# COMUNE DI BUGUGGIATE

*Provincia di Varese*

STUDIO RELATIVO ALLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO (P.G.T.) AI SENSI DELLA L.R. 12/2005 E SECONDO I CRITERI DELLA D.G.R. N. 8/7374/08

## *INDAGINE SISMICA DI II LIVELLO RELAZIONE TECNICA*

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| REV O3 | Luglio 2012 | AGGIORNAMENTO CARTOGRAFICO | M.S. | D.F. |
| REV O2 | Nov. 2011 | AGGIORNAMENTO CARTOGRAFICO | M.S. | D.F. |
| REV O1 | Ottobre 2011 | REVISIONE PARERE PROVINCIA/REGIONE | M.S. | D.F. |
| REV OO | Luglio 2010 | EMISSIONE | M.S. | D.F. |
| | DATA | SCOPO REVISIONE | DISEGNATO | APPROVATO |

RIF. LAVORO 10-055

VIA LUNGOLAGO DI CALCINATE 88
21100 VARESE
TEL.0332 286650 - FAX 0332 234562
www.idrogea.com

Idrogea servizi S.r.l.

# *Sommario*

1. PREMESSA ..... 2
2. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO di primo livello ..... 3
2.1 RIFERIMENTI NORMATIVI E METODOLOGICI NAZIONALI E REGIONALI22 ..... 3
2.2 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL TERRITORIO COMUNALE ..... 5
3. INDAGINI GEOFISICHE CON LA METODLOGIA MASW ..... 8
3.1 PREMESSA E INQUADRAMENTO GEOGRAFICO ..... 8
3.2 ESECUZIONE DI CAMPAGNE DI INDAGINI SISMICHE ..... 9
3.3 CALCOLO DELLE $V_S30$ ..... 13
2.4 ANALISI SISMICA DI II° LIVELLO: ..... 15

## *Tavole*

U CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE CON UBICAZIONE INDAGINI SISMICHE DI II LIVELLO

..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... ..... SCALA 1: 5.000

## *Allegati*

1. RAPPORTO TECNICO

# 1. PREMESSA

Nell'ottobre 2011 i sottoscritti hanno consegnato al Comune di Buguggiate lo studio relativo alla Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio redatto in conformità alla D.G.R. 28 maggio 2008 n. 8/7374 Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della, in attuazione dell'art. 57, comma 1 della L.R. 11 marzo 2005, n. 12" approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005 n. 8/1566.

In sede di adozione del PGT e del conseguente confronto con la Provincia di Varese (settore urbanistica e territorio) è emersa la necessità di procedere ad una analisi sismica di II livello in quanto lo strumento urbanistico adottato prevede la presenza di due ambiti di trasformazione potenzialmente destinati a strutture commerciali riconducibili a "Edifici rilevanti" (così come definiti dalla normativa di riferimento in campo sismico D.D.U.O. 21 novembre 2003, n. 19904 e ricadenti nello Scenario di Pericolosità Sismica locale Z3C.

Tali ambiti, denominati AT1 (ex BCC) e AT2 (Vadime), e sono ubicati entrambi lungo la SP 17 per Azzate come visibile sulla Tavola allegata (Tav. U)

Il presente documento, che costituirà parte integrante dello studio relativo alla Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, intende illustrare gli esiti dell'analisi sismica di II livello effettuate nei due ambiti di trasformazione.
Per comodità di lettura e di interpretazione verrà riportata anche l'analisi sismica di I livello già presente nello studio geologico del PGT.

# 2. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO DI PRIMO LIVELLO

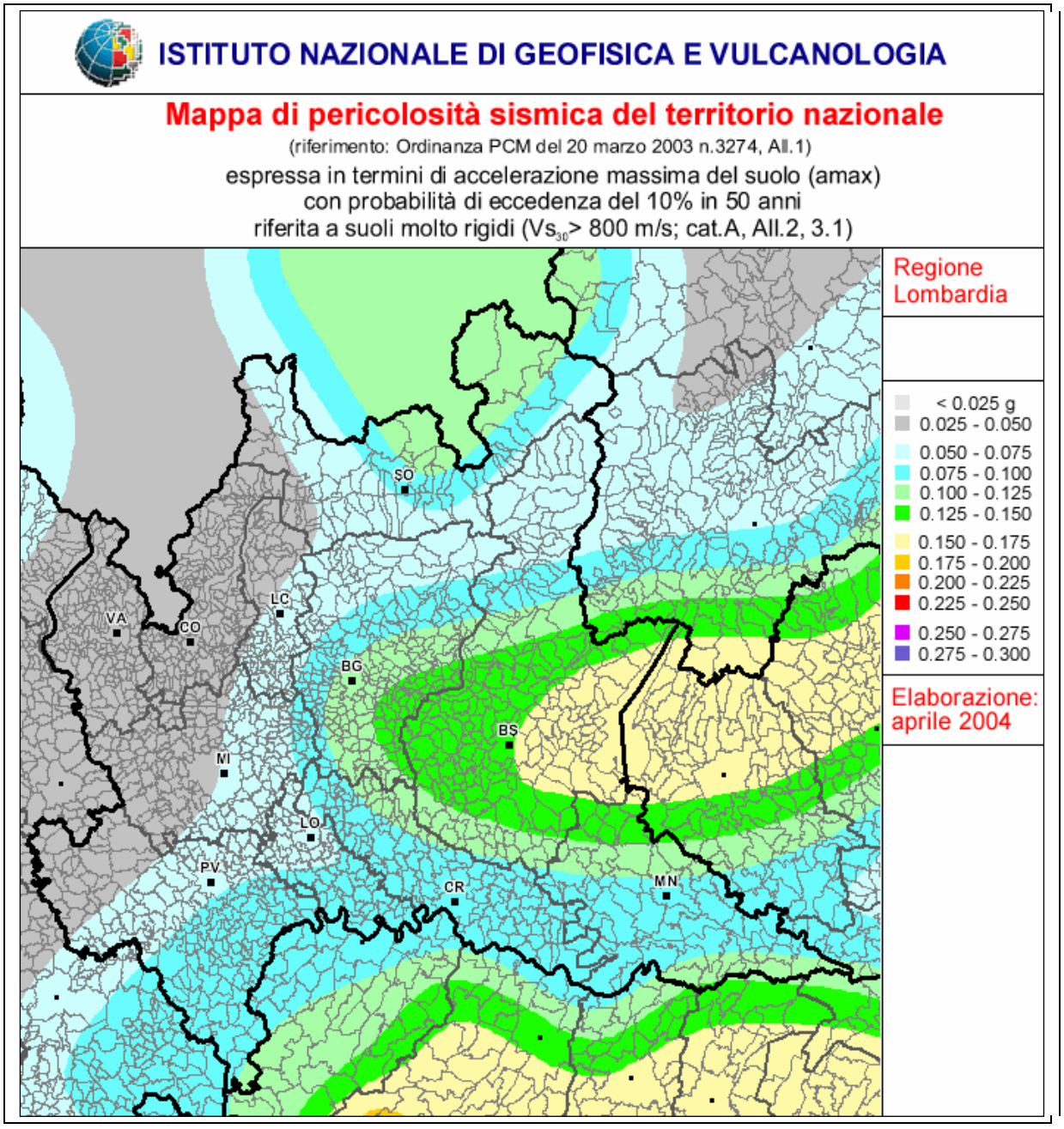
## 2.1 RIFERIMENTI NORMATIVI E METODOLOGICI NAZIONALI E REGIONALI

La classificazione sismica del territorio nazionale e le normative tecniche per le costruzioni in zona sismica sono regolate dalle norme contenute nella O.P.C.M. n. 3274/2003 ("Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"), pubblicata sulla G.U. n. 105 dell'8 Maggio 2003.
La Regione Lombardia, con la D.G.R. 14964 del 7 novembre 2003, ha preso atto della nuova classificazione dell'Ordinanza 3274/2003, entrata in vigore dal 23 ottobre 2005, in concomitanza con la pubblicazione del D.M. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni".
Il riferimento attuale della normativa tecnica associata alla nuova classificazione sismica è costituito dal D.M. 14 gennaio 2008 ("Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni"), che sostituisce il precedente D.M. 14 settembre 2005, e che è entrato definitivamente in vigore il 01/07/2009.

La metodologia per la valutazione dell'amplificazione sismica locale è invece contenuta nell'Allegato 5 dei criteri attuativi della L.R. 11 marzo 2005, n. 12 (modificati dalla L.R. 14 luglio 2006 e dalla L.R. 14 marzo 2008, n. 4), che ha come oggetto criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio e recepisce le indicazioni contenute nel D.M. 14 settembre 2005, nell'OPCM 3274/2003, nella D.G.R. 14964/2003 e nel D.D.U.O. 19904/2003.
Essa sostituisce la metodologia di analisi riportata in un precedente studio dal titolo "Determinazione del rischio sismico in Lombardia - 1996", inserito come uno dei testi di riferimento nelle precedenti direttive regionali per la redazione dello studio geologico a supporto dei piani regolatori generali, in attuazione dell'art. 3 della L.R. 41/97, approvate con D.G.R. n. 7/6645 del 29 ottobre 2001.

Per quanto riguarda il territorio varesino, la ridefinizione delle classi sismiche, contenuta nell'O.P.C.M. 3274/03, non ha comportato alcuna variazione: tutti i 141 comuni della provincia ricadono in Zona 4 ("sismicità bassa"), che sostituisce la categoria "non classificato" della normativa precedente.
La nuova metodologia per l'analisi sismica del territorio è basata sulla valutazione dell'influenza delle condizioni stratigrafiche, morfologiche e geotecniche nella risposta sismica locale (microzonazione) e prevede 3 livelli di approfondimento progressivo: *il primo è obbligatorio nella pianificazione territoriale di tutti i comuni, indipendentemente dalla loro classificazione sismica*; il secondo e il terzo vengono implementati solo in presenza di precise situazioni, durante la fase pianificatoria e quella progettuale, rispettivamente.

La figura alla pagina seguente riproduce la mappa di pericolosità sismica del territorio regionale.




Pertanto, a differenza di quanto stabilito dalle norme previgenti, anche il comune di Buguggiate è tenuto a realizzare gli studi di microzonazione di 1° livello.

**1° livello**

Il 1° livello si basa su un approccio qualitativo e comporta la redazione della carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL), direttamente derivata dai dati contenuti nelle carte di inquadramento geologico-geomorfologico della pianificazione territoriale.

La raccolta sistematica di osservazioni sui diversi effetti prodotti dai terremoti in funzione di parametri geologici, topografici e geotecnici, ha permesso di definire un numero limitato di situazioni tipo (*scenari di pericolosità sismica locale*) in grado di determinare gli effetti sismici locali, cioè, di dar luogo ad apprezzabili modificazioni dello spettro di risposta elastica rispetto a quelli previsti dalla vigente normativa nazionale.

## 2.2 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL TERRITORIO COMUNALE

Gli scenari riconosciuti nell'ambito del territorio comunale di Buguggiate sono i seguenti:

| Sigla | Scenario pericolosità sismica locale | Effetti |
|---|---|---|
| **Z2** | Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti (terreni fini con falda superficiale) | Cedimenti |
| **Z3a** | Zone di ciglio H > 10 m (scarpata con parete subverticale, orlo di terrazzo) | Amplificazioni topografiche |
| **Z4a** | Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi | Amplificazioni litologiche e geometriche |
| **Z4c** | Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche) | |
| **Z5** | Zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse | Comportamenti differenziali |

La distribuzione di questi scenari è evidenziata in **Tavola U** (Carta della Pericolosità Sismica Locale).

***PSL Z2***
Lo scenario è associato alla piana lacustre (corrispondente all'Unità Postglaciale) caratterizzata da terreni prevalentemente coesivi (limi e limi argillosi, ma anche sabbie limose; possibili intercalazioni di torbe) con falda a bassissima soggiacenza.

***PSL Z3a***
Lo scenario individua gli orli di scarpata con pendenza 10° e altezza > 10 m. Gli elementi tracciati corrispondono agli orli di scarpata del rilevo collinare e degli impluvi dei principali corsi d'acqua. Le scarpate che delimitano le differenti piane sommitali (Allogruppo di Besnate) non soddisfano, comunemente, i requisiti geometrici.

***PSL Z4a***
Lo scenario comprende solo il probabile conoide e il fondovalle di presunta età LGM, che formano un livello sopraelevato di pochi metri sulla piana attuale, strutturato su sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi di origine alluvionale.

***PSL Z4c***
Lo scenario coincide, complessivamente, con l'area del rilievo collinare e comprendendo due distinte situazioni:

1) aree di versante e alcune piane marginali, strutturate su una successione glaciale costituita da depositi glaciali s.s., fluvioglaciali e glaciolacustri;

2) aree sommitali subpianeggianti o a bassa pendenza, prevalentemente strutturate su depositi sabbioso limoso di probabile origine loessica-colluviale.

***PSL Z5***
Lo scenario, definito da un elemento lineare, corrisponde al contatto tra litotipi a diverso comportamento fisico-meccanico, rappresentato dal limite tra il substrato roccioso e i depositi quaternari. Tale elemento incorpora un certo grado di incertezza, relativa all'effettiva posizione del limite, spesso tracciabile solo in modo indicativo.

**PRESCRIZIONI**

In base alla nuova normativa, per i comuni ricadenti in Zona 4, i livelli di analisi superiore devono essere applicati nelle seguenti situazioni:

| 2° livello (fase pianificatoria) | 3° livello (fase progettuale) |
|---|---|
| nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al D.D.U.O. 19904/03) | - nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 per edifici strategici e rilevanti<br>- nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore soglia comunale |

Secondo la normativa vigente, pertanto, nell'ambito del comune di Buguggiate:

- a) devono essere soggette all'analisi di 2° livello (che prevede il confronto tra un fattore di amplificazione sismica locale Fa e un valore soglia calcolato per ciascun comune), in fase di pianificazione, *tutte le costruzioni strategiche e rilevanti in progetto* (come elencate nel D.D.U.O. n. 19904/2003), *la cui edificazione è prevista nelle aree PSL Z3a (ciglio con H > 10 m) e Z4 (depositi glaciali s.l., alluvionali e di conoide).*
- b) devono essere sottoposte all'analisi di 3° livello *tutte le costruzioni strategiche e rilevanti in progetto* (come elencate nel D.D.U.O. n. 19904/2003), *la cui edificazione è prevista nelle aree PSL Z1c, Z2, nonché nelle aree Z3a e Z4, qualora il valore Fa misurato risultasse maggiore del valore soglia previsto*.

Per il comune di Buguggiate, secondo i dati forniti dalla Regione Lombardia, i valori soglia di Fa, differenziati per suoli di fondazione e per periodi, sono i seguenti:

| | **Suoli B** | **Suoli C** | **Suoli D** | **Suoli E** |
|---|---|---|---|---|
| *Periodo 0,1 - 0,5 s* | 1,4 | 1,8 | 2,2 | 2,0 |
| *Periodo 0,5 - 1,5 s* | 1,7 | 2,4 | 4,2 | 3,1 |

Vengono di seguito riportate le tipologie degli edifici strategici e rilevanti come definite nel D.D.U.O. 21 novembre 2003, n. 19904.

**EDIFICI ED OPERE STRATEGICHE**

Categorie di edifici di interesse strategico di competenza regionale, la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile

a. Edifici destinati a sedi dell'Amministrazione regionale (*)

b. Edifici destinati a sedi dell'Amministrazione provinciale (*)

c. Edifici destinati a sedi di Amministrazioni comunali (*)

d. Edifici destinati a sedi di Comunità Montane (*)

e. Strutture non di competenza statale individuate come sedi di sale operative per la gestione delle emergenze (COM, COC, ecc.)

f. Centri funzionali di protezione civile

g. Edifici ed opere individuate nei piani d'emergenza o in altre disposizioni per la gestione dell'emergenza

h. Ospedali e strutture sanitarie, anche accreditate, dotati di Pronto Soccorso o dipartimenti di emergenza, urgenza e accettazione

i. Sedi Aziende Unità Sanitarie Locali (**)

j. Centrali operative 118

**EDIFICI ED OPERE RILEVANTI**

Categorie di Edifici di competenza regionale che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso:

a. Asili nido e scuole, dalle materne alle superiori

b. Strutture ricreative, sportive e culturali, locali di spettacolo

e di intrattenimento in genere

c. Edifici aperti al culto non rientranti tra quelli di cui all'allegato 1, elenco B, punto 1.3 del decreto del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, n. 3685 del 21 ottobre 2003

d. Strutture sanitarie e/o socio-assistenziali con ospiti non autosufficienti (ospizi, orfanotrofi, ecc.)

e. Edifici e strutture aperti al pubblico destinate alla erogazione di servizi, adibiti al commercio suscettibili di grande affollamento (***)

* Prioritariamente gli edifici ospitanti funzioni/attività connesse con la gestione dell'emergenza

** Limitatamente gli edifici ospitanti funzioni/attività connesse con la gestione dell'emergenza

*** Il centro commerciale viene definito (D.Lgs. n. 114/1998) quale una media o una grande struttura di vendita nella quale più esercizi commerciali sono inseriti in una struttura a destinazione specifica e usufruiscono di infrastrutture comuni e spazi di servizio gestiti unitariamente. In merito a questa destinazione specifica si precisa comunque che i centri commerciali possono comprendere anche pubblici esercizi e attività paracommerciali (quali servizi bancari, servizi alle persone, ecc.).

# 3. INDAGINI GEOFISICHE CON LA METODLOGIA MASW

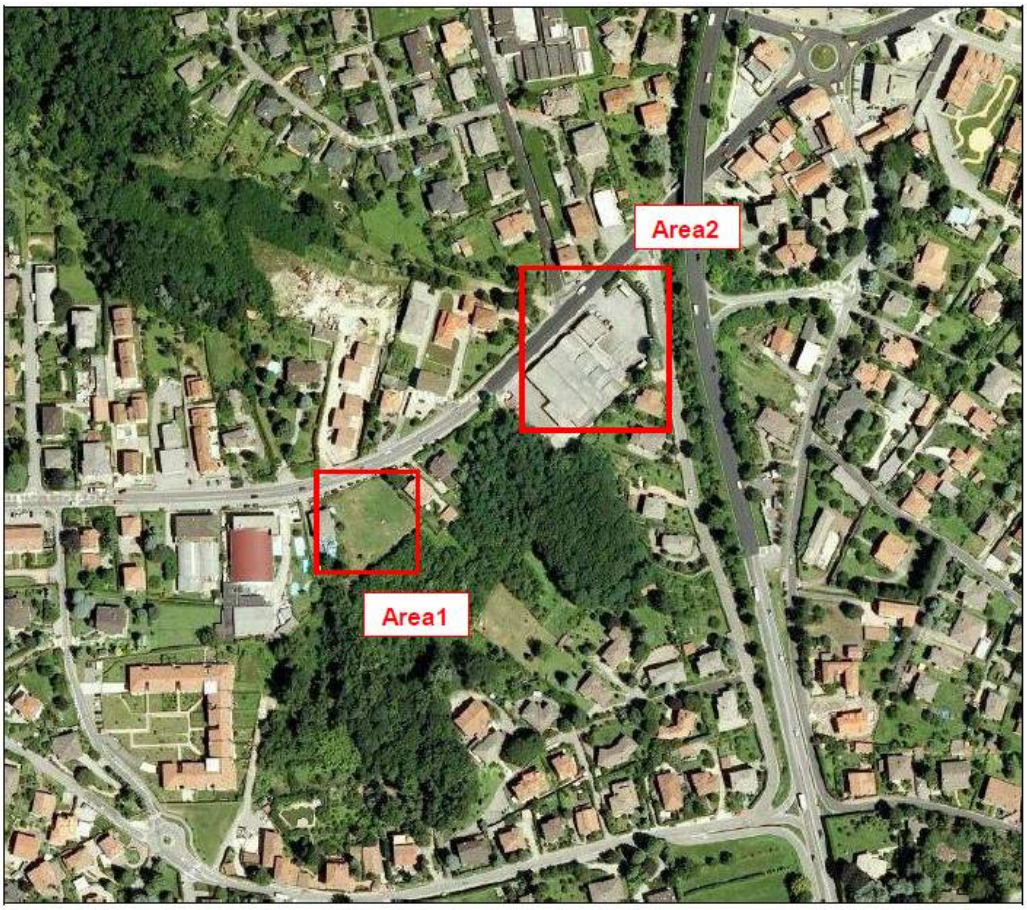
## 3.1 PREMESSA E INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Come anticipato in premessa, il Documento di Piano del PGT, prevede che in 2 ambiti di trasformazione (di seguito ATI) possano essere realizzate strutture riconducibili a edifici rilevanti così come elencati nel D.D.U.O. n. 19904/2003.

I due ATI ricadono in zone classificate come scenari Z4C dall'analisi sismica di I Livello.

Sulla base di tali considerazioni è parso necessario eseguire una analisi sismica di 2° livello in corrispondenza nei 2 ATI.

La figura seguente raffigura l'ubicazione delle 2 aree di indagini; l'area 1 corrisponde indicativamente all'AT1 (ex BCC) mentre l'area 2 corrisponde all'AT2 (Vadime).




*Ubicazione delle aree di indagine (tratta da www.googlemap)*

Le due arre sono ubicate nel settore SW del territorio comunale lungo la SP 17 nei pressi del confine con Azzate.

## 3.2 ESECUZIONE DI CAMPAGNE DI INDAGINI SISMICHE

A partire dal profilo Vs-profondità dell'area in esame, ricostruito attraverso un'apposita indagine sismica tipo MASW realizzata dalla società specializzata Signa s.rl. di Boltiere (Bg) e riportata in allegato (All.1), è possibile calcolare, con la formula sopra riportata, il valore delle Vs30.

La metodologia di indagine, con particolare riferimento alla attrezzatura utilizzata e alle modalità esecutive, sono riassunte nelle tabelle successive oltre che nella relazione allegata.

| n° | Strumentazione | Caratteristiche |
|---|---|---|
| 1 | Unità di acquisizione | sismografo GEOMETRICS "GEODE" a 24 bit |
| 24 | Geofoni verticali | "Geospace" con $f_0$= 4.5 Hz |
| 2 | Cavi sismici | L = 120 m |
| 1 | Sorgente | Mazza battente su piattello metallico |

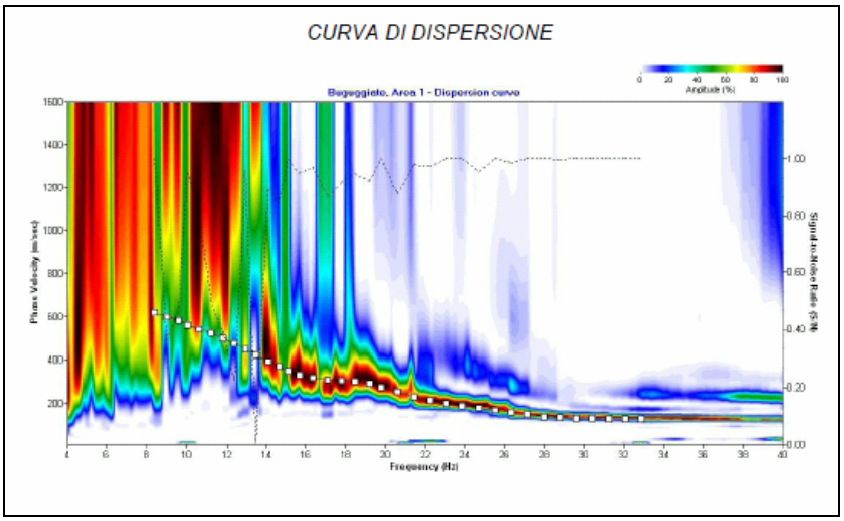
| Riassunto modalità esecutive della prova MASW ATTIVA | |
|---|---|
| *Spaziatura tra i geofoni* | *1.0 m* |
| *Distanza sorgente 1° geofono* | *4 - 10 m* |
| *Tempo di campionamento* | *1.0 ms* |
| *Tempo di registrazione* | *2.0 s* |

| Riassunto modalità esecutive della prova MASW PASSIVA | |
|---|---|
| *Spaziatura tra i geofoni* | *1.0 m* |
| *Tempo di campionamento* | *4.0 ms* |
| *Tempo di registrazione* | *30.0 s* |
| *Numero di registrazioni* | *10* |

La figura seguente mostra l'attrezzatura utilizzata nelle prove eseguite.

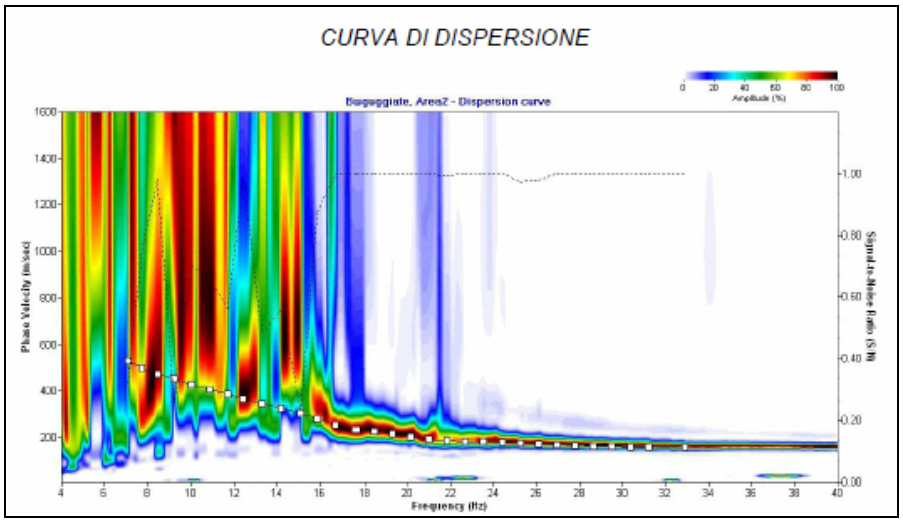
*Ubicazione stendimento geofisico.*

L'immagine di seguito riportata mostra la curva di dispersione ossia lo spettro di velocità calcolato a partire dalle tracce registrate sui geofoni dello stendi mento MSW1 nell'ATI 1.



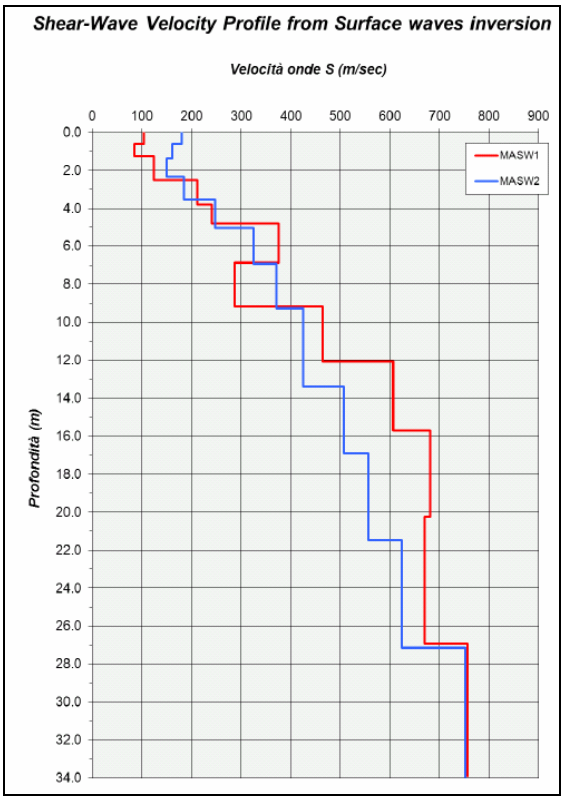

*Curva di dispersione della MASW 1*

L'immagine di seguito riportata mostra la curva di dispersione o dello stendimento MSW2 nell'ATI 2.




*Curva di dispersione della MASW 2*

*Esecuzione dell'indagine sismica (a sinistra AT1 e a destra AT2)*




*Andamento con la profondità della velocità Onde S nelle due aree indagate*

## 3.3 CALCOLO DELLE $V_S30$

A partire dai modelli sismici monodimensionali ricostruiti dalle indagini sismiche tipo MASW effettuate è possibile calcolare il valore delle Vs30, che rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio. Per il calcolo delle Vs30 si fa riferimento alla seguente espressione, riportata nel D.M. 14.01.2008 ("Norme tecniche per le costruzioni"):

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^{n} H_i / V_i}$$

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

Le categorie di suolo di fondazione, secondo l'OPCM 3274 e s.m.i. e il D.M. 14.01.2008 risultano così identificate (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

| Categoria | Descrizione del profilo stratigrafico | Parametri | | |
|---|---|---|---|---|
| | | $V_{s30}$ (m/s) | $N_{SPT}$ | $C_u$ (kPa) |
| ***A*** | *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi*, caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m | > 800 | - | - |
| ***B*** | *Rocce tenere e da grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità | 360-800 | >50 | >250 |
| ***C*** | *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità | 180-360 | 15-50 | 70-250 |
| ***D*** | *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità | <180 | <15 | <70 |
| ***E*** | *Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m,* posti sul substrato di riferimento (con Vs>800 m/s). | | | |
| ***S1*** | *Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s3}0$ inferiori a 100 m/s (ovvero 10<$c_{u,30}$<20 kPa)* che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche | | | |
| ***S2*** | Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipo precedenti | | | |

*Categorie di suolo di fondazione (D.M. 14.01.2008).*

A partire dai due profili Vs-profondità, è possibile calcolare, con la formula sopra riportata, il valori delle Vs30 (la quota zero viene assunta pari al piano campagna attuale):

- MASW1 -- **$V_{s30}$ = 372.8 m/s**
- MASW2 -- **$V_{s30}$ = 389.7 m/s**

a cui corrisponde, per entrambe le aree, la categoria di suolo di fondazione di tipo B (si veda la tabella sopra riportata).

## 2.4 ANALISI SISMICA DI II° LIVELLO:

Come già anticipato nel capitolo 2 per il comune di Buguggiate, secondo i dati forniti dalla Regione Lombardia, i valori soglia di Fa, differenziati per suoli di fondazione e per periodi, sono i seguenti:

| | Suoli B | Suoli C | Suoli D | Suoli E |
|---|---|---|---|---|
| *Periodo 0,1 - 0,5 s* | 1,4 | 1,8 | 2,2 | 2,0 |
| *Periodo 0,5 - 1,5 s* | 1,7 | 2,4 | 4,2 | 3,1 |

Partendo dalle seguenti ipotesi di base:

- scelta della scheda di valutazione di riferimento sulla base dell'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (Vs-z) relative alle due aree e ricostruita con le indagini MASW (campo di validità della scheda litologica);
- non essendo stato rilevato direttamente, la profondità del bedrock sismico (strato con Vs>800 m/s) è stata ipotizzata assegnando un gradiente delle velocità delle onde S con la profondità di tipo lineare, desunto dai dati misurati nelle prove MASW;
- utilizzo dello strato superficiale equivalente (profondità dello strato pari a 5 m) nella scelta della curva all'interno della scheda di valutazione di riferimento.

si sono ottenuti i seguenti risultati:

| Area | Scheda | Curva | Periodo $T_o$ | Fa (0.1-0.5) | Fa (0.5-1.5) |
|---|---|---|---|---|---|
| **1** | Limoso-argillosa 2 | 1 | 0.26 s | **2.21** | **1.19** |
| **2** | Limoso-argillosa 2 | 1 | 0.28 s | **2.27** | **1.21** |

Sintetizzando i risultati ottenuti si ha:

| PERIODO | 0,1 - 0,5 s | 0,5 - 1,5 s |
|---|---|---|
| **Fa sito 1** | 2.21 | 1.19 |
| **Fa sito 2** | 2.27 | 1.21 |
| **Fa soglia** | **1,7** | **2,7** |

Dall'applicazione della procedura risulta che Fa sito siano maggiori di Fa soglia solo nel caso del periodo 0.1-0.5 s mentre nel restane periodo (0.5-1.5s) Fa sito sia inferiore.

La normativa prevede, in questi casi, che venga eseguita una analisi sismica di terzo livello in fase di progettazione edilizia o, in alternativa, che venga utilizzato lo spetro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

Si ritiene comunque raccomandabile seguire la prima ipotesi ovvero realizzare, nel cosnteso della progettazione dell'opera, indagini sismiche approfondite.

Dott. Geol. P. Davide Fantoni Dr. Geol. Alessandro Uggeri