

**COMUNE DI SEDRINA**  
**(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 Sedrina**

**Bergamo, Gennaio 2018**



*Augusto Azzoni*

**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 .....	8
<b>3.2 Inquadramento geomorfologico</b> .....	<b>8</b>
<b>3.3 Inquadramento geologico</b> .....	<b>10</b>
<b>3.4 Inquadramento strutturale</b> .....	<b>12</b>
<b>3.5 Inquadramento meteorologico</b> .....	<b>12</b>
<b>3.6 Inquadramento idrologico</b> .....	<b>14</b>
<b>3.7 Inquadramento idrogeologico</b> .....	<b>15</b>
<b>3.8 Inquadramento sismologico</b> .....	<b>16</b>
3.8.1 Cenni di sismicità storica .....	16
3.8.2 Classificazione sismica .....	19
<b>4. ANALISI E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO</b> .....	<b>21</b>
<b>4.1 Introduzione</b> .....	<b>21</b>
<b>4.2 Procedura</b> .....	<b>22</b>
<b>4.3 Analisi di 1° livello</b> .....	<b>24</b>
4.3.1 Carta di Pericolosità Sismica locale .....	26
<b>4.4 Analisi di 2° livello</b> .....	<b>27</b>
4.4.1 Metodologia per la valutazione degli effetti di amplificazione topografica .....	27
4.4.2 Metodologia per la valutazione degli effetti di amplificazione litologica .....	31
4.4.3 Risultati dell'analisi di Amplificazione topografica .....	35
4.4.4 Risultati dell'analisi di Amplificazione litologica .....	38
4.4.5 Carta del Fattore di amplificazione locale e delle categorie di sottosuolo proposte .....	43
<b>5. CARTA DEI VINCOLI</b> .....	<b>45</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>45</b>
<b>5.2 Vincoli di Polizia idraulica (D.G.R. n.7/7868/2002 e successive modifiche e integrazioni)</b> .....	<b>45</b>
<b>6. CARTA DI SINTESI</b> .....	<b>47</b>
<b>6.1 Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti</b> .....	<b>47</b>
<b>6.2 Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico</b> .....	<b>48</b>
<b>6.3 Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico</b> .....	<b>48</b>
<b>6.4 Aree con scadenti caratteristiche geotecniche</b> .....	<b>49</b>
<b>7. CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO</b> .....	<b>50</b>
<b>7.1 Classi di fattibilità</b> .....	<b>50</b>
7.1.1 Classe 1: Fattibilità senza particolari limitazioni .....	50
7.1.2 Classe 2: Fattibilità con modeste limitazioni .....	50
7.1.3 Classe 3: Fattibilità con consistenti limitazioni .....	51
7.1.4 Classe 4: Fattibilità con gravi limitazioni .....	51

<b>7.2 Sintesi dei criteri adottati per la redazione della "Carta di Fattibilità" .....</b>	<b>52</b>
7.2.1 Criteri adottati per la rappresentazione grafica delle informazioni .....	54
<b>7.3 Carta di Fattibilità geologica per le azioni di Piano.....</b>	<b>55</b>
<b>8. CARTA DEL DISSESTO CON LEGENDA UNIFORMATA A QUELLA DEL P.A.I.....</b>	<b>56</b>

**TAVOLE ALLEGATE:**

Tav.1 - Carta della Pericolosità Sismica locale (scala 1: 5.000).

Tav.2 - Carta dei Vincoli a scala (scala 1: 5.000).

Tav.3 - Carta di Sintesi (scala 1: 5.000).

Tav.4 - Carta della Fattibilità Geologica per le azioni di Piano (scala 1: 5.000).

Tav.5 - Carta dei fattori di amplificazione locale e delle categorie di sottosuolo proposte (1: 5.000).

Tav.6 - 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 Sedrino è stato effettuato un nuovo aggiornamento dello studio geologico a scala comunale a supporto dello strumento urbanistico ("*Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Sedrino*"), in accordo alla normativa urbanistica e sismica attualmente vigente ed utilizzando la nuova base cartografica digitale.

Tale studio fa seguito a due precedenti lavori:

- lo "*Studio Geologico a supporto del Piano Regolatore comunale*", redatto dal sottoscritto nel 1998 e poi aggiornato nel 2002 secondo i criteri della L.R.41/97 e della DGR n. 7/7365 del 2001,
- lo "*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. 8/1566 del 22.12.2005*", redatto dal sottoscritto nel 2007 a seguito della nuova normativa in campo sismico introdotta con l'OPCM n.3274/2003, dell'aggiornamento del Quadro del Dissesto del P.A.I. operato dalla Regione Lombardia, e dello Studio sul Reticolo Idrico Minore ("*Regolamento per l'esercizio comunale dell'attività di Polizia Idraulica sul Reticolo Idrico Minore*"), effettuato nel corso dell'anno 2004.

Il programma del presente studio è stato concordato con l'Amministrazione Comunale di Sedrino, 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 cartografica digitale di tutti i dati di carattere geologico ed idraulico, fino ad ora sempre riportati su carta aerofotogrammetrica degli anni '90, sentito anche il parere della Regione Lombardia, si è concordato di lasciare inalterate le "Carte di analisi" sulle originarie basi cartografiche, e di ridisegnare 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 della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano",

Oltre a queste, considerando 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 Sedrino è stato portato dalla "Zona 4" in cui era stato classificato dalla O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003 alla "Zona 3", ovvero zona a sismicità medio-bassa, è stato effettuato 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) e sono state predisposte le seguenti carte:

- o "Carta dei fattori di amplificazione locale e delle categorie di sottosuolo proposte",
- o "Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano con PSL".

Non essendo stata effettuata alcuna significativa modifica nel quadro del dissesto, non è invece stata modificata l'esistente

- o "Carta del dissesto con legenda uniformata a quella del P.A.I."

- riguardo alla Relazione geologica, si è concordato che riportasse 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 parte relativa all'inquadramento geologico generale e la descrizione delle "Carte d'analisi", per cui si rimanda ai precedenti Studi. In accordo alla normativa vigente, la stessa relazione è ora quindi composta da due parti:
  - o Parte 1 - Relazione illustrativa
  - o Parte 2 - Norme Geologiche di Piano,cui se ne aggiunge una terza contenente le analisi e le misure sismiche relative allo studio di 2° livello
  - o Parte 3 - Appendice all'Analisi Sismica di 2° livello.

Il lavoro è stato svolto fra l'autunno 2016 e l'autunno 2017 per quanto riguarda i rilievi di terreno e l'acquisizione di dati bibliografici e cartografici. Lo stesso è poi proseguito nella seconda parte del 2017 per quanto attiene l'elaborazione dei dati raccolti, la redazione delle carte e la stesura del rapporto tecnico.

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 ("*Criteria 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 all'esistente cartografia, che per i citati problemi cartografici è stata lasciata sulla base su cui è stata creata (vecchia carta da rilievo aerofotogrammetrico a scala 1: 5.000).

Nel corso del lavoro sono comunque stati considerati tutti i nuovi elementi -principalmente legati al dissesto - verificatisi dal 2007 al 2017, 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 posizione delle diverse condizioni in grado di determinare gli effetti sismici locali, i cosiddetti "Scenari di Pericolosità Sismica locale". Tale nuova perimetrazione, condotta in accordo ai criteri attualmente in uso, ha portato a parziali modifiche rispetto alla carta vigente, principalmente per quanto riguarda gli Scenari Z3 e Z4.
- "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 della 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, 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.

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 limitando al massimo le modifiche rispetto

alla carta esistente. 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 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 la nuova Carta Aerofotogrammetrica digitale del Comune di Sedrina a scala 1: 5.000 (scala apparsa di adeguato dettaglio per rappresentare la situazione geologica comunale).

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 Sedrina è posto nel settore inferiore della valle del Fiume Brembo, pochi chilometri a monte dello sbocco del fiume in pianura (Fig. 1).

In particolare esso è situato sul versante sinistro idrografico della valle e si sviluppa essenzialmente all'intorno del Monte Passata, che rappresenta la massima culminazione verso ovest della cresta occidentale del Monte Canto Alto. L'area comunale confina a nord con i Comuni di Brembilla e Zogno, a ovest con quello di Ubiale-Clanezzo, a sud con Villa d'Almè e Sorisole e ad est ancora con i Comuni di Sorisole e Zogno.

Il territorio è prevalentemente montuoso e presenta un'estensione di 5.98kmq.

Le altimetrie sono comprese fra i 260m s.l.m. dell'alveo del Fiume Brembo in corrispondenza della confluenza del Torrente Giongo, a valle della frazione Botta di Sedrina, e gli 870m s.l.m. della località Roccolo Fontanone, posto sulla dorsale Monte Passata-Canto Alto, nel settore orientale dell'area comunale.

##### **3.1.1 Cartografia**

L'area comunale è coperta 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, Quadrante III, Orientamento NE, Zogno (rilievo del 1974) (Fig.1) ,
- Carta aereofotogrammetrica del Comune di Sedrina a scala 1: 5.000 con dettaglio a scala 1: 2.000 per zone centrali, prodotta negli anni '90;
- 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 Sedrina è compreso nelle sezioni individuate con le sigle C5a1, C5b1 e C4b5.
- Carta Tecnica Regionale (C.T.R.), prodotta dalla Regione Lombardia in scala 1: 50.000.
- Nuove Carte aereofotogrammetriche digitali a scala 1: 5.000.
- Carta Catastale a scala 1: 2.000 dell'intera area comunale.

#### **3.2 Inquadramento geomorfologico**

L'area comunale di Sedrina presenta le caratteristiche di un territorio montuoso, con versanti ad elevata pendenza e valli incise, e con aree pianeggianti o subpianeggianti di limitata estensione, per lo più circoscritte alle zone adiacenti i principali corsi d'acqua.

Essa è delimitata a sud dalla valle del Torrente Giongo, ad ovest e a nord da quella del Fiume Brembo, a est da una linea a generale andamento nord-sud, coincidente in parte con la valle del Rio Pisena e con il crinale che risale verso il Roccolo Fontanone, in parte con vari impluvi che dalla località Cascina Valturba scendono verso la valle del Giongo.

Il carattere morfologico di maggiore rilevanza è costituito dalla dorsale Monte Passata-Monte Tassera, che si sviluppa in direzione est-ovest e rappresenta, come detto, l'estrema propaggine verso ovest della cresta occidentale del Monte Canto Alto.

I versanti a nord e ad ovest della dorsale sono contraddistinti da roccia subaffiorante, e caratterizzati da una variazione nell'acclività, con pendenze accentuate nel settore di monte, più dolci in quello centrale e poi ancora molto forti in prossimità della valle del Fiume Brembo. Dal punto di vista dell'idrografia, i versanti sono solcati da impluvi



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, creando grandi conoidi in pianura e alvei a quote ben superiori a quella attuale nella valle (ora testimoniati dai terrazzi cosiddetti fluvio-glaciali).

Sui versanti, l'azione delle acque superficiali ha portato alla formazione di valleciole spesso molto incise, la cui formazione è presumibilmente da riferirsi al periodo glaciale e post-glaciale, visto che esse in genere terminano sui terrazzi fluvio-glaciali.

I versanti presentano generalmente discrete caratteristiche di stabilità, non ostante l'acclività in genere elevata, essendo costituiti da un substrato roccioso con buona qualità geotecnica e con terreno di copertura solitamente di spessore ridotto.

È presente e diffuso il fenomeno del carsismo, con evidenze superficiali attive e fossili.

Una particolarità morfologica del territorio comunale è data dalla presenza di diversi elementi connessi all'intensa attività di cava. Questa ha portato alla formazione di scarpate artificiali di notevole sviluppo sia in altezza che in lunghezza e alla creazione di grandi terrapieni formati dal materiale di scarto dell'attività estrattiva.

### **3.3 Inquadramento geologico**

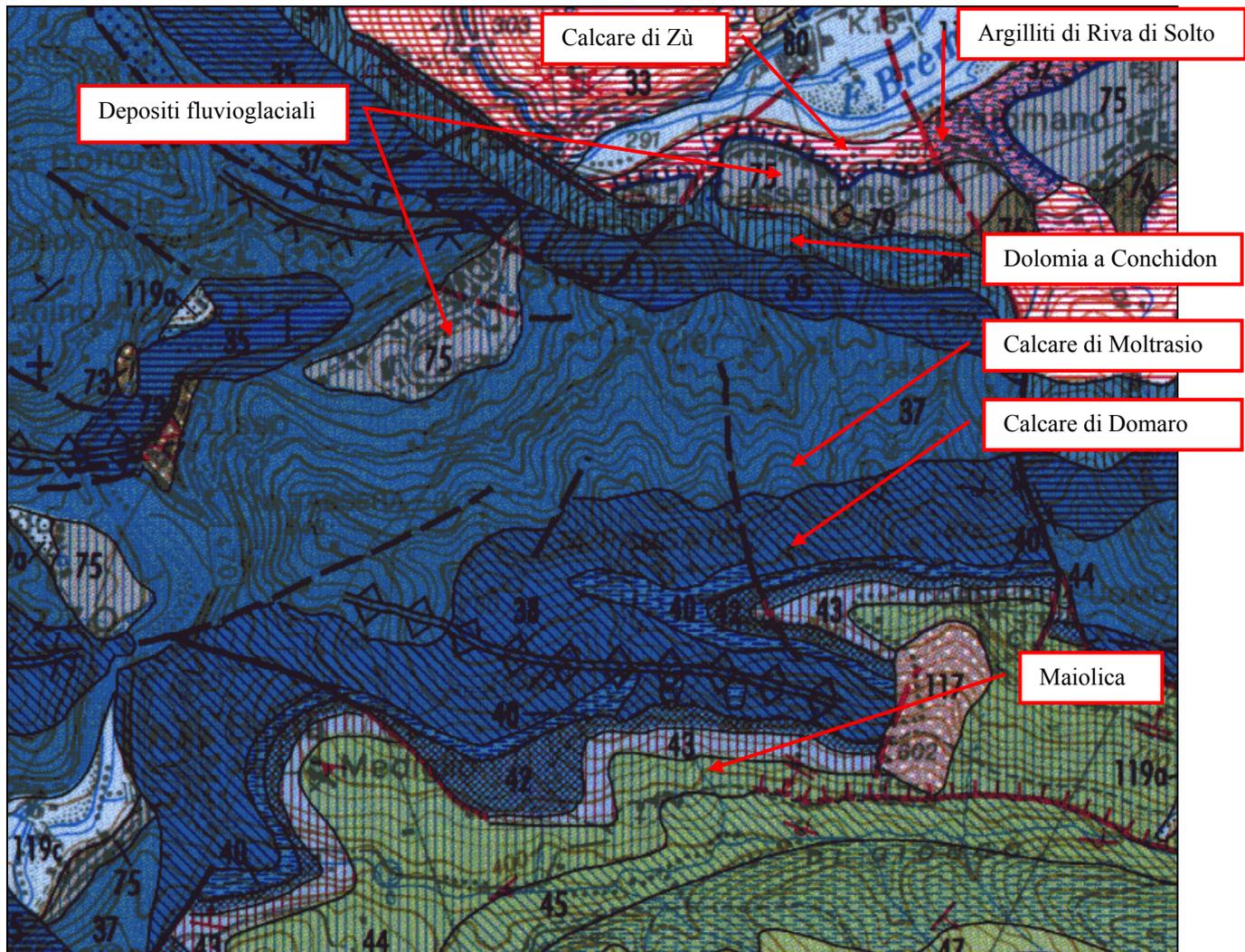
L'area in esame ricade nella cosiddetta «fascia collinare» della provincia di Bergamo, estesa dalla pianura fino alle cime dei monti prospicienti la stessa. Tale fascia è caratterizzata da un substrato roccioso costituito essenzialmente da rocce di origine marina sia terrigene che calcaree del Cretacico e del Giurassico nel settore meridionale, da rocce dolomitiche e calcaree, localmente terrigene, di età Triassica in quello settentrionale.

I depositi superficiali presentano nel complesso modesta estensione e sono limitati ad alcune zone a debole pendenza poste a varie quote in prossimità dell'alveo del Fiume Brembo o di altri corsi d'acqua minori. Anche le coperture sui versanti sono nel complesso di spessore ridotto, fatto in certa parte legato alla loro generale acclività che difficilmente consente la stabilità di materiali con modeste caratteristiche di resistenza.

In dettaglio, i tipi litologici presenti nell'area comunale sono dati per lo più da calcari e marne, e in minor misura da argilliti, dolomie e selci. Sono presenti quasi tutte le formazioni della Serie Lombarda a partire dalle "Argilliti di Riva di Solto", del Retico (Trassico Sup.), fino alle "Marne di Bruntino" dell'Aptiano-Albiano (Cretacico Inf.).

Esaminando separatamente i due settori individuati dalla citata dorsale Monte Tassera - Monte Passata, si osserva che in quello settentrionale si riconoscono le formazioni più antiche, vale a dire le "Argilliti di Riva di Solto", il "Calcere di Zu", la "Dolomia a Conchodon" del Triassico, il "Calcere di Sedrino" e i calcari del "Gruppo del Medolo" del Giurassico, che è l'unità con maggiore estensione areale nel territorio comunale. Esse presentano una giacitura abbastanza regolare, con immersioni rivolte verso nord e nord-est, spesso con alto angolo d'inclinazione e talora indicanti un assetto rovesciato della stratificazione (unità più antiche in posizione stratigrafica superiore). Nel settore posto a sud del crinale, sono invece presenti, oltre al "Calcere di Sedrino", tutte le formazioni del Giurassico medio e superiore e quelle Cretaciche, cioè il "Rosso Ammonitico", le "Radiolariti", il "Rosso ad Aptici", la "Maiolica" e le "Marne di Bruntino" (Fig.2).

Riguardo ai depositi superficiali, si è già detto della loro limitata estensione, circoscritta alle zone di fondovalle e ai principali terrazzi di origine fluviale. Essi sono essenzialmente di due tipi, quelli granulari medio grossolani connessi al trasporto e al deposito dei principali corsi d'acqua (in particolare il Fiume Brembo), e quelli fini connessi al dilavamento dei terreni presenti sui versanti.



**Fig.2 – Carta Geologica del Comune di Sedrina (estratto dalla "Carta Geologica della Provincia di Bergamo" a scala 1: 50.000).**

I primi sono dati da ghiaie, ciottoli e massi di origine fluviale, a volte alterati (ferrettizzati), a volte anche con un discreto grado di cementazione (depositi fluvioglaciali e conglomerati fluviali cementati), deposti dal Fiume Brembo durante il periodo glaciale e post-glaciale quando l'alveo dello stesso era a quota più elevata rispetto a quella attuale (all'incirca nella parte media e superiore del Quaternario). Dello stesso tipo, ma prive di cementazione, sono anche le alluvioni recenti e attuali del Fiume Brembo, evidenti rispettivamente nell'alveo fluviale e sui terrazzamenti di modesta estensione esistenti in adiacenza allo stesso, a quota appena superiore.

Oltre a questi si segnalano, in corrispondenza dello sbocco di vallecole, i depositi connessi all'azione di trasporto di coni di deiezione, costituiti da materiali sia fini che grossolani. Tali depositi sono evidenti in particolare nelle zone terrazzate poste a nord dell'area comunale e sul terrazzo di Sedrina.

I depositi fini, presenti principalmente nelle parti inferiori dei versanti, a ridosso dei terrazzi fluvio-glaciali, sono dati essenzialmente da limi argillosi con inclusa variabile quantità di frammenti rocciosi in genere di piccole dimensioni (depositi colluviali). Tali depositi localmente mostrano spessori anche ragguardevoli (ordine di diversi metri).

Per quanto attiene le condizioni geomeccaniche dei vari tipi litologici del substrato roccioso, esse sono generalmente buone. Le rocce sono infatti caratterizzate da resistenza da media ad elevata, solo localmente ridotta in superficie per effetto dell'alterazione superficiale, e in genere da moderata fratturazione, fatto dovuto all'assenza di elementi strutturali di particolare rilievo.

L'unico importante problema che localmente interessa le rocce del substrato è la presenza di elementi di tipo carsico, quali doline, inghiottitoi, cavità e grotte, in parte fossili, in parte tuttora attivi. Tali elementi, costituiscono le principali discontinuità dell'ammasso roccioso (vuote o riempite di materiali sciolti) e ne comportano un puntuale indebolimento, localmente molto pericoloso per la stabilità delle opere civili sovrastanti.

### **3.4 Inquadramento strutturale**

La zona in esame, ubicata all'interno della catena orobica, fa parte del settore strutturale comunemente identificato come «Alpi Meridionali», il cui stile deformativo è caratterizzato dalla presenza di pieghe e sovrascorrimenti con trasporto tettonico verso sud. In particolare essa appartiene ad un esteso allineamento di ampie pieghe di tipo anticlinalico con il fianco meridionale verticale o rovesciato, connesse alla presenza, in profondità, di sovrascorrimenti sviluppatasi alla base della «Dolomia Principale».

Nel caso specifico, la piega principale è denominata «Anticlinale dell'Albenza», osservabile su tale monte, così pure come sul vicino Canto Alto, interpretata da alcuni autori come una deformazione plicativa sviluppatasi in superficie in associazione ad un fenomeno di sovrascorrimento «cieco». All'intorno di questa struttura e lungo il Fiume Brembo, sono invece presenti faglie trascorrenti orientate nord-sud, che interrompono e dislocano la continuità delle strutture.

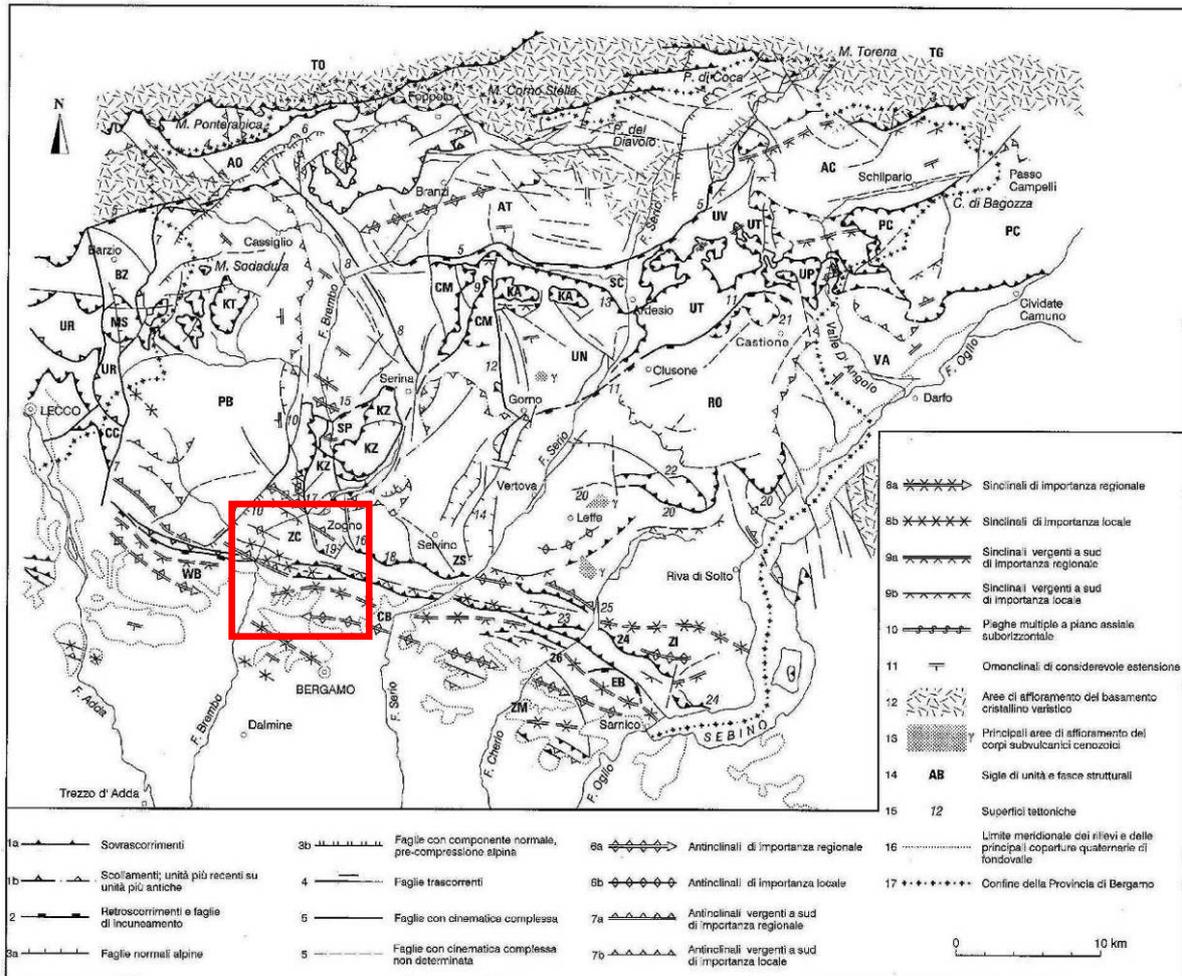
Nel dettaglio, la configurazione tettonica che assumono le formazioni, dalla Val Brembilla sino ad Almenno S. Salvatore, è quella di un'ampia sinclinale fino a Strozza, che passa quindi a sud alla piega dell'Albenza vera e propria. Quest'ultima porta le formazioni ad assumere direzione est-ovest con immersione verso sud ed inclinazioni che oscillano tra 55° e 75°. A nord si osserva invece una situazione generalmente più regolare: le formazioni presentano stratificazione debolmente inclinata verso nord, vi è assenza di pieghe di importanza regionale e i principali elementi strutturali sono le parti terminali di alcune delle faglie con decorso nord-sud che hanno permesso lo svincolo laterale per i sovrascorrimenti sudvergenti.

L'assetto geostrutturale generale delle unità presenti nel territorio comunale di Sedrina ben si inquadra nello schema sopra esposto. Esso è comunque di definizione abbastanza complessa, per il modesto spessore delle unità stesse, per la presenza di numerose pieghe e per la limitata esposizione, in taluni settori, della serie stratigrafica.

Oltre a quanto già descritto, deve poi essere segnalata, nell'area in esame, l'assenza di discontinuità tettoniche di rilievo regionale o con riscontri neotettonici. Si deve tuttavia ricordare la presenza di alcune faglie con direzione approssimativa nord-sud poste sul versante idrografico destro della valle del torrente Giongo, che in parte dislocano la piega sinclinale citata (Fig.3).

### **3.5 Inquadramento meteoroclimatico**

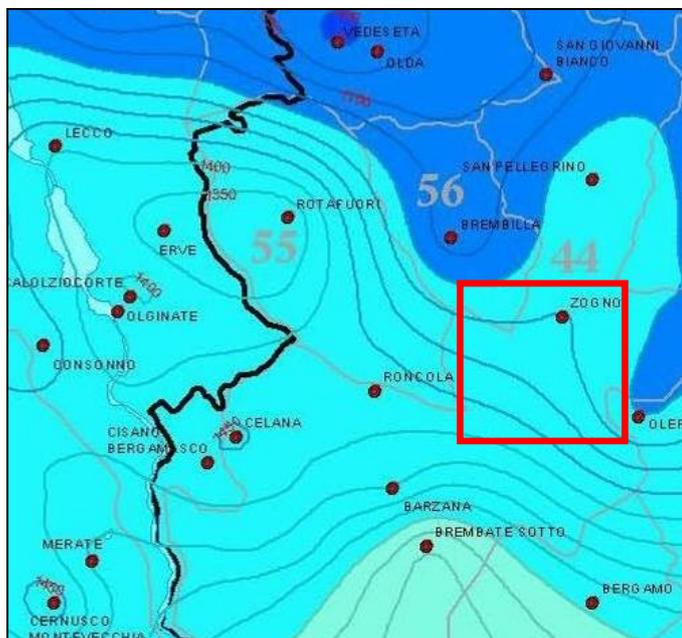
Nel territorio comunale di Sedrina non sono presenti stazioni per il rilevamento meteorologico e climatico, pertanto per una generale caratterizzazione dell'area ci si è rifatti ai dati di stazioni vicine, quali Brembilla, S.Pellegrino, Zogno, Roncola e Bergamo.



**Fig.3 – Carta strutturale delle Prealpi Bergamasche (da "Note illustrative alla Carta Geologica della Provincia di Bergamo", anno 2000).**

Per quanto riguarda la pluviometria, i dati relativi al periodo 1951-1986 misurati alla stazione di Zogno, che è la più vicina e che, essendo posta presumibilmente in fondovalle, può ragionevolmente essere considerata rappresentativa anche di tutta l'area bassa del territorio di Sedrina, indicano precipitazioni annuali variabili da un minimo di 1193mm di pioggia nel 1955 a un massimo di 2612mm di pioggia nel 1977, con una media su tutto il periodo di 1698mm. Successive analisi condotte da Ceriani e Carelli (Fig.4), definiscono l'altezza media di pioggia nell'area di Sedrina in circa 1.550mm. 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 (a riguardo si ricorda che nel corso dell'evento alluvionale del novembre 2002, un pluviometro temporaneamente installato dal sottoscritto in località Cacosio rilevò nella quindicina di giorni compresi fra il 13/11 e il 26/11 oltre 800mm di pioggia, con tre giorni con altezza di pioggia caduta superiore a 125mm).

Per quanto riguarda le temperature, i dati disponibili sono relativi alle stazioni di Bergamo e S.Pellegrino.



**Fig.4 – Distribuzione spaziale delle precipitazioni medie annue (da Ceriani e Carelli, 2001).**

A Bergamo si osserva, nel periodo 1958-1989, che la temperatura minima mensile (valore medio delle temperature minime giornaliere) varia da un minimo di  $-2^{\circ}\text{C}$  in gennaio ad un massimo di  $17^{\circ}\text{C}$  in luglio, mentre la temperatura massima mensile varia da un minimo di  $5.5^{\circ}\text{C}$  in gennaio ad un massimo di  $28.2^{\circ}\text{C}$  in agosto. I dati della stazione di S.Pellegrino (riferiti al solo 1976, ma nel complesso indicativi della situazione generale) confermano in parte quanto sopra riportato, con temperatura minima mensile compresa fra  $-2.3^{\circ}\text{C}$  in gennaio e  $15.4^{\circ}\text{C}$  in luglio, e temperatura massima mensile compresa fra un minimo di  $5^{\circ}\text{C}$  in dicembre e un massimo di  $30.1^{\circ}\text{C}$  in luglio.

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.

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 coperte completamente è di 114 giorni e di quelle parzialmente coperte è di 160 giorni.

### **3.6 Inquadramento idrologico**

Dal punto di vista idrologico, l'elemento fondamentale dell'area sedrina è il Fiume Brembo, che delimita la stessa sui lati settentrionale ed occidentale. Oltre a questo sono poi presenti altri corsi d'acqua minori, di cui il principale è il Torrente Giongo.

Il Fiume Brembo, nella zona in esame presenta un alveo generalmente ben definito, scorrendo fra pareti rocciose o comunque fra ripidi versanti. Solo in alcuni punti sono presenti, a poca distanza dal fiume, aree a quota di poco superiore a quella fluviale, che pertanto potrebbero essere interessate da eventuali esondazioni. L'alveo del Brembo, nella zona d'interesse, presenta larghezza di diverse decine di metri e si estende fra le quote di circa 290m s.l.m. a

monte, presso il confine con il Comune di Zogno, e di circa 260m s.l.m. a valle, in corrispondenza della confluenza del Torrente Giongo.

I dati caratteristici del Fiume Brembo, pubblicati dal Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici nel 1980 e riferiti alle misurazioni fatte al Ponte di Briolo (pochi chilometri a sud, appena a valle della confluenza con il Torrente Imagna) trentennio 1940-1970, sono i seguenti:

- bacino: 765kmq,
- altezza max.:2914m s.l.m., altezza media: 1140m s.l.m., zero idrometrico: 230m s.l.m.,
- media delle portate massime dei 30 anni: 613mc/s,
- media delle portate medie dei 30 anni: 31mc/s,
- media delle portate minime dei 30 anni: 8,6mc/s.

In accordo ai dati presentati, la massima portata registrata a tutto il 1970 è stata di 1.580mc/s (1/11/1928) e la minima di 4.3mc/s (26-27 e 29/12/1953).

L'altro corso d'acqua d'interesse è il Torrente Giongo, che scorre nel settore meridionale del territorio comunale. Esso si origina alle pendici meridionali del monte Canto Alto e scorre con direzione est-ovest per circa 4,5km fino al principale Fiume Brembo, in cui confluisce presso la frazione Botta di Sedrina alla quota di circa 260m s.l.m. Il bacino idrografico è di circa 5kmq.

Oltre a questi, nell'area di Sedrina si trovano altri corsi d'acqua minori, tutti con carattere temporaneo (il deflusso è limitato a periodi di piovosità particolarmente intensa ed è praticamente nullo nella restante parte dell'anno). Fra tali corsi si ricordano i seguenti principali:

- il Rio di Cachinaglio o Pisena, che si origina dalla Corna dell'Uomo sopra il Roccolo Fontanone e sbocca nel Fiume Brembo, con bacino idrografico di poco più di 1kmq (quasi tutto nel territorio comunale di Zogno),
- il Rio Benago, che nasce nella conca a nord del Monte Passata dall'unione di due corsi minori (Rio del Gazzo e Rio del Buco del Locco) e sbocca anch'esso nel Brembo, con bacino idrografico di circa 1kmq,
- il Rio di Sedrina, che nasce sul versante nordoccidentale del Monte Passata e sbocca anch'esso nel Brembo (pur essendo incanalato), con bacino idrografico di circa 0,9kmq,
- il Rio Scagnola (o Maivista), che nasce dal crinale fra Monte Tassera e Monte Passata e sbocca nel Brembo, con un bacino idrografico di pochi ettari.

Di tali corsi d'acqua, sono inseriti nell'Elenco delle Acque Pubbliche della Provincia di Bergamo, ai sensi del Regio Decreto n.29 del 11 ottobre 1923, il Fiume Brembo, il Rio di Cachinaglio o Rio Pisena, il Rio di Sedrina (posto verosimilmente nella conca sopra il nucleo principale del paese), il Rio di Maivista e il Torrente Giongo.

### **3.7 Inquadramento idrogeologico**

Il territorio comunale di Sedrina è caratterizzato principalmente dalla presenza di substrato roccioso affiorante o subaffiorante costituito da rocce di varia natura: calcari e marne in primo luogo, quindi argilliti, dolomie e selci. Oltre a queste sono poi presenti depositi quaternari costituiti da ghiaie e ciottoli di origine sia fluvio-glaciale che fluviale, detrito calcareo di medie dimensioni appartenente a conoidi di deiezione e terreni a granulometria fine con inclusi ghiaiosi facenti parte di depositi eluvio-colluviali.

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 (alveo del Fiume Brembo) e fluvio-glaciali (terrazzi di Cassettono-Cachinaglio e di Sedrina) e le zone con calcari e dolomie interessati da fenomeni carsici (in particolare la zona di Cler);

- sono a permeabilità media le zone con marne intervallate a calcari (gran parte del territorio comunale); sono a permeabilità bassa le aree con rocce argillitiche e quelle con estesi depositi colluviali (parte della valle del Torrente Giongo, certi settori di Sedrino e Botta).

Nelle 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 lunga durata oppure brevi ed intensi, alternati a lunghi periodi in cui l'alveo risulta completamente asciutto.

Nelle zone a permeabilità bassa, invece, l'acqua tende a ruscellare sul terreno e conseguentemente la risposta agli eventi meteorici è più rapida: in queste zone infatti, si verificano notevoli incrementi di portata anche dopo piogge di modesta entità. È possibile inoltre osservare acqua corrente per tutto l'anno negli impluvi con substrato impermeabile alimentati da sorgenti a carattere perenne.

In merito alle disponibilità idriche del territorio, si rileva come queste siano nel complesso molto modeste: sono presenti solo sorgenti di modesta entità e fortemente soggette a variazioni di portata in funzione degli afflussi meteorici, motivo per cui nessuna di esse è attualmente utilizzata a fini idropotabili. Tale situazione appare legata alla relativamente ridotta estensione dei depositi quaternari ed al fatto che buona parte dell'acqua d'infiltrazione vada in condotti di tipo carsico, le cui fuoriuscite evidentemente non si trovano nell'area comunale.

### **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.1) 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.5 (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; 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 in zona sia nel complesso di moderata entità, essenzialmente legata ad eventi verificatisi in aree esterne.

*Comune di Sedrino (BG)*

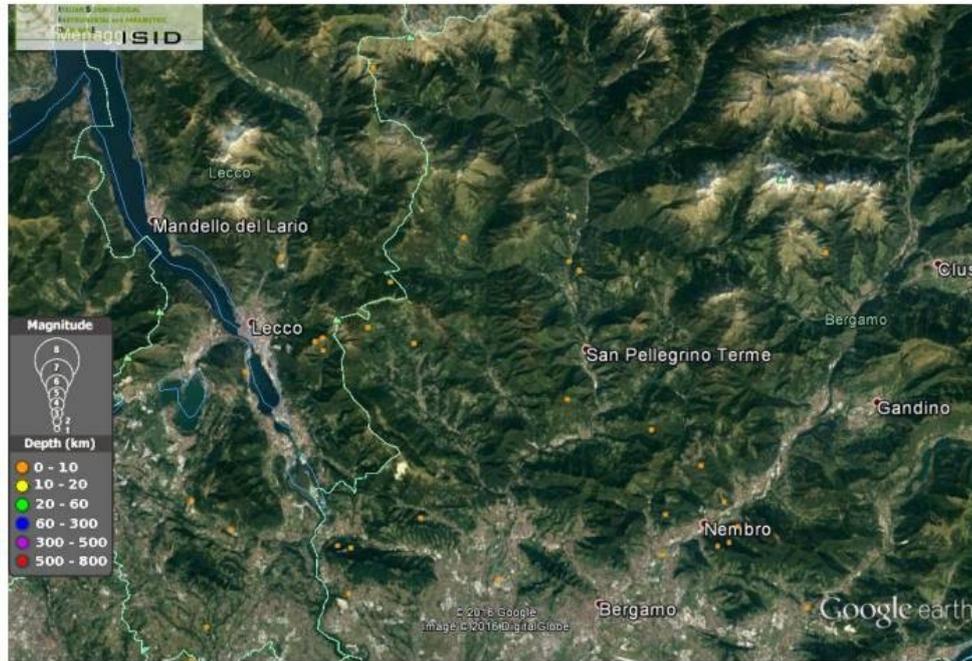
**Componente geologica, idrogeologica e sismica a supporto del Piano di Governo del Territorio (L.R. n. 12 del 11.03.2005 e D.G.R. n.9/2616 del 30/11/2011) - Relazione geologica**

**Parte 1: Relazione illustrativa**

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

	<b>Ora</b>	<b>Latitudine</b>	<b>Longitudine</b>	<b>Intensità epicentro</b>	<b>Intensità al sito</b>	<b>Epicentro</b>
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'Illasi
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.1 – 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

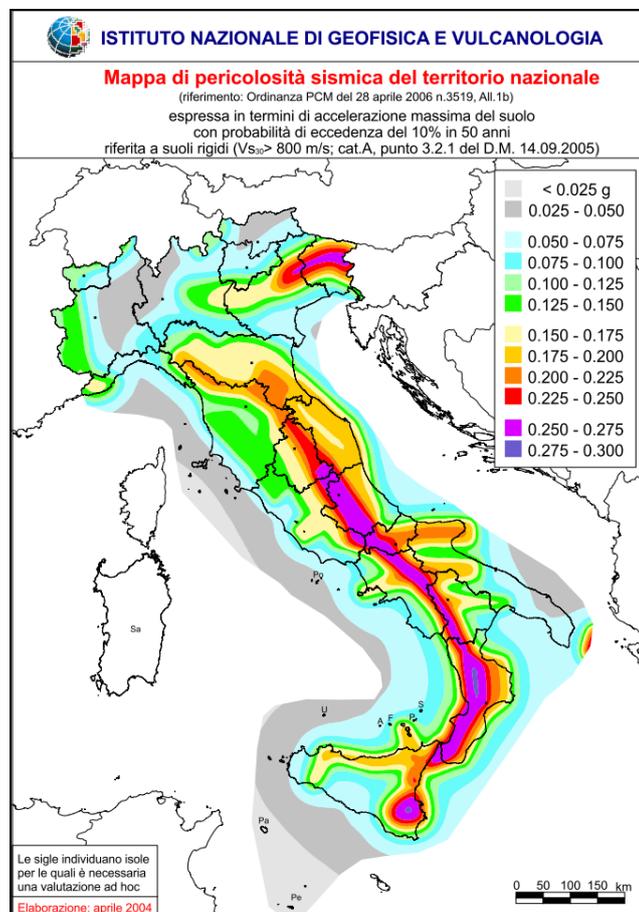
**Fig.5 – Elenco degli eventi sismici avvenuti dal 1985 ad oggi all’intorno dell’area Comunale.**

### 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.6) e quindi anche il grado di pericolosità sismica dell'area lombarda (Fig.7) e del Comune di Sedrìna.

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

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 Sedrìna è stato definitivamente classificato nella "Zona 3", ovvero zona a sismicità medio-bassa.



**Fig.6 - 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 ( $V_s > 800$  m/s; cat. A).**

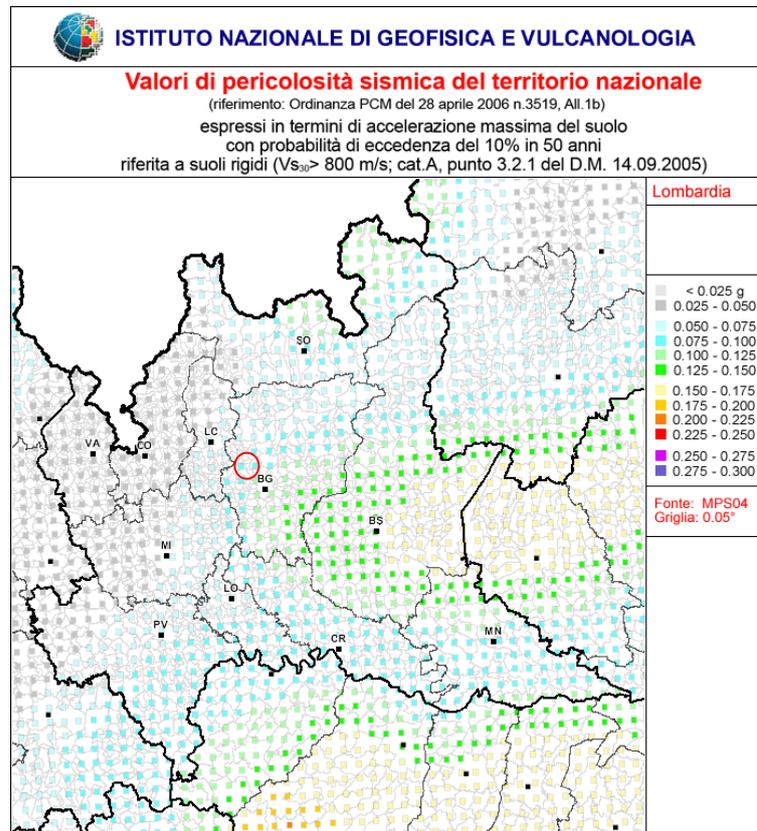


Fig.7 - Mappa di pericolosità sismica del territorio lombardo.

Zona sismica	Fenomeni riscontrati	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
1	Zona con pericolosità sismica <b>alta</b> . Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	$a_g \geq 0,25g$
2	Zona con pericolosità sismica <b>media</b> , dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	$0,15 \leq a_g < 0,25g$
3	Zona con pericolosità sismica <b>bassa</b> , che può essere soggetta a scuotimenti modesti.	$0,05 \leq a_g < 0,15g$
4	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.2 – Classi di Pericolosità Sismica basate sull'Accelerazione massima attesa.

## 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:*
  - o *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;*
  - o *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 "*Criteria 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.8).

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.3):

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

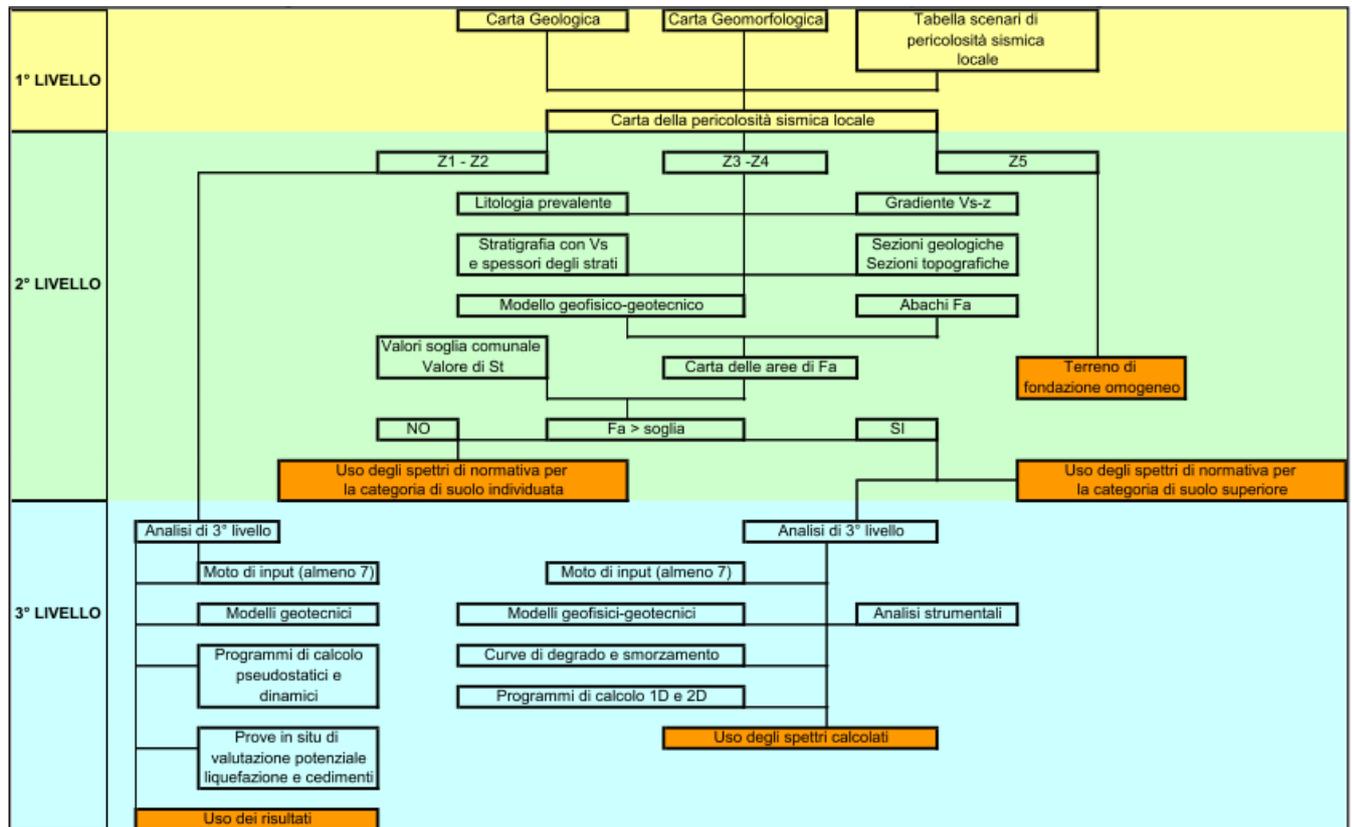


Fig.8 - Schema procedurale associato ai tre livelli di indagine (da All. 5 della D.G.R. n.9/2616/2011 ).

### 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 e la traccia lineare delle diverse situazioni tipo (Fig.9) 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 Sedrina 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:

**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**

- 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 alcuni 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 delizio-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

**Fig.9 - 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 Sedrino sono riportati nella seguente Tab.4.

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.4 – Scenari di Pericolosità Sismica Locale in Comune di Sedrino.**

#### 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 poligoni 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, che in genere sono alquanto limitati e corrispondenti a piccoli smottamenti e crolli.  
Tutte le frane quiescenti sono state inserite nello Scenario Z1b, mentre le frane bonificate in tempi recenti (ultimi 15-20 anni), per cui non è ancora del tutto certo l'esito dell'intervento, e 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.
- Nello scenario Z2, comprendente terreni di fondazione particolarmente scadenti, sono state incluse le zone con terreni di riporto scadente qualità geotecnica (Cava Italcementi dopo il riempimento, terrapieno a valle di Botta), passibili di significative deformazioni quando caricate.
- Lo Scenario Z3a comprende i cigli delle scarpate che delimitano terrazzi e dossi prativi, mentre lo Scenario Z3b comprende la maggior parte delle creste che delimitano i vari bacini idrografici; lungo tali creste sono presenti le aree di Cler, di Benago e della casa di preghiera di Botta.
- I ripiani con depositi fluvioglaciali dei terrazzi di Pratomano, Cassettone, Sedrino, e Lisso e i depositi alluvionali del fondovalle del Fiume Brembo e del Torrente Giongo sono stati posti nello Scenario Z4a; il conoide torrentizio formato dal del Rio Pisena sul terrazzo di Pratomano è stato inserito nello Scenario Z4b; le aree a media pendenza a monte di Pratomano e Cassettone, i pendii sopra Sedrino, l'intera area di Botta ed

altre zone di minore estensione quali quelle di Cler, di Mediglio e di Ca del Giongo, tutte 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 Sedrino, 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.10 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 roccioso 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 Sedrina un notevole 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.

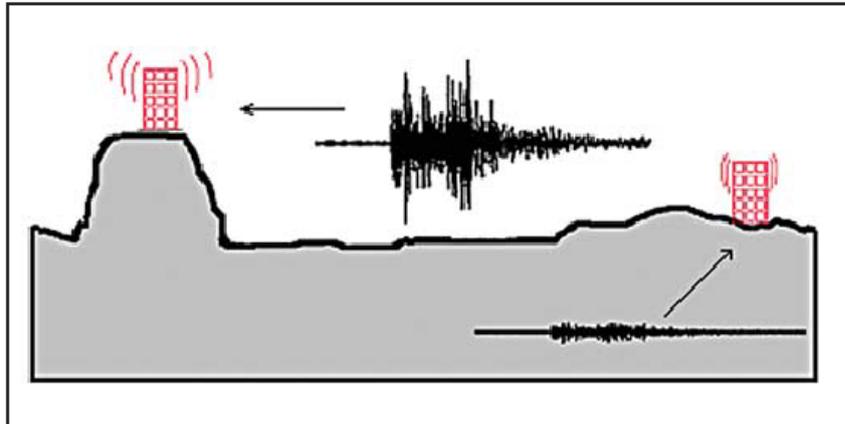
La misura dell'altezza  $H$  è da intendersi come distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale, mentre il fronte superiore è definito come distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica. Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano (Fig.11):

- 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  $\beta > 1/5 \alpha$  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).

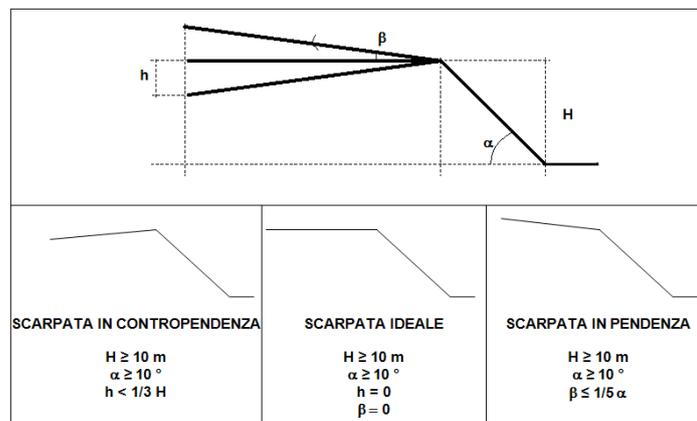
All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione dell'inclinazione  $\alpha$  il valore di  $F_a$  nell'intervallo 0,1-0,5s, come esposto nella seguente Fig.11, messa a punto dal Dipartimento di Ingegneria Strutturale di Milano. Questo ha realizzato vari modelli caratterizzati da diverse 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.10 - 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.11 - 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<sub>s</sub>* maggiore o uguale ad 800m/s (equivalente alla categoria di sottosuolo A del D.M. 14/01/2008), e in tal caso si verifica un puro effetto di amplificazione topografica; nel caso invece 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.

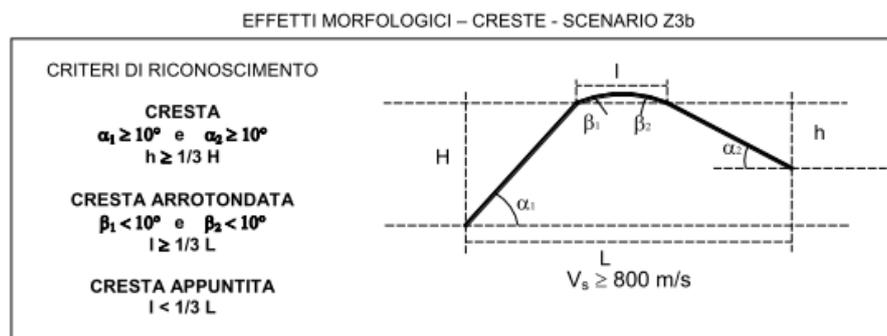
Nell'ambito delle creste si distinguono due situazioni (Fig.12):

- 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<sub>a</sub>* nell'intervallo 0,1-0,5 s, in base al valore del coefficiente di forma *H/L*. Il valore di *F<sub>a</sub>* 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<sub>a</sub>* così ottenuti sono utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa vigente.

La valutazione del grado di protezione, per ambedue gli scenari morfologici (zona di scarpata e zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo), viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando i valori di *F<sub>a</sub>* ottenuti dalle Schede di valutazione con il valore di *St* delle Norme Tecniche per le Costruzioni, che si riporta nella seguente Tab.5. 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.



**Fig.12 - Schema identificativo e tipologie delle situazioni di cresta.**

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

Si possono presentare, quindi, due situazioni:

- il valore di  $F_a$  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  $F_a$  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

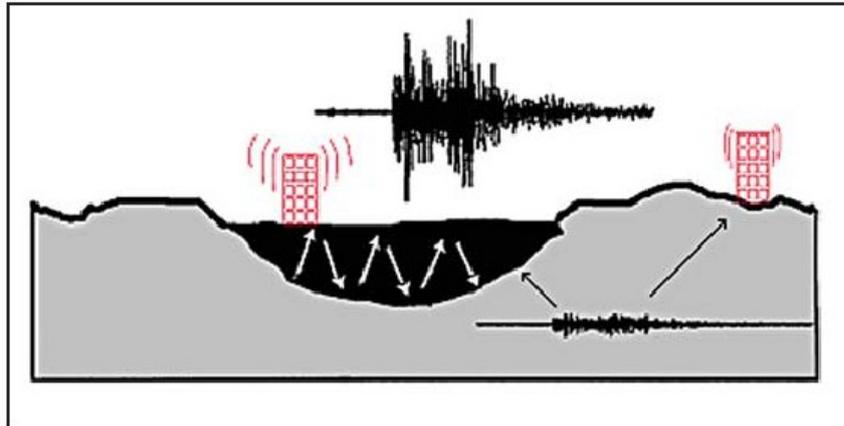
**Tab.5 - Valori massimi del Coefficiente di amplificazione topografica  $S_t$ .**

#### **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.13 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  $F_a$  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.13 - 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 Fa 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 Vs, 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.6:

Dati	Attendibilità	Tipologia
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 (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

**Tab.6 - 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 Sedrina 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 Tab.6, 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.7 e 8 i risultati della analisi di amplificazione topografica, distinguendo quelle relative agli Scenari di scarpata (Z3a), da quelle degli Scenari di cresta e cocuzzolo (Z3b), realizzate con

**Comune di Sedrìna (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**

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.

<b>Valutazione del Fattore di amplificazione topografico per lo Scenario di scarpata (Z3a)</b>										
<b>Sezione</b>	<b>Località</b>	<b>Tipo</b>	<b>Classe altimetrica (m)</b>	<b>Classe inclinazione (°)</b>	<b>Fa</b>	<b>Area influenza (m)</b>	<b>Altezza (m)</b>	<b>Angolo scarpata (alfa)</b>	<b>Angolo fronte sup. (beta)</b>	<b>Lunghezza (m)</b>
1	Giongo	Pendio								
2	Giongo	Pendio								
3	Giongo	Pendio								
5	Lisso	Scarpata pendenza	20-40	10-90	1,2	22,5	30	47	7	>15-20m
6	Lisso	Scarpata pendenza	20-40	10-90	1,2	28,5	38	49	2	>15-20m
7	Lisso	Scarpata pendenza	20-40	10-90	1,2	30,0	40	36	5	>15-20m
8	Lisso	Scarpata pendenza	20-40	10-90	1,2	22,5	30	31	6	>15-20m
9	Sedrìna	Scarpata pendenza	20-40	10-90	1,2	25,5	34	45	7	>15-20m
10	Sedrìna	Scarpata pendenza	20-40	10-90	1,2	25,5	34	42	7	>15-20m
11	Sedrìna	eliminata								
12	Sedrìna	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	34,7	52	28	5	>15-20m
13	Sedrìna	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	29,3	44	25	4	>15-20m
14	Sedrìna	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	28,0	42	32	6	>15-20m
15	Sedrìna Alta	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	29,3	44	34	6	>15-20m
16	Sedrìna Alta	eliminata								
17	Sedrìna Alta	Pendio						31	8	>15-20m
19	Sedrìna Busi	Scarpata pendenza	10-20	10-90	1,1	18,0	18	13	0	>15-20m
20	Cacoso	Scarpata pendenza	20-40	10-90	1,2	27,0	36	41	4	>15-20m
21	Cacoso	Scarpata pendenza	20-40	10-90	1,2	27,0	36	35	5	>15-20m
22	Cacoso	Pendio					34	29	9	>15-20m
23	Cassettonè	Scarpata pendenza	20-40	10-90	1,2	24,0	32	53	8	>15-20m
24	Cassettonè	Scarpata pendenza	20-40	10-90	1,2	28,5	38	47	4	>15-20m
25	Cassettonè	Scarpata pendenza	>40	40-60	1,3	28,0	42	46	7	>15-20m
26	Cassettonè	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	29,3	44	35	4	>15-20m
27	Cassettonè	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	32,0	48	35	7	>15-20m
28	Pratomano	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	33,3	50	24	3	>15-20m
29	Pratomano	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	28,0	42	34	6	>15-20m
30	Pratomano	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	40,0	60	20	2	>15-20m
31	Pratomano	Scarpata pendenza	>40	10-90	1,2	30,0	40	39	7	>15-20m
32	Pratomano	Scarpata pendenza	>40	20-40	1,2	41,3	62	20	4	>15-20m
35	Sant'Antonio	Scarpata pendenza	10-20	10-90	1,1	16,0	16	37	4	>15-20m
36	Sant'Antonio	Scarpata ideale	10-20	10-90	1,1	20,0	20	32	0	>15-20m
37	Sant'Antonio	Scarpata ideale	10-20	10-90	1,1	14,0	14	42	6	>15-20m

**Tab.7 – 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
4	Botta Casa Ritiri San Giuseppe	Cresta appuntita	1,4	37	15			100	26	255			0,39
18	Sedrino Piazzale Busi 2	Cresta arrotondata	1	11	16	2	2	14	6	179	22	0,12	0,08
33	Cler	Cresta appuntita	1,25	27	23	2	2	78	72	387,9	66,1	0,17	0,20
34	Benago	Cresta arrotondata	1,3	21	19	2	2	74	14	270	37	0,14	0,27

Tab.8 – 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 n.3;
- 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.9;

**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.9 – 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 Sedrina, in funzione degli intervalli di oscillazione caratteristici e in funzione delle diverse categorie di sottosuolo (Tab.10).

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

Nella seguente Tab.11 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 Sedrina, di Botta e di Pratomanico-Cassettono.

Tutti i risultati delle misure HVSR (complessivamente 9) sono presentati nella Parte 3-Appendice all'Analisi Sismica di 2° livello.

Nel seguito (Tab.12) 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.12 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 4 di esse i Fattori di amplificazione risultino superiori ai valori di soglia previsti per tali categorie, con la necessità quindi di passare, secondo le indicazioni della normativa, a categorie di sottosuolo superiori.

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 Vs superiori a quelle dei depositi di copertura.

Per questo, e ben sapendo che, salvo forse in rare occasioni (area di Pratomano e Cassettone), 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:
  - o la C per l'area di Pratomano, dove sono presenti depositi fluvioglaciali e colluviali,
  - o la C con subordinata la B l'area di Cassettone, dove sono presenti depositi fluvioglaciali,
  - o la E per l'area della Zona artigianale, realizzata su terreni di riporto,
  - o la C con subordinata la E per la parte inferiore di Sedrino e la zona di Lisso, caratterizzate dalla presenza di depositi fluvioglaciali di vario spessore, e per l'area di Benago, dove sono presenti i depositi colluviali e di versante,
  - o la D per il dosso sui sorge il capannone ex Busi, probabilmente impostato su antichi depositi fluvioglaciali e di versante.

**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**

- la E con subordinata la C per la parte mediana e superiore di Sedrina, dove sono presenti importanti accumuli colluviali e detritici, e per la zona inferiore di Mediglio, dove si trovano depositi colluviali,
- la E per l'area di Botta e quella di Cler,
- la B per l'area di Mediglio e Benago.
- la B (o la A) e la E per le zone sui versanti, in funzione per lo più degli spessori dei terreni ricoprenti il substrato.

Sigla	Ubicazione	Vs30 [m/s]	Categoria suolo	F [Hz]	Vs 1° strato [m/s]	H 1° strato [m]	T =1/F	SCHEDA		TIPO	CURVA
T01	Pratomano	474	B	5,00	236	4,2	0,20	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	2
T02	Cassettone	513	B	5,31	314	6,6	0,19	B	LIMOSO-ARGILLOSA	2	3
T03	Sedrina Forestale	503	B	16,41	366	11,4	0,06	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	3
T04	Sedrina area Busi	396	B	3,81	273	8,6	0,26	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	2
T05	Sedrina IAT	444	B	7,06	281	7,6	0,14	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	2
T06	Botta Chiesa parrocchiale	304	C	4,09	192	7,0	0,24	D	SABBIOSA	1	2
T07	Sedrina Municipio	456	B	6,00	296	7,4	0,17	B	LIMOSO-ARGILLOSA	2	2
T08	Cler	424	B	3,80	329	16,0	0,26	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	3
T09	Cler Chiesa	421	B	5,59	242	6,5	0,18	C	LIMOSO-SABBIOSA	2	2

**Tab.11 – 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	Valori di Fa			
												0.1<T<0.5	0.5 <T<1.5		
T01	Pratomano	474	5	0,20	1,8	1,1	1,7	1,0	B	1,4	1,7	insufficiente	sufficiente	C	sufficiente
T02	Cassettone	513	5,31	0,19	1,5	1,1	1,4	1,0	B	1,4	1,7	sufficiente	sufficiente	C (B)	sufficiente
T03	Sedrina Sede Forestale	503	16,41	0,06	1,0	1,0	0,9	0,9	B	1,4	1,7	sufficiente	sufficiente	C (E)	sufficiente
T04	Sedrina area Busi	396	3,81	0,26	2,0	1,2	1,9	1,1	B	1,4	1,7	insufficiente	sufficiente	D	sufficiente
T05	Sedrina Via Roma	444	7,06	0,14	1,5	1,0	1,4	0,9	B	1,4	1,7	sufficiente	sufficiente	C (E)	sufficiente
T06	Botta Chiesa Parrocchiale	304	4,09	0,24	1,7	1,3	1,6	1,2	C	1,8	2,4	sufficiente	sufficiente	E	sufficiente
T07	Sedrina Municipio	456	6	0,17	1,7	1,1	1,6	1,0	B	1,4	1,7	insufficiente	sufficiente	C (E)	sufficiente
T08	Cler strada	424	3,8	0,26	1,7	1,2	1,6	1,1	B	1,4	1,7	insufficiente	sufficiente	E	sufficiente
T09	Cler Chiesa	421	5,59	0,18	1,7	1,1	1,6	1,0	B	1,4	1,7	insufficiente	sufficiente	E	sufficiente

**Tab.12 – 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**

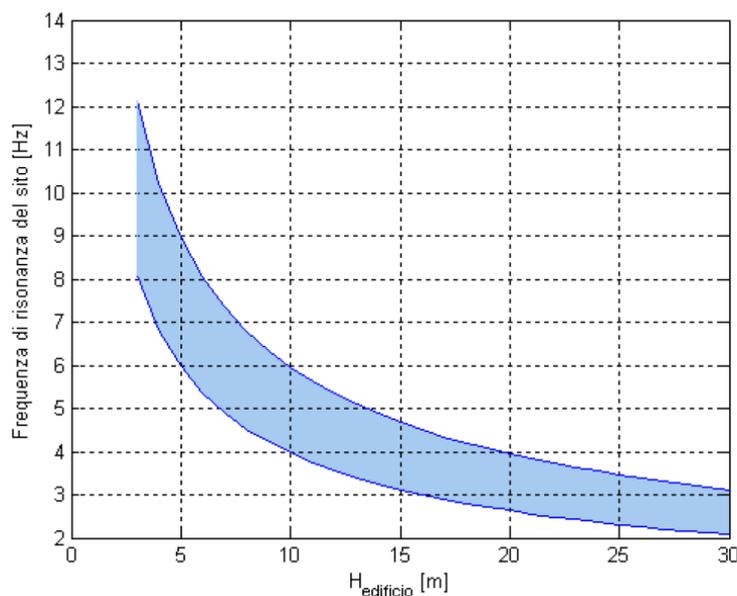
Se si considera una relazione tipica tra altezza di un edificio in cemento armato e il suo periodo di risonanza con i relativi intervalli di confidenza, è possibile rappresentare in un grafico la relazione tra frequenza di risonanza del sito e l'altezza dell'edificio con analoghe frequenze di vibrazione (Fig.14). 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 Sedrina, nella zona sottoposta a procedura di 2° livello per gli effetti di amplificazione litologica, sono state osservate frequenze di risonanza sostanzialmente comprese fra 3,81 e 7,06 (media di 5,08Hz), valori indicativi di un bedrock sismico collocabile indicativamente intorno ai 10-20m.

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.5) dove:



**Fig.14 - 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 i simboli senza il barrato si riferiscono alle zone in cui il valore di  $F_a$  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) 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 Sedrino 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).

In Comune di Sedrino non sono presenti captazioni ad uso idropotabile, per cui in cartografia non è indicata alcuna area soggetta a vincoli di tale tipo (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).

Si ricorda a riguardo che l'approvvigionamento idrico comunale è garantito dall'acquedotto proveniente dalla Val Serina, che corre poco a monte dei centri abitati per lo più in galleria (vi sono solo brevi attraversamenti a cielo aperto, nella Valle Tresa e nella Valle di Benago).

### **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 Sedrino sono dati da:

- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) 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 settentrionale e occidentale del Comune di Sedrino (presenza della Fasce fluviali A, B e C);
- Quadro del dissesto riportato nell'"*Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici del P.A.I.*". In tale documento, consultabile nel SIT regionale, sono indicati solo due elementi:
  - o un settore del conoide del Torrente Pisena, comprendente la porzione centrale dello stesso (zona d'alveo), classificata come "Area di conoide attivo non protetta (Ca)", e la porzione laterale occidentale definita "Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta (Cn)";
  - o un dissesto di tipo lineare corrispondente a Area a pericolosità di esondazione molto elevata (Ee) non perimetrata nella parte inferiore del corso del Torrente Giongo.

Nell'Atlante non vi sono altri elementi, fatto dovuto all'assenza nell'area comunale di aree in dissesto di entità e dimensioni di rilievo (tali da essere riportate sulla cartografia P.A.I.).

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

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 nello studio del Reticolo Idrico Minore Comunale, redatto ai sensi delle D.G.R. 7/7868 del 25 gennaio 2002 e D.G.R. 7/13950 del 1 agosto 2003.

Nell'ambito del presente lavoro, data l'impossibilità 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 (caso del Fiume Brembo e del Torrente Giongo) 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 di 2m per la maggior parte dei corsi d'acqua, e di

Im per i corsi d'acqua intubati. Tale criterio ha portato, localmente, a differenze apprezzabili fra la vecchia perimetrazione, dove a volte le fasce coprivano le intere scarpate fluviali, e quella nuova, puramente geometrica, dove le fasce hanno larghezza sempre di 11 e 22m; tali differenze però in alcuni casi sono state poi compensate con l'inserimento della Classe 4 per problemi di stabilità sulle scarpate fluviali.

In merito alle fasce di rispetto, come anche riportato nello studio 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.

## **6. CARTA DI SINTESI**

La "Carta di Sintesi" a scala 1: 5.000 (Tav.3) è stata realizzata utilizzando i dati riportati nella carta precedente, oltre come detto quelli relativi ai dissesti verificatisi dai tempi di esecuzione dello studio precedente. Per la delimitazione delle aree omogenee di pericolosità/vulnerabilità sono stati seguiti i criteri indicati nella D.G.R. n.9/2616/2011, adattandoli alla realtà comunale ed integrandoli ove necessario con situazioni non specificate. Sono stati delimitati i seguenti ambiti di pericolosità/vulnerabilità:

- *Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti;*
- *Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche;*
- *Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico;*
- *Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico.*

All'interno di tali ambiti sono state ricavate delle classi omogenee per differenti gradi di pericolosità/vulnerabilità.

### **6.1 Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti**

Sono state individuate le aree che presentano problematiche di instabilità lungo i versanti., classificate come di seguito riportato:

- *Aree di frana attiva.* Si tratta di piccoli e limitati settori per lo più ubicati lungo impluvi minori, ove sono presenti fenomeni di scivolamento dei depositi superficiali.
- *Aree di frana quiescente.* Si tratta di limitati settori sparsi lungo i versanti, ove sono presenti movimenti della coltre superficiale non più in stato di attività, di cui però non è certa l'avvenuta stabilizzazione.
- *Aree di frana oggetto di interventi di stabilizzazione.* Si tratta di aree un tempo in frana ed ora stabilizzate, dopo interventi di bonifica. Fra queste si ricordano essenzialmente il versanti a monte e a valle della Strada Provinciale – ex S.S. n. 470, oggetto di diversi interventi di sistemazione a partire dal 2005, la cosiddetta Frana della Madonnina, scivolamento del deposito superficiale avvenuto nel 2002 lungo il versante fra Cler e Sedrino, e poi bonificato nel corso dell'anno 2005, e la frana di crollo avvenuta nel 2013 sulla scarpata presso la Chiesa Parrocchiale.
- *Aree a pericolosità potenziale legata a pendenza e orientazione sfavorevole della stratificazione e stimata area d'influenza.* Sono aree localizzate lungo i versanti più acclivi con substrato roccioso affiorante e lungo i fronti delle cave, che di conseguenza possono essere soggetti a dissesti (sia crolli, che scivolamenti), come le cave in parte dismesse di Cacosio, di Cassettono e di Lisso, la scarpata lungo il Fiume Brembo, alcuni settori dei versanti del Monte Tassera e del Monte Passata, la scarpata lungo il Torrente Giongo e alcuni settori retrostanti i fronti delle cave.
- *Aree a pericolosità potenziale per la presenza di terreni a granulometria fine (limi e argille) su pendii di bassa acclività.* Tali aree corrispondono alle porzioni di versante meno acclivi su cui sorgono gran parte del paese di Sedrino e delle frazioni di Botta, Cler, Mediglio, Cassettono, Cacchinaglio e Pratomano, potenzialmente soggette a dissesti per la presenza di terreni fini.
- *Aree a media acclività potenzialmente soggette a soliflussi e/o ruscellamenti e/o innesco di colate di detrito.* Tali aree corrispondono alla fascia di pendio di media acclività sovrastante gli abitati di Sedrino e Botta, lungo i quali si evidenziano locali fenomeni di soliflusso ed erosione, dovuti alla presenza di terreni eluvio-colluviali di modeste caratteristiche geotecniche.
- *Aree a medio-alta acclività localmente interessate da dissesti superficiali.* Tali aree corrispondono alla gran parte dei versanti del territorio comunale a pendenza medio-elevata, generalmente in roccia (affiorante o

subaffiorante con limitate coperture) e in condizioni di mediocre stabilità. Solo localmente sono presenti limitati dissesti, generalmente sempre di tipo corticale.

- Aree di cava attiva o dismessa non ancora recuperata. Si tratta di tutte le aree di cava presenti sul territorio del comune (Cassettone, Cacosio e Lisso). Attualmente l'unica area di cava attiva è quella posta in località Cacosio (Cava di Santa Barbara di proprietà Unicalce - ATEi5).
- Aree subpianeggianti, localmente con piccoli dissesti. Tali aree corrispondono alle aree pianeggianti che non manifestano alcun particolare fenomeno di dissesto (Terrazzi di Sedrina, Pratomano, Cassettone, Lisso e piccole aree nella frazione di Botta).

## **6.2 Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico**

E' stata indicata la dolina presente nei pressi di Cler. Altre minori (riportate solo nella carta geomorfologica) sono presenti nei pressi della Cascina Valturba (lungo il crinale ad est del Monte Passata).

## **6.3 Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico**

Sono state riportate le seguenti aree:

- Fascia A definita dal P.A.I. lungo il corso del Fiume Brembo. Tale fascia corrisponde all'alveo attivo del Fiume Brembo.
- Fascia B definita dal P.A.I. lungo il corso del Fiume Brembo. Si tratta di una sottile striscia individuata lungo la piana fluviale nei pressi della Botta, al confine meridionale del territorio comunale (per il resto la Fascia B, nel Comune di Sedrina, coincide sempre con la Fascia A);
- Fascia C definita dal P.A.I. lungo il corso del Fiume Brembo. Si tratta della vasta fascia lungo la sponda del fiume Brembo che potrebbe essere interessata da eventi di piena catastrofica (piena con tempo di ritorno di 500 anni).
- Area di conoide attivo non protetta definita dal P.A.I. lungo Torrente Pisena. Si tratta di una sottile fascia, che nella cartografia P.A.I. a scala 1: 10.000 coincide all'incirca con l'alveo attivo del torrente e con la parte inferiore delle scarpate dello stesso, mentre sulla nuova base cartografica si estende invece anche su parte del pianoro a monte della scarpata torrentizia. Sebbene la nuova carta sia di maggiore dettaglio, si ritiene che per la definizione del vincolo si debba far riferimento alla carta P.A.I. su CTR della Regione Lombardia.
- Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta definita dal P.A.I. Tale area corrisponde ad un'ampia fascia sul fianco sinistro del Torrente Pisena, che comprendente parte del terrazzo di Pratomano e si estende sino al piede della scarpata del Fiume Brembo.
- Fasce di rispetto dei corsi d'acqua (Norme di Polizia Idraulica). Si tratta delle fasce adiacenti i corsi d'acqua appartenenti al Reticolo Idrico Minore e al Reticolo Idrico Principale (Fiume Brembo e Torrente Giongo), che la norma richiede che siano lasciate libere da interventi edilizi sia per la sicurezza degli alvei, che per consentire l'accesso agli stessi in caso di interventi manutentivi. Tali fasce presentano larghezza pari a 10m in tutta l'area comunale, e di 5m nelle zone di centro abitato (solo per il Reticolo Idrico Minore).
- Aree allagabili in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minor frequenza e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua. Si tratta di alcune aree, lungo la piana fluviale del Fiume Brembo, che possono essere allagate con eventi alluvionali eccezionali anche senza essere comprese nella Fascia A e B del P.A.I. (piana nella porzione settentrionale all'altezza di Pratomano e piana sottostante la località Lisso).

#### **6.4 Aree con scadenti caratteristiche geotecniche**

Sono state prese in considerazione le zone arealmente significative caratterizzate dalla presenza di terreni con caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti:

- - Aree con riporti di materiale, aree colmate. Sono state indicate le aree con i riporti di materiale più significativi. Fra queste si ricordano il versante a valle della Cava ex Italcementi di Cassettone e la cava stessa, l'impluvio fra Cassettone e Cachinaglio e la porzione di versante compresa fra la strada principale di Botta ed il fondovalle del Torrente Giongo.
- Aree prevalentemente limoso-argillose con limitata Capacità portante. Si tratta delle aree su cui sorgono gli abitati di Sedrina, Cler, Botta, Mediglio, Pratomano, che sono costituiti da spessori significativi di materiale fine eluvio-colluviale spesso caratterizzati da una scarsa capacità portante. A tali aree si aggiunge anche la fossa della Cava ex Italcementi, riempita con terreni di natura argillosa.

## **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 merito alla redazione della nuova "Carta di Fattibilità geologica", si fa notare che si è cercato di mantenere la stessa quanto più possibile a quella precedente, ove necessario correggendo opportunamente le differenze dovute alla diversità della base cartografica e, in certa misura, anche alla georeferenziazione.

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 di limitata estensione classificabili a cavallo fra Classe 2 e Classe 1, fra cui in particolare quella ove sorge la Casa San Giuseppe di Botta di Sadrina.

#### **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 variabili 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.

Aree di Classe 2 si osservano nei settori pianeggianti dei terrazzi fluvioglaciali di Pratomano e Cassettono, di Sadrina, di Lisso e sul rilievo di Botta su cui sorge la Casa San Giuseppe.

### 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:

- Aree a media pendenza, presenti sia nei centri abitati che nelle immediate vicinanze, nelle quali non si osservano particolari fenomeni di instabilità o problemi idrogeologici, ma che per la pendenza e la presenza di terreni di qualità mediocre di notevole spessore, sono potenzialmente soggette a fenomeni di instabilità (principalmente piccoli scivolamenti e colate di terreno di detrito).
- Aree per lo più boschive poste sui versanti sopra ai centri abitati, caratterizzate da medio-alta pendenza e generalmente da presenza di roccia subaffiorante o con limitate coperture, che possono dare luogo a fenomeni di dissesto, per lo più dati da distacco e crollo di massi e detriti.
- Aree a modesta pendenza, in cui sono presenti terreni di scadenti caratteristiche geotecniche.
- Aree con riporti di materiale.
- Aree di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta definite Cn dal PAI.
- Aree interessate da problemi idraulici di moderata entità.
- Aree con presenza di fenomeni carsici (doline).
- Aree pianeggianti e piazzali posti in ambiti di cava (sia attive, che dismesse ma non ancora recuperate), dove non vi sono particolari problemi per la stabilità e la sicurezza. Tali aree potrebbero essere considerate per un eventuale futuro utilizzo urbanistico, previa adeguati studi e, ove e se necessario, interventi di bonifica e consolidamento sia delle aree stesse, che dei vicini versanti (si ricorda, a riguardo, che il Piano Cave Provinciale è prevalente sullo strumento urbanistico comunale (P.R.G.), ai sensi dell'art.10 della L.R.14/1998, ma che è delegata al Comune la determinazione della destinazione d'uso delle aree alla cessazione dell'attività di cava).

### 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,
- le aree interessate da problemi di caduta massi,
- le aree oggetto di recenti lavori di bonifica (Pendio a monte e a valle della Strada Provinciale – ex S.S. n. 470, Frana della Madonnina, ecc.),
- l'area compresa nella Fascia A e B del PAI,
- l'area di conoide attivo non protetto definite Ca dal PAI.

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.13, 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>- 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 in erosione accelerata.</li> </ul>	<b>Classe 4</b>
<ul style="list-style-type: none"> <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 legata alla possibilità di innesco di colate in terreno e detrito per pendenza e scadente/mediocre qualità dei terreni.</li> <li>- Aree a pericolosità potenziale legata alla presenza di terreni a granulometria fine di scadenti caratteristiche geotecniche (limi e argille) su pendii di bassa acclività.</li> <li>- Aree estrattive attive o dismesse non ancora recuperate, comprendendo una fascia di rispetto da valutare in base alle condizioni di stabilità dell'area.</li> </ul>	<b>Classe 3</b>
<b>AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDRAULICO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fascia fluviale A e B del P.A.I.,</li> <li>- Fasce di rispetto fluviale del Reticolo Idrico Principale e Minore,</li> <li>- Aree allagabili in occasione di eventi meteorici eccezionali o allagabili con minor frequenza e/o con modesti valori di velocità ed altezze d'acqua.</li> <li>- Area di conoide attiva non protetta.</li> </ul>	<b>Classe 4</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta.</li> </ul>	<b>Classe 3</b>
<b>AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA GEOTECNICO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aree con riporti di materiale.</li> <li>- Aree prevalentemente limoso-argillose con limitata Capacità portante.</li> </ul>	<b>Classe 3</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aree subpianeggianti localmente con solo piccoli dissesti.</li> </ul>	<b>Classe 2</b>
<b>AREE VULNERABILI DAL PUNTO DI VISTA IDROGEOLOGICO</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aree interessate da carsismo profondo.</li> </ul>	<b>Classe 4</b>

**Tab.13 - Sintesi dei criteri adottati per la "Carta di Fattibilità per le azioni di Piano".**

La successiva Tab.14 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 quella della precedente "Carta di fattibilità" Comunale.

Da tale tabella si rileva quanto segue:

- la Classe di Fattibilità prevalente è la Classe 3 (72,3%), seguita dalla Classe 4 (25,1%) e quindi dalla Classe 2 (circa il 2,6%).
- confrontando la nuova Carta di Fattibilità con quella precedente, si apprezza una certa diminuzione della Classe 3 (circa il 9% a favore di un pari aumento della Classe 4 e della sostanziale stabilità della Classe 2 (+0,1%). 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)
Studi 1999 e 2007	0,1503657 2,5%	4,8381012 81,4%	0,956615 16,1%	5,945082 100,0%
Studio 2017	0,152710 2,6%	4,271450 72,3%	1,480079 25,1%	5,904239 100,0%

**Tab.14 - 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.

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)		Totale (kmq)
	geo	sta	geo	idr	
0,152710	4,136292	0,135158	0,747322	0,732757	5,904239
2,6%	70,1%	2,3%	12,7%	12,4%	100,0%

**Tab.15 - 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) 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.6) con indicate:
  - o le tre Classi di fattibilità geologica con le relative sottoclassi,
  - 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.**

Dal momento che negli ultimi anni non si sono verificati dissesti degni di nota, ma solo fenomeni di modesta entità ed estensione, non si è ritenuto necessario produrre la “Carta del Dissesto con Legenda uniformata a quella del P.A.I.”, richiesta dalla regione Lombardia per l'implementazione dell'*"Atlante dei Rischi idraulici ed idrogeologici del P.A.I. – Delimitazione delle aree in dissesto"*.

Si ricorda che l' "Atlante" riporta unicamente:

- la Conoide torrentizia del Torrente Pisena, la quale è indicata per gran parte come protetta (Cn) e, limitatamente alla sua parte centrale, corrispondente all'alveo torrentizio, come conoide attiva -Ca (individuazione effettuata dalla Regione Lombardia nel 1999, poi modificata a seguito di osservazioni comunali effettuate nel medesimo anno) .
- la parte inferiore del corso del Torrente Giongo (cioè quella a valle dell'abitato di Botta di Sedrino) fra quelle classificate come “Aree a pericolosità elevata e molto elevata in riferimento alla possibilità di esondazioni e dissesti morfologici a carattere torrentizio”.