

COMUNE DI SAN PAOLO D'ARGON

Provincia di Bergamo

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO










DOCUMENTO DI PIANO

Quadro conoscitivo e orientativo

Studio geologico

titolo **Relazione Geologica**

file Rev. 01
data Settembre 2009
agg.

	
	A progetto urbanistico
	B studio socio economico
	C studio paesistico
	D studio geologico
	E Valutazione Ambientale Strategica
	F piano urbano del traffico
	G P.U.G.S.S.
	H Studi ecologici e ambientali

arch. Marco Tomasi
dott. Natale Carra
arch. Raffaello Cattaneo
dott. Fabio Plebani
arch. Luca della Mea
Centro Studi Traffico
ing. Paola Morganti
Consulenze Ambientali

Indice

1. Premessa.....	3
2. Caratteri geologici e morfologici del comune di S. Paolo d'Argon.....	3
3. Aggiornamento della componente sismica dello studio geologico comunale	7
4. Zonazione sismica del territorio comunale	9
1° Livello.....	10
2° Livello	13
4.1 Amplificazione litologica (Scenari Z4).....	14
4.2 Amplificazione topografica/morfologica (Scenari Z3).....	15
4.0 2° Livello - Determinazione di Fa (Fattore di Amplificazione Sismica locale)	22
4.1 Amplificazione topografica/morfologica (Scenario Z3a).....	22
5. Norme tecniche di attuazione per le costruzioni sul territorio comunale di San Paolo d'Argon (Bg) – Zona sismica 3 –	29
6. Carta dei vincoli.....	31
7. Carta di sintesi.....	32
8. Carta di fattibilità geologica per le azioni di piano.....	32
8.1 Criteri classificativi delle aree e zonazione del comune.....	32

1. Premessa

La componente geologica legata alla pianificazione territoriale assume un ruolo di primaria importanza nel contesto della nuova Legge 12. Nell'ambito della definizione del nuovo Piano di Governo del Territorio, il comune ha dunque la necessità di disporre di uno studio geologico aggiornato, per una corretta ed efficace programmazione dello sviluppo degli insediamenti e la difesa del proprio patrimonio naturale.

Il lavoro illustrato nelle seguenti pagine è stato svolto secondo i riferimenti normativi della Delibera della giunta regionale N°8/7374, proponendosi per una revisione delle cartografie di Fattibilità geologica, Sintesi e Vincoli e soprattutto per l'applicazione dell'Allegato 5 "Analisi e valutazione degli effetti sismici".

2. Caratteri geologici e morfologici del comune di S. Paolo d'Argon

Il territorio comunale di San Paolo d'Argon confinando a sud con i comuni di Montello e Gorlago, a ovest con i comuni di Albano S.Alessandro e Torre de' Roveri, a nord con Cenate Sotto e ad est con i comuni di Gorlago e Trescore Balneario, si colloca al margine pedemontano delle Prealpi orobiche, nell'area compresa tra la val Seriana e la val Cavallina.

Esso è delimitato a nord dal crinale del monte d'Argon e a sud da parte del corso d'acqua del torrente Zerra. Il territorio è quindi in parte pianeggiante e in parte collinare: le quote più alte raggiungono solo i 482 m s.l.m. , la quota minima è di 229 m. Non ci sono rilievi particolarmente espressivi: i limiti dei bacini idrografici dei due torrenti che attraversano San Paolo d'Argon esulano dai confini comunali.

In generale, l'area collinare che si estende tra Scanzo e Chiuduno è il limite naturale di una stretta fascia di alta pianura formatasi, nel corso dei secoli, tra il fiume Serio e il Cherio. Sono colline non molto alte ed incise da un reticolo idrografico ramificato e dall'andamento contorto, che crea, con una serie di torrenti, alcune piccole valli minori.

Così il torrente Zerra, con i suoi affluenti, dopo aver inciso le pendici del Monte Negrone e del Monte San Giorgio, si immette sulla piana alluvionale, già formata dal Serio, tra Albano e Montello, isolando verso la pianura il Monte Tomenone, posto alle spalle di Brusaporto. Anche il Rio Seniga modella la fascia collinare posta alle spalle di Cenate Sotto e scorre poi lungo la piana formata dal Cherio, su cui sorgono Trescore e Gorlago. L'opera modellatrice del Rio Seniga ha lasciato evidenti terrazzi fluviali, oltre Cenate, verso

Gorlago e Trescore; il Rio che non appartiene al bacino del Fiume Cherio, confluisce nel Torrente Zerra, che disperde le sue acque più a sud, tra Martinengo e Romano.

I depositi di origine fluvioglaciale formano l'ampia area semipianeggiante, ormai quasi del tutto antropizzata. Tale fascia era probabilmente un'antica ed estesa ansa di deposizione di materiale trasportato durante fenomeni alluvionali dal Serio ed anticipa le distese della alta e bassa pianura bergamasca: questi depositi si interdigitano con i terreni colluviali più antichi e rintracciabili alle pendici delle colline, all'interno di conche ampie e riparate, con ottima esposizione, abitate, per la dolcezza della morfologia e la situazione riparata, fin dalle epoche più antiche ed oggi, nei tratti marginali alla rapida e talvolta incontrollata espansione urbana, ancora particolarmente pregevoli per gli aspetti naturalistici e paesaggistici.

Ad un primo sguardo d'insieme, il territorio comunale di S. Paolo d'Argon può dunque essere utilmente suddiviso in alcuni grandi "ambiti geografici" che ne determinano le caratteristiche ambientali, essendosi riscontrata una buona concordanza tra caratteri geografici, geologici e morfologici.

All'interno del quadro naturale è stato innanzi tutto identificato il luogo e l'attuale estensione della principale **area urbanizzata**, cresciuta soprattutto in questi ultimi anni intorno al nucleo antico di S. Paolo d'Argon. Il centro storico, e oggi l'abitato principale, è collocato in posizione favorevole, sia per la dolce morfologia sia per la buona esposizione, al margine di una successione di conche che si aprono sul versante meridionale dei Colli d'Argon, proprio in corrispondenza dello snodo tra la pianura fluvioglaciale e l'ambito più prettamente "vallivo" riferito al torrente Seniga.

La **pianura fluvioglaciale** occupa la porzione meridionale del territorio comunale, allo sbocco della valle del Seniga e a sud del paese, fino a ridosso della lunga dorsale del Monte Tomenone e del solco vallivo del torrente Zerra. L'ambito di pianura è oggi difficilmente riconoscibile nelle sue peculiarità tradizionali, sia per la diffusa urbanizzazione, sia perché esso ha in gran parte perso i suoi connotati tradizionali, che tuttavia qua e là ancora si riconoscono, ultimi segni di un diverso uso del territorio, quali filari di alberi e un frammentario reticolato idrografico. La vicinanza alle grandi vie di comunicazione e l'apertura verso gli ampi spazi della pianura vera e propria e dunque la facilità d'accesso e d'uso del territorio ne hanno fatto il terreno privilegiato per le recenti espansioni a carattere sia residenziale sia, soprattutto, industriale.

Si ricorda poi lo stretto **fondovalle del Torrente Seniga**, che costituisce ancora uno degli ambiti naturalisticamente più interessanti dell'intero territorio comunale. Il fondovalle del Seniga è rilevante sia dal punto di vista morfologico, sia geologico. Il tratto intermedio del corso d'acqua, che grosso modo inizia al confine nord-orientale del Comune di S. Paolo d'Argon, scorre all'interno della vasta e densa urbanizzazione del paese, con tratti perfettamente rettilinei (probabilmente comunque già rettificati "ab antiquo" per dare al corso d'acqua anche una più razionale funzione di "collettore" delle acque di sgrondo dei versanti collinari a monte del Convento) ed altri fortemente antropizzati, con le sponde naturali sostituite da alti muri in calcestruzzo o addirittura scomparse al di sotto di edifici produttivi, dove il torrente viene praticamente canalizzato; nel lungo tratto terminale, interamente compreso in zone agricole (ma spesso di un'agricoltura "industrializzata", poco o nulla legata ai caratteri del territorio), l'alveo mantiene, nonostante le sicure "manomissioni" a cui nei secoli è stato sottoposto, ancora una più o meno continua bordura vegetale e una blanda sinuosità che richiama l'antico, originario assetto.

Più "marginale" rispetto al territorio comunale, ma non meno importante è il Torrente Zerra, che si muove meandreggiando verso Montello.

I **versanti collinari** rappresentano una porzione tra le più caratteristiche del territorio di S. Paolo d'Argon: essi costituiscono una dorsale dalla sommità arrotondata che dal Monte S. Giorgio prosegue, con andamento sinuoso, fino alla Madonna d'Argon e quindi, dirigendosi decisamente verso nord, fino alle Bocche del Gavarno e racchiudono, divaricandosi verso sud-est, la valle del Seniga. I versanti sono mediamente acclivi, in alcuni punti decisamente ripidi; il substrato roccioso, costituito essenzialmente da calcari e calcari marnosi è sottoposto ad una sottile coltre eluviale che lo lascia scoprire in corrispondenza degli intagli stradali, a causa di azioni antropiche o dove l'acclività è maggiore.

I dossi della Cascina Pincino e del Casotto, per citare solo i più importanti, nascondono la sottostante ossatura rocciosa e si innestano direttamente al crinale collinare, in corrispondenza di basse culminazioni; in loro corrispondenza l'acclività del versante si fa mediamente più ripida.

Le **testate di valle**, in quanto elemento di sfondo della struttura morfologica di una valle, rappresentano un fondamentale riferimento visivo in quanto elementi conclusivi della valle stessa. Nell'ambito del territorio di S. Paolo d'Argon si segnalano le testate ampie delle

numerose, piccole valli che solcano il versante meridionale del crinale d'Argon, comunque di sicuro interesse per gli aspetti paesaggistici, morfologici e di percezione visuale, anche perché hanno conservato almeno in parte i caratteri tradizionali dell'assetto territoriale.

La testata della valle del Torrente Seniga è invece solo parzialmente compresa nel territorio comunale di S. Paolo d'Argon; il substrato roccioso è in genere nascosto da una copertura terrigena di diverso spessore, per quanto mai rilevante se non nelle aree a morfologia più morbida; talvolta, dove il pendio è più ripido e più sottile e discontinua è la copertura terrigena o dove sono intervenute azioni antropiche, vengono a giorno gli strati calcareo-marnosi.

In corrispondenza della lunga **fascia di raccordo pedecollinare**, che presenta caratteri intermedi tra le zone adiacenti, i depositi fini, colluviali, provenienti dal dilavamento dei versanti a monte ricoprono con diversi spessori sia il substrato roccioso che i materiali riferiti alla piana alluvionale/fluvioglaciale della Seniga e del torrente Zerra, dando origine ad una morfologia morbida e mediamente poco acclive, che solo raramente lascia intravedere il sottostante substrato roccioso, con alternanze di conche dolci, di dossi arrotondati e di vere e proprie vallette incise.

Si vuole infine ricordare il **reticolo idrografico**, anche quello minore, spesso sottovalutato, ma tanto importante sia nello studio di un territorio, sia nel dare qualità al territorio stesso. La sola presenza di un rivo, di un torrente, per quanto di poca portata e di breve sviluppo, in molti casi ha permesso l'insediarsi di una comunità di uomini sul territorio e la sua organizzazione. Il rispetto e la conservazione dei principali aspetti del reticolo idrografico che segna il territorio è già di per sé garanzia del mantenimento di un equilibrio che è indispensabile nel governo dell'ambiente. Il territorio di S. Paolo d'Argon è interessato dallo scorrere delle acque dei torrenti Seniga e Zerra, ma anche da alcuni corsi d'acqua minori che discendono con direzione prevalente N-S dalle colline a monte dell'area urbanizzata: da est verso ovest si individuano la valle "Fontanino", la valle " Chignoli" e la valle "dei Roncati".

In corrispondenza dell'attraversamento delle zone urbanizzate i corsi d'acqua risultano soggetti a una serie di interventi antropici che hanno portato in alcuni casi ad una loro consistente o totale canalizzazione e copertura (vallette a tergo dell'abitato e parte del Rio Seniga). Lungo tutti gli alvei sono stati osservati limitati fenomeni di erosione, mentre sono molto diffuse le occlusioni, sia dovute a cause naturali, sia da imputare all'azione antropica (tubazioni, ponti a

luce ristretta, riporti).

Si ritiene di segnalare infine quali peculiarità anche alcune situazioni puntuali meritevoli di valorizzazione o di tutela e, per l'importanza che ha sul territorio, la trama dei corsi d'acqua.

Elementi morfologici importanti, anche per il riflesso che essi hanno avuto nell'organizzazione del territorio, sono per esempio le **culminazioni**, perno visivo e riferimento all'osservazione da lontano, ma anche le principali **selle** che, deprimendo il crinale, hanno favorito e permesso il passaggio tra ambiti geografici diversi e soprattutto con la retrostante valle d'Albano.

L'entità e la facilità di percorrenza delle **direzioni significative**, anche ad una scala tutto sommato locale, sono segno di una morfologia favorevole, di una apertura verso l'esterno e di una facilità di contatti che non può non avere riflessi sull'evoluzione di una comunità di persone.

Le **linee di spartiacque**, che coincidono in gran parte con i crinali più significativi ed evidenti, contribuiscono anch'esse, oltre a definire i bacini idrografici e dunque entrare nell'ambito della conoscenza e della valutazione del regime idrologico dei corsi d'acqua, ad indicare ambiti di appartenenza geografica, locale o sovralocale, a circoscrivere le vallate, a delimitare verso l'alto i versanti, a definire i fondali che hanno accompagnato lo sviluppo della comunità di S. Paolo d'Argon e che ancora costituiscono l'elemento fondamentale del paesaggio.

3. Aggiornamento della componente sismica dello studio geologico comunale

Il Comune di San Paolo d'Argon (Bg) è dotato di studio geologico di supporto alla pianificazione territoriale, redatto coerentemente con le disposizioni tecniche e normative stabilite dalla L.R. 41/97 e dalle relative D.G.R. applicative ed approvato in tal senso dai competenti Uffici Regionali.

La Legge Regionale 11 marzo 2005, n.12 "Legge per il governo del territorio" ha abrogato la precedente l.r. 24 novembre 1997 n° 41, e le relative D.G.R. applicative: le d.g.r. n. 5/36147 del 18 maggio 1993, n. 6/37918 del 6 agosto 1998 e n.7/6645 del 29 ottobre 2001, che hanno costituito, sino ad ora, gli indirizzi tecnici per gli studi geologici a supporto degli strumenti urbanistici generali dei comuni. La Regione Lombardia, in ottemperanza

all'art. 57 della L.R. 12/2005, ha approvato, con D.G.R. n. 8/1566 del 22/12/2005 "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12", le nuove linee guida per la prevenzione del rischio idrogeologico attraverso una pianificazione territoriale compatibile con l'assetto geologico, geomorfologico e con le condizioni di sismicità del territorio a scala comunale. I criteri contenuti nella D.G.R. perfezionano le precedenti direttive in materia, dettate dalle citate deliberazioni della Giunta Regionale e puntualizzano, in particolare, gli aspetti del rischio sismico, a seguito della nuova classificazione sismica del territorio nazionale secondo l'O.P.C.M. 3274 e secondo il d.m. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni".

Antecedentemente al 1998 il territorio comunale di San Paolo d'Argon (Bg), non era classificato come comune "sismico", le successive revisioni operate dal G.d.L., nel 1998, ha inserito il territorio comunale in sismicità III; la recente O.P.C.M. 3274, ha confermato le revisioni, classificando il territorio comunale di San Paolo d'Argon in Zona Sismica 3:

Codice Istat	Denominazione	Categoria secondo classificazione precedente (1988)	Categoria secondo la proposta Gdl 1998	Zona sismica attuale
016189	San Paolo d'Argon	N.C.	III	3

In base alla Classe Sismica del territorio comunale vengono attribuiti valori dell'accelerazione sismica attesa, secondo quanto riportato nella seguente tabella:

zona	accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a _g /g]	accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a _g /g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

La D.G.R. 8/1566 del 22/12/2005 stabilisce che tutti i Comuni "sono tenuti ad aggiornare i propri studi geologici ai sensi della direttiva, relativamente alla componente sismica (in linea con le disposizioni nazionali introdotte dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, da cui scaturiscono le nuove classificazioni sismiche

del territorio su base comunale).

Il presente documento si propone quindi quale aggiornamento dello Studio Geologico precedentemente redatto ai sensi della L.R. 41/97, relativamente alla componente sismica del territorio comunale di San Paolo d'Argon, in ottemperanza alle nuove norme vigenti.

Nel dettaglio, le cartografie prodotte a corredo della presente relazione sono le seguenti:

• Tav. 1 Carta dei Vincoli	Scala 1:5000
• Tav. 2 Carta di Sintesi	Scala 1:5000
• Tav. 3 Carta di Fattibilità geologica per le azioni di piano	Scala 1:5000
• Tav. 4 Carta di pericolosità sismica 1° livello	Scala 1: 5000
• Tav. 5 Carta di pericolosità sismica 2° livello	Scala 1:2000

Il presente documento e le cartografie allegate, che ne costituiscono parte integrante, aggiornano a tutti gli effetti della norma, lo studio geologico a supporto della Variante Generale al Piano Regolatore Generale, redatto ai sensi della L.R. n° 41/97 e della D.G.R. n° 7/6645 e del relativo allegato 5.

4. Zonazione sismica del territorio comunale

Lo studio per zonazione sismica del territorio comunale, così come indicato nell'Allegato 5 della d.g.r. n. 8/1566 del 22/12/2005, prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente.

Le procedure da seguire ed i livelli di approfondimento da adottare sono riportati, in funzione della Zona sismica di appartenenza e della fase progettuale, nella seguente tabella:

Zona sismica	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1° livello Fase pianificatoria	2° livello Fase pianificatoria	3° Livello Fase progettuale
2- 3	Obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree inedificabili	Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore di soglia comunale. Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5
4	Obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore di soglia comunale. Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5 per edifici strategici rilevanti

I primi due livelli sono obbligatori (con le opportune differenze in funzione della zona sismica di appartenenza,) in fase di pianificazione, mentre il terzo è obbligatorio in fase di progettazione sia quando con il 2° livello si dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale per gli scenari di pericolosità sismica locale caratterizzati da effetti di amplificazione, 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. **Il livello 3° è obbligatorio anche nel caso in cui si stiano progettando costruzioni il cui uso prevede affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza e costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, sociali essenziali.**

1° Livello

Il 1° livello si basa su un approccio qualitativo e comporta la redazione della carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL), direttamente derivata dai dati contenuti nelle carte di inquadramento geologico-geomorfologico del territorio comunale. La raccolta sistematica di osservazione sui diversi effetti prodotti dai terremoti in funzione di parametri geologici, topografici e geotecnici, ha permesso di definire un numero limitato di situazioni tipo (scenari di pericolosità sismica locale) in grado di determinare gli effetti sismici locali. Il

metodo permette l'individuazione delle zone ove i diversi effetti prodotti dall'azione sismica sono, con buona attendibilità, prevedibili, sulla base di osservazioni geologiche e sulla raccolta dei dati disponibili per una determinata area (quali la cartografia topografica di dettaglio, la cartografia geologica e dei dissesti) e i risultati di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche già svolte, e che sono state oggetto di un'analisi mirata alla definizione delle condizioni 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.). Il 1° livello è obbligatorio per tutti i comuni ed è esteso a tutto il territorio comunale. Nel caso specifico, oltre alle conoscenze del territorio e alla mole di dati geotecnici e stratigrafici disponibili opportunamente elaborati, è stato possibile realizzare uno stendimento di sismica rifrazione con lo scopo di valutare l'andamento delle onde di taglio Vs nei primi trenta metri di superficie. Lo studio è consistito quindi nell'analisi dei dati esistenti già inseriti nella cartografia di analisi e inquadramento (carta geologica, carta geomorfologica, ecc. dello studio geologico a supporto del PRG) e nella redazione di un'apposita cartografia (a scala 1: 5.000), rappresentata dalla **Carta della pericolosità sismica locale**, derivata dalle precedenti carte di base, in cui viene riportata la perimetrazione areale delle diverse situazioni tipo, in grado di determinare gli effetti di amplificazione sismica locale.

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

<i>Sigla</i>	<i>SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE</i>	<i>EFFETTI</i>
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2	Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)	Cedimenti e/o liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (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 e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	
Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
Z4d	Zone con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	
Z5	Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse	Comportamenti differenziali

Dal punto di vista degli scenari di pericolosità sismica locale, per il territorio comunale di San Paolo d'Argon, sono stati considerati gli scenari riportati nella tabella seguente, in grado di rappresentare tutte le possibili condizioni potenzialmente in grado di determinare fenomeni di amplificazione, riconosciute sul territorio:

Sigla	Scenario pericolosità sismica locale	Effetti	Ambiti di applicazione
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	Amplificazioni topografiche	Culminazioni di cresta nella parte più elevata del territorio
Z4a	zone di fondovalle/pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e	Area di fondovalle, in fregio al lago, con presenza di sedimenti alluvionali prevalentemente granulari
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre		Area con presenza di sedimenti alluvionali/detritici da porre in relazione a conoidi alluvionali

Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	geometriche	Aree con presenza di coltri moreniche lungo i versanti
-----	---	-------------	--

Gli aggiornamenti proposti e le relative cartografie di 2° livello, seguono i riferimenti normativi della Regione Lombardia che prevede i seguenti livelli di approfondimento:

Zona sismica	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1° livello Fase pianificatoria	2° livello Fase pianificatoria	3° Livello Fase progettuale
2- 3	Obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree inedificabili	Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore di soglia comunale. Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5

Pertanto per i comuni in Zona Sismica 3, è obbligatorio il 1° Livello di approfondimento, mediante la predisposizione della Carta della Pericolosità Sismica Locale, estesa a tutto il territorio comunale.

Il 2° Livello è obbligatorio, in fase di pianificazione, solo per le Zone Z3 e Z4 e solo per le aree interferenti con il centro abitato e/o edificabili.

Nel caso specifico di San Paolo d'Argon il 2° Livello è stato applicato solo alle Zone Z3 e Z4 che interessano l'urbanizzato e/o il centro abitato.

La distribuzione geografica degli scenari suscettibili di amplificazioni litologiche/geometriche è evidenziata nella Carta della Pericolosità Sismica Locale.

Essa rappresenta il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento, relativi esclusivamente agli scenari Z3 e Z4, suscettibili di amplificazione sismica.

2° Livello

Il 2° livello, implementato in presenza dello scenario Z4 e Z3 (amplificazioni litologiche e topografiche), si basa su metodi quantitativi semplificati, che prevedono il confronto tra un fattore di amplificazione sismica locale (Fa) e un valore soglia calcolato per ciascun comune.

4.1 Amplificazione litologica (Scenari Z4)

Per le procedure semplificate di questo livello è richiesta la conoscenza di alcuni parametri geofisici (andamento delle velocità delle onde di taglio (V_s) con la profondità; spessore e V_s di ogni unità geofisica) necessari alla definizione del modello geofisico del sottosuolo.

La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle V_s con la profondità fino a valori pari o superiori a 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.

Una volta individuata la scheda di riferimento è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di V_s con la profondità; in particolare si è verificato l'andamento delle V_s con la profondità partendo dalla scheda tipo 1, nel caso in cui non fosse verificata la validità per valori di V_s inferiori ai 600 m/s si passerà all'utilizzo della scheda tipo 2.

All'interno della scheda di valutazione è stata scelta, in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la valutazione del valore di F_a nell'intervallo 0.1-0.5 s (curva 1, curva 2 e curva 3 e relative formule) e nell'intervallo 0.5-1.5 s (unica curva e relativa formula), in base al valore del periodo proprio del sito T^1 .

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 V_s è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

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

1

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

Il valore di F_a determinato è stato approssimato alla prima cifra decimale ed è utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e valido per ciascuna zona sismica (zona 2, 3 e 4) e per le diverse categorie di suolo 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.

4.2 Amplificazione topografica/morfologica (Scenari Z3)

La procedura semplificata è valida per lo scenario di zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo – cigli di scarpata (Z3a e Z3b); il rilievo è stato identificato sulla base di cartografia CTR a scala 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). Il materiale costituente il rilievo topografico deve avere una V_s maggiore o uguale ad 800 m/s.

Nell'ambito delle creste si distinguono due situazioni:

3. rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta (l) molto inferiore alla larghezza alla base (L) (cresta appuntita);
4. 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).

Per l'utilizzo della scheda di valutazione si richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- larghezza alla base del rilievo L ;
- larghezza in cresta del rilievo l ;
- dislivello altimetrico massimo H e dislivello altimetrico minimo h dei versanti;
- coefficiente di forma H/L .

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della tipologia di cresta (appuntita o arrotondata) e della larghezza alla base del rilievo, solo per le creste appuntite, la curva più appropriata per la valutazione del valore di F_a nell'intervallo 0.1-0.5

s, in base al valore del coefficiente di forma H/L.

Il valore di Fa determinato dovrà essere 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 Fa così ottenuti dovranno essere utilizzati per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando i valori di Fa ottenuti dalla scheda di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e valido per ciascuna zona sismica (zone 2, 3 e 4) e per suolo di tipo A ($V_s \leq 800$ m/s) e per l'intervallo di periodo 0.1-0.5 s.

Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati della Regione Lombardia e 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.

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.1-0.5 s	COMUNE	Classificazione	Valori soglia			
			B	C	D	E
	San Paolo d'Argon	3	1,5	1,9	2,3	2,0

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s	COMUNE	Classificazione	Valori soglia			
			B	C	D	E
	San Paolo d'Argon	3	1,7	2,4	4,3	3,1

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di Fa con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di ± 0.1 che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto dalla procedura semplificata.

Si possono presentare quindi due situazioni:

5. il valore di Fa è inferiore o uguale 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 (classe di pericolosità H1);

6. il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia (classe di pericolosità H2).

5. Classificazione sismica dei terreni nel Comune di San Paolo d'Argon

Sulla scorta delle precedenti indicazioni, è stata condotta l'analisi dei dati litologici, stratigrafici e geofisici, disponibili per il territorio comunale di San Paolo d'Argon, al fine di pervenire alla classificazione sismica dei terreni e per consentire le successive elaborazioni per definire i valori del fattore di amplificazione sismica locale F_a .

Dall'analisi delle sezioni stratigrafiche disponibili per il territorio comunale, nonché dai dati forniti dalle indagini geotecniche in sito, messe a disposizione dall'Amministrazione Comunale, è stato possibile stimare, attraverso metodi indiretti di conversione, la velocità delle onde S e sono stati ricavati gli andamenti principali dei depositi, sciolti granulari, che caratterizzano il sottosuolo indagato.

Oltre alla raccolta dei dati geotecnici è stato anche possibile effettuare indagini dirette in sito, utilizzando metodologie geofisiche. In particolare è stata realizzata una linea sismica a rifrazione, da cui è stato possibile ricostruire una sezione bidimensionale che esprime l'andamento delle V_{s30} richieste dalla normativa. La definizione delle V_{s30} e il metodo con il quale si sono determinate, rappresentano i parametri fondamentali di ingresso per le determinazioni del fattore di amplificazione secondo i diversi scenari.

Per la ricostruzione della sezioni stratigrafiche del territorio comunale, come già ricordato, si è fatto riferimento ai dati forniti dall'Amministrazione Comunale, relativi a numerose indagini geotecniche eseguite sul territorio, a supporto della realizzazione di opere edilizie.

Se dal punto di vista topografico/morfologico, la situazione risulta abbastanza semplice ; per necessità di sintesi si è dovuta operare una semplificazione nell'individuazione delle tipologie morfologiche da inquadrare secondo gli scenari di pericolosità sismica locale.

Sono state riconosciute zone di ciglio di scarpata/terrazzo e zone di creste

rocciose/cocuzzolo con morfologie appuntite/arrotondate, così come individuato nella Carta della Pericolosità Sismica Locale, il cui impatto con l'abitato e le strutture antropiche risulta piuttosto modesto.

Gli scenari litologici rappresentano invece un grado di maggiore complessità: l'ambito urbanizzato comunale poggia infatti su un substrato variamente organizzato che a partire dai settori di raccordo con il fianco collinare, si caratterizzano per litologie eluvio-colluviali con argille e limi con poca sabbia, per poi variare verso sud a litologie fluvio-glaciali argilloso-ghiaiose, con la frazione ghiaiosa maggiormente diffusa.

Localmente tali litologie si possono trovare in condizioni scadenti o comunque, per ciò che attiene alle litologie ghiaiose, scarsamente addensate.

Dalle sezioni stratigrafiche/geotecniche ricavate e dalle relative correlazioni empiriche per la stima dei parametri geofisici, è stato ricavato il parametro Vs30 (velocità media nei primi 30 m di sottosuolo), variabile da 360 a circa 800 m/s e colloca i terreni in categoria tra B e D dei suoli di fondazione secondo la distinzione indicata dal O.P.C.M. 3274/03. In ragione di tali evidenze si può ritenere che i terreni di sottofondo del territorio comunale di San Paolo d'Argon sia classificabili, dal punto di vista sismico, come terreni:

Classe	Descrizione
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30, compresi fra 360 m/s e 800 m/s (Nspt>50 o coesione non drenata >250 kPa).
C	Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di Vs30 compresi fra 180 e 360 m/s (15<Nspt<50, 70<cu<250 kPa).

D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{sp} < 15$, $c_u < 70$ kPa).
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali non litoidi (granulari o coesivi), con valori di V_{s30} simili a quelli delle classi C o D e spessore compreso fra 5 e 20 m, giacenti su un substrato più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.

In generale il fenomeno dell'amplificazione sismica diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe E. Sulla base delle informazioni raccolte, il territorio comunale di San Paolo d'Argon è classificabile cautelativamente secondo tre **Classe C e D per alcuni settori del fondovalle e per la fascia pedemontana; come Classe B per la rimanente porzione del territorio.**

6.0 Caratterizzazione geotecnica qualitativa dei terreni

I dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di V_s , utilizzati nella procedura di 2° livello sono stati desunti principalmente dalle numerose stratigrafie di trincee esplorative/scavi eseguite sia sul territorio comunale di San Paolo d'Argon, sia in comuni limitrofi, nonché sulla base di numerose indagini geotecniche in sito che hanno interessato gli orizzonti superficiali del suolo (indicativamente inferiori ai 10 m da p.c.).

I dati geofisici sono invece stati ottenuti attraverso relazioni empiriche di correlazione con i dati stratigrafici e geotecnici, e attraverso indagini dirette

Il grado di attendibilità per ciascuna tipologia di dato utilizzato è rappresentato nella seguente tabella:

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/stratigrafie pozzi)

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)

L'analisi dei dati geotecnici e geofisici disponibili ha permesso di suddividere i depositi superficiali che ricadono nel territorio comunale in unità definite e di distinguere, al loro interno, litofacies omogenee dal punto di vista litologico.

E' stato dunque possibile associare, sia pure in modo qualitativo, alcuni parametri geotecnici indicativi alle diverse litofacies operando una distinzione in 3 ambiti di seguito descritti:

Depositi di versante – depositi eluvio/colluviali - Si tratta di depositi costituiti da limi, argille e limi sabbiosi con matrice da sabbiosa a limoso sabbiosa, a comportamento coesivo.

Sono distribuiti lungo la fascia di raccordo tra i rilievi e le prime propaggini del fondovalle pianeggiante, partendo dalla zona del Monastero Benedettino, comprendendo la zona alta dell'abitato comunale, fino al settore occidentale dove si sviluppa fino a livello della strada provinciale. In generale possono essere ritenuti terreni di discreta qualità geotecnica, con valori di modulo elastico intermedi, anche se localmente possono presentare caratteristiche mediocri. Anche per tali sedimenti sono possibili correlazioni con i dati stratigrafici/geofisici, sulla base di trincee esplorative, scassi stradali, scavi per fondazioni e indagini geotecniche in sito.

Tali depositi, che poggiano alla base su ammassi rocciosi, sono caratterizzati per lo più da debole spessore, inferiore ai 10 m per i depositi di versante ed inferiori ai 5pm per i depositi eluviali.

Depositi alluvionali

I depositi in questione vengono considerati una particolare categoria, caratterizzata da litotipi prevalentemente fini con matrice ghiaiosa, caratterizzati da scadenti proprietà geotecniche, coesione intermedia e modulo elastico medio-basso.

I depositi descritti sono diffusi nelle aree comprese tra località Cassinetto, la sinistra

idrografica dello Zerra e la zona del paleoalveo del Seniga e sono il frutto di una dinamica deposizionale complessa scaturita dall'interdigitarsi delle arre di deposizione dei due torrenti.

Alla luce dei dati raccolti si è ritenuto indispensabile istituire una categoria a se che possa distinguere tali livelli e la loro distribuzione areale con conseguenti riflessi nella classificazione dei suoli dal punto di vista sismico.

Per tali livelli si è adottata una classificazione del suolo corrispondente alla categoria D

Depositi alluvionali/detritici: I depositi superficiali, riferibili alle alluvioni presenti sul territorio comunale rappresentano una modesta porzione delle coltri terrigene quaternarie complessivamente individuabili sul territorio comunale; sono pertanto stati associati, anche per analogia nelle caratteristiche granulometriche e geotecniche, ai depositi detritici e di conoide. Sono terreni con componente clastica variabile, spesso prevalente e una matrice a tessitura limosa e sabbiosa e, solo subordinatamente, argillosa. Si tratta di sedimenti dotati di buone proprietà meccaniche, dove in alcuni tratti la componente ghiaiosa è dominante. Sulla base delle indagini geotecniche disponibili è stato possibile procedere ad una correlazione con i dati geofisici attribuendo valori elevati sia per le Vs superficiali (mediamente attorno a 400 m/s), che per le Vs30 (comprese tra 530 e 740 m/s), tali da comportare l'attribuzione di tali terreni alla classe B dei suoli di fondazione, quella più elevata nell'ambito dei terreni non rocciosi.

Aree con ammassi rocciosi affioranti o sub affioranti:

Le aree in questione sono caratterizzate da tipologie di suoli di fondazione compresi tra A e B. Il substrato presenta ammassi rocciosi localmente affioranti o sub-affioranti, oblitterati da una copertura costituita da suoli di alterazione, coltri eluviali variamente organizzate e formazioni detritiche.

Gli ammassi rocciosi sono ascrivibili

Le interferenze con l'urbanizzato sono assai modeste, limitandosi alla fascia a nord del Monastero benedettino lungo la dorsale tra Località Casotto e Madonna d'Argon.

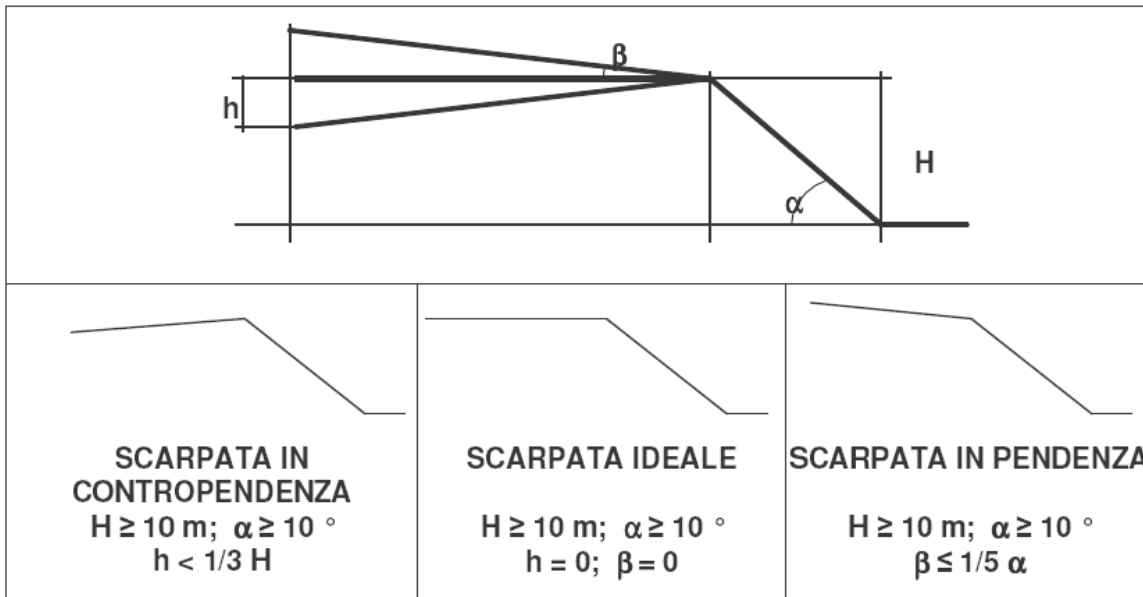
4.0 2° Livello - Determinazione di Fa (Fattore di Amplificazione Sismica locale)

Il 2° livello si applica a tutti gli scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4) e per quanto attiene alla pianificazione, si applica, per comuni inseriti in Zona Sismica 3, ai soli ambiti interferenti con l'edificato e/o edificabile.

4.1 Amplificazione topografica/morfologica (Scenario Z3a)

In relazione all'amplificazione topografica, nell'ambito comunale è stato individuato lo scenario PSL Z3a, che riguarda le zone di ciglio (scarpata con parete subverticale, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica). La procedura per questo scenario è illustrata nell'integrazione all'Allegato 5 dei "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. 12/2005", scaricabile dal portale web della Regione Lombardia. Secondo l'allegato, sono da considerarsi scarpate le morfologie che soddisfano i seguenti criteri: criteri geometrici:

- H (distanza verticale dal piede al ciglio del fronte principale) > 10 m;
- inclinazione del fronte principale) 10° ;
- l'estensione del fronte superiore (distanza tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica) deve essere paragonabile al dislivello altimetrico massimo (H) o comunque non inferiore ai 15-20 m e, se inclinato, deve rispondere ai seguenti requisiti:
 - scarpate in pendenza (pendenza concordante con quella del fronte principale);
 - l'inclinazione (β) del fronte superiore deve essere $\leq 1/5 \alpha$
 - scarpate in contropendenza (pendenza opposta a quello del fronte principale): il dislivello altimetrico minimo (h) deve essere $\leq 1/3H$.



Criteri litologici: attualmente il campo di validità della procedura è limitato a terreni di classe A (bedrock), identificati, secondo la definizione dell'O.P.C.M. n. 3274/03, sulla base dell'impronta sismica (V_s 800 m/s). Un'ulteriore limitazione della procedura deriva dal fatto che il suo campo di validità è limitato al periodo (T) 0,1 - 0,5 s, perché i risultati per l'intervallo 0,5 – 1,5 s appaiono eccessivamente influenzati dalla variabilità del moto di input e quindi non sufficientemente adatti a rappresentare in modo univoco la risposta sismica al sito. Nel territorio comunale gli elementi rispondenti, in prima approssimazione, ai criteri geometrici sono rappresentati oltre alle creste dei rilievi non direttamente interessate da pressione antropica, particolare attenzione è stata dedicata al promontorio dove sorge località Casotto, che rappresenta uno scenario tipico di cucuzzolo.

Dal punto di vista litologico, le scarpate sono strutturate su litotipi rocciosi appartenenti alla formazione del Sass de La Luna.

La procedura comporta il confronto tra i valori di H e α ottenuti per le varie tipologie di scarpata con una tabella che riporta, per classi altimetriche e di inclinazione, il valore di F_a di sito e l'estensione della relativa area di influenza (A_i), che indica l'ampiezza del settore in prossimità del ciglio di scarpata in cui si risente maggiormente dei fenomeni di amplificazione sismica, secondo la tabella sotto indicata..

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

Fig.4: Classi altimetriche in funzione dell'inclinazione

Stima del fattore di amplificazione in corrispondenza del centro storico di San Paolo d'Argon

Le area oggetto di studio è collocata immediatamente a monte della scarpata che raccorda i terrazzi morenici del Comune di San Paolo d'Argon e il fondovalle del torrente . Si tratta pertanto di uno scenario di Pericolosità Sismica Locale che può essere soggetto ad effetti di amplificazione di tipo topografico. Per applicare la procedura relativa alle scarpate, sono state prodotte una serie di sezioni topografiche, necessarie per definire con precisione le caratteristiche geometriche del pendio.

Loc. Bonduell

La zona in esame è caratterizzata dalla presenza di terreni limo sabbiosi che con la profondità tendono a divenire ghiaiosi. Tale terreno poggia sul cappellaccio di alterazione del sottostante substrato resistente. Questo deposito superficiale è stato interpretato come materiale di origine colluviale (accumuli di materiali dilavati dai versanti) che hanno portato alla formazione di un tipico conoide.

Sulla base di questi dati la stratigrafia dell'area in oggetto è verosimilmente data dalle seguenti tre unità litotecniche:

- *Strato 1*: Limo sabbioso avente uno spessore di circa 3 m.
- *Strato 2*: ghiaie in matrice limoso-sabbiosa sino alla profondità di circa 15 m
- *Strato 3*: Cappellaccio di alterazione – substrato resistente fra i 15 e i 30 metri

Le Vs ottenute da lavori eseguiti in aree simili hanno dato i seguenti risultati:

	Spessore (m)	Vs (m/s)
Strato 1	3	200-400
Strato 2	12	400 - 800
Strato 3	2	800 - 1500

Sulla base della stratigrafia del territorio e dei valori di Vs ottenuti, la località è classificabile nella categoria del suolo relativa al Profilo B “Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ($N_{spt}>50$ o coesione non drenata >250 kPa).”.

Per effettuare il calcolo del Fattore di amplificazione delle aree, individuate come scenario di Pericolosità Sismica per la presenza di un conoide e di terreni limoso-sabbiosi con ghiaie, è stato necessario scegliere la scheda di riferimento, fra quelle riportate nell'Allegato 5 dalla DGR relative agli effetti litologici.

Dopo averne verificato la validità in base all'andamento delle Vs con la profondità, è stato calcolato il valore del periodo proprio del sito T, utilizzando l'equazione proposta dalla normativa e considerando lo spessore di terreno oltre il quale la velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s:

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

il valore calcolato è **T= 0,2 s**

E' stata poi scelta, all'interno della scheda di valutazione, la curva più appropriata, in funzione della profondità e della velocità delle Vs: nel caso in esame è stata scelta la curva 3 (blu). Considerando il periodo proprio del sito nell'intervallo 0,1-0,5 s (relativo a strutture basse, regolari e piuttosto rigide) dal grafico si ricava il **Fattore di amplificazione**

sismica $F_a=1,5$.

Confrontando il valore di F_a ottenuto con il corrispondente valore di soglia calcolato dalla Regione Lombardia per il Comune di San Paolo d'Argon, per la categoria di suolo B e per l'intervallo di periodo 0,1-0,5 s, si osserva che il valore di F_a calcolato è superiore al Valore di soglia (pari a 1). Si ha quindi che la normativa vigente è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione sismica litologica. Quanto valutato con la procedura descritta per l'area in esame, è riportato nella tavola corrispondente.

Loc. Cassinetta

La zona in esame è caratterizzata dalla presenza di terreni limoso-argillosi che con la profondità tendono a divenire più coerenti e compatti. Questo deposito superficiale è stato interpretato come materiale di origine colluviale (accumuli di materiali dilavati dai versanti) che hanno portato alla formazione di un tipico conoide.

Sulla base di questi dati la stratigrafia dell'area in oggetto è verosimilmente data dalle seguenti tre unità litotecniche:

- *Strato 1*: limi argillosi con rari ciottoli in matrice avente uno spessore di circa 5 m.
- *Strato 2*: argille limose poco addensate sino alla profondità di circa 20 m

Le V_s ottenute da lavori eseguiti in aree simili hanno dato i seguenti risultati:

	Spessore (m)	V_s (m/s)
Strato 1	5	80
Strato 2	30	173

Sulla base della stratigrafia del territorio e dei valori di V_s ottenuti, è classificabile nella categoria del suolo relativa al Profilo D "Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti caratterizzati da valori di $V_{s30} < 180$ m/s ($N_{sp} < 15$, $c_u < 70$ kPa).".

Per effettuare il calcolo del Fattore di amplificazione delle aree, individuate come scenario di Pericolosità Sismica per la presenza di un conoide e di terreni ghiaiosi, è stato

necessario scegliere la scheda di riferimento, fra quelle riportate nell'Allegato 5 dalla DGR relative agli effetti litologici. La scheda che più si associa alla litologia dell'area in esame è quella “Limoso- sabbiosa 2 ”

Dopo averne verificato la validità in base all'andamento delle Vs con la profondità, è stato calcolato il valore del periodo proprio del sito T, utilizzando l'equazione proposta dalla normativa e considerando lo spessore di terreno oltre il quale la velocità Vs è uguale o inferiore a 180 m/s:

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

il valore calcolato è **T= 0,54 s**

E' stata poi scelta, all'interno della scheda di valutazione, la curva più appropriata, in funzione della profondità e della velocità delle Vs: nel caso in esame è stata scelta la curva 3 (blu). Considerando il periodo proprio del sito nell'intervallo 0,1-0,5 s (relativo a strutture basse, regolari e piuttosto rigide) dal grafico si ricava il **Fattore di amplificazione sismica Fa=1,75**.

Confrontando il valore di Fa ottenuto con il corrispondente valore di soglia calcolato dalla Regione Lombardia per il Comune di San Paolo d'Argon, per la categoria di suolo B e per l'intervallo di periodo 0,1-0,5 s, si osserva che il valore di Fa calcolato è superiore al Valore di soglia (pari a 1). Si ha quindi che la normativa vigente è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione sismica litologica.

Loc. C.na Plezzo – Monastero Benedettino- Centro Storico

La zona in esame è caratterizzata dalla presenza di terreni eluvio-colluviali a comportamento coesivo, che con la profondità tendono a divenire più compatti. Questi livelli poggiano a loro volta su cappellaccio di alterazione del sottostante substrato

resistente. Questo deposito superficiale è stato interpretato come materiale di origine colluviale (accumuli di materiali dilavati dai versanti).

Sulla base di questi dati la stratigrafia dell'area in oggetto è verosimilmente data dalle seguenti tre unità litotecniche:

- *Strato 1*: argille deb. Limose- limo sabbioso con spessore di circa 8-10 m.
- *Strato 2*: argilla con ciottoli 10-14 m
- *Strato 3*: Cappellaccio di alterazione – substrato resistente fra i 14 e i 30 metri

Le Vs ottenute da lavori eseguiti in aree simili hanno dato i seguenti risultati:

	Spessore (m)	Vs (m/s)
Strato 1	5	400
Strato 2	13	400-600
Strato 3	2	800-1800

Sulla base della stratigrafia del territorio e dei valori di Vs ottenuti, le aree sono classificabili nella categoria del suolo relativa al Profilo B “Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} , compresi fra 360 m/s e 800 m/s ($N_{spt} > 50$ o coesione non drenata > 250 kPa).”.

Per effettuare il calcolo del Fattore di amplificazione delle aree, individuate come scenario di Pericolosità Sismica, è stato necessario scegliere la scheda di riferimento, fra quelle riportate nell'Allegato 5 dalla DGR relative agli effetti litologici. La scheda che meglio rappresenta la litologia dell'area in esame è quella “Limoso-sabbiosa tipo 1”.

Dopo averne verificato la validità in base all'andamento delle Vs con la profondità, è stato calcolato il valore del periodo proprio del sito T, utilizzando l'equazione proposta dalla normativa e considerando lo spessore di terreno oltre il quale la velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s:

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

il valore calcolato è **T= 0,08 s**

E' stata poi scelta, all'interno della scheda di valutazione, la curva più appropriata, in funzione della profondità e della velocità delle Vs: nel caso in esame è stata scelta la curva 3 (rossa). Considerando il periodo proprio del sito nell'intervallo 0,1-0,5 s (relativo a strutture basse, regolari e piuttosto rigide) dal grafico si ricava il **Fattore di amplificazione sismica Fa=1,9**.

Confrontando il valore di Fa ottenuto con il corrispondente valore di soglia calcolato dalla Regione Lombardia per il Comune di San Paolo d'Argon, per la categoria di suolo B e per l'intervallo di periodo 0,1-0,5 s, si osserva che il valore di Fa calcolato è superiore al Valore di soglia (pari a 1). Si ha quindi che la normativa vigente è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione sismica litologica, per determinati ambiti territoriali indicati con le opportune simbologie

5. Norme tecniche di attuazione per le costruzioni sul territorio comunale di San Paolo d'Argon (Bg) – Zona sismica 3 –

Per il territorio comunale di San Paolo d'Argon, relativamente all'urbanizzato di fondovalle, il confronto tra i valori di Fa ottenuti dalla valutazione di 2° livello ed i valori di soglia, per gli scenari Z3a e Z4, adottando quanto previsto dall'Allegato 5 dei "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. 12/2005" e delle relative integrazioni per gli effetti morfologici, ha consentito di verificare che: **i valori di Fa di sito sono superiori a Fa soglia definito per il territorio in esame e per il tipo di suolo considerato, per gli scenari "Cassinetto" e "Centro Storico", pertanto la normativa è da considerarsi insufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa e la classe sismica superiore.**

Per l'ambito "Bonduell" il Fa risultante dalle applicazioni di 1à livello è risultato pari al Fa fornito dalla Regione Lombardia, pertanto in tale ambito la normativa è da considerarsi sufficiente.

In fase di progettazione si dovranno adottare i riferimento normativi previsti per la Zona sismica 3 e si dovranno prevedere gli approfondimenti sismici di 2° LIVELLO compresi gli edifici strategici e rilevanti così come individuati dal Decreto n. 19904 del 21 novembre 2003, al di fuori del centro abitato e delle perimetrazioni di cui alla carta di fattibilità geologica/sismica, allegata:

Zona sismica	Livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1° livello Fase pianificatoria	2° livello Fase pianificatoria	3° Livello Fase progettuale
2- 3	Obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree inedificabili	Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore di soglia comunale. Nelle zone PSL Z1, Z2 e Z5

Si evidenzia che sulla base dei risultati emersi per la valutazione degli effetti di sito di amplificazione sismica per tutte le condizioni geologiche e geomorfologiche considerate ed estrapolabili all'urbanizzato di San Paolo d'Argon (applicazione del 2 Livello) sono emerse condizioni geologiche, strutturali e morfologiche che comportino un incremento del rischio sismico, per gli ambiti compresi tra Lo.c Cassinetto e centro Storico.

Si ritiene la che il grado di attendibilità delle valutazioni eseguite, sulla base di dati geotecnici disponibili, sia MEDIO, secondo le indicazioni per la valutazione del grado di giudizio previste dalla normativa. Su tutto il territorio comunale, come previsto dalla suindicata normativa antisismica Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri N. 3274 del 20 Marzo 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", si dovrà prevedere l'applicazione delle norme tecniche specifiche previste per la ZONA 3.

Ne consegue che non sono necessarie ulteriori prescrizioni oltre quelle di legge; la normativa è da considerarsi insufficiente per determinati ambiti a tenere in considerazione anche possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla legislazione regionale e nazionale

Costituiscono parte integrante del presente aggiornamento la Carta della Pericolosità Sismica Locale e la Carta di Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano, con la sovrapposizione, con retino trasparente, della Pericolosità Sismica Locale.

Si fa presente che tale sovrapposizione non comporta un cambio di classe di fattibilità (che rimane la stessa) ma fornisce indicazioni su dove poter utilizzare, in fase di progettazione, lo spettro di risposta elastico previsto dal d.m. 14 settembre 2005.

6. Carta dei vincoli

La carta dei Vincoli (Scala 1:5000), in accordo con la D.G.R. N°8/1566, evidenzia le aree soggette a vincoli normativi di contenuto prettamente geologico presenti su tutto il territorio comunale.

Vincoli derivanti dalla pianificazione di Bacino ai sensi della L.183/89 in particolare:

- **ATLANTE DEI RISCHI IDRAULICI E IDROGEOLOGICI PAI.** Sono riportati settori di Frana quiescente (Fq). Esondazioni: aree a pericolosità elevata (Eb), aree a pericolosità media o moderata (Em), aree in zona 1.
- **VINCOLI DI POLIZIA IDRAULICA- D.G.R. 25 GENNAIO 2002 N. 7/7868.** Sulla base della suddetta normativa sono state individuate le fasce di rispetto per tutti i corsi d'acqua presenti sul territorio comunale di San Paolo d'Argon appartenenti sia al Reticolo Minore, sia su quello principale (fasce definite in accordo con quanto previsto dal RD 523/1904). Le fasce di rispetto dei corsi d'acqua hanno generalmente una larghezza di 10 metri per ogni sponda, compresi i tratti urbani incanalati.
- **AREE DI SALVAGUARDIA DELLE CAPTAZIONI AD USO IDROPOTABILE,** sono state riportate le aree di tutela assoluta e aree di rispetto. Per le aree in questione si è individuata una fascia di rispetto con criterio geometrico. L'efficacia di aree individuate con criterio idrogeologico-temporale diventerà efficace a seguito di rilascio autorizzativo dell'ente competente, l'assenza di tale atto impone altresì l'applicazione del criterio geometrico.

Le norme di tutela relative alle aree di rispetto e di tutela assoluta fanno riferimento alle disposizioni previste dal d.g.r. 10 aprile 2003, n. 7/12693 "Direttive per la disciplina delle

attività all'interno delle aree di rispetto, art. 21 ,comma 6 e successive modificazioni.

7. Carta di sintesi

La carta di Sintesi redatta a Scala 1:5.000 su tutto il territorio comunale.

Per la delimitazione delle aree omogenee di pericolosità-vulnerabilità sono stati seguiti i criteri indicati nella direttiva, adattandoli alla realtà comunale ed integrandoli ove necessario con situazioni non specificate.

8. Carta di fattibilità geologica per le azioni di piano

La carta di Fattibilità è redatta a Scala 1:5000 per l'ambito urbanizzato e per tutto il territorio comunale.

8.1 Criteri classificativi delle aree e zonazione del comune

La legge Regionale N°12/2005 e la successiva delibera di attuazione (dgr 871566 del 22/12/2005 impongono la suddivisione dell'area interessata da azioni di piano in quattro classi di fattibilità geologica, in seguito descritte

- Classe 2: Fattibilità con modeste limitazioni
- Classe 3: fattibilità con consistenti limitazioni
- Classe4: Fattibilità con gravi limitazioni

Classe II – Fattibilità con modeste limitazioni

In questa classe ricadono le aree nelle quali sono state rilevate condizioni limitative alla modifica di destinazione d'uso dei terreni, per superare le quali si rende necessario realizzare approfondimenti di carattere geologico-tecnico o idrogeologico finalizzati alla realizzazione di eventuali opere di bonifica.

Si ritiene che per tutte le aree di Classe II sulle quali è prevista una consistente modificazione della destinazione d'uso o la costruzione di nuovi insediamenti, debbano essere richieste da parte dell'Amministrazione Comunale indagini geologiche-geotecniche con diversi livelli di approfondimento a seconda della situazione locale; l'indagine geologico-geotecnica sarà comunque obbligatoria nel caso di P.I.I., P.I.P., piani urbanistici particolareggiati o attuativi in genere, strade, insediamenti industriali, opere pubbliche.

Tali indagini dovranno evidenziare, sulla base della tipologia d'intervento, i mutui rapporti con la geologia, con la geomorfologia e l'idrogeologia del sito oltre al buon governo delle acque di scorrimento superficiale.

Si dovranno valutare pertanto le interferenze prodotte da eventuali scavi e/o riporti nei confronti della stabilità locale e generale del pendio ed in relazione al grado di permeabilità dei terreni, dovranno essere opportunamente valutati e dimensionati i sistemi di drenaggio, di raccolta e di smaltimento delle acque superficiali, facendo attenzione ad evitare lo scarico nel sottosuolo di agenti inquinanti.

Le suddette indagini, sulla base dell'entità dell'intervento e a discrezione del professionista incaricato, potranno essere costituite o da una semplice relazione geologica o richiedere specifici approfondimenti geotecnici attraverso l'effettuazione di prove penetrometriche in sito, sondaggi diretti, indagini geofisiche, analisi geostrutturali degli ammassi rocciosi potenzialmente instabili, ecc.; l'area di studio si dovrà estendere per un intorno significativo rispetto all'intervento edificatorio proposto.

In ogni caso, anche per interventi di piccola entità, l'Amministrazione Comunale potrà chiedere la relazione geologica se riterrà che l'intervento possa interferire significativamente con edifici vicini o con le condizioni geologiche locali.

In particolare si ritiene opportuno, per la realizzazione di qualsiasi nuovo edificio, di mantenere una distanza di sicurezza di almeno 10 metri dal ciglio di scarpate morfologiche di qualsiasi origine se classificate in classe 3 ed almeno 20 metri dal ciglio di scarpate in classe 4.

Nel caso di realizzazione di edifici in prossimità di cigli di scarpata si ritiene necessaria la predisposizione di verifiche di stabilità della scarpata sottostante che tengano in considerazione l'applicazione del sovraccarico che comporta la realizzazione dell'edificio.

Nel caso che la realizzazione dell'edificio comporti la formazione di un fronte di scavo a monte e/o ai lati (es: realizzazione di un edificio su un pendio inclinato, esecuzione di box e di locali interrati in fregio a edifici esistenti e magari di vecchia costruzione), si ritiene necessaria la predisposizione di verifiche di stabilità del pendio in relazione alla realizzazione del fronte di scavo previsto. Questo per predisporre un progetto adeguato in merito alle opere di sostegno necessarie evitando così che l'esecuzione di scavi in prossimità di edifici esistenti possano indurre lesioni nelle strutture adiacenti.

Per quanto riguarda il territorio comunale di San Paolo d'Argon, nella Classe II ricadono

tutte quelle aree poco acclivi presenti ai piedi dei versanti, le aree pianeggianti densamente urbanizzate dove non si è evidenziata l'esistenza di particolari fenomeni di dissesto in atto.

Classe III – Fattibilità con consistenti limitazioni

La Classe III comprende zone in cui sono state riscontrate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni, per l'entità e la natura dei rischi individuati nell'area di studio o nell'immediato intorno; in essa sono comprese aree acclivi potenzialmente soggette all'influenza di fenomeni di dissesto idrogeologico e fenomeni alluvionali con trasporto in massa, terreni con scarsa qualità geotecnica o potenziale instabilità, forme di degrado antropico.

L'utilizzo di queste zone sarà pertanto necessariamente subordinato alla realizzazione di **indagini dettagliate** finalizzate all'acquisizione di una maggiore conoscenza geologico-tecnica dell'area e del suo intorno, mediante campagne geognostiche, prove in situ e di laboratorio, nonché mediante studi specifici di varia natura (geologici, geofisici, idrogeologici, idraulici, ambientali, pedologici, ecc.).

Ciò dovrà consentire di precisare le idonee destinazioni d'uso, le volumetrie ammissibili, le tipologie costruttive più opportune, nonché le necessarie opere di sistemazione e bonifica. Per l'edificato esistente dovranno essere fornite indicazioni in merito alle indagini da eseguire per la progettazione e la realizzazione delle opere di difesa, sistemazione idrogeologica e degli eventuali interventi di mitigazione degli effetti negativi indotti dall'edificato. Potranno essere inoltre predisposti idonei sistemi di monitoraggio geologico che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto o indotti dall'intervento.

L'utilizzo di queste zone sarà pertanto subordinato alla realizzazione d'indagini mirate all'acquisizione di una maggiore conoscenza geologico-tecnica, idrogeologica o idraulica dell'area e di un suo immediato intorno. Tale approfondimento tecnico dovrà essere attuato attraverso l'effettuazione di approfonditi studi geologici-geotecnici, idrogeologici e l'esecuzione di campagne geognostiche, prove di laboratorio, verifiche di stabilità, etc.

Nel caso di problematiche di tipo idraulico, gli studi saranno necessari non solo in corrispondenza dei principali corsi d'acqua, ma anche dei corsi d'acqua minori che nel passato hanno manifestato significative forme di dissesto.

Il risultato delle indagini condotte dovrà valutare la compatibilità dell'intervento edificatorio

e la portata massima che esso può avere in relazione alle caratteristiche del sito.

Gli interventi di bonifica idraulica o idrogeologica dovranno, ove possibile, essere eseguiti con tecniche di bioingegneria forestale.

Pur tenendo conto del fatto che *sarebbe opportuno limitare nuovi consistenti insediamenti nelle aree appartenenti alla Classe III*, si ribadisce naturalmente che in questo caso le relazioni geologiche e geologico-tecniche andranno eseguite sui nuovi fabbricati singoli e su tutti quegli interventi che presentano un significativo impatto sul territorio (es. viabilità, reti tecnologiche, ecc.).

Anche in questo caso si ritiene opportuno, nel caso della realizzazione di qualsiasi edificio, di mantenere una distanza di sicurezza di almeno 20 metri dal ciglio di scarpate in classe 4.

Nel caso di realizzazione di edifici in prossimità di un ciglio di scarpata si ritiene necessaria la predisposizione di verifiche di stabilità della scarpata sottostante che tengano in considerazione l'applicazione del sovraccarico che comporta la realizzazione dell'edificio.

Nel caso che la realizzazione dell'edificio comporti la formazione di un fronte di scavo a monte e/o ai lati (es: realizzazione di un edificio su un pendio inclinato, esecuzione di box e di locali interrati in fregio a edifici esistenti e magari di vecchia costruzione), si ritiene necessaria la predisposizione di verifiche di stabilità del pendio in relazione alla realizzazione del fronte di scavo previsto. Questo per predisporre un progetto adeguato in merito alle opere di sostegno necessarie evitando così che l'esecuzione di scavi in prossimità di edifici esistenti possano indurre lesioni nelle strutture adiacenti.

Classe IV – Fattibilità con gravi limitazioni

In questa classe ricadono tutte quelle aree per le quali la situazione di alto rischio comporta gravi limitazioni per la modifica della destinazione d'uso delle particelle.

In queste aree dovrà pertanto essere di norma esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non la manutenzione ordinaria e straordinaria degli edifici esistenti, il restauro conservativo per i quali saranno consentiti esclusivamente gli interventi così come definiti dall'Art. **l'art. 27.1 della LR 12/05**, nonché piccoli ampliamenti funzionali all'edificio e puntualmente verificati.

Eventuali opere pubbliche e di interesse collettivo quali acquedotti, strade, fognature, ecc.,

oltre alle operazioni di manutenzione di piccole strutture non residenziali di supporto all'attività agricola che non prevedano la presenza continuativa di persone, dovranno essere valutate puntualmente.

A tal fine alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità pubblica, dovrà essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico. In questi casi, sulla base dei risultati emersi dall'indagine dovrà essere elaborato un progetto degli interventi di consolidamento e di bonifica, di trattamento e/o miglioramento dei terreni. Il progetto dovrà tenere conto altresì di un programma di monitoraggio ambientale destinato a verificare gli effetti degli interventi eseguiti in relazione all'entità dell'opera.

Gli interventi di bonifica idraulica o idrogeologica dovranno, ove possibile, essere eseguiti con tecniche di bioingegneria forestale.

Castelli Calepio (Bg), Settembre 2009

Dott. Geol. Fabio Plebani

Iscrizione Ordine dei Geologi della Lombardia N° 14 61

