

**COMUNE DI  
SOTTO IL MONTE GIOVANNI XXIII  
PROVINCIA DI BERGAMO**

**COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E  
SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO**

**in attuazione dell'Art. 57 L.R. 11 marzo 2005, n.12**



**Relazione Tecnica**

**ADEGUAMENTO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA,  
IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL P.G.T.**

*(ai sensi D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011 e D.G.R. X/6738 del 19 giugno 2017)*

## INDICE

<b>1. PREMESSA</b>	<b>4</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO - TERRITORIALE</b>	<b>7</b>
<b>3. COMPONENTE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE</b>	<b>8</b>
<b>3.1. Terremoto di riferimento (input sismico)</b>	<b>9</b>
<b>3.2. Analisi di primo livello</b>	<b>17</b>
3.2.1. Metodologia di analisi di primo livello	18
3.2.2. Risultati analisi di primo livello	19
<b>3.3. Analisi di secondo livello</b>	<b>24</b>
3.3.1. Metodologia analisi di secondo livello	24
3.3.2. Risultati analisi di secondo livello	33
<b>4. CONTENUTI DELLA STUDIO IDRAULICO DI DETTAGLIO</b>	<b>40</b>
<b>5. CARTA PAI - PGRA</b>	<b>43</b>

Gli elaborati dello studio resteranno di proprietà piena ed assoluta dell'Amministrazione comunale, fatti salvi i diritti d'autore (proprietà intellettuale – D.P.R. 184 del 12/04/2006) del Professionista. Si ricorda inoltre che la finalità dello studio è esclusivamente quella di fornire indicazioni generali di tipo geologico per la pianificazione territoriale.

Il presente documento è composto da 44 pagine di testo.

Bergamo, stesura 22/09/2009  
Revisione: 24/02/2010  
Aggiornamento: **novembre 2021**

Dott. Geol. Pedrali Carlo  
O.G.L. n.860



## **ELENCO DEGLI ALLEGATI**

### ***ALLEGATO CARTOGRAFICO DI AGGIORNAMENTO***

- Tavola 1. Carta di Pericolosità Sismica Locale (scala 1:5.000);
- Tavola 1b. Carta della Classe di Pericolosità Sismica Locale (scala 1:5.000);
- Tavola 2. Carta dei Vincoli (scala 1:5.000);
- Tavola 3. Carta di Sintesi o della Pericolosità (scala 1:5.000);
- Tavola 4. Carta della Fattibilità Geologica per le azioni di piano (scala 1:2.000);
- Tavola 5. Carta PAI - PGRA con legenda uniformata PAI (scala 1:5.000)

Per la realizzazione della cartografia allegata allo studio è stato utilizzato l'aereofotogrammetrico redatto dall'Amministrazione Provinciale nel 2014.

## 1. PREMESSA

La componente geologica idrogeologica e sismica comunale ha un ruolo fondamentale nell'ambito della documentazione costituente il Piano di Governo del Territorio.

La Componente geologica è contenuta interamente nel “**Documento di Piano**” del Piano di Governo del Territorio (l.r.12/2005, art.8 comma 1, lettera c) laddove si definisce l'assetto geologico, idrogeologico e sismico ai sensi dell'art.57 comma 1, lettera a). Tale documento ha infatti lo scopo di contenere tutti gli elementi conoscitivi del territorio comunale.

La **Carta dei Vincoli**, la **Carta di Sintesi**, la **Carta di fattibilità delle Azioni di Piano**, la **Carta di Pericolosità Sismica Locale**, le **Norme e prescrizioni geologiche di attuazione**, le **Norme e le prescrizioni della componente sismica**, devono essere contenute nel “**Piano delle Regole**” del Piano di Governo del Territorio (l.r.12/2005, art.8 comma 1, lettera d) secondo quanto previsto nell'art.57 comma 1 lettera b).

Il **Piano delle Regole** ha il compito, una volta individuate le aree a pericolosità e vulnerabilità geologica, idrogeologica e sismica, d'individuare le norme e le prescrizioni a cui le medesime sono assoggettate, indirizzando così le future scelte di pianificazione urbanistica.

Il presente documento aggiorna lo studio geologico comunale redatto nel 2009-2010 ai sensi della D.G.R. n.8/7374 del 28/05/2008 integrato alle prescrizioni del **parere regionale prot.: Z1.2010.0002510 del 10/02/2010**.

Lo studio geologico comunale del 2009-2010 deriva da un precedente documento redatto dal sottoscritto nel 2001 (rev. agosto 2002) ai sensi della Legge Regionale 24 novembre 1997, n.41 (“Prevenzione del rischio geologico, idrogeologico e sismico mediante strumenti urbanistici generali e loro varianti”).

Lo studio del 2001 ha utilizzato come base topografica, un aereofotogrammetrico su carta del 1973. Nel dettaglio, la cartografia tematica prodotta nel 2001 era la seguente:

- *Tav. 1 Carta d'inquadramento geografico* *scala 1:10.000;*

- Tav. 2 Carta geologico - strutturale scala 1:5.000;
- Tav. 3 Carta geomorfologica scala 1:5.000;
- Tav. 4 Carta idrogeologica scala 1:10.000;
- Tav. 5 Carta idrogeologica e del sistema idrografico scala 1:5.000;
- Tav. 6 Sezioni idrogeologiche
- Tav. 7 Carta geologico applicativa scala 1:5.000;
- Tav. 8 Carta di sintesi scala 1:5.000;
- Tav. 9 Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano scala 1:5.000;
- Tav.10 Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano scala 1:10.000.
- Tav.11 Quadro del dissesto con legenda uniformata PAI scala 1:10.000.

**Allo stato attuale sono da ritenere ancora vigenti le tavole dalla n.1 alla n.7.**

Lo studio del 2009-2010 oltre ad aver comportato la redazione di una nuova relazione tecnica, ha affrontato la revisione della cartografia di sintesi e di proposta; contestualmente le informazioni geologiche sono state trasferite sul più recente aereofotogrammetrico comunale del 2005 aggiornato al 2009.

**L'aereofotogrammetrico sopracitato (2009) presentava purtroppo una serie d'importanti imprecisioni planimetriche, ci si riferisce in particolare al tracciato planimetrico di diversi tratti di corsi d'acqua che non rispettavano l'andamento reale..**

L'aggiornamento attuale dello studio ha utilizzato una base cartografica più recente realizzata dalla Provincia di Bergamo, collaudata nell'ottobre 2014; ciò ha comportato la completa rivisitazione della cartografia di sintesi e di proposta.

Per la perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili del territorio comunale, il Comune di Sotto il Monte Giovanni XIII ha affidato all'Ing. Adriano Murachelli l'incarico di redigere lo **Studio comunale di gestione del rischio idraulico"** (novembre 2021).

A fronte dei risultati ottenuti, lo studio succitato propone la ridelimitazione delle aree allagabili del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A, D.G.R. X/6738 del 19 giugno 2017).

Lo studio la ridelimitazione delle aree potenzialmente allagabili con i criteri stabiliti dalla normativa del P.G.R.A..

E' stata fatta inoltre anche la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio di esondazione secondo le "PROCEDURE PER LA VALUTAZIONE E LA ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO DA ESONDAZIONE" stabilite nell'Allegato 4 della D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011. Tali procedure forniscono un "metodo di valutazione della compatibilità idraulica delle previsioni degli strumenti urbanistici e territoriali o più in generale delle proposte di uso del suolo, ricadenti in aree che risultino soggette a possibile esondazione".

E' stato necessario inoltre l'adeguamento della **componente sismica** a seguito della riclassificazione del territorio comunale operata dalla D.G.R. n. X/2129 del 11/07/2014, "**Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)**" che riclassifica il Comune di Sotto il Monte Giovanni XXIII in **Zona Sismica 3** con valore di riferimento dell'accelerazione di picco  **$ag_{max}=0,087$** .

Si recepiscono inoltre le indicazioni della normativa in materia di Invarianza Idrologica ed Idraulica fornite dal Regolamento Regionale n.7 del 23 novembre 2017 e s.m.i..

Il sottoscritto, ha provveduto ad adeguare la cartografia della pericolosità sismica di base, la cartografia di sintesi e di valutazione con modifiche sostanziali della cartografia dei Vincoli e di Sintesi e la stesura della nuova carta PAI - PGR. Conseguentemente per quanto riguarda anche la fase di proposta è stata aggiornata la carta di Fattibilità Geologica e le Norme geologiche di Piano che ora costituiscono un elaborato a parte e contengono in allegato gli estratti delle normative più recenti sopracitate.

Per quanto riguarda la cartografia regionale il territorio di Sotto il Monte Giovanni XXIII è compreso nelle sezioni in scala 1:10.000 denominate B5e2, C5a2 e C5a3.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO - TERRITORIALE

Il territorio comunale si colloca in corrispondenza dell'estremità settentrionale dell'“Isola Bergamasca”; con questo termine ci si riferisce a quella parte della Provincia di Bergamo, compresa tra i fiumi Adda e Brembo, delimitata a sud dalla confluenza del Brembo nell'Adda ed a nord dalla Valle Imagna e dalla Valle S. Martino.

Il comune è ubicato nella zona di passaggio tra i primi rilievi collinari appartenenti alle Alpi Orobie, e l'antistante alta pianura bergamasca, in corrispondenza dell'estremità occidentale del bacino del fiume Brembo. Il territorio comunale di Sotto il Monte Giovanni XXIII è posto a cavallo delle testate dei bacini idrografici del torrente Grandone a ovest e del torrente Buliga ad est.

Il territorio comunale, che si estende su 512 ettari, confina rispettivamente:

- a sud est con il comune di Terno d'Isola;
- a ovest e a sud con il comune di Carvico;
- a nord con il comune di Pontida;
- a est con il comune di Mapello.

Il territorio comunale è in gran parte pianeggiante ed è limitato a nord dalla dorsale rocciosa del monte Canto la cui sommità raggiunge la quota di 708 m s.l.m.

Nella zona pianeggiante più a sud, la quota della superficie topografica va decrescendo progressivamente da nordovest verso sudest con un gradiente medio di circa l'1.5%.

La quota minima di 233 m c.a. sul livello del mare è posta infatti all'estremità sudorientale del territorio comunale in località Camandellino.

Il capoluogo si sviluppa ai piedi della collina tra le quote di 275 e di 300 m s.l.m. Gli altri nuclei abitati sono situati sul rilievo collinare e sono: Pratolongo, Botta, Corna e Fontanella.

A partire dagli anni '70 si è avuto un consistente ampliamento della superficie adibita ad uso residenziale e lo sviluppo dell'area industriale-artigianale, in corrispondenza dell'estremità sudorientale del territorio comunale; sono tuttavia ancora presenti estese superfici destinate all'attività agricola (maiscoltura) o ricoperte da boschi sui rilievi o lungo le incisioni fluviali.

Si rimanda allo studio geologico comunale, prodotto dallo scrivente nel 2001 per la disamina dei caratteri **geologici, geomorfologici ed idrogeologici** del territorio comunale.

### 3. COMPONENTE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE

La metodologia proposta per la valutazione della pericolosità sismica locale è descritta nell'**Allegato 5** alle delibere regionali sopracitate; essa consente di affrontare una prima valutazione degli effetti di sito e del fenomeno di amplificazione sismica locale.

Il comune di Sotto il Monte Giovanni XXIII è classificato in **zona sismica 3**, la normativa regionale prevede in fase di pianificazione, l'effettuazione di un **1° livello** d'indagine in corrispondenza di tutto il territorio comunale con individuazione delle aree sensibili potenzialmente soggette a fenomeni di amplificazione sismica oppure a fenomeni indotti dall'evento - effetti cosismici. Tali aree sono riportate sulla **tavola n.1** allegata allo studio.

La normativa richiede inoltre l'effettuazione delle analisi di 2° livello per le aree edificate o di prossima edificazione che l'analisi di primo livello aveva identificato come aree stabili ma che per effetto di un input sismico, possono risultare soggette a fenomeni di amplificazione topografici e/o morfologici e litologico stratigrafici tali da indurre danni agli edifici esistenti.

Lo studio in questione, mira quindi esclusivamente ad una prima valutazione della pericolosità sismica locale che rappresenta uno dei tre fattori indispensabili per la valutazione del rischio sismico.

$$\text{Rischio} = \text{Valore Esposto} * (\text{Pericolosità} * \text{Vulnerabilità})$$

**dove:**

- Pericolosità (hazard) è la probabilità che il sito di studio ha di essere epicentro di un terremoto di una data magnitudo in un certo intervallo di tempo;
- Valore Esposto è il valore dell'insieme di persone e di cose presenti nell'area di studio;
- Vulnerabilità indica la capacità di resistenza all'input sismico delle strutture esistenti. La vulnerabilità è la variabile più difficilmente quantificabile. Gli elementi fondamentali che

condizionano la vulnerabilità sono principalmente l'instabilità dei suoli (frane e fenomeni di liquefazione) e gli effetti di sito oltre alla qualità intrinseca dell'edificio.

Per effetti di sito si intende le possibili amplificazioni locali (fenomeni di risonanza dei terreni e di doppia risonanza terreno-edifici) delle onde sismiche dovute principalmente a condizioni locali di tipo geologico-geotecnico e di tipo topografico.

Lo studio in questione rappresenta quindi il punto di partenza per gli eventuali e successivi aggiornamenti relativamente a revisioni della normativa vigente o nel caso siano individuate nuove aree di espansione urbanistica a livello di previsione urbanistica.

### **3.1. Terremoto di riferimento (input sismico)**

Per effettuare valutazioni relativamente agli effetti indotti da un sisma in un'area, occorre ipotizzare il verificarsi di un evento sismico con caratteristiche tali da essere statisticamente rappresentativo di quanto si è verificato in passato nell'area stessa e nel suo immediato intorno, occorre pertanto individuare il cosiddetto “**terremoto di riferimento**”.

Per quanto riguarda l'inquadramento della sismicità del territorio bergamasco, si riprende le considerazioni riportate al capitolo “VI - 1 Sismicità” del foglio 098 Bergamo del Progetto CARG (agosto 2010) e al capitolo VII - 1 Sismicità” del foglio 097 Vimercate del Progetto CARG (marzo 2014).

“La sismicità della Lombardia è caratterizzata da pochi terremoti di magnitudo da bassa a media. In generale si osserva una diminuzione sia dell'energia rilasciata sia del numero di eventi procedendo da E verso W, con la quasi assenza di terremoti a W di Milano.

Secondo il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15; GRUPPO DI LAVORO CPTI, 2015 <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>), che riporta eventi con Magnitudo momento  $M_w \geq 4/5$  e/o intensità epicentrale  $I_0 > 5$  **dall'anno 1000 al 2014**, l'attività sismica si localizza principalmente lungo il margine delle Alpi tra i laghi di Garda e Iseo”.

I terremoti più recenti, registrati strumentalmente e quindi anche di magnitudo molto bassa, risultano più sparsi, in particolare verso S e verso W.

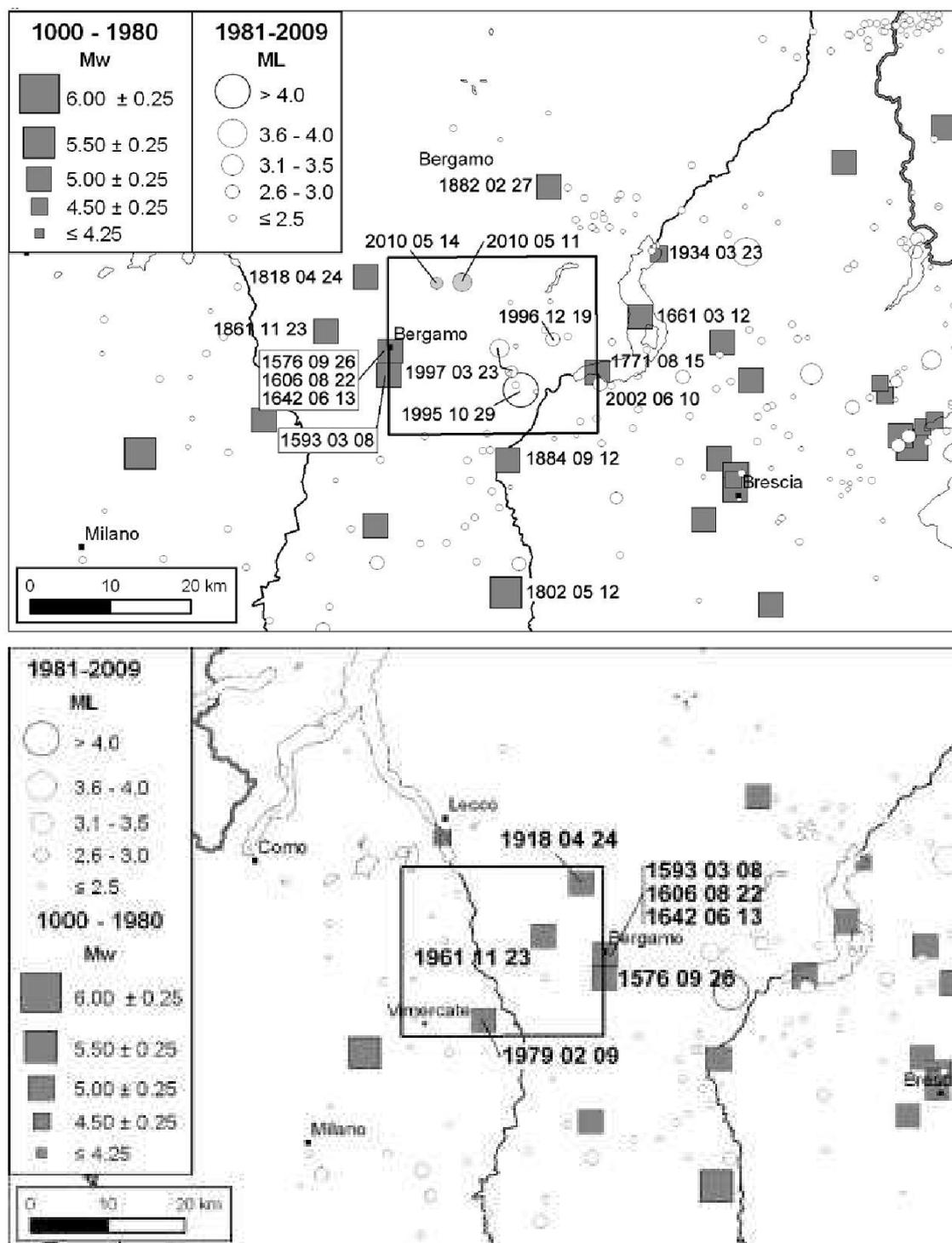


Figura n.1 e 2 – Sismicit  relative all’intervallo anni 1000 e 1980 da CPTI04 (GRUPPO DI LAVORO CPTI, 2004) e all’intervallo anni 1981 e 2009 da CSI 1.1 (CASTELLO et alii, e Bollettino Strumentale INGV). (*Mw*= *magnitudo momento*, *ML*=*magnitudo locale*). Il rettangolo evidenzia l’area del foglio n.098 Bergamo (sopra) e foglio n.097 Vimercate (sotto). CARG. Foglio Bergamo a cura di A. Rovida.

**Comune di Sotto il Monte Giovanni XXIII (Bergamo)**

Adeguamento della componente geologica della pianificazione territoriale  
ai sensi della D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011 e della D.G.R. X/6738 del 19 giugno 2017

**Relazione Tecnica**

Per quanto riguarda i valori di Magnitudo tra gli eventi sismici riportati negli annali, risulta importante il sisma che ha colpito Monza il 26 novembre 1396 con  $M_w \sim 5.35$ .

In corrispondenza della zona attorno a Bergamo, il catasto localizza i terremoti del 26 settembre 1576, del 8 marzo 1593 e del 22 agosto 1606 tutti con  $M_w \sim 5.03 \pm 0.33$ .

Il 13 giugno 1642 si è verificato un sisma, poco a sud del confine provinciale, in provincia di Cremona ( $M_w \sim 5.04$ ).

Il sisma della media valle dell'Adda 10 settembre 1781 ( $M_w \sim 4.9$ ).

Il sisma del 12 settembre 1884 con  $M_w \sim 4.85$ , si è verificato nella zona compresa tra Martinengo e Romano di Lombardia.

Nella zona di pianura dell'Oglio (Provincia di Cremona) si è verificato il sisma del 12 maggio 1802 con  $M_w \sim 5.64$ .

Più recentemente, il 24 aprile 1918, si segnala il sisma con  $M_w 5.7 \pm 0.07$  verificatosi a Sedrina, in Val Brembana,

Per quanto riguarda la valutazione degli effetti dei terremoti (Scala MCS Mercalli-Cancani-Sieberg), la distribuzione delle intensità macrosimiche contenuta in DBMI 04 (STUCCHI *et alii*, 2007) e proveniente dallo studio di ARCHIVIO MACROSISMICO GNDT (1995), segnala 34 località con dati d'intensità del terremoto, attribuendo intensità  $I=6^\circ$  MCS a Lecco e Caprino Bergamasco;  $I=5-6^\circ$  MCS ad Asso (CO). Intensità uguale a  $5^\circ$  MCS è attribuita ad altre sei località, di cui tre (Almenno San Bartolomeo, Ponte San Pietro e Zogno) comprese nell'area del foglio Vimercate.

Il sisma del 15 maggio 1951, nel Lodigiano (a SW di Montodine) aveva una  $M_w \sim 5.39$ .

Il terremoto del 23 novembre 1961 ( $M_w 4.83 \pm 0.26$ ) localizzato a Caprino Bergamasco (Figura 2). è stato studiato dal MOLIN *et alii* (2008) che ha classificato 119 risentimenti relativi a questo terremoto, con i massimi effetti identificati in varie località della Bergamasca, e un'area di risentimento molto vasta dal Piemonte al Veneto e al Trentino. In particolare, gli effetti del terremoto sono stati classificati con  $I=6^\circ$  MCS in sette località tra cui, all'interno del foglio Vimercate ricadono: Almenno San Salvatore, Briolo, Calusco d'Adda, Pontida e Sotto il Monte Giovanni XXIII e 5-6 a Mapello.

Danni non classificabili in termini di intensità macrosismica furono riportati anche a Ambivere, Nese, Petosino e San Pellegrino Terme.

Il sisma del 09 febbraio 1979, con una  $M_w$   $5.03 \pm 0.18$ , localizzato a Capriate San Gervasio, secondo lo studio di GUIDOBONI *et alii* (2007), ha determinato i massimi risentimenti lungo l'Adda; in particolare  $I=6^\circ$  MCS è assegnata a Bottanuco, Capriate San Gervasio, Dalmine, Filago, Sabbio, Solza, Suisio, Treviglio e Zingonia.

Il sisma del 29 ottobre 1995, con una  $M_w \sim 4.54$  è stato localizzato a nord di Trescore Balneario.

Di seguito si allega un estratto dal Catalogo dei principali eventi sismici verificatisi in bergamasca e nelle vicinanze.

N	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	Lat	Lon	Mw	DMw
271	1576	9	26	6			BERGAMO	POS85			6	45.667	9.667	4.83	0.26
284	1593	3	8				BERGAMO	DOM	1	6-7	6-7	45.694	9.670	5.03	0.33
302	1606	8	22				BERGAMO	DOM	1	6-7	6-7	45.694	9.670	5.03	0.33
346	1642	6	13	22			BERGAMO	DOM	1	6-7	6-7	45.694	9.670	5.03	0.33
365	1661	03	12				MONTECCHIO	CFTI	8	7-8	7	45.730	10.070	5.17	0.30
583	1771	08	15				SARNICO	POS85			6	45.667	10.000	4.83	0.26
1076	1882	02	27	06	30		ROVETTA	DOM	37	6-7	6-7	45.878	9.926	4.96	0.13
1099	1884	09	12				PONTOGLIO	DOM	24	6	6	45.570	9.856	4.83	0.26
1672	1918	4	24	14	21		LECCESE	DOM	34	6	6	45.778	9.631	5.07	0.07
1889	1934	03	23	01	46		PISOGNE	POS85			5-6	45.800	10.100	4.83	0.11
2169	1961	11	23	1	12	5	CAPRINO BERG.SCO	POS85			6	45.717	9.567	4.83	0.26
2396	1979	2	9	14	44		TREZZO SULL'ADDA	NT					9.467	5.03	0.18

Tabella n. 1 - Terremoti con epicentro all'interno e in prossimità dell'area del foglio Vimercate e Bergamo, da CPTI04 (GRUPPO DI LAVORO CPTI, 2004) (Anno = Tempo origine:anno, Me=Tempo origine: mese, Gi=Tempo origine: giorno, Or=Tempo origine: ora, Mi= Tempo origine: minuti, Se=Tempo origine: secondi, AE=Denominazione dell'area dei massimi effetti, Rt=Codice dell'elaborato di riferimento, Np=Numero dei dati puntuali di intensità disponibili, Imx=Intensità massima x 10 (scala MCS) Io=Intensità epicentrale x 10 (scala MCS), Mw=Magnitudo momento, DMw=Errore associato alla stima di Mw.

Fisicamente un evento sismico, viene rappresentato mediante grafici che prendono il nome di spettri di risposta (accelerazione/periodo di vibrazione) o di accelerogrammi, (oscillazione del suolo in accelerazione/velocità e durata dell'evento sismico). L'individuazione del terremoto di riferimento per i comuni della Lombardia è già stata effettuata dal Politecnico di Milano (p.c. della Regione Lombardia).

Sono stati individuati gli eventi relativi a sorgenti sismiche compatibili con le caratteristiche sismogenetiche del territorio lombardo (ZS9), che prevedono un meccanismo prevalentemente

compressivo, con profondità dell'ipocentro comprese tra 8-12 km (mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003, Gruppo di Lavoro, 2004), caratterizzati da una magnitudo massima attesa di 5,5 e distanze variabili tra 5 e 80 km (Spallarossa e Barani, 2007).

Il territorio regionale è stato suddiviso in fasce omogenee caratterizzate da diversa severità sismica.

In particolare sono state individuate 8 fasce (il comune di Sotto il Monte Giovanni XXIII ricade in **fascia 5**) caratterizzate da un diverso valore di accelerazione massima attesa al suolo (Gruppo di Lavoro, 2004) e valori dell'ordinata spettrale massima (NTC 2008) compresi in un range del  $\pm 10\%$  rispetto al valore medio del valore di accelerazione di riferimento ( $A_{g0rif.}$ ).

Per la scelta degli accelerogrammi relativi agli eventi sismici il Politecnico di Milano si è avvalso della banca dati accelerometrica degli eventi italiani "ITACA" (Luzi L., Sabetta F., 2006). Utilizzando gli accelerogrammi presenti in tale banca dati, sono state selezionate le registrazioni caratterizzate da picchi di accelerazione più simili alle massime accelerazioni orizzontali attese in sito in modo da limitare al massimo l'operazione di scalatura degli accelerogrammi stessi.

Per ogni fascia di severità sismica sono stati estratti pertanto 5 accelerogrammi naturali (o registrati) spetrocompatibili come previsto dalla normativa (D.M. 17/01/2018).

Nella banca dati regionale per ogni fascia sono disponibili rispettivamente:

- **5 accelerogrammi naturali** relativi ad eventi caratterizzati da un periodo di ritorno di 475 anni e riferiti alla categoria di sottosuolo tipo A (bedrock o bedrock-like). Essi sono compatibili con il valore di accelerazione atteso nell'area di studio;
- i valori di soglia (**S**) relativi ad ogni comune lombardo valutati, rispetto allo spettro di norma, per i due intervalli di periodo fondamentale rappresentativi delle tipologie costruttive più diffuse nella regione (periodo fondamentale di oscillazione  $0,1 \leq T \leq 0,5$  sec e  $0,5 \leq T \leq 1,5$  sec, il primo riguarda gli edifici più bassi e regolari, mentre il secondo riguarda gli edifici oltre i 5 piani) e per ogni categoria di sottosuolo. Essi sono contenuti nel file **soglie\_lomb.xls**. Tali valori di soglia devono essere confrontati con il valore del Fattore di Amplificazione (F.a.) determinato effettuando le analisi di secondo o di terzo livello.

COMUNE	Intervallo di periodo T in sec	Valori soglia per cat. Sottosuolo			
		B	C	D	E
Sotto il Monte Giovanni XXIII	0.1 - 0.5	1,4	1,9	2,2	2,0

COMUNE	Intervallo di periodo T in sec	Valori soglia per cat. Sottosuolo			
		B	C	D	E
Sotto il Monte Giovanni XXIII	0.5 - 1.5	1,7	2,4	4,2	3,1

Tabella n. 2 Valori di soglia (Regione Lombardia, 2008).

- i valori del modulo di taglio normalizzato (G/Go) e del rapporto di smorzamento (D) in funzione dell'entità della deformazione ( $\gamma$ ) (vedi il file: curve\_lomb.xls) per vari tipi di sottosuolo presente nel sito campione.

Le Norme Tecniche delle Costruzioni del 2008, riprese dalle **NTC 2018**, forniscono i parametri di spettro di risposta elastico (riferiti al bedrock) relativi ad ogni località del territorio italiano (**Norme Tecniche Costruzioni** D.M. 14/01/2008; tabella n.1). Di seguito si riportano i dati relativi al comune di **Sotto il Monte Giovanni XXIII** nei punti oggetto d'indagine sismica (riferito ai normali edifici residenziali).

La normativa tecnica nazionale indica come rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica, lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%. Esso fornisce la risposta massima in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione  $T \leq 4$  sec ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno.

Di seguito sono riportati i parametri sismici per il Comune di Sotto il Monte Giovanni XXIII forniti dalla normativa in corrispondenza dei quattro siti d'indagine (riferendosi ai tempi di ritorno stabiliti per normali edifici residenziali). In tali siti sono state effettuate indagini sismiche di tipo attivo e passivo mediante rispettivamente le tecniche MASW e Remi:

- **sito A – subito a sud del cimitero del capoluogo;**

Comune di Sotto il Monte Giovanni XXIII (Bergamo) - SITO A Da Spettri - NTC (vers. 1.03) Consiglio Superiore Lavori Pubblici per opere in Classe II con Vn=50 anni e Cu=1,0				
	Coordinate ED50			
	latit.	45.70547	long.	9.497821
	Tr (anni)	Ag [g]	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività (SLO)	30	0.025	2.490	0.185
Danno (SLD)	50	0.032	2.503	0.207
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.082	2.499	0.277
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.108	2.484	0.286

- sito B – in località Catolari, a sud della località Ex - Filanda;

Comune di Sotto il Monte Giovanni XXIII (Bergamo) - SITO B Da Spettri - NTC (vers. 1.03) Consiglio Superiore Lavori Pubblici per opere in Classe II con Vn=50 anni e Cu=1,0				
	Coordinate ED50			
	latit.	45.70571	long.	9.509086
	Tr (anni)	Ag [g]	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività (SLO)	30	0.025	2.485	0.185
Danno (SLD)	50	0.032	2.502	0.207
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.083	2.493	0.277
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.110	2.479	0.285

- sito C – in località Botta, subito a sud della scuola materna;

Comune di Sotto il Monte Giovanni XXIII (Bergamo) - SITO C Da Spettri - NTC (vers. 1.03) Consiglio Superiore Lavori Pubblici per opere in Classe II con Vn=50 anni e Cu=1,0				
	Coordinate ED50			
	latit.	45.7083	long.	9.516649
	Tr (anni)	Ag [g]	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività (SLO)	30	0.025	2.482	0.186
Danno (SLD)	50	0.032	2.502	0.207
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.084	2.489	0.277
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.111	2.476	0.285

- sito D - in via "alle Brughiere" all'intersezione con via Bedesco.

Comune di Sotto il Monte Giovanni XXIII (Bergamo) - SITO D Da Spettri - NTC (vers. 1.03) Consiglio Superiore Lavori Pubblici per opere in Classe II con Vn=50 anni e Cu=1,0				
	Coordinate ED50			
	latit.	45.69947	long.	9.512304
	Tr (anni)	Ag [g]	Fo (-)	Tc* (s)
Operatività (SLO)	30	0.025	2.483	0.186
Danno (SLD)	50	0.033	2.501	0.208
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.084	2.490	0.277
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.111	2.476	0.285

Tabelle n.3, 4, 5 e 6 Parametri di spettro (NTC). Indicato con: Tr= tempo di ritorno;  $ag_{(g)}$ =accelerazione orizzontale massima in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido orizzontale;  $F_o$ = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, ha valore minimo pari a 2,2;  $T_c^*$  = periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale .

L'effetto sulla superficie topografica di un input sismico nel sottosuolo (ipocentro), può essere esaltato da **fenomeni di amplificazione sismica locale**. Per la valutazione della **Risposta Sismica Locale del sito** è necessario calcolare la "**funzione di trasferimento**" che individua quali componenti del moto sismico sono amplificate o smorzate e in che rapporto dall'interazione delle onde sismiche con la situazione morfologico-litologico-stratigrafica locale si può generare un'fenomeno di amplificazione sismica. Durante la propagazione della sollecitazione dinamica dal "bedrock" verso la superficie, si verificano infatti una serie di modifiche (riflessioni e rifrazioni) del moto sismico originario (terremoto di riferimento – input sismico in corrispondenza del bedrock ), in termini di ampiezza, durata e contenuto in frequenza . Tali modificazioni dell'input possono indurre effetti di superficie tali da risultare inaspettatamente più elevati rispetto all'energia rilasciata alla sorgente (ipocentro).

E' possibile riconoscere **due tipologie** di amplificazione sismica, una legata alla conformazione topografica superficiale, l'altra alla sequenza litostratigrafica del sottosuolo:

- **fenomeni di amplificazione sismica locale legati alla topografia:** si verificano in terreni stabili quando sono presenti morfologie superficiali più o meno articolate e/o irregolarità topografiche in generale. Queste particolari condizioni geometriche favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche sulla superficie topografica a causa della convergenza dei fenomeni di riflessione in particolari punti della superficie libera legati all'interazione fra il campo d'onda incidente con fenomeni di diffrazione; il che determina la conseguente

amplificazione degli effetti. Tali condizioni si verificano in corrispondenza ad esempio di: creste, crinali o scarpate morfologiche;

- **fenomeni di amplificazione sismica locale legati alla litologia:** si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte particolari del bedrock (bacini sedimentari vallivi, chiusure laterali di corpi sedimentari lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia, etc..) oppure laddove sono presenti profili stratigrafici costituiti da litologie con forti contrasti d'impedenza ( $\rho \cdot V_s$ ) o in terreni di copertura che presentano marcate differenze di proprietà meccaniche rispetto a quelle del sottostante bedrock.  
Si possono così generare fenomeni d'intrappolamento delle onde (riflessioni multiple) all'interno dei depositi con esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse in superficie (amplificazione).

Il fenomeno di amplificazione sismica non avviene in maniera uniforme per tutti i periodi di vibrazione, ma può esaltare ulteriormente i suoi effetti distruttivi quanto si ha la similitudine tra il periodo di propagazione del moto sismico incidente e il periodo naturale di vibrazione del terreno, questo fenomeno è detto di **risonanza**. Quando gli edifici soprastanti hanno periodo di vibrazione principale ( $T_1$ ) simile a quello fondamentale del terreno ( $T_0$ ) si può generare il fenomeno di **doppia risonanza**.

Lo scuotimento sismico generato da un terremoto può indurre anche effetti collaterali (fenomeni cosismici) quali: frane, crolli, liquefazioni.

### 3.2. Analisi di primo livello

Come detto al capitolo precedente la metodologia regionale prevede tre livelli di studio a crescente grado di approfondimento, si passa rispettivamente dal 1° livello, dove ci si limita all'individuazione delle aree potenzialmente sensibili dal punto di vista sismico, al 2° e 3° livello, dove viene effettuata una valutazione dell'effetto di amplificazione sismica (risposta sismica locale) in corrispondenza delle aree sensibili individuate nel primo livello d'indagine. La valutazione del fattore di amplificazione riferita al piano campagna e legata ad **effetti topografici-morfologici e stratigrafici**, viene effettuata attraverso analisi di secondo livello. La stima con questo grado di approfondimento è di tipo semi-quantitativo mentre è di tipo quantitativo con analisi di terzo livello (fase progettuale edificatoria).

### 3.2.1. Metodologia di analisi di primo livello

La verifica di **1° livello** consiste nell'esaminare dal punto di vista geo-litologico, geomorfologico e geotecnico il territorio comunale, consultando la cartografia e la documentazione bibliografica disponibile. Lo scopo è quello di accertare l'esistenza o meno di scenari come quelli riassunti nella sottostante tabella allegata alla normativa regionale ed attribuire tali scenari di pericolosità sismica alle zone omogenee individuate, sia che si tratti di zone potenzialmente soggette a fenomeni d'instabilità o che si tratti di zone soggette a possibili fenomeni di amplificazione sismica locale.

<i>Sigla</i>	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	<i>EFFETTI</i>
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 (comprese le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Tabella n.7 Scenari di pericolosità sismica locale tratti dalla normativa regionale

Per ogni scenario di pericolosità sismica locale così individuato, la normativa regionale prevede la sua ubicazione e la delimitazione sulla carta della pericolosità sismica locale (PSL, vedi **tavola n.1** estesa a tutto il territorio comunale), e il confronto con la carta di Fattibilità geologica delle Azioni di Piano (**tavola n.4**) allegata al presente studio.

La carta della pericolosità sismica locale rappresenta il punto di partenza attuale per le analisi di livello superiore.

Il riconoscimento degli scenari consente di definire per ogni area omogenea identificata, la necessità o meno dell'effettuazione del successivo livello d'indagine.

Secondo quanto previsto dalla normativa regionale per i comuni **ricadenti in zona 3, le verifiche di 2° livello sono obbligatorie, in fase pianificatoria** nelle zone a PSL Z3 e Z4 per tutti gli edifici. In **fase progettuale** le verifiche di 3° livello, oltre che per le zone PSL Z1, Z2 e Z5, risultano obbligatorie nelle zone Z3 e Z4 laddove le verifiche di 2° livello hanno accertato che il valore del fattore di amplificazione (Fa) calcolato risulta superiore al valore di soglia fornito dalla Regione Lombardia ( $F.a. > S$ ) per la "Categoria di sottosuolo" attribuita al sito indagato.

Nel caso del supero del valore di soglia, lo spettro di normativa risulta insufficiente per salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale, **quindi in alternativa alle analisi più approfondite di 3° livello**, si può utilizzare i parametri dello spettro della normativa nazionale caratteristici della categoria di sottosuolo più scadente, seguendo la seguente procedura.

In base al valore di f.a. determinato, ho le seguenti possibilità di scelta:

- anziché lo spettro della categoria di suolo B si utilizzerà quello della categoria di suolo C. Nel caso tuttavia in cui il valore di soglia fornito fosse ancora inferiore al valore del fattore di amplificazione determinato, si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
- nello stesso modo, anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello della categoria di suolo D;
- nello stesso modo, anziché lo spettro della categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo D.

### **3.2.2. Risultati analisi di primo livello**

Come detto sopra, la carta di Pericolosità Sismica Locale del Comune di Sotto il Monte Giovanni XXIII, prodotta in scala 1:5000 (tavola n.1), individua e delimita le zone omogenee che possono

essere sede di fenomeni d'instabilità o soggette al fenomeno di amplificazione sismica locale per i quali si rende necessaria in fase pianificatoria la verifica di secondo livello.

Nel caso del territorio comunale sono state individuate le **seguenti zone**:

- **Zone Z1a**: corrispondono alle aree dove sono stati individuati accumuli di frana attivi;
- **Zone Z1b**: corrispondono alle aree dove sono stati segnalati accumuli di frana di scivolamento/complessi quiescenti. In particolare si segnala la paleofrana di Carlo Comodo, i dissesti storici in località Boarolo e la frana in località Fontanella;
- **Zone Z1c**: rientrano in tale zona i versanti ove l'assetto giaciturale del substrato roccioso è sfavorevole (a franapoggio) e quindi potenzialmente soggetti ad instabilizzazioni a seguito di un evento sismico; le aree dove sono state individuate scarpate acclivi di origine gravitativa o fluviale costituite da terreni limoso-argillosi per lo più di origine colluviale;
- **Zone Z2a**: corrispondono alle numerose aree dove sono stati individuati consistenti riporti di terreno che possono essere suscettibili di cedimenti-assessamenti in seguito ad un evento sismico. L'effettuazione dei più estesi riporti di terreno in corrispondenza del territorio comunale, risale a decine di anni orsono (a partire dal dopoguerra).
- **Zone Z2b**: relativamente al fenomeno della liquefazione si riprende quanto riportato nelle Norme Tecniche delle Costruzioni D.M. 17/01/2018 al "Capitolo 7.11.3.4.2 **Esclusione della verifica a liquefazione**".

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) **minori di 0,1g**;
2. profondità media stagionale della falda **superiore a 15 m** dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{cIN} > 180$ , dove:  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata con prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{cIN}$  è il valore della resistenza determinata con prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 7.11.1.(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in figura 7.11.1.(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

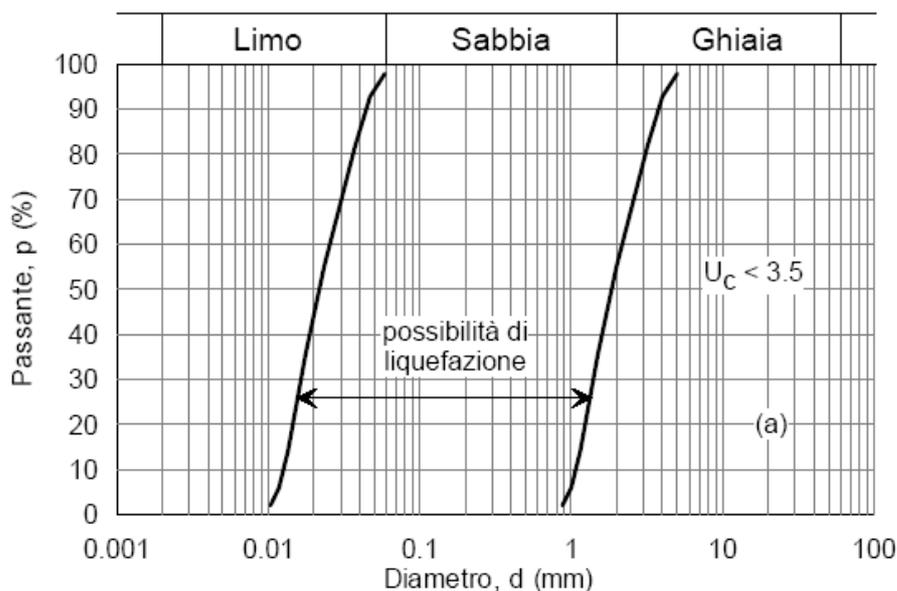


Figura n.3 - 7.11.1.(a)

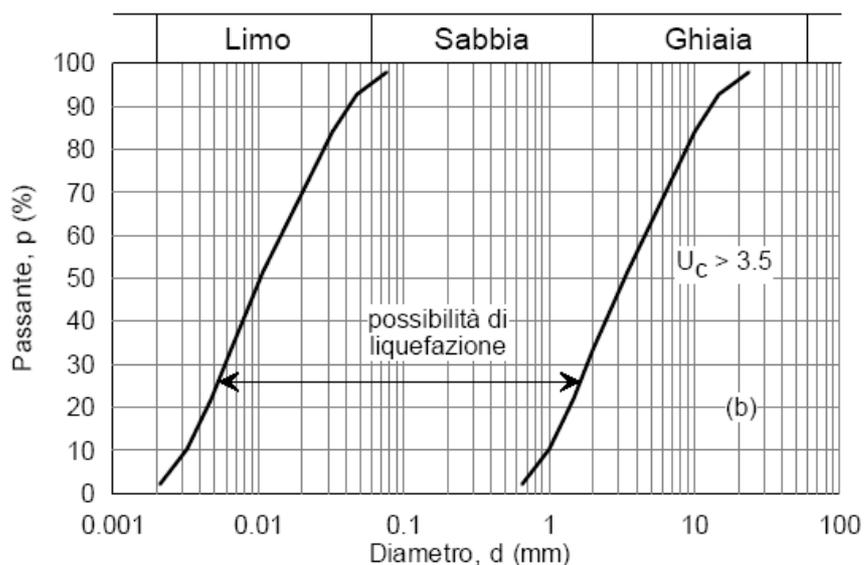


Figura n.4 - 7.11.1.(b)

Qualora la **condizione n.1** non risulti soddisfatta, le indagini geotecniche/laboratorio devono essere finalizzate alla determinazione almeno dei parametri necessari per la verifica delle condizioni n.2, 3 e 4.

Quando ad esempio nessuna delle condizioni sopra esposte risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sature in falda, occorre

valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità alle quali sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e sollecitazione indotta dal terremoto di progetto.

La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità d'interesse.

L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista.

Per quanto riguarda in generale il territorio pianeggiante del comune di Sotto il Monte, in riferimento al fenomeno della liquefazione, se si esclude il fattore legato alle caratteristiche di magnitudo e di durata del sisma, i terreni presenti nella prima decina di metri sono costituiti da limi argillosi ove è prevalente la loro natura coesiva, mentre in profondità prevalgono viceversa terreni incoerenti a supporto granulare grossolani ghiaioso sabbiosi.

Le lenti di sabbie fini sono poco estese e di spessore limitato.

La falda freatica risulta assente oppure, laddove presente, è in pressione, confinata all'interno dei sottili e poco estesi livelli più permeabili.

Vi sono tuttavia aree, lungo gli impluvi naturali o le vallecole a fondo piatto, ove il grado di addensamento/consistenza dei terreni fini è estremamente ridotto ed il grado di saturazione è elevato, in tali aree è stata individuata la presenza di terreni fini limoso sabbiosi - sabbie limose grigie ricche in materiale organico dove non si può escludere l'insorgenza di tali fenomeni in seguito ad una sollecitazione sismica (sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie).

Le informazioni bibliografiche acquisite sinora non consentono tuttavia la definizione a scala comunale dei fusi granulometrici che caratterizzano i terreni delle Unità di Sotto il Monte e dell'Unità di Medolago, conseguentemente non si possono effettuare valutazioni complessive e definitive sulla propensione o meno a tale fenomenologia.

Le uniche granulometrie disponibili sono quelle effettuate per l'ampliamento della scuola primaria in via Manzoni.

Si tratta di:

campione	Prof.tà (m)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)
<b>C-1</b> (limo con ghiaia argilloso sabbioso)	- 3,2	28,4	11,2	48,5	11,9
<b>C-2</b> (limo ghiaioso sabbioso argilloso)	- 9,1	22,9	17,7	46,8	12,6
<b>C-3</b> (ghiaia sabbiosa limosa a supporto granulare)	-13,0	53,6	24,3	18,8	3,3

Tabella n.8 Caratteristiche granulometriche dei terreni incontrati nel sondaggio effettuato per l'ampliamento della scuola primaria di via Manzoni.

- Zone Z3a: sono stati individuati gli elementi lineari quali: le nicchie di distacco; le zone di distacco massi; gli orli di scarpata di erosione degli antichi terrazzi colluviali/alluvionali e le scarpate antropiche. In carta sono stati individuati esclusivamente quei tratti di scarpata che presentano altezze superiori o prossime a 10 metri. Per quanto riguarda gli orli di erosione, si tratta per lo più di scarpate in terreno per le quali l'aspetto di amplificazione sismica legato alla morfologia è sicuramente di portata inferiore rispetto all'effetto di amplificazione litologica;
- Zone Z3b: sono stati individuati gli elementi lineari quali: le creste arrotondate o appuntite e i crinali rocciosi presenti nel territorio comunale.
- Zone Z4a: corrispondono alle zone di fondovalle presenti lungo tutte le vallecole principali, dal fondo per lo più piatto, tributarie del torrente Buliga. I depositi più recenti sono costituiti da depositi alluvionali granulari, prev. fini, incoerenti e/o debol. coesivi. Tali vallecole sono alimentate direttamente dai rilievi retrostanti oppure dalle emergenze idriche di acque che circolano all'interno o alla base dei depositi colluviali presenti più a monte. A tale zona appartiene anche tutto il settore meridionale del territorio comunale dove affiorano i terreni fluvioglaciali alterati prev. limo-argillosi dell'Unità di Medolago;
- Zone Z4b: corrispondono alle superfici residuali leggermente ondulate e debolmente inclinate grossomodo verso sud, incise dalle acque di scorrimento superficiale. Sono depositi fini antichi configurabili come paleoconoidi detritico-alluvionali di raccordo all'antistante Pianalto ormai sospese sul reticolo idrico attuale. Nel caso specifico si tratta delle conoidi del paleo-Grandone e del torrente Buliga.
- Zone Z4d: si tratta di tutte le zone subpianeggianti con superficie topografica debolmente inclinata verso SSE dove sono presenti terreni colluviali ricoperti da una coltre loessica ed appartenenti all'Unità di Sotto il Monte. Tale unità è stata incisa successivamente dall'attuale reticolo idrico;
- Zone Z5: corrispondono alle aree dove si verifica il contatto tra il substrato roccioso poco alterato e depositi detritici di copertura di spessore consistente. In queste zone si ha quindi, un forte e netto contrasto laterale delle caratteristiche fisico-meccaniche .  
In questa "zona" ricadono le aree dove, sulla Carta Geologica della Provincia di Bergamo, sono segnalati o sono stati rilevati direttamente sul terreno, lineamenti tettonici.  
In corrispondenza di faglie, fratture importanti o di superfici di sovrascorrimento è frequente l'esistenza di una fascia di roccia tettonizzata che presenta caratteristiche fisico meccaniche decisamente più scadenti rispetto a quelle della roccia intatta o poco fratturata adiacente.  
Tali **elementi lineari** sono da considerare quindi come fasce di ampiezza variabile la cui esatta collocazione va verificata puntualmente in fase esecutiva.

### 3.3. Analisi di secondo livello

#### 3.3.1. Metodologia analisi di secondo livello

La procedura messa a punto dalla Regione Lombardia che è stata utilizzata, fa riferimento ad una sismicità di base caratterizzata da un periodo di ritorno di 475 anni (probabilità di eccedenza/accadimento del 10% in 50 anni).

La verifica di secondo livello, con valutazione semiquantitativa del valore di amplificazione sismica atteso nel sito in esame, si effettua utilizzando le schede relative agli “**effetti morfologici**” e agli “**effetti litologici**” opportunamente predisposte dal Politecnico di Milano (**Allegato 5** alla D.G.R. 9/2616 del 30/11/2011) per conto della Regione Lombardia.

Più precisamente sono state predisposte le seguenti schede:

- scheda effetti morfologici – Scarpate – Scenario Z3a;
- scheda effetti morfologici – Creste – Scenario Z3b;
- scheda effetti litologici – Scenario Z4 - Litologia Ghiaiosa;
- scheda effetti litologici – Scenario Z4 - Litologia Sabbiosa;
- scheda effetti litologici – Scenario Z4 - Litologia Limoso-Sabbiosa Tipo 1 e Tipo 2;
- scheda effetti litologici – Scenario Z4 - Litologia Limoso-Argillosa Tipo 1 e Tipo 2;

Per il caso del Comune di Sotto il Monte Giovanni XXIII, il cui territorio è caratterizzato da una parte settentrionale collinare, da una zona centrale a pianori sospesi sui fondovalli attuali e da una zona meridionale di alta pianura, le schede “effetti litologici” utilizzate per la valutazione dell’amplificazione sismica legata agli effetti litologico-stratigrafici sono le schede:

- **Scenario Z4 - Litologia Sabbiosa;**
- **Scenario Z4 - Litologia Limoso-Sabbiosa Tipo 2.**

La scelta è dettata sia dalle litologie del sottosuolo che dall'andamento della curva  $V_s/z$ .

### 3.3.1.1. Analisi effetti di amplificazione topografico-morfologica

La metodologia indicata dalla normativa regionale per la valutazione del fattore di amplificazione, prevede che venga effettuata l'analisi delle creste rocciose appuntite o arrotondate con inclinazione dei pendii maggiore o uguale a  $10^\circ$  e quella di scarpate morfologiche in roccia, con altezza superiore o uguale a 10 metri e con inclinazione del fronte principale maggiore o uguale a  $10^\circ$ . Il materiale costituente il rilievo topografico deve avere una velocità delle onde di taglio  $V_s \geq 800$  m/s (bedrock o bedrock-like).

Nell'analisi di 1° livello sono state individuati in carta (tavola n.1), in corrispondenza del territorio comunale, i tratti di cresta/crinale o quelli di scarpata che rispondono alle condizioni sopra descritte. Pertanto per quegli elementi principali o direttamente interferenti con l'edificato esistente si è proceduto ad effettuare le **analisi di 2° livello**.

Nel caso in cui le creste o le scarpate individuate non risultino costituite da roccia affiorante/subaffiorante (**bedrock sismico con  $V_s \geq 800$  m/s**) ma è presente una copertura detritica di natura eluvio-colluviale con spessore massimo di 4-5 metri, il fenomeno di amplificazione che si determina in caso di sisma, è legato all'interazione dei due effetti di amplificazione: morfologico e litologico (quest'ultimo prevalente); pertanto per una determinazione di tipo puntuale, dovranno essere effettuate, in fase di edificazione, le opportune verifiche geotecnico-geofisiche. .

La valutazione del grado di protezione per gli scenari morfologici riconosciuti (vedi "**Categoria topografica**") viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di **F.a. (fattore di amplificazione)** ottenuto dalle schede di valutazione con il valore di "**St**" fornito dalle Norme Tecniche delle Costruzioni (Cap. 3.2.3.2.1. NTC 2018). Il parametro **St** rappresenta il valore di soglia, oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

**Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$**

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Figura n.9 Valori massimi del fattore di amplificazione di tipo morfologico per ogni categoria topografica ( $S_T$ )

Dove per individuare la "categoria topografica" è necessario rifarsi alla sottostante tabella.

**Tab. 3.2.III – Categorie topografiche**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Figura n.10 Scenari di possibile amplificazione di tipo morfologico ( $S_T$ )

La procedura prevede di confrontare ogni valore di F.a. determinato, con il valore di  $S_T$  di norma, a meno di un'approssimazione alla prima cifra decimale (+0,1), per tener conto della precisione del valore F.a. ottenuto con una procedura di tipo semplificato.

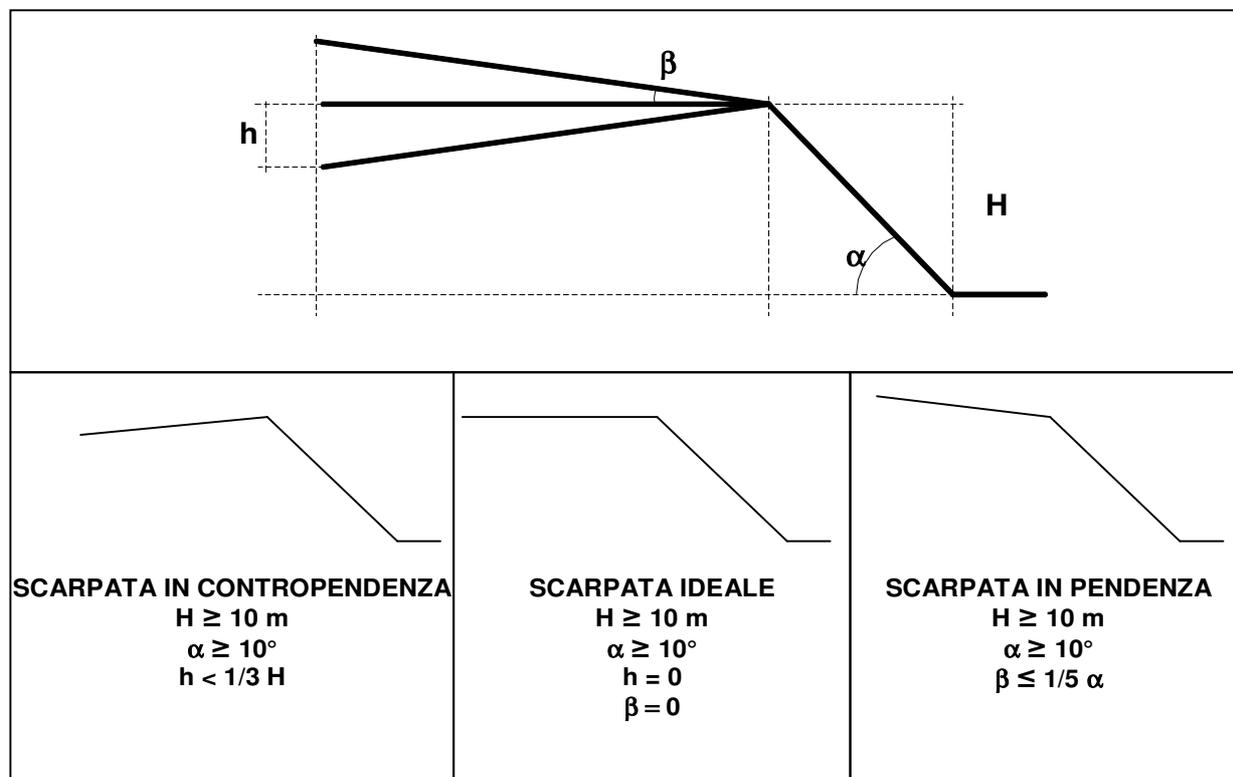
Il valore fornito è indicativo esclusivamente per tipologie di edifici ordinari e per valori del periodo di vibrazione compresi tra 0,1 e 0,5 sec; per tutti gli altri casi occorre fare analisi più approfondite di 3° livello in fase di progettazione esecutiva.

Si possono presentare quindi, due situazioni:

- ⇒ se il valore di  $F_a$  è inferiore al valore di soglia  $S_T$  corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente per tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- ⇒ se il valore di  $F_a$  è superiore al valore di soglia  $S_T$  corrispondente: i parametri di normativa non sono sufficienti per tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia.

**SCHEDE EFFETTI MORFOLOGICI**

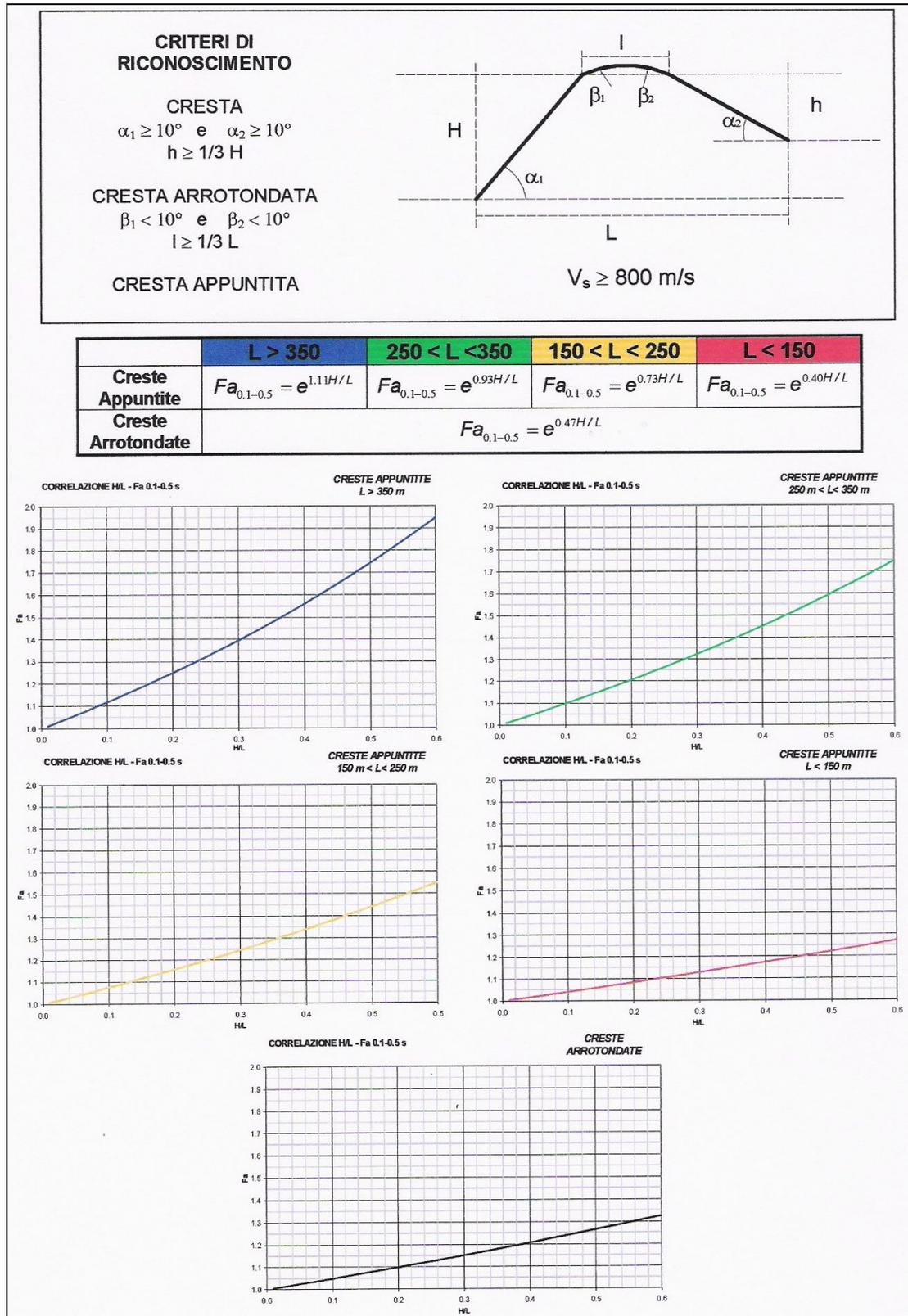
**SCHEDE SCARPATE - SCENARIO Z3a**



Schema identificativo valido solo per il periodo **T=0,1-0,5 sec**

Classe altimetrica	Classe d' inclinazione	Valore di Fa	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{2}{3} H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

**SCHEDA CRESTE - SCENARIO Z3b**



### 3.3.1.2. Analisi effetti litologici

Per effettuare l'analisi degli effetti litologici è necessario individuare innanzitutto la “**scheda effetti litologici**” più adatta al terreno indagato nel sito di studio. Per fare ciò è necessario disporre:

- delle caratteristiche granulometriche e delle proprietà indice dei terreni presenti nel sottosuolo in esame; tali caratteristiche devono essere confrontate con quelle indicate nelle schede disponibili ;del profilo dell'andamento della velocità delle onde di taglio  $V_s$  (m/s) con la profondità  $z$  (m) determinato sperimentalmente. Quest'ultimo deve essere sovrapposto e confrontato con il grafico omonimo riportato sulla scheda scelta. Più precisamente occorre verificare che il profilo sperimentale ottenuto cada nel **campo di validità** delimitato dalla curva di riferimento  $V_s/z$  riportata sulla scheda scelta, per valori di  $V_s$  inferiori a 600-800 m/s;del valore del periodo fondamentale di vibrazione del terreno. Esso viene ricavato dal profilo di velocità delle onde di taglio, considerando tutto lo spessore della copertura ( $V_s < 800$  m/s) che ricopre il bedrock-like. Le schede litologia sono state realizzate per due intervalli di periodo di vibrazione: 0,1-0,5 sec e 0,5-1,5 sec, rispettivamente per edifici bassi ed edifici alti. Per intervalli del periodo di vibrazione diversi da quelli considerati sulle schede, sono necessarie specifiche indagini;nel caso la scheda di valutazione considerata sia coerente con la litologia esaminata, ma l'andamento (profilo) delle  $V_s$  con la profondità, non ricada nel **campo di validità** della scheda in esame, dovrà essere scelta un'altra scheda anche se relativa ad un'altra tipologia di terreno, purché il profilo sperimentale delle  $V_s$  con la profondità riconosciuta nel sito d'indagine, rimanga pressoché interamente nel campo di validità della scheda scelta. Il

**valore del fattore di amplificazione**, determinato mediante l'uso delle schede più appropriate al caso, deve essere confrontato con il **valore di soglia** fornito dalla Regione Lombardia per il Comune in questione (vedi tabella n. 2). Tale confronto consente di valutare il grado di protezione raggiunto utilizzando i parametri di normativa riferiti alla **Categoria di sottosuolo determinata sperimentalmente** per il sito di studio.

Il grado di precisione della metodologia di valutazione del fattore di amplificazione F.a, attraverso la procedura regionale, consente di determinare un numero approssimato alla **prima cifra decimale** (**S+0,1**); ciò è legato al grado d'incertezza insito nella procedura regionale di tipo semplificato.

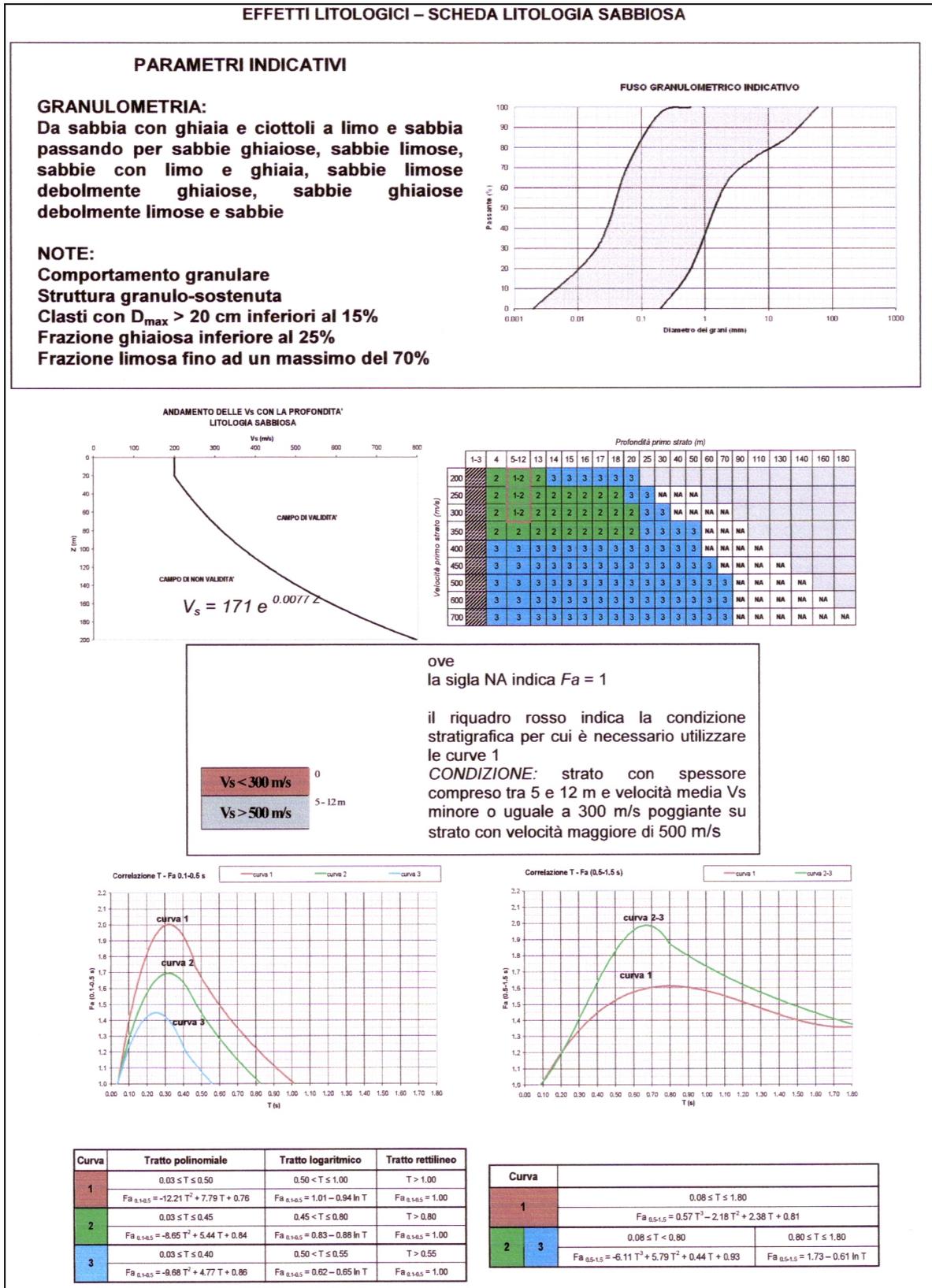
Il **valore di soglia (S)** rappresenta quindi il numero limite del fattore di amplificazione oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficientemente cautelativo nei riguardi dell'amplificazione sismica realmente presente nel sito di studio.

Si possono presentare quindi **due situazioni**:

- laddove il valore di Fa determinato tramite scheda, risulta **inferiore** al valore di soglia corrispondente, lo spettro di normativa è da considerarsi sufficientemente cautelativo e tale da poter comprendere gli effetti di amplificazione sismica locale.  
Si applica quindi i parametri di spettro forniti dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni (D.M. 14/01/2008) per la categoria di sottosuolo accertata;
- laddove il valore di Fa determinato risulta **superiore** al valore di soglia corrispondente, lo spettro di normativa è da considerarsi insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale, quindi in fase di progettazione edilizia è necessario effettuare o analisi più approfondite di 3° livello o, in alternativa, utilizzare i parametri dello spettro di normativa caratteristico di una categoria di sottosuolo più scadente. Lo spettro di norma da utilizzare in questo caso deve essere individuato scegliendo, in base al valore del F.a. determinato, tra le diverse possibilità di seguito elencate:
  - anziché lo spettro della categoria di sottosuolo B si utilizzerà quello della categoria di sottosuolo C. Nel caso tuttavia in cui il valore di soglia fornito per tale categoria fosse ancora inferiore al valore del fattore di amplificazione determinato, si utilizzerà lo spettro della categoria di sottosuolo D;
  - nello stesso modo, anziché lo spettro della categoria di sottosuolo C si utilizzerà quello della categoria di sottosuolo D;
  - nello stesso modo, anziché lo spettro della categoria di sottosuolo E si utilizzerà quello della categoria di sottosuolo D.

Al termine dell'analisi di secondo livello, in relazione ai risultati ottenuti dalle verifiche sia di tipo topografico-morfologico (elementi lineari) che litologico (elementi areali), i siti campione scelti fra quelli individuati sulla **carta di pericolosità sismica locale (tavola n.1)**, sono stati riportati sulla cartografia di **tavola n.1b (carta del classe di pericolosità sismica)** distinguendo tra i casi ove è avvenuto il supero del valore di soglia (**indicati in grigliato rosso**) e quelli ove non si è verificato (**indicati in grigliato verde**) relativamente ai due intervalli del periodo di vibrazione considerati (**0,1-0,5 sec e 0,5-1,5 sec**)

## SCHEDE EFFETTI LITOLOGICI – SCENARIO Z4



## EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA LIMOSO – SABBIOSA TIPO 2

### PARAMETRI INDICATIVI

#### GRANULOMETRIA:

Da limi con sabbie debolmente ghiaiose a limi debolmente sabbioso-argillosi passando per limi con sabbie, limi debolmente argillosi, limi debolmente sabbiosi, limi debolmente ghiaiosi e sabbie con limi debolmente argillosi

#### NOTE:

Comportamento coesivo

Frazione limosa ad un massimo del 95%

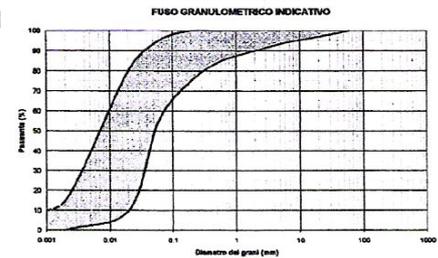
Presenza di clasti immersi con  $D_{max} < 2-3$  cm

Frazione ghiaiosa fino ad un massimo del 10%

Frazione sabbiosa fino ad un massimo del 45%

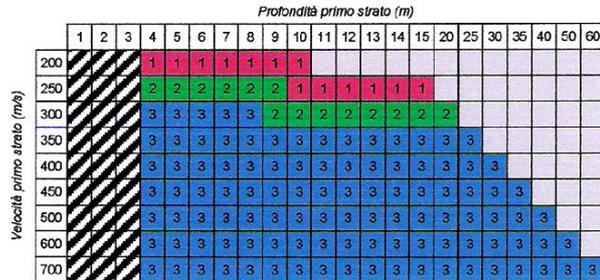
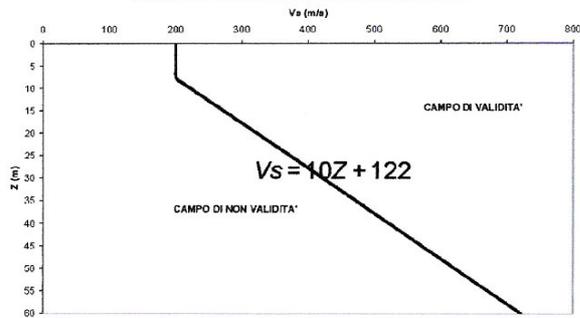
Frazione argillosa fino ad un massimo del 15%

A FIANCO: range di valori per alcuni parametri geotecnici significativi validi per limi sabbiosi debolmente argillosi

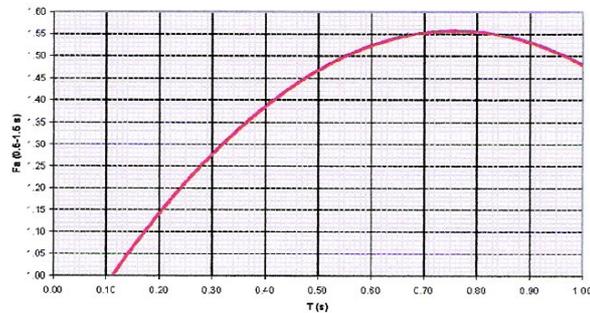


PARAMETRO	INTERVALLO
Peso di volume naturale $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	18.5-19.6
Peso specifico particelle solide $\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	26.0-27.9
Contenuto d'acqua naturale $w$ [%]	25-30
Limite di liquidità $w_L$ [%]	25-35
Limite di plasticità $w_p$ [%]	15-20
Indice di plasticità $I_p$ [%]	5-15
Indice dei vuoti $e$	0.6-0.9
Grado di saturazione $S_r$ [%]	90-100
Coefficiente di spinta a riposo $K_0$	0.4-0.5
Indice di compressione $C_c$	0.10-0.30
Indice di rigonfiamento $C_s$	0.03-0.05
Coefficiente di consolidazione secondaria $C_s$	0.002-0.006
Numero colpi prova SPT (nei primi 10 m) $N_{spt}$	0-20

#### ANDAMENTO DEI VALORI DI $V_s$ CON LA PROFONDITA'

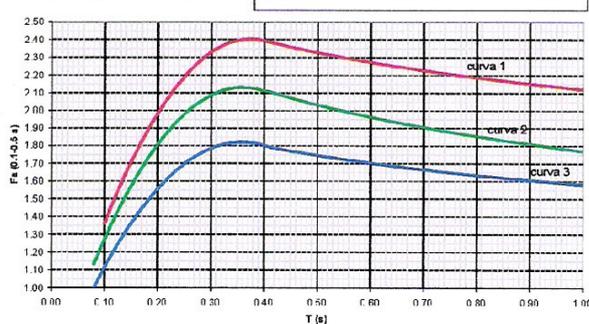


#### Correlazione T - Fa 0.5-1.5 s



$$Fa_{0.5-1.5} = -1.33T^2 + 2.02T + 0.79$$

#### Correlazione T - Fa 0.1-0.5 s



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.10 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -13.9T^2 + 10.4T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 2.12 - 0.30LnT$
2	$0.08 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.8T^2 + 9.2T + 0.48$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.77 - 0.38LnT$
3	$0.05 < T \leq 0.40$	$0.40 < T \leq 1.00$
	$Fa_{0.1-0.5} = -10.6T^2 + 7.6T + 0.46$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.58 - 0.24LnT$

### 3.3.2. Risultati analisi di secondo livello

Occorre premettere che gli approfondimenti di 2° e 3° livello *non devono essere effettuati* in quelle aree che per situazione geologica, geomorfologica ed ambientale, o perché sottoposte a particolare vincolo normativo, risultino già inedificabili (**Classe di fattibilità 4**).

Inoltre per le aree a pericolosità sismica locale (PSL) **Z1, Z2 e Z5 non è prevista l'analisi di 2° livello ma si passa direttamente all'analisi di 3° livello** da attuarsi in fase progettuale.

#### 3.3.2.1. Verifica di secondo livello - effetti topografico - morfologici

L'ubicazione dei profili topografici di crinali e scarpate sottoposti a verifica è riportata sulla carta di **Tavola n.1b**. Per ognuna di esse, nelle sottostanti **tabelle**, è riportato il valore massimo del fattore di amplificazione (**F.a. calcolato**) ed il relativo confronto con il valore di soglia (**St**) fornito dalla normativa nazionale (verificato o non verificato).

Le verifiche sono state aggiornate in quanto, essendo cambiata la base topografica, è stato necessario riposizionare le tracce e ricostruire nuovi profili.

Risultati verifiche lungo i profili topografici di crinali							
profilo	tipologia criteri di riconoscimento			F.a. calcolato	area influenza sommità cresta (m)	St di norma NTC 2018	risultato confronto F.a.+0,1 (vs) St
	assimm. versanti	inclin.ne versanti	forma				
V - 09	cresta	cresta	cresta arrotondata	1.29	20.5	1.2	non verificato
V - 10	cresta	cresta	cresta arrotondata	1.31	4.2	1.2	non verificato
V - 11	cresta	cresta	cresta arrotondata	1.29	25.0	1.2	non verificato
V - 12	cresta	cresta	cresta arrotondata	1.24	19.3	1.2	non verificato
V - 13	cresta	cresta	cresta appuntita	1.22	7.9	1.2	non verificato
V - 14	cresta	cresta	cresta appuntita	1.23	18.3	1.2	non verificato
V - 15	cresta	cresta	cresta arrotondata	1.09	3.6	1.2	verificato
V - 18	cresta	cresta	cresta arrotondata	1.05	7.0	1.0	non verificato
V - 19	non è una cresta	non è una cresta	N/D				N/D
V - 36	cresta	cresta	cresta arrotondata	1.17	26.2	1.2	non verificato
V - 37	cresta	cresta	cresta arrotondata	1.20	7.9	1.2	non verificato
V - 45	cresta	cresta	cresta arrotondata	1.05	31.0	1.2	verificato
V - 46	cresta	cresta	cresta arrotondata	1.05	10.0	1.2	verificato

Tabella n.9 Risultati verifiche morfologiche di secondo livello sui crinali.

Risultati verifiche lungo i profili topografici di scarpate						
profilo	tipologia criteri di riconoscimento		F.a. calcolato	area influenza rispetto al ciglio (m)	St di norma NTC 2018	risultato confronto F.a.+0,1 (vs) St
	*altezza scarpata	*inclin.ne scarpata				
V - 01	scarpata	scarpata	1.10	16	1.2	verificato
V - 02	scarpata	scarpata	1.10	18.5	1.2	verificato
V - 03	scarpata	scarpata	1.10	18	1.2	verificato
V - 04	scarpata	scarpata	1.10	19.5	1.2	verificato
V - 05	scarpata	scarpata	1.10	14	1.2	verificato
V - 06	scarpata	scarpata	1.10	17	1.2	verificato
V - 07	scarpata	scarpata	1.10	16	1.2	verificato
V - 08	scarpata	scarpata	1.20	17.63	1.2	non verificato
V - 16	scarpata	scarpata	1.10	12.5	1.2	verificato
V - 17	scarpata	scarpata	1.10	16	1.2	verificato
V - 20	scarpata	scarpata	1.10	14.5	1.2	verificato
V - 21	scarpata	scarpata	1.10	17	1.2	verificato
V - 22	scarpata	scarpata	1.10	18	1.2	verificato
V - 23	scarpata	scarpata	1.10	19	1.2	verificato
V - 24	scarpata	scarpata	1.10	17.2	1.2	verificato
V - 25	scarpata	scarpata	1.10	13	1.2	verificato
V - 26	scarpata	scarpata	1.10	14.5	1.2	verificato
V - 27	scarpata	scarpata	1.10	12	1.2	verificato
V - 28	scarpata	scarpata	1.10	12.5	1.2	verificato
V - 29	non è una scarpata	scarpata	N/D	N/D	1.2	N/D
V - 30	non è una scarpata	scarpata	N/D	N/D	1.2	N/D
V - 31	scarpata	scarpata	1.10	14.5	1.2	verificato
V - 32	scarpata	scarpata	1.10	14.5	1.2	verificato
V - 33	scarpata	scarpata	1.10	14	1.2	verificato
V - 34	scarpata	scarpata	1.10	14	1.2	verificato
V - 35	scarpata	scarpata	1.10	21.38	1.2	verificato
V - 38	scarpata	scarpata	1.10	12	1.2	verificato
V - 39	scarpata	scarpata	1.10	14	1.2	verificato
V - 40	scarpata	scarpata	1.10	19	1.2	verificato
V - 41	scarpata	scarpata	1.10	12.5	1.2	verificato
V - 42	scarpata	scarpata	1.10	17	1.2	verificato
V - 43	scarpata	scarpata	1.10	20	1.2	verificato
V - 44	scarpata	scarpata	1.10	12.5	1.2	verificato
V - 47	scarpata	scarpata	1.20	15.75	1.2	non verificato
V - 48	non è una scarpata	scarpata	N/D	N/D	1.2	N/D
V - 49	scarpata	scarpata	1.10	10.5	1.2	verificato
V - 50	scarpata	scarpata	1.10	10.7	1.2	verificato
V - 51	scarpata	scarpata	1.10	10.5	1.2	verificato
V - 52	scarpata	scarpata	1.10	11	1.2	verificato
V - 53	scarpata	scarpata	1.10	11.2	1.2	verificato
V - 54	scarpata	scarpata	1.10	11.2	1.2	verificato
V - 55	scarpata	scarpata	1.10	11.2	1.2	verificato
V - 56	scarpata	scarpata	1.10	10	1.2	verificato
V - 57	scarpata	scarpata	1.10	10	1.2	verificato
V - 58	non è una scarpata	scarpata	N/D	N/D	1.2	N/D
V - 59	non è una scarpata	scarpata	N/D	N/D	2.2	N/D
V - 60	scarpata	scarpata	1.10	12.5	1.2	verificato
V - 61	scarpata	scarpata	1.10	15.5	1.2	verificato
V - 62	scarpata	scarpata	1.10	12	1.2	verificato

Tabella n.10 Risultati verifiche morfologiche di secondo livello sulle scarpate.

Di conseguenza, in merito alla valutazione del grado di protezione offerta dall'applicazione della normativa, effettuato esclusivamente per gli edifici fino a 5 piani (0,1-0,5 sec), si può constatare che:

- nella totalità dei casi esaminati di crinali/creste il valore di F.a. ottenuto è superiore al valore di soglia "St" per la situazione morfologica individuata. Pertanto l'assunzione dei parametri di normativa non offre un sufficiente grado di protezione nei confronti dei reali effetti di amplificazione morfologica locale. In corrispondenza di tali zone pertanto sarà necessario, come indicato dalla normativa regionale, effettuare approfondimenti mediante verifiche di 3° livello in fase progettuale;
- nella quasi totalità delle scarpate esaminate, il valore di F.a. ottenuto è inferiore al valore di soglia "St" per la situazione morfologica individuata, in questi casi l'assunzione dei parametri di normativa offre un sufficiente grado di protezione nei confronti dei reali effetti di amplificazione morfologica locale sino a qui evidenziati.  
Per le sezioni n. **V08** e **V47** invece, il valore del fattore di amplificazione uguaglia quello di normativa, pertanto in corrispondenza di tali zone sarà necessario, come indicato dalla normativa regionale, effettuare approfondimenti mediante verifiche di 3° livello in fase progettuale.

Per i crinali/creste, il valore del F.a. determinato è da considerarsi costante per tutta la sua sommità, mentre si riduce linearmente a partire da quest'ultima sino a raggiungere il valore unitario (dove non c'è amplificazione) in corrispondenza del piede del rilievo.

Nel caso delle scarpate, l'area soggetta all'influenza ( $A_i$ ) dell'amplificazione sismica, si estende anche a monte del ciglio e, nei casi più frequenti, tale area risulta di ampiezza pari rispettivamente: all'altezza "H" della scarpata ( $A_i = H$ ) o a **3/4** dell'altezza ( $A_i = 3/4H$ ).

Il valore di Fa determinato è massimo e viene assegnato in corrispondenza del ciglio del fronte, mentre all'interno dell'area d'influenza ( $A_i$ ), il valore di F.a. diminuisce progressivamente, in modo lineare, con il crescere della distanza dal ciglio fino al raggiungimento del valore unitario in

corrispondenza del limite esterno dell'area d'influenza. Lo stesso avviene scendendo dal ciglio verso il piede della scarpata, dove il valore di F.a. risulta unitario.

### 3.3.2.2. Verifica di secondo livello - effetti litologici

Per poter procedere alla verifica di secondo livello, relativamente agli aspetti legati alla litologia, in relazione a quanto indicato nella procedura regionale di tipo semplificato, si è proceduto:

- ad acquisire le informazioni disponibili di carattere stratigrafico, quali stratigrafie di sondaggi e pozzi della zona, indagini sismiche;
- ad acquisire i risultati delle indagini geognostiche effettuate in zona;
- a recuperare le analisi di laboratorio effettuate su campioni di terreno prelevati in zona;
- ad effettuare indagini sismiche di tipo indiretto sia di tipo attivo (MASW) che di tipo passivo (Microtremori) ubicate, in accordo con l'ufficio tecnico comunale in corrispondenza di aree edificate e/o di possibile futura espansione urbanistica.

In corrispondenza del territorio comunale di Sotto il Monte Giovanni XXIII sono disponibili indagini sismiche di tipo MASW-REMI in corrispondenza di un paio di siti indagati dal sottoscritto.

I dati acquisiti hanno consentito di completare le informazioni richieste dalle schede degli effetti litologici e di poter affermare che i terreni oggetto di verifica e presenti nel territorio comunale di Sotto il Monte Giovanni XXIII, al di sopra del cosiddetto bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/s), sono inquadrabili dal punto di vista del comportamento sismico generale come terreni coerenti fini (limoso argillosi) per i primi 5-15 metri e terreni granulari a supporto granulare o di matrice per profondità superiori, sino al substrato roccioso di base.

Correlando le informazioni stratigrafiche-geofisiche acquisite è stato possibile ricostruire modelli semplificati del sottosuolo, rappresentativi della sequenza stratigrafica presente in corrispondenza dei siti d'indagine.

Nell'impossibilità di effettuare specifiche indagini geognostiche, sono stati utilizzati dati stratigrafici derivanti da pozzi o da sondaggi.

Ad ogni modello stratigrafico interpretativo, è stato associato, in relazione ai dati a disposizione e ai risultati ottenuti con le indagini sismiche, un modello geofisico (litologia/velocità onde di taglio/profondità) di cui gli elementi salienti sono riportati nell'**Allegato n.1**.

Di seguito sono riportati i modelli sito specifici ricostruiti per le 4 aree campione. In tutti i profili di Vs/z è stata accertata la presenza di inversioni di velocità poste a diverse profondità.

**Sito A (zona cimitero comunale)**

successione stratigrafica da profilo Vs			
unità n.	profondità (m)	litologia unità	velocità onde di taglio (m/s)
1	0-3	limi argillosi	250-300
2	0-10/12	altern. limi argillosi con limi sabbioso ghiaiosi	300-400
3	10/12-23	ghiaie e sabbie limose poco alterate	400-550
4	23-27	argilla, argille e limi ghiiose compatte	450-500
5	27-40	ghiaie e sabbie	550-600
6	40-46	bedrock fratturato/alterato	650-750
7	>45-50	<b>Bedrock</b>	>800

**Sito B (zona ex-Filanda Catolari)**

successione stratigrafica da profilo Vs			
unità n.	profondità (m)	litologia unità	velocità onde di taglio (m/s)
1	0-10	limi argillosi	300-350
2	10-18/20	sabbie e ghiaie limose addensate	450-600
3	18/20-30	argille, argille con ghiaie alterate	350-380
4	30-42/44	bedrock fratturato/alterato o ghiaie sabbie addensate	500-750
5	>44	<b>Bedrock</b>	>800

**Sito C (loc. frazione Botta)**

successione stratigrafica da profilo Vs			
unità n.	profondità (m)	litologia unità	velocità onde di taglio (m/s)
1	0-4/5	limi sabbiosi argillosi con interc. più grossolane	300-350
2	4/5-12	sabbie e ghiaie con limo addensate	400-600
3	12-18	limi sabbioso argillosi	200-300
4	18-23	bedrock fratturato/alterato o ghiaie sabbie addensate	400-750
5	>23	<b>Bedrock</b>	>800

**Sito D (via Le Brughiere)**

successione stratigrafica da profilo Vs			
unità n.	profondità (m)	litologia unità	velocità onde di taglio (m/s)
1	0-9/12	limi argillosi poco coerenti	280-320
2	9/12-15/16	altern. limi argillosi coerenti con livelli grossolani sabbioso ghiaiosi	300-340
3	15/16-26/28	sabbie e ghiaie con limo	400-550
4	26/28-38/40	sabbie limose con ghiaie alterate	400-490
5	38/40-62	argilla e/o argille e limi con ghiaie alterate	340-420
6	>62	bedrock fratturato/alterato	>400
7	> 80-85?	<b>Bedrock</b>	>800

Tabelle n.11, 12, 13 e 14 Interpretazioni litostratigrafiche semplificate per la ricostruzione del **modello geofisico sito specifico** di riferimento nei siti d'indagine.

**Comune di Sotto il Monte Giovanni XXIII (Bergamo)**

Adeguamento della componente geologica della pianificazione territoriale ai sensi della D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011 e della D.G.R. X/6738 del 19 giugno 2017

Per ogni sito è stato calcolato il valore del **periodo fondamentale di risonanza** del terreno (**To**) partendo dal valore di velocità delle onde di taglio e di spessore di ciascun strato individuato dal modello geofisico ricostruito (vedi formula [2] riportata nell'**allegato 2**).

Punto di verifica	Periodo fondamentale (To)	Categoria di Sottosuolo (NTC 2018)
<b>Sito A (zona cimitero)</b>	<b>0,382 sec</b>	<b>Categ. B (Vs<sub>30</sub>=401,6 m/s)</b>
<b>Sito B (Catolari)</b>	<b>0,414 sec</b>	<b>Categ. C (Vs<sub>30</sub>=344,9 m/s)</b>
<b>Zona C (scuola fraz. Botta)</b>	<b>0,245 sec</b>	<b>Categ. E (Vs<sub>eq</sub>=354,7m/s)</b>
<b>Zona D (via le Brughiere)</b>	<b>0,762 sec</b>	<b>Categ. B/C (Vs<sub>30</sub>=374,2 m/s)</b>

Tabella n.15 Stima del valore del periodo di vibrazione fondamentale dei terreni studiati e Categoria di Sottosuolo secondo le NTC 2018 da sottoporre a verifica regionale

In relazione ai dati bibliografici resisi disponibili (soprattutto in funzione delle caratteristiche stratigrafiche, delle caratteristiche granulometriche e delle proprietà indice dei terreni presenti), al valore di velocità delle onde di taglio e di spessore del primo strato significativo a partire dalla superficie, è stato possibile valutare il valore di F.a. che caratterizza tali sequenze.

I valori di F.a. così ottenuti e riportati nella tabella sottostante, sono stati confrontati con il valore di **soglia regionale per la categoria di sottosuolo determinata sperimentalmente**:

Punto di verifica	0,1-0,5 sec		0,5-1,5 sec	
	Fa abaco	Soglia	Fa abaco	Soglia
Sito A (sch. limo sabbiosa tipo 2)	<b>1,82+0,1</b>	1,4	<b>1,37+0,1</b>	1,7
Sito B (sch. limo sabbiosa tipo 2)	<b>1,48+0,1</b>	1,9	<b>1,4+0,1</b>	2,4
Sito C (sch. limo sabbiosa tipo 2)	<b>1,69+0,1</b>	2,0	<b>1,21+0,1</b>	3,1
Sito D (sch. sabbiosa)	<b>1,07+0,1</b>	1,4	<b>1,92+0,1</b>	1,7

Tabella n. 16 Confronto tra i valori di Soglia, riferiti alla categoria di sottosuolo di appartenenza (Regione Lombardia - tabella n.2) e i valori del F.a. ottenuti attraverso l'uso delle schede effetti litologici.

La tabella sopra consente, attraverso la verifica della condizione **Fa+0,1<S** come illustrato nel paragrafo precedente, di valutare il grado di protezione offerto dall'applicazione dei parametri stabiliti dalla normativa nazionale per la categoria di sottosuolo di appartenenza.

Nella tabella sotto invece, nella due colonne di sinistra di ognuno dei due intervalli di periodo di vibrazione (0,1-0,5 secondi e 0,5-1,5 secondi) è visibile l'attribuzione provvisoria della Categoria di Sottosuolo in relazione ai risultati delle indagini geofisiche, mentre nelle due colonne di destra è riportata l'attribuzione definitiva della Categoria di Sottosuolo in relazione ad eventuale supero o meno del valore del fattore di amplificazione rispetto al valore di soglia, così come spiegato al capitolo 3.3.1.2..

Punto di verifica	0,1 - 0,5 sec		0,5 - 1,5 sec	
	Cat. Sottosuolo da NTC 2018	Cat. Sottosuolo verifica 2° livello	Cat. Sottosuolo da NTC 2018	Cat. Sottosuolo verifica 2° livello
Sito A (sch. limo sabbiosa tipo 2)	<b>Cat. B</b>	<b>Cat. C</b>	<b>Cat. B</b>	<b>Cat. B</b>
Sito B (sch. limo sabbiosa tipo 2)	<b>Cat. C</b>	<b>Cat. C</b>	<b>Cat. C</b>	<b>Cat. C</b>
Sito C (sch. limo sabbiosa tipo 2)	<b>Cat. E</b>	<b>Cat. E</b>	<b>Cat. E</b>	<b>Cat. E</b>
Sito D (sch. sabbiosa)	<b>Cat. B/C</b>	<b>Cat. B/C</b>	<b>Cat. B</b>	<b>Cat. C</b>

Tabella n. 17 Attribuzione della Categoria di Sottosuolo definitiva a seguito della **verifica** mediante confronto con il valore di soglia regionale (in rosso le categorie da adeguare al valore del F.a. ottenuto dalla verifica di secondo livello, in arancio le attribuzioni al limite).

Le aree oggetto di verifica di secondo livello sono state delimitate sulla Carta della Classe di Pericolosità Sismica Locale (tavola n.1b).

#### 4. CONTENUTI DELLA STUDIO IDRAULICO DI DETTAGLIO

Secondo quanto prescritto dall'Art.14 del Regolamento Regionale n.7 del 23.11.2017 e s.m.i. il Comune di Sotto il Monte Giovanni XIII ha affidato all'Ing. Adriano Murachelli l'incarico di redigere lo "**Studio comunale di gestione del rischio idraulico**" (novembre 2021).

Lo studio di dettaglio è stato allegato alla presente aggiornamento della componente geologica per poter dare un quadro complessivo dei contenuti e delle valutazioni effettuate.

Sono state prodotte le perimetrazioni delle aree potenzialmente esondabili sia secondo quanto previsto dalla D.G.R. X/6738 del 19/06/2017 riferendosi allo scenario Reticolo Secondario Collinare Montano (Capitolo 3.2. Disposizioni relative al Reticolo secondario collinare e montano (RSCM)).

Sulla base dei risultati delle analisi idrologiche, idrauliche e dei modelli di simulazione 2D dello studio suindicato, si è proceduto a recepire ed aggiornare le perimetrazioni delle aree a diverso grado di pericolosità idraulica **P3/H** (alluvioni frequenti), **P2/M** (alluvioni poco frequenti) e **P1/L** (alluvioni rare) del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.).

Lo studio ha effettuato anche le valutazioni di pericolosità e di rischio secondo quanto stabilito dall'Allegato 4 "Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da esondazione" della D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011.

Per i soli areali edificati, sulla base dei criteri definiti dalla D.G.R. sopracitata, sono state stabilite le diverse condizioni di pericolosità (**da H1 ad H4**) e di rischio idraulico (**da R1 a R4**), secondo quanto stabilito dall'**Allegato 4 "PROCEDURE PER LA VALUTAZIONE E LA ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO DA ESONDAZIONE"** della sopracitata DGR.

Tali procedure forniscono un "metodo di valutazione della compatibilità idraulica delle previsioni degli strumenti urbanistici e territoriali o più in generale delle proposte di uso del suolo, ricadenti in aree che risultino soggette a possibile esondazione".

La ripermetrazione delle aree potenzialmente allagabili ha comportato l'aggiornamento delle seguenti cartografie: la Carta dei Vincoli (tavola n.2); la Carta di Sintesi (tavola n.3); la Carta PAI-PGRA (tavola n.5) e i limiti di tali aree sono stati utilizzati per la classificazione della Fattibilità per le Azioni di Piano (tavola n.4).

La modellazione idraulica 2D effettuata per lo "Studio comunale di gestione del rischio idraulico" ha consentito di valutare i tiranti idrici e la velocità della corrente anche al di fuori dell'alveo dei torrenti. Di seguito si allegano i due estratti del documento.

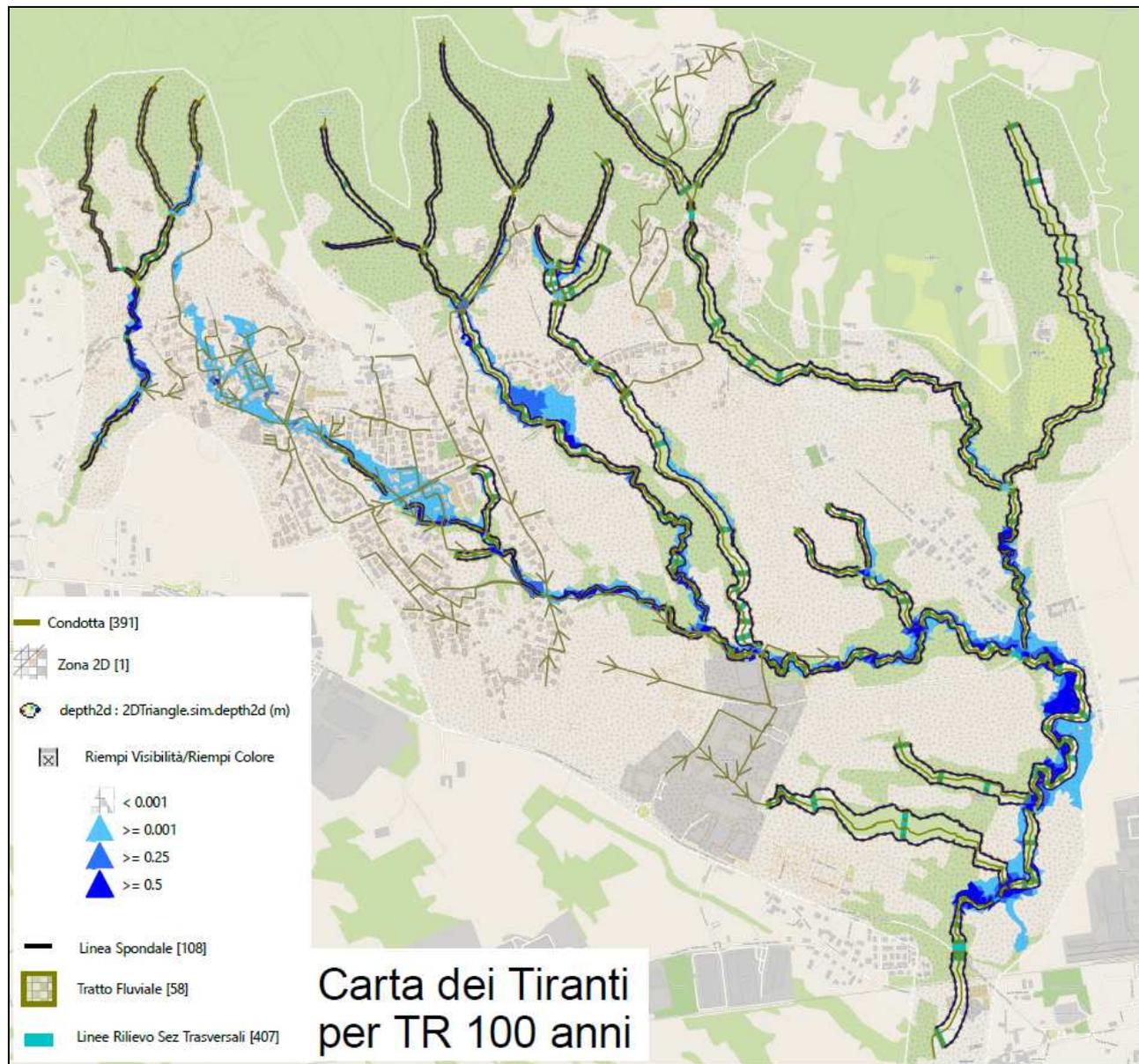


Figura n.11. Valutazione dei tiranti idrici (estratto elaborato B6 dallo studio idraulico di dettaglio).

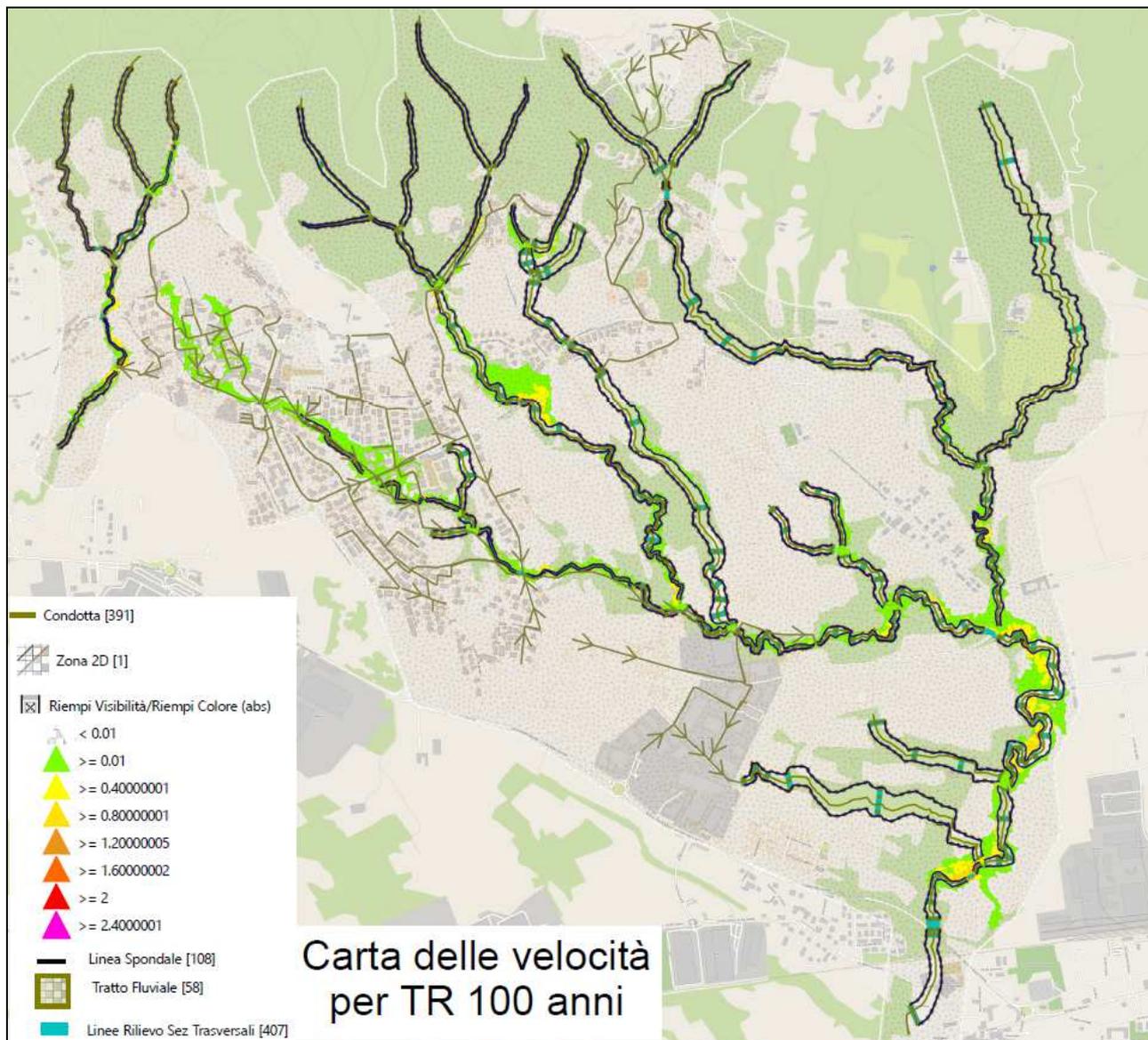


Figura n.12. Valutazione della velocità della corrente idrica (estratto elaborato B6 dallo studio idraulico di dettaglio).

Per la zonazione della pericolosità è stato utilizzato il grafico riportato al **Capitolo 3.4. Zonazione della pericolosità (H)** della D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011, per le aree allagabili con  $Tr=100$  anni, in relazione alla velocità della corrente di esondazione ( $V$ ) e del battente dell'acqua di esondazione ( $H$ ). I risultati sono stati riportati sul riquadro di sinistra della Tavola n.3 Carta di Sintesi.

Per la zonazione del rischio è stato utilizzata la matrice riportata al **Capitolo 3.5. Zonazione del rischio** della D.G.R. 2616 del 30/11/2011. Nella situazione di "**Centro Edificato**" ci si trova nella condizione più grave classificata **D4 o E4** per il possibile **danno potenziale** conseguente al fenomeno.

## 5. CARTA PAI - PGRA

Secondo quanto richiesto dalla normativa del Piano di Gestione del Rischio Alluvione è stata prodotta la carta PAI – PGRA sulla **base topografica aggiornata (2014)** per la legenda si è fatto riferimento all'Allegato **5** della d.g.r. 6738 del 19/06/2017 (**Tavola n.5**, scala 1:5000).

La carta PAI-PGRA è finalizzata all'aggiornamento dell'**Elaborato n.2** del Piano "Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici - Inventario dei centri abitati montani esposti a pericolo nonché dell'**Allegato 4.1** all'**Elaborato 2** "Perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato" tramite la procedura di cui all'art.18 delle N.d.A. del PAI, questo, una volta che il presente studio sia stato recepito negli strumenti urbanistici comunali (PGT) con le modalità previste dalla L.R. 12/2005.

Per il comune di Sotto il Monte Giovanni XXIII il Piano Gestione Rischio Alluvioni (P.G.R.A., D.G.R. X/6738 del 19 giugno 2017.) ha individuato le aree potenzialmente allagabili con diverso grado di pericolosità (**P3/H, P2/M e P1/L**) per lo scenario del **R**eticolo **S**econdario **C**ollinare e **M**ontano; esse ricalcando nel complesso le aree potenzialmente allagabili **Ee, Eb** ed **Em** definite precedentemente dal sottoscritto con criteri esclusivamente geomorfologici e riportate sull'aggiornamento della componente geologica del febbraio 2010.

Alla stato attuale viene proposto un **aggiornamento della perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili del territorio comunale che deriva dai risultati dello Studio comunale di gestione del rischio idraulico"** dell'Ing. Adriano Murachelli (novembre 2021).

Secondo quanto indicato dal Capitolo 3.2.3 "Procedure di adeguamento degli strumenti urbanistici comunali" e dal Capitolo 3.2.4 "Modifiche alle aree" le nuove aree potenzialmente allagabili sono

soggette alla seguente **normativa del P.G.R.A** (Capitolo 3.2.2 Normativa):

- le aree allagabili indicate dal P.G.R.A. risultano assoggettate alle limitazioni e prescrizioni stabilite dall'**Articolo 9 della normativa PAI, e più precisamente** :
  - o nelle aree interessate da **alluvioni frequenti (aree P3/H)**, **vigono le limitazioni e prescrizioni stabilite dall'art 9, comma 5** per le aree **Ee** (pericolosità molto elevata);
  - o nelle aree interessate da **alluvioni poco frequenti (aree P2/M)**, **vigono le limitazioni e prescrizioni stabilite dall'art 9, commi 5 e 6** per le aree **Eb** (pericolosità elevata);
  - o nelle aree interessate da **alluvioni rare (aree P1/L)**, **valgono le limitazioni e prescrizioni stabilite dall'art 9, comma 6bis** per le aree **Em** (pericolosità moderata).

Oltre alle aree potenzialmente allagabili sono state riportate:

- i perimetri delle aree ad elevata pericolosità idraulica (**P3/H**), situate all'interno del centro edificato, e interessate da valutazioni di dettaglio della pericolosità a scala locale ai sensi dell'Allegato 4 della D.G.R. IX/2616/2011;
- per le **conoidi sospese e inattive (Cn)**. Si tratta di conoidi non recentemente riattivatesi ed abbandonate dall'attuale reticolo idrico. La perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili derivanti dallo Studio Comunale di Gestione del Rischio Idraulico **ha consentito lo stralcio delle precedenti aree pot. allagabili perimetrare esclusivamente su base geomorfologica**;
- le diverse aree soggette in passato sia a **frane** che a **potenziali fenomeni di distacco da cigli di scarpata** sia attivi (**Fa**) che quiescenti (**Fq**), oltre alla **paleofrana** di Carlo Comodo classificata come (**Fs**) in quanto stabilizzata. Tali aree sono soggette alla normativa PAI e più precisamente all'**Articolo 9: commi 2 (Fa), comma 3 (Fq), comma 4 (Fs)**.

Bergamo, prima stesura 22/09/2009  
Revisione: 24/02/2010  
Aggiornamento: **novembre 2021**

Pedrali Carlo  
Ordine Geologi Lombardia n.860



## **Allegato n. 1**

### **Indagini geofisiche**

## 1. Cenni introduttivi

In accordo con l'Ufficio Tecnico comunale sono stati individuati in corrispondenza del territorio comunale i siti ove effettuare indagini geofisiche di tipo indiretto. Lo scopo delle indagini è quello di poter effettuare **verifiche di 2° livello** secondo quanto previsto dalla normativa regionale.

La normativa richiede la conoscenza dell'andamento del valore della velocità delle onde di taglio nel sottosuolo ( $V_s$ ) sino al raggiungimento, per quanto possibile, del bedrock sismico (terreni/rocce con  $V_s \geq 800$  m/s).

L'ubicazione dei siti d'indagine è stata condizionata dall'attuale sviluppo dell'edificato e ha tenuto in considerazione le aree di prossima possibile espansione urbanistica.

I siti d'indagine sono stati localizzati e identificati sulla **carta di Pericolosità Sismica Locale (tavola 1)**.

Per ognuna delle aree investigate sono state effettuate indagini indirette **sia di tipo passivo** (metodo dei Microtremori) **che di tipo attivo** (metodo MASW- Multi Channel Analysis Surface Waves). I due metodi si basano sulla registrazione e l'analisi della propagazione delle onde di superficie (onde di Rayleigh) e l'analisi del fenomeno della dispersione delle stesse nei primi strati di terreno.

Il metodo dei Microtremori sfrutta il rumore "naturale" di fondo registrabile da una catena di geofoni, viceversa, il metodo MASW registra le vibrazioni indotte artificialmente da una sorgente "attiva" rappresentata da una massa battente o da un cannone in corrispondenza delle estremità della catena di geofoni verticali.

I due metodi, grazie all'impiego di un software dedicato, vengono utilizzati congiuntamente incrementando così l'affidabilità del modello interpretativo finale del sottosuolo.

Le registrazioni in campo consentono di calcolare l'andamento delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza ( $V(\text{fase})/\text{frequenza}$ ) e quindi della profondità; successivamente, attraverso diverse fasi di elaborazione, si ricava l'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità a partire dalla superficie.

Il modello d'interpretazione si basa sul presupposto teorico ideale della presenza nel sottosuolo di strati orizzontali continui e sovrapposti di spessore costante.

Il risultato al quale si giunge è rappresentato dal profilo verticale del valore medio della velocità

delle onde di taglio in funzione della profondità; il profilo è localizzabile all'incirca nella zona centrale della linea sismica.

Il modello teorico che si può ottenere non è univoco, è quindi necessario confrontarlo e tararlo con le conoscenze geologiche del sito (ad esempio: sondaggi meccanici o prove penetrometriche, stratigrafie di pozzi, indagini a rifrazione) onde poter passare all'identificazione di un modello reale definitivo.

## **2. Modalità esecutive indagini e risultati**

La registrazione delle onde di superficie avviene l'impiego di una classica strumentazione per l'effettuazione di indagini sismiche a rifrazione; viene utilizzato preferibilmente un sismografo ad elevata dinamica, con geofoni a bassa frequenza (4,5 Hz).

Nella fattispecie per le misure è stato utilizzato un sismografo GEODE a 24 bits e 24 canali.

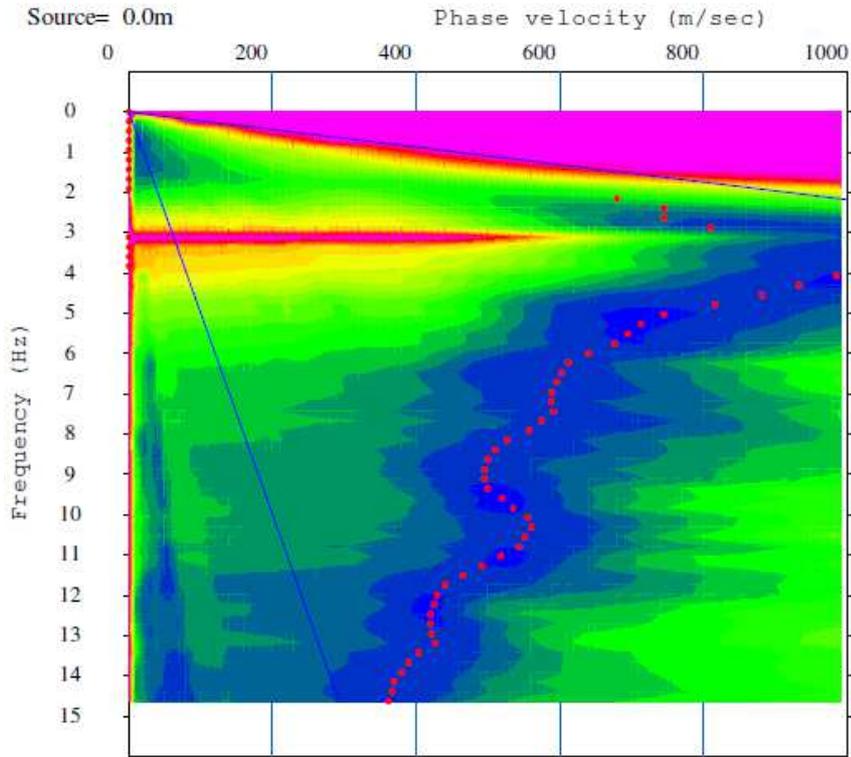
Per quanto concerne la configurazione geometrica delle linee sismiche, per ognuna di esse sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 5 metri (sito A, B, D) e 2,5 metri (Sito C).

Per quanto riguarda il metodo dei Microtremori, per ogni stendimento, sono state effettuate almeno 20 registrazioni di 30 secondi, mentre per il metodo MASW sono state effettuate 3-4 registrazioni per ognuno dei punti di scoppio situati esternamente alla linea sismica. ad una distanza di  $\pm 5-10$  metri dalle due estremità della catena

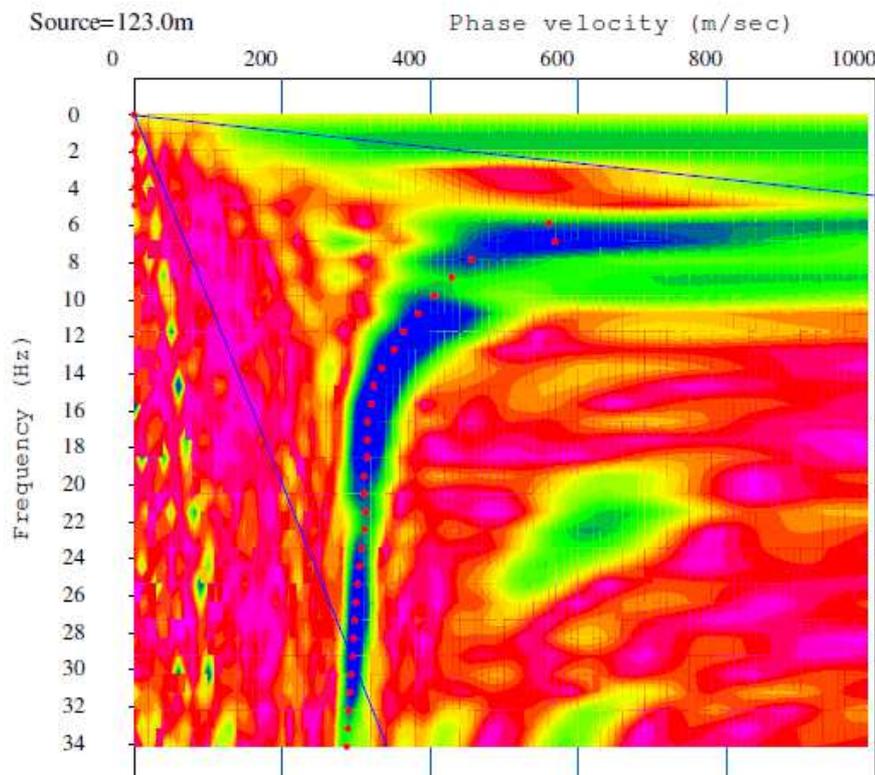
I dati acquisiti in campagna sono stati quindi elaborati con un software dedicato che ha reso possibile la ricostruzione, per ogni sito, di un profilo di Vs/profondità sufficientemente attendibile.

Di seguito vengono illustrati i risultati sperimentali relativi ai siti d'indagine che hanno consentito di condurre le verifiche di 2° livello descritte in relazione.

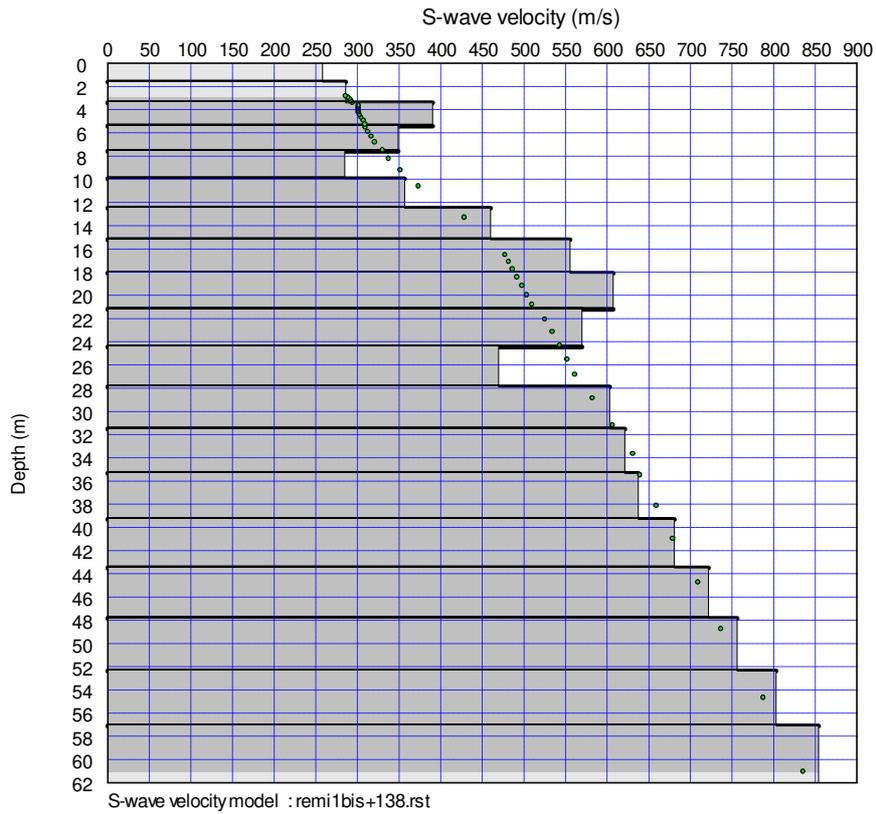
**SITO A (zona cimitero)**



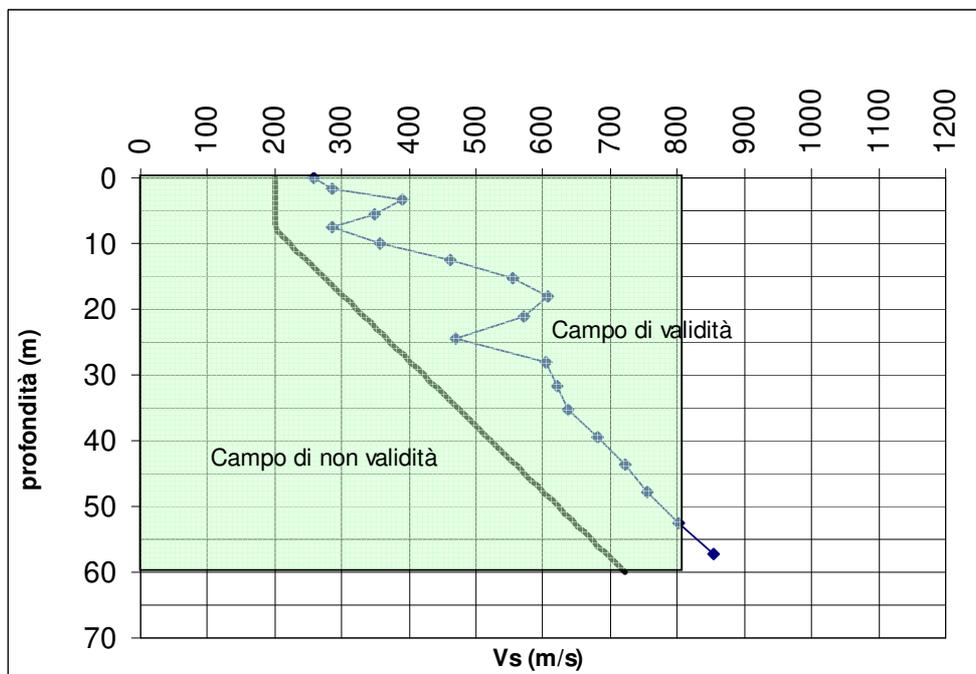
Curva di dispersione REMI

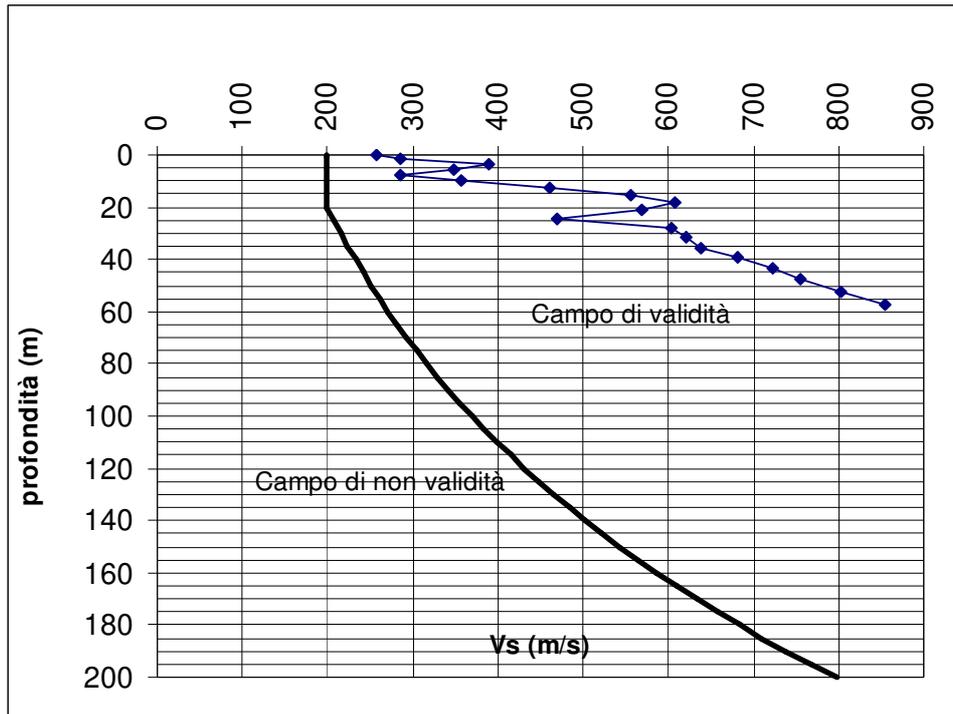


Curva di dispersione MASW

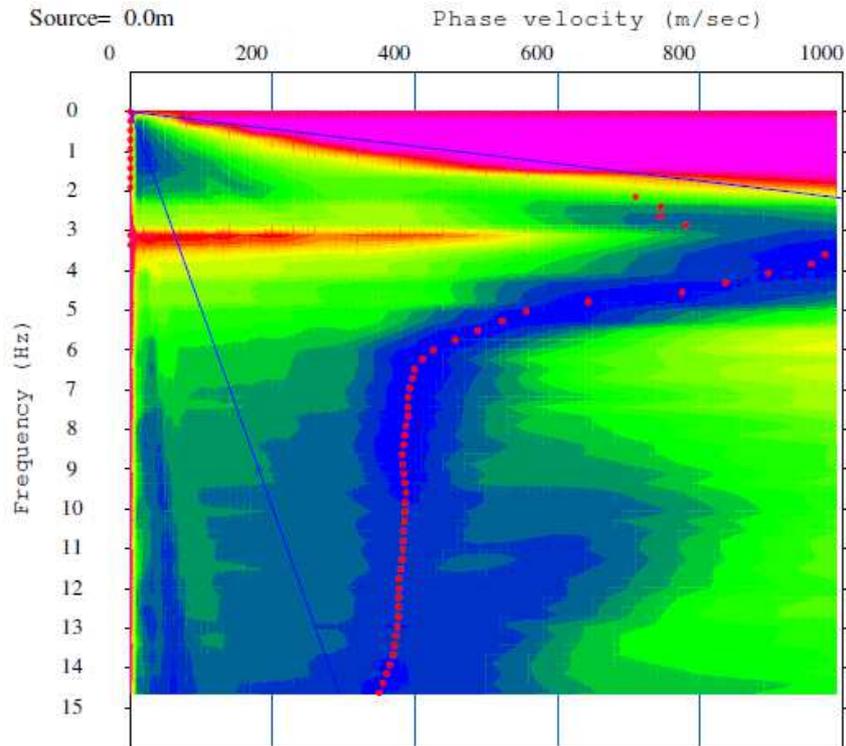


Profilo interpretativo

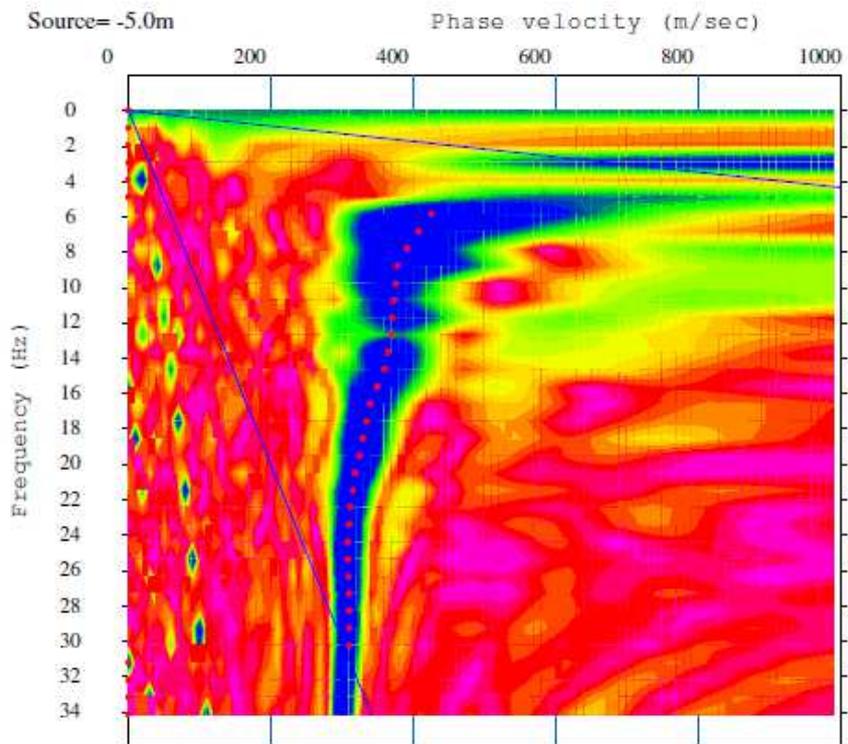




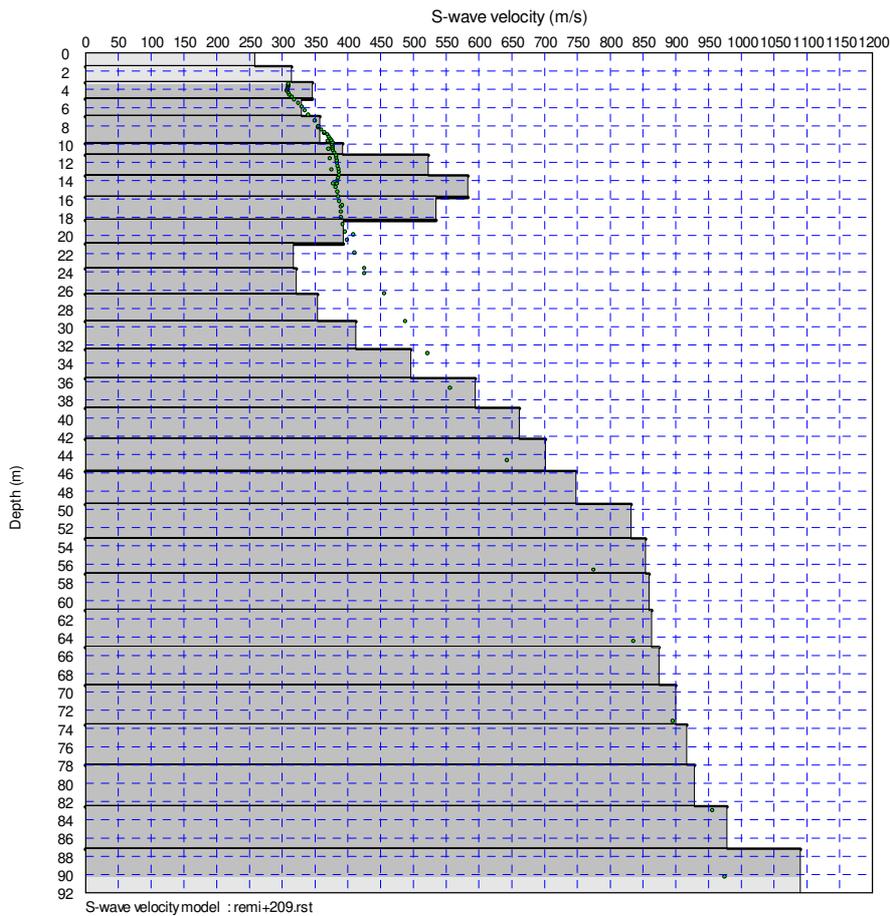
**SITO B (ex- Filanda – loc. Catolari)**



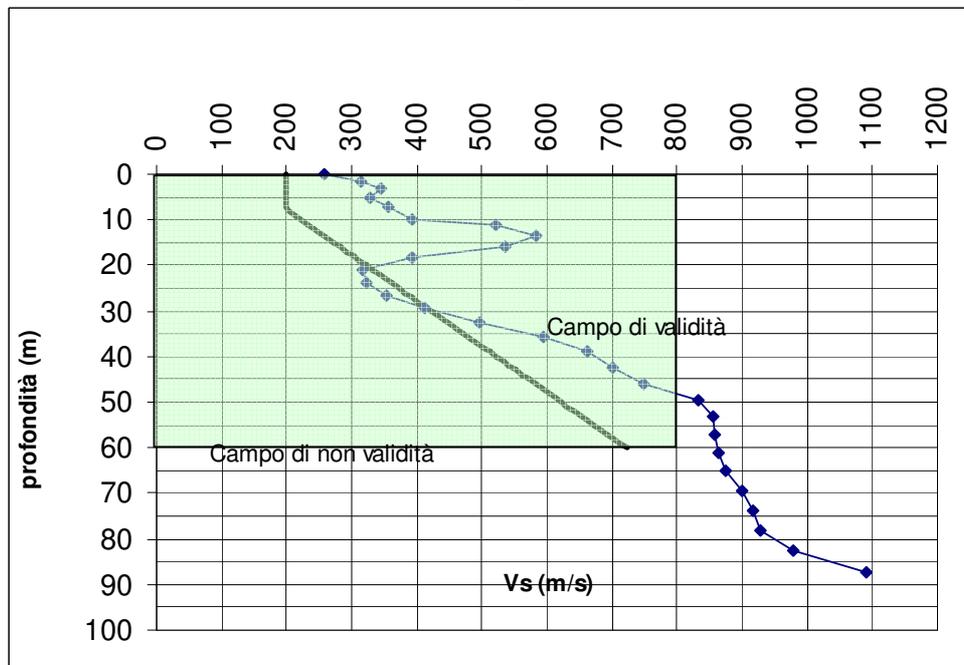
Curva di dispersione REMI



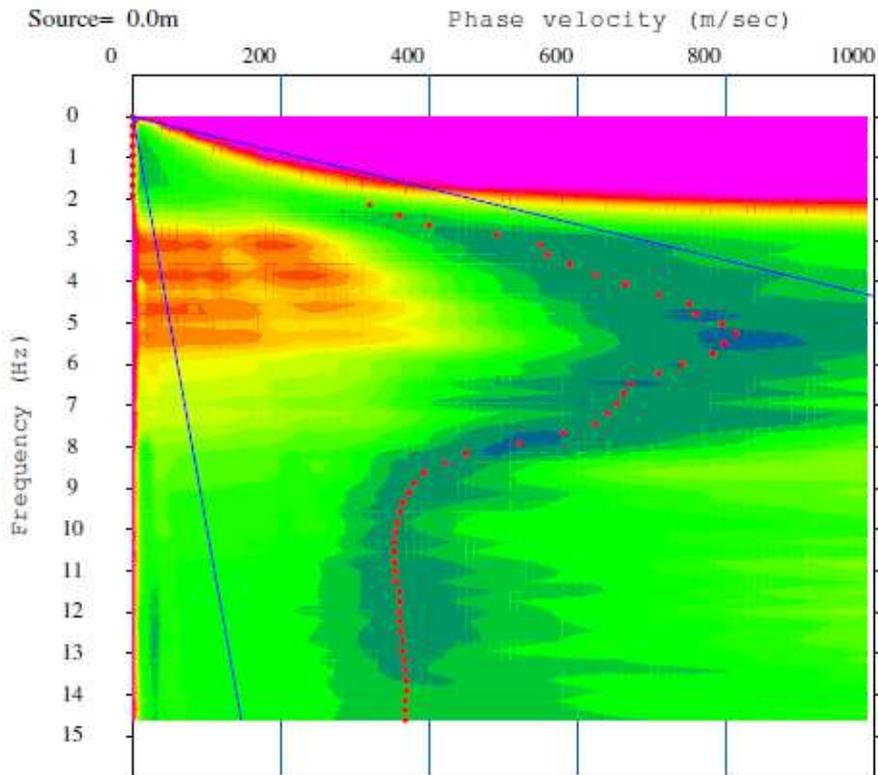
Curva di dispersione MASW



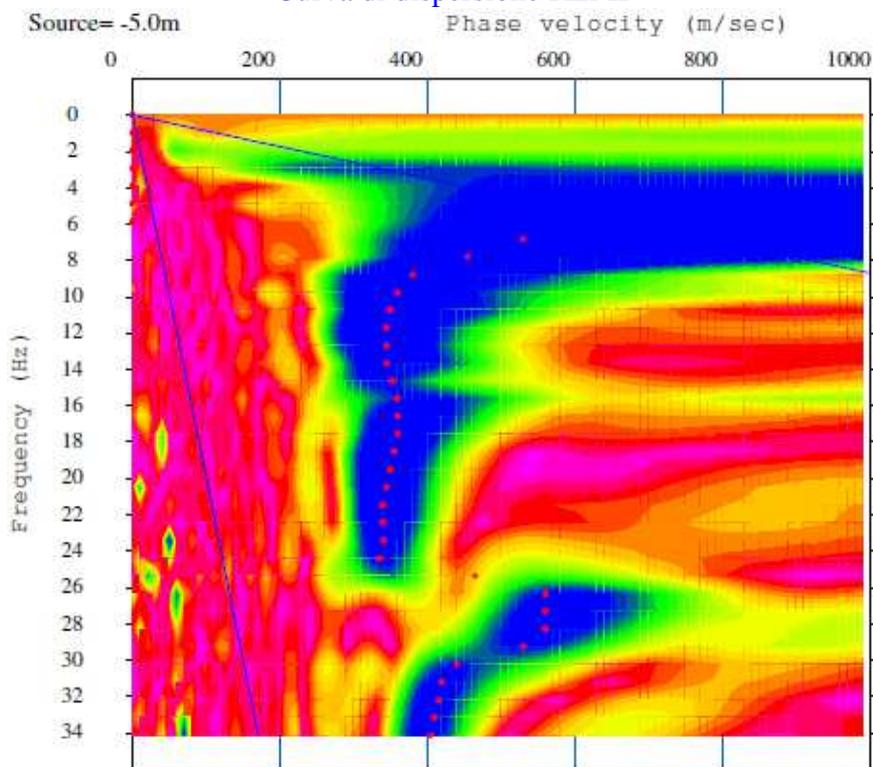
Profilo interpretativo



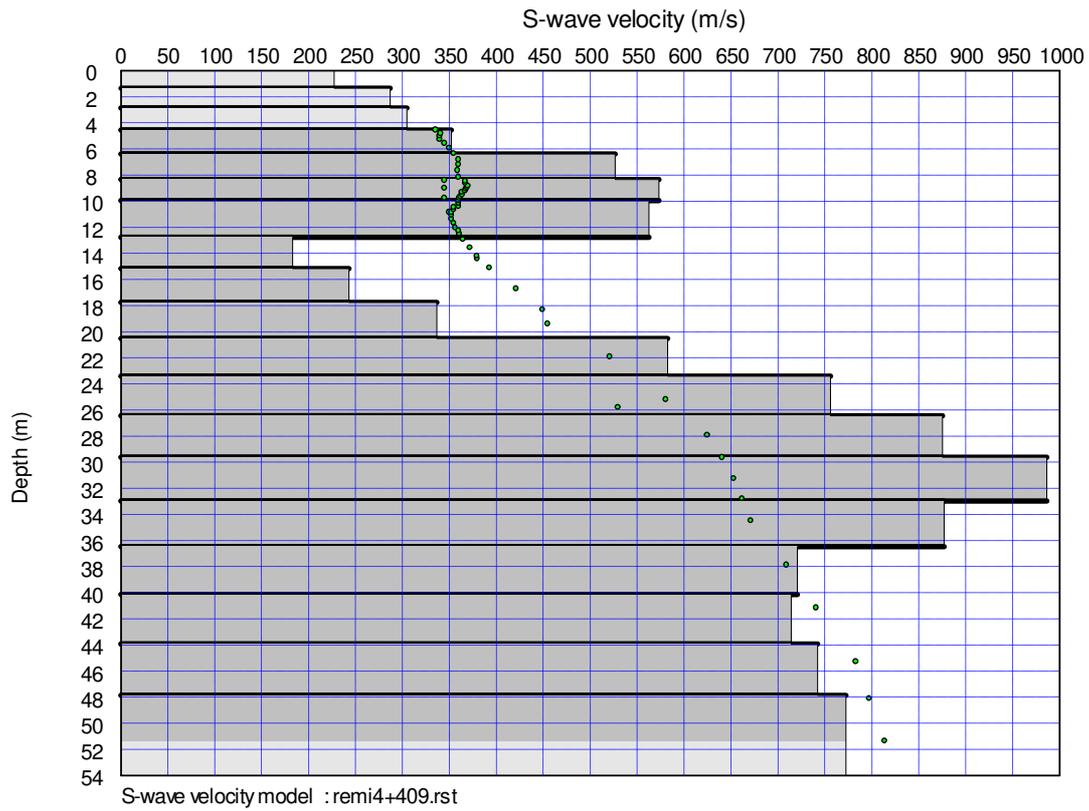
**SITO C (frazione Botta – scuola infanzia)**



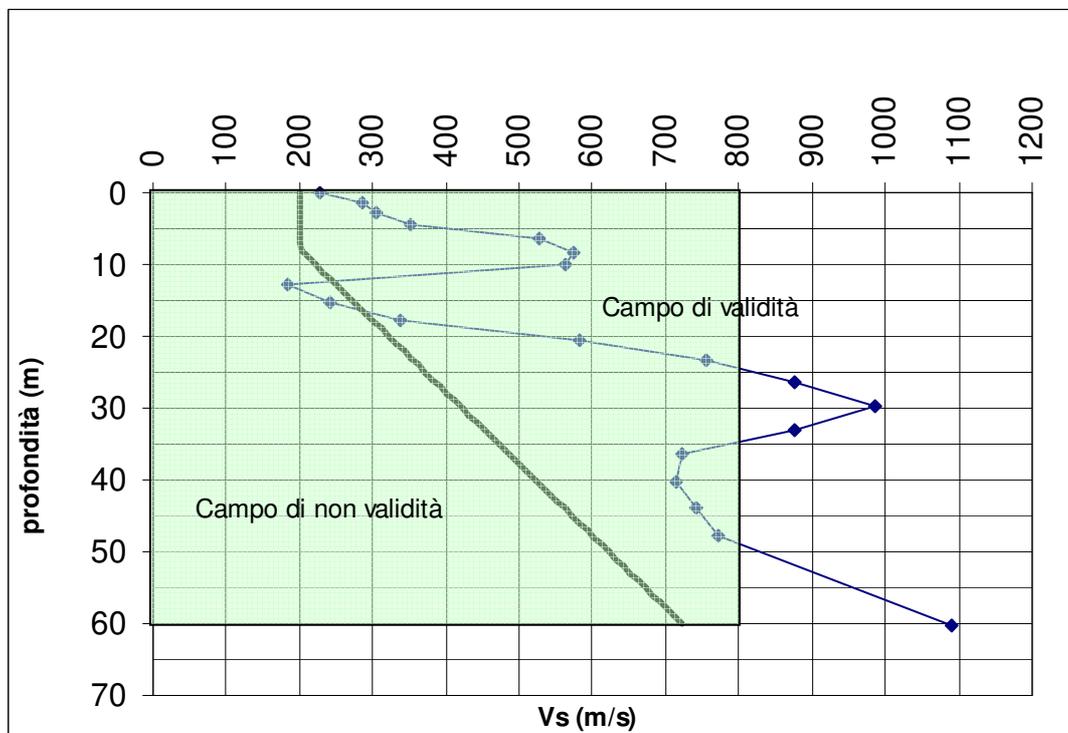
Curva di dispersione REMI



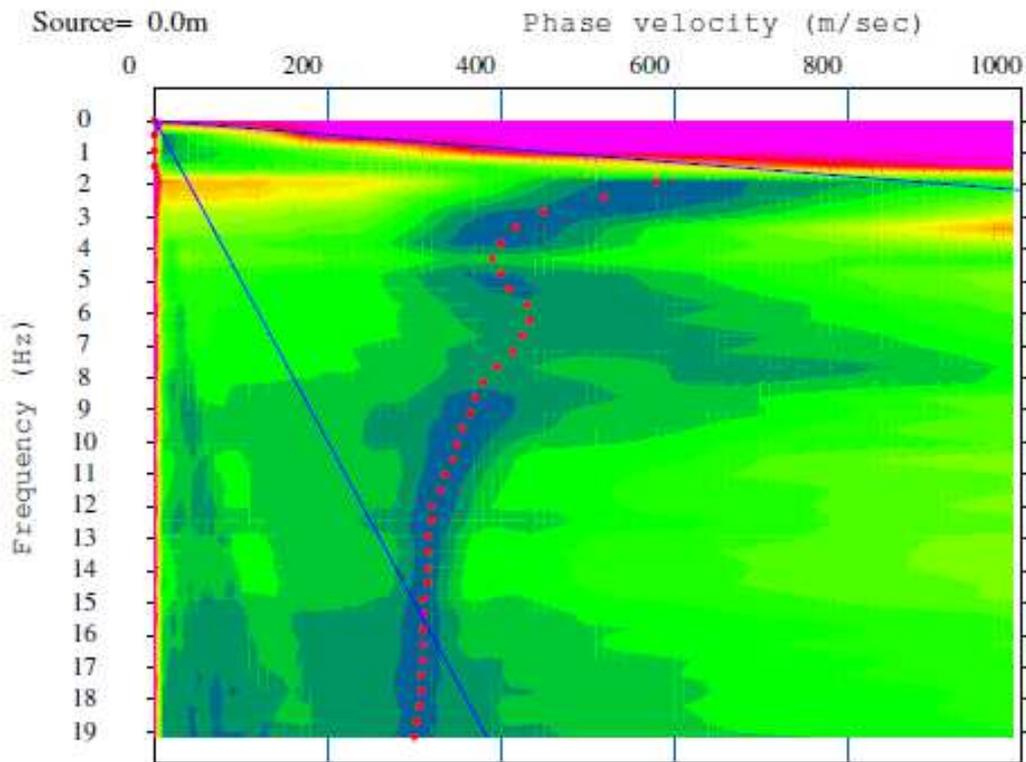
Curva di dispersione MASW



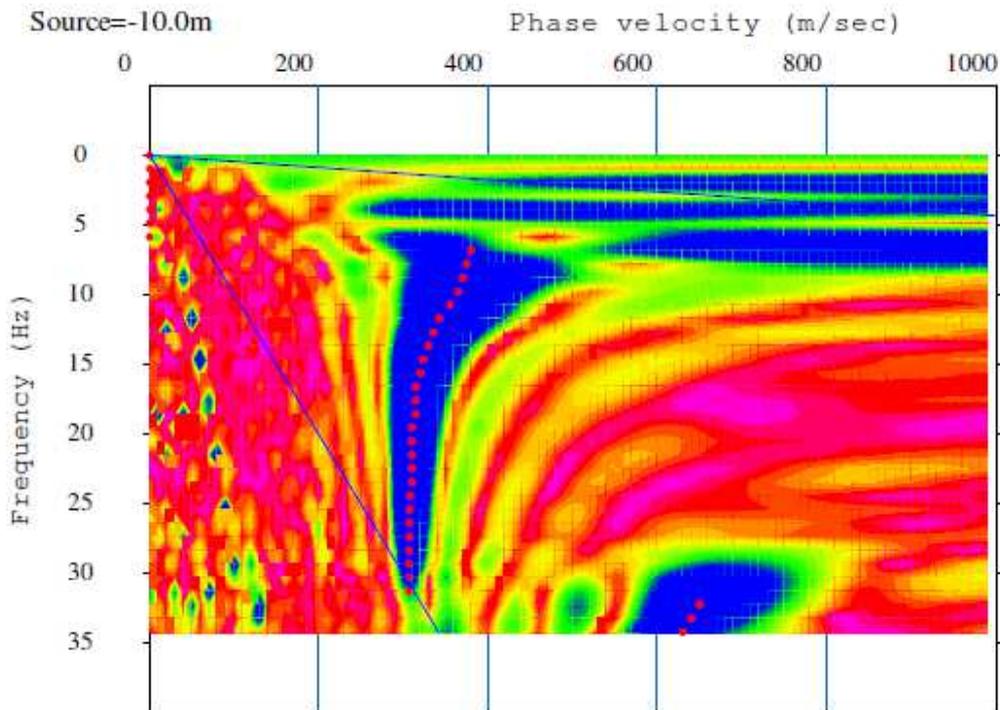
Profilo interpretativo



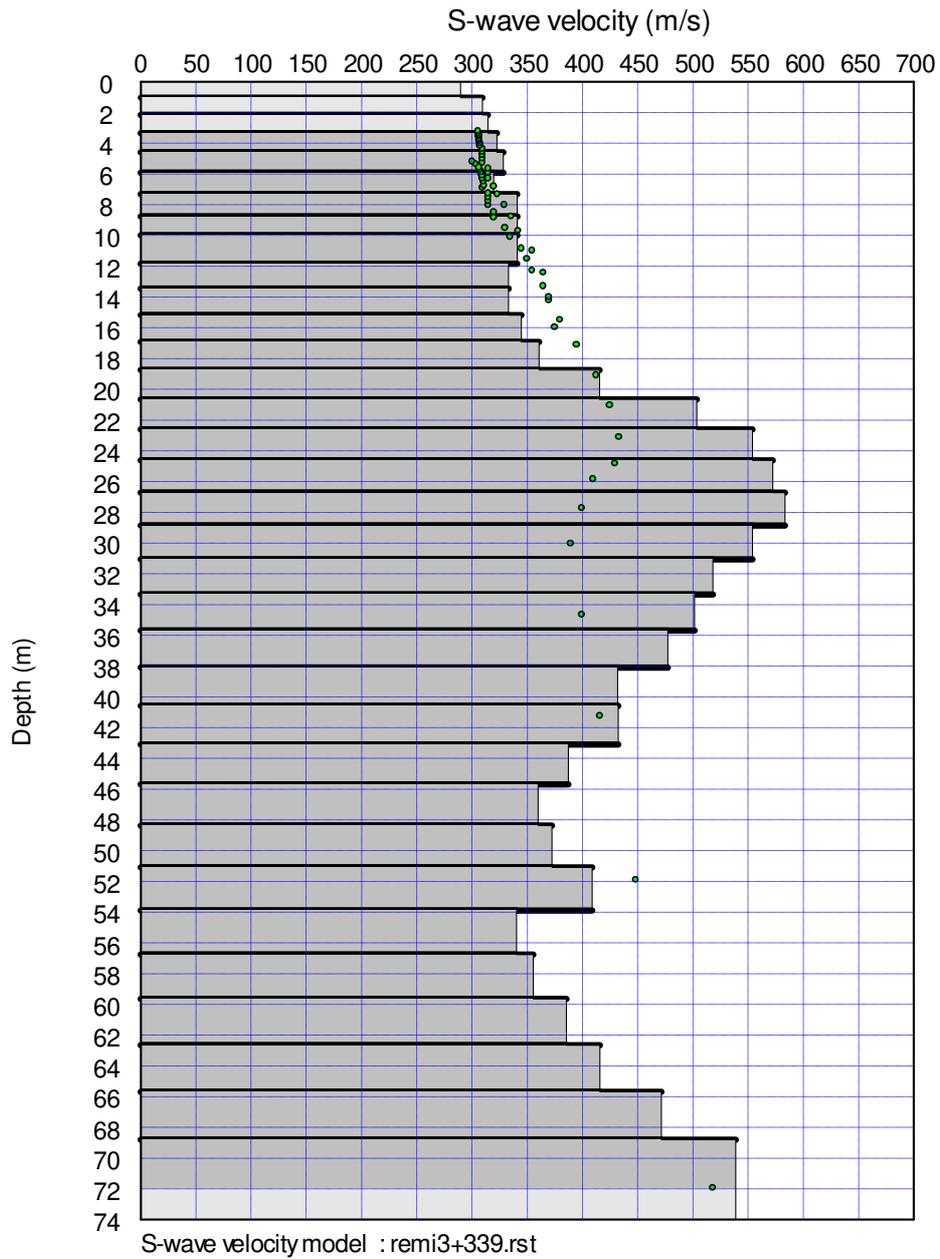
**SITO D (via Le Brughiere)**



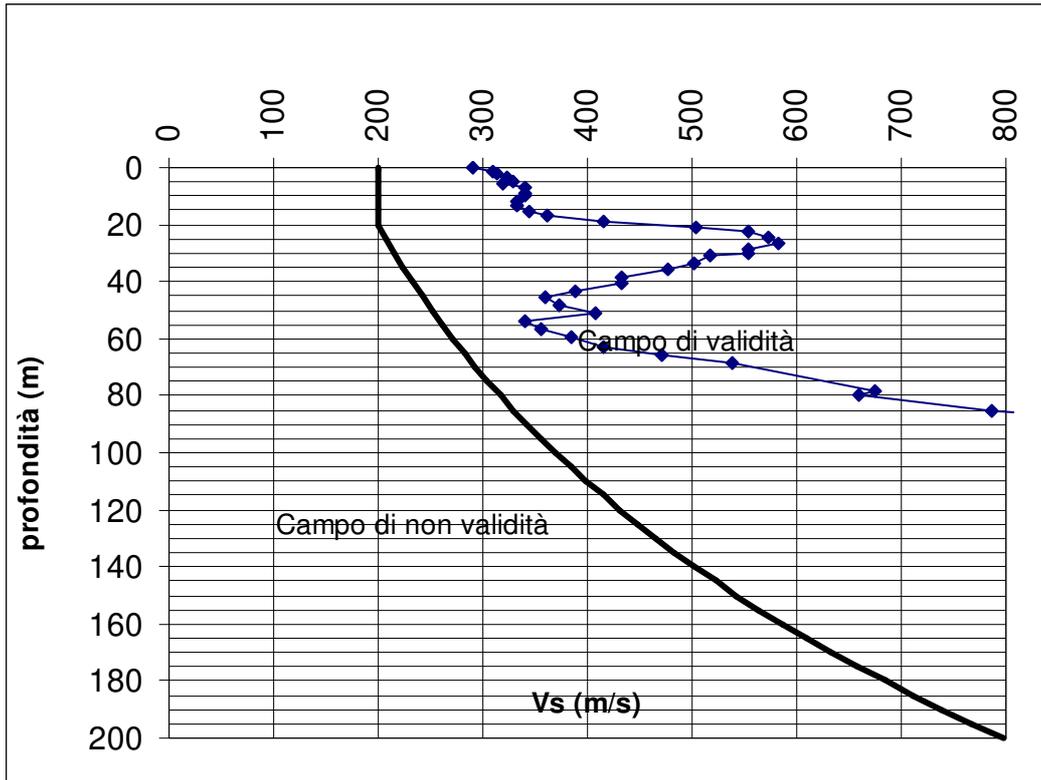
Curva di dispersione REMI



Curva di dispersione MASW



Profilo interpretativo più rappresentativo



## **Allegato n.2**

### **Definizione della categoria sismica del sottosuolo (ai sensi delle NTC 2018)**

Per il comune di Sotto il Monte Giovanni XXIII (cod. ISTAT: 03016203), la cartografia della pericolosità di base (vedi Albarello et alii, 2001; CD-ROM Rischio Sismico 2001 con aggiornamento classificazione sismica al 2003) indicava i seguenti parametri di accelerazione convenzionale massima (Pga atteso) rispettivamente per tempi di ritorno di T=475 anni e T=975 anni.

PGA_475S	PGA_975S
0,10971	0,14404

Tali valori sono stati quindi ripresi ed aggiornati dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008 – vedi tabella n.1 nel testo) che forniscono l’accelerazione e relative forme spettrali per la valutazione delle azioni di progetto, per i vari tempi di ritorno dell’azione sismica in funzione della longitudine e della latitudine di un sito. Tali valori sono riportati sulle schede di classificazione del sito relative ai siti d’indagine e di seguito allegate.

Per la valutazione della categoria sismica del sottosuolo di fondazione è necessario il calcolo del valore di  $V_{s,eq}$  (NTC 2018) che è stato ottenuto mediante la seguente espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{(i=1, N)} h_i / V_{s,i}} \quad [1]$$

dove:

$h_i$  = spessore dell’i-esimo strato (m);

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato (m/s);

N = numero di strati individuati dall’indagine sovrastanti il bedrock sismico (sino agli 800 m/s);

H = profondità alla quale è presente il tetto del substrato roccioso o della formazione costituita da terreno molto rigido, caratterizzato da  $V_s$  superiore a 800 m/s.

Il valore del periodo fondamentale di vibrazione/risonanza del terreno è stato calcolato mediante la seguente espressione:

$$T_0 = \frac{4 * \sum_{(i=1, N)} h_i}{\sum_{(i=1, N)} (V_{s,i} * h_i) / (\sum_{(i=1, N)} h_i)} \quad [2]$$

dove:  $h_i$  e  $V_{si}$  indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$  %, ) dello strato  $i$ -esimo per il totale degli  $N$  strati riconosciuti nei primi 30 metri di sottosuolo a partire dalla superficie per la prima formula e considerando tutta la successione stratigrafica sino al raggiungimento del bedrock o bedrock-like, per la seconda formula.

Le tabelle sottostanti indicano la categoria sismica del sottosuolo di fondazione ed i parametri dello spettro di risposta elastico di normativa ottenuti per i siti d'indagine.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D. M. 17/01/2018)	
Località:	Sotto il Monte Giovanni XXIII Sito A (località Cimitero)
Metodo di indagine:	RE.MI.+ MASW
Strumentazione utilizzata:	Sismografo Geode, 24 canali, 24 bits
Metodo di energizzazione:	Rumore naturale + mazza da 10 kg
Geometria dello stendimento:	lineare con 24 geofoni - interasse 5 m

<b>VELOCITA' SISMICA ONDE DI TAGLIO <math>V_{s30}</math> (m/s)</b>	<b>401.6</b>
Dati i risultati, il sito in esame risulta rispondere alla categoria di suolo di tipo: (si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori di $a_g$ e del coeff. $S_s$ )	<b>B</b>

<b>Classificazione sismica della zona</b>	<b>3</b>
---	----------

Vita nominale ( $V_N$ )	50	
Classe d'uso / ( $C_U$ )	2	1
Periodo di riferimento ( $V_R$ ) ( $V_R = C_U \cdot V_N$ )	50	
Probabilità di superamento ( $P_{VR}$ )	allo	SLV
Periodo di ritorno ( $T_{VR}$ ), valori $30 \leq T_{VR} \leq 2475$ anni $T_{VR} = -V_R / (\ln(1 - P_{VR}))$		0.1
		475

vedi tabella n.1 (allegato b) - $T_r$ (anni)	30	50	101	475	975	2475
accel. orizz.le max di norma per il sito in questione $a_g$ (in frazioni di $g$ (m/sq)/ 9,81)	0.025	0.032	0.043	0.082	0.108	0.150
val. max del fattore ampl.ne spettro in accel.ne orizz.le $F_o$ (-)	2.489	2.503	2.513	2.499	2.484	2.498
periodo di inizio tratto a vel.tà costante spettro in accel.ne orizz.le $T_c^*$ (sec)	0.184	0.207	0.234	0.277	0.286	0.294

Categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II)		coefficienti spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	
		$S_s$	$C_c$
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo pari a 3 m.</i>	1	1
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>	$1,0 \leq 1,4 - 0,4 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,2$	$1,1 \cdot (T_c^*)^{-0,2}$
<b>C</b>	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>	$1,0 \leq 1,7 - 0,6 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,5$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
<b>D</b>	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.</i>	$0,9 \leq 2,4 - 1,5 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,8$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,5}$
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>	$1,0 \leq 2,0 - 1,1 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,6$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,4}$

con  $S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $C_c$  = coefficiente in funzione della categoria del sottosuolo

CLASSIFICAZIONE DEL SITO secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D. M. 17/01/2018)	
Località:	Sotto il Monte Giovanni XXIII Sito B (Filanda, loc. Catolari)
Metodo di indagine:	RE.MI.+ MASW
Strumentazione utilizzata:	Sismografo Geode, 24 canali, 24 bits
Metodo di energizzazione:	Rumore naturale + mazza da 10 kg
Geometria dello stendimento:	lineare con 24 geofoni - interasse 5 m

VELOCITA' SISMICA ONDE DI TAGLIO $V_{s30}$ (m/s)	344.9
Dati i risultati, il sito in esame risulta rispondere alla categoria di suolo di tipo: (si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori di $a_g$ e del coeff. $S_s$ )	C

Classificazione sismica della zona	3
------------------------------------	---

Vita nominale ( $V_N$ )	50	
Classe d'uso / ( $C_U$ )	2	1
Periodo di riferimento ( $V_R$ ) ( $V_R = C_U \cdot V_N$ )	50	
Probabilità di superamento ( $P_{VR}$ )	allo	SLV
Periodo di ritorno ( $T_{VR}$ ), valori $30 \leq T_{VR} \leq 2475$ anni $T_{VR} = -V_R / (\ln(1 - P_{VR}))$		0.1
		475

vedi tabella n.1 (allegato b) - $T_r$ (anni)	30	50	101	475	975	2475
accel. orizz.le max di norma per il sito in questione $a_g$ (in frazioni di g (m/sq)/ 9,81)	0.025	0.032	0.044	0.083	0.110	0.152
val. max del fattore ampl.ne spettro in accel.ne orizz.le $F_o$ (-)	2.485	2.502	2.506	2.493	2.479	2.498
periodo di inizio tratto a vel.tà costante spettro in accel.ne orizz.le $T_c^*$ (sec)	0.185	0.207	0.234	0.277	0.285	0.293

Categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II)		coefficienti spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	
		$S_s$	$C_c$
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo pari a 3 m.</i>	1	1
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>	$1,0 \leq 1,4 - 0,4 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,2$	$1,1 \cdot (T_c^*)^{-0,2}$
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>	$1,0 \leq 1,7 - 0,6 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,5$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.</i>	$0,9 \leq 2,4 - 1,5 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,8$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,5}$
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>	$1,0 \leq 2,0 - 1,1 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,6$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,4}$

con  $S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $C_c$  = coefficiente in funzione della categoria del sottosuolo

CLASSIFICAZIONE DEL SITO secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D. M. 17/01/2018)	
Località:	Sotto il Monte Giovanni XXIII Sito C (scuola loc. Botta)
Metodo di indagine:	RE.MI.+ MASW
Strumentazione utilizzata:	Sismografo Geode, 24 canali, 24 bits
Metodo di energizzazione:	Rumore naturale + mazza da 10 kg
Geometria dello stendimento:	lineare con 24 geofoni - interasse 2.5 m

<b>VELOCITA' SISMICA ONDE DI TAGLIO <math>V_{s_{eq}}</math> (m/s)</b>	<b>354.7</b>
Dati i risultati, il sito in esame risulta rispondere alla categoria di suolo di tipo: (si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori di $a_g$ e del coeff. $S_s$ )	<b>E</b>

<b>Classificazione sismica della zona</b>	<b>3</b>
---	----------

Vita nominale ( $V_N$ )	50	
Classe d'uso / ( $C_U$ )	2	1
Periodo di riferimento ( $V_R$ ) ( $V_R = C_U \cdot V_N$ )	50	
Probabilità di superamento ( $P_{VR}$ )	allo	SLV
Periodo di ritorno ( $T_{VR}$ ), valori $30 \leq T_{VR} \leq 2475$ anni $T_{VR} = -V_R / (\ln(1 - P_{VR}))$		0.1
		475

vedi tabella n.1 (allegato b) - $T_r$ (anni)	30	50	101	475	975	2475
accel. orizz.le max di norma per il sito in questione $a_g$ (in frazioni di $g$ (m/sq)/ 9,81)	0.025	0.032	0.044	0.084	0.111	0.153
val. max del fattore ampl.ne spettro in accel.ne orizz.le $F_o$ (-)	2.482	2.501	2.502	2.489	2.476	2.499
periodo di inizio tratto a vel.tà costante spettro in accel.ne orizz.le $T_c^*$ (sec)	0.185	0.207	0.235	0.277	0.285	0.292

Categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II)		coefficienti spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	
		$S_s$	$C_c$
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo pari a 3 m.</i>	1	1
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>	$1,0 \leq 1,4 - 0,4 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,2$	$1,1 \cdot (T_c^*)^{-0,2}$
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>	$1,0 \leq 1,7 - 0,6 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,5$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.</i>	$0,9 \leq 2,4 - 1,5 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,8$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,5}$
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>	$1,0 \leq 2,0 - 1,1 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,6$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,4}$

con  $S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $C_c$  = coefficiente in funzione della categoria del sottosuolo

CLASSIFICAZIONE DEL SITO secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D. M. 17/01/2018)	
Località:	Sotto il Monte Giovanni XXIII Sito D (loc. via delle Brughiere)
Metodo di indagine:	RE.MI.+ MASW
Strumentazione utilizzata:	Sismografo Geode, 24 canali, 24 bits
Metodo di energizzazione:	Rumore naturale + mazza da 10 kg
Geometria dello stendimento:	lineare con 24 geofoni - interasse 5 m

<b>VELOCITA' SISMICA ONDE DI TAGLIO <math>V_{s30}</math> (m/s)</b>	<b>374.2</b>
Dati i risultati, il sito in esame risulta rispondere alla categoria di suolo di tipo: (si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori di $a_g$ e del coeff. $S_s$ )	<b>B</b>

<b>Classificazione sismica della zona</b>	<b>3</b>
---	----------

Vita nominale ( $V_N$ )	50	
Classe d'uso / ( $C_U$ )	2	1
Periodo di riferimento ( $V_R$ ) ( $V_R=C_U \cdot V_N$ )	50	
Probabilità di superamento ( $P_{VR}$ )	allo	SLV
Periodo di ritorno ( $T_{VR}$ ), valori $30 \leq T_{VR} \leq 2475$ anni $T_{VR} = -V_R / (\ln(1 - P_{VR}))$		0.1
		475

vedi tabella n.1 (allegato b) - $T_r$ (anni)	30	50	101	475	975	2475
accel. orizz.le max di norma per il sito in questione $a_g$ (in frazioni di g (m/sq)/ 9,81)	0.025	0.033	0.044	0.084	0.111	0.154
val. max del fattore ampl.ne spettro in accel.ne orizz.le $F_o$ (-)	2.481	2.501	2.499	2.488	2.474	2.499
periodo di inizio tratto a vel.tà costante spettro in accel.ne orizz.le $T_c^*$ (sec)	0.186	0.207	0.235	0.276	0.285	0.292

Categorie di sottosuolo (Tab. 3.2.II)		coefficienti spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	
		$S_s$	$C_c$
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti, con spessore massimo pari a 3 m.</i>	1	1
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>	$1,0 \leq 1,4 - 0,4 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,2$	$1,1 \cdot (T_c^*)^{-0,2}$
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>	$1,0 \leq 1,7 - 0,6 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,5$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.</i>	$0,9 \leq 2,4 - 1,5 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,8$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,5}$
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>	$1,0 \leq 2,0 - 1,1 \cdot F_o \cdot (a_g/g) \leq 1,6$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,4}$

con  $S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $C_c$  = coefficiente in funzione della categoria del sottosuolo

