

**COMUNE DI VAL BREMBILLA**  
**(Provincia di Bergamo)**

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

**(ai sensi della L.R. n.12 del 11/03/2005 e  
della D.G.R. n.9/2616 del 30/11/2011)**

**RELAZIONE GEOLOGICA**

**Parte 1 - Relazione illustrativa**

**Committente: Comune di Val Brembilla**

**Bergamo, Marzo 2017**



**Dott. Augusto Azzoni**

**Dott. Augusto Azzoni, n.527 dell'Ordine dei Geologi della Lombardia  
Via F. Nullo n.31, 24128 Bergamo - Tel. 035-231115, cell. 339-2262817**

## INDICE

<b>INDICE .....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>2. METODOLOGIA DELLO STUDIO .....</b>	<b>6</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GENERALE .....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Inquadramento geografico .....</b>	<b>8</b>
3.1.1 Cartografia .....	9
<b>3.2 Inquadramento geomorfologico .....</b>	<b>9</b>
3.2.1 Condizioni di stabilità generali dell'area .....	11
<b>3.3 Inquadramento geologico .....</b>	<b>13</b>
3.3.1 Breve descrizione delle Formazioni del substrato roccioso .....	14
<b>3.4 Inquadramento strutturale .....</b>	<b>18</b>
3.4.1 Assetto generale .....	18
3.4.2 Situazione locale .....	19
<b>3.5 Inquadramento meteoroclimatico .....</b>	<b>21</b>
3.5.1 Precipitazioni .....	21
3.5.2 Temperatura .....	25
3.5.3 Evapotraspirazione .....	25
3.5.4 Umidità dell'aria .....	25
3.5.5 Stato del cielo .....	25
<b>3.6 Inquadramento idrologico .....</b>	<b>26</b>
<b>3.7 Inquadramento idrogeologico .....</b>	<b>27</b>
<b>3.8 Inquadramento sismologico .....</b>	<b>31</b>
3.8.1 Cenni di sismicità storica .....	31
3.8.2 Classificazione sismica .....	34
<b>3.9 Inquadramento geotecnico .....</b>	<b>36</b>
3.9.1 Substrato roccioso .....	36
3.9.2 Terreni di copertura .....	38
<b>4. ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO .....</b>	<b>39</b>
<b>4.1 Introduzione .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Procedura .....</b>	<b>40</b>
<b>4.3 Analisi di 1° livello .....</b>	<b>42</b>
4.3.1 Carta di Pericolosità Sismica locale .....	44
<b>4.4 Analisi di 2° livello .....</b>	<b>45</b>
4.4.1 Metodologia per la valutazione degli effetti di amplificazione topografica .....	45
4.4.2 Metodologia per la valutazione degli effetti di amplificazione litologica .....	49
4.4.3 Risultati dell'analisi di Amplificazione topografica .....	53
4.4.4 Risultati dell'analisi di Amplificazione litologica .....	56
4.4.5 Carta del Fattore di amplificazione locale e delle categorie di sottosuolo proposte .....	61
<b>5. CARTA DEI VINCOLI .....</b>	<b>63</b>
<b>5.1 Vincoli derivanti dalla Pianificazione di bacino - P.A.I. (ai sensi della L. n.183 del 18/05/1989) .....</b>	<b>63</b>

<b>5.2</b>	<b>Vincoli di Polizia idraulica (ai sensi della D.G.R. n. 7/7868/2002 e successive).....</b>	<b>63</b>
<b>5.3</b>	<b>Vincoli per la salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile.....</b>	<b>64</b>
<b>6.</b>	<b>CARTA DI SINTESI .....</b>	<b>66</b>
<b>7.</b>	<b>CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO .....</b>	<b>68</b>
<b>7.1</b>	<b>Classi di fattibilità .....</b>	<b>68</b>
7.1.1	Classe 1: Fattibilità senza particolari limitazioni .....	68
7.1.2	Classe 2: Fattibilità con modeste limitazioni.....	69
7.1.3	Classe 3: Fattibilità con consistenti limitazioni.....	70
7.1.4	Classe 4: Fattibilità con gravi limitazioni.....	70
<b>7.2</b>	<b>Sintesi dei criteri adottati per la redazione della "Carta di Fattibilità" .....</b>	<b>71</b>
7.2.1	Criteri adottati per la rappresentazione grafica delle informazioni .....	73
<b>7.3</b>	<b>Carta di Fattibilità geologica per le azioni di Piano.....</b>	<b>74</b>
<b>8.</b>	<b>CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA A QUELLA DEL P.A.I. ....</b>	<b>75</b>

#### **TAVOLE ALLEGATE:**

- Tav.1 (A-B) - Carta della Pericolosità Sismica locale (scala 1: 5.000).  
Tav.2 (A-B) - Carta dei Vincoli a scala (scala 1: 5.000).  
Tav.3 (A-B) - Carta di Sintesi (scala 1: 5.000).  
Tav.4 (A-B) - Carta della Fattibilità Geologica per le azioni di Piano (scala 1: 5.000).  
Tav.5 - Carta del Dissesto con legenda uniformata a quella del P.A.I. (scala 1: 10.000).  
Tav.6 (A-B) - Carta dei fattori di amplificazione locale e delle categorie di sottosuolo proposte (1: 5.000).  
Tav.7 (A-B) - Carta della Fattibilità Geologica per le azioni di Piano con Scenari di PSL (scala 1: 5.000).

## **1. INTRODUZIONE**

Per incarico dell'Amministrazione Comunale di Val Brembilla, Comune istituito dal Consiglio Regionale il 4 febbraio 2014 con la fusione dei Comuni di Brembilla e Gerosa, è stato effettuato uno studio di carattere geologico sul nuovo territorio comunale, finalizzato alla creazione della *"Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Val Brembilla"*; tale documento intende unire e rendere omogenei gli studi geologici a supporto del P.G.T. dei due ex Comuni di Brembilla e Gerosa.

Entrambi i Comuni infatti disponevano già di uno Studio Geologico a supporto dello strumento urbanistico, ed in particolare:

- per il Comune di Brembilla, lo *"Studio Geologico a supporto del Piano Regolatore Generale"*, redatto nel 2004 dal sottoscritto secondo i criteri della L.R. n.41 del 24/11/1997 (approvazione della Regione Lombardia con lettera prot. Z1.2004.28219 del 20/07/04), e successivamente aggiornato, a seguito anche dello studio *"Esercizio comunale dell'attività di Polizia Idraulica sul Reticolo Idrico Minore"* (Febb.2009), con il documento *"Studio Geologico a supporto del Piano Regolatore Generale - Aggiornamento ai sensi della L.R. n. 12 del 11.03.2005 e della D.G.R. n. 8/7374 del 28/05/08"* (Febb. 2009), redatto in accordo alla normativa citata; nell'ambito di tale aggiornamento venne redatta la nuova *"Carta della Pericolosità Sismica locale"* e furono aggiornate le esistenti *"Carta dei Vincoli"*, *"Carta della Fattibilità geologica"* e *"Quadro del dissesto con legenda uniformata a quella del P.A.I."*;
- per il Comune di Gerosa, lo *"Studio Geologico comunale a supporto del Piano di Governo del Territorio"*, redatto nel 2011 dal sottoscritto contestualmente allo studio *"Esercizio comunale dell'attività di Polizia Idraulica sul Reticolo Idrico Minore"* (sett.2010), secondo i criteri della L.R. n.12/2005 (*"Legge per il Governo del Territorio"*) e della D.G.R. n.8/7374/08 (approvazione della Regione Lombardia con lettera prot. Z1.2011.0020249 del 25/07/11).

Il programma di lavoro è stato concordato con l'Amministrazione Comunale di Val Brembilla, facendo specifico riferimento a quanto previsto in proposito dalla normativa vigente e, in particolare, dalla citata L.R. n.12/2005 e dalla D.G.R. n.9/2616 del 30/11/2011 *"Criteri ed indirizzi per la definizione della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art.57 della L.R. n.12 del 11/03/2005 - Testo Integrale"*. In particolare,

- in merito alla Cartografia, in considerazione anche delle notevoli difficoltà operative dovute alla trasposizione sulla nuova base aerofotogrammetrica di tutti i dati di carattere geologico ed idraulico di cui sopra relativi all'ex Comune di Brembilla, fino ad ora sempre riportati su di una vecchia carta aerofotogrammetrica dei primi anni '80, sentito anche il parere della Regione Lombardia, si è concordato di lasciare inalterate le *"Carte di analisi"* sulle originarie basi cartografiche dei due ex Comuni, e di unire con le necessarie minime rielaborazioni le seguenti *"Carte di diagnosi e di proposta"*:
  - o *"Carta dei Vincoli"*,
  - o *"Carta di Sintesi"*,
  - o *"Carta della Pericolosità sismica locale"*,
  - o *"Carta dei fattori di amplificazione locale e delle categorie di sottosuolo proposte"*,
  - o *"Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano"*,
  - o *"Carta del dissesto con legenda uniformata a quella del P.A.I."*
  - o *"Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano con PSL"*.
- Riguardo alla Relazione geologica, che in accordo alla Normativa è ora composta da due parti:

- Parte 1 - Relazione illustrativa
- Parte 2 - Norme Geologiche di Piano,

si è deciso che riportasse un esauriente inquadramento generale delle caratteristiche geologiche del Comune ed una dettagliata descrizione delle nuove "Carte di diagnosi e di proposta" e degli aspetti sismici della Normativa (solo parzialmente trattati in precedenza), e che venisse invece omessa la descrizione delle "Carte d'analisi", per cui si rimanda ai precedenti Studi degli ex Comuni.

Va poi aggiunto che, con la D.G.R. n.10/2129 del 11/07/2014 *"Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia"* e successive modifiche, a partire dall'aprile 2016 con l'entrata in vigore la nuova legge sismica regionale L.R. n.33 del 12/11/2015, il territorio comunale di Val Brembilla è stato portato dalla "Zona 4" in cui era stato classificato dalla O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*, alla "Zona 3", ovvero zona a sismicità medio-bassa. Tale fatto ha richiesto quindi che, oltre alle attività originariamente concordate, si rendesse necessario anche lo Studio sismico di 2° livello, studio che fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione sismico (Fa). Le analisi e le misure sismiche svolte sono riportate nella Relazione geologica nella

- Parte 3 - Appendice all'Analisi Sismica di 2° livello

Il lavoro è stato svolto fra la l'autunno 2015 e la primavera 2016 per quanto riguarda i rilievi di terreno e l'acquisizione di dati bibliografici e cartografici. Lo stesso è poi proseguito nel successivo periodo estivo 2016 per quanto attiene l'elaborazione dei dati raccolti, la redazione delle carte e la stesura di un primo rapporto tecnico, e si è concluso nel marzo 2017 con l'esecuzione dell'Analisi sismica di 2° livello e l'aggiornamento del rapporto e della cartografia allegata.

Il lavoro è stato realizzato con la collaborazione del dott. Gianluigi Nozza.

## **2. METODOLOGIA DELLO STUDIO**

Lo studio è stato realizzato ai sensi della L.R. n.12/2005 e delle successive direttive, tra cui principalmente la D.G.R. n.9/2616/2011 ("*Criteri ed indirizzi per la definizione della Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11 Marzo 2005, N. 12 – Testo Integrale*"), che stabilisce i criteri e i contenuti degli studi di supporto agli strumenti urbanistici, e al contempo ne definisce le caratteristiche di riferimento.

In accordo a tale direttiva, lo schema metodologico adottato si è basato su tre distinte fasi di lavoro: analisi, diagnosi e proposta.

Per quanto concerne la fase di analisi, come detto, ci si è riferiti alle esistenti carte dei due ex Comuni, che per i citati problemi cartografici sono state lasciate sulla base su cui sono state create (vecchia carta da rilievo aerofotogrammetrico a scala 1: 5.000 per Brembilla e nuova carta aerofotogrammetrica in formato digitale a scala 1: 5.000 per Gerosa).

Nel corso del lavoro sono comunque stati considerati tutti i nuovi elementi -principalmente legati al dissesto e, per un solo caso, alla modifica della Classificazione di fattibilità di un area di frana bonificata- verificatisi dal 2004 al 2016, i quali sono stati riportati sulla "Carta di Sintesi".

Nell'ambito di tale fase di lavoro sono state prodotte le:

- "Carta di Pericolosità Sismica Locale", a scala 1: 5.000. Tale carta è stata approntata elaborando opportunamente i dati salienti della cartografia d'inquadramento (Carta Geologica, Carta Geomorfologica, ecc.), e riportando su carta la perimetrazione areale delle diverse condizioni in grado di determinare gli effetti sismici locali, i cosiddetti "Scenari di Pericolosità Sismica locale". In particolare, mentre la carta riguardante l'ex area comunale di Gerosa è rimasta pressochè identica alla precedente, in quella della ex area comunale di Brembilla, per analogia con l'altra, sono stati ampliati gli Scenari Z3 e Z4 ed è stato inserito in più punti sui versanti, dove eventi sismici potrebbero innescare fenomeni d'instabilità, lo Scenario Z1c.
- "Carta dei fattori di amplificazione locale e delle categorie di sottosuolo proposte", riportante i Fattori di amplificazione litologici valutati con apposite misure HVSR in sito e quelli topografici definiti con analisi cartografiche, e con indicazioni sulle categorie di sottosuolo per cui la normativa nazionale risulta adeguata a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito.

La fase di diagnosi è consistita essenzialmente nell'unione delle carte esistenti, previa analisi critica delle informazioni già riportate in carta e omogeneizzazione delle legende e dei dati disponibili. Sono così stati predisposti i seguenti elaborati:

- "Carta dei Vincoli" esistenti sul Territorio Comunale, a scala 1: 5.000. Tale carta riporta le aree soggette a vincoli di carattere idrogeologico ed idraulico (Vincoli derivanti dalla Pianificazione di bacino P.A.I., Vincoli di Polizia Idraulica, basati sul Studio del Reticolo Idrico Minore comunale, Vincoli sulle Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile). Di fatto, mentre per la ex area comunale di Gerosa la carta è rimasta praticamente identica alla precedente, per la ex area comunale di Brembilla si è reso necessario un nuovo tracciamento di molte aree soggette a vincolo (in particolare quelle soggette a vincolo idraulico), date le sostanziali differenze fra le due diverse basi cartografiche.
- "Carta di Sintesi", a scala 1: 5.000. Tale carta è stata approntata riportando, previe le opportune elaborazioni, tutti gli elementi già mappati e quelli nuovi emersi nel corso degli ultimi anni, comprendenti elementi di pertinenza della stabilità dei versanti, della dinamica torrentizia, della vulnerabilità idrogeologica e delle caratteristiche geotecniche dei terreni presenti. L'unione delle carte dei due Comuni si è rivelata alquanto

problematica, sia per i già citati problemi connessi alla diversità delle basi cartografiche (soprattutto per quanto concerne la posizione e le fasce di rispetto dei corsi d'acqua), sia per la sostanziale differenza nelle legende relativamente ai problemi di stabilità dei versanti e alla geotecnica. Lo studio del 2004 del Comune di Brembilla legava infatti la potenzialità di un dissesto al rapporto fra pendenza del versante e natura dei terreni presenti, quella di Gerosa si basava invece sulle indicazioni contenute nella D.G.R. n.8/7374/2008, poi riprese dalla D.G.R. n. n.9/2616/2011.

La successiva fase propositiva ha permesso infine la redazione delle seguenti carte:

- "Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano" a scala 1: 5.000, nella quale è stata effettuata una zonazione del territorio in quattro classi principali a diversa attitudine, dal punto di vista geologico, a sostenere eventuali interventi antropici. La carta è stata creata di fatto unendo le due carte esistenti e limitando al massimo le modifiche rispetto a quelle: fra queste si ricorda in particolare una perimetrazione leggermente differente delle aree interessate da Vincolo idraulico sul Reticolo Idrico dovuta alla differente base cartografica, un modesto aumento delle aree classificate in Classe 4° a scapito di quelle in Classe 3°, derivata da una migliore conoscenza del territorio, e locali omogeneizzazioni in termini di fattibilità nelle zone di confine fra i due ex Comuni. Per ciascuna classe di fattibilità, poi suddivise in sottoclassi a seconda delle problematiche specifiche delle aree, sono state fornite indicazioni tecniche e prescrizioni relative all'utilizzo delle aree stesse ("Norme Geologiche di Piano"), che dovranno poi essere adeguatamente recepite dagli strumenti urbanistici al fine di minimizzare il rischio idrogeologico e gli effetti connessi alla fruizione del territorio.
- "Carta del Dissesto con legenda uniformata a quella del P.A.I." a scala 1: 10.000, nella quale sono riportati tutti gli elementi relativi al dissesto presenti nel Comune di Val Brembilla, da inserire poi inseriti nell'archivio del P.A.I.
- "Carta di Fattibilità geologica per le azioni di Piano con Scenari di PSL" che riporta, come richiesto dalla D.G.R., le tre Classi di Fattibilità geologica, gli scenari di Pericolosità sismica e la perimetrazione di massima delle zone per le quali, con l'impiego della categoria di sottosuolo indicata, la normativa nazionale è in grado di tenere in considerazione anche gli effetti di amplificazione di sito.

Tutte le carte citate sono state realizzate utilizzando le nuove Carte Aerofotogrammetriche comunali a scala 1: 5.000 (scala apparsa di adeguato dettaglio per rappresentare la situazione geologica comunale); fa eccezione solo la carta con il "Carta del Dissesto con legenda uniformata a quella P.A.I.", realizzata secondo normativa sulla Carta Tecnica Regionale a scala 1: 10.000.

Tutto il lavoro è stato realizzato in collaborazione con il dott. Gianluigi Nozza, operando in ambiente GIS con il programma ArcView 3.3 della ditta ESRI (licenza n. 899941137205 ad Azzoni Augusto), con la produzione finale dei dati nel formato shapefile richiesto dalla Regione Lombardia.

### **3. INQUADRAMENTO GENERALE**

#### **3.1 Inquadramento geografico**

Il territorio comunale di Val Brembilla è situato nel settore inferiore della Valle Brembana, ed occupa gran parte della valle del Torrente Brembilla (Valle Brembilla), marcata incisione valliva posta sulla sinistra idrografica della valle del Fiume Brembo, pochi chilometri a monte dello sbocco dello stesso in pianura.

La Valle Brembilla presenta un'area di circa 35kmq ed è solcata, come detto, dal Torrente Brembilla, corso d'acqua che si origina dall'unione di due importanti dell'area di Gerosa, quello della Valle dei Molini e quello della Valle di Bura. e che si sviluppa con direzione prevalente Nord-Sud per circa 12km, raccogliendo via via le acque di diversi importanti affluenti. Le altimetrie sono comprese fra i 280m s.l.m. dello sbocco del Torrente Brembilla nel Fiume Brembo, nei pressi della località Ponti di Sedrina, e i 1.680m s.l.m. del Monte Sornadello, principale vetta posta sullo spartiacque brembano nel settore Nord occidentale dell'area comunale.

La valle, aperta sulla Valle Brembana sul suo lato meridionale, è delimitata sugli altri lati da marcati crinali:

- sul lato Nord, dal lungo crinale Monte Castello-Costa di Pralongone-Monte Sornadello, che la separa dalla Valle Taleggio,
- sul lato Est dal crinale roccioso Monte Sornadello-Castello della Regina-Monte Zuccone dell'Arco-Sant'Antonio Abbandonato, che segna il confine con la Valle Brembana,
- sul lato Ovest dal rilievo Monte Castello-Colle San Piero-Monte Corna Marcia, che la divide dalla Valle Imagna.

Il territorio comunale di Val Brembilla è prevalentemente montuoso e presenta un'estensione di circa 31,44 kmq.

Esso confina:

- a Nord con il Comune di Taleggio,
- a Est con i Comuni di San Giovanni Bianco, San Pellegrino Terme e Zogno,
- a Sud con i Comuni di Sedrina e Ubiale-Clanezzo,
- a Ovest con i Comuni di Ubiale-Clanezzo, Capizzone, Berbenno, Blello, Corna Imagna e Fuipiano Imagna,

e comprende, oltre ai due principali paesi di Brembilla (sede Comunale) e Gerosa, numerose frazioni e contrade, fra cui in particolare si ricordano, nell'area dell'ex Comune di Brembilla:

- in sinistra idrografica: Catremerio, Castignola, Sant'Antonio Abbandonato, Malentrada, Camorone, Pamparato, Sottopiana, Cà Donzelli, Rudino, Foppa, Cavaglia, Gaiazzo, Tesotti, Pianetti, Case Sopra, Cadelfoglia, Grumello, Capreduzzo, Case Fuori, Maroncella;
- in destra idrografica: Garateno, Lera, Roccolo, Ripe Vestasso, Laxolo, Campasso, Torre, Pagliaro, Caremondi, Gavazzone, Forcella di Berbenno,
- lungo il fondovalle della Valle Brembilla: Cadelfoglia, Magnavacche, Sottocamorone e Ponti,

e in quella dell'ex Comune di Gerosa:

- poco a valle di Gerosa, le frazioni di Mancassola, Foppetta e Bologna,
- a nord est del paese, la frazione di Bura, posta appena a valle dell'omonima Forcella,
- lungo il fondovalle della Valle Brembilla, le frazioni di Foppa Calda, Unizzi e Chignolo,
- lungo il versante idrografico destro della Valle dei Molini, a Sud Ovest del centro comunale, le frazioni di Blello-Canto Ronco, Musita, Grumello e Prato Aroldi.



### **3.1.1 Cartografia**

L'area comunale è coperta completamente o solo in parte dalle seguenti basi cartografiche, che sono poi state utilizzate per il presente lavoro:

- Carta d'Italia dell'Istituto Geografico Militare I.G.M. a scala 1: 25.000 Foglio n.33 con le tavolette, il cui rilievo risale al 1974:
  - o Quadrante III, Orientamento NE, Palazzago,
  - o Quadrante III, Orientamento NO, Zogno,
  - o Quadrante IV, Orientamento SO, Veduggio,
  - o Quadrante IV, Orientamento SE, San Pellegrino Terme.
- A riguardo si segnala che presso la Provincia di Bergamo sono disponibili (e consultate soprattutto per verificare l'evoluzione delle aree in dissesto del territorio nell'ultimo secolo) anche altre tre levate della Carta I.G.M., a partire dalla prima del 1885.
- Carta aereofotogrammetrica del Comune di Brembilla a scala 1: 5.000 con dettaglio a scala 1: 2.000 per zone centrali, prodotta dalla ditta S.C.M. del geom. Mastore Massimo nei primi anni '80;
- Carta Tecnica Regionale (C.T.R.), prodotta dalla Regione Lombardia in scala 1: 10.000 sulla base di riprese aeree condotte negli anni '80; in particolare, il territorio di Val Brembilla è compreso nelle sezioni individuate con le sigle C4a4, C4a5, C4b4 e C4b5.
- Carta Tecnica Regionale (C.T.R.), prodotta dalla Regione Lombardia in scala 1: 50.000 (Fig.1).
- Nuove Carte aereofotogrammetriche digitali: a scala 1: 5.000 con dettaglio a scala 1: 2.000 per l'ex Comune di Brembilla (rilievo del 2005) e a scala 1: 5.000 per l'ex Comune di Gerosa.
- Carta Catastale a scala 1: 2.000 dell'intera area comunale.

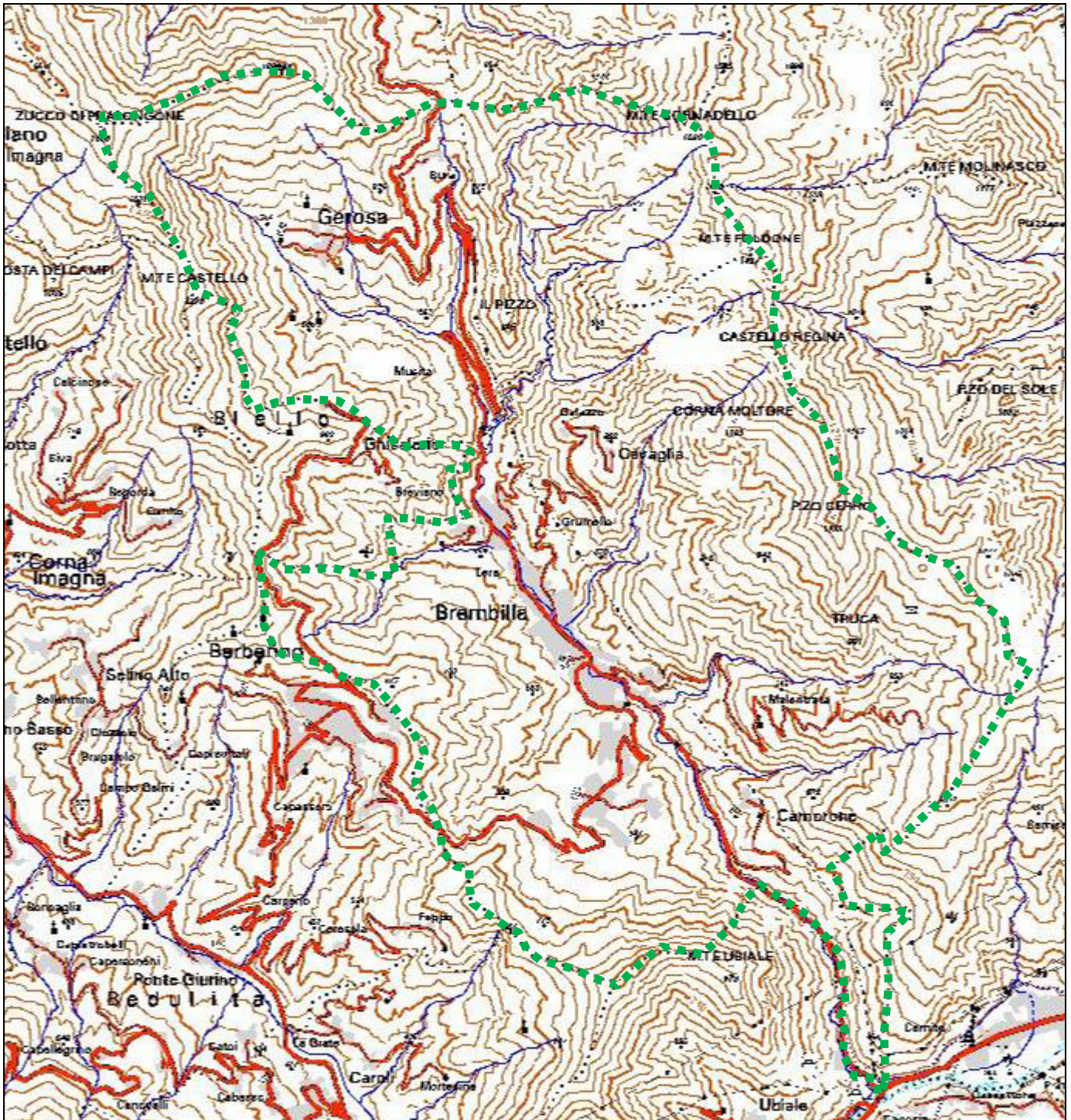
### **3.2 Inquadramento geomorfologico**

L'area comunale di Val Brembilla presenta le caratteristiche di un territorio montuoso, con versanti a pendenza da media ad elevata e valli incise, e con aree pianeggianti o subpianeggianti per lo più di limitata estensione, fatta eccezione per i più estesi terrazzi morfologici di Laxolo, Gerosa, Bura e Musita e per locali settori del fondovalle del Torrente Brembilla.

La morfologia del territorio è fortemente condizionata dalla natura delle rocce presenti nei diversi settori:

- le aree formate da terreni argillitico-marnosi, corrispondenti alla zona bassa e mediana della Valle Brembilla, sono caratterizzate da versanti di pendenza variabile, da elevata quale è localmente a ridosso degli impluvi, a modesta in alcuni punti del fondovalle del Torrente Brembilla e nelle zone sostenute da più robuste bancate calcaree con giacitura sub orizzontale. Il modellamento di tale aree è chiaramente in relazione all'azione delle acque superficiali, alla tipologie litologiche presenti e ai fenomeni di instabilità antichi e attuali. I versanti si presentano in genere colonizzati da bosco, nelle aree di maggiore acclività, e coltivati a prato in quelle meno inclinate, e sono in genere contraddistinti dalla presenza di una buona umidità, con una rete drenante piuttosto sviluppata e interessata da circolazione idrica di tipo semipermanente (condizionata dal regime pluviometrico);
- le aree formate da calcari e calcari marnosi, poste nella parte superiore dei versanti e in corrispondenza di tutti gli spartiacque ad eccezione di quello nord-orientale, presentano morfologie in genere abbastanza regolari e talora contraddistinte da alternanze di ripide pareti rocciose e zone con inclinazione da media a modesta. I versanti, in genere abbastanza asciutti e a prevalente copertura boschiva, sono caratterizzati dalla presenza di roccia subaffiorante o affiorante, ed evidenziano una rete di drenaggio superficiale fortemente





**Fig.1 - Carta topografica del Comune di Val Brembilla (estratta dalla Carta Tecnica Regionale a scala 1: 50.000, Sezioni C4 e C5).**



condizionata da motivi litologici e strutturali e caratterizzata da una circolazione idrica a carattere temporaneo o stagionale;

- le aree occupate da dolomie e calcari dolomitici, corrispondenti al settore nord-orientale dell'area comunale, sono per lo più caratterizzate da versanti di elevata acclività, in genere asciutti e con modesta copertura vegetale (prato, arbusti, rado bosco ceduo); tali aree sono spesso contraddistinte da forme aspre, con creste, pinnacoli e balze rocciose e profonde incisioni vallive interessate da circolazione idrica quasi ovunque di tipo temporaneo.

L'elemento morfologico di maggiore rilevanza della zona è costituito dalla valle del Torrente Brembilla, incisione valliva che si sviluppa in direzione Nord-Sud ad una quota di diverse centinaia di metri inferiore rispetto alle creste circostanti. Il fondovalle si presenta per lo più stretto ed inciso fra ripidi pendii, fatta eccezione per il breve tratto in cui sorge il centro comunale, dove appare più ampio per la presenza di terrazzi alluvionali e, in destra idrografica, di pendii detritici a minore acclività.

Altri elementi di rilievo sono l'aspro rilievo calcareo-dolomitico del gruppo Monte Sornadello-Castello della Regina, il sistema di terrazzamenti presente nell'area di Gerosa intorno alle quote di 700-800m s.l.m., per lo più legati al controllo geologico-strutturale, e il terrazzo di Laxolo, la cui origine è legata ad un antico fenomeno gravitativo che ha coinvolto una considerevole porzione del versante del Monte Corna Marcia.

In linea generale, il territorio di Val Brembilla mostra caratteri analoghi a quelli di ampi settori della fascia prealpina lombarda, con morfologia uniforme, matura e contraddistinta da pendii abbastanza acclivi, talora con forme aspre, nei settori dove affiorano i litotipi calcarei a struttura più massiccia, e morfologia più giovane, spesso in chiara evoluzione, nelle aree formate da rocce argillitiche.

L'origine di tale conformazione morfologica è da ricercarsi principalmente nell'azione erosiva del Torrente Brembilla e di tutti i corsi d'acqua superficiali, sviluppatasi presumibilmente già in buona parte in epoca pre-glaciale a seguito del richiamo costituito dall'erosione della valle del Fiume Brembo. Come buona parte dei principali corsi d'acqua del margine padano infatti, anche il Fiume Brembo incise profondamente la valle prima dell'inizio delle glaciazioni, mentre durante tale periodo svolse un'azione prevalentemente deposizionale, formando grandi conoidi in pianura e, nelle valli, alvei a quote ben superiori di quelle attuali. A seguito del periodo glaciale, il Fiume riprese l'azione erosiva, scavando i fondovalle appena creati e formando così i vari terrazzi fluvioglaciali che caratterizzano tutto il suo medio e basso corso vallivo (nella zona in esame: i terrazzi di Zogno, Stabello, Sedrina e Clanezzo).

Sui versanti, l'azione delle acque superficiali ha portato alla formazione di vallecole variamente incise a seconda della litologia del substrato roccioso, delle condizioni di attività del fenomeno erosionale e in certi casi della presenza di elementi strutturali quali faglie e fratture nel substrato. La formazione di tali vallecole è presumibilmente iniziata in tempi pre-glaciali e glaciali, ma è di certo progredita anche in tempi successivi, visto il generale buon raccordo delle stesse con il fondovalle del Torrente Brembilla.

Oltre all'azione erosiva dei corsi d'acqua, altro importante elemento morfogenetico è la gravità, cui sono dovuti in particolare l'antico modellamento sia del versante a monte di Laxolo (grande paleofrana), che di quello sopra Gerosa (deformazione gravitativa profonda). In tempi recenti alla gravità è da riferire l'importante frana avvenuta nel 2012 a Camorone, responsabile della distruzione dell'intera contrada.

### **3.2.1 Condizioni di stabilità generali dell'area**

#### **Settore settentrionale**

Nonostante la notevole acclività dei versanti, il settore settentrionale (ex territorio comunale di Gerosa) presenta condizioni di stabilità complessivamente discrete, fatto legato alla resistenza -da media a buona- dei materiali rocciosi presenti, alla limitata entità dei depositi superficiali e alla modesta circolazione idrica, sia superficiale che sotterranea.

Sono comunque presenti diverse situazioni d'instabilità dei versanti, sia quiescenti e relitte che attive, la cui tipologia e entità varia in funzione del contesto morfologico e delle caratteristiche dei materiali coinvolti.

In particolare, i settori costituiti da rocce calcareo-dolomitiche (Monti Sornadello e Foldone) e marnoso-calcaree (Monte Zucco di Pralongone) presentano generalmente, nonostante l'acclività a tratti elevata, buone caratteristiche di stabilità d'insieme, essendo costituiti da un substrato roccioso di buona qualità geotecnica e con coperture solitamente di spessore ridotto. In tali settori, l'instabilità dei versanti è in genere legata a rotture localizzate di porzioni limitate degli ammassi rocciosi, cui si associano fenomeni di crollo e di caduta massi.

I versanti formati da argilliti appaiono in generale meno stabili, specie su tratti di maggiore acclività, e sono interessati per lo più da smottamenti e frane di scivolamento, che coinvolgono sia il substrato argillitico che le coperture eluvio-colluviali, e da accumuli di materiale, talora anche di grandi dimensioni. Infine, dove le argilliti sono associate a livelli calcareo-marnosi di frequenza e spessore significativo, alle citate instabilità del substrato e delle coperture (in genere meno rilevanti che nella argilliti) si possono accompagnare anche fenomeni di caduta di massi.

Le situazioni di maggior criticità si rilevano lungo la parte mediana ed inferiore della Valle dei Molini e lungo la Valle Zuccone, ove vi sono diverse aree in erosione e in frana coinvolgenti sia i terreni di copertura che il sottostante substrato argillitico, e sui pendii rocciosi della Valle Predusola e dei soprastanti Monti Sornadello e Foldone, ove sono in atto e sono possibili fenomeni di scivolamento e crollo di roccia.

Accanto ai dissesti attivi e quiescenti sono presenti diverse forme legate a processi gravitativi relitti (antichi e apparentemente non più attivi), che hanno controllato in modo determinante l'evoluzione del territorio. Tali forme, solo localmente accompagnate da depositi, sono evidenti in particolare sui pendii a monte del centro comunale, fra lo Zucco di Pralongone e la Forcella di Bura.

Infine, sono diffusi in tutto il territorio comunale, ed in particolare nei settori mediano e inferiore, i fenomeni di degradazione di orli di scarpata ed erosione degli alvei. Tali fenomeni, di norma di piccola entità, sono più attivi e marcati in corrispondenza dei versanti e degli impluvi della Valle dei Molini e della bassa Valle Predusola.

#### **Settore centro-meridionale**

Situazione sostanzialmente simile, nelle linee generali, si osserva anche nel settore centro-meridionale dell'area, corrispondente all'ex territorio comunale di Brembilla.

I versanti calcareo-dolomitici del Monte Castello della Regina e quelli calcarei che limitano il territorio comunale a sud-ovest e sud-est (Monte Corna Marcia e Monte Zuccone dell'Arco) presentano generalmente buone caratteristiche di stabilità d'insieme, nonostante l'acclività in genere elevata, essendo costituiti da un substrato roccioso di buona qualità geotecnica e con coperture solitamente di spessore ridotto. In tali zone sono presenti ed abbastanza diffusi i fenomeni di caduta massi e del carsismo, con evidenze superficiali sia attive e che fossili.

I versanti formati da argilliti, come già accennato, appaiono invece frequentemente interessati da fenomeni di dissesto di varia entità, ove non più attivi, per lo più testimoniati da vecchie nicchie di distacco e consistenti accumuli di materiale. A riguardo è opportuno ricordare la presenza di importanti frane antiche, quali in particolare

- la paleofrana sul fianco destro della Valle Porno, poco a nord di Lera, evidenziante una generale deformazione del versante,
- la vecchia frana posta appena a monte del paese sul rilievo sovrastante il Cimitero Comunale,
- le frane insistenti sulla Valcava e sul fondovalle del Torrente Brembilla,
- la grande paleofrana di Laxolo.

Fra quelle più recenti ed attuali, si rammentano invece:

- la frana di Camorone,
- la frana di Croce Garateno,

- le frane sulla Val Porno sia in sinistra che in destra, che interessano la parte inferiore della maggiore frana antica citata in precedenza,
- la frana di Lera,
- la frana di Grumello,
- le frane di Laxolo (Area industriale e Caremondi),
- le frane lungo la Valcava.

Di quelle citate alcune frane sono ora state in parte stabilizzate da interventi antropici, altre sono tuttora attive.

Fra le frane antiche si segnala in particolare l'importante paleofrana (probabilmente un collasso gravitativo profondo) originatasi sul versante settentrionale del rilievo Monte Corna Marcia-Colle Moscarino; di questa sono evidenze diverse trincee e contropendenze poste poco sotto la cresta sommitale, un vasto accumulo di blocchi rocciosi calcarei sui ripidi pendii sottostanti la cresta ed il vasto accumulo di materiali detritici calcarei e argillosi che, modellato poi dalle acque superficiali in dossi e avvallamenti, caratterizza tutta la piana di Laxolo con spessori dell'ordine di diverse decine di metri. A tale evento, data la sua evidente importanza, è verosimile riferire anche l'antico sbarramento della Valle Brembilla all'incirca all'altezza di Magnavacche-Sottocamorone, cui probabilmente seguì la formazione di un vasto lago di cui sono evidenze gli importanti depositi osservati in diverse zone del fondovalle, ed in particolare allo sbocco della Valcava.

### **3.3 Inquadramento geologico**

L'area del Comune di Val Brembilla, posta nella cosiddetta «zona prealpina» della Provincia di Bergamo, è caratterizzata da un substrato roccioso costituito essenzialmente da rocce sedimentarie mesozoiche di natura carbonatica e terrigena, per lo più coperte da depositi superficiali in genere di limitato spessore.

In particolare, per quanto concerne la composizione del substrato roccioso si rileva come il territorio possa essere suddiviso a grandi linee in tre ben definiti settori (Fig.2):

- la parte mediana e sommitale del versante sinistro idrografico, caratterizzata da elevati rilievi rocciosi con limitata copertura boschiva (Monte Sornadello, Monte Foldone, Castello della Regina, Pizzo Cerro), è formata da calcari e calcari dolomitici delle unità noriche della "Dolomia Principale" e del "Gruppo dell'Araralta" ("Dolomie Zonate" e "Calcere di Zorzino");
- la parte inferiore del versante sinistro e gran parte di quello destro, caratterizzati invece da minori pendenze, diffusa copertura boschiva e localmente profonde incisioni vallive, è invece impostata su terreni argillitici e marnosi delle unità noriche della "Argillite di Riva di Solto";
- il settore meridionale della valle e la parte superiore di buona parte del versante idrografico destro sono infine caratterizzati da rilievi montuosi di media elevazione (Monte Zuccone dell'Arco, Monte Corna Marcia, crinale Monte Castello-Monte Zucco di Pralongone), formati da calcari, calcari marnosi e calcari selciferi di età retica e giurassica inferiore, appartenenti alle formazioni del "Calcere di Zù", della "Dolomia a Conchodon", del "Calcere di Sedrina" e del "Calcere di Moltrasio".

I depositi superficiali sono molto diffusi, ma sempre per lo più con limitato spessore, sia che si tratti di quelli alluvionali di fondovalle, che di depositi di versante (coperture eluviali, colluviali e detritiche), fatto in certa parte legato alla generale acclività che difficilmente consente la stabilità di materiali con modeste caratteristiche di resistenza. Fanno eccezione alcune zone a modesta pendenza, arealmente circoscritte, poste alla base di estesi versanti formati da rocce terrigene, ove si osservano spessori anche consistenti di materiali colluviali ed accumuli di frana.

In particolare, riguardo ai depositi superficiali, se ne riconoscono di vario tipo:

- eluviali, formati da limi e argille e originati dal degrado delle rocce presenti sui versanti,

- colluviali, dovuti al trasporto ed accumulo dei materiali eluviali sopra citati o al rimaneggiamento di altri depositi,
- detritici, formati da frammenti litici di varia pezzatura originati dal degrado di affioramenti rocciosi,
- accumuli di frana, formati da limi argillosi e massi e creatisi a seguito di fenomeni d'instabilità di versante di varie dimensioni, dai piccoli smottamenti alle frane di maggiori dimensioni quali la recente frana di Camorone e le maggiori paleofrane di Gerosa e Laxolo,
- alluvionali, formati da ghiaia e ciottoli di media pezzatura e con modesto grado di arrotondamento, spesso con matrice sabbioso-limosa, originati dal deposito di materiali trasportati dal Torrente Brembilla e da altri rii minori,
- lacustri, creatisi nella zona di Brembilla e Magnavacche verosimilmente a causa del citato evento di sbarramento della valle ad opera di una grande frana. Sono dati per lo più da limi sabbiosi e argillosi di colore grigio azzurrognolo spesso con livelli di torba, e presentano spessori massimi osservati dell'ordine di 20-25m. Depositi con analoghe caratteristiche geologiche sono presenti localmente anche nella conca di Laxolo.

### **3.3.1 Breve descrizione delle Formazioni del substrato roccioso**

Le formazioni vengono brevemente descritte procedendo da quelle più recenti a quelle più antiche (Fig.3).

#### **"Formazione del Calcare di Moltrasio"**

La formazione, di età Liassica inferiore, è costituita da una successione di calcari (calcareniti) e calcari marnosi con intercalazioni centimetriche di marne grigie fogliettate, caratterizzati da evidente stratificazione medio sottile e piano parallela, da colore bruno-grigio scuro o nerastro, e da abbondante selce nera in grossi noduli. Nella parte inferiore della Formazione sono frequenti intercalazioni di calcareniti-ruditi e paraconglomerati intraformazionali, di colore grigio chiaro, e localmente brecce ad elementi di "Calcare di Sedrina", "Dolomia a Conchodon" e "Calcare di Zù" (Roncola). Tale membro è comunemente indicato come "Membro delle Brecce Liassiche".

L'unità presenta i caratteri tipici degli ambienti di deposizione bacinale e lo spessore massimo è dell'ordine di diverse centinaia di metri. La formazione affiora solamente in corrispondenza del Monte Corna Marcia.

#### **"Formazione del Calcare di Sedrina"**

La formazione è costituita da calcari bioclastici talora dolomitici, calcari oolitici e calcari marnosi con noduli di selce, ben stratificati, di colore variabile da grigio chiaro a grigio scuro. A tetto la formazione può presentare un intervallo decametrico silicizzato, di colore bianco o grigio-scuro e all'interno sono quasi ovunque presenti due importanti livelli fossiliferi, nella parte inferiore e superiore.

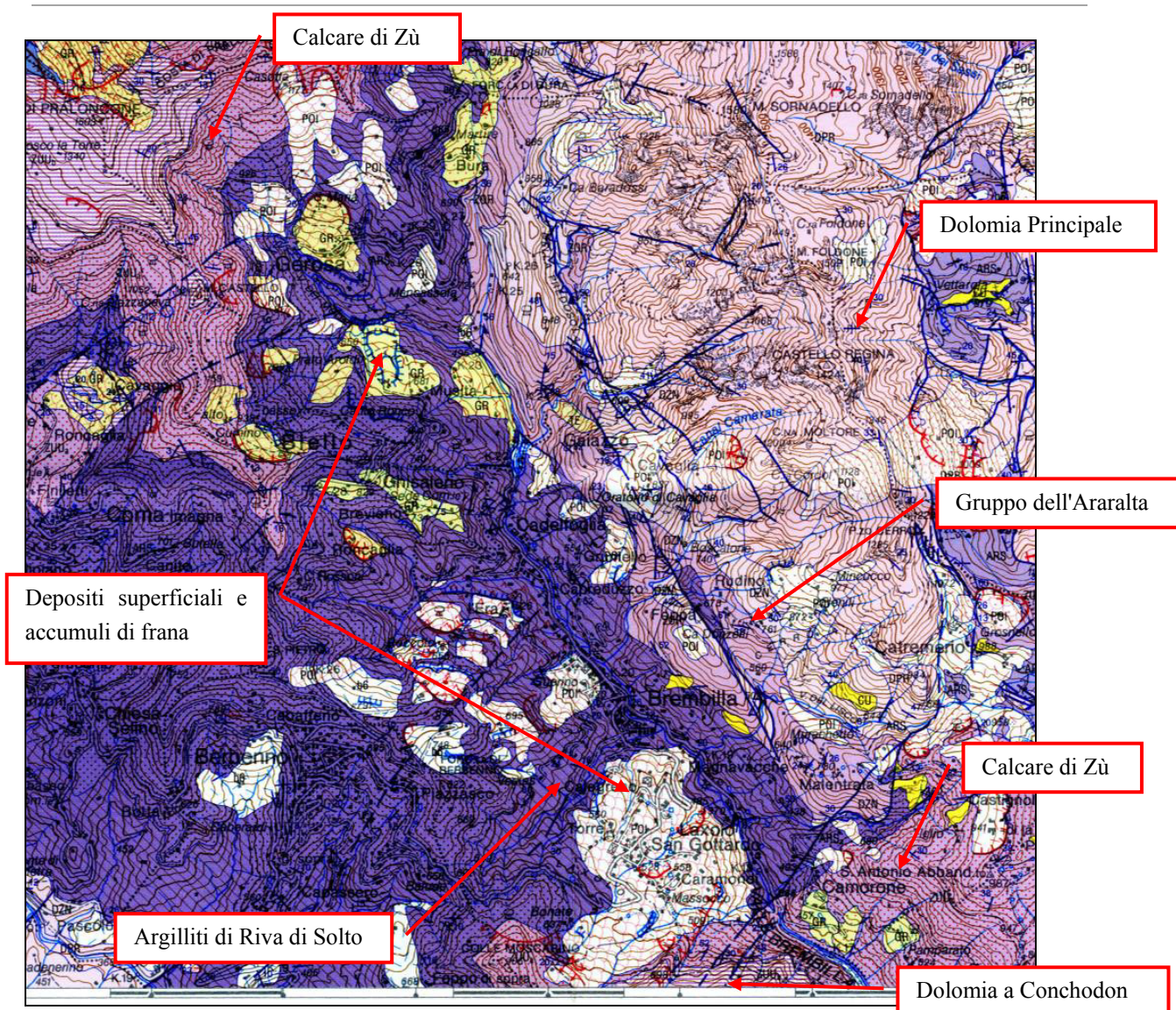
Lo spessore massimo di questa formazione è di 50-70m. La presenza di forti apporti terrigeni e delle numerose intercalazioni di selce nera indicano come ambiente di sedimentazione del "Calcare di Sedrina" un'area bacinale a forte subsidenza. Le considerazioni paleoambientali e il contenuto paleontologico, anche se scarso, hanno permesso di attribuire questa unità al periodo Hettangiano (Giurassico Inf.).

Nell'area in esame, il "Calcare di Sedrina" è osservabile unicamente nel settore meridionale dell'area comunale sul Monte Corna Marcia, a tetto delle bancate della "Dolomia a Conchodon".

#### **"Formazione della "Dolomia a Conchodon"**

Questa formazione è costituita da calcari micritici e oolitici a laminazione parallela, interessati localmente da fenomeni di dolomitizzazione selettiva e tardiva che ha prodotto dolomie cristalline saccaroidi. La stratificazione è massiva o in banchi amalgamati, e nella porzione superiore sono talora riconoscibili piccoli noduli di selce nocciola.





**Fig.2 – Carta Geologica del Comune di Val Brembilla (estratto dalla "Carta Geologica d'Italia" a scala 1: 50.000, Foglio Lecco).**

Il colore è grigio rosa chiaro o nocciola chiaro, e in superficie è generalmente presente una patina di alterazione biancastra pulverulenta. La presenza di diffusa dolomitizzazione dei calcari, unita ad una quasi esclusiva deposizione di sedimenti oosparitici e biosparitici di colore chiaro, testimoniano un ambiente di deposizione di tipo litoraneo. La deposizione della Dolomia a Conchodon avvenne durante l'ultima parte del Triassico (Retico) e chiude la successione triassica in Lombardia.

Morfologicamente la "Dolomia a Conchodon" dà luogo a scarpate verticali o aggettanti, con banconi fessurati lungo sistemi di discontinuità spesso a giacitura verticale. Ai piedi delle scarpate sono spesso presenti macereti legati ai fenomeni di distacco e di crollo.

Gli affioramenti della Dolomia a Conchodon nell'area di Brembilla sono limitati ad una stretta fascia posta nella parte superiore del Monte Corna Marcia, ed ad una fascia alta alcune decine di metri posta sul fianco orientale del monte stesso, lungo la Val Brembilla.

La formazione, costituita da calcari pressoché puri, è da decenni oggetto di coltivazione per la produzione della calce (si ricordano a riguardo le cave di calcare per calce della ditta Unicalce S.p.A., presenti in destra idrografica nel settore inferiore della Valle Brembilla, nel territorio comunale di Ubiale-Clanezzo).

#### **"Formazione del Calcare di Zù"**

Questa formazione è costituita da calcari micritici e bioclastici e calcari debolmente marnosi di colore grigio scuro o grigio nerastro, in strati decimetrici piano paralleli o in banchi plurimetrici costituiti da strati amalgamati. Sono subordinate le intercalazioni di marne e, più raramente, di argilliti marnose fogliettate nerastre il cui spessore varia da decimetrico a metrico. Secondo la più recente bibliografia, l'unità è suddivisibile in 3 o 4 membri a seconda del prevalere della componente carbonatica o di quella terrigena: i litotipi più argillosi sono presenti alla base e alla sommità della formazione (membro inferiore e superiore), mentre quelli più carbonatici (banchi di calcari fossiliferi o bioclastici) sono in posizione intermedia nella zona al passaggio con la "Dolomia a Conchodon".

Lo spessore del "Calcare di Zù", nell'area in esame, è di circa 400m. L'abbondante presenza di forme fossili, tutte esclusivamente del Retico (Triassico superiore), e alcune considerazioni di tipo mineralogico permettono di indicare come area di deposizione un ambiente caratterizzato per lo più da acque poco profonde, tranquille e ben ossigenate, con locali episodi di ambiente a maggiore energia.

Nel comune di Val Brembilla gli affioramenti del "Calcare di Zù" sono osservabili esclusivamente nella porzione meridionale del territorio, lungo il fondovalle, il pendio sottostante Sant'Antonio Abbandonato ed il versante orientale del Monte Corna Marcia. Essi mostrano una giacitura per lo più immergente verso Ovest e Nord Ovest con inclinazioni modeste.

#### **"Formazione delle Argilliti di Riva di Solto"**

La formazione è costituita da argilliti e argilliti marnose grigio-nerastre, finemente laminate e irregolarmente alternate a sottili strati di micriti nere ben stratificate. Le intercalazioni calcaree e calcareo marnose sono più frequenti nella parte alta della formazione.

In particolare, secondo la più recente bibliografia, la formazione delle "Argilliti di Riva di Solto" è suddivisibile in due litozone, una superiore costituita da alternanze cicliche di litotipi argilloso-marnosi e carbonatici, ed una inferiore prevalentemente argillitico-marnosa.

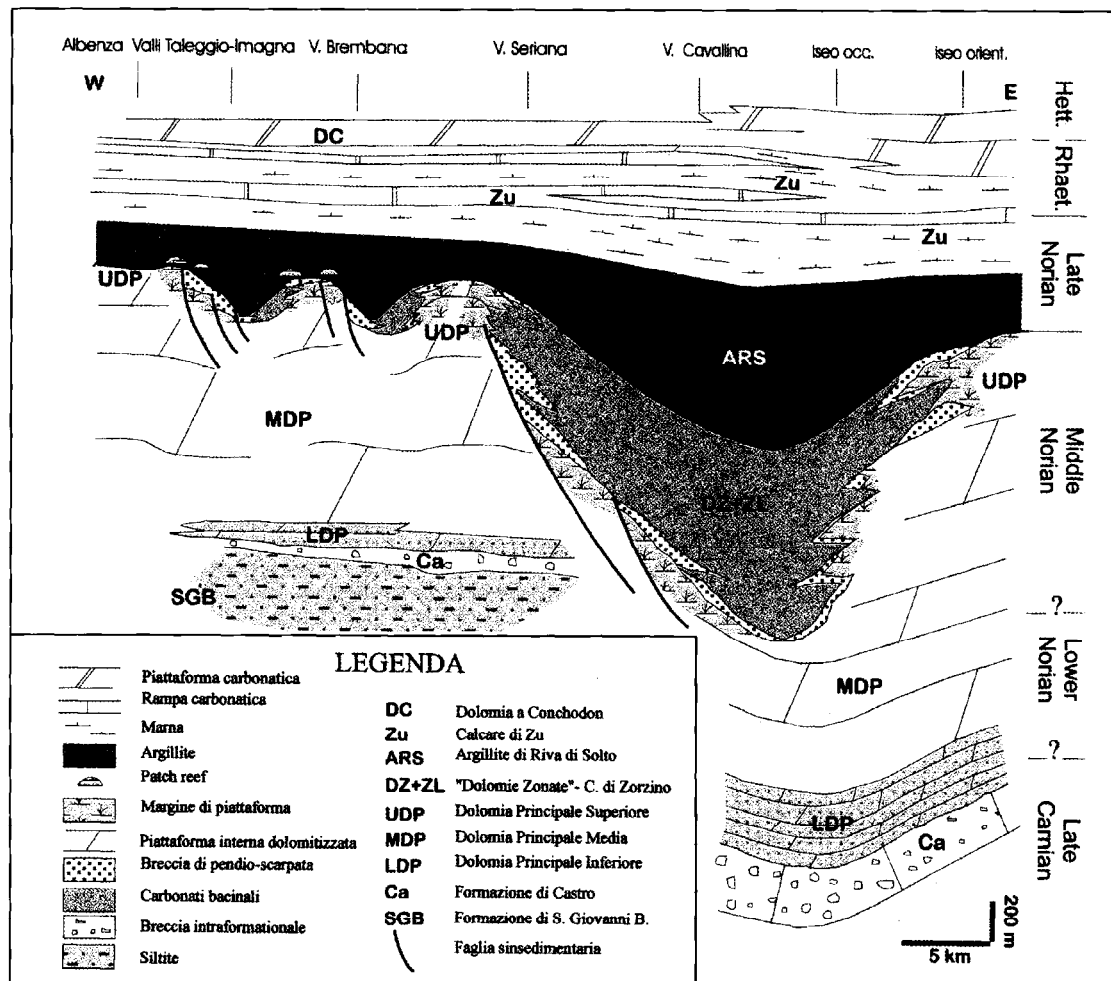
Lo spessore dell'unità è mediamente di poche centinaia di metri (circa 200-350m) in tutta la sua area di affioramento, che approssimativamente si estende dal lago di Iseo a quello di Como. I caratteri litologici e paleontologici dell'Argillite di Riva di Solto permettono di riferire la stessa ad un ambiente deposizionale di mare poco profondo e tranquillo, con abbondanti apporti terrigeni fini. La formazione è particolarmente ricca di fossili (soprattutto bivalvi e brachiopodi), che permettono la sua attribuzione al piano Norico (Triassico medio).

Nell'area comunale, le "Argilliti di Riva di Solto" sono senza dubbio una delle formazioni più importanti e rappresentate: esse affiorano in tutto il fondovalle e nella parte basale del versante sinistro idrografico, da Cadelfoglia fino a Sottocamorone, e lungo gran parte del versante idrografico destro, fatta eccezione per la zona sommitale della Corna Marcia e per il versante della stessa rivolto verso la Val Brembilla. La giacitura è mediamente rivolta verso Ovest con medio-bassa inclinazione.

#### **"Gruppo dell'Araralta": Formazioni del Calcare di Zorzino e delle Dolomie Zonate"**

Le "Dolomie Zonate", con le "Brecce poligeniche intrabacinali" e il "Calcare di Zorzino" costituiscono il cosiddetto Gruppo dell'Araralta, unità che raggruppa le varie successioni bacinali depostesi all'interno della piattaforma





**Fig.3 – Schema dei rapporti stratigrafici delle formazioni Triassiche delle Prealpi Bergamasche (da "Note illustrative alla Carta Geologica della Provincia di Bergamo").**

carbonatica della "Dolomia Principale". Tale gruppo è riferibile alla parte media del piano Norico e, nella successione stratigrafica, è eterotipico con la parte superiore della "Dolomia Principale" (nella zona d'interesse si può comunque ragionevolmente considerare che il Gruppo dell'Araralta sia stratigraficamente a tetto della "Dolomia Principale").

Il "Calcare di Zorzino" è costituito da una successione monotona di calcari micritici neri, spesso laminati e fetidi, con intercalazioni calcarenitiche ruditiche. La stratificazione è sempre ben evidente con strati piano-paralleli di spessore da centimetrico a pluridecimetrico, con rare sottili intercalazioni centimetriche di marne nere.

La Formazione delle "Dolomie Zonate" è formata in prevalenza da doloareniti e dolosiltiti di colore grigio scuro, con intercalati sottili livelli di marne dolomitiche nerastre.

L'unità delle Breccie sommitali è formata da breccie dolomitiche carbonatiche poligeniche con geometrie lenticolari, con clasti di dimensioni centimetriche. Lo spessore della litofacies varia da pochi metri ad un massimo di alcune decine di metri.

Lo spessore massimo dell'unità è di circa 200m. Essa affiora essenzialmente sul versante idrografico sinistro della valle, nella fascia posta a metà pendio poco sotto le rocce dolomitiche che costituiscono la sommità dei rilevi (Valle Faggi, Cavaglia, Cerro, Malentrada, ecc.).

#### **"Formazione della Dolomia Principale"**

L'unità presenta alla sua base un membro costituito da dolomie ben stratificate scure (doloareniti e dolosiltiti), quindi nella parte centrale dolomie chiare in grossi banchi metrici organizzate in cicli di spessore fino a decametrico, ed infine nella parte superiore facies più massive di colore da grigio chiare a scure, formate da breccie dolomitiche poligeniche e da bio-litoclastiti.

I caratteri litologici e paleontologici della "Dolomia Principale" permettono di riferire la stessa ad un ambiente deposizionale di piattaforma carbonatica dolomitizzata precocemente. Lo spessore dell'unità è mediamente variabile da 900 a 1.500m in tutta la sua area di affioramento, che approssimativamente si estende dal Lago di Iseo a quello di Como.

Nell'area comunale, la "Dolomia Principale" è senza dubbio una delle formazioni più importanti e rappresentate: essa affiora lungo l'intera parte superiore del versante idrografico sinistro dalla sommità fino approssimativamente alla quota di circa 700-800m s.l.m., formando fra l'altro i rilievi dei Monti Sornadello, Foldone, Castello della Regina, Corno e Cerro. La giacitura è mediamente rivolta verso Ovest con medio-bassa inclinazione.

### **3.4 Inquadramento strutturale**

#### **3.4.1 Assetto generale**

La Catena Alpina, dal punto di vista strutturale, è un rilievo montuoso caratterizzato dalla presenza di due catene a falde che si sono deformate in senso opposto, rispettivamente verso Nord Ovest e verso Sud.

La catena a vergenza europea, o "Catena Alpina s.s." è formata da diversi sistemi tettonici (falde) traslati, a partire dal Cretacico, verso Nord Ovest, cioè verso l'Avampaese europeo. La catena a vergenza africana, conosciuta come "Alpi Meridionali o Sudalpino", è invece formata da un sistema tettonico che, a partire dal Neogene, si è deformato verso Sud (cioè verso l'Avampaese padano-adriatico) con stile deformativo caratterizzato dalla presenza di pieghe e sovrascorrimenti.

Il contatto tra le due catene ad opposta vergenza è tettonico e prende il nome di Lineamento Periadriatico (il suo segmento occidentale è chiamato Linea Insubrica): si tratta di un sistema di fratture subverticali, attive dal Neogene con prevalente carattere trascorrente, che comprende, a partire da Ovest, la Linea del Canavese, la Linea del Tonale, la Linea della Pusteria, del Gaital e delle Karawaken.

Le Alpi Bergamasche fanno parte delle Alpi Meridionali le quali, da un punto di vista paleogeografico, vengono considerate un frammento di un continente, originariamente posto a Sud dell'"Oceano Ligure-Piemontese" (paleo-Africa). Tale porzione di catena è formata da un basamento cristallino metamorfosato e da una copertura sedimentaria di età compresa tra il Carbonifero superiore ed il Cretacico.

L'evoluzione strutturale della catena è caratterizzata da una complessa e prolungata sequenza di eventi deformativi; in particolare sono state riconosciute:

- due o più fasi deformative principali prealpine, responsabili del metamorfismo del basamento cristallino;
- una tettonica distensiva iniziata nel Permiano e protrattasi fino al Giurassico medio, culminata con l'apertura dell'Oceano Ligure-Piemontese; in tale periodo si individuò il cosiddetto "Bacino Lombardo", all'interno del quale si depositarono i sedimenti che poi hanno dato luogo alle rocce presenti nell'area in esame;
- una tettonica compressiva iniziata nel Cretacico superiore e perdurata, anche successivamente alla collisione continentale, sino al Neogene.

L'attuale configurazione strutturale della catena è il risultato della tettonica compressiva di età alpina, che ha dato luogo ad una fascia di rilievi interessati da pieghe, pieghe-faglie e sovrascorrimenti "pellicolari" (fold-thrust chain). L'edificio strutturale che ne è derivato risulta particolarmente complesso e può essere schematicamente suddiviso, da Nord a Sud, in tre settori (Fig.4):

- Basamento cristallino ("Zona orobica") ed "Anticlinale orobica s.s." La "Zona orobica" costituisce la più settentrionale delle zone nelle quali viene tradizionalmente suddivisa la catena. Essa è costituita da rocce del basamento metamorfico accavallate sulle loro coperture permo-triassiche lungo un fascio di linee tettoniche in parte vicarianti, talora "en échelon", orientate E-O, che in letteratura sono conosciute come Linea Orobica. A Sud di questa è presente una stretta fascia costituita da strutture anticlinali che coinvolgono sia il basamento cristallino, che la copertura sedimentaria permo-triassica.
- Settore centrale comprendente la successione triassica. L'assetto strutturale di questa zona è particolarmente complesso nella fascia settentrionale dove, a ridosso delle anticlinali orobiche, si sviluppa un sistema di faglie OSO-ENE e E-O, noto in letteratura come "Linea Valtorta-Valcanale". A Sud di tale sistema si sviluppa un edificio strutturale alloctono formato dalla successione triassica ("Parautoctono ed unità alloctone" Auct.).
- Settore frontale comprendente le unità giurassico-cretaciche. Sul fronte della catena è presente un'ampia fascia costituita da unità giurassico-cretaciche e caratterizzata da un fascio di pieghe associate a thrust con assi orientati E-O ("Zona a pieghe e pieghe faglie" Auct.).

L'area di studio ricade nel settore centrale e meridionale del cosiddetto "Parautoctono Brembano", e comprende anche parte del settore frontale della catena detto "Zona a pieghe di Zogno-Clanezzo". La delimitazione tra questi due settori è marcata dalla presenza del Sistema di faglie Roncola-Catremerio-M.Molinasco, la cui componente di trascorrenza si riduce progressivamente verso Sud e viene assorbita nella propaggine orientale dell'anticlinale dell'Albenza

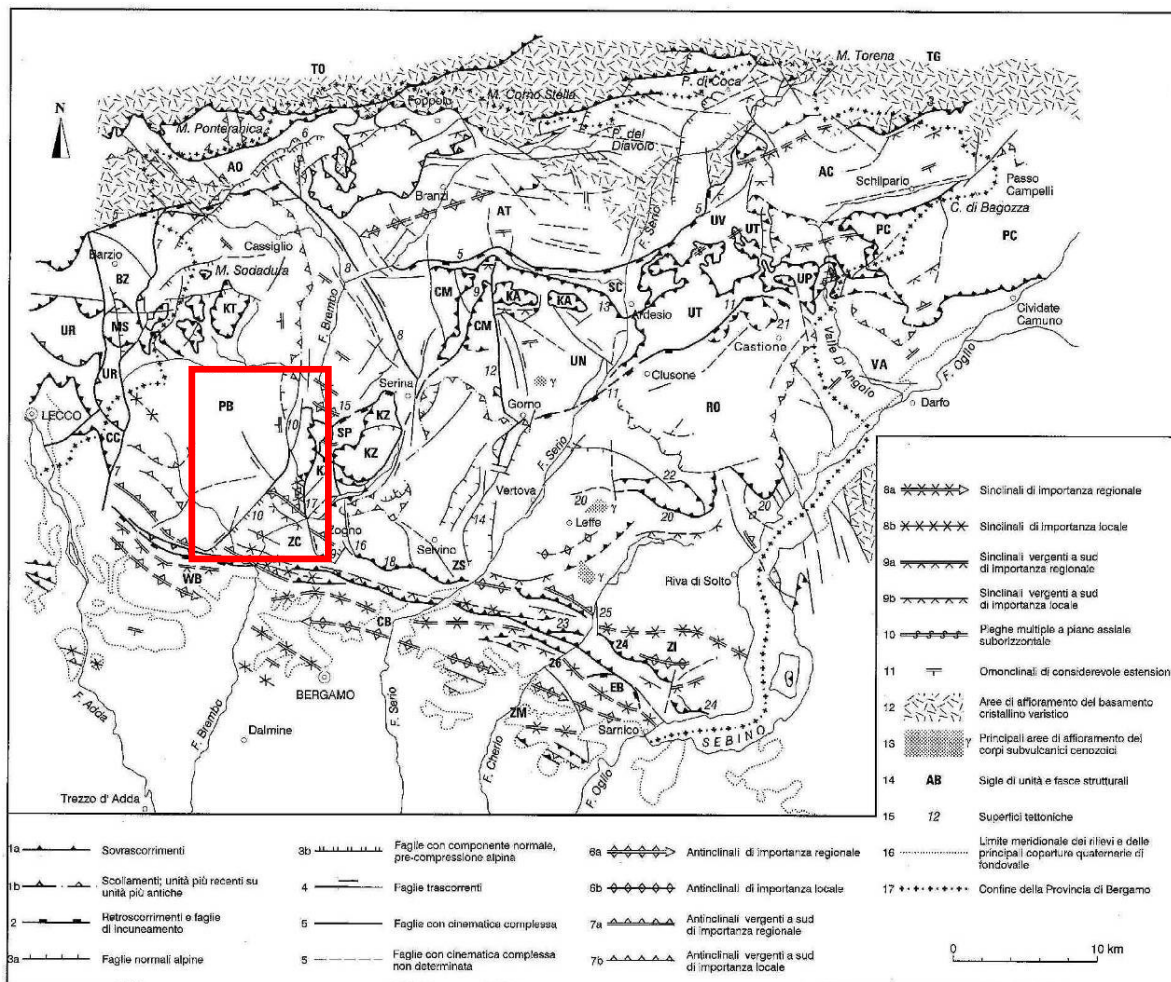
### **3.4.2 Situazione locale**

In merito all'assetto strutturale locale, i principali elementi presenti nell'area comunale di Brembilla sono i seguenti:

- Il "Parautoctono Brembano", formato da rocce di età norico-retica in assetto monoclinale, con generale giacitura della stratificazione immergente a Sud-Ovest con media inclinazione. La monoclinale, ben evidente soprattutto sul fianco sinistro della valle, presenta nella parte superiore del versante le rocce più antiche della "Dolomia Principale" (che formano tutta la parte superiore del rilievo Castello della Regina-Cancervo), quindi in quella mediana ed inferiore le rocce più recenti del "Gruppo dell'Araralta" e delle "Argilliti di Riva di Solto", formazione che caratterizza l'intero fondovalle della Val Brembilla e buona parte del versante destro idrografico. La struttura è intersecata nel settore inferiore da faglie di tipo trascorrente destro. La "Dolomia Principale" è interessata da diverse discontinuità tettoniche (fratture e faglie a diversa scala), di cui le principali sono orientate NO-SE e NE-SO e sono spesso evidenziate da profonde incisioni e da marcati canali che interrompono la continuità dei banchi dolomitici.

La "Zona a pieghe di Zogno-Clanezzo", presente a Sud della Linea tettonica di Roncola-Catremerio-M.Molinasco, caratterizza il settore inferiore della Val Brembilla. In tale zona si osserva essenzialmente una monoclinale immergente verso Nord Ovest, troncata, in prossimità della confluenza del Torrente Brembilla con il Fiume Brembo, da una marcata piega anticlinale, ben evidente soprattutto nella zona della cava Unicalce.

- Il Sistema di faglie Roncola-Catremerio-M.Molinasco, presente nella bassa Valle Brembilla, dove separa le due unità sopra descritte. Tale sistema è osservabile sul fianco Nord del Monte Corna Marcia, quindi nel fondovalle del Torrente Brembilla, nella Valle di Camorone, e nella zona di Catremerio, dove corre nella



**Fig.4 – Carta strutturale delle Prealpi Bergamasche (da "Note illustrative alla Carta Geologica della Provincia di Bergamo", anno 2000).**

vallecola posta a Sud del Pizzo Cerro.

- Il sistema di faglie normali con componente di trascorrenza ben evidenti lungo l'intero versante sinistro idrografico della valle (faglia M.Venturosa-M.Cancervo, faglia M.Sornadello-M.Castello, faglia di Cavaglia-Forcella di Bura).
- Sistemi di fratture e faglie aventi orientazione NO-SE e NE-SO, ben evidenti sia nell'area dolomitica del Monte Castello della Regina, sia nella zona argillitica del versante destro della valle, dove presumibilmente danno origine alle principali incisioni vallive.

### **3.5 Inquadramento meteoroclimatico**

#### **3.5.1 Precipitazioni**

Nel territorio comunale di Val Brembilla, fino alla fine del 2010 non erano presenti stazioni di rilevamento meteorologico e climatico, fatta eccezione per un pluviometro installato in località Camorone dalla Provincia di Bergamo nell'ambito delle attività di messa in sicurezza della frana del 2002 (non è stato possibile sapere se tale strumento sia ancora funzionante). Negli ultimi anni è stata installata una nuova stazione meteo nel paese di Brembilla, ubicata presso il Cimitero comunale e composta da un pluviometro, un barometro, un termometro ed un anemometro.

Alla luce di tale situazione, per una generale caratterizzazione dell'area si è fatto riferimento ai dati rilevati da stazioni presenti in aree vicine appartenenti alla rete del Servizio Idrografico e ai dati di piovosità rilevati da una stazione di misura un tempo presente nella zona centrale del paese di Brembilla.

In particolare, sono state raccolte osservazioni riguardanti:

- regime pluviometrico;
- regime delle temperature;
- umidità e evapotraspirazione.

Oltre a ciò sono stati considerati gli studi esistenti, fra cui in particolare la pubblicazione della Regione Lombardia *"Carta delle precipitazioni medie, minime e massime annue del territorio alpino della Regione Lombardia"* (Ceriani e Carelli, 2001).

#### **Precipitazioni nelle stazioni meteorologiche vicine**

Stazione di Zogno. I dati pluviometrici relativi al periodo 1951-1986 misurati alla stazione di Zogno, facente parte della rete del Servizio Idrografico, sono probabilmente quelli che meglio descrivono la situazione dell'area della Val Brembilla (quanto meno del settore inferiore), data la modesta distanza e le complessivamente analoghe condizioni morfologiche dell'area. Le precipitazioni annuali nel periodo indicato variano da un minimo di 1.193mm di pioggia nel 1955 a un massimo di 2.612mm nel 1977, con una media su tutto il periodo di 1.698mm di pioggia. I massimi di precipitazioni nel corso dell'anno si sono sempre avuti nel periodo settembre-ottobre (fino a 550mm/mese di pioggia in ottobre), mentre i minimi sono stati registrati in genere, salvo rare eccezioni, nei mesi di dicembre gennaio e febbraio (da 0 a 10mm di pioggia).

Stazione di San Pellegrino. I dati sopra esposti sono nel complesso confermati anche dall'andamento delle precipitazioni registrate alla Stazione di San Pellegrino nel periodo 1921-1991, dove si sono rilevate precipitazioni variabili fra un minimo di 863mm e un massimo di 2.415mm, con una media su tutto il periodo di 1.459mm di pioggia.

Stazione di Roncola. Valori di precipitazione leggermente inferiori a quelli descritti sono invece stati registrati alla Stazione di Roncola, dove si sono osservati valori di precipitazione annuale media variabili da un minimo di 762mm ad un massimo di 2.211mm, con una media su tutto il periodo di 1.407mm di pioggia.

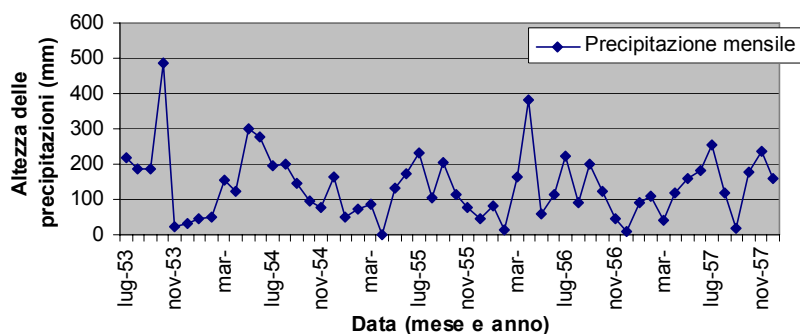
Stazione di Bergamo. I dati sopra esposti sono nel complesso confermati anche dall'andamento delle precipitazioni registrate alla Stazione di Bergamo nel periodo 1958-1989, dove si sono rilevate precipitazioni variabili fra un minimo di 862mm nel 1983 e un massimo di 1.773mm nel 1977, con una media su tutto il periodo di 1.173mm di pioggia. Relativamente alle precipitazioni, i dati disponibili evidenziano come i massimi valori delle precipitazioni si registrino nei mesi tardo-primaverili, estivi ed autunnali. Il massimo assoluto è stato infatti osservato nel mese di ottobre (130,0 mm), ma valori elevati si sono registrati anche nei mesi di agosto (128,8 mm) e novembre (121,9 mm). I valori minimi si sono osservati nei mesi da dicembre a febbraio, con un minimo assoluto in febbraio (66,8 mm).

### **Precipitazioni a Brembilla**

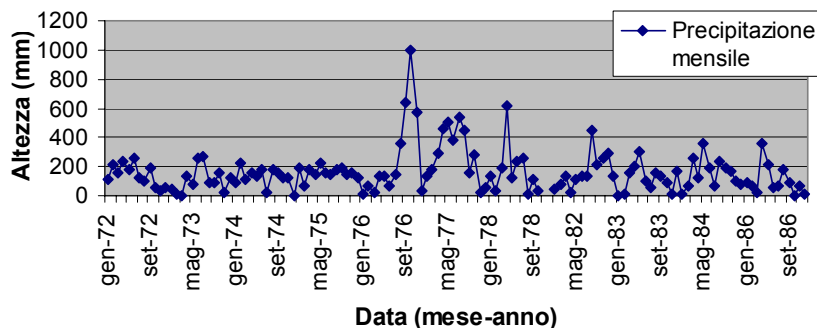
Gli unici dati meteorologici relativi alla Valle Brembilla provengono dalla stazione pluviometrica un tempo presente nel centro del paese di Brembilla. A tale stazione, denominata "Stazione n.999" e localizzata presso le Scuole Medie Comunali, fanno riferimento i dati relativi ai periodi '40-'48, '53-'57, '72-'78 e '82-'86, che sono stati analizzati dal sottoscritto nel corso dello Studio Geologico per il PRG di Brembilla e che vengono di seguito presentati.

I dati relativi alla Stazione n.999 nei periodi '40-'48, '53-'57, '72-'78 e '82-'86 (Fig.5) evidenziano un valore medio di precipitazione mensile di circa 130-150mm, ed uno annuale, calcolato su tutti gli anni in questione, di circa 1.840mm, con un minimo di 1.207mm nel 1986 ed un massimo di 3.438mm nel 1977. Dai dati raccolti è poi possibile (con riferimento ai valori medi) notare che il regime delle precipitazioni presenta due massimi stagionali, il primo in primavera ed il secondo in autunno, fatto che denota un clima di tipo Sublitoraneo Alpino. Il valore minimo di precipitazione media si ha nei mesi di dicembre, gennaio, febbraio e marzo, quando sono possibili precipitazioni mensili di poco superiori ai 10-20mm.

**Precipitazioni nel Comune di Brembilla nel periodo  
1953 - 1957**

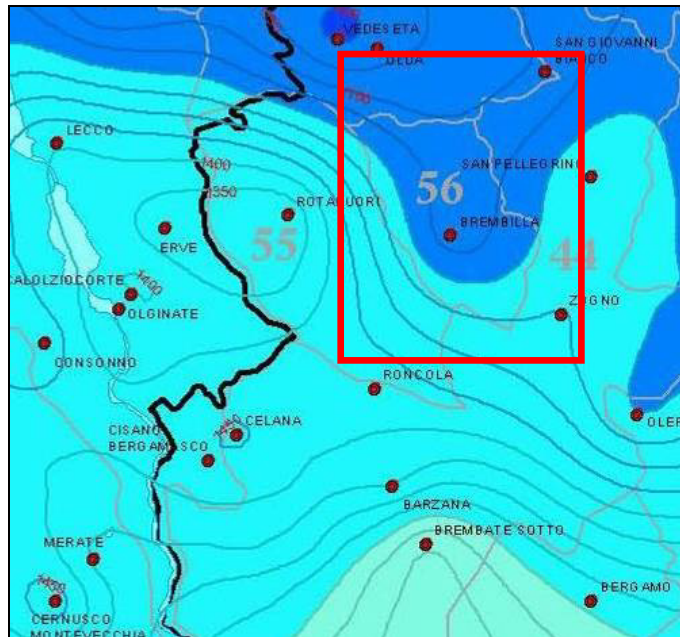


**Precipitazioni mensili nel Comune di Brembilla nel  
periodo 1972-1978 e 1982-1986**



**Fig.5 – Precipitazioni registrate dalla vecchia Stazione meteorologica di Brembilla.**

Lo studio dei dott. Ceriani e Carelli (Fig.6), effettuato sulla base di osservazioni condotte per 38 anni nel periodo 1921-1977 da una stazione nel centro di Brembilla di cui non è nota la posizione (molto probabilmente è la stessa citata in precedenza), ha poi permesso di valutare i seguenti valori medi, massimi e minimi della precipitazioni annuali a Brembilla: Valore medio: 1.694mm, Valore massimo: 3.438mm, Valore minimo: 816mm.



23



- hc: altezza di pioggia espressa in mm caduta in un tempo pari al tempo di corrvazione,
- Tc: tempo di corrvazione,
- a ed n: parametri della curva funzione della zona geografica e del tempo di ritorno considerato.

L'altezza di precipitazione, misurata in mm, è l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo su una superficie orizzontale ed impermeabile, in un certo intervallo di tempo (durata della precipitazione) ed in assenza di perdite.

Non essendo disponibile la serie pluviometrica completa relativa all'area studiata, per una stima delle piogge di massima intensità che con diversi tempi di ritorno possono verificarsi sul territorio comunale, si può far riferimento ai dati riportati nella Direttiva n. 2 del P.A.I. *"Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica"* - Allegato n.3 *"Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense – Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni"*. Tale studio fornisce infatti, a scala di bacino del Fiume Po, una stima dei parametri "a" e "n" (parametri caratteristici delle relazioni "altezza di pioggia-durata" e noti come "linee segnalatrici di possibilità pluviometrica") relativi ad aree geografiche omogenee (celle) e a diversi tempi di ritorno Tr (Tab.1).

L'area centrale di Gerosa è per buona parte compresa nella cella DS62 con coordinate Est 545000, Nord 5077000 (punto posto in Valle dei Molini, a nord di Musita), mentre quella centrale di Brembilla ricade nella cella DT63 con coordinate Est 547000, Nord 5075000 (punto posto poco a Est di Grumello) per cui valgono i seguenti parametri (Direttiva n.2, All.3):

Tr	a	n
20 anni	54,67	0,308
100 anni	69,67	0,301
200 anni	76,08	0,298
500 anni	84,54	0,295

**Gerosa**

Tr	a	n
20 anni	54,44	0,302
100 anni	69,34	0,294
200 anni	75,71	0,291
500 anni	84,12	0,288

**Brembilla**

**Tab.1 – Parametri delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica relativi ai centri di Gerosa e Brembilla, per diversi tempi di ritorno (Tr), riportati nella Direttiva n. 2 del P.A.I.**

Nello *"Studio idrologico ed idraulico, finalizzato ad una proposta di nuova delimitazione dell'area classificata nella carta del dissesto del P.A.I. come area a pericolosità molto elevata per esondazioni"* (Dott. Geol. A. Azzoni e Ing. G.Pasinetti, 2002) i dati pluviometrici, anziché dalla Direttiva n.2 del P.A.I., sono stati calcolati, utilizzando il metodo della distanza inversa, sulla base di quelli delle vicine stazioni di Bergamo, Gorno in Val del Riso, Clusone in media Val Seriana e San Martino de Calvi in alta Val Brembana (Tab.2).



Trattandosi del torrente principale e nell'ipotesi che, vista la conformazione morfologica della valle ed il tempo di corrivazione del torrente (circa 2 ore), un evento meteorico di tale durata non coinvolga con la massima intensità contemporaneamente tutta la valle, gli stessi sono poi stati ragguagliati all'area dell'intero bacino idrografico (35,52kmq) utilizzando il metodo Italiano proposto da Columbo. I parametri calcolati sulla base di quelli delle stazioni vicine (a, n) sono quindi stati modificati nei parametri a' e n' riportati nella seguente Tab.3.

Tro	a	n	a'	n'
2 anni	19,632	0,33	14,714	0,356
5 anni	36,491	0,34	27,359	0,366
10 anni	41,919	0,33	31,429	0,356
100 anni	58,993	0,32	44,231	0,346

**Tab.2 – Parametri delle linee segnalatrici, ragguagliati sull'intera Valle Brembilla.**

### **3.5.2 Temperatura**

Per quanto riguarda le temperature, i dati disponibili sono relativi alle stazioni di Bergamo e San Pellegrino, entrambe poste in contesti abbastanza diversi da quello in esame, ma comunque utilizzabili come riferimento di massima per eventuali estrapolazioni.

A Bergamo si osserva, nel periodo 1958-1989, che la temperatura minima mensile (valore medio delle temperature minime giornaliere) varia da un minimo di  $-2.0^{\circ}$  in gennaio ad un massimo di  $17^{\circ}$  in luglio, mentre la temperatura massima mensile varia da un minimo di  $5.5^{\circ}$  in gennaio ad un massimo di  $28.2^{\circ}$  in agosto.

I dati della stazione di San Pellegrino (riferiti al solo 1976, ma nel complesso indicativi della situazione generale) confermano in parte quanto sopra riportato, con temperature minime mensili comprese fra  $-2.3^{\circ}$  in gennaio e  $15.4^{\circ}$  in luglio, e temperature massime mensili comprese fra un minimo di  $5^{\circ}$  in dicembre e un massimo di  $30.1^{\circ}$  in luglio.

### **3.5.3 Evapotraspirazione**

Alla stazione meteorologica di Bergamo, l'evaporazione misurata su un periodo di circa 30 anni (1958-1989) è di 541mm, pari a circa il 48.5% della precipitazioni registrate (valore medio annuale pari a 1.173mm), con variazioni annuali dal 25-30% al 60-70%. Alla stazione di Bergamo l'evapotraspirazione (acqua direttamente evaporata e acqua traspirata, che viene eliminata dal metabolismo delle piante), calcolata con il metodo di Thornthwaite sui dati relativi all'intervallo temporale 1972-1985, rappresenta all'incirca il 70% delle precipitazioni. La seguente Tab.4 riporta i principali parametri ricavati dai calcoli effettuati relativi ai singoli mesi ed all'anno completo.

### **3.5.4 Umidità dell'aria**

L'umidità relativa dell'aria è disponibile solo per la stazione di Bergamo. Nel periodo 1978-1987, il parametro misurato alle ore 8, varia da 76% di maggio e giugno a 85% di dicembre, misurato alle ore 14 varia da 52% di giugno e luglio a 74% di dicembre, misurato alle ore 19 varia da 50% di luglio a 86% di novembre e dicembre.

### **3.5.5 Stato del cielo**

Per quanto riguarda lo stato del cielo, a Bergamo nel periodo 1958-1987 il valore medio delle giornate serene annuali è di 91 giorni, mentre di quelle completamente e parzialmente coperte è rispettivamente di 114 e 160 giorni..

	Temperatura (°C)	Precipitazioni (mm)	Evapotraspirazione. potenziale e reale (mm)	Deflusso superficiale (mm)
Gennaio	4,0	77,1	3,3	57,6
Febbraio	5,6	52,9	7,2	50,2
Marzo	9,5	89,6	25,6	57,5
Aprile	13,7	83,3	53,2	42,3
Maggio	17,6	151,1	91,1	50,0
Giugno	22,1	96,7	132,5	24,1
Luglio	25,4	82,9	166,0	12,6
Agosto	24,6	120,6	144,5	5,3
Settembre	21,3	99,7	97,8	3,6
Ottobre	14,8	120,2	48,9	0,0
Novembre	8,4	76,9	15,1	29,4
Dicembre	4,7	66,7	4,3	44,4
Anno	14,3	1117,8	789,6	377,1

**Tab.3 – Bilancio idrologico relativo alla stazione di Bergamo nel periodo 1972-1985 (da "Piano di Bacino del Fiume Adda" redatto da Aquater per il Ministero dei L.L.P.P. ed il Magistrato del Po).**

### **3.6 Inquadramento idrologico**

L'elemento fondamentale dell'area comunale è il Torrente Brembilla, che solca la valle per tutta la sua lunghezza raccogliendo via via il contributo di diversi importanti affluenti.

Di questi, muovendo da nord e sud, in destra idrografica si ricordano:

- il Torrente della Valle dei Molini, proveniente dal Monte Zucco di Pralongone, a monte di Gerosa,
- il Rio della Valle dell'Alluera, corso d'acqua proveniente dall'area di Blello,
- il Torrente Porno, proveniente dal crinale Monte Castello-Colle San Piero, nell'area comunale di Blello,
- il Torrente Valcava, proveniente dalla Forcella di Berbenno,
- il Rio di Caremondi, detto anche "della Valle del Molino", proveniente dal terrazzo di Laxolo,

ed in sinistra idrografica:

- il Rio della Valle Bura, che si origina sotto la Forcella omonima e, a valle della confluenza con la Valle dei Molini, prende nome di Torrente Brembilla,
- il Torrente della Valle Predusola (o Valle degli Spini), cui afferisce l'importante rio della Valle dei Faggi, provenienti da Monte Sornadello e dal Monte Castello della Regina,
- il Rio dei Tesotti, proveniente dall'area di Cavaglia,
- il Rio di Rudino, detto anche "della Valle del Molino", proveniente dal Pizzo Cerro,
- il Torrente della Valle del Lisco, proveniente dal Monte Zuccone dell'Arco,
- il Rio della Valle della Tenuta, proveniente dal Monte Zuccone dell'Arco - Prisa alta.

Relativamente al Torrente Brembilla, esso presenta un bacino imbrifero di circa 35,5kmq ed una lunghezza dell'asta principale di circa 12km. Per quanto riguarda il suo reticolo idrografico, adottando la classificazione topologica di Horton, l'asta principale del Torrente Brembilla è risultata di ordine 6.

Riferendosi allo studio idrologico ed idraulico già citato (dott. A. Azzoni e ing. G. Pasinetti, 2002), si riportano i principali parametri morfometrici ed idrologici relativi al bacino imbrifero del Torrente Brembilla e dei principali affluenti minori, valutato al loro sbocco (Tab.4). Si segnala che tutti i corsi d'acqua riportati presentano deflusso permanente, con notevoli variazioni di portata in funzione del regime pluviometrico.

Corsi d'acqua	Area bacino (kmq)	Lunghezza asta (km)	Tempo di corrvazione (ore)	Portata per Tr: 100 anni (mc/s)
Valle Porno	2,88	2,61	0,78	21,8
Valcava	2,03	2,25	0,80	15,3
Valle dei Molini	7,83	4,46	1,12	46,1
Valle Predusola	4,99	4,86	0,91	31,2
Valle Tuf	3,09	3,33	0,68	22,1
Valle del Lisco	3,72	3,83	0,74	25,6
Valle della Tenuta	1,62	2,53	0,55	14,4
T.Brembilla. Cadelfoglia	13,64	5,96	1,37	69,2
T.Brembilla Ponte Roma	21,30	7,40	1,80	90,4
T.Brembilla Magnavacche	27,34	7,99	1,92	110,5
T.Brembilla Sottocamorone	31,65	9,29	2,17	118,5
T.Brembilla Ponti Sadrina	35,52	12,04	2,30	127,9

**Tab.4 – Parametri morfometrici ed idrologici relativi al bacino imbrifero del Torrente Brembilla e dei principali affluenti (da "Studio idrologico ed idraulico per la ripermetrizzazione P.A.I.").**

### **3.7 Inquadramento idrogeologico**

Il territorio comunale di Val Brembilla è caratterizzato dalla presenza di depositi di copertura di natura eluviale, colluviale e detritica, che ricoprono con spessori generalmente da modesti a medi il substrato roccioso, il quale è formato, a seconda delle zone, da calcari dolomitici, da argilliti e marne, e da calcari con subordinate marne.

La permeabilità dei terreni presenti è considerevolmente differente, e da essa dipende la risposta del territorio agli afflussi meteorici.

- Sono generalmente a permeabilità elevata i depositi fluviali, torrentizi e detritici e, per quanto riguarda il substrato, le zone con calcari e dolomie, specie se interessati da fenomeni carsici; sono invece a permeabilità media le zone coperture eluviali di medio spessore e le zone con detriti vegetati, e per il substrato le aree con calcari e marne in alternanza. In tali zone ad alta e media permeabilità, buona parte dell'acqua s'infiltra nel terreno, dando così vita ad un paesaggio nel complesso asciutto, con qualche emergenza idrica in corrispondenza di significativi contatti litologici o di fratture. I corsi d'acqua sono pertanto a carattere temporaneo, con brevi periodi di piena, in corrispondenza di eventi piovosi di forte intensità, alternati a lunghi periodi in cui l'alveo risulta completamente asciutto.
- Sono a permeabilità bassa le aree con estesi depositi colluviali e quelle con presenza di rocce argillitiche, siano esse affioranti o coperte da depositi eluvio-colluviali. In tali zone l'acqua tende a ruscellare sul terreno e,

negli impluvi, è possibile spesso osservare deflusso permanente per tutto l'anno, quando via sia un'opportuna alimentazione da sorgenti. In tali zone inoltre la risposta agli eventi meteorici è più rapida, e si possono verificare notevoli incrementi di portata non solo dopo piogge eccezionali, ma anche dopo piogge di relativamente modesta entità.

Per quanto concerne la distribuzione delle risorse idriche, nell'area dell'ex territorio comunale di Brembilla si rileva come queste siano ubicate essenzialmente negli ammassi rocciosi, data l'esigua estensione, sia come area, che come spessori, dei depositi di copertura.

- La falda principale presente nell'area comunale è quella presente sul versante sinistro idrografico e contenuta nell'ammasso carbonatico permeabile per fessurazione del rilievo montuoso del Monte Castello della Regina. Ad essa sono riferibili tutte le principali sorgenti comunali, emergenti nella zona della Valle dei Faggi-Valle dei Suoli e nell'area del Pizzo Cerro. Tali sorgenti, captate in modo sistematico solo all'inizio dello scorso decennio, offrono portate medie annuali abbastanza costanti, e stimabili complessivamente in circa 15-20l/s (il minimo in periodi siccitosi è di prossimo ai 7-10l/s). La qualità delle acque raccolte è ovunque buona, sia per quanto riguarda la potabilità che il contenuto ionico, simile a quella delle più note captazioni presenti nello stesso ammasso nella zona di San Pellegrino.
- Falde di minore importanza sono invece contenute nelle rocce calcareo-marnose stratificate, mentre solo locali piccole falde sono legate alle rocce argillitiche. Queste falde alimentano le numerose sorgenti che, prima della realizzazione della nuova rete acquedottistica proveniente dalle citate sorgenti della Valle di Faggi-Valle dei Suoli, fornivano acqua all'area di Brembilla. La qualità e soprattutto la portata delle acque provenienti dagli ammassi calcareo-marnosi è alquanto variabile in funzione delle precipitazioni, con rese abbondanti in periodi piovosi (durante i quali in alcune zone spesso si verificano anche inquinamenti e intorbidimenti), e notevoli cali di portata in occasione di periodi siccitosi, che in passato talora rendevano necessario il razionamento. Le sorgenti, in certa parte ormai dismesse o mantenute unicamente come riserva, sono presenti un po' ovunque nell'area comunale e per questo rivestono comunque una notevole importanza, dal momento che permettono la fornitura idrica anche a zone non servite dal pubblico acquedotto.

Di seguito si riporta un elenco delle sorgenti, dei pozzi e dei bacini facenti parte della rete acquedottistica comunale, tratto dal "Progetto generale di adeguamento del Servizio Idrico Comunale", redatto Ing.S.Taccolini e Ing.R. Bernardi nei primi anni 2000 per la ditta allora gestrice dell'acquedotto (Tab.5, 6 e 7).

Nell'area dell'ex territorio comunale di Gerosa, le risorse idriche sono immagazzinate essenzialmente negli ammassi rocciosi, data l'esigua estensione areale e volumetrica dei depositi di copertura. In particolare sono presenti tre principali acquiferi:

- acquifero nei calcari della Formazione del "Calcare di Zù" (rocce calcaree permeabili per fratturazione), limitato alla base dai livelli più marnosi della stessa formazione o dalle marne delle "Argilliti di Riva di Solto", che localmente formano soglie di permeabilità;
- acquifero nella parte superiore delle "Argilliti di Riva di Solto", costituito da livelli di calcari marnosi delimitati da livelli argillitici, e presumibilmente collegato il precedente,

TAB. 3: SORGENTI						
N°	N° Linea	Nome	N° di riferim.	Portata (l/s)	Grado di qualità dello stato di fatto	Qualità acque
1	1	Valle dei Faggi	184	10.00	Buono	
2			185		Buono	
3			186		Buono	
4			187		Pessimo	
5			188		Pessimo	
6			189		Buono	
7			190		Buono	
8	2	Suoli	003	5.00	Buono	
9	3	Camerata	038	4.00	Pessimo	Buona
10	4	Tomba	085	4.00	Pessimo	Scadente
11	6	Cerro	100	0.25	Pessimo	Scadente
12		Rudino	106	0.25	Ottimo	
13		Boscalene	107	5.00	Pessimo (dismessa)	Scadente
14		Fontà alta	112	3.50	Pessimo	Scadente
15		Fontà bassa	113		Pessimo	
16		Catremerio	115	1.25	Pessimo	Scadente
17	5	Fontanelle	121	0.25	Pessimo	Buona
18			130	-	Pessimo	Scadente
19			131	-	Pessimo	Scadente
20		Albe piccola	132	3.00	Pessimo	Scadente
21		Albe Grande	133		Pessimo	
22		Malentrata	138	5.00	Ottimo	Scadente
23	7	Camorone alta	140	4.00	Pessimo	Scadente
24		Camorone bassa	141		Pessimo	
25		Fontani	145	15.00	Sufficiente	Scadente
26	9	Maroncella	146	0.20	Pessimo	Scadente
27	8	Roccolo	159	2.00	Pessimo (dismessa)	Scadente
28		Fontani di l'Era	163	0.50	Pessimo (dismessa)	Scadente
29		Fontani di l'Era alta	165		Pessimo (dismessa)	Scadente

**Tab.5 – Elenco delle sorgenti utilizzate dall'Acquedotto nell'ex territorio comunale di Brembilla.**

TAB. 4: POZZI DI CAPTAZIONE						
N°	N° Linea	Nome	N° di riferimento	Quota (m)	Portata (l/s)	Grado di qualità dello stato di fatto
1	4	Capesenti	068	570		Pessimo
2		Caramondi	069	517		Sufficiente
3	5	Catremerio	119	985	7.50	Pessimo
4		Corna dei Frà	129			Pessimo

TAB. 5: SERBATOI PRESI IN CONSEGNA							
N°	N° Linea	Nome	N° di riferim.	Quota (m)	Capacità (mc)	Grado di qualità dello stato di fatto	Tipo di impianto di disinfezione
1	2	Gaiazzo	002	718	18.00	Pessimo	
2	1	Valle dei Faggi	004	677.50	100.00	Ottimo	Raggi U.V.
3	2	Cavaglia	005	852	18.00	Pessimo	
4		Fuselina Nuovo	006	652	250.00	Pessimo	Biossido di Cloro
5		Fuselina Vecchio	007			Pessimo	
6		Baiardo	008	600	105.00	Sufficiente	
7		Roncalli	011	510	20.00	Pessimo	
8		Casa sopra	018	500	50.00	Pessimo	
9	1	Ripe-Vestasso	037	582	30.00	Sufficiente	
10	3	Capodato	039	500	150.00	Pessimo	Biossido di Cloro
11	4	Pagliaro alto	063	675	300.00	Pessimo	
12		Pagliaro basso	064	596	25.00	Pessimo	
13		Bonate	065	587	32.00	Pessimo	
14		Capesenti	066	570	200.00	Pessimo	Biossido di Cloro
15		Torre	067	522	20.00	Pessimo	
16		Grumitone	076	614	72.00	Pessimo	
17		Nardo-Grumitone	084	587	50.00	Pessimo	
18		Tomba	085				
19	6	Cerro	101	1010	30.00	Pessimo	
20		Fienili	103	850		Ottimo	
21		Rudino	108	690	15.00	Sufficiente	Biossido di Cloro
22		Fontà	114	560	5.00	Pessimo	Biossido di Cloro
23		Cadamone	160	507	150.00	Sufficiente	
24	5	Catremerio	120	1045	68.00	Pessimo	
25		Fontanelle	123	990	53.00	Pessimo	
26		Tombi	126	975	23.00	Pessimo (dismesso)	
27		Albe	134	990	30.00	Pessimo	
28		Bernardo	135	1040	10.00	Pessimo	
29	9	Malentrata	139	802	27.00	Buono	Biossido di Cloro
30		Maroncella	147	597	17.00	Pessimo	
31	7	Camorone	149	540	55.00	Pessimo	
32	8	Fontani di l'Era	164	568	5.00	Pessimo (dismesso)	

Tab.6 e 7 – Elenco dei pozzi dell'Acquedotto e dei serbatoi nell'ex Comune di Brembilla.

- acquifero contenuto nei calcari dolomitici della Formazione della "Dolomia Principale", di certo quello con maggiore potenzialità, ma non sfruttato per la posizione e le difficili condizioni geomorfologiche (Monte Sornadello-Monte Foldone).

L'Acquedotto comunale utilizza diverse sorgenti connesse ai primi due acquiferi. Si tratta in genere di sorgenti con portata di entità variabile e fortemente condizionata dalle precipitazioni atmosferiche: in particolare si registrano portate consistenti in corrispondenza di periodi piovosi, quando all'apporto della circolazione profonda si aggiunge quello presente nella coltre superficiale, e portate generalmente modeste nei periodi asciutti, quando il contributo della coltre superficiale è praticamente assente. La ridotta portata delle sorgenti in periodi asciutti è dovuta alla modesta potenzialità degli acquiferi, che come detto sono dati da livelli calcarei di estensione e spessore limitati.

- Dall'acquifero del "Calcere di Zù" si originano le sorgenti di Ubioli (portata media annua di circa 0,7 l/s), Morosa e Giaperto (circa 0,18 l/s), a servizio dell'acquedotto di Gerosa, e la sorgente Cornei (posta sotto lo Zucco di Pralongone), che fornisce l'acqua al vicino paese di Berbenno.
- Ai livelli superiori delle "Argilliti di Riva di Solto" sono da riferirsi invece le altre sorgenti utilizzate dall'Acquedotto, alcune delle quali anche di notevole importanza e portata: Foppe (sorgente collegata a Blello), con portata di 1,48 l/s; Grumello (attualmente non utilizzata), con portata media annua di 0,33 l/s; Baroncella (sorgente recentemente collegata all'Acquedotto); Molini Alti (2 sorgenti in diverse opere di presa), con portata di 5,96 l/s; Tuf Alto (recente opera di presa, collegata al bacino di Molini Alti), con portata di 0,35 l/s; Valle Zuccone (2 sorgenti in diverse opere di presa), con portata di 0,29 l/s; Foppaboracco (sorgente posta in Comune di Taleggio, a nord di Bura), con portata di 1,27 l/s; Prato Aroldi (piccola sorgente a servizio della contrada); Ghisalerio con portata di 0,32 l/s; Foppa calda con portata di 0,59 l/s.

La portata idrica di tutte le citate sorgenti, come detto, è alquanto variabile in funzione delle precipitazioni, con buone rese in periodi piovosi (durante i quali si possono verificare inquinamenti e intorbidimenti), e notevoli cali di portata in occasione di periodi siccitosi, fatti che spesso rendono difficile la gestione della rete acquedottistica comunale.

All'intorno di Gerosa sono presenti anche numerosi bacini d'accumulo a servizio dell'Acquedotto comunale, posti nelle seguenti località: Molini Alti, Foppe, Chere, Santa Maria, Cabusiè, Prapedone, Zicogna, Fenelech, Valle dell'Acqua, Martire, Tribulina, Foppetta, Foppa Calda, Prato Aroldi - Fracchia, Campetto.

### **3.8 Inquadramento sismologico**

#### **3.8.1 Cenni di sismicità storica**

L'attività sismica delle Alpi Meridionali è prevalentemente concentrata nel settore centro-orientale (Veneto e Friuli Venezia Giulia). Relativamente al territorio lombardo, l'area a maggiore attività sismica è situata nella provincia di Brescia, in prossimità del Lago di Garda; la sismicità decresce procedendo da Est a Ovest e da Sud a Nord.

Per la caratterizzazione dell'area comunale dal punto di vista sismico, si è fatto riferimento al "*Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1990*" riferito alla città di Bergamo (Tab.8) e soprattutto alla banca dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ("*Catalogo Parametrico dei terremoti italiani*" CPTI11 e CPTI15 e "*Progetto Iside*", documento da cui sono state estratte le tavole di Fig.7 (terremoti avvenuti in un intorno di 20km dell'area comunale negli ultimi 30 anni).

In generale, le varie fonti consultate non evidenziano eventi sismici con epicentro all'interno del territorio comunale di Val Brembilla; si riconoscono però diversi eventi in aree vicine (Lecchese, Bergamasca, Lago d'Iseo), caratterizzati da Magnitudo massime Ms in genere dell'ordine di 4-5, tutti avvertiti nella Bassa Valle Brembana come pure quelli principali degli ultimi decenni avvenuti nell'area Friulana, Bresciana e Parmense. I dati relativi agli ultimi 30 anni mostrano invece eventi con Ms massima di 3 e profondità ipocentrali mediamente inferiori a 10km con massimi di 48km. In considerazione di quanto osservato, si può ritenere che l'attività sismica nella Valle Brembilla sia nel complesso di moderata entità, essenzialmente legata ad eventi verificatisi in aree esterne.

**Comune di Val Brembilla (BG)**

**Componente geologica, idrogeologica e sismica a supporto del Piano di Governo del Territorio (L.R. n. 12 del 11.03.2005 e D.G.R. n.9/2616 del 30/11/2011) - Relazione geologica**

**Parte 1: Relazione illustrativa**

**Dott. Geologo Augusto Azzoni - Via F. Nullo n.31, 24128 Bergamo**

	Ora	Latitudine	Longitudine	Intensità epicentro	Intensità al sito	Epicentro
1117/01/03	13	45.333	11.200	9.0	0.2	Veronese
Effetti in Bergamo: menzione assai generica di danni nelle case.						
1222/12/25	11	45.483	10.683	8.0	5.5	Basso BS
Effetti in Bergamo: notizie di numerosi crolli e numerosi morti.						
1396/11/26	45,583	9.267	7.5	0.1	5,36	Monza
Effetti in Bergamo: non menzionati da fonti coeve.						
1513/02/10		44.917	8.617	5.0	0.1	Alessandria
Effetti in Bergamo: non menzionati.						
1570/11/17	19,10	44.817	11.633	7.5	1.0	Ferrara
Effetti in Bergamo: scossa avvertita e caduta di una frana presso Borgo Canale.						
1661/03/12		45.73	10.067	7.0	5.5	Montecchia
Effetti in Bergamo: scossa avvertita da tutti.						
1802/05/12	09,30	45.417	9.850	8.0	6.5	Valle Ogliastro
Effetti in Bergamo: danni di natura imprecisata.						
1836/06/12	02,30	45.800	11.817	8.0	4.6	Prealpi venete
Effetti in Bergamo: scossa avvertita da tutti.						
1855/07/25	12	45.833	7.700	8.0	4.6	Vallese
Effetti in Bergamo: scossa avvertita da tutti.						
1873/06/29	03,58	46.150	12.383	9.5	3.5	Bellunese
Effetti in Bergamo: scossa durata di 4-5s avvertita dalla persone sveglie alle ore 4,55..						
1887/02/23	05,21	43.917	8.067	9.0	3.5	Liguria occ.
Effetti in Bergamo: avvertita leggermente la scossa principale.						
1891/06/07	01,06	45.567	11.167	8.5	4.5	Valle d'Ilasi
Effetti in Bergamo: scossa di mediocre intensità avvertita da gran parte della popol.						
1895/04/14	22,17	46.133	14.533	8.0	4.0	Slovenia
Effetti in Bergamo: scossa di 2-3s avvertita da gran parte della popolazione.						
1901/10/30	14,49	45.583	10.500	8.0	5.5	Salò
Effetti in Bergamo: scossa che fece oscillare mobili e oggetti appesi, nella parte alta della città.						
1929/04/20	01,09	44.467	11.133	8.0	3.5	Bolognese
Effetti in Bergamo: effetti corrispondenti al III/IV grado della scala MCS						
1936/10/18	03,10	46.033	12.417	9.0	4.0	Alpago
Effetti in Bergamo: secondo Autori, Scossa del IV grado MCS.						
1960/03/23	23,08	46.350	7.983	6.5	2.0	Vallese
Effetti in Bergamo: scossa valutata del II grado della scala MCS.						
1971/07/15	01,03	44.817	10.350	8.0	4.0	Parmense
Effetti in Bergamo: effetti valutati pari al IV grado scala MCS.						
1976/09/11	16,35	46.267	13.183	7.5	4.5	Friuli
Effetti in Bergamo: avvertite due scosse ai piani superiori degli edifici, con panico e gente in strada.						
1983/11/09	16,29	44.767	10.267	6.5	4.0	Parmense
Effetti in Bergamo: scossa della durata di 4-5 secondi, avvertita generalmente in casa e da pochi all'aperto. Oscillazione di oggetti sospesi, caduta di oggetti dagli scaffali e spostamento di piccoli mobili.						

**Tab.8 – Serie storica dei terremoti avvertiti a Bergamo.**





#Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo
2015-11-30 13:07:18.910	45 742	9 788	9.07	2.01
2015-11-30 12:50:03.790	45 733	9 781	10.00	2.00
2015-11-29 08:29:24.600	45 731	9 772	10.01	1.08
2015-11-28 21:29:56.860	45 756	9 777	10.03	3.00
2015-06-24 08:05:00.200	45 747	9 534	14.01	1.03
2015-06-10 20:56:07.260	45 663	9 608	6.02	1.07
2015-05-30 11:08:14.610	45 655	9 407	24.6	1.05
2014-05-03 15:26:20.170	45 895	9 855	10.00	0.09
2011-12-31 23:36:00.460	45 814	9 651	5.00	2.01
2011-08-04 08:19:32.460	45 854	9 493	5.03	1.03
2011-06-23 15:02:10.800	45 829	9 393	10.00	2.01
2010-12-30 09:26:56.480	45 730	9 478	4.03	1.05
2010-12-29 09:13:58.230	45 845	9 529	3.07	1.02
2010-11-22 09:40:08.330	45 904	9 569	5.00	1.03
2010-05-14 03:35:29.850	45 777	9 757	7.01	2.08
2010-05-12 19:58:09.040	45 726	9 728	10.00	1.03
2010-05-11 14:04:37.420	45 749	9 730	10.00	1.09
2010-05-11 02:13:42.380	45 797	9 718	3.03	3.05
2009-07-10 01:20:53.840	45 846	9 451	5.00	1.04
2009-07-10 01:06:46.880	45 848	9 457	5.04	2.04
2009-06-06 14:23:48.510	45 666	9 350	4.04	2.01
2009-01-09 16:55:27.780	45 931	9 848	8.05	2.01
2007-07-20 10:02:28.620	45 740	9 382	10.00	1.09
2007-03-23 05:01:38.960	45 696	9 844	8.06	3.04
2006-04-27 00:57:50.310	45 886	9 661	48.40	1.09
2006-04-12 08:13:19.970	45 704	9 476	6.03	1.01
1999-12-01 04:02:55.540	45 891	9 653	21.04	2.06
1999-09-11 05:49:10.700	45 685	9 362	17.07	2.07
1996-08-23 01:37:42.990	45 756	9 350	10.00	2.09
1995-06-25 17:32:13.900	45 731	9 467	17.05	3.00
1992-09-08 02:29:16.970	45 893	9 423	10.00	2.04
1988-11-30 16:02:41.650	45 996	9 498	5.00	2.03
1988-11-03 09:29:59.270	45 879	9 511	5.00	2.00
1987-02-13 21:15:45.700	45 712	9 596	21.05	2.09
1985-04-23 06:38:28.360	45 641	9 840	8.06	2.03
1985-02-23 15:46:06.620	45 841	9 457	5.00	2.05

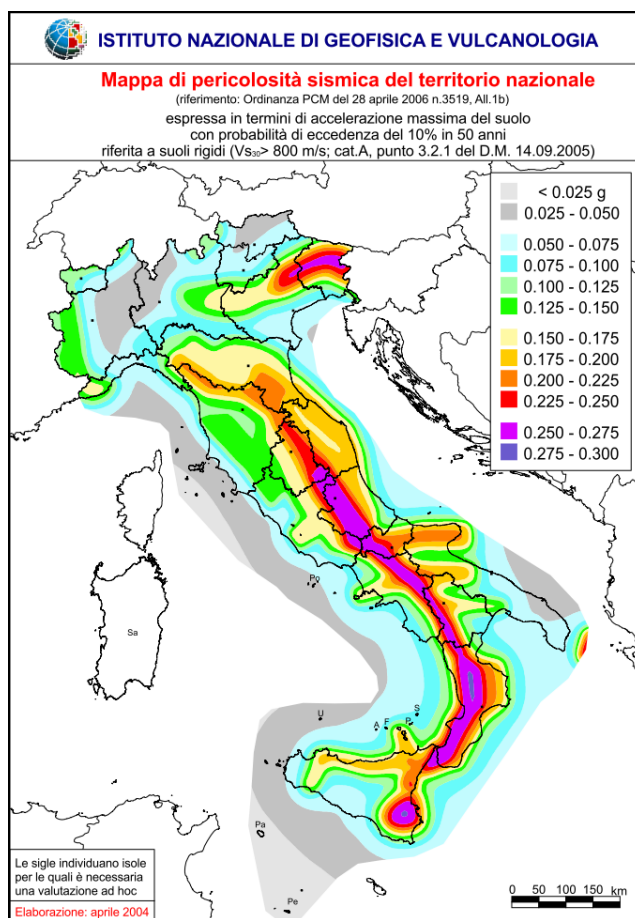
**Fig.7 – Elenco degli eventi sismici avvenuti dal 1985 ad oggi all’intorno dell’area Comunale.**

### 3.8.2 Classificazione sismica

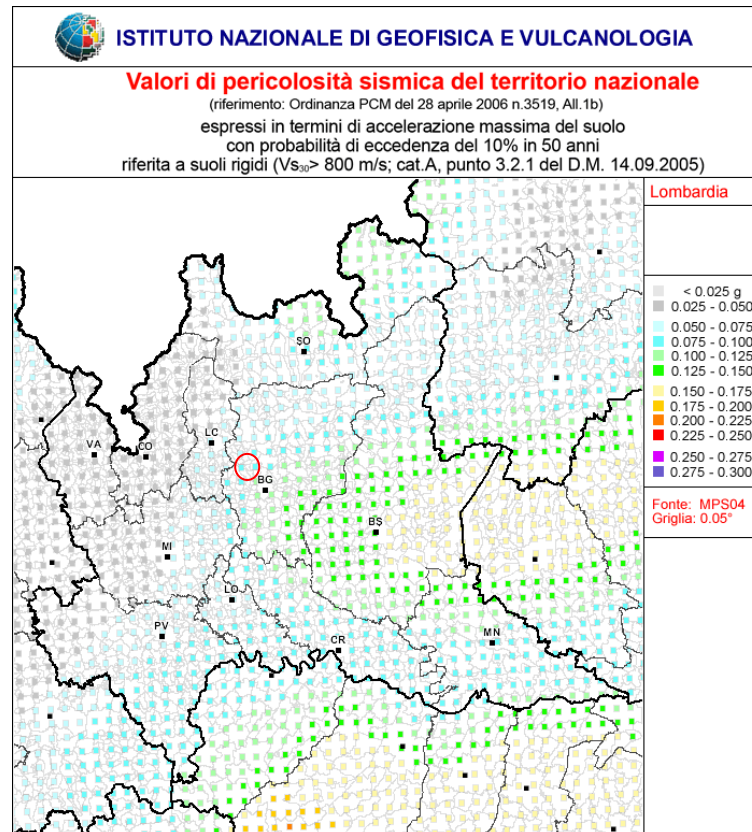
L'O.P.C.M. n.3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", approvata con O.P.C.M. n. 3519 del 28/0/2006, ha definito una nuova zonazione sismogenetica nazionale (Fig.8) e quindi anche il grado di pericolosità sismica dell'area lombarda (Fig.9) e del Comune di Val Brembilla.

Per questo è stata valutata un'Accelerazione massima (AgMax, parametro legato allo scuotimento atteso, espresso in frazioni dell'accelerazione di gravità  $9,8\text{m/s}^2$ ) di 0,087893, che avrebbe collocato lo stesso nella "Zona 3", ovvero zona a sismicità medio-bassa (Tab.9).

Ai soli fini amministrativi il Comune aveva però mantenuto la precedente classificazione in "Zona 4", ovvero zona a sismicità bassa, fino a che, con la D.G.R. n.10/2129 del 11/07/2014 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia" e successive modifiche, a partire dall'aprile 2016 con l'entrata in vigore la nuova legge sismica regionale L.R. n.33/2015 il territorio comunale di Val Brembilla è stato definitivamente classificato nella "Zona 3", ovvero zona a sismicità medio-bassa.



**Fig.8 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (riferimento: O.P.C.M. n. 3519/2006, All. 1b) espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_s > 800\text{ m/s}$ ; cat. A).**



**Fig.9 - Mappa di pericolosità sismica del territorio lombardo.**

<b>Zona sismica</b>	<b>Fenomeni riscontrati</b>	<b>Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni</b>
<b>1</b>	Zona con pericolosità sismica <b>alta</b> . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_g \geq 0,25g$
<b>2</b>	Zona con pericolosità sismica <b>media</b> , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq a_g < 0,25g$
<b>3</b>	Zona con pericolosità sismica <b>bassa</b> , che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq a_g < 0,15g$
<b>4</b>	Zona con pericolosità sismica <b>molto bassa</b> . E' la zona meno pericolosa, dove le possibilità di danni sismici sono basse.	$a_g < 0,05g$

**Tab.9 – Classi di Pericolosità Sismica basate sull'Accelerazione massima attesa.**

### **3.9 Inquadramento geotecnico**

L'area comunale, essendo caratterizzata da versanti per lo più di media ed alta pendenza, presenta quasi ovunque rocce sub affioranti o coperte da uno strato di spessore in genere modesto di terreni di origine eluvio-colluviale e detritica, con depositi di materiali colluviali e detritici di spessori importanti limitati alle aree di minor pendenza e di maggiore estensione di Laxolo, Gerosa, Bura e Musita. Sono inoltre presenti terreni di origine lacustre, generalmente confinati al tratto di fondovalle ove sorge il paese di Brembilla e alla piana di Laxolo.

Si riporta di seguito una caratterizzazione geotecnica di massima delle principali unità geologiche, ed una breve descrizione del comportamento delle formazioni rocciose e i materiali presenti sul territorio, raccomandando comunque, per ogni intervento, l'esecuzione delle indagini geotecniche previste dalla normativa vigente.

#### **3.9.1 Substrato roccioso**

Per quanto attiene alle condizioni geomeccaniche dei vari tipi litologici del substrato roccioso, esse sono generalmente da buone a discrete per le rocce calcaree e dolomitiche, scadenti per quelle argillitiche e marnose.

- Le prime, che affiorano
  - o i calcari stratificati nella zona superiore dei versanti occidentale e settentrionale e lungo le creste spartiacque del settore meridionale,
  - o i calcari dolomitici e le dolomie sul rilievo Monte Sornadello-Castello della Regina e sul basso fianco destro della Valle Brembilla,

sono infatti caratterizzate da resistenza da media ad elevata (solo in parte ridotta in superficie per effetto dell'alterazione superficiale) e in genere da moderata fratturazione, salvo che in zone interessate da elementi strutturali di rilevanza. Gli unici importanti problemi localmente presenti nelle zone con tali rocce sono:

- o nelle aree con pareti rocciose, la formazione di frane di crollo e di fenomeni di caduta massi,
- o nelle aree pianeggianti e sui pendii, la presenza di fenomeni di tipo carsico, che possono dare luogo a cavità, vuote o riempite di terreno, pericolose per la stabilità delle opere civili sovrastanti.

Ai litotipi calcareo dolomitici possono indicativamente essere riferiti i seguenti parametri: Peso di volume: 25-26kN/mc, Angolo d'Attrito: 40-50°, Coesione: >200kPa (rocce moderatamente alterate).

Ai calcari stratificati con livelli marnosi possono invece essere riferiti i seguenti parametri: Peso di volume: 25-26kN/mc, Angolo d'Attrito: 30-40°, Coesione: 50-200kPa (rocce moderatamente alterate).

- Le rocce argillitiche e marnose, che affiorano nelle fasce altimetriche centrale ed inferiore, presentano invece caratteristiche decisamente più scadenti ed una marcata tendenza all'alterazione superficiale (e talora anche profonda) e alla formazione di fenomeni d'instabilità anche su versanti di limitata pendenza. Esse sono spesso coperte da coltri di alterazione di spessore di ordine metrico, con caratteristiche geotecniche in genere molto scadenti. Tali condizioni favoriscono l'innescio, specie se in presenza di circolazione idrica, di vari fenomeni d'instabilità quali,
  - o sulle scarpate più ripide, frane di crollo e degrado diffuso,
  - o sui pendii di media e bassa acclività, smottamenti, frane di scivolamento e fenomeni di erosione superficiale.

Ai litotipi argillitici e marnosi della Formazione delle "Argilliti di Riva di Solto" possono indicativamente essere riferiti i seguenti parametri: Peso di volume: 24-26kN/mc, Angolo d'Attrito: 25-30°, Coesione: 20-80kPa (livello superficiale con roccia mediamente alterata).

Si riporta di seguito una breve nota con carattere puramente indicativo del comportamento geotecnico delle formazioni rocciose presenti nel territorio comunale.

**"Calcarea di Moltrasio", "Calcarea di Sadrina" e "Gruppo dell'Araralta"**

In generale, dove l'assetto strutturale è favorevole (es. giacitura a reggipoggio, scarsa o nulla fratturazione), non vi sono problemi di stabilità del pendio, sostegno dei fronti di scavo e fondazione di edifici. Dove invece l'assetto strutturale è sfavorevole, soprattutto se in presenza di interstrati marnosi, l'apertura di scavi con ampi fronti richiede una certa attenzione, con un'analisi preliminare della stabilità del previsto fronte di scavo.

Per quanto riguarda la posa di fondazioni, il materiale presenta in genere buone caratteristiche geotecniche, salvo presenza di locali tratti più degradati che dovranno essere rimosse in corso d'opera. Si ricorda infine che in tale unità possono essere intensi i processi di dissoluzione carbonatica lungo le superfici di frattura.

**"Formazione del Calcarea di Zù"**

Il comportamento dell'unità varia notevolmente in dipendenza della natura dei materiali e della giacitura dei piani di stratificazione. Nelle facies calcaree la formazione presenta all'incirca le stesse caratteristiche dei sopraccitati calcari giurassici stratificati, mentre in quelle più argillitiche la presenza di tali materiali condiziona in senso negativo il comportamento, localmente anche con notevoli problemi di stabilità (la formazione ha un comportamento all'incirca simile a quello delle argilliti descritte in seguito).

In generale si rileva che dove l'assetto strutturale è favorevole, non vi sono problemi di stabilità di pendio, sostegno di scavi e fondazione di edifici; viceversa dove invece l'assetto strutturale è sfavorevole, vista la possibilità che gli strati carbonatici scivolino sugli orizzonti argillitici anche su inclinazioni medio basse, va posta particolare attenzione sia all'apertura di scavi, che devono essere opportunamente sostenuti, che alla fondazione di edifici.

Nelle facies prevalentemente calcaree deve essere ricordata la possibilità di fenomeni di dissoluzione carsica, con cavità talora anche di notevoli dimensioni.

**"Argilliti di Riva di Sotto"**

La formazione è prevalentemente costituita da litotipi aventi caratteristiche geomeccaniche scadenti, dati da argilliti spesso finemente scagliettate e facilmente alterabili. Inoltre, tali litotipi sono frequentemente coperti, quando la pendenza del versante lo consente, da coltri di alterazione di spessore di ordine metrico, caratterizzate da proprietà geotecniche spesso molto scadenti.

I fronti di scavo possono essere interessati da locali fenomeni di instabilità anche se in condizioni di assetto giacitura non particolarmente sfavorevole, con situazioni di elevato rilascio superficiale; inoltre i dissesti tendono ad accentuarsi nel tempo a causa della facile alterabilità dei litotipi.

In condizioni di assetto strutturale sfavorevole anche le fondazioni richiedono particolare attenzione, vista la tendenza al degrado della roccia e allo scivolamento della stessa lungo piani di strato.

**"Dolomia Principale" e "Dolomia a Conchodon"**

La formazione evidenzia nel complesso buone qualità geomeccaniche: essa si presenta massiccia o con una tipica stratificazione a banchi metrici, spesso interessati da famiglie di discontinuità subverticali che originano alte scarpate in roccia.

Le pareti rocciose, per la fratturazione, la pendenza dei versanti e spesso anche per la presenza di vegetazione possono originare crolli di blocchi di dimensione varia, mediamente da metrica a decametrica.

Per quanto concerne i fronti di scavo, in genere non vi sono particolari problemi, salvo che siano presenti marcate discontinuità con giacitura sfavorevole o interessate da fenomeni di dissoluzione carsica (tasche di argilla).

Per quanto riguarda le fondazioni, il materiale presenta nel complesso buone caratteristiche; deve comunque essere sempre posta attenzione all'eventuale presenza di fenomeni di carsismo, che spesso portano alla formazione di una superficie del substrato molto articolata e irregolare, con guglie ipogee, cavità, sacche riempite da materiale argilloso residuale.

### **3.9.2 Terreni di copertura**

Per quanto riguarda le condizioni geotecniche dei depositi di copertura, esse variano a seconda della tipologia e delle condizioni idrogeologiche. In generale, si osserva quanto segue.

- I terreni di origine eluvio-colluviale e natura in prevalenza argillosa sono presenti in modo diffuso in tutta l'area comunale ma quasi sempre con spessori contenuti (per lo più 10-30cm, con massimi di circa 1-2m), salvo che nelle zone delle maggiori aree pianeggianti, dove possono raggiungere spessori anche di diversi metri. Tali terreni sono soggetti, specie in presenza di circolazione idrica, a diverse tipologie di dissesti, quali smottamenti, colate, frane di vario tipo, erosione superficiale.  
Ad essi possono essere riferiti i seguenti parametri fisici e meccanici: Peso di volume: 17-19kN/mc, Angolo d'Attrito: 23-26°, Coesione: 3-10kPa.
- I terreni detritici, presenti in genere alla base di scarpate rocciose o nelle zone d'alveo, presentano in genere un modesto grado di addensamento ed una notevole variabilità verticale e laterale, fatto legato alle modalità di messa in posto (trasporto solido di corsi d'acqua, crolli, ecc.).  
A tali materiali possono attribuirsi i seguenti parametri: Peso di volume: 18-20kN/mc, Angolo d'Attrito: 30-35°, Coesione: nulla.

## **4. ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO**

### **4.1 Introduzione**

I concetti generali dello studio della pericolosità sismica sono descritti nel paragrafo introduttivo del Par.1.4 della D.G.R. n.9/2616/2011, che di seguito si riporta integralmente:

*"Le particolari condizioni geologiche e geomorfologiche di una zona (condizioni locali) possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area. Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei materiali coinvolti; pertanto gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati, in primo luogo, sull'identificazione della categoria di terreno presente in una determinata area.*

*In funzione, quindi, delle caratteristiche del terreno presente, si distinguono due grandi gruppi di effetti locali: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti ad instabilità.*

- *Effetti di sito o di amplificazione sismica locale: interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese; tali effetti sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali. Tali effetti si distinguono in due gruppi che possono essere contemporaneamente presenti nello stesso sito:*
  - *gli effetti di amplificazione topografica: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie superficiali più o meno articolate e da irregolarità topografiche in generale; tali condizioni favoriscono la focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta del rilievo a seguito di fenomeni di riflessione sulla superficie libera e di interazione fra il campo d'onda incidente e quello diffratto; se l'irregolarità topografica è rappresentata da substrato roccioso (bedrock) si verifica un puro effetto di amplificazione topografica, mentre nel caso di rilievi costituiti da materiali non rocciosi l'effetto amplificatorio è la risultante dell'interazione (difficilmente separabile) tra l'effetto topografico e quello litologico di seguito descritto;*
  - *effetti di amplificazione litologica: si verificano quando le condizioni locali sono rappresentate da morfologie sepolte (bacini sedimentari, chiusure laterali, corpi lenticolari, eteropie ed interdigitazioni, gradini di faglia, ecc.) e da particolari profili stratigrafici costituiti da litologie con determinate proprietà meccaniche; tali condizioni possono generare esaltazione locale delle azioni sismiche trasmesse dal terreno, fenomeni di risonanza fra onda sismica incidente e modi di vibrare del terreno e fenomeni di doppia risonanza fra periodo fondamentale del moto sismico incidente e modi di vibrare del terreno e della sovrastruttura.*
- *Effetti di instabilità: interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente instabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese e sono rappresentati in generale da fenomeni di instabilità consistenti in veri e propri collassi e talora movimenti di grandi masse di terreno incompatibili con la stabilità delle strutture; tali instabilità sono rappresentate da fenomeni diversi a seconda delle condizioni presenti nel sito.*



- *Nel caso di versanti in equilibrio precario (in materiale sciolto o in roccia) si possono avere fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi (crolli, scivolamenti rotazionali e/o traslazionali e colamenti), per cui il sisma rappresenta un fattore d'innescio del movimento sia direttamente a causa dell'accelerazione esercitata sul suolo sia indirettamente a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali.*
- *Nel caso di aree interessate da particolari strutture geologiche sepolte e/o affioranti in superficie tipo contatti stratigrafici o tettonici quali faglie sismogenetiche si possono verificare movimenti relativi verticali ed orizzontali tra diversi settori areali che conducono a scorrimenti e cedimenti differenziali interessanti le sovrastrutture.*
- *Nel caso di terreni particolarmente scadenti dal punto di vista delle proprietà fisico-meccaniche si possono verificare fenomeni di scivolamento e rottura connessi a deformazioni permanenti del suolo; per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di densificazione ed addensamento del materiale, mentre per terreni granulari fini (sabbiosi) saturi di acqua sono possibili fluimenti e colamenti parziali o generalizzati a causa dei fenomeni di liquefazione.*
- *Nel caso di siti interessati da carsismo sotterraneo o da particolari strutture vacuolari presenti nel sottosuolo si possono verificare fenomeni di subsidenza più o meno accentuati in relazione al crollo parziale o totale di cavità sotterranee."*

## **4.2 Procedura**

Con l'introduzione della D.G.R. n.8/1566 del 22/12/05 "*Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione all'art.57 della L.R. n.12 del 11/03/2005*", aggiornata poi con la D.G.R. n.8/7374/2008 e quindi con la D.G.R. n.9/2016/2011, l'analisi e la valutazione degli effetti sismici di sito, finalizzate alla caratterizzazione sismica dell'area comunale per il Piano di Governo del Territorio, sono state codificate a livello procedurale mediante un approccio basato su tre distinti livelli, con grado di dettaglio via via crescente (Fig.10).

I primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione, con alcune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza, il terzo livello è invece obbligatorio in fase di progettazione sia quando con il secondo livello si dimostri l'inadeguatezza della Normativa Sismica nazionale per gli scenari di pericolosità sismica, sia per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione e contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse.

In dettaglio, in accordo alla D.G.R. n.9/2616/2011 (Tab.10):

- 1° livello: Lo studio prevede il riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti. Questo livello è obbligatorio per tutti i Comuni e prevede la redazione della "Carta della Pericolosità sismica locale", nella quale deve essere riportata la perimetrazione delle diverse situazioni tipo -areale per gli scenari Z1, Z2 e Z4, lineare per gli scenari Z3 e Z5-, in grado di determinare gli effetti sismici locali (aree a pericolosità sismica locale - PSL).
- 2° livello: Lo studio prevede la caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi negli scenari perimetrati nella "Carta di pericolosità sismica locale", che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa). L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale (Fa calcolato superiore a Fa di soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano) e prevede la redazione della "Carta dei fattori di amplificazione sismica", nella quale vengono



riportati anche i risultati delle indagini svolte. Per queste aree, è previsto che, in fase di progettazione, si debba procedere alle indagini ed agli approfondimenti di 3° livello o, in alternativa, si utilizzi lo spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore. Il 2° livello è obbligatorio, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3, negli scenari individuati attraverso il 1° livello suscettibili di amplificazioni sismiche morfologiche Z3 e litologiche Z4 interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica.

Per le aree a pericolosità sismica locale caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2) non è prevista l'applicazione degli studi di 2° livello, ma il passaggio diretto a quelli di 3° livello, come specificato al punto successivo. Non è necessaria la valutazione quantitativa al 3° livello di approfondimento dello scenario inerente le zone di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (zone Z5), in quanto tale scenario esclude la possibilità di costruzioni a cavallo dei due litotipi, a meno che non si prendano opportuni accorgimenti progettuali atti a garantire la sicurezza dell'edificio.

- 3° livello: Lo studio prevede la definizione degli effetti di amplificazioni tramite indagini e analisi più approfondite. Al fine di poter effettuare le analisi di 3° livello la Regione Lombardia ha predisposto due banche dati (Geoportale della Regione Lombardia), il cui utilizzo è dettagliato nell'allegato 5 della D.G.R. n.9/2616/2011. Tale livello si applica in fase progettuale nei seguenti casi:
  - o quando, a seguito dell'applicazione del 2° livello, si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale all'interno degli scenari PSL caratterizzati da effetti di amplificazioni morfologiche e litologiche (zone Z3 e Z4);
  - o in presenza di aree caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione (zone Z1 e Z2), nelle zone sismiche 2 e 3 per tutte le tipologie di edifici, mentre in Zona sismica 4 nel solo caso di costruzioni di nuovi edifici strategici e rilevanti di cui al D.D.U.O. n. 19904 del 21/11/ 2003, ferma restando la facoltà dei Comuni di estenderlo anche alle altre categorie di edifici.

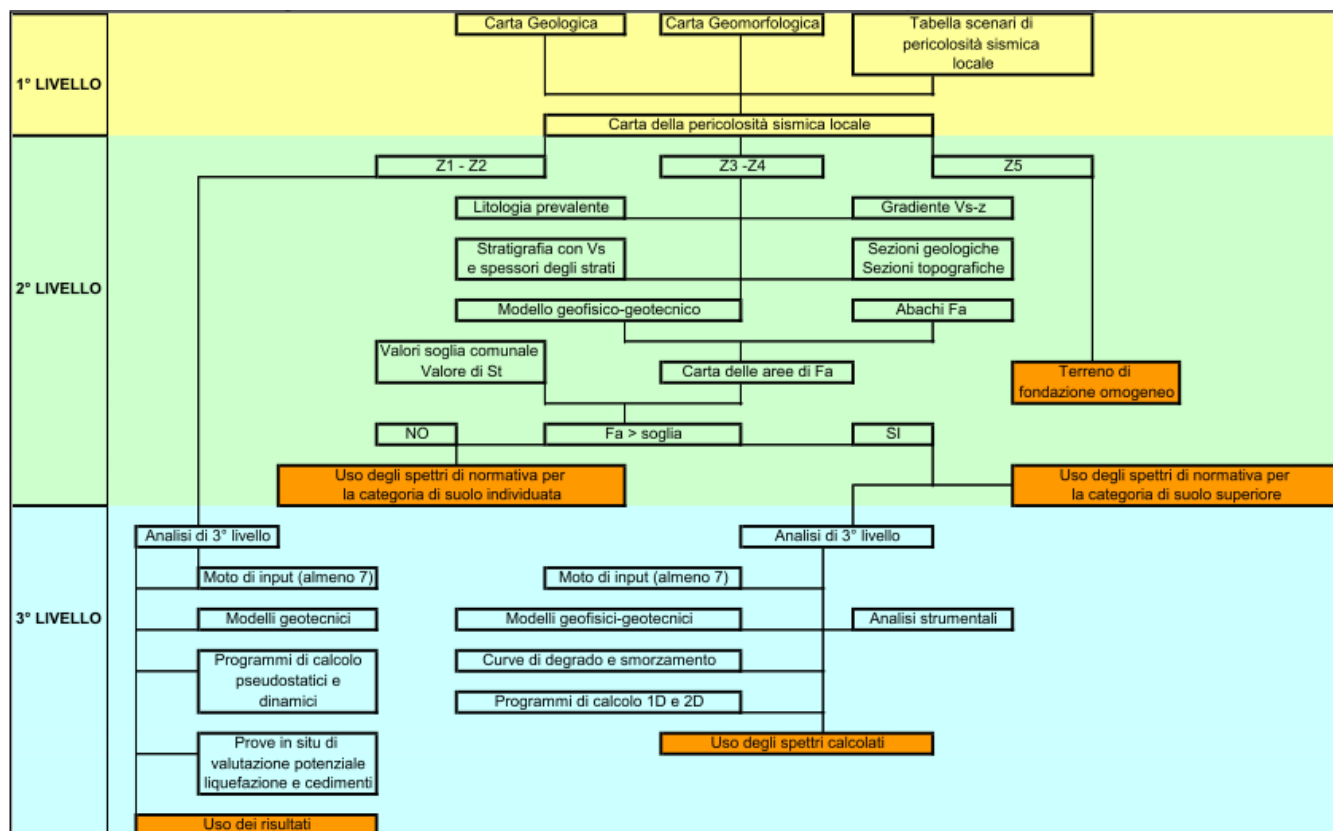
Nel caso di sovrapposizione di più scenari sul medesimo ambito territoriale, si deve procedere con il grado di approfondimento più cautelativo.

Infine, gli approfondimenti di 2° e 3° livello non devono essere eseguiti in quelle aree che, per situazioni geologiche, geomorfologiche e ambientali o perché sottoposte a vincolo da particolari normative, siano considerate inedificabili, fermi restando tutti gli obblighi derivanti dall'applicazione di altra normativa specifica.

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

PSL = Pericolosità Sismica Locale

**Tab.10 - Livelli di approfondimento e fasi d'applicazione per diverse Zone sismiche.**



**Fig.10 - Schema procedurale associato ai tre livelli di indagine (da All. 5 della D.G.R. n.9/2616/2011 ).**

### 4.3 Analisi di 1° livello

L'analisi di 1° livello consiste in un approccio di tipo qualitativo e costituisce lo studio propedeutico ai successivi livelli di approfondimento. E' un metodo empirico che trova le basi nella continua e sistematica osservazione diretta degli effetti prodotti dai terremoti.

Il metodo permette l'individuazione delle zone per le quali i diversi effetti prodotti dall'azione sismica, con buona approssimazione, possono essere previsti sulla base dei dati disponibili relativi alle specifiche condizioni geologiche locali (spessore delle coperture e condizioni stratigrafiche generali, posizione e regime della falda, proprietà indice, caratteristiche di consistenza, grado di sovraconsolidazione, plasticità e proprietà geotecniche nelle condizioni naturali, ecc.). Lo studio consiste quindi nell'analisi dei dati esistenti già inseriti nella Cartografia di analisi, e nella redazione di un'apposita cartografia a scala 1: 5.000 denominata "Carta della Pericolosità Sismica Locale" (PSL), dove viene riportata la perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo (Tab.11) in grado di determinare gli effetti sismici locali, i cosiddetti "Scenari di Pericolosità Sismica locale" definiti nella Tab. 1 dell'All.5 alla D.G.R. n.9/2616/2011.

Per poter identificare questi scenari nel territorio di Val Brembilla sono state utilizzate la "Carta Geologica" e la "Carta Geomorfologica", e i dati emersi da indagini geologiche di vari tipo eseguite in zona, in accordo a quanto indicato nella citata D.G.R. La trasposizione degli elementi evidenziati nella cartografia di base in scenari di Pericolosità Sismica locale è stata effettuata secondo i seguenti criteri:

- le aree corrispondenti a fenomeni franosi, che per la natura del territorio sono dati sia da frane di scivolamento in roccia e terra, sia da frane di crollo in roccia, sono state classificate nello scenario Z1a per quanto concerne i dissesti attivi, nello scenario Z1b per le frane quiescenti e nello scenario Z1c per quanto riguarda le aree a potenziale pericolo (per caduta di massi nelle zone rocciose, per scivolamento di terra in quelle con presenza di depositi eluvio-colluviali e detritici su pendenze medie e elevate), quelle cioè dove non si riconoscono fenomeni attivi, ma solo una predisposizione del territorio alla formazione degli stessi;
- le aree identificate come terreni di riporto e discariche di inerti sono state inserite nello scenario Z2;
- nello scenario Z3a sono state inserite le zone di ciglio con altezza maggiore di 10m, inclinazione del fronte principale  $\geq 10^\circ$  e inclinazione del fronte superiore uguale o minore di un quinto dell'inclinazione del fronte principale. Nello scenario Z3b sono state inserite le zone di cresta o cocuzzolo con angolo di base  $\geq 10^\circ$  (per entrambi gli scenari è quindi stata effettuata una selezione fra i molti elementi presenti sul territorio, con analisi topografiche per la verifica della rispondenza o meno di ciascuno ai criteri riportati in Normativa). La definizione degli elementi di tale scenario è stata effettuata utilizzando modello digitale del terreno (DTM) fornito dal geoportale della Regione Lombardia e sottoponendo tale DTM ad analisi morfometrica, mediante l'impiego di software specializzati. Si sono così evidenziate le aree che possono ricadere nelle categorie ricercate e scelto quelle significative; successivamente, dal momento che la normativa richiede la rappresentazione degli elementi morfologici con simbologia di tipo lineare, i dati "poligonali" relativi agli elementi morfologici sono stati trasformati in lineari e inseriti nella Carta PSL, secondo il seguente criterio: schema: Zona di ciglio con  $H > 10$  m - Z3a, Zona di Cresta rocciosa e/o cocuzzolo - Z3b.
- Zone di fondovalle con presenza di depositi alluvionali sono state classificate nello scenario Z4a, quelle pedemontane con presenza di falde di detrito nello scenario Z4b e quelle pianeggianti o a debole pendenza con presenza di terreni argillosi di origine eluvio-colluviale nello scenario Z4d. Si segnala a riguardo che in più casi tali terreni mostrano spessori dell'ordine di pochi metri, e che quindi è possibile che con l'intervento edilizio gli stessi vengano asportati, con conseguente possibile rimozione del pericolo di amplificazione sismica.

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

**Tab.11 - Scenari di Pericolosità Sismica Locale (da All.5 della D.G.R. n.9/2616 del 30/11/2011).**

In sintesi, gli scenari individuati sul territorio comunale di Val Brembilla sono riportati nella seguente Tab.12.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona caratterizzata da movimenti franosi potenziali o potenzialmente esposta a fenomeni di crollo	
Z2a	Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti, quali terreni di riporto,	Cedimenti
Z3a	Zona di ciglio H>10m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana con presenza di falde di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre.	
Z4d	Zona con presenza di argille residuali o terre rosse di origine eluvio-colluviale	

**Tab.12 – Scenari di Pericolosità Sismica Locale in Comune di Val Brembilla.**

#### **4.3.1 Carta di Pericolosità Sismica locale**

I vari scenari sopra descritti sono stati riportati sulla "Carta di Pericolosità sismica locale" (Tav.1 A-B) in scala 1: 5.000, dove sono stati evidenziati con aree a colore pieno gli scenari Z1a, Z1b, Z1c, Z2a, Z4a, Z4b e Z4d, e con elementi lineari gli scenari Z3a e Z3b. Dall'analisi della "Carta di Pericolosità sismica locale" emerge quanto segue:

- Lo Scenario Z1a comprende i settori del territorio comunale interessati da problemi di stabilità in fase attiva, quali nell'ex territorio di Gerosa la frana presso il Santuario ed altre frane lungo la Valle dei Molini e la Valle Zuccone, e nell'ex territorio di Brembilla le frane ex L. n.267 del 03/08/1998 – Zona 1 (Lera, Camorone e Valle Perno), la frana di Caremondi ed altre grane minori attive.  
Tutte le frane quiescenti, le frane bonificate in tempi recenti (ultimi 15-20 anni), per cui non è ancora certo l'esito dell'intervento, le frane ex L.267/98 – Zona 2 e le fasce di rispetto di frane attive sono state inserite nello Scenario Z1b, mentre tutte le aree di media pendenza interessate da potenziale pericolo di smottamenti e scivolamenti di terreno e rocce argillitiche, e le aree di alta pendenza con potenziale caduta di massi sono state infine inserite nello Scenario Z1c (zone in moderata erosione, zone con depositi superficiali con inclinazione superiore a 20-25° e zone con roccia e depositi con inclinazione superiore a 35°, paleofrane e frane inattive).
- Nello scenario Z2, comprendente terreni di fondazione particolarmente scadenti, sono state incluse tutte le zone con terreni di riporto, indipendentemente dalla natura degli stessi (che ovviamente non è stato sempre possibile definire nello studio in corso).
- Lo Scenario Z3a comprende i cigli delle scarpate che delimitano diversi ripiani e alcuni dossi prativi, mentre lo Scenario Z3b comprende la maggior parte delle creste che delimitano i vari bacini idrografici.

- I ripiani con depositi alluvionali del fondovalle del Torrente Brembilla e di altri corsi d'acqua minori sono stati posti nello Scenario Z4a, alcuni pendii con copertura detritica e i conoidi alluvionali presenti lungo il fondovalle del Torrente Brembilla sono stati inseriti nello Scenario Z4b, e le aree a modesta pendenza presenti a Gerosa, Blello, Unizzi, Foppa Calda, Forcella di Berbenno, Laxolo, Cadelfoglia, Camorone, Castignola, Crosnello ed altre minori, caratterizzate dalla presenza di spessori significativi di materiali argillosi di origine colluviale, sono classificate nello scenario Z4d. Tutte queste aree sono sede di possibili fenomeni d'amplificazione dovuti alla natura geologica dei terreni presenti.

#### **4.4 Analisi di 2° livello**

In accordo con quanto riportato nella D.G.R. n.9/2616/2011, l'analisi di 2° livello è obbligatoria, per i Comuni ricadenti nelle zone sismiche 2 e 3 (quale il Comune di Val Brembilla, a partire dal 10/04/2016), per tutti gli scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche di tipo topografico e di tipo litologico individuati nell'analisi di primo livello e interferenti con l'urbanizzato e/o con le aree di espansione urbanistica (in precedenza l'analisi era obbligatoria solo per gli edifici considerati strategici ai sensi del d.d.u.o. 19904/04). Gli approfondimenti di secondo livello, come già visto, non sono invece necessari per le aree considerate per varie ragioni inedificabili.

La procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (Fa); gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, comunque validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e topografiche, e sono utilizzati per suddividere l'area comunale, nei limiti del possibile, in funzione del valore di Fa.

Il valore di Fa si riferisce agli intervalli di periodo tra 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s: tali intervalli sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale: in particolare l'intervallo tra 0,1-0,5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0,5-1,5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di Fa per entrambi gli intervalli di periodo considerati, mentre per gli effetti topografici solo per l'intervallo 0,1-0,5 s: questa limitazione è causata dall'impiego, per la messa a punto della scheda di valutazione, di codici di calcolo di tipo bidimensionale ad elementi di contorno, che sono risultati più sensibili all'influenza del moto di input nell'intervallo di periodo 0,5-1,5 s.

##### **4.4.1 Metodologia per la valutazione degli effetti di amplificazione topografica**

Due edifici identici fondati sul medesimo suolo, ma in due distinte situazioni morfologiche, avvertono in modo completamente diversa lo scuotimento del suolo causato dallo stesso sisma; è evidente che in simili circostanze anche gli effetti attesi sui due edifici possono essere molto diversi. La seguente Fig.11 schematizza il concetto che sta alla base delle analisi circa gli effetti di amplificazione topografica effettuate nel corso di questo studio.

La normativa vigente prevede che le possibili zone di amplificazione topografica vengano valutate per mezzo di procedure semplificate con l'impiego di abachi o tabelle che si riferiscono a due diverse situazioni tipo:

- zona di scarpata (Scenario Z3a);
- zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo (Scenario Z3b).

Per la determinazione del Fattore di amplificazione (Fa) sono proposti 5 abachi per lo scenario di cresta/cocuzzolo ed una tabella per lo scenario di scarpata. Tali abachi forniscono stime del valore del fattore di amplificazione (Fa) su base statistica. Si evidenzia tuttavia come gli effetti di amplificazione topografica risentano notevolmente della direzionalità degli impulsi sismici, per cui la stima fornita è da intendersi come la risposta dello scenario considerato nel caso peggiore, cioè nel caso in cui l'incidenza del treno d'onde avvenga perpendicolarmente alla direzione di allungamento della cresta o della scarpata. In tutti i casi in cui il treno d'onde associato al movimento sismico non sia

perpendicolare allo sviluppo della cresta o della scarpata, è lecito attendersi effetti di amplificazione topografica attenuati rispetto a quanto riportato più avanti.

Nel caso di rilievi morfologici asimmetrici che possono essere rappresentati sia dallo scenario Z3a sia dallo scenario Z3b, a seconda dell'orientazione della sezione, si devono analizzare entrambi i casi e si deve scegliere quello più sfavorevole.

Nel caso si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani, in presenza di scenari Z3a e Z3b, è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia.

L'esame della carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL) ha consentito di individuare per il territorio del comune di Val Brembilla un gran numero di situazioni morfologiche potenzialmente suscettibili di effetti di amplificazione topografica, anche se solo relativamente poche di queste interessano l'edificato.

#### **Zona di scarpata (Scenario Z3a)**

Lo scenario di zona di scarpata rocciosa (Z3a) è caratterizzato da irregolarità con fronti di altezza ( $H$ ) uguale o superiore a 10m ed inclinazione ( $\alpha$ ) del fronte principale uguale o superiore ai 10°. In funzione della tipologia del fronte superiore si distinguono:

- scarpate ideali con fronte superiore orizzontale;
- scarpate in pendenza con fronte superiore inclinato nello stesso senso del fronte principale;
- scarpate in contropendenza con fronte superiore inclinato nel senso opposto a quello del fronte principale.

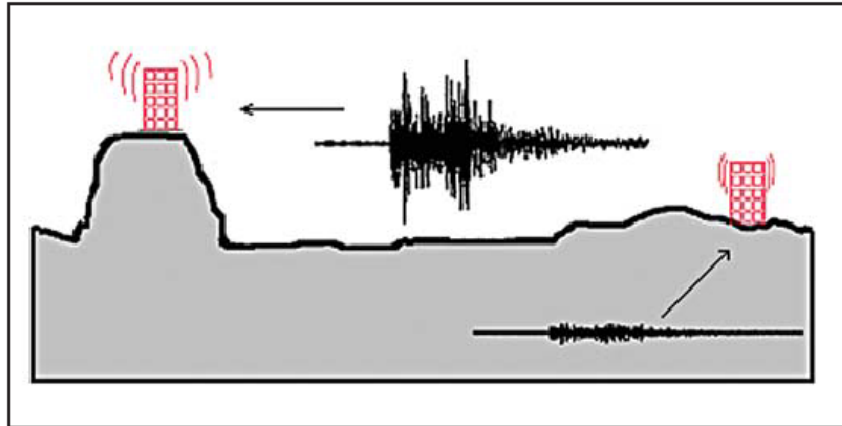
La misura dell'altezza  $H$  è da intendersi come distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore è definito come distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica. Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano (Fig.12):

- un fronte superiore di estensione paragonabile al dislivello altimetrico massimo ( $H$ ) o comunque non inferiore ai 15-20 m;
- l'inclinazione ( $\beta$ ) del fronte superiore inferiore o uguale ad un quinto dell'inclinazione ( $\alpha$ ) del fronte principale, nel caso delle scarpate in pendenza (per  $\beta \geq 1/5 \alpha$  la situazione è da considerarsi pendio);
- il dislivello altimetrico minimo ( $h$ ) minore ad un terzo del dislivello altimetrico massimo ( $H$ ), nel caso di scarpate in contropendenza (per  $h \geq 1/3 H$  la situazione è da considerarsi una cresta appuntita).

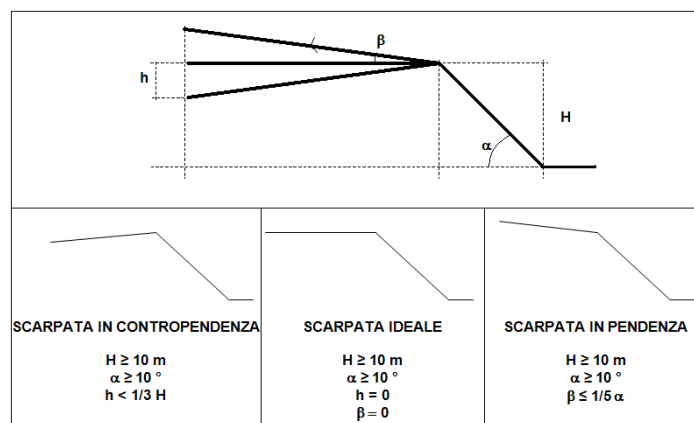
All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione dell'inclinazione  $\alpha$  il valore di  $F_a$  nell'intervallo 0,1-0,5s, come esposto nella seguente Fig.12, messa a punto dal Dipartimento di Ingegneria Strutturale di Milano. Questo ha realizzato vari modelli caratterizzati da diverse altezze  $H$ , diverse inclinazioni  $\alpha$  del fronte principale e diversa tipologia del fronte superiore, e ha calcolato il Fattore di amplificazione per l'intervallo di periodo compreso tra 0,1-0,5s lungo il fronte superiore, identificando anche l'area di influenza ( $A_i$ ) dei fenomeni di amplificazione sismica. I  $F_a$  sono stati calcolati anche per l'intervallo 0,5-1,5s, ma in tal caso sono apparsi influenzati sensibilmente dalla variabilità del moto di input e quindi non sufficientemente adatti a rappresentare in modo univoco la risposta sismica al sito.

Il valore di  $F_a$  determinato deve essere approssimato alla prima cifra decimale ed assegnato al ciglio del fronte principale, mentre all'interno della relativa area di influenza (fronte superiore) il valore è scalato in modo lineare fino al raggiungimento del valore unitario; lungo il fronte principale tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base del fronte stesso.

I valori di  $F_a$  così ottenuti sono poi utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.



**Fig.11 - Schematizzazione degli effetti di amplificazione sismica causati da una diversa situazione morfologica a parità di litologia del sottosuolo.**



Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $F_{a,0.1-0.5}$	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	

**Fig.12 - Schema identificativo e tipologie delle situazioni di scarpata e tabella con i valori del  $F_a$  e dell'area d'influenza per varie tipologie di scarpata.**

### **Zona di cresta rocciosa o cocuzzolo (Scenario Z3b)**

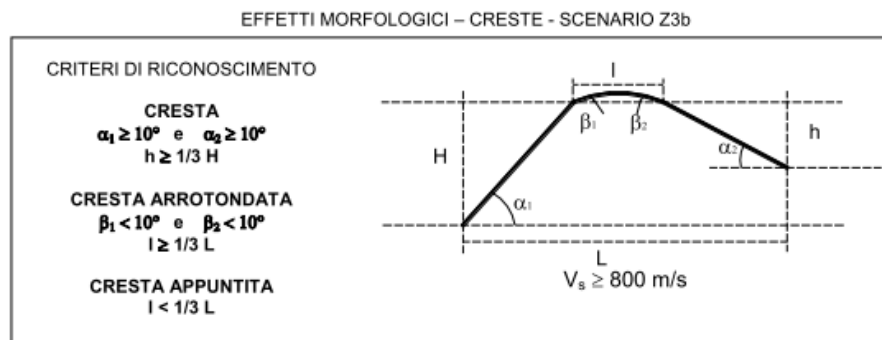
La procedura semplificata è valida per lo scenario di zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo (Z3b), caratterizzata da pendii con inclinazione maggiore o uguale ai 10°; il rilievo è identificato sulla base di cartografie a scala almeno 1:10.000 e la larghezza alla base è scelta in corrispondenza di evidenti rotture morfologiche. Sono da considerare creste solo quelle situazioni che presentano il dislivello altimetrico minimo ( $h$ ) maggiore o uguale ad un terzo del dislivello altimetrico massimo ( $H$ ) (scheda di valutazione).

Il materiale costituente il rilievo topografico, secondo la normativa vigente, deve avere una  $V_s$  maggiore o uguale ad 800m/s (equivalente alla categoria di sottosuolo A del D.M. 14/01/2008). In relazione a quest'ultimo punto si evidenzia però come la condizione  $V_s \geq 800$  m/s sia, in numerosi casi, eccessivamente ottimistica per buona parte delle rocce del substrato roccioso italiano, specialmente nella loro porzione più superficiale, sovente alterata e frantumata. Queste rocce infatti, pur manifestando indubbiamente un comportamento litoide che le farebbe classificare senza dubbio in categoria di sottosuolo A, presentano spesso  $V_s < 800$  m/s. La rigida applicazione della normativa vigente renderebbe quindi estremamente difficoltoso classificare in categoria A, buona parte dei terreni italiani (almeno l'85% delle rocce sedimentarie), e anche molte rocce magmatiche o metamorfiche, il che rappresenta senza dubbio un controsenso. Per ovviare a tale incongruenza in presenza di un sottosuolo riconducibile a substrato roccioso, le  $V_s$  sono state considerate comunque  $> 800$  m/s anche quando le velocità effettivamente osservate sono risultate inferiori al limite indicato dalla normativa. Nell'ambito delle creste si distinguono due situazioni (Fig.13):

- rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta ( $l$ ) molto inferiore alla larghezza alla base ( $L$ ) (cresta appuntita);
- rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta paragonabile alla larghezza alla base, ovvero pari ad almeno 1/3 della larghezza alla base; la zona di cresta è pianeggiante o subpianeggiante con inclinazioni inferiori a 10° (cresta arrotondata).

Costituiscono elementi necessari per l'applicazione del metodo i seguenti parametri: larghezza alla base del rilievo  $L$ ; larghezza in cresta del rilievo  $l$ ; dislivello altimetrico massimo  $H$  e dislivello altimetrico minimo  $h$  dei versanti; coefficiente di forma  $H/L$ .

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della tipologia di cresta (appuntita o arrotondata) e della larghezza alla base del rilievo, solo per le creste appuntite, la curva più appropriata per la valutazione del valore di  $F_a$  nell'intervallo 0,1-0,5 s, in base al valore del coefficiente di forma  $H/L$ . Il valore di  $F_a$  determinato viene approssimato alla prima cifra decimale ed assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta  $l$ , mentre lungo i versanti tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante. I valori di  $F_a$  così ottenuti sono utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa vigente.



**Fig.13 - Schema identificativo e tipologie delle situazioni di cresta.**



La valutazione del grado di protezione, per ambedue gli scenari morfologici (zona di scarpata e zona di cresta rocciosa e/o cucuzzolo), viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando i valori di Fa ottenuti dalle Schede di valutazione con il valore di St delle Norme Tecniche per le Costruzioni, che si riporta nella seguente Tab.13. Tale valore 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.

La procedura prevede, pertanto, di valutare il valore di Fa con l'apposita scheda e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di +/- 0,1 che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto dalla procedura semplificata.

Si possono presentare, quindi, due situazioni:

- il valore di Fa è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione topografica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- il valore di Fa è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione topografica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia.

**Tabella 3.2.VI – 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 del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

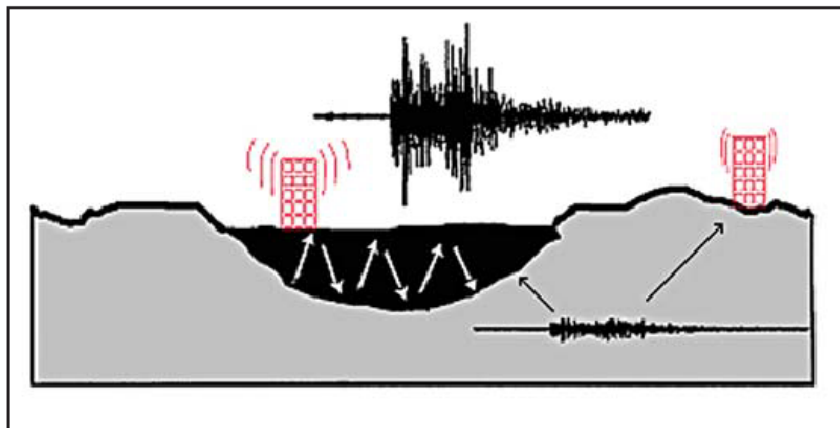
**Tab.13 - Valori massimi del Coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ .**

#### **4.4.2 Metodologia per la valutazione degli effetti di amplificazione litologica**

Due edifici identici fondati su suoli diversi, con una situazione morfologica superficiale confrontabile, avvertono in maniera completamente diversa lo scuotimento del suolo causato dallo stesso sisma; anche in questa circostanza gli effetti attesi sui due edifici sono completamente diversi. La seguente Fig.14 schematizza il concetto che sta alla base delle analisi circa gli effetti di amplificazione litologica effettuate nel corso di questo studio.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di Fa per entrambi gli intervalli di periodo considerati 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s. Si tratta di una procedura semplificata, codificata anch'essa nell'Allegato 5 della D.G.R. n. 9/2616/2011, che prevede l'impiego di abachi di riferimento e richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;



**Fig.14 - Schematizzazione degli effetti di amplificazione sismica causati da una diversa situazione litologica a parità di condizione morfologica.**

- andamento delle Vs con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s; la conoscenza degli spessori e delle Vs può essere ottenuta utilizzando qualsiasi metodo di indagine diretto ed indiretto, in grado di fornire un modello geologico e geofisico del sottosuolo attendibile in relazione alla situazione geologica del sito e il più dettagliato possibile nella parte più superficiale, per una corretta individuazione del cosiddetto strato superficiale. In mancanza del raggiungimento del bedrock ( $V_s \geq 800$  m/s) con le indagini è possibile ipotizzare un opportuno gradiente di Vs con la profondità sulla base dei dati ottenuti dall'indagine, tale da raggiungere il valore di 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico-geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova SPT, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento (riportate nell'Appendice della Parte 3).

Attualmente sono disponibili:

- una scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2);
- una scheda per le litologie prevalentemente sabbiose.

Una volta individuata la scheda di riferimento, è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di Vs con la profondità, partendo dalla scheda tipo 1 e, nel caso in cui non fosse verificata la validità per valori di Vs inferiori ai 600 m/s, passando alla scheda tipo 2.

In presenza di una litologia non contemplata dalle schede di valutazione allegate, si può utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine. Nel caso esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata, ma l'andamento delle Vs con la profondità non ricada nel campo di validità della scheda, può essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine.

Nel caso di alternanze litologiche, che non presentano inversioni di velocità con la profondità, si possono utilizzare le schede a disposizione solo se l'andamento dei valori di Vs con la profondità, nel caso da esaminare, risulti compatibile con le schede proposte. In presenza di alternanze litologiche con inversioni di velocità con la profondità si può utilizzare la scheda di valutazione che presenti l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine, accettando anche i casi in cui i valori di Vs escano dal campo di validità solo a causa dell'inversione.

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della profondità e della velocità Vs dello strato superficiale ed utilizzando la matrice della scheda di valutazione, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la valutazione del valore di Fa nell'intervallo 0.1-0.5 s e nell'intervallo 0.5-1.5 s, in base al valore del periodo proprio del sito T (nel caso il valore di Vs dello strato superficiale risulti pari o superiore ad 800 m/s non si applica la procedura semplificata per la valutazione del Fa in quanto l'amplificazione litologica attesa è nulla ( $Fa=1.0$ )).

Il valore di Vs dello strato superficiale riportato nella scheda è da intendersi come limite massimo di ogni intervallo. Qualora lo strato superficiale abbia una profondità inferiore ai 4m si deve utilizzare, per la scelta della curva, lo strato superficiale equivalente, a cui si assegna una velocità Vs calcolata come media pesata del valore di Vs degli strati superficiali la cui somma supera i 4m di spessore.

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

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

ove  $h_i$  e  $V_{s_i}$  sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.

Il valore di Fa determinato deve essere approssimato alla prima cifra decimale.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di Fa ottenuto dalle schede di valutazione con il valore fornito dalla Regione Lombardia per ciascun comune e per le diverse categorie di sottosuolo (Norme Tecniche per le Costruzioni) soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s. Tali valori, riportati nella banca dati in formato .xls (soglie\_lomb.xls), rappresentano il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di Fa con le apposite schede e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di +/- 0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto (Fa calcolato non deve essere superiore al valore di Fa di soglia aumentato di 0,1).

Si possono presentare quindi due situazioni:

- il valore di Fa è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;

- il valore di  $F_a$  è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario, in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite (3° livello) o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore, con il seguente schema:
  - o anziché lo spettro della categoria di sottosuolo B si utilizzerà quello della categoria di sottosuolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di sottosuolo D;
  - o anziché lo spettro della categoria di sottosuolo C si utilizzerà quello della categoria di sottosuolo D;
  - o anziché lo spettro della categoria di sottosuolo E si utilizzerà quello della categoria di sottosuolo D.
- Nel caso di presenza contemporanea di effetti litologici (Z4) e topografici (Z3) si devono analizzare entrambi i casi e scegliere quello più sfavorevole.

La scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di  $V_s$ , utilizzati nella procedura di 2° livello deve essere opportunamente motivata e a ciascun parametro utilizzato deve essere assegnato un grado di attendibilità, secondo la seguente Tab.14:

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

**Tab.14 - Livelli di attendibilità da assegnare ai risultati ottenuti dall'analisi.**

#### **Approccio metodologico impiegato**

Il 2° livello, pur facendo riferimento ad una procedura standardizzata, richiede una serie di parametri (in particolare la conoscenza di un adeguato modello geofisico del sottosuolo) che non sempre è disponibile come dato di partenza, e che pertanto condiziona pesantemente l'applicabilità del metodo. Per ovviare alla mancanza di informazioni di base adeguate all'applicazione della procedura del livello 2°, nel corso di questo lavoro si è anche fatto uso di tecniche geofisiche strumentali, procedendo di fatto anche all'applicazione della procedura di terzo livello, per buona parte del tessuto edificato del territorio comunale.

L'utilizzo di queste tecniche geofisiche ha consentito quindi da un lato di fornire dati di input più affidabili per l'applicazione della procedura di 2° livello, e dall'altro di ottenere una serie di informazioni, in particolare sulle frequenze di risonanza fondamentale dei siti investigati, il cui uso può essere particolarmente utile, in fase progettuale, agli ingegneri strutturisti che intendano verificare l'interazione dal punto di vista sismico del sistema terreno-edificio (la frequenza principale di risonanza costituisce infatti il parametro fondamentale per evitare, in fase

progettuale, i fenomeni di *doppia risonanza*, - cioè la coincidenza delle frequenze di vibrazione proprie del sottosuolo con quelle degli edifici-, che costituiscono la vera causa delle distruzioni causate da un terremoto).

Operativamente, nelle principali situazioni geologiche oggetto di urbanizzazione del Comune di Val Brembilla si sono effettuate delle indagini sismiche passive mediante tecnica HVSR, che hanno consentito di verificare le condizioni richieste dalla normativa vigente e di ricostruire adeguati modelli stratigrafici e geofisici del sottosuolo, e quindi di applicare la procedura standardizzata prevista.

Le misure a stazione singola del tremore sismico consentono infatti,

- attraverso l'analisi dei rapporti spettrali, di ricavare direttamente la frequenza (F) fondamentale di risonanza del sottosuolo, immediatamente correlabile al periodo (T) di oscillazione proprio del sito ( $T = 1/F$ ), senza la necessità di ricorrere all'impiego di correlazioni empiriche come quella citata nei paragrafi precedenti (la frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo è un parametro la cui correlazione con gli effetti di sito è ben più significativa di quella del Vs30, che viene richiesto a livello della normativa nazionale);
- previa opportuna inversione, di stimare in maniera rapida sia la stratigrafia superficiale che il Vs30, e di ricostruire un modello geofisico del sottosuolo, che può essere utilizzato per la valutazione degli effetti sismici di sito, come previsto dalla DGR n.9/2616/2011.

In accordo allo schema di cui alla precedente Fig.17, tenuto conto che i dati in ingresso, sia stratigrafici che geofisici, vengono acquisiti per mezzo di prove dirette di sismica passiva, si può affermare che il livello di attendibilità dei dati utilizzati per l'espletamento della procedura di 2° livello sia considerabile "Alto".

Si illustrano brevemente di seguito le basi teoriche della metodologia impiegata (misure geofisiche di sismica passiva a stazione singola - HVSR), di cui si è fatto largo uso in questo lavoro.

#### ***Il microtremore sismico ambientale***

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche *microtremore* poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti nel campo prossimo all'epicentro.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione dalla velocità di queste ultime.

#### ***Strumentazione impiegata***

Tutte le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 20 minuti ciascuna, sono state effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (Tromino) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Tutte le misure a stazione singola in campo aperto sono state orientate secondo il Nord.

#### **4.4.3 Risultati dell'analisi di Amplificazione topografica**

L'analisi ha preso in considerazione tutte le principali situazioni di cresta e scarpata interferenti con le aree urbanizzate. Si riportano di seguito nelle Tab.15 e 16 i risultati della analisi di amplificazione topografica, distinguendo quelle relative agli Scenari di scarpata (Z3a), effettuate con l'ausilio della Fig.12, da quelle degli Scenari

di cresta e cocuzzolo (Z3b), realizzate con appositi abachi riportati nell'All.5 della D.G.R. Le sezioni topografiche relative a tutte le situazioni analizzate (che costituiscono una parte di quelle individuate nello studio di 1° livello) sono riportate nell'Appendice della Parte 3 della Relazione geologica.

Valutazione del Fattore di amplificazione topografico per lo Scenario di scarpata (Z3a)										
Sezione	Località	Tipo	Classe altimetrica (m)	Classe inclinazione (°)	Fa	Area influenza (m)	Altezza (m)	Angolo scarpata (alfa)	Angolo fronte sup. (beta)	Lunghezza (m)
1	Bura	Scarpata controp.	>40	40-60	1,3	29,3	44	45	neg	>15-20m
2	Gerosa bassa	pendio					40	33	12	>15-20m
3	Gerosa	pendio					75	20	15	>15-20m
4	Gerosa	pendio					25	31	14	>15-20m
5	Gerosa	pendio					30	26	26	>15-20m
6	Gerosa	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	60,0	90	25	3	>15-20m
8	Gerosa	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	33,3	50	30	4	>15-20m
11	Foppacalda	pendio						24	14	>15-20m
13	Blello di Gerosa	pendio					15	21	5	>15-20m
14	Prato Aroldi	pendio						22	7	>15-20m
15	Gaiazzo	pendio						20	15	>15-20m
18	Garateno	Scarpata pendenza	>40	40-60	1,3	30,7	46	42	7	>15-20m
19	Garateno	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	34,7	52	25	3	>15-20m
20	Brembilla Roccolo	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	34,7	52	30	6	>15-20m
22	Monte Via Libertà	Scarpata pendenza	20-40	10-90	1,2	25,5	34	30	5	>15-20m
23	Monte Via Libertà	pendio						31	8	>15-20m
24	Via Capodato	pendio						23	14	>15-20m
25	Villaggio Europa	Scarpata ideale	10-20	10-90	1,1	12,0	12	16	0	>15-20m
26	Chigavacche	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	46,7	70	35	7	>15-20m
29	Foppa	Scarpata pendenza	20-40	10-90	1,2	24,0	32	31	6	>15-20m
30	Cabonocchio	Scarpata pendenza	20-40	10-90	1,2	16,5	22	20	4	>15-20m
32	Cabonocchio	Scarpata pendenza	20-40	10-90	1,2	13,5	18	20	3	>15-20m
33	Cabonocchio	Scarpata ideale	>40	20-40	1,2	46,7	70	30	0	>15-20m
34	Cabonocchio	pendio						27	7	>15-20m
35	Laxolo Caberardi	pendio						19	5	>15-20m
36	Laxolo Caberardi	Scarpata controp.	>40	20-40	1,2	28,0	42	38	-7	>15-20m
37	Campo Secomandi	Scarpata ideale	>40	20-40	1,2	30,7	46	25	0	>15-20m
38	Campo Secomandi	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	29,3	44	27	4	>15-20m
39	Campo Secomandi	Scarpata ideale	>40	20-40	1,2	30,7	46	29	0	>15-20m
40	Laxolo Caberardi	Scarpata ideale	>40	20-40	1,2	52,0	78	29	0	>15-20m
41	Malentrata	pendio						33	10	>15-20m
43	Laxolo Caberardi	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	49,3	74	39	7	>15-20m
44	Laxolo Caremondi	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	57,3	86	32	6	>15-20m
45	Laxolo Caremondi	Scarpata ideale	>40	40-60	1,3	45,3	68	46	0	>15-20m
46	Laxolo Caremondi	Scarpata ideale	>40	40-60	1,3	34,7	52	48	0	>15-20m
47	Castignola	Scarpata ideale	>40	20-40	1,2	45,3	68	31	0	>15-20m
49	Sant'Antonio Abb.	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	40,0	60	24	3	>15-20m
50	Catremerio	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	57,3	86	29	5	>15-20m
51	Lera	Scarpata ideale	20-40	10-90	1,2	21,0	28	25	0	>15-20m

**Tab.15 – Fattori di amplificazione sismica relativi a gli Scenari di scarpata (Z3a).**

Valutazione del Fattore di amplificazione topografico per lo Scenario di cresta (Z3b)													
Sezione	Località	Tipo	Fa	Angolo base dx alfa 1	Angolo base sin alfa 2	Angolo sommità dx beta 1	Angolo sommità sin beta 2	Altezza maggiore H	Altezza minore h	Lunghezza base L	Lunghezza sommità l	Rapporto l/L	rapporto H/L
7	Gerosa	Cresta appuntita	1,2	29	15	1	1	50	20	208	46	0,22	0,24
9	Gerosa	Cresta arrotondata	1,1	22	16	2	2	35	20	194	57	0,29	0,18
10	Gerosa	Cresta appuntita	1,2	28	30	2	2	70	50	311	24	0,08	0,23
12	Canto del Ronco	Cresta appuntita	1,4	35	15	5	5	87	29	253	36	0,14	0,34
16	Cavaglia	Cresta appuntita	1,3	30	16			86	50	334	50	0,15	0,26
16bis	Cavaglia	Cresta appuntita	1,4	34	20	10	10	105	38	356	96	0,27	0,29
17	Tesotti	Cresta arrotondata	1,1	26	15	4	4	14	10	106	36	0,34	0,13
17bis	Tesotti	Cresta arrotondata	1,1	31	20	4	4	18	10	69	16	0,23	0,26
21	Brembilla Roccolo	Cresta appuntita	1,2	22	17	3	3	38	24	189	18	0,10	0,20
27	Chigavacche	Cresta arrotondata	1,1	45	25	8	8	16	10	164	96	0,59	0,10
28	Foppa	Cresta appuntita	1,3	34	10	4	4	64	12	195	34	0,17	0,33
31	Cabonocchio	Cresta appuntita	1,2	31	19	14	14	32	17	162	35	0,22	0,20
42	Laxolo Torre	Cresta arrotondata	1,1	15	22	5	5	20	18	212	90	0,42	0,09
48	Castignola	Cresta arrotondata	1	23	10	4	4	8	4	96	49	0,51	0,08

**Tab.16 – Fattori di amplificazione sismica relativi agli Scenari di cresta e cocuzzolo (Z3b).**



Le tabelle mostrano come, fra le situazioni considerate, non siano presenti zone suscettibili di fenomeni di amplificazione sismica locale di entità superiore al valore di soglia, condizione che ragionevolmente si ritiene che possa essere estesa alla maggior parte del territorio comunale.

La normativa è da considerarsi generalmente sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi, in fase di progettazione, può essere applicato lo spettro previsto dalla normativa. Si raccomanda comunque, in caso di costruzioni di rilievo e per opere situate in aree non indagate dal presente studio ove si identificassero situazioni morfologiche passibili di fenomeni di amplificazione, di effettuare analisi simili a quelle descritte in precedenza.

#### **4.4.4 Risultati dell'analisi di Amplificazione litologica**

La procedura prevista dalla Regione Lombardia per valutare gli effetti di amplificazione di sito legati a problematiche di tipo litologico prevede l'impiego di abachi semplificati che richiedono una procedura di validazione dei dati di ingresso (abachi riportati nell'Appendice - Parte 3 della Relazione), e la stima del fattore di amplificazione da confrontare con il valore di soglia definito dalla D.G.R. n.8/7374/2008 per ciascun comune, in relazione al diverso intervallo di oscillazione caratteristico (0.1-0.5 s e 0.5 1.5 s) e alle diverse categorie di sottosuolo (B, C, D ed E).

I parametri di input per l'applicazione della procedura di 2° livello sono stati ricavati con l'approccio seguente:

- Definizione del modello geofisico del sottosuolo mediante inversione delle curve HVSR rilevate in sito e le cui registrazioni ed elaborazioni sono riportate nell'Appendice;
- Calcolo della  $V_{s,30}$  in ciascuna situazione esaminata, e conseguente individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento ai sensi del D.M. 14/01/2008 sulla base dello schema della Tab.17;

**Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

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

**Tab.17 – Categorie di sottosuolo riportate nel D.M. 14/01/2008).**

- Individuazione della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, attraverso il riconoscimento dei picchi HVSR più significativi che scaturiscono dalle registrazioni, e quindi definizione del periodo di oscillazione caratteristico del sottosuolo, calcolato come inverso della frequenza fondamentale di risonanza;
- Individuazione dello spessore dello strato superficiale a bassa velocità sismica e definizione di tale velocità delle onde S ( $V_s$ ), necessario per la scelta della curva da usarsi nell'abaco.

A partire dai dati di input sopra riportati si è proceduto preliminarmente alla validazione delle condizioni di base imposte dalla procedura prevista dalla normativa, e successivamente al calcolo del fattore di amplificazione  $F_a$  utilizzando le correlazioni  $F_a$ - $T$ , piuttosto che la lettura diretta degli abachi di riferimento.

Il valore di  $F_a$  stimato (tenuto conto di una variabilità di  $\pm 0.1$ ) è stato infine confrontato con valore di soglia definito dalla D.G.R. n.8/7374/2008 per il Comune di Val Brembilla, in funzione degli intervalli di oscillazione caratteristici e in funzione delle diverse categorie di sottosuolo (Tab.18).

Intervallo	Valori soglia			
	B	C	D	E
0.1 - 0.5	1.4	1.8	2.2	2.0
0.5 - 1.5	1.7	2.4	4.2	3.1

**Tab.18 - Valori di soglia del fattore d'amplificazione sismica di soglia definiti dalla D.G.R. n.8/7374/2008 per il Comune di Val Brembilla.**

Nella seguente Tab.19 si riportano sinteticamente i risultati di tutte le misure HVSR eseguite e delle relative elaborazioni, nonché le ipotesi adottate per la valutazione del Fattore di Amplificazione, in accordo alla procedure definite dalla normativa.

Le indagini hanno interessato essenzialmente le aree urbanizzate ove, per i maggiori spessori dei materiali di copertura, sono più probabili i fenomeni di amplificazione sismica, quali l'area di fondovalle del Torrente Brembilla e quelle a debole pendenza di Laxolo, di Gerosa, e delle principali contrade poste sui versanti.

Tutti i risultati delle misure HVSR (complessivamente 26) sono presentati nell'Appendice.

Nel seguito (Tab.20) si riportano, per ciascuna situazione, i risultati del confronto tra il valore di  $F_a$  stimato e quello di riferimento sopra riportato, con l'indicazione del livello di protezione -sufficiente o insufficiente- nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale garantita dalla normativa vigente. Come già detto dettagliatamente nel Par.4.4.2, si ricorda in sintesi che, in fase di progettazione edilizia, in caso di protezione sufficiente si può procedere con la categoria di sottosuolo tipica del sito, mentre in caso di protezione insufficiente è invece necessario o effettuare analisi più approfondite (3° livello), o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore.

Dalla Tab.20 si rileva come tutte le situazioni considerate, sulla base della semplice misura HVSR delle  $V_{s30}$ , siano riconducibili alle Categorie di sottosuolo B e C, e come per 12 di esse i Fattori di amplificazione risultino inferiori ai valori di soglia, con la necessità quindi di passare, secondo le indicazioni della normativa, in 11 casi alla categoria C e in uno alla D.

La conoscenza diretta dei luoghi permette però di ipotizzare che i valori relativamente alti di  $V_{s30}$  riscontrati dipendano in buona misura dal fatto che nei 30m considerati sia quasi sempre presente, in proporzioni considerevoli, il substrato roccioso, che seppur variamente rilasciato ed alterato, è pur sempre caratterizzato da  $V_s$  superiori a quelle dei depositi di copertura.

Per questo, e ben sapendo che, salvo forse in rare occasioni (area di Laxolo e di Gerosa), gli spessori dei depositi di copertura si mantengono in genere in tutta l'area comunale inferiori a 10-15m e difficilmente raggiungono gli spessori di 30m previsti dalle Categorie di sottosuolo B, C e D, si sono proposte nelle ultime colonne della Tab.20 le categorie più adatte a descrivere le puntuali situazioni geologiche considerate, con l'indicazione, anche in questo caso, del livello di protezione nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica attesi.

Si vede che in molti casi la categoria proposta per la progettazione è la E, caratterizzata da un livello superiore di terreni a bassa velocità (tipo C o D) con spessori inferiori a 20m, e da uno inferiore dato dal substrato roccioso più resistente. Si è comunque indicata, in alcuni casi, anche una categoria meno conservativa (in genere la C), possibile in caso di spessori maggiori dei depositi superficiali o di substrato roccioso molto fratturato che di fatto non costituisca un bed-rock sismico.

Il margine d'incertezza riportato in tabella è tipico della Fase di Pianificazione entro cui si è svolto il presente studio, fase in cui difficilmente si hanno a disposizione precisi dati circa natura e spessori dei materiali. Come previsto chiaramente dalla normativa, una più precisa definizione delle categorie di sottosuolo deve essere effettuata in Fase di Progettazione.

In sintesi, gli elementi principali dello studio sono:

- In considerazione della notevole variabilità geologica del territorio comunale, non è stato possibile applicare fedelmente la procedura proposta dalla D.G.R., che prevede la definizione della Categoria di sottosuolo e l'individuazione delle aree dove il Fattore di amplificazione calcolato superi quello indicato dalla normativa, con conseguente indicazione alternativamente, per la progettazione, di utilizzare la Categoria di sottosuolo superiore o di applicare il terzo livello di approfondimento.
- Lo studio è stato quindi condotto come segue:
  - o Con l'esecuzione, nelle principali aree urbanizzate del territorio comunale impostate su depositi di copertura, di una serie di misure sismiche HVSR, che hanno permesso la valutazione del parametro Vs30 e la conseguente definizione della Categoria di sottosuolo, indipendentemente dalla natura e dagli spessori dei terreni presenti,
  - o con le analisi previste dalla normativa per verificare se il fattore di amplificazione calcolato sia o meno superiore a quello di soglia, e quindi se la normativa sia da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito.
- Lo stesso ha portato all'individuazione, per ogni sito studiato, della categoria di suolo che meglio descrive le reali condizioni del sito e al contempo garantisce il rispetto della normativa, e alla definizione di massima di zone per le quali con l'impiego della categoria di sottosuolo indicata la normativa nazionale è in grado di tenere in considerazione gli effetti di amplificazione di sito: tale categoria è la E con subordinata la C per gran parte delle aree urbanizzate e pianeggianti dell'area comunale, la C con subordinata la E per la zona di Laxolo, ove sono presenti maggiori spessori dei terreni di copertura, la B e la E per le zone sui versanti, in funzione per lo più degli spessori dei terreni ricoprenti il substrato.

Misure HVSr ed elaborazioni per la valutazione del Fattore di amplificazione litologica											
Sigla	Ubicazione	Vs30 [m/s]	Categoria suolo	F [Hz]	Vs 1° strato [m/s]	H 1° strato [m]	T =1/F	Scheda	Nome	Tipo	Curva
T01	Brembilla Chiesa Parr.	440	B	3.50	218	5.0	0.29	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	2
T02	Brembilla Scuole Medie	338	C	4.00	239	11.7	0.25	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	1
T03	Laxolo Chiesa Parr.	468	B	2.40	282	6.6	0.42	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	3
T04	Laxolo Carbolone	408	B	6.56	200	4.1	0.15	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	2
T05	Cadefoglia Chiesa	426	B	8.80	270	8.5	0.11	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	2
T06	Gerosa Scuole Elementari	449	B	7.00	326	12.3	0.14	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	3
T07	Brembilla Piazz. ex Zanardi	366	B	2.81	259	11.0	0.36	B	LIMOSO-ARGILLOSA	2	2
T08	Gerosa Valzalogna	347	C	7.00	227	5.0	0.14	D	SABBIOSA	1	2
T09	Laxolo Pagliaro	366	B	5.25	189	4.0	0.19	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	2
T10	Laxolo Area artigianale	308	C	4.91	201	13.7	0.20	D	SABBIOSA	1	2
T11	Laxolo RSA S. Maria	337	C	3.88	206	7.2	0.26	D	SABBIOSA	1	2
T12	Laxolo Caberardi	281	C	5.22	197	12.7	0.19	D	SABBIOSA	1	2
T13	Garateno	355	C	4.25	192	5.6	0.24	D	SABBIOSA	1	2
T14	Bura	320	C	4.69	184	6.1	0.21	D	SABBIOSA	1	2
T15	Gerosa bassa	371	B	6.44	209	7.0	0.16	D	SABBIOSA	1	2
T16	Blello di Gerosa	394	B	6.00	206	5.5	0.17	D	SABBIOSA	1	2
T17	Musita	580	B	3.04	367	7.3	0.33	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	3
T18	Brembilla via Marconi	373	B	7.41	232	8.5	0.13	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	2
T19	Laxolo Caremondi	459	B	5.25	268	6.5	0.19	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	3
T20	Sottocamorone	477	B	4.50	235	5.2	0.22	B	LIMOSO-ARGILLOSA	2	2
T21	Brembilla via Ravagna	376	B	5.78	234	4.6	0.17	D	SABBIOSA	1	1
T22	Cabonocchio	454	B	5.16	222	4.2	0.19	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	2
T23	Donizetti	377	B	5.63	218	5.6	0.18	D	SABBIOSA	1	2
T24	Castignola	660	B	2.60	475	13.9	0.38	A	GHIAIOSA	1	3
T25	Catremerio	439	B	4.30	246	4.0	0.23	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	2
T26	Camorone	416	B	4.31	259	8.9	0.23	B	LIMOSO-ARGILLOSA	2	2

**Tab.19 – Tabella di sintesi con i risultati delle misure HVSr e le elaborazioni effettuate per la valutazione del Fattore di amplificazione.**

Valutazione del Fattore di amplificazione litologica e confronto con valori di soglia															
Sigla	Ubicazione	Vs30 [m/s]	F [Hz]	T =1/F	Valori di Fa stimati		Fa (con variabilità +0.1)		Categoria di suolo da misure geofisiche	Valori Fa soglia (D.G.R. n.8/7374/2008)		Valutazione rispetto a Normativa sismica		Categoria suolo da valutazioni geologiche	Valutazione rispetto a Normativa sismica (0.1<T<0.5)
					0.1<T<0.5	0.5<T<1.5	0.1<T<0.5	0.5<T<1.5		0.1<T<0.5	0.5<T<1.5	0.1<T<0.5	0.5<T<1.5		
T01	Brembilla Chiesa Parr.	440	3.5	0.29	2.1	1.3	2.0	1.2	B	1.4	1.7	insufficiente	sufficiente	E	sufficiente
T02	Brembilla Scuole Medie	338	4	0.25	2.2	1.2	2.1	1.1	C	1.8	2.4	insufficiente	sufficiente	E-D	sufficiente
T03	Laxolo Chiesa Parr.	468	2.4	0.42	1.8	1.4	1.7	1.3	B	1.4	1.7	insufficiente	sufficiente	C	sufficiente
T04	Laxolo Carbolone	408	6.56	0.15	1.6	1.1	1.5	1.0	B	1.4	1.7	insufficiente	sufficiente	C	sufficiente
T05	Cadelfoglia Chiesa	426	8.8	0.11	1.4	1.0	1.3	0.9	B	1.4	1.7	sufficiente	sufficiente	E-B	sufficiente
T06	Gerosa Scuole Elementari	449	7	0.14	1.3	1.1	1.2	1.0	B	1.4	1.7	sufficiente	sufficiente	E-C	sufficiente
T07	Brembilla Piazz. ex Zanardi	366	2.81	0.36	2.1	1.3	2.0	1.2	B	1.4	1.7	insufficiente	sufficiente	E	sufficiente
T08	Gerosa Valzalogna	347	7	0.14	1.4	1.1	1.3	1.0	C	1.8	2.4	sufficiente	sufficiente	E-C	sufficiente
T09	Laxolo Pagliaro	366	5.25	0.19	1.8	1.1	1.7	1.0	B	1.4	1.7	insufficiente	sufficiente	E-C	sufficiente
T10	Laxolo Area artigianale	308	4.91	0.20	1.6	1.2	1.5	1.1	C	1.8	2.4	sufficiente	sufficiente	E	sufficiente
T11	Laxolo RSA S. Maria	337	3.88	0.26	1.7	1.3	1.6	1.2	C	1.8	2.4	sufficiente	sufficiente	C-E	sufficiente
T12	Laxolo Caberardi	281	5.22	0.19	1.6	1.2	1.5	1.1	C	1.8	2.4	sufficiente	sufficiente	C	sufficiente
T13	Garateno	355	4.25	0.24	1.6	1.3	1.5	1.2	C	1.8	2.4	sufficiente	sufficiente	E-C	sufficiente
T14	Bura	320	4.69	0.21	1.6	1.2	1.5	1.1	C	1.8	2.4	sufficiente	sufficiente	E-C	sufficiente
T15	Gerosa bassa	371	6.44	0.16	1.5	1.1	1.4	1.0	B	1.4	1.7	sufficiente	sufficiente	E-C	sufficiente
T16	Blello di Gerosa	394	6	0.17	1.5	1.1	1.4	1.0	B	1.4	1.7	sufficiente	sufficiente	E-C	sufficiente
T17	Musita	580	3.04	0.33	1.8	1.3	1.7	1.2	B	1.4	1.7	insufficiente	sufficiente	E-C	sufficiente
T18	Brembilla via Marconi	373	7.41	0.13	1.5	1.0	1.4	0.9	B	1.4	1.7	sufficiente	sufficiente	E	sufficiente
T19	Laxolo Caremondi	459	5.25	0.19	1.5	1.1	1.4	1.0	B	1.4	1.7	sufficiente	sufficiente	C	sufficiente
T20	Sottocamorone	477	4.5	0.22	1.9	1.2	1.8	1.1	B	1.4	1.7	insufficiente	sufficiente	E-C	sufficiente
T21	Brembilla via Ravagna	376	5.78	0.17	1.7	1.2	1.6	1.1	B	1.4	1.7	insufficiente	sufficiente	C	sufficiente
T22	Brembilla Cabonocchio	454	5.16	0.19	1.8	1.1	1.7	1.0	B	1.4	1.7	insufficiente	sufficiente	E-C	sufficiente
T23	Brembilla via Donizetti	377	5.63	0.18	1.5	1.2	1.4	1.1	B	1.4	1.7	sufficiente	sufficiente	E	sufficiente
T24	Castignola	660	2.6	0.38	1.4	1.2	1.3	1.1	B	1.4	1.7	sufficiente	sufficiente	E-B	sufficiente
T25	Catremerio	439	4.3	0.23	1.9	1.2	1.8	1.1	B	1.4	1.7	insufficiente	sufficiente	E-C	sufficiente
T26	Camorone	416	4.31	0.23	1.9	1.2	1.8	1.1	B	1.4	1.7	insufficiente	sufficiente	E-C	sufficiente

Tab.20 – Tabella di sintesi con i risultati delle analisi di Amplificazione sismica.

**Correlazione tra altezza degli edifici e le frequenze di risonanza più dannose alla stabilità**

Se si considera una relazione tipica tra altezza di un edificio in cemento armato e il suo periodo di risonanza con i relativi intervalli di confidenza, è possibile rappresentare in un grafico la relazione tra frequenza di risonanza del sito e l'altezza dell'edificio con analoghe frequenze di vibrazione (Fig.15). L'area azzurra indica la zona in cui la coincidenza delle frequenze di risonanza (sito ed edificio) produce effetti di amplificazione che devono essere attentamente valutati perché sono proprio questi fenomeni a incidere pesantemente sulla stabilità degli edifici.

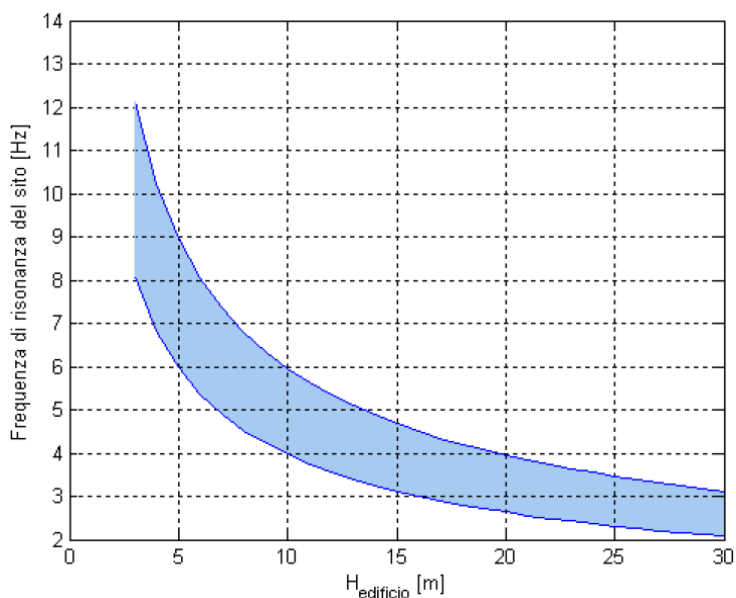
Nel caso del comune di Val Brembilla, sono state osservate, nella zona sottoposta a procedura di 2° livello per gli effetti di amplificazione litologica, sostanzialmente due principali frequenze di risonanza.

- La frequenza più caratteristica si colloca mediamente tra gli 5 e 7 Hz corrispondenti a un contrasto di impedenza piuttosto superficiale e collocabile a profondità medie intorno agli 8-12 metri.
- Frequenze di oscillazione meno comuni si collocano intorno ai 2-3 Hz corrispondenti a discontinuità simiche più profonde e valutabili intorno ai 20-30 m.

Nel caso delle frequenze maggiori appare evidente dal grafico che gli edifici maggiormente vulnerabili dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza, sono quelli di 1 o 2 piani, mentre nel caso delle frequenze inferiori gli edifici maggiormente sensibili sono indicativamente quelli compresi tra 4 e 7-8 piani.

**4.4.5 Carta del Fattore di amplificazione locale e delle categorie di sottosuolo proposte**

I risultati delle analisi per la valutazione dei Fattori di amplificazione topografici e litologici sono stati riportati nella "Carta dei fattori di amplificazione locale e delle categorie di sottosuolo proposte" (Tav.6 A-B) dove:



**Fig.15 - Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato: la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.**

- per quanto riguarda le zone interessate da amplificazione topografica, oltre alle tracce delle sezioni analizzate, all'intorno dell'elemento -cresta o scarpata- sono indicate aree con diversi valori del Fattore di amplificazione, rappresentati con una scala cromatica dal verde (Fa: 1) al rosso (Fa: 1,4); In tale rappresentazione le aree con il barrato grigio si riferiscono alla sommità delle creste e indicano un valore di Fa che non varia nello spazio; i simboli senza il barrato si riferiscono alle zone in cui il valore di Fa varia linearmente e per comodità di rappresentazione sono stati indicati con intervalli discretizzati;
- per quanto riguarda il Fattore di amplificazione litologico, sono riportati in carta i punti ove sono state eseguite le misure sismiche HVRS con indicati il Fattore di amplificazione valutato per il solo intervallo 0,1-0,5s (dal momento che per l'intervallo 0,5-1,5s i Fattori calcolati sono risultati sempre inferiori ai valori di soglia comunale), e la categoria di sottosuolo proposta che meglio descrive le condizioni geologiche e sismiche dell'area in esame e che garantisce l'adeguatezza della Normativa vigente.

Nella carta è inoltre riportata con riquadri la perimetrazione di massima delle zone per le quali, con l'impiego della categoria di sottosuolo indicata, la normativa nazionale è in grado di tenere in considerazione anche gli effetti di amplificazione di sito. In fase di progettazione tale indicazione dovrà essere puntualmente verificata.



## **5. CARTA DEI VINCOLI**

La "Carta dei Vincoli" a scala 1: 5.000 (Tav.2 A-B) è stata redatta considerando le indicazioni introdotte dalla D.G.R. 8/7374 del 28/05/08 poi riprese dalla D.G.R. n.9/2616 del 30/11/2011, che prevede la rappresentazione delle aree interessate da limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative e piani sovraordinati di contenuto prettamente geologico.

Nel Comune di Val Brembilla sono presenti i seguenti vincoli:

- Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino (ai sensi della L. n.183 del 18/05/1989),
- Vincoli di Polizia idraulica (ai sensi della D.G.R. n. 7/7868 del 25.01.2002 e successive),
- Vincoli per la salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile (ai sensi del D.Lgs. n.258/2000, dell'art.21 del D.Lgs. n.152/99 e soprattutto dell'art.94 del D.Lgs. n.152 del 03/04/2006).

### **5.1 Vincoli derivanti dalla Pianificazione di bacino - P.A.I. (ai sensi della L. n.183 del 18/05/1989)**

I vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino (ai sensi della L. n.183/1989), per il Comune di Val Brembilla sono dati da:

- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) approvato con D.P.C.M. del 24.05.2001 relativo alla delimitazione delle fasce fluviali lungo il corso del Fiume Brembo, che costituisce il confine meridionale del territorio di Brembilla (presenza della Fasce fluviali A e C);
- Quadro del dissesto come presente nel SIT regionale a seguito dell'aggiornamento operato
  - o dal Comune di Brembilla nel 2004 con la stesura della carta "Quadro del dissesto con legenda unificata P.A.I.", nella quale sono identificate sia aree in frana (distinte in attive, quiescenti e stabilizzate), sia aree interessate da esondazioni a carattere torrentizio (a pericolosità elevata, media o moderata di esondazione), sia zone interessate da trasporto in massa su conoidi (non recentemente riattivatisi o completamente protetti), sia l'Area a rischio idrogeologico molto elevato (L. n.267 del 03/08/1998) di Lera;
  - o dalla Regione Lombardia con l'inserimento di altre due Aree a rischio idrogeologico molto elevato (L. n.267/1998) nella zona di Camorone e a cavallo della parte inferiore della Valle Perno. Tale dato è stato aggiornato nella versione della Carta operata nel 2009.

I vincoli previsti dalla normativa P.A.I. sono riportati nel capitolo "Carta del dissesto con legenda uniformata del P.A.I."

### **5.2 Vincoli di Polizia idraulica (ai sensi della D.G.R. n. 7/7868/2002 e successive)**

I vincoli di Polizia Idraulica riguardano le zone d'influenza e le fasce di rispetto dei corsi d'acqua facenti parte del Reticolo Idrico sia Principale che Minore, così come definite negli studi del Reticolo Idrico Minore dei due ex Comuni di Brembilla e Gerosa.

Nell'ambito del presente lavoro, data l'impossibilità per il territorio dell'ex Comune di Brembilla di trasporre direttamente sulla nuova carta digitale il tracciato dei corsi d'acqua ed i limiti delle relative fasce mappati sulla vecchia carta aerofotogrammetrica (a causa delle citate sostanziali differenze fra le due carte), si è provveduto a ritracciare completamente il Reticolo Idrico e a creare all'intorno dello stesso fasce di rispetto con gli stessi criteri adottati negli studi approvati, cioè tracciando fasce di 10m e 5m (tratti già autorizzati dalla Regione Lombardia-STER Bergamo) partendo o dal limite dell'alveo, ove questo è ben definibile e riportato in carta, o dal limite dell'area d'influenza del corso d'acqua, la cui larghezza è stata considerata variabile da 2 a 5m in funzione dell'importanza del

rio. Tale criterio ha portato, localmente, a differenze apprezzabili fra la vecchia perimetrazione, dove le fasce coprivano le intere scarpate fluviali, e quella nuova, puramente geometrica, dove le fasce hanno larghezza sempre di 10 e 5m; tali differenze però in genere sono state poi sistemate inserendo la Classe 4 per problemi di stabilità sulle scarpate fluviali.

In merito alle fasce di rispetto, come anche riportato negli studi del Reticolo Idrico, si ricorda poi che:

- a causa dei possibili problemi, dovuti alla scala della base cartografica, di rappresentazione degli alvei e degli elementi morfologici che li caratterizzano, l'estensione in carta delle fasce di rispetto è da considerarsi indicativa e pertanto, in caso di necessità, può essere definita con maggiore precisione con appositi rilievi in sito, nel rispetto della normativa vigente (tali rilievi devono necessariamente essere predisposti a carico dei proponenti, in fase di progettazione degli interventi);
- nell'eventualità di modifiche di cigli, scarpate e/o argini a seguito del verificarsi di fenomeni franosi e/o erosivi legati alla dinamica torrentizia o dei versanti, la misura delle fasce di rispetto deve essere riferita alla nuova situazione morfologica, rispetto alla quale la cartografia potrebbe risultare non aggiornata;
- in caso di interventi autorizzati di trasformazione morfologica di aree poste in fregio ai corsi d'acqua, comportanti modifiche di cigli, scarpate e/o argini, l'ampiezza delle fasce di rispetto deve intendersi riferita alla situazione finale dopo l'intervento.

### **5.3 Vincoli per la salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile**

Le aree di captazione idrica ad uso idropotabile sono vincolate ai sensi del D.Lgs. 258/2000, dell'art.21 del D.Lgs. n.152/99 e dell'art.94 del D.Lgs. n.152/06 *"Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque superficiali e sotterranee destinate al consumo umano"*, nonché dei precedenti D.P.R. n.236/1988 (*"Attuazione della direttiva CEE n.80/778 riguardante la qualità delle acque destinate al consumo umano, ai sensi dell'Art.15 della L. n.183/1987"*), Circolare della Regione Lombardia 38/SAN/83, D.G.R. n.6/15137 del 27/06/1996 (*"Direttive per l'individuazione delle aree di salvaguardia delle captazioni di acque sotterranee (pozzi e sorgenti) destinate al consumo umano"*) e D.G.R. n.7/12693 del 10 aprile 2003 *"Direttive per la disciplina all'interno delle aree di rispetto"* riferita all'art.21, comma 6 del D.lgs 152/99 e successive modificazioni.

La normativa prevede che per ogni punto di captazione idrica presente nel territorio comunale (si tratta quasi sempre di sorgenti, e con solo quattro pozzi nell'area di Laxolo e di Catremerio, quasi tutti poco utilizzati) venga individuata un'area di salvaguardia (*"Zona di Protezione"*), che rappresenta l'area necessaria per la protezione e la tutela della qualità delle acque captate, oltre che l'area del bacino idrogeologico di alimentazione della falda, e che comprende una *"Zona di Tutela assoluta"* ed una *"Zona di Rispetto"*. Nell'area di salvaguardia, ai fini della protezione del patrimonio idrico, è possibile prevedere limitazioni e prescrizioni per gli tutte le tipologie d'insediamento, da inserire poi negli strumenti urbanistici.

Le zone citate presentano le seguenti caratteristiche (art.94 del D.Lgs. n.152/2006):

- *"La zona di tutela assoluta è costituita dall'area immediatamente circostante le captazioni o derivazioni; essa, in caso di acque sotterranee e, ove possibile per le acque superficiali, deve avere una estensione di almeno dieci metri di raggio dal punto di captazione, deve essere adeguatamente protetta (per impedire l'accesso di persone e animali e per evitare la contaminazione della acque captate con acque meteoriche e superficiali) e adibita esclusivamente ad opere di captazione o presa e ad infrastrutture di servizio"*.
- *"La Zona di rispetto è costituita dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta da sottoporre a vincoli, con destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata; essa può essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata in relazione alla tipologia dell'opera di presa o captazione e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della"*

*risorsa".* Secondo la citata D.G.R. n.6/15137/1996, la zona di rispetto può essere definita utilizzando o un criterio idrogeologico, basato sulla conoscenza dell'effettiva area di ricarica della sorgente (gruppo di sorgenti della Valle dei Faggi, principale punto di approvvigionamento idrico comunale), oppure un criterio geometrico (tutte le altre sorgenti comunali). Per le sorgenti di cui non si dispone di specifici dati idrogeologici, si è definita sempre con un cerchio di raggio non inferiore a 200m o con una porzione di cerchio di raggio non inferiore a 200m con centro nel punto di captazione, estesa a monte dell'opera di presa e delimitata verso valle dall'isoipsa corrispondente alla quota di 10m inferiore a quella della captazione.

La normativa in vigore ha la finalità di tutelare le caratteristiche qualitative delle acque destinate al consumo umano e pertanto non riguarda opere di presa ad uso industriale o agricolo.

Le opere di captazione effettivamente destinate ad uso idropotabile sono state individuate sulla base delle informazioni avute dal Comune di Val Brembilla e dei rilievi di terreno.

L'elenco delle sorgenti, dei pozzi e dei serbatoi presenti nell'area comunale è riportato nel precedente Par. 3.7 "Inquadramento idrogeologico".

La normativa in vigore ha la finalità di tutelare le caratteristiche qualitative delle acque destinate al consumo umano e pertanto non riguarda opere di presa ad uso industriale o agricolo.

## **6. CARTA DI SINTESI**

La "Carta di Sintesi" a scala 1: 5.000 (Tav.3 A-B) è stata realizzata utilizzando i dati riportati nelle precedenti "Carte di Sintesi", oltre come detto quelli relativi ai dissesti verificatisi dai tempi di esecuzione dei due studi geologici degli ex Comuni ad oggi.

La redazione della "Carta di Sintesi" per l'intero comune, partendo da quelle degli ex Comuni, si è rivelata attività alquanto complessa, sia per la notevole differenza fra le due basi cartografiche dell'area di Brembilla (soprattutto per quanto concerne la posizione dei corsi d'acqua e di alcuni dissesti), sia per alcune differenze nelle legende, fra cui in particolare quelle relative alla stabilità e alle caratteristiche geotecniche dei terreni.

Lo studio del 2004 del Comune di Brembilla infatti, oltre che ad individuare le aree con terreni scadenti dal punto di vista geotecnico, aveva valutato il grado di vulnerabilità "geotecnica" del territorio mettendo in relazione puntualmente le caratteristiche dei diversi materiali presenti (derivati dalla "Carta Litotecnica" a scala 1: 5.000) con la pendenza dei versanti (riportate sulla "Carta delle Pendenze" alla stessa scala 1: 5.000). Lo studio di Gerosa, invece, si era basato sulle indicazioni contenute nella D.G.R. n.8/7374/2008, poi riprese dalla D.G.R. n.9/2616/2011, per cui è solo richiesta l'individuazione delle aree con terreni di modesta/scadente qualità geotecnica.

Adattando al territorio dell'ex Comune di Brembilla i criteri usati per l'altro Comune, si è visto che alcune aree che poi nella "Carta di Fattibilità" erano classificate in Classi 3 e 4 per il rapporto litologia/pendenza, di fatto avrebbero perso tale classificazione, peraltro corretta. Tale fatto ha richiesto, al fine di mantenere la classificazione di fattibilità, l'attribuzione delle aree in questione ad ambiti di pericolosità di pertinenza non più geotecnica, ma di stabilità (ciò ha ovviamente portato a locali differenze fra la nuova e la vecchia "Carta di Sintesi").

Vengono di seguito definiti gli ambiti di pericolosità e di vulnerabilità considerati per la redazione della "Carta di Sintesi", che si è cercato di tenere quanto più possibile simili a quelli delle due precedenti carte, nel rispetto comunque di quanto riportato nella D.G.R. n.9/2616/2011:

- Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti:
  - o Aree soggette a crolli di massi (distacco e accumulo);
  - o Aree interessate da distacco, rotolamento e accumulo di blocchi provenienti sia da ammassi rocciosi che da depositi superficiali;
  - o Aree a pericolosità potenziale legata ad assetto strutturale sfavorevole in roccia debole e calcolata area di influenza
  - o Aree di frana attiva (scivolamenti, colate ed espansioni laterali);
  - o Aree di frana quiescente (scivolamenti, colate ed espansioni laterali; frane bonificate in tempi recenti);
  - o Aree a franosità superficiale attiva diffusa (scivolamenti, soliflusso);
  - o Aree interessate da forme gravitative di tipo relitto;
  - o Aree a franosità superficiale attiva diffusa;
  - o Aree interessate da interventi di sistemazione;
  - o Scarpate di degradazione attive;
- Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico:
  - o Aree ad elevata vulnerabilità dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile;
  - o Aree di tutela assoluta di sorgenti e pozzi;

- Aree interessate da carsismo profondo.
- Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico:
  - Aree a pericolosità molto elevata di inondazione (aree Ee del PAI);
  - Aree a pericolosità elevata di inondazione (aree Eb del PAI);
  - Aree a pericolosità media o moderata di inondazione (aree Em del PAI);
  - Limite della fascia fluviale A del PAI;
  - Limite della fascia fluviale C del PAI;
  - Aree allagabili in occasione di eventi meteorologici particolarmente intensi;
  - Edifici allagabili al piano terra;
  - Fasce di rispetto fluviale del Reticolo Idrico Principale e Minore;
  - Area di conoide non recentemente attivatosi;
- Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche:
  - Aree prevalentemente limo-argillose e/o terreni di riporto con possibili problemi di capacità portante;
  - Aree di possibile ristagno e aree paludose.

Si ricorda infine che la presenza in un'area di più problematiche determina la creazione di poligoni misti, con più campiture relative ai vari fattori di pericolosità riconosciuti.

## **7. CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO**

La L.R. n.12/2005 e la successiva delibera di attuazione D.G.R. n.9/2616/2011 prevedono la suddivisione dell'intera area comunale in quattro Classi di Fattibilità geologica:

- Classe 1: Fattibilità senza particolari limitazioni
- Classe 2: Fattibilità con modeste limitazioni
- Classe 3: Fattibilità con consistenti limitazioni
- Classe 4: Fattibilità con gravi limitazioni.

In accordo alla vigenti disposizioni regionali, non è quindi più possibile l'inserimento di sottoclassi, come era avvenuto nello Studio Geologico del 2004 del Comune di Brembilla con l'inserimento della "Classe 3 speciale" per descrivere e regolare alcune aree complessivamente stabili, ma adiacenti a zone in grave dissesto.

In merito alla redazione della nuova "Carta di Fattibilità geologica", si fa notare quanto segue:

- Come espressamente richiesto dall'Amministrazione Comunale:
  - o si è cercato di mantenere la stessa quanto più possibile simile a quelle degli ex Comuni, ove necessario correggendo opportunamente le differenze dovute alla diversità della base cartografica e, in certa misura, anche alla georeferenziazione. Locali piccole modifiche, come già riferito, sono anche state eseguite per rendere più omogenee le due ex aree comunali in termini di Fattibilità (limitate modifiche sulle Classi 2 e 3) e per eliminare alcune discrepanze di classificazione nei versanti boschivi posti nelle zone di confine fra i due ex Comuni.
  - o le aree urbanizzate e prossime all'urbanizzato poste in adiacenza a zone in passato interessate da dissesti già bonificati e su cui vi siano dubbi circa le effettive condizioni di stabilità e sicurezza, le quali in precedenza erano state classificate in "Classe 3 speciale" e Classe 3, sono ora state poste in Classe 4 definendole "Fasce di rispetto di aree in dissesto".  
Tale riclassificazione in Classe 4 risponde alla precisa esigenza dell'Amministrazione Comunale di tutelare la pubblica incolumità attraverso l'esplicito divieto, nelle aree in oggetto, di realizzare nuovi interventi che comportino un aumento del carico antropico.
- Nel tempo intercorso dall'approvazione definitiva dello Studio Geologico del 2004 ad oggi, nel Comune di Val Brembilla è stata modificata, portandola da 4 e 3, la Classe di Fattibilità di una sola area, quella di area pari a circa 4.100mq posta a monte della strada per il depuratore che era stata interessata dalla frana della cosiddetta "Area industriale di Laxolo", evento avvenuto nel gennaio 2001 e bonificato nel 2003. Tale riclassificazione è stata effettuata nel 2011 seguendo le prescrizioni regionali in materia (esecuzione di specifiche indagini geotecniche e di un adeguato monitoraggio strumentale).

Le quattro classi sopra citate sono di seguito descritte, unitamente ai criteri adottati per la loro definizione sul territorio comunale.

### **7.1 Classi di fattibilità**

#### **7.1.1 Classe 1: Fattibilità senza particolari limitazioni**

In accordo alla normativa, in questa classe ricadono *"quelle aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso e per le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le costruzioni, di cui alla normativa nazionale"*.

La classe comprende aree generalmente pianeggianti o subpianeggianti, con buone caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche dei terreni presenti e non interessate da fenomeni di dissesto idrogeologico. La presenza di falda idrica è inoltre tale da non interferire con il suolo e primo sottosuolo.

Nel territorio comunale, data la generale acclività dei siti, la notevole variabilità in senso sia verticale che orizzontale dei terreni e delle rocce presenti, la possibilità di fenomeni di carsismo nelle aree con rocce carbonatiche, e la possibile bassa soggiacenza della falda idrica in alcune zone, in accordo ai criteri comunemente utilizzati per la zonazione delle aree montane, si è deciso di non riferire nessuna area alla Classe 1, neppure quelle ove in effetti non è stato riconosciuto alcun problema particolare.

Si segnala comunque la presenza di zone classificabili a cavallo fra Classe 2 e Classe 1, fra cui in particolare alcune zone pianeggianti impostate su roccia o con modeste coperture eluviali, poste lungo i crinali o nella parte alta dei versanti, comunque in settori non soggetti a caduta di materiali. Fra queste si ricorda in particolare l'area di Cavaglia e locali settori dell'area di Laxolo e della fascia mediana e superiore del versante occidentale della valle, fra Sant'Antonio abbandonato e il Pizzo Cerro.

#### **7.1.2 Classe 2: Fattibilità con modeste limitazioni**

In accordo alla normativa, *"la classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa"*.

La classe comprende sia aree a modesta acclività caratterizzate da terreni di qualità mediocre con limitati spessori, che aree a media pendenza impostate su materiali di buona qualità geotecnica o sul substrato roccioso, e non interessate da alcun rilevante problema idrogeologico (frane, caduta massi, erosioni varie, ecc.).

Possono essere presenti fenomeni di dissesto, che devono comunque essere ben circoscrivibili e di modesta entità, oppure presentare limitate dimensioni ed essere già stati oggetto di interventi di bonifica ben riusciti. In alcune aree pianeggianti di fondovalle possono sussistere localmente problemi di carattere idrogeologico relativi alla limitata soggiacenza della falda.

Aree di Classe 2 si osservano, nell'ex territorio di Brembilla:

- nella zona pianeggiante del fondovalle del Torrente Brembilla, formata da depositi alluvionali, su cui si è sviluppata la parte centrale del paese di Brembilla,
- sul terrazzo morfologico della zona di Laxolo, in aree pianeggianti con presenza sia di rocce marnoso-argillitiche, che di depositi argillosi e ghiaiosi di discreta resistenza,
- lungo i fianchi della valle, in zone impostate su rocce o su terreni di modesto spessore (Cavaglia, Cà Donzelli-Cerro, Malentrada, Sant'Antonio Abbandonato, Gavazzone, Croce Garateno, ecc.),

e nell'ex territorio di Gerosa:

- nella zona mediana ed inferiore del terrazzo di Gerosa e sui ripiani di Blello, Musita, Grumello, Prato Aroldi e Bura-Cacodazzi,
- nelle zone a minore pendenza presenti sia sul versante a monte di Gerosa, che lungo il versante destro idrografico della Valle dei Molini;
- su alcuni tratti dei crinali a monte di Gerosa e di Bura, caratterizzati da modeste coperture eluviali e da sottostante roccia argillitica e calcarea con giacitura abbastanza favorevole,
- sul ripiano di Chignolo e su altri terrazzi di origine alluvionale lungo la Valle Brembilla.



### **7.1.3 Classe 3: Fattibilità con consistenti limitazioni**

In accordo alla normativa, *"la classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa."*

L'utilizzo di queste zone è pertanto subordinato alla realizzazione di supplementi di indagine per acquisire una maggiore conoscenza geologico-tecnica dell'area e del suo intorno, attività che consentirà di definire le idonee destinazioni d'uso, le volumetrie ammissibili, le tipologie costruttive più opportune, nonché le opere di sistemazione e bonifica e gli eventuali sistemi di monitoraggio geologico.

La classe comprende sia aree di media acclività potenzialmente soggette a fenomeni di dissesto idrogeologico, come frane di varia tipologia e caduta di massi, sia aree meno acclivi ma con terreni di scadente qualità o interessate da fenomeni alluvionali. Rispetto alla Classe 2 le fenomenologie elencate sono caratterizzate da maggiore estensione e diffusione, e richiedono la necessità di realizzare opere di difesa di maggior impegno tecnico e finanziario.

La Classe 3, sicuramente la più rappresentata nell'area comunale, comprende in particolare:

- le aree a modesta pendenza, in cui sono presenti terreni di scadenti caratteristiche geotecniche (depositi colluviali interessati da circolazione idrica, depositi lacustri, ecc.);
- le aree a media pendenza con terreni di qualità mediocre e di notevole spessore, passibili di formazione di fenomeni d'instabilità;
- le aree interessate da potenziale instabilità (caduta massi, smottamenti, ecc.) dovuto alla forte pendenza e alla presenza di roccia affiorante in condizioni sfavorevoli di giacitura e fratturazione o di materiali detritici ;
- le aree di frana stabilizzata e alcune limitate area di frana quiescente poco pericolosa già presente ed approvata nello studio di Brembilla del 2004;
- l'area di frana bonificata per cui è stato eseguito lo studio per la riclassificazione (limitato settore della frana dell'Area Industriale di Laxolo posto a monte della strada per l'impianto di depurazione);
- le aree interessate da problemi idraulici di moderata entità e aree difese da opere spondali efficienti;
- le aree con riporti di materiale.

### **7.1.4 Classe 4: Fattibilità con gravi limitazioni**

In accordo alla normativa, in tali zone *"l'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, ivi comprese quelle interrato, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art.27, comma 1, lettere a), b), c) della L.R. n.12/2005, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo. Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica."*

Si devono inoltre fornire indicazioni in merito alle opere di sistemazione idrogeologica e, per i nuclei abitati esistenti, deve essere valutata la necessità di predisporre sistemi di monitoraggio geologico, che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto. Eventuali opere pubbliche e di interesse pubblico devono essere valutate puntualmente e, a tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

In tale classe sono state inserite:

- le aree evidentemente o potenzialmente instabili e le aree minacciate da dissesti, classificate come "Fa" dal P.A.I. (la frana di Caremondi, la frana presso il Santuario della Foppa e diverse frane minori non bonificate nell'area di fondovalle del Torrente Brembilla e degli affluenti principali),
- le Zone 1 delle aree ex L. n.267/1998 corrispondente alla Frana di Lera, a quella di Camorone e a quella della valle Perno-Croce Garateno,
- le aree oggetto di lavori di bonifica e stabilizzazione, per i quali non è ancora definitivamente certa l'efficacia dell'intervento (la frana dell'"Area Industriale" di Laxolo e Valcava, la frana di Caremondi, riattivatasi dopo l'intervento del 2004-05, la frana di Croce Garateno, la frana di Grumello, ecc.),
- le "Fasce di rispetto di aree in dissesto", corrispondenti ad aree urbanizzate e prossime all'urbanizzato che si trovano in adiacenza a zone interessate da dissesti attivi o già bonificati su cui non vi sia l'assoluta certezza circa le effettive condizioni di stabilità. Tale unità, in precedenza classificata in Classe 3 speciale e Classe 3, comprende le Zone 2 delle aree ex L. n.267/1998 e le aree presso le zone di frana già oggetto di sistemazione (di cui però per il limitato tempo trascorso non è ancora certo l'esito) di Grumello, di Via Arale, di Via Ravagna, Via Roma, di Caremondi, di Magnavacche (possibile zona di accumulo della frana di Caremondi) e di Molini Bassi-Strada Gerosa-Blello. La stessa è stata indicata in carta con il colore rosso caratteristico della Classe 4 "stabilità" e con un soprassegno puntinato giallo.
- le aree rocciose a forte acclività interessate da problemi di caduta massi (in particolare tutto il rilievo Monte Sornadello-Castello della Regina, la parte bassa della Valle Brembilla ed del Monte Corna Marcia, locali tratti sul Monte Zucco di Pralongone, ecc.),
- le aree a rischio molto elevato (ed elevato) di esondazione classificate in Classe Ee del P.A.I.,
- gli alvei dei rii facenti parte del Reticolo Idrico Comunale e le fasce di rispetto degli stessi, che possono essere interessate fenomeni alluvionali di erosione e deposito,
- il piano terra di edifici allagabili lungo l'alveo del Torrente Brembilla (da Studio P.A.I.),
- le aree periodicamente allagabili di Laxolo,
- le aree di tutela assoluta delle sorgenti utilizzate dall'acquedotto comunale.

Si segnala che le aree inserite in Classe 4 a causa del pericolo di caduta di massi comprendono in effetti zone dove il fenomeno presenta vario grado di intensità e ricorrenza, con prevalenti settori ad alta pericolosità, senz'altro di Classe 4, ed altri a pericolosità medio-bassa, riferibili alla Classe 3 (la distinzione fra queste aree può essere effettuata solo mediante con studi geomorfologici di dettaglio e specifiche analisi di stabilità).

## **7.2 Sintesi dei criteri adottati per la redazione della "Carta di Fattibilità"**

Gli elementi di criticità che caratterizzano il territorio comunale, definiti, cartografati e descritti nella "Carta di Sintesi" e nella relativa legenda, sono stati raggruppati e classificati al fine di definire classi di "Fattibilità geologica delle azioni di piano", utilizzando i nuovi criteri introdotti dalla L.R. n.12/2005 e dalle direttive di applicazione contenute nella citata D.G.R. n.9/2616/2011.

Le classi di fattibilità sono state definite in funzione della tipologia di fenomeni che determinano la vulnerabilità delle diverse aree. In particolare sono state distinte:

- aree vulnerabili dal punto di vista della stabilità dei versanti;
- aree vulnerabili dal punto di vista idraulico;
- aree vulnerabili dal punto di vista geotecnico;
- aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico.

La classificazione in termini di Fattibilità geologica delle aree interessate da diverse criticità è sinteticamente riportata nella seguente Tab.21, che fa riferimento nelle linee essenziali alla Tab.1 del par.3.2 della D.G.R. n.9/2616/2011.

<b>AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA DELLA STABILITÀ DEI VERSANTI</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Area di frana attiva,</li> <li>- Zona 1 e Zona 2 delle aree in frana ex L. n.267/1998 relative alle frane di Lera, Camorone e Valle Perno-Croce Garateno,</li> <li>- Area di frana quiescente (comprendente anche le aree di frana bonificata di cui non è ancora certa l'efficacia dell'intervento),</li> <li>- Area interessata da distacco, rotolamento e accumulo di blocchi provenienti sia da ammassi rocciosi che da depositi superficiali,</li> <li>- Aree a franosità superficiale attiva diffusa (erosione superficiale).</li> <li>- Fasce di rispetto di aree in dissesto</li> </ul>	<b>Classe 4</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Area di frana stabilizzata e area di frana quiescente poco pericolosa già presente nel vecchio studio di Brembilla;</li> <li>- Area di frana bonificata per cui è stato eseguito lo studio per la riclassificazione,</li> <li>- Aree a pericolosità potenziale legata a pendenza e orientazione sfavorevole della stratificazione in roccia debole e calcolata area d'influenza.</li> <li>- Aree a pericolosità potenziale per pendenza e scadente/mediocre qualità dei terreni. .</li> </ul>	<b>Classe 3</b>
<b>AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDRAULICO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aree a pericolosità molto elevata ed elevata di inondazione definite sia con studi idraulici che con criteri geomorfologici (aree Ee e Eb del P.A.I.),</li> <li>- Fascia fluviale A del PAI,</li> <li>- Fasce di rispetto fluviale del Reticolo Idrico Principale e Minore,</li> <li>- Piano basso di edifici allagabili lungo il Torrente Brembilla (da studio P.A.I.),</li> <li>- Aree allagabili in occasione di eventi meteorologici particolarmente intensi (avvallamenti nell'area di Laxolo).</li> </ul>	<b>Classe 4</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Area di conoide non recentemente attivatosi, ma potenzialmente interessate da flussi di detrito.</li> </ul>	<b>Classe 3</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aree a pericolosità media o moderata di inondazione (aree Em del PAI).</li> </ul>	<b>Classe 2/3</b>
<b>AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA GEOTECNICO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aree prevalentemente limo-argillose e/o terreni di riporto con possibili problemi di capacità portante.</li> <li>- Aree di possibile ristagno e aree paludose.</li> </ul>	<b>Classe 3</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aree prevalentemente limo-argillose e/o terreni di riporto con discrete caratteristiche geotecniche su aree di modesta pendenza.</li> </ul>	<b>Classe 2</b>
<b>AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDROGEOLOGICO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Area di tutela assoluta di pozzi e sorgenti,</li> <li>- Aree interessate da carsismo profondo.</li> </ul>	<b>Classe 4</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aree ad elevata vulnerabilità dell'acquifero sfruttato ad uso idropotabile.</li> </ul>	<b>Classe 3</b>

**Tab.21 - Sintesi dei criteri adottati per la "Carta di Fattibilità per le azioni di Piano".**

La successiva Tab.22 riporta invece le aree (esprese in kmq) delle varie classi di fattibilità, e le relative percentuali sull'area totale del Comune, nonché un confronto con quelle delle due "Carte di fattibilità" degli ex Comuni di Brembilla e Gerosa, sia presi singolarmente, che sommati.

Da tale tabella si rileva quanto segue:

- la Classe di Fattibilità prevalente è la Classe 3 (61,1%), seguita dalla Classe 4 (32,5%) e quindi dalla Classe 2 (circa il 6,4%).
- confrontando la nuova Carta di Fattibilità con quelle dei due ex Comuni, si apprezza una modesta diminuzione della Classe 3 (-3,5%) a favore di un aumento della Classe 4 (+3,4%) e della sostanziale stabilità della Classe 2 (+0,1%) e di un maggiore. A riguardo è opportuno evidenziare come l'aumento delle aree di Classe 4 per motivi di stabilità e geotecnica sia probabilmente maggiore di quello calcolato, in quanto le fasce torrentizie hanno subito una generale riduzione con la trasposizione sulla nuova base cartografica.

	Classe 2 (kmq)	Classe 3 (kmq)	Classe 4 (kmq)	Totale (kmq)
ex Comune di Brembilla	1.261979 5.9%	14.794017 69.5%	5.233991 24.6%	21.289987 100.0%
ex Comune di Gerosa	0.709222 7.0%	5.462812 54.2%	3.904287 38.7%	10.076321 100.0%
somma ex Comuni	1.971201 6.3%	20.256829 64.6%	9.138278 29.1%	31.366308 100.0%
Comune di Val Brembilla	2.016793 6.4%	19.148095 61.1%	10.168319 32.5%	31.333207 100.0%

**Tab.22 - Tabella di sintesi con le aree delle varie Classi di Fattibilità, e con le relative percentuali sull'area totale del Comune.**

#### **7.2.1 Criteri adottati per la rappresentazione grafica delle informazioni**

Nella "Carta di Sintesi", propedeutica alla realizzazione della "Carta di Fattibilità", le aree omogenee rispetto alle diverse criticità evidenziate si trovano a volte sovrapposte, indicando porzioni di territorio interessate contemporaneamente da diverse problematiche, spesso con differente grado di criticità.

In fase di stesura della Carta di Fattibilità, al fine di fornire una zonazione più efficace e facilmente comprensibile, si è ritenuto opportuno raggruppare gli elementi di criticità riconducibili a origine simile nelle quattro sottoclassi di fattibilità citate al punto precedente ("stabilità", "idraulica", "idrogeologia", "geotecnica"), indicate con una diversa tonalità del colore della Classe. In caso di sovrapposizione di sottoclassi, si sono poi attribuite le aree alla sottoclasse più sfavorevole.

Unica eccezione è costituita dalle aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico, indicate con simboli blu sopra al resto della zonazione (sia classi che sottoclassi); ciò è motivato dall'importanza di evidenziare sempre e comunque le eventuali problematiche di tipo idrogeologico (es. zone di rispetto di sorgenti), la cui presenza risulterebbe "mascherata" da altri problemi (stabilità dei versanti, idraulica, ecc.) caratterizzati da maggiori limitazioni in termini di fattibilità.

Si riporta di seguito la Tab.15, che mostra la quantità e l'incidenza percentuale sull'area totale del Comune delle varie Sottoclassi "stabilità", "idraulica" e "geotecnica" delle Classi di Fattibilità.

Classe 2 (kmq)		Classe 3 (kmq)			Classe 4 (kmq)	
idr	geo	sta	idr	geo	sta	idr
0,040717	2,004337	16,736016	0,039353	2,462706	5,843665	4,206414
0,1%	6,4%	53,4%	0,1%	7,9%	18,7%	13,4%

**Tab.23 - Tabella di sintesi con le aree delle varie Classi di Fattibilità suddivise in base alle problematiche prevalenti e con le relative percentuali sull'area totale del Comune.**

### **7.3 Carta di Fattibilità geologica per le azioni di Piano**

La "Carta di Fattibilità geologica per le azioni di Piano", in accordo a quanto previsto dalla D.G.R. n.9/2616/2011, è presentata in due versioni:

- "Carta di Fattibilità geologica per le azioni di Piano" (Tav.4 A-B) con indicate, con diverse tonalità dei tre colori giallo, arancio e rosso, rispettivamente per le Classi 2, 3 e 4, le varie tipologie di fenomeni presenti nelle varie aree, che ne condizionano la fattibilità geologica. Tale carta permette quindi di identificare rapidamente le principali problematiche esistenti in ogni settore del territorio comunale.
- "Carta di Fattibilità geologica per le azioni di Piano con Scenari di PSL"(Tav.7 A-B) con indicate:
  - o le tre Classi con un solo colore per ciascuna classe,
  - o gli scenari di Pericolosità sismica, con apposite retinature sovrapposte ai colori delle classi, come richiesto dalla D.G.R.,
  - o la perimetrazione di massima delle zone per le quali, con l'impiego della categoria di sottosuolo indicata, la normativa nazionale è in grado di tenere in considerazione anche gli effetti di amplificazione di sito, dato da verificarsi puntualmente in fase di progettazione.

## **8. CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA A QUELLA DEL P.A.I.**

Al fine di implementare l' "Atlante dei Rischi idraulici ed idrogeologici del P.A.I. – Delimitazione delle aree in dissesto", tutti gli elementi geomorfologici significativi individuati e cartografati nell'ambito del presente lavoro e pertinenti alle tematiche dell'Atlante P.A.I. sono stati riportati in un'apposita tavola a scala 1: 10.000, utilizzando la "Legenda uniformata a quella del P.A.I."

Rispetto alla precedente "Carta del Dissesto con Legenda uniformata a quella del P.A.I." del Comune di Brembilla, in quella allegata al presente studio (Tav.5) sono state apportate le seguenti modifiche, per lo più dettate dalla necessità di uniformare le carte dei due comuni e di classificare in modo più appropriato alcune aree in dissesto che nel tempo sono state oggetto di bonifica e stabilizzazione.

In particolare le principali modifiche hanno riguardato i seguenti punti:

- nella classe "Frane quiescenti ("Fq") sono state poste:
- le aree rocciose di maggiore acclività presenti sul rilievo Monte Sornadello-Castello della Regina, sul Monte Corna Marcia, sul versante sud-orientale del Monte Zucco di Pralongone, lungo la Valle Porno, ecc.. Come già riferito, si tratta di ripidi versanti con pareti rocciose che, più che specifiche aree in frana, presentano elevata pericolosità di caduta massi e crolli, come indicato anche nella Carta di Sintesi.  
L'operazione è stata effettuata per adeguare la più vecchia carta di Brembilla a quella più recente di Gerosa e in diversi casi (in particolare nella zona del Castello della Regina) ha comportato anche un considerevole ampliamento dell'area individuata come Fq.  
Tutte le aree Fq citate, nella "Carta di fattibilità geologica" hanno comunque sempre mantenuto l'originaria attribuzione alla Classe 4;
- le aree interessate da frane (per lo più legate all'evento alluvionale del 2002 e nella maggior parte dei casi riguardanti soprattutto la viabilità comunale) che sono state oggetto da tempo di interventi di bonifica e stabilizzazione, le cui condizioni di stabilità appaiono nel complesso soddisfacenti. Tali aree, nella precedente "Carta del dissesto", erano state classificate in alcuni casi come frane attive Fa (località Grumello, Via Arale, Cabonocchio, ecc.), in altre come frane quiescenti Fq (Area artigianale di Laxolo, Via Ripe, Via Magnavacche, ecc.).  
Si segnala che alcune aree sono state anche moderatamente ampliate rispetto all'originaria perimetrazione, permanendo dubbi sulla reale estensione dei fenomeni.  
Tutte le aree Fq, fatta eccezione per la limitata zona dell'Area artigianale di Laxolo portata in Classe di fattibilità 3 a seguito di uno studio di dettaglio (crf. Pag.68), hanno mantenuto nella Carta di Fattibilità l'originaria attribuzione alla Classe 4;
- le aree interessate da dissesti di medio-piccole dimensioni avvenuti negli ultimi anni, che sono già state oggetto di sistemazione. Anche in questo caso le aree interessate sono state comunque attribuite alla Classe di Fattibilità 4;
- nella classe Frane attive Fa è stata posta la Frana di Caremondi, che a seguito di vari importanti lavori eseguiti nel decennio scorso era stata considerata bonificata e pertanto indicata cautelativamente come Frana quiescente, non avendo ancora un certo riscontro sull'effettivo livello di stabilità raggiunto.  
Tale frana negli ultimi anni ha subito un importante riattivazione, fatto che ha suggerito di estendere l'area di Frana attiva sul pianoro a monte della nicchia vera e propria e, nella Carta di Fattibilità, di porre in Classe 4 una certa parte del pianoro stesso e una vasta area nel fondovalle, data la possibilità, in caso di franamento, di un'espansione del materiale fino all'alveo del Torrente Brembilla.

Si segnala infine che nella "Carta del dissesto" alcuni conoidi protetti Cn (indicati con linea perimetrale e puntinato giallo) sono stati coperti graficamente dalle fasce di fluviali del Torrente Brembilla (indicati con linea perimetrale e puntinato blu) e pertanto sono poco visibili nella versione cartacea della carta

La seguente Tab.24 riporta la correlazione adottata fra gli elementi della "Carta del Dissesto con legenda uniformata a quella del P.A.I." e la classificazione di Fattibilità Geologica, in accordo alla Normativa regionale.

In merito allo stato del dissesto dell'area comunale, si segnala che lo stesso è legato essenzialmente:

- a frane di scivolamento e crollo, sia in roccia che in terreni sciolti, e a caduta di massi da pareti rocciose, fenomeno frequente sia nelle zone d'impluvio che sui più ripidi versanti rocciosi (Voci P.A.I.: Fa, Fq, Fs),
- a problemi di esondazione e di trasporto solido negli alvei dei principali impluvi (Voci P.A.I.: Ee, Eb, Em).

<b>Aree in frana</b>		
- Area di frana attiva, - Zona 1 delle aree in frana ex L. n.267/1998 relative alle frane di Lera, Camorone e Valle Porno-Croce Garateno.	Fa	Classe 4
- Area interessata da distacco, rotolamento e accumulo di blocchi provenienti sia da ammassi rocciosi che da depositi superficiali, - Area di frana quiescente e aree di frana bonificata di cui non è ancora certa l'efficacia dell'intervento). - Zona 2 delle Aree a pericolosità molto elevata ex L. n.267/1998 relative alle frane di Lera, Camorone e Valle Porno-Croce Garateno.	Fq	Classe 4
- Area di frana bonificata per cui è stato eseguito lo studio per la riclassificazione, - Area di frana stabilizzata e area di frana quiescente poco pericolosa. (*)	Fq	Classe 3
Aree interessate da frane stabilizzate/recluse	Fs	Classe 3/2
<b>Aree interessate da esondazioni e dissesti morfologici a carattere torrentizio</b>		
- Aree a pericolosità di esondazione elevata (da studi idraulici).	Ee	Classe 4
- Aree a pericolosità di esondazione elevata (da analisi geomorfologiche).	Eb	Classe 3 (**)
- Aree a pericolosità da esondazione media o moderata	Em	Classe 3/2
<b>Trasporto in massa su conoidi</b>		
- Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta	Cn	Classe 3

(\*) Limitate aree senza problemi di stabilità già presenti nel vecchio studio approvato nel 2004 del Comune di Brembilla.

(\*\*) Le aste torrentizie del Reticolo Principale (Torrente Brembilla nella zona non oggetto di studio idraulico, Torrente della Valle dei Molini, Torrente Predusola) e tutte le aste del Reticolo Minore, pur classificate Eb, ricadono comunque sempre in Classe 4 per i vincoli di Polizia Idraulica.

**Tab.24 – Correlazione fra la legenda della “Carta del Dissesto con legenda uniformata a quella del P.A.I.” e quella della Componente geologica.**