

REGIONE LOMBARDIA
PROVINCIA DI CREMONA

P G T

IANO di OVERNO del ERITORIO



**COMUNE DI
PIEVE D'OLMI**

DOCUMENTO DI PIANO
QUADRO CONOSCITIVO



Elaborato n° DP.1.7.9*

**PIANO GEOLOGICO
RELAZIONE GEOLOGICA GENERALE**

*ELABORATO MODIFICATO A SEGUITO DEI PARERI E
DELLE OSSERVAZIONI PERVENUTE

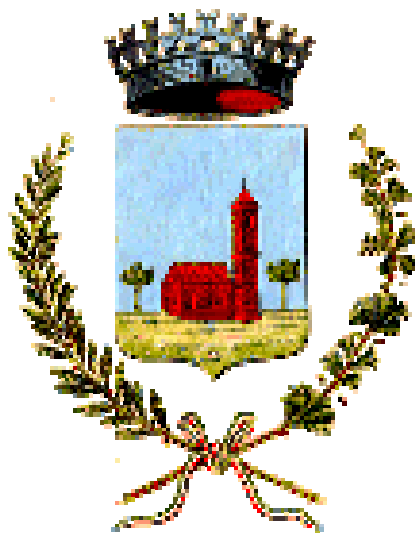
Progetto: **Arch. GIANFRANCO LINI**
Collaborazioni: **Arch. SILVIA MORASSI**

PROGRESSIVO **N° 25***

ADOZIONE DLB C.C. N. DEL

APPROVAZIONE DLB C.C. N. DEL

Comune di PIEVE D'OLMI
Provincia di CREMONA



**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

STUDIO DELLA COMPONENTE SISMICA
aggiornamento a seguito di osservazioni e prescrizioni

febbraio 2015

dott. Marco Daguati
GEOLOGO

via A. Diaz, 22 – 26845 Codogno (Lo)
tel e fax 0377.433021 – portatile 335.6785021
e-mail: marco.daguati@geolambda.it

1. PREMESSA

Il presente elaborato aggiorna la componente sismica dello studio geologico, idrogeologico e sismico del PGT del Comune di Pieve d'Olmi, redatto nell'anno 2008 ai sensi della L.R. 12/2005 e della D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374.

Nel corso dello studio di aggiornamento sono stati analizzati gli aspetti sismici come previsto dalla vigente D.G.R. n. 9/2616 del 30 novembre 2011 alla luce del nuovo azzonamento di cui alla D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014; il quadro conoscitivo redatto nell'anno 2008 (al quale si rimanda integralmente per tutto ciò che riguarda la componente geologica ed idrogeologica) ha costituito la base di partenza anche per le analisi riportate nel presente elaborato.

2. ZONAZIONE SISMICA E PERICOLOSITA' SISMICA DEL TERRITORIO DI PIEVE D'OLMI

L'Ordinanza 3274 e s.m.i. definisce la classificazione sismica del territorio italiano, in risposta sia alle nuove conoscenze scientifiche in materia sismica (acquisite dopo la precedente legge di indirizzo sismico del '74), sia al ripetersi di eventi calamitosi che hanno interessato anche zone precedentemente non classificate (sempre facendo riferimento alla Legge 64/74). La nuova classificazione, che in parte utilizza e aggiorna la classificazione sismica proposta nel 1998 dal Gruppo di Lavoro istituito dal Servizio Sismico Nazionale, è articolata in 4 zone: le prime tre corrispondono, dal punto di vista della relazione con gli adempimenti previsti dalla Legge 64/74, alle zone di sismicità alta ($S=12$), media ($S=9$) e bassa ($S=6$), mentre la zona 4 è di nuova introduzione.

In linea generale, la valutazione del rischio sismico deriva da una stima delle conseguenze al sistema socio-economico locale potenzialmente derivanti dal terremoto considerato "probabile" nell'area di riferimento. Nella valutazione del rischio, pertanto, l'aspetto principale consiste nella definizione della pericolosità sismica, ovvero la descrizione della possibile attività sismica ottenuta assegnando, in ogni area, le grandezze rappresentative del moto del suolo.

Come innanzi premesso, una prima classificazione della pericolosità sismica è stata ottenuta a scala nazionale suddividendo il territorio in zone sismiche: tale semplificazione, sebbene riduttiva, è risultata necessaria per l'applicazione di norme tecniche aventi come obiettivo un adeguato livello di protezione sismica.

Il primo atto formale di classificazione del territorio nazionale risale al 1909 (dopo il forte terremoto che investì l'area calabro-messinese il 28 dicembre 1908), con il quale vennero definite le norme tecniche per la ricostruzione nelle aree colpite dal sisma e individuate le zone nelle quali tali norme dovevano applicarsi in ambito edilizio.

L'aspetto più significativo dal punto di vista della zonazione sismica era rappresentato dall'estensione della zona interessata dal Decreto del 1909: oltre all'area dello Stretto di Messina, che presentava i maggiori danni, vi erano incluse parte della provincia di Messina e tutta la Calabria. Tale strumento derivava anche dal ricordo del terremoto che aveva colpito il golfo di Santa Eufemia nel 1905 e, soprattutto, dei terremoti che avevano sconvolto la Calabria nel 1783.

La normativa sismica non vide sostanziali novità fino al 1925, quando un forte terremoto investì un tratto della costa marchigiana, a nord di Ancona, successivamente classificata a rischio sismico.

Al Decreto del 1925 fece seguito nel 1927 un nuovo Decreto di notevole ampiezza, il quale classificava tutte le località colpite da terremoti in due categorie distinte in relazione al loro grado di sismicità e alle caratteristiche geologiche.

Risale al 1962 la Legge che, per la prima volta, dettò le “Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica” le quali, contrariamente alle precedenti finalizzate alla ricostruzione delle zone colpite da terremoto, assunsero un significato di prevenzione sismica.

Il terremoto nel Belice del 1968 e quello nel Friuli del 1976 condussero ad una classificazione con l'introduzione di un elemento di novità, costituito dal criterio utilizzato per distinguere le zone di prima e di seconda categoria. In precedenza, infatti, tale distinzione era abbastanza casuale, basata su un giudizio di gravità del danno; nei decreti del 1976 e 1979, invece, la classificazione si basava sul valore della probabilità di superamento di assegnate soglie dell'accelerazione del suolo in un prefissato intervallo di tempo.

Il terremoto Irpino-Lucano del 1980 segnò la svolta decisiva nella storia della classificazione sismica in Italia: il grande impatto sull'opinione pubblica e la constatazione che le zone colpite dal terremoto erano in gran parte non classificate, condussero il Ministero dei Lavori Pubblici alla proposta di riclassificazione elaborata nell'ambito del Progetto finalizzato geodinamica del CNR attraverso una serie di Decreti emanati tra il 1981 ed il 1984. La nuova classificazione si basò per la prima volta su parametri quantitativi definiti in modo omogeneo per tutto il territorio nazionale, come la soglia di sismicità, l'intensità risentita e la scuotibilità, e prevede la suddivisione in tre categorie con grado di severità sismica decrescente dalla prima alla terza.

Nell'aprile 1997, la Commissione per la previsione dei Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile decise di istituire un gruppo di lavoro con l'obiettivo di formulare una proposta di aggiornamento della classificazione sismica nazionale, anche alla luce di nuove ricerche e dell'esperienza di altri paesi.

La nuova classificazione, denominata “Proposta 98”, determinò la suddivisione del territorio nazionale sempre nelle tre categorie sismiche a cui si aggiunse una categoria ulteriore per i comuni non classificati; l'appartenenza di un'area ad una particolare categoria sismica avvenne sulla base di parametri quantitativi legati al moto del suolo previsto (approccio probabilistico):

1. l'accelerazione massima del terreno a_{max} (detta anche PGA) con il 10% di probabilità di essere superata in 50 anni, la cui distribuzione è rappresentata nella carta della pericolosità sismica (Slejko et al. 1998);
2. l'integrale dello spettro di risposta in pseudovelocità, detto "intensità di Housner";
3. il valore della massima intensità sperimentata nell'ultimo millennio.

In seguito al terremoto del 31 ottobre 2002 che provocò a San Giuliano di Puglia il crollo di una scuola e al verificarsi di eventi sismici calamitosi in zone non classificate sismiche (il Comune di San Giuliano di Puglia era classificato come non sismico) sono stati emanati i "Criteri per l'individuazione, la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle zone sismiche" e le nuove norme tecniche per la costruzione in zona sismica (OPCM 3274 del 20 marzo 2003).

Rispetto alle classificazioni precedenti, l'O.P.C.M. 3274 stabilì una nuova classificazione sismica del territorio nazionale utilizzando e aggiornando la classificazione sismica proposta nel 1998. La nuova classificazione è articolata in 4 zone, ciascuna contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (si veda la tabella 1), eliminando di fatto la presenza di aree del territorio classificate come non sismiche: in questo modo, a ciascuna area del territorio nazionale viene attribuito un differente livello di protezione sismica.

Zona	Valori di a_g
1	0.35 g
2	0.25 g
3	0.15 g
4	0.05 g

Tabella 1: Valori di accelerazione orizzontale massima in funzione della zona sismica (OPCM 3274 e s.m.i).

In ottemperanza all'art. 2 della OPCM 3274 e s.m.i. e secondo quanto disposto dal D.Lgs. n. 112/1988 che attribuiva alle Regioni la competenza di classificare il territorio secondo criteri generali, la Regione Lombardia, con D.G.R. n. 14964 del 7 novembre 2003, ha provveduto ad aggiornare i propri elenchi delle zone sismiche.

L'O.P.C.M. 3274 e s.m.i. è entrata in vigore il 23 ottobre 2005 in coincidenza con quella delle nuove "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14 settembre 2005).

A far tempo da tale data era divenuta vigente la classificazione sismica del territorio nazionale; per la Regione Lombardia la classificazione sismica allora vigente è mostrata in figura 1:

Secondo la D.G.R. n. 14964/2003, il territorio comunale di Pieve d'Olmi era inserito nella zona sismica 4 (e dunque caratterizzato da un valore di accelerazione massima orizzontale su suolo di riferimento con la probabilità del 10 % di essere superato almeno una volta nei prossimi 50 anni - periodo di ritorno uguale a 475 anni - pari a 0.05g).

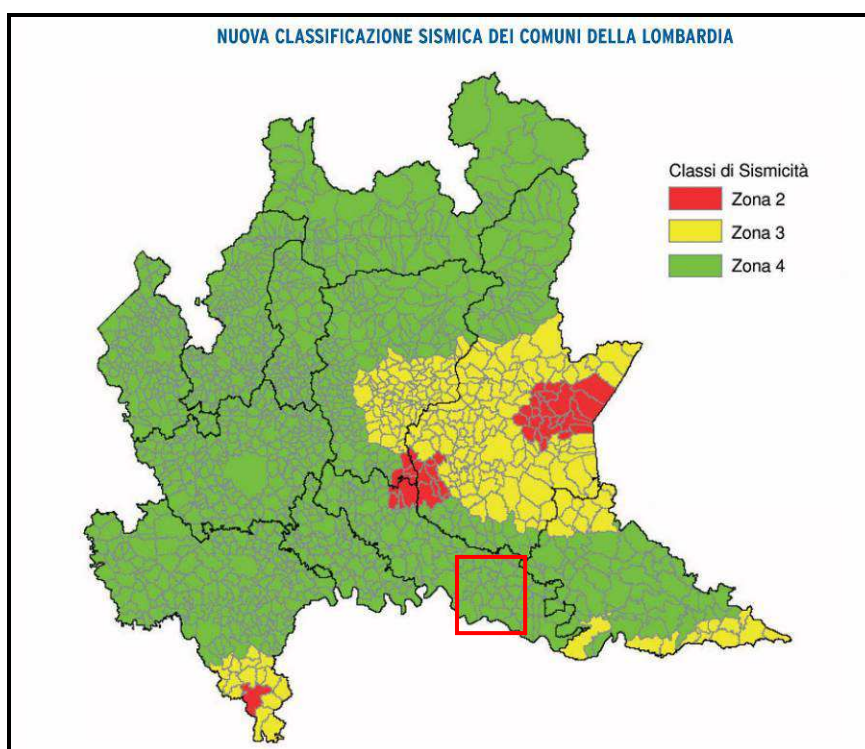


Figura 1: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia in seguito all'Ordinanza 3274/2003 (D.G.R. n. 7/14964 del 7 novembre 2003).

Sebbene la classificazione ai sensi della O.P.C.M. 3274 e s.m.i. prevedesse che ogni area del territorio nazionale fosse classificata e identificata da un valore soglia di pericolosità sismica, si delineavano alcune criticità:

- le Regioni, sollecitate dalla O.P.C.M. 3274, avevano classificato il proprio territorio basandosi su precedenti studi di pericolosità sismica (soprattutto quelli prodotti nell'ambito del gruppo di lavoro del 1998) e avevano inserito i comuni non classificati in zona 4 senza valutare i livelli di accelerazione attesi derivanti dalla pericolosità sismica;

- come disposto dalla O.P.C.M. 3274 e s.m.i. e dal D.M. 14.09.2005, la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale era stata aggiornata sulla base di nuovi dati utilizzando approcci leggermente differenti rispetto a quelli utilizzati per la redazione della mappa elaborata nel 1998 (INGV, 2006 – OPCM 351/06); questo aveva determinato, per alcune aree, la presenza di valori di a_g diversi rispetto a quelli previsti dalla classe sismica di appartenenza.

Tali criticità sono evidenziate in figura 2 e 3 in cui si riporta l'estratto della mappa di pericolosità sismica relativa alla Regione Lombardia (elaborazione INGV 2004 e 2006), da cui si ricava che per il territorio di Pieve d'Olmi il valore di a_g atteso risulta compreso tra **0.075 e 0.100 g**, ovvero valori ben superiori rispetto a quello previsto dalla normativa per la zona sismica 4 (tabella 1 e figura 2 e 3).

Al fine di superare tali criticità ed allineare la classificazione sismica ai criteri ed ai valori di pericolosità sismica di base contenuti nelle NTC08, con D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014 la Regione Lombardia ha emanato l' "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia".

Secondo tale disposizione, il Comune di **Pieve d'Olmi** appartiene alla **zona sismica 3**, così come riportato in figura 4.

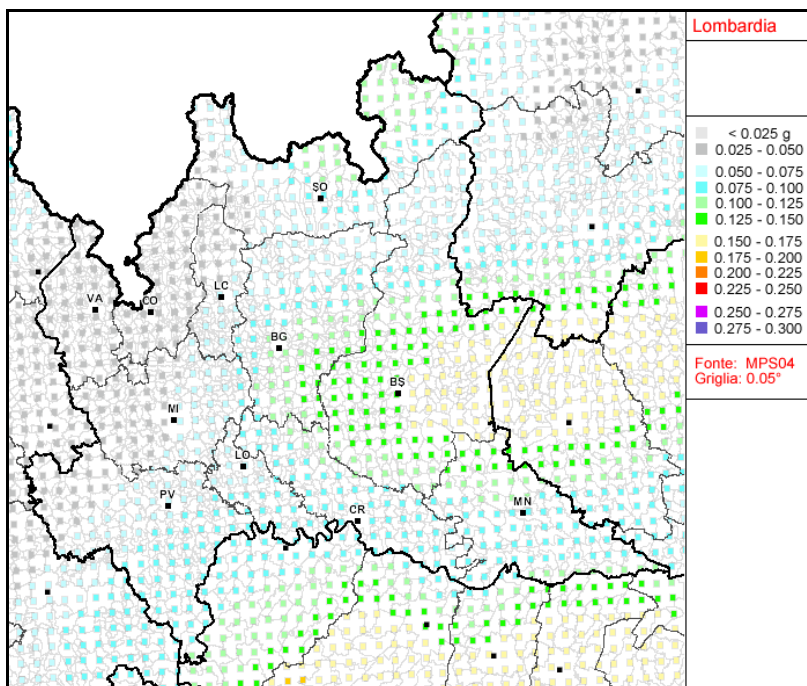


Figura 2: Mappa della pericolosità sismica della Regione Lombardia: si riportano i valori dell'accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di riferimento come frazione di g (INGV anno 2006).

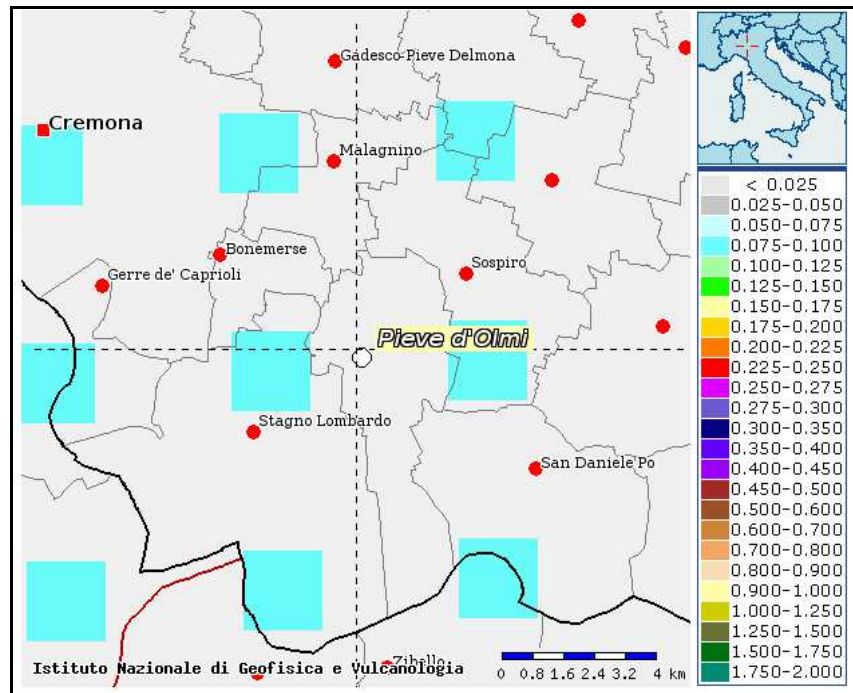


Figura 3: Mappa della pericolosità sismica relativa all'area di Pieve d'Olmi (valori di PGA espressi in frazione di g - 10% di probabilità di eccedenza nei prossimi 50 anni e smorzamento al 5%).

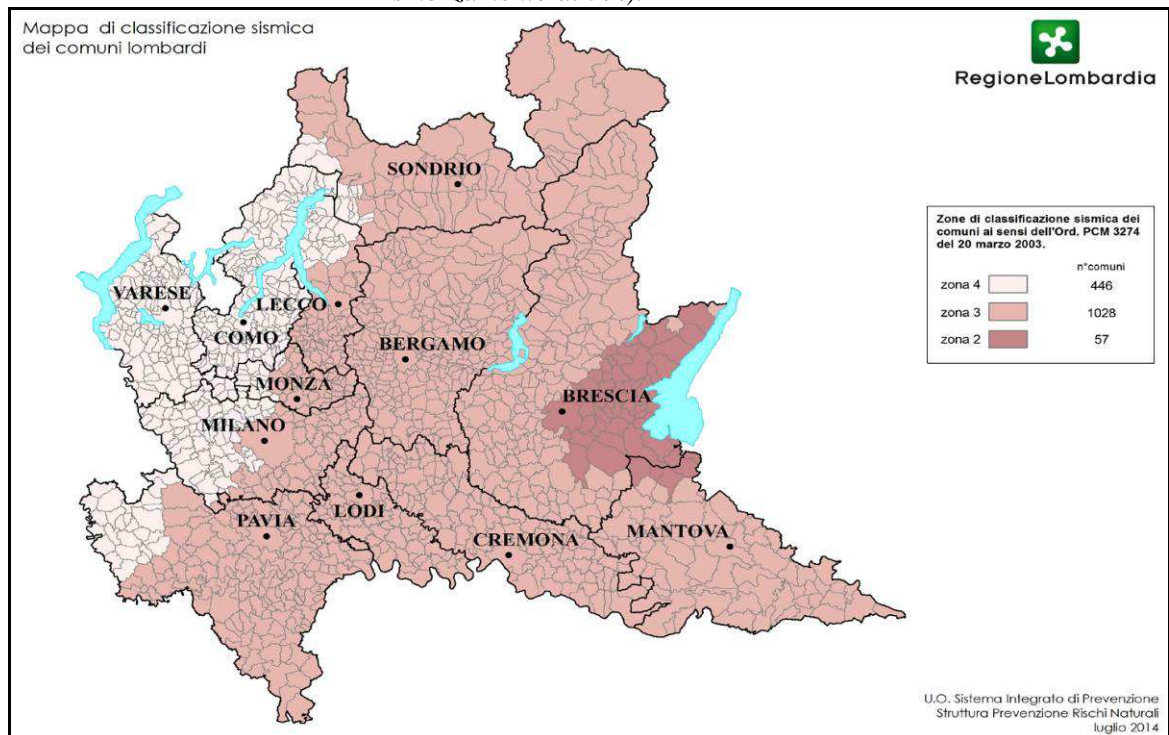


Figura 4: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia (D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014).

La nuova classificazione, soprattutto per i comuni precedentemente classificati in zona sismica 4 ed ora passati in zona 3 (tra cui il Comune di Pieve d'Olmi), implica importanti

ripercussioni sia nell'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni, sia in fase di redazione degli studi geologici a supporto della pianificazione urbanistica (esecuzione degli approfondimenti sismici di 2° livello per le zone PSL Z3 e Z4 interferenti con urbanizzato e urbanizzabile).

La modifica della zona sismica di riferimento, allineata ora alla pericolosità sismica di base e alle NTC08, definisce, su base probabilistica, le caratteristiche dello scuotimento del suolo (*macrozonazione sismica*) atteso su suolo rigido, ovvero senza considerare le modificazioni (durata, frequenza e ampiezza) legate alle caratteristiche geologiche e geomorfologiche dei terreni sito specifiche (*effetti locali*).

3. DESCRIZIONE DELLA SISMICITÀ STORICA E RECENTE

L'analisi della sismicità, intesa come distribuzione spazio-temporale dei terremoti in una determinata area, costituisce il primo tassello per gli studi di valutazione della pericolosità sismica di base.

Trattandosi di modelli probabilistici, infatti, le caratteristiche sismotettoniche e le modalità di rilascio dell'energia sismica pregressa consentono la messa a punto di modelli previsionali dell'attività sismica attraverso una quantificazione dei livelli di accelerazione attesi.

Il territorio di Pieve d'Olmi e un suo ragionevole intorno non rientrano in alcuna delle zone sismogenetiche (zonazione ZS9, figura 5), sottolineando l'assenza di strutture geologiche in grado di generare terremoti (le cosiddette "faglie capaci").

Dalla consultazione dei cataloghi sismici redatti dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia per gli studi di pericolosità risulta che:

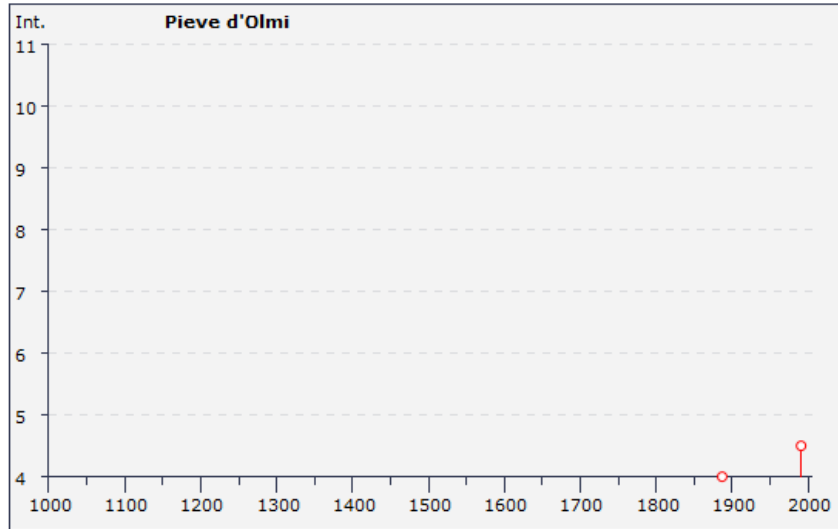
- l'area comunale e quella del basso bresciano, nel loro complesso, sono caratterizzate da eventi sismici piuttosto sporadici e di intensità massima rilevata dell'ordine del VI-VII grado della scala Mercalli;
- le località epicentrali per gli eventi che hanno prodotto i maggiori risentimenti/danni (osservazioni macrosismiche) provengono da zone appartenenti alle province vicine, corrispondenti al Veronese, al Bresciano, al Bergamasco al Cremasco e, soprattutto, all'Appennino Emiliano-Romagnolo.

Tale fatto è compatibile con la storia sismica locale così come deducibile dal catalogo DBMI11, il database utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI11) aggiornato al 2011 (a cura di M. Stucchi et al.), nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative a Pieve d'Olmi e al vicino Comune di Cremona.

Storia sismica di Pieve d'Olmi (CR)

Numero di eventi: 4

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
4	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15
4-5	1991 10 31 09:31	Parmense	134	5 4.45 ±0.14
NF	1998 03 26 16:26	Appennino umbro-marchigiano	408	6 5.29 ±0.09
3	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09

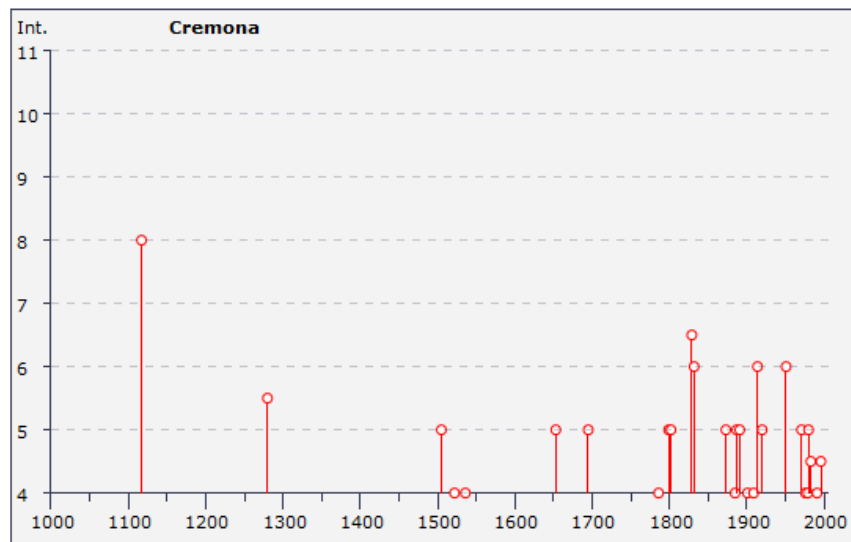


Storia sismica di Cremona (CR)

Numero di eventi: 52

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
8	1117 01 03 15:15	Veronese	55	9-10 6.69 ±0.20
F	1174 08 17 18:00	Val Padana	3	4-5 4.09 ±0.34
5-6	1280 01 25	Val Padana	2	5-6 4.51 ±0.34
NC	1365 09 21 05:45	Verona	2	5-6 4.51 ±0.34
5	1505 01 03 02:00	Bolognese	31	8 5.57 ±0.25
3-4	1512 02 08 09:15	Venezia	4	4 3.87 ±0.34
4	1522 10 05 00:10	Pianura Padana	6	5 4.80 ±0.54
4	1536 08 17 00:05	Appennino tosco-emiliano?	10	6-7 5.29 ±0.56
5	1653 04 19 04:40	Pianura Padana	4	5 4.30 ±0.72
5	1695 02 25 05:30	Asolano	82	10 6.48 ±0.18
3	1732 02 04 18:20	Parma	9	5-6 4.65 ±0.41
F	1741 04 24 09:00	FABRIANESE	145	9 6.21 ±0.13
4	1786 04 07 00:25	Pianura Padana	9	6 5.05 ±0.56
5	1799 05 29 19:00	CASTENEDOLO	12	6-7 5.01 ±0.51
5	1802 05 12 09:00	VALLE DELL'OGLIO	85	8 5.64 ±0.22
F	1810 12 25 00:45	NOVELLARA	33	6 5.29 ±0.22
6-7	1829 09 06 19:30	CREMONA	2	5-6 4.51 ±0.34
3-4	1832 03 11 06:45	Carpi (MO)	14	5 4.80 ±0.37
3-4	1832 03 11 08:45	Reggiano	14	

6	1832	03	13	03:30	Reggiano	98	7-8	5.53 ±0.18
3	1873	03	12	20:04	Marche meridionali	196	8	5.95 ±0.10
5	1873	06	29	03:58	Bellunese	199	9-10	6.32 ±0.11
4	1885	02	26	20:48	SCANDIANO	78	6	5.19 ±0.15
5	1887	02	23	05:21	Liguria occidentale	1516		6.97 ±0.15
5	1891	06	07	01:06	Valle d'Illasi	403	8-9	5.86 ±0.06
3	1898	03	04	21:05	Valle del Parma	313	7-8	5.41 ±0.09
4	1901	10	30	14:49	Salò	190	8	5.70 ±0.10
2	1904	06	10	11:15	Frignano	102	6	5.03 ±0.18
NF	1907	04	25	04:52	Veronese	122	6	4.91 ±0.15
4	1909	01	13	00:45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53 ±0.09
2	1913	11	25	20:55	Val di Taro	73	4-5	4.84 ±0.20
NF	1913	12	07	01:28	NOVI LIGURE	56	5	4.70 ±0.20
6	1914	10	27	09:22	Garfagnana	618	7	5.76 ±0.09
5	1920	09	07	05:55	Garfagnana	756	10	6.48 ±0.09
3	1929	04	19	04:15	Bolognese	82		
3	1929	04	20	01:09	Bolognese	109	7	5.34 ±0.13
3	1929	04	22	08:25	Bolognese	41		
3-4	1929	05	11	19:22	Bolognese	64		
3	1936	10	18	03:10	BOSCO CANSIGLIO	267	9	6.12 ±0.09
6	1951	05	15	22:54	LODIGIANO	154	6-7	5.39 ±0.14
2	1960	03	23	23:08	Vallese	178		5.00 ±0.20
5	1971	07	15	01:33	Parmense	229	8	5.64 ±0.09
4	1976	05	06	20:00	Friuli	770	9-10	6.46 ±0.09
4	1979	02	09	14:44	CAPRIATE S. GERVASIO	73	6	4.85 ±0.13
5	1980	12	23	12:01	Piacentino	38	6-7	4.60 ±0.09
4-5	1983	11	09	16:29	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
NF	1986	12	06	17:07	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
4	1991	10	31	09:31	Parmense	134	5	4.45 ±0.14
4-5	1996	10	15	09:56	Correggio	135	7	5.41 ±0.09
NF	1998	03	26	16:26	Appennino umbro-marchigiano	408	6	5.29 ±0.09
3	2000	06	18	07:42	Parmense	300	5-6	4.43 ±0.09
F	2004	11	24	22:59	Lago di Garda	176	7-8	5.06 ±0.09



Dal catalogo si nota come nessun evento risulta localizzato entro il territorio del Comune di Pieve d'Olmi o dei comuni limitrofi. Gli eventi più vicini sono quelli del 1829 e del 1522 con epicentro a Cremona, lontano da importanti zone sismogenetiche: si potrebbe trattare di fenomeni di rilascio tensionale legati a una struttura profonda (nota anche come “Struttura di Cremona”) considerata ancora attiva nel Quaternario.

Le osservazioni sismiche sono relative ad eventi provenienti principalmente dalla zona sismogenetica del Garda e d'Iseo (tra cui il sisma di Salò del 2004) e dal margine settentrionale dell'Appennino.

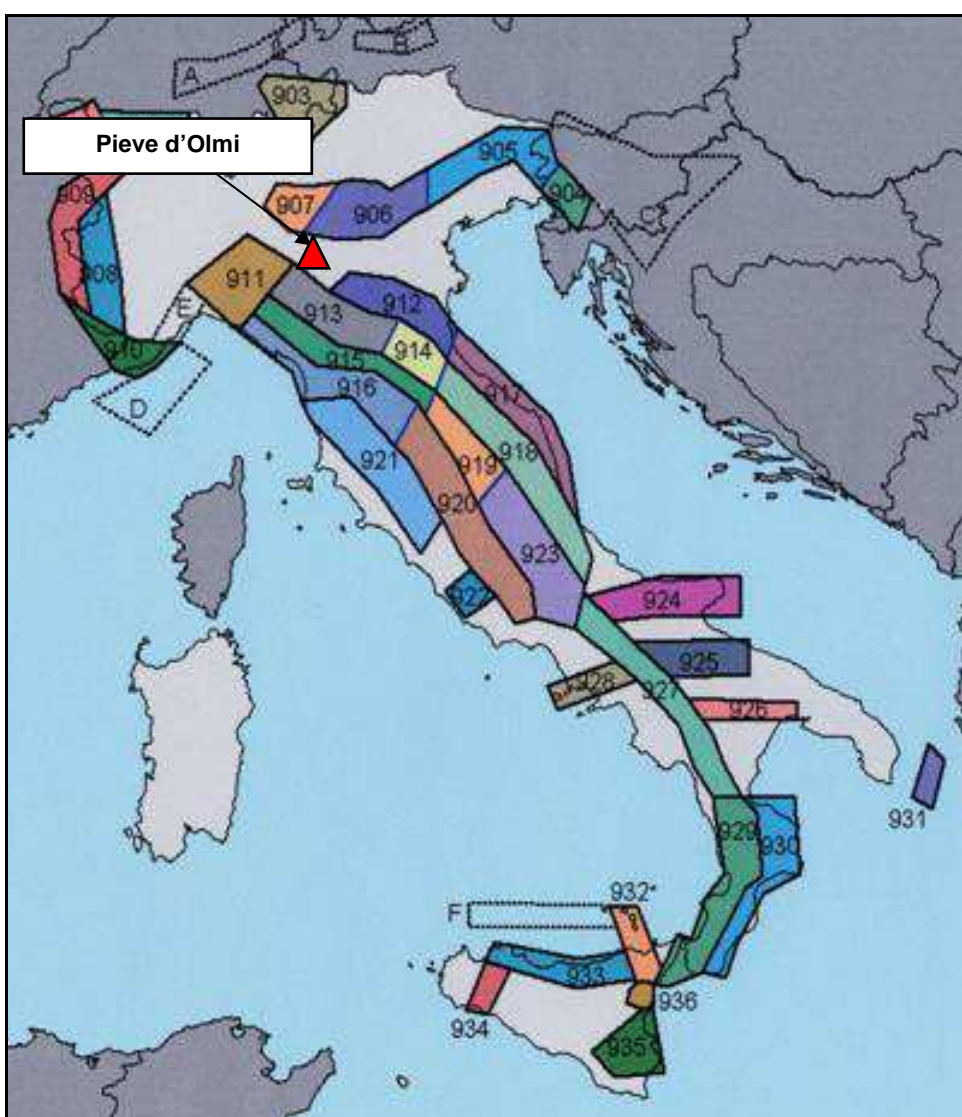


Figura 5: Individuazione delle zone sismogenetiche in cui è suddiviso il territorio nazionale - zonazione sismogenetica ZS9 (INGV 2004).

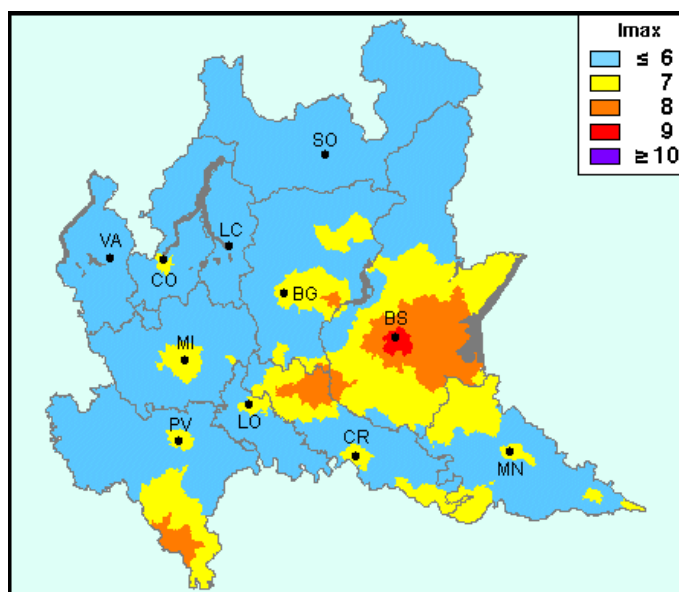


Figura 6: Carta della massima intensità macrosismica attesa in Lombardia (Moliniet et al., 1996).

4. LA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE PER IL TERRITORIO DI PIEVE D'OLMI

Come accennato nei capitoli precedenti, in fase di pianificazione è necessario effettuare una prima valutazione di quelle porzioni di territorio in cui si potrebbe verificare un'amplificazione dell'effetto sismico determinato da particolari condizioni litologiche, geotecniche e morfologiche.

Dette condizioni geologiche e geomorfologiche possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità dell'area.

Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei terreni e dei materiali coinvolti; pertanto, gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione dei possibili effetti locali, distinguibili in due grandi gruppi: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti ad instabilità (o effetti cosismici).

Mentre gli effetti di instabilità interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente tale nei confronti delle sollecitazioni sismiche (esempio i versanti, le frane quiescenti, ecc.), gli effetti di sito o di amplificazione sismica locale interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese. Quest'ultimi sono rappresentati dall'insieme di modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le strutture locali.

Gli effetti di sito si distinguono in due gruppi che possono essere contemporaneamente presenti nella stessa area:

- *gli effetti di amplificazione topografica*: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale; tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta di un rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello difratto. Se l'irregolarità topografica è rappresentata da substrato roccioso (bedrock) si verifica un puro effetto di amplificazione topografica mentre nel caso di rilievi costituiti da

materiali non rocciosi, l'effetto amplificatorio è la risultante dell'interazione (difficilmente separabile) tra l'effetto topografico e quello litologico di seguito descritto;

- *gli effetti di amplificazione litologica:* si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia ecc.) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche. Tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.

Al fine di individuare gli effetti di sito locali, la D.G.R. 9/2616/2011 prevede che, in fase di pianificazione urbanistica, venga affrontata un'analisi della pericolosità sismica del territorio secondo livelli di approfondimento successivi.

Tale metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio crescente: i primi due sono obbligatori in fase di pianificazione (con le opportune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza), mentre il terzo è obbligatorio in fase di progettazione; nella tabella seguente si riportano gli adempimenti in funzione della zona sismica di appartenenza.

	LIVELLI DI APPROFONDIMENTO E FASI DI APPLICAZIONE		
	<i>PSL= Pericolosità sismica locale</i>		
	<i>1° Livello Fase pianificatoria</i>	<i>2° Livello Fase pianificatoria</i>	<i>3° Livello Fase progettuale</i>
Zona sismica 2-3	obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato o urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale - Nelle zone PSL Z1 e Z2
Zona sismica 4	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

Nel caso specifico del Comune di Pieve d'Olmi, l'analisi territoriale (basata sui dati innanzi acquisiti) ha definito un generale scenario di Pericolosità Sismica Locale (tabella 2) di tipo **Z4a** "Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi", esteso all'intero ambito comunale: l'effetto atteso nei confronti delle onde sismiche è quindi quello di una amplificazione litologica.

L'attribuzione agli scenari di PSL sopra descritti è riportata nella **Carta della Pericolosità sismica locale** in scala 1:10.000.

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

Tabella2: Scenari di Pericolosità Sismica Locale.

Analisi sismica di secondo livello

Come previsto dalla D.G.R. IX/2616/2011, per i comuni appartenenti alla Zona Sismica 3, in fase di pianificazione si deve procedere all'analisi dei fattori di amplificazione Fa (approfondimento di 2° livello) per le zone PSL Z3 e Z4 interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.

La procedura prevede il confronto del valore di F_a dell'area rispetto al valore di F_a caratteristico del territorio comunale in cui l'area è inserita: tale valore, detto "di soglia", è contenuto in un apposito elenco redatto dalla Regione Lombardia.

Il risultato conduce a due situazioni: il valore di F_a è inferiore o uguale al valore di soglia oppure superiore. Nel primo caso la normativa antisismica (D.M. 14.01.2008) è sufficiente nel considerare i possibili effetti di amplificazione topografica/litologica del sito, consentendo l'applicazione dello spettro previsto dalla normativa; viceversa la normativa è insufficiente e devono essere effettuate analisi più approfondite (approfondimento di 3° livello) in fase di progettazione strutturale (o, se adeguato, utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore). Si precisa tuttavia che l'applicazione dello spettro previsto dalla normativa, anche se mediamente sufficiente ($F_a \text{ soglia} > F_a \text{ sito}$), potrebbe non cogliere alcuni aspetti principali, quali i processi di amplificazione molto marcati per specifici periodi: per questo è consigliabile, soprattutto in fase di progettazione di edifici pubblici e con valenza strategico-rilevante, di effettuare comunque l'approfondimento sismico di 3° livello.

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

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s				
<i>Comune</i>	<i>Suolo tipo B</i>	<i>Suolo tipo C</i>	<i>Suolo tipo D</i>	<i>Suolo tipo E</i>
Pieve d'Olmi	1.4	1.8	2.1	1.9

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s				
<i>Comune</i>	<i>Suolo tipo B</i>	<i>Suolo tipo C</i>	<i>Suolo tipo D</i>	<i>Suolo tipo E</i>
Pieve d'Olmi	1.7	2.4	4.0	3.0

Tabella 3: Valori di soglia del fattore di amplificazione per le diverse categorie di sottosuolo.

I due intervalli per i quali viene calcolato il valore di F_a 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 in prima analisi definito utilizzando la seguente l'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. 14.01.2008).

Amplificazione litologica

Lo **scenario Z4a** identifica la possibilità che si verifichino effetti di amplificazione sismica correlabili alle caratteristiche lito-stratigrafiche e meccaniche dei terreni che costituiscono il sottosuolo (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>
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi)
Geofisici (Vs)	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 4: Livelli di attendibilità dei dati per la stima del rischio sismico e delle amplificazioni di sito.

La valutazione dei fattori di amplificazione è stata effettuata eseguendo un'apposita campagna di indagini geofisiche per alcune aree dislocate nel territorio urbanizzato o urbanizzabile (ambiti di trasformazione urbanistica).

Per tali aree è stato ricostruito l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_s - 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 F_a).

Di seguito si riportano i profili di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità relativi alle 6 aree indicate nella figura 8.



Figura 7: Individuazione delle aree all'interno delle quali sono state eseguite le indagini geofisiche.

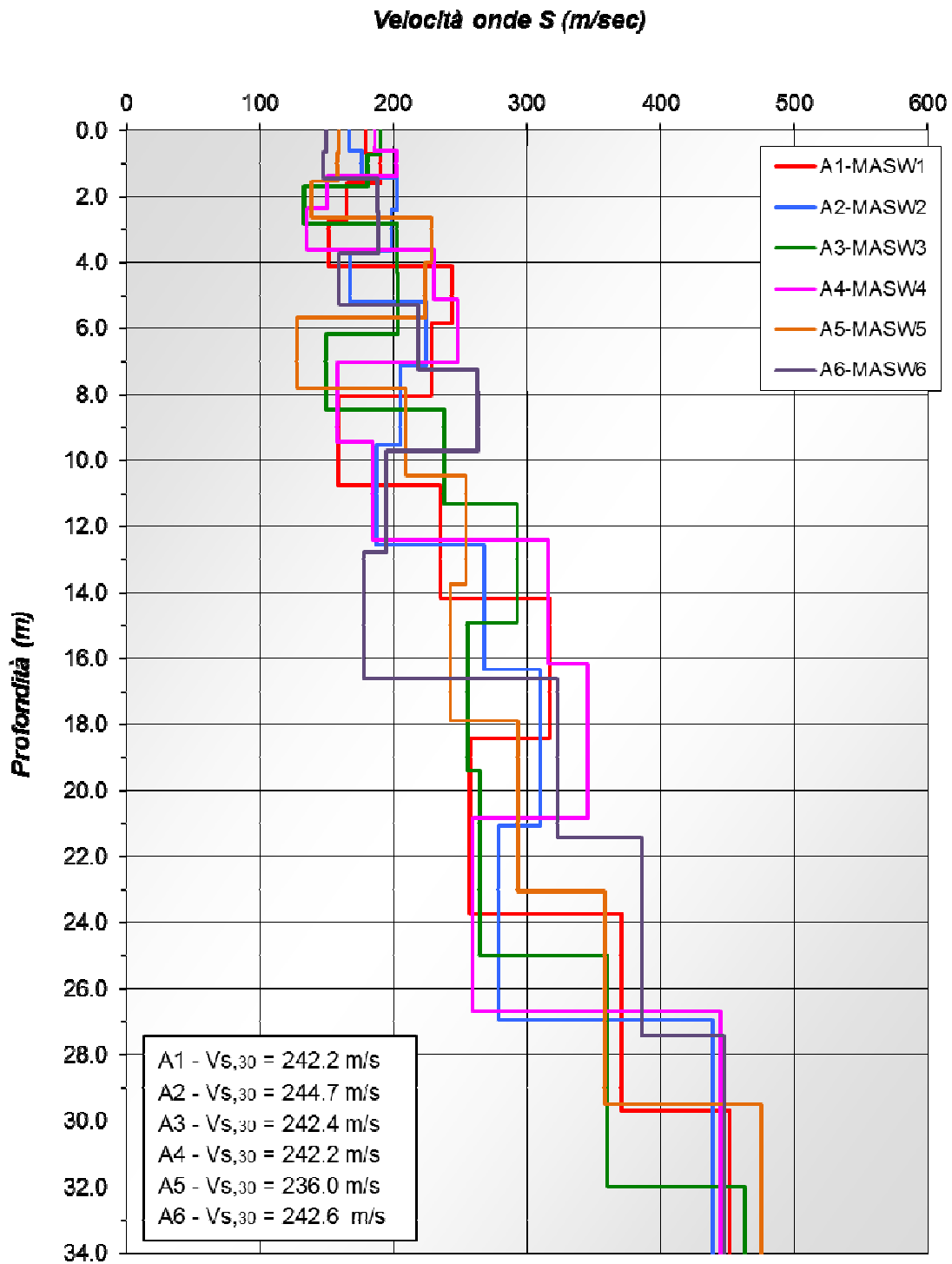


Figura 8: Andamento con la profondità della velocità delle onde sismiche di taglio per le 6 aree indagate.

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 scheda¹).

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:

¹ 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.

Area	Categoria Sottosuolo da $V_{s,30}$	Scheda	Curva	Periodo T_0 [s]	Fa (0.1-0.5)	Fa (0.5-1.5)
A1	C	Sabbiosa	2	0.59	1.3	2.0
A2	C	Sabbiosa	2	0.58	1.3	1.9
A3	C	Sabbiosa	2	0.60	1.3	2.0
A4	C	Sabbiosa	2	0.59	1.3	2.0
A5	C	Sabbiosa	2	0.57	1.3	1.9
A6	C	Sabbiosa	2	0.58	1.3	1.9

Tabella 5: Valutazione dei fattori di amplificazione per le aree in esame.

Successivamente i valori di Fa ottenuti con l'analisi di 2° livello sono stati confrontati con i corrispettivi valori di Fa di soglia (tabella 6).

Area	Cat. Sottosuolo	Fa (0.1-0.5)		Verifica	Fa (0.5-1.5)		Verifica
		sito	soglia		sito	soglia	
1	C	1.3	1.8+0.1	Si	2.0	2.4+0.1	Si
2	C	1.3	1.8+0.1	Si	1.9	2.4+0.1	Si
3	C	1.3	1.8+0.1	Si	2.0	2.4+0.1	Si
4	C	1.3	1.8+0.1	Si	2.0	2.4+0.1	Si
5	C	1.3	1.8+0.1	Si	1.9	2.4+0.1	Si
6	C	1.3	1.8+0.1	Si	1.9	2.4+0.1	Si

Tabella 6: 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 sufficienti nel valutare gli effetti di amplificazione litologica propri del sito: risulta pertanto possibile utilizzare gli spettri elastici previsti dalla normativa vigente (DM 14.01.2008) per una categoria di sottosuolo C.

Tuttavia si sottolinea che i profili geofisici ricostruiti per le aree indagate si posizionano appena al di sotto del limite di validità della scheda di riferimento “limoso-sabbiosa2”, ragione per la quale è stata utilizzata la scheda di riferimento “sabbiosa” (figura 9). Nonostante ciò, si ritiene che il comportamento delle aree indagate da un punto di vista dell’amplificazione stratigrafica sia intermedio tra quello previsto dalle due schede: mentre la scheda limoso-sabbiosa2 prevede un fattore di amplificazione maggiore nell’intervallo 01-0.5 s, la scheda sabbiosa prevede un fattore di amplificazione maggiore nell’intervallo 0.5-1.5 s.

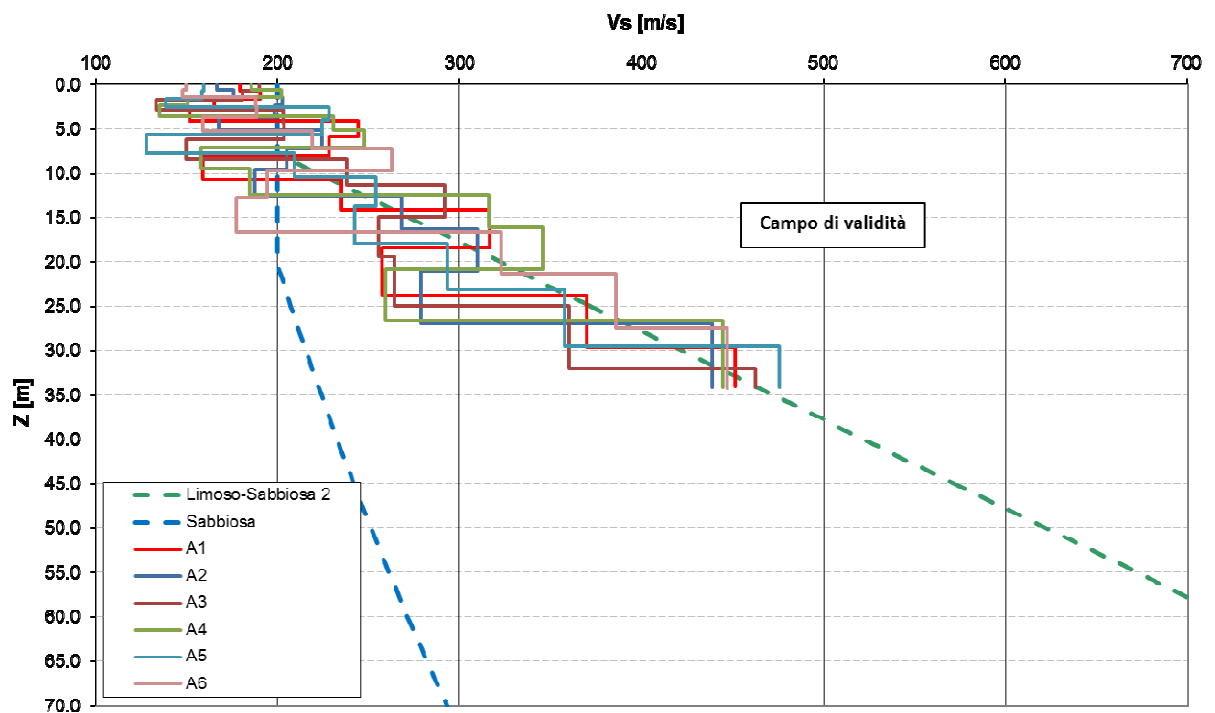


Figura 9: profili geofisici delle aree indagate e campi di validità delle schede di riferimento (DGR 9/2616/2011).

5. 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. 9/2616/2011 per le aree di trasformazione previste nel DdP del PGT ha evidenziato, con le assunzioni sopra riportate, come gli spettri previsti dalle NTC08 siano sufficienti a considerare gli effetti di amplificazione stratigrafica propri del sito.

Tale risultato, tuttavia, è applicabile solamente alle aree indagate nel presente studio e utilizzando come riferimento la quota di piano campagna (quota per la quale sono state condotte tutte le valutazioni). Per aree non indagate o per differenti profondità di valutazione, infatti, potrebbero risultare fattori di amplificazione differenti, in funzione del sottosuolo sismico di riferimento (ovvero quello sul quale si attestano le fondazioni degli edifici). In particolare, se il substrato ricadesse nella scheda di riferimento "limoso-sabbiosa2", si otterrebbero per il periodo 0.1-0.5 s e per una categoria di sottosuolo di tipo C, valori di F_a di sito superiori a F_a di soglia.

Per tale 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 ed all'intervento specifico, in grado di ricostruire il profilo Vs-profondità, secondo quanto stabilito dal D.M. 14.01.2008.

Qualora lo studio di valutazione identificasse che il fattore F_a di sito è inferiore a quello di soglia, in fase progettuale si potrà definire l'azione sismica di progetto mediante l'individuazione della categoria di sottosuolo ai sensi delle NTC08.

Nel caso in cui invece $F_{a_{\text{sito}}} > F_{a_{\text{soglia}}}$, 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 (categorie di sottosuolo superiori che soddisfino la condizione $F_{a_{\text{sito}}} < F_{a_{\text{soglia}}}$).

Si precisa, 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 da eseguire a corredo di ogni progetto di infrastruttura o edificio (reso obbligatorio dal D.M. 11.03.1988 e dal D.M. 14.01.2008 e ss.mm.ii.), dovranno essere analizzati anche gli aspetti derivanti dalla pericolosità sismica locale.

6. ALLEGATO: INDAGINI GEOFISICHE CON METODOLOGIA MASW

Signa srl

INDAGINI GEOFISICHE

Committente: Dott. Geol. Daguati Marco.

Comune: Pieve d'Olmi (CR).

Indagine: Indagini geofisiche con la metodologia MASW.

RAPPORTO TECNICO

Codice documento: 28-15			Numero pagine: 17		
A	04/06/15	EMMISSIONE	DG	DG	DG
<i>Rev.</i>	<i>Data</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Redatto</i>	<i>Controllato</i>	<i>Approvato</i>



SIGNA srl
Via G. Donizetti, 7 – 24040 Boltiere (BG)
Tel/Fax 035-806318 – Cell. 331-8218021
Cod.Fisc. e P.IVA 05388280967
www.signasrl.it; e-mail: info@signasrl.it



SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/06/2015
	N. Commessa	28-15
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Pieve_Olmi

1. INTRODUZIONE ED INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La presente relazione riporta le elaborazioni ed i risultati ottenuti dall'esecuzione di n. 6 profili sismici con la metodologia MASW effettuati in altrettante aree situate nel territorio comunale di Pieve d'Olmi (CR).

La campagna di indagine è stata eseguita nella giornata del 28 maggio 2015 su incarico del Dott. Geol. Marco Daguati di Codogno (LO), nell'ambito della redazione dell'aggiornamento dello studio geologico comunale ai sensi della nuova Legge per il Governo del Territorio.

Scopo delle indagini geofisiche, la ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (V_s -z) per le aree in esame al fine di consentire una stima degli effetti sismici di sito: il modello sismico monodimensionale consente di valutare l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica – D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011 “*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio in attuazione dell'art. 57 della L. R. n. 11 marzo 2005 n. 12*”).

Nei capitoli successivi verranno descritte le modalità d'esecuzione delle misure sperimentali e l'interpretazione geofisica delle stesse.

In *figura 1* riporta l'ubicazione delle aree all'interno delle quali sono state effettuate le indagini MASW con la relativa identificazione numerica (A1-A6).

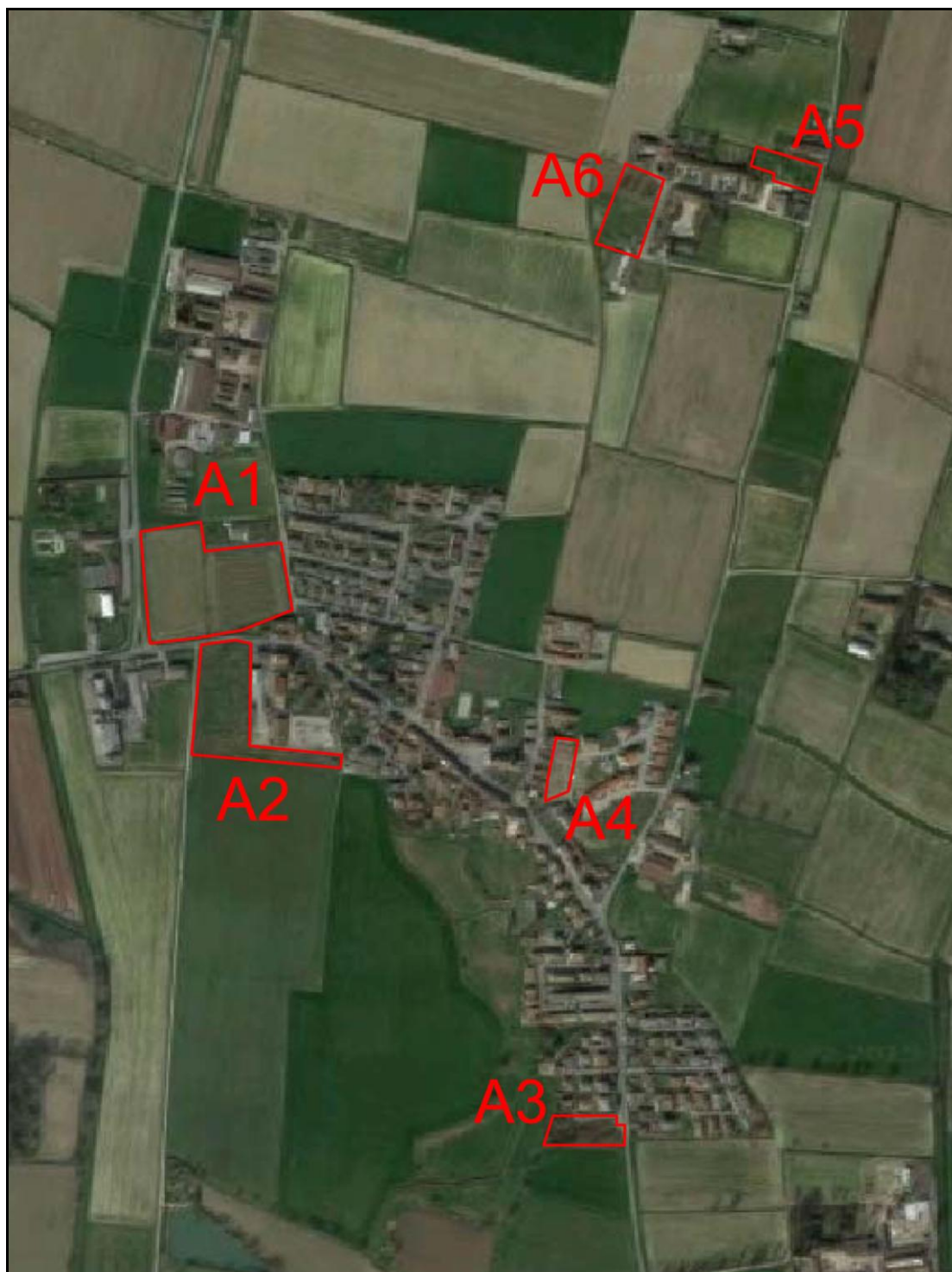


Figura 1: ubicazione delle aree all'interno delle quali sono state effettuate le prospezioni MASW (immagine tratta da *Google Map*).

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/06/2015
	N. Commessa	28-15
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Pieve_Olmi

2. INDAGINE GEOFISICA MASW: DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del *Kansas Geological Survey* (Park C.B. et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh.

Il metodo di indagine MASW si distingue in “attivo” e “passivo” (Zywicki D.J., 1999; Park C.B., Miller R.D., 2006; Roma V., 2006):

1) Nel “**metodo attivo**” le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).

2) Nel “**metodo passivo**” lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche “microtremori”) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche indagano bande spettrali differenti: mentre il metodo attivo consente di ottenere una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce informazioni sulla parte più superficiale di sottosuolo (fino a circa 20-30 m di profondità in funzione della rigidità del suolo), il metodo passivo consente di determinare una curva di dispersione nella banda di frequenza tra 4 e 20 Hz e fornisce informazioni sugli strati più profondi (generalmente al di sotto dei 30 m).

La combinazione delle due tecniche consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenza comprese tra 4 e 40 Hz e permette una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa 30-40 m di profondità (sempre in funzione della rigidità degli strati).

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura compresa tra 1.0 e 2.0 (la configurazione geometrica adottata è stata

SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/06/2015
	N. Commessa	28-15
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Pieve_Olmi

dettata sia dalle condizioni logistiche che dalla necessità di ricostruire al meglio lo spettro di velocità delle onde superficiali di Rayleigh).

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Nell'esecuzione della prova MASW attiva è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di *stacking*).

La sorgente è stata posta ad una distanza compresa tra 6 e 12 m dal primo geofono effettuando più energizzazioni in punti differenti ("*Optimum Field Parameters of an MASW Survey*", Park C.B. et al., 2005; Dal Moro G., 2008; Dal Moro G., 2012).

Terminata l'indagine attiva, con la stessa configurazione geometrica si è passati alla registrazione dei microtremori (MASW passiva) acquisendo in totale 10-12 registrazioni di rumore, ciascuna della lunghezza di 30 s.

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata per l'esecuzione della prova MASW attiva e passiva:

n°	Strumentazione	Caratteristiche
1	Unità di acquisizione	sismografo GEOMETRICS "GEODE" a 24 bit
24	Geofoni verticali	"Geospace" con $f_0 = 4.5$ Hz
1	Cavo sismico	L = 60 m
1	Sorgente	Mazza battente su piattello metallico

Data	04/06/2015
N. Commessa	28-15
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_Pieve_Olmi

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

Vista dello stendimento MASW 1 – Area A1



Vista dello stendimento MASW 2 – Area A2



Data	04/06/2015
N. Commessa	28-15
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_Pieve_Olmi

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

Vista dello stendimento MASW 3 – Area A3



Vista dello stendimento MASW 4 – Area A4



Data	04/06/2015
N. Commessa	28-15
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_Pieve_Olmi

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

Vista dello stendimento MASW 5 – Area A5



Vista dello stendimento MASW 6 – Area A6



SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/06/2015
	N. Commessa	28-15
	C. Documento	01
Indagini geofisiche con la metodologia MASW	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Pieve_Olmi

3. ELABORAZIONE DATI

I dati sperimentali, acquisiti in formato SEG-2, sono stati trasferiti su PC e convertiti in un formato compatibile (KGS format file) per l'interpretazione attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (**SurfSeis 4.0** della Kansas University, Park C. B., 2006-2013).

Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "*phase velocity-frequency (c-f)*" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica.

Gli spettri bidimensionali ottenuti dalle registrazioni con il metodo attivo e con quello passivo, elaborati in fasi separate, vengono successivamente combinati in modo da ottenere uno spettro unico.

In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Inoltre, la combinazione dei due metodi MASW consente di individuare il "modo fondamentale" delle onde di superficie nel campo di frequenze compreso tra i 4 e i 40 Hz e di ottenere informazioni sia "superficiali" che "profonde".

Sullo spettro di frequenza viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (vedi le curve di dispersione riportate in allegato).

Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali.

L'analisi dello spettro bidimensionale c-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità.

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

Dall'inversione delle curve di dispersione (relative al "modo fondamentale" delle onde superficiali di Rayleigh) si ottengono i seguenti modelli medi di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, ciascuno rappresentativo dell'area investigata.

MASW 1			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.7	179	0.7
2	0.9	190	1.6
3	1.1	165	2.7
4	1.4	151	4.1
5	1.7	244	5.9
6	2.2	228	8.0
7	2.7	159	10.8
8	3.4	235	14.2
9	4.3	317	18.4
10	5.3	257	23.7
11	5.9	370	29.7
12	4.3	451	34.0

Tabella 1: modello sismico monodimensionale – MASW1_A1.

MASW 2			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.6	167	0.6
2	0.8	176	1.4
3	1.0	203	2.4
4	1.2	198	3.7
5	1.5	167	5.2
6	1.9	225	7.1
7	2.4	205	9.5
8	3.0	187	12.6
9	3.8	268	16.3
10	4.7	310	21.1
11	5.9	278	27.0
12	7.2	439	34.1

Tabella 2: modello sismico monodimensionale – MASW2_A2.

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

MASW 3			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.8	190	0.8
2	0.9	181	1.7
3	1.2	133	2.9
4	1.5	203	4.3
5	1.8	203	6.2
6	2.3	150	8.5
7	2.9	238	11.3
8	3.6	292	14.9
9	4.5	255	19.4
10	5.6	264	25.0
11	7.0	360	32.0
12	2.1	463	34.1

Tabella 3: modello sismico monodimensionale – MASW3_A3.

MASW 4			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.6	185	0.6
2	0.8	202	1.4
3	1.0	150	2.4
4	1.2	135	3.6
5	1.5	231	5.1
6	1.9	248	7.1
7	2.4	158	9.4
8	3.0	185	12.4
9	3.7	316	16.2
10	4.7	346	20.8
11	5.8	259	26.7
12	7.5	444	34.1

Tabella 4: modello sismico monodimensionale – MASW4_A4.

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

MASW 5			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.7	159	0.7
2	0.9	158	1.6
3	1.1	138	2.6
4	1.4	228	4.0
5	1.7	224	5.7
6	2.1	128	7.8
7	2.6	209	10.5
8	3.3	254	13.8
9	4.1	242	17.9
10	5.2	293	23.1
11	6.5	358	29.5
12	4.6	475	34.1

Tabella 5: modello sismico monodimensionale – MASW5_A5.

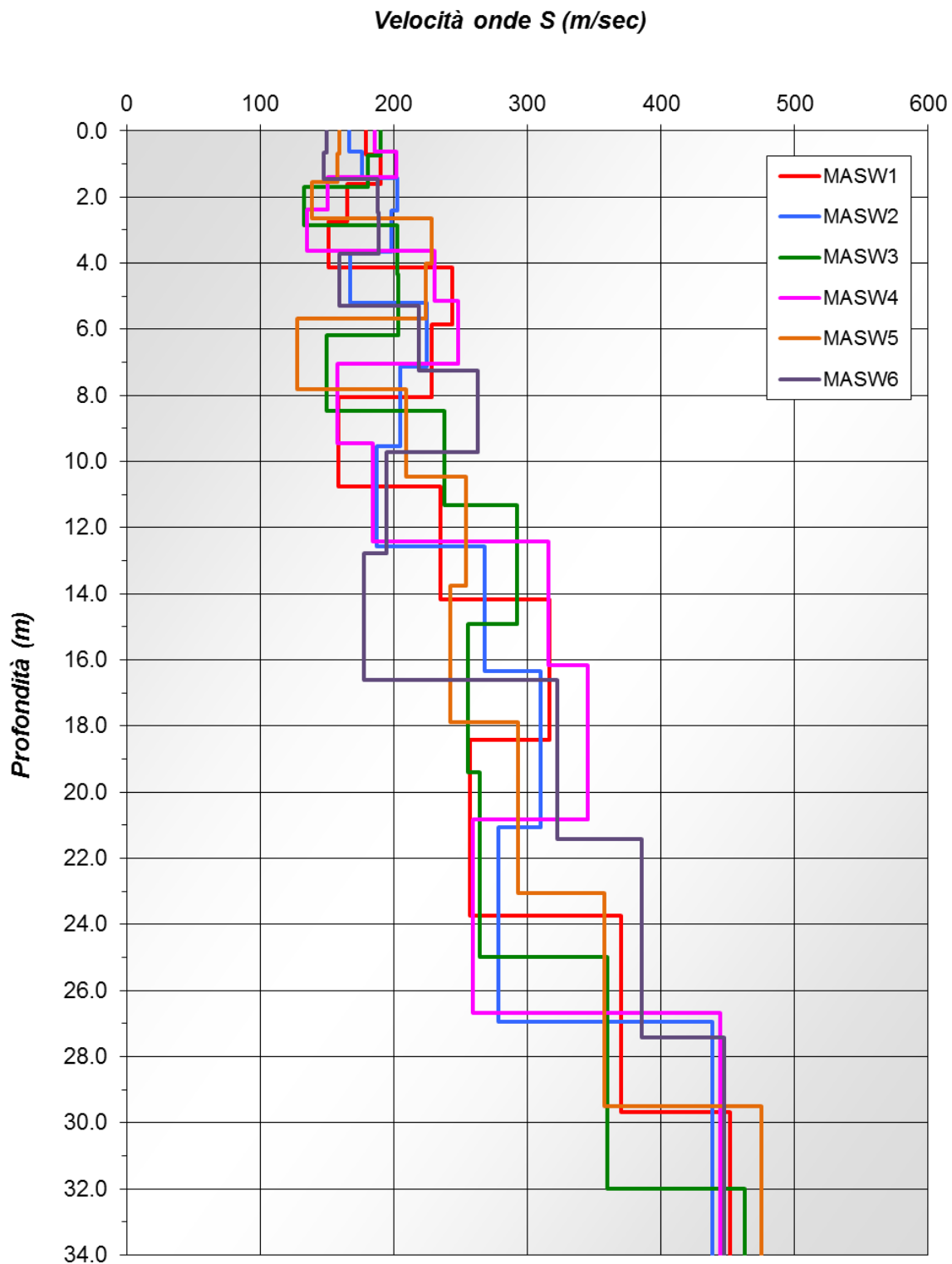
MASW 6			
Strato	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità
1	0.6	150	0.6
2	0.8	148	1.4
3	1.0	188	2.5
4	1.3	188	3.7
5	1.6	159	5.3
6	2.0	219	7.3
7	2.5	263	9.7
8	3.1	194	12.8
9	3.8	177	16.6
10	4.8	323	21.4
11	6.0	386	27.4
12	6.9	447	34.3

Tabella 6: modello sismico monodimensionale – MASW6_A6.

Data	04/06/2015
N. Commessa	28-15
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_Pieve_Olmi

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

Shear-Wave Velocity Profile from Surface waves inversion



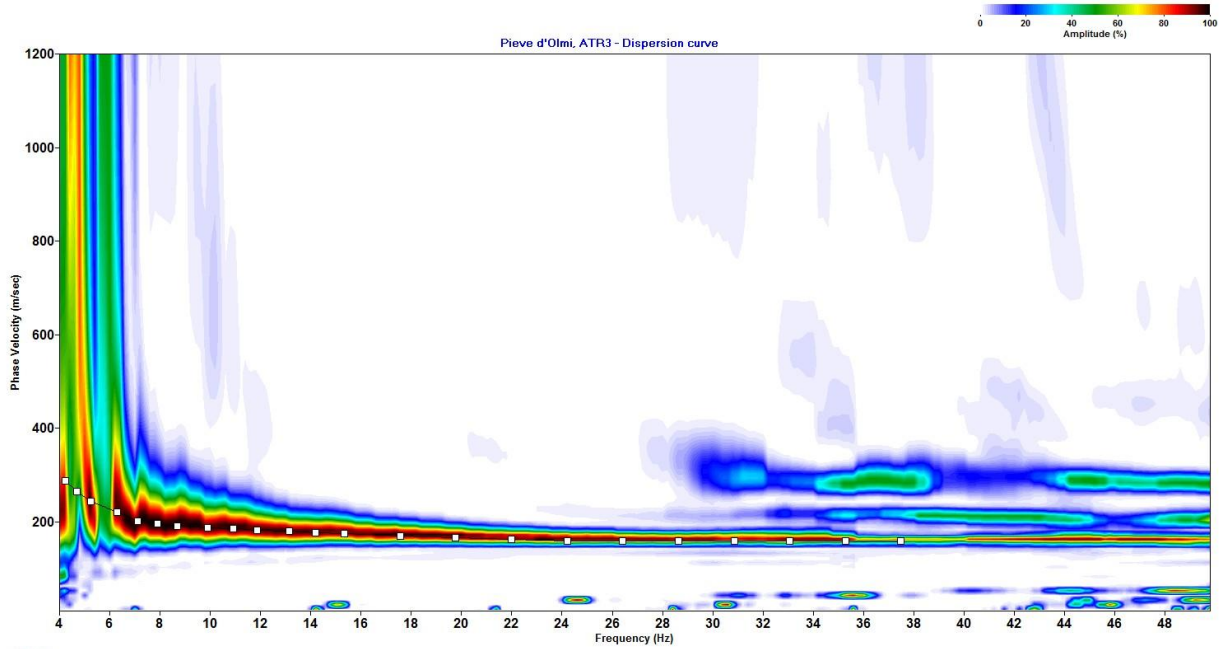
SIGNA srl – Indagini geofisiche	Data	04/06/2015
	N. Commessa	28-15
	C. Documento	01
<i>Indagini geofisiche con la metodologia MASW</i>	Revisione	A (DG)
	Nome file	MASW_Pieve_Olmi

ALLEGATO

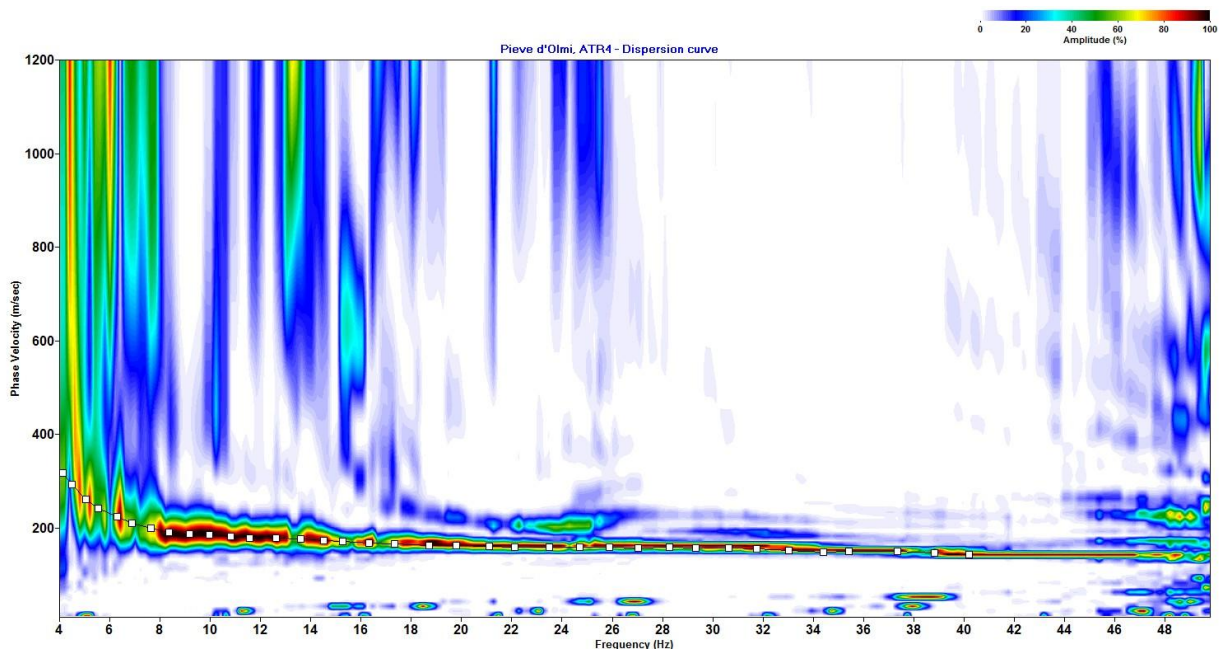
Data	04/06/2015
N. Commessa	28-15
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_Pieve_Olmi

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

MASW1 - CURVA DI DISPERSIONE



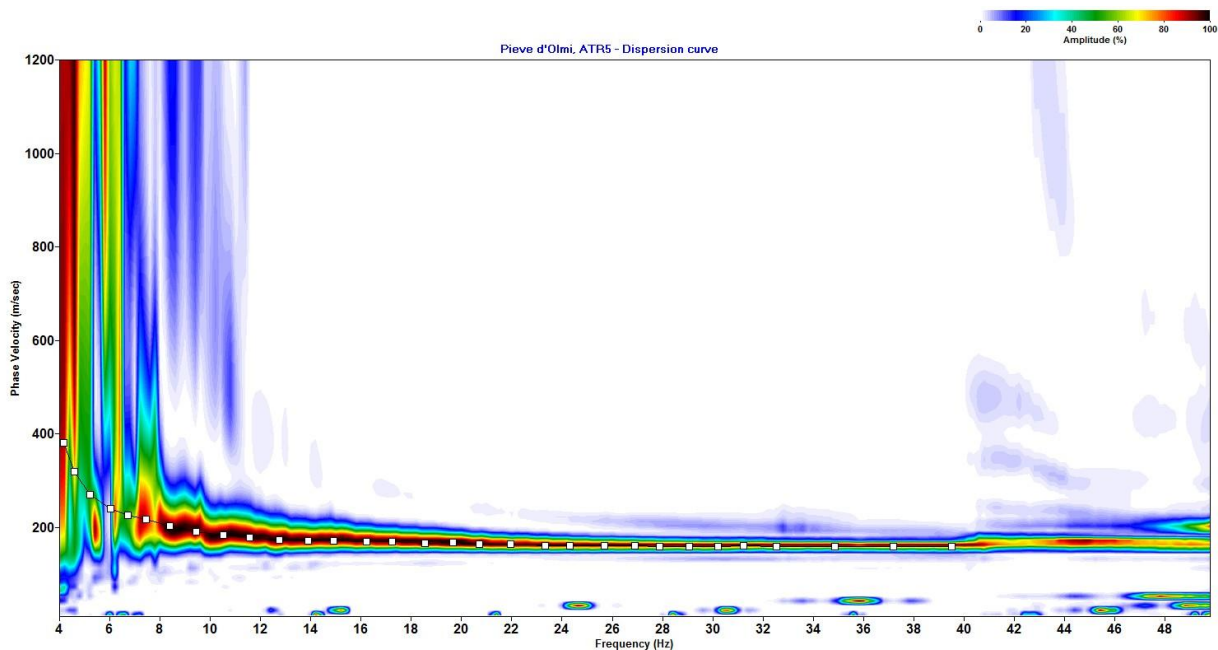
MASW2 - CURVA DI DISPERSIONE



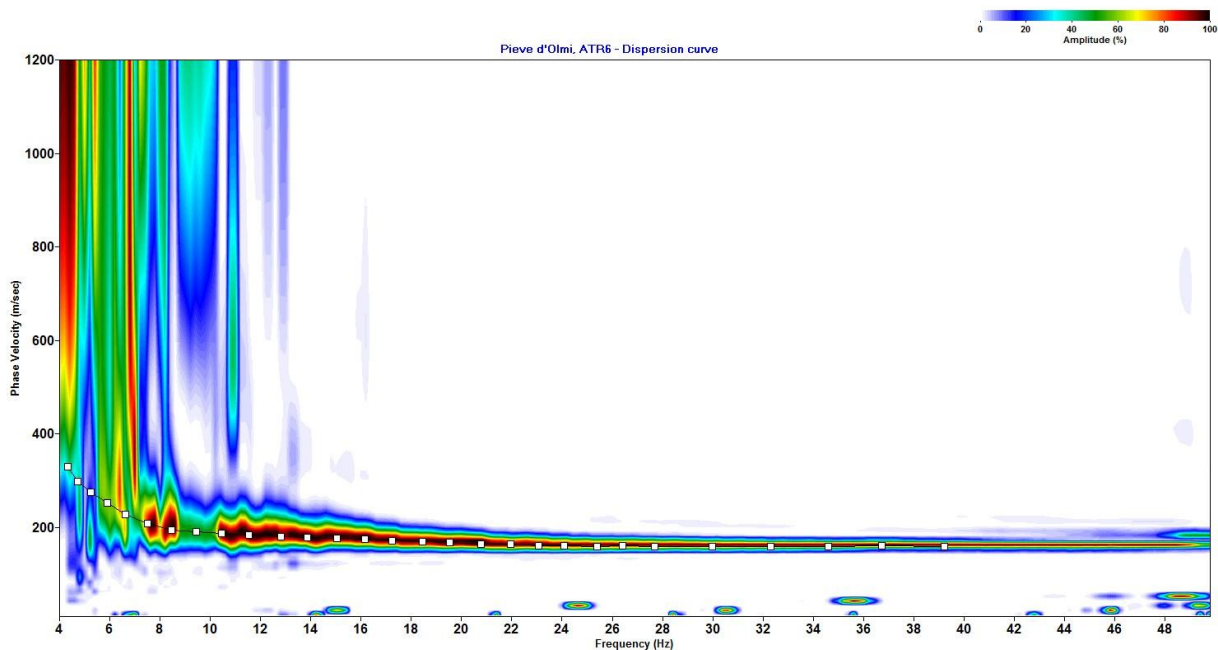
Data	04/06/2015
N. Commessa	28-15
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_Pieve_Olmi

Indagini geofisiche con la metodologia MASW

MASW3 - CURVA DI DISPERSIONE

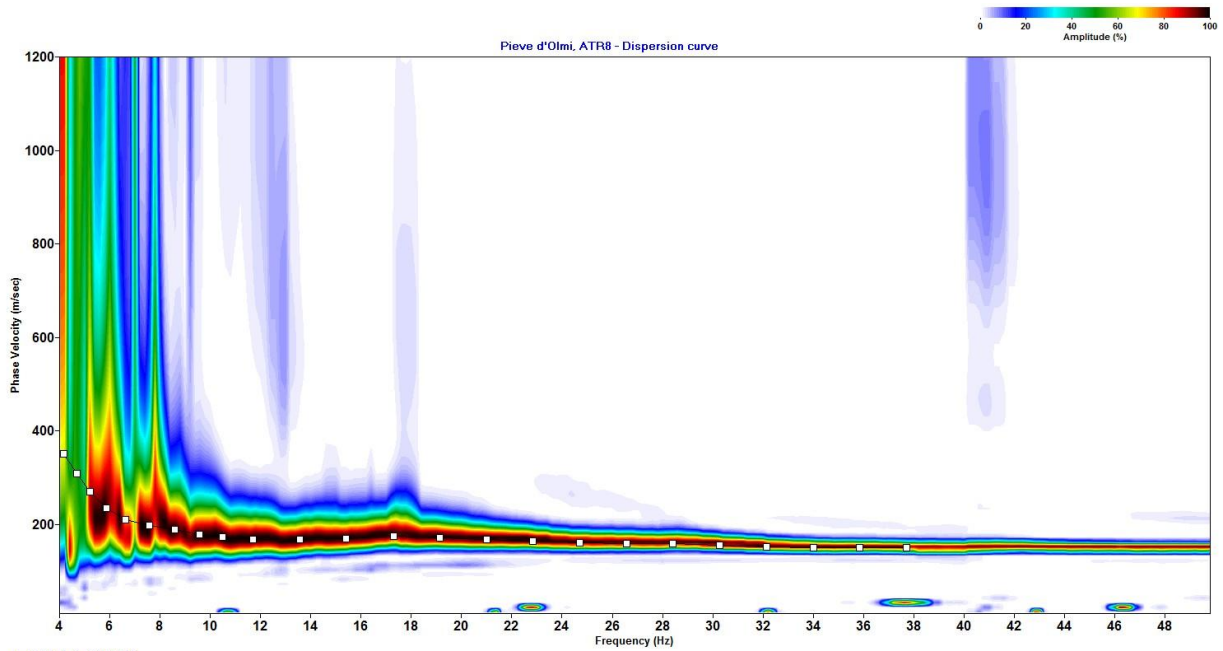


MASW4 - CURVA DI DISPERSIONE



Data	04/06/2015
N. Commessa	28-15
C. Documento	01
Revisione	A (DG)
Nome file	MASW_Pieve_Olmi

MASW5 - CURVA DI DISPERSIONE



MASW6 - CURVA DI DISPERSIONE

