

# COMUNE DI BORNO



## AGGIORNAMENTO DELLO STUDIO GEOLOGICO COMPONENTE SIMICA - DIRETTIVA ALLUVIONI-INVARIANZA IDRAULICA

1	RELAZIONE	1 RELAZIONE GEOLOGICA ILLUSTRATIVA GENERALE	
2	QUADRO GEOLOGICO	2a CARTA GEOLOGICA SU CTR	scala 1:10000
		2b SEZIONI GEOLOGICHE	
3	PAI	3 CARTA QUADRO DEL DISSESTO CON LEGENDA PAI SU CTR	scala 1:10000
4	TAVOLA DEI VINCOLI	4 CARTA DEI VINCOLI SU CTR	scala 1:10000
5	TAVOLE DI SINTESI	5 CARTA DI SINTESI SU CTR	scala 1:10000
		5a-b-c CARTA DI SINTESI (territorio urbanizzato)	scala 1:2000
6	COMPONENTE SIMICA	6 CARTA DELLA PSL SU CTR	scala 1:10000
		6a CARTA DI UBICAZIONE DELLE INDAGINI	
		6b RELAZIONE SIMICA	
7	TAVOLE DELLA FATTIBILITA'	7 CARTA DELLA FATTIBILITA' SU CTR	scala 1:10000
		7a-b-c CARTA DELLA FATTIBILITA' (territorio urbanizzato)	scala 1:2000
8	NORME	8 NORME GEOLOGICHE DI PIANO	
ALL.1	INVARIANZA IDRAULICA	ALL.1 INVARIANZA IDRAULICA	

AGGIORNAM. REVISIONI		Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
	c					
	b					
	a					

ID PROGETTO: **2001644**

**MARZO 2020**

*Geol. Luca Maffeo Albertelli*



UFFICI SEDE OPER.: Via Montegrappa, 41 - 24060 Rogno (BG) - Sede Legale: Via Manifattura 29/G -25047 DARFO B.T.(BS)  
Tel. 0354340011 fax. 0354340011 P.IVA 03480990989 e-mail: [luca@cogeo.info](mailto:luca@cogeo.info) [landcogeosrl@legalmail.it](mailto:landcogeosrl@legalmail.it)

<b>PREMESSE .....</b>	<b>3</b>
<b>AGGIORNAMENTO SISMICO - CONTENUTI.....</b>	<b>3</b>
<b>COMPONENTE SISMICA: CRONISTORIA DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE .....</b>	<b>3</b>
<b>CONSIDERAZIONI SULLA SISMICITÀ DEL TERRITORIO .....</b>	<b>6</b>
<b>PROCEDURE REGIONALI PER LA VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE .....</b>	<b>11</b>
<b>CONSIDERAZIONI AL TERMINE DEL 1° LIVELLO E INDICAZIONI PER IL 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.....</b>	<b>12</b>
<b>ANALISI DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI 2° LIVELLO .....</b>	<b>13</b>
EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA .....	13
<i>Z3a: Zona di scarpata .....</i>	<i>14</i>
<i>Z3b: Zona di cresta .....</i>	<i>29</i>
EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA .....	30
<i>Dati generali .....</i>	<i>30</i>
<i>Risultati dei dati geofisici.....</i>	<i>31</i>
<i>Individuazione delle categorie di sottosuolo .....</i>	<i>32</i>
<i>Analisi sismiche preesistenti.....</i>	<i>33</i>
<i>Valutazione dell'amplificazione litologica .....</i>	<i>33</i>
<i>Confronto tra modello geologico e geofisico.....</i>	<i>46</i>
<i>Attendibilità dei dati geologici e geofisici utilizzati .....</i>	<i>46</i>
<b>CONSIDERAZIONI FINALI .....</b>	<b>47</b>
AMPLIFICAZIONE MORFOLOGICA .....	47
AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA.....	48
EFFETTI DELLE MORFOLOGIE SEPOLTE .....	48
<b>ALLEGATO 1 – REPORT INDAGINI SISMICHE.....</b>	<b>49</b>

## Premesse

Il presente documento, è stato redatto per l'aggiornamento 2018 su incarico del comune di Borno, con lo scopo di illustrare il lavoro svolto per eseguire la valutazione della pericolosità sismica locale, con analisi ed approfondimenti di 2° livello.

Il Comune di Borno è dotato di studio geologico non comprendente la valutazione di secondo livello per quanto riguarda la pericolosità sismica locale.

Tale studio geologico è attualmente in vigore ed il presente lavoro è relativo all'aggiornamento dello studio geologico comunale.

Per quanto riguarda l'aspetto sismico nell'ambito di tale studio erano state condotte le analisi relative ai fenomeni di pericolosità sismica locale di primo livello, in considerazione del fatto che il Comune di Borno era classificato in zona sismica 4.

Regione Lombardia, con DGR D.g.r. 11 luglio 2014 – n.° X/2129 pubblicata sul BURL n° 29 Serie Ordinaria del 16 luglio 2014 ha aggiornato la classificazione sismica dei comuni lombardi: tale classificazione è in vigore, dopo alcune proroghe, dall'aprile 2016 e prevede ora, per il Comune di Borno, la zona Sismica 3.

A questo punto è necessario procedere, secondo le disposizioni Regionali, alle analisi sismiche di secondo livello sulle aree di potenziale pericolosità / amplificazione di carattere topografico - litologico (Z4a) individuate con l'analisi di primo livello.

Nel par. 5.0 e 6.0 della presente relazione si riepilogano velocemente le procedure Regionali ed i risultati dello studio di 1° livello; nella seconda parte della relazione si passa alle analisi di 2° livello ed alla valutazione dei risultati emersi. Per maggiori dettagli sugli studi di 1° livello si rimanda alla documentazione specifica allegata al vigente PGT.

## Aggiornamento sismico - contenuti

Con il presente lavoro, è stata aggiornata la seguente documentazione tecnica:

- Carta della pericolosità sismica locale di 2° livello” su tutto il territorio Comunale.

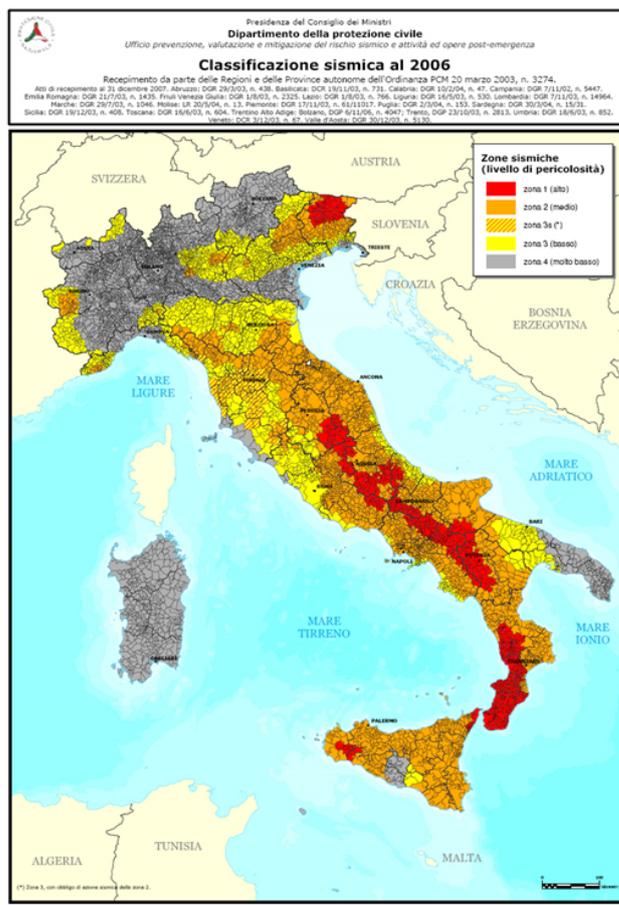
Sono riportati nella presente relazione alcuni riferimenti normativi di carattere sismico.

Al fine di integrare le aree di pericolosità sismica, si sono tenute in considerazione, nella carta di PSL, le zone in frana di cui al GEOIFFI, per maggior completezza del dato.

## Componente sismica: cronistoria della classificazione sismica del territorio comunale

Il Comune di Borno prima del 2003 non era considerato comune sismico e non rientrava in alcuna classificazione.

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003 introdusse le nuove classificazioni sismiche per tutto il territorio nazionale lasciando alle Regioni la facoltà di poter modificare i parametri del proprio territorio. La mappa nazionale, aggiornata al 2006 è di seguito riportata.



Tutto il territorio Nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche, con grado di rischio decrescente dalla zona 1 alla zona 4, secondo il seguente schema:

**Zona 1 (rischio alto)** - E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.

**Zona 2 (rischio medio)** - Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.

**Zona 3 (rischio basso)** - I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.

**Zona 4 (rischio molto basso)** - E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.

La suddivisione in classi deriva dalla valutazione della pericolosità sismica su tutto il territorio nazionale, valutata come accelerazione orizzontale massima al suolo, dovuta al sisma, con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno del sisma di 475 anni), in base alla seguente distinzione:

zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a <sub>g</sub> /g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a <sub>g</sub> /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

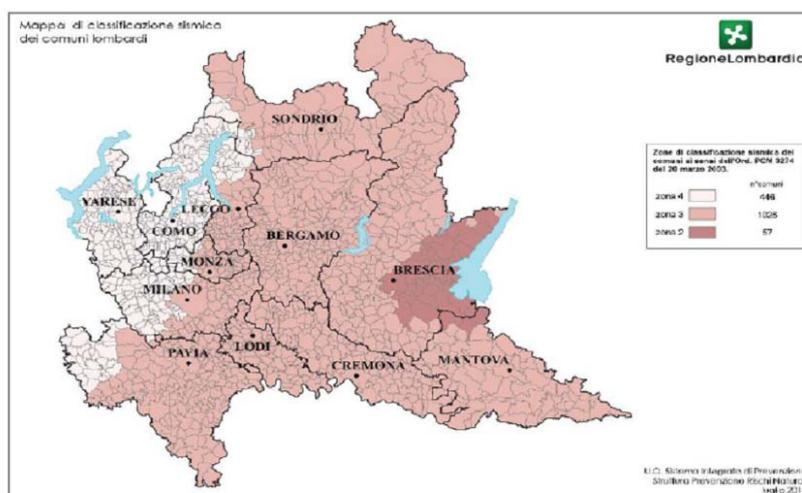
Con l'entrata in vigore dell'OPCM sopra riportata, tutto il territorio nazionale venne classificato sismico, con differenti livelli, ed anche il territorio di Borno entrò in questa classificazione in zona sismica 4, quella con il grado minore.

Regione Lombardia, nella prima fase di applicazione delle nuove disposizioni nazionali, approvò integralmente la classificazione nazionale, senza proporre alcuna modifica.

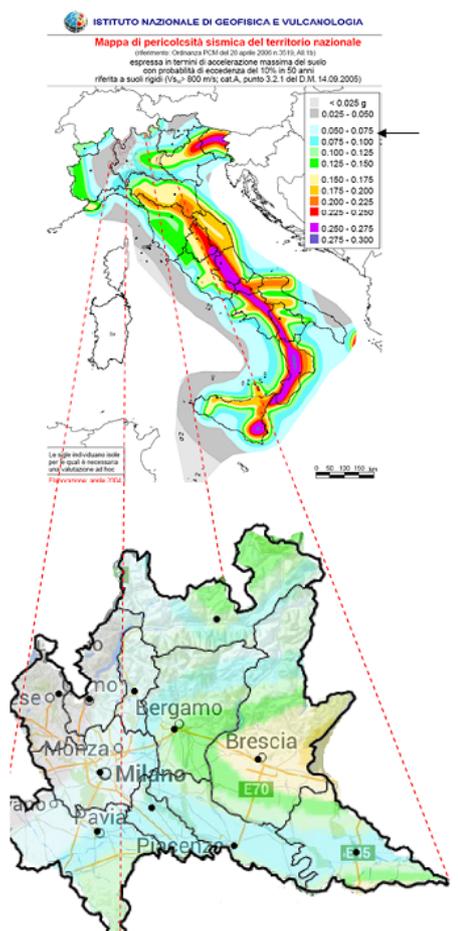
Recentemente, anche a seguito del forte evento sismico che ha colpito i territori delle province di Mantova e Modena, la Regione Lombardia ha approvato, con D.g.r. 11 luglio 2014 – n.X/2129, una nuova classificazione sismica del proprio territorio Regionale.

La classificazione, dopo svariate proroghe, è entrata definitivamente in vigore nell'aprile 2016 ed il Comune di Borno è stato inserito in classe sismica 3.

Le figure seguenti rappresentano: la variazione di classificazione sismica della Regione Lombardia entrata in vigore con il la D.G.R. 2129 del 11/07/14 e l'accelerazione sismica al suolo, attesa a scala nazionale ed in dettaglio della stessa Regione Lombardia



Mappa classificazione sismica in vigore dal 14.10.2014 (D.g.r. 11 luglio 2014 – n.X/2129 pubblicata sul BURL n.29 Serie Ordinaria del 16.07.2014)



*Mappa dell'accelerazione sismica al suolo attesa a scala nazionale ed in dettaglio della Regione Lombardia*

## Considerazioni sulla sismicità del territorio

Il paragrafo precedente ha focalizzato la situazione relativa alla classificazione, in relazione al rischio sismico, del territorio Comunale di Borno, sia passata che attuale, a seguito dell'entrata in vigore delle ultime disposizioni normative regionali in materia con la D.g.r. 11 luglio 2014 – n.X/2129.

La sismicità del nord Italia e della Lombardia in particolare è connessa, a grande scala, ai fenomeni attivi di convergenza tra la placca Adria e l'Europa (gli stessi che hanno generato la catena alpina), con fenomeni prevalentemente compressivi.

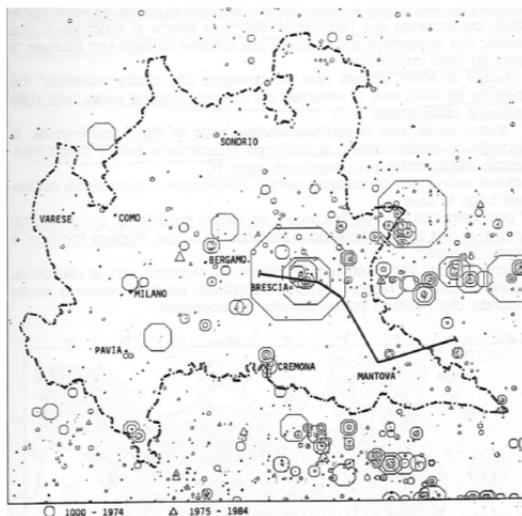
*In questo contesto i terremoti avvengono tutti nella crosta superiore, con ipocentri a profondità variabili tra 5 e 15 km; in generale non si riscontra alcuna attività sismica nel mantello o nella crosta superiore.*

In Lombardia la zona maggiormente sismica è al margine della Pianura Bresciana e nella zona del Lago di Garda, estremità sud del sistema di faglie delle Giudicarie.

La motivazione di tale sismicità è connessa alla struttura geologica: nella zona della pianura bresciana sono presenti nel sottosuolo numerose superfici di scorrimento delle falde, superfici connesse alla strutturazione delle Alpi Meridionali ed alla migrazione verso sud delle falde; nella zona del Garda i terremoti sono connessi ai movimenti ed ai rilasci energetici lungo la linea delle Giudicarie.

L'immagine seguente rappresenta la distribuzione dei terremoti in Lombardia dall'anno 1000 al 1984: l'area dei simboli è proporzionale alla magnitudo dei sismi stessi (il maggiore è quello della zona di Brescia del 1222).

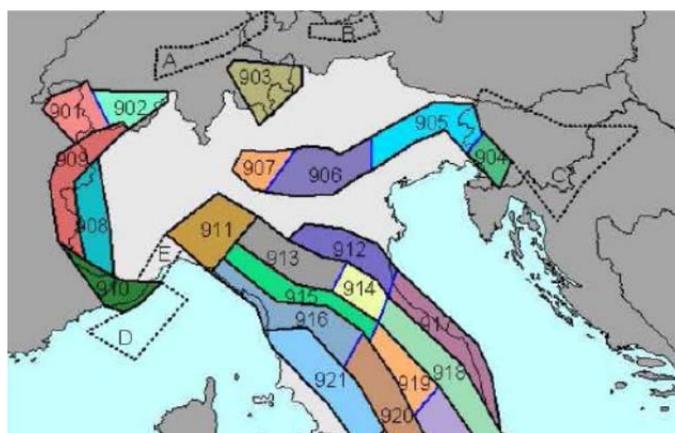
La sismicità decresce in maniera evidente da est andando verso ovest.



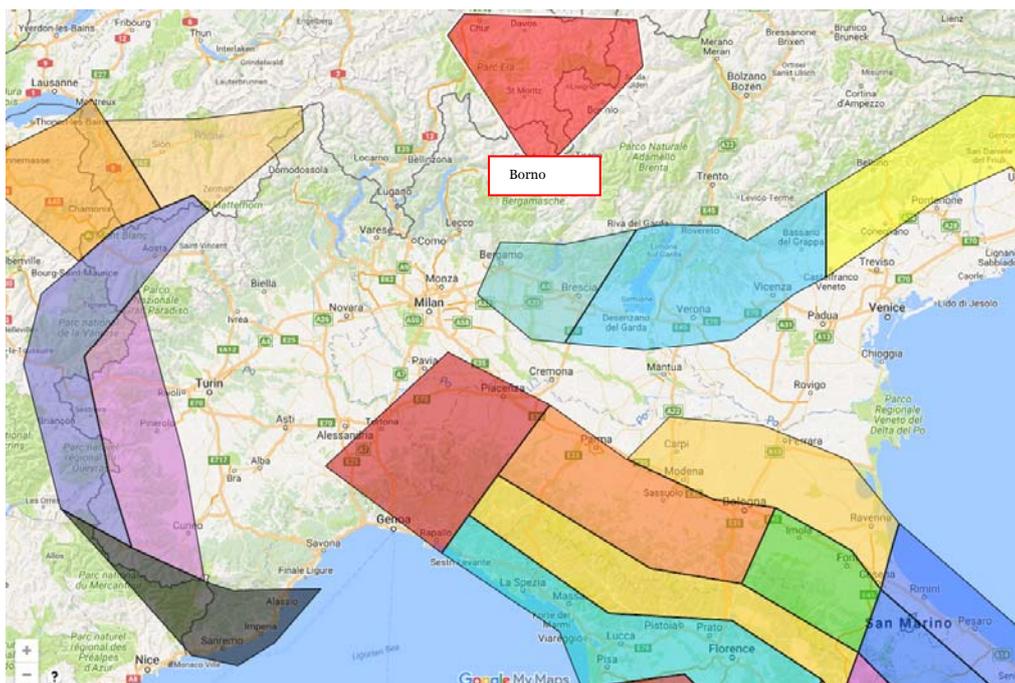
*Mappa dei terremoti della Regione Lombardia dal 1000 al 1984 (tratta da "Guide Geologiche Regionali – Alpi e Prealpi Lombarde" – AAVV)*

L'immagine seguente rappresenta uno stralcio della zonazione sismogenetica ZS9, utilizzata per la valutazione della pericolosità sismica di cui al precedente paragrafo.

Come si vede l'attività sismica nella zona Lombarda si concentra nelle Alpi Occidentali (zona 903) e nel Subalpino Meridionale (zona 907).



*Stralcio della zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di lavoro 2004)*

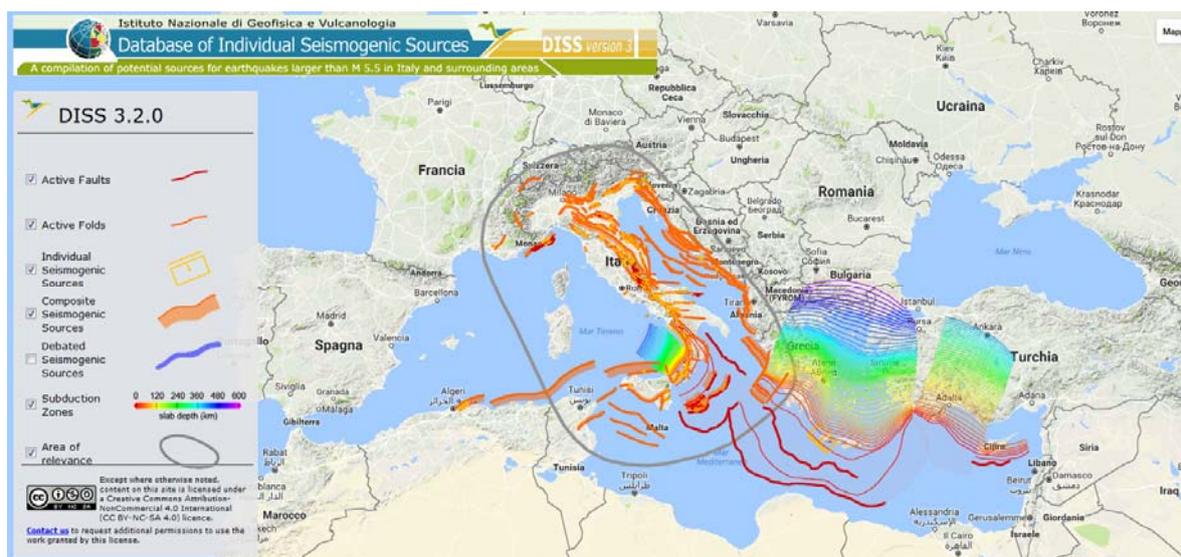


Vista di dettaglio su google map della zonazione sismogenetica ZS9 (Gruppo di lavoro 2004)

Il comune di Borno è esterno a qualunque zona sismogenetica.

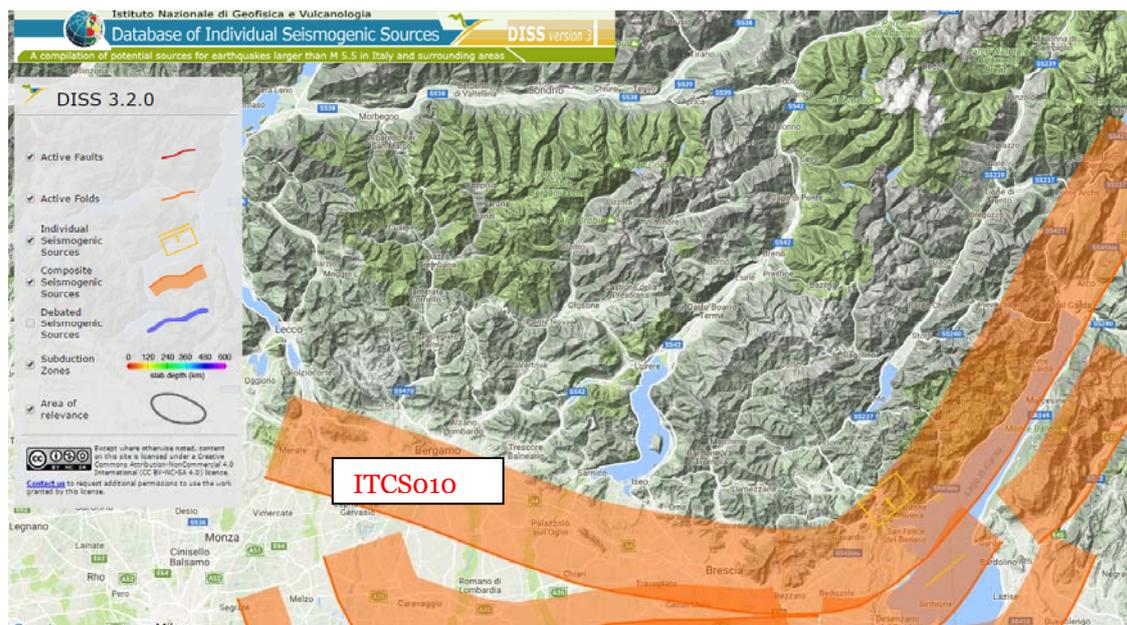
Il territorio Comunale si trova tra la zona 907 “Bergamasco” e la zona 903 “Grigioni – Valtellina”.

Per quanto riguarda le strutture sismogenetiche (ossia le strutture geologiche in grado di produrre e generare terremoti) è possibile fare riferimento al DISS ver. 3.2.0. – Database of Seismogenic Sources.



Visualizzazione generale delle strutture sismogenetiche Italiane (DISS ver. 3.2.0)

Considerazioni sulla sismicità del territorio



Visualizzazione di dettaglio delle strutture sismogenetiche tra le Province di BG e BS (DISS ver. 3.2.0)

La struttura sismogenetica più vicina al comune di Borno, è la ITCS010 “Western S-Alps internal thrust”.

Si tratta di una struttura geologica complessa e composita, che va dalla parte nord del Lago di Garda fino alle città di Bergamo e Brescia, con un andamento nord-est / sud-ovest nella porzione orientale, per poi divenire quasi est-ovest nella porzione centrale ed occidentale.

Questa struttura appartiene ad un fronte di accavallamento interno, in connessione con il fronte di accavallamento tettonico del Sud Alpino (*Giudicarie thrust system*), con una direzione di vergenza delle falde verso sud ed una tettonica prevalentemente compressiva.

I cataloghi sismici strumentali e/o a carattere storico (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostrano una sismicità irregolare, con i fenomeni principali e di maggiore intensità presso la zona Gardesana.

In particolare i cataloghi storici individuano una serie di eventi sismici con una magnitudo compresa tra Mw 4,11 e 5,85 che potrebbero essere stati generati da questa sorgente composita.

Le profondità minima e massima degli ipocentri sono basate sui dati delle strutture geologiche e sono variabili tra 5.0 and 12.0 km.

Il tasso di movimento basato su dati geodinamici a carattere regionale è dell'ordine di 0.1 – 0.5 mm/y.

La massima magnitudo attesa, ipotizzata in modo cautelativo in base alle informazioni sismologiche e geologiche regionali, è stimata in Mw 5,44 .

Di seguito è riportato il risultato dell'interrogazione effettuata al Database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15 (Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. 2016).

Il Database fornisce un set omogeneo di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti relativo ai terremoti con intensità massima  $\geq 5$  e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale degli anni dal 1000 al 2014.

**Borno**   

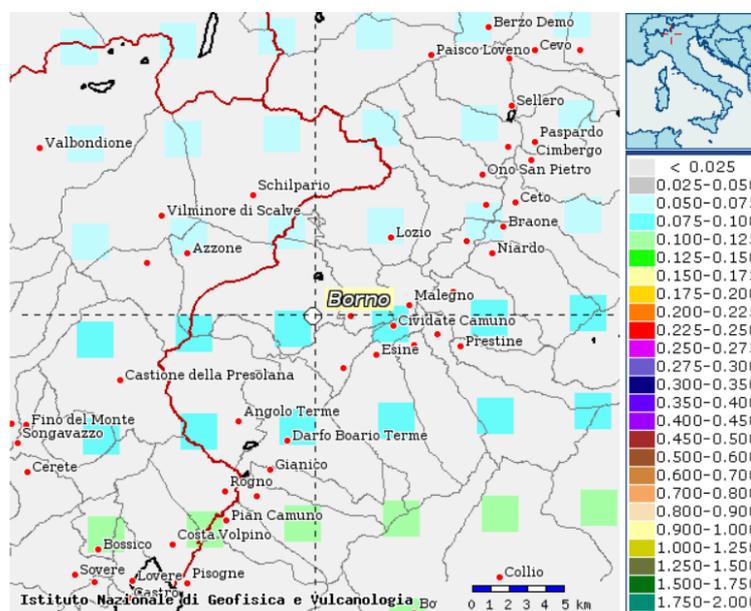
PlaceID IT\_15758  
 Coordinate (lat, lon) 45.947, 10.206  
 Comune (ISTAT 2015) Borno  
 Provincia Brescia  
 Regione Lombardia  
 Numero di eventi riportati 8

Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Mo	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
6-7	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8	5.44	
3	1917	12	09	21	40		Alta Engadina	39	6	4.60	
4	1989	09	13	21	04	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85	
NP	1991	11	20	01	54	1	Grigion, Var	468	6	4.70	
4-5	1993	12	09	18	16	5	Lago d'Isèo	175	5	4.11	
2-3	1999	12	31	04	55	5	Alpi Retiche	99		4.11	
2-3	2001	07	17	15	06	1	Val Venosta	657	5-6	4.78	
3-4	2002	11	13	10	46	0	Franciacorta	768	5	4.21	

**Interrogazione del Database Macrosismico Italiano chiamata DBMI15 per il Comune di Borno**

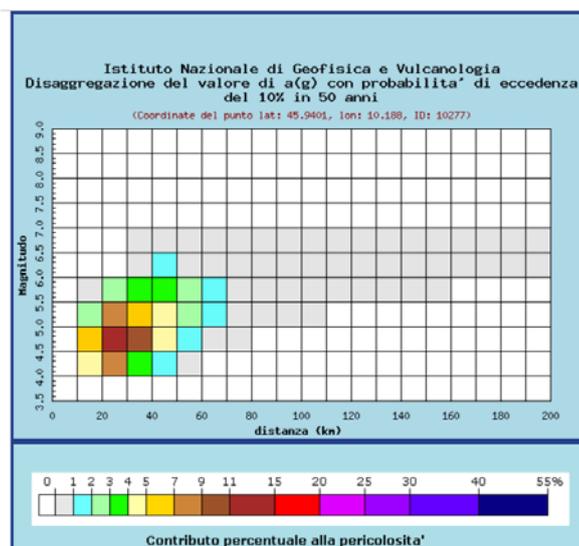
La ricerca effettuata per il Comune di Borno evidenzia la presenza di possibili effetti in 8 terremoti, con un'intensità epicentrale  $Io = 5-7$  ed una magnitudo momento  $Mw = 4,11-5,44$ .

Per ottenere ulteriori elementi di riferimento in merito al possibile sisma atteso / di riferimento ed alle relative accelerazioni al suolo per il Comune di Borno, si è fatto riferimento agli studi di "Disaggregazione della pericolosità sismica in termini di M-R-ε" a cura di Spallarossa e Barani del 2007.



**Estratto mappa di pericolosità sismica in termini di a(g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni per il Comune di Borno**

L'analisi della disaggregazione dei valori di accelerazione a(g) riporta, per ogni nodo della carta di pericolosità sismica la valutazione del contributo percentuale alla stima della pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori magnitudo e distanza del sisma che contribuisce alla valutazione stessa della pericolosità.



*Grafico di disaggregazione Magnitudo – distanza per la cella rappresentativa del Comune di Borno*

Per il territorio di Borno è possibile ricavare i seguenti valori:

- il parametro dello scuotimento con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni è variabile tra 0,075e 0,100.
- sisma: magnitudo compresa tra 4 e 6,5 – distanza compresa tra 20 e 70 Km.

## Procedure regionali per la valutazione della pericolosità sismica locale

La metodologia prevede tre livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente.

I primi due livelli sono obbligatori in fase di pianificazione, mentre il terzo è obbligatorio in fase di progettazione per casi specifici (quando il 2° livello dimostra l'inadeguatezza della normativa sismica nazionale per aree di possibile amplificazione, per aree caratterizzate da effetti di instabilità, cedimenti e/o liquefazione, contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse e per edifici di particolari caratteristiche).

Sinteticamente i livelli previsti sono di seguito illustrati:

### 1° livello

E' una fase prettamente qualitativa che si basa sulle considerazioni dirette degli effetti dei terremoti e prevede l'individuazione di una serie di zone passibili di amplificazione sismica o in cui possono verificarsi problemi particolari (liquefazione, riattivazione frane, ecc.) in caso di sisma.

### 2° livello

Si applica in base alle risultanze del livello 1 ed in relazione alla classificazione sismica del Comune e prevede un approccio semiquantitativo per valutare quali sono gli effetti di amplificazione attesi e se la normativa vigente è in grado di sopportarli.

### 3° livello

In questo caso si tratta di procedure molto complesse da attuare in fase di progettazione quando il 2° livello verifica l'inadeguatezza della norma oppure in casi di condizioni geologiche specifiche.

In considerazione del fatto che il Comune di Borno è in classe sismica 3 la norma prevede, in fase di pianificazione, l'obbligo del 1° livello con la redazione della carta della pericolosità sismica locale nonché l'obbligo delle analisi anche del 2° livello per gli scenari Z3 e Z4 per le aree edificate ed edificabili (con la sola esclusione delle aree già inedificabili per altri motivi).

## Considerazioni al termine del 1° livello e indicazioni per il 2° livello di approfondimento

Nel territorio del Comune di Borno sono stati individuati, con gli studi di 1° livello, alcuni scenari di possibile amplificazione sismica: è quindi necessario procedere agli approfondimenti di secondo livello, sulla base di quanto emerso.

Si rammenta infatti che la carta della pericolosità sismica locale rappresenta, secondo le procedure da adottare, il riferimento per l'applicazione dei successivi livelli di approfondimento che dovranno essere applicati in relazione all'utilizzo delle aree.

La carta della pericolosità sismica locale permette anche l'assegnazione diretta della classe di pericolosità e dei successivi livelli di approfondimento necessari.

Il 2° livello prevede la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e l'individuazione, nell'ambito degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione (zone Z3 e Z4), di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici.

Per il Comune di Borno, che ricade in zona sismica 3, l'analisi di secondo livello è obbligatoria per gli scenari Z3 e Z4 per le aree edificate ed edificabili, con l'esclusione di quelle già inedificabili (classe di fattibilità geologica 4).

Gli approfondimenti da eseguire sono quindi di due differenti tipi: morfologici e litologici.

Per quanto riguarda le verifiche morfologiche (Z3a e Z3b) si opererà sul fotogrammetrico comunale e sulla CTR alla scala 1:10.000 rapportandosi alle tabelle ed ai grafici della Regione per verificare l'effetto di amplificazione atteso.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	Classe di PERICOLOSITA' SISMICA
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	H3
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	H2 – livello di approfondimento 3°
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zona con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	H2 – livello di approfondimento 3°
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	H2 – livello di approfondimento 3°
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)	H2 – livello di approfondimento 2°
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondo valle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	H2 – livello di approfondimento 2°
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	H2– livello di approfondimento 3°

Per quanto riguarda gli aspetti litologici (Z4a, Z4b, Z4c e Z4d), per poter effettuare le verifiche con le schede predisposte dalla Regione Lombardia è necessaria una conoscenza corretta del sottosuolo oltre che in termini litologici, anche in termini di Vs e di struttura geologica.

Per l'adeguamento alle norme, a supporto del livello 2 di analisi, sono state eseguite delle indagini geofisiche specifiche ma riferite alla sola zona coperta dal volo fotogrammetrico, quindi la parte della conoide e dei depositi fluviali su cui sorge l'abitato di Borno; tali indagini sono state integrate con quelle ottenute nel corso di precedenti studi entro il territorio comunale.

## Analisi di pericolosità sismica di 2° livello

Per gli scenari Z3a, Z3b e Z4a, Z4b, Z4c e Z4d evidenziati nel territorio di Borno, interferenti con l'edificato, la normativa prevede l'applicazione del 2° livello di approfondimento per le aree urbanizzate e di possibile espansione, con l'esclusione delle aree già inedificabili per altri motivi.

Di seguito si illustrano, in dettaglio, le analisi eseguite, le procedure adottate, le scelte effettuate ed i risultati delle stesse.

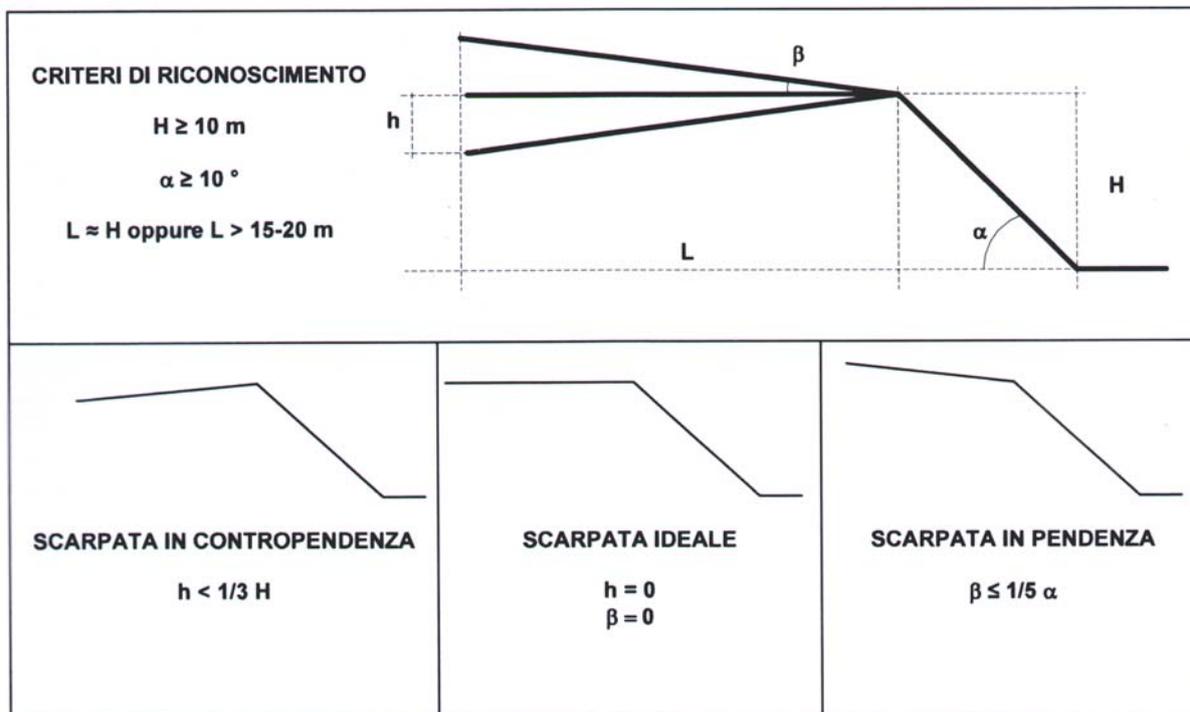
### Effetti di amplificazione topografica

Gli approfondimenti di 2° livello sono stati effettuati solo nei siti caratterizzati da aree edificate o prossimi ad aree edificate. Rimangono nel territorio comunale, ampie aree potenzialmente soggette a questo tipo di amplificazione per la particolare conformazione morfologica del territorio comunale, che vede la presenza di ampie creste e scarpate soprattutto nelle zone montuose in quota. Di seguito si riportano i risultati ottenuti su 12 sezioni topografiche ritenute più rappresentative, attraverso zone di scarpata e cresta; i parametri di riferimento sono definiti dalla figura allegata in seguito, tratta dalla norme regionali.

Z3a: Zona di scarpata

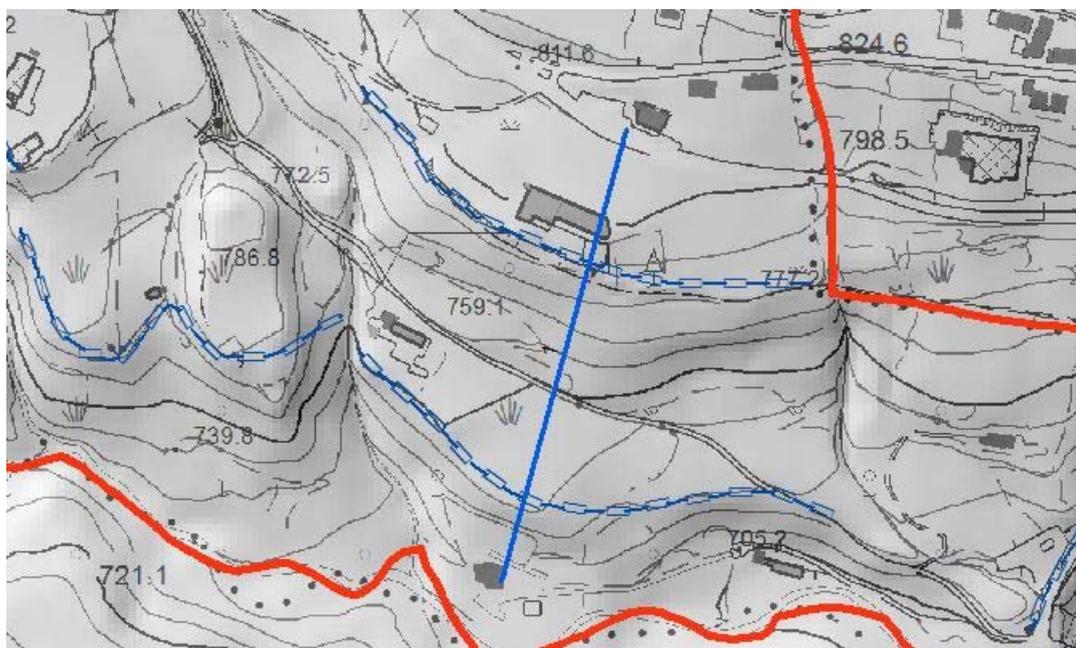
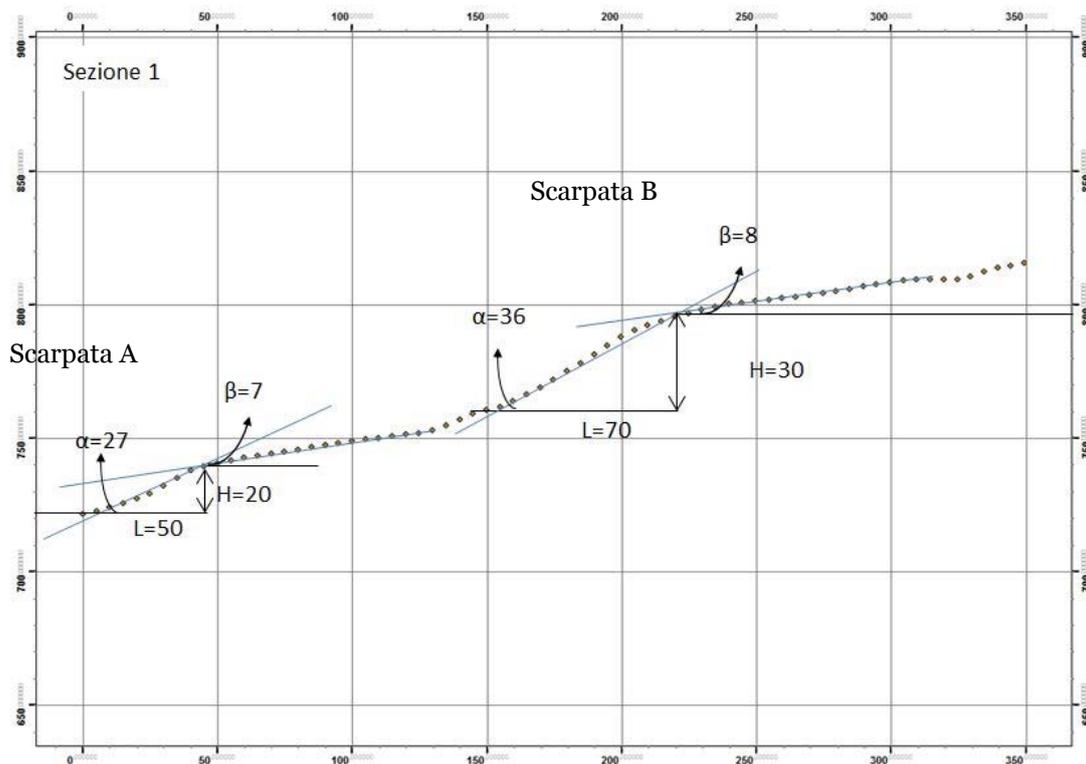
Le aree individuate sono 11, di cui di seguito viene riportata la localizzazione.

Si riportano i risultati ottenuti sulle sezioni topografiche attraverso le zone di scarpata; i parametri di riferimento sono definiti dalla figura allegata, tratta dalle norme regionali.



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	

1. SEZIONE 1



DATI TOPOGRAFICI

Scarpata A  
 $\alpha = 27^\circ$   
 $\beta = 7^\circ$   
 H = 20 m

Scarpata B  
 $\alpha = 36^\circ$   
 $\beta = 8^\circ$   
 H = 30 m

L = 50 m

L = 70 m

## CRITERI DI RICONOSCIMENTO SCARPATA

Scarpata A

Scarpata B

H  $\geq$  10 mH  $\geq$  10 m $\alpha \geq 10^\circ$  $\alpha \geq 10^\circ$ 

L &gt; 15 – 20m

L &gt; 15 – 20m

 $\beta \leq 1/5$  $\beta \leq 1/5$ 

## EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE

Scarpata A

Scarpata B

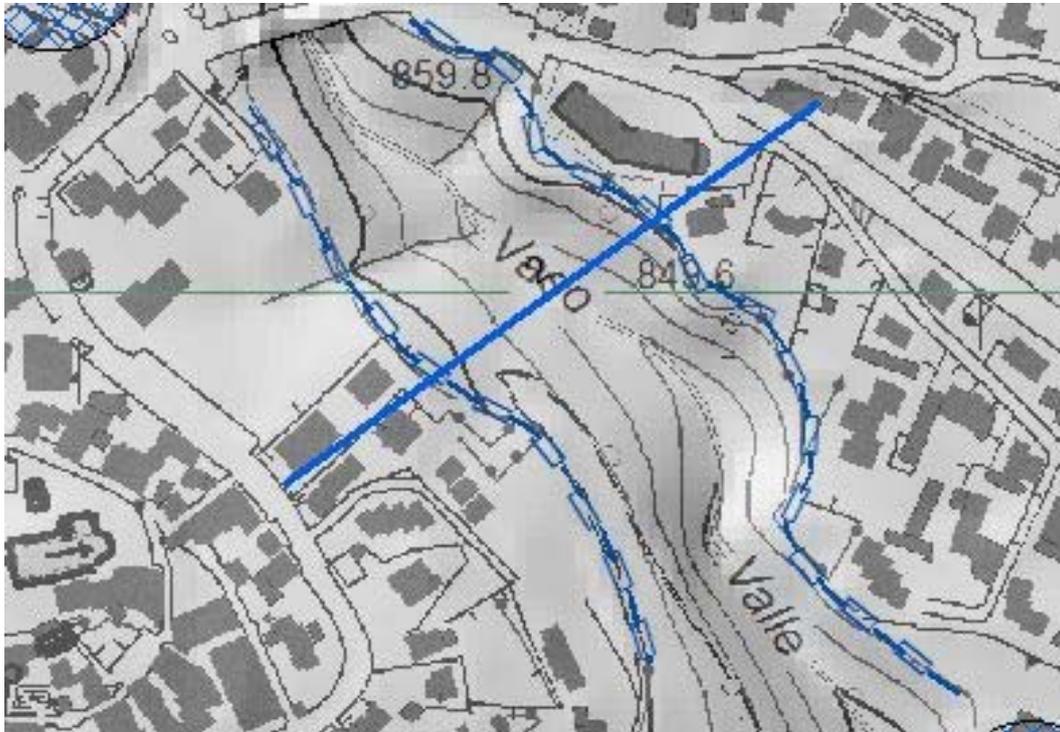
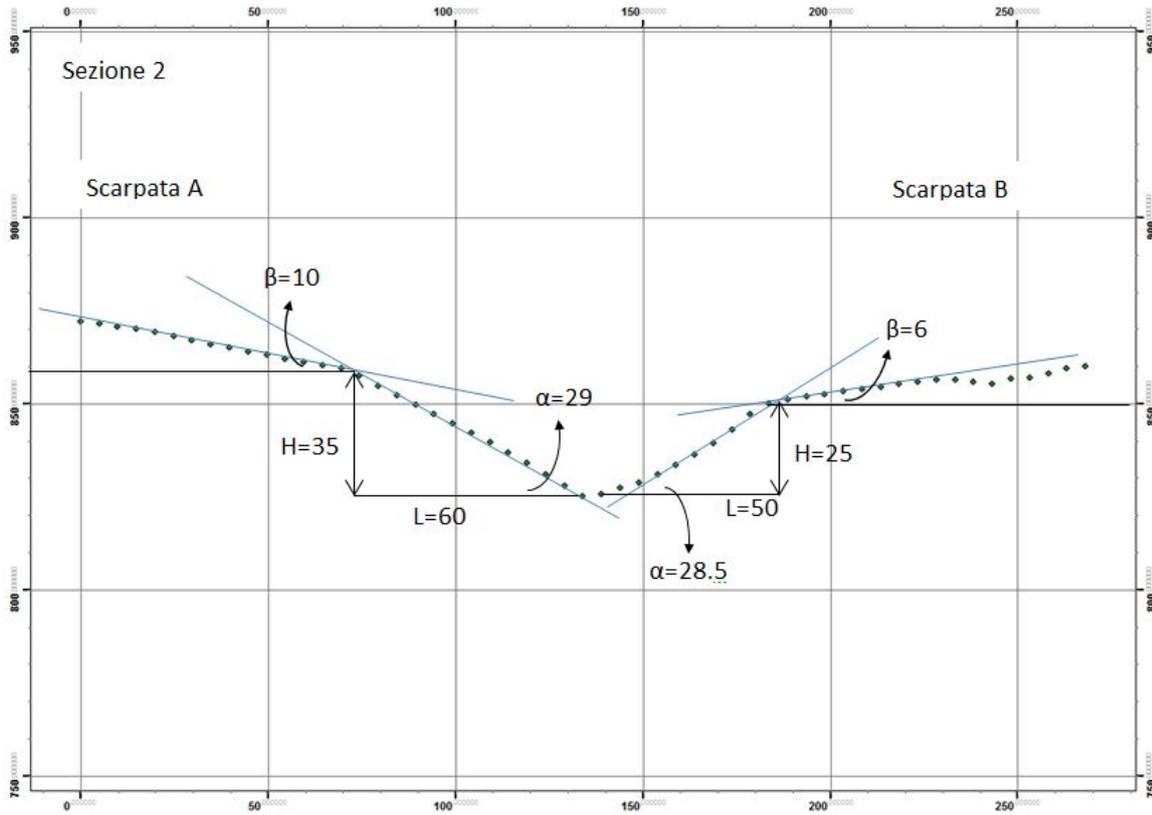
La condizione  $\beta \leq 1/5$   $\alpha$ , necessaria per identificare una scarpata in pendenza soggetta ad amplificazione, appare non verificata.

La condizione  $\beta \leq 1/5$   $\alpha$ , necessaria per identificare una scarpata in pendenza soggetta ad amplificazione, appare non verificata.

Non si crea fenomeno di amplificazione

Non si crea fenomeno di amplificazione

2. SEZIONE 2



DATI TOPOGRAFICI

Scarpata A	Scarpata B
$\alpha = 29^\circ$	$\alpha = 28.5^\circ$
$\beta = 10^\circ$	$\beta = 6^\circ$
H = 35 m	H = 25 m
L = 60 m	L = 50 m

## CRITERI DI RICONOSCIMENTO SCARPATA

Scarpata A	Scarpata B
$H \geq 10$ m	$H \geq 10$ m
$\alpha \geq 10^\circ$	$\alpha \geq 10^\circ$
$L > 15 - 20$ m	$L > 15 - 20$ m
$\beta \leq 1/5$	$\beta \leq 1/5$

## EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE

Scarpata A	Scarpata B
------------	------------

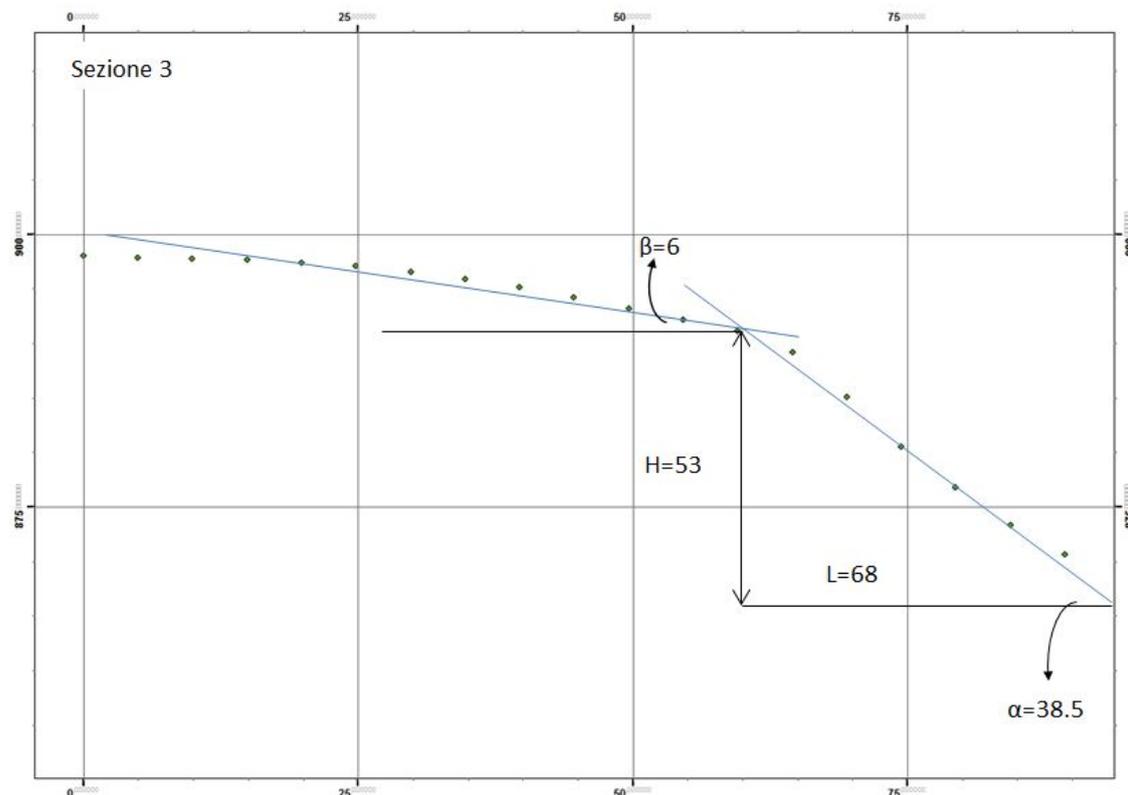
La condizione  $\beta \leq 1/5$   $\alpha$ , necessaria per identificare una scarpata in pendenza soggetta ad amplificazione, appare non verificata.

La condizione  $\beta \leq 1/5$   $\alpha$ , necessaria per identificare una scarpata in pendenza soggetta ad amplificazione, appare non verificata.

Non si crea fenomeno di amplificazione

Non si crea fenomeno di amplificazione

3. SEZIONE 3



DATI TOPOGRAFICI

$\alpha = 29^\circ$

$\beta = 10^\circ$

$H = 35 \text{ m}$

$L = 60 \text{ m}$

CRITERI DI RICONOSCIMENTO SCARPATA

$H \geq 10 \text{ m}$

$\alpha \geq 10^\circ$

$L > 15 - 20 \text{ m}$

$\beta \leq 1/5$

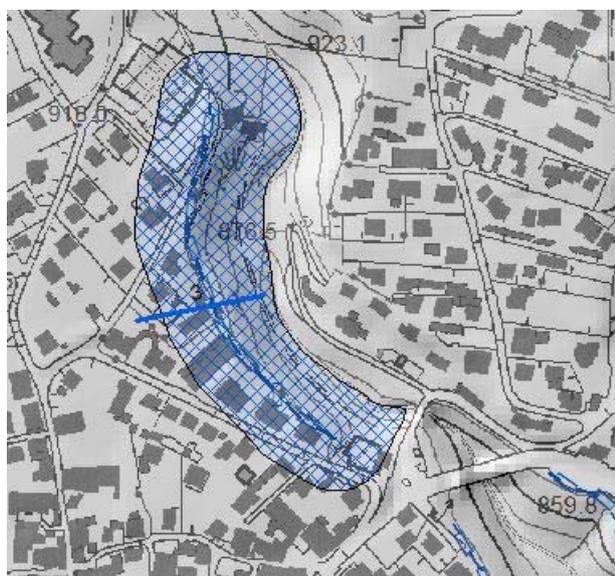
EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE

Classe altimetrica:  $H > 40 \text{ m}$

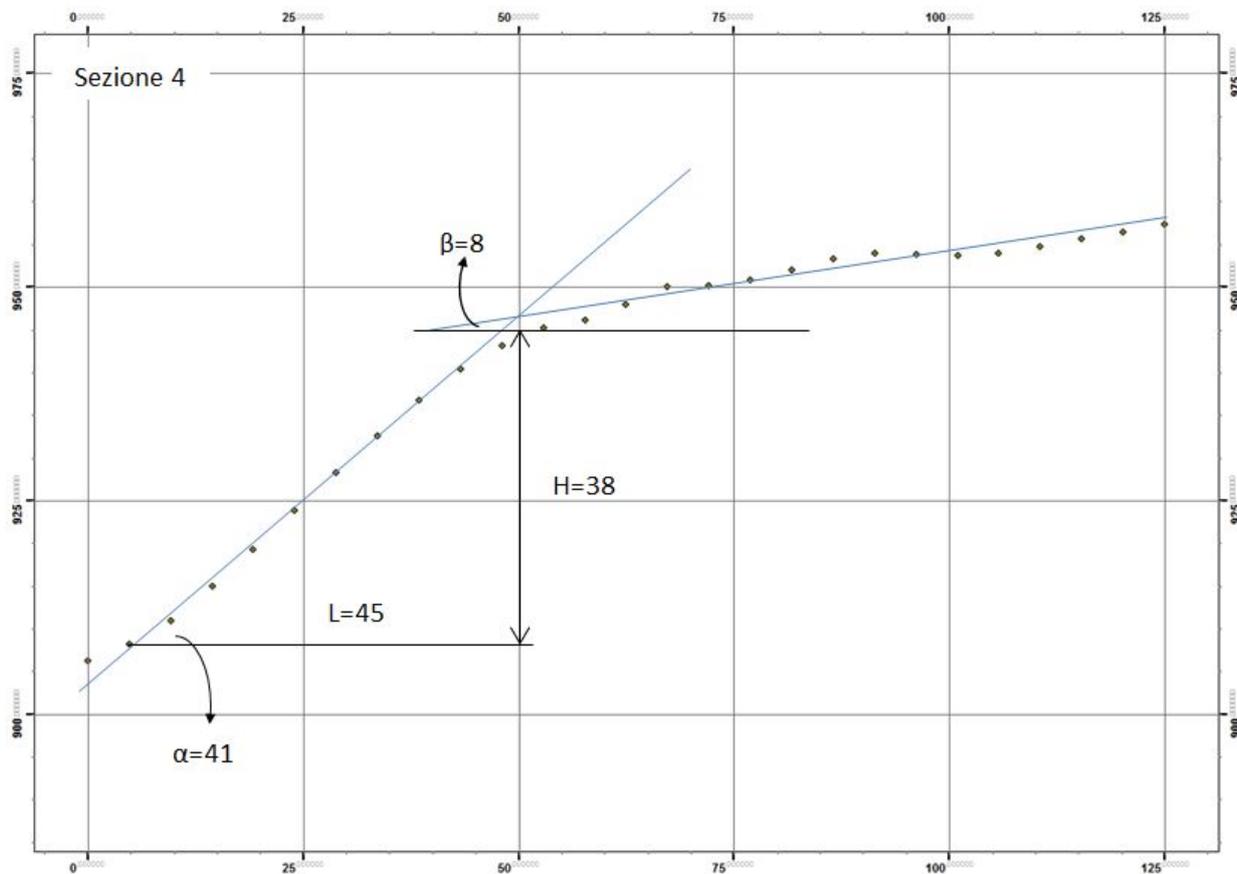
Classe di inclinazione:  $20^\circ < \alpha < 40^\circ$

$Fa = 1.2$

Area Influenza =  $2/3H = 35 \text{ m}$



4. SEZIONE 4



DATI TOPOGRAFICI

$\alpha = 41^\circ$

$\beta = 8^\circ$

$H = 38 \text{ m}$

$L = 45 \text{ m}$

CRITERI DI RICONOSCIMENTO SCARPATA

$H \geq 10 \text{ m}$

$\alpha \geq 10^\circ$

$L > 15 - 20 \text{ m}$

$\beta \leq 1/5$

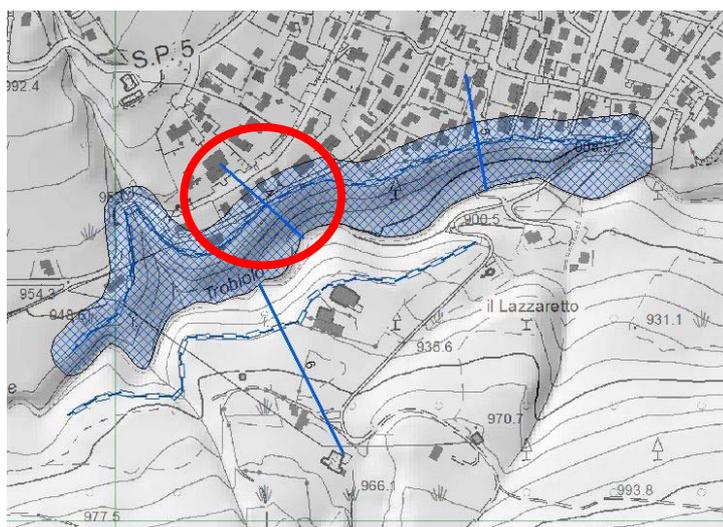
EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE

Classe altimetrica:  $20 < H < 40 \text{ m}$

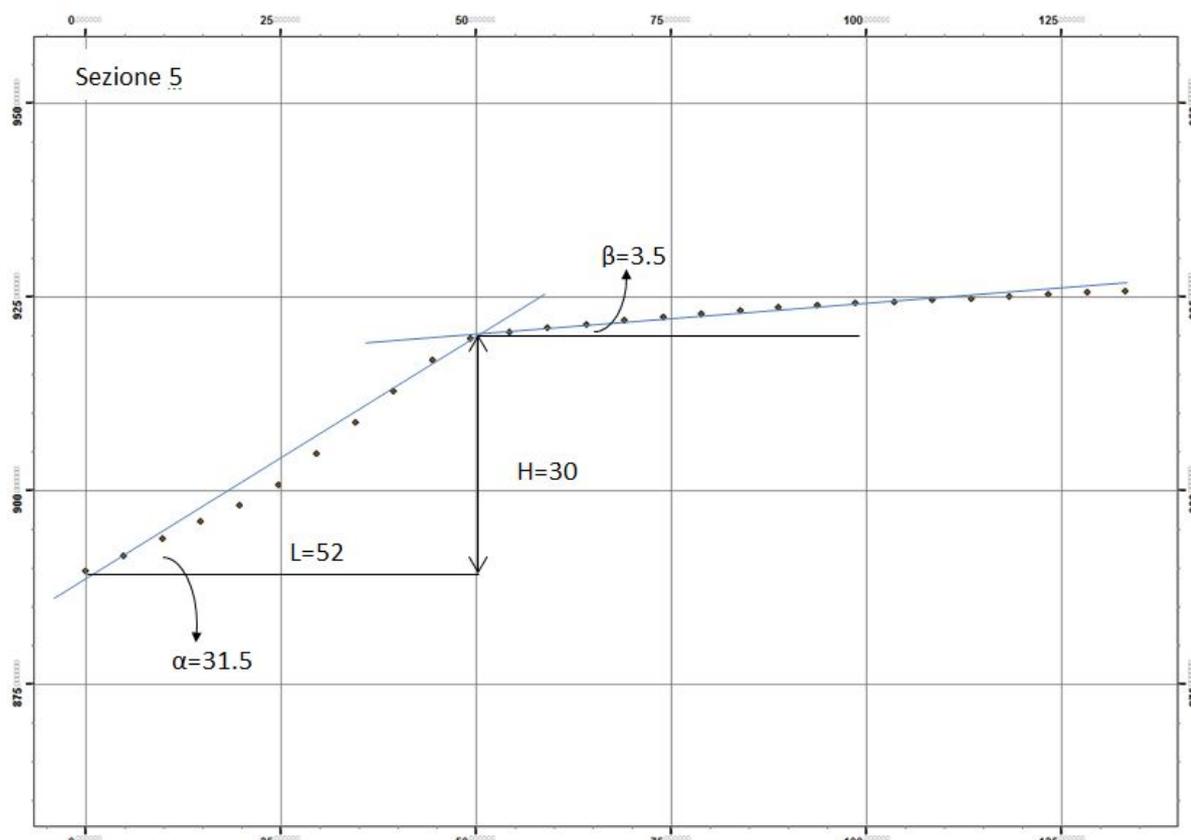
Classe di inclinazione:  $10^\circ < \alpha < 90^\circ$

Fa=1.2

Area Influenza =  $3/4H = 28 \text{ m}$



5. SEZIONE 5



DATI TOPOGRAFICI

$\alpha = 31.5^\circ$

$\beta = 3.5^\circ$

$H = 30 \text{ m}$

$L = 52 \text{ m}$

CRITERI DI RICONOSCIMENTO SCARPATA

$H \geq 10 \text{ m}$

$\alpha \geq 10^\circ$

$L > 15 - 20 \text{ m}$

$\beta \leq 1/5$

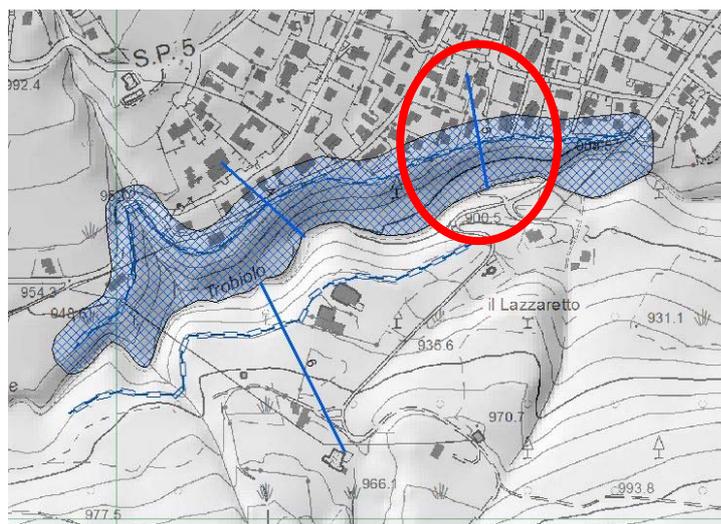
EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE

Classe altimetrica:  $20 < H < 40 \text{ m}$

Classe di inclinazione:  $10^\circ < \alpha < 90^\circ$

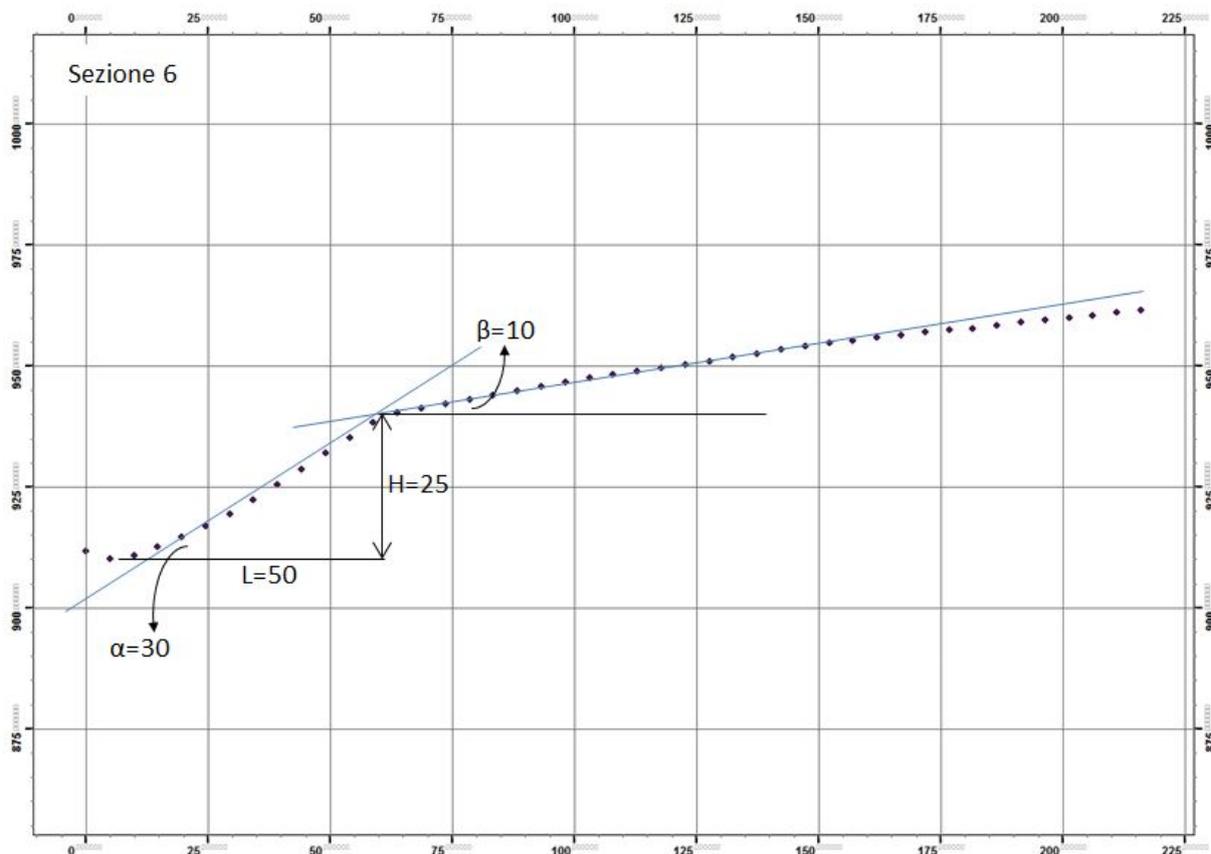
$Fa = 1.2$

Area Influenza =  $3/4H = 23 \text{ m}$



Analisi di pericolosità sismica di 2 livello

6. SEZIONE 6



DATI TOPOGRAFICI

$\alpha = 30^\circ$

$\beta = 10^\circ$

$H = 25 \text{ m}$

$L = 50 \text{ m}$

CRITERI DI RICONOSCIMENTO SCARPATA

$H \geq 10 \text{ m}$

$\alpha \geq 10^\circ$

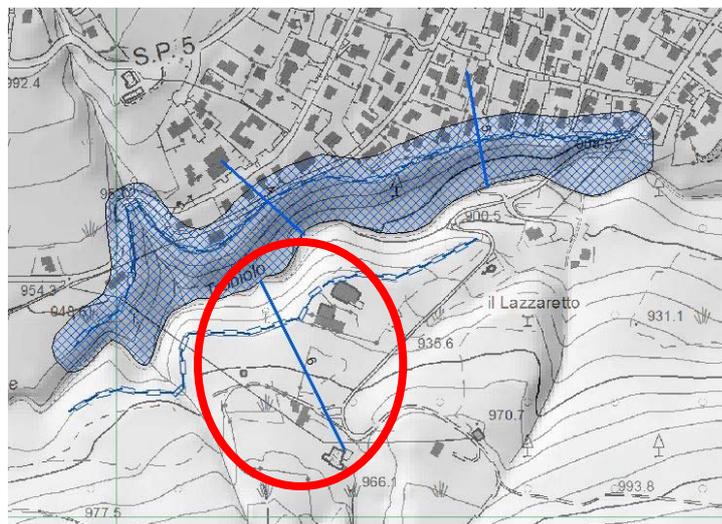
$L > 15 - 20 \text{ m}$

$\beta \leq 1/5$

EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE

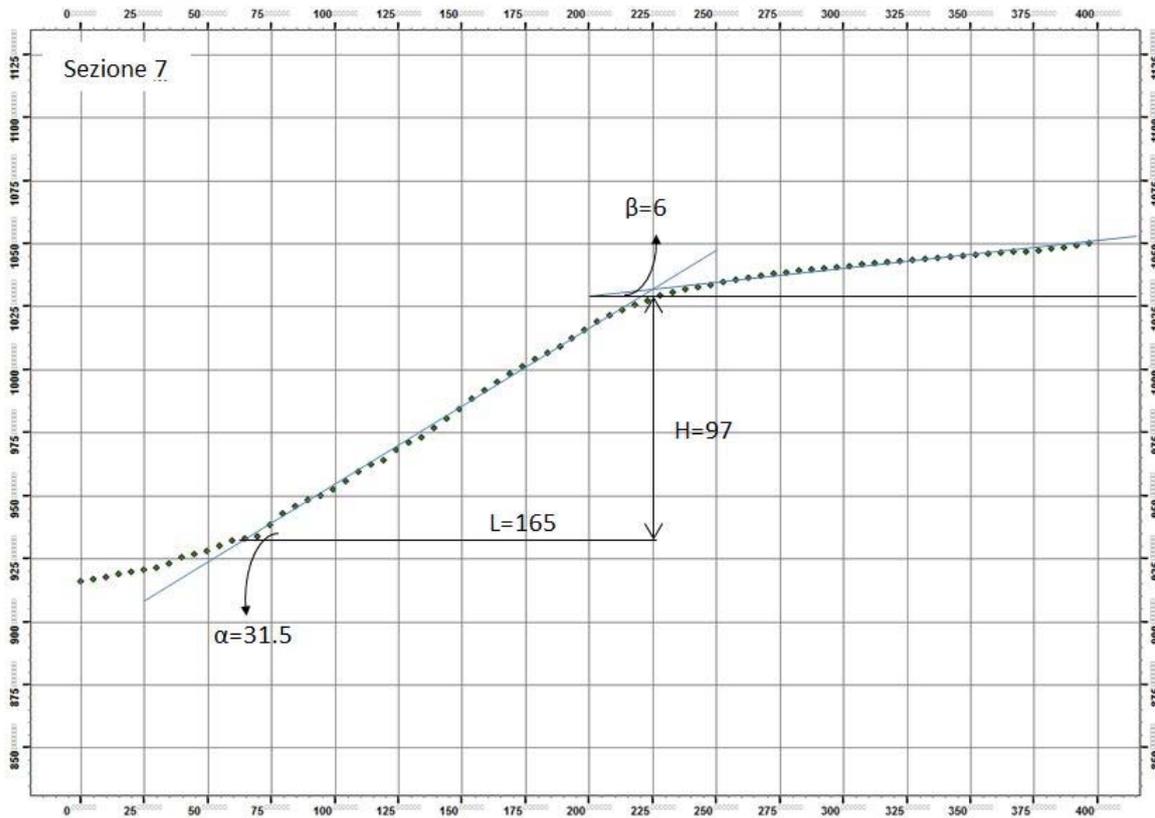
La condizione  $\beta \leq 1/5 \alpha$ , necessaria per identificare una scarpata in pendenza soggetta ad amplificazione, appare non verificata.

Non si crea fenomeno di amplificazione



Analisi di pericolosità sismica di 2 livello

7. SEZIONE 7



DATI TOPOGRAFICI

$\alpha = 31.5^\circ$

$\beta = 6^\circ$

$H = 97 \text{ m}$

$L = 165 \text{ m}$

CRITERI DI RICONOSCIMENTO SCARPATA

$H \geq 10 \text{ m}$

$\alpha \geq 10^\circ$

$L > 15 - 20 \text{ m}$

$\beta \leq 1/5$

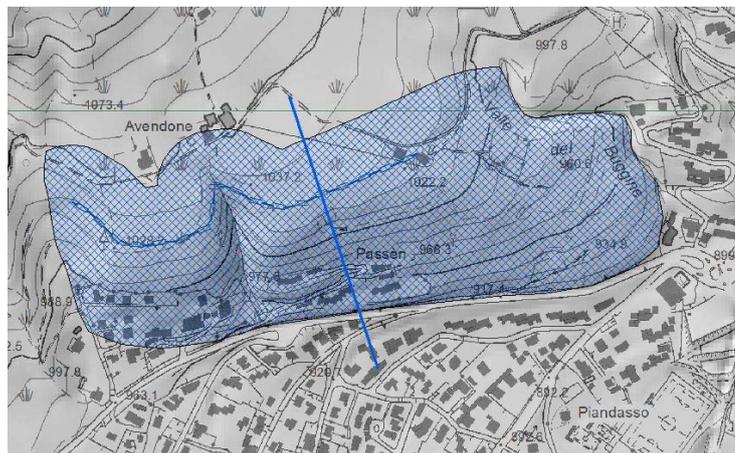
EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE

Classe altimetrica:  $H > 40 \text{ m}$

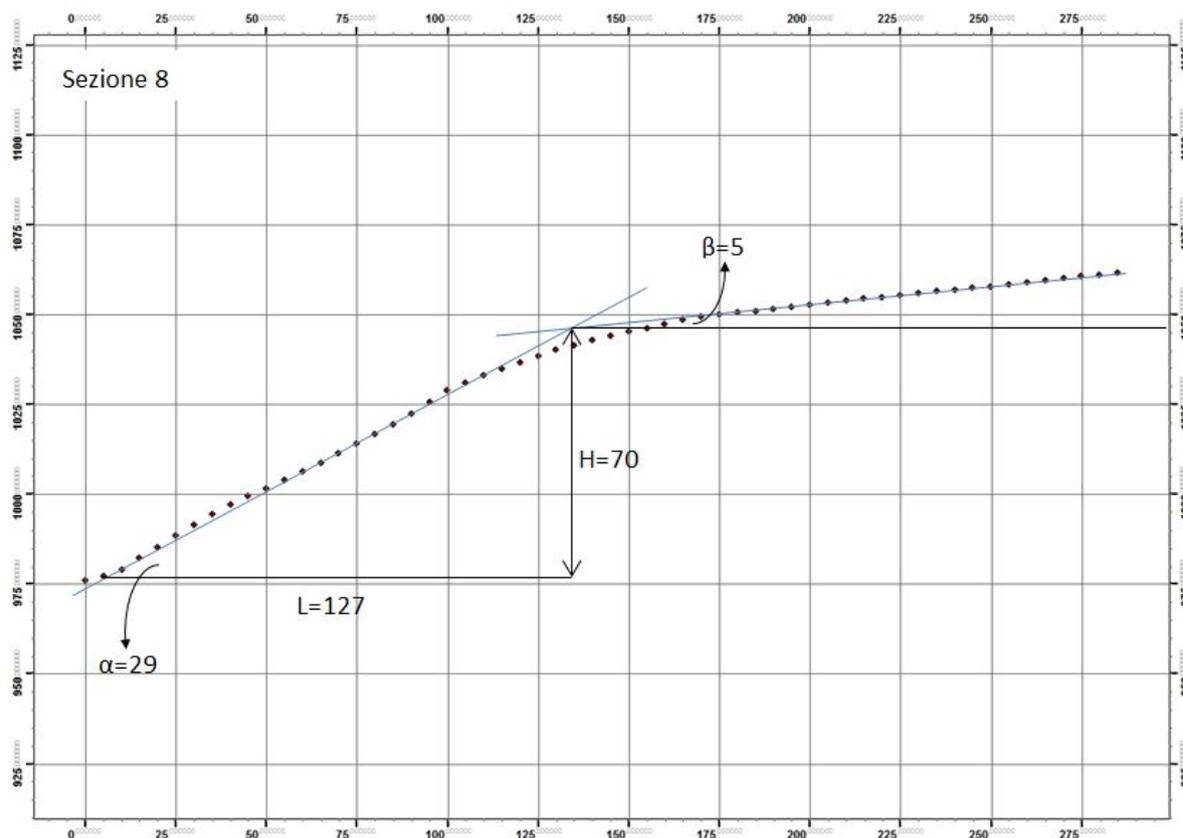
Classe di inclinazione:  $20^\circ < \alpha < 40^\circ$

$Fa = 1.2$

Area Influenza =  $2/3H = 73 \text{ m}$



8. SEZIONE 8



DATI TOPOGRAFICI

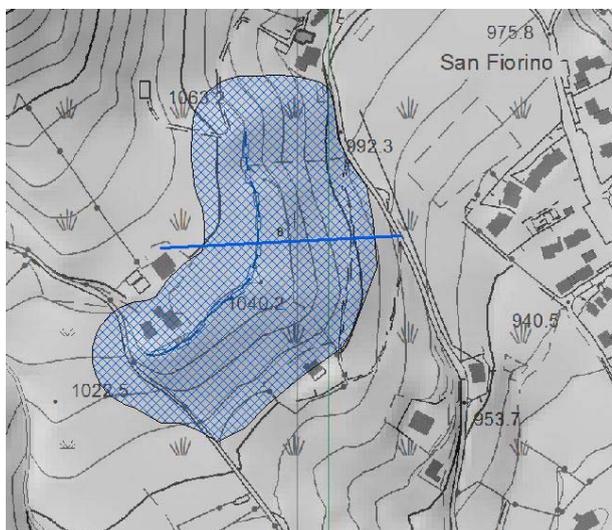
- $\alpha = 29^\circ$
- $\beta = 5^\circ$
- $H = 70 \text{ m}$
- $L = 127 \text{ m}$

CRITERI DI RICONOSCIMENTO SCARPATA

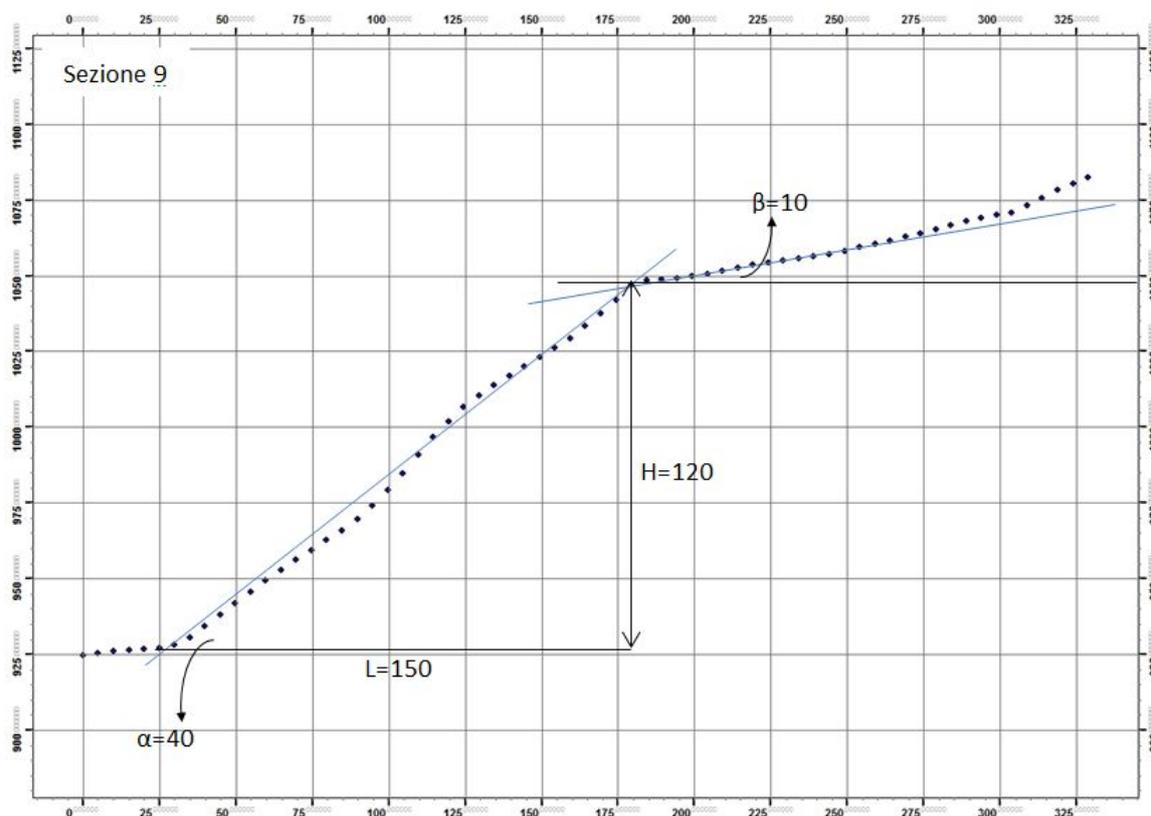
- $H \geq 10 \text{ m}$
- $\alpha \geq 10^\circ$
- $L > 15 - 20 \text{ m}$
- $\beta \leq 1/5$

EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE

- Classe altimetrica:  $H > 40 \text{ m}$
- Classe di inclinazione:  $20^\circ < \alpha < 40^\circ$
- $Fa = 1.2$
- Area Influenza =  $2/3H = 48 \text{ m}$



9. SEZIONE 9



DATI TOPOGRAFICI

- $\alpha = 40^\circ$
- $\beta = 10^\circ$
- $H = 120 \text{ m}$
- $L = 150 \text{ m}$

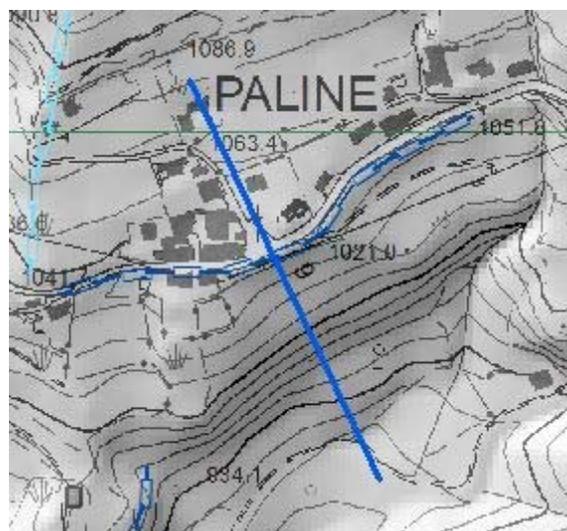
CRITERI DI RICONOSCIMENTO SCARPATA

- $H \geq 10 \text{ m}$
- $\alpha \geq 10^\circ$
- $L > 15 - 20 \text{ m}$
- $\beta \leq 1/5$

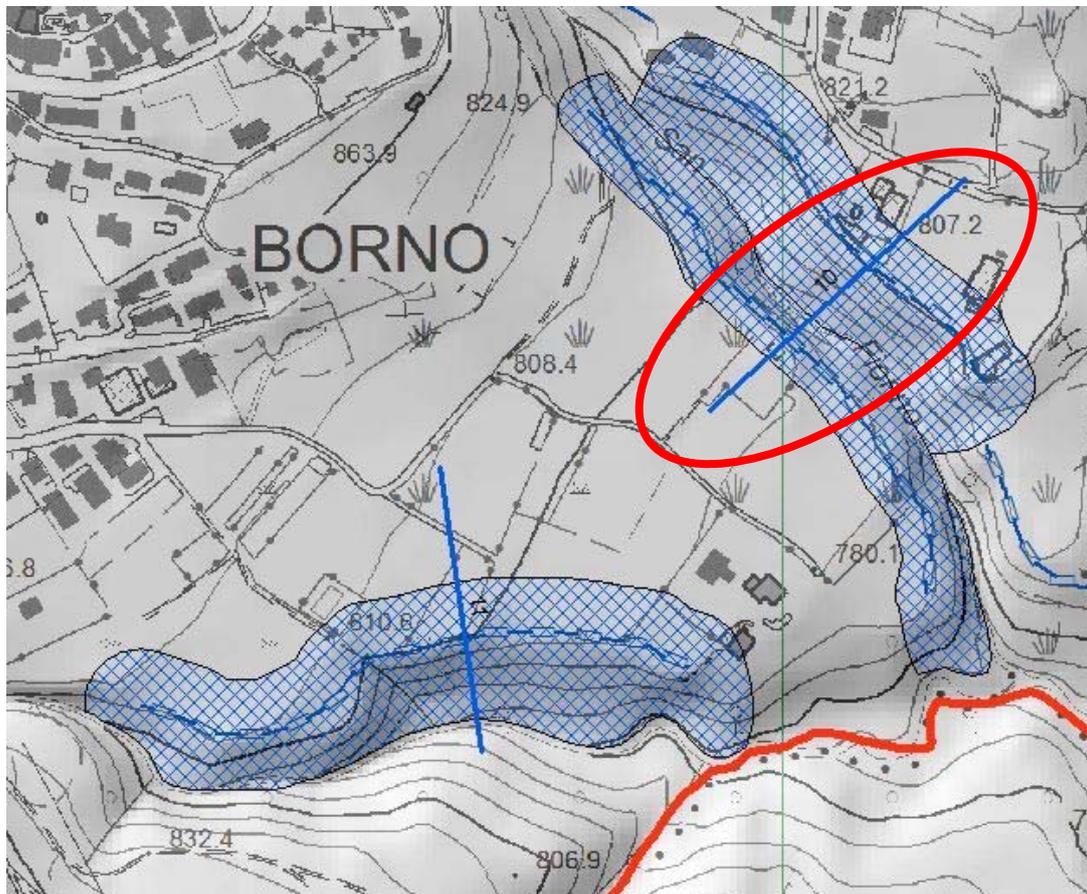
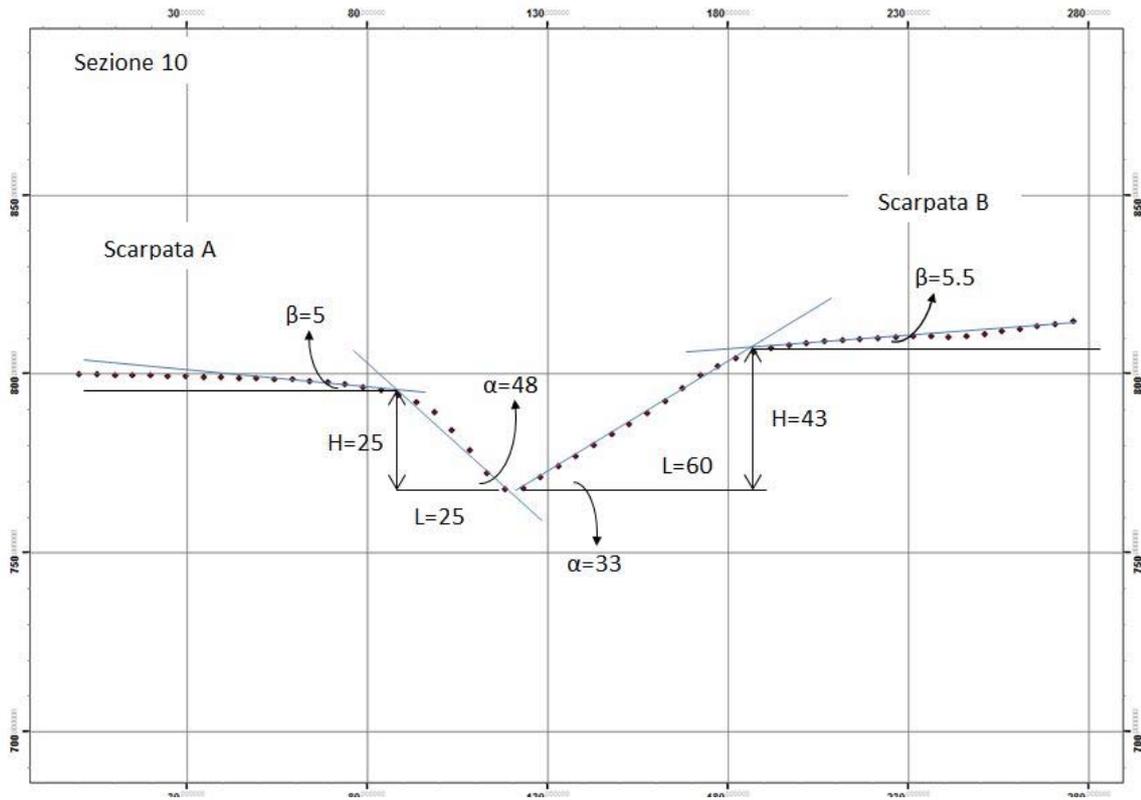
EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE

La condizione  $\beta \leq 1/5 \alpha$ , necessaria per identificare una scarpata in pendenza soggetta ad amplificazione, appare non verificata.

Non si crea fenomeno di amplificazione



10. SEZIONE 10



Analisi di pericolosità sismica di 2 livello

## DATI TOPOGRAFICI

Scarpata A	Scarpata B
$\alpha = 48^\circ$	$\alpha = 33^\circ$
$\beta = 5^\circ$	$\beta = 5.5^\circ$
H = 25 m	H = 43 m
L = 25 m	L = 60 m

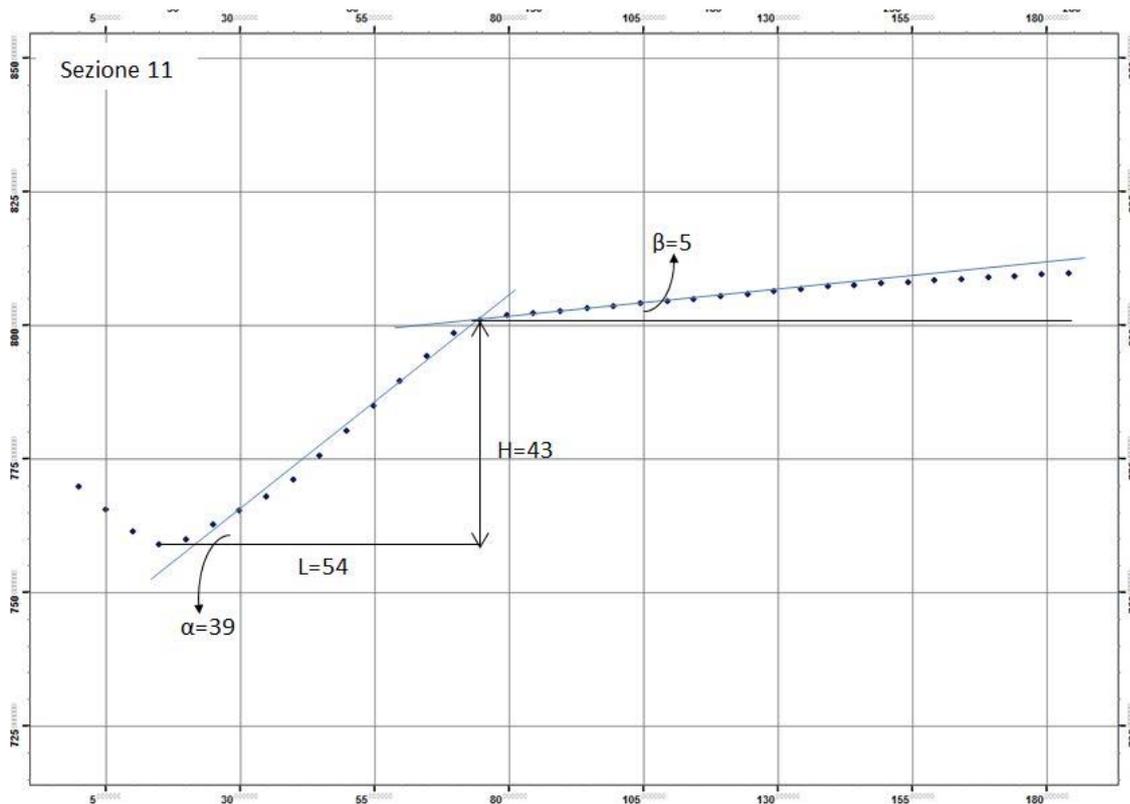
## CRITERI DI RICONOSCIMENTO SCARPATA

Scarpata A	Scarpata B
H $\geq$ 10 m	H $\geq$ 10 m
$\alpha \geq 10^\circ$	$\alpha \geq 10^\circ$
L > 15 – 20m	L > 15 – 20m
$\beta \leq 1/5$	$\beta \leq 1/5$

## EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE

Scarpata A	Scarpata B
Classe altimetrica: $20 < H < 40$ m	Classe altimetrica: $H > 40$ m
Classe di inclinazione: $10^\circ < \alpha < 90^\circ$	Classe di inclinazione: $20^\circ < \alpha < 40^\circ$
Fa=1.2	Fa=1.2
Area Influenza = $3/4H = 19$ m	Area Influenza = $2/3H = 29$ m

11. SEZIONE 11



DATI TOPOGRAFICI

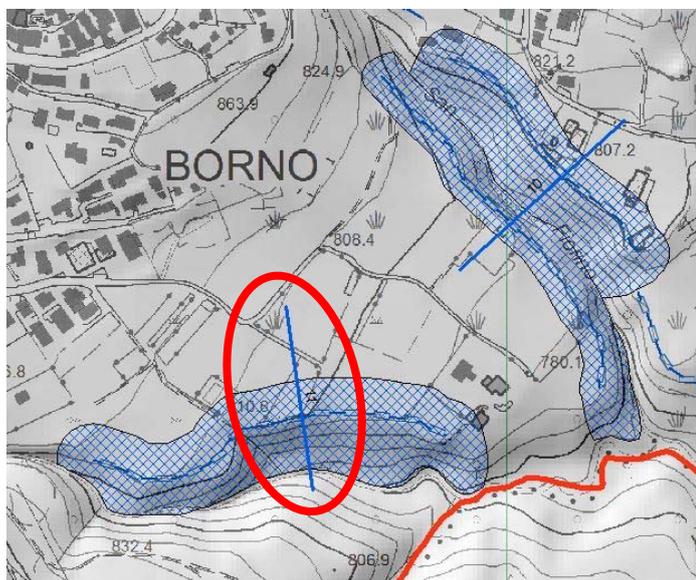
- $\alpha = 29^\circ$
- $\beta = 5^\circ$
- $H = 70 \text{ m}$
- $L = 127 \text{ m}$

CRITERI DI RICONOSCIMENTO SCARPATA

- $H \geq 10 \text{ m}$
- $\alpha \geq 10^\circ$
- $L > 15 - 20 \text{ m}$
- $\beta \leq 1/5$

EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE

- Classe altimetrica:  $H > 40 \text{ m}$
- Classe di inclinazione:  $20^\circ < \alpha < 40^\circ$
- $Fa = 1.2$
- Area Influenza =  $2/3H = 48 \text{ m}$

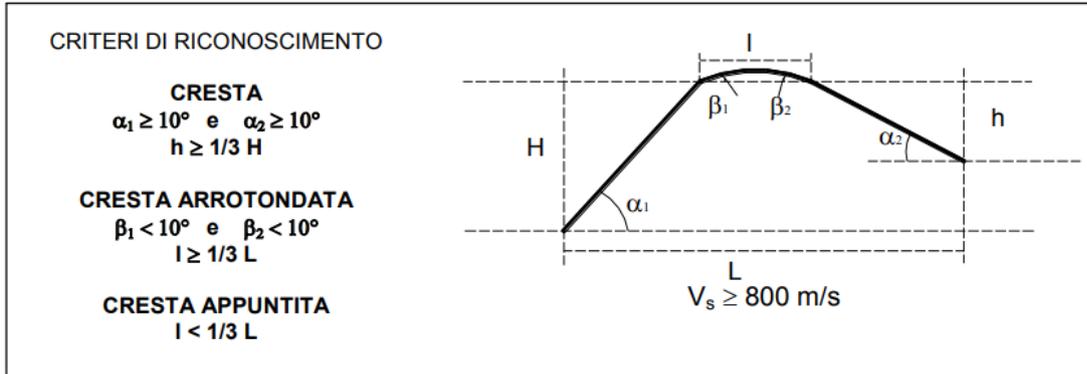


Z3b: Zona di cresta

È stata individuata un'area, di cui di seguito viene riportata la localizzazione.

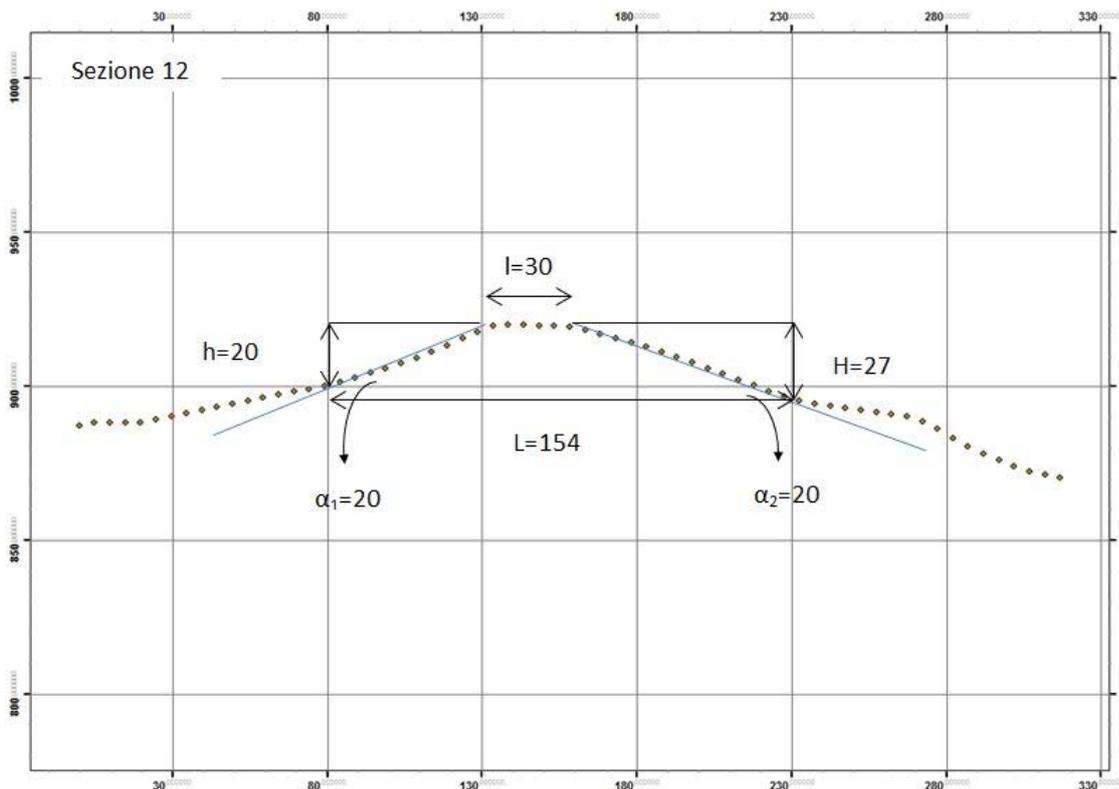
Si riportano i risultati ottenuti sulle sezioni topografiche attraverso le zone di cresta; i parametri di riferimento sono definiti dalla figura allegata, tratta dalle norme regionali.

EFFETTI MORFOLOGICI – CRESTE - SCENARIO Z3b



	L > 350	250 < L < 350	150 < L < 250	L < 150
<b>Creste Appuntite</b>	$Fa_{0.1-0.5} = e^{1.11H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.93H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.73H/L}$	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.40H/L}$
<b>Creste Arrotondate</b>	$Fa_{0.1-0.5} = e^{0.47H/L}$			

12. SEZIONE 12



DATI TOPOGRAFICI

- $\alpha_1 = 20^\circ$
- $\alpha_2 = 20^\circ$
- H = 27 m
- L = 154 m
- h = 20
- l = 30

RICONOSCIMENTO CRESTA

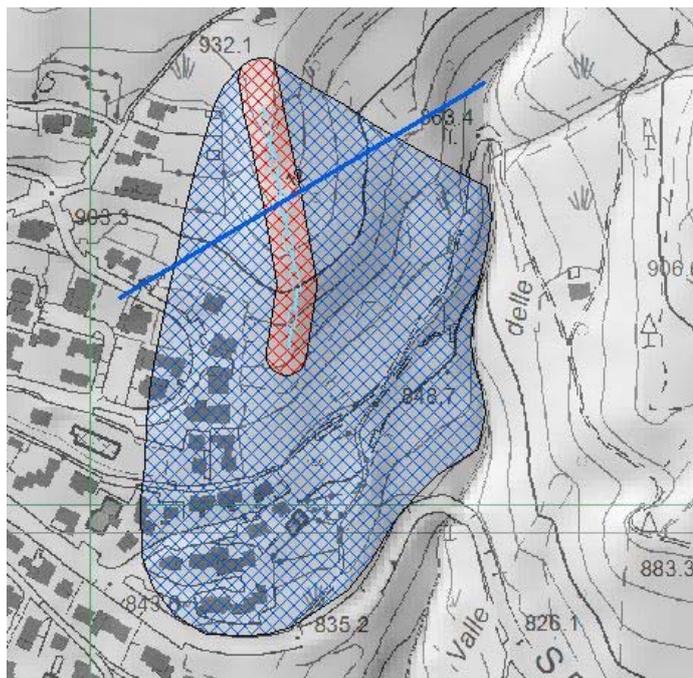
- $\alpha_1 > 10^\circ$
- $\alpha_2 > 10^\circ$                       Scenario di cresta
- $h > 1/3H$                               appuntita
- $l < 1/3L$

EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE

150 < L < 250 m

$F_a = e^{0.73H/L} = 1.1$ ,

assegnato alla zona rossa in figura, cala linearmente fino a 1 nella zona blu



Effetti di amplificazione litologica

Dati generali

Nel territorio di Borno, stante la notevole articolazione geologica e litologica, soprattutto per quanto riguarda i depositi quaternari, sono state rilevate, con l'analisi sismica di primo livello, una serie di potenziali condizioni di amplificazione litologica, sulla base delle casistiche Regionali.

Sigla	SCENARIO PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	EFFETTI
Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	Instabilità
Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
Z1c	Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana	
Z2a	Zone con terreni di fondazione saturi particolarmente scadenti (riporti poco addensati, depositi altamente compressibili, ecc.)	Cedimenti
Z2b	Zone con depositi granulari fini saturi	Liquefazioni
Z3a	Zona di ciglio H > 10 m (scarpata, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica, ecc.)	Amplificazioni topografiche
Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	
Z4a	Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	
Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre	Amplificazioni litologiche e geometriche
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

Nel territorio comunale sono state evidenziate condizioni attribuibili a tutti gli scenari.

Nell'impostazione del presente lavoro si concentra l'attenzione sui depositi glaciali, di conoide e alluvionali, su cui insiste l'abitato di Borno.

La procedura Regionale prevede una verifica di tipo litologico, basata sulla conoscenza del modello geologico del sottosuolo e del relativo modello geofisico semplificato, fino alla profondità del bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/sec.).

La procedura Regionale per la valutazione analitica del potenziale di amplificazione litologica prevede il confronto del modello geofisico di dettaglio del sottosuolo delle differenti porzioni individuate con una serie di schede tipo predisposte dalla Regione Lombardia.

In queste schede, sulla base della litologia prevalente e dell'andamento delle  $V_s$  nel sottosuolo, si ricava, in modo semplificato, il fattore di amplificazione sismica del sito ( $F_a$ ), sia per edifici di altezza limitata (0.1 – 0.5 s) che per edifici di altezza maggiore (0.5 – 1.5 s).

I valori ricavati devono essere confrontati con i valori soglia, distinti in base alle categorie di suolo del D.M. 14/01/2018, forniti dalla Regione Lombardia, al fine di verificare se la normativa è in grado di coprire l'amplificazione calcolata o meno.

Nel secondo caso diviene necessario o prevedere il passaggio, in fase di progettazione, agli approfondimenti di 3° livello, oppure l'utilizzo dello spettro di norma per una categoria di suolo maggiormente cautelativa.

La struttura geologica del Comune di Borno fa sì che i depositi che costituiscono le porzioni edificate siano prevalentemente di glaciali e di conoide, oppure un misto dei due, come sopra dettagliato; in misura minore si osservano anche depositi fluviali.

Le indagini geofisiche sono state distribuite in modo da acquisire gli elementi (andamento  $V_s$  in profondità, categoria di sottosuolo e profondità del bedrock sismico con  $V_s > 800$  m/sec.) in corrispondenza delle differenti tipologie di deposito, così da poter effettuare una caratterizzazione sismica di ogni zona per poi poter applicare la procedura Regionale.

E' evidente che una situazione geologica come quella sopra descritta (alternanza di depositi di natura e genesi differente) fa sì che non vi sia una caratterizzazione litologica univoca ben definita. Sarà necessario, nel tempo, acquisire ulteriori dati e conoscenze degli aspetti geofisici attraverso indagini specifiche che potranno consentire di meglio dettagliare questa problematica.

Per la scelta delle schede Regionali, che sono organizzate per tipologie litologiche ben definite (ghiaiose – limoso argillose – limoso sabbiose – sabbiose), si è quindi fatto riferimento ai dati di sottosuolo disponibili, cercando di utilizzare le schede adatte per la litologia prevalente, ma si è comunque sempre considerato prioritario l'andamento delle  $V_s$  con la profondità.

### *Risultati dei dati geofisici*

Alla luce di quanto sopra, ed in considerazione del fatto che la risposta sismica litologica è funzione dell'andamento delle  $V_s$  in profondità, si è ritenuto necessario, data la mancanza di dati geofisici ben distribuiti sul territorio comunale, eseguire una serie di indagini geofisiche specifiche per poter effettuare un raffronto con le schede Regionali. Questo per quanto possibile con la ristrettezza economica dell'incarico affidato. Sarà opportuno nel futuro, aggiornare i dati disponibili ed incrementare le conoscenze del sottosuolo al fine di ricostruire in maniera più dettagliata il modello geofisico del terreno.

Sono state quindi effettuate 6 indagini di tipo MASW (4 energizzazioni per indagine). Si tratta di un'indagine minima di prima analisi, che andrà aggiornata e integrata nel tempo con nuove indagini e dati. L'indagine eseguita dalla ditta ProGea consulting s.r.l. viene allegata integralmente alla presente e di seguito se ne riporta uno stralcio.

#### *Individuazione delle categorie di sottosuolo*

La procedura Regionale prevede che il fattore di amplificazione calcolato con la presente procedura semplificata venga poi confrontato con i valori soglia Comunali, forniti dalla Regione stessa:

Periodo	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
0.1 – 0.5	1.4	1.8	2.2	1.9
0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.1	3.0

Come si vede dalla tabella sopra riportata i valori di riferimento sono distinti in base al periodo di riferimento per gli edifici e soprattutto in relazione alle categorie di sottosuolo, secondo la classificazione introdotta dal D.M. 14/01/2008 e all'aggiornamento della stessa contenuto nel decreto n°8 del 17/01/2018, di seguito riportata:

**Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.**

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Sulla base del profilo delle Vs in profondità ricavato dalle MASW sono state calcolate le Vseq ed è stata definita la categoria di sottosuolo. Utilizzando il profilo delle Vs si è poi valutato il fattore di amplificazione di sito. Nel seguito si dettagliano i risultati ottenuti

MASW. n° 1:	466 m/sec (Borno, zona Rivadossa)
MASW. n° 2:	472 m/sec (Borno, zona via Cala)
MASW. n° 3:	471 m/sec (Borno, zona Bernina)
MASW. n° 4:	491 m/sec (Borno, zona via Cremù-via Brugà)
MASW. n° 5:	380 m/sec (Borno, zona località Cirese)
MASW. n° 6:	432 m/sec (Borno, zona via Giallo-via Foida)

#### *Analisi sismiche preesistenti*

Le uniche analisi sismiche esistenti sul territorio comunale sono 4 stendimenti di sismica a rifrazione eseguiti nei pressi del Lago di Lova, lungo la strada che arriva da Borno. Per la differente tecnica utilizzata e la posizione lontana dal centro abitato, questi dati non sono comparabili con quelli ottenuti dalle MASW eseguite per questo lavoro; non è stato quindi possibile utilizzarle come base per analisi più approfondite. Si raccomanda l'implementazione, nel tempo, di una banca dati delle indagini presenti sul territorio, in modo da raggiungere una buona copertura di dati, in grado di supportare considerazioni e analisi di ampio respiro.

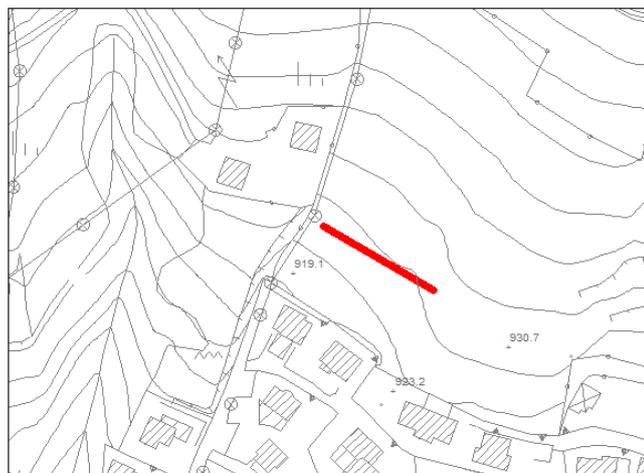
#### *Valutazione dell'amplificazione litologica*

Di seguito si passa all'analisi puntuale delle singole prove e delle verifiche effettuate.

La litologia, come sopra esposto, è molto variabile per cui si è effettuato il confronto della curva Vs-profondità con tutte le schede regionali, onde verificarne l'applicabilità.

È da tenere presente che attualmente le schede regionali sono solo 6 e che la metodologia è sperimentale e recente quindi vi è la possibilità che nessuna sia rispondente alle reali caratteristiche del sito.

Prova MASW n° 1



Ubicazione prima prova

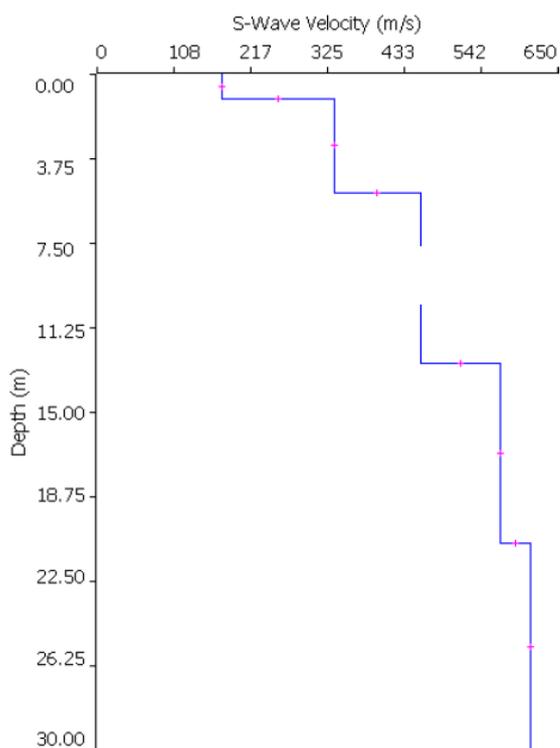


Grafico Velocità Vs / Profondità terreno – prova 1

Il valore di Vs 30 calcolato di 466 m/s viene utilizzato per individuare la tipologia di suolo secondo la classificazione introdotta dal D.M. 14/01/2008 (Tab 3.2 II e Tab. 3.2.III)

**Tab. 3.2.II –** *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

In questo caso il valore di velocità Vs30 porta all'individuazione di un suolo di categoria B.

Dal punto di vista litologico la scheda che maggiormente si avvicina è la limoso – argillosa 2, che presenta anche buona analogia con il trend delle Vs in profondità; l'analisi di seguito riportata fa riferimento a questa scheda:

Spessore strato superficiale: 5,25 m – Vs media 301 m/sec >> curva n° 3

Calcolo periodo proprio del sito:  $T = 0,24$

Calcolo Fa (0.1 – 0.5s):  $Fa = 1,6 (+ 0,1) = 1,7$

Calcolo Fa (0.5 – 1.5s):  $Fa = 1,2(+ 0,1) = 1,3$

I parametri di riferimento di Fa per Borno, presi dal database regionale, sono:

Periodo	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
0.1 – 0.5	1.4	1.8	2.2	1.9
0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.1	3.0

La categoria di suolo di riferimento è la B.

Per il periodo 0.1-0.5s  $Fa$  calcolato = 1,7 >  $Fa$  soglia comunale (1.4)

Per il periodo 0.5-1.5s  $Fa$  calcolato = 1,3 <  $Fa$  soglia comunale (1.7)

Il valore soglia Comunale è in grado di coprire l'amplificazione calcolate per il periodo compreso tra 0,5 e 1,5 s, mentre **non è in grado di coprire l'amplificazione calcolata per il periodo compreso tra 0,1 e 0,5 s.**

Nel MASW 1 il primo strato con Vs di 301 m/sec è stato ricavato facendo una media ponderata dei primi 5,25 m.

Nell'indagine non è stato trovato il bedrock sismico (Vs > 800 m/s).

Prova MASW n° 2



Ubicazione seconda prova

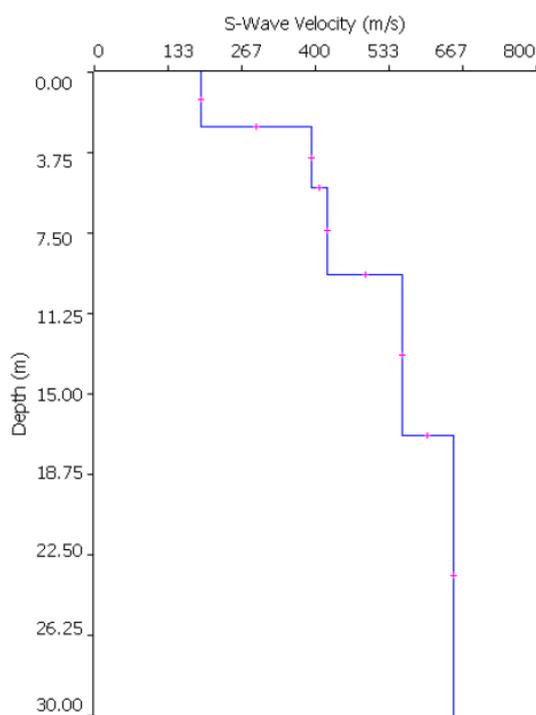


Grafico Velocità Vs / Profondità terreno – prova 2

Il valore di Vs 30 calcolato di 472 m/s viene utilizzato per individuare la tipologia di suolo secondo la classificazione introdotta dal D.M. 14/01/2008 (Tab 3.2 II e Tab. 3.2 III)

**Tab. 3.2.II –** *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

In questo caso il valore di velocità Vs30 (669 m/s) porta all'individuazione di un suolo di categoria B.

Dal punto di vista litologico la scheda che maggiormente si avvicina è la limosa – argillosa 2, che presenta anche buona analogia con il trend delle Vs in profondità, l'analisi di seguito riportate fanno riferimento a questa scheda:

Spessore strato superficiale: 5.38 m – Vs 298 m/sec >> curva n° 3

Calcolo periodo proprio del sito:  $T = 0.23$

Calcolo Fa (0.1 – 0.5s):  $Fa = 1,6 (+ 0.1 \text{ arr}) = 1,7$

Calcolo Fa (0.5 – 1.5s):  $Fa = 1,2 (+ 0.1 \text{ arr}) = 1.3$

I parametri di riferimento di Fa per Borno, presi dal database regionale, sono:

Periodo	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
0.1 – 0.5	1.4	1.8	2.1	1.9
0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.0	3.0

La categoria di suolo di riferimento è la B.

Per il periodo 0.1-0.5s  $Fa \text{ calcolato} = 1.7 > Fa \text{ soglia comunale} (1.4)$

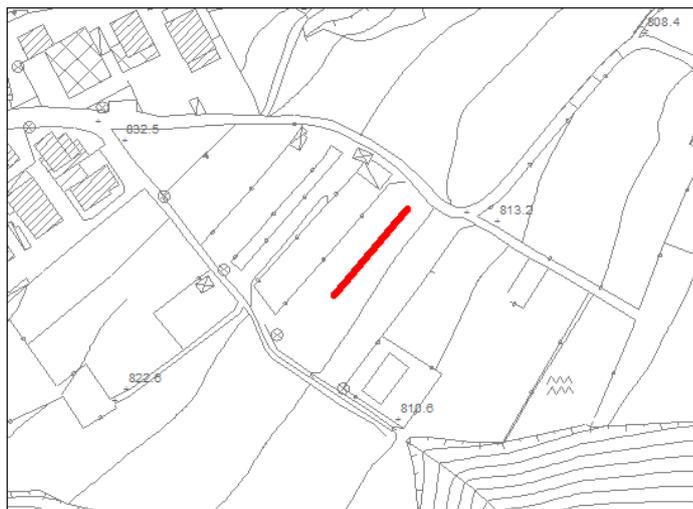
Per il periodo 0.5-1.5s  $Fa \text{ calcolato} = 1.3 < Fa \text{ soglia comunale} (1.7)$

Il valore soglia Comunale è in grado di coprire l'amplificazione calcolata per il periodo compreso tra 0,5 ed 1,5 s, mentre non è in grado di coprire l'amplificazione per il periodo 0,1 – 0,5 s.

Nel MASW 2 il primo strato con Vs di 298 m/sec è stato ricavato prendendo in considerazione i primi 5.38 m di spessore.

Nell'indagine non è stato trovato il bedrock sismico ( $Vs > 800 \text{ m/s}$ ).

Prova MASW n° 3



Ubicazione terza prova

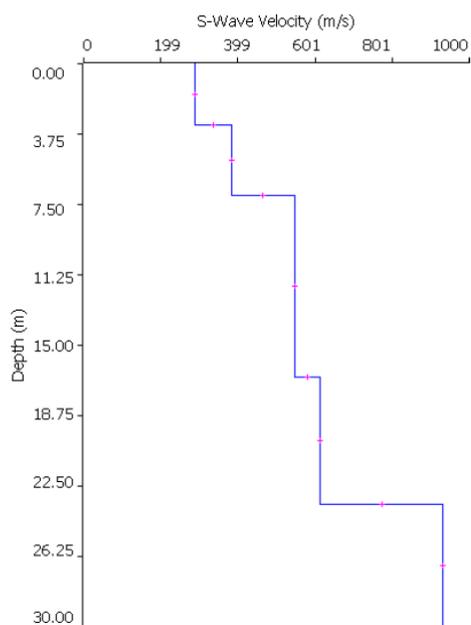


Grafico Velocità Vs / Profondità terreno – prova 3

Il valore di Vs 30 calcolato viene utilizzato per individuare la tipologia di suolo secondo la classificazione introdotta dal D.M. 14/01/2008 (Tab 3.2 II e Tab. 3.2 III)

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

In questo caso il valore di velocità  $V_s$  risulta quello equivalente ( $V_{s\text{-eq}}$  380 m/s) in quanto è stato raggiunto il bed rock alla profondità di 23,5 mt e porta all'individuazione di un suolo di categoria B.

Dal punto di vista litologico la scheda che maggiormente si avvicina è la limoso-argillosa 2, che presenta anche buona analogia con il trend delle  $V_s$  in profondità, l'analisi di seguito riportate fanno riferimento e questa scheda:

Spessore strato superficiale: 7 m –  $V_s$  340 m/sec >> curva n° 3

Calcolo periodo proprio del sito:  $T = 0.19$

Calcolo  $F_a$  (0.1 – 0.5s):  $F_a = 1,5 (+ 0.1 \text{ arr}) = 1,6$

Calcolo  $F_a$  (0.5 – 1.5s):  $F_a = 1,1 (+ 0.1 \text{ arr}) = 1.2$

I parametri di riferimento di  $F_a$  per Borno, presi dal database regionale, sono:

Periodo	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
0.1 – 0.5	1.4	1.8	2.1	1.9
0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.0	3.0

La categoria di suolo di riferimento è la B.

Per il periodo 0.1-0.5s  $F_a$  calcolato = 1.6 >  $F_a$  soglia comunale (1.4)

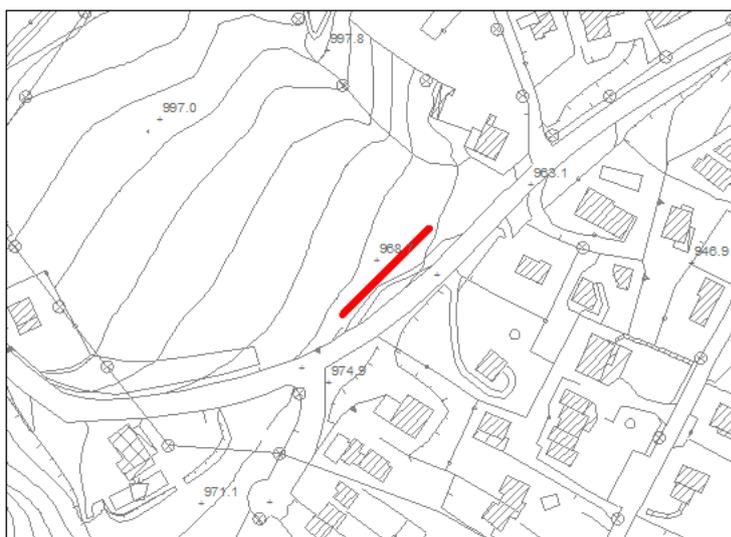
Per il periodo 0.5-1.5s  $F_a$  calcolato = 1.2 <  $F_a$  soglia comunale (1.7)

Il valore soglia Comunale è in grado di coprire l'amplificazione calcolata per il periodo compreso tra 0,5 ed 1,5 s, mentre **non è in grado di coprire l'amplificazione per il periodo 0,1 – 0,5 s.**

Nell'indagine è stato trovato il bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/s) a 23,5 m di profondità.

Nel MASW 3 il primo strato con  $V_s$  di 340 m/sec è stato ricavato prendendo in considerazione i primi 7 m di spessore.

**Prova MASW n° 4**



Ubicazione quarta prova

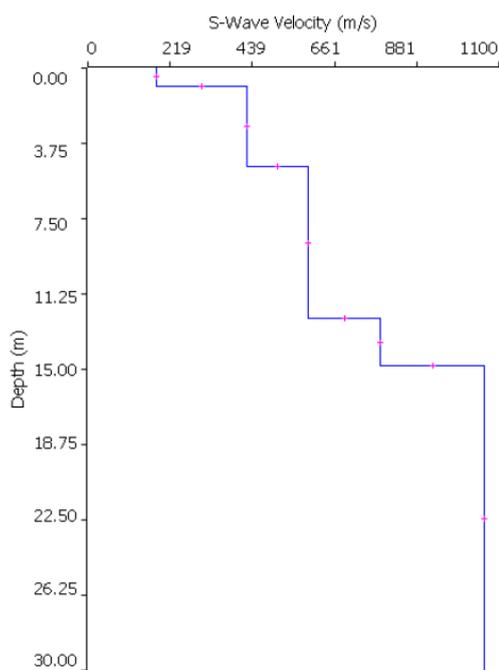


Grafico Velocità Vs / Profondità terreno – prova 4

Il valore di Vs 30 calcolato viene utilizzato per individuare la tipologia di suolo secondo la classificazione introdotta dal D.M. 14/01/2008 (Tab 3.2 II e Tab. 3.2 III)

**Tab. 3.2.II –** *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

In questo caso il valore di velocità  $V_s$  risulta quello equivalente ( $V_{s\text{-eq}}$  491 m/s) in quanto è stato raggiunto il bed rock alla profondità di 14,8 mt e porta all'individuazione di un suolo di categoria B.

Dal punto di vista litologico la scheda che maggiormente si avvicina è la ghiaiosa, che presenta anche buona analogia con il trend delle  $V_s$  in profondità, l'analisi di seguito riportate fanno riferimento e questa scheda:

Spessore strato superficiale: 4,95 m –  $V_s$  475 m/sec >> curva n° 3

Calcolo periodo proprio del sito:  $T = 0.11$

Calcolo  $F_a$  (0.1 – 0.5s):  $F_a = 1,2 (+ 0.1 \text{ arr}) = 1,3$

Calcolo  $F_a$  (0.5 – 1.5s):  $F_a = 1,0 (+ 0.1 \text{ arr}) = 1,1$

I parametri di riferimento di  $F_a$  per Borno, presi dal database regionale, sono:

Periodo	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
0.1 – 0.5	1.4	1.8	2.1	1.9
0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.0	3.0

La categoria di suolo di riferimento è la B.

Per il periodo 0.1-0.5s  $F_a$  calcolato = 1.3 <  $F_a$  soglia comunale (1.4)

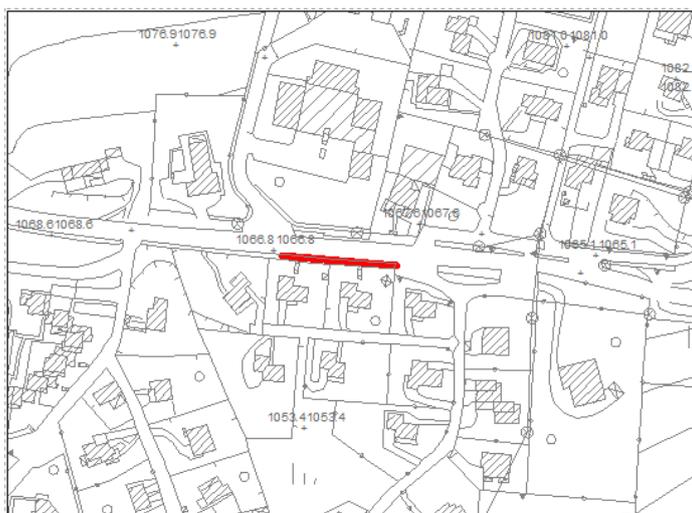
Per il periodo 0.5-1.5s  $F_a$  calcolato = 1.1 <  $F_a$  soglia comunale (1.7)

Il valore soglia Comunale è in grado di coprire sia l'amplificazione calcolata per il periodo compreso tra 0,5 ed 1,5 s, che per il periodo compreso tra 0,1 e 0,5 s.

Nell'indagine è stato trovato il bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/s) a 14,8 m di profondità.

Nel MASW 4 il primo strato con  $V_s$  di 475 m/sec è stato ricavato prendendo in considerazione i primi 4,95 m di spessore.

**Prova MASW n° 5**



Ubicazione quinta prova

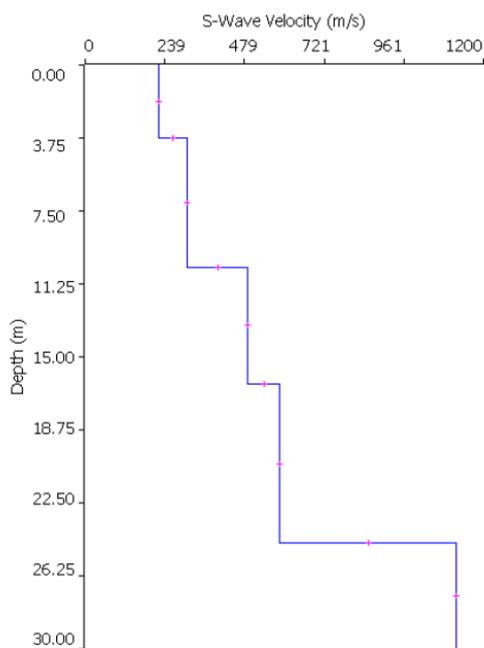


Grafico Velocità Vs / Profondità terreno – prova 5

Il valore di Vs 30 calcolato viene utilizzato per individuare la tipologia di suolo secondo la classificazione introdotta dal D.M. 14/01/2008 (Tab 3.2 II e Tab. 3.2 III)

**Tab. 3.2.II –** *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

In questo caso il valore di velocità  $V_s$  risulta quello equivalente ( $V_{s\text{-eq}}$  380 m/s) in quanto è stato raggiunto il bed rock alla profondità di 24,5 mt e porta all'individuazione di un suolo di categoria B.

Dal punto di vista litologico la scheda che maggiormente si avvicina è la limoso-argillosa 2, che presenta anche buona analogia con il trend delle  $V_s$  in profondità, l'analisi di seguito riportate fanno riferimento e questa scheda:

Spessore strato superficiale: 4m –  $V_s$  228 m/sec >> curva n° 2

Calcolo periodo proprio del sito:  $T = 0.23$

Calcolo  $F_a$  (0.1 – 0.5s):  $F_a = 1,9 (+ 0.1 \text{ arr}) = 2,0$

Calcolo  $F_a$  (0.5 – 1.5s):  $F_a = 1,2 (+ 0.1 \text{ arr}) = 1,3$

I parametri di riferimento di  $F_a$  per Borno, presi dal database regionale, sono:

Periodo	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
0.1 – 0.5	1.4	1.8	2.1	1.9
0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.0	3.0

La categoria di suolo di riferimento è la B.

Per il periodo 0.1-0.5s  $F_a$  calcolato = 2,0 <  $F_a$  soglia comunale (1.4)

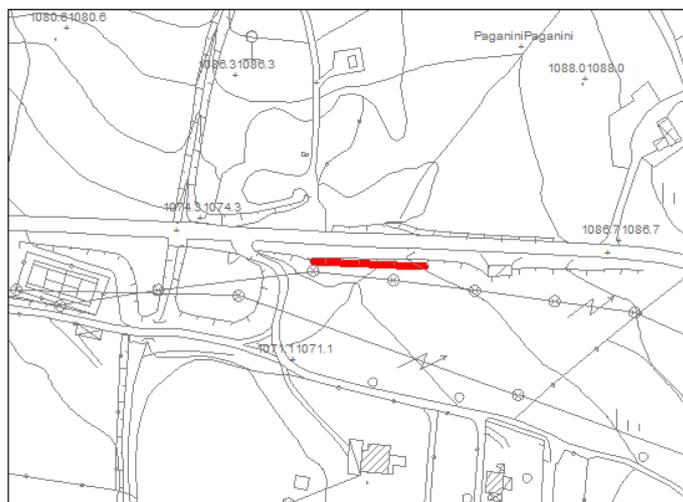
Per il periodo 0.5-1.5s  $F_a$  calcolato = 1.3 <  $F_a$  soglia comunale (1.7)

Il valore soglia Comunale è in grado di coprire l'amplificazione calcolate per il periodo compreso tra 0,5 e 1,5 s, mentre **non è in grado di coprire l'amplificazione calcolata per il periodo compreso tra 0,1 e 0,5 s.**

Nell'indagine è stato trovato il bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/s) a 24,5 m di profondità.

Nel MASW 5 il primo strato con  $V_s$  di 228 m/sec è stato ricavato prendendo in considerazione i primi 4 m di spessore.

**Prova MASW n° 6**



Ubicazione sesta prova

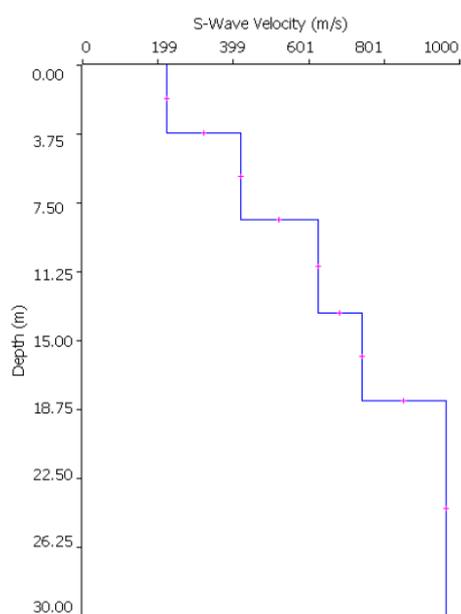


Grafico Velocità Vs / Profondità terreno – prova 6

Il valore di Vs 30 calcolato viene utilizzato per individuare la tipologia di suolo secondo la classificazione introdotta dal D.M. 14/01/2008 (Tab 3.2 II e Tab. 3.2 III)

**Tab. 3.2.II –** *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

In questo caso il valore di velocità  $V_s$  risulta quello equivalente ( $V_{s-eq}$  432 m/s) in quanto è stato raggiunto il bed rock alla profondità di 18,2 mt e porta all'individuazione di un suolo di categoria B.

Dal punto di vista litologico la scheda che maggiormente si avvicina è la ghiaiosa, che presenta anche buona analogia con il trend delle  $V_s$  in profondità, l'analisi di seguito riportate fanno riferimento e questa scheda:

Spessore strato superficiale: 4m –  $V_s$  241 m/sec >> curva n° 3

Calcolo periodo proprio del sito:  $T = 0.14$

Calcolo  $F_a$  (0.1 – 0.5s):  $F_a = 1,2 (+ 0.1 arr) = 1,3$

Calcolo  $F_a$  (0.5 – 1.5s):  $F_a = 1,0 (+ 0.1 arr) = 1,1$

I parametri di riferimento di  $F_a$  per Borno, presi dal database regionale, sono:

Periodo	Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
0.1 – 0.5	1.4	1.8	2.1	1.9
0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.0	3.0

La categoria di suolo di riferimento è la B.

Per il periodo 0.1-0.5s  $F_a$  calcolato = 1,3 <  $F_a$  soglia comunale (1.4)

Per il periodo 0.5-1.5s  $F_a$  calcolato = 1,1 <  $F_a$  soglia comunale (1.7)

Il valore soglia Comunale è in grado di coprire sia l'amplificazione calcolata per il periodo compreso tra 0,5 ed 1,5 s, che per il periodo compreso tra 0,1 e 0,5 s.

Nell'indagine è stato trovato il bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/s) a 18,2 m di profondità. Nel MASW 6 il primo strato con  $V_s$  di 241 m/sec è stato ricavato prendendo in considerazione i primi 4 m di spessore.

### Confronto tra modello geologico e geofisico

Per validare il modello geofisico si è cercato di reperire informazioni da dati geologici profondi quali sondaggi, prove penetrometriche fatte in zone limitrofe alla localizzazione delle prove geofisiche sopra citate.

Al momento, tuttavia, non esiste ancora un registro completo delle indagini eseguite sul territorio comunale: le uniche indagini preesistenti reperibili sono i già citati stendimenti MASW nei pressi del Lago di Lova. Nel complesso, quindi, si evidenzia la necessità di implementare, nel tempo, un database delle prove effettuate sul territorio comunale, a supporto della gestione del territorio. Allo stato delle cose, l'unico elemento di confronto tra il modello geologico e quello geofisico è la distribuzione superficiale delle unità litologiche e le loro caratteristiche generali. Secondo questa logica, in generale ci si aspetta che il substrato roccioso non sia a profondità molto elevate anche lungo la valle principale su cui sono insistono i nuclei abitati, e questa caratteristica trova una buona corrispondenza con il profilo di tutte le Vs, che evidenziano, a profondità variabili ma non elevate, un forte salto nelle Vs, compatibile con il passaggio a substrato roccioso o, comunque, a unità abbastanza addensate. Unica eccezione in questo senso sono le MASW 1 e 2. Lo stendimento 1 insiste su depositi di tipo glaciale, posti su versante. L'area è solcata da alcuni impluvi, la cui erosione non ha comunque raggiunto il substrato roccioso. Questo porta ad ammettere un certo spessore dei depositi in questa zona, in accordo con quanto ottenuto dalla MASW. Lo stendimento 2, invece, si imposta in una zona di frana, in cui l'intenso danneggiamento fisico del materiale coinvolto porta a un generale degrado che si riflette in una minor rigidità meccanica. Conseguentemente anche le velocità sismiche diminuiscono.

Globalmente, quindi, si possono trovare delle correlazioni abbastanza soddisfacenti, sebbene approssimative, tra le caratteristiche geologiche e quelle sismiche; si evidenzia nuovamente che lo sviluppo di una banca dei dati geologici sarebbe di grande aiuto a questo tipo di correlazioni e fornirebbe un utile strumento di validazione delle indagini indirette, con particolare riferimento a quelle geofisiche.

### Attendibilità dei dati geologici e geofisici utilizzati

In conformità a quanto previsto dalle disposizioni Regionali si individua, di seguito, l'affidabilità dei dati utilizzati per le presenti valutazioni:

<i>Dati</i>	<i>Attendibilità</i>	<i>Tipologia</i>
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette
Geofisici (Vs)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

Si è ritenuto fondamentale avere la massima affidabilità sui dati che maggiormente condizionano la verifica e la buona riuscita delle analisi secondo la procedura semplificata Regionale (profilo delle Vs in profondità).

## Considerazioni finali

### Amplificazione morfologica

Al termine delle analisi sugli effetti morfologici è possibile trarre le seguenti considerazioni:

Tra le zone Z3a denominate zone di scarpata, 7 di quelle verificate soddisfano tutte le condizioni dei criteri di riconoscimento, e sono quindi suscettibili di produrre amplificazioni topografiche. Per queste sono stati calcolati sia il Fattore di amplificazione sia le aree di influenza, seguendo le procedure semplificate illustrate nelle apposite direttive regionali. Secondo la normativa regionale, i valori di  $F_a$  ottenuti devono essere confrontati con i valori di  $S_T$  per la relativa categoria topografica, contenuti nelle Norme Tecniche per le Costruzioni, che rappresentano i valori di soglia della normativa.

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

Nel caso in esame, le scarpate esaminate ricadono in categoria T2, quindi il valore  $S_T$  di riferimento è 1,2. Confrontando i valori ottenuti dall'analisi di secondo livello, includendo una variabilità di +0,1 per compensare la semplificazione delle procedure, si ottiene la seguente situazione:

- Scarpata 3:  $F_a = 1,2 + 0,1 \Rightarrow F_a > S_T$
- Scarpata 4:  $F_a = 1,2 + 0,1 \Rightarrow F_a > S_T$
- Scarpata 5:  $F_a = 1,2 + 0,1 \Rightarrow F_a > S_T$
- Scarpata 7:  $F_a = 1,2 + 0,1 \Rightarrow F_a > S_T$
- Scarpata 8:  $F_a = 1,2 + 0,1 \Rightarrow F_a > S_T$
- Scarpata 11:  $F_a = 1,2 + 0,1 \Rightarrow F_a > S_T$
- Scarpata 12:  $F_a = 1,2 + 0,1 \Rightarrow F_a > S_T$

In caso di  $F_a$  che ecceda il valore di  $S_T$  è prevista l'esecuzione di indagini più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia; tali analisi sono inoltre obbligatorie per la progettazione di strutture alte e flessibili (tra 5 e 15 piani) in presenza di scenari Z3a e Z3b a prescindere dal  $F_a$  ottenuto.

Lo stesso principio si applica per le zone Z3b (di cresta); in questo caso il valore di  $F_a$  ottenuto va confrontato con  $S_T$  relativo alla categoria T3 se l'inclinazione media dei fianchi è tra 15° e 30°, si usa invece il parametro della categoria T4 con pendii più ripidi di 30°. Nel caso in esame, si è ottenuto un  $F_a$  pari a 1,1; considerando un fattore di +0.1 per la semplificazione delle procedure si ottiene  $F_a = 1,2 = S_T$ , quindi non si ritiene obbligatoria l'analisi di terzo livello.

In ogni caso, bisogna tenere presente che i  $F_a$  ottenuti si assegnano solo al ciglio della scarpata o alla cresta rocciosa (in questo caso va assegnato ad una fascia larga  $l$ , dove  $l$  è il parametro di larghezza della cresta ottenuto con l'analisi di secondo livello); entro l'area di influenza il parametro  $F_a$  va scalato linearmente con la distanza dal ciglio o dalla cresta, arrivando a valere 1 al perimetro dell'area di influenza. Quindi, più ci si allontana dalla sommità, minore è  $F_a$ ,

fino a quando  $F_a < S_t$ ; oltre questo punto si potranno mantenere i valori di normativa, relativi alle amplificazioni topografiche, per i calcoli delle strutture.

### Amplificazione litologica

Gli scenari indagati corrispondono alle situazioni Z4a per le prove 2 e 3 (zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi), Z4b per la 4, 5 e 6 (zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide deltizio-lacustre) e Z4c per la 1 (zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le colti loessiche)

I valori del  $F_a$  calcolati, per il periodo 0.1 – 0.5 s (comprende tutte le tipologie di edifici di altezza inferiore ai 5 piani) sono superiori ai valori soglia Comunali, per MASW1, MASW2, MASW3 e MASW5 .

Questo significa che, in fase di progettazione, deve essere presa in considerazione l'ipotesi di effettuare analisi più dettagliate o passare a un suolo di categoria superiore (in questo caso al suolo di tipo C).

I valori di  $F_a$  calcolati per il periodo 0.5 – 1.5 s (comprende tutte le tipologie di edifici di altezza superiore ai 5 piani) sono sempre inferiori o uguali ai valori soglia Comunali e quindi non si pongono particolari problemi per questo tipo di edificazione.

### Effetti delle morfologie sepolte

Si tratta di effetti 2D causati da riflessioni multiple delle onde sismiche in presenza di morfologie rocciose sepolte (conche, valli). Il problema principale che queste pongono è che le onde sismiche si riflettono da una sponda all'altra, rimanendo di fatto intrappolate nel pacchetto di sedimenti adagiato sulla roccia e colpendo ripetutamente la superficie topografica, moltiplicando così l'effetto sismico. Poiché viaggiando nel terreno l'energia sismica si dissipa, il fenomeno di riflessione multipla è ostacolato da morfologie ampie, in cui le sponde sono molto lontane e in cui le onde sismiche devono viaggiare per lunghi percorsi, disperdendo molta energia. Ne consegue che le situazioni più problematiche sono quelle collegate a forme strette e profonde. Nel territorio comunale di Borno, con particolare riferimento alle zone urbanizzate, queste situazioni sono generalmente scarse o assenti: le valli principali, con sedimenti in grado di coprire forme problematiche, sono in genere molto ampie e, stando ai dati di profondità del bedrock ottenute dalle MASW, poco profonde; le valli più incise, abbondanti nelle zone più montuose, sono in genere prive di depositi sufficientemente spessi. In sintesi, quindi, si ritiene che questi fenomeni siano globalmente scarsi, anche se si raccomanda di valutarne attentamente la possibile esistenza ogni volta che si esegue un'analisi sismica. Alcuni criteri per il riconoscimento di queste situazioni sono contenuti in "*Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*", cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

## ALLEGATO 1 – REPORT INDAGINI SISMICHE