

COMUNE DI RIVA DI SOLTO

(Provincia di BERGAMO)



Committente

Amministrazione Comunale di Riva di Solto

***Aggiornamento ai sensi della d.g.r. n. 8/1566 del
22/12/2005, relativamente alla componente sismica,
dello studio geologico a supporto della pianificazione
territoriale, redatto ai sensi della l.r. n° 41/97***

Tagliuno (Castelli Calepio, Bg), 20 Marzo 2008

Dott. Geol. Fabio Plebani
Iscriz. Ordine dei Geologi della Lombardia n° 884

1.0 Premessa

Il Comune di Riva di Solto (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 Riva di Solto (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 Riva di Solto in Zona Sismica 3:

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 nell'aprile 2004 ai sensi della l.r. n° 41/97 e della d.g.r. n° 7/6645 e del relativo allegato 5.

Si segnala a questo proposito che, secondo quanto ribadito dalla d.g.r. 1566/2005, **le carte di sintesi e di fattibilità sono state estese all'intero territorio comunale** fin dalla redazione dello studio geologico ai sensi della l.r. 41/97 e come tali approvate, come allora voleva la norma, dai competenti uffici della Regione Lombardia. Il presente studio le lascia sostanzialmente inalterate, tranne alcune piccole modifiche apportate per una migliore coerenza con i territori comunali limitrofi, per cui viene allegata la sola Carta della Fattibilità Geologica sulla quale sono stati riportati i retini e le informazioni desunti dall'aggiornamento alla nuova normativa antisismica.

La Carta dei Vincoli rimane anch'essa inalterata, sebbene riferimenti essenziali, da richiamare per una maggiore completezza delle informazioni in essa contenute, sono in ogni caso la Carta dei dissesti con legenda uniformata PAI, anch'essa allegata allo studio dell'aprile 2004, e il più recente studio del reticolo idrografico minore, redatto a cura della Comunità Montana dell'Alto Sebino, che integra le informazioni già riportate sulla citata carta dei vincoli.

2.0 Zonazione sismica del territorio comunale

Lo studio per la 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 F_a 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 F_a 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 dei dati 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, in considerazione delle conoscenze del territorio e della mole di dati geotecnici e stratigrafici disponibili, non si è ritenuto necessario

eseguire nuove indagini originali di carattere geotecnico e/o geofisico di approfondimento.

Lo studio è consistito quindi nell'analisi dei dati esistenti già inseriti nella cartografia di analisi ed inquadramento (carta geologica, carta geomorfologica, ecc.) dello studio geologico a supporto del PRG dell'aprile 2004 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:

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	
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 Riva di Solto, 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
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	Scarpate e pareti rocciose presenti sul territorio comunale
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate		Culminazioni di cresta nella parte più elevata del territorio
Z4a	zone di fondovalle/pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi	Amplificazioni litologiche e geometriche	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)		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 Riva di Solto 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.

Il 2° livello, per i comuni classificati in Zona Sismica 3, è obbligatorio solo per le aree edificate e/o edificabili.

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 (Vs) con la profondità; spessore e Vs 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 Vs 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 Vs con la profondità; in particolare si è verificato l'andamento delle Vs con la profondità partendo dalla scheda tipo 1, nel caso in cui non fosse verificata la validità per valori di Vs 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 Vs dello strato superficiale, 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 (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.

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:

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

dove hi e Vsi sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.

Il valore di Fa 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 Fa 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.

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 Vs maggiore o uguale ad 800 m/s.

Nell'ambito delle creste si distinguono due situazioni:

- rilievo caratterizzato da una larghezza in cresta (I) 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).

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 I;
- 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 Fa 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 I, 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 dal 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 ($V_s > 800$ 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				
		Valori soglia		
COMUNE	Classificazione	Suolo tipo A	Suolo tipo B-C-E	Suolo tipo D
Riva di Solto	3	1,5	2	2,2

VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0.5-1.5 s				
		Valori soglia		
COMUNE	Classificazione	Suolo tipo A	Suolo tipo B-C-E	Suolo tipo D
Riva di Solto	3	2	3,2	5,2

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di F_a 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 F_a ottenuto dalla procedura semplificata.

Si possono presentare quindi due situazioni:

- *il valore di F_a 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);*
- *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).*

3.0 Classificazione sismica dei terreni nel comune di Riva di Solto

Sulla scorta delle precedenti indicazioni, è stata condotta l'analisi dei dati litologici, stratigrafici e geofisici disponibili per il territorio comunale di Riva di Solto, 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 Fa.

Dall'analisi delle sezioni stratigrafiche disponibili per il territorio comunale di Riva di Solto, 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. Tali depositi presentano valori di velocità prevalentemente comprese tra 360 e 800m/s in funzione del grado di consolidazione. Dai valori delle velocità sismiche delle onde di taglio calcolate e riportate, è possibile valutare il valore di Vs30 attraverso le formule precedentemente indicate.

Per la ricostruzione delle sezioni stratigrafiche del territorio comunale si è fatto riferimento ai dati forniti dall'Amministrazione Comunale e dalle conoscenze assunte dallo scrivente in occasione della redazione dello studio geologico ai sensi della l.r. 41/2007 dell'aprile 2004, relativi a numerose indagini geotecniche eseguite sul territorio, a supporto della realizzazione di opere edilizie.

Dal punto di vista topografico/morfologico, la situazione risulta abbastanza complessa; 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.

Dalle sezioni stratigrafiche/geotecniche 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, che

colloca i terreni in categoria A e B 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 Riva di Solto sia classificabili, dal punto di vista sismico, **in senso generale**, 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 (Nsp<15, cu<70 kPa).
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali non litoidi (granulari o coesivi), con valori di Vs30 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 Riva di Solto è classificabile cautelativamente come **Classe B per il fondovalle e per la fascia pedemontana; come Classe A per la rimanente porzione del territorio.**

Tale classificazione vale naturalmente in senso generale; per ogni caso particolare, soprattutto per opere ed interventi di particolare complessità e rilevanza, dovrà essere verificata attentamente la classificazione sismica del sito, che potrebbe essere localmente più sfavorevole.

4.0 Caratterizzazione geotecnica qualitativa dei terreni

I dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di Vs, utilizzati nella procedura di 2° livello sono stati desunti principalmente dalle numerose stratigrafie di trincee esplorative/scavi eseguite sia sul territorio comunale di Riva di Solto, 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.

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)

Il rilevamento geologico ha permesso di suddividere i depositi superficiali che ricadono nel territorio comunale in unità geologiche e di distinguere, al loro interno, litofacies omogenee dal punto di vista litologico.

Ciò consente di associare, sia pure in modo qualitativo, alcuni parametri geotecnici indicativi alle diverse litofacies come riassunto nel seguente prospetto:

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/o, solo subordinatamente, argillosa. Si tratta di sedimenti dotati di buone proprietà meccaniche. 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 in prima istanza – e fatte salve più approfondite indagini locali - l'attribuzione di tali terreni alla classe B dei suoli di fondazione, quella più elevata nell'ambito dei terreni non rocciosi.

Depositi di versante – depositi eluvio/colluviali - Si tratta di depositi clastici con matrice da sabbiosa a limoso sabbiosa, a comportamento granulare. Possono essere ritenuti terreni di buona qualità geotecnica, con elevato modulo elastico. 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 sono caratterizzati per lo più da debole spessore, inferiore ai 10 m per i depositi di versante ed inferiori ai 5 m per i depositi eluviali.

In generale, i terreni che ricadono nel territorio comunale di Riva di Solto presentano caratteri di qualità geotecnica da buona ad elevata, sia per le litofacies di origine alluvionale/detritica che per quelle fluvioglaciali.

Depositi morenici - Sono riferibili ai sedimenti connessi con le ultime pulsazioni dell'apparato glaciale camuno e sono caratterizzati da depositi incoerenti granulari eterometrici privi di cassazione e gradazione. Si tratta di sedimenti dotati di buone proprietà meccaniche. 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 in prima istanza – e fatte salve più approfondite indagini locali - di tali terreni alla classe B dei suoli di fondazione, quella più elevata nell'ambito dei terreni non rocciosi.

5.0 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.

Amplificazione litologica (Scenari Z4a e Z4b)

Per il territorio comunale di Riva di Solto, in relazione ai possibili effetti di amplificazione litologica, si è fatto riferimento alle caratteristiche geotecniche/geofisiche dei terreni considerati, così come riportato nei paragrafi precedenti. La procedura operativa è illustrata nell'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.

La scheda litologica più opportuna è risultata essere la scheda per la litologia ghiaiosa. Il periodo proprio di sito è risultato pari a 0,235 s, pertanto:

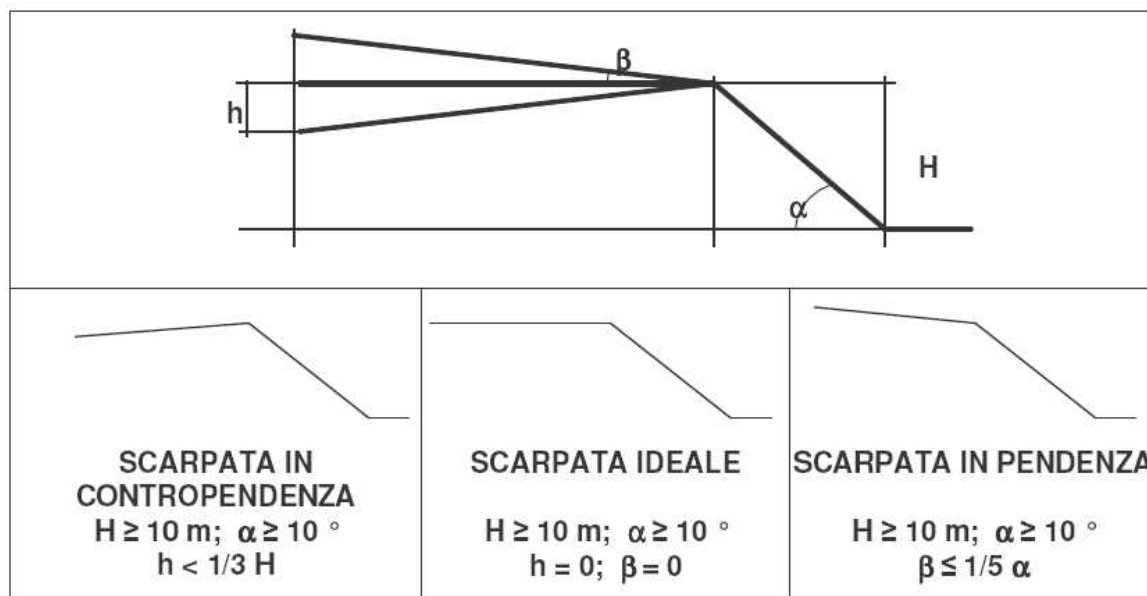
scheda tipo	validità	T sito	Fa 0,1-0,5 s sito	Fa 0,5-1,5 s sito
litologia ghiaiosa	SI	0,158	1,276	-----

Per il territorio comunale di Riva di Solto (Bg), per entrambi i periodi, i valori di Fa sono inferiori a Fa soglia definito per il territorio in esame e per il tipo di suolo considerato, pertanto la normativa è in linea di massima 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).

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, bordo di cava, 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 ($V_s > 800 \text{ km/s}$). 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 dai versanti a monte dell'abitato di fondovalle.

Dal punto di vista litologico, le scarpate sono strutturate su litotipi carbonatici e su conglomerati fluviali, litologicamente assimilati al substrato roccioso.

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 Fa di sito e l'estensione della relativa area di influenza (Ai), 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 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	

Con i dati geometrici delle scarpate considerate, desunti dalle cartografie ufficiali, si ottengono i seguenti risultati:

Settore	H (m)	a (°)	Fa di sito	Ai (area di influenza)
Loc. Bogn	45	75	1,1	30
Loc. Punta Tre Croci	35	80	1,2	26
Altre loc.	55	75	1,1	37

Infine, i valori Fa di sito vengono confrontati con il valore Fa soglia per terreni di classe A, fornito dal Politecnico di Milano. Per il comune di Riva di Solto il valore di soglia, in tutte le situazioni analizzate, risulta sempre Fa sito < Fa soglia; non si escludono naturalmente variazioni in situazioni più localizzate.

Per il territorio comunale di Riva di Solto (Bg), i valori di Fa di sito sono inferiori a Fa soglia definito per il territorio in esame e per il tipo di suolo considerato, pertanto la normativa è in linea di massima da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa (classe di pericolosità H1).

6.0 Norme Tecniche di Attuazione per la costruzioni sul territorio comunale di Riva di Solto - Carta della Fattibilità Geologica e riflessi sulla pianificazione territoriale

Per il territorio comunale di Riva di Solto, 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 inferiori a Fa soglia definito per il territorio in esame e per il tipo di suolo considerato, pertanto la normativa è da considerarsi **in linea di massima sufficiente** a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa (classe di pericolosità H1).

In fase di progettazione si dovranno adottare i riferimenti normativi previsti per la Zona sismica 3 e si dovranno prevedere gli approfondimenti sismici di 2° LIVELLO solo per gli ambiti Z3 e Z4 e solo per la realizzazione di 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 Riva di Solto (applicazione del 2 Livello) non sono emerse, da valutazioni comunque di larga massima, condizioni geologiche, strutturali e morfologiche che comportino un incremento del rischio sismico.

Si ritiene comunque che il **grado di attendibilità** delle valutazioni eseguite, sulla base dei 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 in linea generale non sono necessarie ulteriori prescrizioni oltre quelle di legge; la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche possibili effetti di amplificazione litologica e morfologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla legislazione regionale e nazionale (Classe di pericolosità H1).

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.

Castelli Calepio, 20 Marzo 2008

Dott. Geol. Fabio Plebani

Iscritto all'Ordine dei Geologi della Lombardia al n. 884