

DOTT. GEOL. DANIELE MORO
Ordine dei Geologi della Lombardia A.P. n. 1723 sez. A

**AGGIORNAMENTO DELLA COMPONENTE
GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA
DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO
DI GAZZANIGA (BERGAMO)**

A – RELAZIONE GENERALE

Parte III: aggiornamento componente sismica e conclusioni

PRIMA EMISSIONE: DICEMBRE 2024
REVISIONE: FEBBRAIO 2025
ADOTTATO CON D.C.C. N. 24 DEL 30-07-2025
APPROVATO CON D.C.C. N. 2 DEL 12-01-2026

INDICE

7.	COMPONENTE SISMICA	2
7.1	Generalità ed elementi normativi	2
7.2	La componente sismica previgente (2012)	7
7.3	Aggiornamento dell'analisi sismica di 1° livello	8
7.4	Aggiornamento dell'analisi sismica di 2° livello	13
7.4.1	Effetto di amplificazione litologica (scenari Z4).....	13
7.4.2	Effetto di amplificazione topografica (scenari Z3).....	17
7.5	Analisi sismica di 3° livello	35
8.	CONCLUSIONI.....	36

7. COMPONENTE SISMICA

7.1 Generalità ed elementi normativi

La componente sismica del P.G.T. di Gazzaniga risale al 2012 ed è stata redatta sempre dallo Studio G.E.A., contestualmente allo studio geologico complessivo.

L'obbligo da parte dei comuni di prendere in considerazione gli aspetti sismici nella pianificazione geologica risale sostanzialmente alla L.R. 12/2005, e le modalità operative vigenti sono chiarite nella D.G.R. 2616/2011, in particolare nell'Allegato 5.

L'O.P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 ha classificato l'intero territorio nazionale dal punto di vista sismico.

In seguito alla D.G.R. 10 ottobre 2014 – n. X/2129, è entrata in vigore la nuova classificazione sismica del territorio lombardo, che ha attribuito al comune di Gazzaniga la zona sismica 3.

zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [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

Figura 1 - Zona sismica di riferimento per Gandino

**AGGIORNAMENTO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA
DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DI GAZZANIGA (BERGAMO)**

A.2 – RELAZIONE GENERALE (Parte II)

È importante notare come, prima del 2014, il comune di Gazzaniga ricadesse già nella zona sismica 3, ragion per cui era già stata effettuata, all'epoca, l'analisi sismica di 2° livello.

L'analisi sismica secondo i criteri regionali si compone sostanzialmente di tre livelli di approfondimento, ben resi dallo schema contenuto nell'Allegato 5 alla D.G.R. 2616/2011.

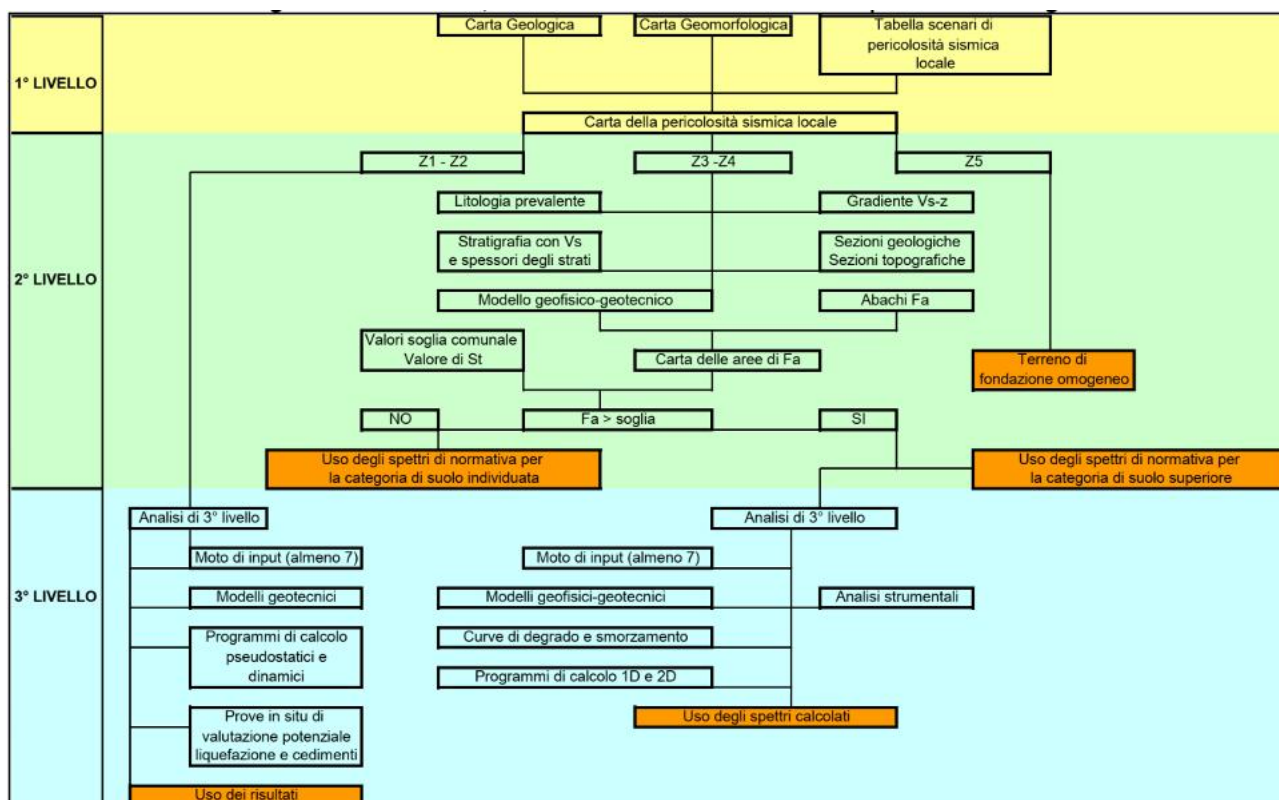


Figura 2 - Diagramma di flusso dei dati necessari e dei percorsi da seguire nei tre livelli di indagine

A.2 – RELAZIONE GENERALE (Parte II)

Il **primo livello**, obbligatorio per tutti i comuni indipendentemente dalla zona sismica di appartenenza, consiste in un approccio qualitativo, che si sintetizza nella produzione di una Carta della Pericolosità Sismica Locale. In pratica, si suddivide il territorio in varie perimetrazioni basate su elementi litologici, geomorfologici e litotecnici, ad ognuno dei quali corrispondono specifici effetti sismici: instabilità, cedimenti, liquefazioni, sprofondamenti, amplificazione topografiche, amplificazioni litologiche e geometriche, comportamenti differenziali.

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

Figura 3 - Ambiti di pericolosità sismica locale in cui va suddiviso l'intero territorio comunale

Alla tabella sopra va aggiunto l'effetto Z2c (non previsto nel 2011 in quanto introdotto con aggiornamento del 2022), riguardante l'innescò di sprofondamenti quali sinkhole ed occhi pollini.

In sostanza, sebbene un territorio comunale appartenga (nel suo insieme) ad una certa zona sismica (ad esempio nel caso di Gazzaniga e di tutti gli altri comuni bergamaschi, la zona 3), e quindi presenti (complessivamente) un certo grado di pericolosità basato su elementi probabilistici, a livello locale ci si aspetta che un terremoto induca effetti diversi sul territorio a seconda di determinate caratteristiche intrinseche del territorio stesso. Per fare degli esempi di semplice comprensione, è abbastanza intuibile che un sisma possa avere un effetto maggiore su di un pendio ripido già in frana (scenario di instabilità Z1) piuttosto che su di un pendio ad acclività modesta e generalmente stabile, così come l'effetto di liquefazione indotto da un terremoto (scenario Z2b) non potrà certamente svilupparsi entro una collina rocciosa, ma necessiterà di elementi predisponenti quali, ad esempio, terreni sabbiosi saturi; allo stesso modo, l'onda sismica indurrà amplificazioni entro certi tipi di terreni (alluvionali, glaciali, ecc.), oppure in corrispondenza di creste o cigli di scarpate con determinate caratteristiche geometriche.

Il primo livello di approfondimento sismico consiste dunque nell'individuare tutti questi elementi ed associarli ai vari scenari da Z1 a Z5, cartografandoli di conseguenza. Ad ogni scenario corrisponderà un livello di approfondimento superiore.

Il **secondo livello** si applica soltanto agli scenari di tipo Z3 e Z4, quindi, alle amplificazioni di tipo topografico (creste e scarpate) e litologico-geometrico (legate al tipo di terreno). Le procedure di valutazione dell'effetto sismico sono delineate nei criteri regionali e consistono in un approccio semi-quantitativo volto a calcolare un "fattore di amplificazione" (F_a) mediante schede con grafici e formule già predisposte. Il fattore F_a è sempre doppio, riferendosi uno all'intervallo di periodo di oscillazione compreso tra 0,1 e 0,5 s (tipico di edifici bassi e tozzi), l'altro all'intervallo di periodo di oscillazione compreso tra 0,5 e 1,5 s (tipico di edifici alti e snelli). I fattori calcolati con l'applicazione delle procedure vengono poi confrontati:

- per gli effetti Z4, con i fattori tabellati dalla Regione comune per comune, suddivisi per le categorie di suolo previste dalle N.T.C. 2018 (B-C-D-E) esclusa la roccia (A);
- per gli effetti Z3, con i fattori di amplificazione topografica S_T previsti dalle N.T.C. 2018 per le quattro categorie topografiche T1-T2-T3-T4, variabili tra 1,0 e 1,4.

Se il fattore di amplificazione calcolato è inferiore o uguale al fattore soglia comunale per la categoria di suolo corrispondente, si applica lo spettro previsto dalla normativa, mentre se il fattore calcolato è superiore a quello di soglia, occorre utilizzare lo spettro della categoria (o di più categorie) peggiore o, in alternativa, procedere ad analisi di 3° livello. Lo stesso vale per gli effetti di amplificazione topografica, considerando però, ovviamente, non le categorie di suolo ma le categorie topografiche.

La procedura di 2° livello si applica in fase pianificatoria per tutti i comuni ricadenti in zona 3 e 2, mentre nei comuni in zona 4 solo per aree dove è prevista la realizzazione di edifici strategici o rilevanti.

In fase progettuale, cioè a livello di relazione geologica per il singolo progetto edilizio, il 2° livello viene applicato tipicamente in aree dove tale analisi per qualsivoglia motivo non è stata effettuata in fase pianificatoria, laddove vi siano dubbi e si intenda rileggere la situazione sito-specifica, o comunque per ottenere un maggior grado di approfondimento.

Nel caso di Gazzaniga, vista la notevole micro-variabilità geologica locale, si raccomanda di eseguire sempre l'analisi di 2° livello sito-specifica, meglio se con apposite indagini sismiche, all'interno di tutti gli scenari Z3 e Z4 e più in generale laddove si ravvisino condizioni locali afferenti a tali scenari, anche qualora non siano state espressamente delineate nella Carta della Pericolosità Sismica Locale.

Il **terzo livello di approfondimento** non viene mai effettuato in fase pianificatoria, ma sempre e solo in fase progettuale per interventi ricadenti negli ambiti Z1 e Z2. Esistono procedure di 3° livello anche per gli ambiti Z3 e Z4, qualora le procedure di 2° livello non siano ritenute sufficienti o non vi siano le condizioni per la loro applicazione.

Per maggiori informazioni sulle procedure, livello per livello, si rimanda ai § 7.3, § 7.4 e § 7.5.

7.2 La componente sismica previgente (2012)

La componente sismica previgente si componeva di:

- una parte testuale nella Relazione Generale dello studio geologico del P.G.T.;
- un allegato con la descrizione delle n. 15 misure HVSR eseguite appositamente all'epoca;
- la Carta della Pericolosità Sismica Locale.

La componente sismica 2012 soddisfaceva sia il 1° livello di approfondimento sismico (pienamente), sia il 2° livello, implementando l'analisi di 2° livello sia per gli effetti Z4 che per gli effetti Z3. Per quanto concerne i primi, l'analisi era stata effettuata sulle n. 15 misure HVSR e quindi abbastanza completa. Per quanto riguarda invece i secondi, si rileva che le tracce di sezione indicate nella Relazione Generale non hanno sigle corrispondenti alle successive elaborazioni, pertanto, risulta non proprio immediato correlare le schede di analisi alle corrispondenti tracce.

7.3 Aggiornamento dell'analisi sismica di 1° livello

Per poter descrivere compiutamente gli aggiornamenti all'analisi sismica di 1° livello (Carta della Pericolosità Sismica Locale, di seguito Carta PSL per brevità), è necessario soffermarsi prima sui criteri con cui era stata redatta la cartografia; tale passaggio è indispensabile, poiché lo scrivente non condivide alcune delle scelte dell'epoca e, pertanto, ritiene essenziale motivare in modo adeguato le differenti scelte operate in sede di variante.

Gli estensori precedenti costruirono la cartografia di 1° livello a partire dagli altri elaborati dello studio geologico, particolare:

- la Carta del Dissesto con Legenda Uniformata P.A.I.;
- la Carta Litotecnica;
- la Carta Geomorfologica;
- la Carta di Sintesi (e, conseguentemente, la Carta di Fattibilità Geologica);
- la Carta Litologica.

Gli scenari vennero quindi tracciati mediante le seguenti associazioni:

- Aree di frana attiva "Fa" → Z1a
- Aree di frana quiescente "Fq" → Z1b
- Litologie di natura alluvionale, per lo più nel fondovalle → Z4a
- Litologie di natura detritica e di conoide → Z4b
- Aree con caratteristiche geotecniche scadenti (sg) → Z2 indistinta

Si ritiene questa suddivisione sostanzialmente condivisibile, al netto però di alcune considerazioni. Innanzitutto, si ritiene preferibile implementare anche lo scenario Z1c, associandolo alle frane stabilizzate (Fs). Per quanto attiene invece allo scenario Z2, lo scrivente, operando continuamente sul territorio della Val Seriana per lavori sia pubblici che privati, ha più volte avuto modo di verificare come la pedissequa associazione tra "terreni con caratteristiche geotecniche scadenti" e scenari Z2 si sia rivelata eccessiva e spesso inappropriata.

A parte alcuni casi particolari (riempimenti, riporti, depositi lacustri fortemente compressibili, depositi deltizio-lacustri sabbiosi saturi, ecc.), in generale i terreni “scadenti” dal punto di vista geotecnico a Gazzaniga sono costituiti da limi argillosi rossi di spessore variabile tra meno di 1 m fino a ben oltre 10 m, a seconda delle zone, spesso con clasti residuali sparsi. Si tratta di paleosuoli (tipo “Terre Rosse”) talvolta in posto e, in alcuni casi, colluviati. Le loro caratteristiche geomeccaniche sono – in linea molto generale – piuttosto mediocri, tanto da giustificare l’attribuzione di una sottoclasse di criticità geotecnica (“3 sg”), ma non in misura tale da suscitare automaticamente effetti di cedimento o liquefazione, specialmente se si considera che gli spessori sono, in certe zone (specialmente sui rilievi), assai limitati e caratterizzati da fitte alternanze con pinnacoli rocciosi in una configurazione ad organi geologici. Per quanto attiene, in particolare, all’effetto di liquefazione (Z2b), oltre al fatto che il territorio di Gazzaniga non è storicamente soggetto a questo fenomeno, si deve osservare che la falda entro 15 m dal p.c. è presente solo nel fondovalle, dove però prevalgono terreni alluvionali piuttosto grossolani oppure il substrato roccioso argillitico, quindi granulometrie tendenzialmente escludenti il fenomeno; in ogni caso, la verifica a liquefazione (o la verifica delle condizioni di esclusione) è espressamente prevista dalle N.T.C. 2018 per qualsiasi intervento e pertanto deve sempre essere effettuata indipendentemente dalla perimetrazione o meno di uno scenario Z2b. Per quanto riguarda invece l’effetto di cedimento (Z2a), seppure più realisticamente ipotizzabile, certamente non può essere attribuito in modo automatico – a parere dello scrivente – ad aree caratterizzate dalla generica presenza di terre rosse, peraltro non sempre poi così pessime dal punto di vista geotecnico. Si ritiene dunque che lo scenario più corretto da attribuire a queste aree “sg” sia piuttosto quello di amplificazione litologica Z4d, che, nella sua definizione (*argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale*), calza alla perfezione con le litologie limoso-argillose alteritiche e colluviali tipiche degli altopiani di Gazzaniga. Lo scenario Z2 è stato dunque completamente depennato.

Alla luce di quanto detto, la Carta PSL è stata dunque revisionata in modo abbastanza profondo, rivedendo l'attribuzione degli scenari anche sulla scorta delle nuove cartografie tematiche di base, a loro volta rivisitate corposamente. Sono stati scelti, in particolare, i seguenti criteri:

SCENARI DI INSTABILITÀ

Per questa tipologia di fenomeno, si è mantenuto il criterio del 2010, ovvero:

- alle frane attive viene associato lo scenario Z1a;
- alle frane quiescenti viene associato lo scenario Z1b;
- alle frane stabilizzate / paleofrane viene associato lo scenario Z1c;
- alle valanghe “Ve” viene associato lo scenario Z1a.

Si è tuttavia scelto di non associare le “aree ad acclività molto elevata” (sottoclasse “4 er”) ad ambiti Z1, poiché tali aree, nella loro definizione, non dovrebbero essere associate a situazioni di dissesto, ma soltanto di pendenza.

SCENARI DI CEDIMENTO, LIQUEFAZIONE E SPROFONDAMENTO

Esclusi.

SCENARI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per queste tipologie di scenari, sono stati tracciati ambiti lineari di scarpata (Z3a) e cresta/cocuzzolo (Z3b) completamente *ex novo*.

SCENARI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA E GEOMETRICA

Per queste tipologie di scenari, ci si è basati principalmente sulla nuova cartografia geologica, istituendo le seguenti associazioni:

- alle conoidi (identificate sia morfologicamente che mediante la carta P.A.I.-P.G.R.A.) sono stati associati ambiti Z4b;
- alle zone occupate da coltri alteritiche e/o colluviali, nonché alle zone con caratteristiche geotecniche scadenti dei terreni sono stati associati ambiti Z4d;

- alle aree alluvionali di fondovalle, incluse le scarpate conglomeratiche, sono stati associati ambiti Z4a;
- gli ambiti Z4c non sono rappresentati in quanto a Gazzaniga non esistono depositi glaciali.

Si fa notare che gli ambiti Z4a sono stati estesi all'intero fondovalle, comprendendo anche le zone di Via Salici dove in realtà la Carta Geolitologica evidenzia la presenza di substrato roccioso argillitico; ciò perché trattandosi di aree comunque molto vicine al Serio, non si può escludere la presenza di isolati lembi di depositi alluvionali (di entità tale da sfuggire alla cartografia geologica) che potrebbe essere opportuno considerare localmente. In sede di singoli interventi i Professionisti valuteranno quindi l'opportunità o meno di considerare l'effetto Z4a a seconda dell'effettiva stratigrafia riscontrata.

SCENARI DI CONTATTO TRA LITOTIPI MOLTO DIVERSI

Nel territorio comunale non sono stati riconosciuti scenari di questo tipo (Z5).

Purtroppo, risulta materialmente impossibile descrivere puntualmente ogni singola area modificata, visto che la carta è stata completamente revisionata con criteri abbastanza diversi, sulla scorta di nuovi dati e di approcci differenti per alcuni scenari specifici. Si rimanda quindi necessariamente alla consultazione diretta della cartografia di 1° livello per cogliere le differenze zona per zona.

Di fatto, alla luce della nuova classificazione, la maggior parte del territorio di Gazzaniga risulta interessata da almeno un ambito di pericolosità sismica locale, quando non dalla compresenza di più ambiti. Rimangono escluse soltanto le zone di pendio prive di dissesti e con roccia subaffiorante.

Si specifica inoltre che, ai fini di una maggiore lettura della carta, in alcune zone potrebbero essere state introdotte delle lievi semplificazioni per alcuni ambiti di amplificazione (soprattutto Z2 e Z4), anche allo scopo di creare dei comparti morfologicamente omogenei e di buonsenso, includendo per esempio alcune microaree risultanti vuote dal mero incastro degli scenari sismici adiacenti.

A.2 – RELAZIONE GENERALE (Parte II)

Si ricorda infine che, vista la complessità del territorio comunale, gli scenari prospettati sono necessariamente una rappresentazione approssimata, ancorché con il miglior grado di accuratezza possibile, dei possibili effetti di amplificazione locale sul territorio. Per ogni intervento edificatorio, occorrerà quindi controllare a livello locale la validità di quanto prospettato nella Carta PSL, integrando le analisi di 2° o 3° livello con eventuali scenari aggiuntivi qualora riscontrati in sito, anche se non espressamente previsti dallo studio geologico comunale.

7.4 Aggiornamento dell'analisi sismica di 2° livello

7.4.1 Effetto di amplificazione litologica (scenari Z4)

Per l'aggiornamento dell'analisi sismica di 2° livello relativamente all'effetto di amplificazione litologica (scenari Z4), sono stati utilizzati due set di dati:

- n. 15 indagini sismiche di tipo HVSR eseguite appositamente nel 2012 e già dotate di analisi di 2° livello;
- n. 8 indagini sismiche di tipo MASW e HVSR per interventi edificatori pubblici e privati reperite sul territorio e fornite dal Comune;

L'insieme di tutte queste indagini, indicate nella Carta PSL con punti rossi o verdi a seconda del fattore di amplificazione calcolato (rosso nel caso di $F_{ac} > F_{as}$, verde nel caso di $F_{ac} < F_{as}$), ha consentito di coprire adeguatamente il territorio comunale, in particolar modo i centri abitati, considerando che Orezza giace quasi interamente su roccia.

Le procedure di analisi sugli effetti litologici sono state ereditate dagli studi di provenienza, chiunque ne fossero gli autori.

Al fine di snellire il documento, si è deciso di non riportare in questa sede né le basi teoriche relative alle indagini MASW e HVSR (per le quali si rimanda alla letteratura specifica, indicando qui soltanto le caratteristiche salienti delle attrezzature impiegate e dei software di elaborazione), né gli aspetti procedurali delle metodologie regionali per l'analisi di 2° livello (per i quali si rimanda all'Allegato 5 alla D.G.R. 2616/2011); si riportano invece direttamente, nei paragrafi successivi, gli esiti delle analisi su tutte le indagini considerate, sintetizzandole in una tabella.

Sintesi dell'analisi di 2° livello su tutti i punti d'indagine considerati

Di seguito si riassume l'esito delle analisi di 2° livello recuperate.

CONFRONTO CON I VALORI SOGLIA – EFFETTI LITOLOGICI		
CODICE INDAGINE	CATEGORIA DI SUOLO RILEVATA IN SITO	ESITO ANALISI 2° LIVELLO
HVSR_VIABORDOGNI	E	Fac ≤ Fas
HVSR_VIAMANZONI	B	Fac > Fas
HVSR_MOZZO_1	C	Fac > Fas
MASW_MOZZO_1	E	Fac ≤ Fas
MASW_MOZZO_2	C	Fac ≤ Fas
MASW_VIABOSSETTI	B	Fac ≤ Fas
HVSR_CEDRINA	B	Fac > Fas
HVSR_SSV1	B	Fac ≤ Fas
HVSR_SSV2	B	Fac ≤ Fas
HVSR_SSV3	B	Fac ≤ Fas
HVSR_SSV4	B	Fac ≤ Fas
HVSR_SSV5	B	Fac ≤ Fas
HVSR_SSV6	B	Fac ≤ Fas
HVSR_SSV7	B	Fac > Fas
HVSR_SSV8	B	Fac ≤ Fas
HVSR_SSV9	B	Fac ≤ Fas
HVSR_SSV10	B	Fac ≤ Fas
HVSR_SSV11	n/d	analisi non eseguita
HVSR_SSV12	B	Fac > Fas
HVSR_SSV13	B	Fac ≤ Fas
HVSR_SSV14	B	Fac ≤ Fas
HVSR_SSV15	B	Fac > Fas

Come si evince dalla tabella, la situazione è abbastanza eterogenea. La categoria di suolo rilevata strumentalmente più frequente è la B, più raramente la C o la E, e le analisi di 2° livello forniscono risultati differenti, in apparenza senza un particolare criterio di distribuzione spaziale.

Di fatto, per qualsiasi intervento edificatorio, si ritiene opportuno ricalcolare il fattore di amplificazione con un'indagine sito-specifica; questo sia perché l'analisi effettuata in sede pianificatoria non può comprendere l'intero territorio ed è necessariamente indicativa, sia perché il sottosuolo di Gazzaniga è soggetto ad una forte variabilità ed eterogeneità alla scala locale, tale da rendere impossibile la definizione di areali precisi in cui il fattore di amplificazione calcolato sia superiore o inferiore a quello di soglia. Dall'analisi di 2° livello possono emergere dunque due possibili situazioni:

- se il fattore di amplificazione calcolato è inferiore o uguale al valore soglia comunale della categoria di suolo corrispondente (considerando la variabilità di +0,1 sulla soglia), si applica lo spettro previsto dalla normativa, ovvero si mantiene la medesima categoria sismica di suolo rilevata strumentalmente;
- se il fattore di amplificazione calcolato è superiore al valore soglia della categoria di suolo corrispondente (nonostante la variabilità di +0,1 sulla soglia), è necessario sviluppare analisi di 3° livello in fase di progettazione edilizia, oppure utilizzare la categoria di suolo peggiore rispetto a quella rilevata strumentalmente, con il seguente schema:
 - se rilevata la categoria B, si passa alla C;
 - se rilevata la categoria C, si passa alla D;
 - se rilevata la categoria E, si passa alla D;

Note:

- *in caso di categoria rilevata già D con $F_{ac} > F_{as}$, non esistendo una categoria ulteriormente peggiore, va necessariamente sviluppata l'analisi di 3° livello;*
- *il passaggio ad una categoria peggiore può anche essere doppio (ad esempio dalla categoria B alla categoria D), nel caso in cui il fattore calcolato non soddisfi la categoria immediatamente successiva;*

A.2 – RELAZIONE GENERALE (Parte II)

- *se si passa da una categoria B ad una categoria C ma il substrato sismico è posto a meno di 30 m dal p.c., per buonsenso si dovrebbe scalare alla categoria E.*

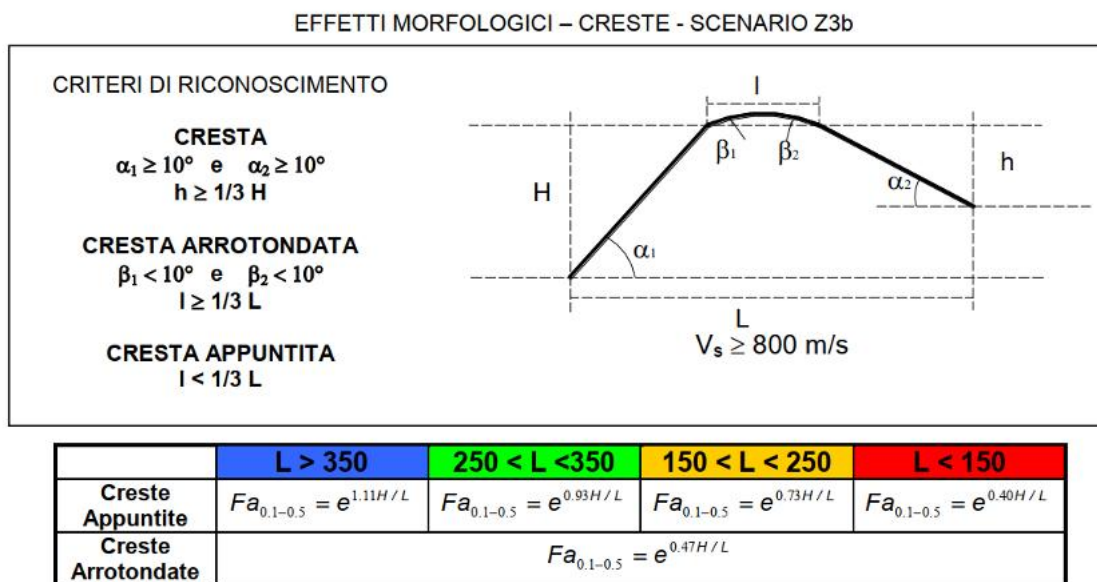
Nella cartografia sono indicate anche alcune analisi sismiche con colore grigio: si tratta delle indagini recuperate in cui non è stata effettuata l'analisi di 2° livello, generalmente per presenza di categoria di suolo A, altre volte per motivazioni che non è sempre stato possibile reperire.

7.4.2 Effetto di amplificazione topografica (scenari Z3)

Per l'aggiornamento dell'analisi sismica di 2° livello relativamente all'effetto di amplificazione topografica (scenari Z3), la procedura regionale è stata applicata da zero, poiché nella precedente versione della componente sismica nulla era stato svolto in tal senso. Sono state quindi selezionate le creste e le scarpate più rilevanti, e sono state sottoposte all'analisi, per un totale di n. 12 creste/cocuzzoli e n. 10 scarpate. Per la ricostruzione dei profili topografici funzionali alle analisi ci si è avvalsi di QGIS, utilizzando come base il DTM5x5 della Val Seriana, giudicato sufficientemente dettagliato per il livello pianificatorio.

Anche in questo caso, si è deciso di non riportare gli aspetti procedurali delle metodologie regionali per l'analisi di 2° livello (per i quali si rimanda all'Allegato 5 alla D.G.R. 2616/2011), sintetizzando direttamente gli esiti delle analisi in una tabella. Ogni cresta o scarpata è stata codificata opportunamente (C1-C12, S1-S10).

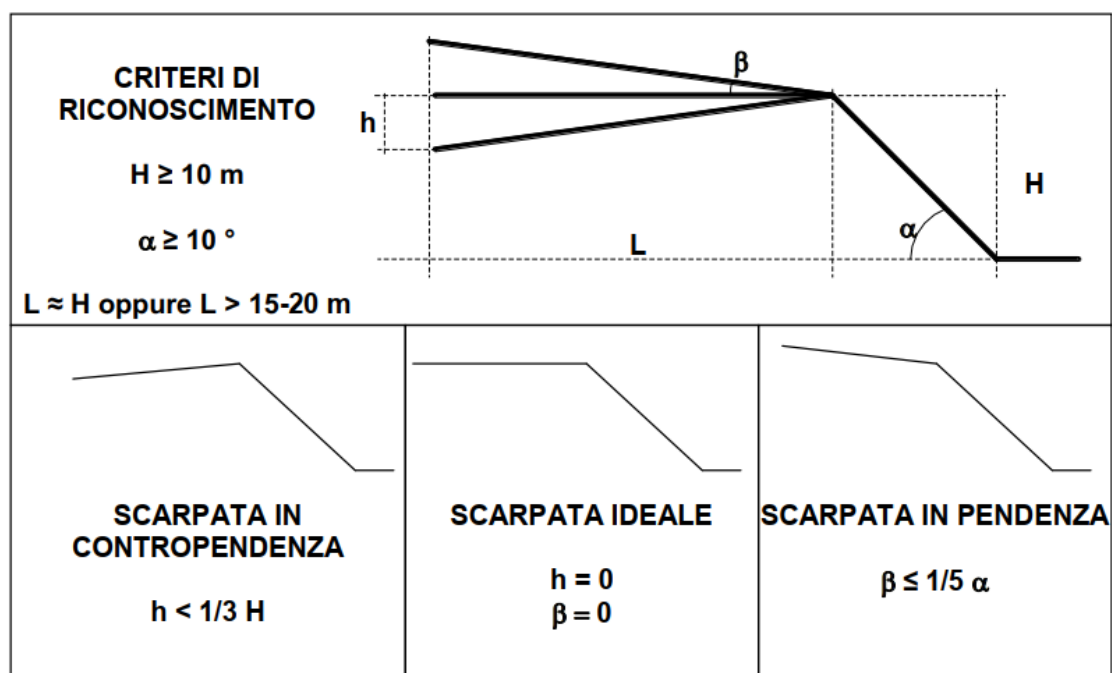
In sostanza, per ciascuna cresta ci si riferisce, ai fini della valutazione del fattore di amplificazione, allo schema riportato nell'Allegato 5 della D.G.R. 2616/2011.



A.2 – RELAZIONE GENERALE (Parte II)

Innanzitutto, si valutano i criteri di riconoscimento, poi si classifica la cresta (appuntita o arrotondata), quindi si seleziona la formula più idonea fra quelle proposte, sulla scorta del valore L misurato direttamente.

Per quanto attiene alle scarpate, si utilizza uno schema ancora più semplice.



Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di $Fa_{0.1-0.5}$	Area di influenza
$10 \text{ m} \leq H \leq 20 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.1	$A_i = H$
$20 \text{ m} < H \leq 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	1.2	$A_i = \frac{3}{4} H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1.1	$A_i = \frac{2}{3} H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1.2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1.3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1.2	
	$\alpha > 70^\circ$	1.1	

Anche in questo caso, innanzitutto si verificano i criteri di riconoscimento, poi si classifica la scarpata (in contropendenza, ideale, in pendenza), infine si determina il valore del fattore di amplificazione più idoneo in base alla classe altimetrica ed alla classe di inclinazione, sulla scorta di misurazioni dirette.

Sia per le creste che per le scarpate, il fattore di amplificazione calcolato viene confrontato con il fattore S_T proposto dalle N.T.C. 2018 per l'effetto di amplificazione topografica, non con i fattori soglia comunali, che vengono utilizzati invece per gli effetti Z4 e nulla hanno a che vedere con gli effetti Z3. I fattori S_T delle N.T.C. 2018 sono i seguenti:

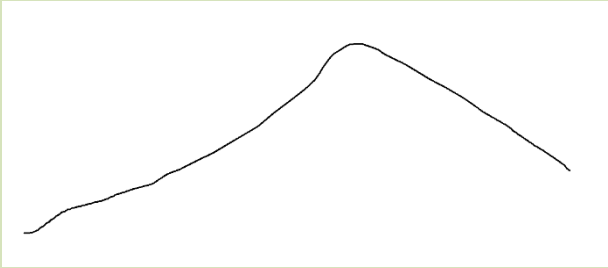
Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

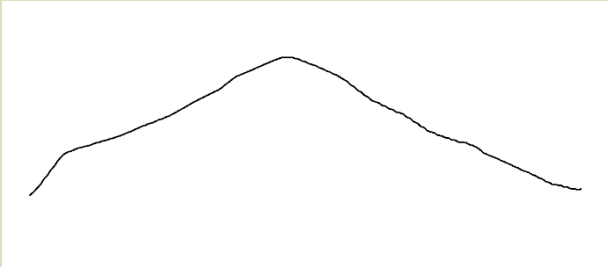
Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°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

In particolare, la categoria T2 viene rapportata alle scarpate (pertanto la soglia massima è 1,2), mentre le categorie T3 e T4 vengono rapportate alle creste (pertanto la soglia massima può essere 1,2 o 1,4 a seconda della pendenza media del rilievo).

Di seguito vengono elaborate le creste e le scarpate. Per ogni elaborazione vengono presentati il profilo topografico, i criteri di riconoscimento, la classificazione e il fattore di amplificazione calcolato. Il confronto con i valori soglia S_T viene effettuato nella tabella riassuntiva finale.

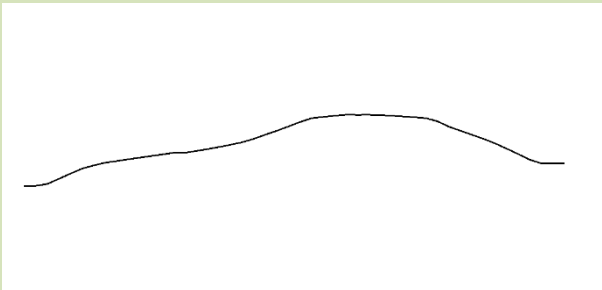
A.2 – RELAZIONE GENERALE (Parte II)

CRESTA C1		
Profilo		
Località	MONTE CEDRINA – CRESTA OVEST	
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI	SODDISFATTI
Classificazione	CRESTA APPUNTITA	CRESTA ARROTONDATA
Fa calcolato	1,5	

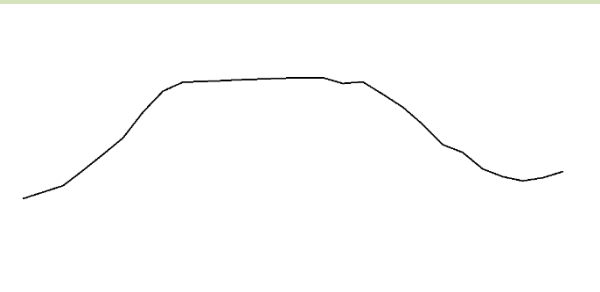
CRESTA C2		
Profilo		
Località	MARTINAS	
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI	NON SODDISFATTI
Classificazione	CRESTA APPUNTITA	CRESTA ARROTONDATA
Fa calcolato	1,3	

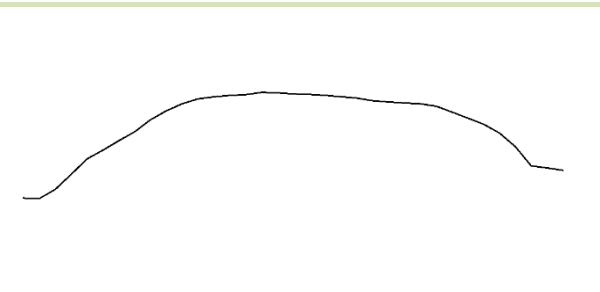
A.2 – RELAZIONE GENERALE (Parte II)

CRESTA C3		
Profilo		
Località	COLLE DI VAL DE GRÜ	
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI	NON SODDISFATTI
Classificazione	CRESTA APPUNTITA	CRESTA ARROTONDATA
Fa calcolato	1,7	

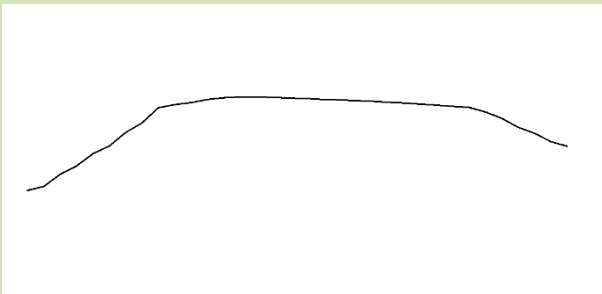
CRESTA C4		
Profilo		
Località	MOZZO NORD	
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI	NON SODDISFATTI
Classificazione	CRESTA APPUNTITA	CRESTA ARROTONDATA
Fa calcolato	1,1	

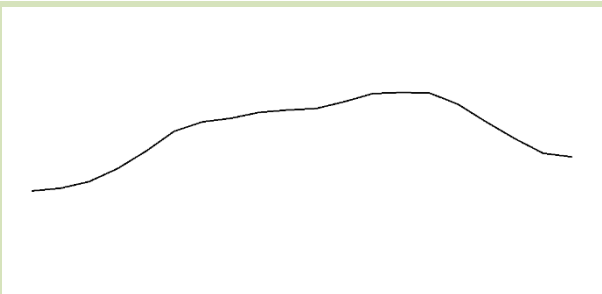
A.2 – RELAZIONE GENERALE (Parte II)

CRESTA C5		
Profilo		
Località	CIMITERO	
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI	NON SODDISFATTI
Classificazione	CRESTA APPUNTITA	CRESTA ARROTONDATA <i>criteri non pienamente soddisfatti</i>
Fa calcolato	1,1	

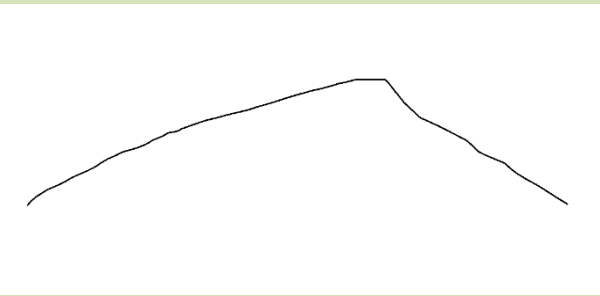
CRESTA C6		
Profilo		
Località	MOZZO SUD	
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI	NON SODDISFATTI
Classificazione	CRESTA APPUNTITA	CRESTA ARROTONDATA <i>criteri non pienamente soddisfatti</i>
Fa calcolato	1,1	

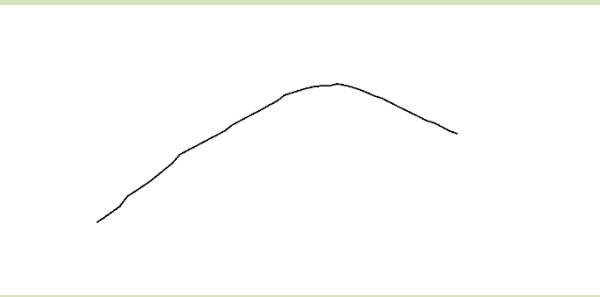
A.2 – RELAZIONE GENERALE (Parte II)

CRESTA C7		
Profilo		
Località	SERGAGNETA	
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI	NON SODDISFATTI
Classificazione	CRESTA APPUNTITA	CRESTA ARROTONDATA
Fa calcolato	1,1	

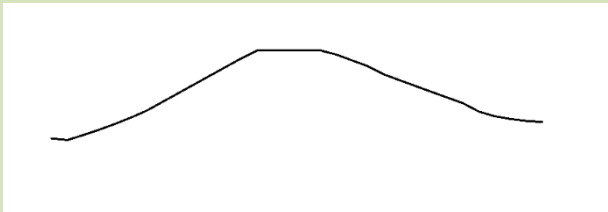
CRESTA C8		
Profilo		
Località	GRUPPO CERETE	
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI	NON SODDISFATTI
Classificazione	CRESTA APPUNTITA	CRESTA ARROTONDATA
Fa calcolato	1,1	

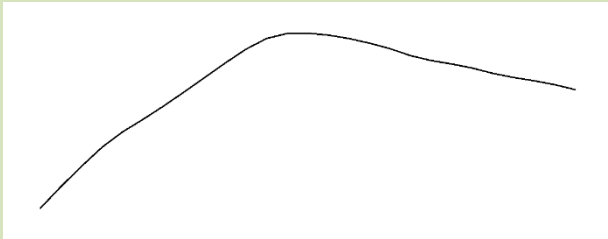
A.2 – RELAZIONE GENERALE (Parte II)

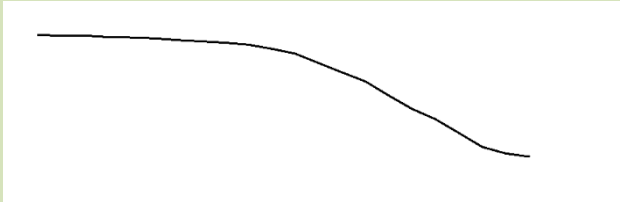
CRESTA C9		
Profilo		
Località	MONTE CEDRINA – CRESTA EST	
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI	NON SODDISFATTI
Classificazione	CRESTA APPUNTITA	CRESTA ARROTONDATA
Fa calcolato	1,3	

CRESTA C10		
Profilo		
Località	GARIMONDI – CRESTA EST	
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI <i>parzialmente</i>	NON SODDISFATTI
Classificazione	CRESTA APPUNTITA	CRESTA ARROTONDATA
Fa calcolato	1,3	

A.2 – RELAZIONE GENERALE (Parte II)

CRESTA C11		
Profilo		
Località	GARIMONDI – CRESTA OVEST	
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI	NON SODDISFATTI
Classificazione	CRESTA APPUNTITA	CRESTA ARROTONDATA
Fa calcolato	1,1	

CRESTA C12		
Profilo		
Località	VAL DE GRÜ	
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI <i>parzialmente</i>	NON SODDISFATTI
Classificazione	CRESTA APPUNTITA	CRESTA ARROTONDATA
Fa calcolato	1,3	

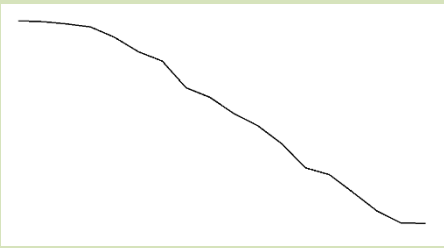
SCARPATA S1			
Profilo			
Località	MASSERINI MARGINE SUD-OVEST		
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI	NON SODDISFATTI	
Classificazione	PENDENZA	CONTROPENDENZA	IDEALE
Fa calcolato	Non calcolato: la scarpata non risponde ai criteri di riconoscimento		

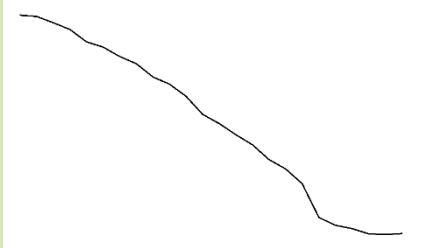
SCARPATA S2			
Profilo			
Località	MASSERINI MARGINE NORD-EST		
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI	NON SODDISFATTI	
Classificazione	PENDENZA	CONTROPENDENZA	IDEALE
Fa calcolato	1,2		

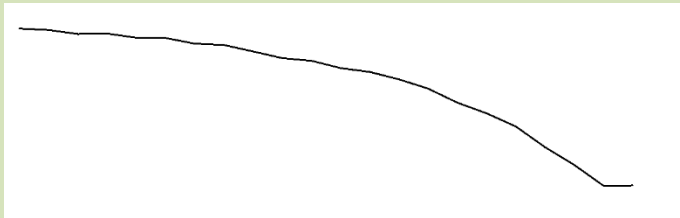
SCARPATA S3			
Profilo			
Località	MOZZO SUD		
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI		NON SODDISFATTI
Classificazione	PENDENZA	CONTROPENDENZA	IDEALE
Fa calcolato	Non calcolato: la scarpata non risponde ai criteri di riconoscimento		

SCARPATA S4			
Profilo			
Località	VIA SAN ROCCO LATO SERGAGNETA		
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI		NON SODDISFATTI
Classificazione	PENDENZA	CONTROPENDENZA	IDEALE
Fa calcolato	1,2		

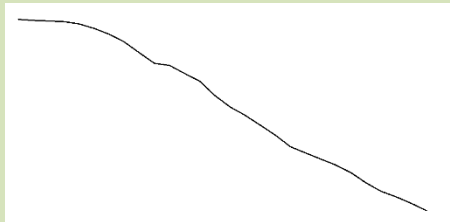
A.2 – RELAZIONE GENERALE (Parte II)

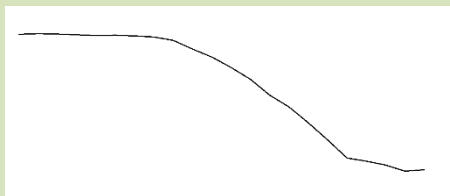
SCARPATA S5			
Profilo			
Località	ROVA – VIA PER OREZZO		
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI		NON SODDISFATTI
Classificazione	PENDENZA	CONTROPENDENZA	IDEALE
Fa calcolato	1,2		

SCARPATA S6			
Profilo			
Località	GANDA LUNGA		
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI		NON SODDISFATTI
Classificazione	PENDENZA	CONTROPENDENZA	IDEALE
Fa calcolato	1,2		

SCARPATA S7			
Profilo			
Località	MOZZO NORD		
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI	NON SODDISFATTI	
Classificazione	PENDENZA	CONTROPENDENZA	IDEALE
Fa calcolato	Non calcolato: la scarpata non risponde ai criteri di riconoscimento		

SCARPATA S8			
Profilo			
Località	CRESTA CENTRALE DEL MONTE CEDRINA		
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI	NON SODDISFATTI	
Classificazione	PENDENZA	CONTROPENDENZA	IDEALE
Fa calcolato	1,3		

SCARPATA S9			
Profilo			
Località	PLATZ		
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI		NON SODDISFATTI
Classificazione	PENDENZA	CONTROPENDENZA	IDEALE
Fa calcolato	1,2		

SCARPATA S10			
Profilo			
Località	SAN ROCCO AL LAGO		
Criteri di riconoscimento	SODDISFATTI		NON SODDISFATTI
Classificazione	PENDENZA	CONTROPENDENZA	IDEALE
Fa calcolato	1,2		

A.2 – RELAZIONE GENERALE (Parte II)

CONFRONTO CON I VALORI SOGLIA – CRESTE				
CRESTA	CLASSIFICAZIONE	FATTORE CALCOLATO	FATTORI SOGLIA DA N.T.C. 2018	ESITO DEL CONFRONTO
C1	Appuntita	1,5	1,2 + 0,1 (T3) 1,4 + 0,1 (T4)	Fac > Fas (T3) Fac ≤ Fas (T4)
C2	Appuntita	1,3	1,2 + 0,1 (T3) 1,4 + 0,1 (T4)	Fac ≤ Fas (T3) Fac ≤ Fas (T4)
C3	Appuntita	1,7	1,2 + 0,1 (T3) 1,4 + 0,1 (T4)	Fac > Fas (T3) Fac > Fas (T4)
C4	Appuntita	1,1	1,2 + 0,1 (T3) 1,4 + 0,1 (T4)	Fac ≤ Fas (T3) Fac ≤ Fas (T4)
C5	Arrotondata	1,1	1,2 + 0,1 (T3) 1,4 + 0,1 (T4)	Fac ≤ Fas (T3) Fac ≤ Fas (T4)
C6	Arrotondata	1,1	1,2 + 0,1 (T3) 1,4 + 0,1 (T4)	Fac ≤ Fas (T3) Fac ≤ Fas (T4)
C7	Arrotondata	1,1	1,2 + 0,1 (T3) 1,4 + 0,1 (T4)	Fac ≤ Fas (T3) Fac ≤ Fas (T4)
C8	Appuntita	1,1	1,2 + 0,1 (T3) 1,4 + 0,1 (T4)	Fac ≤ Fas (T3) Fac ≤ Fas (T4)
C9	Appuntita	1,3	1,2 + 0,1 (T3) 1,4 + 0,1 (T4)	Fac ≤ Fas (T3) Fac ≤ Fas (T4)
C10	Appuntita	1,3	1,2 + 0,1 (T3) 1,4 + 0,1 (T4)	Fac ≤ Fas (T3) Fac ≤ Fas (T4)
C11	Appuntita	1,1	1,2 + 0,1 (T3) 1,4 + 0,1 (T4)	Fac ≤ Fas (T3) Fac ≤ Fas (T4)
C12	Appuntita	1,3	1,2 + 0,1 (T3) 1,4 + 0,1 (T4)	Fac ≤ Fas (T3) Fac ≤ Fas (T4)

Dalla tabella riassuntiva emerge come i fattori di amplificazione calcolati per le creste siano inferiori ai corrispondenti valori soglia delle N.T.C. 2018 (considerando la variabilità di +0,1 ammessa dalla normativa) nella stragrande maggioranza dei casi. Fanno eccezione una cresta in cui il fattore calcolato è pari a 1,5, quindi uguale al fattore soglia (1,4) se si considera la categoria topografica T4 con la variabilità di +0,1, ma superiore se si considera la categoria topografica T3, ed una in cui il fattore calcolato è pari a 1,7, quindi superiore ad entrambe le categorie topografiche.

Di fatto, per qualsiasi intervento specifico interferente con una cresta, si ritiene opportuno ricalcolare il fattore di amplificazione con una sezione *ad hoc*, adeguatamente posizionata, individuando anche la categoria topografica più idonea (T3 o T4) per istituire il confronto con il valore calcolato; questo perché l'analisi effettuata in sede pianificatoria non può considerare ogni singola cresta (soprattutto le creste più piccole) ed è necessariamente indicativa. Dall'analisi di 2° livello possono emergere due possibili situazioni:

- se il fattore di amplificazione calcolato è inferiore o uguale al valore soglia della categoria topografica corrispondente (considerando la variabilità di +0,1 sulla soglia), si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- se il fattore di amplificazione calcolato è superiore al valore soglia della categoria topografica corrispondente (nonostante la variabilità di +0,1 sulla soglia), è necessario sviluppare analisi di 3° livello in fase di progettazione edilizia; tali analisi sono comunque richieste per edifici flessibili dotati di sviluppo verticale indicativamente compreso tra 5 e 15 piani.

CONFRONTO CON I VALORI SOGLIA – SCARPATE				
SCARPATA	CLASSIFICAZIONE	FATTORE CALCOLATO	FATTORI SOGLIA DA N.T.C. 2018	ESITO DEL CONFRONTO
S1	In pendenza	criteri di riconoscimento non soddisfatti		
S2	In contropendenza	1,2	1,2 + 0,1 (T2)	Fac ≤ Fas
S3	In pendenza	criteri di riconoscimento non soddisfatti		
S4	In pendenza	1,2	1,2 + 0,1 (T2)	Fac ≤ Fas
S5	In pendenza	1,2	1,2 + 0,1 (T2)	Fac ≤ Fas
S6	In pendenza	1,2	1,2 + 0,1 (T2)	Fac ≤ Fas
S7	In pendenza	criteri di riconoscimento non soddisfatti		
S8	Ideale	1,3	1,2 + 0,1 (T2)	Fac ≤ Fas
S9	In pendenza	1,2	1,2 + 0,1 (T2)	Fac ≤ Fas
S10	In pendenza	1,2	1,2 + 0,1 (T2)	Fac ≤ Fas

Per quanto attiene alle scarpate analizzate, in tutti i casi la normativa è sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione topografica, poiché risulta sempre un fattore calcolato inferiore o uguale al fattore soglia della categoria topografica T2, considerando la variabilità di +0,1. Di fatto, per qualsiasi intervento specifico interferente con una scarpata, allo stesso modo delle creste, si ritiene opportuno ricalcolare il fattore di amplificazione con una sezione *ad hoc*, adeguatamente posizionata; questo perché l'analisi effettuata in sede pianificatoria non può considerare ogni singola scarpata (soprattutto le più piccole) ed è necessariamente indicativa. Dall'analisi di 2° livello possono emergere due possibili situazioni:

- se il fattore di amplificazione calcolato è inferiore o uguale al valore soglia della categoria topografica corrispondente (considerando la variabilità di +0,1 sulla soglia), si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- se il fattore di amplificazione calcolato è superiore al valore soglia della categoria topografica corrispondente (nonostante la variabilità di +0,1 sulla soglia), è necessario sviluppare analisi di 3° livello in fase di progettazione edilizia; tali analisi sono comunque richieste per edifici flessibili dotati di sviluppo verticale indicativamente compreso tra 5 e 15 piani.

7.5 Analisi sismica di 3° livello

L'analisi di 3° livello viene effettuata esclusivamente in sede progettuale per i seguenti scenari:

- instabilità (Z1a-b-c);
- cedimento (Z2a), *non presente a Gazzaniga*;
- liquefazione (Z2b), *non presente a Gazzaniga*;
- sprofondamento, sinkhole, occhi pollini e simili (Z2c), *non presente a Gazzaniga*;
- amplificazione topografica, in caso di superamento dei valori soglia o per volontà di maggiore approfondimento (Z3a-b);
- amplificazione litologica, in caso di superamento dei valori soglia o per volontà di maggiore approfondimento (Z4a-b-c-d).

Per ciascuna tipologia di scenario, l'analisi di 3° livello prevede contenuti mirati, per i quali si rimanda alla D.G.R. 2616/2011 Allegato 5. Non esiste, quindi, una procedura generale per l'analisi di 3° livello, ma si dovranno seguire procedure specifiche (accompagnate dalle relative indagini) a seconda dello scenario prospettato.

8. CONCLUSIONI

Il presente lavoro, nella sua complessità, rappresenta un aggiornamento molto consistente del precedente studio geologico comunale. L'imponente attività di rilevamento in terreno svolta, le conoscenze pregresse dello scrivente, i contributi esterni pervenuti rappresentano, nel loro insieme, a parere dello scrivente, un fondamentale passo in avanti nel quadro della conoscenza geologica complessiva di Gazzaniga, con tutte le ricadute positive sulla pianificazione urbanistica, la protezione civile, l'individuazione delle aree meritorie di interventi di mitigazione del rischio o di difesa. Il contestuale aggiornamento del Documento di Polizia Idraulica costituisce poi un ulteriore valore aggiunto.

Il territorio di Gazzaniga appare complesso, ricco di elementi di pregio geologico e, nel contempo, di aree critiche sia dal punto di vista del dissesto idrogeologico che della vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee. Non mancano i fenomeni valanghivi – seppure molto limitati – né soprattutto le aree esondative lungo i corsi d'acqua. A tal proposito, si vuole rimarcare con particolare rilievo come i numerosi corsi d'acqua tombinati al di sotto dei centri abitati del fondovalle – incluso il centro storico – spesso tra l'altro in situazioni di commistione con la fognatura o comunque con acque non naturali, rappresentino una spina nel fianco del territorio comunale, costituendo infatti situazioni di potenziale rischio tutt'altro che trascurabili. Si raccomanda quindi all'Amministrazione Comunale di mantenere sempre un elevato livello di guardia nei confronti del dissesto e delle problematiche ambientali, eventualmente anche tramite specifiche azioni di monitoraggio del territorio, nonché di considerare con particolare attenzione l'attuazione di tutte le possibili misure strutturali e non strutturali atte a mitigare la problematica del dissesto idrogeologico.

Si coglie l'occasione per ringraziare per la collaborazione alla stesura del presente lavoro (e del Documento di Polizia Idraulica), in particolar modo, l'Ufficio Tecnico comunale, il personale di Uniacque, nonché i Professionisti che compongono il team di redazione del Piano di Governo del Territorio.

**AGGIORNAMENTO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA
DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DI GAZZANIGA (BERGAMO)**

A.2 – RELAZIONE GENERALE (Parte II)

Leffe, febbraio 2025 (revisione)

Dott. Geol. Daniele Moro
O.G.L. A.P. n. 1723 sezione A

