

Barilla

The Italian Food Company. Since 1877.

STABILIMENTO DI PEDRIGNANO (PARMA)

“NUOVE OFFICINE CENTRALI”



RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO

Codice: S18157-PE-RE-003-0

REV.	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
0	12/02/2019	AG	MI	GG
1				
2				



INDICE

1	PREMESSA	5
2	RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E NORMATIVI	6
	1.1. BIBLIOGRAFIA	6
	1.2. NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO.....	7
3	INQUADRAMENTO STORICO SULLA SISMICITÀ.....	8
4	CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA.....	20
	1.3. STORIA SISMICA DELL'AREA DI PROGETTO.....	22
5	QUADRO PROGRAMMATICO: PSC	24
	1.4. ART. 73 - RELAZIONE SISMICA (REL 05)	25
	5.1 STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI III LIVELLO.....	27
6	AZIONE SISMICA	32
	1.5. VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE SISMICHE LOCALI.....	32
	1.5.1. Prove sismiche disponibili	32
	1.5.2. Amplificazione stratigrafica e categoria di sottosuolo	35
	1.6. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	36
	1.7. SPETTRI ELASTICI DI ACCELERAZIONE	38
7	LIQUEFAZIONE	40

FIGURE

FIGURA 1-1: AREA DI STUDIO.	5
FIGURA 3-1. MAPPA TEMATICA DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO ITALIANO (1984). DECRETO MLP DEL 14/07/1984 E DECRETI SUCCESSIVI.....	9
FIGURA 3-2. MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA IN ITALIA - ACCELERAZIONE ORIZZONTALE DI PICCO CON T = 475 ANNI.	11
FIGURA 3-3. MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA IN ITALIA - INTENSITÀ MACROSISMICA CON T=475 ANNI.....	12
FIGURA 3-4. RISCHIO SISMICO: MAPPA DEL DANNO PERCENTUALE ATTESO.	13
FIGURA 3-5. RISCHIO SISMICO: MAPPA DELLE MASSIME INTENSITÀ OSSERVATE NELL'ULTIMO MILLENNIO.	14
FIGURA 3-6. PROPOSTA DI RICLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO ITALIANO (1998) A CURA DEL GRUPPO DI LAVORO ING-GNDT-SSN COSTITUITO DALLA COMMISSIONE NAZIONALE DI PREVISIONE E PREVENZIONE DEI GRANDI RISCHI.	15
FIGURA 3-7. ZONE SISMICHE DEL TERRITORIO ITALIANO (2003). ORDINANZA PCM N° 3274 DEL 20/03/2003.....	17
FIGURA 3-8. ZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO ITALIANO CON RECEPIMENTO DELLE VARIAZIONI OPERATE DALLE SINGOLE REGIONI (FINO A MARZO 2004).	18
FIGURA 3-9. RICLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'EMILIA-ROMAGNA, DGR N°1164/2018.	19
FIGURA 4-1. CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA – SCALA 1:250 000 (STRALCIO NON IN SCALA).....	21

FIGURA 4-2. CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA – LEGENDA.	22
FIGURA 5-1. STRALCIO DELLA TAVOLA 1 ANNESSA ALLA REL 05 DEL PSC E UBICAZIONE DELL’AREA DI PROGETTO (RETTANGOLO ROSSO). 26	
FIGURA 5-2. STRALCIO CARTOGRAFICO DELL’AREA DEL COMPRESORIO E UBICAZIONE DELLA PROVA PENETROMETRICA SCPTU3 (TRIANGOLO CROCIATO CON PEDICE “S”).....	28
FIGURA 5-3. PROFILO DI VELOCITÀ Vs DELLA PROVA SCPTU3.	29
FIGURA 5-4. MODELLO GEOFISICO ADOTTATO PER IL DISTRETTO 034027P984 (COMPRESORIO).....	30
FIGURA 5-5. STUDIO DI MICROZONAZIONE DI III LIVELLO. SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO ($\xi=5\%$) PER IL DISTRETTO 034027P984 (COMPRESORIO).....	31
FIGURA 6-1. UBICAZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE NEI DINTORNI DELL’AREA DI PROGETTO.	32
FIGURA 6.2. SEZIONE TOMOGRAFICA SISMICA IN ONDE S (PROGETTO NUOVI SILI GRANO, 2013).	33
FIGURA 6-3. VELOCITÀ DELLE ONDE Vs DA PROVE SCPTU1 E SCPTU2 (PROGETTO NUOVI SILI GRANO, 2013).....	33
FIGURA 6-4. VELOCITÀ DELLE ONDE Vs DA PROVA SCPTU1 (INDAGINI SISMICHE, 2012).	34
FIGURA 6-5. SPETTRO DEL RAPPORTO H/V (PROVA T1).	34
FIGURA 6-6. SPETTRO DEL RAPPORTO H/V (PROVA T3).	35
FIGURA 6-7: DEFINIZIONE DELLO SPETTRO ELASTICO ALLO SLV (CATEGORIA DI SUOLO C).	39

TABELLE

TABELLA 4-1. OSSERVAZIONI SISMICHE RILEVANTI DISPONIBILI PER PARMA (PR) [44.801, 10.329].....	23
TABELLA 5.1 – ELABORATI CONTENUTI NEL PSC.....	24
TABELLA 6-1. CARATTERISTICHE DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE IN RIFERIMENTO A VARI SL.....	38

APPENDICI

APPENDICE 1 –RAPPORTI DELLE INDAGINI SISMICHE.....	41
APPENDICE 2 – PROGETTO NUOVI SILI GRANO - RELAZIONE SULLA RSL	42

1 PREMESSA

Il presente studio di modellazione sismica è stato redatto a supporto della fase esecutiva del Progetto delle Nuove Officine Centrali, che prevede la realizzazione di una nuova struttura ubicata a sud del Magazzino Manutenzione (Figura 1-1) all'interno del Comprensorio Barilla di Pedrignano.



Figura 1-1: Area di studio.

L'articolazione del documento è riportata nel seguito

- Normativa tecnica e riferimenti bibliografici di riferimento;
- Inquadramento storico della sismicità in Italia;
- Carta sismotettonica regionale e storica sismica di Parma;
- Vincoli legati alla pianificazione territoriale;
- Azione sismica di base, interpretazione indagini sismiche ed effetti locali;
- Considerazioni sul rischio di liquefazione.

2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI E NORMATIVI

1.1. BIBLIOGRAFIA

- [Ref1]RER, “Geologia - Sismica e Suoli.” [Online]: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/acque/idrogeologia-della-pianura-emiliano-romagnola>;
- [Ref2]Cartografia geologica in scala 1:10.000 e 1:50.000 edita dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna;
- [Ref3]Comune di Parma, “Relazione sismica RE 05,” in *Piano Strutturale Comunale (PSC) Comune di Parma*;
- [Ref4]Comune di Parma – Regione Emilia-Romagna “Microzonazione sismica – Relazione illustrativa” Studio di microzonazione sismica – terzo livello di approfondimento – Giugno 2018;
- [Ref5]Castellaro Silvia, Mulargia Francesco, Bianconi Luca “*Passive Seismic Stratigraphy: A new efficient, fast and economic technique*” in: *Geologia Tecnica & Ambientale* 3/2005, pp. 76÷102;
- [Ref6]CNR – Regione Emilia Romagna – Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna (scala 1:250.000)” SELCA – 2004;
- [Ref7]Dobry R., Vucetic M. (1991). Effect of soil plasticity on cyclic response. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 117 (1), pp.89-107;
- [Ref8]Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (ICMS). Conferenza delle Regioni e delle Province autonome. Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd;
- [Ref9]<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/sezioni-geologiche-prove-geognostiche-pianura>;
- [Ref10]Lanzo G., Silvestri F. (1999). *Risposta Sismica Locale – Teoria ed esperienze*. Helvelius Edizioni;
- [Ref11]Kramer S. L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. Practice Hall;
- [Ref12]Rollins K.M., Evans M., Diehl N. and Daily W. 1998. Shear modulus and damping relationships for gravels. *J. of Geotechnical and Geoenvironmental Engrg.*, 124 (5), 396-405;
- [Ref13]Seed H.B., Wong R.T., Idriss I.M., and Tokimatsu K. 1986. Moduli and damping factors for dynamic analyses of cohesionless soils. *J. of Geotechnical Engineering*, 112 (11), 1016-1032;
- [Ref14]Idriss I.M., Boulanger R.W. (2014) “Soil liquefaction during earthquakes” – EERI;
- [Ref15]Ishihara K., Yoshimine M (1992) “Evaluation of settlements in sand eposits following liquefaction during earthquakes” *Soils and Foundations* 32 (1), pp. 173-188;
- [Ref16]Seed, H.B., and Idriss, I.M. (1971). “Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential,” *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE*, Vol. 107, No. SM9, pp. 1249-1274;

[Ref17] Sonmez, H. (2003) - "Modification of the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol, Turkey)", *Env. Geology*, (44): 862-871.

1.2. NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO

[Ref18] Raccomandazioni AGI giugno 1977 "Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche";

[Ref19] O.P.C.M. 8 maggio 2003 n.3274 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";

[Ref20] D.A.L. 21 luglio 2003 n.1435 "Prime disposizioni di attuazione dell'Ordinanza PCM 3274/2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"";

[Ref21] D.A.L. 122/2007. Delibera dell'assemblea legislativa della regione Emilia-Romagna n.122 del 2/5/2007: Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". Boll. Uff. Reg. Emilia-Romagna n. 64 del 17/05/2007;

[Ref22] DM 17-01-18 "Norme Tecniche per le Costruzioni";

[Ref23] Legge regionale 30 ottobre 2008, n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico";

[Ref24] DGR 1373/2011 "Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi, ai sensi dell'art. 12, comma 1, e dell'art. 4, comma 1, della L.R. n. 19 del 2008";

[Ref25] DGR 21 dicembre 2015, N. 2193 "Art. 16 della L.R. n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112";

[Ref26] DGR 23 luglio 2018 N.1164 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna";

[Ref27] Linee guida AGI 2005 "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica";

[Ref28] UNI EN 1997-1:2005 "Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali";

[Ref29] UNI EN 1998-5:2005 "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici".

3 INQUADRAMENTO STORICO SULLA SISMICITÀ

Le prime misure legislative per la sicurezza sismica del territorio italiano vennero prese a seguito dei terremoti che colpirono la Calabria nel 1783 causando più di 30.000 morti; dopo il terremoto che distrusse Reggio Calabria e Messina nel dicembre 1908, causando, si stima, 80.000 vittime, fu promulgata la prima classificazione sismica italiana, intesa come un elenco dei comuni soggetti a sisma. La lista comprendeva i comuni della Sicilia e della Calabria, gravemente colpiti dal terremoto, ed alcuni altri comuni per i quali si tramandava il ricordo di danneggiamenti subiti nel passato. La classificazione fu modificata a seguito di altri eventi sismici, aggiungendo progressivamente i nuovi comuni danneggiati.

Nel 1974 fu promulgata la nuova normativa sismica nazionale contenente i criteri di costruzione antisismica e la classificazione sismica, ovvero una lista dei comuni in cui dovevano essere applicate le norme costruttive; quest'ultima veniva ratificata con un decreto legislativo ed è pertanto aggiornabile qualora le nuove conoscenze in materia lo suggeriscano; fino al 1980 però vi sono stati inseriti semplicemente i comuni nuovamente colpiti da terremoti.

Gli studi sismologici e geologici, che seguirono i terremoti del 1976 in Friuli e del 1980 in Irpinia svolti nell'ambito del "Progetto Finalizzato Geodinamica" (Consiglio Nazionale delle Ricerche - CNR), portarono ad un sostanziale sviluppo delle conoscenze sulla sismicità del territorio nazionale. Infatti, in quella occasione, si passò per la prima volta dalla tradizionale prassi che prevedeva la classificazione delle aree *a posteriori* di un evento sismico verso una procedura di classificazione basata su elementi predittivi, ancorché abbastanza rudimentali.

La proposta del CNR fu presentata al governo e tradotta in una serie di decreti da parte del Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1980 ed il 1984. In Figura 3-1 è riportata la classificazione sismica, sotto forma di mappa tematica, del territorio italiano (Decreto MLP del 14/07/1984 e decreti successivi).

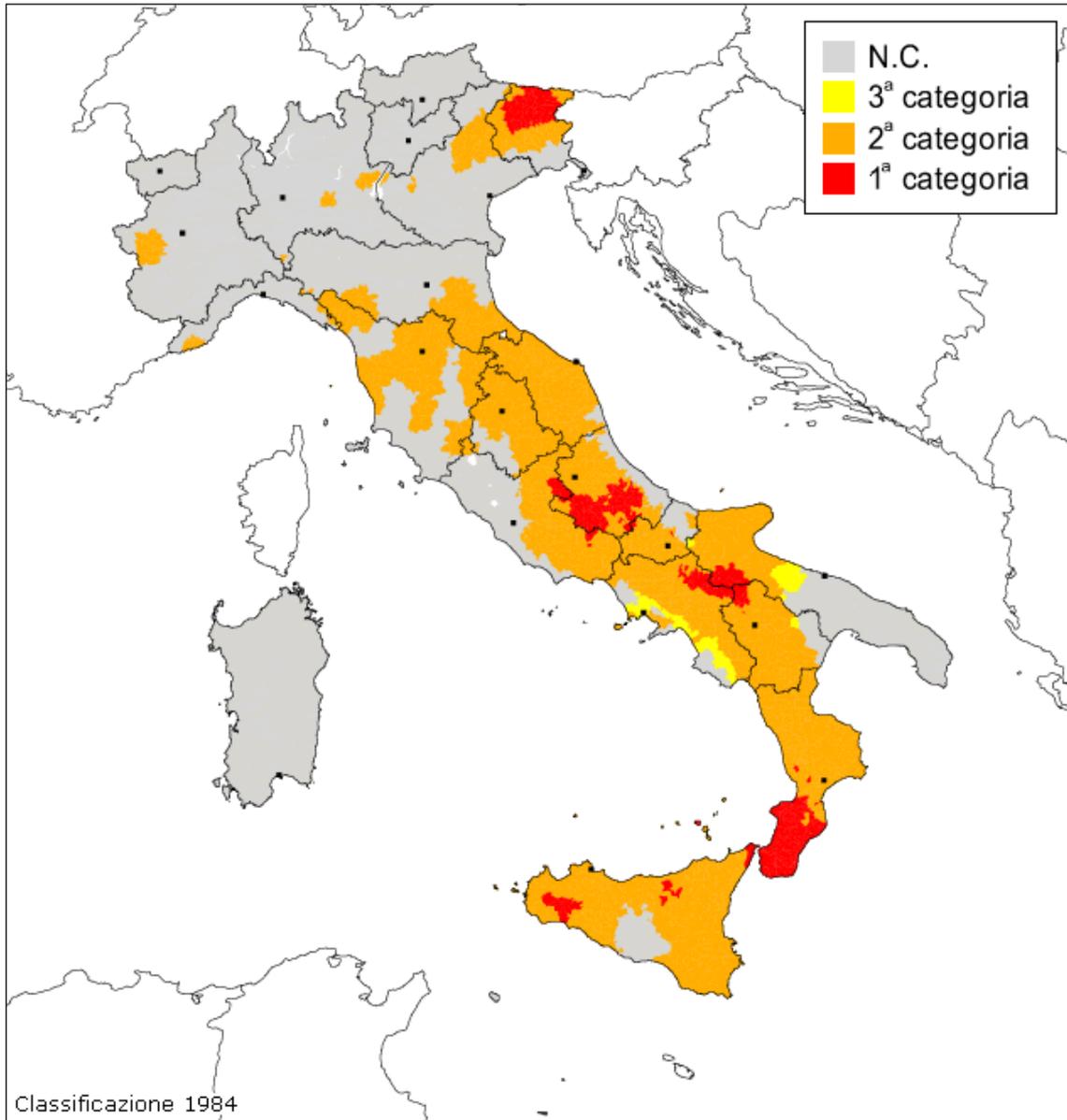


Figura 3-1. Mappa tematica della classificazione sismica del territorio italiano (1984). Decreto MLP del 14/07/1984 e decreti successivi.

Nel 1996, al termine di un progetto pluriennale, il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti ha rilasciato due mappe di pericolosità basate su una zonazione sismogenetica, (*“Mappa della pericolosità sismica in Italia - Accelerazione orizzontale di picco con $T = 475$ anni”* - Figura 3-2, e *“Mappa della pericolosità sismica in Italia - Intensità macrosismica con $T = 475$ anni”* - Figura 3-3), sulle base delle quali il Gruppo di Lavoro istituito dal Dipartimento della Protezione Civile compilò nuove mappe del rischio sismico a scala nazionale, tra cui una *“Mappa del danno percentuale atteso”* (Figura 3-4) e la *“Mappa delle massime intensità osservate nell’ultimo millennio”* (Figura 3-5).

Questi nuovi documenti normativi (le precedenti mappe e la mappa di classificazione sismica) costituirono le basi dell’Ordinanza del Sottosegretario alla Protezione Civile del 1998, che definì un elenco di *“Comuni ubicati nelle zone ad elevato rischio sismico”*. L’Ordinanza evidenziava alcune differenze con la mappa della classificazione allora cogente. Nel 1998 un gruppo di lavoro ING-GNDT-SSN, anch’esso istituito dal Dipartimento della Protezione Civile, produsse una ipotesi di riclassificazione sismica (Figura 3-6).

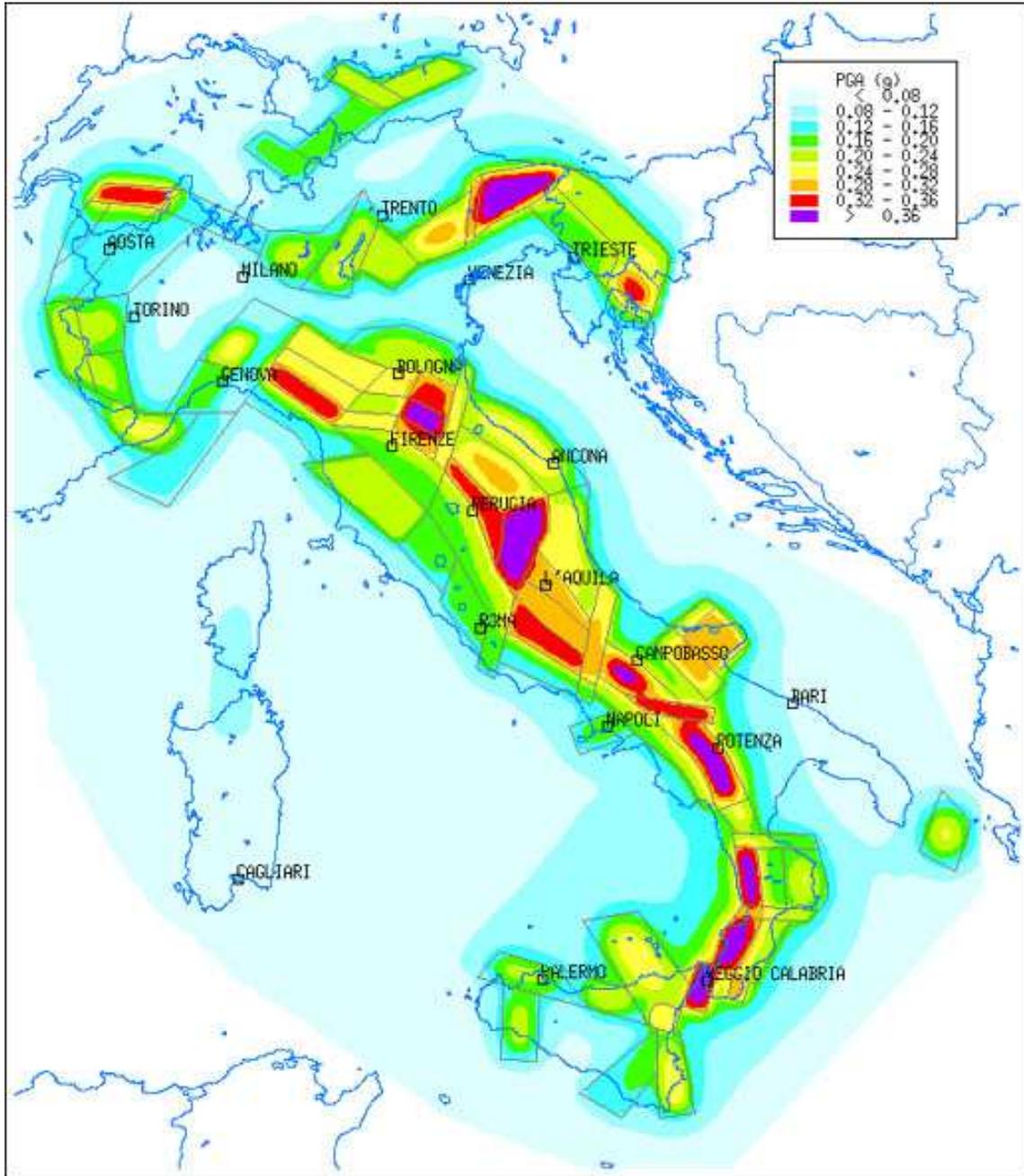


Figura 3-2. Mappa della pericolosità sismica in Italia - Accelerazione orizzontale di picco con T = 475 anni.

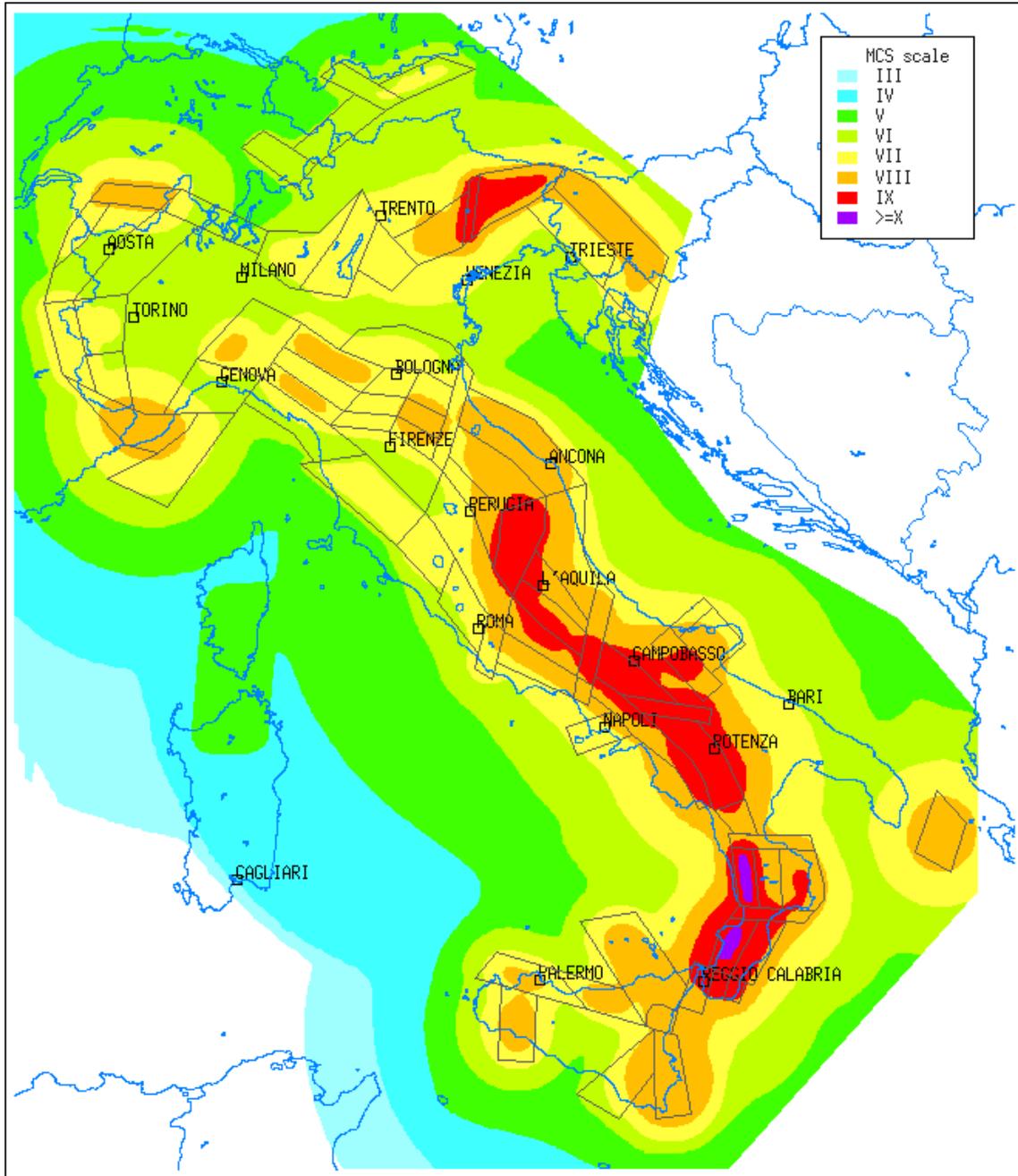


Figura 3-3. Mappa della pericolosità sismica in Italia - Intensità macrosismica con T=475 anni.

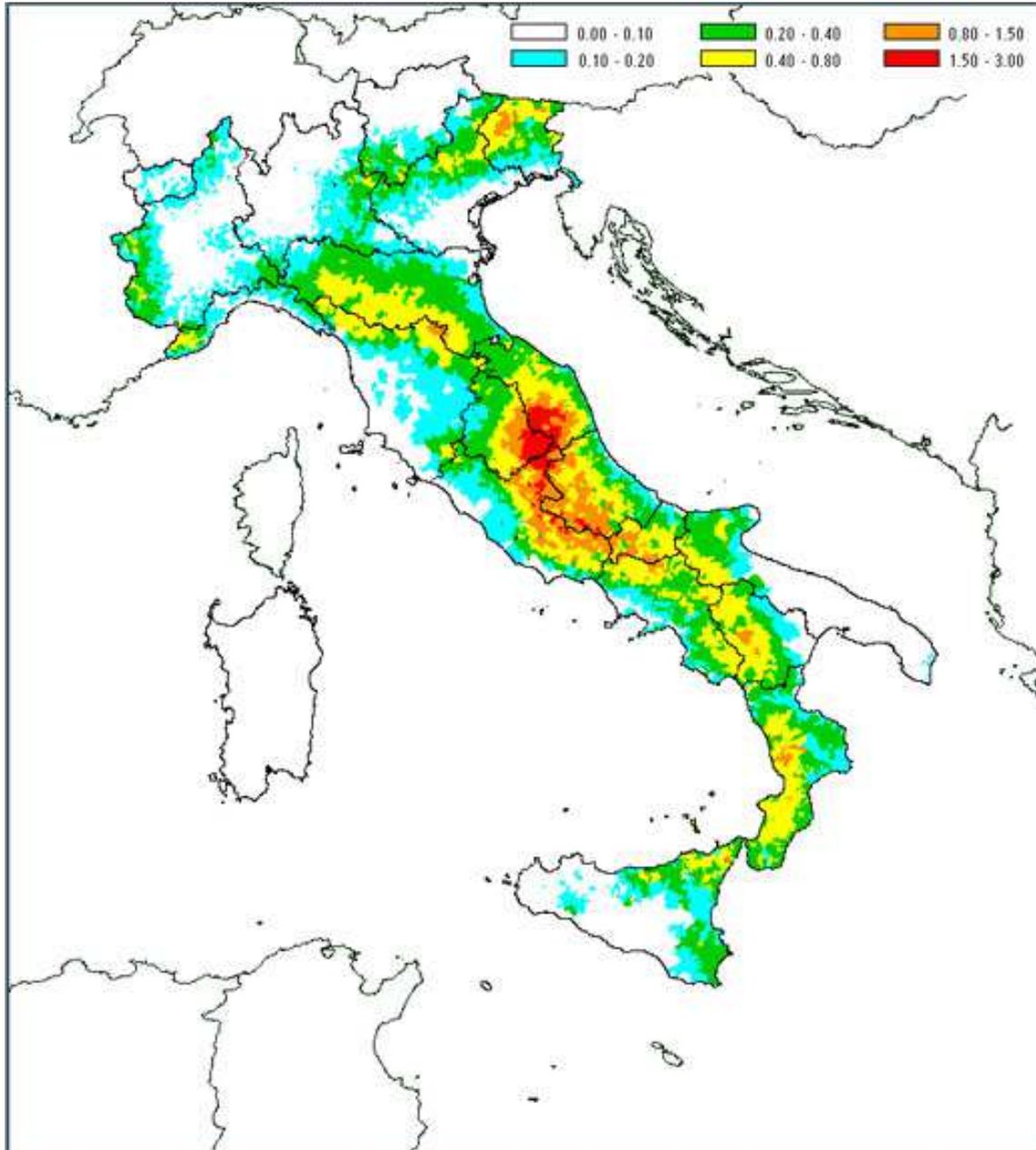


Figura 3-4. Rischio sismico: mappa del danno percentuale atteso.

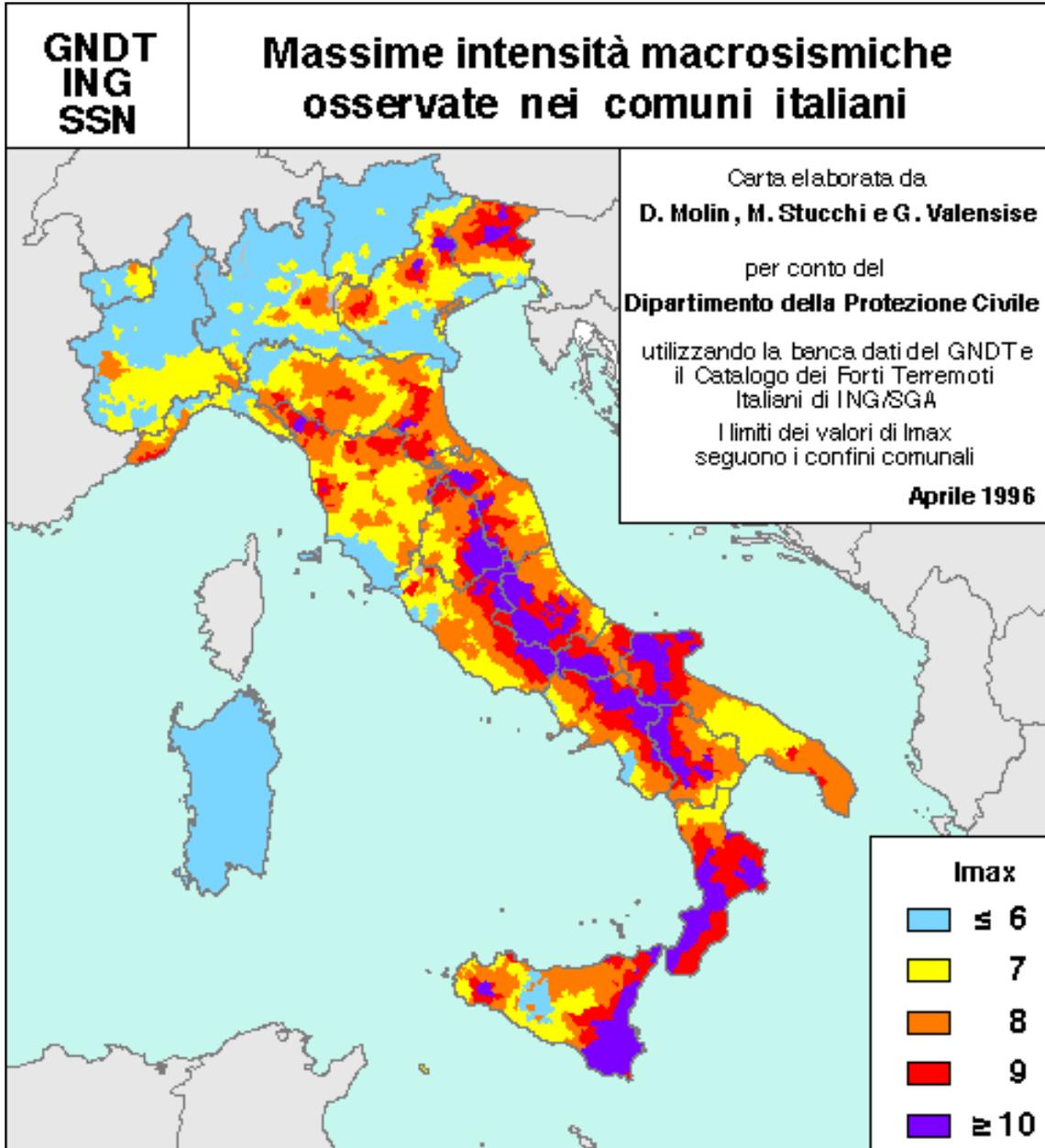


Figura 3-5. Rischio sismico: mappa delle massime intensità osservate nell'ultimo millennio.

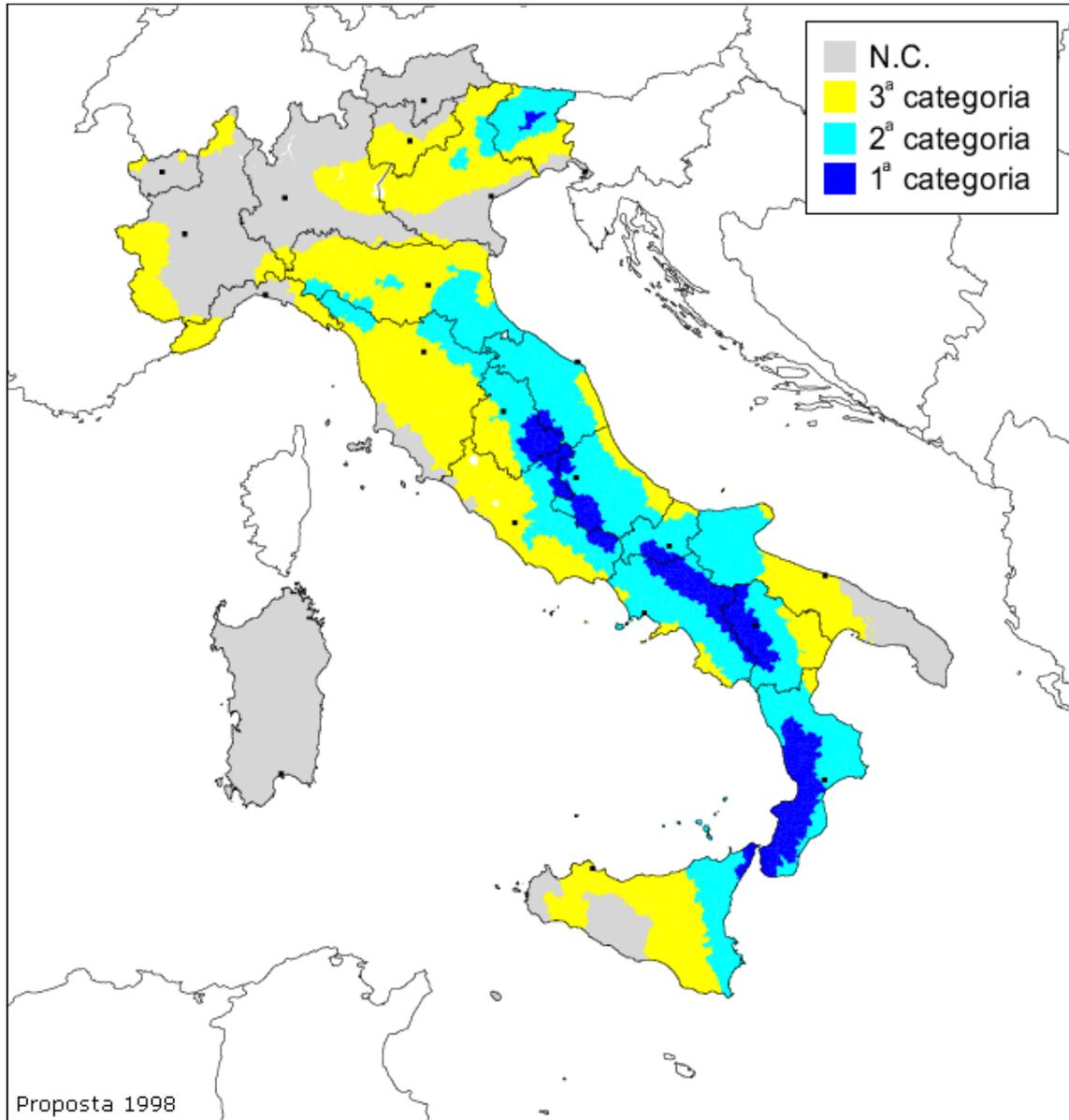


Figura 3-6. Proposta di riclassificazione sismica del territorio italiano (1998) a cura del Gruppo di Lavoro ING-GNDT-SSN costituito dalla Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20 Marzo 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" ha introdotto una nuova classificazione sismica suddividendo il territorio nazionale in quattro zone: ad alta sismicità la "zona 1", a media sismicità la "zona 2" e a bassa sismicità la "zona 3", mentre nella "zona 4" viene demandata alle regioni la facoltà di imporre o meno l'obbligo della normativa (Figura 3-7). L'Ordinanza n°3274/2003 stabilisce che le Regioni provvedono all'individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche. In Figura 3-8 si riporta la zonazione sismica del territorio italiano con recepimento delle variazioni operate dalle singole Regioni (fino a marzo 2004).

La Regione Emilia-Romagna introduce con DGR 1164 del 23/07/2018 una propria modifica alle zone previste nell'Ordinanza n°3274/2003. In Figura 3-9 si riporta la riclassificazione sismica dell'Emilia-Romagna vigente. Parma è fra i Comuni in Zona 3.

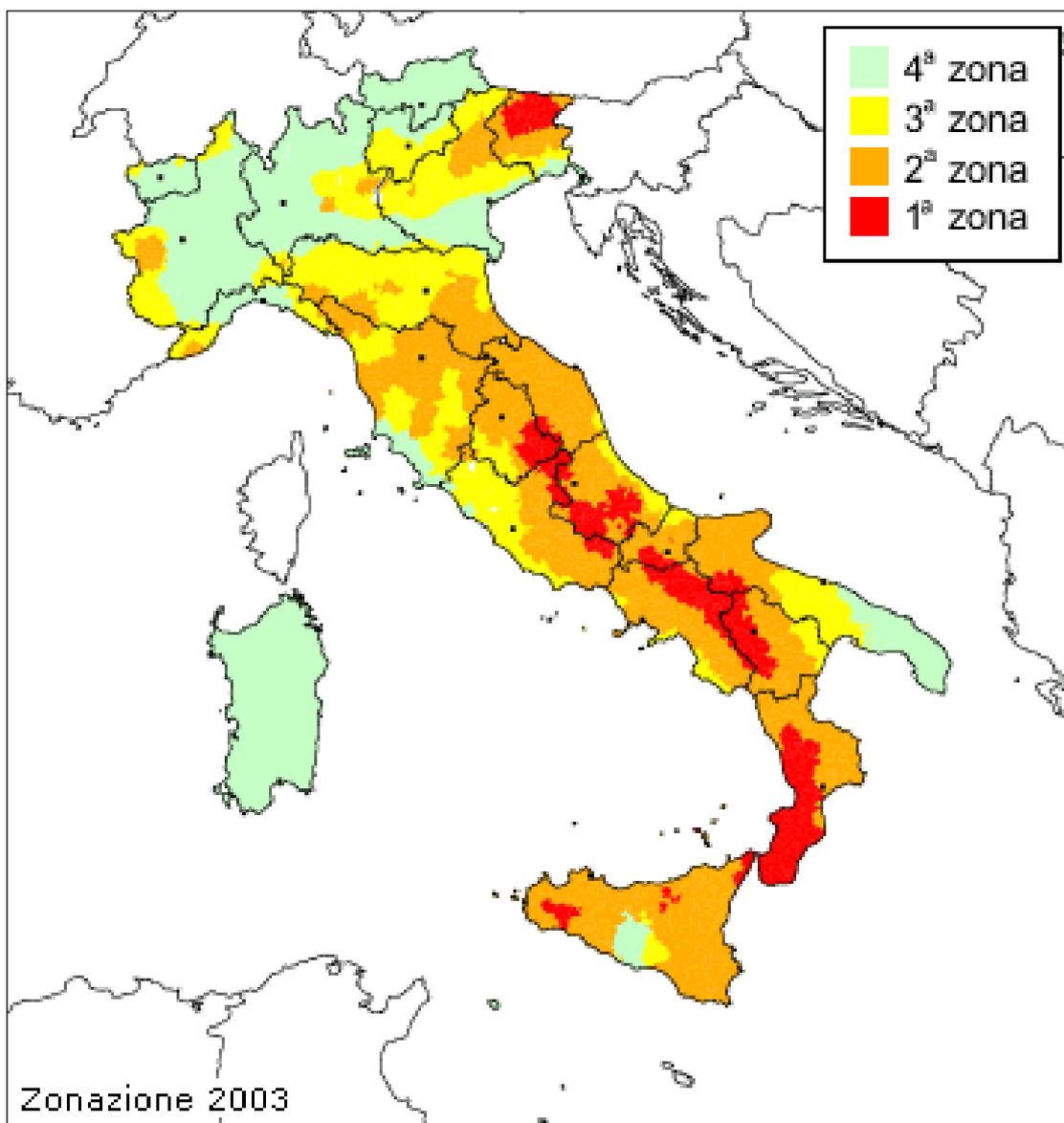


Figura 3-7. Zone sismiche del territorio italiano (2003). Ordinanza PCM n° 3274 del 20/03/2003.

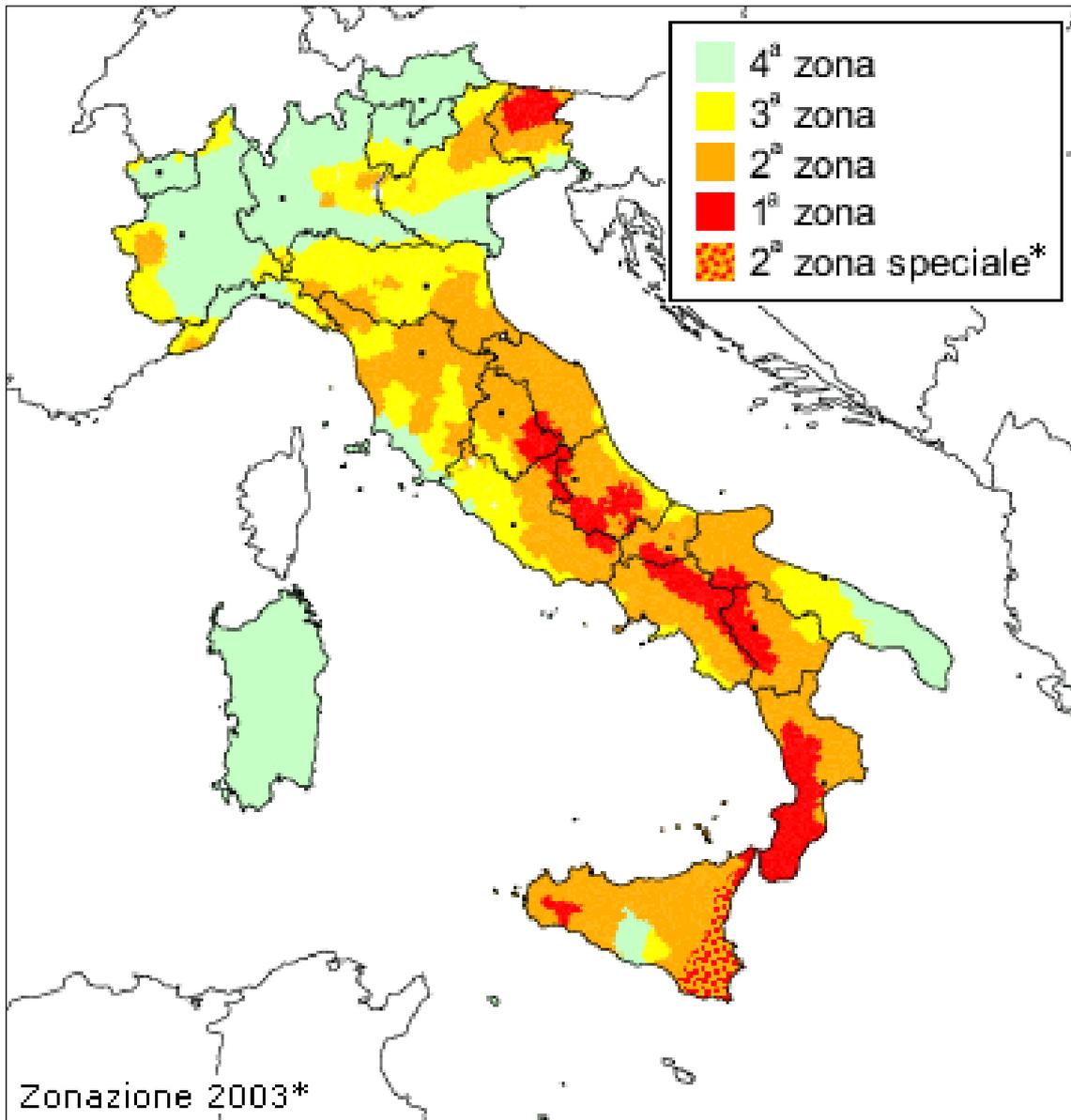


Figura 3-8. Zonazione sismica del territorio italiano con recepimento delle variazioni operate dalle singole Regioni (fino a marzo 2004).

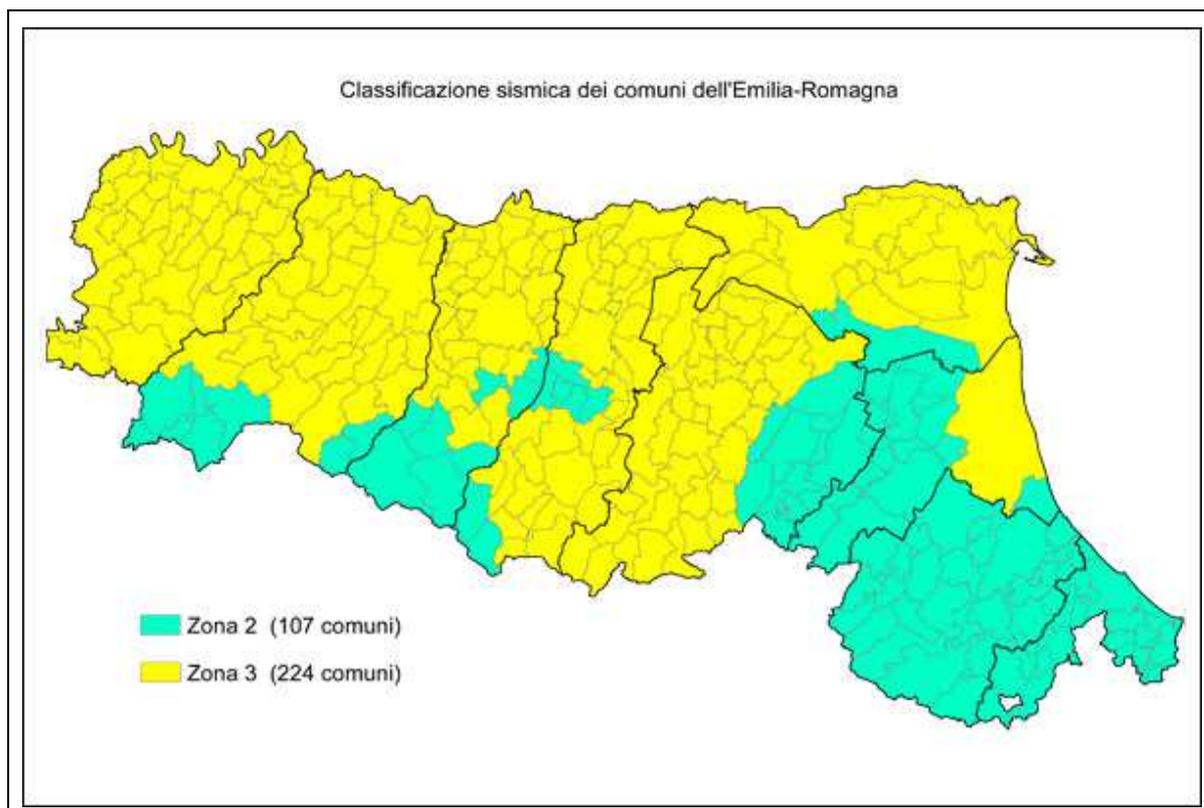


Figura 3-9. Riclassificazione sismica dell'Emilia-Romagna, DGR n°1164/2018.

4 CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA

Per migliorare la conoscenza del proprio territorio e per comprenderne l'evoluzione recente e attuale, anche allo scopo di ridurre il rischio sismico, la Regione Emilia-Romagna ha promosso, in collaborazione con l'Istituto di Geoscienze e Georisorse del CNR (sezione di Firenze), il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, il Dipartimento di Fisica (sezione Geofisica) dell'Università di Bologna e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, un progetto di ricerca per il confronto, la sintesi e la rappresentazione dei dati sismologici e degli elementi strutturali attivi.

Sono stati eseguiti appositi rilevamenti mirati, sia geologici che geomorfologici, e una revisione dei dati sismologici strumentali e storici. La base di partenza è stata la cartografia geologica regionale (alle scale 1:10.000 e 1:25.000 e le varie sintesi 1:250.000).

Preziose informazioni sul sottosuolo padano sono state acquisite anche grazie all'utilizzo di profili sismici ENI.

Nella carta sismotettonica sono stati correlati gli elementi attivi di superficie con quelli profondi sia in catena che in pianura, tenendo conto dei regimi di stress e, per quanto concerne i terremoti, anche della loro distribuzione ipocentrale secondo intervalli di profondità.

Nelle seguenti Figura 4-1 e Figura 4-2 si riporta uno stralcio della Carta Sismotettonica relativa all'area oggetto del presente studio e la rispettiva legenda.

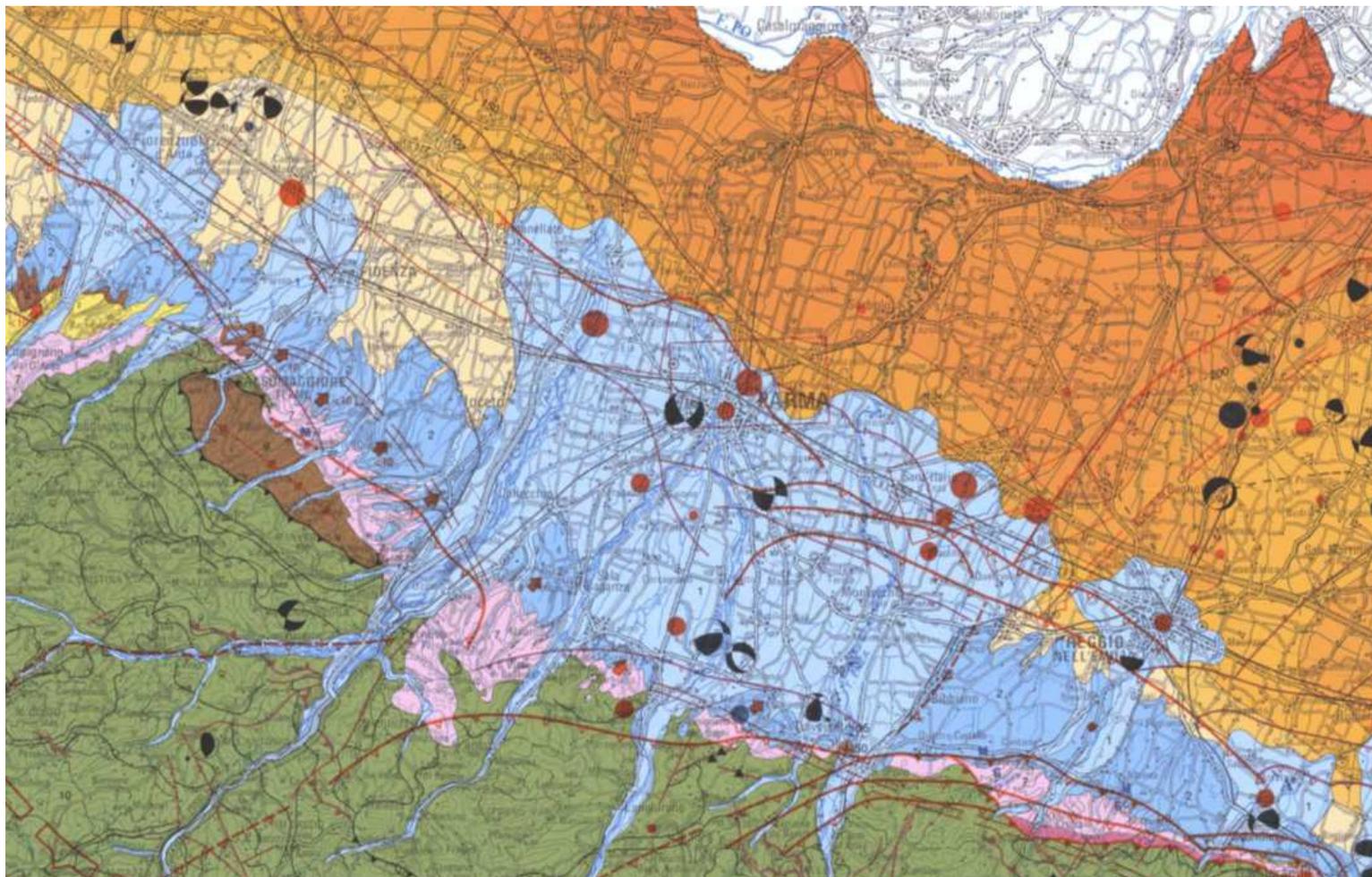


Figura 4-1. Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna – Scala 1:250 000 (stralcio non in scala).



Figura 4-2. Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna – Legenda.

1.3. STORIA SISMICA DELL'AREA DI PROGETTO

Facendo riferimento alle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno censiti nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), la storia sismica del Comune di Parma è riassunta nella Tabella 4-1.

Tabella 4-1. Osservazioni sismiche rilevanti disponibili per Parma (PR) [44.801, 10.329].

Data	Effetti	in occasione del terremoto di:	
		Area epicentrale	Ix Ms
Ye Mo Da Ho Mi	Is (MCS)		
1438 06 10 02	80	PARMENSE	80 55
1409 11 15 11 15	70	PARMA	70 50
1572 06 04 22	70	PARMA	70 50
1628 11 04 15 15	70	PARMA	70 50
1738 11 05 00 30	70	PARMA	70 50
1818 12 09 18 52	70	LANGHIRANO	75 52
1831 09 11 18 15	70	PARMENSE	75 50
1832 03 13 03 20	70	REGGIANO	75 52
1971 07 15 01 33	70	PARMENSE	80 54
1857 02 01	65	PARMENSE	65 47
1873 09 17	65	LIGURIA ORIENTALE	65 47
1920 09 07 05 55	65	GARFAGNANA	100 65
1695 02 25 05 30	60	ASOLO	90 64

Con:

Ye = anno **Mo** = mese **Da** = giorno **Ho** = ora

Is = intensità in sito (scala Mercalli*10);

Ix = intensità all'epicentro (scala Mercalli*10);

Ms = intensità in sito (scala Richter*10).

5 QUADRO PROGRAMMATICO: PSC

In questo Capitolo saranno riportati gli elementi conoscitivi del Piano Strutturale Comunale (PSC) riguardante l'ambito interessato dal progetto proposto, finalizzati alla verifica della conformità del progetto alle previsioni in materia sismica.

Il PSC del Comune di Parma è stato approvato con atto di C.C. n. 46 del 27/03/2007. L'ultimo aggiornamento del PSC risale alla Variante n.245 approvata con Decreto del Presidente della Provincia di Parma 67 del 17/05/2017. Esso è articolato in vari tipi di elaborati, di cui quelli di interesse per le successive valutazioni e sono di tipo

- cartografico di progetto-gestione,
- normativo,
- di indirizzo.

Gli elaborati normativi contengono previsioni direttive, ovvero fissano *“le disposizioni che devono essere osservate nella elaborazione dei contenuti del POC, del RUE e dei piani settoriali comunali”*.

Gli elaborati cartografici di progetto/gestione del PSC approvato rappresentano la Carta unica del Comune di Parma e *“trovano piena e immediata osservanza ed attuazione da parte di tutti i soggetti pubblici e privati, secondo le modalità previste dal piano, e prevalgono sulle disposizioni incompatibili contenute nei vigenti strumenti di pianificazione e negli atti amministrativi attuativi”*.

Gli elaborati di indirizzo contengono le disposizioni volte a fissare obiettivi per la predisposizione del POC, del RUE e dei piani settoriali comunali, riconoscendo ambiti di discrezionalità nella specificazione e integrazione delle previsioni e nell'applicazione dei contenuti.

Gli elaborati cartografici di progetto/gestione (art. 27 punto 1), normativi (art. 28 punto 1) e di indirizzo (art. 29 punto 1) si articolano come da seguente Tabella 5.1:

Tabella 5.1 – Elaborati contenuti nel PSC

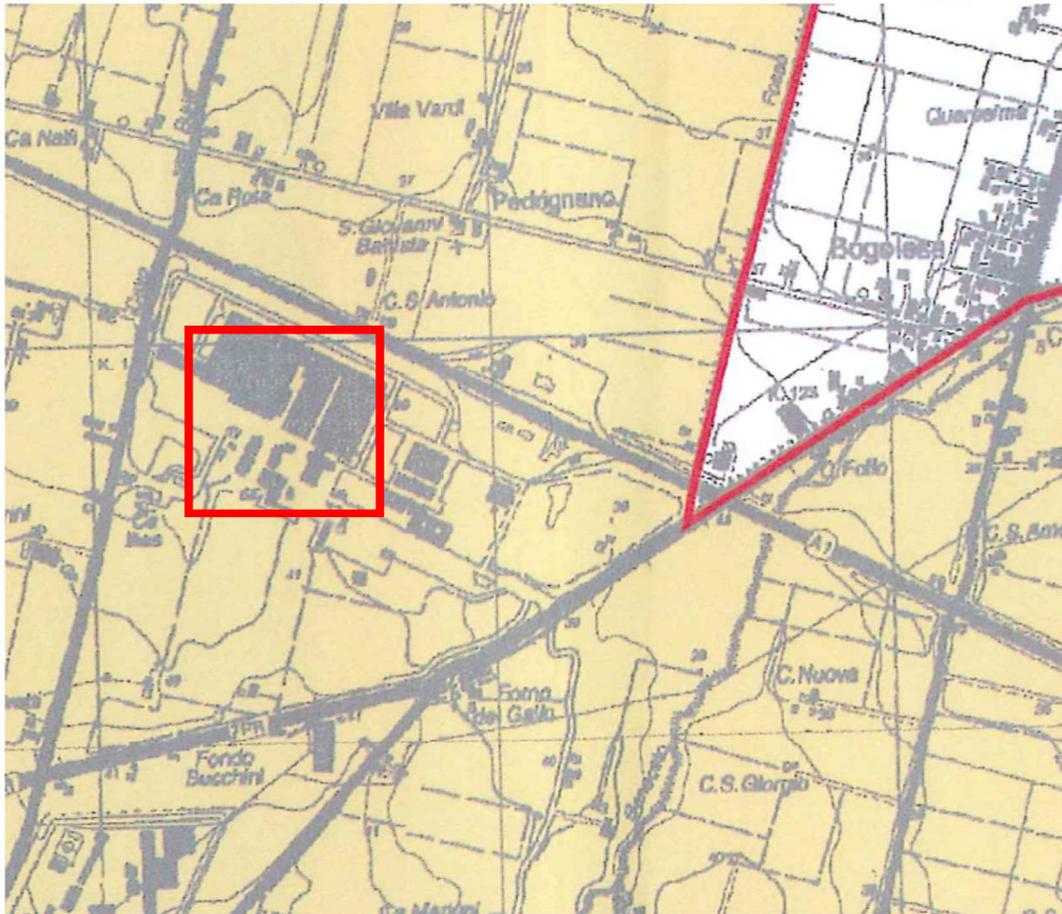
Tipo elaborato	Titolo	Sigla identificativa	Numero elaborato	Scala di rappresentazione	Tipo di previsione
Cartografia di progetto - Gestione	Tutele e Vincoli Ambientali	CTG	1	1:10.000	Prescrittiva
	Tutele e Vincoli Storico – Culturali e Paesaggistici	CTG	2	Varie	
	Rispetti e Limiti all'edificabilità dei suoli e alla trasformazione degli insediamenti	CTG	3	1:10.000	
Norma	Norme del PSC	NR	1	-	Direttiva

Tipo elaborato	Titolo	Sigla identificativa	Numero elaborato	Scala di rappresentazione	Tipo di previsione
	Schede degli ambiti territoriali	NR	2	Varie	
	Aree di Perequazione Urbanistica e Ambientale	NR	3	1:10.000	
	Aree in salvaguardia	NR	4	1:25.000	
	Edilizia incongrua in Ambito Agricolo	NR	5	1:10.000	
Relazione di progetto	Relazione geologica	REL	2	Varie	Indirizzo
	Relazione Sismica	REL	5	Varie	

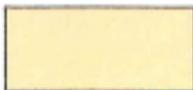
Di seguito verrà valutata, per le componenti del PSC di interesse sismico, la significatività ai fini progettuali in relazione alle componenti in esame.

1.4. ART. 73 - RELAZIONE SISMICA (REL 05)

La relazione sismica annessa al PSC riprende la zonizzazione di tipo geotecnico già messa a punto per la relazione geologica REL 02 del PSC e la modifica ai fini sismici. In relazione all'assetto stratigrafico del territorio comunale, vengono individuate tre zone a rischio di amplificazione dell'accelerazione sismica, di grado basso, medio e alto (Figura 5-1), a seconda della categoria di sottosuolo attesa ai sensi del D.M. 14.9.2005 (ad oggi non più cogente e sostituito dal D.M. 14.01.2008, a sua volta recentemente sostituito dal D.M. 17.01.2018).



ZONE CON ALTO RISCHIO DI AMPLIFICAZIONE DELL'ACCELERAZIONE SISMICA



Comprende generalmente la categoria di suolo D o S1. I profili stratigrafici sono costituiti da argille e limi prevalenti con bassa consistenza, alto indice di plasticità e contenuto d'acqua

Figura 5-1. Stralcio della Tavola 1 annessa alla REL 05 del PSC e ubicazione dell'area di progetto (rettangolo rosso).

L'area di progetto è inclusa fra le Zone con alto rischio di amplificazione dell'accelerazione sismica – Comprende generalmente le categorie di suolo D o S1. I profili stratigrafici sono costituiti da argille e limi prevalenti con bassa consistenza, alto indice di plasticità e contenuto d'acqua.

In riferimento alla zonizzazione sismica, nella relazione si legge *“nelle successive fasi di pianificazione attuativa (POC, PUA, ecc.) e di progettazione delle opere pubbliche e private dovranno quindi essere effettuati specifici approfondimenti mirati a verificare le condizioni locali, al fine di orientare correttamente l'ubicazione e il dimensionamento delle strutture, in particolare:*

- *dovranno essere effettuati studi geologici di dettaglio finalizzati alla ricostruzione della stratigrafia, alla verifica della presenza di faglie e discontinuità;*
- *dovrà essere eseguita un'analisi probabilistica della pericolosità sismica, mediante modelli probabilistici per la stima della sismicità e relazioni di attenuazione; con la generazione di*

accelerogrammi sintetici compatibili con i risultati dell'analisi probabilistica della pericolosità sismica;

- *dovrà essere effettuata una caratterizzazione geotecnica e sismica delle aree interessate da trasformazione edilizia, con indagini fino a 30 metri di profondità dal piano campagna, per la determinazione dei parametri di resistenza al taglio, deformabilità e velocità delle onde di taglio, con esecuzione di prove in sito, quali: prove penetrometriche statiche o dinamiche, sondaggi a carotaggio continuo con esecuzione di SPT in foro, prove down-hole e/o cross-hole, SASW e/o ReMI;*
- *dovrà infine essere effettuata la valutazione della risposta sismica locale, con determinazione dello spettro di risposta elastico di progetto, da paragonare sia con quelli determinabili attraverso le relazioni proposte dalla normativa italiana sia con quelli relativi all'Eurocodice 8; tale spettro di risposta elastico dovrà essere utilizzato per il dimensionamento strutturale delle opere e delle fondazioni.*

Tali approfondimenti risultano assolutamente indispensabili nelle Zone con alto rischio di amplificazione dell'accelerazione sismica”.

5.1 STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI III LIVELLO

Il Comune di Parma ha dato incarico (determinazione n°12555 del 31/07/2017 del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna) di eseguire uno studio di microzonazione sismica di III Livello per diversi distretti del territorio comunale, i cui risultati sono stati pubblicati nel giugno 2018.

Il distretto associato al Comprensorio Barilla di Pedrignano è siglato **034027P984** e considera nell'analisi il profilo di velocità Vs derivato dalla prova penetrometrica con sismocono realizzata nella campagna indagini del 2012 e denominata SCPTU3 (Figura 5-2 e Figura 5-3).

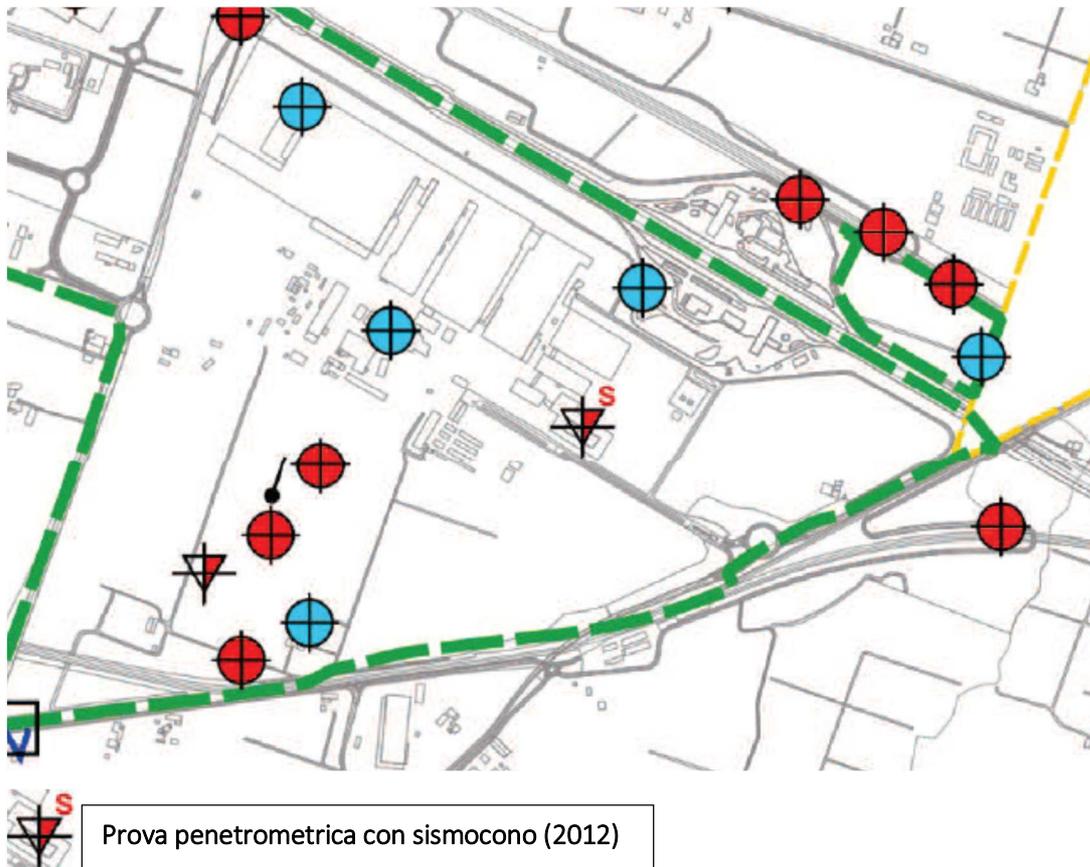


Figura 5-2. Stralcio cartografico dell'area del Comprensorio e ubicazione della prova penetrometrica SCPTU3 (triangolo crociato con pedice "S").

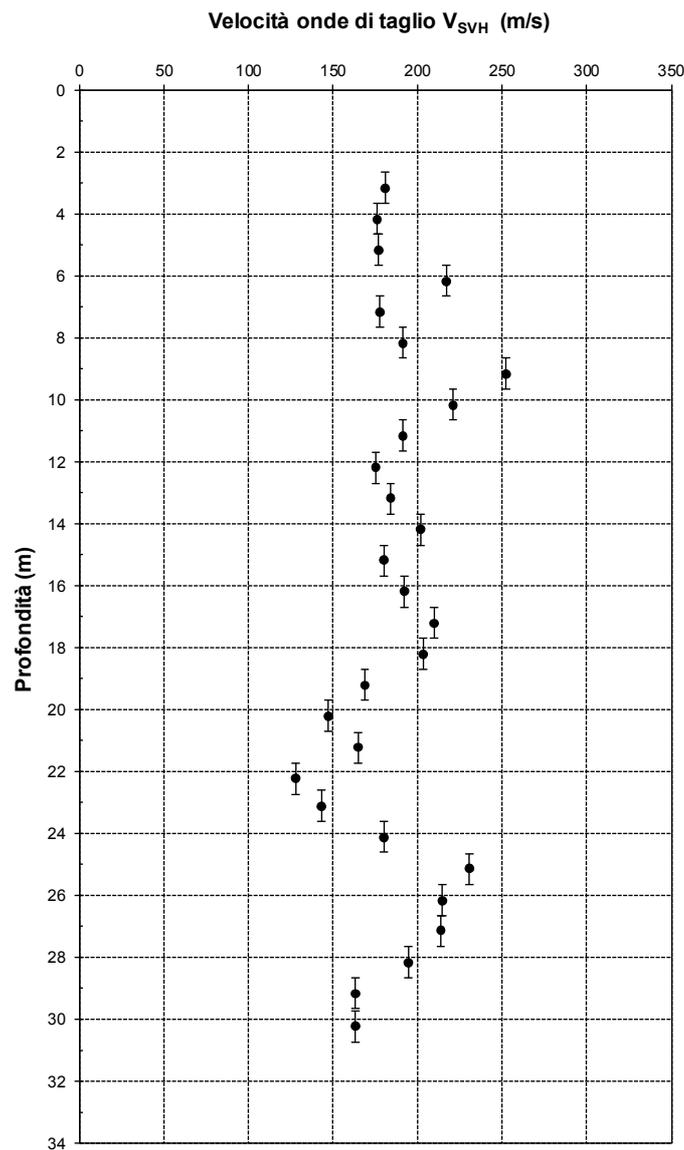


Figura 5-3. Profilo di velocità V_s della prova SCPTU3.

È stato allestito un modello sismo-stratigrafico costituito da un'unità argillosa superficiale con $V_s=190$ m/s sovrastante un'unità bedrock-like (primo strato ghiaioso, $V_s=500$ m/s) ubicato a -32.5m da p.c.. Il tetto delle ghiaie risulta essere il "punto di partenza" dei treni d'onda sismici, ossia il bedrock sismico (Figura 5-4). Questa assunzione, come spiegato nella relazione, è anche dovuta al fatto "lo strato entro (e sotto) il quale la velocità delle onde sismiche permane superiore agli 800 m/s, risulta pressoché non individuabile nella zona studiata con i metodi indiretti e, comunque, difficilmente raggiungibile anche con metodi diretti, vista la sua elevata profondità)"

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess.	Prof.	γ	V_s	Parametri G/G0		Parametri D	
	(m)	(m)	(kN/m ³)	(m/s)	α	β	η	λ
Argilla superficiale	32.50	0.00	18.00	190.00	3.03	0.82	26.17	2.46
Bedrock		32.50	21.00	500.00				

Tab. 23 - 034027P984 - Modello geofisico

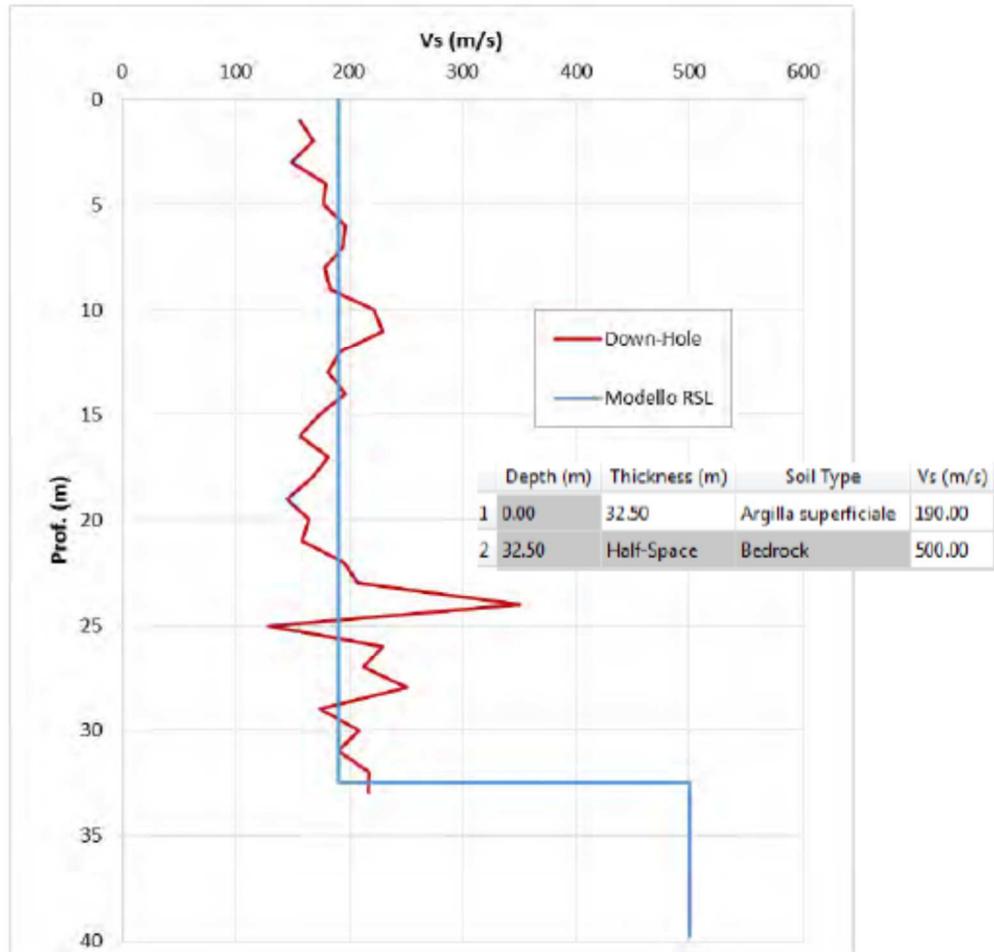


Figura 5-4. Modello geofisico adottato per il distretto 034027P984 (Comprensorio).

L'analisi monodimensionale di tipo lineare-equivalente modella ciascuno strato con un comportamento visco-elastico alla Kelvin-Voigt e, adottando un'accelerazione riferita ad un sisma con TR=475 anni, ha restituito i seguenti spettri di risposta.

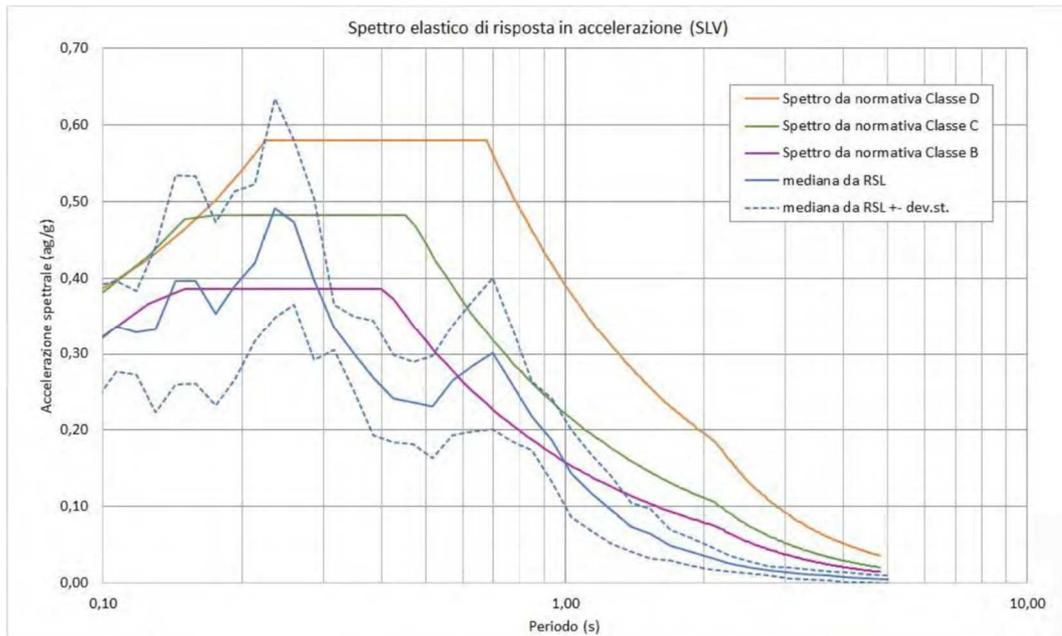


Figura 5-5. Studio di Microzonazione di III Livello. Spettro di risposta elastico ($\xi=5\%$) per il distretto 034027P984 (Comprensorio).

La Tav. 5b - Carta di Microzonazione sismica FA_{PGA} restituisce un $FA=1.1\div 1.2$

La Tav. 6b - Carta di Microzonazione sismica $FA_{|0,1-0,5s}$ restituisce un $FA=1.1\div 1.2$

La Tav. 7b - Carta di Microzonazione sismica $FA_{|0,5-1,0s}$ restituisce un $FA=1.7\div 1.8$

La Tav. 8b - Carta di Microzonazione sismica $FA_{|0,5-1,5s}$ restituisce un $FA=1.7\div 1.8$

6 AZIONE SISMICA

1.5. VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE SISMICHE LOCALI

1.5.1. PROVE SISMICHE DISPONIBILI

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche locali, resa possibile grazie alle numerose indagini sismiche eseguite negli anni passati nell'area del Comprensorio e consistenti, in riferimento all'area di progetto, in:

- Uno stendimento sismico a rifrazione in onde S della lunghezza di 300m eseguito per il progetto Nuovi Sili Grano nel 2013;
- Tre prove con sismocono, due delle quali (SCPTU1 e SCPTU2) eseguite rispettivamente per il progetto dei Nuovi Sili Grano del 2013 ed una (SCPTU1) nell'ambito delle indagini sismiche 2012;
- Due prove HVSR (T1 e T3) eseguite nell'ambito delle indagini sismiche 2012 per individuare eventuali contrasti di impedenza delle onde sismiche tali da poter identificare frequenze di risonanza dei depositi naturali (ubicazione in Figura 6-1).

I profili /tomografie delle velocità delle onde Vs sono riportati in Figura 6-3, mentre il rapporto H/V della prova HVSR è riportato in Figura 6-5.

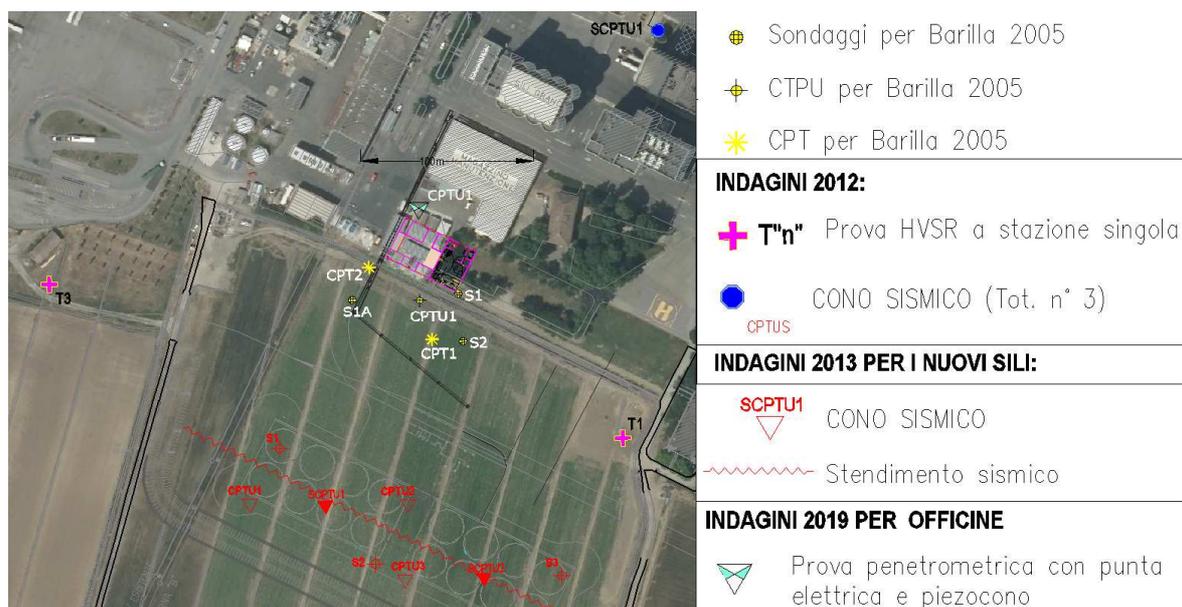


Figura 6-1. Ubicazione delle indagini sismiche nei dintorni dell'area di Progetto.

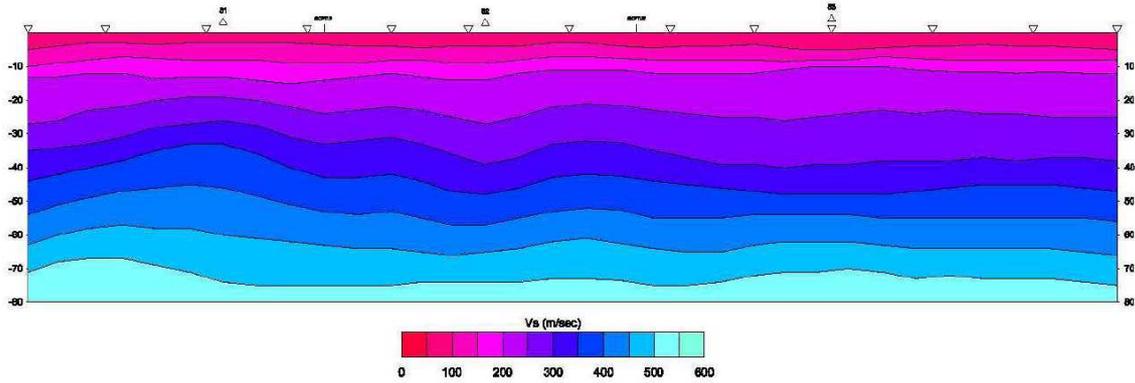


Figura 6.2. Sezione tomografica sismica in onde S (progetto Nuovi Sili Grano, 2013).

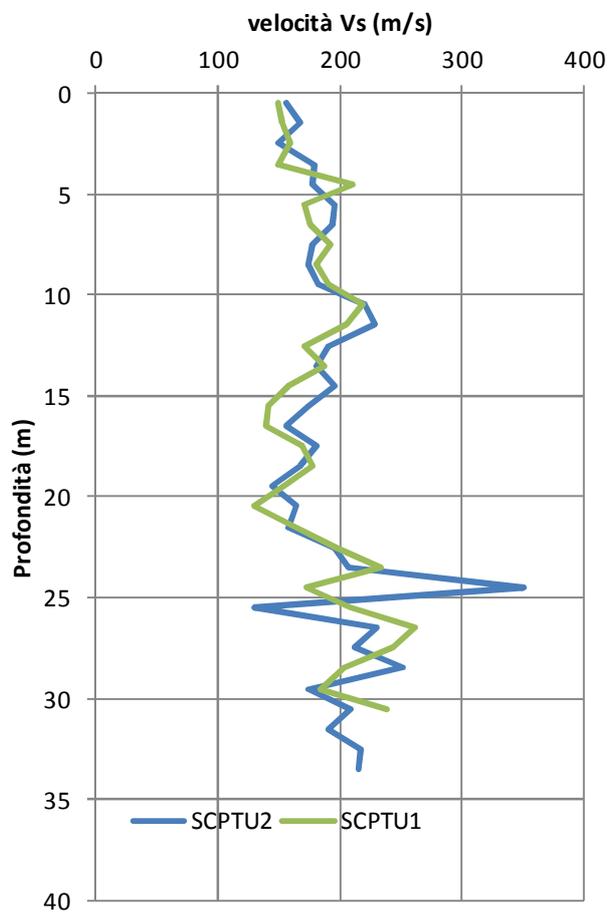


Figura 6-3. Velocità delle onde V_s da prove SCPTU1 e SCPTU2 (progetto Nuovi Sili Grano, 2013).

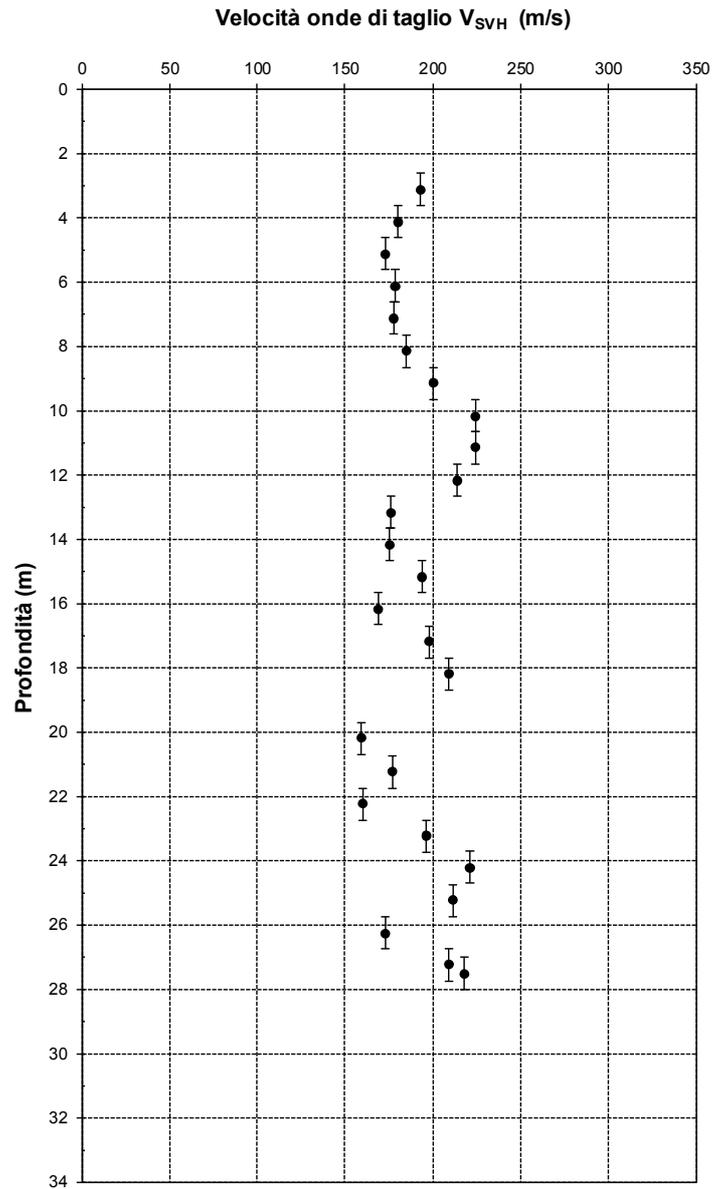


Figura 6-4. Velocità delle onde Vs da prova SCPTU1 (indagini sismiche, 2012).

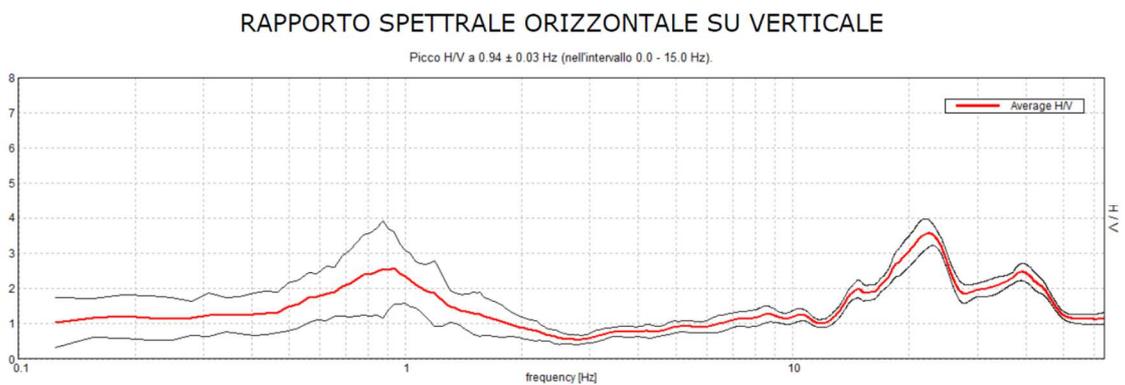


Figura 6-5. Spettro del rapporto H/V (prova T1).

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

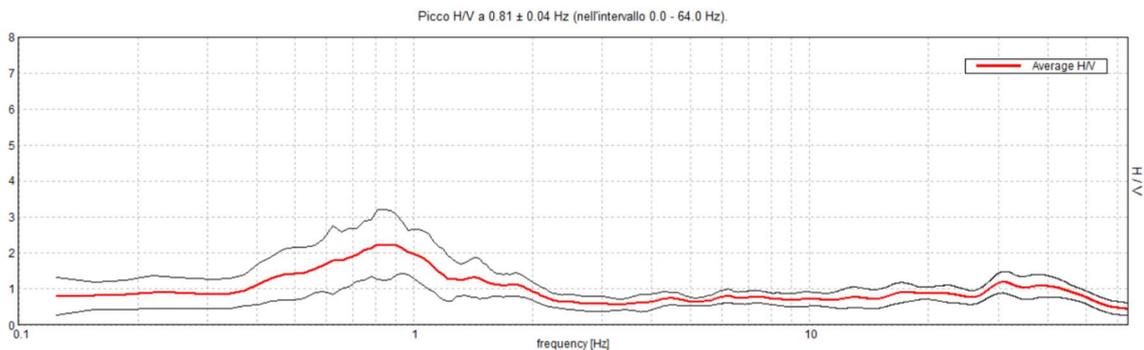


Figura 6-6. Spettro del rapporto H/V (prova T3).

1.5.1.1. INTERPRETAZIONE DELLO STENDIMENTO SISMICO IN ONDE S

La tomografia sismica in onde S evidenzia una riduzione nel gradiente di velocità intorno ai 13m di profondità; in ogni caso, non si evidenziano in maniera apprezzabile dei contrasti di impedenza sismica, soprattutto laddove attesi, ovvero al passaggio fra corpi ghiaioso-sabbiosi e sedimenti fini.

1.5.1.2. INTERPRETAZIONE DELLE PROVE CON SIMOCONO (DOWN-HOLE)

Come meglio specificato nella Relazione Geologica, la tessitura dei terreni indagati dalla prova con sismo cono consiste sostanzialmente in miscele di limi e argille in proporzioni variabili. Poiché le prove sono terminate al rifiuto dello strumento, in coerenza con altre indagini geognostiche già eseguite nel Comprensorio, si ritiene che la massima profondità della prova coincida con il tetto dell'acquifero locale (sedimenti sabbioso-ghiaiosi). Le velocità delle onde Vs sono generalmente comprese fra 150 e 250 m/s con incrementi/decrementi relativamente gradualmente, a meno di rari picchi localizzati, ove la velocità può subire incrementi maggiori.

1.5.1.3. INTERPRETAZIONE DELLE PROVE HVSR T1 E T3

Le prove HVSR eseguite danno un picco nello spettro H/V fra 0.8÷0.9 Hz. La profondità del principale contrasto di impedenza è compresa tra 40m e 50m (orizzonte ghiaioso-sabbioso profondo, individuato nei sondaggi profondi eseguiti nel Comprensorio). La prova T1 individua inoltre un picco a valori maggiori di 10 Hz (contrastati di impedenza a profondità <5 m), in corrispondenza dei corpi sabbiosi olocenici.

1.5.2. AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

La determinazione dell'amplificazione di tipo stratigrafico dei profili Vs derivati dalle indagini sismiche, per mezzo delle categorie semplificate di normativa, porta alla seguente categorizzazione del sottosuolo (casistica $Z_{\text{Bedrock sismico}} > 30\text{m}$):

- $V_{s,30}$ da Prova SCPTU1 (2012) = **189m/s**;
- $V_{s,30}$ da Prova SCPTU1 (2013) = **172m/s**;
- $V_{s,30}$ da Prova SCPTU2 (2013) = **180m/s**.
- $V_{s,30}$ da interpretazione prova HVSR T1 = **173 m/s**;
- $V_{s,30}$ da interpretazione prova HVSR T3 = **150 m/s**.

I risultati delle prove rendono l'inquadramento nelle categorie normative nelle categorie di sottosuolo da NTC18 incerto.

Per risolvere questo problema, è stato fatto riferimento all'esperienza condotta a cavallo degli anni 2013÷2015 sul progetto dei Nuovi Sili grano, nel corso del quale è stata eseguita una analisi di risposta sismica locale, i cui risultati sono illustrati in Appendice 2. L'analisi ha consentito di individuare uno spettro di risposta elastico in accelerazione, ricondotto per linearizzazione ad una forma spettrale da normativa, che meglio rappresenta le caratteristiche di risposta sismica del sito, tenendo in conto non solo delle proprietà di rigidità degli ultimi 30m di terreno da intradosso fondazione, ma anche di quelle relative alla stratigrafia più profonda. Lo spettro risultante dall'analisi è confrontato con gli spettri delle categorie precostituite da normativa "C" e "D". Si può osservare come lo spettro normalizzato derivato dall'analisi fitti meglio uno spettro di tipo "C" da normativa. Tale risultato può essere esteso anche alla restante parte del Comprensorio; di fatto, nell'intera area del Comprensorio le numerose indagini fino ad oggi eseguite non hanno mostrato variazioni sostanziali nelle caratteristiche sismostratigrafiche, che possono essere ritenute relativamente omogenee sull'area. A titolo di esempio, gli stessi spettri di H/V derivati dalle prove HVSR tendono tutti ad evidenziare dei picchi di frequenza intorno a 0.8÷0.9 Hz. Pertanto, la categoria di sottosuolo scelta sarà la "C".

1.6. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Le azioni sismiche di progetto previste dalle vigenti norme tecniche (NTC), in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito in esame. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica, derivata da una PSHA (*Probabilistic Seismic Hazard Analysis*) messa a punto dall'INGV per l'intero territorio nazionale (Mappe di pericolosità sismica, <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>), è definita in termini di accelerazione orizzontale massima a_g attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita dalle NTC), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in pseudo - accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale;
- T_c^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Come descritto in precedenza, le azioni sismiche su ciascuna direzione sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R ricavato con la seguente espressione:

$$V_R = V_N \cdot C_u$$

Dove:

V_N = vita nominale dell'opera

C_u = Coefficiente d'uso, funzione della classe d'uso dell'opera

La vita nominale dell'opera V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo per lo quale è destinata. Nel caso degli edifici in esame, la vita nominale può essere assunta pari a **50 anni** così come suggerito dalle NTC per *“opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale”*.

La classe d'uso di una costruzione è definita con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso. Nel caso degli edifici in esame, questi possono essere definiti di *“Classe II”* così come suggerito dalle NTC per *“costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali”*. Alla classe d'uso II corrisponde un coefficiente d'uso $C_u = 1.0$.

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Per gli stati limite di esercizio degli edifici in esame si prende in considerazione lo **stato limite di danno (SLD)** nell'ambito del quale *“a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tale da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature”*.

Per gli stati limite ultimi degli edifici in esame si prende in considerazione lo **stato limite di salvaguardia della vita (SLV)** nell'ambito del quale *“a seguito del terremoto di progetto si accetta che la costruzione subisca rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali, ma la costruzione conserva una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali”*.

Gli stati limite precedentemente definiti sono riferiti a terremoti di diversa intensità: elevata per lo SLV e medio - bassa per lo SLD.

Pertanto, la probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati è diversa e, precisamente:

- Stato limite di danno P_{VR} (50 anni) = 63%;
- Stato limite di salvaguardia della vita P_{VR} (50 anni) = 10%.

Alle predette probabilità di superamento corrispondono i seguenti periodi di ritorno dell'azione sismica di progetto:

- Stato limite di danno $T_R = 50$ anni;
- Stato limite di salvaguardia della vita $T_R = 475$ anni.

1.7. SPETTRI ELASTICI DI ACCELERAZIONE

La successiva Tabella 6-1 che segue illustra i parametri di riferimento per la definizione della pericolosità sismica di base del sito in esame (Comune di Parma).

Tabella 6-1. Caratteristiche di pericolosità sismica di base in riferimento a vari SL.

STATO LIMITE	T_R (anni)	a_g [g]	F_0 [-]	T_c^*
SLO	30	0.044	2.495	0.240
SLD	50	0.056	2.504	0.257
SLV	475	0.137	2.470	0.285
SLC	975	0.176	2.468	0.292

Per quanto attiene alle modifiche dell'azione sismica dovuta a caratteristiche locali, si assume la **categoria di sottosuolo C** e la **categoria topografica T1** (superficie pianeggiate).

A questo punto è possibile definire gli spettri di risposta elastici in accelerazione sia delle componenti orizzontali che verticali.

Gli spettri sono definiti sulla base dei seguenti parametri:

- $\xi = 5\%$ - Coefficiente di smorzamento viscoso convenzionale;
- F_0 - Fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima;
- T_c periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro;
- T_B periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- T_D periodo corrispondente al inizio del tratto a spostamento costante dello spettro.

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV

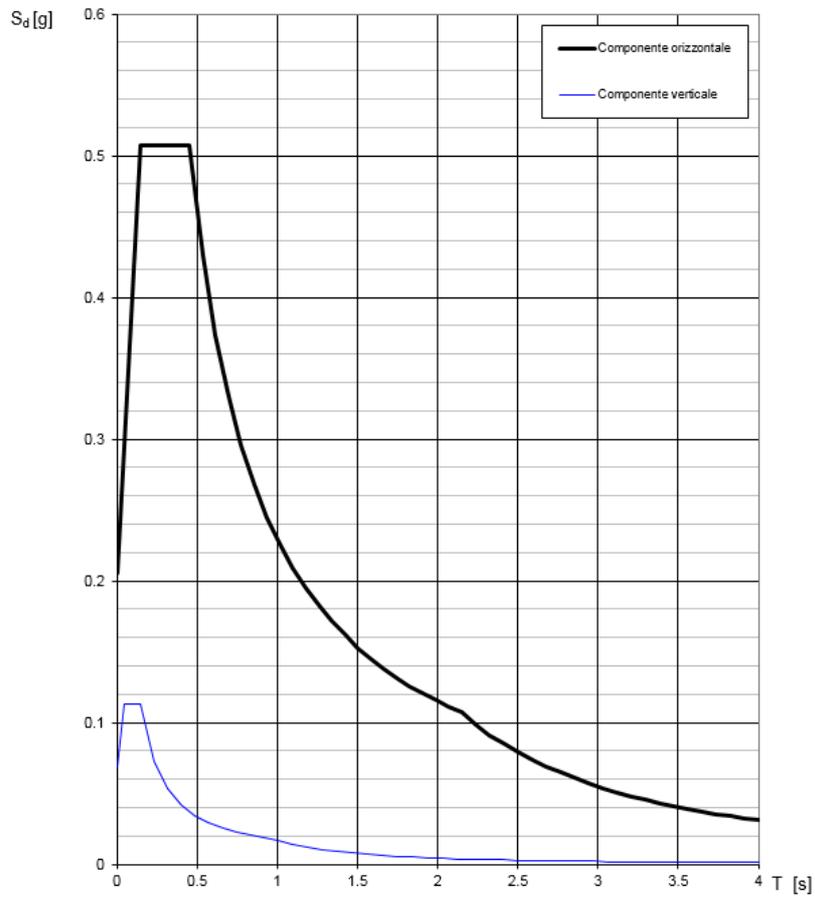


Figura 6-7: Definizione dello Spettro Elastico allo SLV (categoria di suolo C).

7 LIQUEFAZIONE

Secondo la definizione dell'Eurocodice 8, la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino all'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità.

La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che satura gli interstizi arriva ad eguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che l'azione sismica ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa D_r e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di N (cicli del terremoto).

Il raggiungimento della condizione di liquefazione può dare origine ad effetti di varia natura, quali, nei casi più eclatanti:

- affondamento di edifici nel terreno;
- scorrimento di pendii;
- collasso di terrapieni, rilevati stradali e opere di terra in genere;
- collasso di palificate per perdita di connessione laterale;
- zampillio di copiosi getti d'acqua e di sabbia con formazione dei caratteristici coni eruttivi;
- collasso di opere di sostegno per sovraspinta del terreno a monte.

In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sottofalda, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa. In altre parole, è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove devono essere realizzate le opere in progetto.

Nel sito di progetto non sono stati rinvenuti significativi depositi sabbiosi tali da rendere necessaria una valutazione del potenziale di liquefazione.

Parma, 12 febbraio 2019

Giancarlo Guadagnini



Andrea Mastrangelo



Appendice 1 –Rapporti delle indagini sismiche

Protocollo:

Data di emissione:



**SACCHETTO PERFORAZIONI
GEOTECNICA SRL**

Committente:

Località:

Oggetto:

penetrometriche prove di laboratorio
IC PENETRATION TESTS LABORATORY

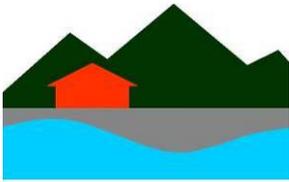
**Indagini geognostiche
Geotechnical Surveys**

Via dell'Artigianato, 24
45011 ADRIA (RO)
tel. +39 0426 900977
fax +39 0426 900053

<http://www.spgeo.it>
spgeo@stargatenet.it

P.IVA: 0105059.029.6

Aut. Min. all'esecuzione
di indagini geognostiche
n. 7467 del 04.08.2011
[Circ.Min. 7619-STC del
08.09.2010]



STUDIO DI SCIENZE DELLA TERRA
GEOL. MATTEO SIMONI
VIA FONTANELLA, 8/2
40069 ZOLA PREDOSA
TEL E FAX 051/0392335
MOBILE +393355337448
MATTEO@MATTEOSIMONI.IT
WWW.MATTEOSIMONI.COM

*progettazione di interventi di bonifica di siti contaminati
idrogeologia, ricerche idriche e pozzi per acqua
monitoraggi di versanti e controlli ambientali
geologia applicata e indagini geognostiche
interventi di ingegneria naturalistica
geofisica e sismologia*

COMUNE DI PARMA
PROVINCIA DI PARMA

**ESTENSIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA
VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE
PROGETTO DI MASSIMA DELLE STRUTTURE DI
FONDAZIONE DEI NUOVI SILI
STABILIMENTO BARILLA DI PEDRIGNANO**

preparato per:



Sacchetto Perforazioni Geotecnica S.r.l.
Via dell'Artigianato, 24
45011 Adria RO



*Relazione geofisica
R1358*

Dicembre 2013

Indice

Introduzione	3
1. Premessa	3
1.1 Normativa di riferimento e bibliografia.....	3
Piano di indagine	5
2. Sismica a rifrazione onde S	5
2.1 Sorgente di energia.....	6
2.2 Apparato di ricezione.....	6
2.3 Operazioni di campagna	7
2.4 Acquisizione dati	7
3. Prospezione di sismica passiva.....	8
3.1 Strumentazione di registrazione	8
3.2 Acquisizione dati	9
Elaborazione ed interpretazione dei dati raccolti	10
4. Elaborazione dei dati di sismica a rifrazione onde S	10
4.1 Elaborazione tomografica	10
4.2 Analisi della sezione tomografica	11
5. Elaborazione dei dati di sismica passiva.....	11
5.1 Descrizione dei risultati.....	11
6. Pericolosità sismica.....	12
6.1 Categorie di suolo.....	13
Conclusioni	16
Elenco delle figure	17
Elenco delle tabelle	17
Elenco delle tavole a fine testo	17
Elenco degli allegati a fine testo	17

INTRODUZIONE

Per incarico professionale ricevuto dall'Ing. Massimo Sacchetto per conto della Sacchetto Perforazioni Geotecnica S.r.l. – con sede ad Adria (Provincia di Rovigo) in Via dell'Artigianato 24 – si espone la presente relazione, inerente gli esiti delle prospezioni geofisiche eseguite nell'area di pertinenza dello Stabilimento Barilla di Pedrignano (Figura 1), localizzato in Via Mantova a Parma.

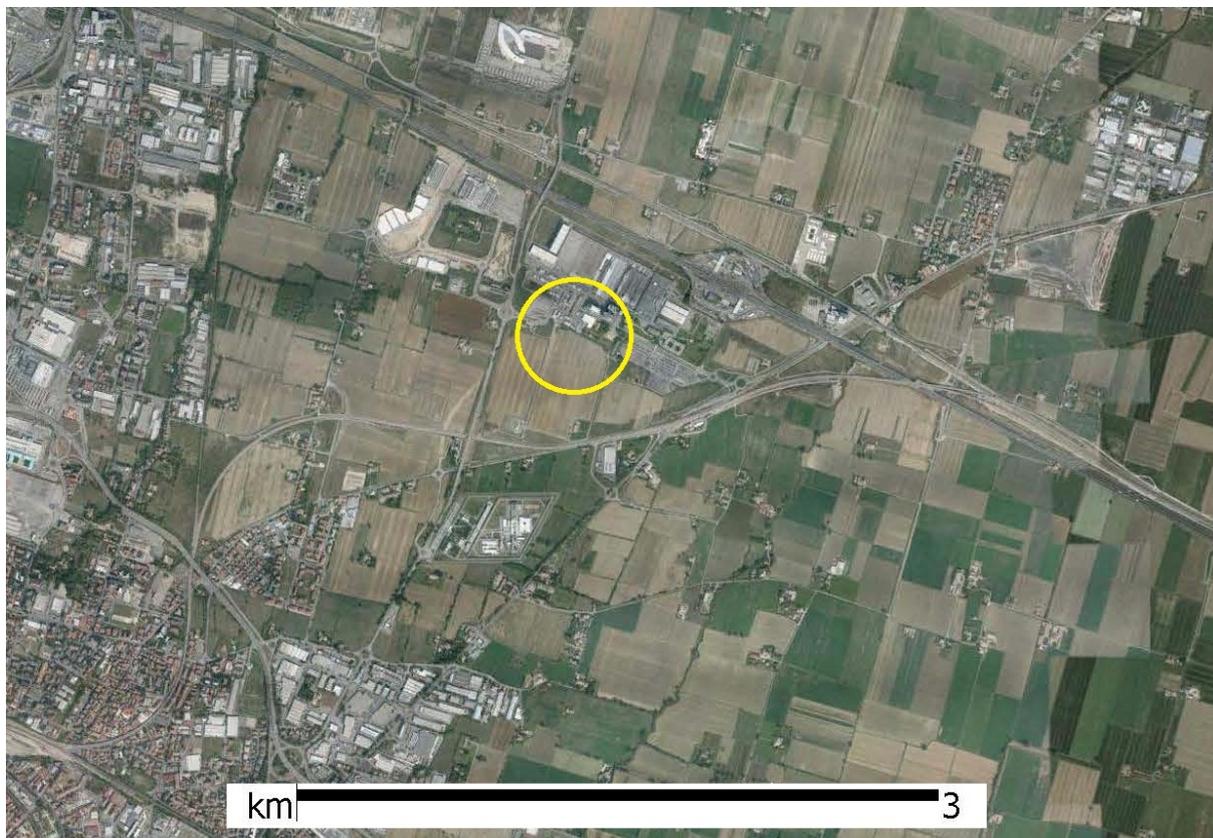


Figura 1. Ripresa aerea dell'area.

Il presente documento è stato realizzato per descrivere i risultati del programma di indagini previste e commissionate per lo studio della risposta sismica locale dell'area in esame.

1. Premessa

È illustrato, pertanto, il presente elaborato che è stato eseguito sviluppando i punti seguenti:

- 1) raccolta dei dati presenti negli archivi degli uffici pubblici (banca dati dell'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - ISPRA, Ufficio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna) e dello scrivente;
- 2) esame della documentazione tecnica fornita dalla Committenza;
- 3) esecuzione di prospezioni geofisiche;
- 4) elaborazione e interpretazione dei dati sperimentali registrati in sito;
- 5) ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo.

Lo svolgimento delle attività suesposte ha permesso di indagare i terreni fino alla massima profondità di m 80 e quindi di caratterizzare le velocità delle onde di taglio all'interno dei corpi grossolani profondi, che possono costituire le impedenze sismiche più significative.

1.1 Normativa di riferimento e bibliografia

Le considerazioni di seguito riportate fanno riferimento alla vigente normativa del settore geotecnico e delle costruzioni ed in particolar modo si evidenziano:

- A.G.I. 1977 – “Raccomandazioni sulla progettazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”.

- *D.M. 21 gennaio 1981* – “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- *Circ. Dir. Centr. Tecn. n.º 97/81* – “Istruzioni relative alle norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- *D.M. LL.PP. 11 marzo 1988* - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione”.
- *Circ. Min. LL.PP. 24 settembre 1988 n.º 30483* – “Istruzioni applicative al D.M. 11/03/88”.
- *Deliberazione della Giunta Regionale n.182 del 31.05.1995* – “Prescrizioni di massima e di polizia forestale”.
- *EN (V) 1997* – “Eurocode 7, Part 3. Design assisted by in situ tests. CEN”.
- *EN (V) 1997* – “Eurocode 7, Part 1. Geotechnical design. CEN”.
- *Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 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”.
- *Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316/2003* – “Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo”.
- *Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 14 settembre 2005* – Norme tecniche per le costruzioni.
- *Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna, n. 1667 del 24 ottobre 2005* – Prime indicazioni applicative in merito al Decreto Ministeriale 14 settembre 2005 (pubblicato sul supplemento ordinario n. 159 alla Gazzetta Ufficiale n. 222 del 23 settembre 2005) recante “Norme tecniche per le costruzioni”.
- *Decreto Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008* – Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.
- *Legge 24 giugno 2009, n. 77* – Conversione del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile.
- *Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna, n. 1667 del 24 ottobre 2005* – Prime indicazioni applicative in merito al Decreto Ministeriale 14 settembre 2005 (pubblicato sul supplemento ordinario n. 159 alla Gazzetta Ufficiale n. 222 del 23 settembre 2005) recante “Norme tecniche per le costruzioni”.
- *Decreto Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008* – Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.
- *Legge 24 giugno 2009, n. 77* – Conversione del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile.

La presente relazione espone i risultati di un'indagine geofisica, le metodologie interpretative e le conclusioni da esse deducibili.

PIANO DI INDAGINE

Nella presente sezione sono descritte le metodologie di indagine applicate in sito e le relative strumentazioni utilizzate per la realizzazione delle stesse.

Lo scopo dell'indagine è stato quello di ricostruire la successione sismo-stratigrafica del sottosuolo.

A tal fine sono state realizzate le seguenti attività:

- 1 linea sismica a rifrazione onde S da m 330 (L);
- 2 prospezioni di sismica passiva (TR).

Le terebrazioni sono state ubicate, limitatamente alle attuali condizioni del sito, così come richiesto dalla Committenza.

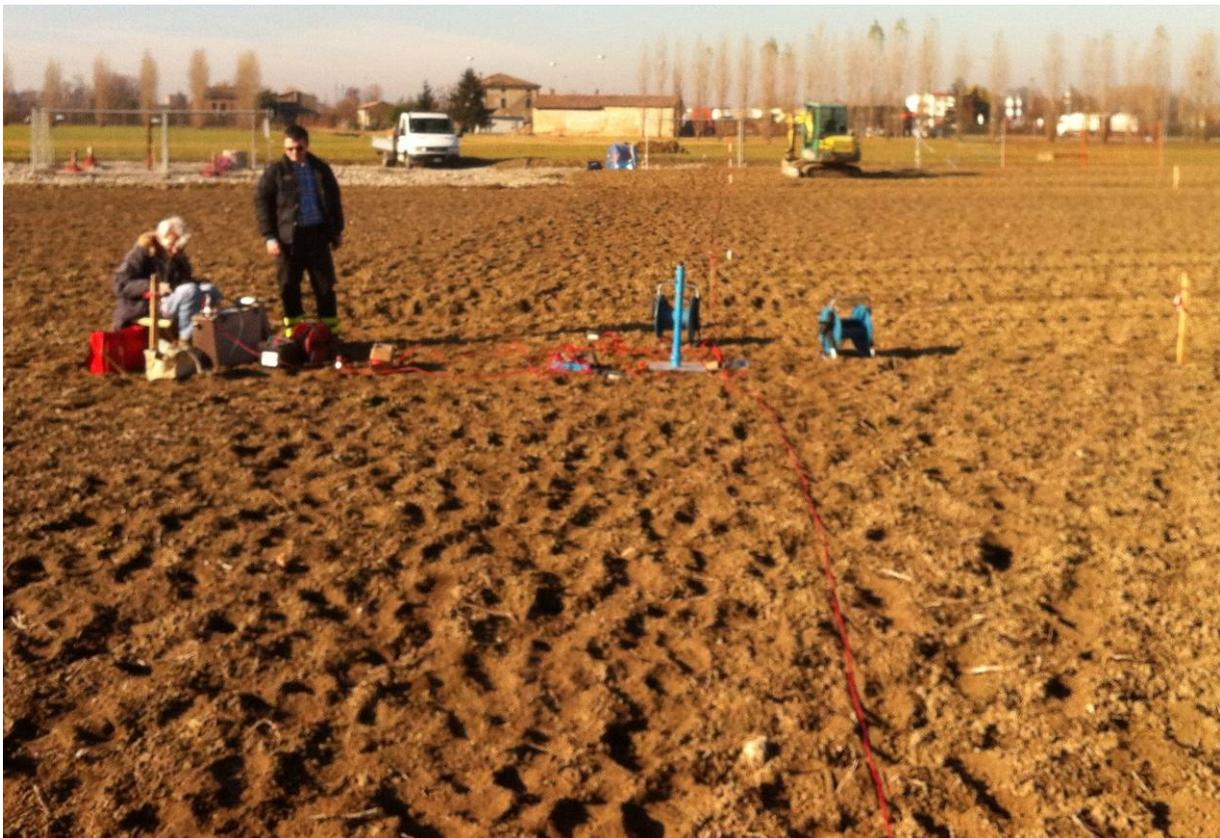


Figura 2. Esecuzione della linea di sismica a rifrazione onde S.

Nella Tavola 1 a fine testo è raccolta la planimetria indicante l'ubicazione dei punti di indagine.

2. Prospezione sismica a rifrazione onde S

La prospezione sismica a rifrazione consiste nell'eseguire una serie di misure in superficie per determinare le variazioni di velocità sismica dei terreni e/o delle rocce nell'ipotesi che la velocità aumenti proporzionalmente alla profondità (Figura 2).

Tale metodo richiede l'immissione nel terreno di una certa quantità di energia, la cui intensità, data la distanza variabile tra sorgente di energia e sensori di ricezione, può essere regolata al fine di rispondere, nel modo più esauriente possibile, ai quesiti posti dall'indagine (Figura 3).

Il metodo sismico a rifrazione utilizza i dati forniti dalla rifrazione subita dalle onde elastiche nell'attraversare i terreni e le rocce investigate; più in particolare, attraverso una serie di ricevitori (geofoni) posti a distanze variabili dalla sorgente di energia, tali onde sono trasformate in impulsi elettrici che, opportunamente amplificati e decodificati dall'apparecchiatura di registrazione, permettono la lettura dei tempi di arrivo delle onde sismiche su uno schermo e quindi memorizzati per essere trasferiti successivamente sul calcolatore di servizio.

L'elaborazione dei valori di tali tempi rispetto alle distanze dei geofoni, permette di determinare le velocità dei sismostrati e le loro profondità rispetto alla superficie topografica.

Scopo principale del rilievo sismico a rifrazione è ricostruire il “*bed rock*”, ossia l'orizzonte caratterizzato dalle velocità di propagazione più elevate e quindi dalle migliori caratteristiche di elasticità e resistenza meccanica.

Le onde sismiche che giungono ai sensori dei sismografi sono principalmente di quattro diversi tipi:

- le onde P o primarie – sono quelle onde che partendo direttamente dall'ipocentro, raggiungono per prime i sensori attraversando gli strati profondi della crosta terrestre e pertanto riescono a viaggiare ad una velocità superiore rispetto alle altre onde emesse. Queste onde viaggiano comprimendo e dilatando le rocce che attraversano;
- le onde S o secondarie – sono quelle che raggiungono il sensore dopo un certo periodo di tempo dipendente dall'ipocentro del sisma. A differenza delle onde primarie, che comprimono e dilatano, si muovono con un movimento simile al movimento di una frusta. Viaggiano più lentamente rispetto alle onde primarie e perciò confrontando i tempi di arrivo tra le onde primarie e le onde secondarie è possibile determinare la distanza del sensore dall'epicentro;
- le onde di Love - sono onde che si muovono sugli strati superficiali della crosta terrestre e quindi sono attenuate in modo più o meno evidente secondo il tipo di terreno sul quale si trasmettono;
- le onde di Rayleigh – sono onde che generano un movimento di scuotimento facendo ruotare l'intero globo con moto ellittico. La loro conformazione ricorda le onde provocate da un sasso su uno specchio d'acqua.

Le indagini sono state realizzate sfruttando la determinazione della velocità di propagazione delle onde trasversali (onde S o *secundae*) nel sottosuolo.

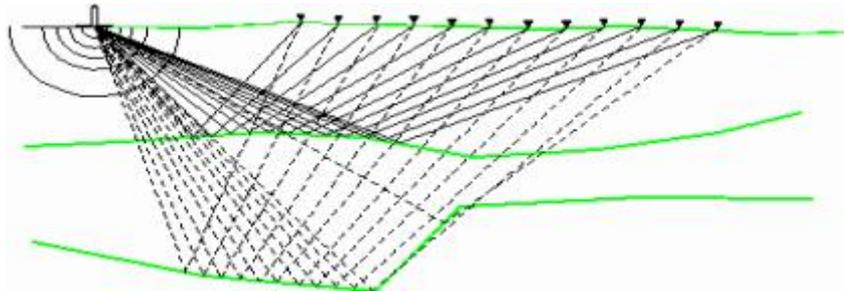


Figura 3. Prospezione sismica.

2.1 Sorgente di energia

Considerata la lunghezza dello stendimento e la necessità di generare impulsi che consentissero una discreta qualità delle registrazioni si è utilizzato un energizzatore Minibang della Four Ltd (GB) alimentato da cartucce industriali con potenza di $1 \text{ t} \times \text{m}$.

2.2 Apparato di ricezione

Sono stati utilizzati 34 geofoni da 10 Hz (con asse strumentale orizzontale) posizionati sul terreno ad intervalli di 10 m, collegati tra loro da cavi elettrici e tramite questi al sismografo.

È stato, inoltre, usato un geofono (*starter*) applicato vicino all'energizzatore, il quale costituisce il dispositivo di *trigger* per l'inizio della registrazione; tale segnale è trasmesso al sismografo con impulsi elettrici.

La strumentazione utilizzata nella prospezione sismica a rifrazione è la seguente:

- sismografo registratore EG&G Geometrics, a 24 canali di registrazione simultanea, e analizzati sul notebook di servizio dopo le dovute operazioni di amplificazione (guadagni 0-66 db e forma di traccia 0-51 db), filtraggio e ripulitura;
- alimentatore a batteria da 12 V/16 Ah;
- 24 geofoni Sensor ad asse orizzontale, elettromagnetici, a bobina mobile con frequenza di 10 Hz e attacco rapido;

Estensione delle indagini geognostiche per la valutazione della risposta sismica locale per il progetto di massima delle strutture di fondazione dei nuovi sili.

Stabilimento Barilla di Pedrignano.

- cavi sismici multipli Cannon ITT con 12 prese ciascuno ad intervalli di m 10;
- cavi di collegamento e materiali di ricambio.

I dati raccolti nel corso dell'indagine sono stati archiviati ed elaborati con calcolatore elettronico.

2.3 Operazioni di campagna

Le operazioni di campagna, per consentire l'elaborazione tomografica, sono analoghe a quelle che si effettuano in rilievi di sismica a rifrazione standard, anche se il numero di registrazioni realizzate è generalmente superiore (due o tre volte) per poter avere a disposizione una quantità di dati tale da coprire con la giusta geometria dei raggi ed in maniera omogenea l'intera sezione sismica in tutti i settori e fino alla profondità adeguata, senza lasciare tratti scoperti o disomogenei.

Eseguito il posizionamento dei geofoni sul terreno, collegati i geofoni al cavo elettrico generale mediante morsetti bipolari e connesso quest'ultimo al sismografo, verificata la connessione tra *notebook* di servizio e strumento (grazie al programma di acquisizione dati), si è proceduto alla prospezione sismica a rifrazione in modo tale che, dopo ogni energizzazione (o somma di energizzazioni) su ciascun punto prestabilito, si fosse acquisito e memorizzato il dato sismico per la successiva elaborazione.

La base sismica è stata esplorata secondo un numero definito di energizzazioni per consentire il dettaglio richiesto dall'indagine (32 *shot* per la linea da 330 m); si sono perciò effettuate complessivamente 42 registrazioni sismiche per l'analisi della velocità delle onde elastiche di taglio (V_s), con energizzazione a interdistanza variabile da 15 a 20 m.

2.4 Acquisizione dati

Gli impulsi sismici ricevuti dai geofoni posizionati sulla superficie topografica sono stati acquisiti tramite l'apparecchiatura elettronica con registrazione simultanea, trasferiti, registrati ed analizzati sul *notebook* di servizio dopo le dovute operazioni di verifica.



Figura 4. Esecuzione della prospezione di sismica passiva TR1 con tromografo digitale.

3. Prospezione di sismica passiva

La tecnica maggiormente sfruttata per lo studio dei microtrempi è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale e conosciuta come HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

La metodologia dei rapporti spettrali H/V permette di valutare la variazione di ellitticità dell'onda di Rayleigh in funzione della frequenza, permettendo così di ricavare la frequenza fondamentale di un sito. Tale parametro è legato alla presenza di una superficie di discontinuità con un sufficiente contrasto di impedenza sismica.

Il valore del picco rilevabile dalla curva H/V è inversamente proporzionale alla profondità dell'interfaccia (H) e direttamente proporzionale alla velocità di propagazione delle onde S (V) dei materiali sovrastanti l'interfaccia, mediante la relazione:

$$f_0 = \frac{V_s}{4H}$$

La curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati poiché l'effetto è cumulabile. Stimando le velocità V, solitamente disponibili almeno a livello di massima, è possibile fornire previsioni sullo spessore H degli strati.

I risultati dell'analisi sono stati ottenuti col software *Grilla* in dotazione allo strumento che esegue le seguenti operazioni, per ciascuna delle 3 componenti del moto:

1. divide il tracciato acquisito in finestre di lunghezza L (in questo caso di 20 s),
2. elimina il *trend* da ciascuna finestra,
3. ne fa il *taper* con una finestra Bartlett¹,
4. fa il *pad* di ciascuna finestra con degli zero,
5. calcola la trasformata di Fourier per ciascuna finestra,
6. calcola lo spettro di ampiezza per ciascuna finestra,
7. liscia lo spettro di ogni finestra secondo la funzione di lisciamiento e calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza e per ciascuna finestra.

La funzione HVSR finale è data dalle medie degli HVSR di ciascuna finestra: le componenti orizzontali sono mediate tra loro con la media quadratica e sono successivamente divise per la componente verticale.

3.1 Strumentazione di registrazione

Le registrazioni dei microtrempi (TR) è stata realizzata mediante tromografo digitale della Micromed S.p.A. (Figura 4), strumento in grado di acquisire il rumore sismico, presente ovunque sulla superficie terrestre, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre.

Il "tromino" è costituito da tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ad alta risoluzione disposti su tre assi spaziali ortogonali con livella a bolla d'aria su punte e cuscinetto reologico.

Le principali caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata sono le seguenti:

- 3+1 canali analogici con singola amplificazione differenziale che registrano il rumore < 0,5 μ V r.m.s. @128 Hz *sampling*;
- impedenza dell'*input* di 10^6 Ohm con intervallo di frequenze da DC - 360 Hz;
- frequenza di campionamento di 16.384 Hz per canale e di sovra - campionamento di 32x, 64x, 128x;
- amplificazione su tutti i canali con *input* differenziali;
- livella a bolla d'aria con elevata precisione orizzontale con sensibilità di 5' d'arco (0,083°);
- sensori costituiti da 3 velocimetri elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione autobloccanti se in assenza di acquisizione.

La registrazione dei dati avviene tramite la memoria interna da 512 Mb oppure tramite connessione con porta USB di tipo B.

¹ metodo di stima spettrale delle serie storiche.

Estensione delle indagini geognostiche per la valutazione della risposta sismica locale per il progetto di massima delle strutture di fondazione dei nuovi sili.

Stabilimento Barilla di Pedrignano.

3.2 Acquisizione dati

Lo strumento è stato accoppiato alla superficie topografica mediante i piedini lunghi (“a chiodo”), infiggendoli nel terreno per la prova TR1 e con quelli corti (“a puntina”) per la prova TR2 a causa della pavimentazione asfaltata.

Il segnale dei velocimetri è acquisito per un tempo di 20 minuti e digitalizzato a 24 bit.



Figura 5. Esecuzione della prospezione di sismica passiva TR2 con tromografo digitale.

ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI RACCOLTI

Nella presente sezione sono descritti i metodi di elaborazione applicati per ogni tipologia di indagine impiegata in sito e i relativi risultati ottenuti.

4. Elaborazione dei dati di sismica a rifrazione onde S

La tecnica di prospezione sismica a rifrazione prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di taglio (S) tra i punti di energizzazione in superficie (*shot*) e i vari punti di ricezione (geofoni) disposti sulla superficie topografica.

L'analisi della velocità di propagazione delle onde elastiche nel sottosuolo, trasversali (V_s), ottenute conoscendo la distanza *shot* – ricevitore e il relativo tempo di arrivo dell'impulso sismico (velocità = spazio/tempo), consente di rilevare le proprietà fisiche e meccaniche dei terreni, poiché i valori di V_s sono proporzionali al grado di compattezza dei mezzi percorsi.

L'elaborazione dei dati e la relativa rappresentazione cartografica è stata effettuata mediante una tecnica analitica standardizzata che ha permesso un'elaborazione di dettaglio in termini di velocità dell'intero ammasso, permettendo di distinguere zone con caratteristiche differenti per variazioni di consistenza o addensamento.

Si nota, riguardo la correlazione con i contatti litostratigrafici individuati nei sondaggi geognostici verticali e nelle prove penetrometriche, che l'identificazione dei livelli rilevati dalla prospezione sismica dipende dal grado di effettiva omogeneità dello spessore litostratigrafico; molto spesso interferiscono, con effetti opposti, fenomeni di cementazione o di non - addensamento al tetto e/o al letto dello strato geologico, i quali causano rispettivamente un innalzamento e/o un abbassamento dei valori di velocità sismica, per cui non necessariamente coincidono livelli di discontinuità fisica e semplici delimitazioni geologiche.

Per l'insieme delle osservazioni sopra esposte, l'elaborazione dei diversi risultati ottenuti mediante un accurato rilievo di sismica a rifrazione con elaborazione tomografica, può rispondere validamente ad esigenze di sintesi analitica e geognostica secondo convenienti criteri di praticità.

La prima operazione eseguita una volta terminata la fase di acquisizione in campagna, è stata quella di convertire i dati (una registrazione per ogni punto di energizzazione comprendente 24 tracce); questa fase del *processing* permette di convertire il formato con cui i dati sismici sono registrati dal sismografo in quello con cui gli stessi saranno elaborati (*software* dedicato).

Si è quindi ricercato il primo arrivo dell'onda di taglio su ciascuna traccia di ogni sismogramma e per ogni file di dati acquisiti in campagna è stato costruito un nuovo tabulato numerico dei tempi di arrivo e la geometria dello stendimento (quote, interdistanze scoppio – geofoni, interdistanza geofoni); tutti i file relativi alla linea sismica sono stati poi riuniti in un unico file e convertiti in formato tabellare.

In seguito con i fogli elettronici si sono costruiti i grafici per ottenere la rappresentazione delle diagrafie tempi – distanze (dromocrone) della linea sismica, come documento della prospezione eseguita (Allegato 1).

I dati in formato numerico sono invece stati inseriti nel programma dedicato per l'elaborazione tomografica.

4.1 Elaborazione tomografica

La prima procedura consiste nella ricerca della geometria di percorso dei raggi sismici da ogni punto di energizzazione a ciascun geofono collegato che abbia registrato l'impulso proveniente da quello stesso punto. Tale operazione preliminare è effettuata mediante la tecnica RTC (*Ray Tracing Curvilineo*).

Il file di dati in formato tabellare di ciascuna linea sismica precedentemente ottenuto, è stato inserito nel programma di calcolo, tracciando i vari raggi sismici che coprono da un estremo all'altro dello stendimento sismico l'intera area investigata sotto alla superficie topografica; si ottiene anche una prima rappresentazione di massima (*Contour line*) dei principali settori a velocità differenziata in funzione della distribuzione del *pattern* di isovelocità.

Il passo successivo fornisce valori di velocità sismica per partizioni unitarie (celle di analisi di dimensione metrica) facendo convergere, con successive iterazioni, i dati modellati con quelli reali corrispondenti ai tempi ottenuti dalle dromocrone originali.

L'elaborazione tomografica con queste modalità è in grado di differenziare maggiormente le variazioni sul grado di consistenza dell'ammasso rispetto ad altre tecniche sismiche computerizzate, e sopperisce alla mancanza di rifrattori significativi e alla presenza, con il procedere in profondità, di materiale non sufficientemente differenziato nei termini fisici dei parametri elastici.

Una volta ricostruito il campo di velocità particellari del sottosuolo, il file di dati così ottenuto è stato trasferito in un elaboratore di *contour* mediante isolinee di velocità e campiture di colore, con la distribuzione areale dei valori di velocità sismica (V_s), per determinare con elevato dettaglio il grado di consistenza, le particolarità morfologiche e strutturali del materiale in senso verticale – laterale, e per valutare il comportamento geomeccanico dell'ammasso con la possibilità di localizzare con più dettaglio eventuali distrofie (faglie, settori cataclastici, contatti stratigrafici, ...).

4.2 Analisi della sezione tomografica

Per la determinazione di tale sezione sono state utilizzate le velocità di taglio (in m/s) e le relative superfici di separazione (in m) dal piano campagna.

Dalle tarature con diverse prove dirette eseguite sull'area (sondaggi geognostici verticali a carotaggio continuo e prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezococono) si sono eseguiti gli abbinamenti sismo – litologici sintetizzati nella Tabella 1

Strato	Profondità (m)	Velocità (m/sec)	Litologia
1	4 – 5	100 – 110	Argille limose e sabbiose
2	13 – 15	110 – 230	Argille limose e limi argillosi
3	30 - 43	230 - 330	Sabbie limose, ghiaie e argille limose
4	> 75	330 - 540	Ghiaie, sabbie limose e argille limose

Tabella 1. Velocità delle onde di taglio e litologia.

La rappresentazione per isolinee di velocità tomografiche reali e campiture di colore consente di discriminare una successione di quattro strati presente lungo tutta la sezione sismica in esame e che si distribuisce con continuità fino a 75 m di profondità.

5. Elaborazione dei dati di sismica passiva

La prima acquisizione (TR1) ha risentito negativamente della presenza di un'estesa area con pavimentazione rigida asfaltata, restituendo una lettura dei dati comunque soddisfacente. La lettura è avvenuta in condizioni di forti rumori antropici, dovuti alla presenza continua di motrici in movimento che hanno diminuito del 12% circa il numero dei dati utili raccolti.

Nella seconda acquisizione (TR2) la registrazione ha risentito di diffuse leggere vibrazioni che hanno disturbato la registrazione ma non ne hanno pregiudicato la corretta interpretazione.

5.1 Descrizione dei risultati

Nell'Allegato 2 è riportato l'andamento del rapporto H/V su tutto l'intervallo di frequenze analizzate (0-256 Hz).

L'elaborazione dei dati acquisiti nel corso della TR1 ha rilevato un lieve picco alla frequenza di 4 Hz, a cui corrisponde una profondità di m 9 per un aumento di densità del terreno.

Fino a profondità di 30 metri il valore di velocità indica la presenza di alternanze di limi sabbiosi e limi argillosi con un miglioramento graduale delle caratteristiche meccaniche con la profondità. A partire dalla profondità di m 40 dal piano campagna si evidenzia la presenza di ghiaia sabbiosa o poco cementata.

L'elaborazione dei dati acquisiti durante la prova TR2 ha rilevato un lieve picco alla frequenza di 5,5 Hz, a cui corrisponde una profondità di m 6.

Fino alla profondità di m 26 dal piano campagna il valore di velocità è caratteristico di limi sabbiosi e da m 36 m si segnalano ghiaie sabbiose non cementate seguite da ghiaie più compatte o cementate.

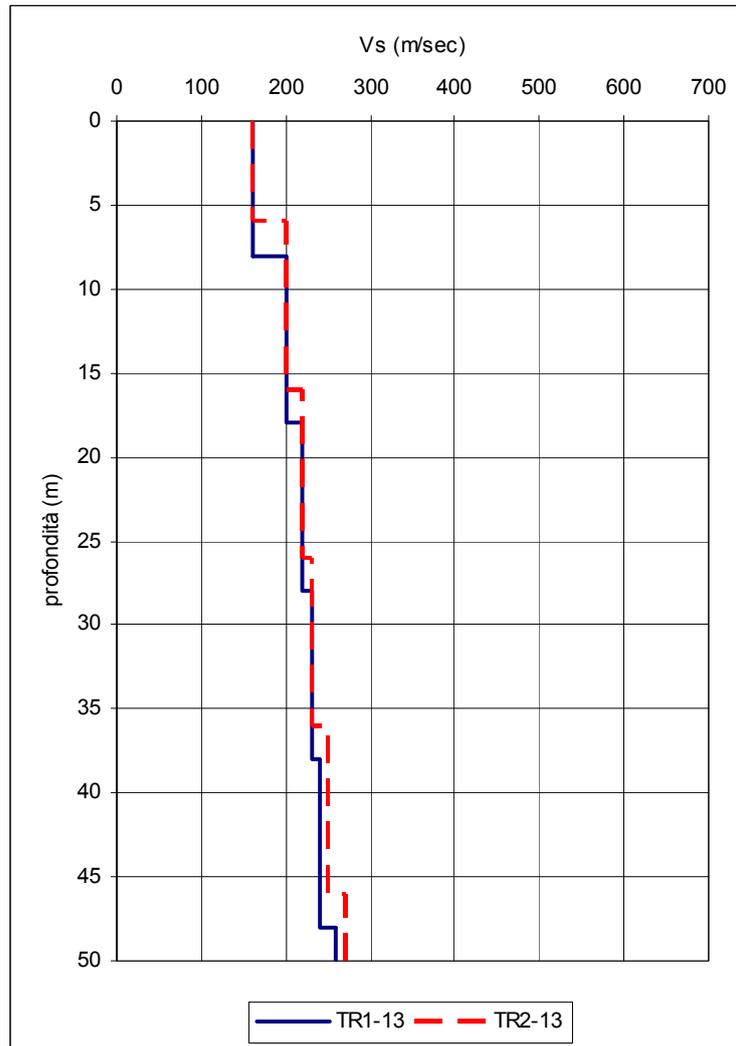


Figura 6. Velocità delle onde trasversali in funzione della profondità.

Per le correlazioni tra velocità sismiche e litologia, disponendo della geologia locale, dei dati bibliografici e dei diagrammi delle indagini geognostiche eseguite, si sono effettuati gli abbinamenti indicati in Tabella 2 e in .

Strato	Profondità [m]	Vs [m/s]	Interpretazione litologica
1	8	160	Argille limose e sabbiose
2	18	200	Argille limose e limi argillosi
3	28	220	Sabbie limose, ghiaie e argille limose
4	38	230	Ghiaie, sabbie limose e argille limose
5	48	240	Argille debolmente limose

Tabella 2. Registrazione TR1: sismostrati ed interpretazione litologica.

6. Pericolosità sismica

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3274 del 20 marzo 2003 ha introdotto la nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica, suddividendo il territorio nazionale in 4 zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore dell'accelerazione orizzontale (a_g) massima convenzionale su suolo di categoria A.

Estensione delle indagini geognostiche per la valutazione della risposta sismica locale per il progetto di massima delle strutture di fondazione dei nuovi sili.

Stabilimento Barilla di Pedrignano.

Strato	Profondità [m]	Vs [m/s]	Interpretazione litologica
1	6	160	Argille limose e sabbiose
2	16	200	Argille limose e limi argillosi
3	26	220	Sabbie limose, ghiaie e argille limose
4	36	230	Ghiaie, sabbie limose e argille limose
5	46	250	Argille debolmente limose

Tabella 3. Registrazione TR2: sismostrati ed interpretazione litologica.

I valori convenzionali di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella Figura 7.

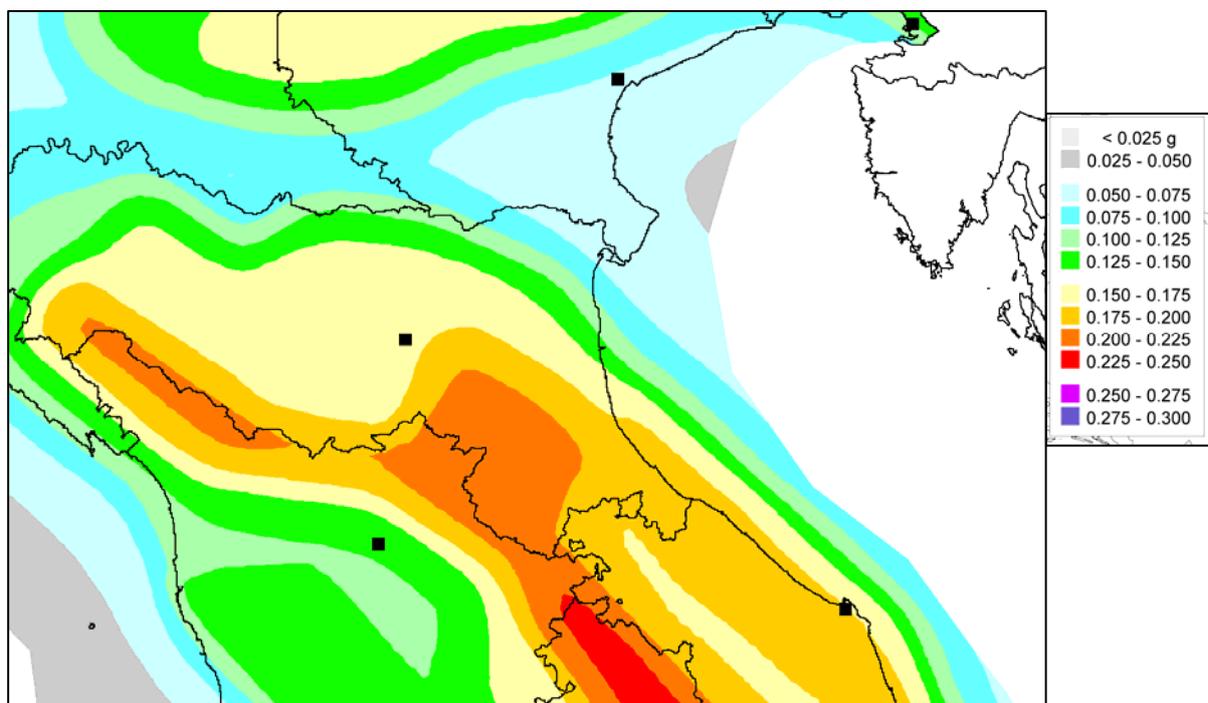


Figura 7. Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale².

Il comune di Parma ricade nella zona sismica 3 a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni minore o uguale di 0,15 g (Figura 7) che si traduce in un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta pari a 0,139 g (a_g/g).

6.1 Categorie di suolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto le tipologie del suolo di fondazione sono suddivise in due gruppi: il primo gruppo è diviso in 5 categorie (A, B, C, D, E) di profili stratigrafici, mentre il secondo gruppo comprende due categorie (S1, S2) per le quali sono richiesti studi particolari.

I terreni classificati nelle categorie elencate sono caratterizzati da parametri sismici (V_{s30} , velocità media di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità) e da parametri geotecnici (N_{SPT} , *Standard Penetration Test* e c_u , coesione non drenata).

Nelle definizioni precedenti V_{s30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio ed è calcolata con la seguente espressione:

² Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b. Valori standard, 50° percentile.

Estensione delle indagini geognostiche per la valutazione della risposta sismica locale per il progetto di massima delle strutture di fondazione dei nuovi sili.

Stabilimento Barilla di Pedrignano.

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum_{i,1}^n \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $< 10^{-6}$) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei m 30 superiori.

A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{S_{30}}$ superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{S_{30}}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica media NSPT > 50 , o coesione non drenata media $c_u > 250$ kPa).
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di $V_{S_{30}}$ compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < NSPT < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa)
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di $V_{S_{30}} < 180$ m/s (NSPT < 15 , $c_u < 70$ kPa).
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di $V_{S_{30}}$ simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{S_{30}} > 800$ m/s.

S1	Terreni che includono uno strato di almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (PI > 40) e contenuto di acqua, con $10 < c_u < 20$ kPa e caratterizzati da valori di $V_{S_{30}} < 100$ m/s.
S2	Terreni soggetti a liquefazione, argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 4. Categorie di suolo.

Il sito può essere classificato sulla base del valore di $V_{S_{30}}$, se disponibile, altrimenti sulla base del valore di N_{SPT} (per terreni prevalentemente granulari) ovvero di c_u (per terreni prevalentemente coesivi).

Nelle definizioni precedenti N_{SPT} , c_u e V_S sono i valori rappresentativi degli strati considerati, valutati dal progettista e/o committente sulla base di insiemi statistici sperimentali.

Prova	$V_{S_{30}}$ (m/sec)	Prova	$V_{S_{30}}$ (m/sec)
TR1-13	195	TR2-13	200
G 01	205	G 12	210
G 23	207	G 34	199

Tabella 5. Velocità equivalente (m 30) delle onde di taglio in funzione della tipologia di indagine.

Sviluppando la formula della velocità equivalente delle onde di taglio per la prospezione di sismica passiva realizzata, i terreni indagati ricadono nell'intervallo m/sec $180 < V_{S_{30}} < m/sec 360$, pertanto, sulla base dei valori di $V_{S_{30}}$ determinati, è possibile assegnare una categoria di tipo C al suolo del sito.

Nella Tabella 5 è indicato il valore di $V_{S_{30}}$ calcolato in corrispondenza delle prospezioni di sismica passiva (TR1-13 e TR2-13) e sulla verticale dei punti di scoppio (*shot*) della linea di sismica a rifrazione (geofoni 1, 12, 23 e 34).

Nella linea sismica a rifrazione l'intervallo della velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio ed è m/sec $199 < V_{S_{30}} < m/sec 218$ con valore medio di m/sec 208 ± 6 .

Nella Figura 8 è rappresentato il valore della velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio in corrispondenza di ogni punto di scoppio (*shot*) della linea di sismica a rifrazione (geofoni 01, 03-04, 06-07, 09-10, 12, 14-15, 17-18, 20-21, 23, 25-26, 28-29, 31-32 e 34).

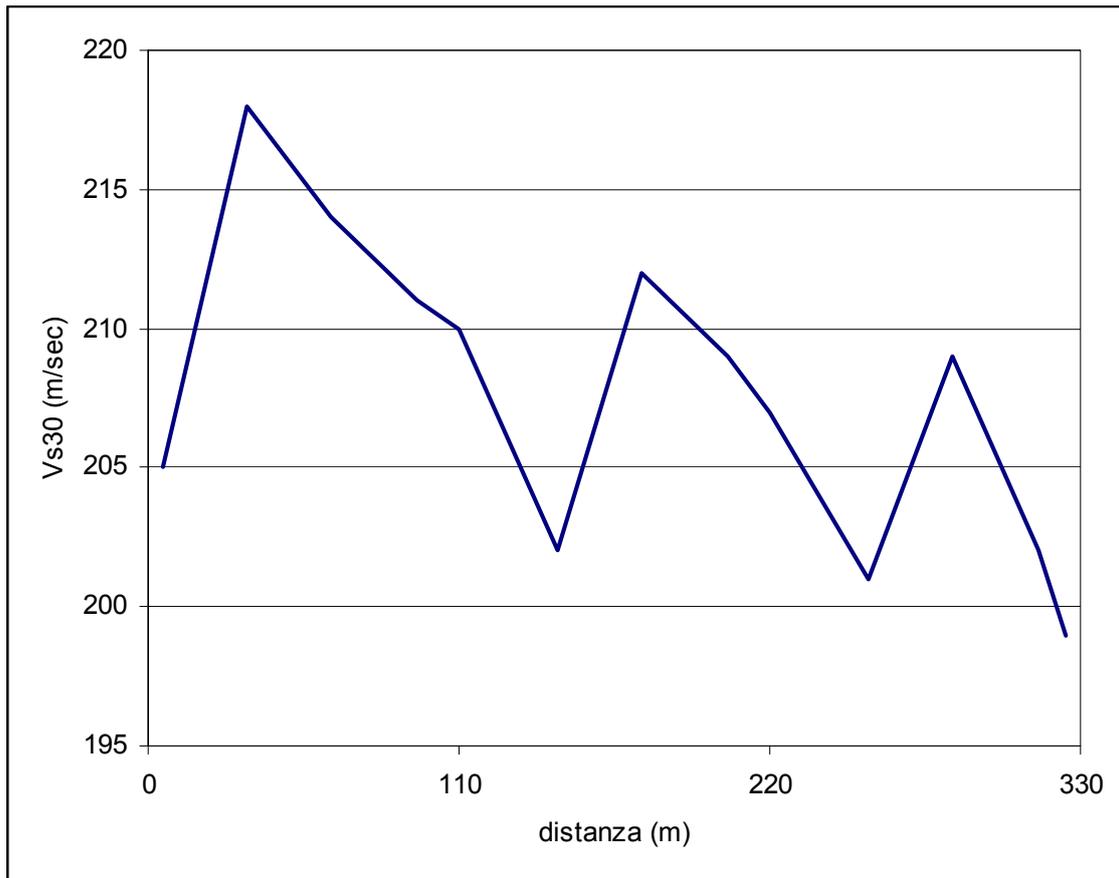


Figura 8. V_{s30} misurata in ogni punto di scoppio nella linea di sismica a rifrazione.

CONCLUSIONI

Nel presente rapporto sono stati descritti gli esiti delle prospezioni geofisiche eseguite nell'area di pertinenza dello Stabilimento Barilla di Pedrignano, localizzato in Via Mantova a Parma.

Lo scrivente resta a disposizione per ogni caso dubbio o chiarimento.

Casalecchio di Reno, 28 dicembre 2013

Dottor Matteo Simoni
GEOLOGO SEZIONE A
Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna
Albo Professionale N. 795



Elenco delle figure

Figura 1. Ripresa aerea dell'area.....	3
Figura 2. Esecuzione della linea di sismica a rifrazione onde S.	5
Figura 3. Prospezione sismica.....	6
Figura 4. Esecuzione della prospezione di sismica passiva TR1 con tromografo digitale.	7
Figura 5. Esecuzione della prospezione di sismica passiva TR2 con tromografo digitale.	9
Figura 6. Velocità delle onde trasversali in funzione della profondità.	12
Figura 7. Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale.	13
Figura 8. V_{S30} misurata in ogni punto di scoppio nella linea di sismica a rifrazione.	15

Elenco delle tabelle

Tabella 1. Velocità delle onde di taglio e litologia.....	11
Tabella 2. Registrazione TR1: sismostrati ed interpretazione litologica.	12
Tabella 3. Registrazione TR2: sismostrati ed interpretazione litologica.	13
Tabella 4. Categorie di suolo.	14
Tabella 5. Velocità equivalente (m 30) delle onde di taglio in funzione della tipologia di indagine.	14

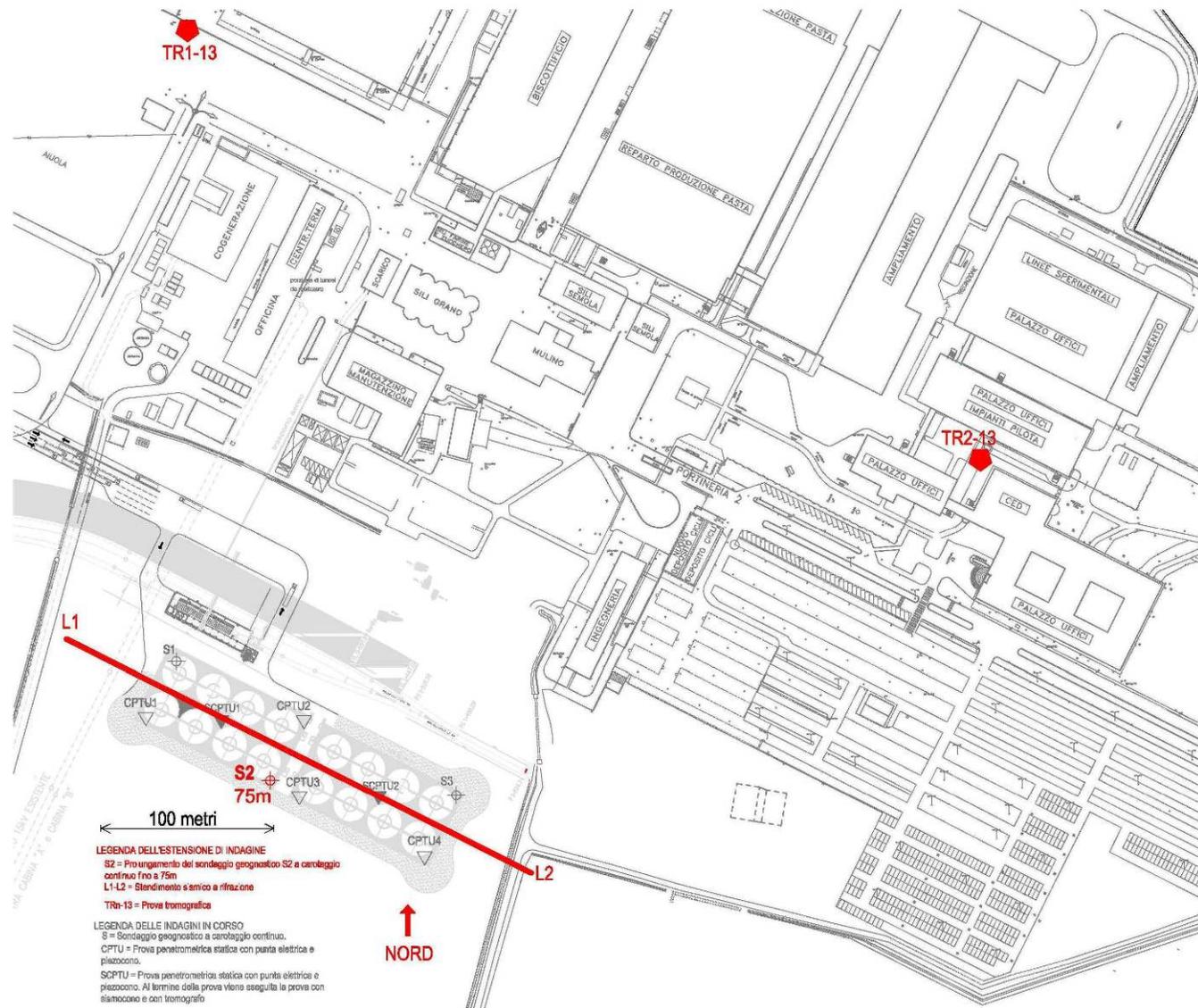
Elenco delle tavole a fine testo

Tavola 1. Ubicazione dei punti di indagine	18
--	----

Elenco degli allegati a fine testo

Allegato 1. Diagrammi dromocronici e tomografia sismica a rifrazione	19
Allegato 2. Prospezione di sismica passiva	21

Tavola 1.
UBICAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE

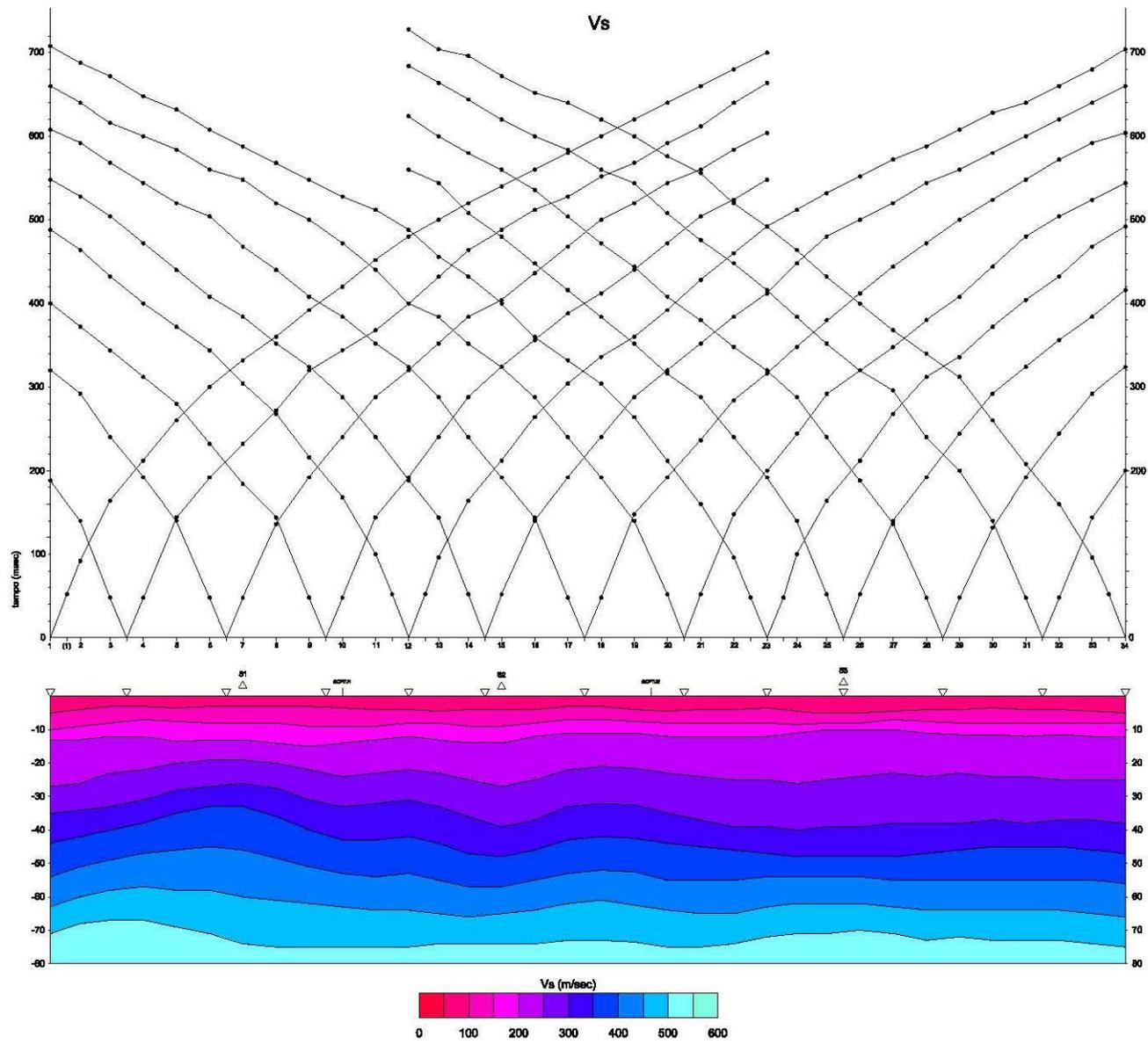


SCALA 1:4-000

Studio geologico del sottosuolo dell'edificio residenziale posto in località San Biagio
Via Secchiano 367 in Comune di Castello di Serravalle

Allegato 1.

DIAGRAMMI DROMOCRONICI E TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE



SCALA 1:2-000

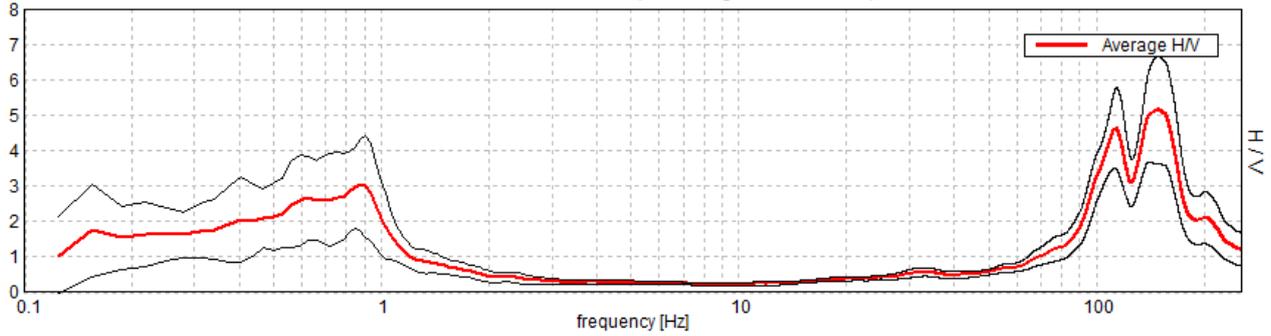
Allegato 2.
PROSPEZIONE DI SISMICA PASSIVA

TR1-13

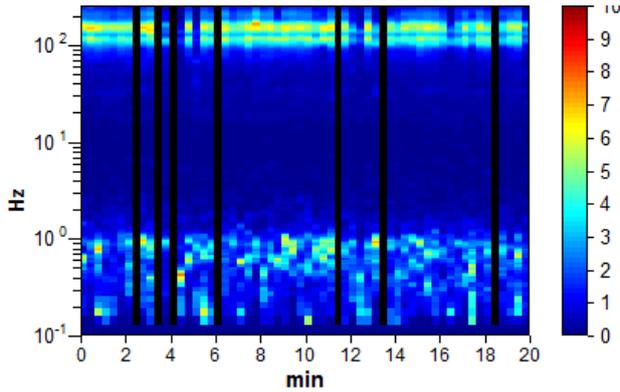
INSTRUMENT: TE3-0005/01-13
START RECORDING: 16/12/13 16:22:57
END RECORDING: 16/12/13 16:42:57
TRACE LENGTH: 0H20'00"
ANALYZED: 88% TRACE (MANUAL WINDOW SELECTION)
SAMPLING RATE: 512 HZ
WINDOW SIZE: 20 SEC.
SMOOTHING TYPE: TRIANGULAR WINDOW
SMOOTHING: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

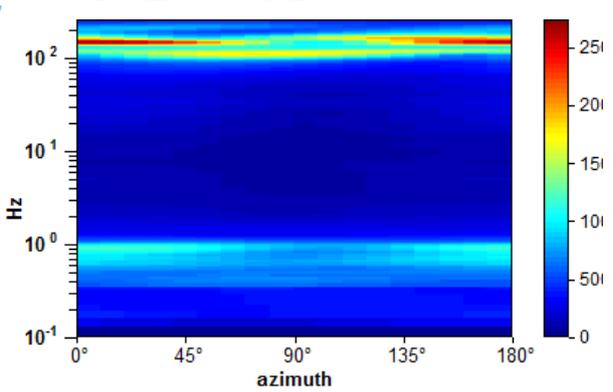
Max. H/V at 148.47 ± 0.4 Hz (in the range 0.0 - 256.0 Hz).



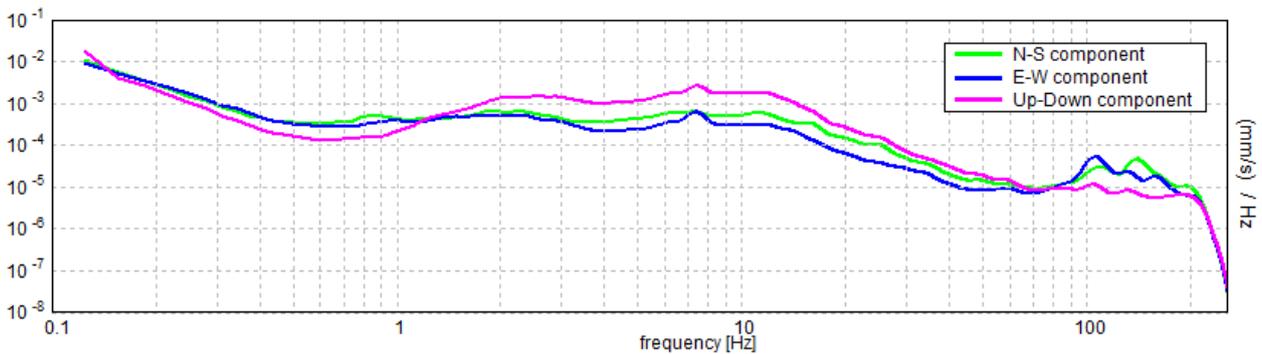
HV TIME HISTORY



DIRECTIONAL HV

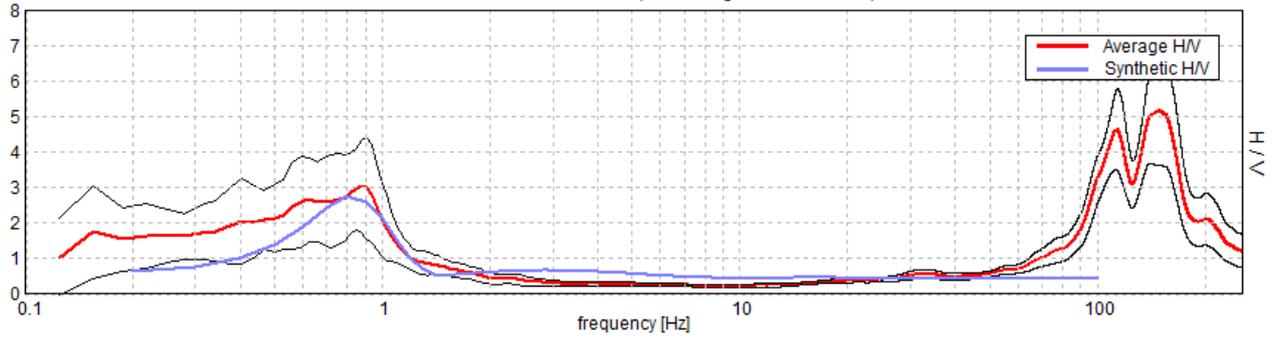


SPETTRO DELLE COMPONENTI SINGOLE



EXPERIMENTAL V.S. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 148.47 ± 0.4 Hz (in the range 0.0 - 256.0 Hz).



Max, H/V at 148,47 ± 0,4 Hz (in the range 0,0 - 256,0 Hz),

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	148,47 > 0,50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	157376,9 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0,5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0,5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0,5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0,5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 5818 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	95,75 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	176,156 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5,16 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0,00272 < 0,05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0,40313 < 7,42344	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1,5265 < 1,58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\square_f < \square(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\square_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\square_A(f) < \square(f_0)$

Threshold values for \square_f and $\square_A(f_0)$

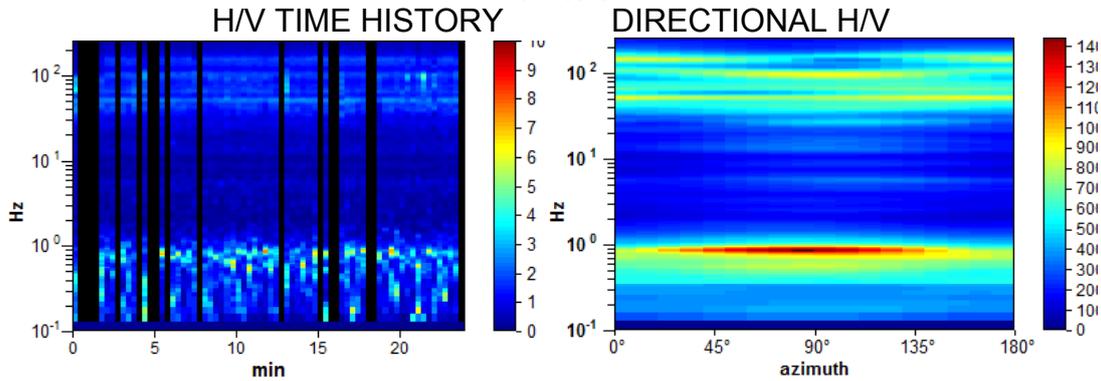
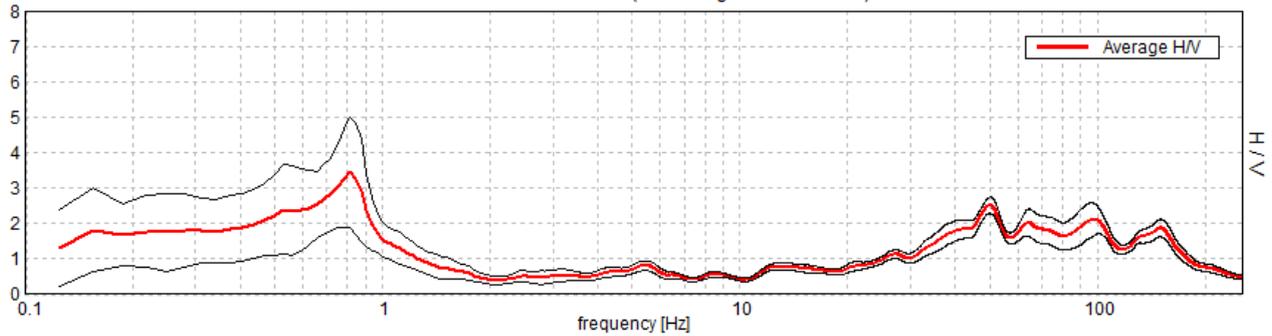
Freq, range [Hz]	$< 0,20$	0,20 – 0,50	0,50 – 1,00	1,00 – 2,00	> 2,00
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0,25 f_0	0,20 f_0	0,15 f_0	0,10 f_0	0,05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3,00	2,50	2,00	1,78	1,58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0,48	0,40	0,30	0,25	0,20

TR2-13

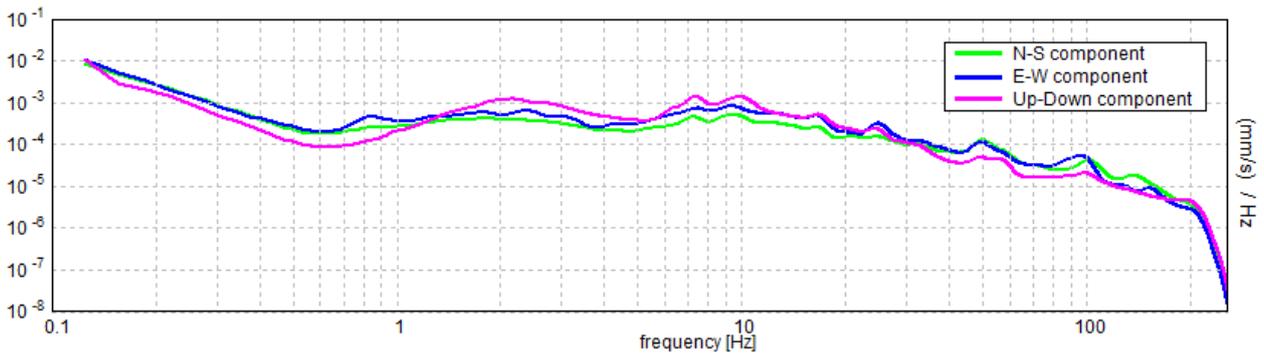
INSTRUMENT: TE3-0005/01-13
START RECORDING: 16/12/13 17:07:21
END RECORDING: 16/12/13 17:31:21
TRACE LENGTH: 0H24'00"
ANALYZED: 76% TRACE (MANUAL WINDOW SELECTION)
SAMPLING RATE: 512 HZ
WINDOW SIZE: 20 SEC
SMOOTHING TYPE: TRIANGULAR WINDOW
SMOOTHING: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max. H/V at 0.81 ± 0.11 Hz (in the range 0.0 - 256.0 Hz).

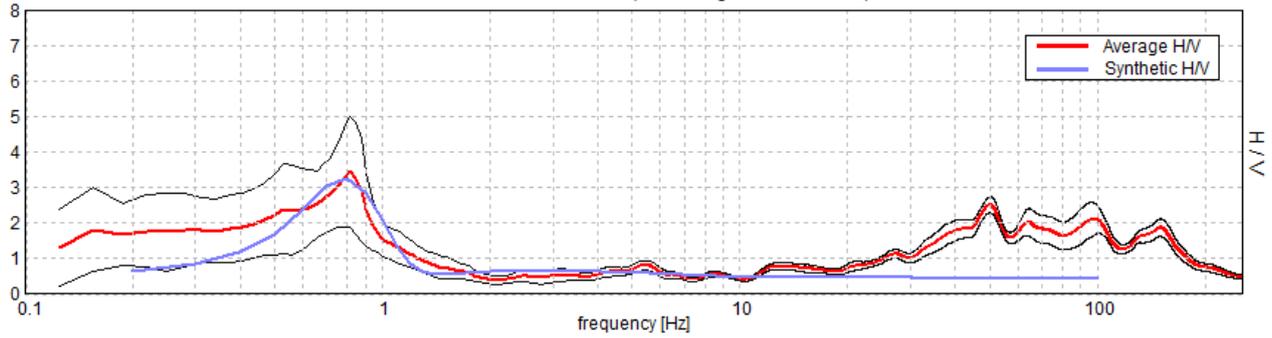


SPETTRO DELLE COMPONENTI SINGOLE



EXPERIMENTAL V.S. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 0.81 ± 0.11 Hz (in the range 0.0 - 256.0 Hz).



Max, H/V at $0,81 \pm 0,11$ Hz (in the range 0,0 - 256,0 Hz),

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	0,81 > 0,50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	893,8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0,5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0,5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0,5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0,5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 40 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0,188 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0,969 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3,45 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0,13303 < 0,05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0,10809 < 0,12188	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1,5636 < 2,0	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	$< 0,20$	0,20 – 0,50	0,50 – 1,00	1,00 – 2,00	$> 2,00$
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0,25 f_0$	$0,20 f_0$	$0,15 f_0$	$0,10 f_0$	$0,05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3,00	2,50	2,00	1,78	1,58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0,48	0,40	0,30	0,25	0,20

Il presente documento, denominato
“ESTENSIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA VALUTAZIONE DELLA RISPOSTA SISMICA
LOCALE,
PROGETTO DI MASSIMA DELLE STRUTTURE DI FONDAZIONE DEI NUOVI SILI,
STABILIMENTO BARILLA DI PEDRIGNANO”
è stato preparato e verificato dal Dott. Geol. Matteo Simoni
si compone di 16 pagine di testo, 1 tavola e 2 allegati per 26 fogli complessivi ed è stato trasmesso secondo la
seguente lista di distribuzione:

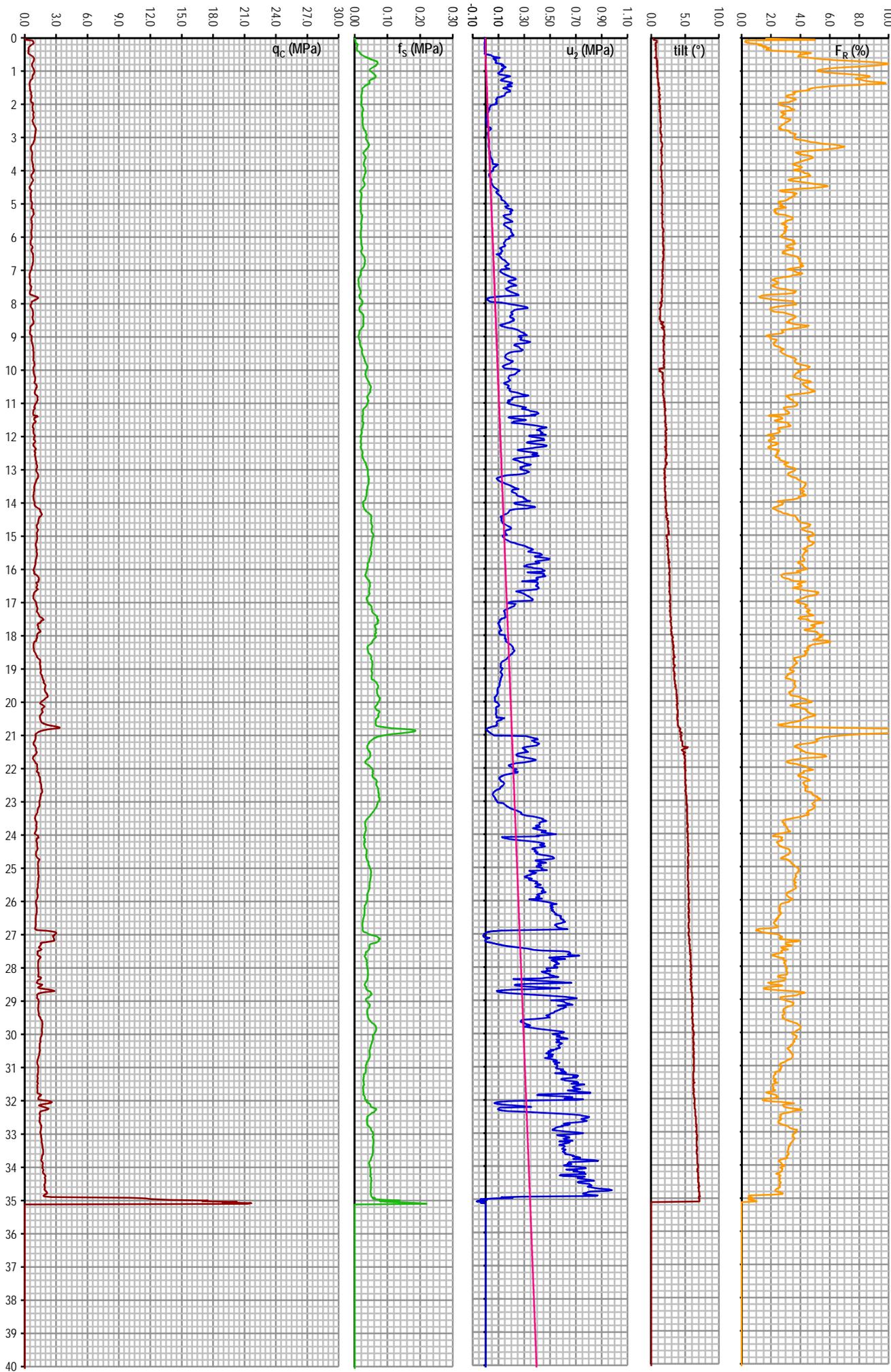
Destinatario	Formato	Quantità
Ing. Massimo Sacchetto Sacchetto Perforazioni Geotecnica S,r,l, Via dell'Artigianato 24 45011 Adria RO	Digitale	1
	Cartaceo	2

Committente	Cantiere/Località	Prova - Data:	Falda:
BARILLA G. ER. F.LLI S.P.A.	PEDRIGNANO DI PARMA	SCPTU1 - 13.06.2013	Livello acqua - 0.50 m da p.c.



INDAGINI GEOSTATICHE
GEOTECHNICAL SURVEYS

www.spg.it



S.P.G. Srl

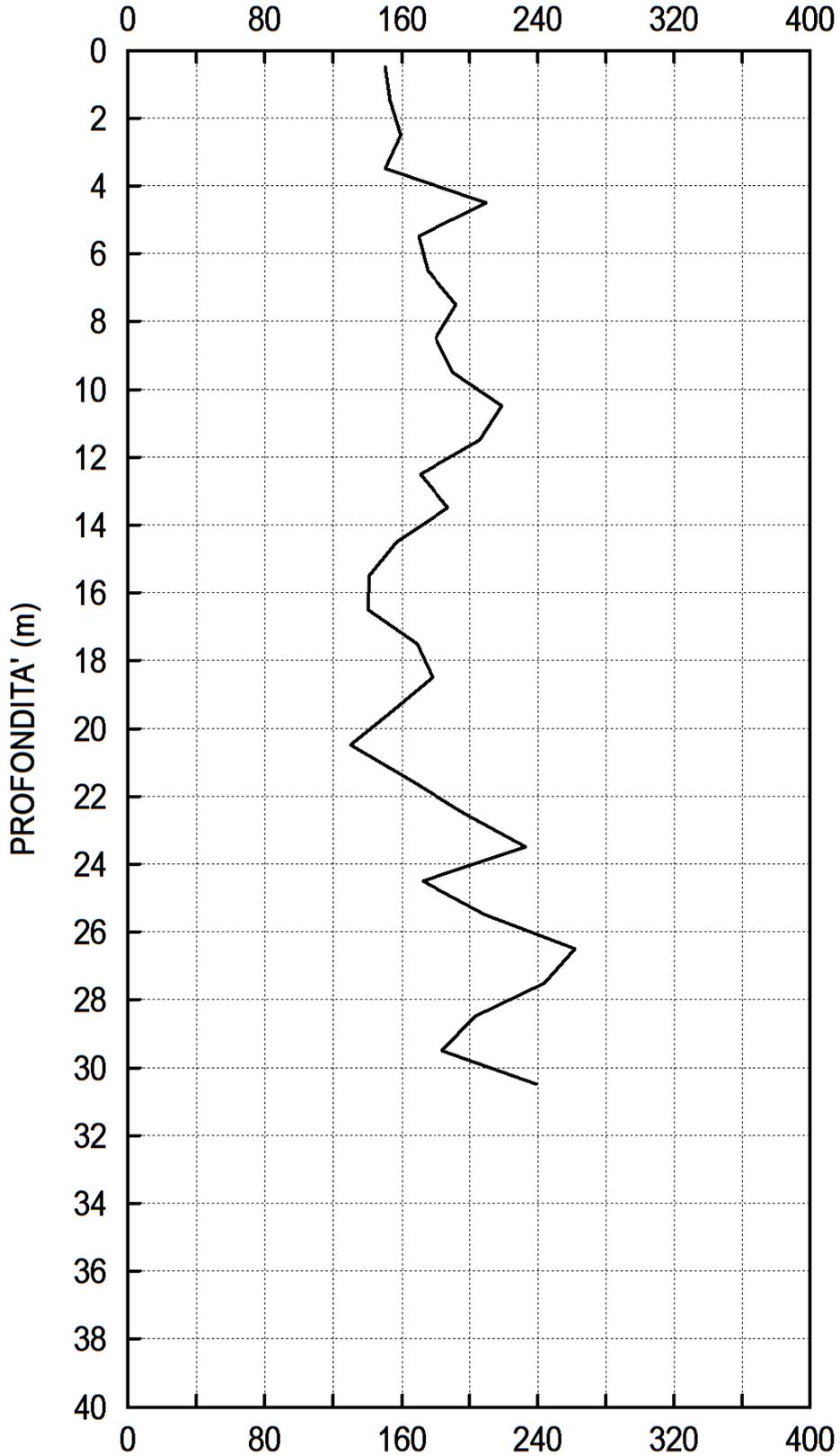
BARILLA G. E R. F.LLI S.P.A.
PEDRIGNANO DI PARMA

PROVA
SCPTU1

13 GIU 2013

PROVA CON DILATOMETRO SISMICO (S D M T)

VELOCITÀ ONDA DI TAGLIO: Vs (m/s)



SCPTU1 - Tabulato: Vs, Go, ripetibilità di Vs

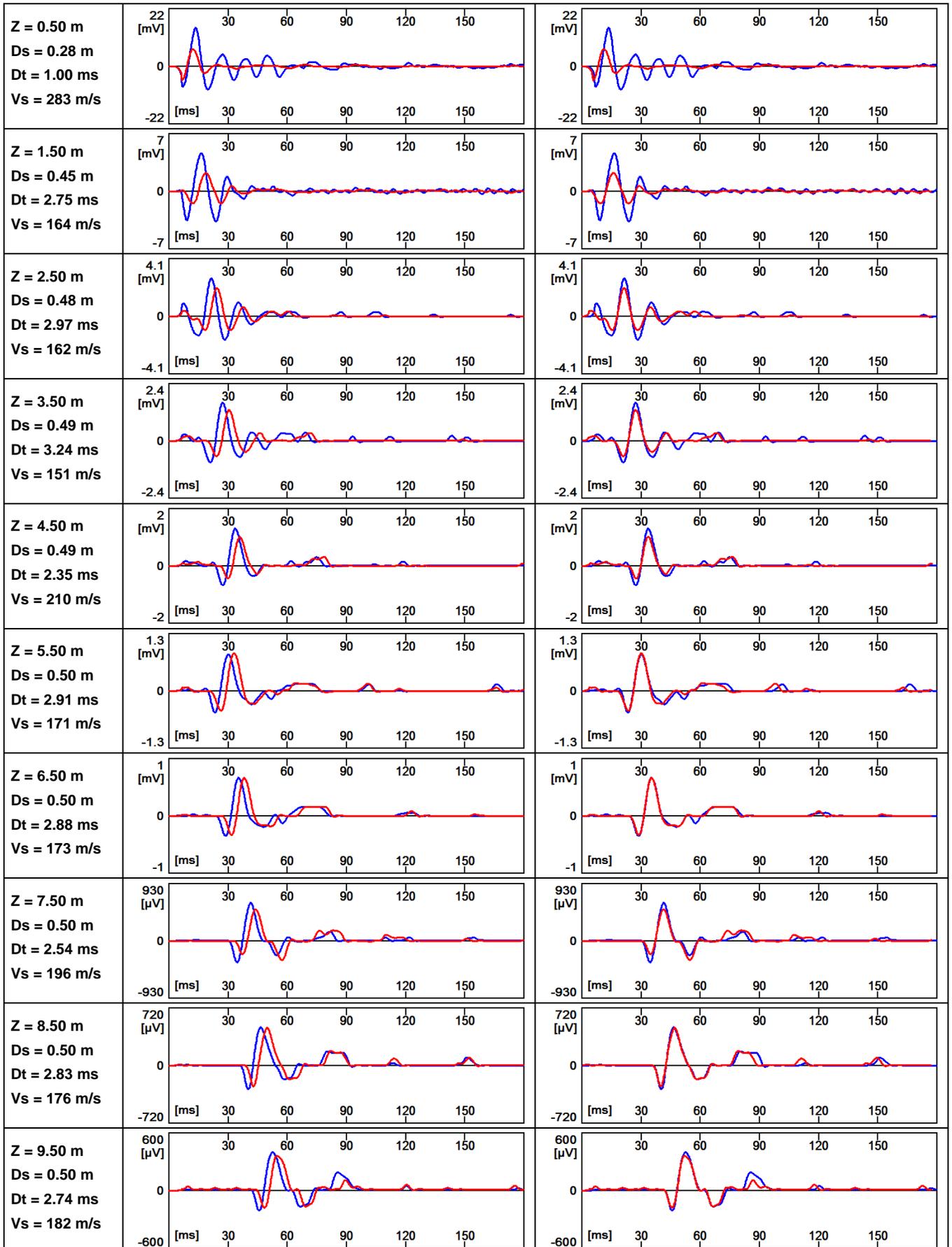
Ogni misura di Vs nella colonna 'Ripetibilità Vs' corrisponde ad una energizzazione distinta.

Z	Vs	Go	Rho	Ripetibilità Vs	Coeff. Var
[m]	[m/s]	[MPa]	[kg/m ³]	[m/s]	[%]
0.50	150	37.0	1646	150	0.00
1.50	153	39.3	1678	164,151,144	5.42
2.50	159	42.6	1685	162,160,155	1.85
3.50	150	38.3	1702	151,156,142	3.87
4.50	210	73.9	1675	210,210,209	0.27
5.50	170	48.2	1669	171,171,169	0.59
6.50	175	51.4	1679	173,175,178	1.19
7.50	192	59.5	1615	196,188,192	1.70
8.50	180	55.2	1702	176,183,182	1.73
9.50	190	60.9	1687	182,192,195	2.93
10.50	219	85.9	1790	219,235,204	5.78
11.50	206	72.1	1699	205,212,202	2.04
12.50	171	49.8	1703	172,172,168	1.12
13.50	187	61.3	1754	190,189,182	1.90
14.50	157	44.2	1795	153,159,158	1.69
15.50	141	35.6	1793	137,145,142	2.35
16.50	140	35.0	1786	142,139,140	0.92
17.50	169	52.7	1846	164,171,173	2.29
18.50	178	55.8	1762	177,182,176	1.49
19.50	154	43.9	1852	159,152,152	2.15
20.50	130	30.9	1831	134,132,125	2.98
21.50	164	47.9	1782	157,161,173	4.15
22.50	197	71.2	1835	192,206,192	3.35
23.50	233	95.4	1757	242,227,230	2.78
24.50	172	51.8	1752	161,167,187	6.47
25.50	209	78.0	1786	219,213,196	4.66
26.50	262	118	1719	266,264,256	1.65
27.50	244	105	1764	251,230,250	3.97
28.50	203	71.9	1745	218,184,206	6.94
29.50	184	60.3	1780	176,189,187	3.11
30.50	239	102	1788	267,211	11.72

SCPTU1 - Vs

REGISTRATI

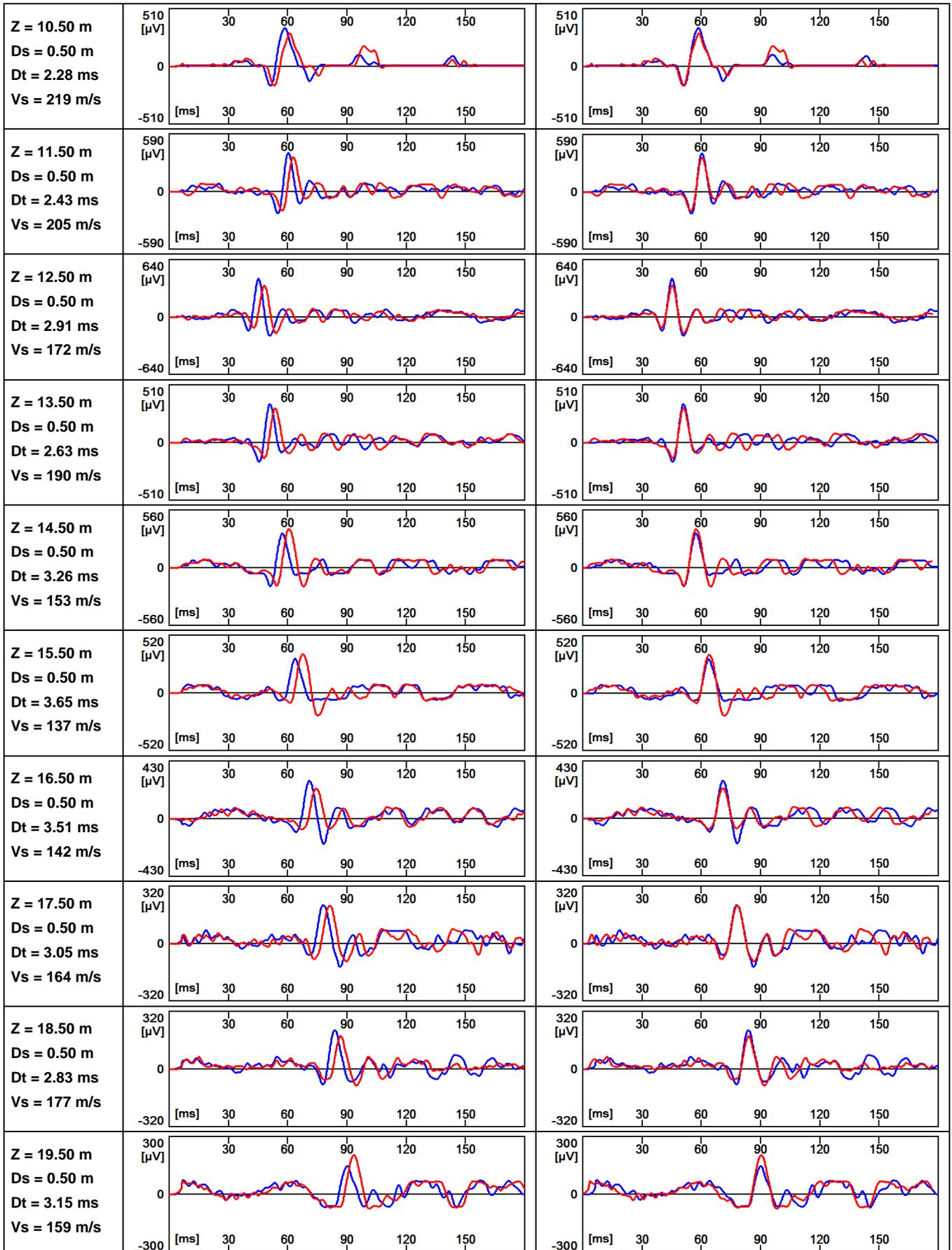
RIFASATI



SCPTU1 - Vs

REGISTRATI

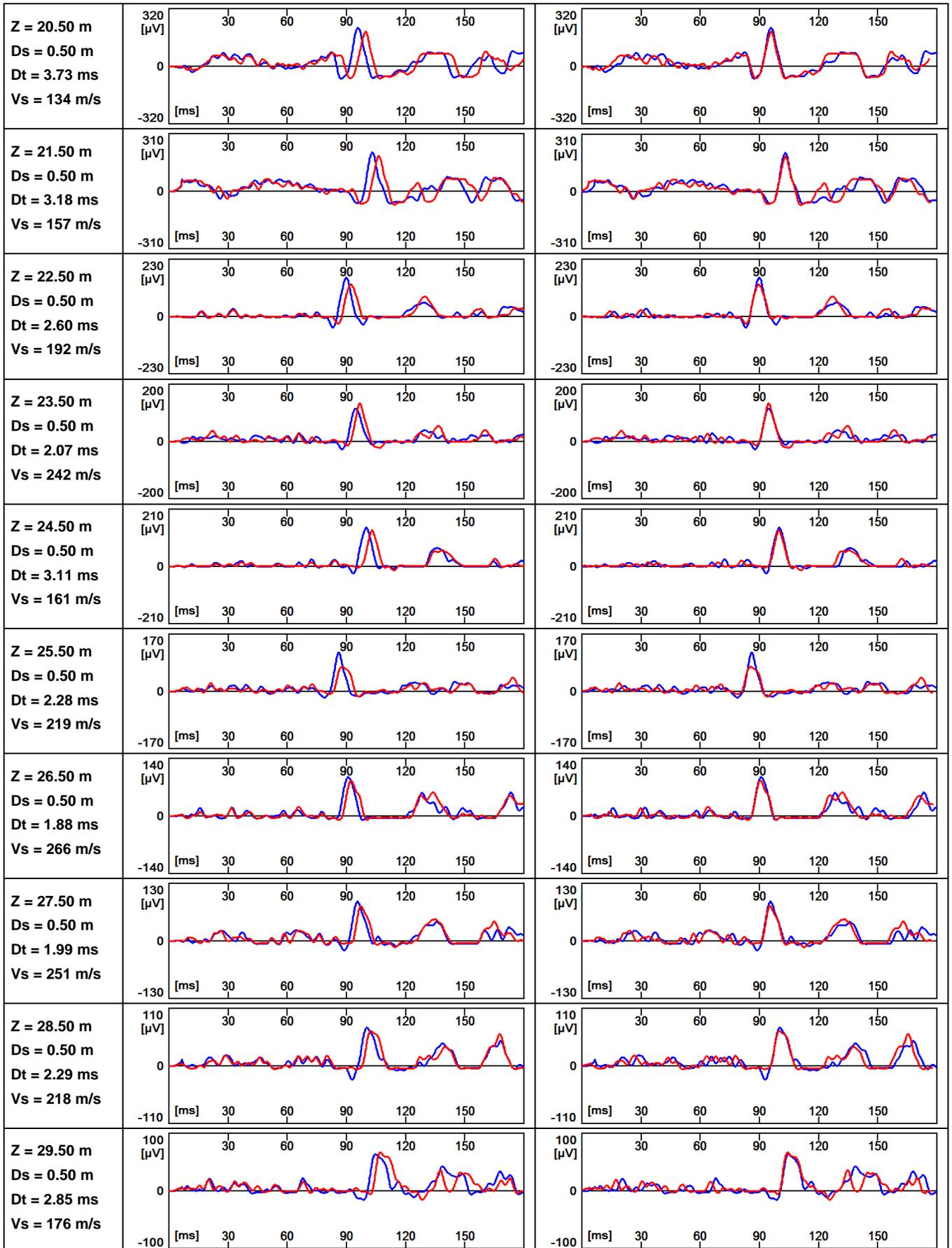
RIFASATI

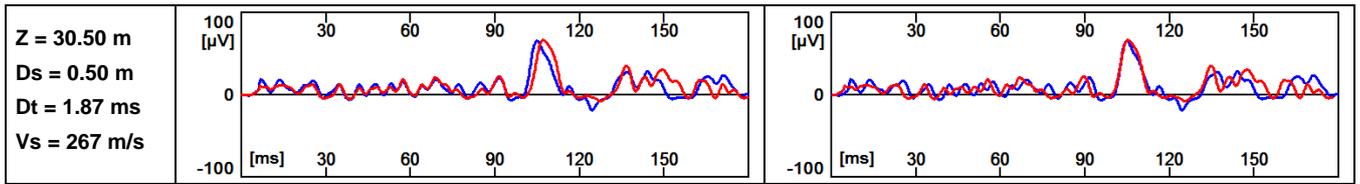


SCPTU1 - Vs

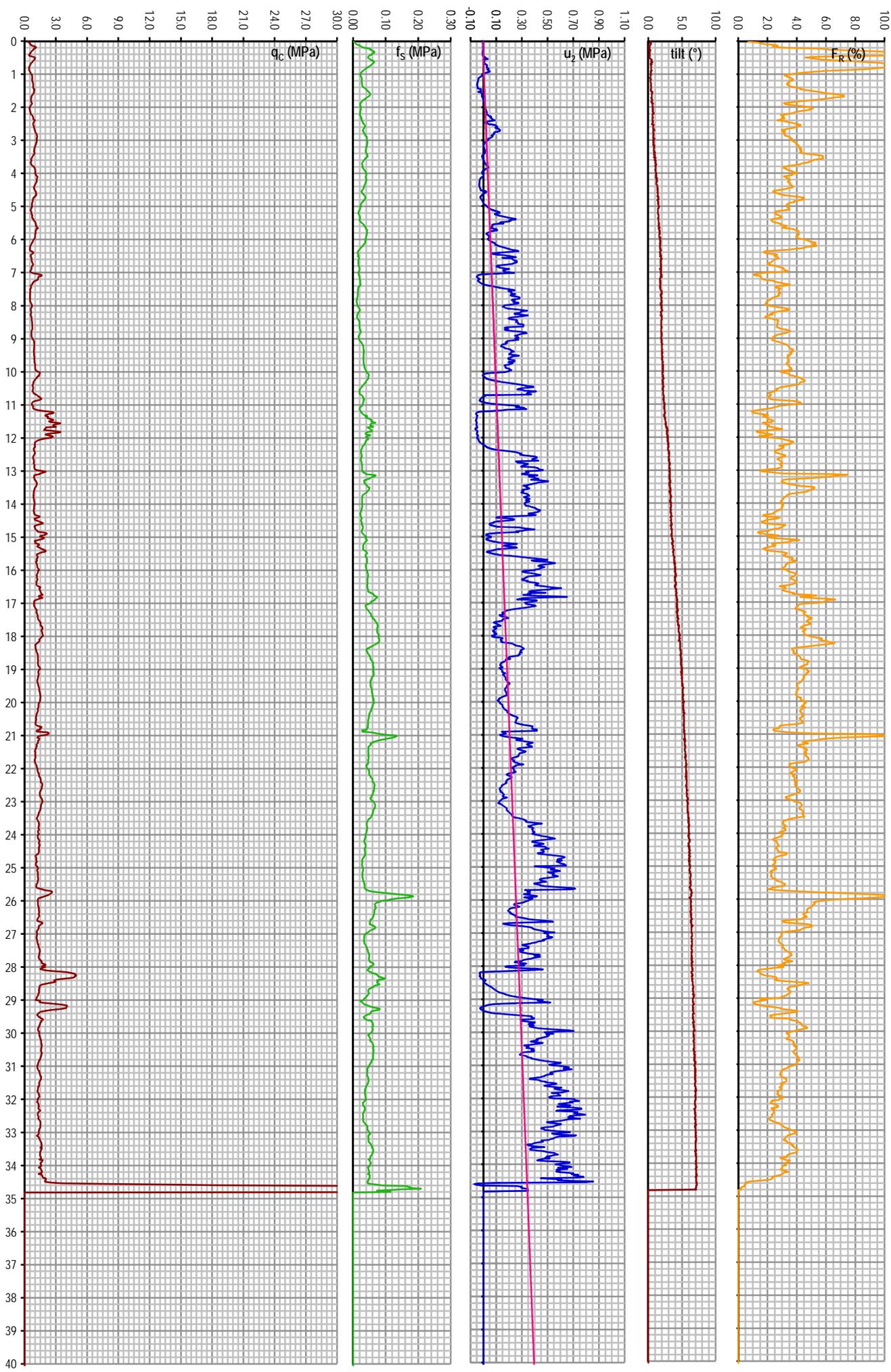
REGISTRATI

RIFASATI



SCPTU1 - Vs**REGISTRATI****RIFASATI**

Committente	Cantiere/Località	Prova - Data:	Falda:
BARILLA G. E. R. F.LLI S.P.A.	PEDRIGNANO DI PARMA	SCPTU2 - 14.06.2013	Livello acqua - 0.50 m da p.c.



S.P.G. Srl

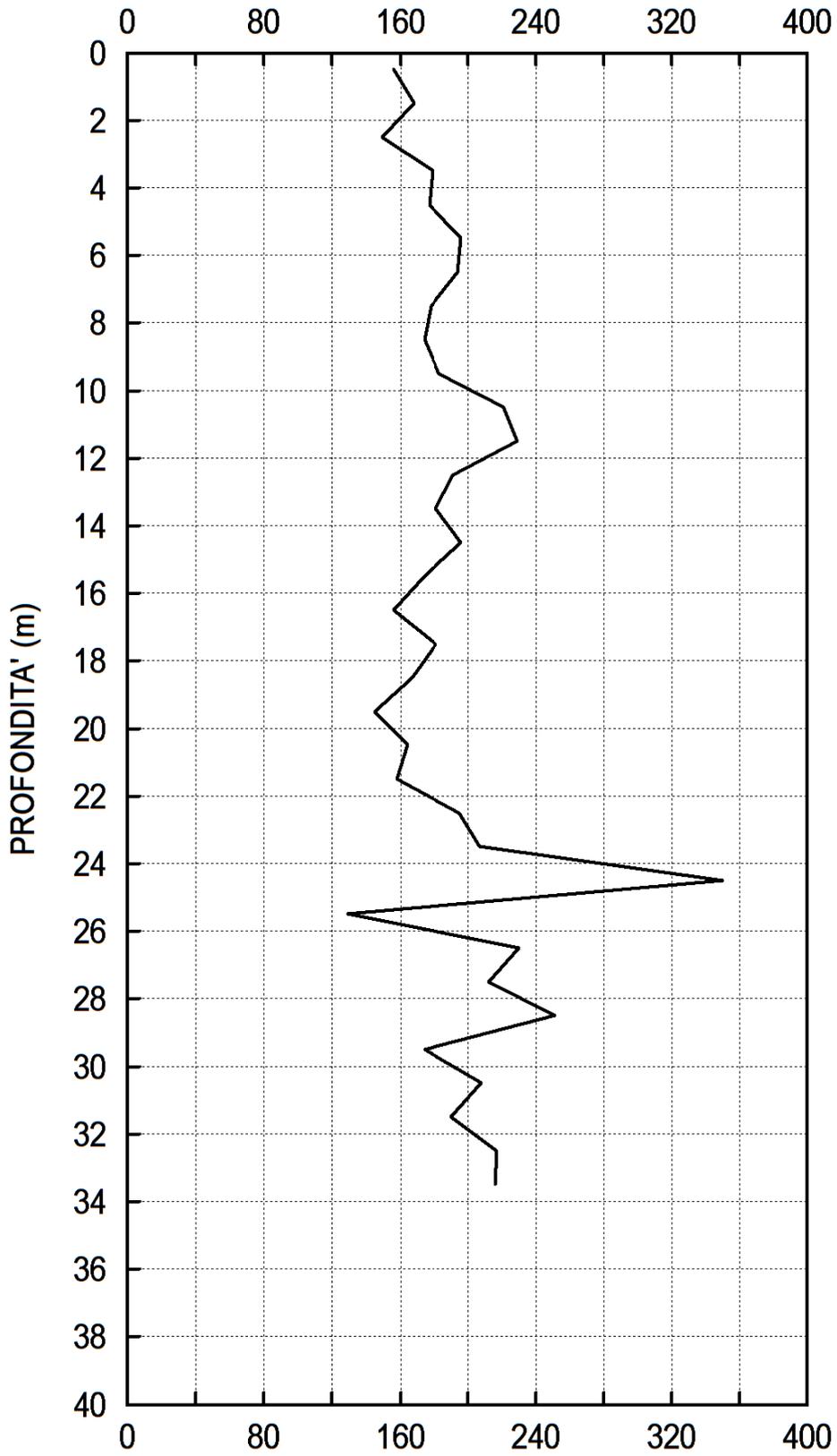
BARILLA G. E R. F.LLI S.P.A.
PEDRIGNANO DI PARMA

PROVA
SCPTU2

14 GIU 2013

PROVA CON DILATOMETRO SISMICO (S D M T)

VELOCITÀ ONDA DI TAGLIO: Vs (m/s)



SCPTU2 - Tabulato: Vs, Go, ripetibilità di Vs

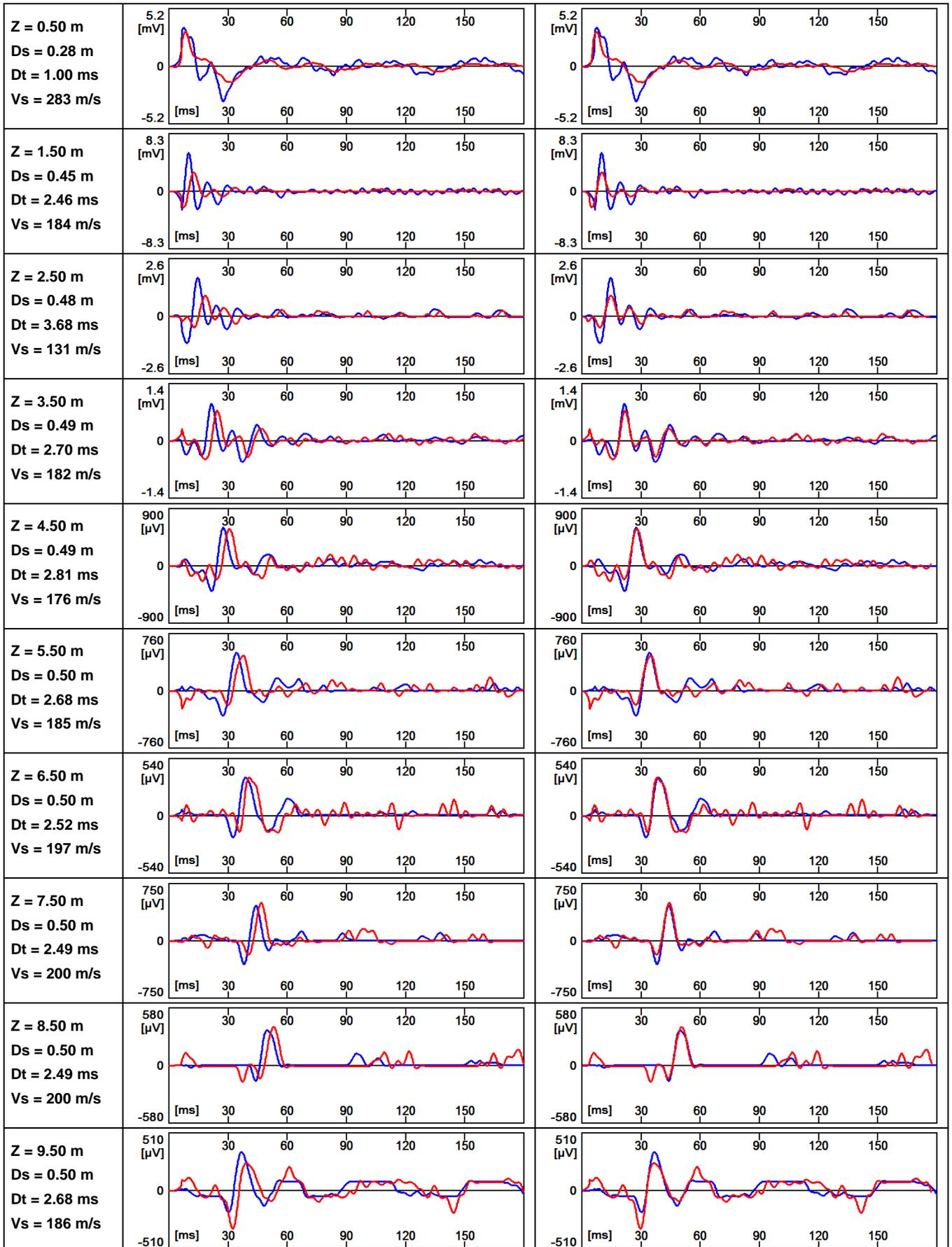
Ogni misura di Vs nella colonna 'Ripetibilità Vs' corrisponde ad una energizzazione distinta.

Z	Vs	Go	Rho	Ripetibilità Vs	Coeff. Var
[m]	[m/s]	[MPa]	[kg/m ³]	[m/s]	[%]
0.50	156	43.1	1773	156	0.00
1.50	168	49.8	1766	184,153,166	7.57
2.50	149	38.2	1723	131,157,159	8.56
3.50	179	56.2	1753	182,174,180	1.91
4.50	177	53.8	1717	176,171,183	2.79
5.50	196	65.8	1714	185,195,207	4.59
6.50	194	61.0	1621	197,205,181	5.15
7.50	178	51.3	1620	200,171,164	8.76
8.50	174	50.4	1664	200,161,160	10.71
9.50	183	58.0	1732	186,188,174	3.38
10.50	221	82.6	1691	207,238,218	5.81
11.50	229	95.9	1829	201,251,236	9.15
12.50	191	62.4	1709	193,194,187	1.63
13.50	181	58.5	1787	177,177,190	3.39
14.50	196	65.5	1705	199,194	1.30
15.50	174	53.8	1777	171,176,175	1.24
16.50	156	43.4	1785	155,154,159	1.38
17.50	181	59.9	1828	180,178,185	1.63
18.50	167	49.6	1780	172,170,158	3.71
19.50	145	37.9	1803	143,148,144	1.49
20.50	164	48.0	1784	172,156,163	4.00
21.50	158	44.4	1780	160,163,151	3.23
22.50	195	69.9	1838	198,193,194	1.11
23.50	207	77.0	1797	198,202,220	4.63
24.50	350	216	1762	400,305,346	11.12
25.50	129	29.1	1750	131,132,125	2.41
26.50	230	96.2	1819	201,223,266	11.74
27.50	212	80.4	1789	218,206,211	2.33
28.50	251	117	1863	257,273,223	8.31
29.50	174	53.0	1750	187,173,161	6.11
30.50	208	79.2	1831	203,211,211	1.82
31.50	190	64.6	1790	167,192,211	9.48
32.50	217	82.1	1744	186,241,224	10.60
33.50	216	85.3	1829	225,187,236	9.72

SCPTU2 - Vs

REGISTRATI

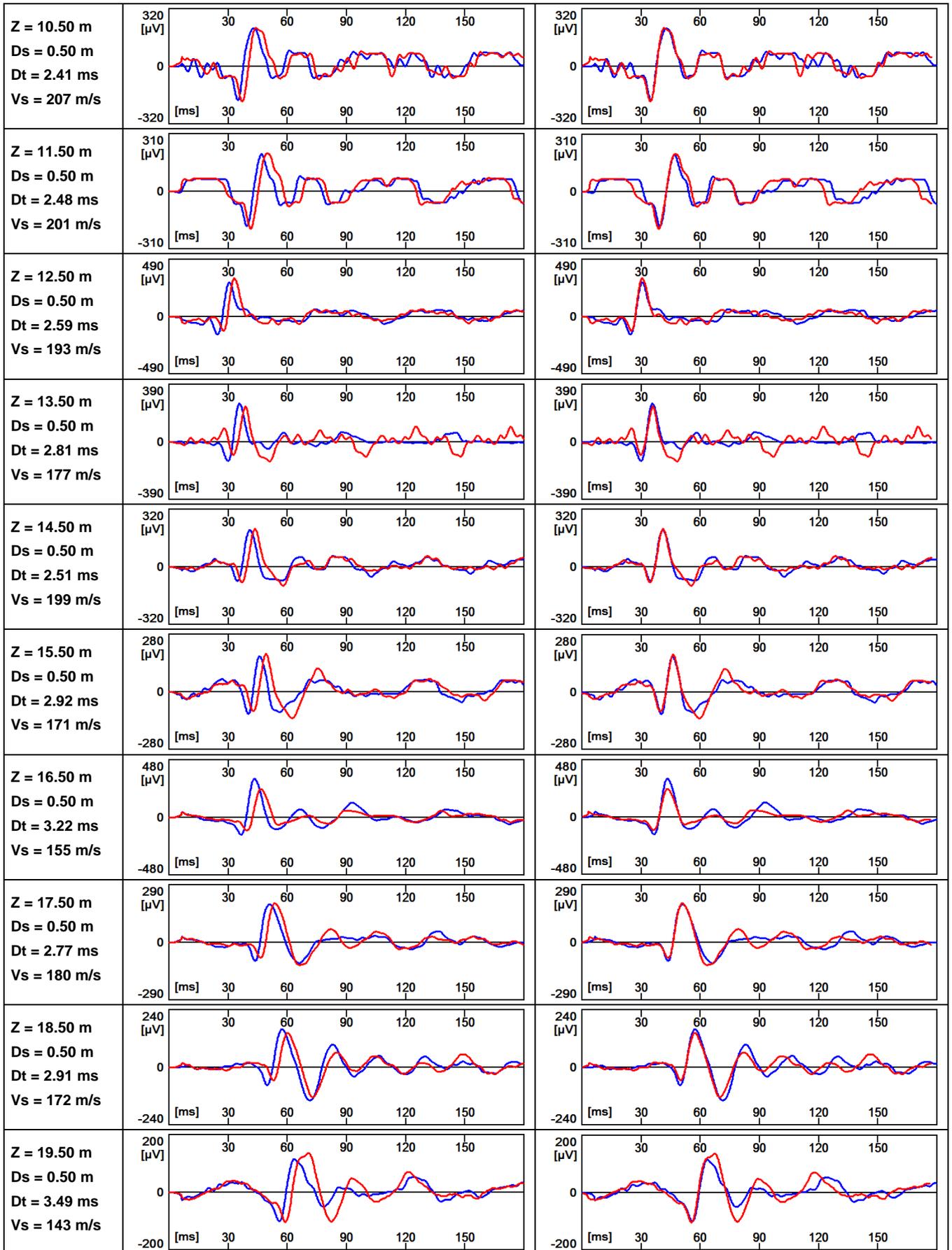
RIFASATI



SCPTU2 - Vs

REGISTRATI

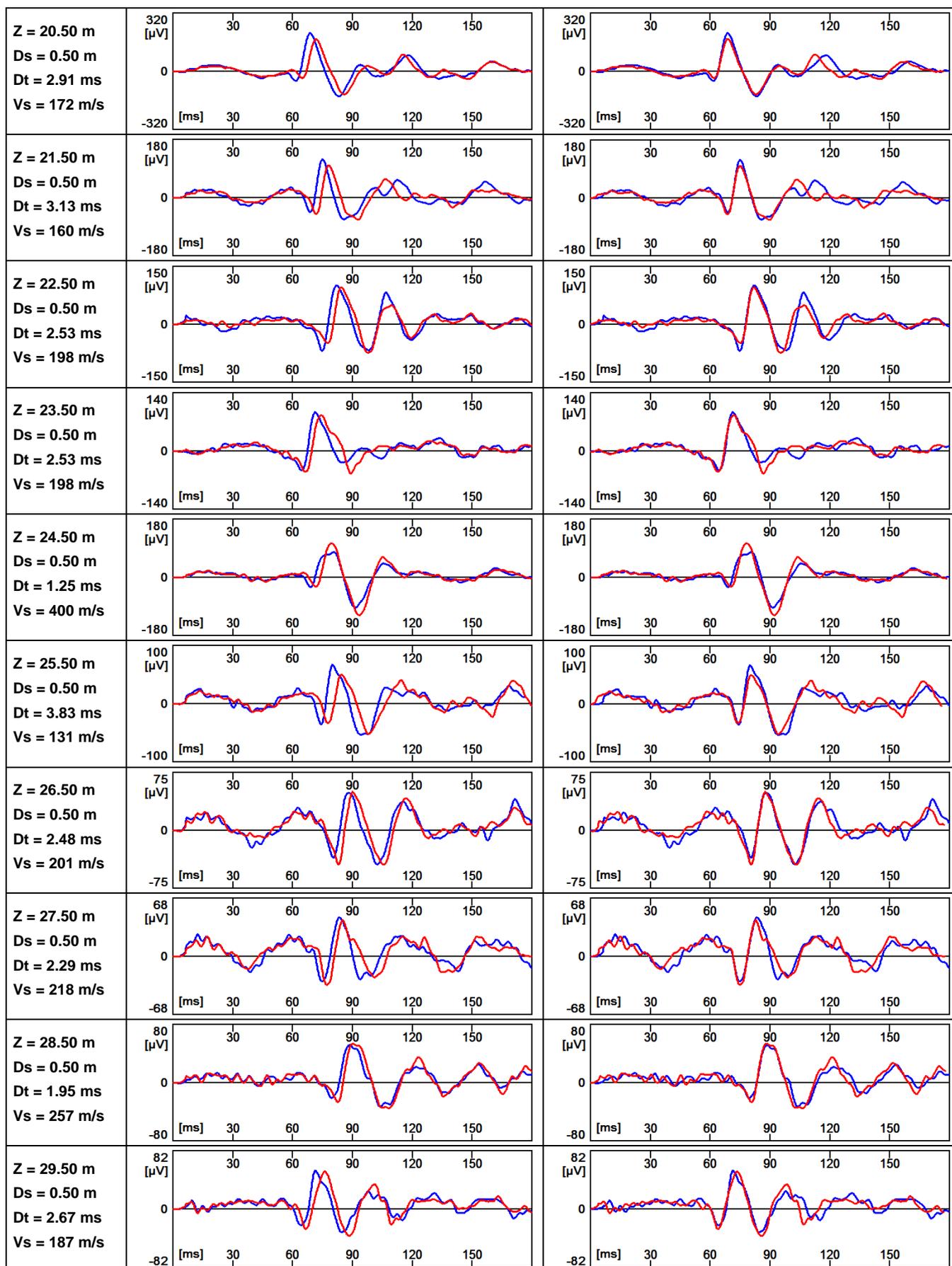
RIFASATI



SCPTU2 - Vs

REGISTRATI

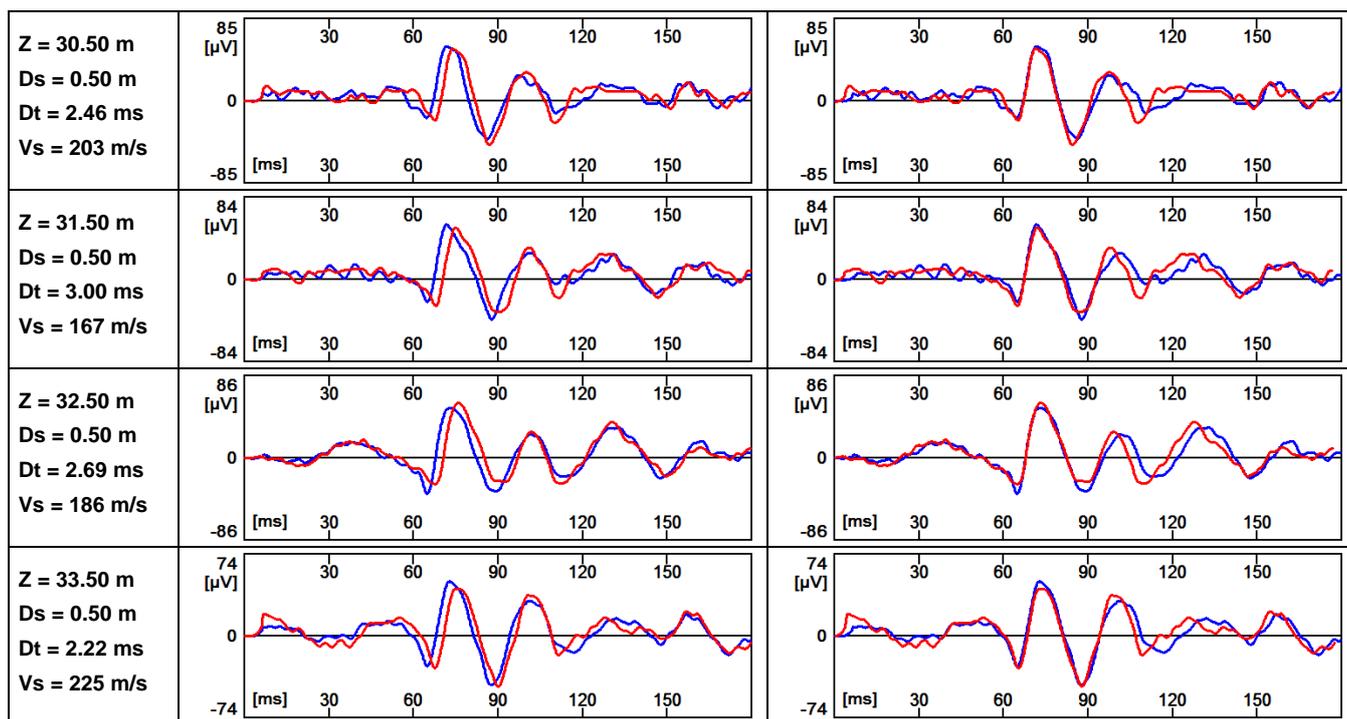
RIFASATI



SCPTU2 - Vs

REGISTRATI

RIFASATI



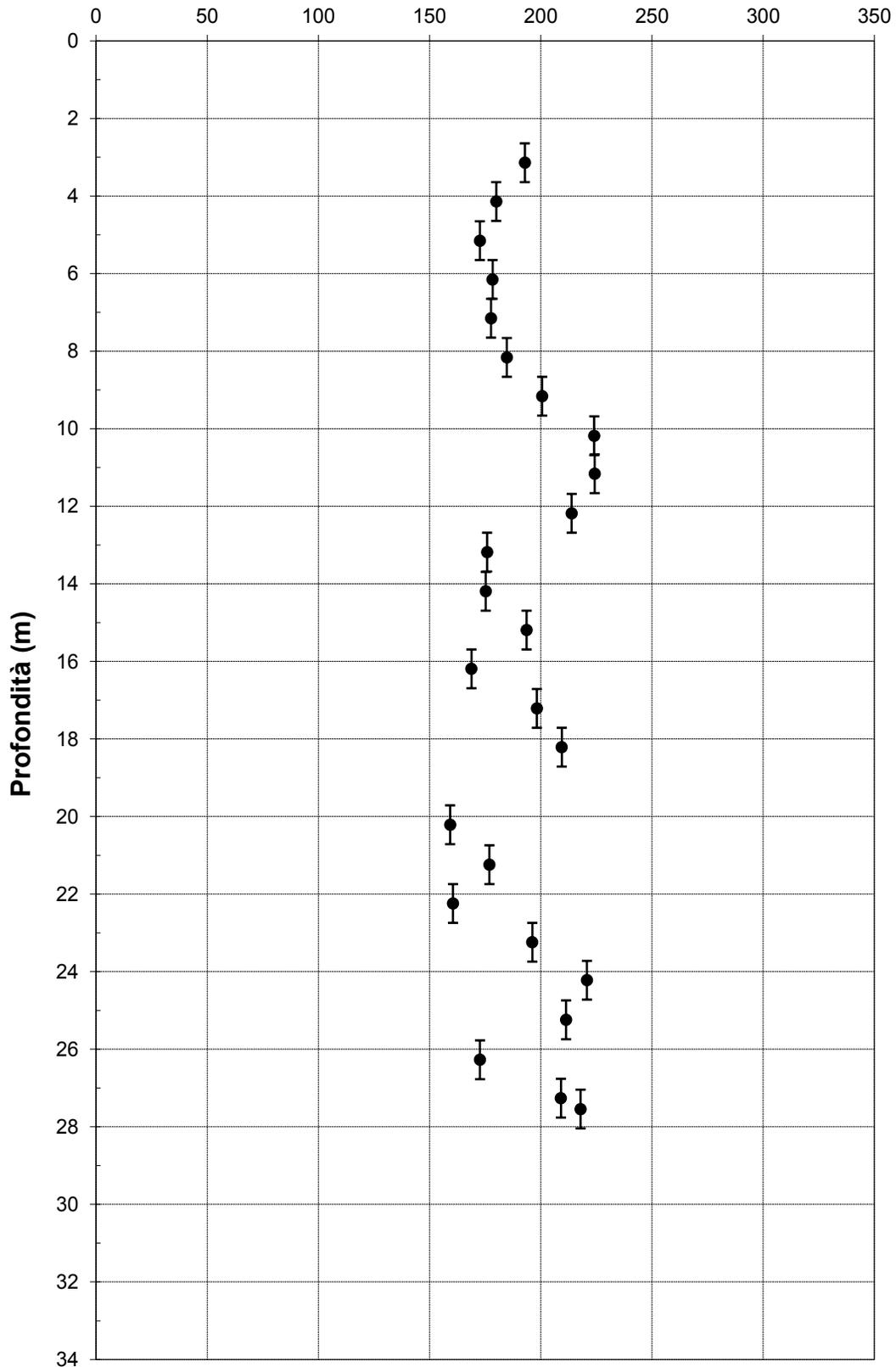
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

rev.	data emiss.	Sperimentatore	Responsabile
0	31/07/2012	Ranzini	Saccenti

Procedura di riferimento: PT 162

Committente:	Barilla G. & R. F.lli S.p.A.
Cantiere:	Pedrignano - Parma
Prova:	DH 01
Data prova:	26 luglio 2012

Velocità onde di taglio V_{SVH} (m/s)





PROVA DOWN HOLE

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A-B-C

rev.	data emiss.	Sperimentatore	Responsabile
0	31/07/2012	Ranzini	Saccenti

Procedura di riferimento: PT 162

Committente:	Barilla G. & R. F.lli S.p.A.
Cantiere:	Pedrignano - Parma
Prova:	DH 01
Data prova:	26 luglio 2012

Profondità misura m	Velocità onde di taglio V_{VSH} m/s
3.14	192.85
4.14	179.97
5.15	172.60
6.15	178.33
7.15	177.64
8.16	184.76
9.16	200.65
10.18	224.05
11.16	224.27
12.18	213.92
13.18	175.87
14.19	175.25
15.19	193.64
16.19	168.83
17.21	198.26
18.21	209.44
20.21	159.23
21.24	176.93
22.24	160.54
23.24	196.21
24.22	220.76
25.24	211.40
26.27	172.68
27.26	209.07
27.54	217.92

2P-PARMA PROSPEZIONI
di Ziber Cattini geologo
B.go Giacomo Tommasini, 20
43121 PARMA
Tel. 0521/386650
Fax 0521/232961
e-mail: ziber@libero.it

BARILLA G. & R. F.lli Società per Azioni
via Mantova, 166 - PARMA

**CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO NEL
COMPARTO PRODUTTIVO BARILLA IN PEDRIGNANO PARMA**



PROSPEZIONI TROMOGRAFICHE

Luglio 2012

2P-PARMA PROSPEZIONI
Ziber Cattini geologo

INTRODUZIONE

Al fine della caratterizzazione sismica del sottosuolo, nell'ambito del comparto produttivo Barilla in Pedrignano (PR), sono state eseguite prove tromografiche in n. 8 siti (ubicazione in Fig. a e TAV. Unica), nonché n. 3 prove SCPTU (ubicazione e risultanze in altro dossier).

In riferimento alle prime, per ogni sito indagato sono state realizzate due misure (A, B) della durata di 20 minuti ciascuna, delle quali è stata definitivamente elaborata/interpretata quella con la migliore qualità del segnale, funzione anche del minor disturbo da rumore antropico.



Fig. a – Ubicazioni prospezioni tromografiche

Per ognuna delle 8 prove elaborate/interpretate vengono riportati:

- Individuazione mediante coordinate chilometriche UTM; ubicazione in fotografia aerea;
- Fotografia del sito;
- Condizioni ambientali durante l'esecuzione della prova (scheda);
- Report delle elaborazioni/interpretazioni.

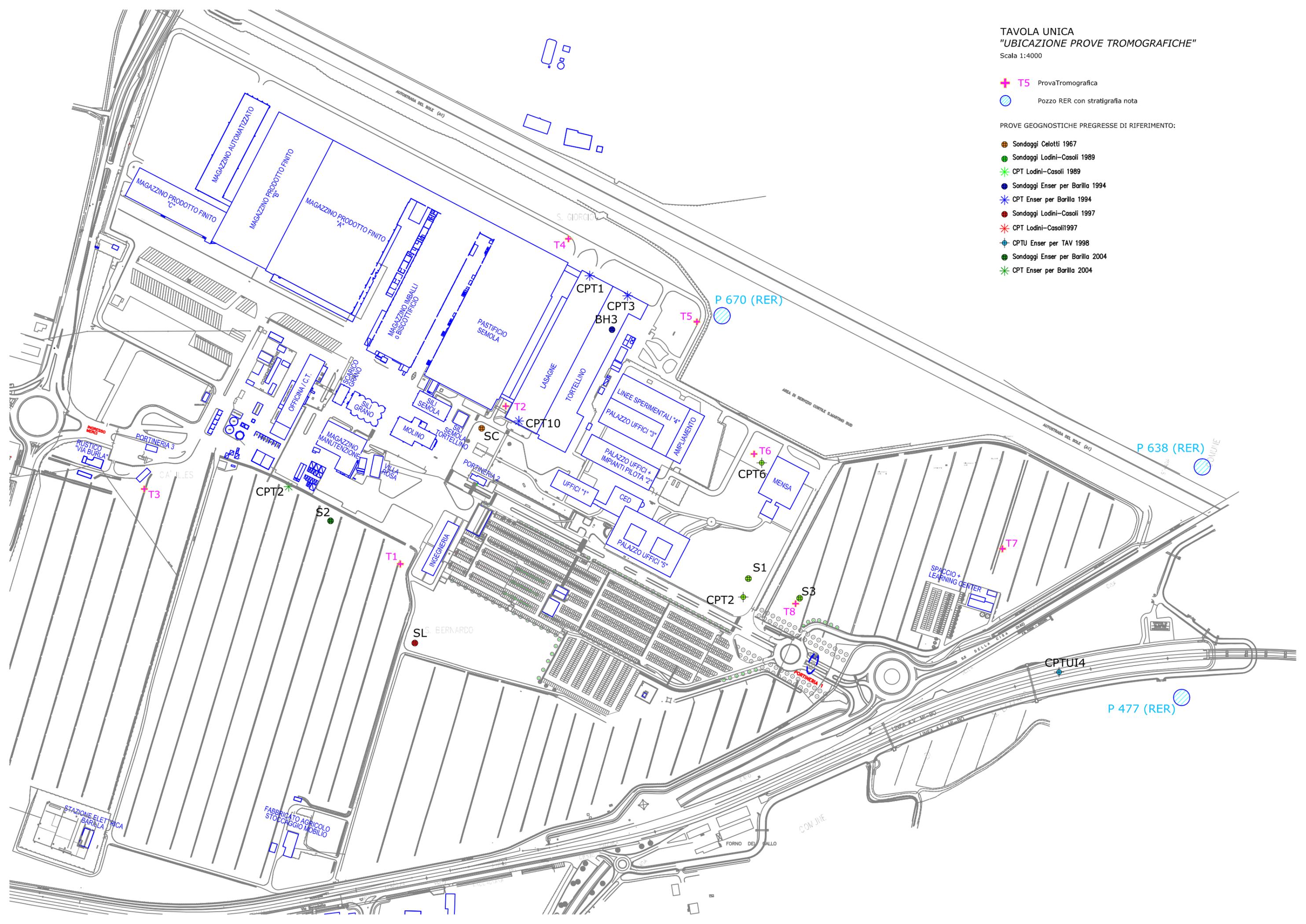
**TAVOLA UNICA
"UBICAZIONE PROVE TROMOGRAFICHE"**

Scala 1:4000

- + T5 ProvaTromografica
- Pozzo RER con stratigrafia nota

PROVE GEOGNOSTICHE PREGRESSE DI RIFERIMENTO:

- Sondaggi Celotti 1967
- Sondaggi Lodini-Casoli 1989
- * CPT Lodini-Casoli 1989
- Sondaggi Enser per Barilla 1994
- * CPT Enser per Barilla 1994
- Sondaggi Lodini-Casoli 1997
- * CPT Lodini-Casoli 1997
- ⊕ CPTU Enser per TAV 1998
- Sondaggi Enser per Barilla 2004
- * CPT Enser per Barilla 2004



P 638 (RER)

P 477 (RER)

P 670 (RER)

CPT2

CPT1

CPT3

CPT6

CPT2

CPTU14

CPT10

BH3

SL

SC

S2

S1

S3

T8

T7

T4

T5

T3

T1

PORTINERIA 3

PORTINERIA 2

PORTINERIA 1

SPACCIO + LEARNING CENTER

STAZIONE ELETTRICA BARILLA

FABBRICATO AGRICOLO STOCCAGGIO MOBILIO

FORNO DEL GALLO

COM JIE

AUTOSTRADA DEL SOLE (A1)

S. GIORGIO

S. BERNARDO

CA' LLES

ONLUE

INGRESSO MFC

RUSTICO VIA BURLA

MAGAZZINO PRODOTTI FINITI C

MAGAZZINO PRODOTTI FINITI B

MAGAZZINO PRODOTTI FINITI A

MAGAZZINO AUTOMATIZZATO

MAGAZZINO IMBALLI o BISCOTTIFICIO

PASTIFICIO SEMOLA

LASAGNE

TORTELLINO

LINEE SPERIMENTALI "4"

PALAZZO UFFICI "3"

PALAZZO UFFICI + IMPIANTI PILOTA "2"

PALAZZO UFFICI "5"

UFFICI "1"

CED

INGEGNERIA

MOLINO

VILLA ROSA

SILI SEMOLA

SILI SEMOLA TORTELLINO

SILICO SCARICO

SILI GRANO

OFFICINA C.T.

OFFICINA

RILIEVO SISMICO MEDIANTE TROMOGRAFO DIGITALE

Metodologia d'indagine

La misura del microtremore sismico (sismica passiva), attraverso l'analisi dei rapporti spettrali o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) consente la determinazione della *frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo*; altresì, mediante il processo di inversione, di stimare il valore di Vs30.

Le prove sono state condotte utilizzando un sismometro a stazione singola (tromografo digitale) in grado di registrare i microtremori lungo le direzioni orizzontali X (E-W) e Y (N-S) e verticale (Z), in un ampio intervallo di frequenze (0.1-64 Hz) e per una durata di 20 minuti. Il moto indotto nel terreno è stato misurato dallo strumento, in termini di velocità, attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z).

Le misure registrate sono state elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V, in funzione della frequenza (Fig.b) e spettri delle singole componenti nelle tre direzioni di cui sopra (Fig. c).

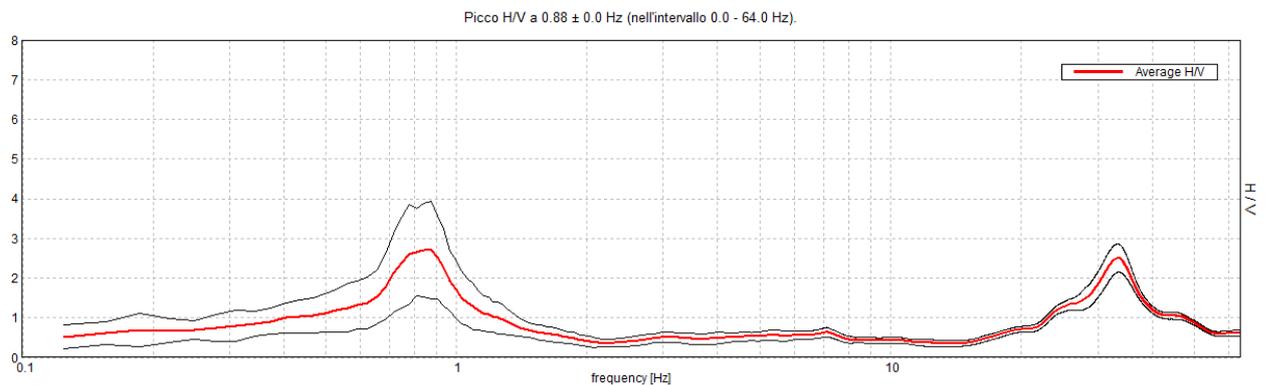


Fig. b – Esempio: rapporto spettrale orizzontale su verticale (H/V)

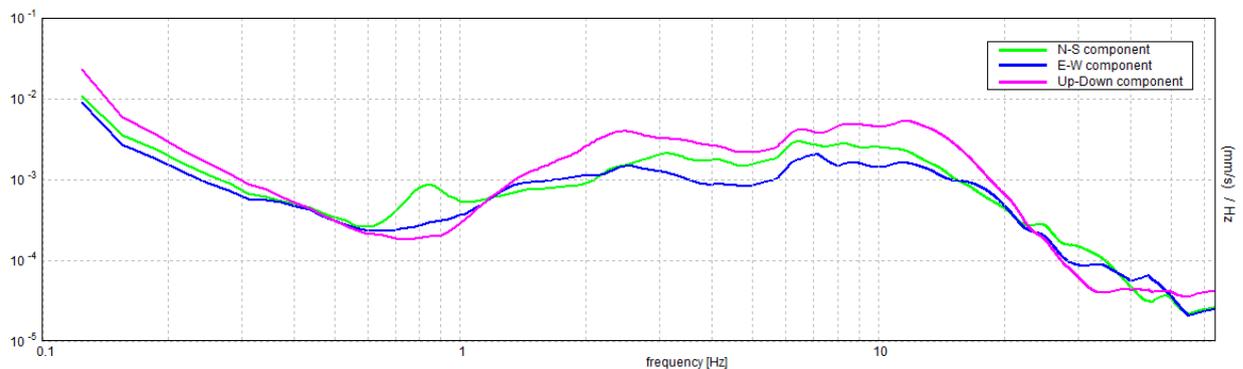


Fig. c – Esempio: spettri delle singole componenti

Dalla prova tomografica è possibile ottenere informazioni circa:

- la frequenza di risonanza caratteristica del sito (Nakamura Y., 1989);
- la velocità media delle onde di taglio V_s dei litostrati (Castellaro S e Mulargia F., 2009).

Premesso che il sottosuolo può manifestare più frequenze di risonanza, queste sono direttamente leggibili dal grafico rapporto spettrale H/V in funzione della frequenza, in corrispondenza di un picco di intensità di questo rapporto (Fig. d).

E' stato dimostrato che la vulnerabilità allo scuotimento sismico degli edifici è solo marginalmente collegabile alle modalità costruttive dello stesso. Molto più gravoso è l'effetto dell'amplificazione sismica locale che tende ad incrementare l'intensità delle forze sismiche agenti sulla struttura.

In particolare, se la frequenza di risonanza dell'edificio è confrontabile con quella dei terreni di fondazione, si verifica il fenomeno della risonanza accoppiata. Questo comporta l'amplificazione problematica delle onde sismiche e, conseguentemente, l'incremento del potere distruttivo delle sollecitazioni indotte sulla struttura medesima.

Al fine di valutare tale rischio è, pertanto, necessario verificare se la frequenza di risonanza fondamentale dell'edificio sia confrontabile con quella di un picco di intensità H/V del terreno di fondazione evidenziato con la prospezione tomografica.

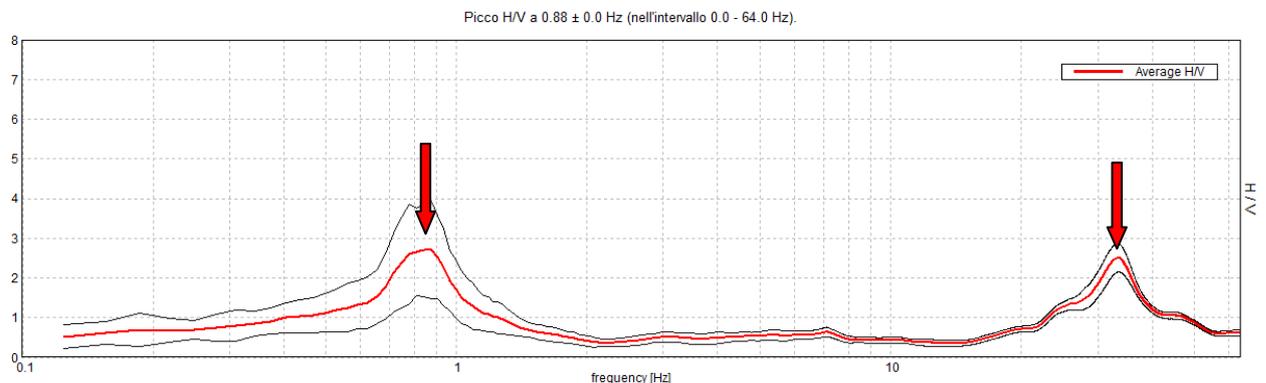


Fig. d – Esempio: andamento del rapporto spettrale H/V; in corrispondenza dei picchi, le frequenze di risonanza del terreno

Per valutare la velocità delle onde di taglio V_s è stata utilizzata l'inversione vincolata dello spettro H/V.

La relazione seguente lega tra di loro parametri come la frequenza di risonanza del terreno (f), la velocità delle onde S (V_s) e la profondità (H) della base del litostrato:

$$f(\text{Hz}) = \frac{V_s}{4H}$$

Nota la profondità di un litostrato, desumibile dalle risultanze di indagini geognostiche in sito, come sondaggi e/o prove penetrometriche, è possibile procedere all’inversione dello spettro H/V, modellando una curva sintetica che ne approssima i picchi in modo da ricavare la Vs media per ogni litostrato.

Sulla base di tali elaborazioni è stato ottenuto l’andamento della Vs con la profondità (Fig.), da cui determinare la velocità equivalente delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m di sottosuolo:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_i}}$$

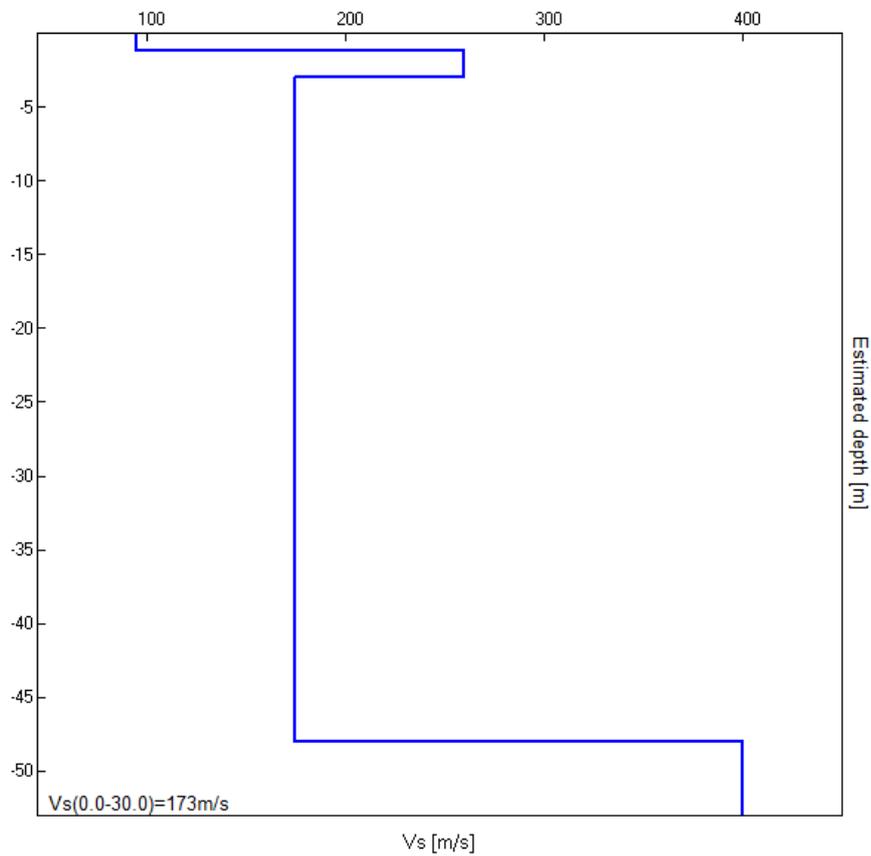


Fig. e –Esempio: andamento della Vs in funzione della profondità

SINTESI DELLE RISULTANZE DELLA PROSPEZIONE SISMICA TROMOGRAFICA

Prova tromografica	Frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (Hz)	V _{s30} (m/s)
T1	0.94±0.03	173
T2	0.84±0.01	150
T3	0.81±0.04	150
T4	0.88±0.00	154
T5	0.81±0.01	154
T6	0.81±0.01	149
T7	0.75±0.03	169
T8	0.81±0.01	149

PROVA TROMOGRAFICA T1

Coordinate UTM zona 32

- 4964297 N
- 608446 E

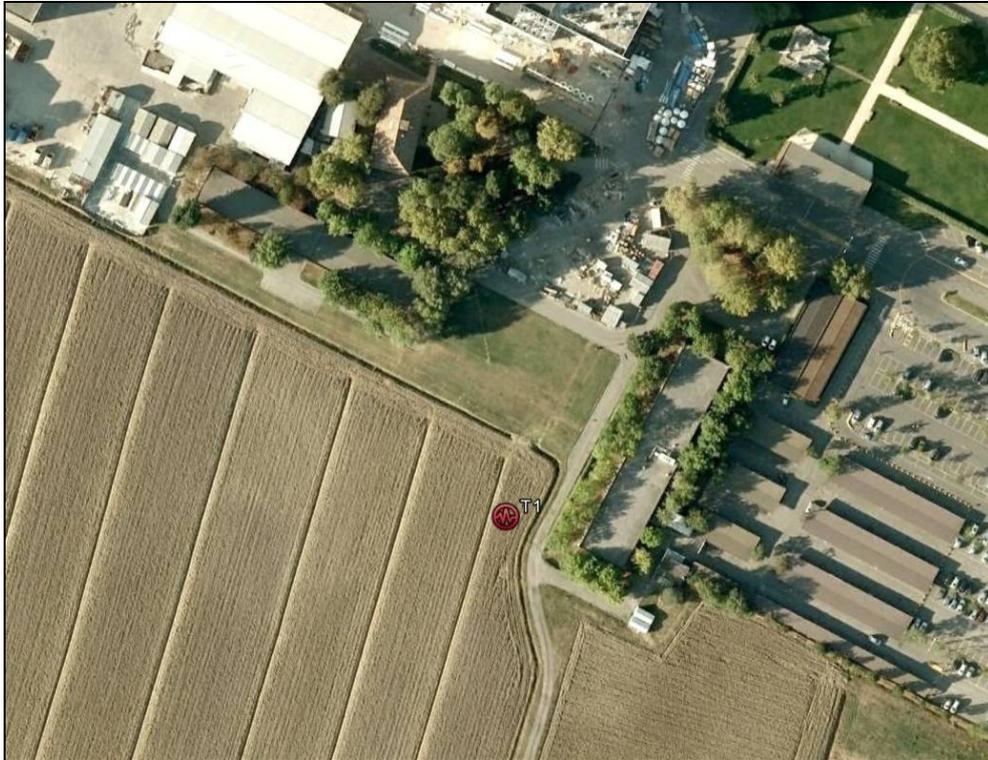


Fig. T1 – Ubicazione prova



Foto T1 - Sito nel quale è stata eseguita la prova

SCHEMA PROVA TROMOGRAFICA T1

Comune: Parma		Località: Pedrignano	
Cantiere: Barilla		Data: 11/07/2012	Ora: 8:26
Codice lavoro: CATT.12.003			
Prova elaborata/interpretata: T1A		Memoria: 22	Durata (min): 20
Strumento: TRZ-0091/01-10		Freq.camp.: 128 Hz	F. sensore: 4.5 Hz
Operatore: Dott. Ferrari Alessandro			

CONDIZIONI ATMOSFERICHE				
Vento	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole (<5m/s)	<input type="checkbox"/> medio (5>v>30 m/s)	<input type="checkbox"/> forte (>30 m/s)
Pioggia	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> media	<input type="checkbox"/> forte

TERRENO DI PROVA				
Suolo	<input type="checkbox"/> argilloso-limoso soffice	<input checked="" type="checkbox"/> argilloso-limoso duro	<input type="checkbox"/> con erba	<input type="checkbox"/> senza erba
	<input type="checkbox"/> ghiaia	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> roccia	
	<input checked="" type="checkbox"/> suolo asciutto	<input type="checkbox"/> suolo umido	<input type="checkbox"/> suolo saturo	
Pavimentazione artificiale	<input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia	<input type="checkbox"/> cemento/cls	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> ceramica
	<input type="checkbox"/> altro:			
Accoppiamento sensore	<input checked="" type="checkbox"/> piedini infissi	<input type="checkbox"/> piedini da pavimento	<input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale	<input type="checkbox"/> sabbia <input type="checkbox"/> altro

STRUTTURE CIRCOSTANTI				
Abitazioni	<input checked="" type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Fabbriche	<input type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input checked="" type="checkbox"/> molto fitte
Ponti	<input checked="" type="checkbox"/> assenti		<input type="checkbox"/> presenti	
Strutt.sotterr.	<input type="checkbox"/> assenti		<input checked="" type="checkbox"/> presenti: condotte idriche	
Piante	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte

SORGENTI RUMORE							
Disturbo discontinuo		assente	raro	moderato	forte	molto forte	Distanza (m)
	auto			✓			
	camion		✓				
	passanti		✓				
	altro						
Disturbo cont.	<input type="checkbox"/> assente	<input checked="" type="checkbox"/> presente: opifici in attività					

OSSERVAZIONI
Opifici del comparto produttivo Barilla, in attività

OUTPUT PROVA TROMOGRAFICA T2

Strumento: TRZ-0091/01-10

Inizio registrazione: 11/07/12 09:54:24 Fine registrazione: 11/07/12 10:14:25

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 93% tracciato (selezione manuale)

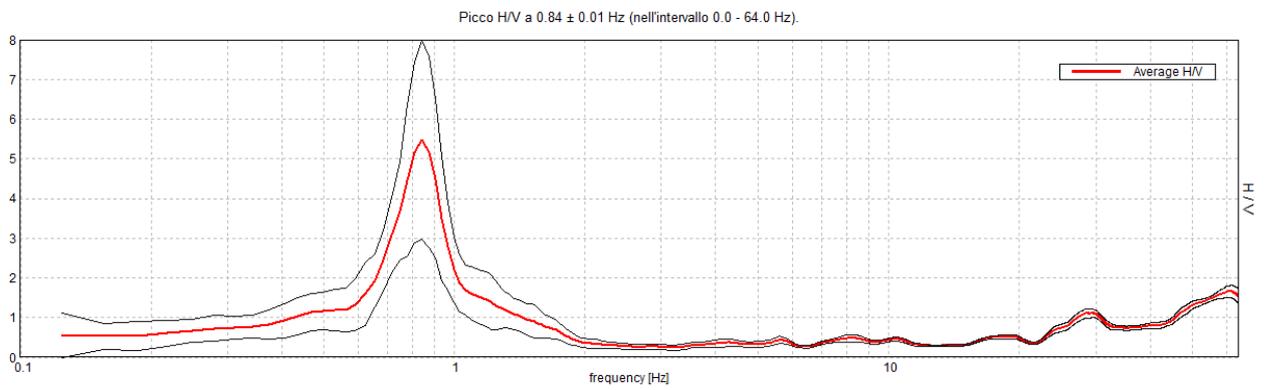
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

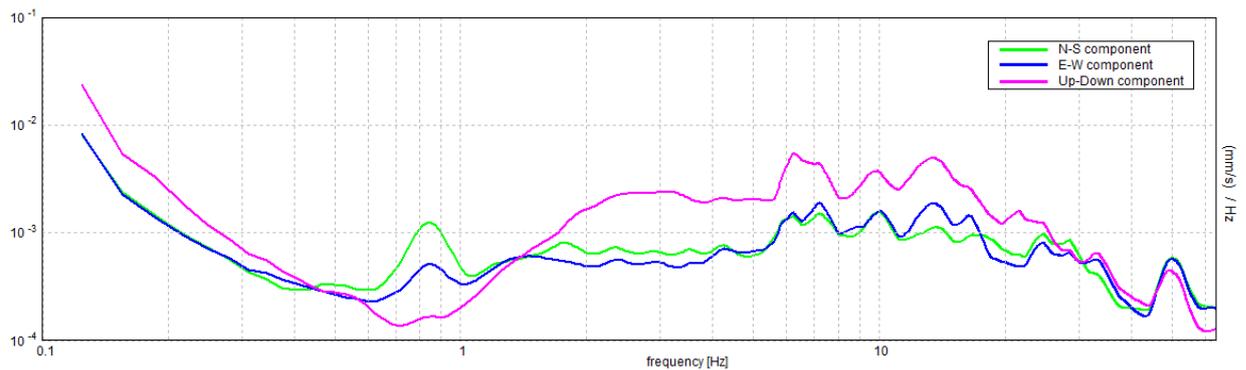
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

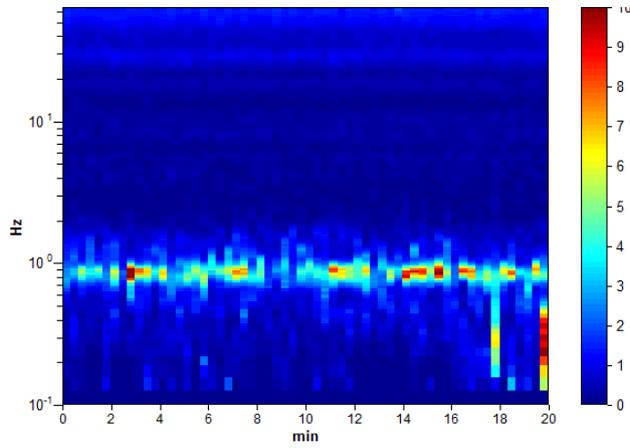
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



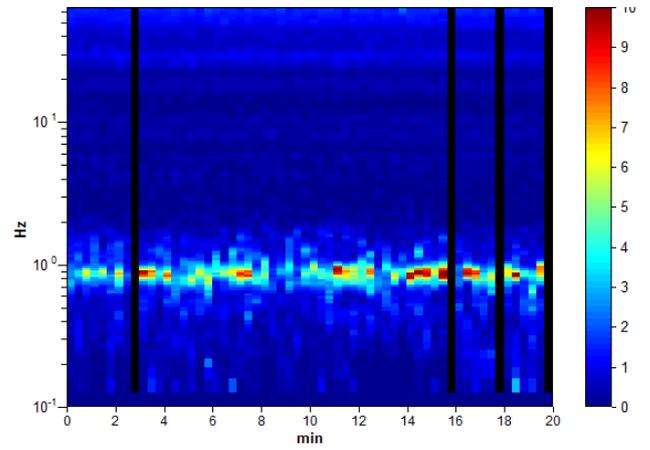
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



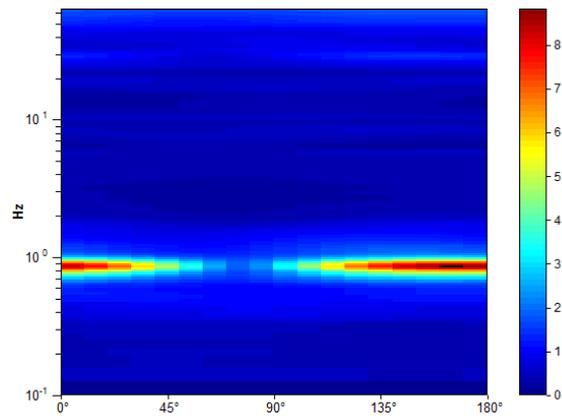
SERIE TEMPORALE H/V



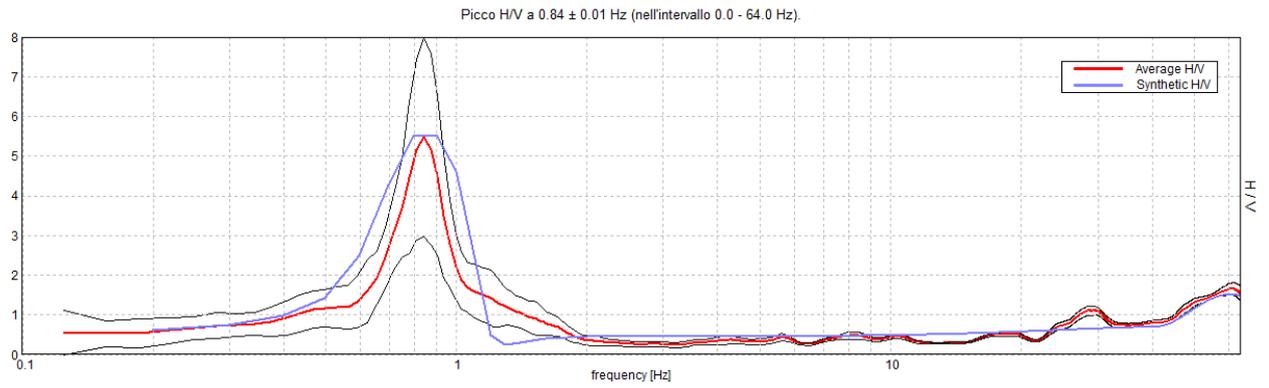
SERIE TEMPORALE H/V PULITA



DIREZIONALITA' H/V

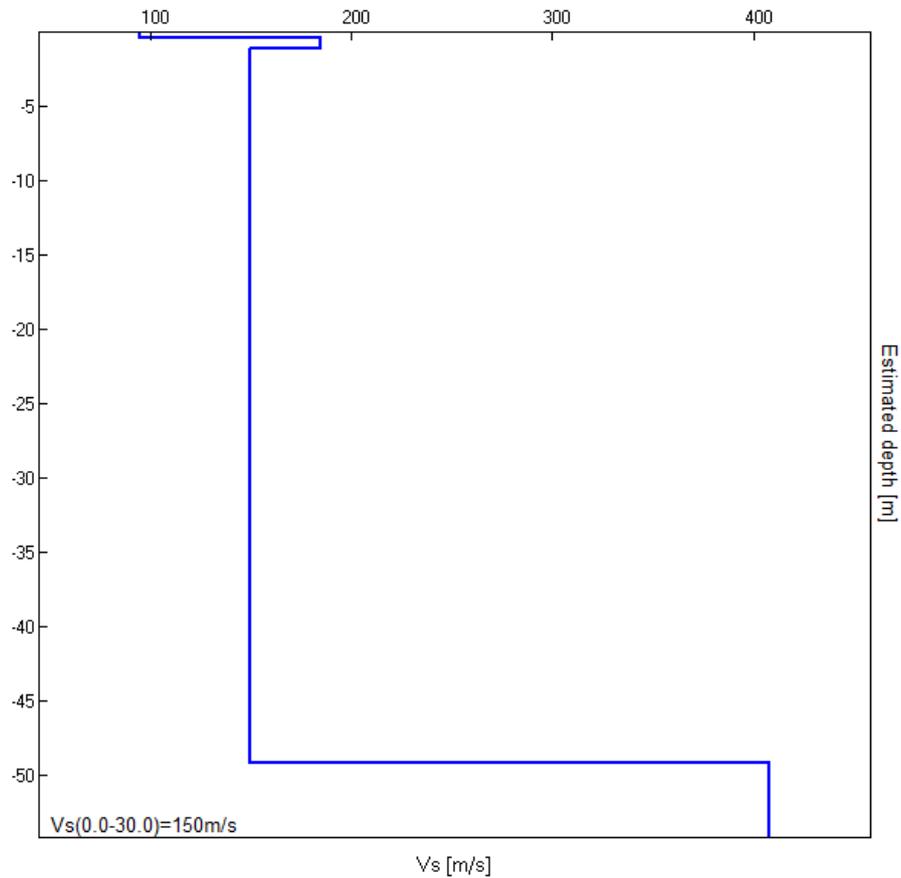


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.40	0.40	95
1.10	0.70	185
49.10	48.00	150
inf.	inf.	408

Vs(0.0-30.0)=150m/s



Secondo le linee guida SESAME, 2005

Picco H/V a 0.84 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	0.84 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	945.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 42	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.688 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.0 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.48 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00317 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	0.00268 < 0.12656	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.2485 < 2.0	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\epsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\epsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

PROVA TROMOGRAFICA T3

Coordinate UTM zona 32

- 4964393 N
- 608110 E



Fig. T3 – Ubicazione prova



Foto T3 - Sito nel quale è stata eseguita la prova

SCHEDA PROVA TROMOGRAFICA T3

Comune: Parma	Località: Pedrignano	
Cantiere: Barilla	Data: 11/07/2012	Ora: 10:26
Codice lavoro: CATT.12.003		
Prova elaborata/interpretata: T3A	Memoria: 25	Durata (min): 20
Strumento: TRZ-0091/01-10	Freq.camp.: 128 Hz	F. sensore: 4.5 Hz
Operatore: Dott. Ferrari Alessandro		

CONDIZIONI ATMOSFERICHE				
Vento	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole (<5m/s)	<input type="checkbox"/> medio (5>v>30 m/s)	<input type="checkbox"/> forte (>30 m/s)
Pioggia	<input checked="" type="checkbox"/> assente	<input type="checkbox"/> debole	<input type="checkbox"/> media	<input type="checkbox"/> forte

TERRENO DI PROVA				
Suolo	<input checked="" type="checkbox"/> argilloso-limoso soffice	<input type="checkbox"/> argilloso-limoso duro	<input type="checkbox"/> con erba	<input type="checkbox"/> senza erba
	<input type="checkbox"/> ghiaia	<input type="checkbox"/> sabbia	<input type="checkbox"/> roccia	
	<input type="checkbox"/> suolo asciutto	<input checked="" type="checkbox"/> suolo umido	<input type="checkbox"/> suolo saturo	
Pavimentazione artificiale	<input type="checkbox"/> rilevato in ghiaia	<input type="checkbox"/> cemento/cls	<input type="checkbox"/> asfalto	<input type="checkbox"/> ceramica
	<input type="checkbox"/> altro:			
Accoppiamento sensore	<input checked="" type="checkbox"/> piedini infissi	<input type="checkbox"/> piedini da pavimento	<input type="checkbox"/> accoppiamento artificiale	<input type="checkbox"/> sabbia <input type="checkbox"/> altro

STRUTTURE CIRCOSTANTI				
Abitazioni	<input checked="" type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Fabbriche	<input type="checkbox"/> assenti	<input type="checkbox"/> sparse	<input checked="" type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte
Ponti	<input checked="" type="checkbox"/> assenti		<input type="checkbox"/> presenti	
Strutt.sotterr.	<input checked="" type="checkbox"/> assenti		<input type="checkbox"/> presenti: descrizione	
Piante	<input type="checkbox"/> assenti	<input checked="" type="checkbox"/> sparse	<input type="checkbox"/> fitte	<input type="checkbox"/> molto fitte

SORGENTI RUMORE							
Disturbo discontinuo		assente	raro	moderato	forte	molto forte	Distanza (m)
	auto		✓				
	camion				✓		
	passanti		✓				
	altro						
Disturbo cont.	<input type="checkbox"/> assente	<input checked="" type="checkbox"/> presente: opifici del comparto produttivo Barilla, in attività					

OSSERVAZIONI
Prova eseguita sul fondo di scavo

Appendice 2 – Progetto Nuovi Sili Grano - Relazione sulla RSL



COMUNE DI PARMA

PROVINCIA DI PARMA

**Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. & R.
Fratelli SpA**

RELAZIONE SULLA ANALISI DI RSL

Codice S12032-PE-SR-006-2

Rev.	Data	Redatto	Controllato
0	25.03.2014	A. Mastrangelo	E. Zambianchi
1	27.04.2018	A. Mastrangelo	E. Zambianchi
2	31.08.2018	A. Mastrangelo	E. Zambianchi

Approvato
M. Merli
G. Guadagnini
G. Guadagnini



CERT-16254-2005-AQ-
BOL-SINCERT

Mod 2 Rev.2 10/01/2012

Sede Principale:
Viale Baccharini, 29
48018 FAENZA (RA)
Tel. 0546 663423/56
Fax 0546 663428

C.F./P.IVA/Registro Imprese
RA 02058800398

Sede di Bologna:
Via Zacconi, 16
40127 BOLOGNA (BO)
Tel. 051 245663
Fax 051 242251

CAPITALE SOCIALE
€ 105 000,00 i.v.

Sede di Santarcangelo:
Via Andrea Costa, 115
47822 SANTARCANGELO DI ROMAGNA
(RN)
Tel. 0541 1832933
Fax 0541 1832936

Web: www.enser.it
E-Mail: enser@enser.it
P.E.C.: ensersrl-ra@legalmail.it

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 2

INDICE

1	PREMESSA.....	5
2	QUADRO NORMATIVO E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO..	6
2.1	NORME TECNICHE DI RIFERIMENTO	6
2.2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	6
3	INQUADRAMENTO SISMICO	8
3.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA	8
3.2	CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA	20
1.1	STORIA SISMICA DELL'AREA DI PROGETTO	23
4	CAMPAGNA INDAGINE FINALIZZATA ALLA DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO SISMICO	24
5	CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA	27
5.1	DEFINIZIONE DELLA STRATIGRAFIA SUPERFICIALE (0÷75M)	27
5.2	DEFINIZIONE DELLA STRATIGRAFIA PROFONDA.....	28
6	DEFINIZIONE DEI PARAMENTRI GEOTECNICI	31
6.1	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE SALIENTI.....	31
6.1.1	<i>Proprietà fisiche.....</i>	31
6.1.1.1	Peso di volume.....	31
6.1.1.2	Distribuzione granulometrica.....	33
6.1.1.3	Limiti di Atterberg	33
6.1.2	<i>Caratteristiche di consistenza dei terreni a grana fine.....</i>	34
6.1.3	<i>Caratteristiche di addensamento dei terreni incoerenti</i>	35
6.2	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI	35
7	AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO.....	39
8	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	41
8.1	PREMESSA.....	41
8.2	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA MONODIMENSIONALE.....	42
8.3	MODELLO GEOTECNICO-SISMICO DEL SOTTOSUOLO.....	43
8.3.1	<i>Modello V_s.....</i>	44
8.3.2	<i>Peso in volume del terreno.....</i>	47
8.3.3	<i>Proprietà deformative e dissipative (curve $G/G_0 - \gamma$ e $D/D_0 - \gamma$).....</i>	47
8.4	DEFINIZIONE DELL'INPUT SISMICO	48
8.5	MODELLAZIONE NUMERICA.....	52
8.6	RISULTANZE ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	55
8.6.1	<i>Spettri di risposta elastici.....</i>	59
9	CONCLUSIONI	62
9.1	CONFRONTO CON LE CATEGORIE PRE-COSTITUITE NTC	62
9.2	LIMITI DELL'ANALISI NUMERICA E PROSPETTIVE FUTURE	64

FIGURE

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 3

FIGURA 1.1: LAYOUT GENERALE DELL'AREA DI PROGETTO DEI NUOVI SILI GRANO.....	5
FIGURA 3.1. MAPPA TEMATICA DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO ITALIANO (1984). DECRETO MLP DEL 14/07/1984 E DECRETI SUCCESSIVI.	9
FIGURA 3.2. MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA IN ITALIA - ACCELERAZIONE ORIZZONTALE DI PICCO CON T = 475 ANNI. .	11
FIGURA 3.3. MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA IN ITALIA - INTENSITÀ MACROSISMICA CON T=475 ANNI.	12
FIGURA 3.4. RISCHIO SISMICO: MAPPA DEL DANNO PERCENTUALE ATTESO.....	13
FIGURA 3.5. RISCHIO SISMICO: MAPPA DELLE MASSIME INTENSITÀ OSSERVATE NELL'ULTIMO MILLENNIO.	14
FIGURA 3.6. PROPOSTA DI RICLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO ITALIANO (1998) A CURA DEL GRUPPO DI LAVORO ING-GNDT-SSN COSTITUITO DALLA COMMISSIONE NAZIONALE DI PREVISIONE E PREVENZIONE DEI GRANDI RISCHI..	15
FIGURA 3.7. ZONE SISMICHE DEL TERRITORIO ITALIANO (2003). ORDINANZA PCM N° 3274 DEL 20/03/2003.....	17
FIGURA 3.8. ZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO ITALIANO CON RECEPIMENTO DELLE VARIAZIONI OPERATE DALLE SINGOLE REGIONI (FINO A MARZO 2004).	18
FIGURA 3.9. RICLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'EMILIA-ROMAGNA, ORDINANZA DEL PCM N°3274/2003. PARMA È IN ZONA 3.....	19
FIGURA 3.10. CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA – SCALA 1:250 000 (STRALCIO NON IN SCALA).	21
FIGURA 3.11. CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA – LEGENDA.	22
FIGURA 4.1. UBICAZIONE DELLE INDAGINI SISMICHE NEL COMPLESSO BARILLA DI PEDRIGNANO.	25
FIGURA 5.1 – PROFILO STRATIGRAFICO DEI PRIMI 75M (DA INDAGINI).....	28
FIGURA 5.2. POSIZIONE DEL COMPRESORIO (CERCHIO ROSSO) E DELLA SEZIONE N.025 (FRECCIA ROSSA).	29
FIGURA 5.3. SEZIONE GEOLOGICA REGIONALE 025 E PROFONDITÀ DELLE DISCONTINUITÀ STRATIGRAFICHE.	30
FIGURA 6.1. PROFILI V _{SH} E INTERPOLAZIONE.	36
FIGURA 6.2. SEZIONE TOMOGRAFICA SISMICA IN ONDE S.	37
FIGURA 6.3. PROFILO V _S RICAIVATO DALLA SEZIONE SISMICA NEL PUNTO MEDIANO.....	37
FIGURA 6.4. SPETTRO D V _{SH} (PROVA T1).	38
FIGURA 8.1. SCHEMA DI RIFERIMENTO PER L'ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE	41
FIGURA 8.2. RICOSTRUZIONE DEL MODELLO DI VELOCITÀ DELLE ONDE V _{SH}	46
FIGURA 8.3. TIME HISTORY DELL'EVENTO CODICE 000046XA ASSOCIATO AL COMUNE DI PARMA.....	50
FIGURA 8.4. TIME HISTORY DELL'EVENTO CODICE 000126XA ASSOCIATO AL COMUNE DI PARMA.....	51
FIGURA 8.5. TIME HISTORY DELL'EVENTO CODICE 000354YA ASSOCIATO AL COMUNE DI PARMA.....	51
FIGURA 8.6. SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI IN ACCELERAZIONE (D=5%) RELATIVI ALLE TIME HISTORY DI INPUT E CONFRONTO CON LO SPETTRO DI INPUT DA NTC 2008.....	52
FIGURA 8.7. MODELLO A STRATI CONTINUI ADOTTATO DA DEEPSOIL.....	53
FIGURA 8.8. RAPPRESENTAZIONE SCHEMATICA DELL'ALGORITMO PER L'ANALISI LINEARE EQUIVALENTE.....	55
FIGURA 8.9. RISULTATI DELL'ANALISI RSL CONDOTTA PER L'ACCELEROGRAMMA 000046XA.	56
FIGURA 8.10. RISULTATI DELL'ANALISI RSL CONDOTTA PER L'ACCELEROGRAMMA 000126XA.	57
FIGURA 8.11. RISULTATI DELL'ANALISI RSL CONDOTTA PER L'ACCELEROGRAMMA 000354YA.	58
FIGURA 8.12. RISULTATI DELLA RSL IN TERMINI DI SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI.	59
FIGURA 8.13. NORMALIZZAZIONE DELLO SPETTRO DI OUTPUT.	61

TABELLE

TABELLA 3.1. OSSERVAZIONI SISMICHE (111) DISPONIBILI PER PARMA (PR) [44.801, 10.329].....	23
---	----

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 4

TABELLA 4.1. QUADRO RIASSUNTIVO DEI SONDAGGI.	24
TABELLA 4.2. QUADRO RIASSUNTIVO DELLE PROVE PENETROMETRICHE.....	25
TABELLA 4.3. QUADRO RIASSUNTIVO DELLE PROVE DI LABORATORIO SUI CAMPIONI DEI SONDAGGI S1, S2 ED S3.	26
TABELLA 5.1. INTERFACCE STRATIGRAFICHE PROFONDE INDIVIDUATE.....	29
TABELLA 6.1. ANALISI GRANULOMETRICHE.....	33
TABELLA 7.1. PARAMETRI E TEMPO DI RITORNO IN FUNZIONE DELLO STATO LIMITE.....	40
TABELLA 8.1. SINTESI DEL MODELLO DI VELOCITÀ DELLE ONDE V_{SH}	45
TABELLA 8.2. SINTESI DEI PESI DI VOLUME PER I VARI SISMOSTRATI.....	47
TABELLA 8.3. SINTESI DELLE CARATTERISTICHE DI RIGIDEZZA E SMORZAMENTO ATTRIBUITE AI VARI SISMOSTRATI.	48
TABELLA 8.4. SINTESI DELLE CARATTERISTICHE DI RIGIDEZZA E SMORZAMENTO ATTRIBUITE AI VARI SISMOSTRATI.	48

APPENDICI

APPENDICE 1 –RAPPORTI DELLE INDAGINI

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 5

1 PREMESSA

Il presente documento è stato redatto per valutare la risposta sismica locale del Comprensorio Barilla di Pedrignano, utilizzando le indagini e la modellazione risultante del sito ove sono stati costruiti recentemente i 16 nuovi silo metallici, a sud del Comprensorio.

La Figura 1.1 riporta il layout generale del sito in studio.

Nel seguito dell'elaborato verranno descritte ed approfondite le seguenti tematiche:

- Inquadramento sismico e cenni storici sulla sismicità dell'area;
- Campagna indagine condotta nell'area di progetto al fine della definizione del modello geotecnico-sismico;
- Definizione delle caratteristiche sismiche di sito;
- Azione sismica di base e scenari di riferimento;
- Analisi di risposta sismica locale;
- Conclusioni e affidabilità.

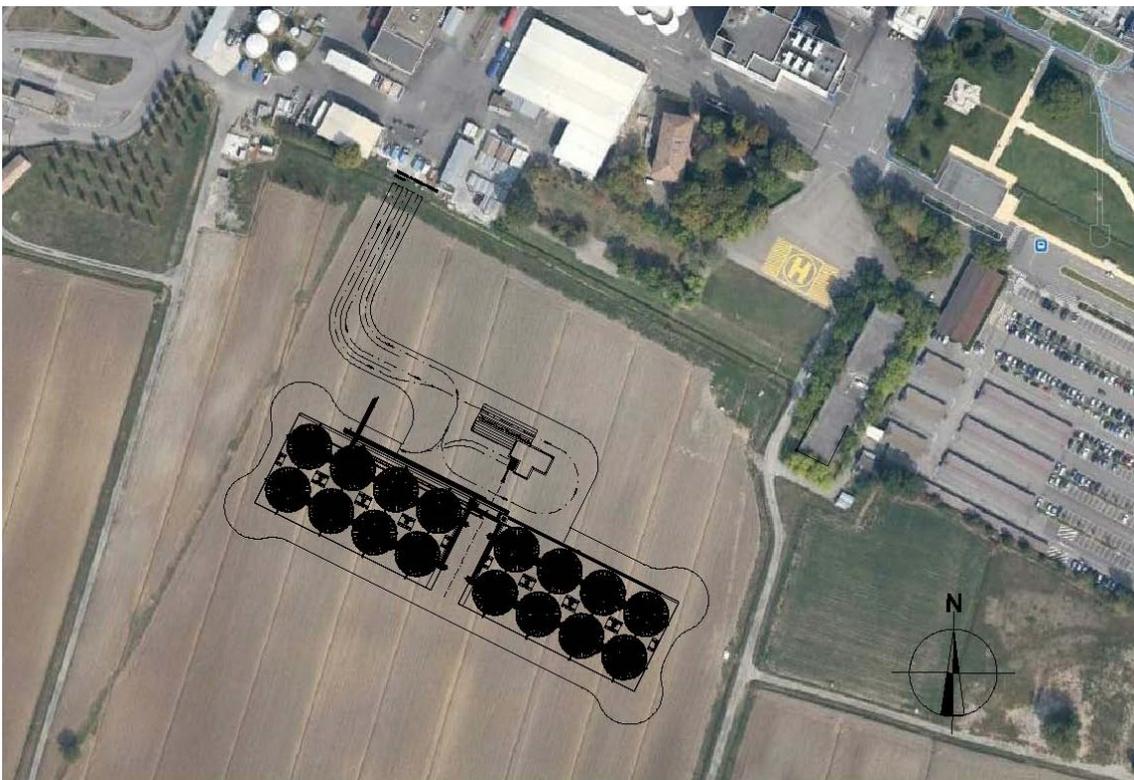


Figura 1.1: Layout generale dell'area ove sono stati installati i nuovi silo grano.

	Committente:  <small>The Italian Food Company Since 1877.</small>	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 6

2 QUADRO NORMATIVO E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1 Norme Tecniche di Riferimento

- [Ref1]** Raccomandazioni AGI giugno 1977 *"Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"*;
- [Ref2]** O.P.C.M. 8 maggio 2003 n.3274 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*
- [Ref3]** D.A.L. 21 luglio 2003 n.1435 *"Prime disposizioni di attuazione dell'Ordinanza PCM 3274/2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica""*
- [Ref4]** D.A.L. 122/2007. Delibera dell'assemblea legislativa della regione Emilia-Romagna n.122 del 2/5/2007: Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per *"Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"*. Boll. Uff. Reg. Emilia-Romagna n. 64 del 17/05/2007.
- [Ref5]** DM 17-01-18 *"Norme Tecniche per le Costruzioni"*;
- [Ref6]** Legge regionale 30 ottobre 2008, n. 19 *"Norme per la riduzione del rischio sismico"*;
- [Ref7]** DGR 1373/2011 *"Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi, ai sensi dell'art. 12, comma 1, e dell'art. 4, comma 1, della L.R. n. 19 del 2008"*.
- [Ref8]** DGR 21 dicembre 2015, N. 2193 *"Art. 16 della L.R. n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n. 112"*
- [Ref9]** DGR 23 luglio 2018 N.1164 *"Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna"*
- [Ref10]** Linee guida AGI 2005 *"Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica"*;
- [Ref11]** UNI EN 1997-1:2005 *"Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali"*;

	Committente:  <small>The Italian Food Company Since 1877.</small>	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 7

[Ref12] UNI EN 1998-5:2005 "Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici".

2.2 Documentazione di riferimento

[Ref13] CNR – Regione Emilia Romagna – Servizio Geologico Sismico e dei Suoli, "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna (scala 1:250.000)" SELCA – 2004;

[Ref14] RER, "Geologia - Sismica e Suoli." [Online]: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/acque/idrogeologia-della-pianura-emiliano-romagnola>.

[Ref15] Cartografia geologica in scala 1:10.000 ed 1:50.000 edita dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna

[Ref16] Castellaro Silvia, Mulargia Francesco, Bianconi Luca "Passive Seismic Stratigraphy: A new efficient, fast and economic technique" in: Geologia Tecnica & Ambientale 3/2005, pp. 76÷102;

[Ref17] Comune di Parma, "Relazione sismica RE 05," in *Piano Strutturale Comunale (PSC) Comune di Parma*.

[Ref18] Comune di Parma – Regione Emilia-Romagna "Microzonazione sismica – Relazione illustrativa" Studio di microzonazione sismica – terzo livello di approfondimento – Giugno 2018

[Ref19] Dobry R., Vucetic M. (1991). Effect of soil plasticity on cyclic response. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 117 (1), pp.89-107.

[Ref20] Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica (ICMS). Conferenza delle Regioni e delle Province autonome. Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd.

[Ref21] Lanzo G., Silvestri F. (1999). Risposta sismica locale – Teoria ed esperienze. Helvelius Edizioni.

[Ref22] Kramer S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. Practice Hall.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 8

3 INQUADRAMENTO SISMICO

3.1 Classificazione sismica

Le prime misure legislative vennero prese a seguito dei terremoti che colpirono la Calabria nel 1783 causando più di 30.000 morti; dopo il terremoto che distrusse Reggio Calabria e Messina nel dicembre 1908, causando, si stima, 80.000 vittime, fu promulgata la prima classificazione sismica italiana, intesa come un elenco dei comuni soggetti a sisma. La lista comprendeva i comuni della Sicilia e della Calabria, gravemente colpiti dal terremoto, ed alcuni altri comuni per i quali si tramandava il ricordo di danneggiamenti subiti nel passato. La classificazione fu modificata a seguito di altri eventi sismici, aggiungendo progressivamente i nuovi comuni danneggiati.

Nel 1974 fu promulgata la nuova normativa sismica nazionale contenente i criteri di costruzione antisismica e la classificazione sismica, ovvero una lista dei comuni in cui dovevano essere applicate le norme costruttive; quest'ultima veniva ratificata con un decreto legislativo ed è pertanto aggiornabile qualora le nuove conoscenze in materia lo suggeriscano; fino al 1980 però vi sono stati inseriti semplicemente i comuni nuovamente colpiti da terremoti.

Gli studi sismologici e geologici, che seguirono i terremoti del 1976 in Friuli e del 1980 in Irpinia svolti nell'ambito del "Progetto Finalizzato Geodinamica" (Consiglio Nazionale delle Ricerche - CNR), portarono ad un sostanziale sviluppo delle conoscenze sulla sismicità del territorio nazionale. Infatti, in quella occasione, si passò per la prima volta dalla tradizionale prassi che prevedeva la classificazione delle aree *a posteriori* di un evento sismico verso una procedura di classificazione basata su elementi predittivi, ancorché abbastanza rudimentali.

La proposta del CNR fu presentata al governo e tradotta in una serie di decreti da parte del Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1980 ed il 1984. In Figura 3.1 è riportata la classificazione sismica, sotto forma di mappa tematica, del territorio italiano (Decreto MLP del 14/07/1984 e decreti successivi).

	Committente: Barilla <small>The Italian Food Company Since 1877.</small>	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 9

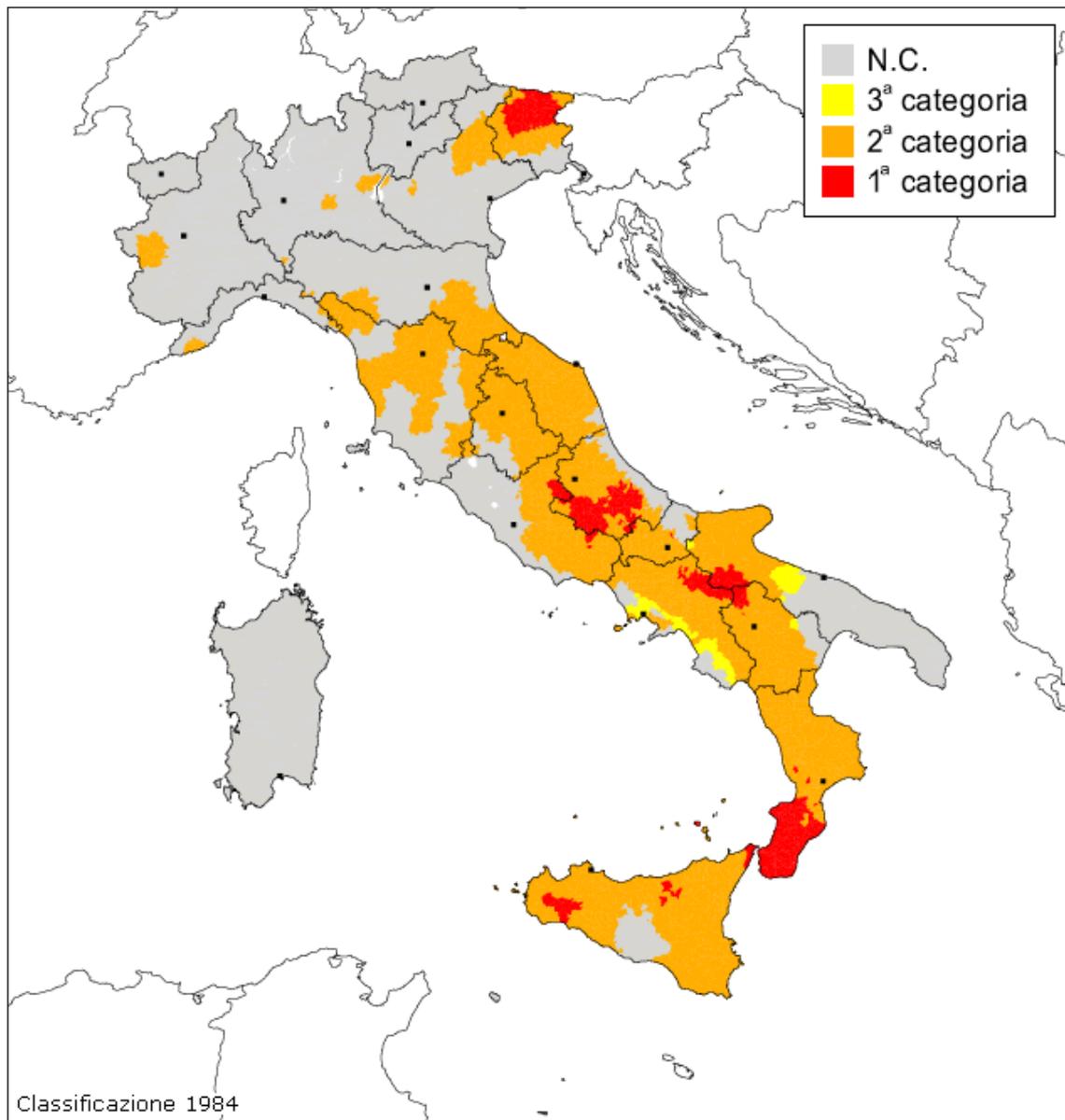


Figura 3.1. Mappa tematica della classificazione sismica del territorio italiano (1984). Decreto MLP del 14/07/1984 e decreti successivi.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 10

Nel 1996, al termine di un progetto pluriennale, il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti ha rilasciato due mappe di pericolosità basate su una zonazione sismo-genetica, ("*Mappa della pericolosità sismica in Italia - Accelerazione orizzontale di picco con $T = 475$ anni*" - Figura 3.2, e "*Mappa della pericolosità sismica in Italia - Intensità macrosismica con $T = 475$ anni*" - Figura 3.3), sulle base delle quali il Gruppo di Lavoro istituito dal Dipartimento della Protezione Civile compilò nuove mappe del rischio sismico a scala nazionale, tra cui una "*Mappa del danno percentuale atteso*" (Figura 3.4) e la "*Mappa delle massime intensità osservate nell'ultimo millennio*" (Figura 3.5).

Questi nuovi documenti normativi (le precedenti mappe e la mappa di classificazione sismica) costituirono le basi dell'Ordinanza del Sottosegretario alla Protezione Civile del 1998, che definì un elenco di "*Comuni ubicati nelle zone ad elevato rischio sismico*". L'Ordinanza evidenziava alcune differenze con la mappa della classificazione allora cogente. Nel 1998 un gruppo di lavoro ING-GNDT-SSN, anch'esso istituito dal Dipartimento della Protezione Civile, produsse una ipotesi di riclassificazione sismica (Figura 3.6).

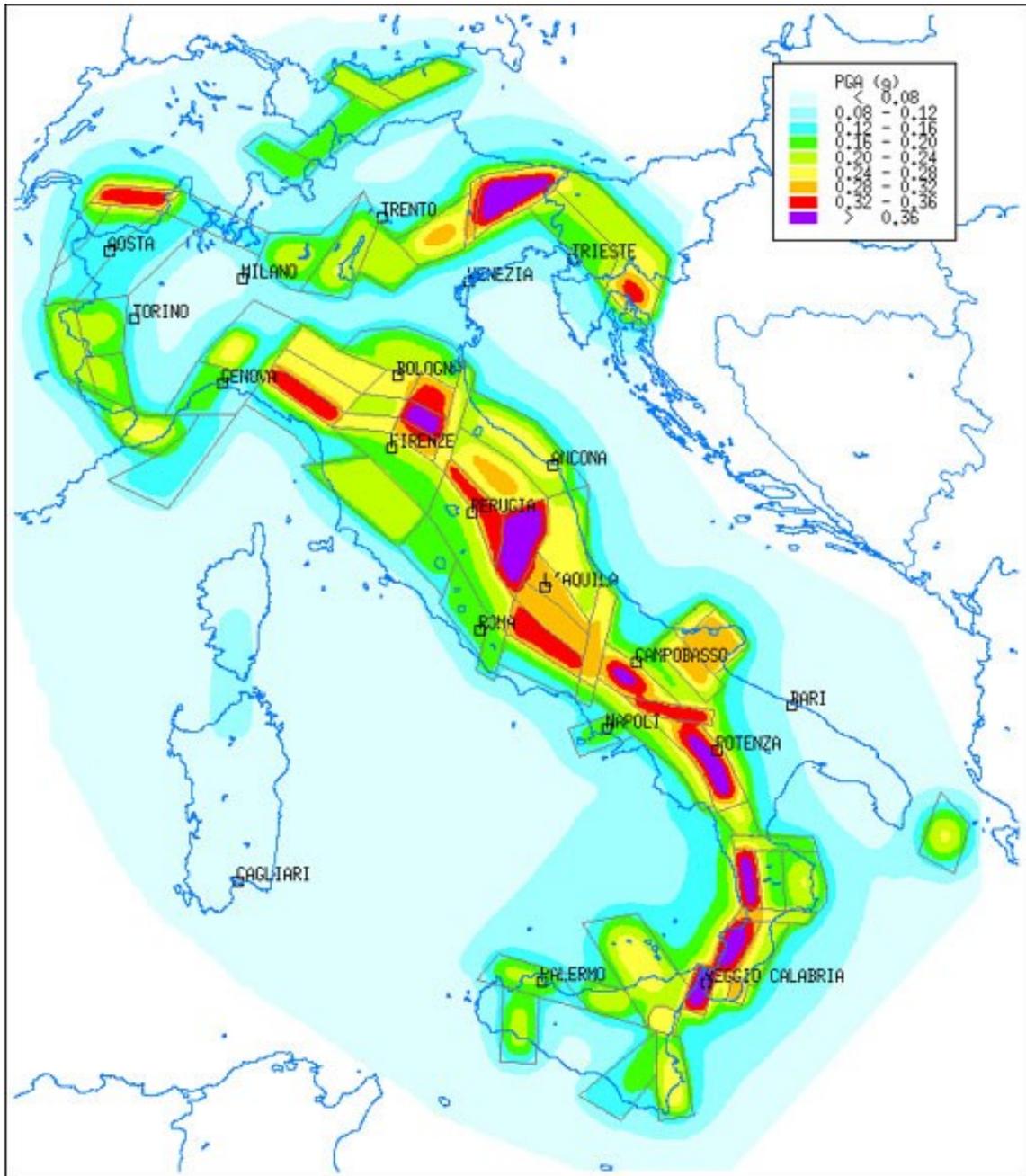


Figura 3.2. Mappa della pericolosità sismica in Italia - Accelerazione orizzontale di picco con $T = 475$ anni.

	Committente: Barilla The Italian Food Company Since 1877.	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 12

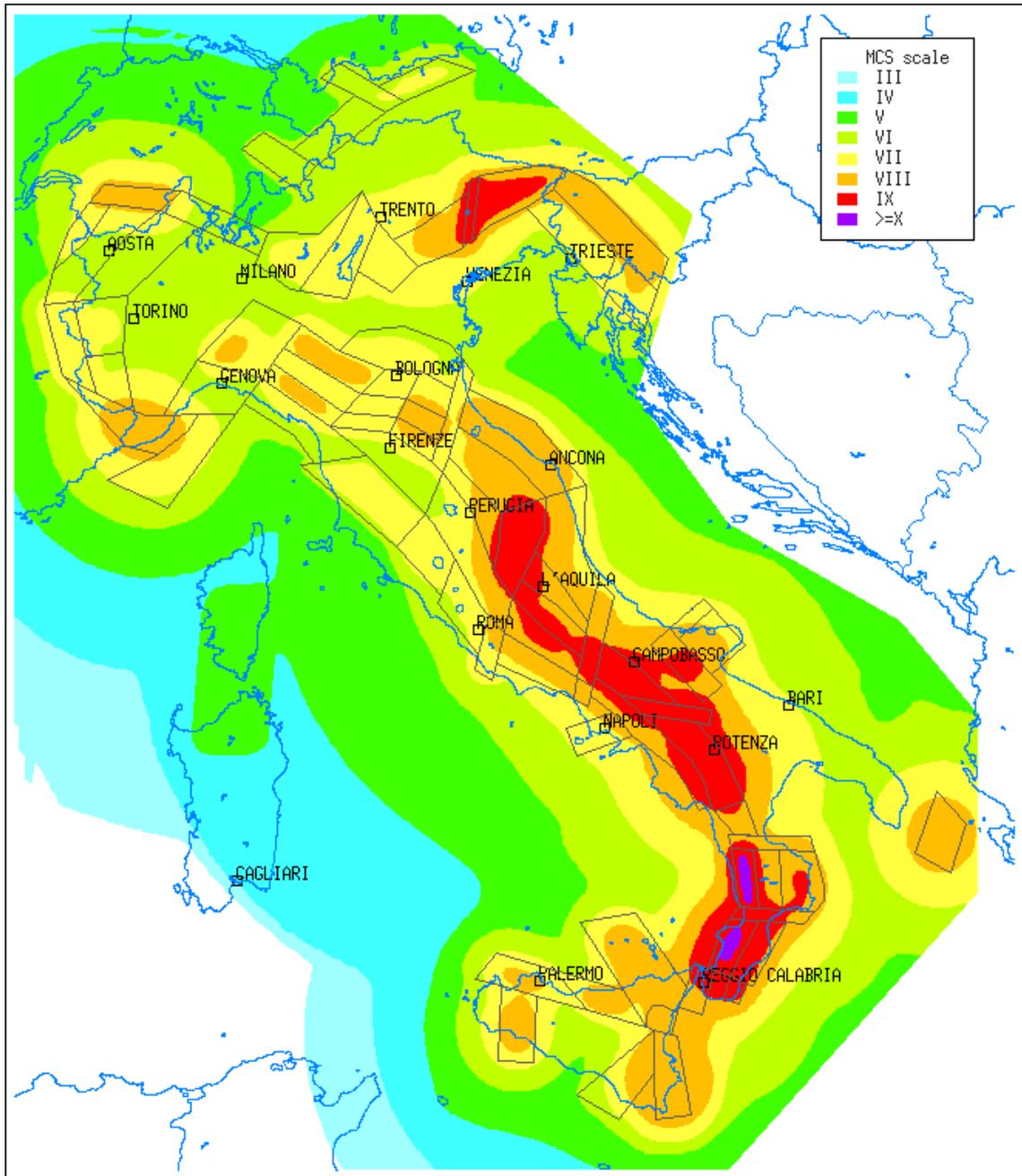


Figura 3.3. Mappa della pericolosità sismica in Italia - Intensità macrosismica con T=475 anni.

	Committente: Barilla <small>The Italian Food Company Since 1877.</small>	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 13

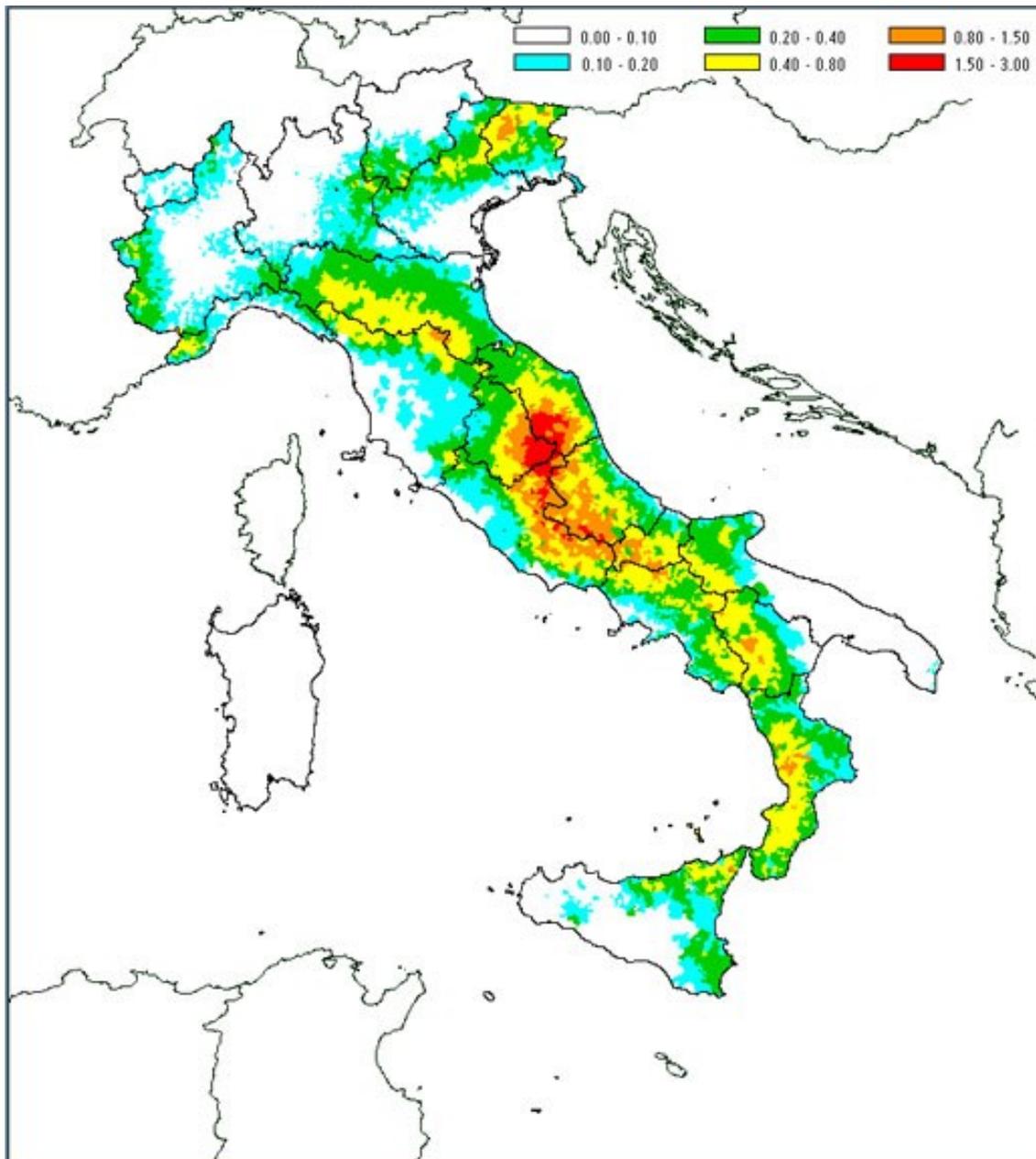


Figura 3.4. Rischio sismico: mappa del danno percentuale atteso.

	Committente:  The Italian Food Company Since 1877.	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 14

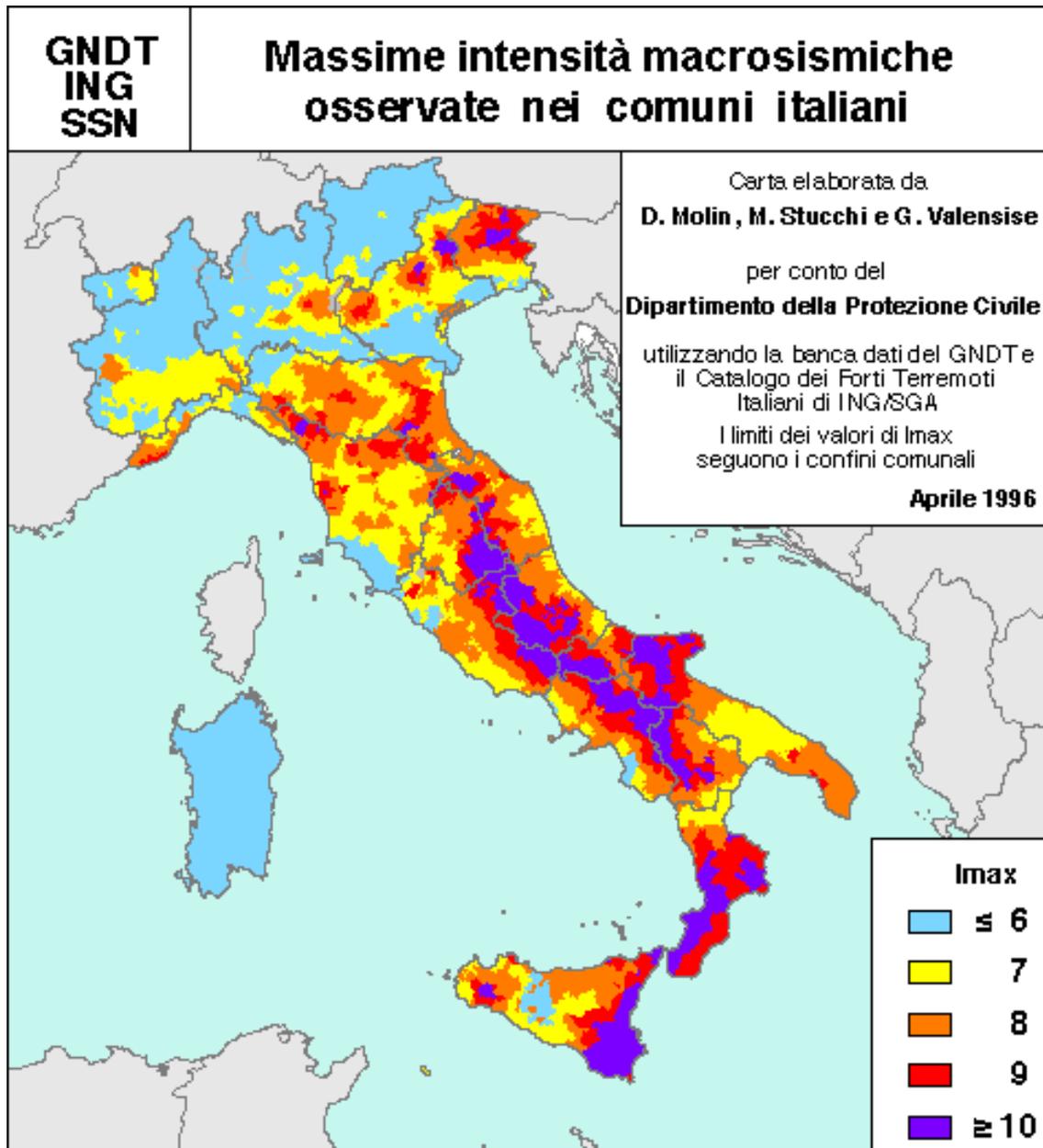


Figura 3.5. Rischio sismico: mappa delle massime intensità osservate nell'ultimo millennio.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 15

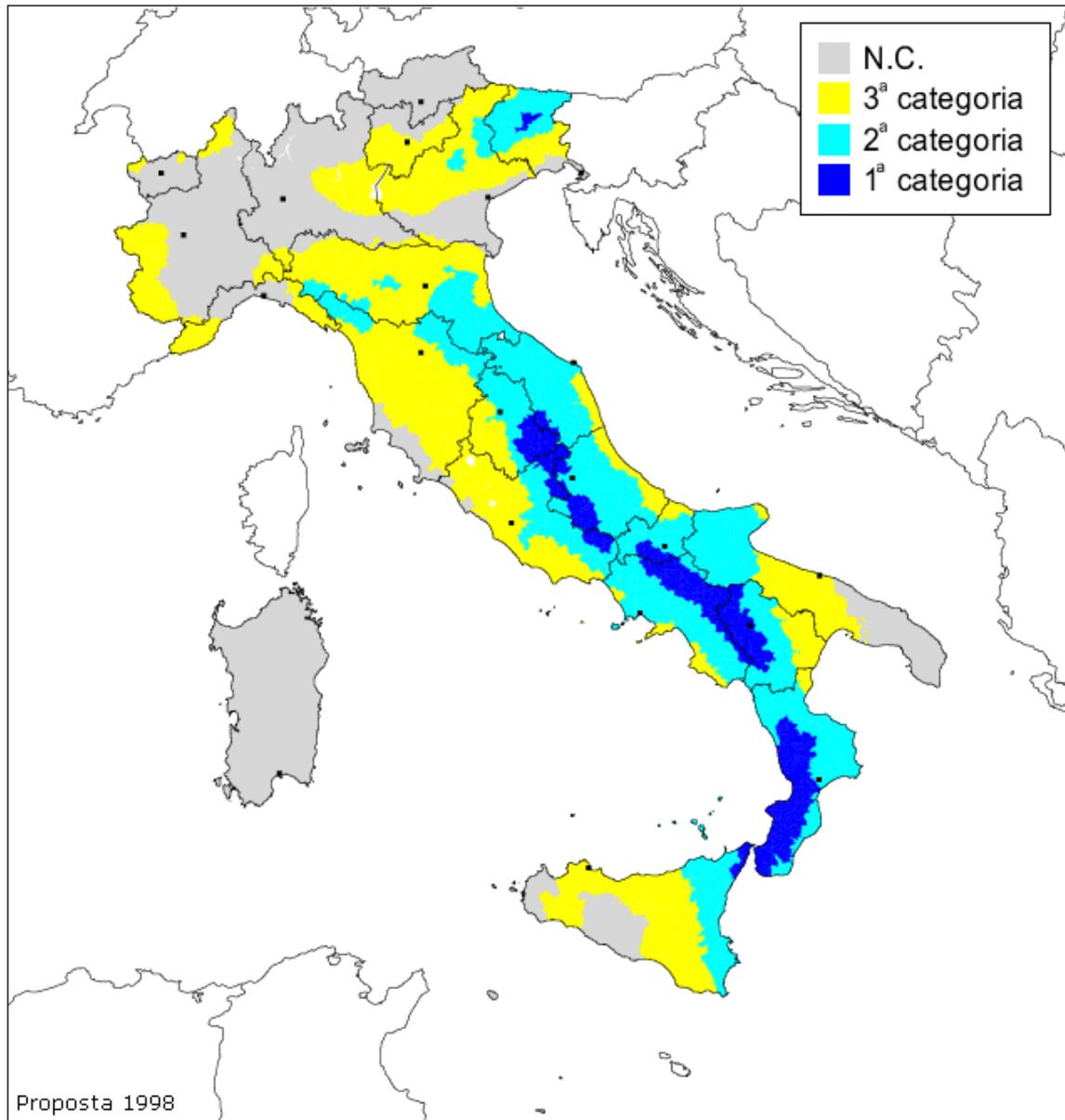


Figura 3.6. Proposta di riclassificazione sismica del territorio italiano (1998) a cura del Gruppo di Lavoro ING-GNDT-SSN costituito dalla Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 16

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20 Marzo 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" ha introdotto una nuova classificazione sismica suddividendo il territorio nazionale in quattro zone: ad alta sismicità la "zona 1", a media sismicità la "zona 2" e a bassa sismicità la "zona 3", mentre nella "zona 4" viene demandata alle regioni la facoltà di imporre o meno l'obbligo della normativa (Figura 3.7

Figura 3.7). L'Ordinanza n°3274/2003 stabilisce che le Regioni provvedono all'individuazione, formazione ed aggiornamento dell'elenco delle zone sismiche. In Figura 3.8 si riporta la zonazione sismica del territorio italiano con recepimento delle variazioni operate dalle singole Regioni (fino a marzo 2004).

La Regione Emilia-Romagna introduce con DGR 1164 del 23/07/2018 una propria modifica alle zone previste nell'Ordinanza n°3274/2003. In Figura 3.9 si riporta la riclassificazione sismica dell'Emilia-Romagna vigente. Parma è fra i Comuni in Zona 3.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 17

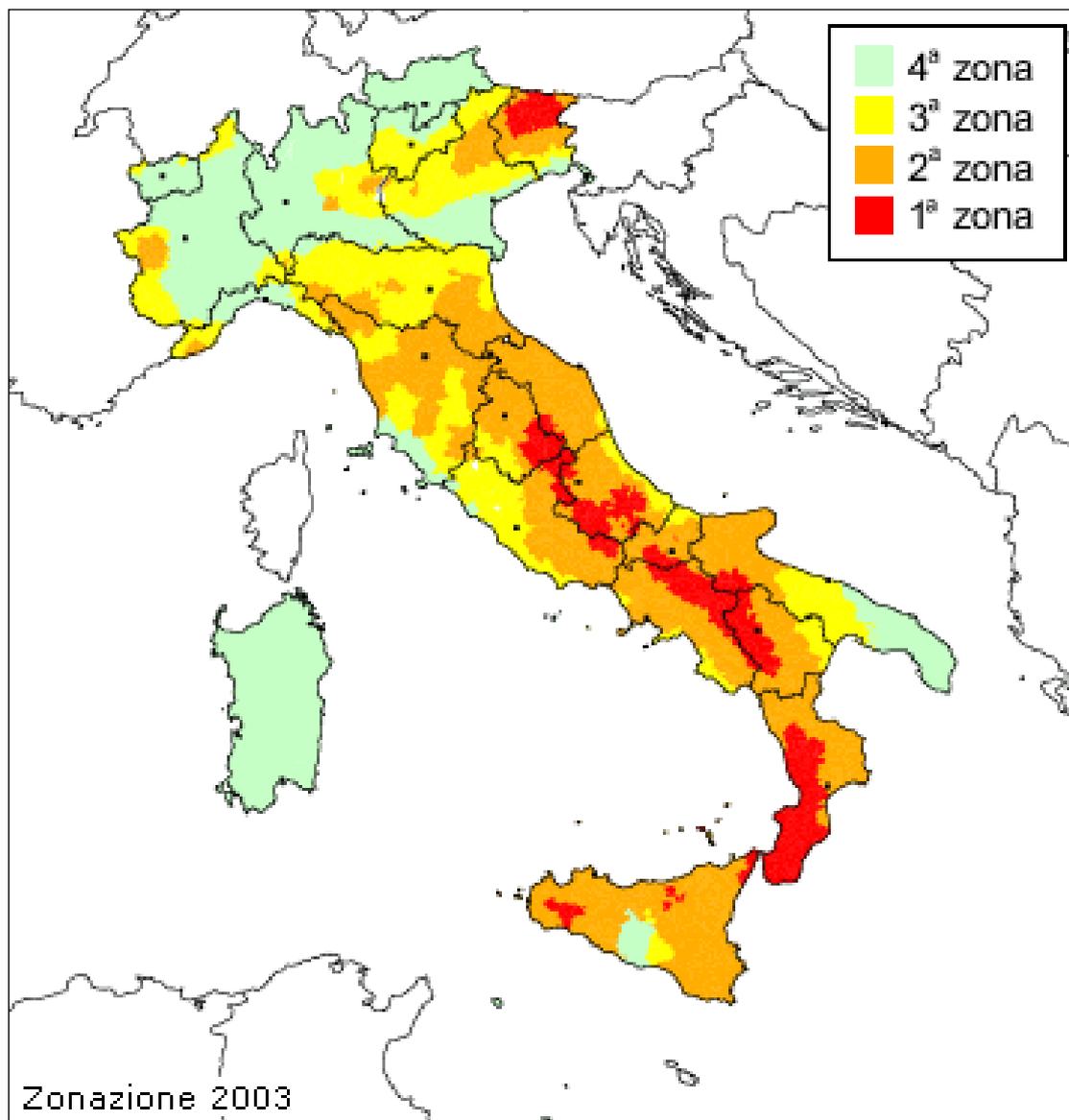


Figura 3.7. Zone sismiche del territorio italiano (2003). Ordinanza PCM n° 3274 del 20/03/2003

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 18

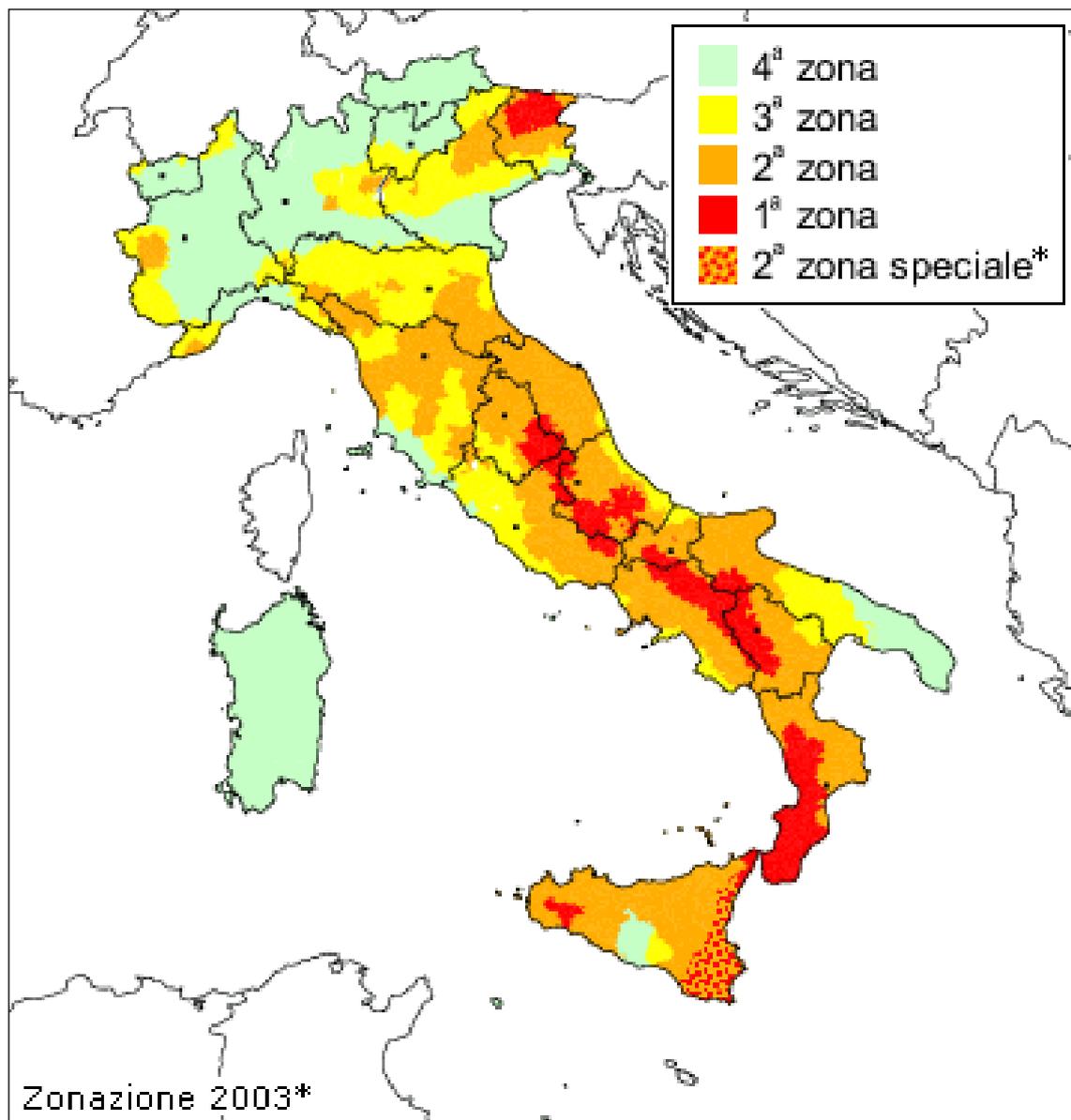


Figura 3.8. Zonazione sismica del territorio italiano con recepimento delle variazioni operate dalle singole Regioni (fino a marzo 2004).

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 19

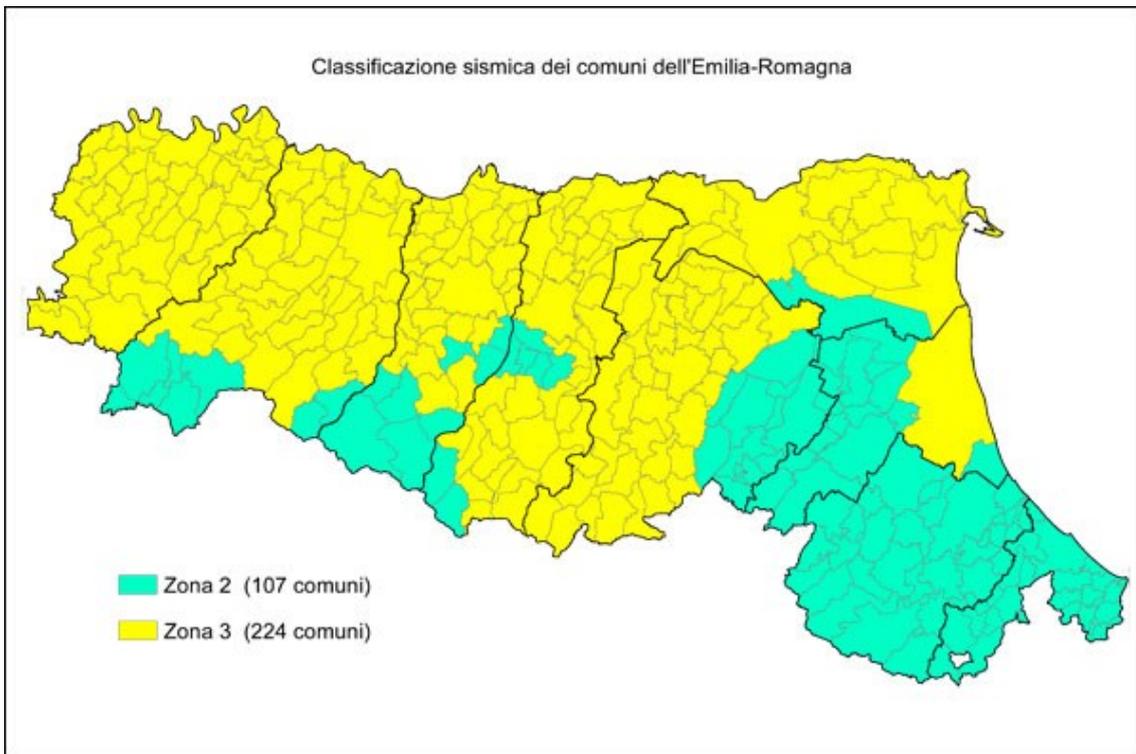


Figura 3.9. Riclassificazione sismica dell'Emilia-Romagna, Ordinanza del PCM n°3274/2003. Parma è in zona 3.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 20

3.2 Carta sismotettonica della regione Emilia Romagna

Per migliorare la conoscenza del proprio territorio e per comprenderne l'evoluzione recente e attuale, anche allo scopo di ridurre il rischio sismico, la Regione Emilia-Romagna ha promosso, in collaborazione con l'Istituto di Geoscienze e Georisorse del CNR (sezione di Firenze), il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze, il Dipartimento di Fisica (sezione Geofisica) dell'Università di Bologna e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, un progetto di ricerca per il confronto, la sintesi e la rappresentazione dei dati sismologici e degli elementi strutturali attivi.

Sono stati eseguiti appositi rilevamenti mirati, sia geologici che geomorfologici, e una revisione dei dati sismologici strumentali e storici. La base di partenza è stata la cartografia geologica regionale (alle scale 1:10.000 e 1:25.000 e le varie sintesi 1:250.000).

Preziose informazioni sul sottosuolo padano sono state acquisite anche grazie all'utilizzo di profili sismici ENI.

Nella carta sismotettonica sono stati correlati gli elementi attivi di superficie con quelli profondi sia in catena che in pianura, tenendo conto dei regimi di stress e, per quanto concerne i terremoti, anche della loro distribuzione ipocentrale secondo intervalli di profondità.

Nelle seguenti Figura 3.10 e Figura 3.11 si riporta uno stralcio della Carta Sismotettonica relativa all'area oggetto del presente studio e la rispettiva legenda.



ENSER srl
SOCIETÀ DI INGEGNERIA

Committente:

Barilla
The Italian Food Company Since 1877.

Documento:

Relazione sulla analisi di risposta sismica
locale

Lavoro:

Comprensorio di Pedrignano (Parma) di
Barilla G. e R. Fratelli SpA

Codice: S12032-PE-SR-006-1

Data: 27.04.2018

Pag.: 21

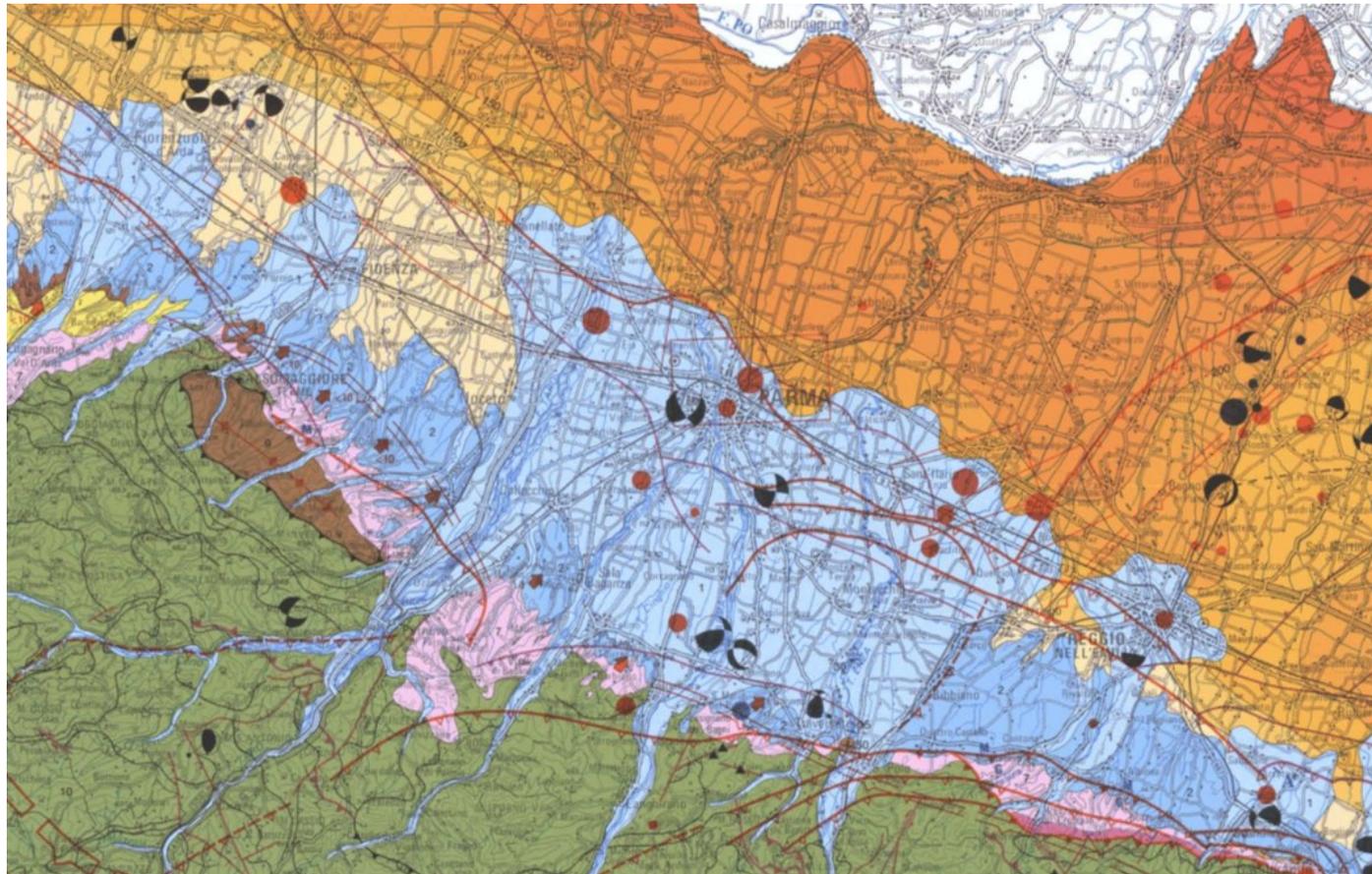


Figura 3.10. Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna – Scala 1:250 000 (stralcio non in scala).

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 22

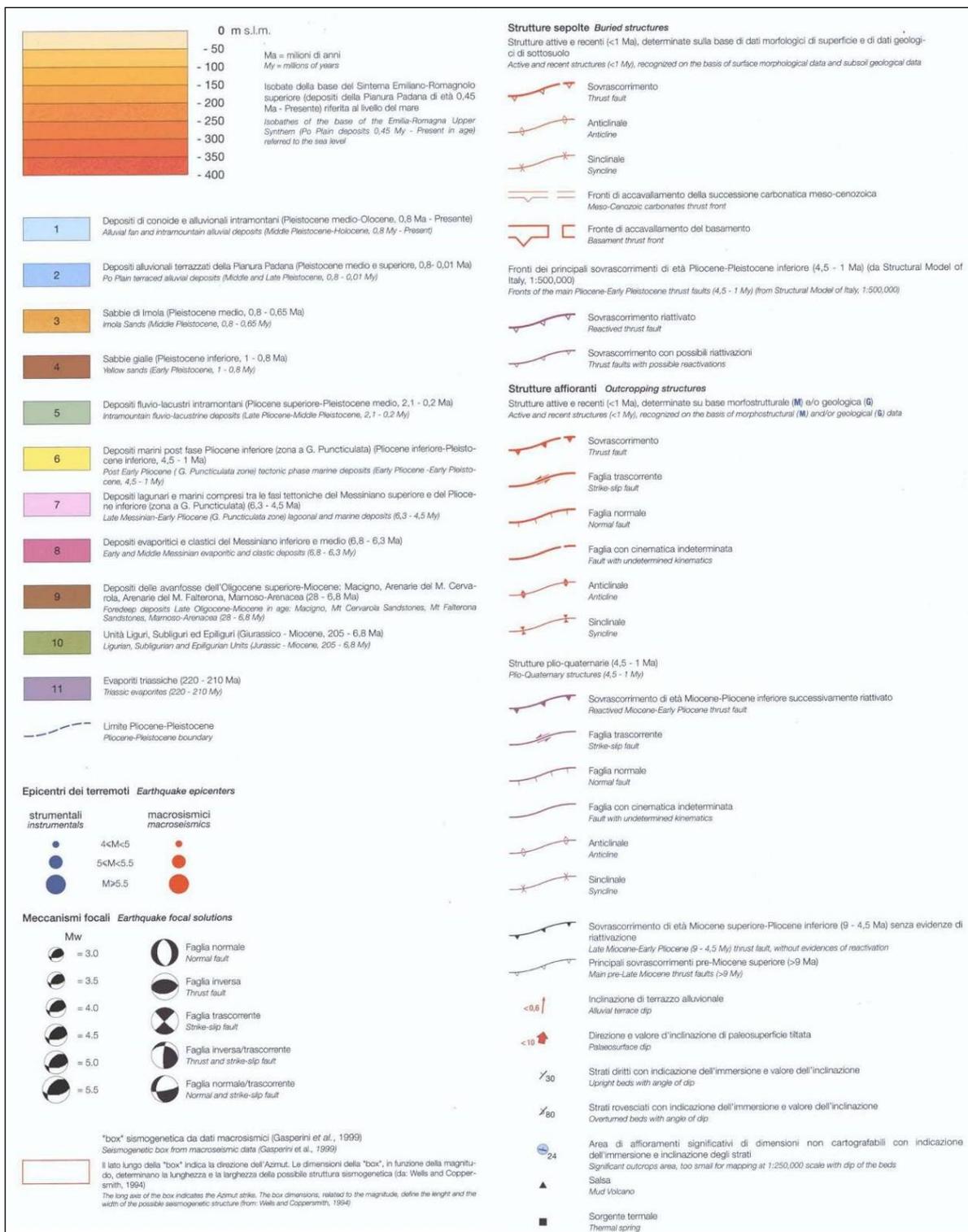


Figura 3.11. Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna – Legenda.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 23

1.1 Storia sismica dell'area di progetto

Facendo riferimento alle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno censiti nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), la storia sismica del Comune di Parma è riassunta nella Tabella 3.1.

Data	Effetti	in occasione del terremoto di:	
Ye Mo Da Ho Mi	Is (MCS)	Area epicentrale	Ix Ms
1438 06 10 02	80	PARMENSE	80 55
1409 11 15 11 15	70	PARMA	70 50
1572 06 04 22	70	PARMA	70 50
1628 11 04 15 15	70	PARMA	70 50
1738 11 05 00 30	70	PARMA	70 50
1818 12 09 18 52	70	LANGHIRANO	75 52
1831 09 11 18 15	70	PARMENSE	75 50
1832 03 13 03 20	70	REGGIANO	75 52
1971 07 15 01 33	70	PARMENSE	80 54
1857 02 01	65	PARMENSE	65 47
1873 09 17	65	LIGURIA ORIENTALE	65 47
1920 09 07 05 55	65	GARFAGNANA	100 65
1695 02 25 05 30	60	ASOLO	90 64

Tabella 3.1. Osservazioni sismiche (111) disponibili per Parma (PR) [44.801, 10.329].

Con:

Ye = anno **Mo** = mese **Da** = giorno **Ho** = ora **Mi** = minuti

Is = intensità in sito (scala Mercalli*10);

Ix = intensità all'epicentro (scala Mercalli*10);

Ms = intensità in sito (scala Richter*10);

	Committente:  <small>The Italian Food Company Since 1877.</small>	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 24

4 CAMPAGNA INDAGINE FINALIZZATA ALLA DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO SISMICO

Le indagini geotecniche e sismiche programmate ed eseguite nel Comprensorio hanno lo scopo di ricostruire il modello geotecnico sismico di riferimento per le valutazioni sulla risposta sismica locale.

Per identificare i sismostrati, sono stati esaminati i risultati derivati dalle seguenti prove:

- **n.3 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo** eseguiti nel giugno e luglio 2013 dalla società SPG di Adria (RO) di lunghezza di 45m (S1), 75.5m (S2) e 60m (S3),
- **n.6 prove penetrometriche statiche con piezocono**, 2 delle quali con punta sismica per la misura ad intervalli di 1 m di profondità della velocità delle onde sismiche di taglio (V_s). Le prove, realizzate con tecnica *true interval*, hanno raggiunto profondità di 30.5 m (SCPTU 1) e 33.50 m (SCPTU 2);
- **n.1 rilievo sismico mediante tromografo digitale** (T1), eseguiti per individuare le frequenze di risonanza dei depositi (ubicazione in Figura 4.1);
- **n.1 stendimento sismico a rifrazione** con tecnica tomografica e misura delle velocità delle onde di taglio della lunghezza di 300m.

In Appendice 1 si riportano i rapporti delle prove eseguite.

Durante le perforazioni dei sondaggi sono state eseguite prove SPT nelle ghiaie e prelievo di campioni indisturbati/rimaneggiati, da cui sono state eseguite prove di laboratorio per la caratterizzazione fisico-meccanica. In Tabella 4.1 si riporta il quadro dei sondaggi, mentre in Tabella 4.2 un computo metrico delle indagini eseguite.

ID Prova	Profondità (m da p.c.)	nr.SPT	Campioni indisturbati/rimaneggiati
S1	45.00	1	4 CI, 1 CR
S2	75.50	3	5 CI
S3	60.00	4	4 CI

Tabella 4.1. Quadro riassuntivo dei sondaggi.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 25

ID Prova	Profondità (m da p.c.)	Cono sismico
CPTU1	27.00	-
CPTU2	32.30	-
CPTU3	34.60	-
CPTU4	35.20	-
SCPTU1	35.10	✓
SCPTU2	35.80	✓

Tabella 4.2. Quadro riassuntivo delle prove penetrometriche.

In Tabella 4.3 si riporta il quadro complessivo delle prove di laboratorio eseguite.

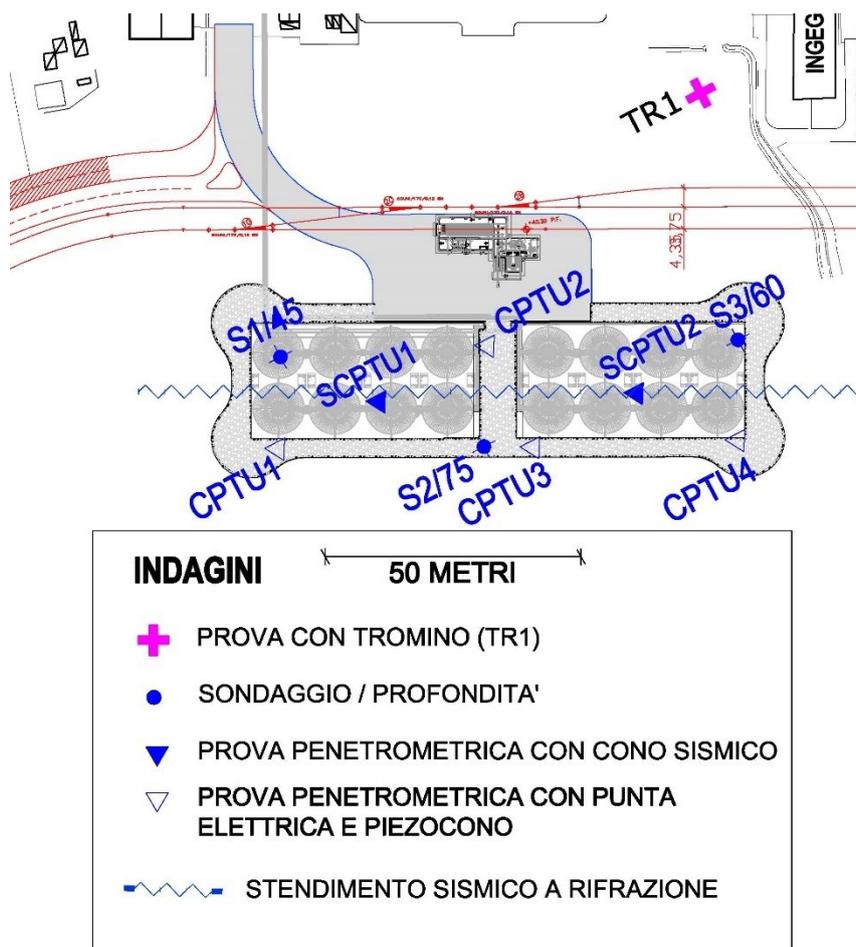


Figura 4.1. Ubicazione delle indagini sismiche nel complesso Barilla di Pedrignano.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 26

Sondaggio	ID campione	Profondità (m da p.c.)	Estrazione campioni e descrizione	Determinazione Contenuto in acqua	Determinazione Peso di volume	Analisi Granulom. per vagliatura	Analisi Granulometri ca combinata	Determinazione Limiti di Atterberg	Classificazione USCS	Prova triassiale TxCIU	Prova di compressione edometrica IL	Calcolo cv-kv-mv-ca (prova edo)
Sondaggio S1	CI-A	6.00÷6.50	√	√	√	√		√	√			
	CI-B	16.50÷17.00	√	√	√	√		√	√	√		
	CI-C	31.50÷32.00	√	√	√	√		√	√			
	CI-D	42.00÷42.50	√	√	√		√	√	√		√	√
	CR-1	5.20÷5.40	√	√	√	√						
Sondaggio S2	CI-A	20.00÷20.60	√	√	√		√	√	√		√	√
	CI-B	30.50÷31.00	√	√	√		√	√	√		√	√
	CI-C	42.00÷42.60	√	√	√	√				√		
	CI-D	60.00÷60.50	√	√	√	√		√	√			
	CI-E	69.50÷70.00	√	√	√	√		√	√		√	√
Sondaggio S3	CI-A	2.00÷2.60	√	√	√	√						
	CI-B	12.50÷13.20	√	√	√	√		√	√			
	CI-C	24.50÷25.00	√	√	√		√	√	√	√		
	CI-D	43.50÷44.00	√	√	√		√	√	√		√	√

Tabella 4.3. Quadro riassuntivo delle prove di laboratorio sui campioni dei sondaggi S1, S2 ed S3.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 27

5 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA

5.1 Definizione della stratigrafia superficiale (0÷75m)

La litologia dei terreni esaminati è stata determinata sulla base di:

- Sondaggio stratigrafico a carotaggio continuo;
- Analisi granulometriche di laboratorio eseguite su campioni di terreno;
- Correlazioni tra la litologia del terreno ed i valori di resistenza alla punta e di rapporto di frizione ricavati da prove penetrometriche statiche (CPTU) [Robertson, 2009].

Con riferimento a tali metodologie e alle indagini disponibili sono state individuate le seguenti unità geotecniche:

- ARGILLE SUPERFICIALI: terreni alluvionali a grana prevalentemente fine costituenti i primi 34m di profondità da piano campagna: miscele di limi argillosi e meno frequentemente da limi sabbiosi. I profili di resistenza delle CPTU indicano una buona omogeneità, senza variazioni laterali apprezzabili di consistenza. Per quanto riguarda la dimensione verticale, i terreni appaiono leggermente sovraconsolidati nei primi 20m, mentre tendono alla normalconsolidazione in basso;
- GHIAIE E SABBIE: terreni grossolani: sono ghiaie e sabbie grossolane, occasionalmente limose, organizzati in due orizzonti principali localizzati fra 34m e 38m di profondità e fra 45m e 58m di profondità;
- ARGILLE PROFONDE: terreni alluvionali profondi a grana prevalentemente fine: limi argillosi e argille limose sovraconsolidati, localizzati fra i due banchi di ghiaia ed al di sotto del banco di ghiaia più profondo.

I terreni risultano saturi dal primo metro da piano campagna.

In Figura 5.1 è rappresentata la colonna stratigrafica identificata dalle indagini. La totalità delle indagini conferma la distribuzione piano-parallela dei corpi sedimentari individuati e l'assenza nell'area di progetto di eteropie o variazioni sostanziali laterali.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 28

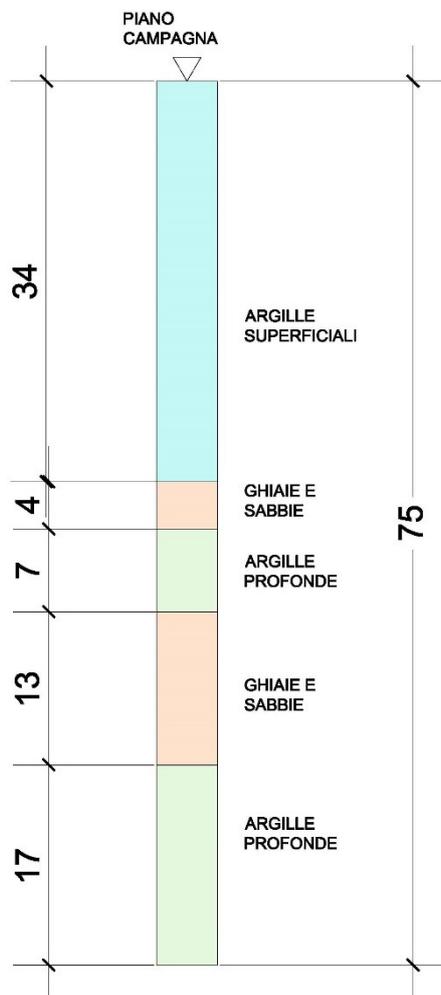


Figura 5.1 – Profilo stratigrafico dei primi 75m (da indagini).

5.2 Definizione della stratigrafia profonda

Le informazioni provenienti dalle indagini geognostiche raggiungono la profondità di 75m da piano campagna. Per le valutazioni sulla stratigrafia profonda, è stata studiata la sezione geologica regionale n.025, pubblicata dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna e disponibile in rete.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 29

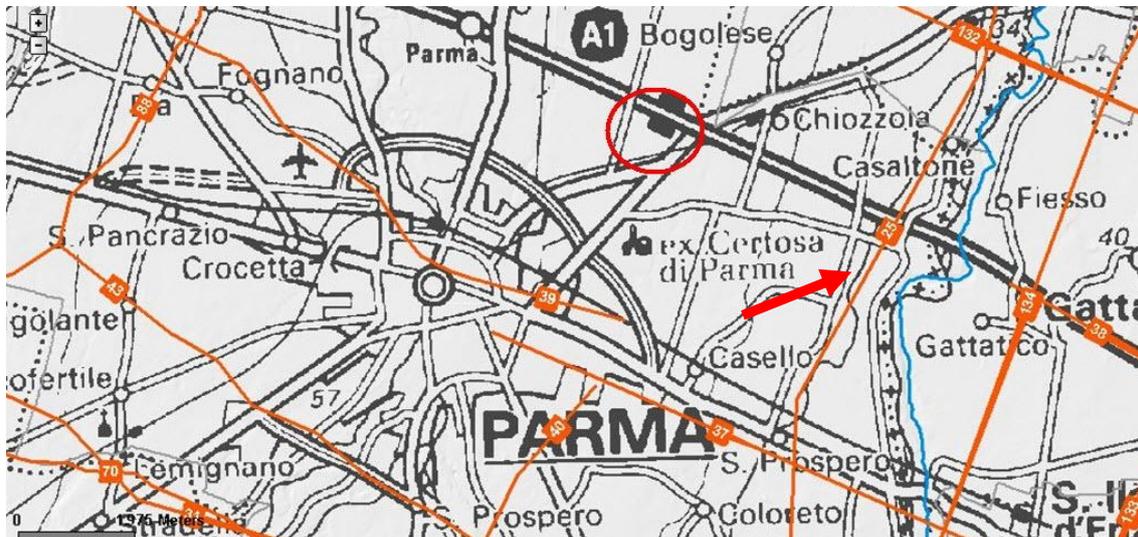


Figura 5.2. Posizione del Comprensorio (cerchio rosso) e della sezione n.025 (freccia rossa).

Si tratta della sezione geologica ad andamento antiappenninico più prossima al Comprensorio ed è ipotizzabile che le informazioni in essa contenute possano essere estese con buona approssimazione anche al Comprensorio in termini di passaggi fra i diversi cicli deposizionali, che costituiscono le principali interfacce sismiche in profondità. In corrispondenza della fascia di pianura che include il Comprensorio Barilla, possono essere distinte, a profondità superiori ai 75m, le seguenti interfacce stratigrafiche:

Profondità (m da p.c.)	Unità idrostratigrafiche
120	Passaggio A2÷A3
150	Passaggio A3÷A4
200	Passaggio A4÷B1
480	Passaggio B4÷C1

Tabella 5.1. Interfacce stratigrafiche profonde individuate.

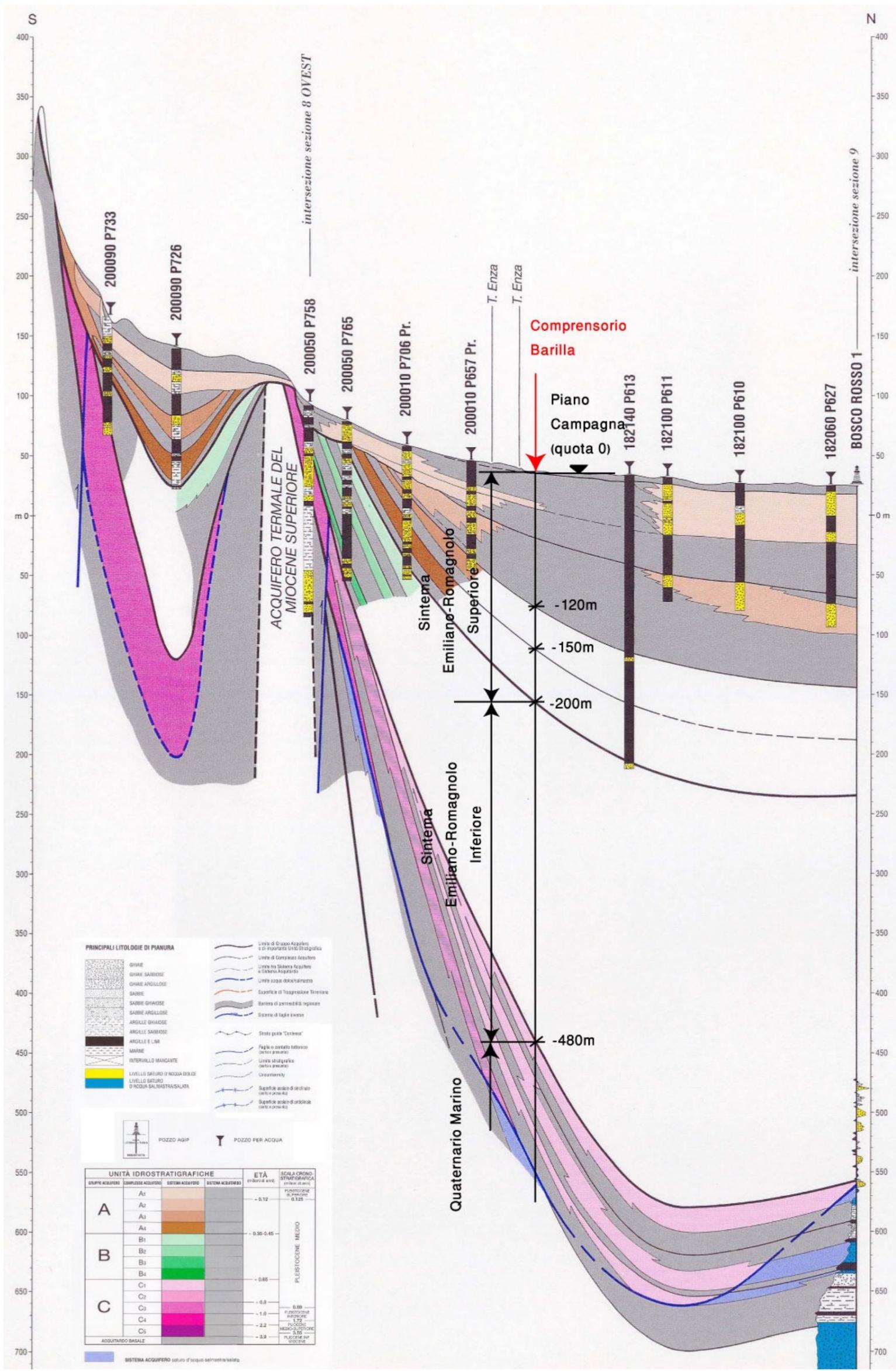


Figura 5.3. Sezione geologica regionale 025 e profondità delle discontinuità stratigrafiche.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 31

6 DEFINIZIONE DEI PARAMENTRI GEOTECNICI

6.1 Caratteristiche geotecniche salienti

Nel seguito si riportano le caratteristiche geotecniche salienti dei terreni locali, utili ai fini della successiva caratterizzazione sismica del sito. La definizione dei parametri geotecnici descritti di seguito si basa su correlazioni di comune utilizzo in campo geotecnico, a partire da:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati successive prove di laboratorio geotecnico;
- prove speditive eseguite sulle carote dei sondaggi;
- prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo SPT;
- prove penetrometriche statica meccaniche (CPT) e con piezocono (CPTU), con misura della resistenza di punta q_c , dell'attrito laterale f_s e della pressione interstiziale u_2 .

6.1.1 Proprietà fisiche

6.1.1.1 Peso di volume

Nei seguenti Grafico 6.1 vengono riportate le determinazioni in epigrafe.

	Committente: Barilla <small>The Italian Food Company Since 1877.</small>	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 32

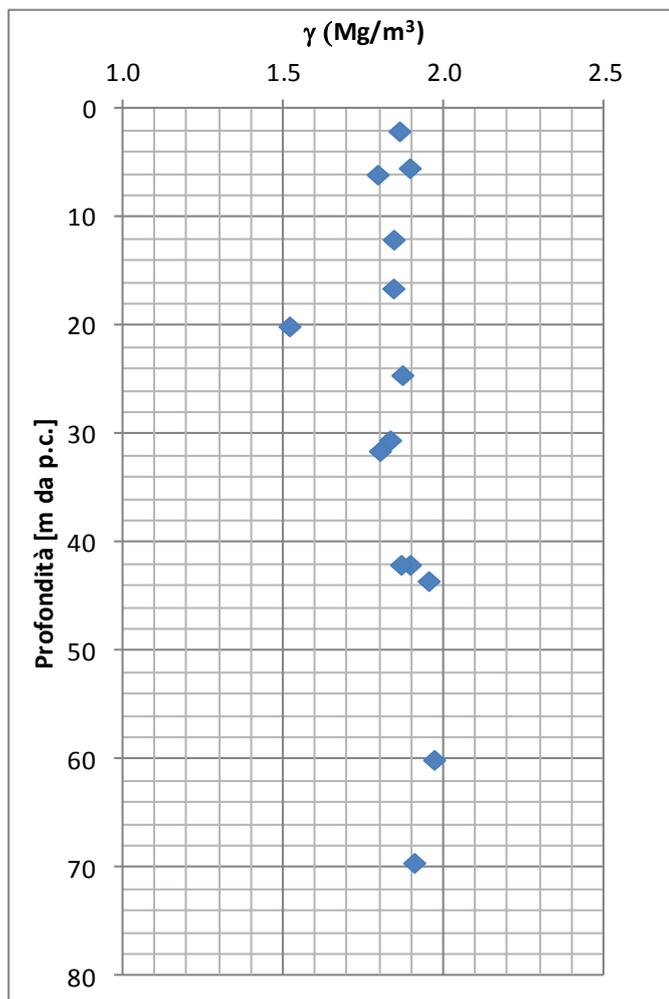


Grafico 6.1. Peso dell'unità di volume naturale da laboratorio.

	Committente:  <small>The Italian Food Company Since 1877.</small>	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 33

6.1.1.2 Distribuzione granulometrica

Nella seguente Tabella 6.1 vengono riportati i risultati da analisi granulometrica, secondo le 4 frazioni granulometriche principali.

Sondaggio n°	Campione n°	Profondità m		Analisi granulometrica			
				G (%)	S (%)	L (%)	A (%)
S1	A	6	6.5	0.00	1.36	98.64	
S1	B	16.5	17	0.00	0.89	99.11	
S1	C	31.5	32	0.00	0.00	99.19	
S1	D	42	42.5	0.00	0.17	24.25	75.58
S1	R1	5.4	5.6	0.00	71.54	28.46	
S2	A	20	20.5	0.00	2.04	33.90	64.06
S2	B	30.5	31	0.00	1.95	27.40	70.65
S2	C	42	42.5	0.00	0.38	29.18	70.43
S2	D	60	60.5	0.00	0.25	29.02	70.73
S2	E	69.5	70	0.00	0.02	16.82	83.16
S3	A	2	2.6	0.25	1.45	98.31	
S3	B	12	12.5	0.00	0.89	99.11	
S3	C	24.5	25	0.00	0.04	26.65	73.30
S3	D	43.5	44	0.00	3.64	53.83	42.53

Tabella 6.1. Analisi granulometriche.

6.1.1.3 Limiti di Atterberg

I limiti di Atterberg sono stati ottenuti dalle prove di laboratorio e sono riportati nella Carta di Plasticità di Casagrande in Grafico 6.2.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 34

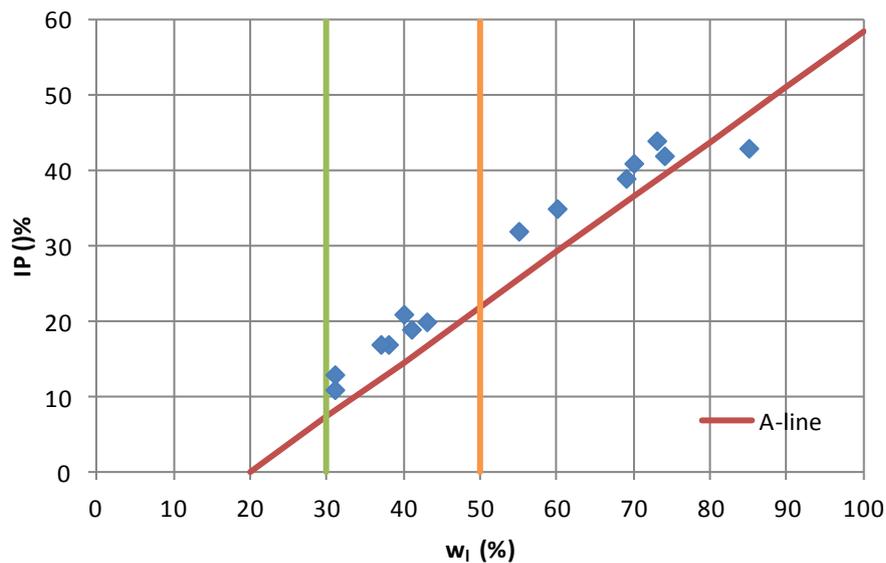


Grafico 6.2. Carta di plasticità di Casagrande.

6.1.2 Caratteristiche di consistenza dei terreni a grana fine

La consistenza dei terreni a grana fine, che è correlabile alla rigidezza degli stessi in condizioni dinamiche, è stata valutata in termini di resistenza non drenata a partire:

- dai valori di q_c misurati durante l'esecuzione delle prove penetrometriche statiche;
- dai valori di pocket penetrometer sulle carote dei sondaggi;
- da valori di laboratorio (prove TxUU delle prove per la campagna del 2005).

I valori di resistenza non drenata (c_u) sono stati graficati in funzione della profondità e sono state riportate anche le rette teoriche della resistenza drenata per terreni omogenei NC (Ladd, 1977).

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 35

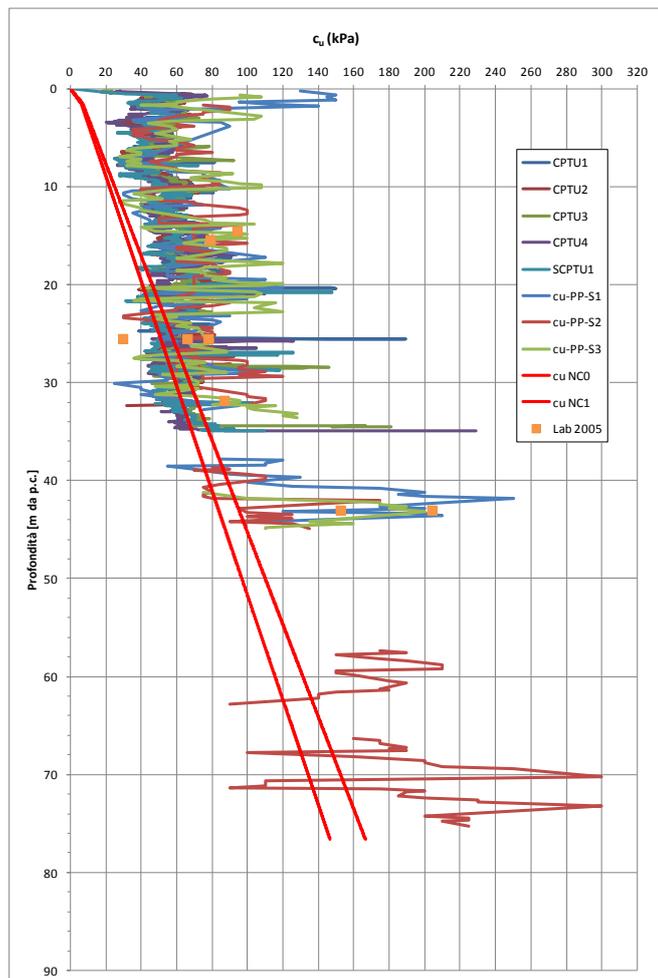


Grafico 6.3. Resistenza non drenata.

6.1.3 Caratteristiche di addensamento dei terreni incoerenti

Lo stato di addensamento dei terreni a grana grossa, che è correlabile alla rigidezza degli stessi in condizioni dinamiche, è stata valutata dalle prove SPT, il cui valore rappresentativo - N - è risultato sempre >50 a (elevato stato di addensamento).

6.2 Caratterizzazione sismica dei terreni

La caratterizzazione sismica dei terreni è stata effettuata sulla base di:

- Prove SCPTU

I profili di velocità delle onde SH derivati dalle prove down-hole eseguite nei fori delle SCPTU sono riportati in Figura 6.1. Il profilo si interrompe al tetto del primo

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 36

banco di ghiaia, stante l'impossibilità di attraversare i terreni ciottolosi con la punta statica del penetrometro.

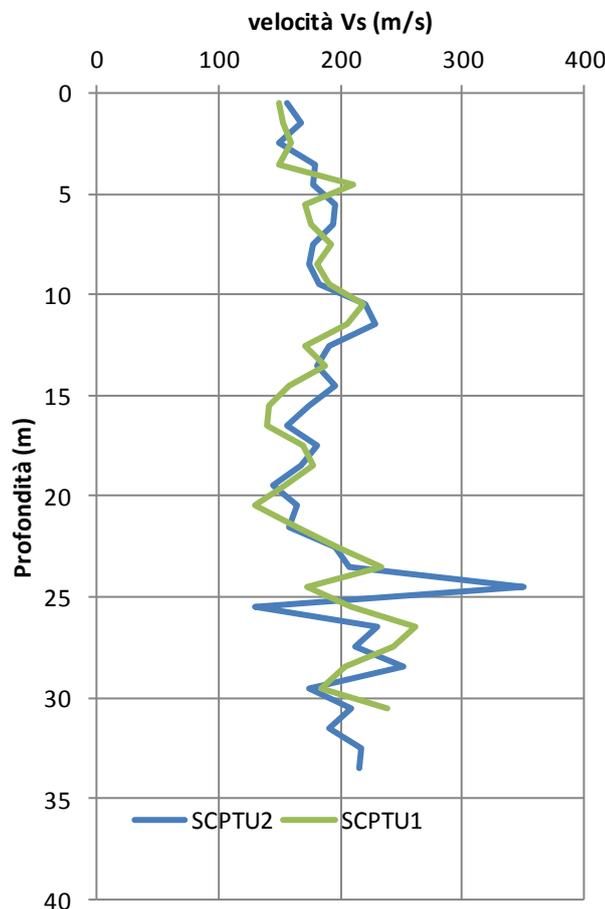


Figura 6.1. Profili V_{SH} e interpolazione.

- Stendimento sismico a rifrazione

Per valutare il comportamento sismico dei terreni oltre i 35m, è stato realizzato uno stendimento sismico a rifrazione della lunghezza di 300m, elaborato mediante tecnica tomografica e misura delle velocità delle onde di taglio. Il risultato dell'elaborazione tomografica è riportato nella sezione in Figura 6.2, mentre in Figura 6.3 è riportato il profilo sismico in onde S ricavato dalla parte centrale della medesima sezione tomografica.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 37

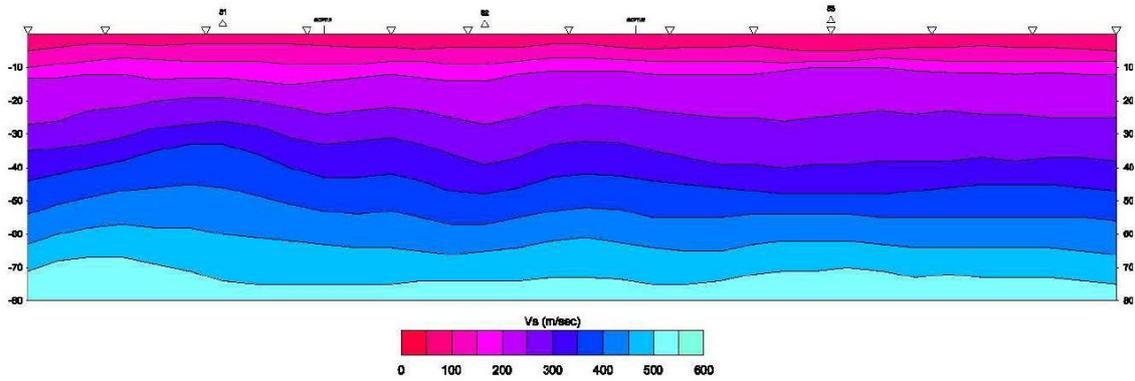


Figura 6.2. Sezione tomografica sismica in onde S.

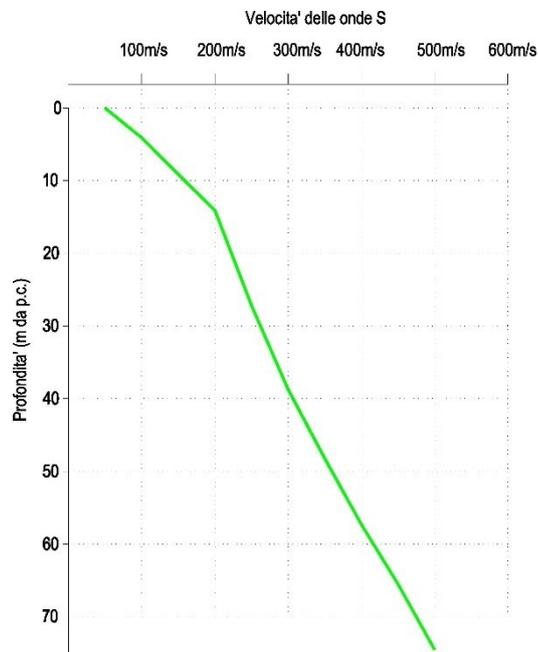


Figura 6.3. Profilo V_s ricavato dalla sezione sismica nel punto mediano.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 38

- Sismica passiva

E' stata eseguita una misura di sismica passiva con stazione singola (prova tomografica). I risultati della prova, in termini di rapporto spettrale H/V^1 delle singole componenti del moto in funzione della frequenza è riportato in Figura 6.4; è individuato un picco di frequenza a 0.94 Hz ed un picco secondario, meno percettibile, intorno a 1.2 Hz.

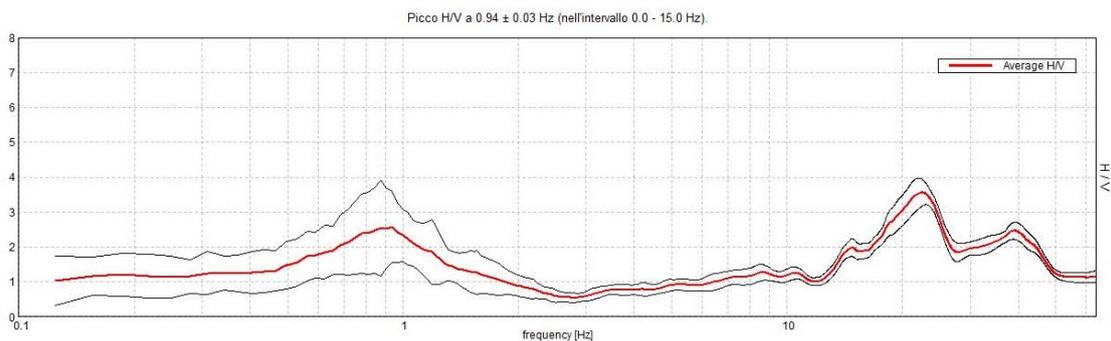


Figura 6.4. Spettro di V_{SH} (prova T1).

Informazioni sismiche indirette derivate da prove geotecniche

La valutazione delle velocità delle onde di taglio nei terreni incoerenti ghiaiosi può essere stimata per mezzo della correlazione di Ohta e Goto (1978), che lega la velocità delle onde di taglio al valore di N derivato da prove SPT ed alla profondità di esecuzione (z). L'interpretazione conduce ad individuare un profilo di velocità medio pari a **440 m/s** per il banco di ghiaia superiore e pari a **470 m/s** per quello inferiore.

¹ Il calcolo del rapporto H/V si sviluppa secondo i seguenti *step*:

1. Registrazione delle 3 componenti (2 orizzontali e 1 verticale) dei microtremori sismici;
2. Scomposizione dei segnali in finestre temporali, nel caso specifico di almeno 40 s ognuna;
3. Scelta delle finestre nelle quali il segnale registrato risulta maggiormente stazionario (almeno 15);
4. Calcolo e smussamento dello spettro di ampiezza ricavato tramite la trasformata di Fourier per ognuna delle finestre selezionate;
5. Calcolo del rapporto H/V per ogni finestra;
6. Calcolo della media dei rapporti H/V delle singole finestre e costruzione della curva H/V definitiva.

Il picco a più elevato rapporto H/V e a frequenza più bassa, individuato sulla curva definitiva, è rappresentativo del salto di impedenza sismica maggiore. La frequenza corrispondente a tale picco è la frequenza fondamentale del sito (f_0).

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 39

7 AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Le azioni sismiche di progetto previste dalle vigenti norme tecniche (NTC), in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito in esame, definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e con superficie topografica orizzontale (di categoria A quale definita dalle NTC), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in pseudo - accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$; ciascuna forma spettrale si caratterizza di una terna di valori:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale;
- T_c^* : parametro per il calcolo del periodo T_c , periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

ed è associata a prefissati tempi di ritorno dell'azione sismica, o, in riferimento alla vita nominale delle costruzioni, a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R della costruzione stessa. Il periodo di riferimento V_R viene ricavato con la seguente espressione:

$$V_R = V_N \cdot C_u = 50 \text{ anni.}$$

Dove:

V_N = vita nominale dell'opera;

C_u = Coefficiente d'uso, funzione della classe d'uso dell'opera.

La vita nominale dell'opera V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo per lo quale è destinata.

Nel caso in esame, al fine di determinare l'azione sismica di riferimento e lo spettro ad essa associato, si assumerà una vita nominale pari a **50 anni** ed una "Classe II", a cui corrisponde un coefficiente d'uso **$C_u = 1.0$** .

Lo spettro elastico di pseudo-accelerazione è definito per il sito in esame dalle seguenti coordinate.

- Latitudine sito: 44°,82490;
- Longitudine sito: 10°,3745;

In riferimento ai vari stati limite, si ottengono le seguenti tabelle:

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 40

Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	F₀ [-]	T_c* [s]
SLO	30	0.043	2.520	0.239
SLD	50	0.053	2.514	0.257
SLV	475	0.127	2.496	0.291
SLC	975	0.164	2.481	0.298

Tabella 7.1. Parametri e tempo di ritorno in funzione dello stato limite.

Nel caso in esame, l'analisi verrà eseguita in riferimento allo **SLV**, con una accelerazione massima di base pari a 0.127g.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 41

8 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

8.1 Premessa

Uno dei più importanti e ricorrenti problemi nella disciplina dell'ingegneria geotecnica sismica è la valutazione della risposta del terreno ad un input sismico. In particolare per risposta sismica locale si intende il complesso di modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (Bedrock Motion, BM), subisce attraversando gli strati di terreno soprastanti sino alla superficie (Surface Motion, SM).

Lo scopo di questo capitolo è di fatto la determinazione dell'accelerogramma in superficie (analisi 1D), che costituisce un'indispensabile fase per una corretta progettazione antisismica strutturale/geotecnica e consente, nel caso particolare di studio, la valutazione delle forze indotte dal sisma che possono portare ad una instabilità del terreno e/o delle opere.

Una rappresentazione sintetica del fenomeno di risposta sismica locale è illustrata in Figura 8.1.

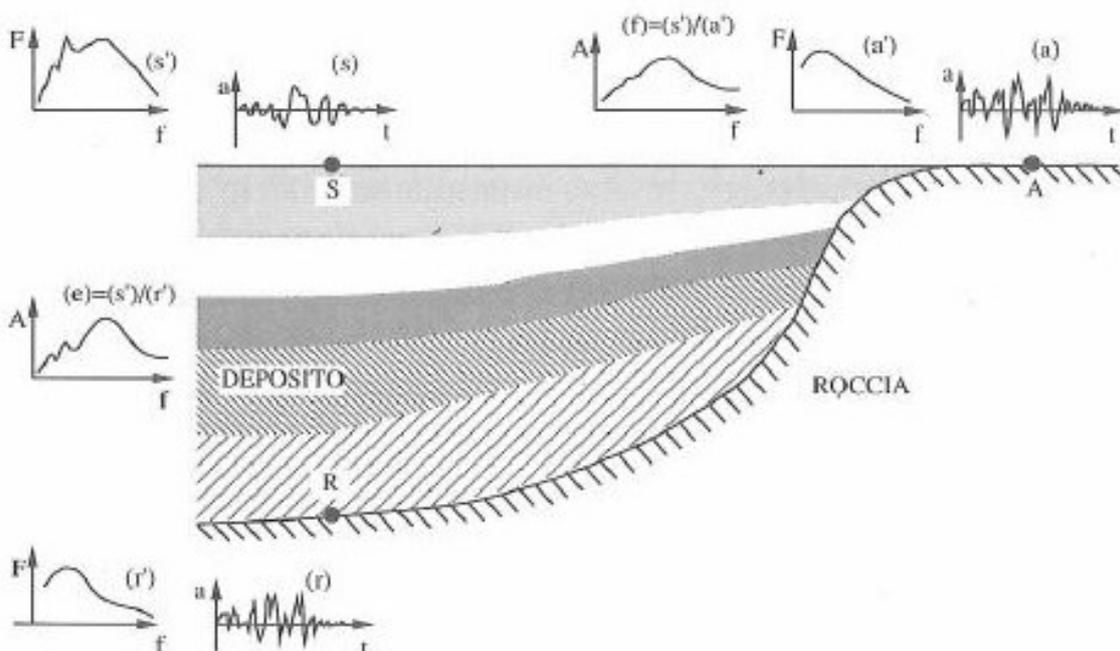


Figura 8.1. Schema di riferimento per l'analisi della risposta sismica locale

La valutazione quantitativa della risposta sismica locale deve essere effettuata confrontando i parametri che caratterizzano il moto sismico del terreno roccioso di riferimento con quelli alla superficie.

Il moto sismico può essere rappresentato sia nel dominio del tempo sia nel dominio delle frequenze.

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 42

Il moto sismico nel dominio del tempo è definito da un accelerogramma (rappresentato dalle lettere "r", "s", "a" in Figura 8.1) ed è caratterizzato dal valore di picco di accelerazione e dalla durata.

Il parametro più significativo, nel dominio del tempo, risulta pertanto essere il rapporto tra l'accelerazione massima alla superficie del terreno e quella in corrispondenza della formazione rocciosa, chiamato Fattore di Amplificazione. Il Fattore di Amplificazione fornisce solamente un'informazione in termini di variazione delle ampiezze massime, non tenendo in conto delle modifiche del contenuto in frequenza indotte dal terreno stesso. La valutazione di tali modifiche sul moto sismico di riferimento, certamente più completa, può essere effettuata osservando i risultati nel dominio delle frequenze.

L'evento sismico nel dominio delle frequenze può essere rappresentato mediante Spettri di Fourier dell'accelerazione (rappresentati dalle lettere "r", "s", "a" in Figura 8.1), ottenuti dai rispettivi accelerogrammi attraverso la funzione Trasformata di Fourier (FFT). La maniera in cui un input sismico di riferimento, in termini di Spettro di Fourier, si trasferisce in superficie è descritta in modo efficace dalla Funzione di Trasferimento, $H(\omega)$.

La Funzione di Trasferimento è il rapporto tra lo spettro di Fourier del moto alla superficie del terreno e quello dell'analogica componente in corrispondenza del basamento roccioso di riferimento. Essendo il rapporto tra due funzioni complesse, la funzione di trasferimento è anch'essa complessa, il cui modulo è la cosiddetta Funzione di amplificazione $A(f)$ (rappresentata dalla lettera "e" in Figura 8.1).

Dato che la Funzione di Trasferimento si basa sul principio di sovrapposizione degli effetti, è lecito applicare tale metodologia solo se il terreno è governato da una legge costitutiva lineare. Il comportamento non lineare può essere comunque approssimato usando una procedura iterativa attraverso un'analisi lineare equivalente.

Generalmente gli eventi sismici di riferimento di input sono relativi ad affioramenti della formazione rocciosa di base (*Rock Outcropping Motion*, punto A di Figura 8.1). Occorre pertanto definire la Funzione di Amplificazione (curva "f" in Figura 8.1) come rapporto tra le ampiezze degli spettri di Fourier in superficie ed in corrispondenza dell'affioramento roccioso.

Finora si è considerato il solo "effetto stratigrafico" nell'evoluzione dell'input sismico dal basamento roccioso fino in superficie, ovvero le modifiche che il moto sismico subisce nel propagarsi in direzione prevalentemente verticale verso la superficie dal sottostante basamento roccioso. Geometrie particolari dell'area di interesse fanno sì che ai fenomeni sopra descritti si sovrappongano quelli dovuti al manifestarsi di fenomeni complessi di interazione tra le onde, che possono sommarsi o elidersi generando delle onde superficiali ("effetti topografici" di cresta o di bacino).

8.2 Analisi di risposta sismica monodimensionale

 ENSER SOCIETÀ DI INGEGNERIA	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 43

L'analisi di risposta sismica locale, riportata nei paragrafi successivi, si sviluppa nelle seguenti fasi:

- definizione del modello geotecnico del sottosuolo (sismostratigrafia e parametri sismici del terreno);
- definizione delle azioni sismiche di input, ovvero il moto nel punto A di Figura 8.1;
- definizione del modello geometrico e geotecnico del sottosuolo;
- analisi di risposta sismica monodimensionale.

Le onde sismiche che si generano in profondità a causa di uno spostamento improvviso delle formazioni profonde, nel loro propagarsi verso la superficie, subiscono riflessioni e rifrazioni. Dato che, avvicinandosi alla superficie terrestre, la velocità di propagazione dei materiali diminuisce (materiali meno rigidi e densi) le onde vengono riflesse con un'inclinazione sempre più prossima alla verticale. L'analisi di risposta sismica locale monodimensionale si basa, pertanto, sulle seguenti assunzioni:

- l'interfaccia tra i terreni più superficiali è considerata orizzontale;
- la risposta dei terreni superficiali dipende principalmente dalla propagazione in direzione verticale delle onde di taglio SH;
- la superficie e il bedrock sono considerati come un semispazio indefinito in direzione orizzontale.

Nelle analisi monodimensionali le principali cause di amplificazioni risultano quindi essere:

- il contrasto di impedenza tra basamento roccioso e il terreno di deposito sovrastante;
- il contrasto di impedenza tra i vari strati del terreno di deposito;
- il fenomeno di risonanza, determinato dalla prossimità tra le frequenze del moto al substrato e quelle naturali di vibrazione del terreno.

Il calcolo della propagazione delle onde all'interno del terreno consiste nell'imporre l'equilibrio di un volume elementare di terreno e nel risolvere un sistema di equazioni differenziali (equazioni delle onde).

Le indagini geotecniche e le informazioni stratigrafiche profonde hanno consentito di accertare la presenza di una successione di strati piano-parallela, nella quale quindi le diverse unità geologiche sono schematizzabili come dei volumi tabulari sovrapposti, tali da semplificare il modello sismostratigrafico da adottare, che può riguardare la singola dimensione verticale.

8.3 Modello geotecnico-sismico del sottosuolo

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 44

8.3.1 Modello V_s

Il modello di velocità V_s del sito è stato ricostruito dalla valutazione e integrazione di tutte le informazioni di tipo sismico, geotecnico e stratigrafico disponibili. La qualità e la quantità di informazioni disponibili per interpretare e ricostruire il profilo di V_s sono inversamente proporzionali alla profondità, pertanto la ricostruzione del profilo gode di una buona accuratezza nelle prime decine di metri di profondità, accuratezza che tende a ridursi più in profondità, ove le informazioni sono prevalentemente (od esclusivamente) di natura stratigrafica.

L'andamento del profilo di velocità in profondità è stato quindi estrapolato considerando la presenza di variazioni tessiturali nella geologia profonda (superfici di interfaccia fra unità deposizionali distinte), che ragionevolmente rappresentano dei contrasti di impedenza sismica, in corrispondenza dei quali vi è una variazione nelle velocità delle onde sismiche che necessita di essere modellata.

Il profilo è stato concepito in modo da evidenziare le impedenze sismiche prodotte dai due banchi di ghiaie, di cui quella più profonda (45m) è probabilmente associata ad una delle frequenze di picco individuate dalle prove tomografiche in corrispondenza intorno a 1.2 Hz.

Per quanto attiene all'andamento in profondità, sulla base delle informazioni stratigrafiche e considerato il picco di frequenza individuato dalla prova TR1 in corrispondenza di 0.94 Hz, è stata individuata una seconda impedenza sismica al passaggio fra le unità idrostratigrafiche A2-A3 che si colloca in corrispondenza dei 120m di profondità. Tale quota è stata desunta anche dall'esperienza degli studi sismici condotti dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione. Il bedrock sismico è stato individuato - sulla base del gradiente di velocità medio - alla profondità di 200m da piano campagna, ove risiede il passaggio fra il Sintema Emiliano Romagnolo Superiore e quello Inferiore. In Figura 8.2 vi è la rappresentazione grafica del profilo di velocità adottato.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 45

V_s [m/s]	Profondità base dello strato [m da p.c.]	Spessore strato [m]	Litologia
155	4.0	4.0	Argille superficiali
180	10.0	6.0	Argille superficiali
218	12.0	2.0	Argille superficiali
170	19.0	7.0	Argille superficiali
150	22.0	3	Argille superficiali
215	34.0	12.0	Argille superficiali
440	38.0	4.0	Ghiaie e sabbie
248	45.0	7.0	Argille profonde
470	58.0	13.0	Ghiaie e sabbie
450	120.0	62.0	Argille profonde
600	200.0	80.0	Argille profonde
800	Bedrock sismico		

Tabella 8.1. Sintesi del modello di velocità delle onde V_{SH}.

	Committente: Barilla <small>The Italian Food Company Since 1877.</small>	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 46

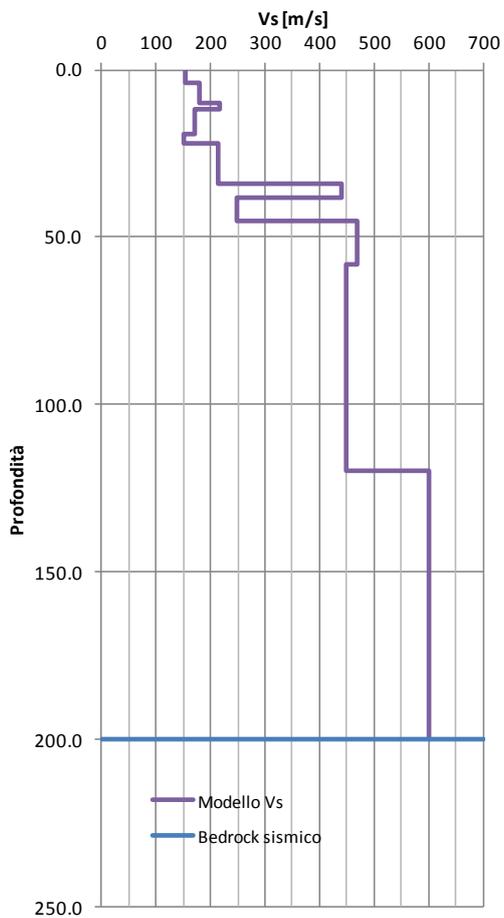


Figura 8.2. Ricostruzione del modello di velocità delle onde V_{SH} .

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 47

8.3.2 Peso in volume del terreno

Le densità di ciascuna unità, in termini di peso di volume, derivano dalle prove geotecniche di laboratorio e sono riportate nella seguente Tabella 8.2.

Profondità base dello strato [m da p.c.]	Spessore strato [m]	Litologia	Peso in volume del terreno [kN/m ³]
4.0	4.0	Argille superficiali	18.0
10.0	6.0	Argille superficiali	18.0
12.0	2.0	Argille superficiali	18.0
19.0	7.0	Argille superficiali	18.0
22.0	3	Argille superficiali	18.0
34.0	12.0	Argille superficiali	18.0
38.0	4.0	Ghiaie e sabbie	20.0
45.0	7.0	Argille profonde	19.0
58.0	13.0	Ghiaie e sabbie	20.0
120.0	62.0	Argille profonde	19.5
200.0	80.0	Argille profonde	19.5
Bedrock sismico			19.5

Tabella 8.2. Sintesi dei pesi di volume per i vari sismostrati.

8.3.3 Proprietà deformative e dissipative (curve $G/G_0 - \gamma$ e $D/D_0 - \gamma$)

Gli effetti della non-linearità del terreno (comportamento isteretico stabile a livelli deformativi medio-bassi, indotti tipicamente dai terremoti) e della dissipazione energetica sono descritti rispettivamente per mezzo delle curve di decadimento del modulo di rigidezza e di incremento dello smorzamento all'aumentare della deformazione di taglio. Per il sito in esame, possono essere adottate le curve derivate dalle esperienze di Vucetic & Dobry (1991) per i terreni fini a diverso grado di plasticità e tensione di confinamento, mentre è stato fatto riferimento alle curve di Rollins (1986) e Rollins et al. (1998) per i terreni ghiaioso-sabbiosi.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 48

Tabella 8.3. Sintesi delle caratteristiche di rigidità e smorzamento attribuite ai vari sismostrati.

Profondità base dello strato [m da p.c.]	Spessore strato [m]	Litologia	$\gamma - G/G_0$	$\gamma - D/D_0$
4.0	4.0	Argille superficiali	Vucetic & Dobry (1991)	
10.0	6.0	Argille superficiali		
12.0	2.0	Argille superficiali		
19.0	7.0	Argille superficiali		
22.0	3	Argille superficiali		
34.0	12.0	Argille superficiali		
38.0	4.0	Ghiaie e sabbie	Rollins (1986)	Rollins et al (1998)
45.0	7.0	Argille profonde	Vucetic & Dobry (1991)	
58.0	13.0	Ghiaie e sabbie	Rollins (1986)	Rollins et al (1998)
120.0	62.0	Argille profonde	Vucetic & Dobry (1991)	
200.0	80.0	Argille profonde		
Bedrock smorzamento pari al 2%				

Tabella 8.4. Sintesi delle caratteristiche di rigidità e smorzamento attribuite ai vari sismostrati.

8.4 Definizione dell'input sismico

Le NTC 2018 riportano, circa l'impiego di accelerogrammi per analisi dinamiche (§ 3.2.3.6):

“L'uso di storie temporali del moto del terreno artificiali non è ammesso nelle analisi dinamiche di opere e sistemi geotecnici.

L'uso di storie temporali del moto del terreno generate mediante simulazione del meccanismo di sorgente e della propagazione è ammesso a condizione che siano adeguatamente giustificate le ipotesi relative alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente e del mezzo di propagazione e che, negli intervalli di periodo sopraindicati, l'ordinata spettrale media non presenti uno scarto in difetto superiore al 20% rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico L'uso di storie temporali del moto del terreno naturali o registrate è ammesso a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione,

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 49

alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito.

Le storie temporali del moto del terreno registrate devono essere selezionate e scalate in modo tale che i relativi spettri di risposta approssimino gli spettri di risposta elastici nel campo dei periodi propri di vibrazione di interesse per il problema in esame. Nello specifico la compatibilità con lo spettro di risposta elastico deve essere verificata in base alla media delle ordinate spettrali ottenute con i diversi accelerogrammi associati alle storie per un coefficiente di smorzamento viscoso equivalente ξ del 5%. L'ordinata spettrale media non deve presentare uno scarto in difetto superiore al 10% ed uno scarto in eccesso superiore al 30%, rispetto alla corrispondente componente dello spettro elastico in alcun punto dell'intervallo dei periodi propri di vibrazione di interesse per l'opera in esame per i diversi stati limite”.

Al paragrafo 7.3.5 “Risposta alle diverse componenti dell’azione sismica ed alla variabilità spaziale del moto” viene anche fornito un riferimento sul numero di accelerogrammi da utilizzare:

“La risposta è valutata applicando simultaneamente le due componenti orizzontali della storia temporale del moto del terreno (e quella verticale, ove necessario). Si devono adottare almeno 3 storie temporali; si valutano gli effetti sulla struttura utilizzando i valori più sfavorevoli. Impiegando invece almeno 7 diverse storie temporali, gli effetti sulla struttura sono rappresentati dalla media dei valori più sfavorevoli”.

Trattandosi di propagazione monodimensionale, nel caso di studio, la scelta dell’input sismico è ricaduta sull’impiego della terna di accelerogrammi naturali pubblicati dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna. Gli accelerogrammi di riferimento, disponibili nel sito web www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica, sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica “European Strong Motion database” (ISESD - <http://www.isesd.cv.ic.ac.uk/ESD/>) attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento (nel nostro caso questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, pari alla vita nominale dell’opera) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD. Gli accelerogrammi sono già scalati alla $a_{g,max}$ prevista per il Comune al quale si riferiscono. L’archivio è organizzato in modo che ogni accelerogramma sia identificato da un ID dell’evento (secondo il formato ISESD) e dal nome del Comune in cui il segnale deve essere impiegato. Nelle successive Figura 8.3, Figura 8.4 e Figura 8.5 si riportano le *time history* delle accelerazioni misurate per la terna associata al Comune di Parma e impiegata nelle successive analisi.

In Figura 8.6 si riportano gli spettri di risposta degli accelerogrammi di input, riferiti ad uno smorzamento viscoso $D=5\%$. E’ stato inoltre tracciato il loro involuppo (inteso come spettro di involuppo delle azioni più sfavorevoli) e posto a confronto con

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 50

lo spettro di input derivato dalla normativa NTC 2018, individuando anche i limiti di *spectral-matching* (10% inferiore e 30% superiore) convenzionalmente adottati per la scelta degli accelerogrammi nelle analisi di risposta sismica locale.

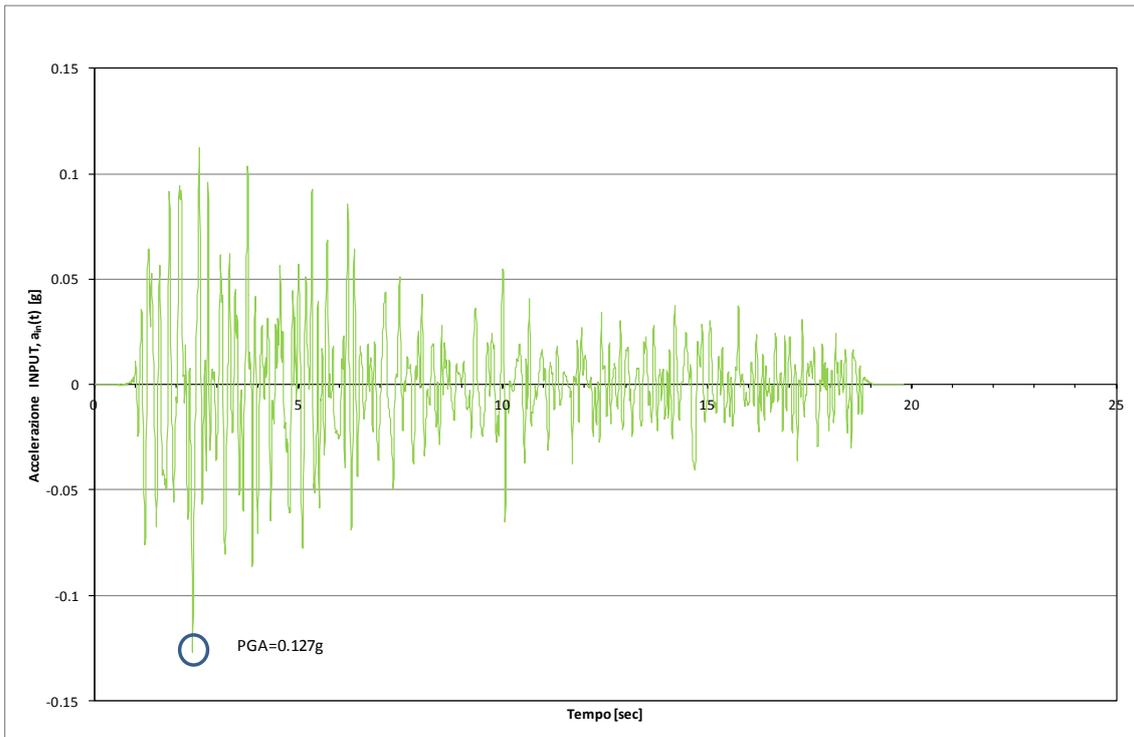


Figura 8.3. *Time history* dell'evento codice 000046xa associato al Comune di Parma.

	Committente:  <small>The Italian Food Company Since 1877.</small>	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 51

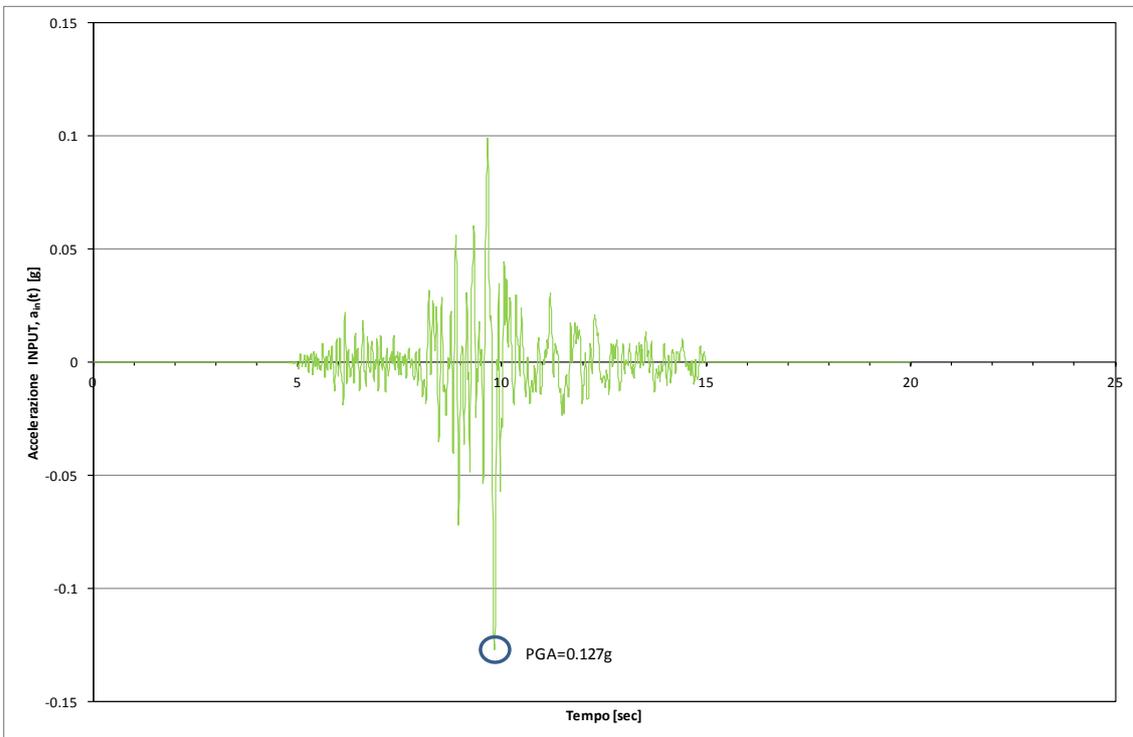


Figura 8.4. *Time history* dell'evento codice 000126xa associato al Comune di Parma..

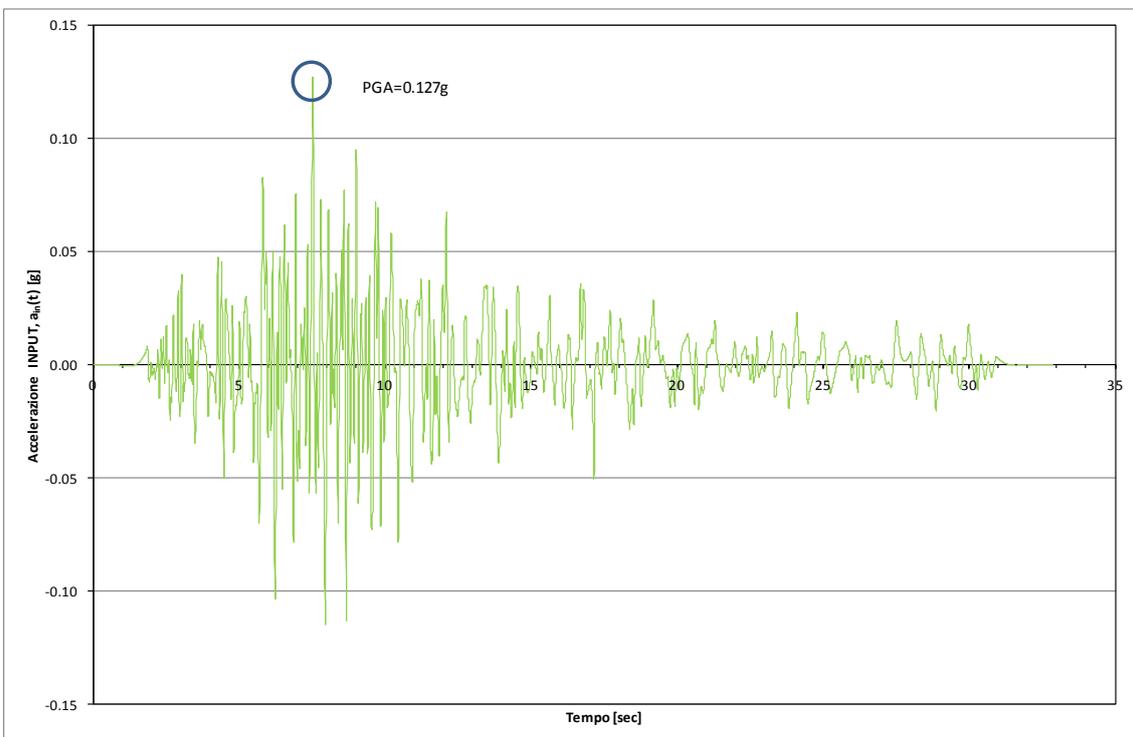


Figura 8.5. *Time history* dell'evento codice 000354ya associato al Comune di Parma.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 52

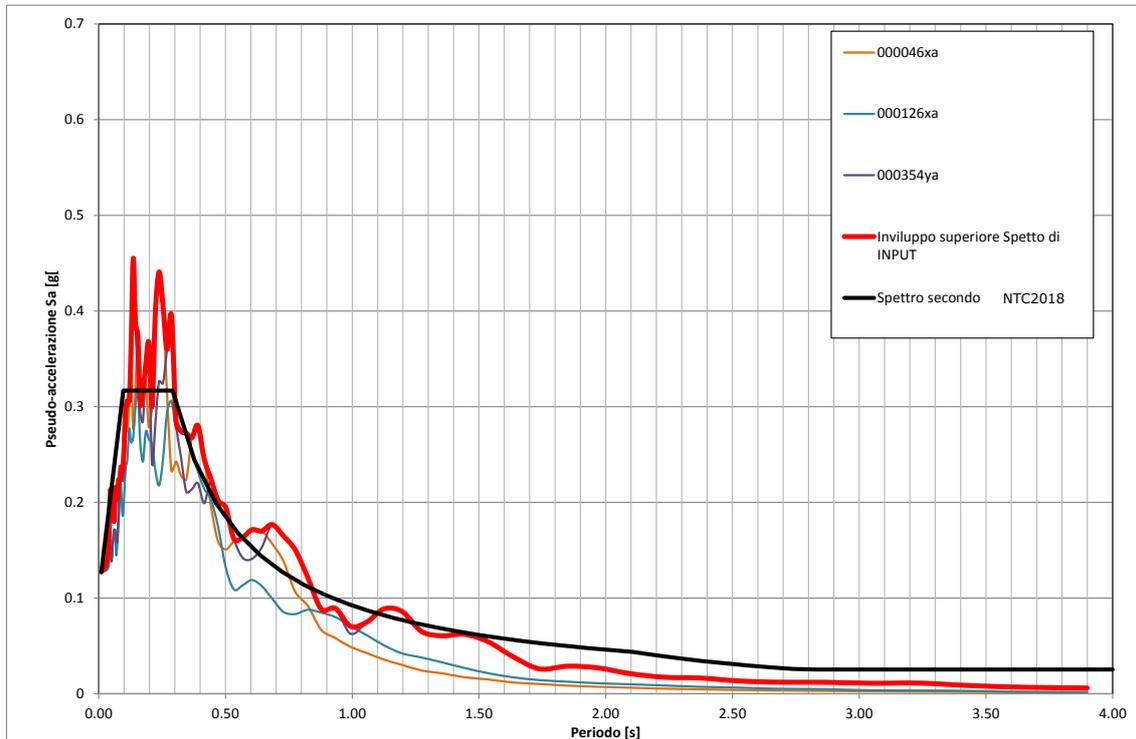


Figura 8.6. Spettri di risposta elastici in accelerazione ($D=5\%$) relativi alle *Time history* di input e confronto con lo spettro di input da NTC 2018.

8.5 Modellazione numerica

Il codice di calcolo utilizzato per la valutazione della risposta sismica di un deposito di terreno eterogeneo può lavorare nel campo delle tensioni totali, nel quale il modello fisico utilizzato è quello a strati continui ed omogenei a comportamento visco-elastico linearizzato di Kelvin-Voigt e consiste in N strati paralleli estesi indefinitamente in direzione orizzontale su un semispazio orizzontale corrispondente al bedrock (Figura 8.7).

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 53

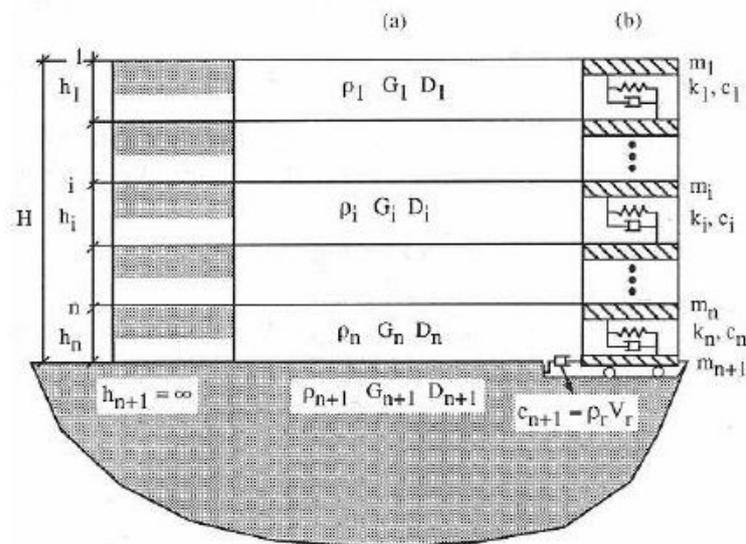


Figura 8.7. Modello a strati continui adottato da DeepSoil.

Ogni strato è considerato omogeneo ed isotropo e caratterizzato dai seguenti parametri:

- spessore dello strato, h ;
- peso in volume del terreno, γ ;
- velocità delle onde di taglio, v_s ;
- curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato ($G/G_0-\gamma$);
- curve di smorzamento in funzione della deformazione a taglio ($D/D_0-\gamma$).

Il moto di input è costituito da onde S che si propagano in direzione perpendicolare alla superficie libera.

La procedura di calcolo considera, nella soluzione dell'equilibrio dinamico del sistema, il legame non lineare attraverso due tipologie di analisi:

- analisi lineare equivalente, che consiste in una serie di analisi lineari con aggiornamento successivo dei valori della rigidezza a taglio $G(\gamma)$ e dello smorzamento $D(\gamma)$ fino al soddisfacimento di un criterio di convergenza delle deformazioni;
- analisi non lineare, che consiste nell'integrazione passo-passo delle equazioni del moto, modificando via via i valori dei parametri di rigidezza e smorzamento.

Nel caso particolare è stata utilizzata un'analisi di tipo lineare equivalente, che si articola nelle seguenti fasi (Figura 8.8):

	Committente:  <small>The Italian Food Company Since 1877.</small>	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 54

1. determinato l'accelerogramma di input e, mediante la trasformata di Fourier (FFT), calcolato il rispettivo spettro di Fourier, si determina la funzione di trasferimento che consente di ottenere lo spettro di Fourier attraverso l'interfaccia tra due strati contigui. Naturalmente per determinare la funzione di trasferimento è stato necessario fare una stima iniziale di $G_{(1)}(\gamma)$ e $D_{(1)}(\gamma)$, valutati in genere per bassi valori di deformazione e per curve definite dall'utente;
2. si calcola, attraverso la funzione inversa della trasformata di Fourier (IFFT) il corrispondente accelerogramma, dal quale, con doppia integrazione, si ricava l'andamento degli spostamenti orizzontali per quella data profondità;
3. derivando rispetto all'asse che indica la profondità a partire dal piano campagna, si valuta l'andamento temporale della deformazione di taglio e si determina il suo valore massimo $\gamma_{max}^{(i)}$;
4. la deformazione di taglio effettiva da utilizzare per il passo successivo è fornita dalla seguente relazione:

$$\gamma_{eff}^{(i)} = R_{\gamma} \cdot \gamma_{max}^{(i)}$$

5. dove R_{γ} (Idriss e Sun, 1992) è un fattore costante per tutti gli strati e dipendente dalla magnitudo M del sisma secondo la seguente relazione:

$$R_{\gamma} = \frac{M - 1}{10}$$

6. si confronta la deformazione di taglio effettiva così calcolata con quella adottata nella valutazione di $G_{(1)}(\gamma)$ e $D_{(1)}(\gamma)$ ed assunta nella fase precedente;
7. se $|\gamma_{eff}^{i+1} - \gamma_{eff}^i| < \varepsilon$, dove ε rappresenta una prefissata tolleranza, allora l'analisi si arresta;
8. al contrario con il nuovo valore di γ , attraverso le curve definite inizialmente, si ricavano i corrispondenti nuovi valori di $G(\gamma)$ e $D(\gamma)$ e si ripete la procedura descritta fino a quando non viene rispettata la disequazione definita precedentemente.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 55

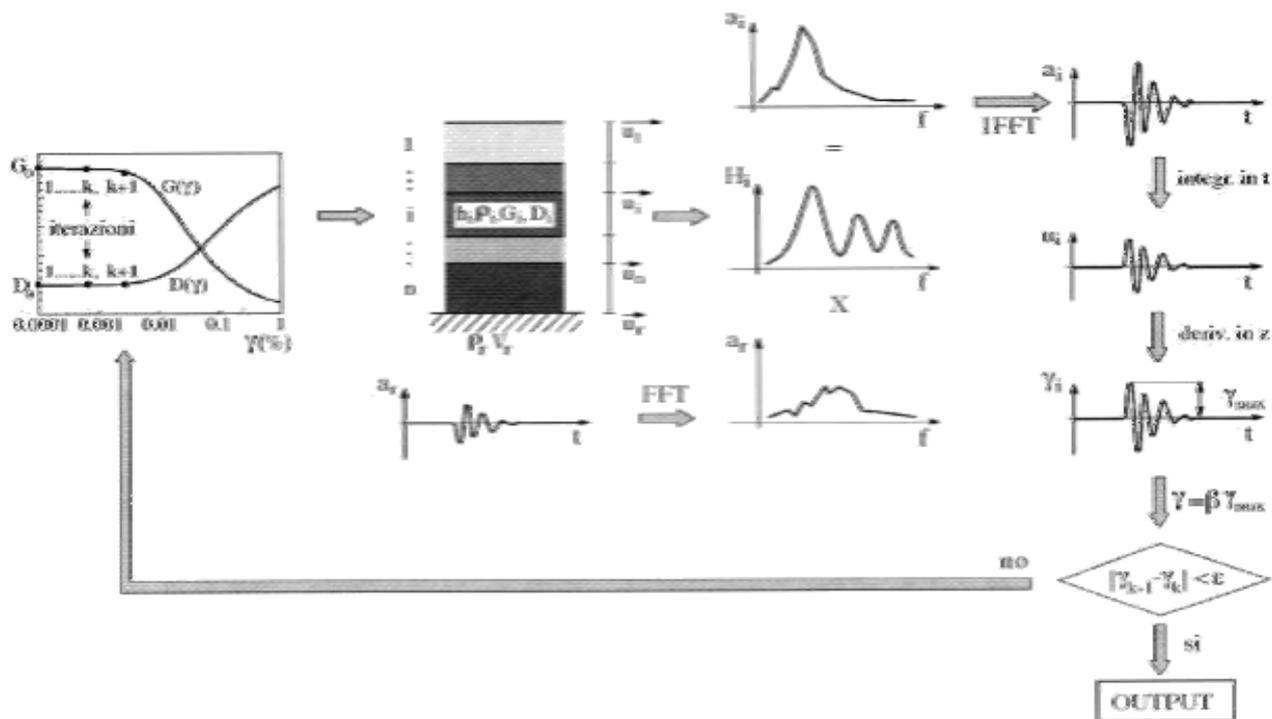


Figura 8.8. Rappresentazione schematica dell'algoritmo per l'analisi lineare equivalente.

Sebbene tale processo iterativo permetta di approssimare il comportamento non lineare tipico del terreno, è importante ricordare come tale metodologia risulti ancora un metodo di analisi lineare; infatti le proprietà del terreno relative alla deformazioni a taglio sono ipotizzate costanti durante tutta la durata dell'evento sismico, senza tenere in conto che, per un dato istante, la deformazione potrebbe essere maggiore o minore.

Risulta pertanto chiaro come il metodo lineare equivalente non può rappresentare le variazioni di rigidezza del terreno che realmente accadono durante il sisma.

8.6 Risultanze analisi di risposta sismica locale

I risultati dell'analisi di risposta sismica locale condotta sono riportati per ciascun accelerogramma nelle seguenti figure. In essa dalla prima in alto a destra scorrono in successione:

- 1) l'accelerogramma di input
- 2) lo spettro di Fourier dell'accelerogramma di input
- 3) la funzione di trasferimento
- 4) lo spettro di Fourier dell'accelerogramma di output
- 5) l'accelerogramma di output

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 56

Nella parte inferiore della figura sono rappresentati sovrapposti lo spettro di risposta elastico relativo all'accelerogramma di input e quello relativo all'accelerogramma di output.

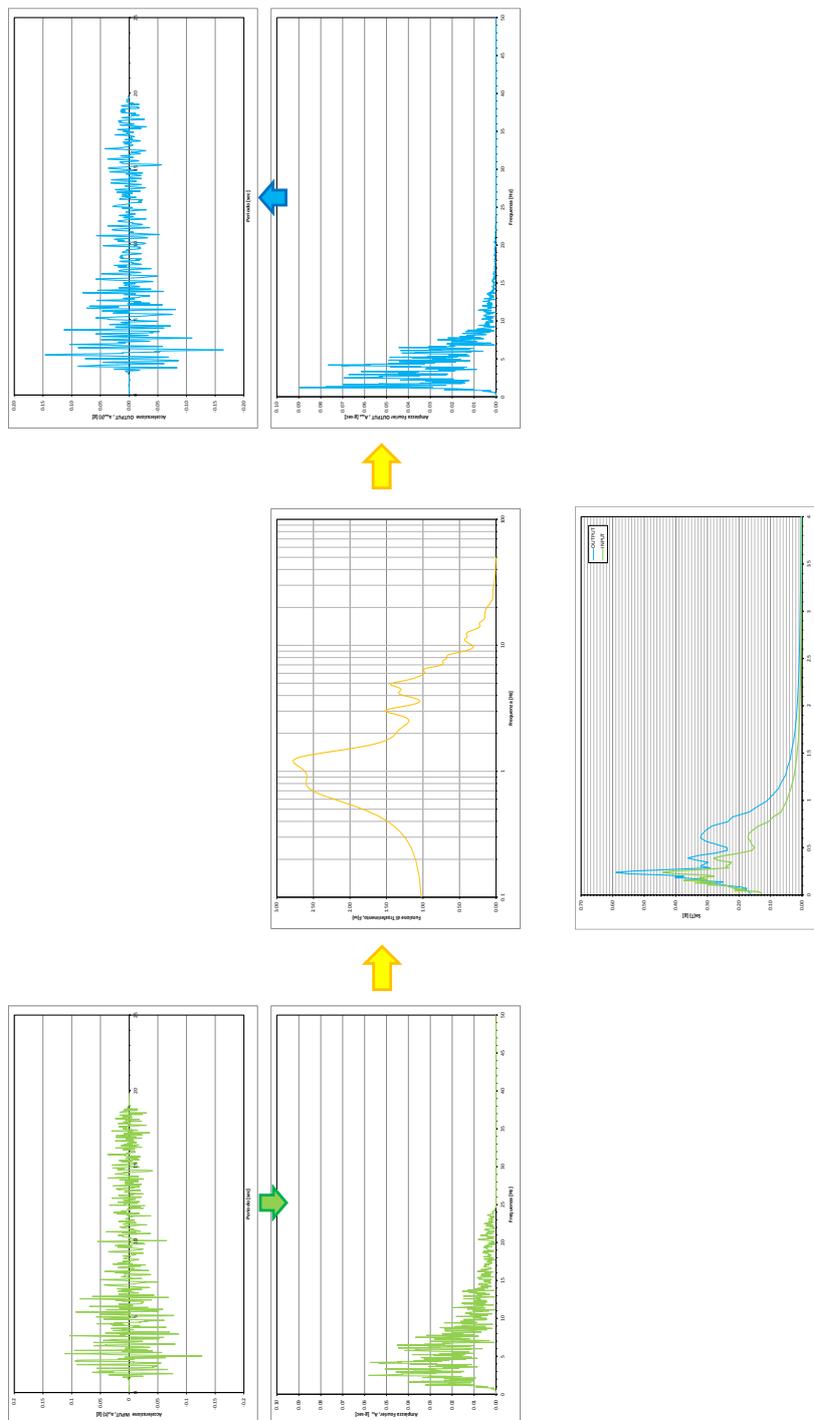


Figura 8.9. Risultati dell'analisi RSL condotta per l'accelerogramma 000046xa.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 57

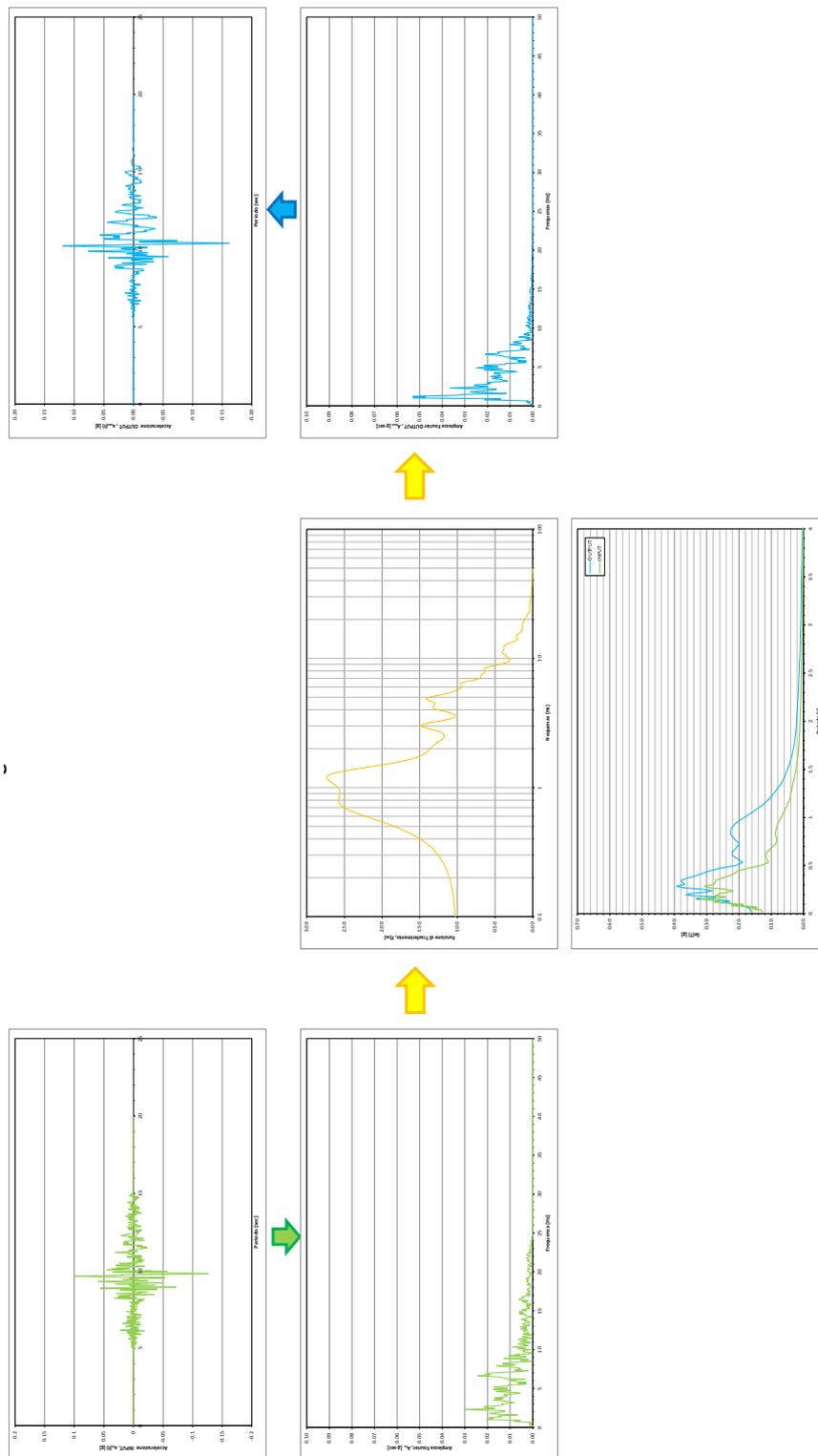


Figura 8.10. Risultati dell'analisi RSL condotta per l'accelerogramma 000126xa.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 58

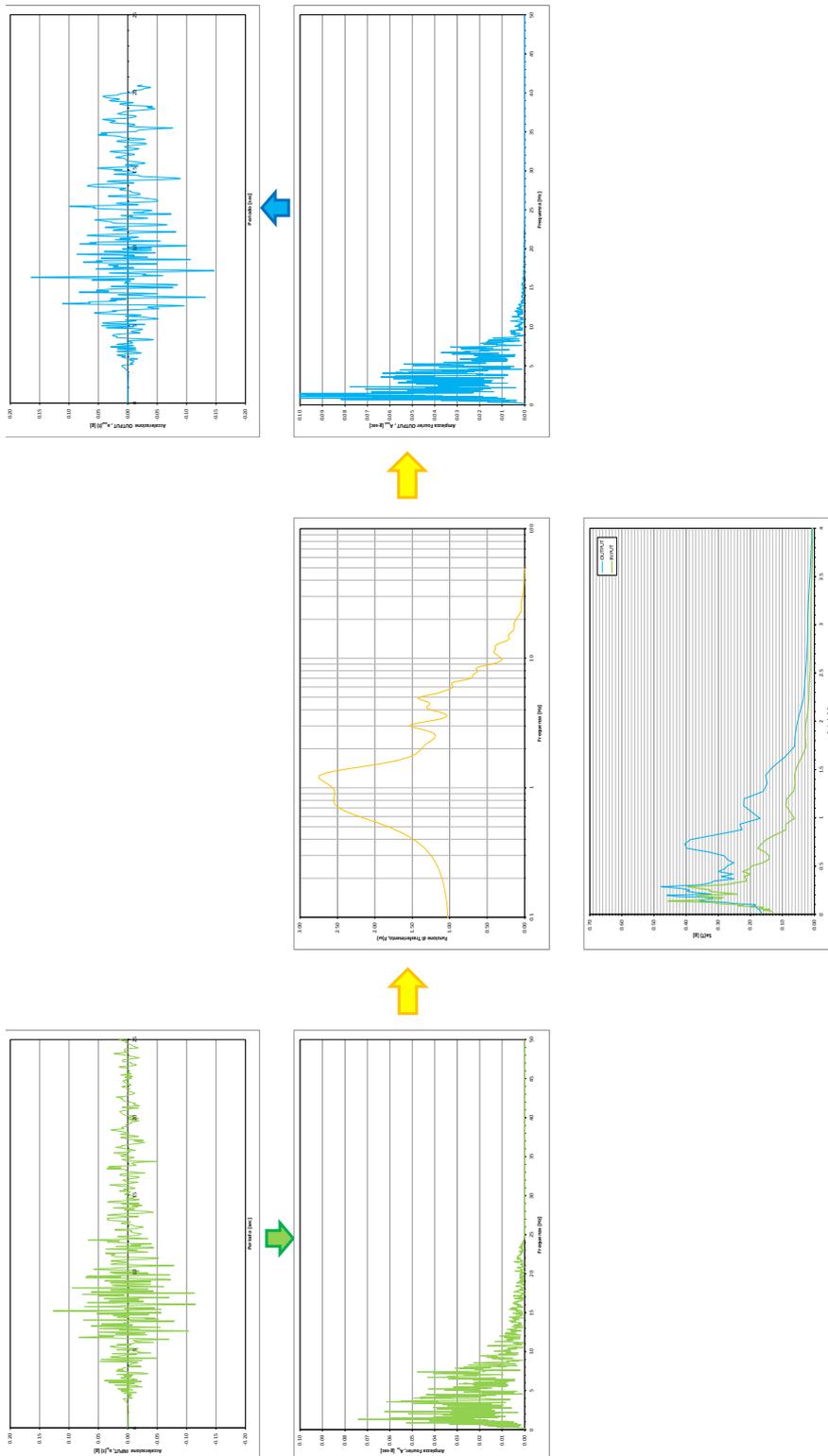


Figura 8.11. Risultati dell'analisi RSL condotta per l'accelerogramma 000354ya.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 59

8.6.1 Spettri di risposta elastici

Nella seguente Figura 8.12 si riportano i risultati dell'analisi di risposta sismica locale in termini di spettro di risposta elastico, in riferimento ad oscillatori aventi uno smorzamento viscoso pari al 5%.

In particolare sono riportati:

- i tre spettri elastici di output di ciascun accelerogramma a piano campagna;
- lo spettro di involuppo superiore dei tre spettri del punto precedente (linea blu petrolio);
- lo spettro di involuppo superiore dei tre spettri di input (spettro al bedrock, linea tratteggiata rossa).

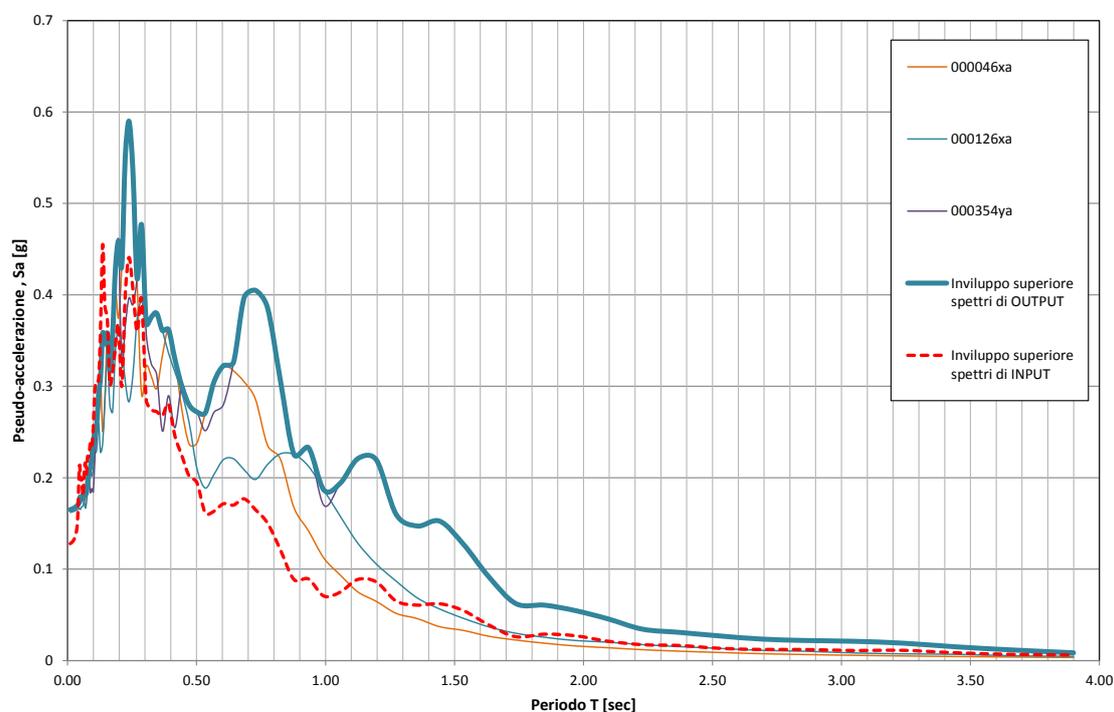


Figura 8.12. Risultati della RSL in termini di spettri di risposta elastici.

Da un primo confronto fra gli spettri di involuppo di input e output, si può osservare un campo di amplificazione che riguarda tendenzialmente i periodi compresi fra 0.5 e 1.7s.

Con la finalità di fornire al progettista uno spettro di risposta elastico per la condizione naturale che rispetti le caratteristiche dello spettro fornito da Normativa, è stata applicata la procedura di linearizzazione indicata al par. 2.5.4.3.1 degli ICMS e basata sulla individuazione dei fattori di amplificazione locale FA e FV.

In particolare i passi procedurali sono:

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 60

1. Si definiscono i parametri integrali SA_m (valore medio dello spettro di pseudo-accelerazione) e SV_m (valore medio dello spettro di pseudo-velocità) per ciascun dei 3 accelerogrammi di input e di output;
2. Si calcolano i parametri FA (Fattore di amplificazione per gli effetti stratigrafici relativo allo spettro di pseudo-accelerazione) e FV (Fattore di amplificazione per gli effetti stratigrafici relativo allo spettro di pseudo-velocità) per ciascuno dei 3 accelerogrammi;
3. Si determina il periodo proprio in corrispondenza del quale si incontrano i due rami dello spettro in superficie ad accelerazione costante e velocità costante:

$$T_c = 2\pi \cdot \frac{(SV_{m,i})_m \cdot FV}{(SA_{m,i})_m \cdot FA}$$

dove:

$SV_{m,i}$ è il valore medio dello spettro di pseudo-velocità di input;

$SA_{m,i}$ è il valore medio dello spettro di pseudo-accelerazione di input.

4. Si determina T_B come $T_c/3$;
5. Il ramo iniziale dello spettro tra $T=0$ e $T=T_B$ si assume lineare con $SA(0)=SA_i(0)*FA$ ed $SA(T_B)=SA_{m,i}*FA$
6. Il ramo dello spettro a velocità costante ($T>T_c$) ha ordinata pari a $SA_{m,i}*FA*T_c/T$;
7. Lo spettro ha l'espressione precedente fino a $T=T_D$, periodo specificato secondo Normativa.

Lo spettro risultante, in scala naturale, è riportato nella seguente figura e confrontato con gli spettri delle categorie precostituite di sottosuolo derivate da normativa "C" e "D". Come è chiaramente visibile, la similitudine con lo spettro derivato dall'applicazione della categoria "C" è ancora più evidente.

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 61

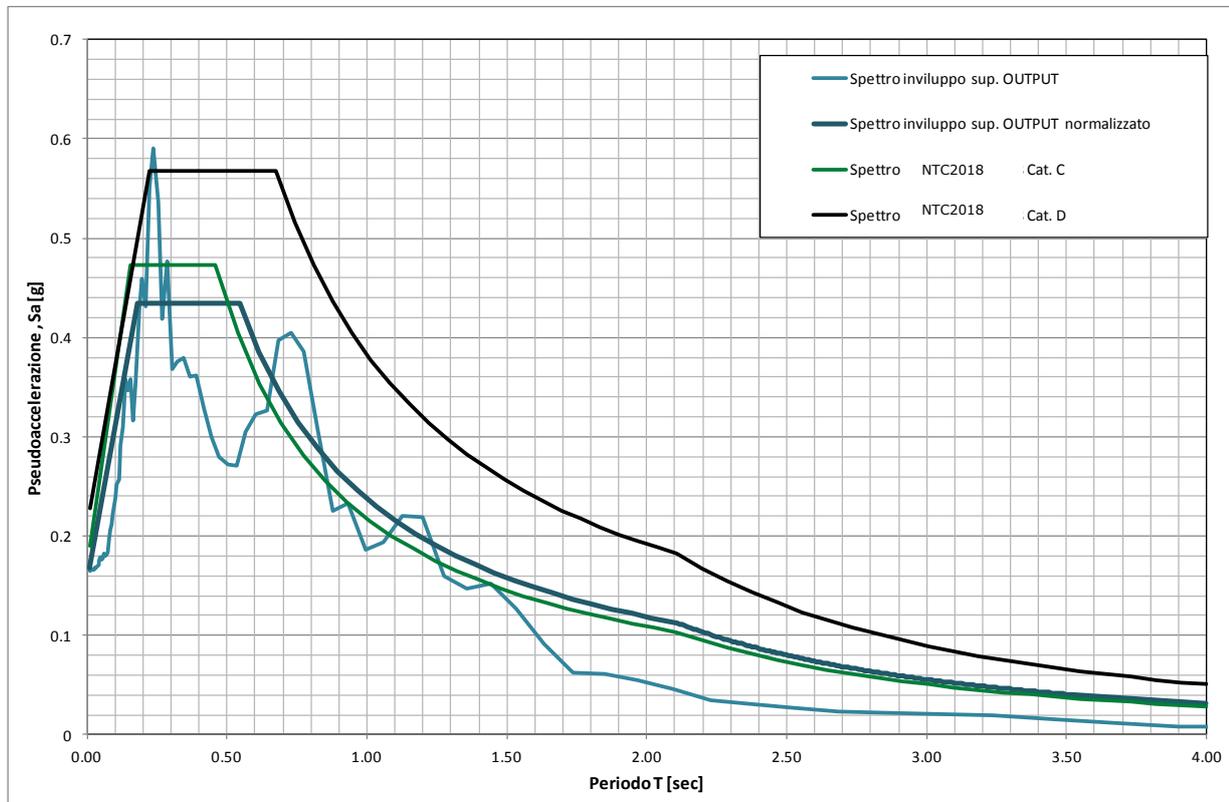


Figura 8.13. Normalizzazione dello spettro di OUTPUT.

	Committente:  <small>The Italian Food Company Since 1877.</small>	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 62

9 CONCLUSIONI

L'analisi e l'interpretazione dei dati di tipo geotecnico, sismico e geologico ha consentito di mettere a punto un modello di riferimento per l'analisi di risposta sismica, eventualmente estendibile anche ad altre parti del Comprensorio. Di fatto, nell'intera area del Comprensorio le numerose indagini fino ad oggi eseguite non hanno mostrato variazioni sostanziali nelle caratteristiche sismostratigrafiche, che possono essere ritenute relativamente omogenee sull'area.

L'analisi di RSL ha consentito di identificare uno spettro di risposta elastico rappresentativo del comportamento di un oscillatore semplice dotato di un rapporto di smorzamento del 5% e riferito a tre tipi di scenari sismici.

9.1 Confronto con le categorie pre-costituite NTC

L'analisi ha consentito anche di individuare la forma spettrale di normativa che meglio rappresenta le caratteristiche di risposta sismica del sito, tenendo in conto non solo delle proprietà di rigidità degli ultimi 30m di terreno, ma anche di quelle relative alla stratigrafia più profonda. Lo spettro risultante dall'analisi, riportato in Figura 8.13, è confrontato con gli spettri delle categorie precostituite da normativa "C" e "D". Si può osservare come lo spettro normalizzato derivato dall'analisi fitti meglio uno spettro di tipo "C" da normativa.

9.2 Confronto con i risultati dello studio di MZS di III Livello (Comune di Parma)

Confrontando gli spettri ottenuti fra l'analisi del presente studio (spettro di sviluppo dei tre accelerogrammi) ed il III Livello di MZS (spettro mediano), si ottiene quanto segue (gli spettri in tratto rosso continuo e tratteggiato sono quelli derivanti da analisi RSL Enser).

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 63

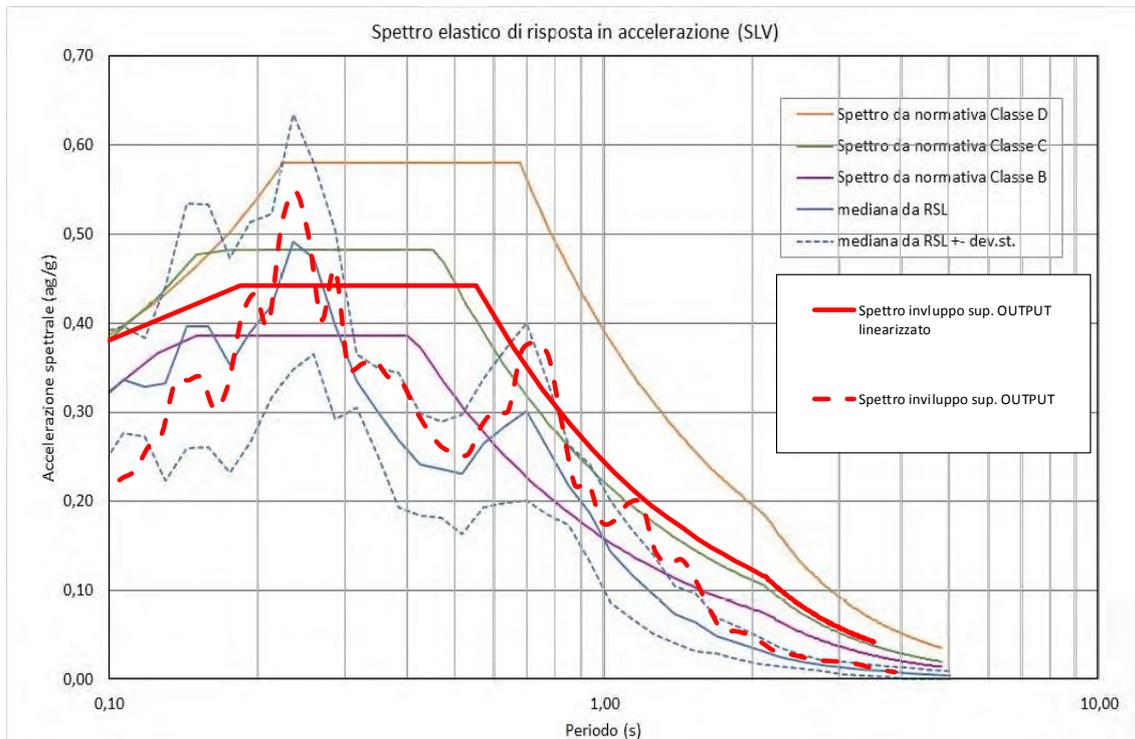


Figura 9.1. Confronto fra spettro-involucro di OUTPUT (Analisi Enser – Rosso) e spettro mediano (Analisi III Livello MZS).

Le forme spettrali non linearizzata (tratto rosso – Enser) e mediana (RSL da MZS) sono sostanzialmente concordi, ad eccezione per periodi molto bassi, ove lo spettro da MZS tende a dare accelerazioni spettrali più elevate.

Viceversa, a partire da periodi intorno a 0,2s, l'analisi Enser tende a dare accelerazioni spettrali leggermente più elevate.

A parere degli scriventi, la concordanza sostanziale dei risultati provenienti da modelli geofisici molto differenti fra loro può essere attribuita:

- al gradiente di velocità con la profondità: nel modello Enser il bedrock sismico posto è posto a 200m di profondità, ma le onde partono con velocità decisamente più elevate (come stabilito da norma) $V_s=800$ m/s; nel modello III Livello MZS il bedrock sismico è molto più superficiale e posto a 32.5m, ma le velocità sismiche sono più basse $V_s=500$ m/s;
- Ai modelli costitutivi implementati nell'analisi: Enser si è sostanzialmente riferita a modelli di comportamento visco-elastico da letteratura, con valori di smorzamento a piccolissime deformazioni molto ridotti (1%); il redattore dello studio ha eseguito prove sperimentali di laboratorio (sia pure per siti

	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 64

diversi da quello di Pedrignano), che prevedono dei valori di smorzamento già di alcuni punti percentuali a piccolissime deformazioni.

9.3 Limiti dell'analisi numerica e prospettive future

La valutazione della risposta sismica locale costituisce un metodo analitico finalizzato ad individuare e quantificare le modifiche che il moto sismico subisce nel suo percorso di propagazione dagli strati più profondi e rigidi verso quelli più superficiali e tipicamente meno rigidi. Per produrre quest'analisi occorre necessariamente allestire degli scenari basati su assunzioni o semplificazioni che, da un lato sono necessarie ai fini dell'analisi stessa, da un altro introducono - inevitabilmente - delle deviazioni nella simulazione numerica rispetto alla fenomenologia reale. Di queste assunzioni o semplificazioni, si riportano di seguito le principali:

- l'analisi assume una omogeneità e continuità dei mezzi geologici attraversati dalle onde sismiche; ciononostante, è noto che i mezzi geologici sono quanto di più eterogeneo e discontinuo esista in ingegneria civile;
- le indagini convenzionali di tipo geologico e sismico, eseguite alla scala del progetto di un manufatto, consentono di avere informazioni sui terreni nei primi 70÷80m; qualora tali analisi siano condotte in un bacino di depositi alluvionali quale la Pianura padana, nel quale gli strati rigidi che costituiscono il bedrock sismico possono trovarsi anche centinaia di metri in profondità, per ottenere informazioni sulla stratigrafia profonda è necessario riferirsi a informazioni geologiche regionali dedotte dalle prospezioni per idrocarburi, sulla base delle quali ipotizzare le profondità di passaggio fra unità geologiche distinte, a cui verosimilmente corrispondono delle impedenze sismiche; tali informazioni hanno un carattere molto più generale ed una risoluzione decisamente più bassa rispetto alle indagini di superficie;
- gli accelerogrammi naturali di input che ad oggi sono a disposizione nelle banche dati nazionali ed internazionali e che soddisfano il requisito di spettro-compatibilità non necessariamente riproducono le caratteristiche sismogenetiche proprie delle aree di studio; lo studio e la classificazione degli accelerogrammi su base sismo-genetica è un processo tuttora in corso nel mondo della ricerca;
- la stessa caratterizzazione delle sorgenti sismiche non è ancora totalmente completa e affidabile, non solo nel nostro Paese, ma anche negli altri Paesi che occupano aree sismiche;
- l'analisi RSL ha validità qualora le condizioni siano di *far field*, ovvero per sorgenti sismiche poste mediamente a distanza superiore ai 20km.

E' quindi importante sottolineare come i risultati ottenuti costituiscano ad oggi un riferimento progettuale necessario, scaturito sulla base di dati geotecnici, sismici e di tutte le informazioni disponibili, che certamente permette una prima ed importante distinzione rispetto alle scelte comunemente adottate sulla base semplificata fornita dalla normativa (categoria "C" o "D"); ciononostante, è bene considerare anche i

 ENSER SOCIETA' DI INGEGNERIA	Committente: 	Documento: Relazione sulla analisi di risposta sismica locale
	Lavoro: Comprensorio di Pedrignano (Parma) di Barilla G. e R. Fratelli SpA	Codice: S12032-PE-SR-006-1 Data: 27.04.2018 Pag.: 65

limiti associati a questa modellazione: si tratta di un riferimento perfettibile e non ha un valore inteso come assoluto ed immutabile. In questo senso, la recente proposta di monitoraggio sismico del Comprensorio potrà sicuramente costituire uno strumento di approfondimento conoscitivo estremamente valido per aiutare a calibrare meglio le simulazioni numeriche eseguite nel presente studio e ridurre, per quanto consentito dalla natura dell'analisi stessa, alcune incertezze.