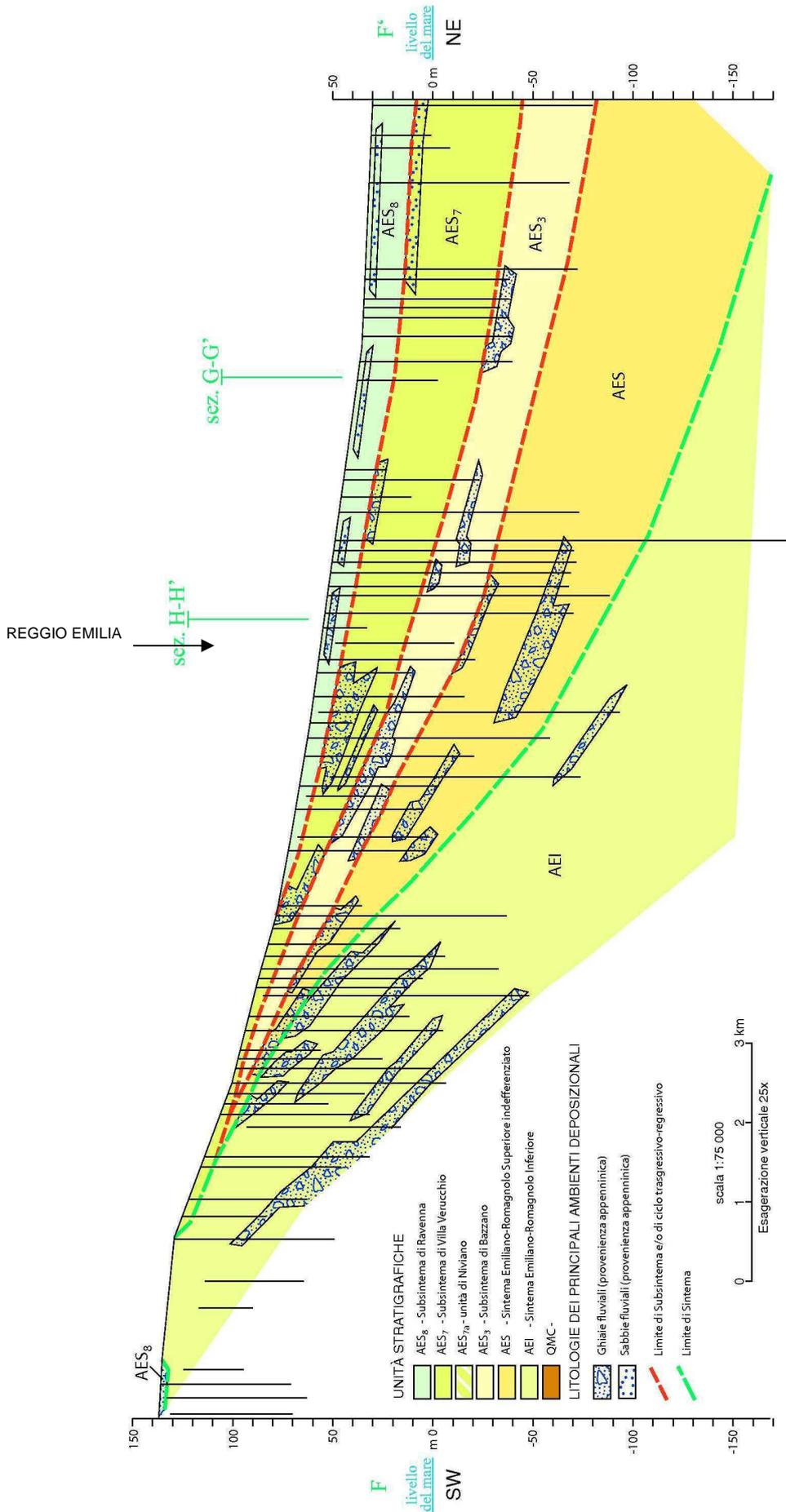
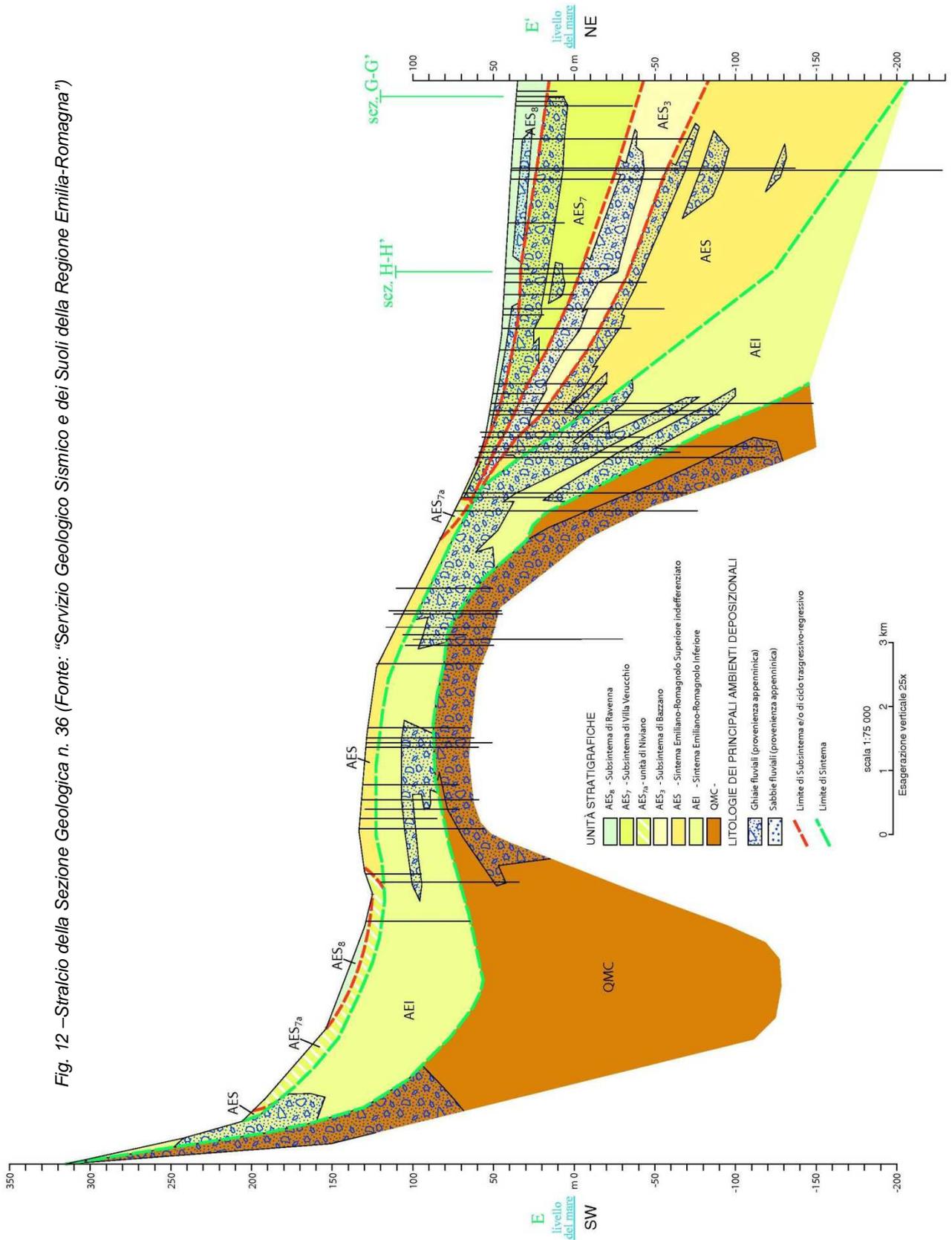


Fig. 11 – Sezione Geologica n. 34 (Fonte: “Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna”)

Fig. 12 –Stralcio della Sezione Geologica n. 36 (Fonte: “Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna”)



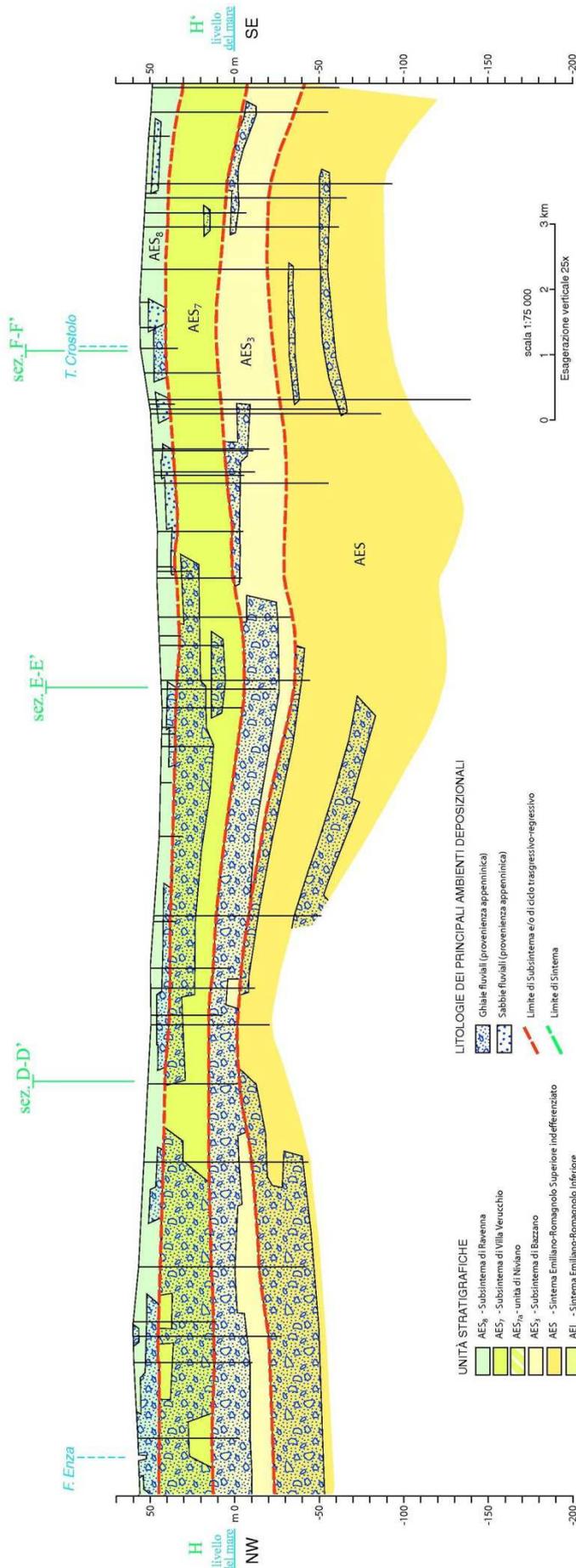


Fig. 13 – Stralcio della Sezione Geologica n. 37 (Fonte: “Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna”)

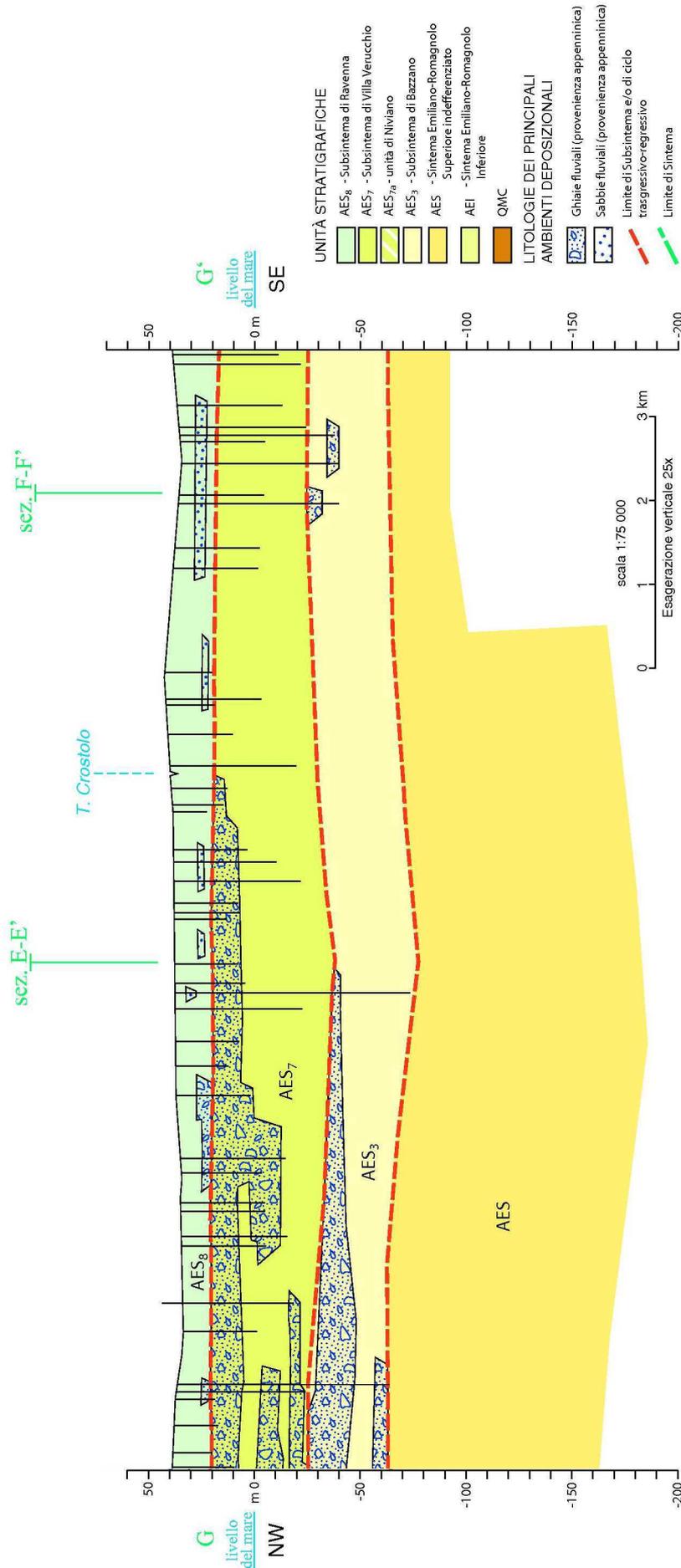


Fig. 14 –Stralcio della Sezione Geologica n. 38 (Fonte: “Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna”)

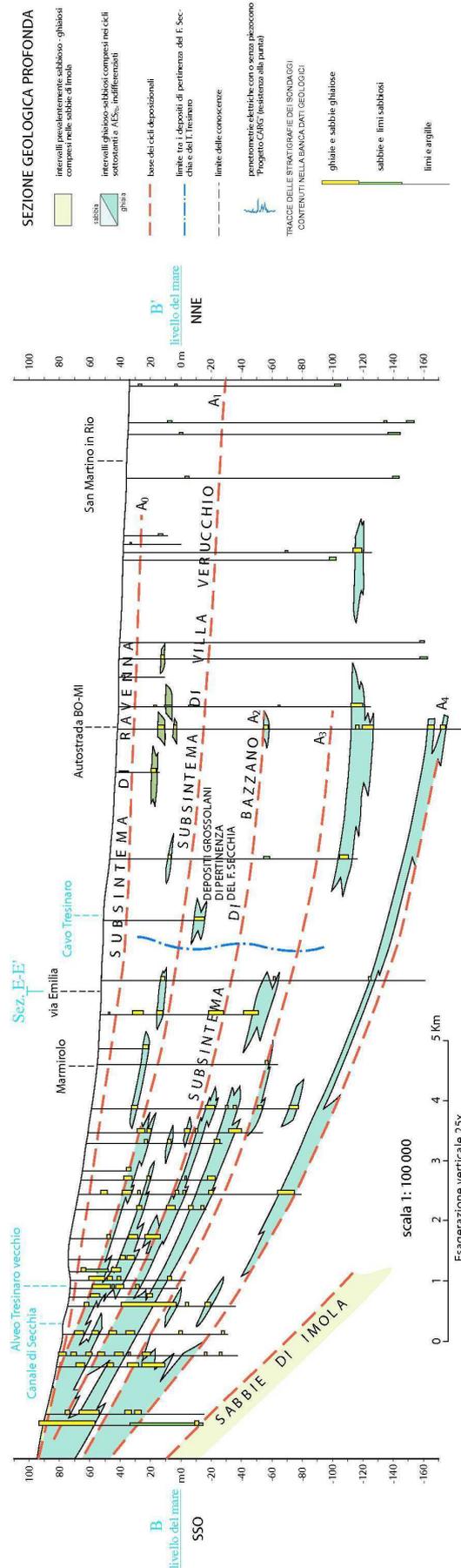


Fig. 15 – Sezione Geologica n. 51 (Fonte: “Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna”)

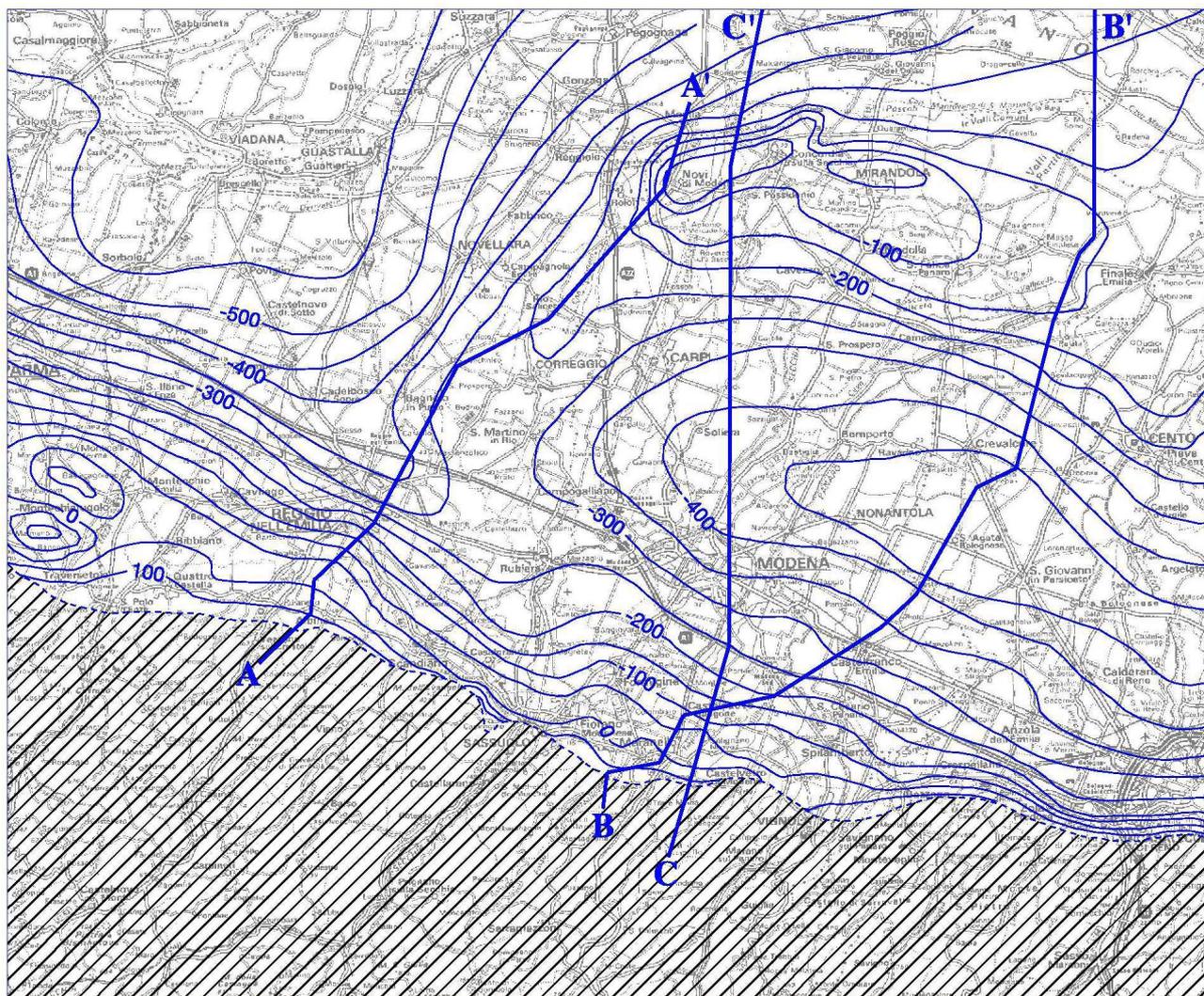


Fig. 16 – Profondità (in m s.l.m.) del limite basale dei sedimenti quaternari continentali (tratto da: "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia – Foglio 201" APAT – Regione Emilia-Romagna)

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Al termine della campagna di misure HVSR, al fine di determinare la qualità delle singole misure H/V effettuate e la loro relativa affidabilità, necessaria per una corretta fase interpretativa, si è provveduto alla classificazione delle prove valutando, in accordo con i più recenti studi in materia, le caratteristiche dei fondamentali principi su cui si basa la tecnica di indagine a sismica passiva utilizzata.

Nello specifico si è proceduto all'analisi della durata complessiva delle singole registrazioni, utilizzando esclusivamente quelle capaci di produrre stime "robuste" del campo medio delle vibrazioni ambientali, soddisfacendo in tal senso i primi 3 criteri di SESAME 2004 relativi alla robustezza statistica del segnale. Inoltre, per ogni singola acquisizione è stato valutato l'andamento complessivo della curva H/V, prestando particolare attenzione, durante la fase di elaborazione, alla plausibilità fisica della curva stessa, verificabile attraverso l'individuazione di massimi caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale.

In fase di elaborazione, sfruttando le possibilità di analisi direzionale e temporale del software utilizzato (GRILLA® – Micromed), è stata valutata la stazionarietà temporale dei rapporti spettrali misurati, prestando inoltre particolare attenzione alle variazioni azimuthali di ampiezza, nel rispetto della condizione di isotropia del segnale

In conclusione, verificati i criteri SESAME 2004 relativi alla "chiarezza" del picco di possibile risonanza, per le prove che hanno mostrato particolari evidenze di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse, si è provveduto ad effettuare ulteriori acquisizioni.

Ogni singola prova HVSR utilizzata nel presente studio, a prescindere dalle verifiche sopra descritte, è stata confrontata con le risultanze di quelle adiacenti e riferite al medesimo contesto litostratigrafico e geomorfologico. Inoltre il loro utilizzo e la loro interpretazione è stata supportata dal confronto e dalla relativa taratura con altre prove geofisiche (MASW – RE.MI.) e profili stratigrafici derivanti dai sondaggi geognostici disponibili.

Nel presente studio gli abachi e le tabelle degli ICMS sono risultati inapplicabili per le aree esaminate, in quanto:

- non è stato possibile individuare la profondità del basamento sismico con $V_s > 800$ m/s e, conseguentemente, il tipo di profilo di V_s sino a tale profondità;
- i contrasti di velocità in corrispondenza di orizzonti abbastanza rigidi con $600 < V_s < 800$ m/s, sono risultati quasi sempre inferiori a 2.

Di conseguenza è stata operata la scelta di utilizzare le tabelle e le formule indicate dell'Allegato A2 degli indirizzi regionali (Delibera Ass. Leg. Regione Emilia-Romagna n° 112/2007).

L'areale su cui sorge il Capoluogo è risultato particolarmente complesso da interpretare, in quanto si colloca sulla conoide minore del T. Crostolo, che diversamente dai limitrofi T. Enza e dal F. Secchia, presenta un'elevata variabilità litostratimetrica laterale e verticale.

Per quanto riguarda gli approfondimenti di terzo livello, l'analisi è stata condizionata dall'assenza di dati affidabili circa i valori di V_s a profondità elevate. Infatti sulla base dei dati desunti da perforazioni AGIP, nel settore a valle della via Emilia il bedrock sismico si colloca a profondità di circa 150 m dal p.c. coerentemente con le risultanze delle misure HVSR a stazione singola. L'incertezza nell'analisi della Risposta Sismica Locale è data dalla difficoltà di assegnare i corretti valori di V_s alla potente sequenza deposizionale che ricopre il substrato rigido.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di lavoro, di concerto con l'Ufficio Tecnico Comunale, sono stati definiti con esattezza i limiti degli areali da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica.

Una volta eseguita tale operazione, sono acquisiti dati bibliografici e di archivio, sono stati condotti rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica disponibile.

Successivamente è stata eseguita una campagna di indagini di sismica passiva (misure di ascolto dei microtremori con tromografo digitale portatile) ai fini della definizione delle frequenze fondamentali dei terreni.

Gli elaborati prodotti in questa prima fase sono costituiti da:

- **Carta delle indagini:** in tale cartografia sono riportate le prove pregresse e quelle di nuova esecuzione; tutte le prove sono state classificate in base al tipo e alla profondità raggiunta;
- **Carta geologico-tecnica:** tale carta è stata derivata dalla revisione a scala dettagliata dei rilievi geologici e morfologici disponibili. In questa cartografia sono rappresentati gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie;
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni (f):** tale carta è stata derivata da indagini di sismica passiva (misure HVSR). In questa carta sono riportati i punti di misura, con associato il risultato della prova (valore di f_0 del picco significativo a più bassa frequenza corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale e di altri picchi significativi a più alta frequenza o indicazione dell'assenza di picchi). Inoltre sono state distinte le zone caratterizzate da alti contrasti di impedenza alla base delle coperture (ampiezza massima curva HVSR > 3) e bassi contrasti di impedenza (ampiezza HVSR < 3);
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS):** in questa cartografia sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari. Le microzone della carta sono classificate in tre categorie:
 - a) zone stabili, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura. In queste zone non sono richiesti ulteriori approfondimenti;
 - b) zone suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto dell'assetto litostratigrafico e morfologico locale; nelle

zone con variazioni stratigrafiche laterali poco significative (zone di pianura) sono ritenuti sufficienti approfondimenti di secondo livello;

- c) zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (ex. liquefazioni). In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

Successivamente, e in diretta continuità con la prima fase, è stata svolta la seconda fase di lavoro, che ha quale obiettivo la Microzonazione Sismica del territorio indagato.

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

- **Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs):** in questa carta sono ubicati tutti i punti di misura di Vs con indicazione, per ogni punto misura, del valore di Vs30;
- **Carta dei fattori di amplificazione delle aree.** L'amplificazione è stata quantificata in termini di parametri FA e FV e FA_{PGA} , $FA_{0,1-0,5s}$, $FA_{0,5-1,0s}$. Le aree che necessitano di approfondimenti di terzo livello saranno perimetrate, con indicazione del tipo di effetti attesi e delle indagini e analisi di approfondimento da effettuare. Per la definizione dell'amplificazione sono state utilizzate e tabelle e le formule indicate nell'Allegato 2 degli indirizzi regionali.

Le elaborazioni sono state rappresentate nelle varie cartografie alla scala 1:10.000, ciascuna delle quali costituita da n° 4 tavole, mediante la suddivisione del territorio comunale in quattro quadranti, rispettivamente denominati settore NW, settore NE, settore SE e settore SW.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1 CARTA DELLE INDAGINI

In questa cartografia sono state riportate le prove di nuova esecuzione e quelle pregresse relative a indagini geognostiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l'Ufficio Tecnico Comunale.

Tutte le prove sono state classificate in base alla tipologia (indagini geognostiche: prova penetrometrica statica, prova penetrometrica dinamica, sondaggio a rotazione, ecc.; indagini geofisiche: MASW, RE.MI., HVSR).

	Sondaggio a carotaggio continuo
	Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
	Prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTE)
	Prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU)
	Prova penetrometrica dinamica pesante (DP)
	Prova penetrometrica dinamica leggera (DL)
	Pozzo per acqua
	Prova di carico con piastra
	Stazione microtremore a stazione singola (HVSR)
	Prova sismica in foro tipo Downhole
	MASW
	Prova Refraction Microtremors
	Profilo sismico a rifrazione
	Tomografia elettrica

Fig. 17 – esempio di legenda della Carta delle indagini

La ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale ha consentito di acquisire le seguenti indagini:

- n° 85 sondaggi a carotaggio continuo
- n° 308 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- n° 7 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)
- n° 3 prove penetrometriche dinamiche leggere (DL)
- n° 36 MASW
- n° 4 prove REfraction Microtremors
- n° 23 profili sismici a rifrazione
- n° 2 tomografie elettriche
- n° 4 misure HVSR a stazione singola
- numerose prove di laboratorio⁶: prove edometriche, espansioni laterali libere, analisi su campione (granulometrie e limiti), prove di taglio diretto, prove trassiali non consolidate e non drenate (UU).

Inoltre sono state utilizzate le informazioni contenute nel DataBase Geognostico della Regione Emilia-Romagna, alcune delle quali sono state riportate nella Carta delle indagini.

Come ricordato in precedenza, ad integrazione dei dati esistenti è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine costituita da n° 101 misure di ascolto di microtremori a stazione singola (HVSR) e n° 11 MASW (cfr. All. 1 e 2)

8.2 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

Nella Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse. Questi dati hanno contribuito a definire il modello di sottosuolo, funzionale alla realizzazione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1).

Per la stesura di questa carta si è fatto riferimento alla documentazione prodotta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e messa a disposizione del Comune di Reggio Emilia per le finalità in oggetto.

Più in particolare sono stati acquisiti i contenuti dei Fogli geologici n° 200 e n° 201 alla scala 1:50.000. Si tratta di dati che sono confluiti nella nuova *“Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna – Progetto CARG”*. La natura litologica delle unità affioranti nel territorio comunale sono state distinte facendo riferimento alla citata *“Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna – Progetto CARG”* che riporta la tessitura dei depositi superficiali.

⁶ La maggior parte delle prove di laboratorio è relativa a campagne di indagine eseguite a supporto della progettazione e realizzazione di nuovi assi stradali, tra cui la tangenziale nord di Reggio

L'assetto litostratimetrico dell'areale è caratterizzato in superficie dalla presenza di una coltre fine di natura prevalentemente limo-argillosa, la cui potenza tende a ridursi sino a pochi metri spostandosi nel settore meridionale del territorio comunale, dove risultano presenti lenti ghiaiose a modesta profondità. Per gli approfondimenti sull'assetto litostratimetrico dei vari settori di territorio comunale, si rimanda al successivo Cap. 8.4 e alle relative successioni stratigrafiche.

Solo i sondaggi per ricerca di idrocarburi perforati negli areali di studio hanno raggiunto il substrato dei depositi continentali, rappresentato dal quaternario marino assunto come probabile bedrock sismico.

Nella medesima carta sono stati indicati anche alcuni valori di minima soggiacenza della falda freatica nelle aree con presenza di sabbie e sabbie limose, ricavati dai dati a corredo delle prove geognostiche disponibili.

8.3 CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

Si tratta di una carta derivata dalle indagini speditive di sismica passiva (HVSR sulle vibrazioni ambientali).

In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura, con associato il risultato della prova (valore di F_0 del picco significativo a più bassa frequenza corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale e di eventuali altri picchi significativi a più alta frequenza) (Fig. 18). Le misure sono state suddivise in classi sulla base delle frequenze ($F_0 \leq 1$ Hz; $1 < F_0 \leq 2$ Hz; $2 < F_0 \leq 8$ Hz; $F_0 > 8$ Hz) e dell'ampiezza del picco che individua contrasti di impedenza alti (picco HVSR > 3) o bassi (picco HVSR < 3).

frequenza picco significativo (Hz)	ampiezza picco	
	≤ 3	> 3
$F_0 \leq 1$		
$1 < F_0 \leq 2$		
$2 < F_0 \leq 8$		
$F_0 > 8$		
Assenza di picchi significativi		

A lato del simbolo sono riportate la frequenze relative al primo picco significativo (in rosso) e al secondo picco (in blu)

Fig. 18 – Esempio di legenda della carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base delle misure HVSR a stazione singola è stata ricavata la Carta delle frequenze naturali dei terreni.

L'esame dei valori di frequenza del picco principale evidenzia una buona correlazione con le caratteristiche stratigrafiche delle zone in cui è stato suddiviso l'areale oggetto di studio.

In particolare il settore a valle dell'abitato di Reggio Emilia e le frazioni situate nella porzione orientale del territorio comunale (Masone, Gavassa, Massenzatico, Bagno) sono caratterizzate da picchi a bassa frequenza variabili da 0,6 a 0,8 Hz, con ampiezza della curva H/V generalmente compresi tra 2 e 3 (Fig. 19).

Si tratta di picchi associabili a contrasti di impedenza situati a profondità maggiori di -100 m da p.c., probabilmente localizzabili al passaggio tra il Sintema Emiliano-Romagnolo Sup. e quello Inferiore.

A frequenze superiori non sono presenti picchi, data la natura prevalentemente fine dei depositi che costituiscono il sottosuolo di queste aree.

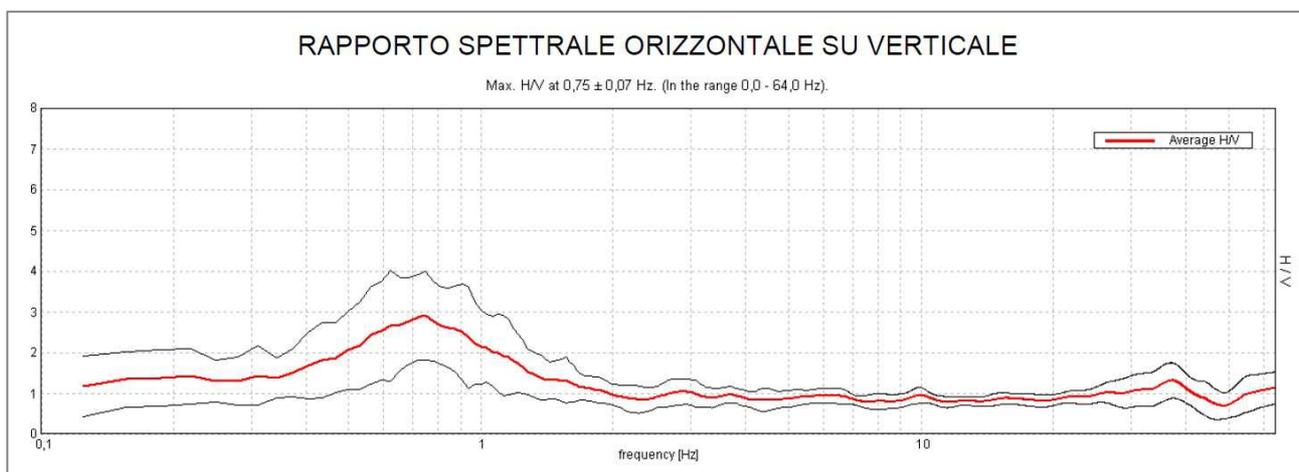


Fig. 19 – Curva H/V rappresentativa del settore settentrionale (misura TR001)

Nel settore centrale, che ricomprende l'abitato di Reggio Emilia, è sempre presente il picco a bassa frequenza prossimo a 0,8÷0,9 Hz, ma compaiono anche picchi a più alta frequenza (Fig. 20), indotti dalla presenza di orizzonti ghiaiosi situati a modeste profondità.

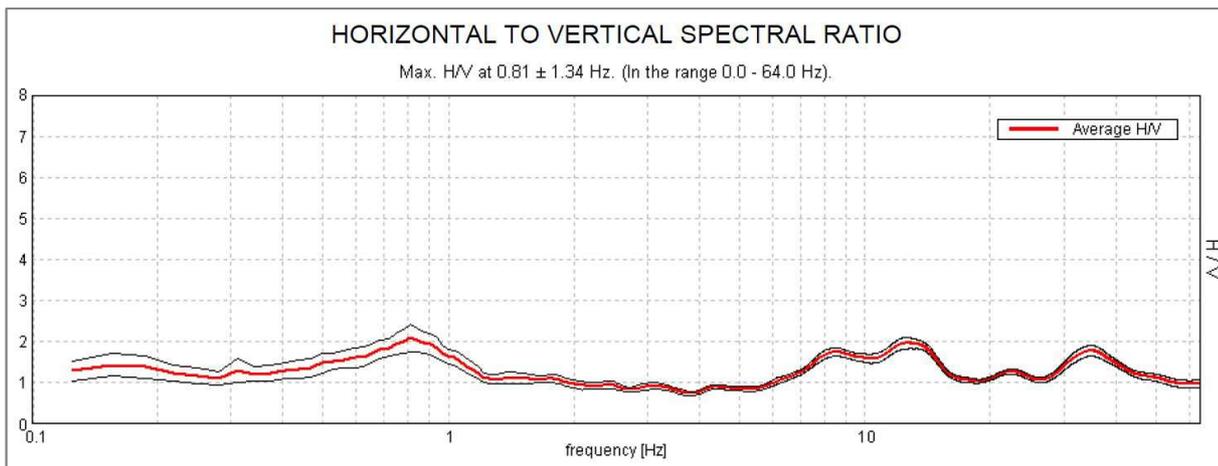


Fig. 20 – Curva H/V rappresentativa del settore centrale del capoluogo (misura TR048)

Nella settore a sud del capoluogo e nelle frazioni di Fogliano, Rivalta, Canali, e Coviolo prevalgono picchi a medio-alta frequenza (5÷10 Hz), con ampiezza generalmente prossima a 2 (Fig. 21), correlabili ad una maggior presenza di orizzonti ghiaiosi della conoide del T. Crostolo, talvolta prossimi al p.c..

Risulta viceversa assente il picco a bassa frequenza che caratterizza i precedenti settori.

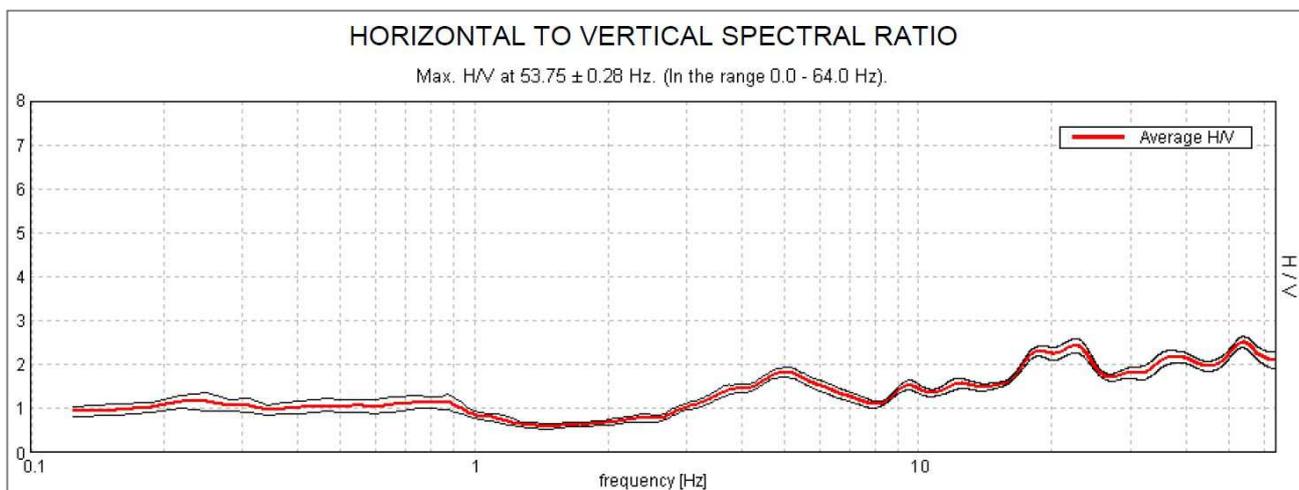


Fig. 21 – Curva H/V rappresentativa del settore a sud del capoluogo (misura TR078)

Una situazione simile alla precedente caratterizza l'estremità occidentale del territorio comunale (Frazioni di Cadé, Cella e Codemondo) in cui prevale nettamente il picco a medio-alta frequenza (5÷10 Hz) con ampiezza prossima a 3 (Fig. 22), indotto dalla presenza di orizzonti ghiaiosi di maggior spessore e addensamento riferibili alla conide del T. Enza.

Anche in queste zone risulta assente il picco di frequenza inferiore a 1 Hz.

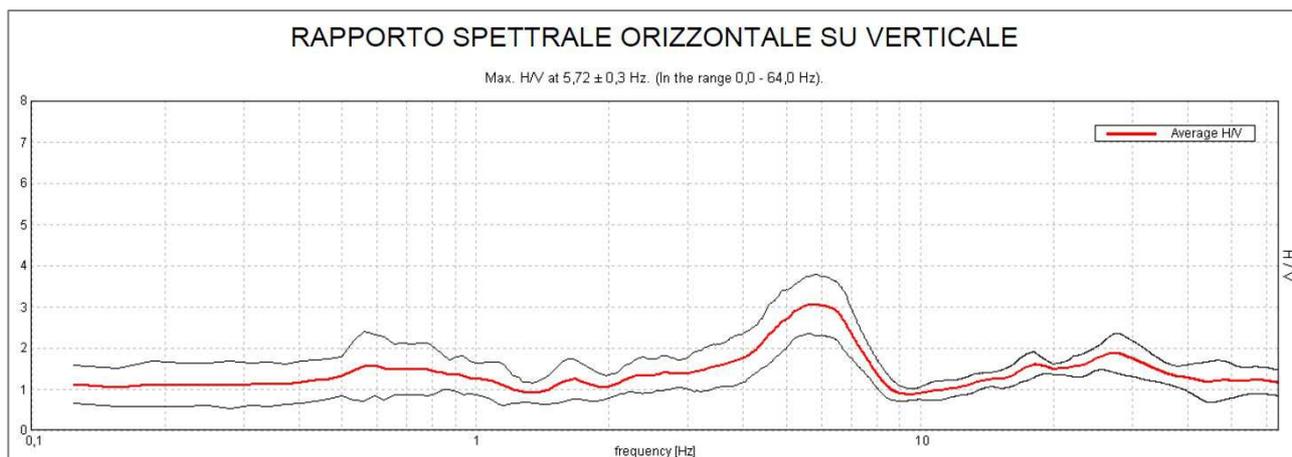


Fig. 22 – Curva H/V rappresentativa del settore a sud del capoluogo (misura TR078)

8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (LIVELLO 1)

Le microzone sono state distinte in tre categorie:

- a) **zone stabili.** Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti. Questa categoria non è presente sul territorio del Comune di Reggio Emilia.
- b) **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. All'interno di queste aree si è operata una ulteriore distinzione sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, identificando n° 8 profili stratigrafici tipo (Zona 2001, Zona 2002, Zona 2003, Zona 2004, Zona 2005, Zona 2006, Zona 2007 e Zona 2008) ai quali possono essere ricondotti gli areali esaminati (Figg. 24-31). In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello.
- c) **zone suscettibili di instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni in presenza di importanti spessori di depositi sabbiosi saturi nei primi 20 m dal piano campagna e densificazione in presenza di terreni granulari poco addensati. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.



Fig. 23 – Esempio di legenda della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

L'areale in studio è caratterizzato da quattro distinte microzone omogenee, costituite da aree stabili suscettibili di amplificazioni locali per motivi litologici e stratigrafici (v. Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica).

Zona 1

Questa zona caratterizza l'areale di Roncocesi, il cui sottosuolo è costituito da una spessa coltre di depositi fini argilloso-limosi con sottili intercalazioni limo-sabbiose, sovrapposta ad un primo livello ghiaioso-sabbioso con tetto posto a profondità generalmente di -20÷22 m da p.c. (Fig. 24). I depositi fini si caratterizzano per una consistenza medio-bassa, con valori di resistenza alla punta del penetrometro statico (R_p) generalmente oscillanti tra 10 e 20 kg/cm^2 , mentre l'orizzonte ghiaioso risulta addensato con valori di N_{spt} pari a 60÷80 colpi.

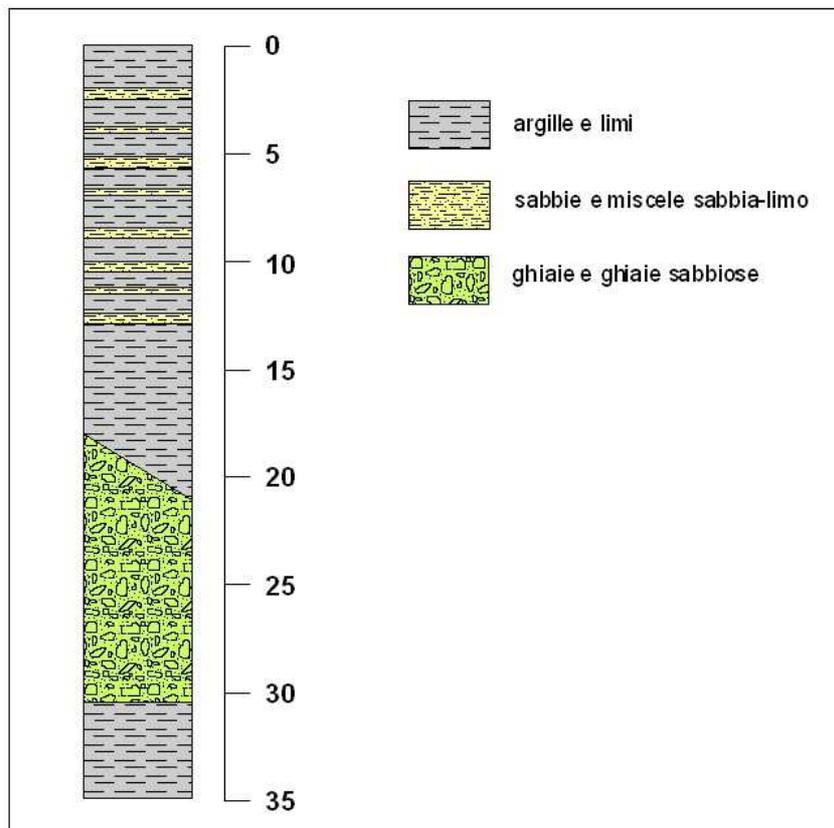


Fig. 24 – Successione stratigrafica cod. 2001

Zona 2

È la zona che identifica il settore ricompreso a nord-est del capoluogo e le frazioni di Gavassa, Masone, Bagno e Massenzatico. A questa zona è stata associata anche una porzione dell'areale di Pieve Modolena (periferia ovest di Reggio E.).

Si caratterizza sino oltre -60 m da p.c. per la netta prevalenza di sedimenti argillosi e argilloso-limosi, con locali intercalazioni sabbiose. I depositi coesivi risultano di consistenza da media a bassa, con valori di R_p generalmente compresi tra 10 e 20 kg/cm^2 .

I livelli ghiaiosi, quando presenti, sono di limitata potenza (Fig. 25).

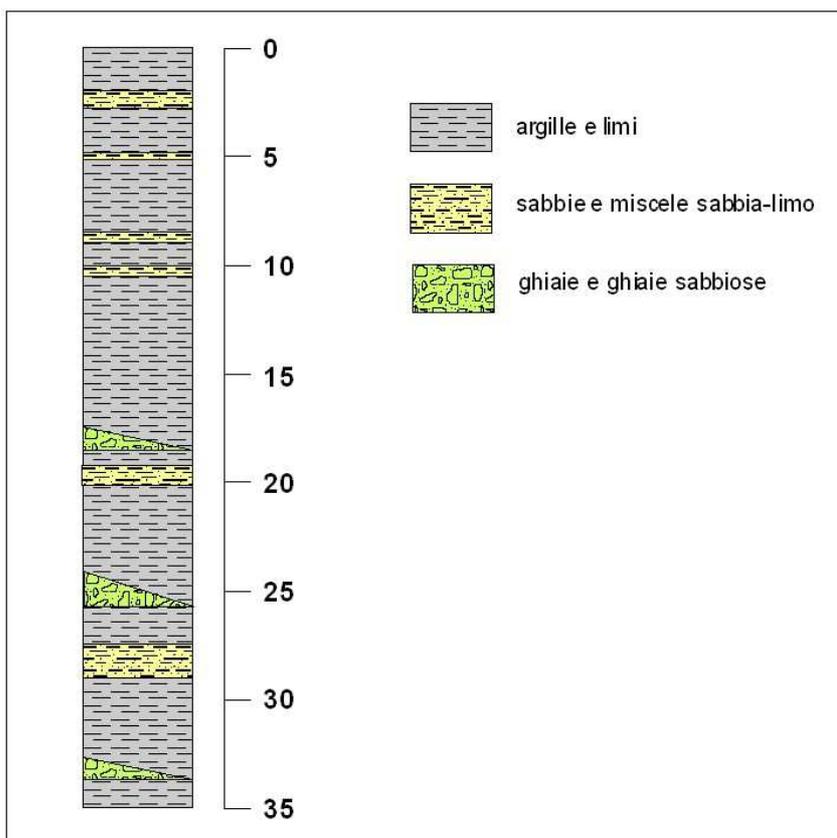


Fig. 25 – Successione stratigrafica cod. 2002

Zona 3

Ricomprende la porzione settentrionale dell'areale di Pieve Modolena, dove sono presenti subordinati di livelli ghiaiosi dello spessore di 4÷5 m (Fig. 26), intercalati in depositi argilloso-limosi con valori di R_p compresi tra 10 e 30 kg/cm^2 .

Le ghiaie sono costituite da ciottoli di dimensione centimetrica, in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa talvolta abbondante, caratterizzate da valori di N_{spt} pari a 30÷40 colpi.

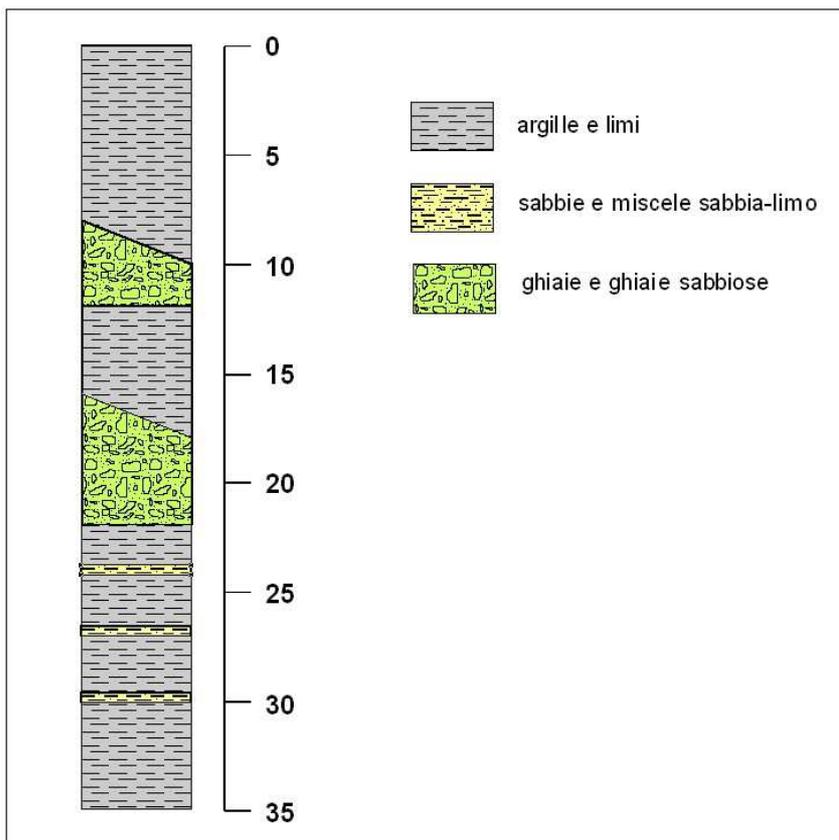


Fig. 26 – Successione stratigrafica cod. 2003

Zona 4

Questa zona ricomprende l'areale sud-est del capoluogo e la frazione di Fogliano ed è caratterizzata da una elevata variabilità stratigrafica (Fig. 27) che risulta maggiormente accentuata verso settentrione, conseguente alla rastremazione dei livelli ghiaiosi della conoide del T. Crostolo.

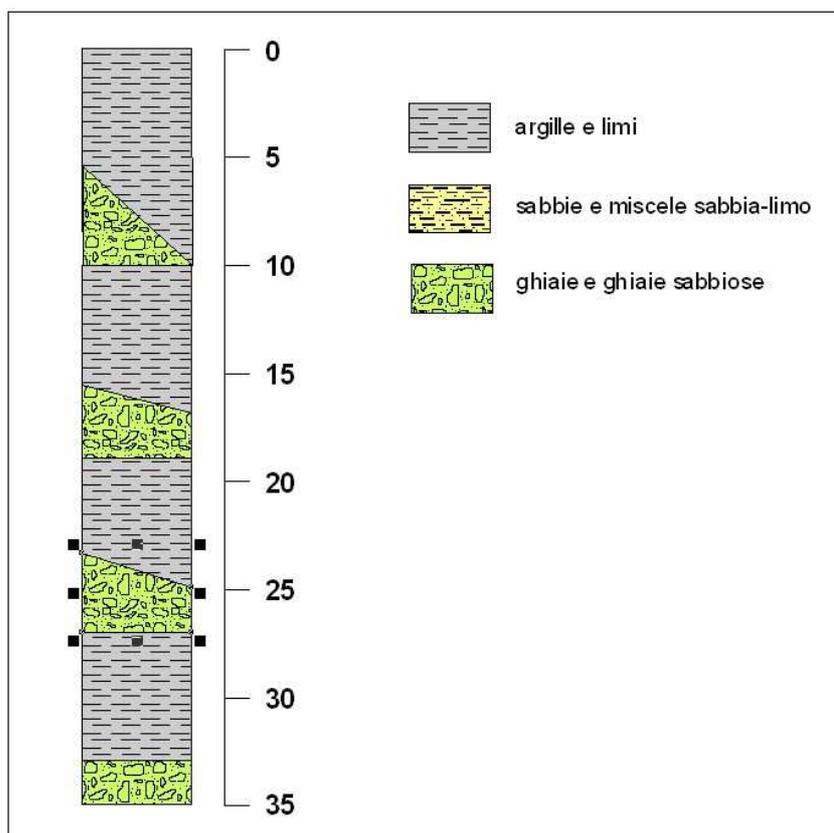


Fig. 27 – Successione stratigrafica cod. 2004

Zona 5

Questa zona ricomprende parte del centro storico di Reggio Emilia e si caratterizza in superficie per la presenza a luoghi di materiali di riporto antropici avvenuti in epoca storica (Fig. 28).

Al di sotto di essi prevalgono depositi argilloso-limosi con intercalazioni di livelli ghiaiosi di spessore variabile da 2 a 5 metri.

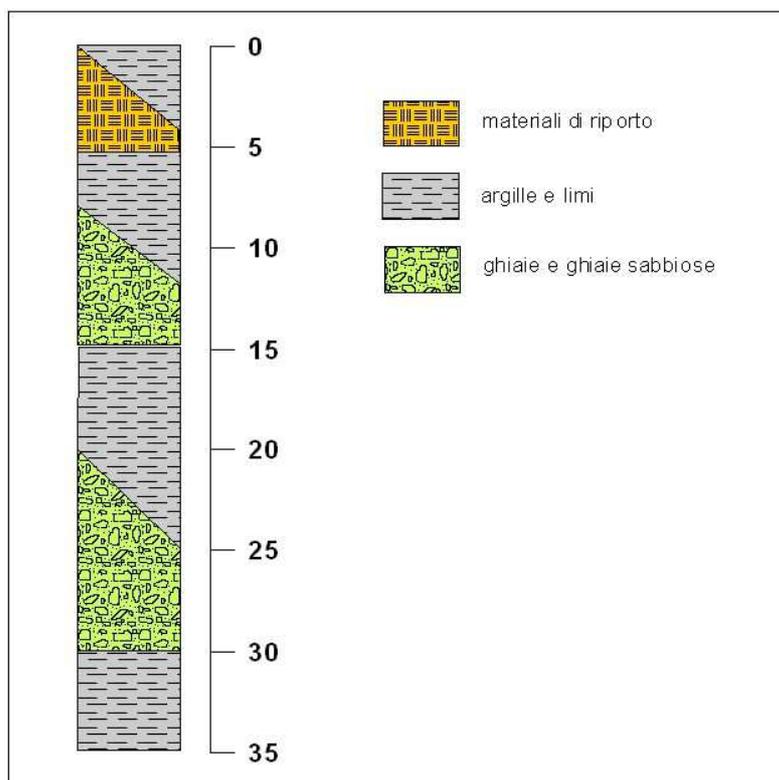


Fig. 28 – Successione stratigrafica cod. 2005

Zona 6

Questa zona ricomprende gli areali a sud-est e ad ovest del centro storico, caratterizzati da livelli di ghiaie di spessore variabile da 3 a 10 metri, intercalati in depositi fini argilloso-limosi.

Le ghiaie sono costituite da ciottoli centimetrici, immerse in matrice sabbioso-limosa, con grado di addensamento da medio ad elevato.

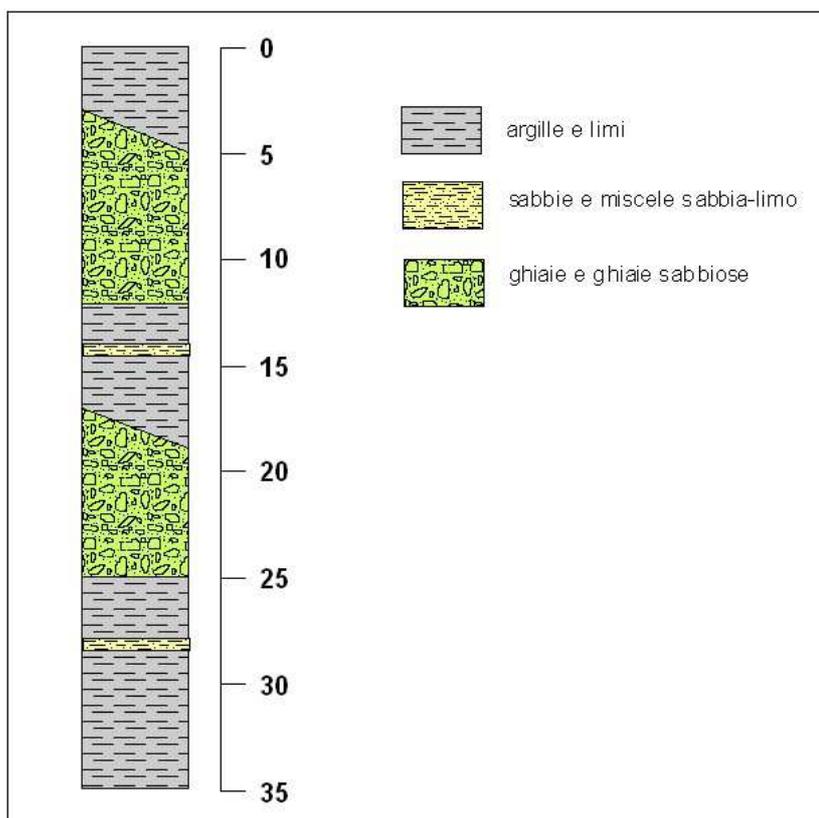


Fig. 29 – Successione stratigrafica cod. 2006

Zona 7

In questa zona sono stati raggruppate le frazioni di Rivalta, Coviolo, Cadè e Cella, caratterizzate da dalla presenza di orizzonti ghiaiosi generalmente spessi, connessi alle conoidi alluvionali del T. Enza (areali occidentali) e del T. Crostolo (areali sud-occidentali).

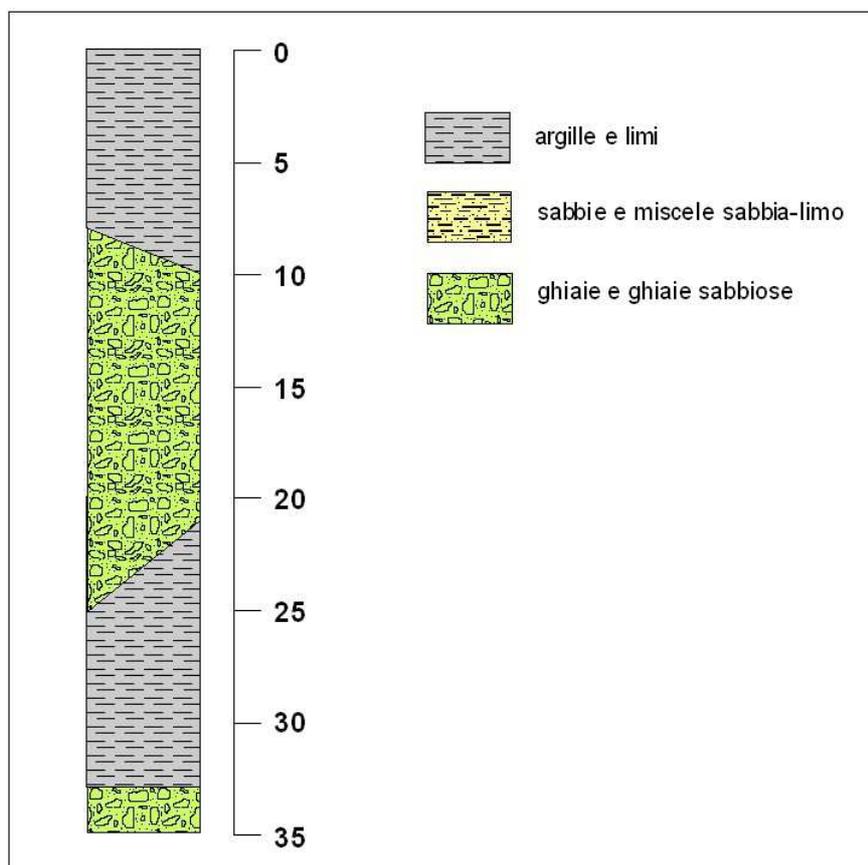


Fig. 30 – Successione stratigrafica cod. 2007

Zona 8

Questa zona ricomprende la frazione di Codemondo, caratterizzata da un sottosuolo con prevalenza di depositi grossolani, costituiti da ghiaie in matrice limo-argillosa con subordinate intercalazioni di materiali fini.

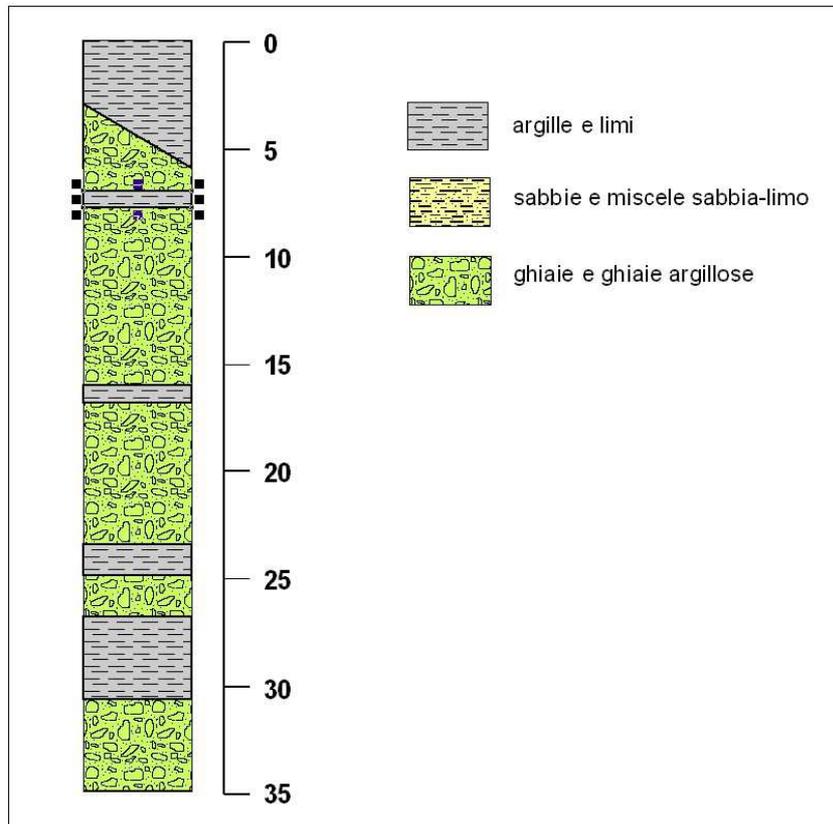


Fig. 31 – Successione stratigrafica cod. 2008

Zone suscettibili di instabilità

Si tratta di aree da sottoporre ad approfondimenti di terzo livello, suscettibili di instabilità per potenziali effetti di liquefazione.

Ricomprendono antichi paleovalvei del T. Crostolo, che determinano dossi morfologici dove si è riscontrata la presenza di depositi di canale, argine e rotta fluviale. Generalmente sono costituiti da sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e localmente limi in strati a base erosiva, da sottili a spessi, a stratificazione obliqua concava, alternate a limi, limi sabbiosi e subordinatamente limi argillosi, in strati molto sottili e sottili.

Alla base di sequenze positive a base erosiva sono presenti sabbie molto grossolane a stratificazione obliqua concava e, localmente, ghiaie. Formano corpi sedimentari a geometria prevalentemente nastriforme e tabulare-allungata in AES8a e tabulare (depositi sabbiosi di conoide alluvionale) in AES8. Passano lateralmente e verticalmente verso il basso a depositi di piana inondabile, definendo caratteristiche sequenze negative e negativo-positive. In depositi di canale, argine e rotta fluviale riferibili al reticolo idrografico secondario, le sabbie sono nettamente subordinate rispetto al limo.

Sono stati presi in considerazione depositi sabbiosi e sabbioso-limosi in falda, con grado di addensamento da sciolto a moderatamente addensato, localizzati nei primi 15 metri di profondità dal piano campagna.

Tali aree suscettibili di instabilità sono state individuate nelle frazioni di Roncocesi, Sesso, Gavassa e Massenzatico.

8.5 CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (VS)

In questa carta sono stati riportati i punti di misura di Vs con indicazione del valore in m/s di V_{S30} . Non sono stati indicati valori di V_{SH} in quanto il substrato rigido è localizzato a profondità maggiori di 50 metri.

Sono state altresì distinte le misure di Vs sulla base della tecnica impiegata: MASW, Re.Mi, ecc. (Fig. 32).

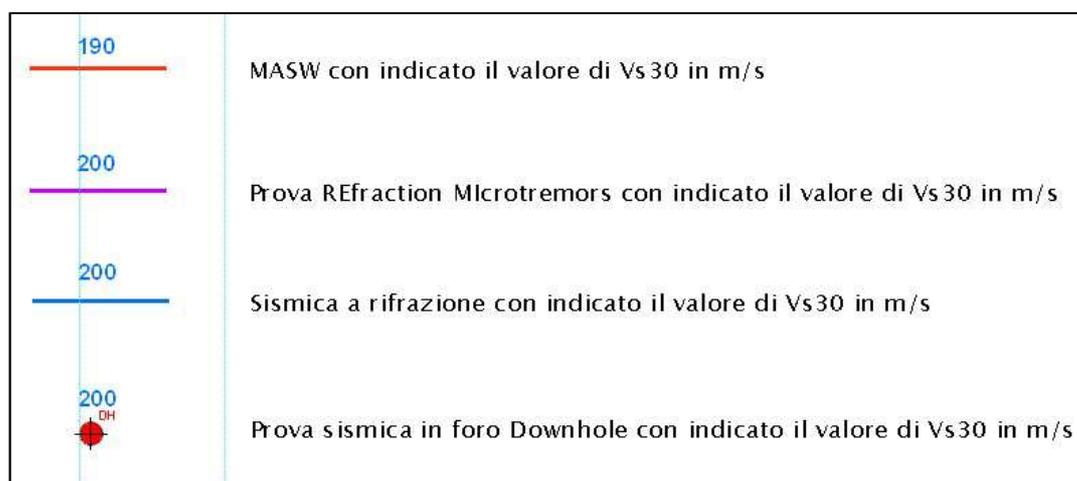


Fig. 32 – Esempio di legenda della Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s)

I profili di velocità delle onde di taglio, ottenuti attraverso i rilievi sismici con metodologia MASW e RE.MI, evidenziano sostanziali differenze della risposta sismica locale tra i depositi

presenti nel sottosuolo della porzione di territorio comunale settentrionale e orientale e di quella meridionale e occidentale.

In particolare l'areale posto a nord del capoluogo e le frazioni di Gavassa, Massenzatico e Bagno sono caratterizzate da valori di V_{s30} generalmente compresi tra 180 e 200 m/s, senza contrasti di impedenza rilevanti (Fig. 33). Si tratta, infatti, di zone caratterizzate dalla prevalenza di materiali fini nei primi 30 metri di profondità, senza interposizione di livelli ghiaiosi significativi.

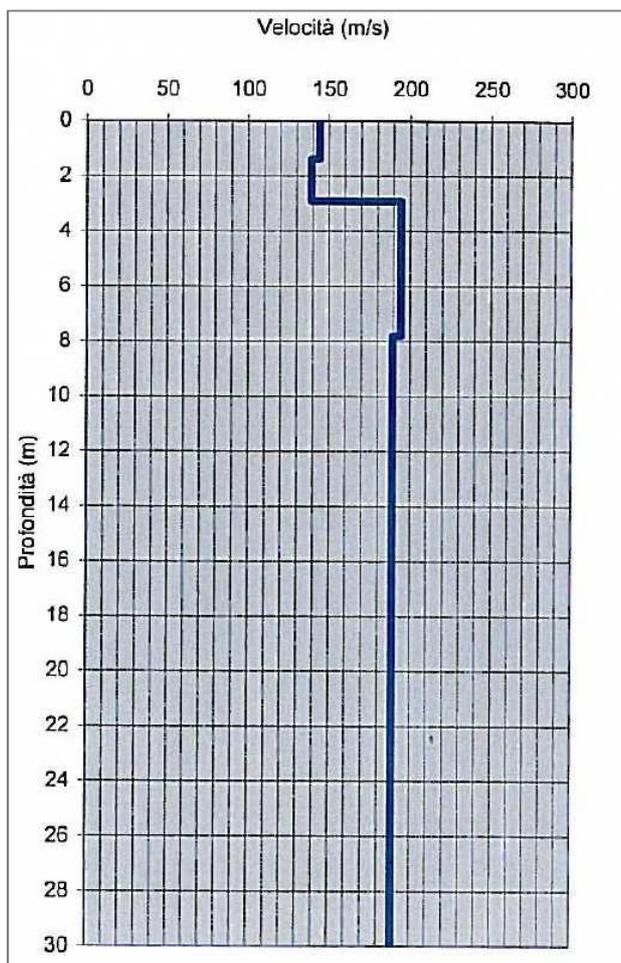


Fig. 33 – Profilo tipo di V_s del settore a nord del capoluogo, presso lo Stadio Giglio

Nel settore ricomprendente l'abitato di Reggio Emilia, le velocità delle onde di taglio registrano un incremento rispetto ai precedenti areali (Fig. 34), con valori di V_{s30} compresi tra 250 e 350 m/s. Tale incremento è dovuto alla presenza nel sottosuolo di orizzonti ghiaiosi, che assumono sempre maggior importanza spostandosi ulteriormente verso meridione.

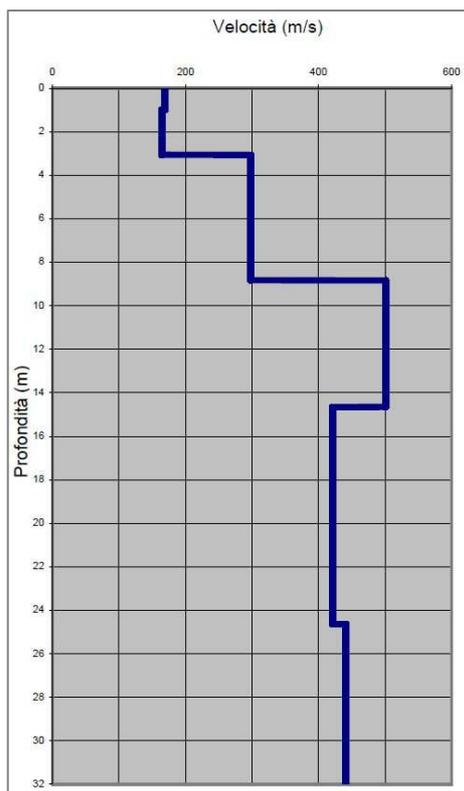


Fig. 34 – Profilo tipo di Vs nell'areale del capoluogo (MW_12.)

Gli areali dove sono state rilevate le maggiori velocità delle onde di taglio (Fig. 35) sono quelli di Codemondo, Cella, Cadè e Rivalta con valori di Vs30 compresi tra 350 e 450 m/s. In queste zone, infatti, gli orizzonti ghiaiosi risultano più addensati e/o prevalenti nei primi 30 metri di profondità.

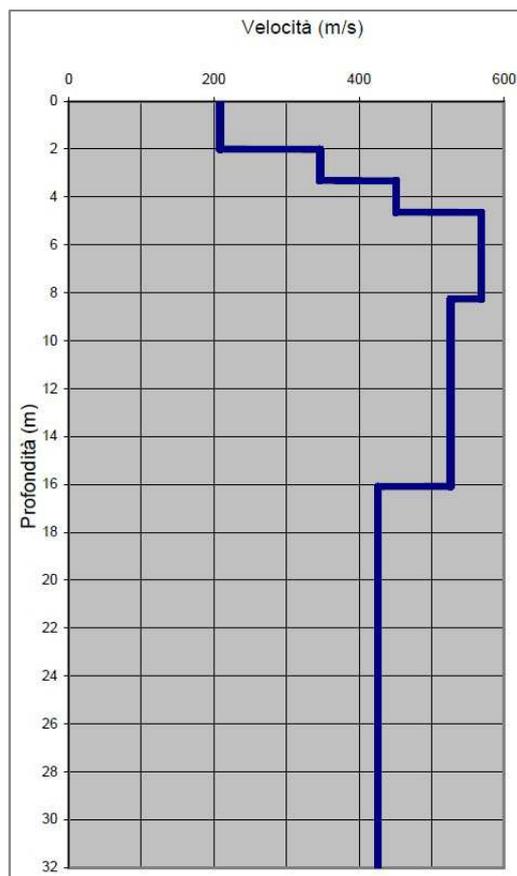


Fig. 35 – Profilo tipo di Vs nella frazione di Codemondo (MW2)

In riferimento alla categoria di sottosuolo di fondazione di cui al D.M. 14.01.2008 “Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni”, sulla base delle indagini geofisiche eseguite, gli areali di Codemondo, Cella, Cadè e Rivalta possono essere attribuiti alla categoria “**B**”, mentre le restanti zone oggetto di microzonazione sismica ricadono in categoria “**C**”.

8.6 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA (LIVELLO 2)

L'amplificazione è stata quantificata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) e di rapporto di Intensità spettrale o di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi ($0.1s < T_0 < 0.5s$ e di $0.5s < T_0 < 1.0s$), dove PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Per la definizione dell'amplificazione sono state utilizzate le tabelle e le formule indicate dell'Allegato A2 degli indirizzi regionali (Delibera dell'Assemblea Legislativa Regione Emilia-Romagna n° 112 del 2 maggio 2007).

Sulla base della ricostruzione del modello del sottosuolo (v. paragrafo 5) e della carta delle frequenze, per la quasi totalità degli areali indagati è stato ipotizzato che il bedrock sismico sia situato a profondità quasi sempre maggiori di 100 m da p.c.. Infatti le misure HVSR hanno individuato i picchi a più bassa frequenza inferiori a 1 Hz.

Per questi areali è stata impiegata la tabella degli indirizzi regionali denominata "*Pianura 2*", in quanto le aree oggetto di studio ricadono in un ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (>100 m da p.c.).

Solamente in corrispondenza della frazione Codemondo, sulla base delle informazioni di sottosuolo (v. sezione di Fig. 12) si è assunto che il bedrock sismico sia inferiore a 100 m di profondità, dato un locale innalzamento del substrato quaternario marino. Conseguentemente per questo areale è stata utilizzata la tabella degli indirizzi regionali denominata "*Pianura 1*".

Dal momento che il territorio del Comune di Reggio Emilia ricade in un contesto di pianura e di margine collinare con modeste pendenze, non sono stati considerati fattori di amplificazione per motivi topografici.



Fig. 36 - Esempio di legenda della Carta di Microzonazione Sismica – Livello 2

Le area in oggetto ricadono in gran parte in zone stabili suscettibili di amplificazioni locali per motivi litologici e stratigrafici e solo le porzioni ricadenti in corrispondenza di paleoalvei sono state considerate suscettibili di instabilità per fenomeni di liquefazione.

Con riferimento all'Allegato A2 degli indirizzi regionali, sono stati determinati i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento.

Per ciascuna zona sono state definite le velocità rappresentative delle onde di taglio nei primi 30 m (V_{s30}), analizzando sia i valori derivanti dalle indagini MASW, RE.MI, ecc., in parte di nuova esecuzione e in parte reperite presso l'archivio del Servizio Pianificazione e Qualità Urbana.

Per le quattro zone i valori di riferimento delle V_{s30} , determinati sulla base dei classi di velocità contenuti nelle tabelle dell' Allegato A2 degli indirizzi regionali, sono i seguenti:

zona	profilo stratigrafico	tabella F.A.	V_{s30} (m/s)
1	2001	Pianura 2	250
2	2002	Pianura 2	200
3	2003	Pianura 2	250
4	2004	Pianura 2	300
5	2005	Pianura 2	300
6	2006	Pianura 2	350
7	2007	Pianura 2	400
8	2008	Pianura 1	450

Tab. 2 – Sintesi degli elementi necessari alla determinazione dei fattori di amplificazione

Utilizzando le tabelle dell'Allegato 2 degli indirizzi regionali, i fattori di amplificazione (F.A.) per gli areali oggetto di microzonazione sono riportati nella tabella seguente:

	ZONE							
	1	2	3	4	5	6	7	8
F.A. P.G.A.	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,4	1,5
F.A. Is (0.1s < T₀ < 0.5s)	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,5	1,6
F.A. Is (0.5s < T₀ < 1.0s)	2,3	2,5	2,3	2,3	2,3	2,0	1,8	1,7

Tab. 3 - valori dei Fattori di Amplificazione sismica

Successivamente, in fase di predisposizione dei Piani Urbanistici Attuativi, dovranno essere eseguiti approfondimenti volti ad accertare l'esistenza dei fenomeni di inversione di velocità delle onde di taglio e le possibili implicazioni sotto il profilo della RSL.

9. APPROFONDIMENTI DI 3° LIVELLO

Gli approfondimenti di terzo livello sono stati eseguiti su due areali situati a nord e nord-est del Capoluogo, rispettivamente in corrispondenza delle località Sesso e Massenzatico (Fig. 37). Si tratta di località che nel corso del primo e del secondo livello di approfondimento sono risultate essere soggette a potenziale instabilità per fenomeni di liquefazione.

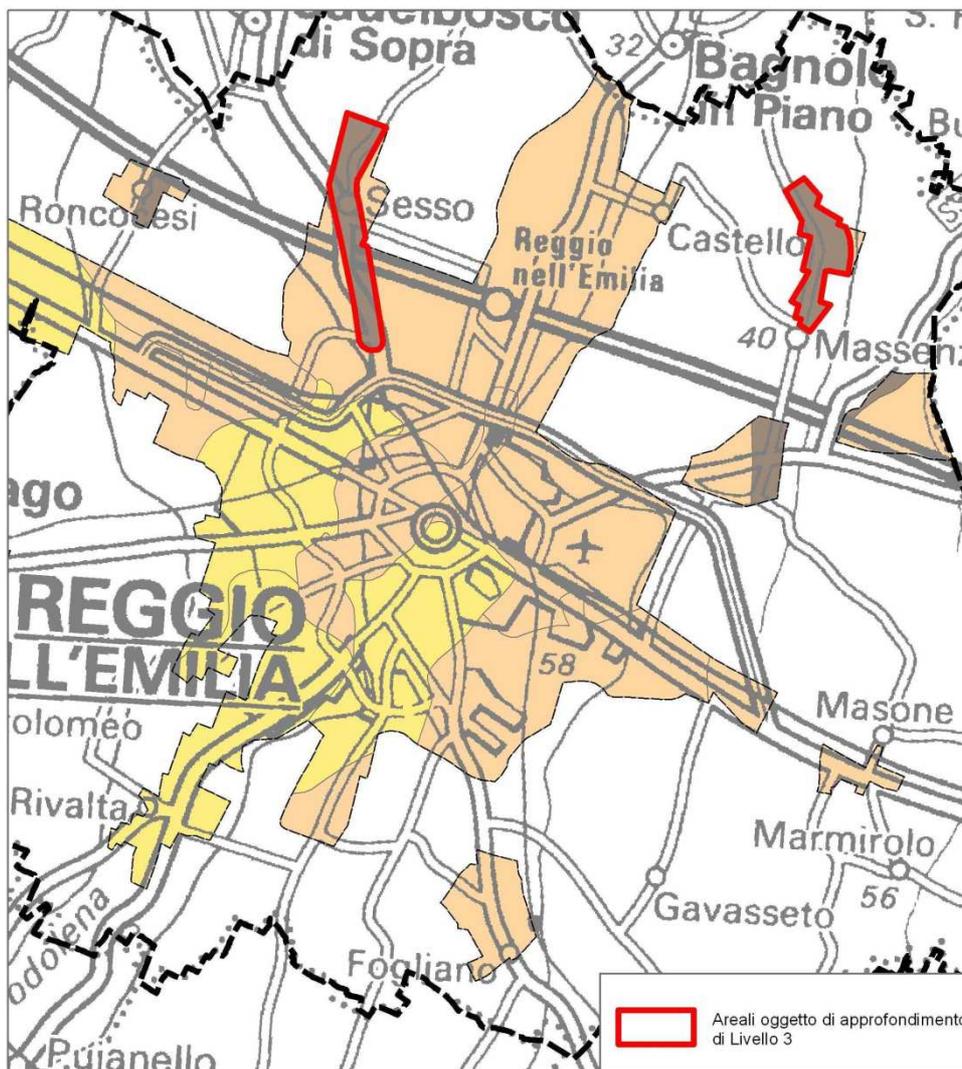


Fig. 37 – Individuazione degli areali oggetto di approfondimento di Livello 3

9.1 Analisi di disaggregazione

Lo studio di disaggregazione di a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, permette di individuare per l'area in esame, il *range* della coppia magnitudo-distanza che incide maggiormente sulla sismicità dell'area.

Tra i differenti metodi da utilizzare, si è optato per l'impiego delle mappe interattive di pericolosità sismica, presenti sul sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

Nella Fig. 38 è riportato lo stralcio della Mappa di pericolosità sismica del territorio di Reggio Emilia, mentre in Fig. 39 vengono riprodotti i risultati del procedimento di disaggregazione di a_g e le coppie magnitudo/distanza dei terremoti che apportano i maggiori danni nell'area, in funzione della percentuale della pericolosità. Tale elaborazione indica che gli eventi che contribuiscono alla sismicità dell'area sono contraddistinti da una magnitudo compresa tra 4,0 e 6,0, con valori medi di circa 4,93 e distanze epicentrali inferiori a 30 km, con valori medi di 8,96 km. Si tratta pertanto di un'area contraddistinta da una sismicità medio-bassa, confermata anche dall'attribuzione del territorio comunale alla zona sismica 3.

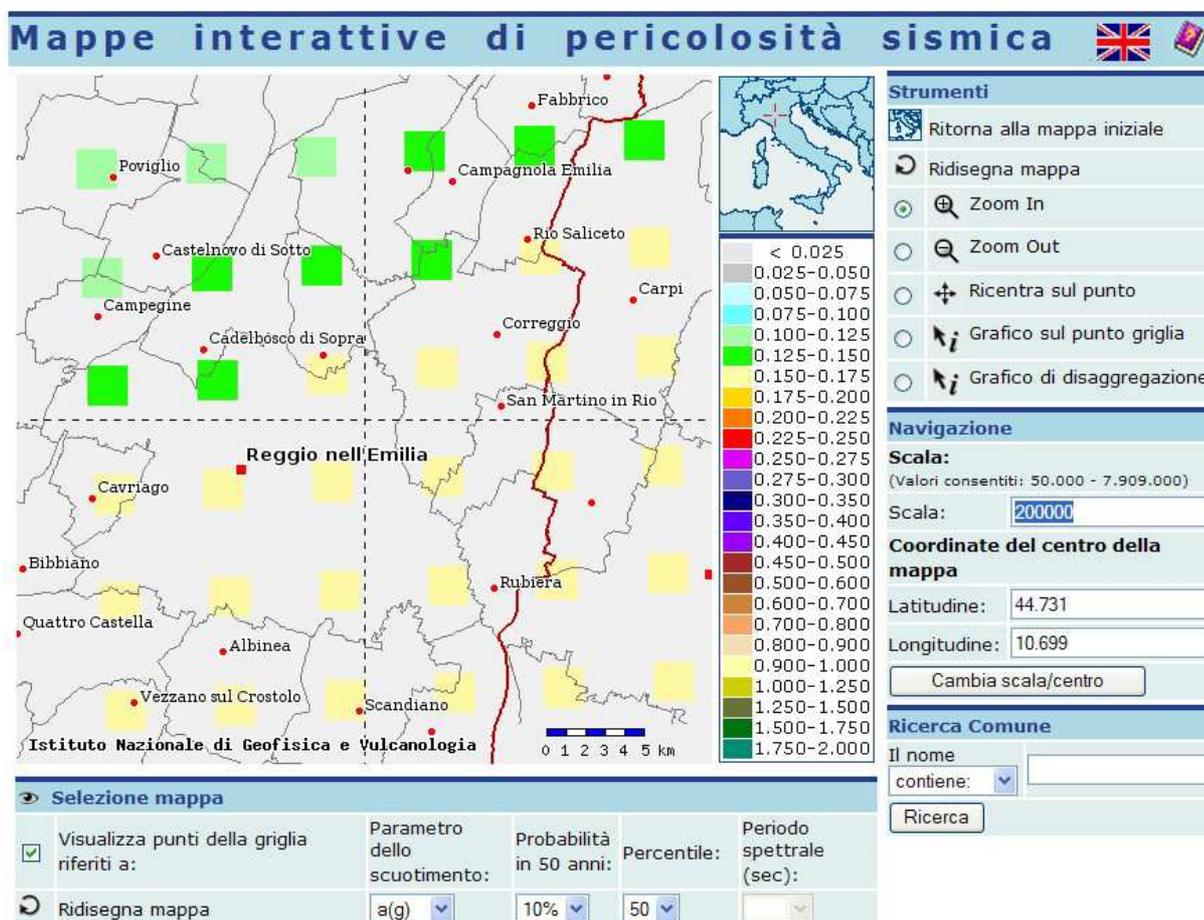
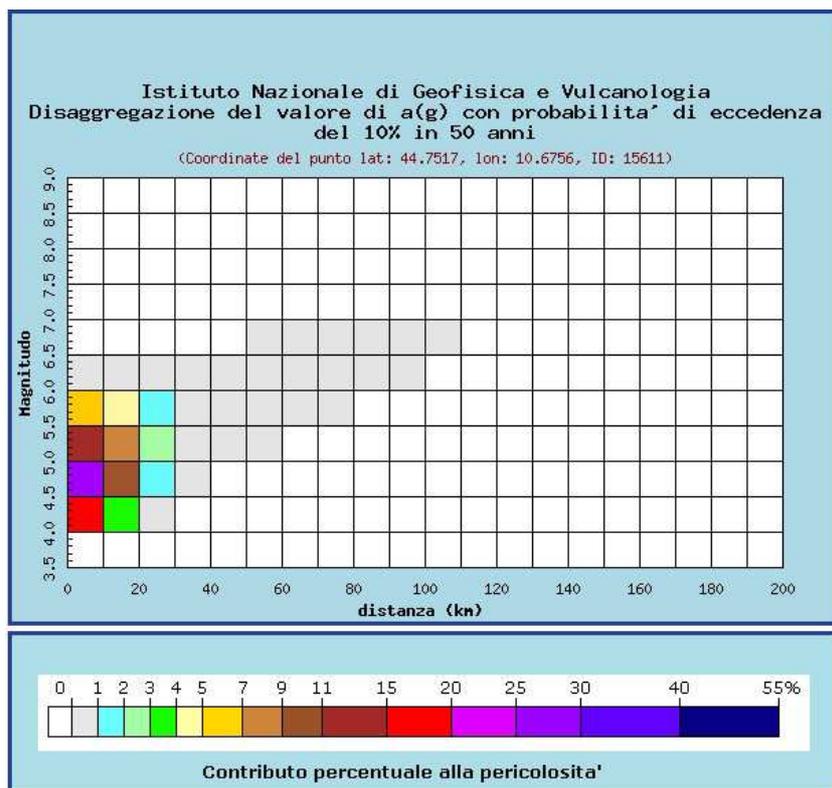


Fig. 38 - Stralcio della Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di $a(g)$ per un Tempo di ritorno di 475 anni.



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 44.7517, lon: 10.6756, ID: 15611)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	17.200	29.400	14.700	6.110	0.579	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	3.710	9.370	7.520	4.220	0.341	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	0.143	1.260	2.070	1.690	0.156	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	0.000	0.033	0.401	0.566	0.058	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.000	0.000	0.031	0.172	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031	0.034	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.034	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.930	8.960	0.692

Fig. 39 - Valori delle coppie magnitudo distanza e relativa probabilita'

Il valore di magnitudo ottenuto dalla disaggregazione è stato confrontato quello attribuito dalla zonazione sismogenetica ZS9 all'areale oggetto di microzonazione sismica ricadente nella zona 913. (Tab. 4), che risulta essere pari a 6,14.

Nome ZS	Numero ZS	M _{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Tab. 4 – Valori di magnitudo per le zone sismogenetiche ZS9

Adottando un approccio di tipo cautelativo, per gli approfondimenti di terzo livello si è assunto come valore di riferimento della magnitudo quello massimo previsto dalla zonazione sismogenetica ZS9.

9.2 Spettro di risposta rappresentativo

La valutazione della pericolosità sismica di base è stata definita attraverso i dati pubblicati dalla Regione Emilia Romagna (Cfr. *Allegato 4 - DAL 112/2007*), che attribuisce a ciascun ambito comunale un valore di accelerazione orizzontale massima di picco attesa su suolo rigido di riferimento, per terremoti con tempo di ritorno di 475 anni (equivalenti al 10% di probabilità di superamento in 50 anni).

Tale valore per il Comune di Reggio Emilia è pari a 0,157 g.

Lo spettro di risposta a probabilità uniforme, che descrive le caratteristiche del moto sismico nel territorio del Comune di Reggio Emilia, è stato ottenuto dallo spettro normalizzato fornito dalla DAL 112/2007 rapportato al valore di a_g del territorio comunale in esame.

Lo spettro di risposta a probabilità uniforme, riportato in Fig. 40, è stato sovrapposto a quello ricavato dal D.M. 14/01/2008 per un suolo di tipo A, attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri-NTCver.1.0.3 predisposto dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Fig. 41).

Il grafico mostra un buon grado di correlazione tra i due spettri per periodi (T) superiori a 0.3 s, mentre per periodi compresi tra 0,10 e 0,30 s lo spettro di risposta a probabilità uniforme evidenzia amplificazioni maggiori rispetto allo spettro delle NTC2008.

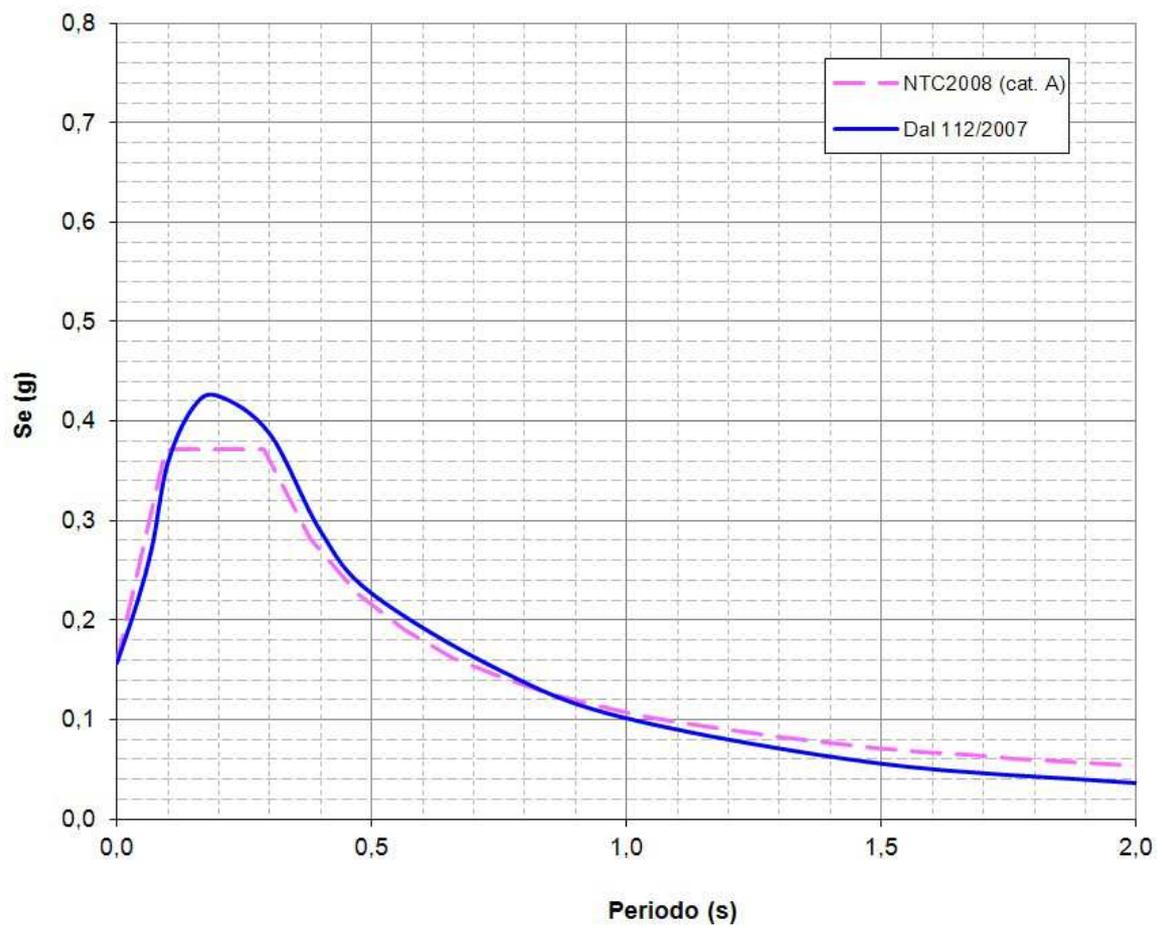


Fig.40 – Confronto tra spettro a probabilità uniforme e spettro di risposta elastico da NTC2008

Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver.1.0.2"

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,157 g
F_0	2,374
T_C	0,288 s
S_S	1,000
C_C	1,000
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,000
η	1,000
T_B	0,096 s
T_C	0,288 s
T_D	2,227 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,157
$T_B \leftarrow$	0,096	0,372
$T_C \leftarrow$	0,288	0,372
	0,380	0,282
	0,473	0,227
	0,565	0,190
	0,657	0,163
	0,750	0,143
	0,842	0,127
	0,934	0,115
	1,027	0,104
	1,119	0,096
	1,211	0,088
	1,304	0,082
	1,396	0,077
	1,488	0,072
	1,581	0,068
	1,673	0,064
	1,765	0,061
	1,857	0,058
	1,950	0,055
	2,042	0,052
	2,134	0,050
$T_D \leftarrow$	2,227	0,048
	2,311	0,045
	2,396	0,042
	2,480	0,039
	2,564	0,036
	2,649	0,034
	2,733	0,032
	2,818	0,031
	2,902	0,031
	2,987	0,031
	3,071	0,031
	3,156	0,031
	3,240	0,031
	3,324	0,031
	3,409	0,031
	3,493	0,031
	3,578	0,031
	3,662	0,031
	3,747	0,031
	3,831	0,031
	3,916	0,031
	4,000	0,031

Fig.41 – Dati dello spettro di risposta elastico delle NTC2008

9.3 Analisi della risposta sismica locale

Un aspetto fondamentale da affrontare nell'ambito della Microzonazione Sismica di Livello 3, è rappresentato dall'analisi di risposta sismica locale, descrivibile come *“quell'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (coperture) fino alla superficie”*. Tali studi sono circoscritti alle sole aree urbanizzate e suscettibili di trasformazioni urbanistiche, in cui sono stati individuati ulteriori approfondimenti nel corso della redazione del 2° livello di microzonazione sismica.

Considerando un'analisi della risposta sismica locale in modalità free-field, in cui viene considerato il sito privo di ogni tipo di struttura, i dati in ingresso e in uscita dal modello risultano i seguenti:

- Dati di input:
 - Moto sismico atteso alla base del deposito o su roccia affiorante (roccia o terreno duro di riferimento) con assegnato tempo di ritorno;
 - Geometria del deposito (spessori ed estensione);
 - Stratigrafia (natura, alternanza e spessore degli strati);
 - Caratteristiche fisiche e geotecniche (densità, velocità delle onde di taglio S, Rapporto di smorzamento, leggi di variazione della deformazione, ecc.);
- Dati di output:
 - Andamento del moto sismico sulla superficie espresso sotto forma di parametri sismici di ampiezza, frequenza e durata oppure interamente espressi in termini di tempo (time-history) o di contenuto in frequenza (spettri di risposta).

In sintesi il percorso metodologico prevede la preventiva estrazione dei segnali sismici naturali compatibili con il sito d'interesse.

Successivamente, sulla base della ricostruzione della sismo-stratigrafia caratteristica del sottosuolo per ciascuna microzona omogenea si ottengono, utilizzando *software* specifici, spettri e accelerogrammi *“amplificati”* in superficie, per effetto del passaggio delle onde sismiche attraverso terreni con differenti caratteristiche geomeccaniche rispetto al *bedrock*.

9.4 Selezione dei segnali sismici di riferimento

Il primo passo per una corretta valutazione della Risposta Sismica Locale, consiste nella selezione dei segnali accelerometrici di input che meglio approssimano le condizioni di sismicità dell'area, peraltro già affrontate nei capitoli precedenti.

In relazione della funzione pianificatoria assunta dal presente studio e, in ragione delle raccomandazioni contenute all'interno dell'Allegato 4 della DAL 112/2007, si è ritenuto sufficiente utilizzare, quali segnali di input, i 3 accelerogrammi forniti dalla Regione Emilia Romagna per ogni comune, ancorati al *bedrock* e opportunamente scalati all'accelerazione massima attesa ($a_g = 0,157 g$).

Essi sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica "*European Strong Motion Database*" attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD.

Sono stati adottati gli accelerogrammi (Fig. 42) denominati **000046xa**, **000126xa** e **000354xa**, corrispondenti rispettivamente ad un sisma di tipo impulsivo, di tipo ad ampio contenuto in frequenze e di tipo con componente predominante alle alte frequenze.

Nella Fig. 43, riferita al Comune di Reggio Emilia, sono riportati gli spettri di risposta elastici con periodo di ritorno 475 anni e smorzamento pari a 5%, relativamente ai 3 segnali di riferimento, raffrontati con quello desunto in base alle direttive regionali.

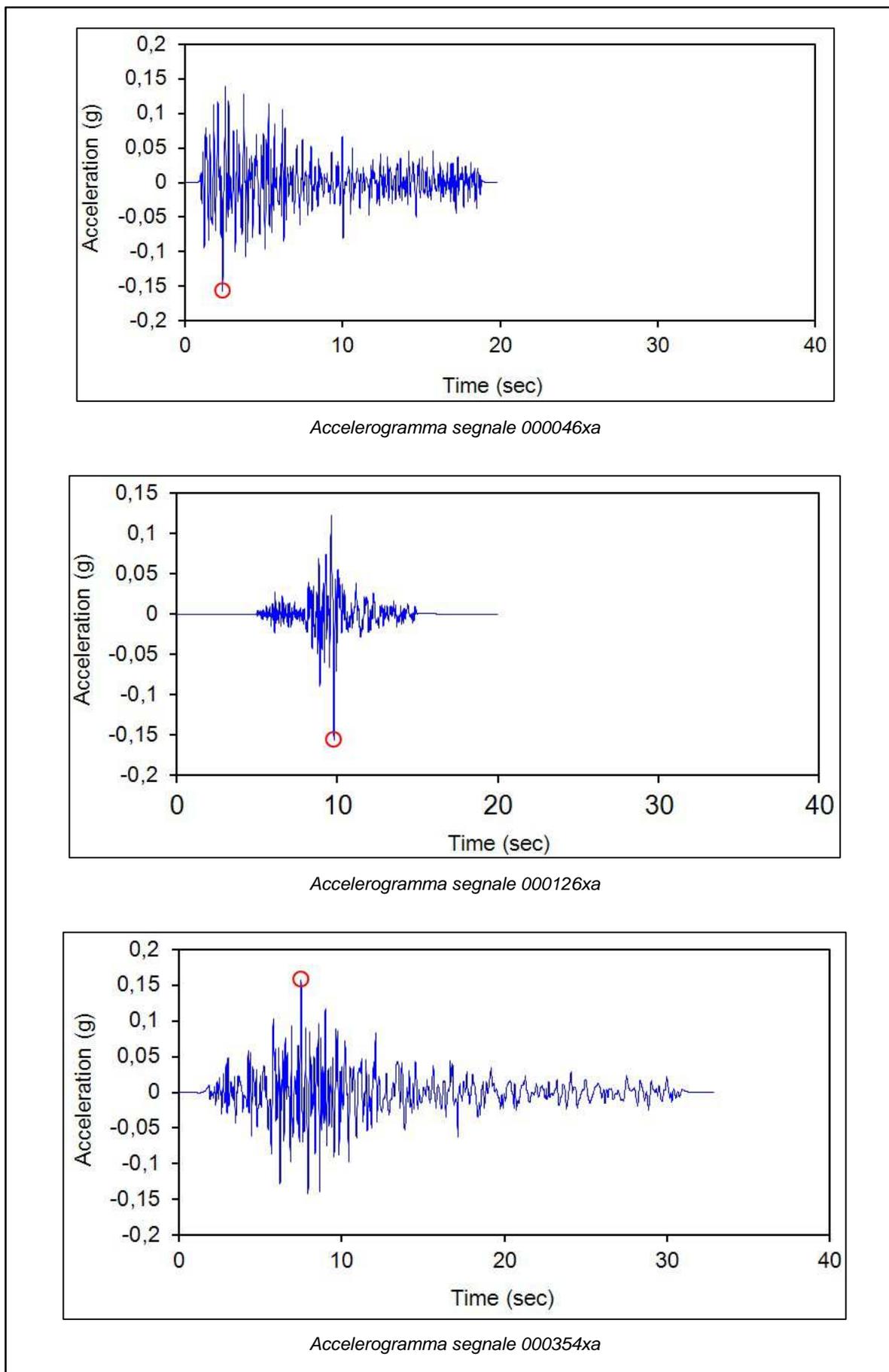


Fig. 42 – Segnali di riferimento

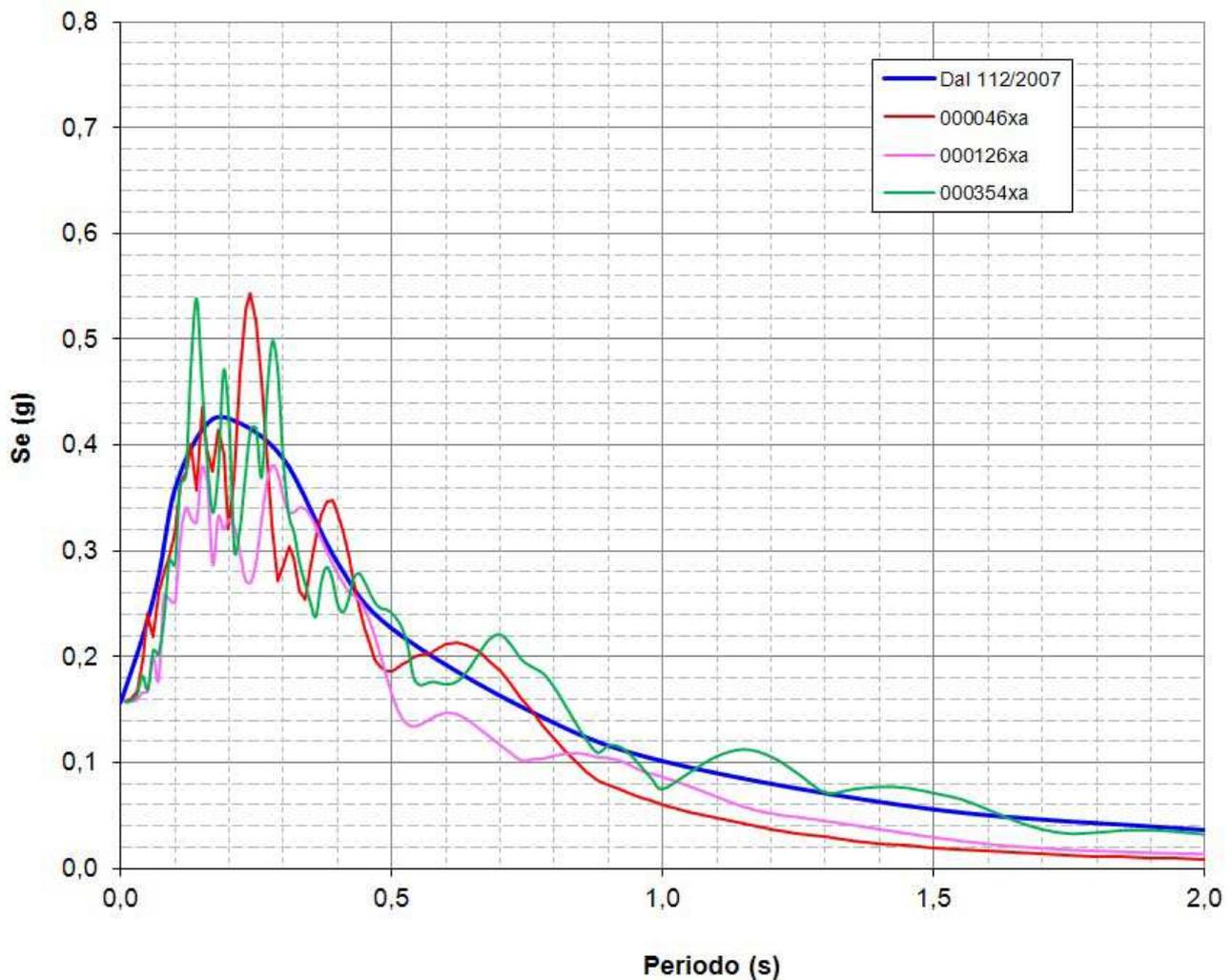


Fig. 43 – Confronto tra spettro a probabilità uniforme (DAL 112/2007) e spettri dei segnali di input

9.5 Modello del sottosuolo

Il modello del sottosuolo è stato definito attraverso i dati disponibili relativi a indagini geognostiche pregresse e misure di rumore sismico effettuate per i precedenti livelli di microzonazione sismica.

In particolare le indagini utilizzate sono state:

- prove penetrometriche di tipo statico;
- sondaggi a carotaggio continuo;
- perforazioni per la realizzazione di pozzi idrici;
- indagini MASW;
- misure di microtremori a stazione singola.

I due areali oggetto di approfondimento ricadono entrambi nella medesima microzona individuata nel corso del primo livello di approfondimento, caratterizzata dalla presenza di una spessa coltre di depositi fini di natura argilloso-limoso con locali intercalazioni lenticolari di sedimenti limo-sabbiosi e sabbiosi. Le misure di microtremori a stazioni singola evidenziano un unico picco

significativo del rapporto H/V a frequenze di $0,7 \div 0,8$ Hz (Fig. 44 e 45), associabile ad un orizzonte risonante localizzato alla quota presumibile di circa $-140 \div -150$ m da p.c.. A frequenze maggiori di 1 Hz non si sono evidenziati ulteriori picchi, data la spessa copertura di materiali fini privi di contrasti di impedenza significativi.

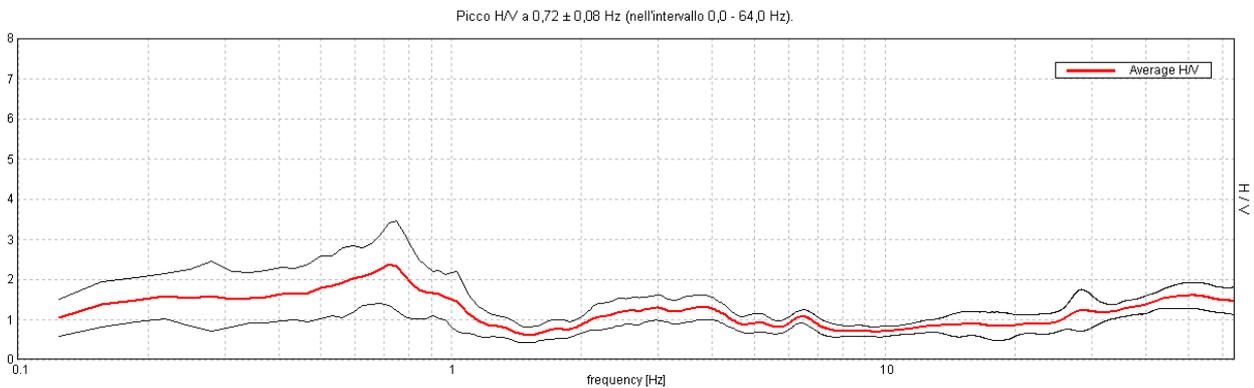


Fig. 44 – Rapporto spettrale orizzontale su verticale della misura di microtremori a stazione singola effettuata in loc. Massenzatico (cod. 035033P317HVSR457)

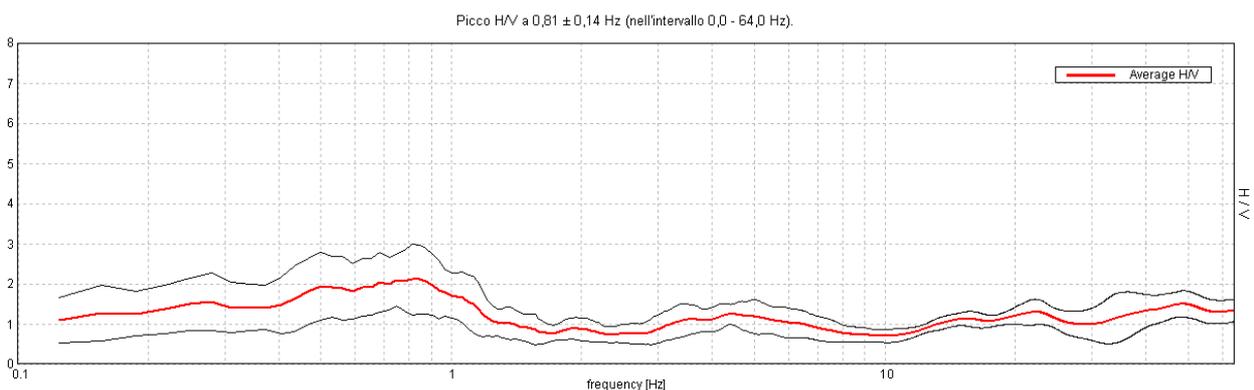
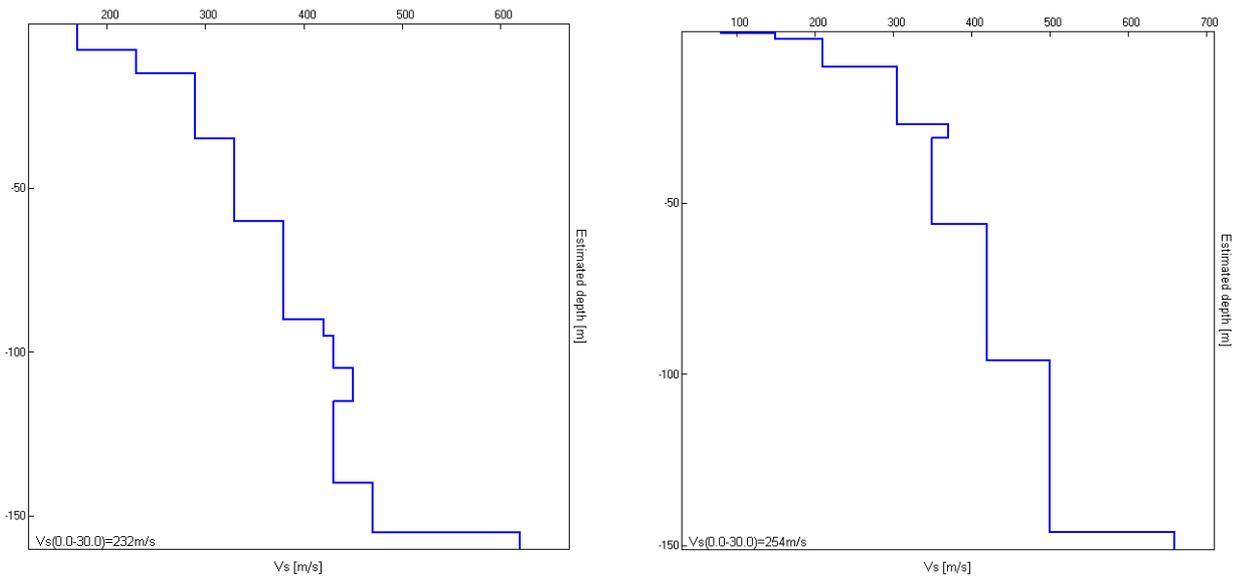


Fig. 45 – Rapporto spettrale orizzontale su verticale della misura di microtremori a stazione singola effettuata in loc. Sesso (cod. 035033P327HVSR467)

I valori di V_{s30} per entrambi gli areali sono ricompresi tra 200 e 250 m/s (Fig. 46), cui corrisponde un sottosuolo di categoria C secondo la classificazione delle NTC2008. Come bedrock è stato assunto l'orizzonte che genera il picco significativo alle frequenze di $0,7 \div 0,8$ Hz.



Massenzatico 035033P317HVSR457

Sesso 035033P317HVSR467

Fig. 46 – Profili di Vs ricavati dalle misure di microtremori a stazione singola.

9.6 Fattori di amplificazione determinati con modellazione numerica

Per l'elaborazione dei dati di input e per l'ottenimento degli spettri in superficie, si è utilizzato un software di calcolo monodimensionale (1D), in ragione della regolarità dello spessore e della geometria della coltre detritica. Valutate inoltre le modeste accelerazioni massime mostrate dal suolo di tipo A (**0,157g**), che evidenziano basse deformazioni di taglio, si è ritenuto di impiegare un modello lineare equivalente (**EERA**), che effettua analisi in termini di tensioni totali e, quindi non considera le sovrapressioni interstiziali originate dall'input sismico che possono influenzare le caratteristiche di rigidità dei terreni attraversati.

Per tenere in conto il comportamento non lineare dei terreni, che varia al variare della deformazione, il codice utilizza curve di degradazione del modulo di taglio G/G_0 e curve del rapporto di smorzamento D in funzione della deformazione di taglio. Non essendo disponibili specifici dati di laboratorio relativi alle proprietà dinamiche dei terreni degli areali in studio, si sono utilizzate le curve standard già presenti nel software per vari materiali (argilla, sabbia, ecc.).

Entrando nel dettaglio dei risultati ottenuti attraverso le elaborazioni con il codice di calcolo, occorre precisare che, l'amplificazione sismica è stata quantificata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) e di rapporto di Intensità di *Housner* (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodo ($0,10 \div 0,50$ s e $0,50 \div 1,00$ s), considerando tempi di ritorno di 475 anni e smorzamento del 5%. PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di *Housner* al suolo di riferimento, e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di *Housner* calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Nelle immagini di Fig. 47 e Fig. 48 sono stati rappresentati gli spettri di risposta in superficie per ciascun segnale sismico, nonché lo spettro ricavato dai valori medi al bedrock e in superficie.

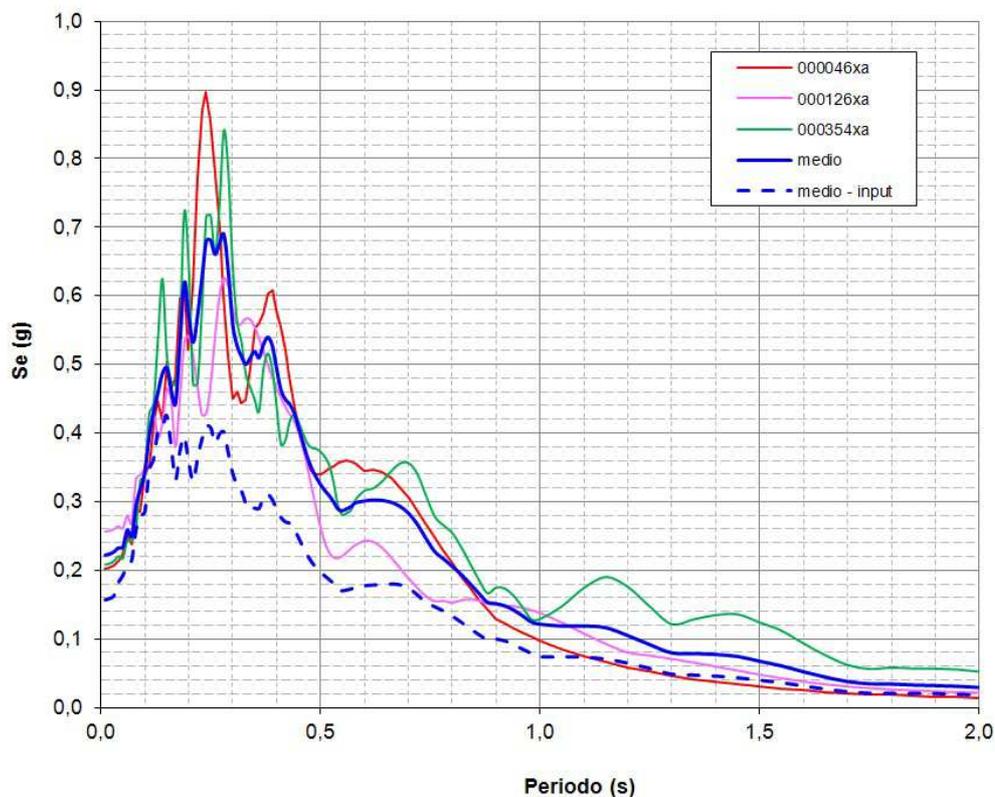


Fig. 47 - Spettro di risposta in superficie riferito alla località Massenzatico

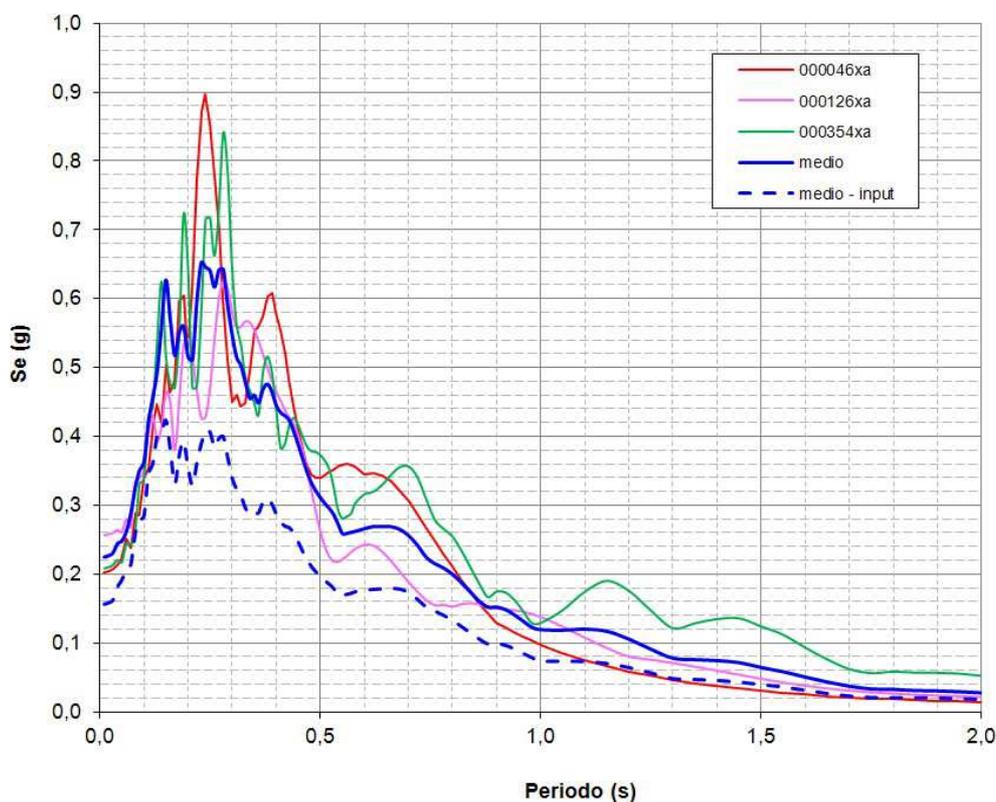


Fig. 48 - Spettro di risposta in superficie riferito alla località Sesso

Si tratta di spettri del tutto simili, che indicano una risposta sismica in termini di amplificazione pressoché identica.

Inoltre, sono stati inseriti gli spettri di risposta medi in pseudo-velocità, necessari per ottenere l'Intensità di *Housner*.

Il fattore di amplificazione della PGA è ottenuto dal rapporto tra l'ordinata dello spettro elastico in accelerazione a periodo $T=0$, che rappresenta l'accelerazione orizzontale massima in superficie (PGA), e il corrispondente valore dello spettro di input al bedrock (PGA_0),

$$FA_{PGA} = \frac{PGA}{PGA_0}$$

L'Intensità di *Housner* (Fig. 49 e 50) è stata ottenuta dalla risoluzione dell'integrale:

$$IS = \int_{T_1}^{T_2} PSV dt$$

dove PSV è lo spettro di risposta in pseudo-velocità determinato in superficie, PSV_0 quello al suolo rigido e T_1 e T_2 rappresentano i periodi presi a riferimento per il calcolo del rapporto di Intensità di *Housner*, pari a $0,1 \div 0,5$ s e $0,5 \div 1,0$ s.

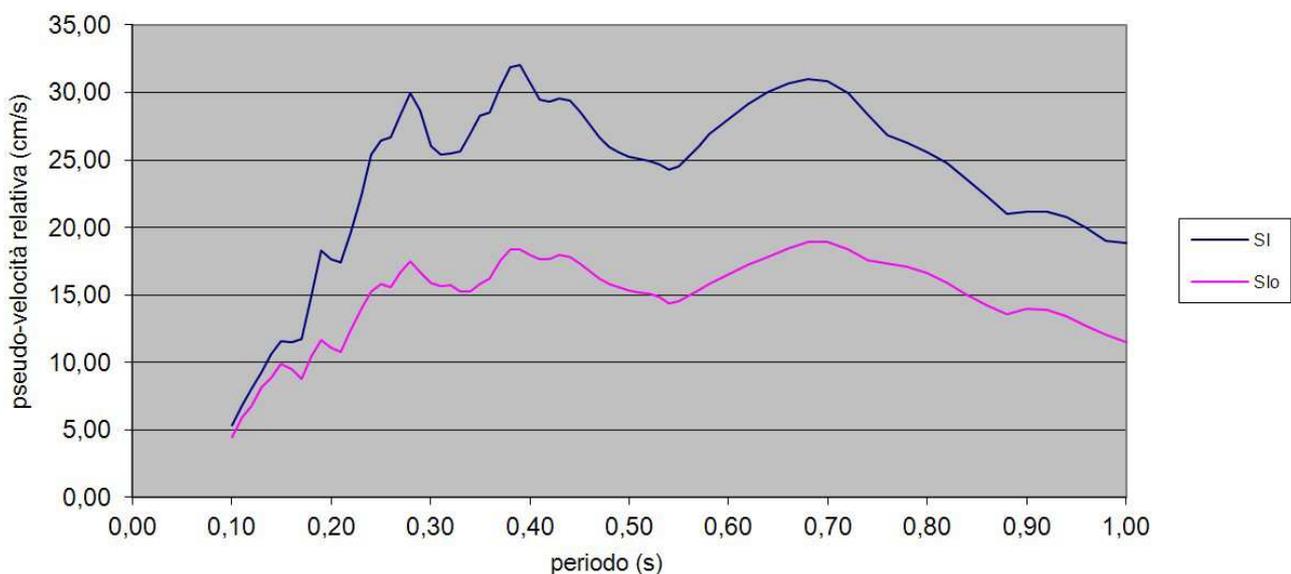


Fig. 49 – Spettri in pseudo-velocità riferiti all'areale di Massenzatico

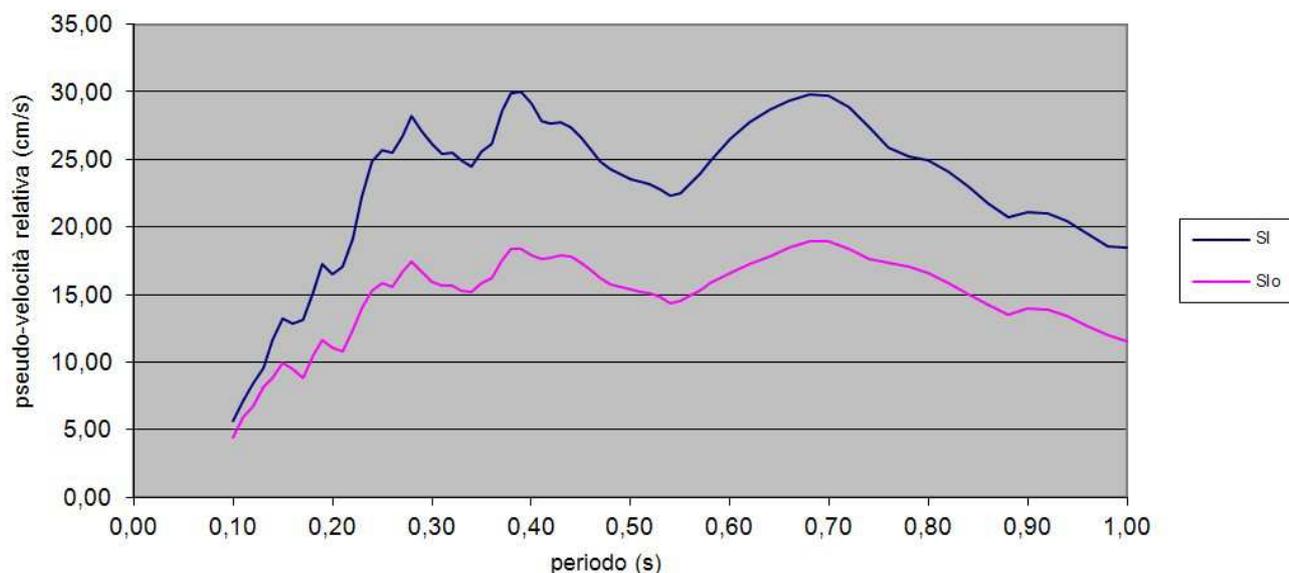


Fig. 50 – Spettri in pseudo-velocità riferiti all’areale di Sesso

Nelle tabelle seguenti sono stati riportati i fattori di amplificazione della PGA e dell’Intensità di Housner (IS), con indicati anche quelli ricavabili dalle tabelle dell’Allegato A2 degli Indirizzi per la Microzonazione Sismica della Regione Emilia Romagna (DAL 112/2007).

	Elaborazione con codice EERA				F.A DAL112/2007
	000046xa	000126xa	000354xa	valore medio	
FA_{PGA}	1,28	1,63	1,33	1,41	1,5
$FA_{IS} (0,1s < T_0 < 0,5)$	1,67	1,60	1,59	1,62	1,8
$FA_{IS} (0,5s < T_0 < 1,0)$	1,68	1,57	1,59	1,61	2,5

Tab. 5 – Fattori di amplificazione relativi all’areale di Massenzatico

	Elaborazione con codice EERA				F.A DAL112/2007
	000046xa	000126xa	000354xa	valore medio	
FA_{PGA}	1,37	1,51	1,42	1,43	1,5
$FA_{IS} (0,1s < T_0 < 0,5)$	1,56	1,51	1,59	1,55	1,8
$FA_{IS} (0,5s < T_0 < 1,0)$	1,52	1,52	1,59	1,54	2,5

Tab. 6 – Fattori di amplificazione relativi all’areale di Sesso

I valori dei fattori di amplificazione della PGA, determinati attraverso modellazione numerica con il codice di calcolo EERA, sono risultati leggermente inferiori a quelli desunti tramite stima speditiva dalle tabelle dell’Allegato A2 degli indirizzi per la Microzonazione Sismica in Emilia Romagna.

Viceversa i fattori riferiti alla Intensità di Housner evidenziano uno scostamento significativo da quelli delle tabelle regionali, con valori marcatamente più bassi in particolare per i periodi 0,5-1,0s.

9.7. Verifica alla liquefazione

Il calcolo della pericolosità sismica di liquefazione è stato effettuato per ciascuna delle verticali di indagine disponibili negli areali di Massenzatico e Sesso su i quali sono stati eseguiti approfondimenti di Livello 3.

In accordo con quanto previsto della DAL 112/2007, la stima del potenziale di liquefazione è stata effettuata ricorrendo a metodi semplificati, in particolare utilizzando il metodo di Robertson & Wride (1998), secondo le indicazioni riportate nell'Appendice E delle Linee Guida AGI 2005.

Cautelativamente è stato assunto un terremoto di magnitudo momento pari a 6.14 (valore massimo previsto per la zona sismogenetica 913 in cui ricadono gli areali in questione).

Il picco di accelerazione orizzontale atteso in superficie (a_{maxs}) è stato determinato attraverso la seguente relazione

$$a_{maxs} = a_{ref} \cdot FA_{PGA} \cdot S_T$$

dove: a_{ref} = accelerazione massima su suolo rigido di riferimento

FA_{PGA} = fattore di amplificazione stratigrafico dell'accelerazione max orizz.

S_T = fattore di amplificazione topografica

Il valore di a_{ref} è stato assunto pari a 0.157g, secondo le indicazioni riportate nella delibera regionale 112/2007 per il comune di Reggio Emilia.

Il livello di falda, considerando la minima soggiacenza, è stato considerato a -1.00 m da p.c..

La resistenza del deposito alla liquefazione è stata valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione (FS_L)

$$FS_L = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

Il valore di CSR è stato determinato attraverso l'espressione proposta da Seed e Idriss (1971), valida per terremoti di magnitudo pari a 7,5

$$CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d$$

dove: a_{max}/g = accelerazione di picco al piano campagna;

σ_{v0} = tensione totale verticale;

σ'_{v0} = tensione efficace verticale;

r_d = coeff. riduttivo dovuto alla deformabilità del sottosuolo.

Il coefficiente r_d è stato calcolato mediante la seguente procedura:

se $z < 9,15$ m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z$$

se $9,15 \leq z < 23$ m

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z$$

dove z è la profondità in metri.

Il valore di $CSR_{7,5}$ è stato ricondotto alla magnitudo del terremoto considerato attraverso il fattore correttivo **MSF** (Magnitudo Scaling Factor):

$$CSR = CSR_{7,5} / MSF$$

con $MFS = 6,9 \exp(-M/4) - 0,058$

$MSF \leq 1,8$

Il valore di **CRR** è stato determinato attraverso il metodo di Robertson e Wride, che utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo I_c calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = \left[(3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5}$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100$$

dove

Q = resistenza penetrometrica normalizzata;

q_c = resistenza alla punta misurata con il penetrometro statico;

P_a = tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ_{vo} ;

f_s = attrito del manicotto;

n = esponente che dipende dal tipo di suolo

L'esponente n varia tra 0,5 per sabbie pulite ed 1,0 per materiali di tipo argilloso. Robertson & Wride suggeriscono di considerare in prima approssimazione $n=1,0$ e calcolare il conseguente valore di I_c . Se il risultante I_c è maggiore di 2,6 il terreno è classificabile come materiale di tipo argilloso, con scarse o nulle probabilità di liquefare. Se il valore di I_c è minore di 2,6 il terreno è probabilmente di tipo a grana grossa e il valore della resistenza penetrometrica normalizzata Q deve essere ricalcolato assumendo $n=0,5$. Se invece il nuovo valore di I_c è maggiore di 2,6 il terreno è probabilmente di tipo limoso e plastico e l'analisi va ripetuta con un valore di n pari a 0,75.

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene valutata mediante la seguente procedura:

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N}$$

$$K_c = -0,403I_c^4 + 5,581I_c^3 - 21,63I_c^2 + 33,75I_c - 17,88 \quad \text{per } I_c > 1,64$$

$$K_c = 1 \quad \text{per } I_c \leq 1,64$$

La resistenza alla liquefazione (**CRR**) è stata calcolata con la espressione seguente:

$$CRR = \exp \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{540} + \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{67} \right)^2 - \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{80} \right)^3 + \left(\frac{(q_{c1N})_{cs}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

Una volta determinato il fattore di resistenza alla liquefazione (F_s), è stato calcolato l'indice del potenziale di liquefazione (I_L) per ciascuna delle verticali considerate, attraverso il quale è possibile definire il rischio di liquefazione dei depositi (Tab 7).

$0 < I_L \leq 5$	Rischio di liquefazione basso
$5 < I_L \leq 15$	Rischio di liquefazione elevato
$I_L > 15$	Rischio di liquefazione estremamente elevato

Tab. 7 – Classi di pericolosità di liquefazione

L'indice del potenziale di liquefazione è stato definito attraverso la seguente relazione proposta da Iwasaki et al. (1982):

$$I_L = \int_0^{20} F(z) \cdot w(z) \cdot dx$$

dove:

$F(z)$ è una funzione del fattore di sicurezza che per

$$FS_L > 1 \rightarrow F(z) = 0$$

$$FS_L \leq 1 \rightarrow F(z) = 1 - FS_L$$

$$w(z) = 10 - 0,5 \cdot z \text{ (con } z \text{ profondità in metri)}$$

I risultati delle verifiche alla liquefazione effettuate in corrispondenza delle verticali disponibili negli areali di Massenzatico e Sesso, sono riportate nelle seguenti tabelle:

verticale CPT	indice potenziale liquefazione
035033P12CPT12	0,6
035033P13CPT13	2,6
035033P14CPT14	3,7
035033P15CPT15	0,1
035033P16CPT16	0,8
035033P17CPT17	1,7
035033P18CPT18	2,2
035033P19CPT19	2,7
035033P20CPT20	0,8
035033P240CPT380	1,7
035033P241CPT381	0,7
035033P242CPT382	0
035033P439CPT580	0
035033P440CPT581	0
035033P441CPT582	0

Tab. 8 – Indice del potenziale di liquefazione nell'areale di Massenzatico

verticale CPT	indice potenziale liquefazione
035033P21CPT21	0
035033P247CPT387	0
035033P253CPT393	0
035033P254CPT394	0
035033P255CPT395	0,8
035033P256CPT396	0,4
035033P588CPT732	1,5
035033P589CPT733	0
035033P590CPT734	2,7
035033P591CPT735	0,8

Tab. 9 – Indice del potenziale di liquefazione nell'areale di Sesso

Come si può osservare l'indice del potenziale di liquefazione è risultato sempre inferiore a 5 e, talvolta, pari zero in corrispondenza di alcune verticali di indagine.

Adottando un approccio di tipo cautelativo, si è ritenuto di non effettuare suddivisioni interne alle microzone sulla base degli indici del potenziale di liquefazione, in quanto le prove disponibili non coprono diffusamente gli areali oggetto di approfondimento.

Pertanto agli areali è stato attribuito il valore del potenziale di liquefazione più elevato riscontrato al loro interno, cui corrisponde sempre un rischio di liquefazione basso (Fig. 51 e 52).

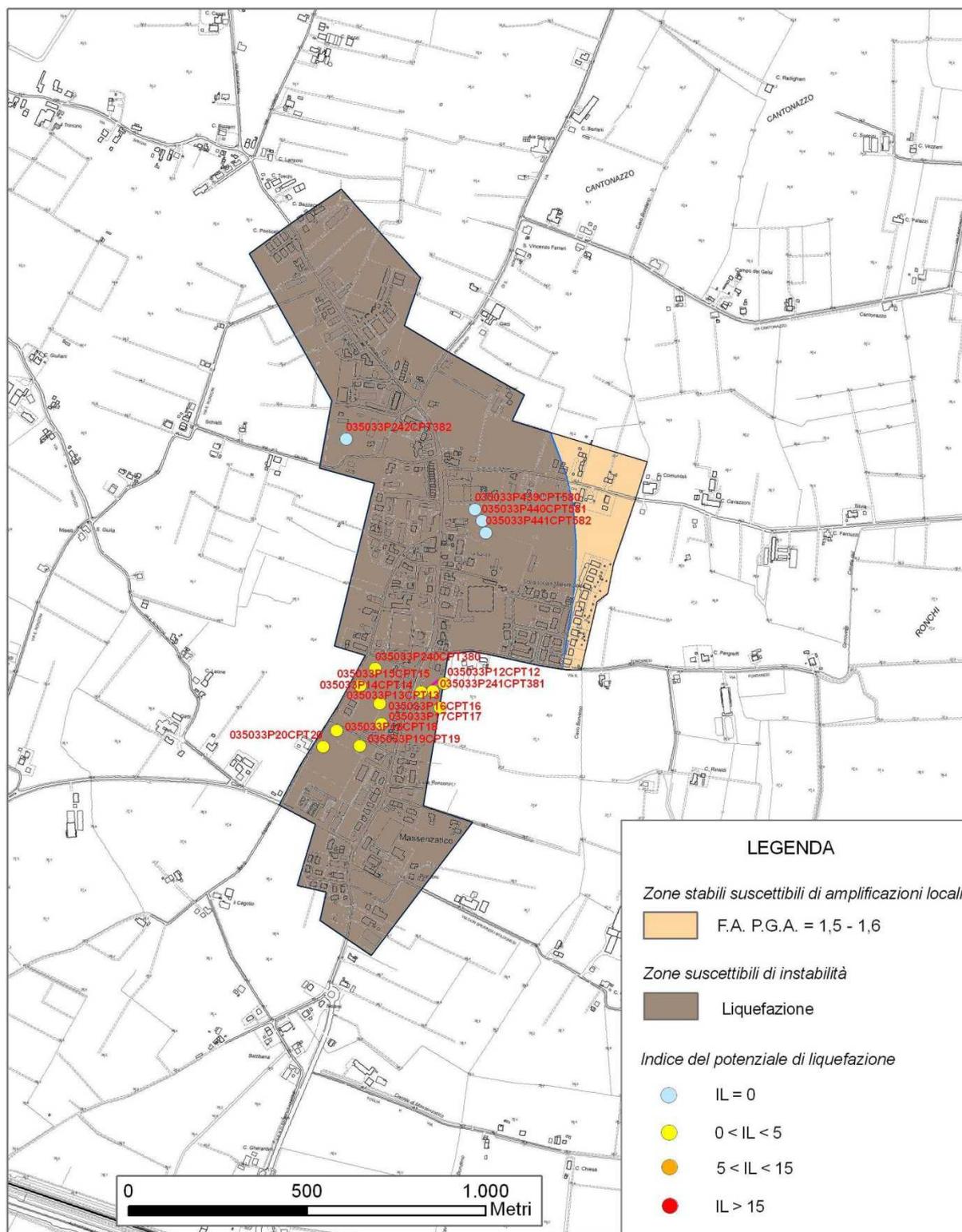


Fig. 51 – Stralcio della carta di microzonazione sismica di Livello 3 dell'areale di Massenzatico

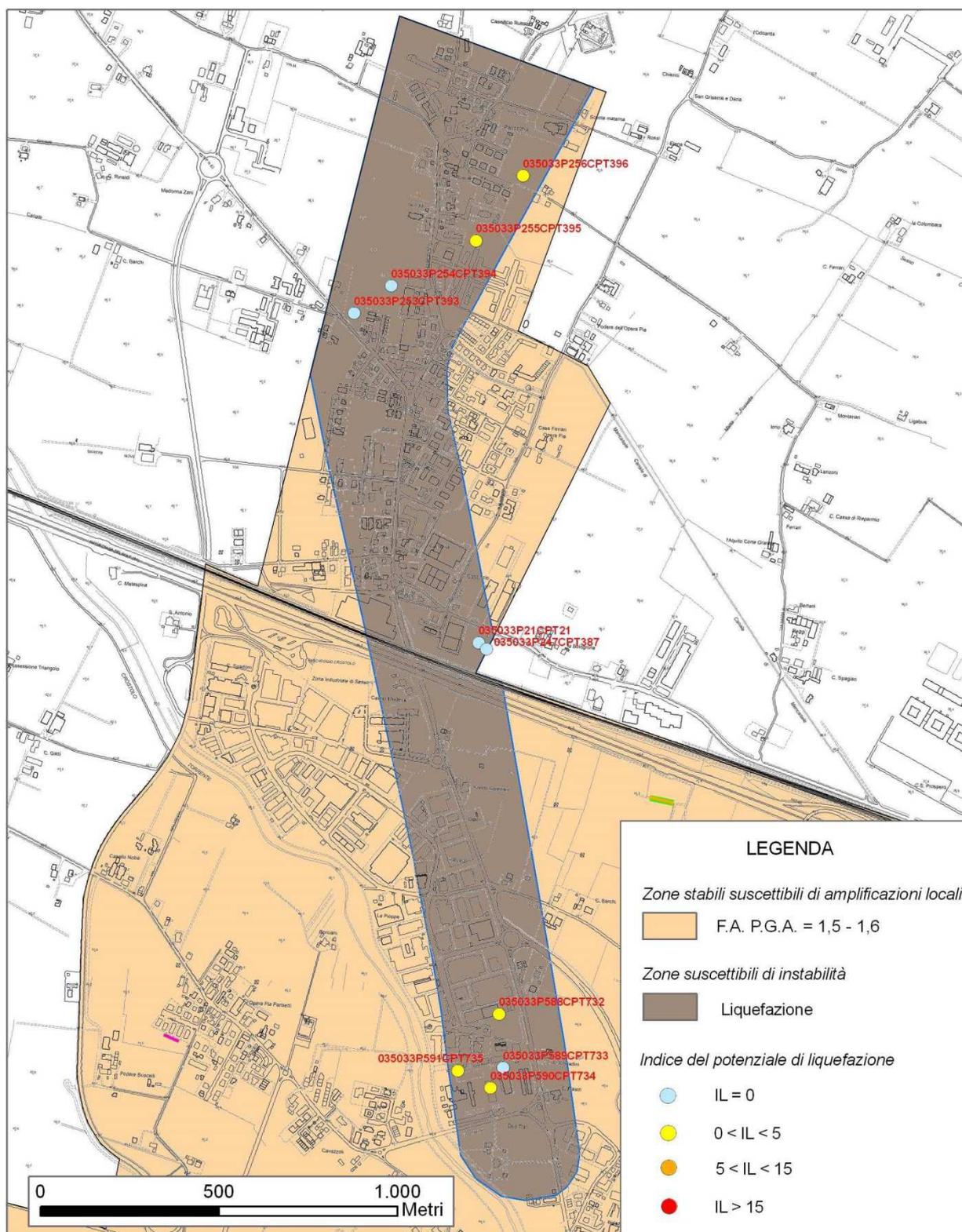
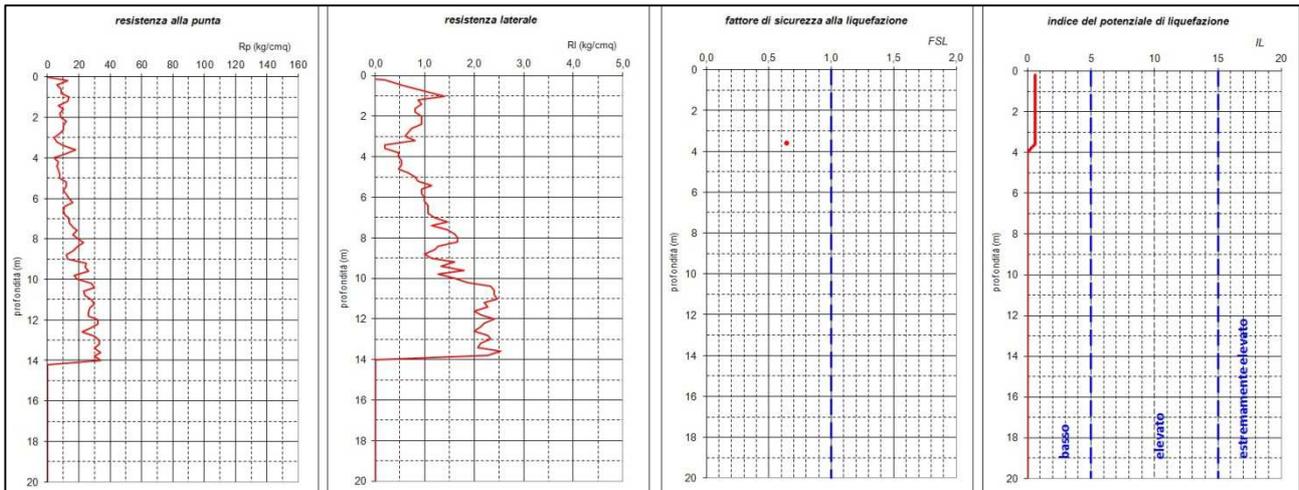
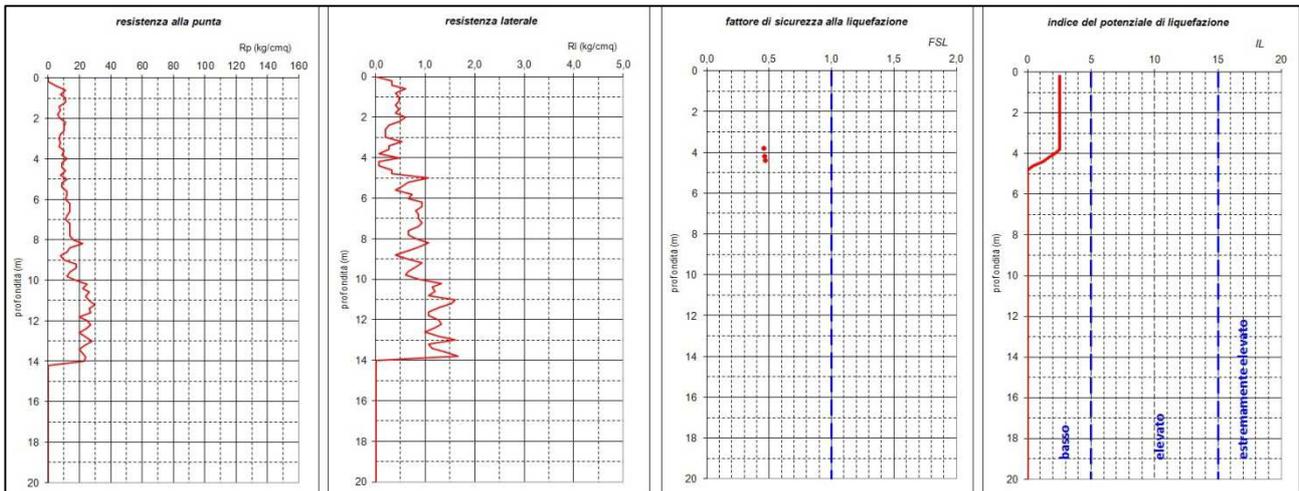


Fig. 52 – Stralcio della carta di microzonazione sismica di Livello 3 dell'areale di Sesto

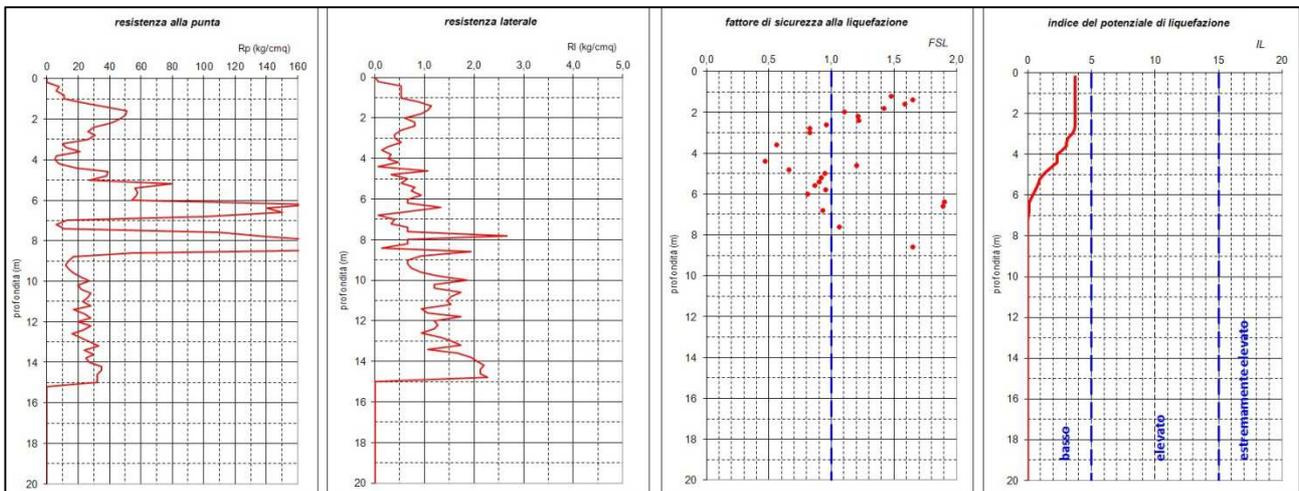
VERIFICHE ALLA LIQUEFAZIONE – LOC. MASSENZATICO



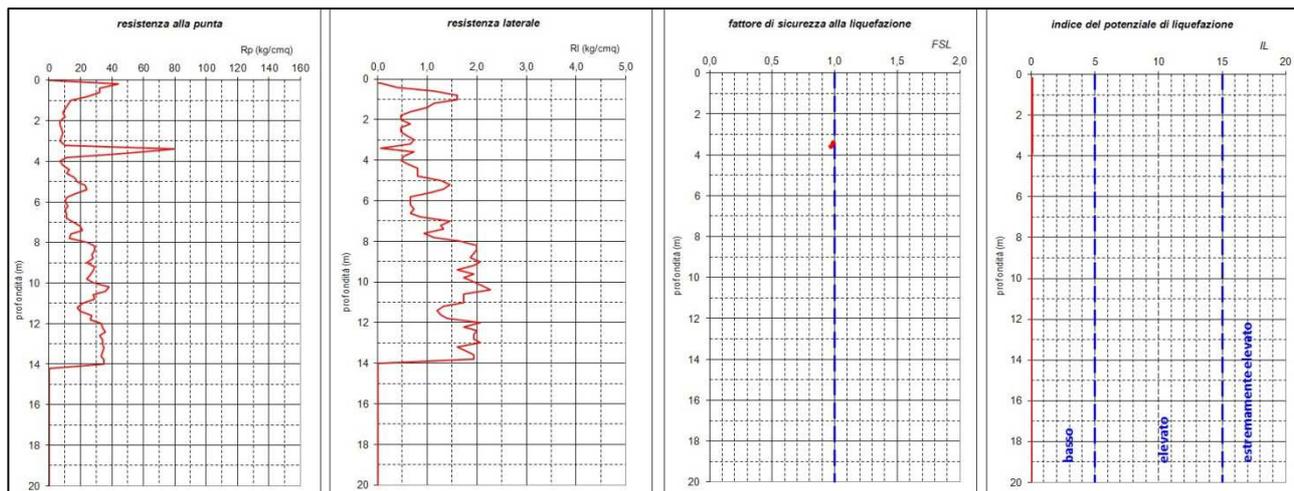
Prova 035033P12CPT12



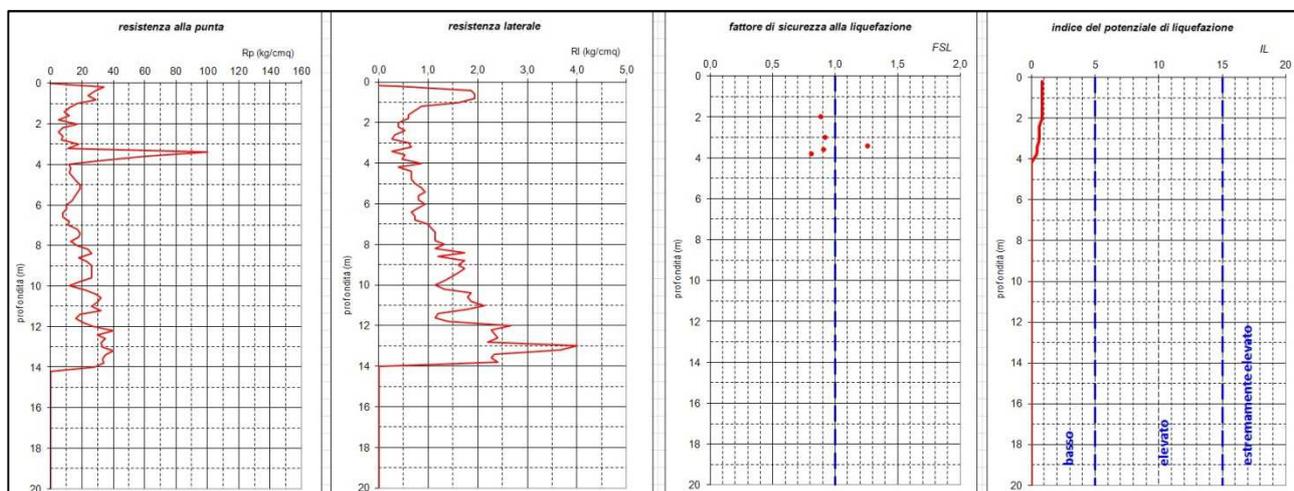
Prova 035033P13CPT13



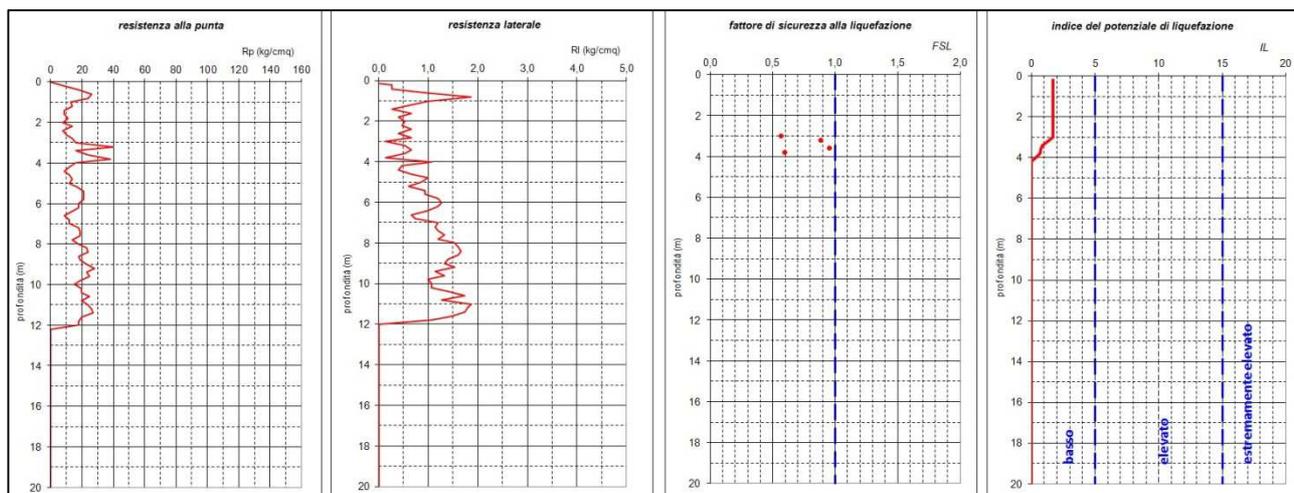
Prova 035033P14CPT14



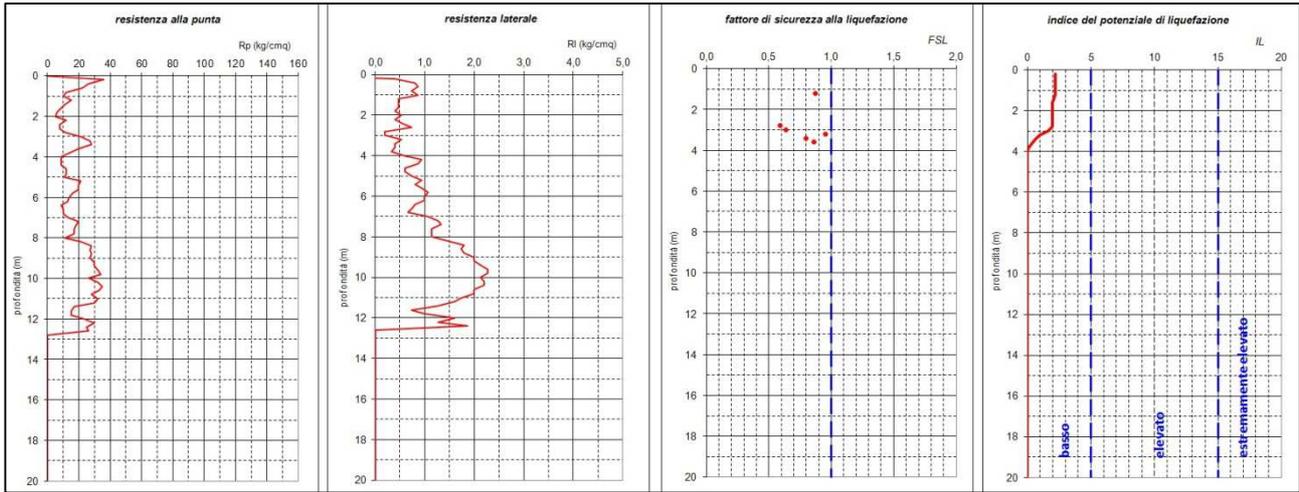
Prova 035033P15CPT15



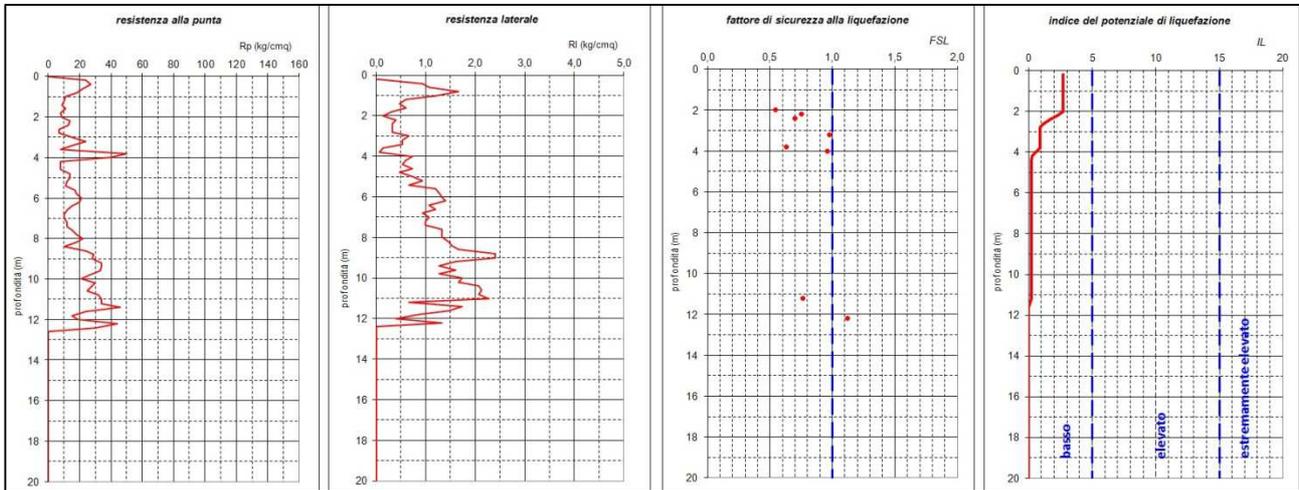
Prova 035033P16CPT16



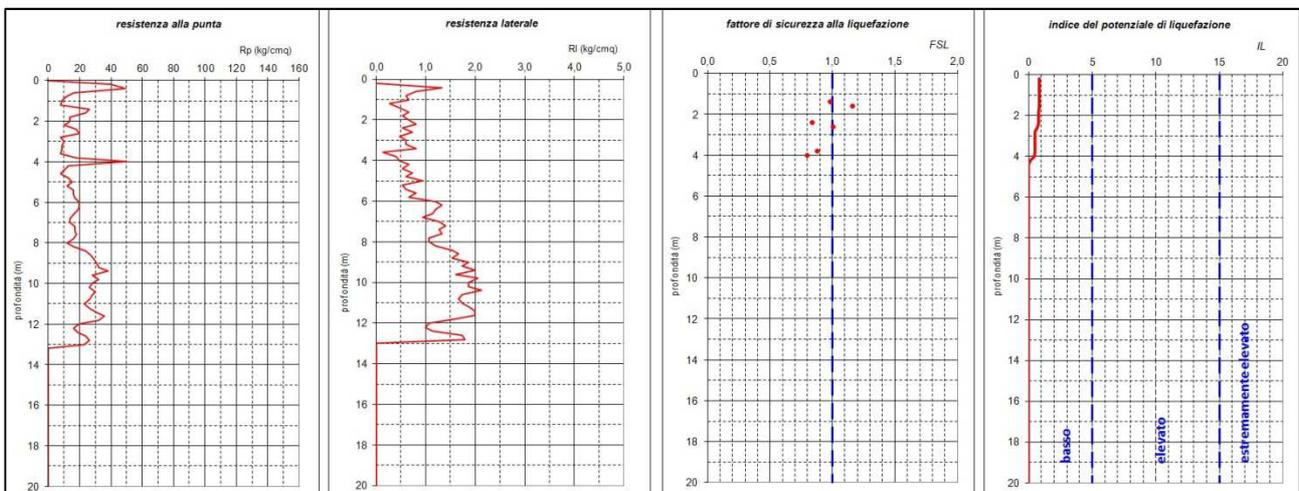
Prova 035033P17CPT17



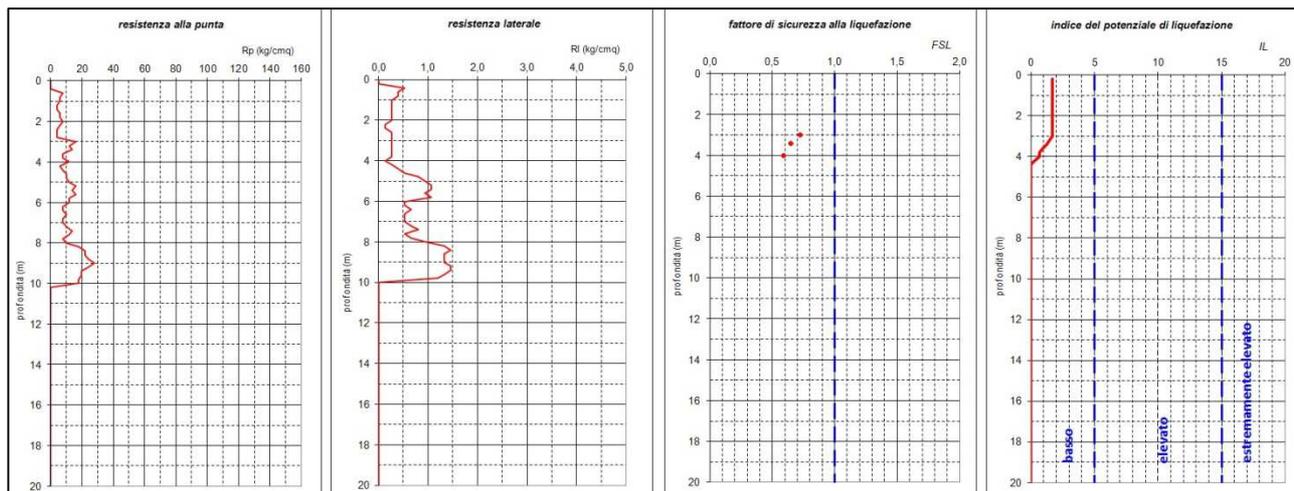
Prova 035033P18CPT18



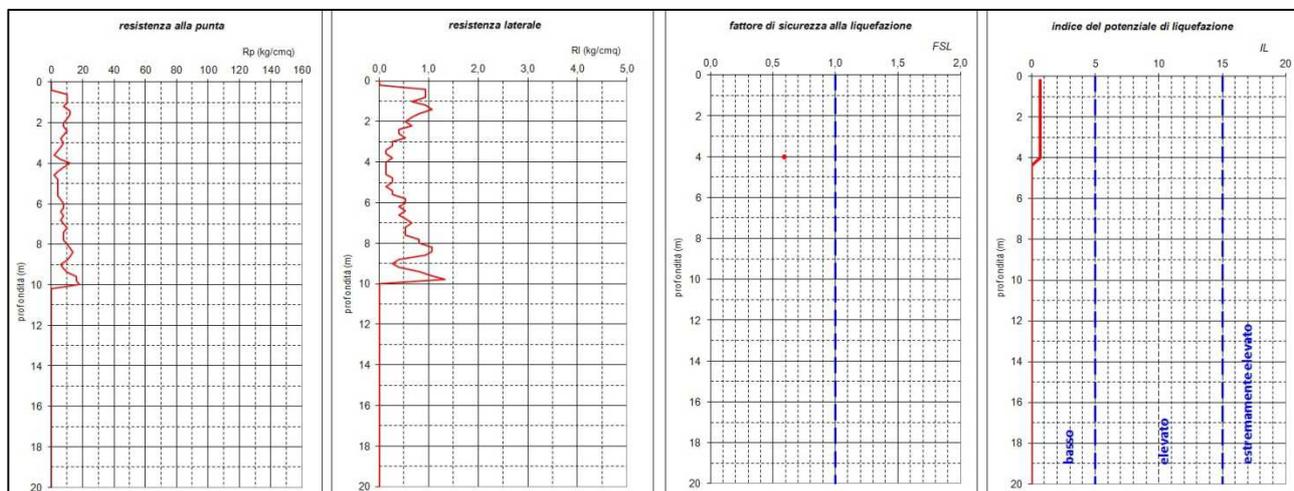
Prova 035033P19CPT19



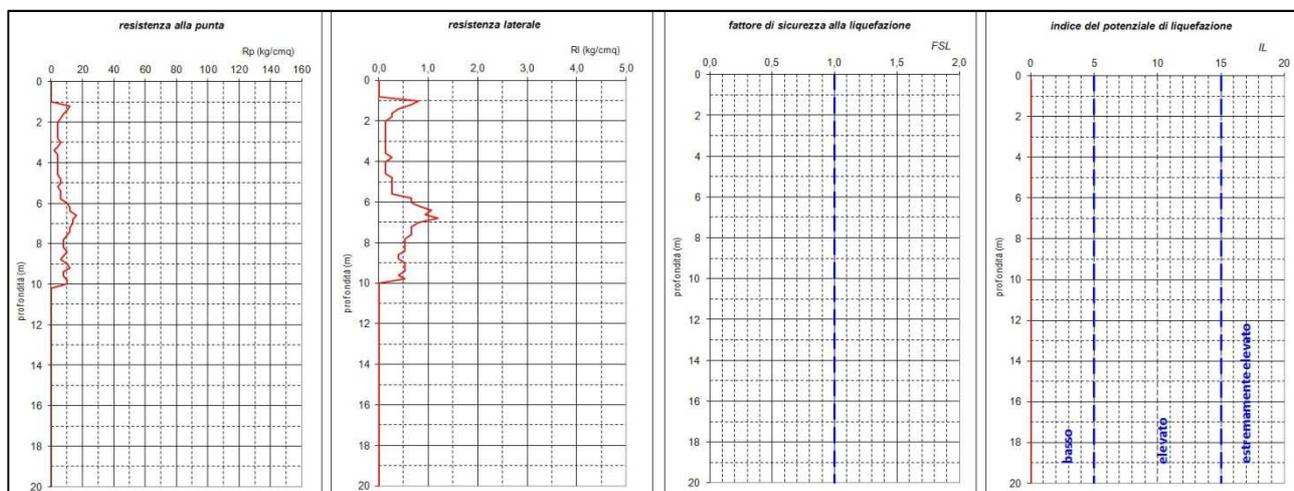
Prova 035033P20CPT20



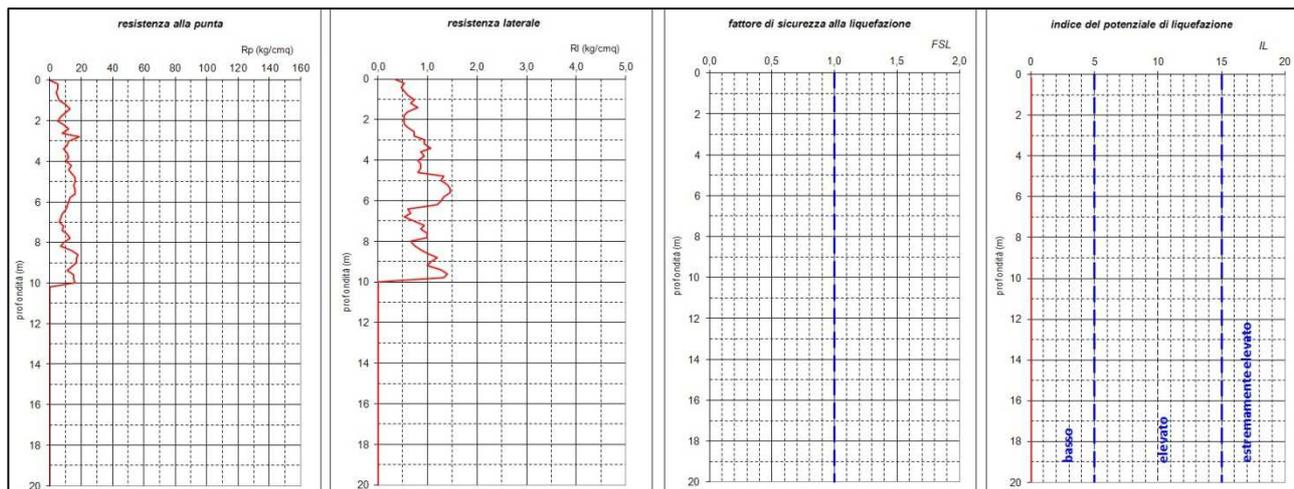
Prova 035033P240CPT380



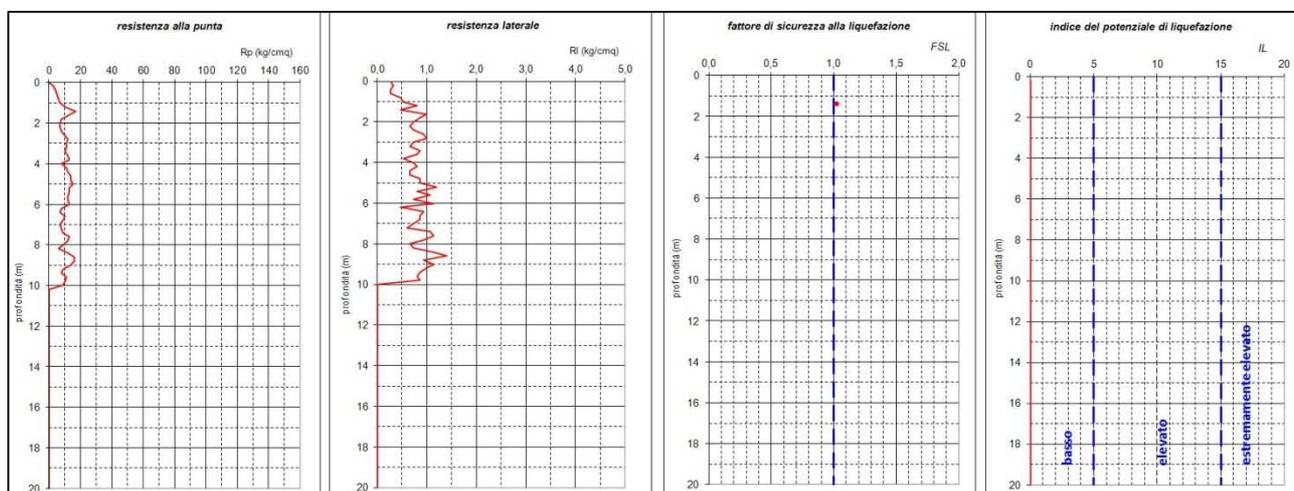
Prova 035033P241CPT381



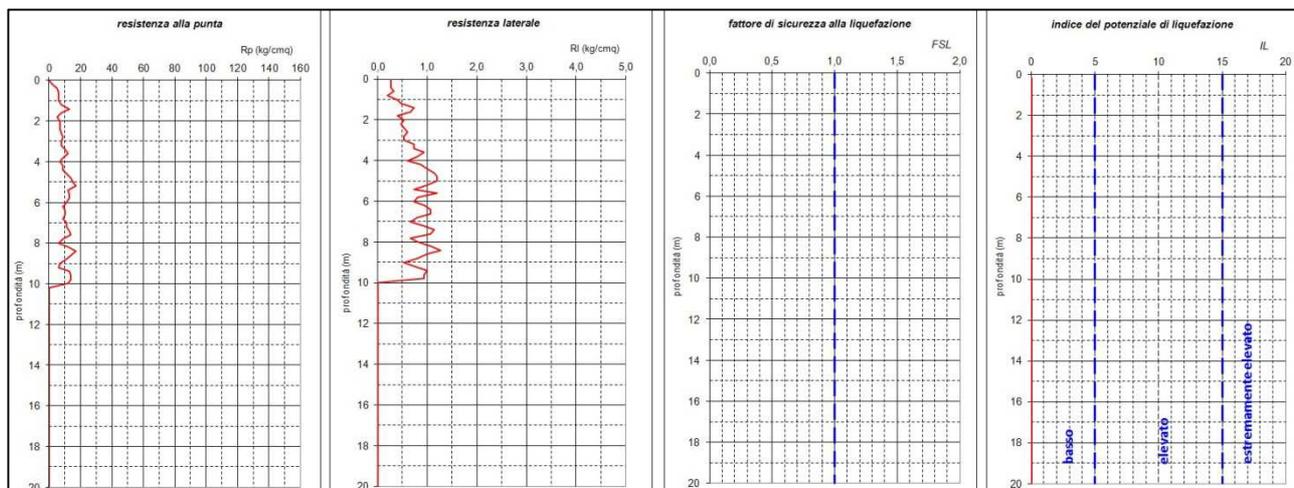
Prova 035033P242CPT382



Prova 035033P439CPT580

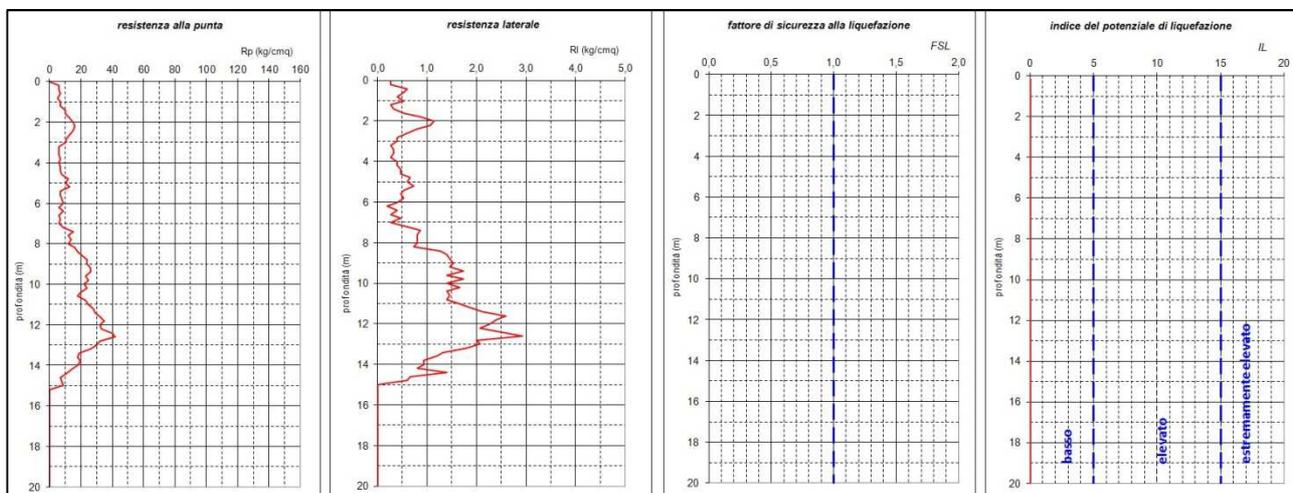


Prova 035033P440CPT581

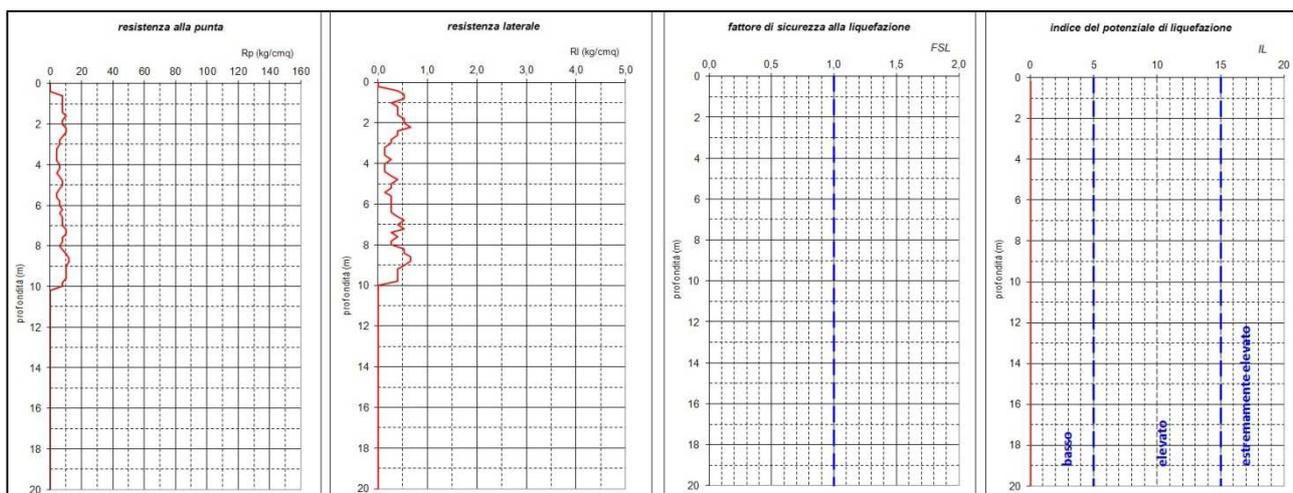


Prova 035033P441CPT582

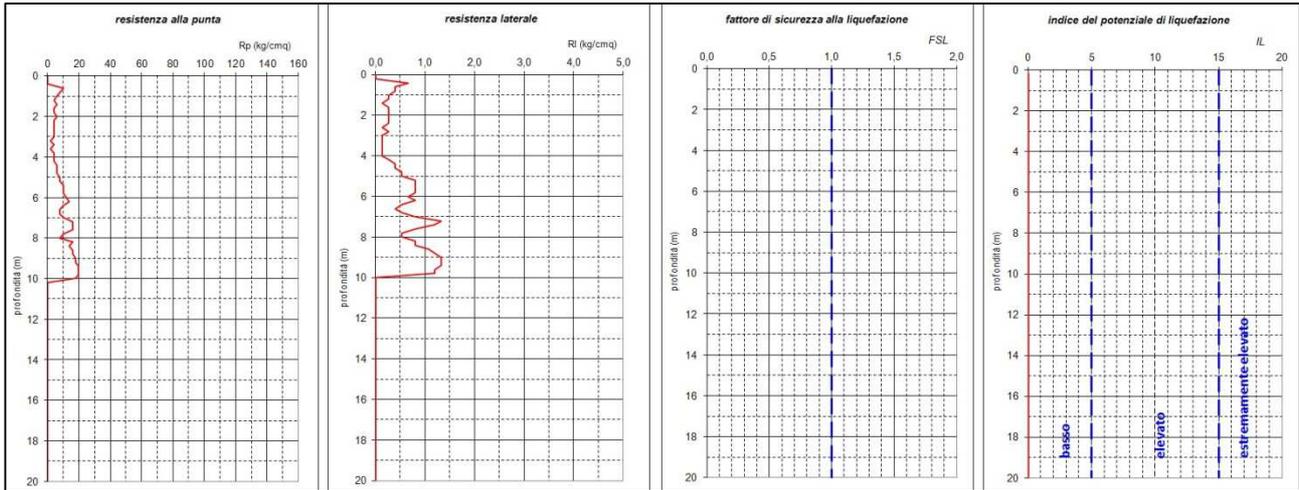
VERIFICHE ALLA LIQUEFAZIONE – LOC. SESSO



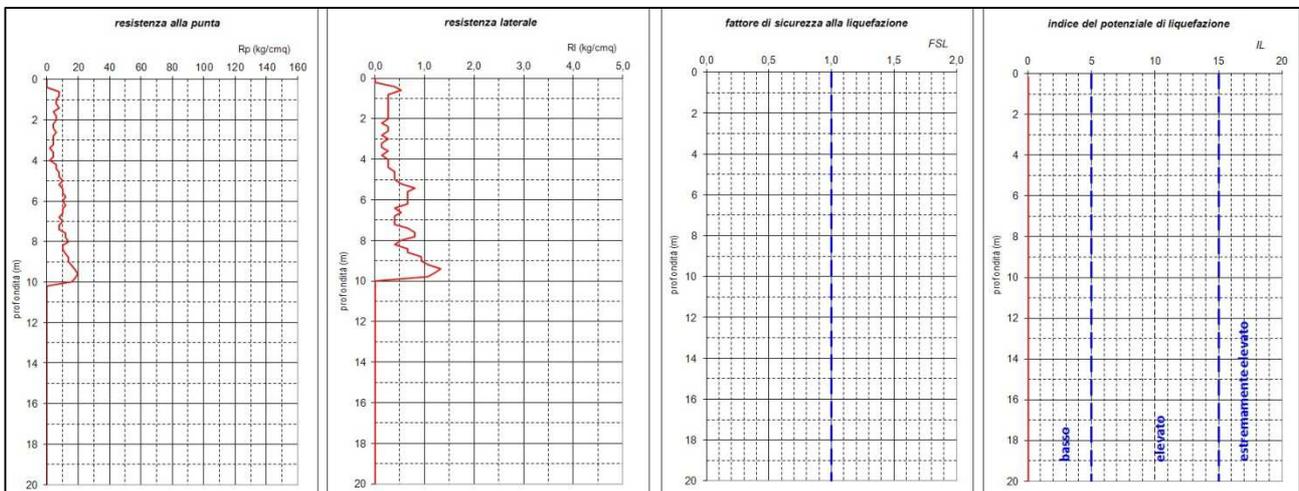
Prova 035033P21CPT21



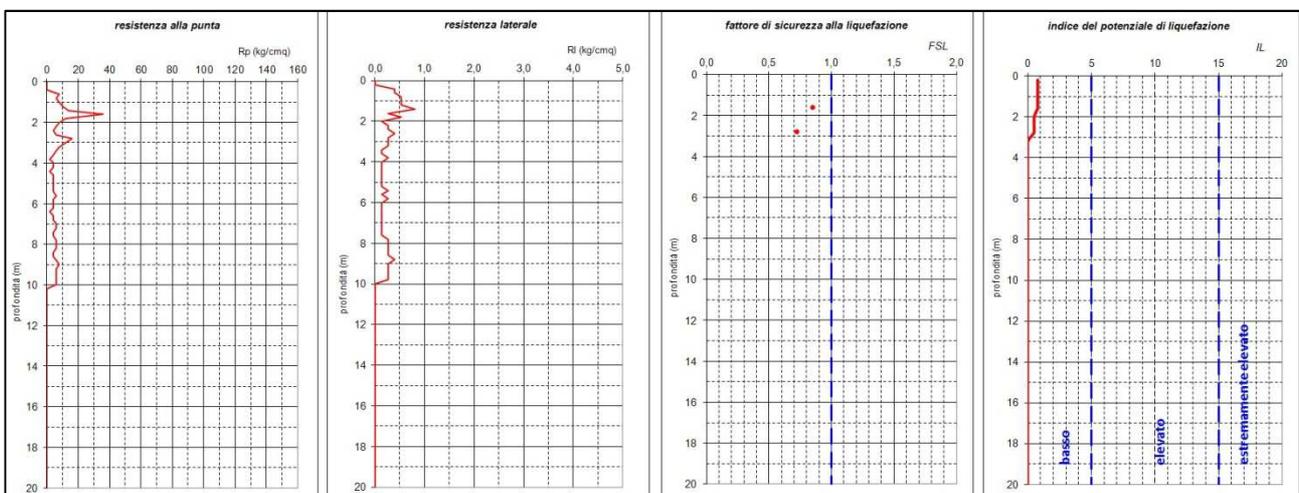
Prova 035033P247CPT387



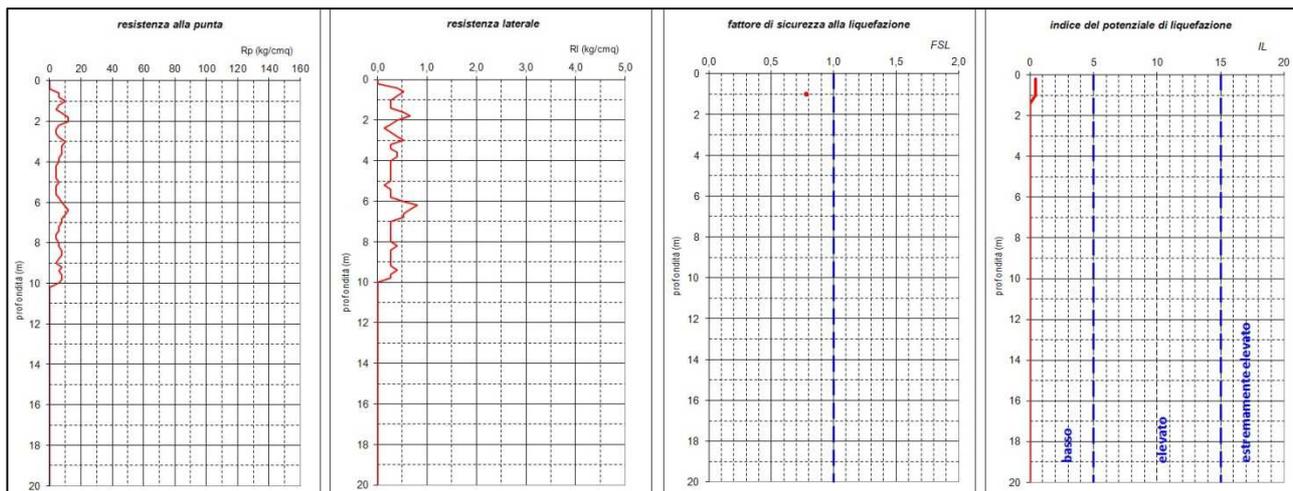
Prova 035033P253CPT393



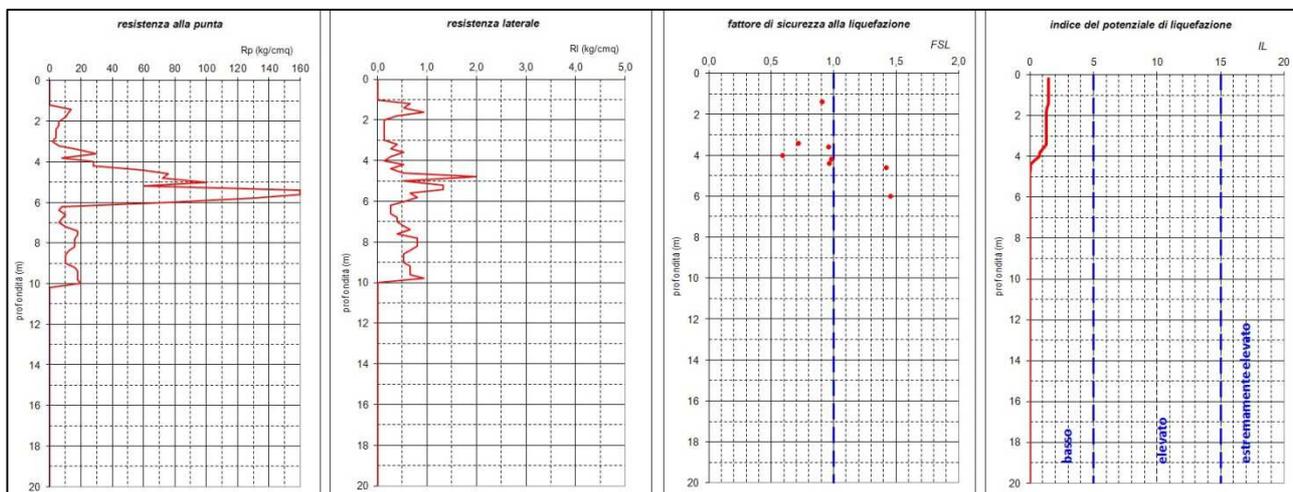
Prova 035033P254CPT394



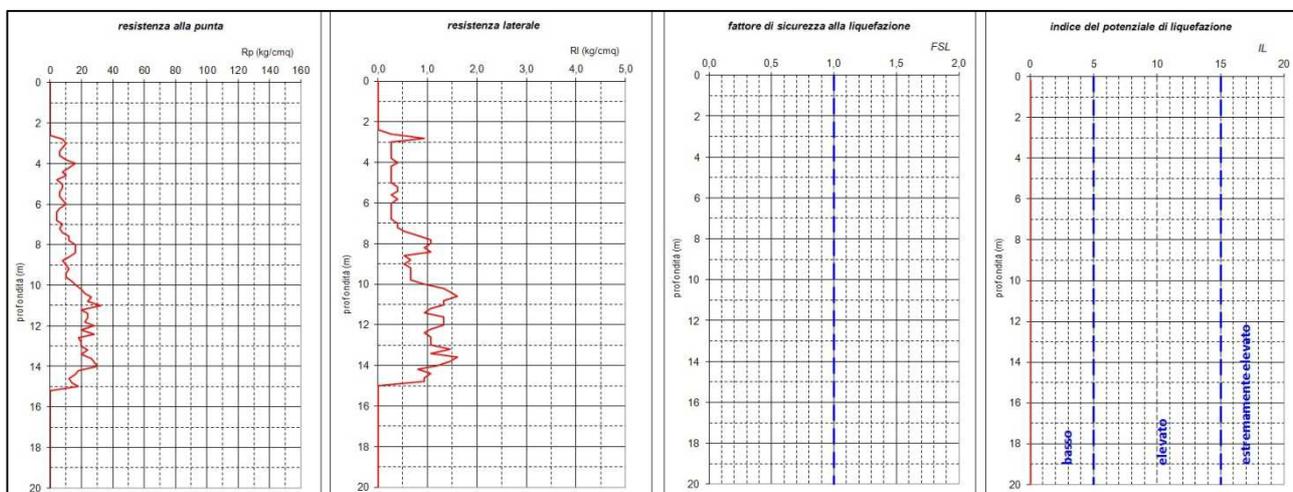
Prova 035033P255CPT395



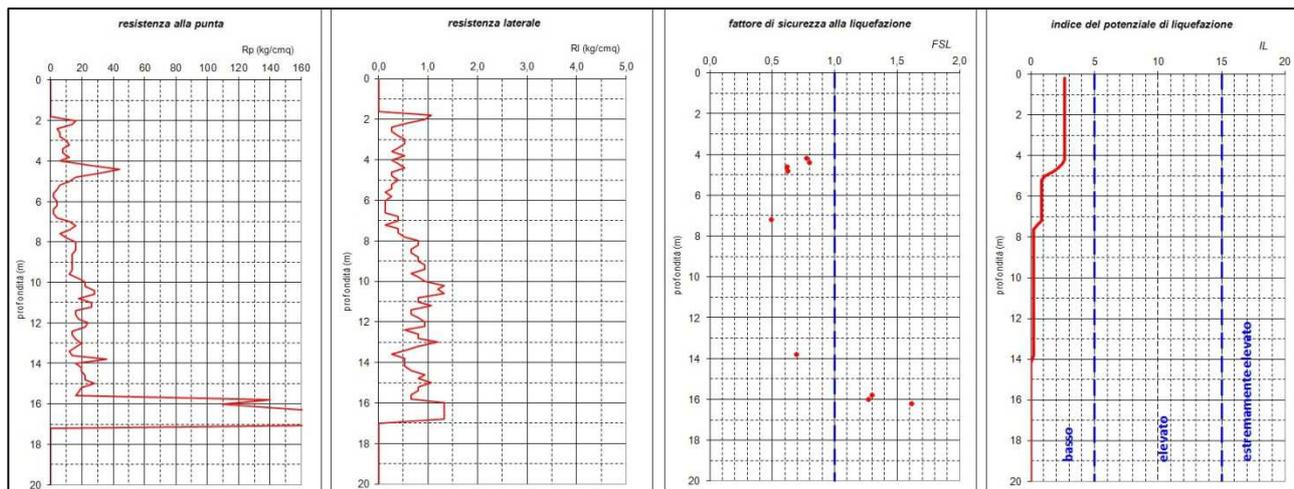
Prova 035033P256CPT396



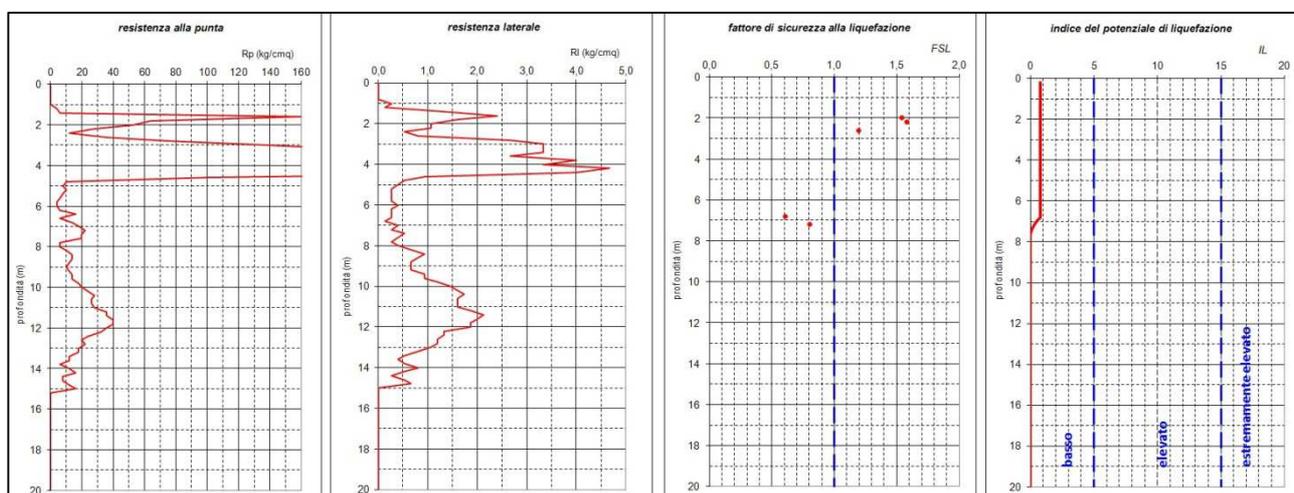
Prova 035033P588CPT732



Prova 035033P589CPT733



Prova 035033P590CPT734



Prova 035033P591CPT735

10. CONFRONTO DELLA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

La ricerca su documenti relativi a danni sul territorio comunale provocati da eventi sismici avvenuti in passato, non ha fornito elementi utili per il presente studio.

Infatti è stata reperita documentazione storica riguardante la lunga sequenza sismica del 1831-1832 e documentazione giornalistica e tecnica sui più recenti eventi sismici del luglio 1971, novembre 1983, maggio 1987 e ottobre 1996. Tuttavia l'esame dei documenti evidenzia prevalentemente danni al patrimonio edilizio del centro storico ed in particolare a carico di fabbricati intrinsecamente vulnerabili, quali chiese, campanili, torri e palazzi.

Pertanto non è stato possibile confrontare le risultanze dello studio con scenari di danneggiamento sismico passati.

I recenti eventi sismici del gennaio e maggio 2012, con epicentro tra la bassa modenese e l'alto ferrarese, non hanno provocato danni significativi a fabbricati pubblici e/o privati nel Comune di Reggio Emilia.

11. BIBLIOGRAFIA

Albarelo D., Castellaro S. (2011) - TECNICHE SISMICHE PASSIVE: INDAGINI A STAZIONE SINGOLA, Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2 – 2011, Appendice I e II, pp 50-62

Baldi M., Baldini U., Bevivino R., Castagnetti S., Daminelli R., Gianferrari C., Marcellini A., Martelli L. e Tinto A., 2010: UNIONE TERRE DI CASTELLI: VALIDAZIONE DELLA MICROZONAZIONE SISMICA DI II LIVELLO (2010) - 29° Convegno Nazionale Gruppo Nazionale Geofisica della Terra Solida, Prato.

Boccaletti M. et Alii, 1985. Considerations on the seismotectonics of the Northern Apennines. Tectonophysics, 117, 7-38.

Cremaschi M. (1991) - Indagine archeologica sulle aree da destinarsi a parcheggio sotterraneo nel perimetro urbano della città di Reggio Emilia al fine di accertare la presenza e la consistenza di eventuali evidenze archeologiche”

De Nardo M.T.: GLI ACQUIFERI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Regione Emilia-Romagna

Di Dio Gianmarco (1998) – RISERVE IDRICHE SOTTERRANEE DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA, Regione Emilia-Romagna - ENI

Gruppo di lavoro MS, 2008. “INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA”. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. (http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833)

Locati M., Camassi, R. e Stucchi M. (a cura di) (2011) . BDMI11, LA VERSIONE 2011 DEL DATABASE MICROSISMICO ITALIANO. Milano,Bologna, <http://Emidius.mi.ingv.it/DBMI11>

Marcellini A., Martelli L, Tinto A., Daminelli R. - L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI “INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA” (2009)

Meletti C. e Valensise G., (2004). ZONAZIONE SIMOGENETICA ZS9-APP. 2 AL RAPPORTO CONCLUSIVO. In: “Gruppo di Lavoro MPS (2004).Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ”. Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

Pieri M. & Groppi G. (1982) - SUBSURFACE GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE PO PLAIN. Pubblicazione 414 Progetto finalizzato Geodinamica, C.N.R.

CARTA SIMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA – Scala 1:250.000 (2004) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli - CNR - Istituto di Geoscienze e Georisorse, Sezione di Firenze

MICROZONAZIONE SISMICA, UNO STRUMENTO CONSOLIDATO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna (2012) – Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA – FOGLIO n° 200 “Reggio Emilia” e n° 200 “Modena” - APAT – REGIONE EMILIA-ROMAGNA

STUDIO DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DELLE PROVINCE DI MODENA E REGGIO EMILIA (2001) – Università di Modena e Reggio Emilia

12. ALLEGATI

All. 1 – Misure HVSR a stazione singola

All. 2 – Prove sismiche tipo MASW (Multichannel Spectral Analysis of Waves)