





COMUNE DI VERDELLINO

PROVINCIA DI BERGAMO

AGGIORNAMENTO E REVISIONE DELLO STUDIO
DELLA COMPONENTE GEOLOGICA E SISMICA DI
SUPPORTO AL PGT

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Stamp: ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA
Geologo
GIAN MARCO ORLANDI
n. 963

Committente: COMUNE DI VERDELLINO			Codice Progetto: 16_05_372		
I Tecnici: dr. G.M. ORLANDI			Data: FEBBRAIO 2017		
Data:	Revisione:	Descrizione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
Febb 2001	00	Studio iniziale	Bianchi	Orlandi	Spada
Aprile 2009	01	L.R. 12/05	Bianchi	Orlandi	Spada
			<i>Studio Associato di Geologia Spada di Spada M., Orlandi G.M., Bianchi S.</i> <i>Via Donizetti, 17 - Ranica (BG)</i> <i>Tel: 035/516090 – fax: 035/513738 – e_mail: info@studiogeospada.it</i>		
			 Swiss Certified ISO 9001		

INDICE

1.0 PREMESSE.....	3
2.0 DOCUMENTAZIONE COSTITUENTE LO STUDIO GEOLOGICO	5
3.0 AGGIORNAMENTO DELLA CARTA IDROGEOLOGICA.....	6
4.0 RECEPIMENTO DELLA “DIRETTIVA ALLUVIONI”	8
5.0 COMPONENTE SISMICA: CRONISTORIA DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE.....	10
6.0 CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITA’ DEL TERRITORIO.....	14
7.0 PROCEDURE REGIONALI PER LA VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA’ SISMICA LOCALE.....	20
8.0 ANALISI SISMICA DI 1° LIVELLO.....	23
9.0 ANALISI DI PERICOLOSITA’ SISMICA DI 2° LIVELLO – EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA.....	26
9.1 STRUTTURA GEOLOGICA DEL TERRITORIO	27
9.2 INDAGINI A SUPPORTO DELLE ANALISI SISMICHE	30
9.2.1 Risultati delle indagini geofisiche	31
9.2.2 Individuazione delle classi di sottosuolo	34
9.2.3 Confronto tra modello geologico e geofisico.....	36
9.2.4 Attendibilità dei dati geologici e geofisici utilizzati.....	37
9.3 VALUTAZIONE DELL’AMPLIFICAIZONE LITOLOGICA	38
10.0 CONSIDERAZIONI FINALI E PROPOSTA DI NORMATIVA SISMICA.....	43
ALLEGATI	44
ELABORATI DELLO STUDIO GEOLOGICO VIGENTE INTEGRATI E/O SOSTITUITI.....	44

1.0 PREMESSE

Il Comune di Verdellino è dotato di studio geologico del territorio Comunale, redatto ai sensi della L.R. 41/97 dagli Scriventi nel febbraio 2001 e successivamente aggiornato, sempre dagli Scriventi, nell'aprile 2009 ai sensi della L.R. 12/05 e succ. delibere applicative, nell'ambito della redazione del PGT.

Tale studio geologico è attualmente in vigore.

La prima stesura del piano, come sopra indicato, risale ad oltre 15 anni fa e quindi una serie di nuovi elementi, sia a carattere normativo (per es. riclassificazione sismica del territorio Comunale), sia a carattere vincolistico (Piano di Gestione del Rischio alluvioni ed inserimento dello stesso nel PAI) che relativamente ad alcune criticità del territorio (per es. contaminazioni della falda da cromo esavalente) rendono opportuna una revisione ed un aggiornamento dello stesso.

Nello specifico il presente lavoro, redatto su incarico del Comune di Verdellino (BG), ha affrontato i seguenti aspetti:

- nuova classificazione sismica del territorio Comunale e conseguente necessità di eseguire, già dalla fase di pianificazione, le analisi sismiche di 2° livello;
- aggiornamento della “carta idrogeologica e della vulnerabilità” in relazione ai nuovi dati disponibili nonché per la presenza di fenomeni di contaminazione della falda, con opere di caratterizzazione e bonifica della stessa attualmente in corso;
- recepimento delle indicazioni, sia cartografiche che normative, sulle aree allagabili delle mappe del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni;

- aggiornamento, completamento e revisione delle norme geologiche di piano in relazione a tutti gli aspetti di cui sopra, nonché con i novi riferimenti normativi e vincolistici.

Per quanto riguarda l'aspetto sismico nell'ambito dell'aggiornamento ai sensi della L.R. 12/05 erano state condotte le analisi relative ai fenomeni di pericolosità sismica locale di primo livello, in considerazione del fatto che il Comune di Verdellino era classificato in zona sismica 4.

Recentemente Regione Lombardia, con DGR D.g.r. 11 luglio 2014 – n.° X/2129 pubblicata sul BURL n° 29 Serie Ordinaria del 16 luglio 2014 ha aggiornato la classificazione sismica dei comuni lombardi: tale classificazione è in vigore, dopo alcune proroghe, dall'aprile 2016.

Con la nuova classificazione tutti i 242 comuni della Provincia di Bergamo della zona sismica 4 (tra cui Verdellino) sono stati riclassificati in Zona Sismica 3.

A questo punto è necessario procedere, secondo le disposizioni Regionali, alle analisi sismiche di secondo livello sulle aree di potenziale pericolosità / amplificazione di carattere topografico - litologico (Z4a) individuate con l'analisi di primo livello.

2.0 DOCUMENTAZIONE COSTITUENTE LO STUDIO GEOLOGICO

Con il presente lavoro, rispetto allo studio L.R. 41/97, già aggiornato dalla L.R. 12/05, è stata realizzata ex novo / aggiornata la seguente documentazione tecnica:

- è stata aggiornata la “carta idrogeologica e della vulnerabilità” (tav. 02/bis) che sostituisce la precedente;
- è stata aggiornata la “carta di sintesi” (tav. 05/bis) che sostituisce la precedente;
- è stata inserita ex novo la “Carta della pericolosità sismica locale di 2° livello” su tutto il territorio Comunale (tav. 09);
- è stata aggiornata, la “carta di fattibilità geologica” (tav 06/bis) che sostituisce le precedenti;
- sono state integralmente aggiornate le norme geologiche di piano.

Tutti i restanti documenti dello studio geologico vigente restano validi e vengono integrati dalla documentazione sopra citata.

3.0 AGGIORNAMENTO DELLA CARTA IDROGEOLOGICA

In primo luogo si è ritenuto fondamentale aumentare il livello di conoscenza sulla struttura geologica ed idrogeologica del sottosuolo del territorio Comunale; si tratta infatti di un elemento che è essenziale per qualunque analisi di carattere geologico, idrogeologico e sismico.

E' stato richiesto al Comune di recuperare tutta la documentazione contenente dati di sottosuolo (pozzi, piezometri, indagini geotecniche, ecc.) presente nei propri archivi e depositata successivamente alla redazione dello studio L.R. 41/97.

La documentazione è stata analizzata, verificata, validata e georeferenziata con l'utilizzo di sistemi GIS.

Complessivamente sono stati verificati i seguenti dati:

- oltre 50 pozzi,
- oltre 75 perforazioni per piezometri,
- oltre 75 indagini a carattere geotecnico (sondaggi, prove penetrometriche, ecc.),
- alcune indagini geofisiche.

I dati principali, di possibile divulgazione, sono sintetizzati nella tavola allegata alla presente relazione, che consente una valutazione immediata della distribuzione delle indagini e dello stato attuale della conoscenza del sottosuolo.

L'altro elemento oggetto di inserimento nell'aggiornamento della tavola è quello a carattere ambientale, con particolare riferimento alle problematiche della contaminazione della falda (crono esavalente ed altre sostanze) e dei terreni.

Nella carta idrogeologica sono stati inseriti i seguenti elementi a carattere puntuale:

- siti inquinati oggetto di bonifica,

- aziende a rischio di incidente rilevante,
- industrie per le quali sono incorso procedure di messa in sicurezza di emergenza, operativa e di bonifica vera a propria.

Si è ritenuto importante, in relazione all'aspetto di contaminazione della falda e dei terreni insaturi soprastanti, non essendo ad oggi disponibili cartografie ufficiali con la definizione dei plumes di contaminazione, di individuare una porzione di territorio interessata da "problematiche di carattere ambientale ed idrogeologico".

In tale porzione (individuata con una interpolazione ampia delle aree interessate da criticità reali e potenziali, anche in base alle tipologie di industrie presenti) sono state rinvenute molteplici criticità di contaminazione (cromo esavalente ed altri elementi) sia della falda che dei terreni insaturi soprastanti, con vari plumes di contaminazione.

Attualmente sono in corso interventi puntuali, nelle varie attività produttive coinvolte dalle contaminazioni, di studio, caratterizzazione ed anche bonifica della falda, sia con emungimento delle acque contaminate che con immissione di sostanze in grado di ridurre la contaminazione stessa.

4.0 RECEPIMENTO DELLA “DIRETTIVA ALLUVIONI”

L’Autorità di Bacino del Fiume Po con Deliberazione 5/2015 del 17/12/2015 ha adottato il “Progetto di variante al PAI – Integrazione alla Nda” per il coordinamento tra il PAI stesso ed il Piano di Gestione dei Rischi di Alluvioni (PGRA).

In sintesi la carte del PGRA sono entrate a far parte del PAI e le perimetrazioni ivi riportate sono state assoggettate a specifica normativa, integrata nella Nda del PAI.

Il territorio di Verdellino è interessato da una serie di aree allagabili, lungo il torrente Morletta, con uno scenario “poco frequente – pericolosità media – $Tr = 200$ anni”, connesso quindi a quello che il Piano definisce RSP – reticolo secondario di pianura.

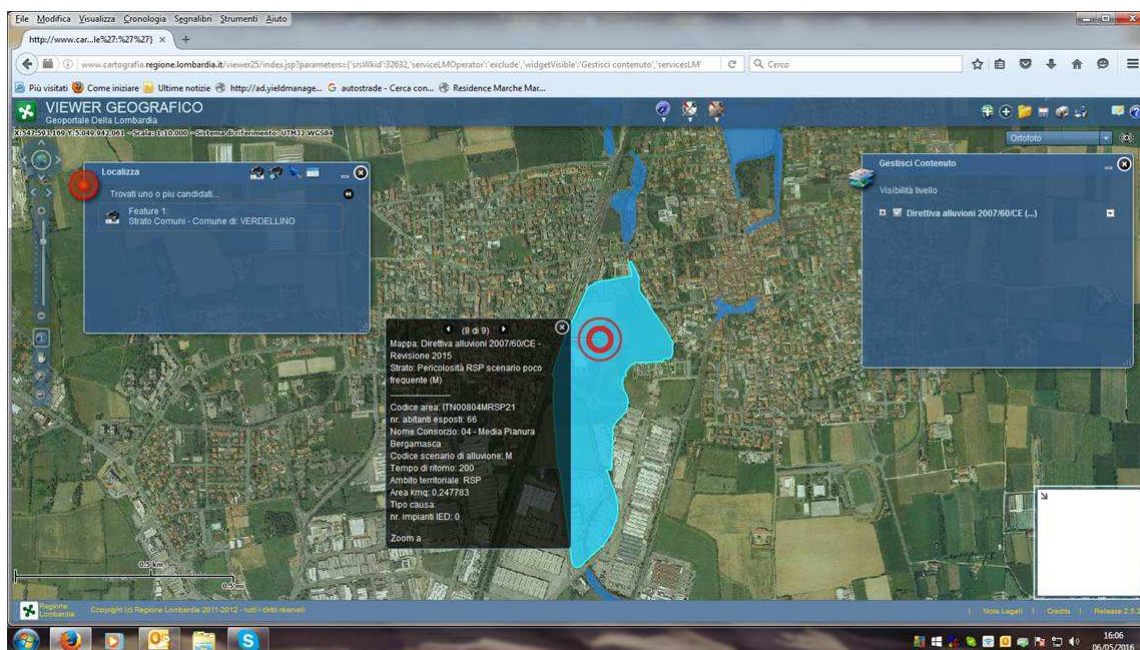


Fig.. 1: Estratto del Geoportale di Regione Lombardia con la visualizzazione delle aree allagabili in Comune di Verdellino in base alla carte del PGRA e relativa classificazione.

A seguito di una specifica richiesta di chiarimenti del Comune di Verdellino, la Regione Lombardia ha ribadito che la perimetrazione di tali aree derivava dalle previsioni dello studio geologico vigente (classe di fattibilità 3b).

In sede di revisione dello studio è stata verificata la coerenza tra le aree già presenti e le carte PGRA, rilavando alcune piccole aree aggiuntive prevista da questo ultimo rispetto al piano comunale vigente.

Stante il valore sovracomunale della cartografie del PGRA si è provveduto ad integrare tali aree nella carta di sintesi ed ad integrare la sottoclasse 3b nella carta di fattibilità, sia per i perimetri che, soprattutto per gli aspetti normativi.

Al momento della stesura del presente documento non sono ancora disponibili ne' la Deliberazione di approvazione finale della proposta di variante al PAI dell'Autorità di Bacino e nemmeno le norme Regionali associate, che dovrebbero fornire indicazioni sulle modalità di gestione di tali aree, con particolare riferimento agli approfondimenti da effettuare a supporto degli interventi urbanistici.

Le norme sono quindi state strutturate in modo analogo a quanto già previsto per casistiche di criticità idrauliche già normate da A.d.B. e Regione.

Le problematiche idrauliche ed i campi di allagamento, soprattutto in ambiti di pianura, possono essere legati anche a deflussi di esondazioni provenienti da monte e quindi le analisi e le verifiche non possono essere a carattere puntuale.

In queste aree è comunque auspicabile che si proceda all'esecuzione di uno studio di dettaglio complessivo, da parte del Comune o degli Enti Superiori, al fine di tracciare in maniera puntuale ed in relazione alla situazione topografica ed urbanistica aggiornata, le aree di esondazione, valutare puntualmente le altezze e le velocità e normare in modo dettagliato pericolosità, rischi, interventi ammissibili, modalità costruttive adeguate ed opere di difesa.

5.0 COMPONENTE SISMICA: CRONISTORIA DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE

Il Comune di Verdellino antecedentemente al 2003 non era considerato comune sismico e non rientrava in alcuna classificazione.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 introdusse le nuove classificazioni sismiche per tutto il territorio nazionale lasciando alle Regioni la facoltà di poter modificare i parametri del proprio territorio. La mappa nazionale, aggiornata al 2006 è di seguito riportata.

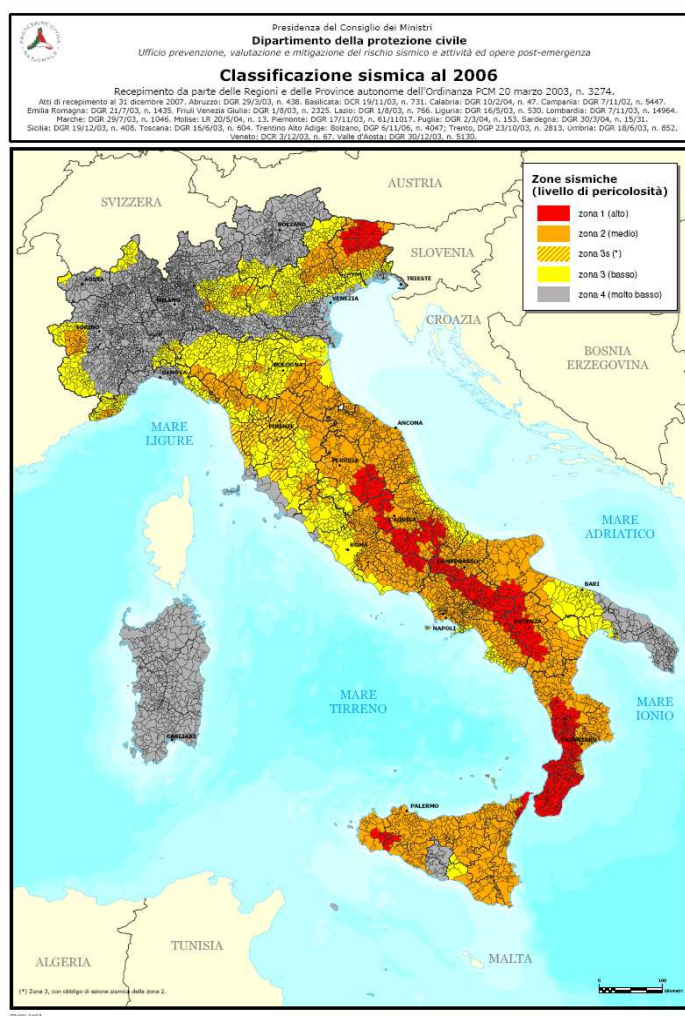


Fig.. 2: Classificazione sismica del territorio nazionale (al 2006)

Tutto il territorio Nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche, con grado di rischio decrescente dalla 1 alla 4 secondo il seguente schema:

- **Zona 1** (rischio alto) - E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.
- **Zona 2** (rischio medio) - Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
- **Zona 3** (rischio basso) - I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
- **Zona 4** (rischio molto basso) - E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.

La suddivisione in classi deriva dalla valutazione della pericolosità sismica su tutto il territorio nazionale, valutata come accelerazione orizzontale massima al suolo, dovuta al sisma, con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno del sisma di 475 anni), in base alla seguente distinzione:

zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/g)
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

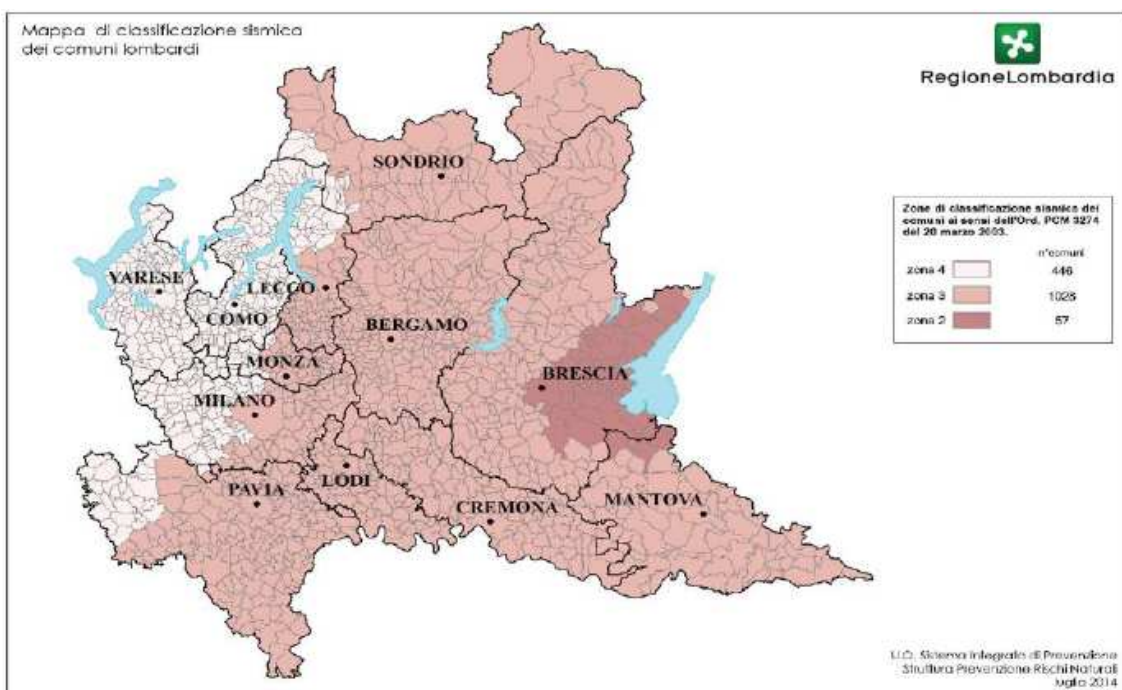
Con l'entrata in vigore dell'OPCM sopra indicata tutto il territorio nazionale venne classificato sismico, con differenti livelli, ed anche il territorio di Verdellino entrò in questa classificazione in zona sismica 4, quella con il grado minore.

Regione Lombardia, nella prima fase di applicazione delle nuove disposizioni nazionali, approvo integralmente la classificazione nazionale, senza proporre alcuna modifica.

Recentemente, anche a seguito del forte evento sismico che ha colpito i territori delle province di Mantova e Modena, la Regione Lombardia ha approvato, D.g.r. 11 luglio 2014 – n.X/2129, una nuova classificazione sismica del territorio Regionale.

La classificazione, dopo svariate proroghe, è entrata definitivamente in vigore nell'aprile 2016 ed il Comune di Verdellino è stato inserito direttamente in **classe sismica 3**.

Le figure seguenti rappresentano: la variazione di classificazione sismica della regione Lombardia entrata in vigore con il la D.G.R. 2129 del 11/07/14 (fig. 3) e l'accelerazione sismica al suolo attesa a scala nazionale ed in dettaglio in Regione Lombardia (fig 4).



*Mappa classificazione sismica in vigore dal 14.10.2014
(D.g.r. 11 luglio 2014 – n.X/2129 pubblicata sul BURL n.29 Serie Ordinaria del 16.07.2014)*

Fig. 3: Nuova classificazione sismica della Regione Lombardia in cui tutta la Provincia di Bergamo è inserita in classe sismica 3

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA
di Spada Mario, Orlandi Gian Marco e Bianchi Susanna

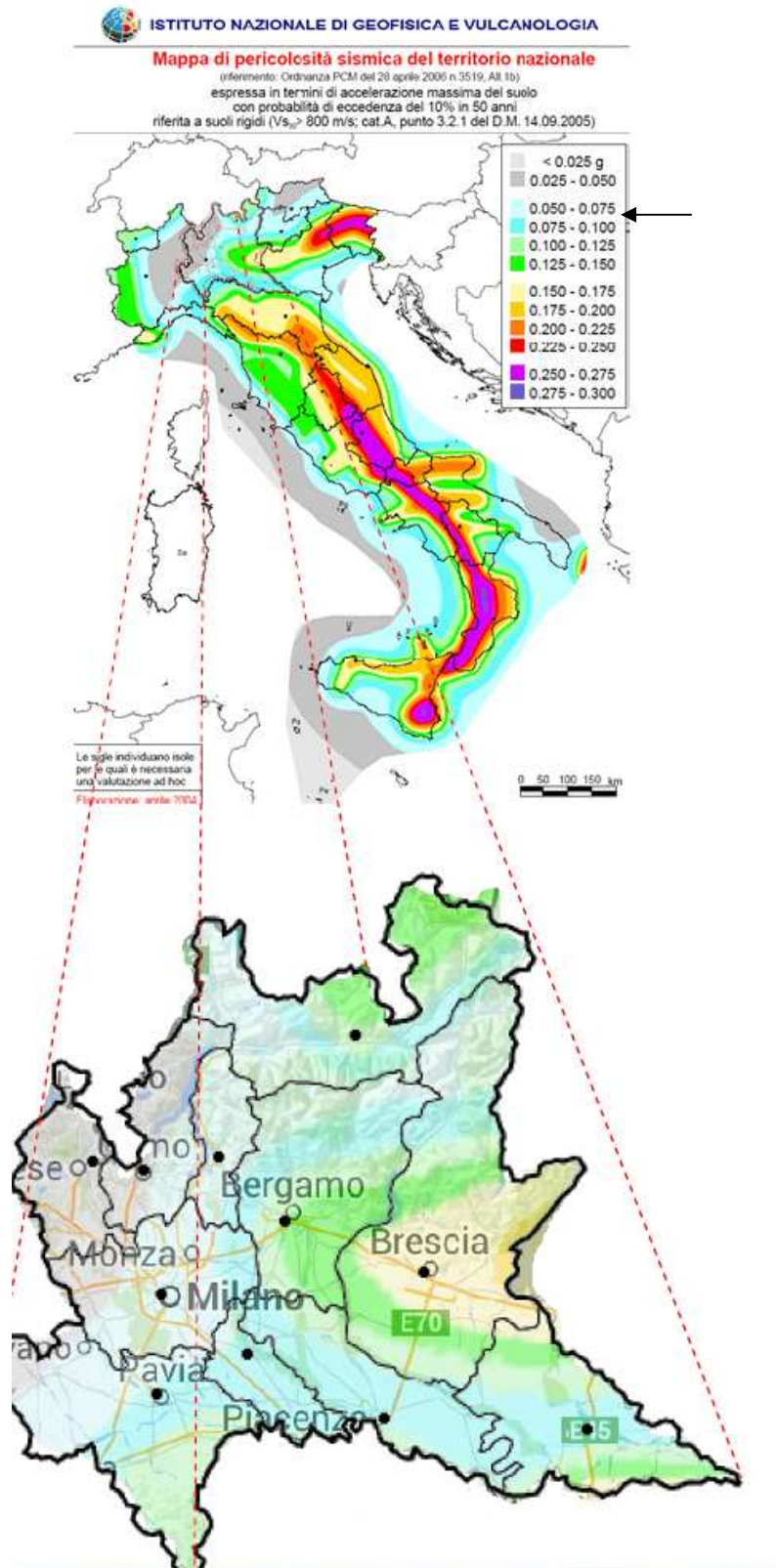


Fig. 4: Mappa dell'accelerazione sismica al suolo attesa a scala nazionale ed in dettaglio della regione Lombardia

6.0 CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITA' DEL TERRITORIO

Il paragrafo precedente ha focalizzato la situazione relativa alla classificazione, in relazione al rischio sismico, del territorio Comunale di Verdellino, sia passata che attuale, a seguito dell'entrata in vigore delle ultime disposizioni normative regionali in materia con il D.g.r. 11 luglio 2014 – n.X/2129.

La sismicità del nord Italia e della Lombardia in particolare è connessa, a grande scala, ai fenomeni attivi di convergenza tra la placca Adria e l'Europa (gli stessi che hanno generato la catena alpina), con fenomeni prevalentemente compressivi.

L'immagine seguente rappresenta uno stralcio della zonazione sismogenetica ZS9), utilizzata per la valutazione della pericolosità sismica di cui al precedente paragrafo.

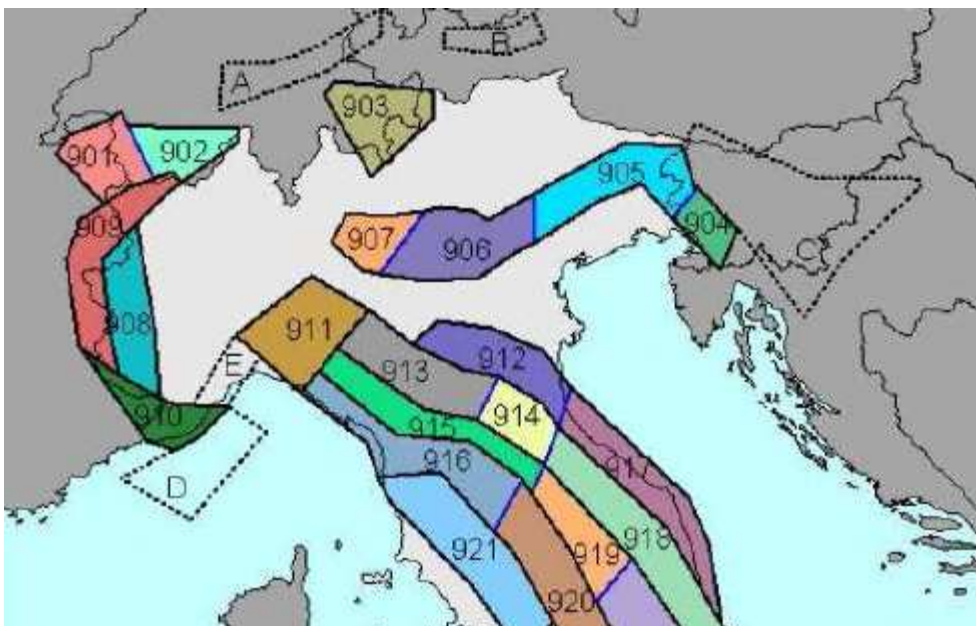


Fig. 5: Stralcio della zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di lavoro 2004)

Come si vede l'attività sismica nella zona Lombarda si concentra nelle Alpi Occidentali (zona 903) e nel Subalpino Meridionale (zona 907).

Per quanto riguarda le strutture sismogenetiche è possibile fare riferimento al DISS ver.

3.2.0. – Database of Sismogenetique Sources

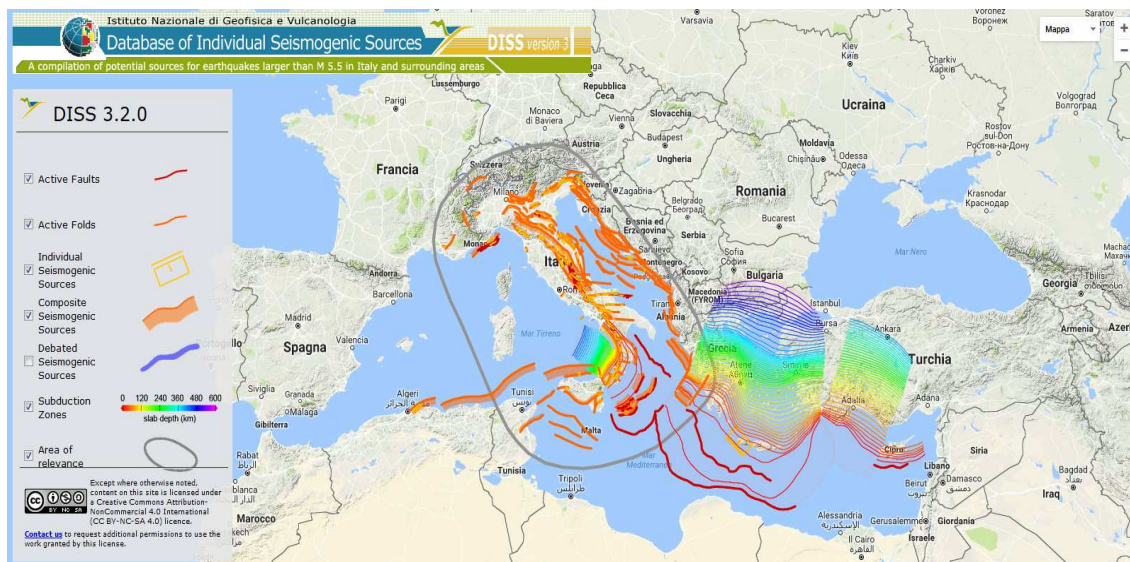


Fig. 6: Visualizzazione generale delle strutture sismogenetiche Italiane (DISS ver. 3.2.0)

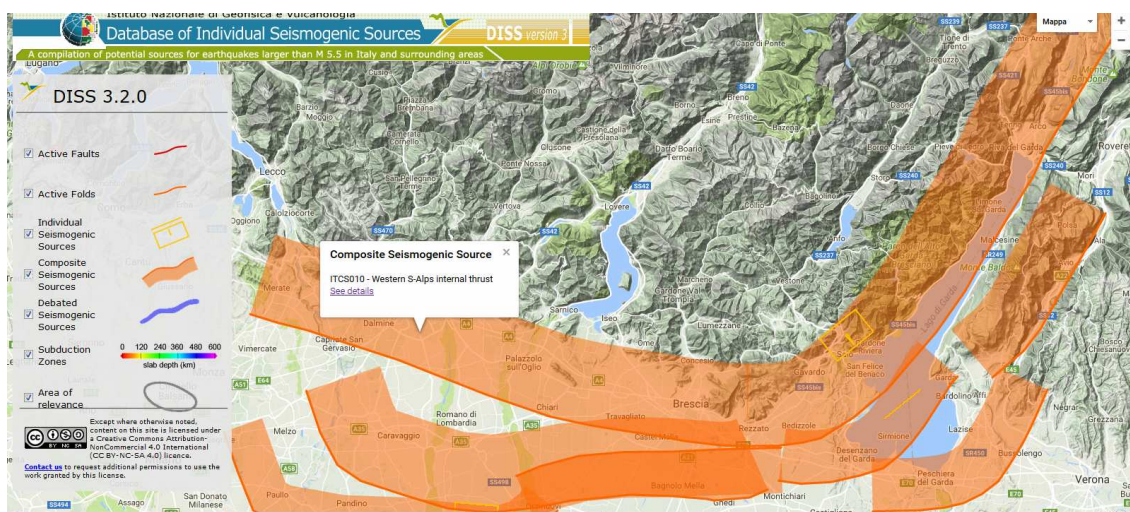


Fig. 7: Visualizzazione di dettaglio delle strutture sismogenetiche tra le Province di BG e BS (DISS ver. 3.2.0)

Per l'area compresa tra le Province di Bergamo e Brescia, interessante anche il territorio di Verdelino, la struttura sismogenetica di interesse è la ITCS010 "Western S-Alps internal thrust".

Si tratta di una struttura geologica complessa e composita, che va dalla parte nord del Lago di Garda fino alle città di Bergamo e Brescia, con un andamento nord-est / sud-ovest nella porzione orientale, per poi divenire quasi est-ovest nella porzione centrale ed occidentale.

Questa struttura appartiene ad un fronte di accavallamento interno, in connessione con il fronte di accavallamento tettonico del Sud Alpino (Giudicarie thrust system), con una direzione di vergenza delle falde verso sud ed una tettonica prevalentemente compressiva.

I cataloghi sismici strumentali e/o a carattere storico (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostrano una sismicità irregolare, con i fenomeni principali e di maggiore intensità presso la zona Gardesana.

In particolare i cataloghi storici individuano una serie di eventi sismici con una magnitudo compresa tra Mw 4.6 e 5.0, che potrebbero essere stati generati da questa sorgente composita.

Le profondità minima e massima degli ipocentri sono basate sui dati delle strutture geologiche e sono variabili tra 5.0 and 12.0 km.

Il tasso di movimento basato su dati geodinamici a carattere regionale è dell'ordine di 0.1 – 0.5 mm/y.

La massima magnitudine attesa, ipotizzata in modo cautelativo in base alle informazioni sismologiche e geologiche regionali, è stimata in Mw 5.5.

In riferimento alla zonazione sismogenetica di cui alla fig. 5, per il territorio di Verdellino la zona sismogenetica di riferimento è la “907 – Bergamasco”.

Si tratta di una zona caratterizzata da energia medio-bassa, con una localizzazione dei terremoti nella crosta superiore, con profondità variabili tra 5 e 15 km, mentre l’attività sismica della crosta inferiore e del mantello è praticamente nulla.

Questi dati sono coerenti con quelli derivati dall’analisi della struttura sismogenetica di riferimento per la zona. L’immagine seguente riporta un dettaglio della zonazione sismogenetica su Google Map in cui è possibile vedere che il territorio di Verdellino si pone all’interno della zona, presso la sua terminazione orientale.

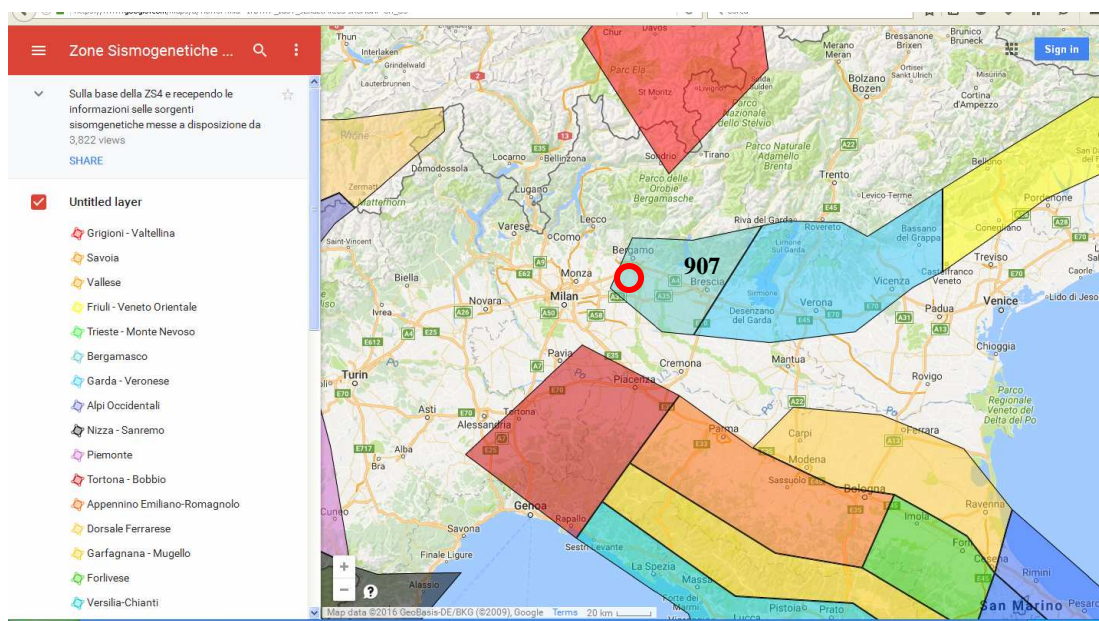


Fig. 8: Vista di dettaglio su google map della zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di lavoro 2004)

Di seguito è riportato il risultato dell’interrogazione effettuata Database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15 (Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Conte S., Rocchetti E. 2016) che fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche

provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.

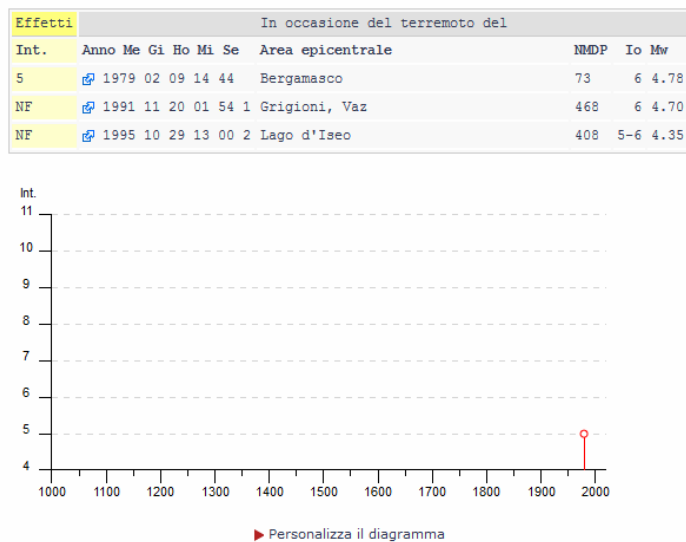


Fig. 9: Interrogazione del Database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15 per il Comune di Verdellino

La ricerca effettuata per il Comune di Verdellino evidenzia la presenza di possibili effetti solo in 3 terremoti (Bergamasco, Grigiono e Lago D’Iseo), con un’intensità epicentrale $Io = 5-6$ ed una magnitudo momento $Mw = 4,35 - 4,78$.

Per ottenere ulteriori elementi di riferimento in merito al possibile sisma atteso / di riferimento ed alle relative accelerazioni al suolo per il Comune di Verdellino si è fatto riferimento agli studi di “Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R- ϵ ” a cura di Spallarossa e Barani del 2007. L’analisi della disaggregazione dei valori di accelerazione $a(g)$ riporta, per ogni nodo della carta di pericolosità sismica la valutazione del contributo percentuale alla stima della pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori magnitudo e distanza del sisma che contribuisce alla valutazione stessa della pericolosità.

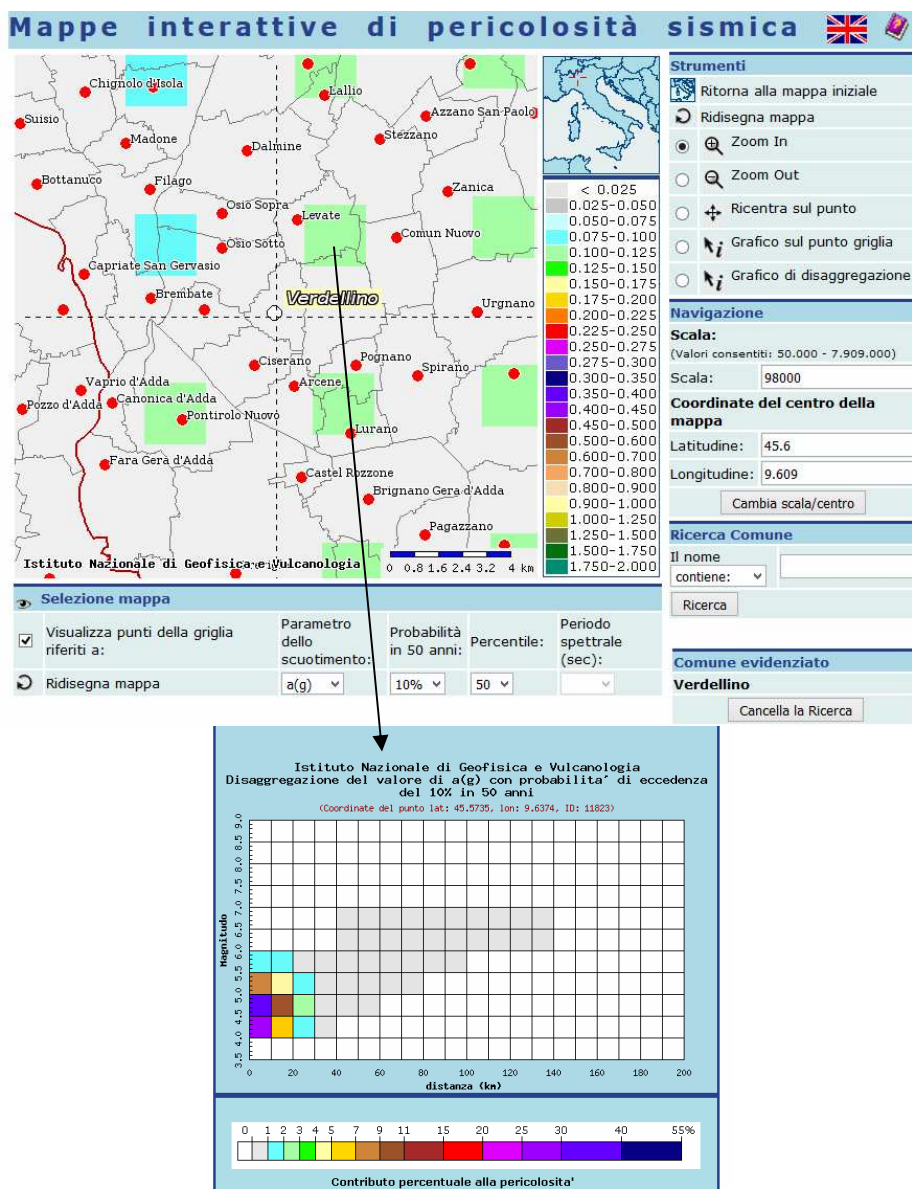


Fig. 10: Estratto mappa di pericolosità sismica in termini di $a(g)$ con probabilità di superamento del 10% in 50 anni e grafici di diseggregazione Magnitudo – distanza per la cella indicate e rappresentativa del Comune di Verdellino

Per il territorio di Verdellino è possibile ricavare i seguenti valori:

- il parametro dello scuotimento con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni è variabile tra 0,075 e 0,125, coerentemente con la zona sismica 3;
- sisma: magnitudo = 4,720 – distanza = 9,33 Km.

7.0 PROCEDURE REGIONALI PER LA VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

La Regione Lombardia con D.G.R. n° 8/1566 del 22/12/2005, successivamente modificata dalla n° 8/7374 del 28/05/2008 e dalla D.G.R. 9/2616 del 30/11/2011, ha emanato i “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. 11 Marzo 2005, n° 12”.

I criteri hanno sostituito 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 P.R.G., in attuazione dell’art. 3 della l.r. 41/97.

Lo scopo dell’analisi è quello di individuare, al livello dell’intero territorio comunale, tutte le potenziali condizioni di “pericolosità sismica locale”, ovvero sia quelle particolari caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio che possono causare una accentuazione del fenomeno sismico e dei suoi effetti sull’abitato.

Le condizioni di pericolosità sismica locale fanno riferimento a due condizioni fondamentali:

- effetti di amplificazione del sisma (dovuti a particolari condizioni di carattere geologico e/o topografico)
- effetti di “instabilità” dei terreni per l’azione sismica (frane, liquefazioni, densificazione dei suoli, ecc.).

La metodologia introdotta dalla Regione Lombardia per affrontare le problematiche sopra riportate deriva da uno studio pilota effettuato dal Politecnico di Milano per conto

della stessa Regione su alcune aree campione, dalle cui risultanze sono poi state derivate le norme e le indicazioni per tutti i Comuni della Lombardia.

La procedura messa a punto fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) e può essere implementata considerando altri periodi di ritorno.

La metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente.

I primi due livelli sono obbligatori (in base alle diverse condizioni) in fase di pianificazione, mentre il terzo livello è obbligatorio in fase di progettazione delle opere in casi specifici (quando il 2° livello dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale per le aree di possibile amplificazione; per aree caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione e per edifici di particolari caratteristiche).

Sinteticamente i livelli previsti sono di seguito puntualizzati:

1° livello

E' una fase prettamente qualitativa, che si basa sulle considerazioni dirette degli effetti dei terremoti; la stessa prevede l'individuazione di una serie di zone passibili di amplificazione sismica o in cui possono verificarsi problemi particolari (liquefazione, riattivazione frane, ecc.) in caso di sisma (per maggiori dettagli vedi paragrafo seguente).

2° livello

Si applica in base alle risultanze del livello 1 ed in relazione alla classificazione sismica del Comune e prevede un approccio semiquantitativo per valutare quali sono gli effetti di amplificazione attesi e se la normativa vigente è in grado di sopportarli.

3° livello

In questo caso si tratta di procedure molto complesse da attuare in fase di progettazione quando il 2° livello verifica l'inadeguatezza della norma oppure in caso di particolari condizioni geologiche specifiche.

Nel 2009 il Comune di Verdellino era in classe sismica 4 e quindi, in fase di studio geologico di supporto al PGT, era stato effettuato l'approfondimento di 1° livello, sull'intero territorio, in coerenza con le norme Regionali.

La riclassificazione sismica del territorio, con il passaggio alla zona sismica 3, comporta la necessità di eseguire anche le analisi di 2° livello per gli eventuali scenari Z3 e Z4 per le aree edificate ed edificabili (con la sola esclusione della aree già inedificabili per altri motivi), sulla base dello schema delle norme regionali di seguito riportato:

	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione (PSL = pericolosità sismica locale)		
	1° Livello Fase pianificatoria	2° Livello Fase pianificatoria	3° Livello Fase progettuale
<i>Zona sismica 2-3</i>	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, Z2 e Z5
<i>Zona sismica 4</i>	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, Z2 e Z5 per edifici strategici e rilevanti

8.0 ANALISI SISMICA DI 1° LIVELLO

Prima di procedere con le analisi di secondo livello si ritiene opportuno riepilogare i risultati delle analisi di primo livello effettuate nell'aggiornamento dello studio geologico del 2009, perché tali analisi costituiscono la base di quelle che si andranno ad effettuare di seguito nel presente lavoro.

Il 1° livello si basa su un approccio qualitativo e comporta la redazione della carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL) (Tavola 8 dello studio geologico vigente), direttamente derivata dai dati contenuti nelle carte di inquadramento geologico-geomorfologico del territorio comunale, integrata da un'attenta analisi con la verifica di tutti i dati di sottosuolo disponibili.

La raccolta sistematica di osservazione 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.

Il metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area.

Tra i principali dati da utilizzare vi sono: la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica, i risultati delle indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte, ecc..

Il 1° livello è obbligatorio per tutti i comuni ed è esteso a tutto il territorio comunale.

Gli scenari di pericolosità sismica locale proposti dalla normativa vigente, ed i relativi effetti, sono illustrati nella tabella sottostante:

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA
di Spada Mario, Orlandi Gian Marco e Bianchi Susanna

SIGLA	SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona parzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.) Zona con depositi granulari fini saturi	Cedimenti e/o 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 fluvioglaciali 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 (comprese coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche molto diverse	Cedimenti differenziali

Il Comune di Verdellino è caratterizzato da un territorio pianeggiante, pressoché privo di gradiente topografico significativo (il massimo dislivello è una scarpata fluviale di circa 4 metri sul torrente Morla) e completamente assente di problematiche di dissesto e/o instabilità dei terreni.

E' quindi evidente che le tipologie connesse alle classi Z1 (fenomeni di instabilità) e Z3 (amplificazioni topografiche) non sono assolutamente presenti nel Comune.

Le potenziali problematiche, oggetto di analisi e di verifica puntuale, sono quelle connesse alle caratteristiche geologiche, litologiche e stratigrafiche del sottosuolo, relative, quindi alle problematiche Z2, Z4 e Z5.

Gli elementi di potenziale amplificazione e criticità rinvenuti al termine della analisi di

1° livello sono i seguenti:

Z2 – Cedimenti e/o liquefazioni

Nello studio geologico L.R. 41/97 erano già state identificate delle zone classificate come “area con possibile presenza di faldine sospese e livelli scadenti” con possibile presenza di livelli fini, con caratteristiche geotecniche scadenti, ed interazioni con presenza di acqua. Si tratta di aree laterali al torrente Morla, con presenza di depositi fini di esondazione e falde superficiali alimentate dal torrente stesso.

Tali aree sono state inserite in classe di pericolosità sismica Z2, affinché vengano effettuate le doverose verifiche in fase di progettazione e realizzazione delle opere.

Z4 – Amplificazione litologica e geometrica

La casistica del territorio di Verdellino è quella relativa alla “Z4a - Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi”

Tutto il territorio Comunale di Verdellino è stato inserito nella classe di pericolosità sismica locale Z4a

La procedura Regionale prevede di valutare la presenza o meno di condizioni reali di amplificazione dell’effetto del sisma, come meglio dettagliato in seguito.

Gli approfondimenti ulteriori sullo scenario Z2 sono obbligatori in fase di progettazione e quindi non deve essere approntata alcuna analisi ulteriore in fase pianificatoria.

Lo scenario Z4a deve invece essere approfondito con il presente approfondimento di 2° livello, al fine di verificare l’adeguatezza o meno delle norme vigenti a coprire la possibile amplificazione di sito.

Si tratta di un elemento molto importante perché interessa l’intero territorio Comunale.

9.0 ANALISI DI PERICOLOSITA' SISMICA DI 2° LIVELLO – EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA

Come illustrato in precedenza tutto il territorio di Verdellino ricade nello scenario “Z4a – Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi” di possibile amplificazione sismica.

La normativa regionale prevede l'applicazione del 2° livello di approfondimento per le aree urbanizzate e di possibile espansione, con l'esclusione delle aree già inedificabili per altri motivi.

La procedura Regionale prevede una verifica di tipo litologico, basata sulla conoscenza del modello geologico del sottosuolo e del relativo modello geofisico semplificato, fino alla profondità del bedrock sismico ($V_s > 800$ m/sec.).

I dati di cui sopra vengono confrontati con una serie di schede tipo predisposte dalla Regione Lombardia ed in base alla litologia prevalente ed all'andamento delle V_s nel sottosuolo, si ricava, in modo semplificato, il fattore di amplificazione sismica del sito (F_a), sia per edifici di altezza limitata (0.1 – 0.5 s) che per edifici di altezza maggiore (0.5 – 1.5 s).

I valori ricavati devono essere confrontati con i valori soglia, distinti in base alle categorie di suolo del D.M. 14/01/2008, forniti dalla Regione Lombardia, al fine di verificare se la normativa è in grado di coprire l'amplificazione calcolata o meno.

Nel secondo caso diviene necessario o prevedere il passaggio, in fase di progettazione, agli approfondimenti di 3° livello oppure l'utilizzo dello spettro di norma per una categoria di suolo maggiormente cautelativa.

9.1 STRUTTURA GEOLOGICA DEL TERRITORIO

Il territorio di Verdellino è pianeggiante e l'unico elemento morfologico di interesse è il torrente Morla che ne costituisce il confine orientale con Verdello.

Dal punto di vista geologico tutto il territorio è costituito da depositi prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi, con locali lenti limoso argillose, di natura fluvioglaciale.

Le Unità geologiche coinvolte sono le seguenti:

78 Unità di Brembate: Depositi fluvioglaciali e alluvionali con copertura loessica sempre presente. PLEISTOCENE MEDIO.

80 Complesso del Brembo: Depositi glaciali, fluvioglaciali alluvionali e di versante.

Copertura loessica assente. PLEISTOCENE SUPERIORE.

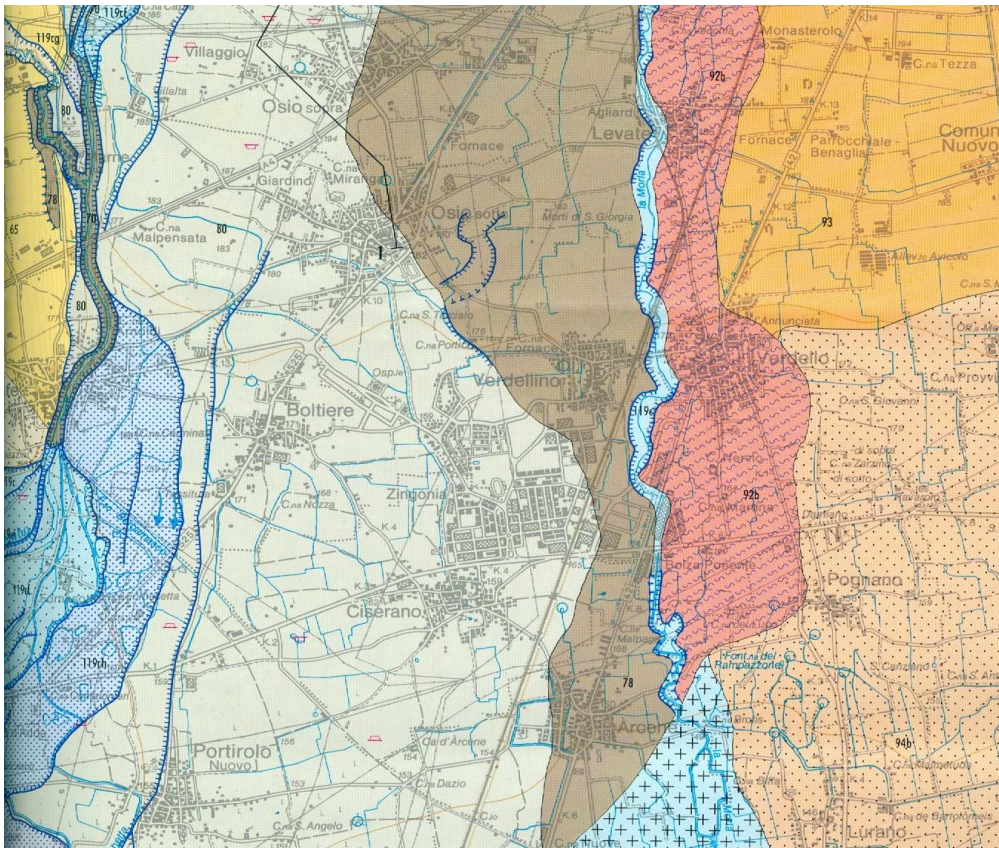
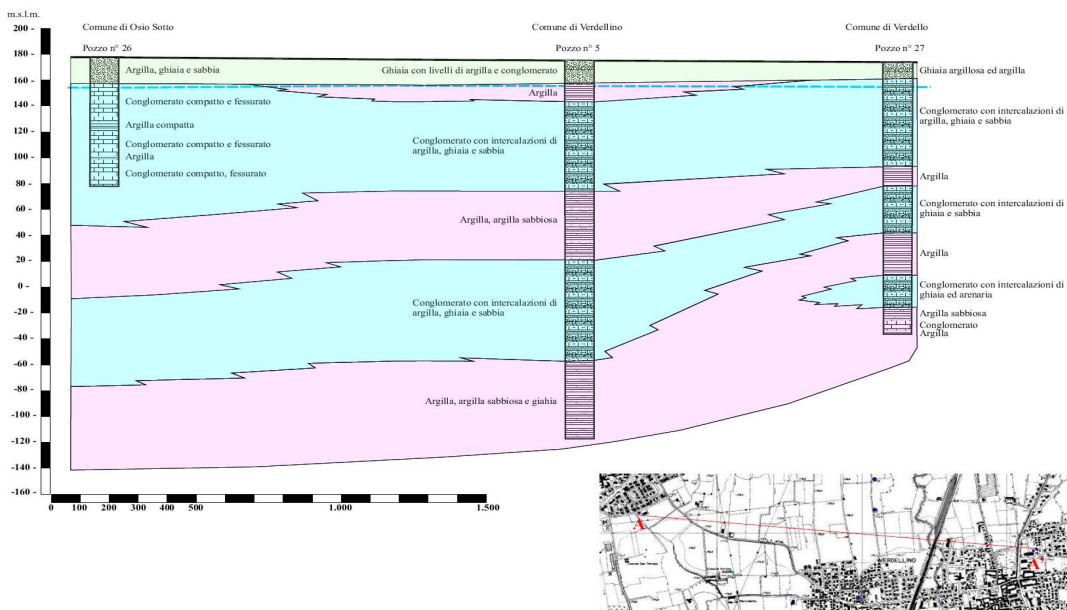


Fig. 11: Estratto della “Carta geologica della Provincia di Bergamo” (Forcella et al. 2000)

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA
 di Spada Mario, Orlandi Gian Marco e Bianchi Susanna

Sulla base dei dati di sottosuolo disponibili, con particolare riferimento ai dati profondi (pozzi per acqua), è stato ricostruito il modello geologico del sottosuolo, modello visualizzato nelle due sezioni geologiche nord-sud ed est-ovest, che attraversano l'intero territorio Comunale e che sono di seguito riportate.

SEZIONE GEOLOGICA INDICATIVA A-A'



SEZIONE GEOLOGICA INDICATIVA B-B'

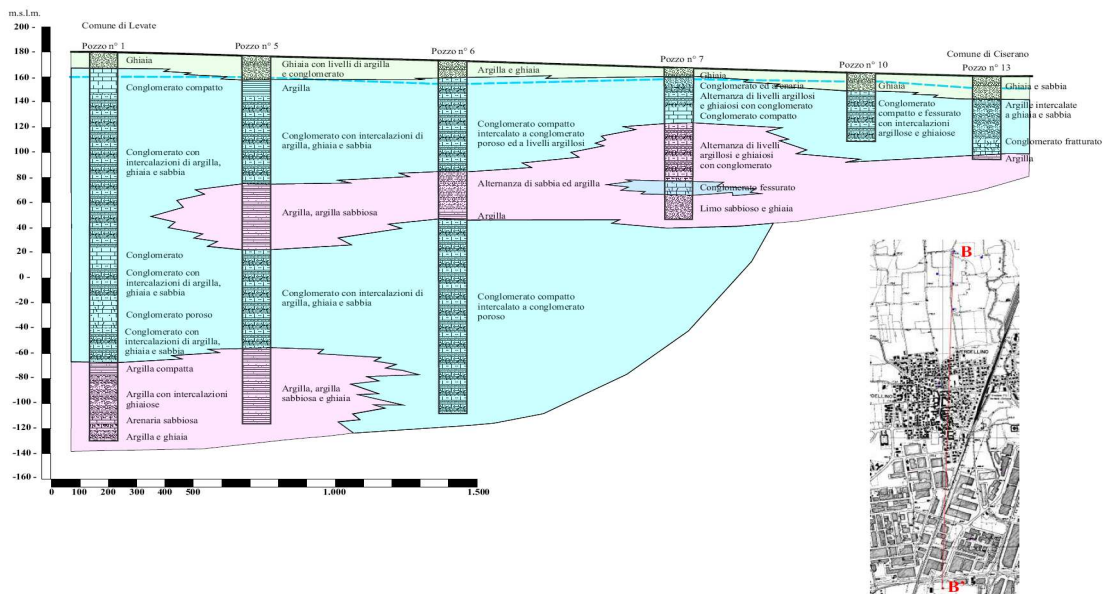


Fig. 12: Sezioni geologiche indicative nord-sud ed est-ovest attraverso il territorio Comunale

Il substrato roccioso non è stato rinvenuto nemmeno nelle perforazioni profonde dell'AGIP: il pozzo di Ciserano, profondo 500 metri non incontra il substrato ed il tetto del Pliocene è posto circa a 300 metri, per cui in corrispondenza delle argille di base dei pozzi potabili più profondi.

Dai dati dei pozzi per acqua e dei piezometri nel territorio si osserva che il sottosuolo è caratterizzato in superficie (primi 10-20 metri) da miscele di argilla, ghiaia e sabbia, cui seguono in profondità livelli di conglomerato, più o meno compatto, con intercalazioni di argilla, ghiaia e sabbia ed importanti livelli argillosi, che hanno grande importanza a livello idrogeologico isolando la falda freatica dalla seconda falda profonda protetta.

Si tratta quindi di un materasso fluvioglaciale, costituito da depositi granulari e/o coesivi, che è sede di falde sovrapposte che, in ampio, hanno tra loro contatti.

L'aspetto principale, ai fini della possibile propensione all'amplificazione sismica, è legato alla presenza nei primi 10-20 metri (valore assolutamente indicativo e variabile nel territorio Comunale) di terreni sciolti, prevalentemente ghiaioso-sabbiosi, ma localmente anche argillosi, poggiati su dei primi livelli conglomeratici di spessore importante.

E' evidente che questa struttura rappresenta una potenziale condizione di amplificazione litologica, da verificare attentamente.

L'assetto sopra descritto è sufficientemente omogeneo nel territorio Comunale, fatte salve le naturali variazioni di spessore del materasso di depositi sciolti e del tetto di conglomerato, comunque sempre entro i range descritti.

9.2 INDAGINI A SUPPORTO DELLE ANALISI SISMICHE

In allegato n° 1 sono visualizzate tutte le indagini geologiche e geognostiche che è stato possibile raccogliere ed analizzare ai fini di definire la struttura geologica.

I dati geofisici a supporto delle indagini sono risultati assolutamente carenti e quindi si è deciso, in accordo con il Comune, considerato che la conoscenza della struttura geofisica del sottosuolo è fondamentale per l'analisi di pericolosità di 2° livello, di effettuare alcune indagini a supporto delle presenti valutazioni.

In relazione alle disponibilità economiche del Comune è stato possibile effettuare due solo indagini geofisiche di tipo MASW, con associate HVSr (per maggiori dettagli sulle tecniche è possibile fare riferimento agli allegati 2 e 3).

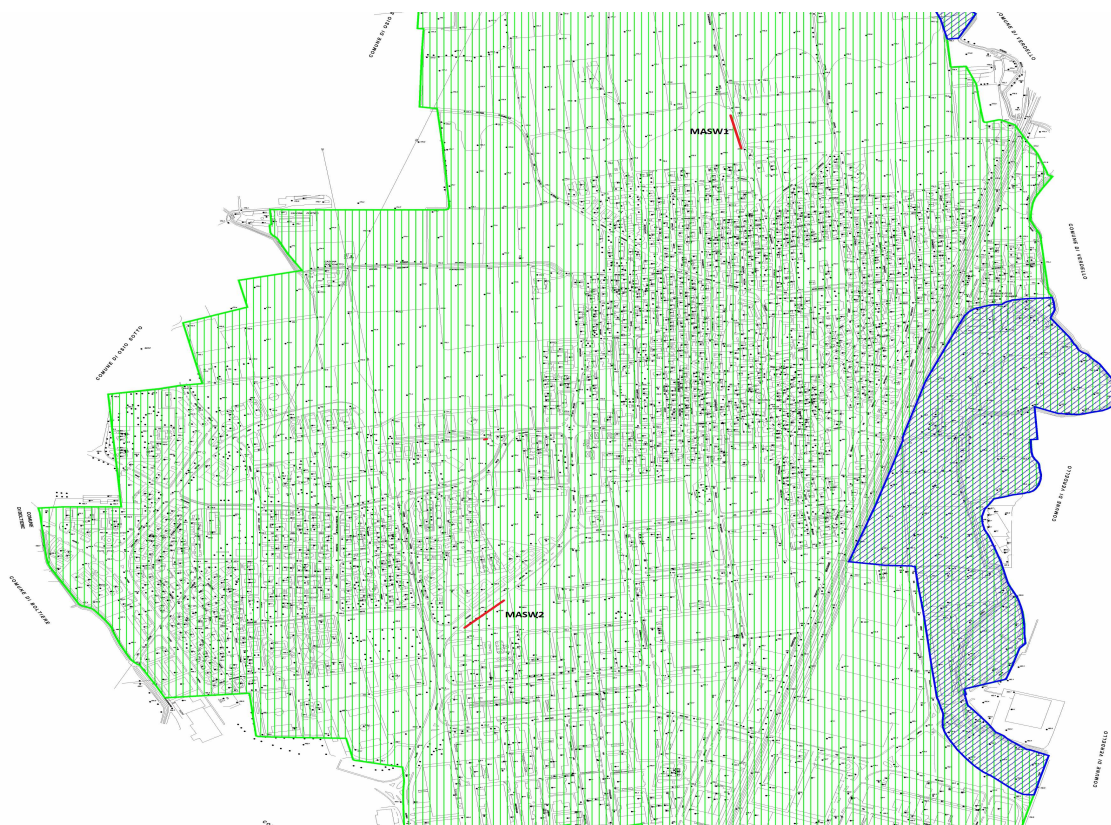


Fig. 13: Ubicazione delle indagini MASW ed HVSr sulla “Carta della pericolosità sismica di 1° livello”

Il contesto geologico è, come detto, sufficientemente omogeneo, e le due indagini sono state distribuite nella zona da risultare sufficientemente centrali, in relazione alle aree urbanizzate in modo da acquisire gli elementi (andamento Vs in profondità, categoria di sottosuolo e profondità del bedrock sismico con Vs > 800 m/sec,) per applicare la procedura Regionale.

Come ulteriore elemento di controllo, di confronto e di verifica si è fatto riferimento anche alle indagini effettuate nell'ambito dell'aggiornamento sismico del confinante Comune di Verdello (a cura del dr. geol. Gian Luigi Nozza – 2008), stante la presenza di una struttura geologica sufficientemente omogenea tra i due territori.

E' evidente che le indagini sono in numero molto esiguo e quindi sarà comunque opportuno, per il futuro, incrementare tale conoscenza sia con indagini geofisiche specifiche che sfruttando quelle che nel frattempo verranno effettuate a supporto dei singoli interventi e delle singole opere.

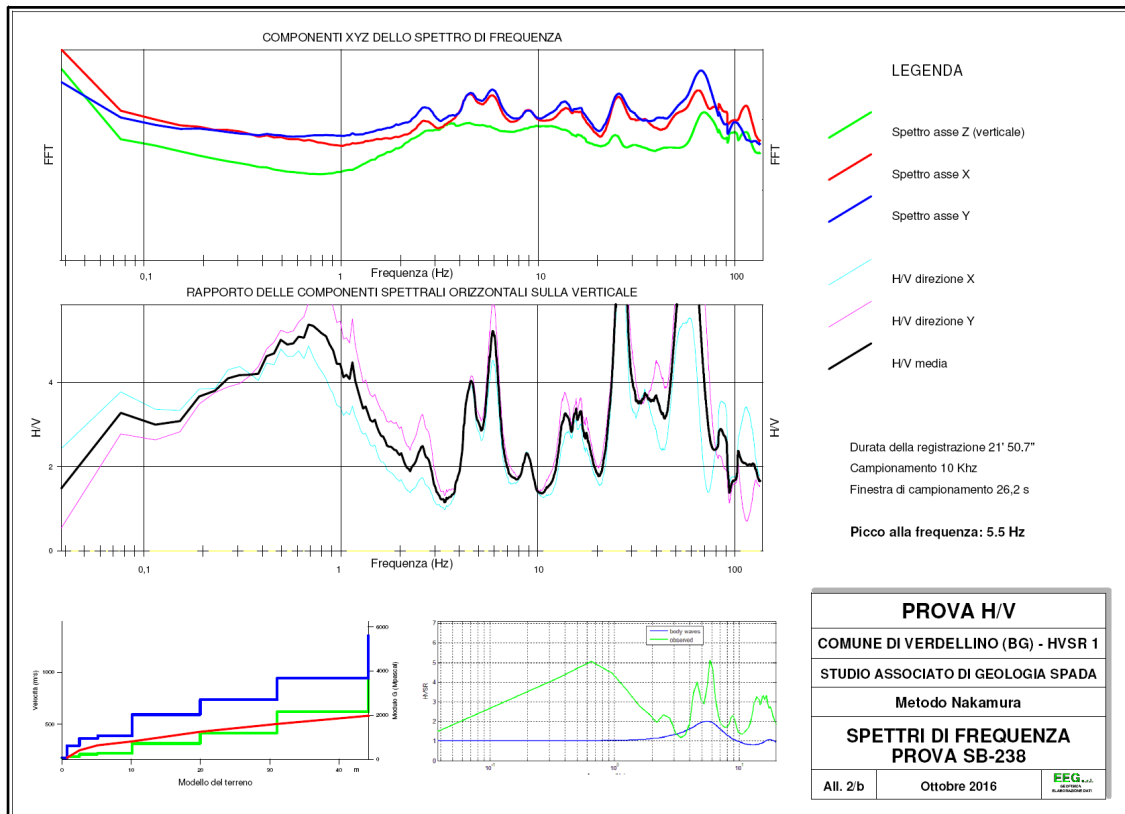
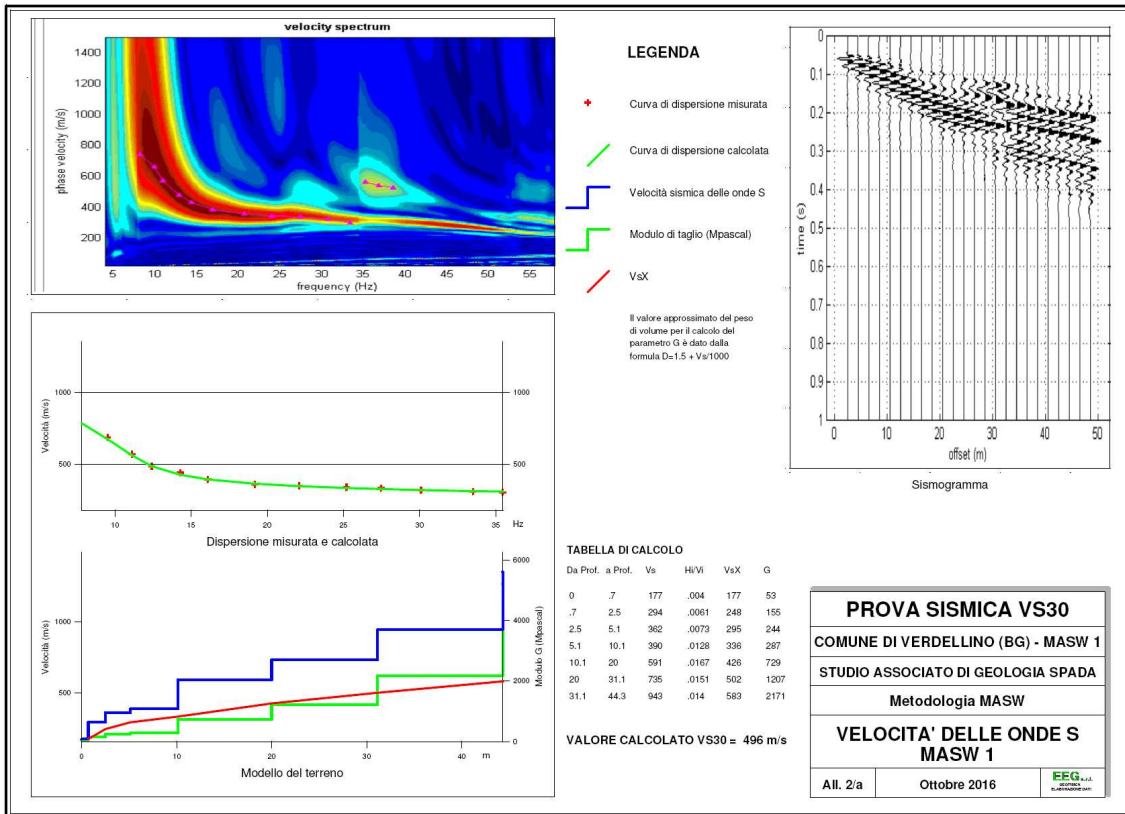
Per la scelta delle schede Regionali, che sono organizzate per tipologie litologiche ben definite (ghiaiose – limoso argillose – limoso sabbiose – sabbiose), si è quindi fatto riferimento ai dati di sottosuolo disponibili, cercando la litologia prevalente, ma si è comunque sempre considerato prioritario l'andamento delle Vs con la profondità.

Nei casi dubbi è stata eseguita la verifica anche sulle ulteriori schede applicabili, cercando di operare sempre in termini cautelativi, stante la limitata disponibilità di dati geologici.

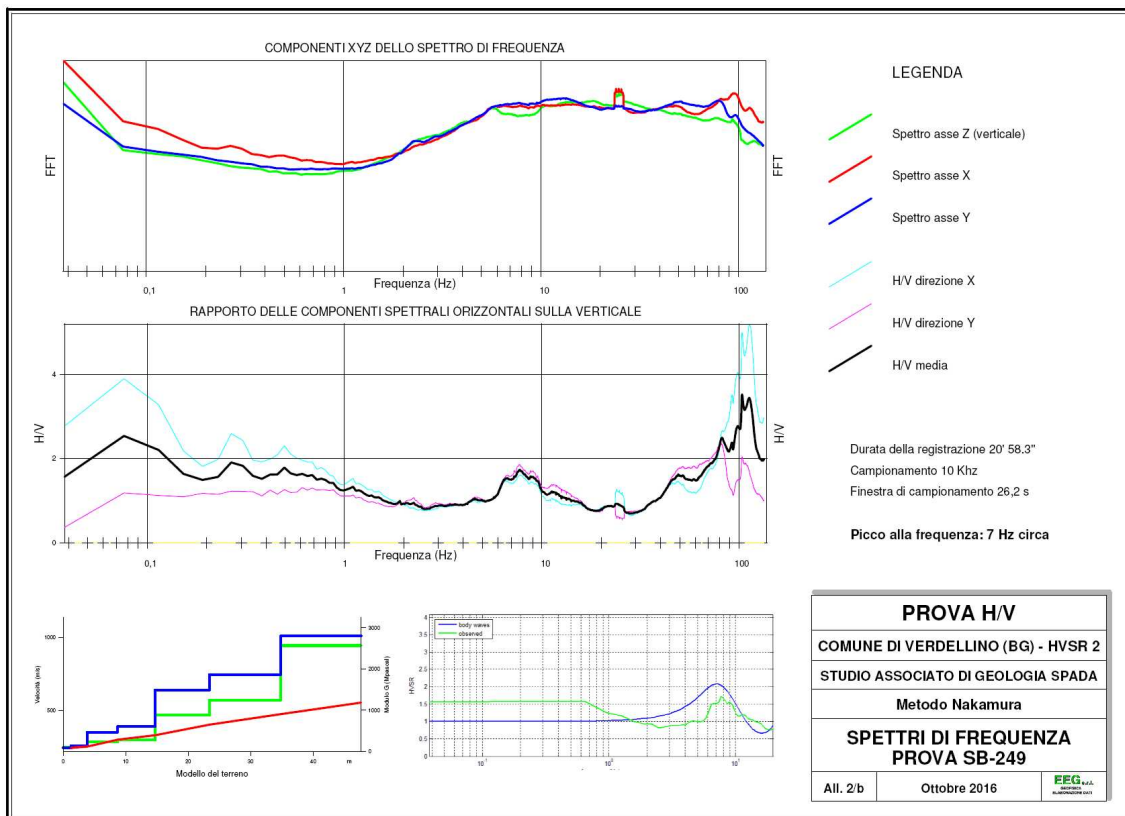
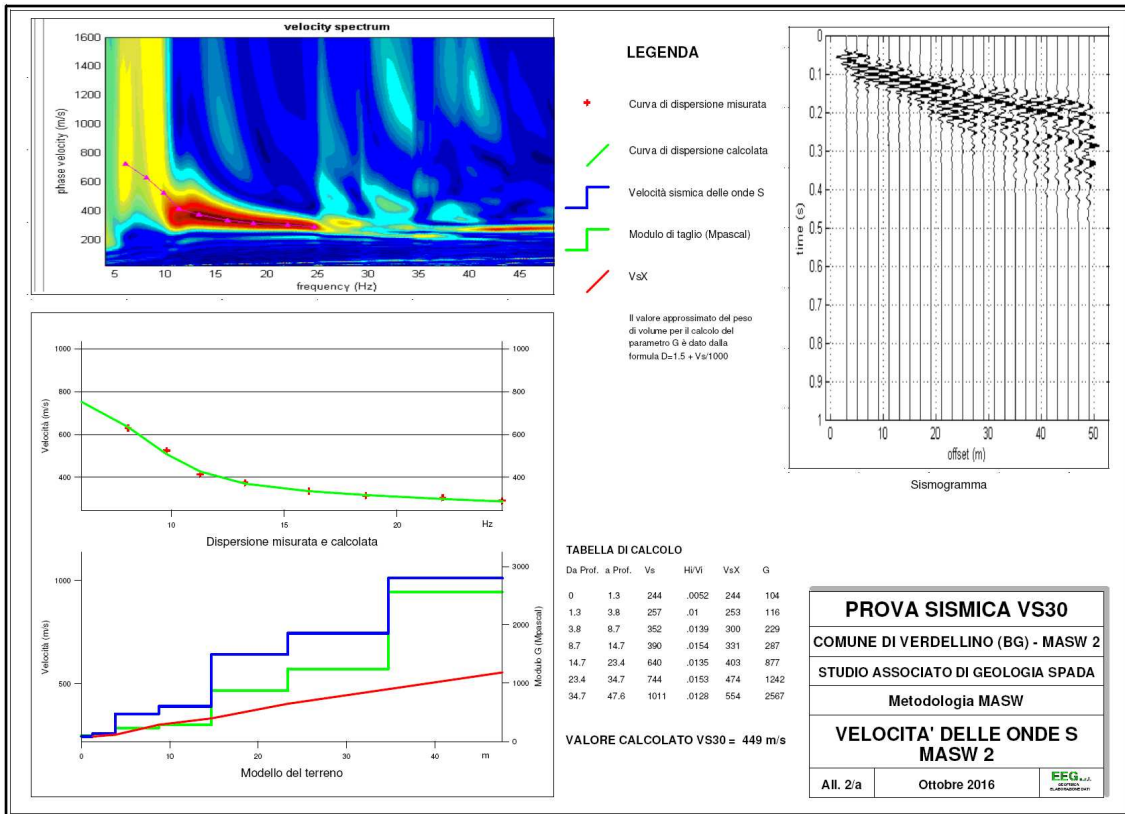
9.2.1 Risultati delle indagini geofisiche

Di seguito si riepilogano i principali risultati delle indagini MASW ed HVSR effettuate (ubicazione in fig. 13 e dettagli tecnici negli allegati 2-3)

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA
di Spada Mario, Orlandi Gian Marco e Bianchi Susanna



STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA
di Spada Mario, Orlandi Gian Marco e Bianchi Susanna



Si rammenta che la prova MASW fornisce importanti indicazioni su vari elementi:

- struttura geologica – geofisica del sottosuolo con particolare riferimento all'andamento delle onde sismiche Vs con la profondità,
- caratteristiche geofisiche degli orizzonti attraversati,
- profondità del bedrock sismico ($V_s > 800$ m/sec)
- definizione della categoria di sottosuolo in base alle NTC 2008

La prova HVSR fornisce ulteriori elementi che aiutano ad elaborare ed analizzare correttamente la struttura geofisica del sottosuolo.

La prova fornisce la frequenza caratteristica del sito, pari a:

- 5,5 Hz per la prova 1
- circa 7,5 Hz per la prova 2.

Si tratta un elemento di grande importanza nella realizzazione di eventuali edifici.

In sede progettuale deve essere verificato che la struttura di progetto abbia una frequenza DIVERSA da quella del sito.

In caso di coincidenza dei valori propri di frequenza di sito e della struttura (o di periodo, che è l'inverso della frequenza stessa) il rischio è quello, in caso di sisma, di un effetto di doppia risonanza, con possibili pesanti danneggiamenti della struttura.

9.2.2 Individuazione delle classi di sottosuolo

La procedura Regionale prevede che il fattore di amplificazione F_a calcolato con la presente procedura semplificata venga poi confrontato con i valori soglia Comunali, forniti dalla stessa Regione.

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA
di Spada Mario, Orlandi Gian Marco e Bianchi Susanna

I parametri di riferimento del valore soglia del F_a per il Comune di Verdellino, presi dal database regionale, sono:

Periodo	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
0.1 – 0.5	1.5	1.9	2.3	2.0
0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.3	3.1

Come si vede dalla tabella sopra riportata i valori di riferimento sono distinti in base al periodo di riferimento per gli edifici e soprattutto in relazione alle categorie di sottosuolo, secondo la classificazione introdotta dal D.M. 14/01/2008:

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Il parametro di riferimento principale per la classificazione sono le V_{s30} .

La velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,30}$ è definita dall'espressione

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}. \quad (3.2.1)$$

Sulla base del profilo delle Vs in profondità ricavato dalle MASW sono state calcolate le V_{s30} ed è stata definita la categoria di sottosuolo.

Il calcolo delle V_{s30} effettuato ha condotto ai seguenti risultati:

MASW n° 1: 496 m/sec – CLASSE B

MASW n° 2: 449 m/sec - CLASSE B

9.2.3 Confronto tra modello geologico e geofisico

Il modello geofisico semplificato ottenuto dai dati MASW è stato confrontato con i dati geologici del sottosuolo, ottenuti da alcune prove geotecniche, dalle stratigrafie di alcuni pozzi e sondaggi, e con il modello geologico ipotizzato nelle sezioni trasversali.

Questo confronto è servito sia per controllare e tarare i dati geofisici in base alla geologica di sottosuolo sia per trasformare la sezione geologica in un modello geofisico del sottosuolo.

Sinteticamente gli elementi stratigrafici / geofisici peculiari che emergono dalla due prove sono i seguenti:

- le velocità delle onde sismiche nei primi 10-15 metri risultano contenute (V_s tra 177 e 390 m/sec) a conferma della presenza di terreni sciolti, granulari, con grado di compattazione variabile;
- il primo rifrattore importante è posto ad una profondità variabile tra 10,1 e 14,7 m. da p.c. e coincide, sulla base dei dati disponibili, con i primi livelli di conglomerati;

- il bedrock sismico si incontra in entrambe le indagini oltre i 30 metri (31,1 m. da p.c. nella prova 1 e 34,7 m. da p.c. nella prova 2) e coincide, in base ai dati di pozzi disponibili, con livelli conglomeratici compatti presenti nel sottosuolo;

Considerando che la risposta sismica litologica è funzione dell'andamento delle Vs in profondità e che le Vs non hanno sempre un riscontro diretto con la litologia, è possibile concludere che, nel caso specifico, è stata osservata una buona coerenza tra i dati delle prove MASW ed i dati di sottosuolo disponibili nelle vicinanze.

In particolare è possibile mettere in luce una sostanziale coerenza tra i valori di Vs e gli spessori dei principali livelli di depositi e dei conglomerati come ricavati dalle stratigrafie dei pozzi e dei sondaggi profondi più vicini alle zone di indagine geofisica.

Le due prove hanno messo in luce una situazione sufficientemente omogenea, come per altro già evidenziato anche dai dati e dalla sezioni geologiche

9.2.4 Attendibilità dei dati geologici e geofisici utilizzati

In conformità a quanto previsto dalle disposizioni Regionali si individua, di seguito, l'affidabilità dei dati utilizzati per le presenti valutazioni:

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

(Vs)	alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)
------	------	---

Si è ritenuto fondamentale avere la massima affidabilità sui dati che maggiormente condizionano la verifica e la buona riuscita delle analisi (profilo delle Vs in profondità).

9.3 VALUTAZIONE DELL'AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA

Di seguito si passa all'analisi puntuale delle singole prove e delle verifiche effettuate.

Si è ritenuto opportuno fornire tutti gli elementi a disposizione degli Scriventi affinché possano essere utilizzati dai Tecnici che si avvarranno del presente piano in futuro.

Modello geofisico del sottosuolo derivato dal MASW n° 1

Il modello geofisico del sottosuolo Vs – profondità del MASW 1 è di seguito riportato:

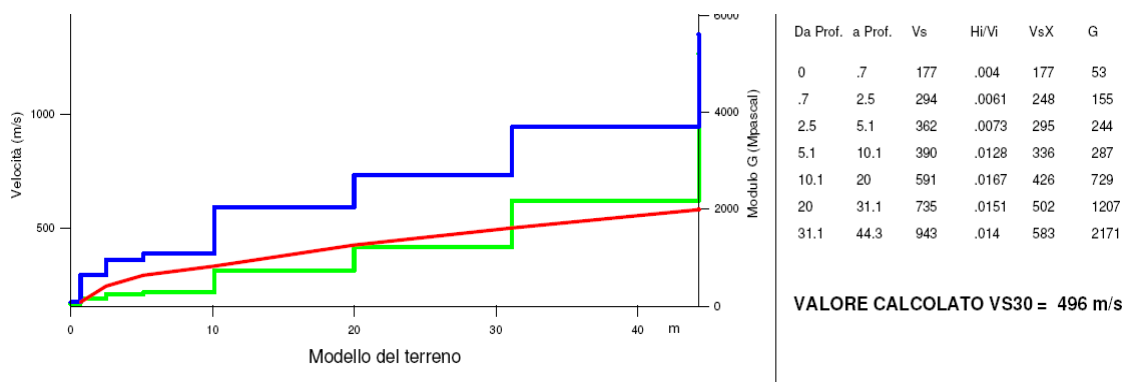


Fig. 14: MASW 1 – profilo Vs – profondità

Il bedrock sismico con velocità Vs > 800 m/sec è stato rinvenuto a 31,10 metri da p.c.

I terreni presenti sopra il bedrock, in base ai dati disponibili, sono prevalentemente sabbie e ghiaie, conglomerati e subordinate argille.

La scheda regionale ghiaiosa non risulta applicabile per il profilo delle Vs.

Si è quindi optato, per le analisi, per l'utilizzo della **scheda SABBIOSA**, in cui i terreni sono ancora a comportamento prevalentemente granulare ed in cui l'andamento delle Vs rimane nel campo di validità.

Si effettua, quindi, la verifica del grafico da applicare.

Calcolo periodo proprio del sito: $T = 0,22^*$

** Il parametro è stato anche ricavato dalla prova HVSR. Ai fini delle presente analisi è stato comunque utilizzato il valore calcolato con la formula indicata delle disposizioni di Regione Lombardia sia per coerenza con la procedura regionale stessa sia perché maggiormente cautelativo per la analisi di amplificazione.*

Spessore strato superficiale cumulato: 5,1 m – Vs media 312 m/sec >> curva n° 2

Calcolo Fa (0.1 – 0.5s): $Fa = 1,62 (+ 0.1) = 1.7$

Calcolo Fa (0.5 – 1.5s): $Fa = 1.24 (+ 0.1 arr) = 1.3$

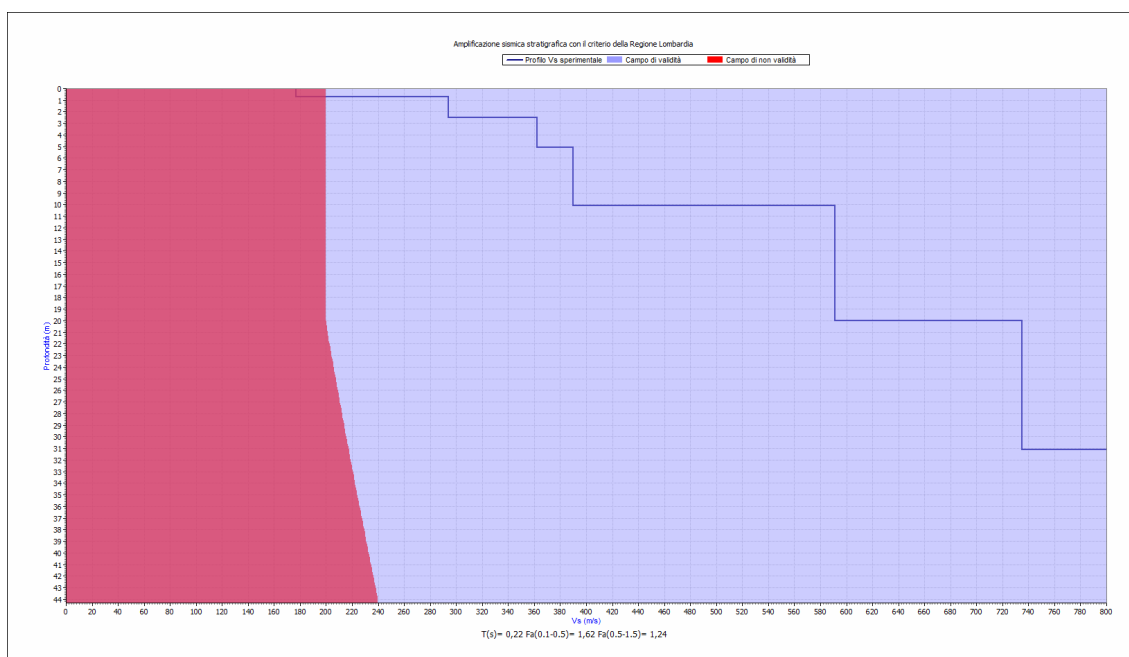


Fig. 15: Analisi di amplificazione sismica MASW 1 con la scheda per litologia SABBIOSA

I parametri di riferimento di Fa per Verdelino, presi dal database regionale, sono:

Periodo	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
---------	----------------	---------	---------	---------

0.1 – 0.5	1.5	1.9	2.3	2.0
0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.3	3.1

La categoria di suolo di riferimento, come calcolata in precedenza dal MASW, è la B.

Per il periodo 0.1-0.5s Fa calcolato = 1.7 > Fa soglia comunale (1.5)

Per il periodo 0.5-1.5s Fa calcolato = 1.3 < Fa soglia comunale (1.7)

Il valore soglia Comunale non è in grado di coprire l'amplificazione calcolata per il periodo compreso tra 0,1 e 0,5 s.

Modello geofisico del sottosuolo derivato dal Masw n° 2

Il modello geofisico del sottosuolo Vs – profondità del MASW 2 è di seguito riportato:

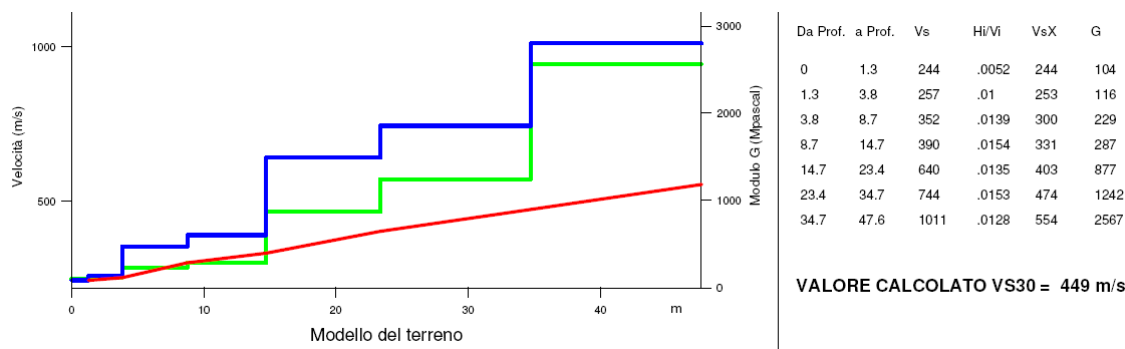


Fig. 16: MASW 2 – profilo Vs – profondità

Il bedrock sismico con velocità Vs > 800 m/sec è stato rinvenuto a 34,70 metri da p.c.

I terreni presenti sopra il bedrock, in base ai dati disponibili, sono prevalentemente sabbie e ghiaie, conglomerati e subordinate argille.

La scheda regionale ghiaiosa non risulta applicabile per il profilo delle Vs.

Si è quindi optato, per le analisi, per l'utilizzo della **scheda SABBIOSA**, in cui i terreni sono ancora a comportamento prevalentemente granulare ed in cui l'andamento delle Vs rimane nel campo di validità.

Si effettua, quindi, la verifica del grafico da applicare.

Calcolo periodo proprio del sito: $T = 0,25^*$

** Il parametro è stato anche ricavato dalla prova HVSR. Ai fini delle presente analisi è stato comunque utilizzato il valore calcolato con la formula indicata delle disposizioni di Regione Lombardia sia per coerenza con la procedura regionale stessa sia perché maggiormente cautelativo per la analisi di amplificazione.*

Spessore strato superficiale cumulato: 8,7 m – Vs media 308 m/sec >> curva n° 2

Calcolo Fa (0.1 – 0.5s): $Fa = 1,66 (+ 0.1) = 1.7$

Calcolo Fa (0.5 – 1.5s): $Fa = 1.31 (+ 0.1 arr) = 1.4$

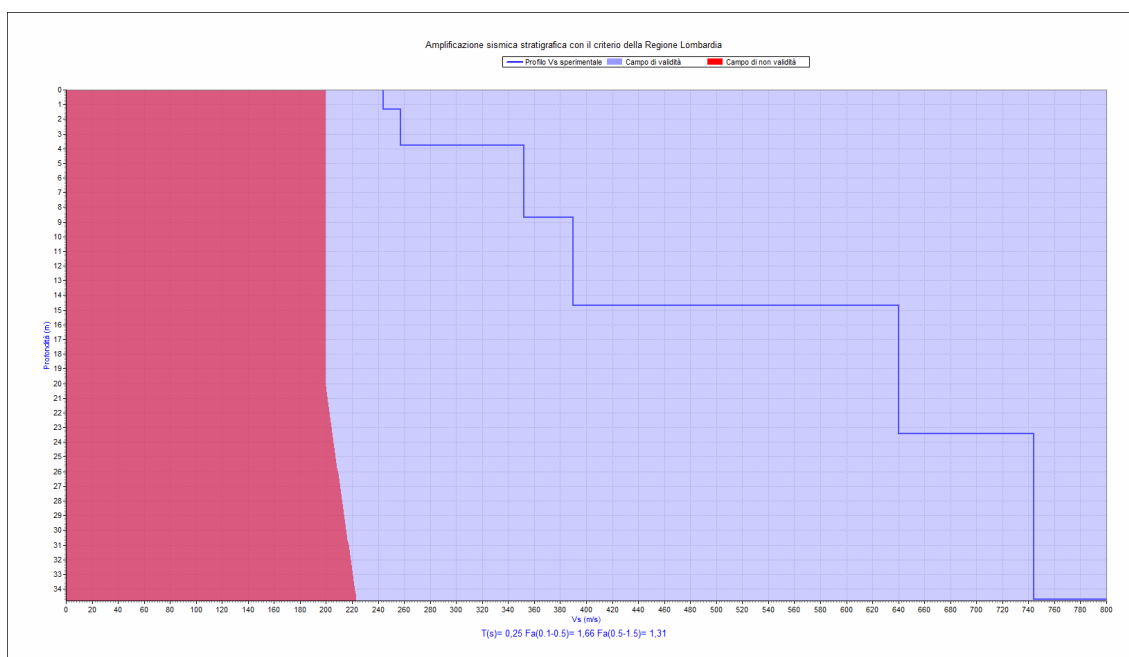


Fig. 17: Analisi di amplificazione sismica MASW 2 con la scheda per litologia SABBIOSA

I parametri di riferimento di Fa per Verdelino, presi dal database regionale, sono:

Periodo	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
---------	----------------	---------	---------	---------

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA
di Spada Mario, Orlandi Gian Marco e Bianchi Susanna

0.1 – 0.5	1.5	1.9	2.3	2.0
0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.3	3.1

La categoria di suolo di riferimento, come calcolata in precedenza dal MASW, è la B.

Per il periodo 0.1-0.5s Fa calcolato = 1.7 > Fa soglia comunale (1.5)

Per il periodo 0.5-1.5s Fa calcolato = 1.4 < Fa soglia comunale (1.7)

Il valore soglia Comunale non è in grado di coprire l'amplificazione calcolata per il periodo compreso tra 0,1 e 0,5 s; è possibile notare che in caso di utilizzo di un suolo di categoria diversa dalla B (C, D od E) l'amplificazione è coperta dal valore soglia.

10.0 CONSIDERAZIONI FINALI E PROPOSTA DI NORMATIVA SISMICA

Al termine delle analisi di pericolosità sismica di 2° livello è possibile trarre le considerazioni di seguito riportate.

Amplificazione litologica - Z4a

Il valore del fattore di amplificazione F_a calcolato in sito per il periodo 0.1-0.5 s (strutture basse, regolari e rigide – edifici indicativamente da 1 a 5 piani), in caso di presenza di terreni di classe B è superiore al valore di soglia comunale per entrambe le prove; in caso di utilizzo di una classe di suolo C o superiore il valore soglia è adeguato a coprire l'amplificazione.

Il valore di amplificazione risulta sempre essere adeguatamente coperto dal valore soglia per strutture con periodo 0,5 – 1,5 s

Proposta di normativa per l'amplificazione litologica

In base a quanto sopra emergono due indicazioni per la progettazione della struttura:

- 1) se la struttura da realizzare ricade nella categoria di periodo 0.5-1.5 s la normativa nazionale vigente è sufficiente a coprire l'amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa.
- 2) se la struttura da realizzare ricade nella categoria di periodo 0.1-0.5 s la normativa nazionale NON è sempre sufficiente a coprire l'amplificazione locale.
In questa situazione si pongono due alternative ai Progettisti in fase di progettazione edilizia:
 - 2a) effettuare analisi più approfondite (3° livello della direttiva Regionale)
 - 2b) in caso di rinvenimento della classe di suolo B è necessario utilizzare lo spettro caratteristico della categoria di suolo superiore.

ALLEGATI

- Allegato n° 1: Ubicazione pozzi ed indagini geognostiche, scala 1:1.500
- Allegato n° 2: Relazione sulle indagini geofisiche eseguite (MASW)
- Allegato n° 3: Relazione sulle indagini geofisiche eseguite (HVSr)

ELABORATI DELLO STUDIO GEOLOGICO VIGENTE INTEGRATI

E/O SOSTITUITI

- Tavola 02/bis: Carta idrogeologica e della vulnerabilità, scala 1:5.000 (sostituisce la precedente)
- Tavola 05/bis: Carta di sintesi, scala 1:5.000 (sostituisce la precedente)
- Tavola 06/bis: Carta di fattibilità geologica, scala 1:5.000 (sostituisce ed accorpa le precedenti 6a-6b-6c)
- Tavola 09: Carta della pericolosità sismica locale di 2° livello, scala 1:5.000 (nuovo documento)

Norme geologiche di piano (sostituiscono le precedenti).



The image shows a handwritten signature in blue ink over a circular professional stamp. The stamp is from the 'ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA' and identifies the holder as 'Dr. Geologo GIAN MARCO ORLANDI' with the registration number 'n. 963'.