

---

**Comune di PRALBOINO**  
**Provincia di BRESCIA**



**PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO**

**STUDIO GEOLOGICO,  
IDROGEOLOGICO E SISMICO**

**Legge Regionale 11 marzo 2005, n. 12**  
**D.G.R. 30 novembre 2011, n. 9/2616**

**AGGIORNAMENTO DELLA COMPONENTE SISMICA**

**GENNAIO 2019**

---

**GEOLAMBDA**  
Engineering S.r.l.

Sede operativa: via A. Diaz, 22 – 26845 Codogno (LO)  
tel. (+39).0377.433021 - fax. (+39).0377.402035

www.geolambda.eu – pec: geolambda@geolambda.viapec.it  
e-mail: marco.daguati@geolambda.it

## 1. PREMESSA

In seguito alla pubblicazione della D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014 “*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia*”, il comune di Pralboino è passato **dalla zona sismica 4 (figura 1) alla zona sismica 3 (figura 2)**.

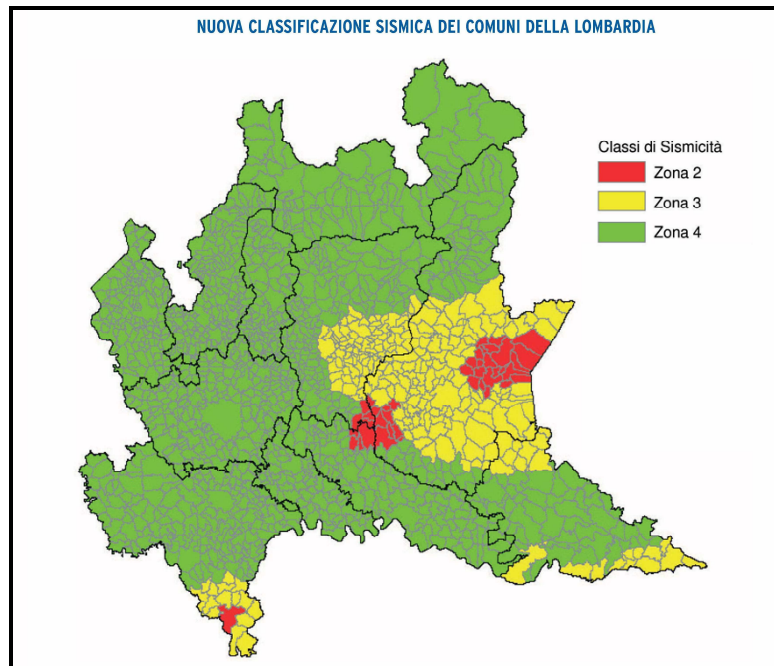
Ciò comporta, come disposto dalla citata Deliberazione, che il Comune debba aggiornare “*la componente sismica degli studi geologici a supporto degli strumenti urbanistici, secondo le disposizioni di cui ai vigenti criteri attuativi dell’art.57 della l.r. 12/2005*”, definiti nella D.g.r. IX/2616/2011 “*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio in attuazione dell’art.57 comma 1 della l.r. 11 marzo 2005 n.12*”.

Si rende quindi obbligatorio il 2° livello di approfondimento nelle zone PSL Z3 e Z4 (individuate attraverso il 1° livello) interferenti con l’urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica (tabella 1).

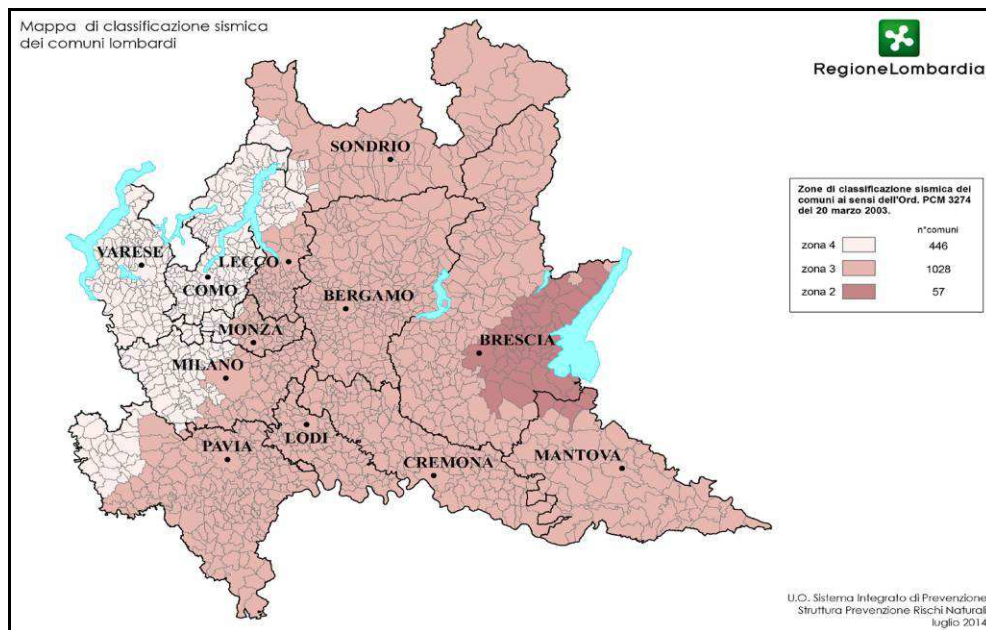
Per quanto riguarda l’individuazione delle zone di PSL, si rimanda al 1° livello di approfondimento sismico esteso a tutto il territorio comunale e redatto nello “Studio geologico, idrogeologico e sismico” del vigente P.G.T. (anno 2012).

	<b>1° Livello Fase Pianificatoria</b>	<b>2° Livello Fase Pianificatoria</b>	<b>3° Livello Fase Progettuale</b>
<b>Zona sismica 2-3</b>	obbligatorio	<u>Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili</u>	Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale  Nelle zone PSL Z1 e Z2
<b>Zona sismica 4</b>	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale;  Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti

**Tabella 1:** Livelli di approfondimento sismico e fasi di applicazione in funzione della zona sismica.



**Figura 1:** Classificazione sismica dei comuni della Lombardia in seguito all’Ordinanza 3274/2003 (D.G.R. n.7/14964 del 7 novembre 2003).

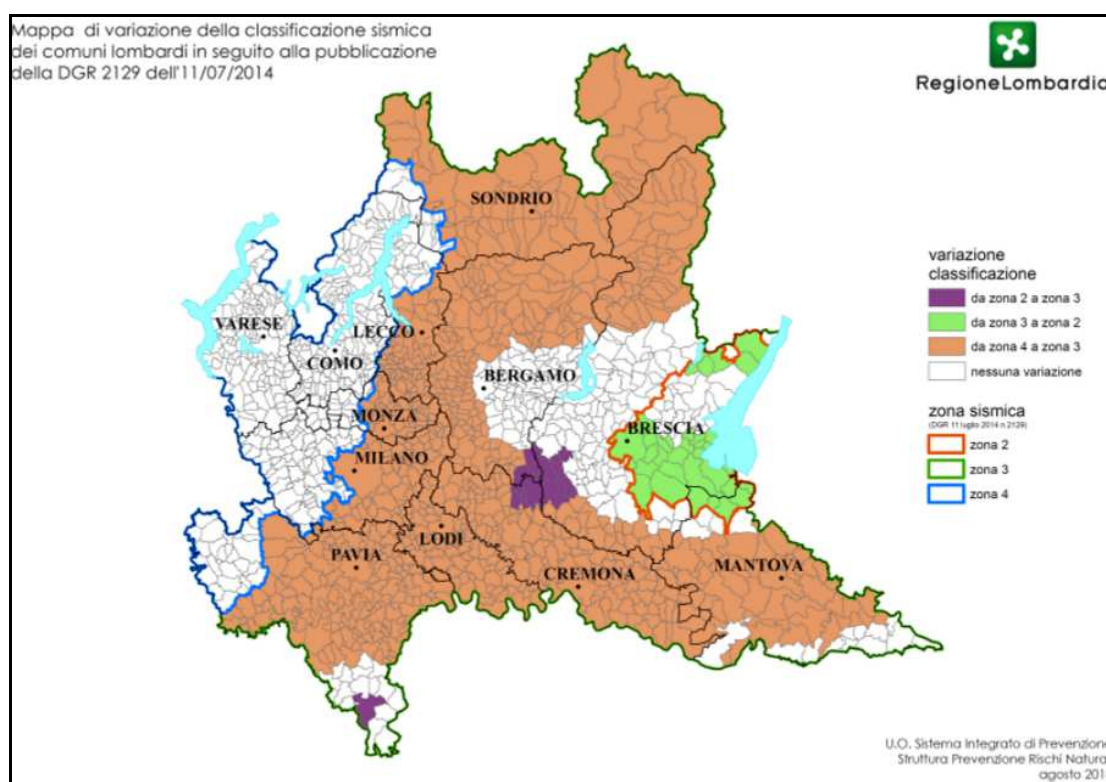


**Figura 2:** Classificazione sismica dei comuni della Lombardia (D.g.r. n. X/2129 del 11.07.2014).

Il passaggio dalla zona sismica 4 alla zona 3 deriva dal recepimento da parte della Regione Lombardia della O.P.C.M. 3519/2006 “*Criteri generali per l’identificazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*” con la quale viene fornita la Mappa di Pericolosità Sismica di riferimento a scala nazionale ed i valori soglia per l’attribuzione delle zone sismiche (*tabella 2*).

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g$ ]	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ $a_g$ ]
1	$0.25 < a_g \leq 0.35g$	0.35 g
2	$0.15 < a_g \leq 0.25g$	0.25 g
3	$0.05 < a_g \leq 0.15g$	0.15 g
4	$\leq 0.05g$	0.05 g

*Tabella 2: Valori di accelerazione orizzontale per l'attribuzione della zona sismica (OPCM 3519/2006).*

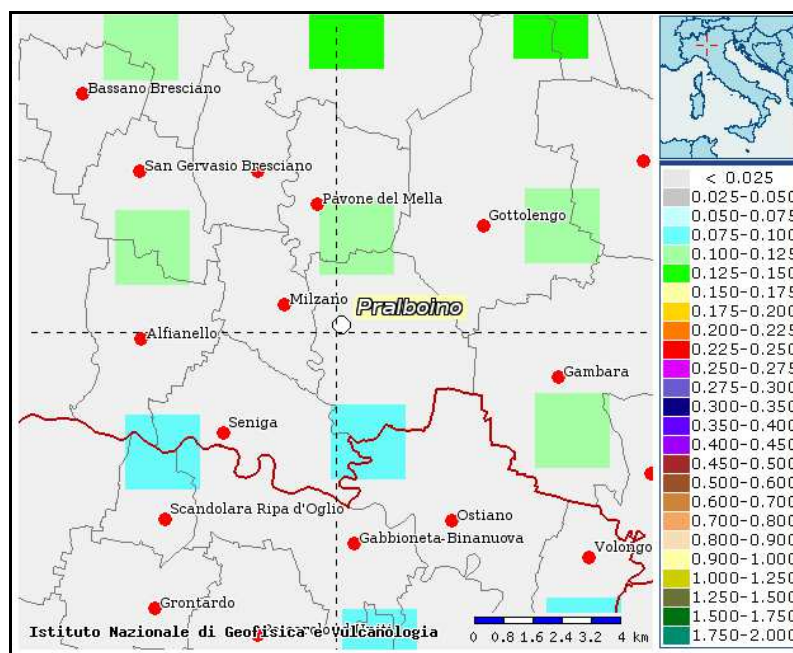


*Mappa di variazione della classificazione sismica dei comuni della regione Lombardia.*

In figura 3 si riporta un estratto della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (elaborazione INGV 2006 e 2008 - valore di accelerazione orizzontale con la probabilità del 10% di essere ecceduto almeno una volta nei prossimi 50 anni su suolo rigido – periodo di ritorno di 475 anni) centrato sul territorio di Pralboino, da cui si ricava che l'accelerazione orizzontale massima attesa su suolo rigido è contenuta nell'intervallo tra **0.075g e 0.125g**, ovvero superiore alla soglia della zona sismica 4 (la mappa di pericolosità

sismica costituisce il riferimento di partenza per il calcolo dell'azione sismica del D.M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni").

La D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014 assegna infatti al comune di Pralboino un valore di accelerazione massima ( $A_{GMAX}$ ) pari a 0.116885g, sulla base del quale il comune è stato classificato in zona sismica 3.



*Figura 3: Mappa della pericolosità sismica relativa all'area di Pralboino.*

L'aggiornamento della componente sismica dello studio geologico a supporto del PGT consente di dotare il Comune di Pralboino di uno strumento aggiornato di previsione degli **effetti locali del suolo in caso di sisma**, quantificando gli effetti di modifica della pericolosità sismica di base dovuta alle caratteristiche litologiche e sismiche dei terreni che costituiscono il territorio in esame.

Ciò permette anche di valutare, in via preliminare, l'adeguatezza dell'approccio semplificato previsto dalla normativa antisismica nazionale nel considerare gli effetti locali nella definizione dell'azione sismica (Cap. 3.2.2 *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche* – D.M. 17.01.2018).



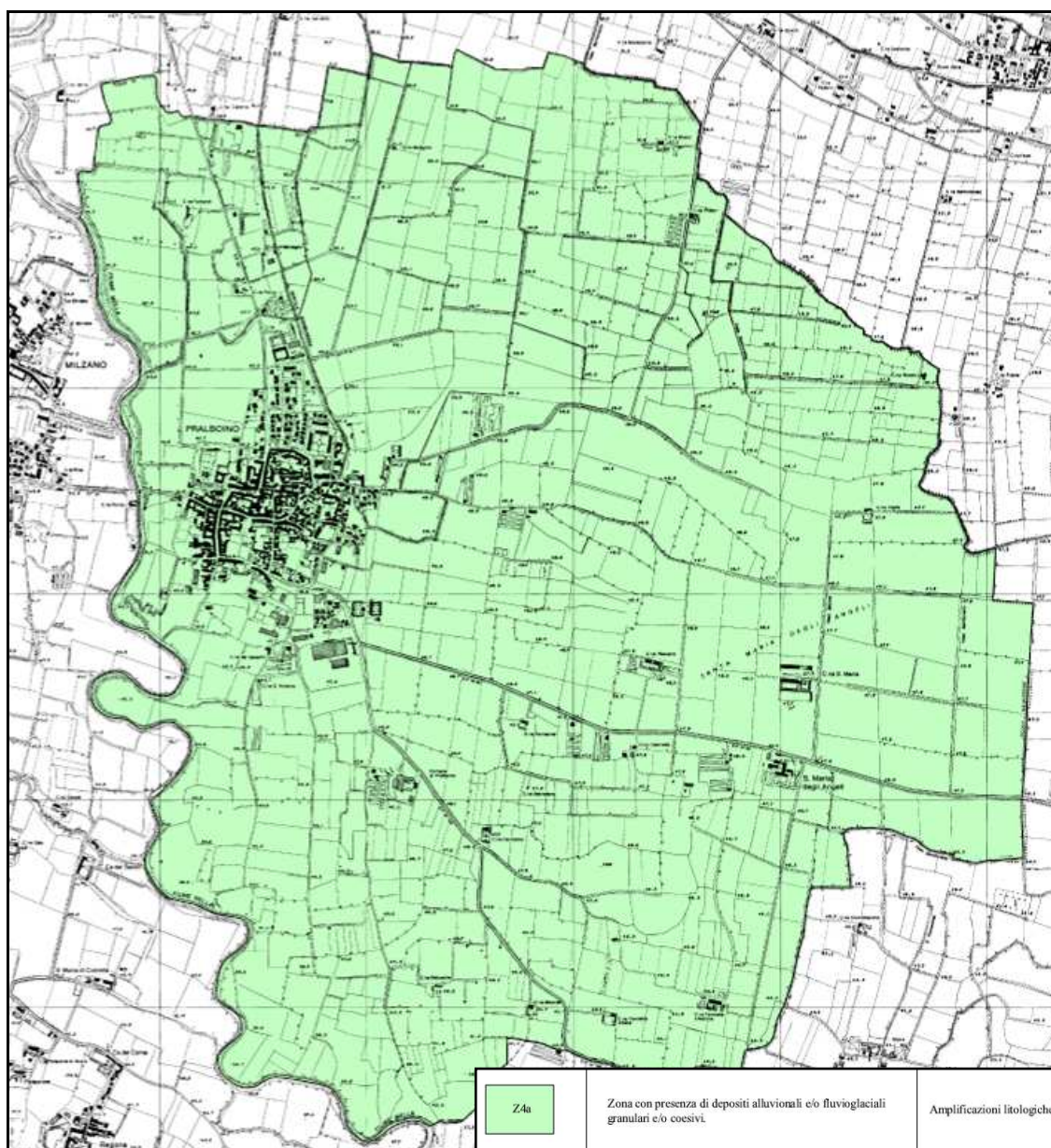
## 2. PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE PER IL TERRITORIO DI PRALBOINO

Dalla sovrapposizione tra i diversi geo-tematismi riportati nello studio geologico del PGT (anno 2012) è stata effettuata l'analisi sismica di 1° livello (*tabella 1*) e predisposta la *Carta della Pericolosità sismica Locale PSL* in scala 1:10.000 (*figura 4*), alla quale si rimanda per ogni dettaglio.

Nella predetta carta vengono identificate le aree suscettibili di modifica del moto sismico, riconducibile a caratteristiche geologiche, geomorfologiche e geotecniche (scenario di pericolosità sismica locale): tutto il territorio comunale è caratterizzato da un generale scenario di pericolosità sismica identificato come *Z4a*, i cui potenziali effetti sono legati ad amplificazioni di natura prevalentemente litologica e geometriche (*tabella 3*).

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

**Tabella 3:** Scenari di Pericolosità Sismica Locale – Analisi sismica di 1° livello D.g.r. IX/2616/2011.



*Figura 4: Carta della pericolosità sismica locale PSL allegata allo studio geologico comunale (anno 2012).*

## **2.1 Analisi sismica di 2° livello**

L'analisi sismica di 2° livello prevista dalla D.g.r. IX/2616/2011 consiste nella caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi e si concretizza con una stima della risposta sismica dei terreni in termini di Fattore di amplificazione (Fa).

Il fattore Fa permette di “quantificare” l'effetto prodotto dalle caratteristiche stratigrafiche e/o morfologiche capaci di modificare l'intensità delle onde sismiche generate da un terremoto (pericolosità di base).

La procedura prevede il confronto tra il valore di Fa caratteristico dell'area/sito (FAC) ed il valore di Fa caratteristico del territorio comunale: quest'ultimo valore, detto di "soglia" (FAS) è contenuto in un apposito elenco redatto dalla Regione Lombardia.

Per il Comune di Pralboino i valori di Fa di soglia, riferiti all'intervallo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s per le diverse categorie di sottosuolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D e E), sono i seguenti:

<b>Fa_Soglia - FAS</b>				
<i>Intervallo</i>	<i>Suolo B</i>	<i>Suolo C</i>	<i>Suolo D</i>	<i>Suolo E</i>
0.1-0.5	1.4	1.8	2.2	2.0
0.5-1.5	1.7	2.4	4.2	3.1

**Tabella 4:** Valori di soglia del fattore di amplificazione per il comune di Pralboino - Regione Lombardia.

I due intervalli per i quali viene calcolato il valore di Fa derivano dal periodo proprio delle tipologie costruttive che costituiscono la maggior parte del patrimonio edilizio: in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e rigide (massimo 5 piani), mentre l'intervallo 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili (edifici con più di 5 piani).

Il periodo proprio di un edificio può essere definito in prima analisi utilizzando la seguente espressione semplificata  $T_0=C_1H^{3/4}$ , dove H è l'altezza dell'edificio in metri dal piano fondazionale mentre C1 è un fattore che dipende dal tipo di struttura portante dell'edificio (D.M. 17.01.2008).

### **AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA**

Lo **scenario Z4a** descrive la possibilità che si verifichino effetti di amplificazione sismica correlabili alle caratteristiche stratigrafiche e meccaniche dei terreni che costituiscono il substrato (amplificazione di tipo litologico).

Per effettuare l'analisi di 2° livello con uno scenario Z4a è necessaria la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle Vs con la profondità e spessore e velocità di ciascuno strato.



Tali parametri possono essere ricavati con metodi differenti, ciascuno contraddistinto da un diverso grado di attendibilità, così come riportato nella tabella seguente.

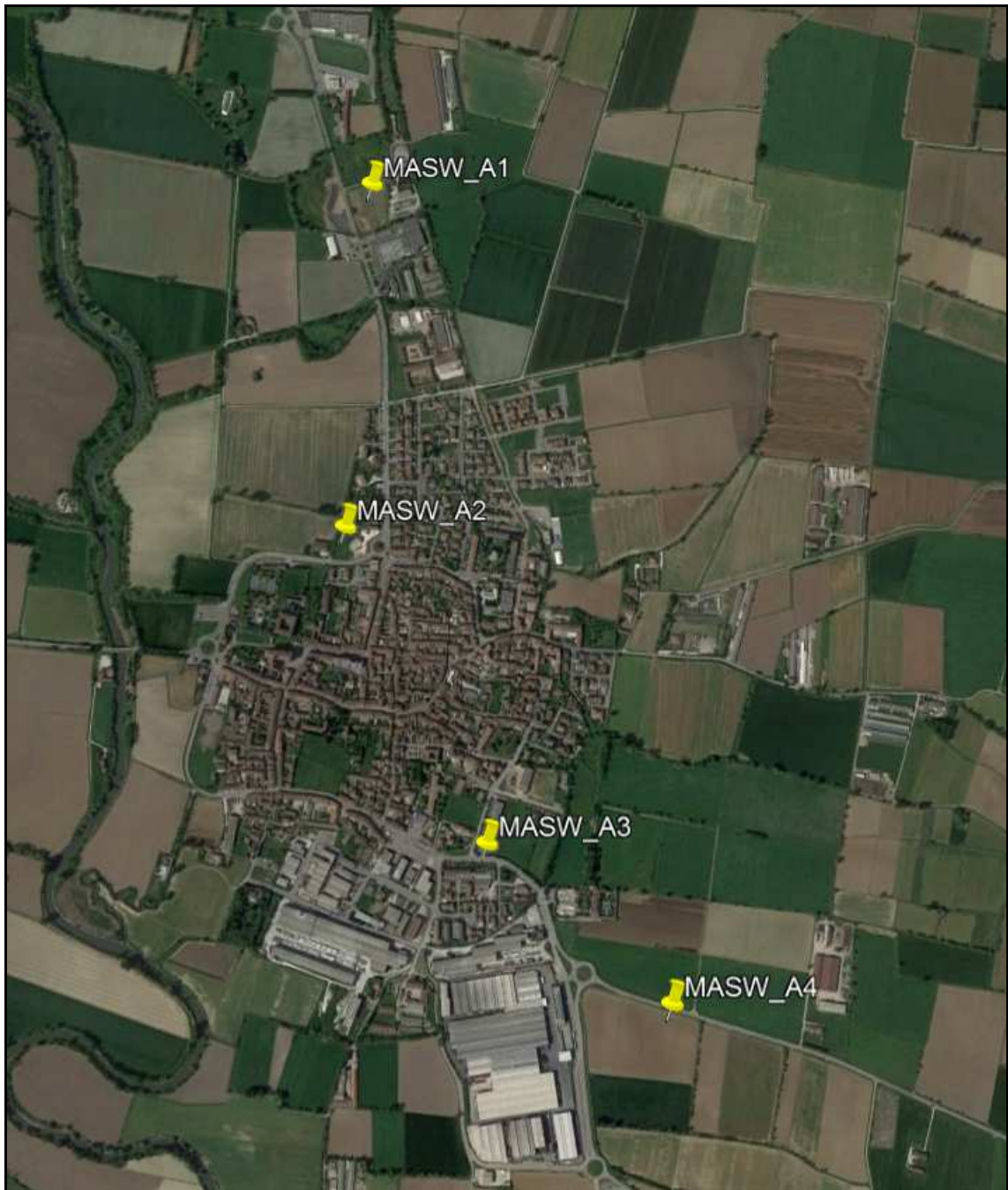
<i>Dati</i>	<i>Attendibilità</i>	<i>Tipologia</i>
<b>Litologici</b>	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio e da prove in sito
<b>Stratigrafici (spessori)</b>	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi)
<b>Geofisici (Vs)</b>	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

*Tabella 5: Livelli di attendibilità per la stima del rischio sismico e delle amplificazioni di sito.*

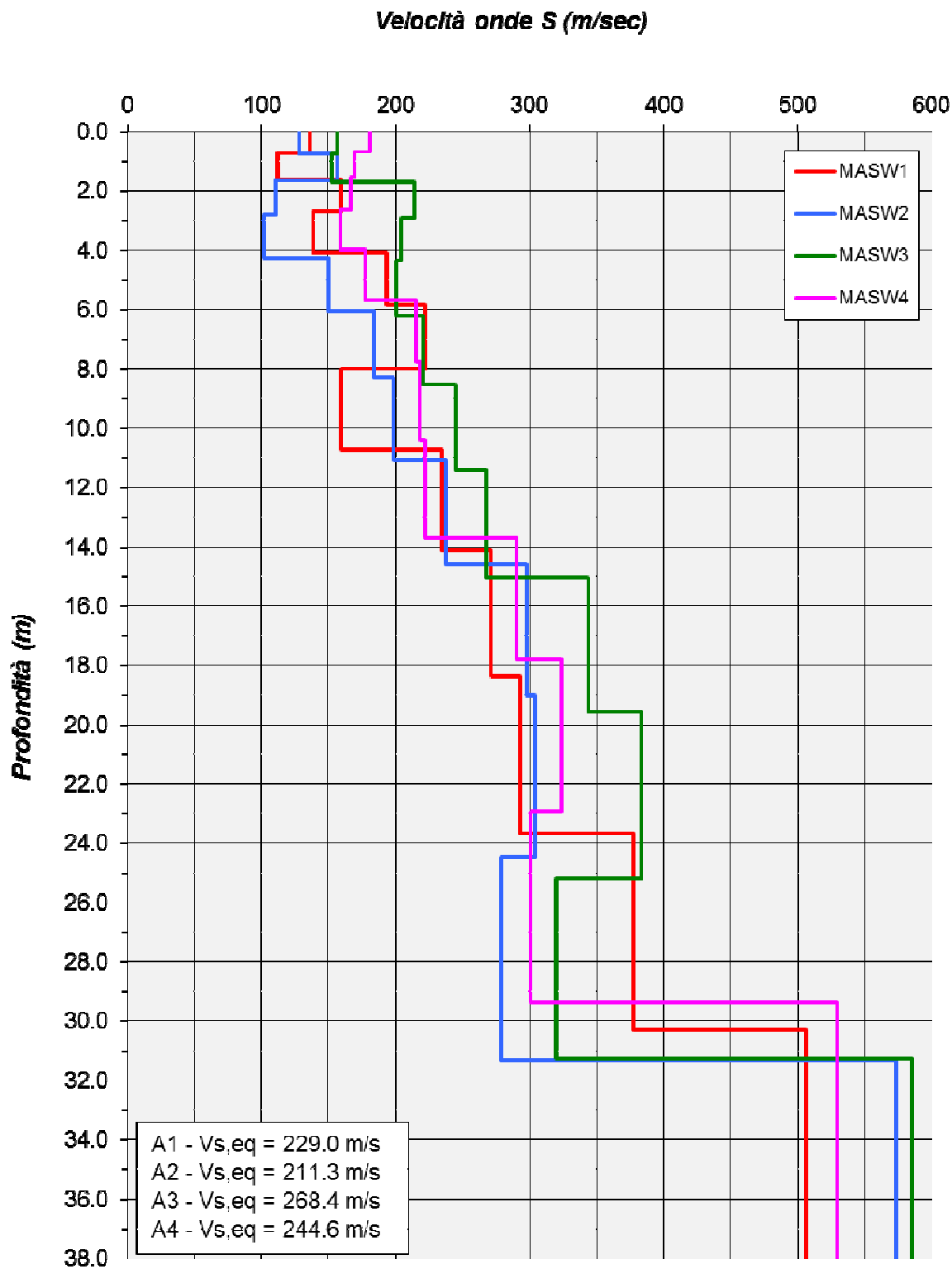
La valutazione dei fattori di amplificazione è stata effettuata attraverso una specifica campagna di indagini geofisiche per alcuni ambiti caratteristici dal punto di vista geologica all'interno del capoluogo, la cui ubicazione è mostrata in *figura 5*.

Per tali aree, scelte anche in modo da caratterizzare unità geologiche differenti, è stato ricostruito l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (Vs-z – modello sismico monodimensionale) attraverso il quale sono state valutate le possibili modifiche della pericolosità sismica di base (accelerazione attesa su suolo rigido o suolo A) dovute alle proprietà dei terreni che costituiscono l'area stessa (fattori di amplificazione Fa).

In *figura 6* si riportano i profili di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità ricostruiti per le aree indagate (A1-A4).



*Figura 5: Individuazione delle aree all'interno delle quali sono state eseguite le indagini geofisiche.*



*Figura 6: Andamento con la profondità della velocità delle onde sismiche di taglio per le aree indagate.*

Secondo la procedura prevista per il 2° livello di approfondimento, il primo passo consiste nell'individuare la scheda litologica di riferimento che meglio approssima l'andamento del

profilo Vs-z proprio del sito in esame (andamento Vs-z posto all'interno del "campo di validità" della scheda<sup>1</sup>).

All'interno della scheda stabilita, in funzione della profondità e della velocità delle onde S dello strato superficiale, è stata scelta la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa, calcolando successivamente il periodo proprio del sito con la seguente espressione:

$$T = \frac{4 \cdot \sum_{i=1}^n h_i}{\left( \frac{\sum_{i=1}^n V_{S_i} \cdot h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

dove  $h_i$  e  $V_{S_i}$  sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello fino al bedrock sismico (strato con  $V_s > 800$  m/s). Non essendo stato rilevato direttamente, il bedrock sismico è stato ipotizzato assegnando un gradiente di tipo logaritmico delle velocità delle onde S con la profondità, desunto dai dati misurati nelle prove.

In questo modo, utilizzando l'equazione propria della curva stabilita, è stato possibile determinare il fattore di amplificazione Fa.

Sulla base dei modelli monodimensionali ricostruiti, si ottengono i seguenti risultati (come quota di riferimento è stata assunta quella dell'attuale piano campagna):

Area	Categoria Sottosuolo NTC18	Scheda	Curva	Periodo $T_0$ [s]	Fa (0.1-0.5)	Fa (0.5-1.5)
A1	C	Sabbiosa	2	0.64	1.2	2.0
A2	C	Sabbiosa	2	0.70	1.2	2.0
A3	C	Sabbiosa	2	0.57	1.3	1.9
A4	C	Sabbiosa	2	0.61	1.3	2.0

**Tabella 6:** Valutazione dei fattori di amplificazione per le aree in esame.

Sebbene l'individuazione della scheda di riferimento sia stata effettuata principalmente sull'andamento delle Vs con la profondità, è stata considerata anche la granulometria

<sup>1</sup> Allo stato attuale sussistono dei limiti di nell'applicazione dell'analisi di 2° livello derivante dalla messa a punto da parte della Regione Lombardia di una metodologia basata su schede di riferimento ricavate da un numero limitato di dati geofisici (andamento delle Vs con la profondità). Tale fattore può comportare che il profilo Vs-z relativo alla litologia che caratterizza il sito sia differente da quello previsto dalla stessa litologia nella scheda di riferimento. La procedura prevede che, nel caso in cui l'andamento delle Vs con la profondità non ricada nel campo di validità della scheda litologica corrispondente, sia utilizzata la scheda che presenta l'andamento delle Vs più simile a quello riscontrato nell'indagine.



prevalente dei terreni che costituiscono il sottosuolo, caratterizzato da una successione di sabbie e sabbie-limose con locali intercalazioni di lenti/orizzonti argilloso-limosi di spessore variabile.

Successivamente i valori di Fa ottenuti con l'analisi di 2° livello (*tabella 6*) sono stati confrontati con i corrispettivi valori di Fa di soglia (*tabella 4*), da cui risulta:

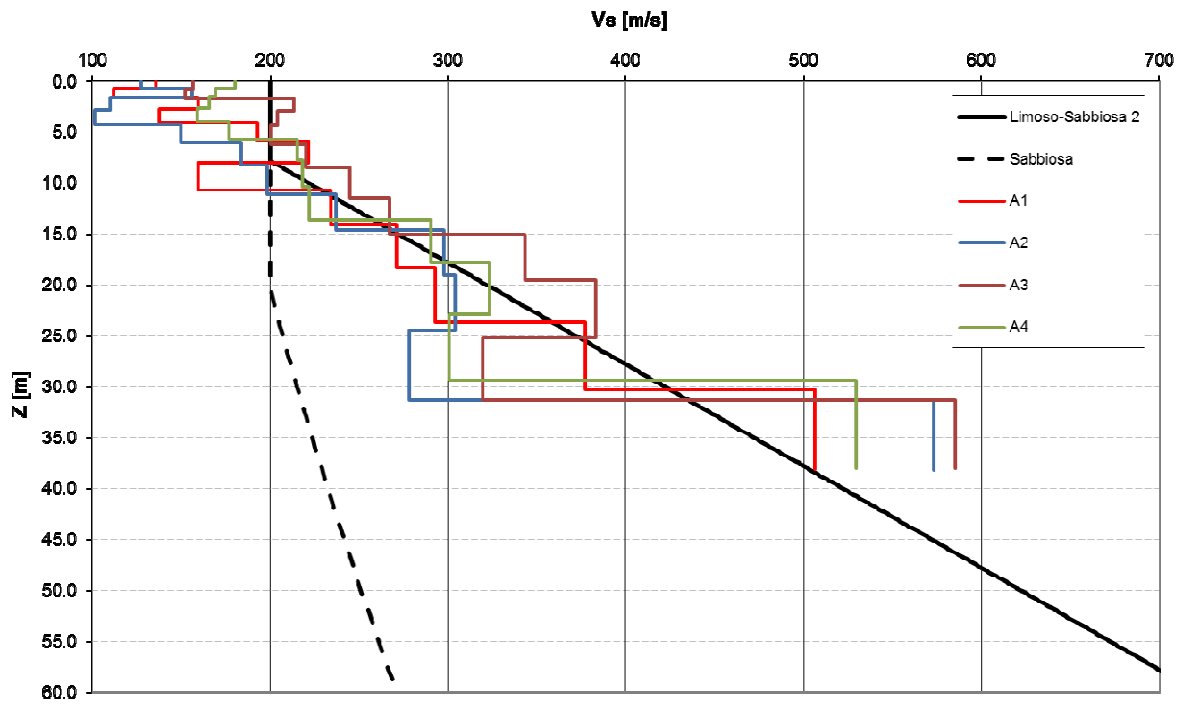
Area	Cat. Sottosuolo	Fa (0.1-0.5)			Fa (0.5-1.5)		
		FAC	FAS	Verifica FAC≤FAS	FAC	FAS	Verifica FAC≤FAS
1	C	1.2	1.8+0.1	Si	2.0	2.4+0.1	Si
2	C	1.2	1.8+0.1	Si	2.0	2.4+0.1	Si
3	C	1.3	1.8+0.1	Si	1.9	2.4+0.1	Si
4	C	1.3	1.8+0.1	Si	2.0	2.4+0.1	Si

**Tabella 7:** Verifica dei fattori di amplificazione di sito.

Dal confronto emerge che i fattori di soglia per l'intervallo di periodo compreso tra 0.1-0.5 s e tra 0.5-1.5 s sono mediamente sufficienti nel valutare gli effetti di amplificazione litologica propri del sito: risulta pertanto possibile utilizzare gli spettri elastici previsti dalla normativa vigente (DM 17.01.2018) per una categoria di sottosuolo C.

Tuttavia come mostrato nella *figura 7*, i profili geofisici ricostruiti si posizionano tra il limite di validità della scheda di riferimento "limoso-sabbiosa2" e quello della scheda "sabbiosa".

Si ritiene quindi che il comportamento delle aree indagate sia intermedio tra quello previsto dalle due schede: mentre la scheda limoso-sabbiosa2 prevede un fattore di amplificazione maggiore nell'intervallo 0.1-0.5 s (il cui valore dipende prevalentemente dalla velocità equivalente dello strato superficiale), la scheda sabbiosa prevede un fattore di amplificazione maggiore nell'intervallo 0.5-1.5 s.



*Figura 7: Profili geofisici delle aree indagate e campi di validità delle schede di riferimento (D.G.R. IX/2616/2011).*

### 3. CONCLUSIONI

Lo studio relativo alla pericolosità sismica locale ha evidenziato come l'intero territorio comunale sia soggetto a fenomeni di amplificazione locale generati dalle caratteristiche litologiche dei terreni che costituiscono il sottosuolo.

L'applicazione dell'analisi sismica di 2° livello ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011 per alcune aree caratteristiche all'interno del capoluogo ha evidenziato, con le assunzioni sopra riportate, che gli spettri previsti dalle NTC18 per una categoria di sottosuolo di tipo C sono mediamente sufficienti a considerare gli effetti di amplificazione stratigrafica propri del sito.

Tale risultato è applicabile alle sole aree indagate nel presente studio; si precisa anche che, nelle valutazioni dei fattori di amplificazione, tutte le analisi sono state condotte a partire dal piano campagna nello stato di fatto: si potrebbero ottenere delle variazioni dei valori di Fa o della scheda litologica di riferimento in funzione del sottosuolo sismico di riferimento specifico, ovvero del piano di imposta delle fondazioni (invece della scheda "sabbiosa" si potrebbe rientrare nella scheda "limoso-sabbiosa2" che comporterebbe, per il periodo 0.1-0.5 s, valori di Fa di sito superiori a quelli di soglia).

*Per tali ragioni, qualsiasi trasformazione d'uso del suolo e qualsiasi nuova edificazione, dovrà essere preceduta da una valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'attuazione del 2° livello di approfondimento, secondo quanto riportato nella D.G.R. 9/2616/2011. Tale analisi dovrà essere basata su apposite indagini geognostiche (preferibilmente attraverso indagini geofisiche), riferite all'area e all'intervento specifico, in grado di ricostruire il profilo Vs-profondità secondo quanto stabilito dal D.M. 17.01.2018.*

Qualora risulti che il fattore Fa di sito (FAC) sia maggiore di quello di soglia (FAS), in fase di presentazione degli elaborati progettuali si dovrà allegare apposita relazione che definisca l'azione sismica di progetto, applicando l'analisi sismica di 3° livello o lo spettro di norma sufficiente ricavato modificando la categoria di sottosuolo ( $FAC \leq FAS$ ).

Si sottolinea infine che lo spettro previsto dalla normativa con la procedura semplificata (categorie di sottosuolo) potrebbe non cogliere alcuni aspetti correlati a processi di amplificazione molto marcati per specifici periodi: per questo si consiglia, in fase di progettazione di edifici pubblici e con valenza strategico-rilevante, di effettuare comunque l'approfondimento sismico di 3° livello.

In ogni caso, nella definizione del modello geologico e geotecnico a corredo di ogni progetto di infrastruttura o edificio (reso obbligatorio dal D.M. 17.01.2018), dovranno essere analizzati anche gli aspetti derivanti dalla pericolosità sismica locale (D.g.r. X/5001/2016).

Con riferimento al rischio di liquefazione dei terreni di fondazione, il territorio di Pralboino si colloca in prossimità del bordo della zona sismogenetica 906 (denominata “Garda-Veronese”) caratterizzata da una magnitudo di riferimento  $M_w=6.60$ , un valore di  $a_{max}$  di circa 0.160g (valore riferito al centro del territorio comunale – condizione SLV,  $T_R=475$  anni, categoria sottosuolo=C e categoria topografica T1) ed una soggiacenza media della falda generalmente inferiore a 5-6 m.

Le condizioni descritte sono tali da richiedere, ai sensi delle NTC18 (Cap. 7.11.3.4.2), ***la verifica del potenziale di liquefazione dei terreni attraverso specifiche indagini geognostiche (preferibilmente prove CPTU o CPT) per qualsiasi intervento.***



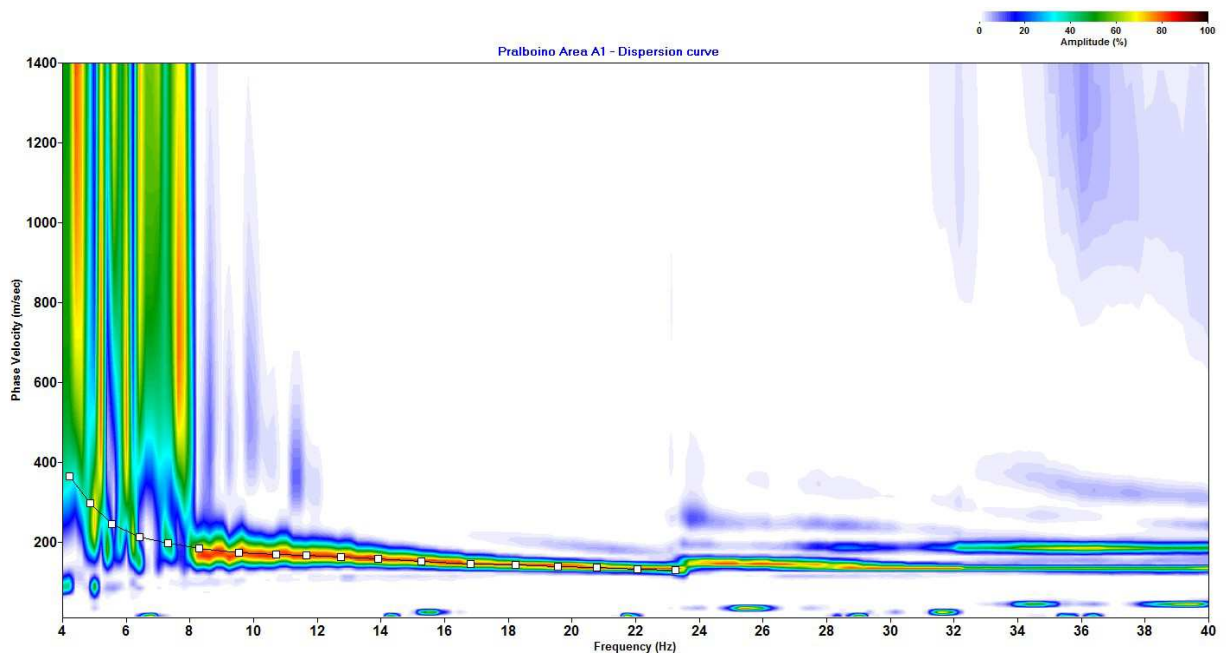
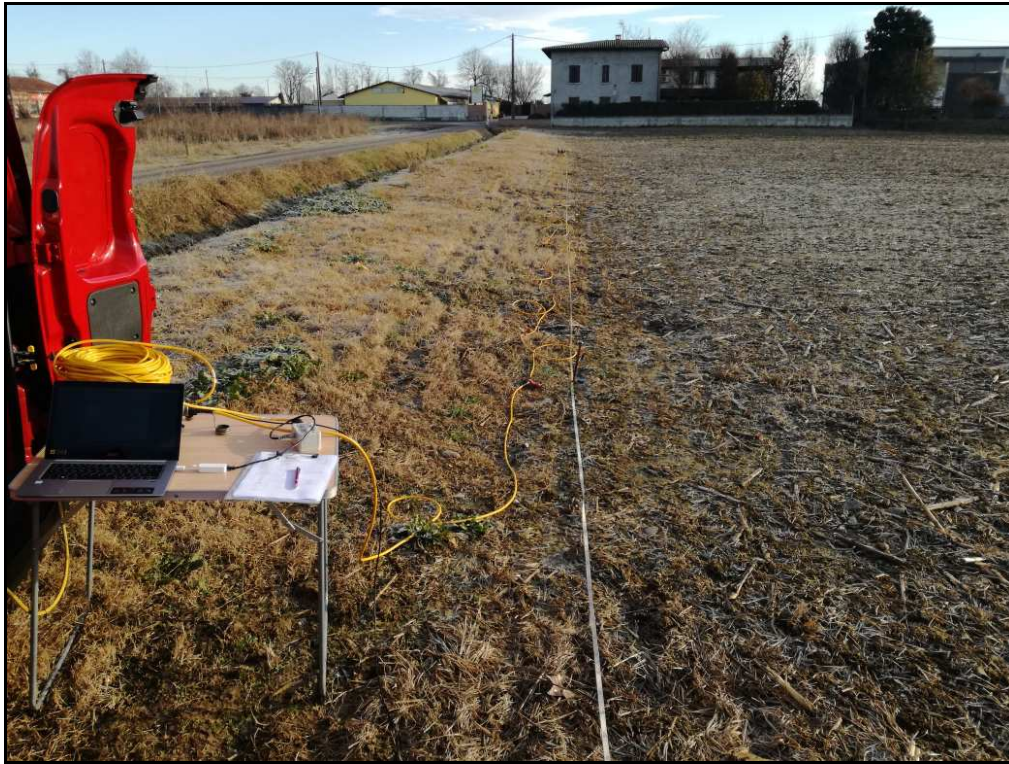
# **Allegato**

*Indagini geofisiche con la metodologia MASW*

**MASW AREA A1- CURVA DI DISPERSIONE e PICKING**

Acq. attiva: 24 geofoni con interdistanza = 1.5 m, Sorgente = 6-12 m,  $T_S= 1$  msec,  $T_L=2$  sec.

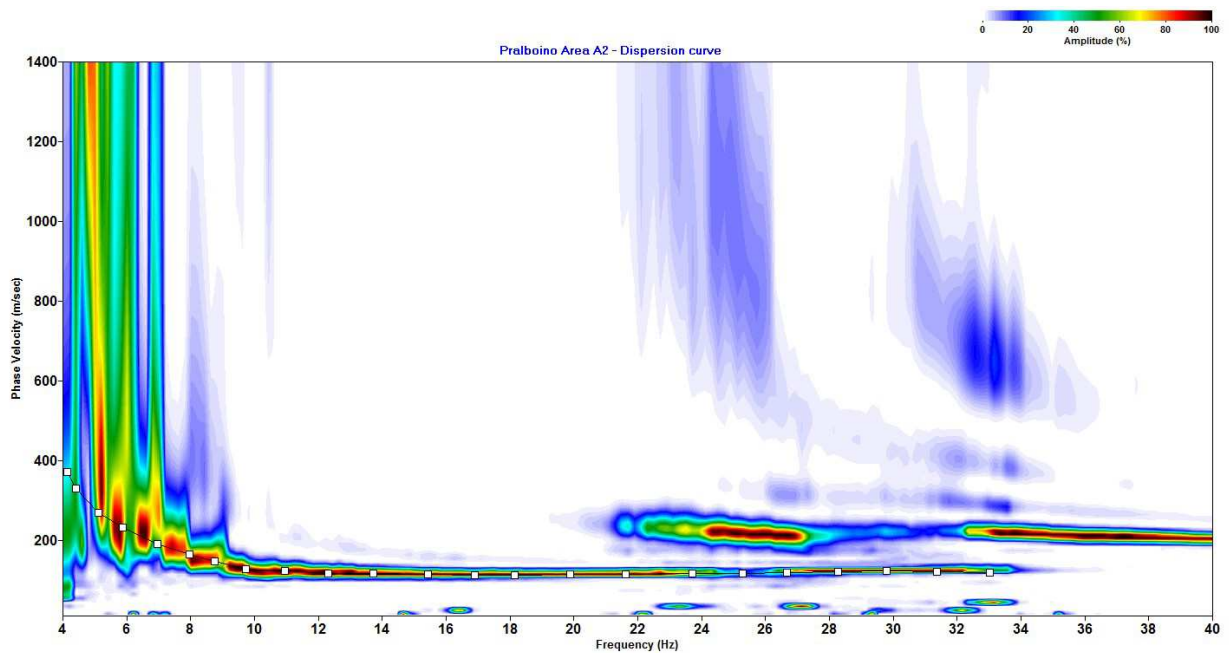
Acq. passiva: 24 geofoni con interdistanza = 1.5 m,  $T_S= 4$  msec,  $T_L=30$  sec.



**MASW AREA A2- CURVA DI DISPERSIONE e PICKING**

Acq. attiva: 24 geofoni con interdistanza = 1.5 m, Sorgente = 6-12 m,  $T_S= 1$  msec,  $T_L=2$  sec.

Acq. passiva: 24 geofoni con interdistanza = 1.5 m,  $T_S= 4$  msec,  $T_L=30$  sec.

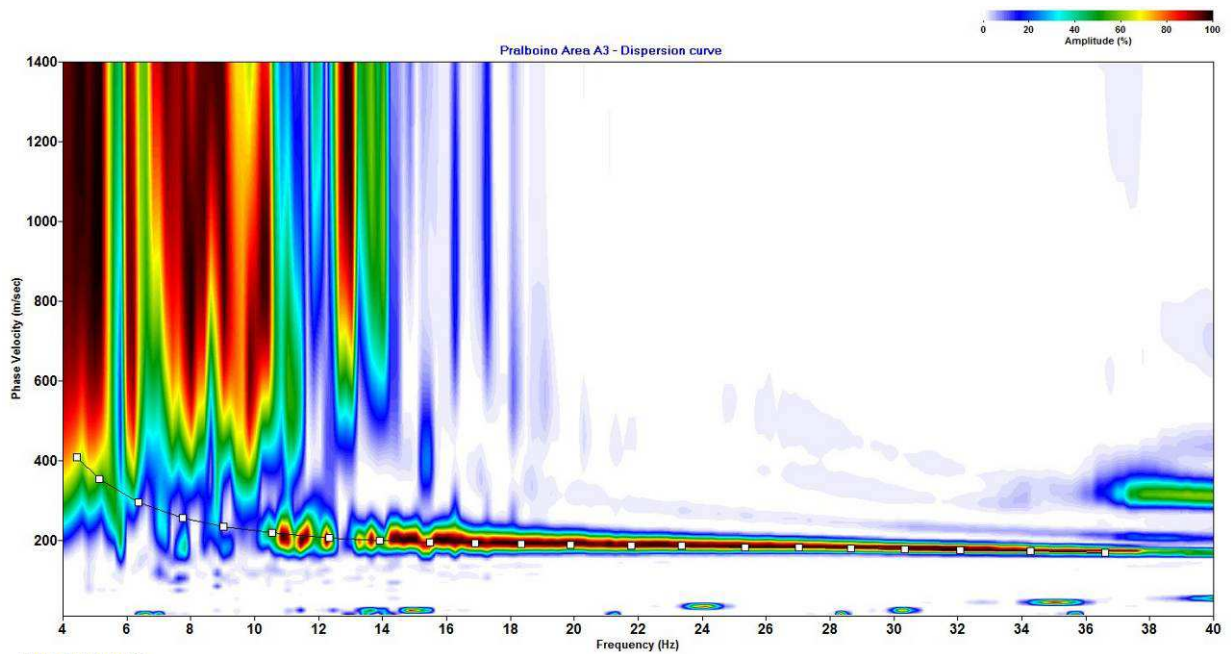




**MASW AREA A3- CURVA DI DISPERSIONE e PICKING**

Acq. attiva: 24 geofoni con interdistanza = 1.5 m, Sorgente = 6-12 m,  $T_S= 1$  msec,  $T_L=2$  sec.

Acq. passiva: 24 geofoni con interdistanza = 1.5 m,  $T_S= 4$  msec,  $T_L=30$  sec.





**MASW AREA A4- CURVA DI DISPERSIONE e PICKING**

Acq. attiva: 24 geofoni con interdistanza = 2.0 m, Sorgente = 6-10 m,  $T_S= 1$  msec,  $T_L=2$  sec.

Acq. passiva: 24 geofoni con interdistanza = 2.0 m,  $T_S= 4$  msec,  $T_L=30$  sec.

