



studio associato

Via Giorgio e Guido Paglia, n° 21 – 24122 **BERGAMO** – e-mail: bergamo@eurogeo.net
Tel. +39 035 248689 – Fax +39 035 271216

REL. SS-7 15/09/2017

Comune di Casnigo

Via Raimondo Ruggeri, 38 – Casnigo (BG)



AGGIORNAMENTO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL P.G.T.

ai sensi della D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011

Relazione Geologica

Bergamo, febbraio 2018





SOMMARIO

1	INTRODUZIONE	5
2	ANALISI DELLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (TAV. 1)	6
2.1	Introduzione	6
2.2	Zonazione della pericolosità sismica locale (Tav. 1)	9
2.2.1	<u>Primo livello</u>	9
2.2.2	<u>Secondo livello</u>	11
2.2.3	<u>Terzo Livello</u>	23
3	CARTA DEI VINCOLI (TAV. 2)	27
3.1	P.G.R.A. – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni	28
3.2	Aree di dissesto con legenda uniformata al P.A.I. (TAV. 5)	30
3.2.1	<u>Aree di dissesto P.A.I.</u>	30
3.2.2	<u>Aree a rischio idrogeologico molto elevato</u>	33
4	CARTA SINTESI (TAV. 3)	37
4.1	Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti	37
4.2	Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico:	38
4.3	Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico:	39
4.4	Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche:	39
5	CARTA DI FATTIBILITÀ DELLE AZIONI DI PIANO (TAV. 4)	41
5.1	Classi di fattibilità geologica	41
5.2	La fattibilità geologica nel comune di Casnigo	43
5.2.1	<u>Classe 2</u>	43
5.2.2	<u>Classe 3</u>	44
5.2.3	<u>Classe 4</u>	46
5.3	Normativa sismica	47
5.3.1	<u>Effetti di instabilità (PSL Z1)</u>	47
5.3.2	<u>Zone con terreni di fondazioni particolarmente scadenti (PSL Z2)</u>	48
5.3.3	<u>Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3)</u>	48
5.3.4	<u>Norme derivanti dall'azzoneamento P.A.I. a livello locale</u>	49
5.3.5	<u>Effetti di amplificazione litologica (PSL Z4)</u>	50

ALLEGATI FUORI NUMERAZIONE

- 1 Estratto della relazione e delle tavole dello studio "Zonazione della pericolosità e del rischio di caduta massi", (Eurogeo 2005).
- 2 PROPOSTA DI RIPERIMETRAZIONE AREA DI FRANA ATTIVA (Fa) Studio di approfondimento geologico secondo le procedure di cui all'allegato 2 della D.G.R. 30 novembre 2011 – 9/2616 – ex cementificio "DO.MA.DE."



TAVOLE

- 1N CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (scala 1:5.000);
- 1S CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (scala 1:5.000);
- 2 CARTA DEI VINCOLI (scala 1:10.000);
- 3N CARTA DI SINTESI (scala 1:5.000);
- 3S CARTA DI SINTESI (scala 1:5.000);
- 4N CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO (scala 1:5.000);
- 4S CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO (scala 1:5.000);
- 5 CARTA PAI-PGRA (scala 1:10.000).



1 INTRODUZIONE

Nel 2011 lo Studio Associato EUROGEO ha redatto la componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT ai sensi della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008, approvato con D.C.C. n. 17 del 04/05/2011.

Tale studio viene di seguito aggiornato in ottemperanza alla D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011 e alla modifica nella zonazione sismica introdotta dalla D.G.R. 9/2129 del 2014.

Con la D.G.R. 9/2129 del 11 luglio 2014 a tutti i comuni della provincia di Bergamo è stata infatti assegnata la zona sismica 3. Nel caso del comune di Casnigo, precedentemente classificato in zona 4, tale modifica ha comportato l'adeguamento dell'analisi sismica allegata allo studio del 2011.

Sono stati inoltre recepiti: il P.G.R.A. (Piano di gestione dei rischi di alluvione), ai sensi della D.G.R. 19 giugno 2017 10/6738, con conseguente proposta di modifica del mosaico del dissesto P.A.I. e gli studi di approfondimento redatti ai sensi dell'Allegato 2 della D.G.R. 9/2616 per la ripermimetrazione di tre aree di frana attiva (Fa).

È stato infine consultato lo studio idrogeologico, idraulico e ambientale del torrente Romna, ancora in fase di validazione, commissionato da Regione Lombardia – UTR Bergamo in convenzione con la Comunità Montana Valle Seriana.

Gli elementi territoriali di base quali la geologia, la geomorfologia, l'idrogeologia e la litologia, riconosciuti con il rilevamento in situ e mediante l'analisi fotointerpretativa, insieme alla carta della pericolosità sismica, sono riportati nelle tavole allegato allo studio redatto nel 2011, al quale si rimanda per eventuali approfondimenti.

L'aggiornamento propone la modifica delle tavole dei Vincoli, di Sintesi, del PAI e della carta della Fattibilità.



2 ANALISI DELLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE (TAV. 1)

2.1 Introduzione

L'analisi sismica è articolata in tre livelli successivi di approfondimento implementati in relazione alla zona sismica di appartenenza del comune (D.G.R. 9/2129 del 11 luglio 2014), agli scenari di pericolosità sismica locale e alla tipologia delle costruzioni in progetto (allegato 5 alla D.G.R. 9/2616).

Le zone sismiche sono quattro e sono così definite:

TAB. 1: ZONE SISMICHE

Zona	Valori di a_g
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

dove a_g è il valore dell'accelerazione orizzontale massima espresso come frazione della gravità (g).

Il territorio comunale di Casnigo ricade nella zona sismica 3.

I livelli di approfondimento e le fasi di applicazione richieste dalla normativa sono riassunti nella tabella seguente.

TAB. 2: LIVELLI DI APPROFONDIMENTO E FASI DI APPLICAZIONE DELLA NORMATIVA SULLA ZONIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

zona sismica	livelli di approfondimento e fasi di applicazione		
	1° livello fase pianificatoria	2° livello fase pianificatoria	3° livello fase progettuale
3	obbligatorio	nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	- nelle aree indagate con il 2° livello quando F_a calcolato > valore soglia comunale; - nelle zone PSL Z1, Z2.

Ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione non è valutata riferendosi a una zona sismica territorialmente definita, bensì sito per sito, in base ai valori riportati nell'Allegato B al citato D.M.. La suddivisione del territorio lombardo in zone sismiche, ai sensi della D.G.R. 9/2129 del



11 luglio 2014, individua unicamente l'ambito di applicazione dei vari livelli di approfondimento in fase pianificatoria.

Il primo livello di approfondimento comporta il riconoscimento delle aree nelle quali è possibile un'amplificazione dell'effetto sismico sulla base delle caratteristiche litologiche, geotecniche e morfologiche ricavabili dalle carte tematiche di inquadramento e confrontate con gli scenari previsti dalle direttive tecniche (Tab. 3).

A ciascuna area così individuata è attribuita una classe di pericolosità sismica e il relativo livello di approfondimento. Le campiture che definiscono gli scenari di pericolosità sismica locale sono rappresentate nell'omonima tavola (TAV. 1).

Il secondo livello di approfondimento consente di verificare se i valori di spettro elastico previsti dal D.M. 14 gennaio 2008, sono adatti alle tipologie delle opere in progetto oppure se è necessario implementare il terzo livello di analisi per la definizione di nuovi spettri.

TAB. 3: SCENARI DI PERICOLOSITÀ, EFFETTI E CLASSI DI PERICOLOSITÀ ASSOCIATE

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari saturi	Liquefazione
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

L'analisi di terzo livello prevede un approccio quantitativo. Deve essere sempre applicata per l'analisi degli effetti di instabilità (PSL Z1), per l'analisi del potenziale di liquefazione del terreno (Z2) e nel caso di progetti che prevedano la realizzazione di edifici con struttura flessibile e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani nelle zone di amplificazione topografica (PSL Z3). In tutti gli altri casi, aree soggette ad amplificazione litologica (PSL Z4) e topografica, il terzo livello di



approfondimento sismico va applicato quando i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia non sono verificati.

Con gli aggiornamenti alle direttive tecniche contenute nella D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011 tale approfondimento deve essere preceduto dall'analisi della classe sismica di appartenenza del suolo.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si definiscono infatti le seguenti categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni).

A - *Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi* caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3 metri.

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 tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$, o coesione non drenata $C_u > 250$ kPa).

C - *Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o di argille di media consistenza*, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < C_u < 250$ 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 ($N_{spt} < 15$, $C_u < 70$ kPa).

E - *Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali*, con valori di V_{s30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m e giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{s30} > 800$ m/s.



2.2 Zonazione della pericolosità sismica locale (Tav. 1)

2.2.1 Primo livello

Con il primo livello di analisi il territorio di Casnigo è stato suddiviso in nove zone diverse, tra classi e sottoclassi di Pericolosità Sismica Locale, oltre alle aree miste.

Classe Z1 – In questa classe sono raggruppate le aree dove un potenziale evento sismico può causare effetti di instabilità.

Sono distinti i seguenti scenari:

- **Z1a:** movimenti franosi attivi con pericolosità H3; non sono previsti ulteriori livelli di analisi oltre al primo poiché queste aree ricadono in classe di fattibilità 4.
- **Z1b:** movimenti franosi quiescenti e zone potenzialmente franose o esposte a pericolo di frana con pericolosità H2; il progetto di edifici ricadenti nel perimetro di questo scenario richiede il terzo livello di approfondimento;
- **Z1c:** comprende le zone potenzialmente franose o esposte a rischio frana; il progetto di edifici ricadenti nel perimetro di questo scenario richiede il terzo livello di approfondimento.

Classe Z2 – In questa classe sono compresi i terreni di fondazione particolarmente scadenti ed è stata assegnata a quelle aree con forti eterogeneità litologiche naturali e/o antropiche.

Classe Z3 – In questo ambito sono comprese le aree soggette ad amplificazione topografica il cui sottosuolo è costituito da terreni con **andamento delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (Vs)** maggiore o uguale a 800 m/s. Questo scenario richiede il secondo livello di approfondimento ed eventualmente il terzo in fase progettuale.

Sono distinti i seguenti scenari:

- **Z3a:** zona di ciglio con altezza maggiore di 10 metri (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica). A questo settore è assegnata la classe di pericolosità H2.



- **Z3b**: zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo appuntita/arrotondata. A questo settore è assegnata la classe di pericolosità H2.

Gli scenari di pericolosità sismica locale **Z3a**, zona di ciglio, e **Z3b**, zona di cresta rocciosa, sono rappresentati nella carta della pericolosità sismica locale da linee.

Il *Fattore di Amplificazione* deve essere calcolato per la quota di cresta o di ciglio e successivamente interpolato linearmente sino alla base del pendio dove assume valore pari all'unità. Possono pertanto essere soggette ad amplificazione topografica anche aree non collocate nelle immediate vicinanze delle creste e delle scarpate.

Classe Z4 – In questo ambito sono raggruppate le aree soggette ad amplificazione litologica e geometrica. A questo scenario è associata la classe di pericolosità H2.

Sono distinti i seguenti scenari:

- **Z4a**: terreni di fondovalle formati da depositi alluvionali e/o fluvioglaciali con tessitura mista; a essa sono associati i depositi terrazzati che occupano il fondovalle del Fiume Serio e del Torrente Romna.
- **Z4b**: comprende le zone pedemontane formate da falde di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre.
- **Z4d**: argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale. Questa classe è stata assegnata alla copertura di loess del terrazzo di Casnigo e ai depositi eluvio colluviali in località Bondo.

In fase progettuale è prevista l'analisi di terzo livello delle amplificazioni litologiche solo qualora l'analisi di secondo livello non soddisfi i valori soglia del *Fattore di Amplificazione (Fa)* fissati dalla Regione Lombardia.

Dove vi è concomitanza di più classi sono state impiegate campiture miste. Questo vale per gli scenari:

- Z1a-Z1b-Z1c/Z2 lungo il versante occidentale del terrazzo di Casnigo (il settore compreso tra il cimitero e la strada di via Ripa Pi) e quello opposto (la zona compresa tra la via Carrali, il centro sportivo comunale e la via Trieste);
- Z1a-Z1b/Z4a lungo i fondovalle del fiume Serio e del torrente Romna in sovrapposizione con le aree potenzialmente interessate da rotolamento massi.



- Z1a-Z1b/Z4b nelle aree di sovrapposizione tra i depositi di conoide e il rischio di rotolamento massi;
- Z2/Z4d sul terrazzo di Casnigo;
- Z3 si sovrappone agli altri scenari poiché la sua definizione è basata su un criterio morfologico diversamente dalle altre classi che utilizzano quello litologico.

2.2.2 Secondo livello

La procedura di secondo livello si applica alle zone con Pericolosità Sismica Locale Z3 e Z4. Consiste in una valutazione semiquantitativa della risposta sismica dei terreni in termine di *Fattore di amplificazione (Fa)* e nel confronto con i valori soglia del territorio comunale stabiliti dalla Regione Lombardia (Tab. 4).

TAB. 4: VALORI DI SOGLIA PER IL COMUNE DI CASNIGO

	Creste e scarpate	suolo tipo A	suolo tipo B	suolo tipo C	suolo tipo D	suolo tipo E
periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	1,4 – 1,2		1,4	1,8	2,2	2,0
periodo compreso tra 0,5 – 1,5 s	//		1,7	2,4	4,2	3,1

L'individuazione dei fattori di amplificazione è stata ottenuta ottemperando ai criteri contenuti nell'allegato 5 della D.G.R. 9/2616.

La procedura di calcolo del *fattore di amplificazione (Fa)* varia a seconda se si calcolano gli effetti morfologici (scenari Z3) piuttosto degli effetti litologici (scenari Z4).

Nelle aree che ricadono nello scenario Z3, la procedura presuppone l'identificazione del tipo di rilievo morfologico mediante la misura di parametri quali l'altezza del rilievo, la larghezza della base e l'estensione della cresta. La stima del *Fa* avviene mediante l'utilizzo delle schede morfologiche preparate dalla Regione Lombardia (Allegato 1).

La procedura di valutazione degli effetti litologici (scenari Z4) presuppone la conoscenza della litologia dei materiali presenti, della stratigrafia del sito e dell'andamento delle **velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (Vs)** nel primo sottosuolo. Mediante queste informazioni e l'utilizzo delle schede litologiche preparate dalla Regione Lombardia è possibile la stima del *Fa*.



2.2.2.1 Applicazione del secondo livello per le aree soggette ad amplificazione topografica

La procedura consente la stima del *fattore di amplificazione* negli scenari di cresta rocciosa, scarpata o cocuzzolo, caratterizzati da pendii con inclinazione di almeno 10° e i cui rilievi sono costituiti da materiale con $V_s \geq 800$ m/s.

La procedura di secondo livello per gli effetti morfologici fornisce valori del *Fa* solo per l'intervallo 0,1 – 0,5 a causa di alcune limitazioni del metodo di calcolo utilizzato per la preparazione delle schede di valutazione.

Una volta individuate le creste e/o le scarpate, sono stati ricavati i parametri geometrici delle forme (Figure 1 e 2), secondo i modelli stabiliti dalla Regione Lombardia.

Zona di ciglio

La zona di ciglio è caratterizzata da irregolarità con fronti di altezza (H) maggiore o uguale a 10 metri e inclinazione (α) del fronte principale maggiore o uguale a 10° .

- le scarpate sono suddivise in tre tipologie (Figura 1):
 - scarpate ideali con fronte superiore orizzontale;
 - scarpate in pendenza con fronte superiore inclinato nello stesso verso del fronte principale;
 - scarpate in contropendenza con fronte superiore inclinato nel verso opposto rispetto al fronte principale.

L'altezza H esprime la differenza di quota tra il piede ed il ciglio del fronte principale. La geometria del fronte superiore è espressa dal parametro h, al quale corrisponde la differenza di quota tra il ciglio del fronte principale e la prima evidente irregolarità morfologica.

Sono da considerare scarpate solo quelle situazioni che presentano:

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

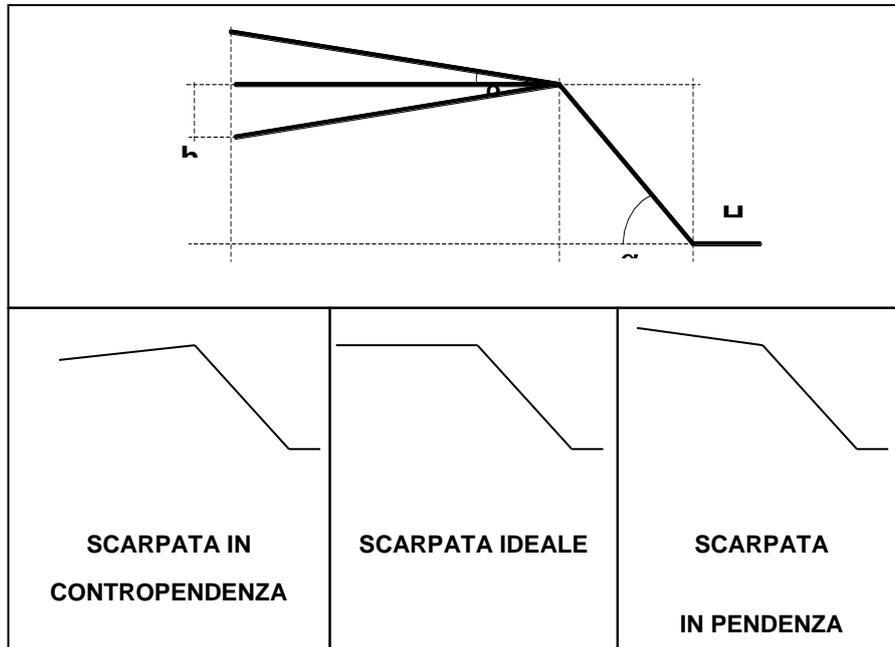


Figura 1: Estratto della scheda per il riconoscimento della tipologia di scarpata (Allegato 1)

Il F_a è da assegnare utilizzando lo schema contenuto nella tabella 5, i cui dati di ingresso descrivono la geometria della scarpata.

TAB. 1: SCHEMA PER L'ASSEGNAZIONE DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE ED IL CALCOLO DELL'AREA DI INFLUENZA A MONTE DEL CIGLIO SUPERIORE DELLA SCARPATA.

Classe altimetrica	Classe di inclinazione	Valore di F_a	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	$A_i = 3/4 H$
$H > 40 \text{ m}$	$10^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$	1,1	$A_i = 2/3 H$
	$20^\circ < \alpha \leq 40^\circ$	1,2	
	$40^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1,3	
	$60^\circ < \alpha \leq 70^\circ$	1,2	
	$\alpha > 70^\circ$	1,1	

Il F_a assegnato al ciglio superiore della scarpata principale va scalato linearmente fino ad assumere valore pari all'unità all'interno della relativa area di influenza.

Zona di cresta rocciosa

Le creste rocciose sono suddivise in due categorie:

- creste appuntite: caratterizzate da un rilievo con una larghezza di cresta (l) molto inferiore alla larghezza della base (L);



- creste arrotondate: caratterizzate da un rilievo con una larghezza di cresta paragonabile a quella della base oppure pari ad almeno 1/3 di essa; la zona di cresta deve essere pianeggiante o sub-pianeggiante con inclinazioni inferiori ai 10°.

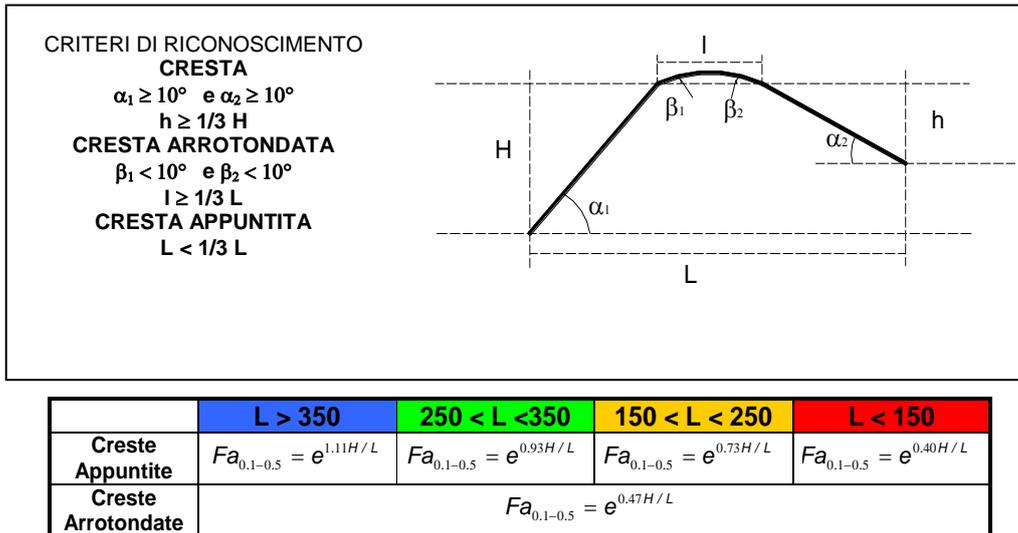


Figura 2: Estratto della scheda per il riconoscimento della tipologia di cresta ed il calcolo del fattore di amplificazione (Allegato 1)

I parametri che descrivono la morfologia della cresta e che consentono l'utilizzo della scheda di valutazione sono i seguenti:

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

All'interno della scheda di valutazione sono state scelte, per ogni rilievo analizzato, le curve più appropriate per il calcolo del fattore di amplificazione nell'intervallo 0,1 – 0,5.

Il Fa calcolato, approssimato alla prima cifra decimale, va assegnato all'area corrispondente alla larghezza di cresta (l). Lungo il versante il Fa si scala linearmente sino ad assumere valore pari all'unità alla base del pendio.

Successivamente tale valore deve essere confrontato con i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia.



Valori soglia per il fenomeno dell'amplificazione topografica

Sono riportati i valori soglia (St) desunti dalle recenti Norme tecniche per le Costruzioni 2008 (Tab. 2) che vanno considerati con un margine di errore di $\pm 0,1$.

TAB. 2: VALORI SOGLIA ST (NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI 2008 - NTC08).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica		St
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $1 \leq 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Analisi dei risultati ottenuti

L'analisi di secondo livello per il fenomeno dell'amplificazione topografica è stata condotta prendendo in considerazione le creste e le scarpate morfologiche più significative presenti sul territorio.

Sono state analizzate 14 sezioni topografiche, 12 relative allo scenario delle scarpate (Z3a) e 2 relative allo scenario delle creste principali (Z3b).

L'applicazione della procedura semplificata per il calcolo del *Fattore di Amplificazione* ha permesso ottenere i *Fa* di sito. I *Fa* sono stati successivamente confrontati con i relativi valori soglia (tabella 7).

I *Fa* calcolati sono risultati sempre inferiori al valore soglia.

In tre profili i *Fattori di Amplificazione* sono risultati leggermente più alti della soglia ma comunque contenuti nella variabilità accettata del dato ($\pm 0,1$).



TAB. 3: CONFRONTO TRA I VALORI CALCOLATI E I VALORI SOGLIA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE.

Sezione	Scenario	Fa	Soglia	
C 1	Cresta appuntita	1,4	1,4	T4
			1,2	T3
C 2	Cresta appuntita	1,3	1,4	T4
			1,2	T3
			1,2	T3
S 1	Scarpata	1,2	1,2	T2
S 2	Scarpata	1,2	1,2	T2
S 3	Scarpata	1,2	1,2	T2
S 4	Scarpata	1,2	1,2	T2
S 5	Scarpata	1,2	1,2	T2
S 6	Scarpata	1,3	1,2	T2
S 7	Scarpata	1,1	1,2	T2
S 8	Scarpata	1,2	1,2	T2
S 9	Scarpata	1,2	1,2	T2
S 10	Scarpata	1,2	1,2	T2
S 11	Scarpata	1,3	1,2	T2
S 12	Scarpata	1,3	1,2	T2



2.2.2.2 Applicazione del secondo livello per le aree soggette ad amplificazione litologica

Procedura

Il primo punto della procedura di secondo livello prevede l'identificazione della litologia prevalente e il raffronto del profilo delle **Vs** con l'apposito abaco contenuto nelle schede fornite dalla Regione Lombardia.

Attualmente sono disponibili 6 schede per 6 differenti litologie prevalenti.

Una volta individuata la scheda di riferimento, è stato verificato l'andamento delle **Vs** con la profondità utilizzando gli abachi riportati nelle schede di valutazione.

Nel caso in cui l'andamento delle **Vs** con la profondità non ricada nel campo di validità della scheda litologica corrispondente deve essere utilizzata la scheda che presenta l'andamento delle **Vs** più simile a quello riscontrato nell'indagine. In alcuni casi la valutazione del *fattore di amplificazione* è stata eseguita utilizzando più di una scheda e scegliendo la situazione più cautelativa.

Ove possibile è stata utilizzata la scheda litologica corrispondente, negli altri casi è stata utilizzata la curva con maggiore approssimazione per la stima del valore di *Fa* negli intervalli 0,1 – 0,5 s e 0,5 – 1,5 s.

Il periodo proprio del sito (T) è stato calcolato considerando la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità **Vs** è uguale o maggiore a 800 m/s, mediante la seguente equazione:

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

dove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo.

Laddove le prospezioni non abbiano investigato una profondità tale da raggiungere strati con **Vs** = 800 m/s, tale limite è stato interpolato manualmente.



Il *fattore di amplificazione* ottenuto, con un'approssimazione di +0,1 è stato confrontato con i valori soglia stabiliti dalla Regione Lombardia.

Lo sviluppo della velocità delle onde S con la profondità è stato ottenuto mediante prospezioni geofisiche di tipo MASW ubicate negli scenari di Pericolosità Sismica Locale Z4a, Z4b, Z4c e Z4d (Allegato 2).

La metodologia MASW

Teoria

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (**V_s**), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle **V_s**.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Questa similitudine permette di ottenere,



con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione. MASW può essere efficace con anche solo dodici canali di registrazione collegati a geofoni singoli a bassa frequenza (<10Hz).

Le onde di dispersione superficiali si caratterizzano per la relazione tra la frequenza, l'energia e la capacità di penetrazione. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde sono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

Procedura in sito

Ciascuna base sismica è stata ottenuta con la stesa di un cavo sismico per una lunghezza di 24 o di 48 metri con 24 geofoni e una spaziatura dei punti di ricezione pari a 1 o 2 metri a seconda della situazione morfologica dell'area indagata. Per ogni linea sismica sono stati impostati due punti di energizzazione (shots), tipicamente il primo a 5 metri dal primo geofono e il secondo a 10 metri, talvolta le distanze possono mutare a seconda della logistica del sito.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati a rifrazione è consistita in un sismografo ECHO 24/2002 e 24 geofoni a frequenza naturale di 4,5 Hz. L'energizzazione del terreno (sorgente di energia) è stata ottenuta impiegando una mazza ed una piastra appoggiata al terreno.



Il rilievo altimetrico dei punti-geofono e dei punti di energizzazione non si è reso necessario in quanto il piano topografico è risultato pianeggiante.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

1. acquisizione dei dati di campo;
2. estrazione della curva di dispersione;
3. inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle **Vs** (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità.

Interpretazione delle misure

Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale **Vs** dalla curva di dispersione e sono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali. Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, sono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni). Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che



possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno. La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza indipendentemente dalla distanza dalla sorgente.

La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. Una volta scomposto il sismogramma, un'opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione.

Le prospezioni sismiche sono state interpretate mediante il software SWAN (GeoStudi Astier SRL, 2007). L'utilizzo di questo software consente di preprocessare i dati grezzi acquisiti, epurandoli da eventuali disturbi. Successivamente, partendo dal sismogramma medio di sito, sono calcolati gli spettri FK (Frequenza-Numero d'onda) ed FV (Frequenza-Velocità).

La distribuzione dei picchi evidenziati dagli spettri viene ulteriormente analizzata per ricavare la curva di dispersione sperimentale che viene confrontata con quella teorica. Una volta trovata un'interpolazione tra le due curve il programma esegue l'inversione per ricostruire il profilo delle **Vs** con la profondità. Il profilo così ottenuto può essere ulteriormente modificato per aumentare il grado di interpolazione tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

Analisi dei risultati ottenuti

Sono state realizzate quattro prospezioni sismiche di tipo MASW nei siti individuati dai numeri da 1 a 4.

L'andamento delle velocità delle onde S nei primi 30 metri di profondità è risultato piuttosto eterogeneo. Sono stati individuati suoli di tipo B, C ed E.

Dai profili delle **Vs** calcolati sono stati ricavati i *Fattori di Amplificazione* (Tab. 5).

I valori più cautelativi tra questi, sono stati confrontati con quelli di soglia (Tab. 6).



TAB. 5: FATTORI DI AMPLIFICAZIONE STIMATI

	periodo compreso tra 0,1 – 0,5 s	periodo compreso tra 0,5 – 1,5	Vs30 m/s
Sito 1	2,1	1,2	580 – 697
Sito 2	1,2	1,0	605
Sito 3	1,8 – 2,1	1,7	355 – 321
Sito 4	1,4	1,1	603 – 608

TAB. 6: CONFRONTO TRA VALORI CALCOLATI E VALORI SOGLIA DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE

Periodo	suolo tipo B		suolo tipo C		suolo tipo D		suolo tipo E	
	0,1 -0,5	0,5 – 1,5	0,1 -0,5	0,5 – 1,5	0,1 -0,5	0,5 – 1,5	0,1 -0,5	0,5 – 1,5
Soglia	1,4	1,7	1,9	2,4	2,2	4,2	2,0	3,1
Sito 1	--	--	--	--	--	--	2,1	1,2
Sito 2	1,2	1,0	--	--	--	--	--	--
Sito 3	--	--	1,8	1,7	--	--	--	--
Sito 4	--	--	--	--	--	--	1,4	1,1

Nel complesso si può affermare che i valori soglia sono verificati sia per strutture con periodo 0,1 – 0,5s che per periodo 0,5 – 1,5 s.

2.2.2.3 Considerazioni conclusive

Amplificazione topografica

L'analisi di secondo livello ha analizzato gli scenari di pericolosità sismica locale di cresta e scarpata morfologica.

Dal confronto con i valori di soglia è risultato che i valori di F_a calcolati mediante la procedura semplificata regionale sono inferiori o uguali al valore soglia (Tab. 2).

Lo spettro previsto dalla normativa sismica nazionale (NTC08, D.M. 14 gennaio 2008) è pertanto, e per le sezioni analizzate, sufficientemente cautelativo.

In fase progettuale dovrà essere considerata dal tecnico incaricato la presenza di scenari di Pericolosità Sismica Locale che rientrino nella casistica della classe Z3 e valutato il relativo *Fattore di Amplificazione*. Sulla base degli aggiornamenti alle direttive tecniche indicati nella D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011, tale approfondimento dovrà essere preceduto dall'analisi della classe sismica di appartenenza del suolo.



Nel caso di costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale, indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani, è necessario applicare sempre il terzo livello di approfondimento sismico.

Amplificazione litologica

I terreni appartenenti allo scenario di pericolosità sismica locale Z4 sono stati caratterizzati attraverso 4 prove MASW.

L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha rilevato che nei siti indagati e appartenenti agli scenari di pericolosità sismica locale Z4a, Z4b e Z4d, non è necessario implementare il terzo livello di approfondimento sismico poiché i *Fattori di amplificazione* sono risultati verificati per entrambi gli intervalli del periodo di oscillazione (0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s).

In fase progettuale dovrà essere sempre verificata la classe di appartenenza del sottosuolo e effettuato il calcolo del *fattore di amplificazione*.

2.2.3 Terzo Livello

L'applicazione del terzo livello di approfondimento prevede un approccio quantitativo per la valutazione della pericolosità sismica locale che potrà essere svolto ricorrendo a metodologie strumentali o numeriche.

2.2.3.1 Effetti di instabilità (PSL Z1)

L'analisi di terzo livello prevede la caratterizzazione dei singoli movimenti franosi con la valutazione degli indici di stabilità in condizioni statiche, pseudostatiche e dinamiche.

Per i movimenti franosi di tipo rotazionale e traslazionale la relazione geologica di approfondimento si articolerà nei seguenti punti principali:

- ricostruzione di un modello geologico del movimento franoso tramite rilievi e/o indagini geognostiche atti a definirne la geometria, le superfici di scivolamento, i livelli di falda ecc., ed individuazione di sezioni geologiche e geomorfologiche;



- individuazione dei parametri geotecnici necessari all'analisi di stabilità: peso di volume (γ), angolo di attrito (Φ) residuo e di picco, coesione (c) di picco e residua (nel caso si adotti il criterio di rottura di Mohr-Coulomb);
- individuazione degli accelerogrammi di input nel caso di analisi dinamiche;
- analisi numeriche al calcolatore per la valutazione del fattore di sicurezza (F_s) in condizioni statiche, del valore del coefficiente di accelerazione orizzontale critica (k_c) in condizioni pseudostatiche ed in termini di spostamento atteso in condizioni dinamiche.

Per i movimenti tipo crolli e ribaltamenti la relazione geologica si articolerà nei seguenti punti principali:

- inquadramento geologico in un intorno significativo ed esecuzione di alcune sezioni geologiche e topografiche (scala 1:10.000);
- individuazione dei parametri dell'input sismico (valori del picco di accelerazione, valore di picco di velocità);
- rilievi geomeccanici per la classificazione degli ammassi rocciosi;
- identificazione dei principali cinematismi di rotture degli ammassi rocciosi;
- descrizione e rilievo della pista di scendimento dei massi;
- costruzione del modello numerico delle piste di scendimento e verifiche di caduta massi con vari metodi e statistiche di arrivo.

2.2.3.2 Zone con terreni di fondazioni particolarmente scadenti (PSL Z2)

In questi terreni il verificarsi di un evento sismico può causare cedimenti differenziali con conseguenti problemi di stabilità delle strutture.

L'analisi di terzo livello prevede la valutazione quantitativa dei cedimenti mediante l'esecuzione di accertamenti geognostici e l'impiego di procedure note in letteratura e scelte a discrezione del professionista incaricato.



2.2.3.3 Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3)

Gli scenari di pericolosità sismica locale **Z3a**, scarpate morfologiche, e **Z3b**, creste morfologiche sono rappresentati nella carta della pericolosità sismica locale da linee.

L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha individuato le scarpate nonché le principali creste morfologiche e accertato per questi lineamenti la congruità con i valori soglia previsti dalla normativa.

In fase progettuale dovrà essere considerata dal tecnico incaricato la presenza di scenari di Pericolosità Sismica Locale che rientrino nella casistica della classe Z3 e valutato il relativo fattore di amplificazione.

Nello scenario Z3 dovrà essere applicato il terzo livello di approfondimento sismico nei seguenti casi:

- aree di cresta o scarpata nel caso si prevedano costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani;
- aree di cresta o scarpata se in un intorno significativo dell'area di progetto si rilevino asperità morfologiche ricadenti nella casistica delle PSL Z3 ed il fattore di amplificazione, calcolato caso per caso, sia maggiore del valore soglia St .

La valutazione quantitativa dei fenomeni di amplificazione prevede l'utilizzo di metodologie strumentali o numeriche, a discrezione del professionista incaricato.

Le metodologie strumentali prevedono lo sviluppo di una campagna di acquisizione dati tramite prove specifiche (nell'allegato 5 alla D.G.R. 9/2616 sono indicati a titolo esemplificativo il metodo di Nakamura (1989) ed il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981)).

Le metodologie numeriche consistono nella ricostruzione di un modello geometrico e meccanico dell'area di studio e nell'applicazione di codici di calcolo (monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali) per la valutazione della risposta sismica locale.



La scelta del metodo e le modalità di applicazione sono a discrezione del professionista incaricato che valuterà la possibilità di integrare le due metodologie per compensare i vantaggi e gli svantaggi dei differenti approcci.

Relativamente agli scenari Z3 è necessario ricordare che il fattore di amplificazione deve essere calcolato per la quota di cresta o di ciglio e successivamente interpolato linearmente sino alla base del pendio dove assume valore pari all'unità. Possono pertanto essere soggette ad amplificazione topografica anche aree non collocate nelle immediate vicinanze delle creste e delle scarpate.

2.2.3.4 Effetti di amplificazione litologica (PSL Z4)

L'applicazione del terzo livello di approfondimento prevede un approccio quantitativo per la valutazione della pericolosità sismica locale che potrà essere svolto ricorrendo a metodologie strumentali o numeriche.

Per l'analisi dell'amplificazione litologica le metodologie strumentali prevedono lo sviluppo di una campagna di acquisizione dati tramite prove specifiche (nell'allegato 5 alla D.G.R. 9/2616 sono indicate a titolo esemplificativo il metodo di Nakamura (1989) ed il metodo dei rapporti spettrali (Kanai e Tanaka, 1981)). Le metodologie numeriche consistono nella ricostruzione di un modello geometrico e meccanico dell'area di studio e nell'applicazione di codici di calcolo (monodimensionali, bidimensionali o tridimensionali) per la valutazione della risposta sismica locale.

La scelta del metodo è a discrezione del professionista che valuterà la possibilità di integrare le due metodologie per compensare gli svantaggi dei differenti approcci.



3 CARTA DEI VINCOLI (TAV. 2)

Nella Carta dei Vincoli sono rappresentate le limitazioni d'uso del territorio derivanti dalle normative in vigore di contenuto prettamente idrogeologico e/o ambientale-paesaggistico.

Nel territorio di Casnigo sono presenti:

- **Vincoli di polizia idraulica:** sul reticolo idrografico identificato ai sensi del R.D. n. 523/1904 art.96, D.G.R. 7/7868 del 25 gennaio 2002 e della D.G.R. 7/13950 del 1 agosto 2003. Il reticolo idrico principale è vincolato ai sensi del R.D. n. 523/1904 art. 96, mentre il reticolo idrico minore dal regolamento allegato allo “Studio del reticolo minore” redatto dalla Comunità Montana Valle Seriana.
- **Zone di salvaguardia delle captazioni a uso idropotabile** (pozzi e sorgenti): D.L. 152/99, D.L. 258/00 e D.G.R. 7-12693/2003:
 - Aree di tutela assoluta: si tratta delle aree di raggio uguale a 10 m di protezione assoluta delle captazioni di acque sotterranee destinate al consumo umano, pozzi o sorgenti. Per tali ambiti valgono le prescrizioni contenute nel documento “direttive per la disciplina delle attività all’interno delle aree di rispetto (comma 6 art.21 del DLGS 11 maggio 1999, n. 152 e successive modificazioni)” approvato con D.G.R. 10 aprile 2003 n. 7/12693 e pubblicato sul B.U.R.L. Serie Ordinaria n. 17 del 22 aprile 2003 (Allegato 9).

Le aree di tutela assoluta devono essere adeguatamente protette e adibite esclusivamente a opere di captazione e alle infrastrutture accessorie.

- Aree di rispetto: sono porzioni di territorio circostanti le zone di protezione assoluta con raggio di 200 m dal centro la captazione. Nel caso delle sorgenti tale perimetrazione è limitata al tratto di bacino a monte della captazione. Per tali ambiti valgono le prescrizioni contenute nel documento “direttive per la disciplina delle attività all’interno delle aree di rispetto (comma 6 art.21 del DLGS 11 maggio 1999, n. 152 e successive modificazioni)” approvato con D.G.R. 10 aprile 2003 n. 7/12693 e pubblicato sul B.U.R.L. Serie Ordinaria n. 17 del 22 aprile 2003 (Allegato 9). Tale normativa dovrà essere applicata a tutti i settori di ciascuna classe e/o sottoclasse di fattibilità inclusi nella perimetrazione dell’area di rispetto.



- **Vincoli derivanti dal P.G.R.A.**, il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, in recepimento della Direttiva Alluvioni della Comunità Europea 2007/60/CE.
- **Ambiti estrattivi** individuati dal Piano Cave della Provincia di Bergamo (L.R. 14/98), all'interno dei quali valgono le norme previste per le attività di cava (Polo ATEi7).
- **Vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino P.A.I.:** ai sensi della Legge 183/89, art. 17, comma 5 e in particolare del Piano Stralcio per L'Assetto Idrogeologico, adottato con delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po n° 18/2001 del 26/04/2001 e recepita dalla Regione Lombardia nella D.G.R. 7/7365 dell'11/12/2001.

3.1 P.G.R.A. – Piano di Gestione del Rischio Alluvioni.

Il P.G.R.A, predisposto in attuazione del D.Lgs 49/2010 di recepimento della “Direttiva Alluvioni” 2007/60/CE è stato approvato con deliberazione n. 2 del 3 marzo 2016 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po e successivamente con DPCM 27 ottobre 2016 (G.U. n. 30 del 6 febbraio 2017).

La D.G.R. 10/6738 del 19 giugno 2017 definisce le disposizioni regionali concernenti l'attuazione del P.G.R.A. nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art.58 delle norme di attuazione del P.A.I. del bacino del Fiume Po. A tale deliberazione si è fatto riferimento per il recepimento del Piano.

Il Piano ha come finalità quella di ridurre le conseguenze negative derivanti dalle alluvioni per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali.

Le mappe del P.G.R.A. contengono la delimitazione delle aree per diversi scenari di pericolosità:

- aree P3 (H), o aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti;
- aree P2 (M), o aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti;
- aree P1 (L), o aree potenzialmente interessate da alluvioni rare.

Le aree allagabili individuate, per quanto concerne la Regione Lombardia, riguardano i seguenti “ambiti territoriali”:



- Reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP);
- Reticolo secondario collinare e montano (RSCM);
- Reticolo secondario di pianura naturale e artificiale (RSP);
- Aree costiere lacuali (ACL).

In comune di Casnigo sono presenti ambiti territoriali di pertinenza del reticolo principale (RP) e del reticolo secondario collinare e montano (RSCM).

Nel precedente studio, in assenza di una perimetrazione P.A.I. delle fasce a rischio di allagamento del Fiume Serio, era stata applicata la norma di cui all'art 9 (comma 5, 6 e 6bis) alle aree inondabili individuate con criterio geomorfologico. Visto che il P.G.R.A. propone una perimetrazione "ufficiale" è stato deciso di sostituire l'azzonamento delle aree allagabili attualmente vigenti con quello del P.G.R.A., aggiornando l'Elaborato 2 del P.A.I..

Le aree allagabili in ambito di RSCM hanno recepito gli azzonamenti della *Carta del dissesto con legenda uniformata al P.A.I.*, inserita quale proposta di aggiornamento all'Elaborato 2 del P.A.I. nella vigente componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. di Casnigo.

I tematismi del P.G.R.A., congiuntamente a quelli del P.A.I. sono individuati nella *Carta PAI – PGRA* (Tavola 5) redatta secondo le indicazioni della D.G.R. 10/6738 del 19 giugno 2017.

Nelle more del completamento delle specifiche varianti al PAI a scala di asta fluviale per le aree esondabili del reticolo principale RP individuate dal P.G.R.A., si applicano le seguenti norme:

- nelle aree interessate da alluvioni frequenti (aree P3/H), si applicano le limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia A dalle norme di cui al "Titolo II – Norme per le fasce fluviali", delle Norme di Attuazione (N.d.A.) del PAI (art. 29);
- nelle aree interessate da alluvioni poco frequenti (aree P2/M), si applicano le limitazioni e prescrizioni previste per la Fascia B dalle norme del "Titolo II – Norme per le fasce fluviali", delle N.d.A. del PAI (art. 30);
- nelle aree interessate da alluvioni rare (aree P1/L), si applicano le disposizioni previste per la fascia C di cui all'art. 31 delle N.d.A. del PAI (art. 31).



3.2 Aree di dissesto con legenda uniformata al P.A.I. (TAV. 5)

La Carta PAI - PGRA è inserita quale proposta di aggiornamento all'Elaborato 2 del P.A.I..

3.2.1 Aree di dissesto P.A.I.

Sulla tavola sono stati individuati i seguenti tematismi:

- Trasporto di massa sui conoidi:
 - **Cn**, aree di conoidi non recentemente riattivatisi o completamente protette da opere di difesa – (pericolosità media o moderata).
- Aree franose:
 - **Fa**, aree interessate da frane attive - (pericolosità molto elevata);
 - **Fq**, aree interessate da frane quiescenti - (pericolosità elevata);
 - **Fs**, aree interessate da frane quiescenti – (pericolosità media o moderata).
- esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio lungo le aste dei corsi d'acqua:
 - **Eb**, aree coinvolgibili da fenomeni con pericolosità elevata;

Agli ambiti ricadenti in tali perimetrazioni si applicano le prescrizioni contenute nell'art. 9 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.A.I. e in particolare i comma 2, 3, 4, 5, 6, 6bis e 9:

- **Comma 2:** nelle aree **Fa**, salvo quanto previsto dall'art. 3 ter del D.L. 12/10/2000, n. 279, convertito in L. 11/12/2000, n. 365, sono esclusivamente consentiti:
 - gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
 - gli interventi di manutenzione ordinaria degli edifici, così come definiti alla lettera a) dell'art. 31 della L.. 5/08/1978, n. 457;
 - gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di



superficie e volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino aumento del carico insediativo;

- gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche o di interesse pubblico e gli interventi di consolidamento e restauro conservativo di beni di interesse culturale, compatibili con la normativa di tutela;
 - le opere di bonifica, di sistemazione e di monitoraggio dei movimenti franosi;
 - le opere di regimazione delle acque superficiali e sotterranee;
 - la ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari e a rete riferite servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente validato dall'Autorità competente. Gli interventi devono comunque garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni per cui sono destinati, tenuto conto dello stato di dissesto in essere.
- **Comma 3:** Nelle aree **Fq**, oltre agli interventi di cui al precedente comma 2, sono consentiti:
 - gli interventi di manutenzione straordinaria, di restauro e di risanamento conservativo, così come definiti alle lettere b) e c) dell'art. 31 della L. 5 agosto 1978, n. 457, senza aumenti di superficie e volume;
 - gli interventi di ampliamento degli edifici esistenti per adeguamento igienico-funzionale;
 - gli interventi di ampliamento e ristrutturazione di edifici esistenti, nonché di nuova costruzione, purché consentiti dallo strumento urbanistico adeguato al presente Piano ai sensi e per gli effetti dell'art. 18, fatto salvo quanto disposto dalle linee successive;
 - la realizzazione di nuovi impianti di trattamento delle acque reflue e l'ampliamento di quelli esistenti, previo studio di compatibilità dell'opera con lo stato di dissesto esistente validato dall'Autorità competente; sono comunque escluse la realizzazione di nuovi impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti, l'ampliamento degli stessi impianti esistenti, l'esercizio



delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti, così come definiti dal D.Lgs. 5/02/1997, n. 22. E' consentito l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero dei rifiuti già autorizzate ai sensi dello stesso D.Lgs. 22/1997 (o per le quali sia stata presentata comunicazione di inizio attività, nel rispetto delle norme tecniche e dei requisiti specificati all'art. 31 del D.Lgs. 22/1997) alla data di entrata in vigore del Piano, limitatamente alla durata dell'autorizzazione stessa. Tale autorizzazione può essere rinnovata fino ad esaurimento della capacità residua derivante dalla autorizzazione originaria per le discariche e fino al termine della vita tecnica per gli impianti a tecnologia complessa, previo studio di compatibilità validato dall'Autorità competente. Alla scadenza devono essere effettuate le operazioni di messa in sicurezza e ripristino del sito, così come definite all'art. 6 del suddetto decreto legislativo.

- **Comma 4:** Nelle aree **Fs**, oltre agli interventi di cui al precedente comma 2, sono consentiti compete alle Regioni e agli Enti locali, attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti, tenuto anche conto delle indicazioni dei programmi di previsione e prevenzione ai sensi della L. 24 febbraio 1992, n. 225. Gli interventi ammissibili devono in ogni caso essere soggetti ad uno studio di compatibilità con le condizioni del dissesto validato dall'Autorità competente.
- **Comma 6:** Nelle aree **Eb**, oltre agli interventi di cui al precedente comma 5, sono consentiti:
 - gli interventi di ristrutturazione edilizia, così come definiti alla lettera d) dell'art. 31 della L. 5/08/1978, n. 457, senza aumenti di superficie e volume;
 - gli interventi di ampliamento degli edifici esistenti per adeguamento igienico funzionale;
 - la realizzazione di nuovi impianti di trattamento delle acque reflue;
 - il completamento degli esistenti impianti di smaltimento e recupero dei rifiuti a tecnologia complessa, quand'esso risultasse indispensabile per il raggiungimento dell'autonomia degli ambiti territoriali ottimali così come individuati dalla pianificazione regionale e provinciale; i relativi interventi di completamento sono subordinati a uno studio di compatibilità con il presente



Piano validato dall'Autorità di bacino, anche sulla base di quanto previsto all'art. 19 bis (NdR. NTA del P.A.I.);

- **Comma 9:** Nelle aree **Cn** compete alle Regioni e agli Enti locali, attraverso gli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti, tenuto anche conto delle indicazioni dei programmi di previsione e prevenzione ai sensi della L. 24/02/1992, n. 225. Gli interventi ammissibili devono in ogni caso essere soggetti ad uno studio di compatibilità con le condizioni del dissesto validato dall'Autorità competente.

3.2.2 Aree a rischio idrogeologico molto elevato

Nel quadro dei dissesti sono inserite due aree, perimetrare ai sensi della Legge 183/89, art. 17, comma 5 e in particolare del Piano Stralcio per L'Assetto Idrogeologico, adottato con delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po n° 18/2001 del 26/04/2001 e recepita dalla Regione Lombardia nella D.G.R. 7/7365 dell'11/12/2001, che si collocano in prossimità del Centro Sportivo Radici e classificate come *Aree a rischio idrogeologico molto elevato*:

- **ZONA 1:** area instabile o che presenta un'elevata probabilità di coinvolgimento, in tempi brevi, direttamente dal fenomeno e dall'evoluzione dello stesso;
- **ZONA 2:** area potenzialmente interessata dal manifestarsi di fenomeni di instabilità coinvolgenti settori più ampi di quelli attualmente riconosciuti o in cui l'intensità dei fenomeni è modesta in rapporto ai danni potenziali sui beni esposti.

All'interno di tali aree sono applicate le limitazioni riportate nell'articolo 50 delle Norme di Attuazione del P.A.I. oltre a quelle operanti ai sensi della L. 9/07/1908, n. 445 e della L. 30/03/1998, n. 61, relative alle aree a rischio idrogeologico molto elevato.

L'art. 50 delle NTA del P.A.I. contiene le seguenti prescrizioni:

- Nella porzione contrassegnata come **ZONA 1** delle aree di cui all'Allegato 4.1 all'Elaborato 2 di Piano, sono esclusivamente consentiti:
 - gli interventi di demolizione senza ricostruzione;



- gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, così come definiti alle lettere a), b), c) dell'art. 31 della L. 5/08/1978, n. 457, senza aumenti di superficie e volume, salvo gli adeguamenti necessari per il rispetto delle norme di legge;
 - le azioni volte a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità con riferimento alle caratteristiche del fenomeno atteso. Le sole opere consentite sono quelle rivolte al consolidamento statico dell'edificio o alla protezione dello stesso;
 - gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria relativi alle reti infrastrutturali;
 - gli interventi volti alla tutela e alla salvaguardia degli edifici e dei manufatti vincolati ai sensi del D.Lgs. 29/10/1999 n. 490 e successive modifiche e integrazioni, nonché di quelli di valore storico-culturale così classificati in strumenti di pianificazione urbanistica e territoriale vigenti;
 - gli interventi per la mitigazione del rischio idrogeologico e idraulico presente e per il monitoraggio dei fenomeni;
 - la ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari e a rete riferite a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente validato dall'Autorità competente. Gli interventi devono comunque garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni per cui sono destinati, tenuto conto dello stato di dissesto in essere.
 - Per gli edifici ricadenti nella ZONA 1 già gravemente compromessi nella stabilità strutturale per effetto dei fenomeni di dissesto in atto sono esclusivamente consentiti gli interventi di demolizione senza ricostruzione e quelli temporanei volti alla tutela della pubblica incolumità.
- Nella porzione contrassegnata come ZONA 2 delle aree di cui all'Allegato 4.1 all'Elaborato 2 di Piano sono esclusivamente consentiti, oltre agli interventi di cui ai precedenti commi:
 - gli interventi di ristrutturazione edilizia, così come definiti alla lettera d) dell'art. 31 della L. 5/08/1978, n. 457;



- gli interventi di ampliamento degli edifici esistenti unicamente per motivate necessità di adeguamento igienico-funzionale, ove necessario, per il rispetto della legislazione in vigore anche in materia di sicurezza del lavoro connessi ad esigenze delle attività e degli usi in atto;
- la realizzazione di nuove attrezzature e infrastrutture rurali compatibili con le condizioni di dissesto presente; sono comunque escluse le nuove residenze rurali;
- gli interventi di adeguamento e ristrutturazione delle reti infrastrutturali.

Le modifiche al P.A.I. proposte in questo studio riguardano tre aree interessate dal fenomeno della caduta massi inserite in ambiti di frana attiva (*Fa*). Gli studi in oggetto riguardano l'area della località Bot, l'area della frazione Romnei e l'area sita in via Oltre il Serio nei pressi dell'ex cementificio "DO.MA.DE.".

Le proposte di ripermimetrazione del dissesto sono sostenute da uno studio di approfondimento redatto in ottemperanza alla procedura per la valutazione e la zonazione del rischio frana descritta nell'Allegato 2 della D.G.R. 9/2616/2011 (Allegati fuori numerazione).

Gli studi hanno consentito di assegnare diversi gradi di pericolosità ai versanti soggetti al fenomeno della caduta massi e assegnare un'adeguata classe di fattibilità e la relativa voce della legenda PAI, secondo la seguente Tab. 7.

TAB. 7: CORRELAZIONE TRA CLASSI DI PERICOLOSITÀ, CLASSI DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA PER LE AZIONI DI PIANO E VOCI DELLA LEGENDA PAI DEI CRITERI PER LA DEFINIZIONE DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL P.G.T. (D.G.R. 2616/2011)

PERICOLOSITÀ/RISCHIO	CLASSI DI FATTIBILITÀ	VOCI LEGENDA PAI
H1 per crolli, crolli in massa e scivolamenti	Classe 2/3 – modeste o consistenti limitazioni	Fs – frana stabilizzata
H2 per crolli e crolli in massa H2-H3 per scivolamenti	Classe 4/3 – gravi o consistenti limitazioni	Fq – frana quiescente ²
H3-H5 per crolli e crolli in massa H4-H5 per scivolamenti	Classe 4 – gravi limitazioni	Fa – frana attiva

Note alla tabella 2:

¹ – [...]

² - come previsto dall'art. 9 comma 3 delle N.d.A. del PAI alle aree Fq può essere attribuita la classe 3 di fattibilità con norma stabilita dal professionista solo nel caso sia stata effettuata la verifica di compatibilità mediante uno studio specifico sull'area e gli interventi edificatori di cui all'art. 9, comma 3, stesso siano consentiti dallo strumento urbanistico.

Per lo studio in località via Oltre il Serio è stato proposto un azionamento cautelativo, assegnando la voce *Fa* e di conseguenza una classe di fattibilità 4, anche alle aree a pericolosità H2.



Le prescrizioni e gli approfondimenti tecnici relative agli scenari ricadenti nelle aree Cn ed Fs sono riportate nel paragrafo 5.3.4 della presente relazione.



4 CARTA SINTESI (TAV. 3)

La Carta di Sintesi individua una serie di poligoni ognuno dei quali definisce una porzione di territorio caratterizzata da pericolosità omogenea per la presenza di uno o più fenomeni di rischio in atto o potenziale, o da vulnerabilità idrogeologica.

La sovrapposizione di più ambiti genera poligoni misti per pericolosità determinata da più fattori.

4.1 Aree pericolose dal punto di vista dell'instabilità dei versanti

ac: aree interessate da fenomeni carsici; doline di dimensioni metriche ricoperte da suoli rossastri su pendii blandi. Solchi carsici caratterizzano le superfici degli affioramenti rocciosi.

Lungo la scarpata del terrazzo di Casnigo sono presenti cavità di dimensioni metriche nei depositi conglomeratici dovute a dissoluzione del cemento carbonatico.

cr1: aree soggette a crolli di massi; sono aree caratterizzate da fenomeni di distacco di blocchi di roccia/conglomerato. Tra le situazioni osservate nel corso dei rilievi si ricordano quelle in località Bot, la scarpata in conglomerato che delimita il terrazzo di Casnigo (per la presenza di pareti aggettanti), i versanti in sponda orografica sinistra del torrente Romna, i versanti del Ponte del Costone ed il pendio nord-occidentale del Monte Beio.

Sono comprese le aree di distacco e transito massi classificate a pericolosità elevata da uno studio di dettaglio e le aree a rischio potenziale di caduta massi individuate con criterio geomorfologico in assenza di uno studio di dettaglio.

cr2: aree soggette a prevalente transito ed accumulo di massi classificate a pericolosità medio-bassa da uno studio di dettaglio e le aree a pericolosità potenziale di transito e accumulo blocchi individuate con criterio geomorfologico in assenza di studio di uno dettaglio.

fa: aree di frana attiva; scivolamenti della copertura detritica superficiale.

fq: aree di frana quiescente: scivolamenti della copertura detritica superficiale potenzialmente riattivabili.



Particolarmente esposta a questo rischio è la parte meridionale della Valle Morino, nel punto dove il torrente incide i depositi della Formazione di Leffe. Oltre ad evidenti fenomeni di soliflusso sono riconoscibili nicchie e accumuli di piccole frane apparentemente stabili. Il dissesto è dovuto alle caratteristiche geotecniche scadenti dei terreni e alle numerose emergenze idriche lungo il piede della scarpata del Terrazzo di Casnigo nonché all'elevata acclività di alcuni tratti di pendio.

- fs:** aree di frana stabilizzata; è un esteso smottamento che ha coinvolto i depositi del bacino di Leffe nell'area del Centro Sportivo Radici, in prossimità del contatto stratigrafico con l'Unità di Casnigo. Importanti interventi di sistemazione hanno stabilizzato il corpo della frana. Tale episodio ha rivestito una particolare importanza nello studio del bacino di Leffe in quanto lo scollamento della copertura superficiale ha permesso di descrivere dettagliatamente la parte superiore della serie lacustre e di formulare ipotesi circa l'alimentazione del bacino terziario.
- fr:** aree a franosità diffusa (scivolamento, soliflusso). Non sono associabili a una particolare unità geologica ma diffusi su tutto il territorio.
- sl:** aree a pericolosità potenziale legata alla possibilità di innesco di scivolamenti delle coperture detritiche.
- er** aree in erosione accelerata; sono localizzate nel settore meridionale del territorio comunale dove affiora la formazione delle Argilliti di Riva di Solto.
- tor:** aree di pertinenza torrentizia interessate da fenomeni erosivi accentuati.
- ter:** ambito di rispetto dell'orlo di terrazzo di Casnigo legato alla possibilità di scivolamenti della copertura detritica e/o distacchi dell'ammasso conglomeratico.

4.2 Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico:

- dt:** aree potenzialmente interessate da flussi di detrito; sono le conoidi alluvionali e/o detritico torrentizie formate dai torrenti allo sbocco nel fondovalle;
- dru:** discarica di rifiuti solidi urbani; sono state individuate tre aree utilizzate in passato per stoccare rifiuti solidi urbani:



- in prossimità dell'incrocio tra via Trieste e via Valle (nei pressi del mappale 1000 della mappa catastale);
- in località Mele, in prossimità del Fiume Serio e nelle adiacenze di un capannone artigianale;
- in prossimità del Fiume, presso il vecchio inceneritore.

di: discarica di inerti: comprende una fascia di terreno che, dall'incrocio tra via Trieste e via Valle, individua la "paleovalle" Bronesca.

4.3 Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico:

in1: aree ad elevata probabilità di alluvionamento classificata H-P3/P.G.R.A. del Fiume Serio;

in2: aree a media probabilità di alluvionamento classificata M-P2/P.G.R.A. del Fiume Serio, comprese di le aree a moderato rischio di esondazione lungo le restanti aste di reticolo;

in3: aree con scarsa probabilità di alluvionamento classificate L-P1/P.G.R.A. del Fiume Serio comprese le aree a basso rischio di esondazione lungo le restanti aste di reticolo;

fl: aree di pertinenza dei corsi d'acqua minori da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per gli interventi di manutenzione e la realizzazione di interventi di difesa.

4.4 Aree che presentano scadenti caratteristiche geotecniche:

ri: aree con possibili fenomeni di ristagno delle acque; sono le aree ove affiorano i depositi lacustri della Formazione di Lefte. L'acqua proviene dalle numerose emergenze localizzate al piede dei depositi conglomeratici che formano la scarpata del Terrazzo di Casnigo.

gt1: aree prevalentemente limoso-argillose con limitata capacità portante; sono formate dai depositi del bacino lacustre di Lefte, nella zona del Centro Sportivo Radici e lungo il margine occidentale del Terrazzo di Casnigo dove riempiono una paleovalle profondamente incisa con il fondo posto al di sotto dei depositi dell'alveo del Fiume Serio.



gt2: aree prevalentemente limoso-sabbiose con bassa-discreta capacità portante. Il Terrazzo di Casnigo è formato da un pedocomplesso con spessori fino a 10 metri di loess pedogenizzati ricoprente un vetusuolo in ghiaie profondamente alterate.

gt3: aree con consistenti disomogeneità tessiturali verticali e laterali, antropiche e naturali. Comprendono quella porzione del Terrazzo di Casnigo posta sopra le gallerie utilizzate per l'estrazione della torba. Lo sviluppo sotterraneo delle cavità è difficilmente ricostruibile dal momento che le informazioni sono molto frammentarie. In generale i cunicoli hanno direzione SE-NW a partire da Villa Giuseppina fino alla Cascina Somnes.

Disomogeneità sono anche quelle dovute all'attività carsica e alla variabilità tessiturale dei sedimenti alluvionali terrazzati del Fiume Serio, dei Torrenti Romna e Re e dei depositi di conoide.

ar: aree con riporti di materiale.



5 CARTA DI FATTIBILITÀ DELLE AZIONI DI PIANO (TAV. 4)

5.1 Classi di fattibilità geologica

I dati raccolti ed elaborati nei capitoli precedenti consentono, mediante l'analisi dei vari elementi che caratterizzano l'area in esame, di suddividere il territorio in settori a maggiore o minore vocazione urbanistica. Si tratta di una classificazione della pericolosità che fornisce indicazioni generali sulle destinazioni d'uso, sulle cautele generali da adottare per gli interventi, sugli studi e le indagini necessarie in caso di intervento e sulle opere di riduzione degli eventuali rischi territoriali, ciò al di là di ogni considerazione di carattere economico e amministrativo, ma esclusivamente in funzione dei diversi parametri naturali che caratterizzano il territorio.

È opportuno ricordare che per una lettura esaustiva delle possibilità di cambiamento di destinazione d'uso di una qualsiasi parte del territorio, la carta della fattibilità deve essere consultata insieme alla carta dei vincoli dove sono rappresentate le limitazioni derivanti dalla normativa in vigore.

La D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011 adotta quattro classi di fattibilità.

Classe 1 (bianca) - Fattibilità senza particolari limitazioni

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

Classe 2 (verde-gialla) – Fattibilità con modeste limitazioni

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. Per gli ambiti assegnati a questa classe devono essere indicati, nelle norme geologiche di piano, gli approfondimenti da effettuare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori.



Classe 3 (gialla-arancione) – Fattibilità con consistenti limitazioni

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

Il professionista, nelle norme geologiche di piano, deve, in alternativa:

- se dispone fin da subito di elementi sufficienti, definire puntualmente per le eventuali previsioni urbanistiche le opere di mitigazione del rischio da realizzare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori, in funzione della tipologia del fenomeno che ha generato la pericolosità/vulnerabilità del comparto;*
- se non dispone di elementi sufficienti, definire puntualmente i supplementi di indagine relativi alle problematiche da approfondire, la scala e l'ambito di territoriale di riferimento (puntuale, quali caduta massi, o relativo ad ambiti più estesi coinvolti dal medesimo fenomeno quali ad esempio conoidi, interi corsi d'acqua ecc.) e la finalità degli stessi al fine di accertare la compatibilità tecnico-economica degli interventi con le situazioni di dissesto in atto o potenziale e individuare di conseguenza le prescrizioni di dettaglio per poter procedere o meno all'edificazione.*

Classe 4 (rossa) – Fattibilità con gravi limitazioni

L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, ivi comprese quelle interrato, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della l.r. 12/05, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo. Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica.

Il professionista deve fornire indicazioni in merito alle opere di sistemazione idrogeologica e, per i nuclei abitati esistenti, quando non è strettamente necessario provvedere al loro trasferimento, dovranno essere predisposti idonei piani di emergenza; deve inoltre essere valutata la necessità di predisporre sistemi di



monitoraggio geologico che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto.

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili; dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

A discrezione del professionista ogni classe di fattibilità, con particolare riferimento alle classi 2 e 3, può essere, per maggiore chiarezza, suddivisa in sottoclassi riguardanti ambiti omogenei.

5.2 La fattibilità geologica nel comune di Casnigo

5.2.1 Classe 2

In questa classe ricadono le zone dove sono state riscontrate modeste limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso dei terreni.

Sono compresi quei settori pianeggianti del terrazzo di Casnigo esclusa una fascia centrale dove si ritiene insistano le gallerie utilizzate per l'estrazione della lignite.

Qualsiasi modifica alle destinazioni d'uso di queste aree è subordinata alla realizzazione di accertamenti geognostici sulla base di quanto contenuto nel D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008.

Tale accertamento potrà essere effettuato mediante indagini geognostiche ad hoc, oppure essere basato sulla conoscenza della situazione geologica idrogeologica locale derivante dall'esperienza del tecnico incaricato.

Le richieste di concessione dovranno inoltre contenere un'indicazione quantitativa e qualitativa degli scarichi liquidi prodotti dal fabbricato o dal complesso di cui si richiede la costruzione e un'indicazione progettuale dei sistemi di depurazione corrispondenti e/o dei sistemi adottati per l'eliminazione dei materiali residui e la salvaguardia idrogeologica e dei relativi criteri costruttivi.



5.2.2 Classe 3

In questa classe ricadono le zone dove sono state rilevate consistenti limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso.

In relazione alle condizioni di rischio riscontrate sono state individuate quattro sottoclassi.

- 3a

Alla sottoclasse 3a appartengono quelle aree dove affiorano terreni con consistenti disomogeneità tessiturali laterali e verticali, comprese le aree terrazzate del Fiume Serio e del Torrente Romna, la zona del terrazzo di Casnigo attraversata dalle gallerie minerarie nonché gli accumuli di materiale riportato.

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008), necessarie per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per la classe 2 per la salvaguardia delle acque sotterranee.

- 3b

La sottoclasse 3b individua quelle zone terrazzate del Fiume Serio e dei Torrenti Romna e Re esposte a un moderato rischio di esondazione.

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008), necessarie per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale compresa l'analisi del rischio di allagamento al fine di poter predisporre opportuni accorgimenti mitigatori in fase progettuale.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag. 3.2) e quelle previste per le aree P1 (L) o P2 (M) definite nel P.G.R.A. (parag. 3.1).



- 3c

La sottoclasse 3c comprende i versanti mediamente acclivi con o senza copertura detritica, compresi i pendii adiacenti alla scarpata del terrazzo di Casnigo.

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008), necessarie per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, compresi quelli dell'ammasso roccioso, nonché della situazione idrogeologica locale in un intorno significativo, al fine di procedere all'analisi di stabilità del complesso pendio opera.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag.3.2).

- 3d

La sottoclasse 3d individua le aree potenzialmente soggette a caduta massi (transito e accumulo) e/o con possibilità di distacco della copertura detritica.

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di un approfondimento di indagine finalizzato alla progettazione degli interventi di messa in sicurezza dalla caduta massi.

È altresì necessario realizzare indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008), necessarie per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo e procedere a un'analisi di stabilità del complesso pendio-opera.

- 3e

La sottoclasse 3e individua quelle fasce terrazzate adiacenti il torrente Romna esposte ad un moderato pericolo di esondazione e potenzialmente soggette alla caduta massi.

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di indagini geognostiche ad hoc (D.M. 11 marzo 1988 e nelle N.T.C. del 14 gennaio 2008), necessarie per la caratterizzazione puntuale dei parametri meccanici del sottosuolo, nonché della situazione idrogeologica locale compresa l'analisi della



caduta massi e del rischio di allagamento al fine di poter predisporre opportuni accorgimenti mitigatori in fase progettuale.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag. 3.2).

5.2.3 Classe 4

Nella classe 4 l'alta pericolosità e/o vulnerabilità comporta gravi limitazioni alla modifica delle destinazioni d'uso. Dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti saranno consentite esclusivamente le opere relative a interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b) e c) della L.R. 12/05.0

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico potranno essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili e dovranno comunque essere puntualmente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, dovrà essere allegata un'apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di rischio presente.

In relazione al tipo di vincolo e/o pericolo sono state distinte due sottoclassi.

- 4a

La sottoclasse 4a individua le aree di pertinenza torrentizia con accentuato pericolo idrogeologico dovuto all'azione erosiva delle acque incanalate sul piede dei versanti e al conseguente pericolo di franamento delle sponde, le aree soggette a crollo, transito e accumulo di massi e le aree adiacenti ai corsi d'acqua principali che devono restare sgombre da manufatti per consentire l'accessibilità dei mezzi per gli interventi di manutenzione e la realizzazione di eventuali opere di difesa.

Interventi tesi al consolidamento dei versanti e/o alla mitigazione del pericolo esistente potranno consentire una modifica del grado di rischio attuale.



Si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag.3.2).

- 4b

In questa sottoclasse sono raggruppati gli accumuli di Rifiuti Solidi Urbani.

Interventi tesi alla bonifica del sito in applicazione del D.Lgs. 152 del 3 aprile 2006 e successive modifiche ed integrazioni che descrive *i criteri, le procedure e le modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati* potranno consentire una modifica del grado di rischio attuale.

Si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag. 3.2).

- 4c

La sottoclasse 4c comprende le zone che evidenziano la presenza di fenomeni legati al carsismo quali doline, inghiottitoi e solchi carsici.

Oltre alle limitazioni generiche della classe di fattibilità 4, si applicano altresì le prescrizioni previste per le aree di dissesto P.A.I. agli ambiti che ricadono in tali perimetrazioni (parag. 3.2).

5.3 Normativa sismica

Al mosaico della fattibilità è sovrapposta una campitura 'trasparente' che individua le aree dove è richiesta l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico senza passaggi intermedi.

Negli altri ambiti dovranno essere approfonditi gli aspetti relativi a ciascuno scenario e applicato il livello di analisi sismica richiesto.

5.3.1 Effetti di instabilità (PSL Z1)

L'analisi di terzo livello prevede la quantificazione dell'instabilità delle zone franose intesa come valutazione degli indici di stabilità in condizioni statiche, pseudostatiche e dinamiche. L'analisi prevede un approccio puntuale, finalizzato alla quantificazione dei singoli movimenti.



Gli approfondimenti devono essere eseguiti secondo le indicazioni riportate nell'allegato 5 della D.G.R. 8/7374 del 28 maggio 2008 e riassunti nel paragrafo 2.2.3.1.

5.3.2 Zone con terreni di fondazioni particolarmente scadenti (PSL Z2)

L'analisi di terzo livello prevede la valutazione quantitativa dei cedimenti e dove necessario del potenziale di liquefazione mediante l'esecuzione di accertamenti geognostici e l'impiego di procedure note in letteratura e scelte a discrezione del professionista incaricato.

Il terzo livello di approfondimento dovrà essere applicato rispettando le direttive tecniche regionali riassunte nel paragrafo 2.2.3.2.

Potrà essere evitata l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico utilizzando lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, seguendo il seguente schema:

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica B si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe C; nel caso in cui la soglia non fosse sufficientemente cautelativa si può utilizzare lo spettro previsto per il suolo di classe D;
- in sostituzione dello spettro per la classe sismica C si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D;
- in sostituzione dello spettro per la classe sismica E si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D.

5.3.3 Effetti di amplificazione morfologica (PSL Z3)

Gli scenari di pericolosità sismica locale **Z3a**, zona di ciglio, e **Z3b**, zona di cresta rocciosa sono rappresentati nella carta della pericolosità sismica locale da linee. Tali elementi individuano gli ambiti soggetti ad amplificazione topografica.

In questi ambiti il *fattore di amplificazione* deve essere calcolato per la quota di cresta o di ciglio e successivamente interpolato linearmente sino alla base del pendio dove assume valore pari all'unità. Possono pertanto essere soggette ad amplificazione topografica anche aree non collocate nelle immediate vicinanze delle scarpate e delle creste.



L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha individuato le scarpate, nonché le principali creste morfologiche e accertato per questi lineamenti la congruità con i valori soglia previsti dalla normativa.

In fase progettuale dovrà essere considerata dal tecnico incaricato la presenza di scenari di Pericolosità Sismica Locale che rientrino nella casistica della classe Z3 e valutato il relativo *fattore di amplificazione*.

Il terzo livello di approfondimento sismico va sempre applicato negli scenari di pericolosità sismica locale Z3a e Z3b nel caso di progetti di costruzioni con strutture flessibili e sviluppo verticale indicativamente compreso tra i 5 e i 15 piani.

Il terzo livello di approfondimento dovrà essere applicato rispettando le direttive tecniche regionali riassunte nel paragrafo 2.2.3.3.

Potrà essere evitata l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico utilizzando lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, seguendo il seguente schema:

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica B si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe C; nel caso in cui la soglia non fosse sufficientemente cautelativa si può utilizzare lo spettro previsto per il suolo di classe D;
- in sostituzione dello spettro per la classe sismica C si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D;
- in sostituzione dello spettro per la classe sismica E si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D.

5.3.4 Norme derivanti dall'azzoneamento P.A.I. a livello locale

- Cn

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di un approfondimento di indagine finalizzato alla delimitazione delle aree di pericolosità e rischio al fine di progettare adeguatamente gli interventi edificatori e/o infrastrutturali.

Tale approfondimento deve essere svolto secondo le metodologie descritte nell'Allegato 2 alla D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011.



- Fs

L'utilizzo delle aree ricadenti in questa sottoclasse è subordinato alla realizzazione di un approfondimento di indagine finalizzato alla progettazione degli interventi di messa in sicurezza dalla caduta massi.

Tale approfondimento deve essere svolto secondo le metodologie descritte nell'Allegato 2 alla D.G.R. 9/2616 del 30 novembre 2011.

5.3.5 Effetti di amplificazione litologica (PSL Z4)

Nello scenario Z4 è richiesta l'applicazione del secondo livello di approfondimento nelle aree interferenti con l'urbanizzato e l'urbanizzabile e l'approfondimento di terzo livello per l'analisi dell'amplificazione litologica, solo quando il *fattore di amplificazione* calcolato è maggiore del valore soglia.

L'analisi di secondo livello condotta nell'ambito di questo studio ha accertato, nei punti dove sono state realizzate le indagini sismiche, la congruità con i valori soglia previsti dalla normativa.

trovato che nelle zone di sovrapposizione degli scenario Z4a e Z2 il *Fa* non è verificato per il periodo di oscillazione compreso tra 0,1 – 0,5 s.

Qualora i *Fa* calcolati con l'analisi di secondo livello non fossero verificati, dovrà essere applicato il terzo livello di approfondimento, rispettando le direttive tecniche regionali, riassunte nel paragrafo 2.2.3.4. Tali approfondimenti dovranno essere preceduti dalla definizione della classe sismica di appartenenza del suolo (A, B, C, D, E).

Potrà essere evitata l'applicazione del terzo livello di approfondimento sismico utilizzando lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore, seguendo il seguente schema:

- in sostituzione dello spettro per la classe sismica B si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe C; nel caso in cui la soglia non fosse sufficientemente cautelativa si può utilizzare lo spettro previsto per il suolo di classe D;
- in sostituzione dello spettro per la classe sismica C si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D;



- in sostituzione dello spettro per la classe sismica E si può utilizzare quello previsto per il suolo di classe D.

Dott. Geol Renato Caldarelli



Dott. Geol. Massimo Elitropi

