

REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA

COMUNE DI ERTO E CASSO

Committente: WELLY RED S.r.l.

Progetto: PROGETTO DI UNA CENTRALE IDROELETTRICA SUL TORRENTE VAJONT, CON PRESA ALLO SCARICO DEL LAGO RESIDUO DEL VAJONT, SUBITO A VALLE DELLA DIGA, IN TERRITORIO COMUNALE DI ERTO E CASSO (PN)

Elaborato: PROBLEMATICHE SISMICHE CONNESSE ALL'UTILIZZO DI ESPLOSIVI PER LO SCAVO DELLA CENTRALE E DELLA RELATIVA GALLERIA DI ACCESSO

AUTORE: ***GEOINGEGNERIA geotechnical engineering***
Dott. Ing. Walter Zancan

Data: Trento, aprile 2026

INDICE

1	INTRODUZIONE	4
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
3	UBICAZIONE DELLE OPERE E DEI RECETTORI SENSIBILI.....	6
4	CARATTERISTICHE DELLE OPERE E DEI RECETTORI SENSIBILI	8
4.1	Caratteristiche della galleria di accesso	8
4.2	Caratteristiche della caverna centrale.....	10
5	PREVISIONE DELLE VIBRAZIONI INDOTTE DAL BRILLAMENTO DELLE CARICHE ESPLOSIVE	12
5.1	Modello matematico per la previsione delle vibrazioni indotte dall'uso di esplosivo.....	13
5.2	Caso A: tratto iniziale della galleria di accesso.....	14
5.3	Caso B: tratto profondo della galleria di accesso.....	15
5.4	Caso C: caverna centrale	16
5.4.1	Spalla della diga in destra idrografica.....	17
5.4.2	Spalla del ponte tubo in destra idrografica	18
5.4.3	Via ferrata della Memoria.....	18
5.4.4	Gallerie stradali SR251.....	19
5.4.5	Chiesa di S. Antonio da Padova al Colomber	19
5.4.6	Centro abitato di Casso	20
5.4.7	Centro abitato di Erto.....	20
5.4.8	Centro abitato di Longarone	20

6	VALORI LIMITE DI RISPETTO DELLE VIBRAZIONI	21
6.1	Norme Tedesche DIN4150-3.....	21
6.2	Norme Svizzere SN640312a	24
7	VERIFICHE DI COMPATIBILITA' TRA I VALORI DI VIBRAZIONE PREVISTI E QUELLI NORMATIVI DI RISPETTO	25
7.1	Verifica caso A: tratto iniziale della galleria di accesso	25
7.2	Caso B: tratto profondo della galleria di accesso	26
7.3	Caso C-1: spalla della diga in destra idrografica	27
7.4	Caso C-2: spalla del ponte tubo in destra idrografica	28
7.5	Caso C-3: via ferrata della Memoria	29
7.6	Caso C-4: gallerie stradali SR251	30
7.7	Caso C-5: Chiesa di S. Antonio da Padova al Colomber	32
7.8	Caso C-6: centro abitato di Casso	33
7.9	Caso C-7: centro abitato di Erto	34
7.10	Caso C-8: centro abitato di Longarone	35
8	CONCLUSIONI	36
9	BIBLIOGRAFIA	37

REGIONE FRIULI VENEZIA GIULIA

COMUNE DI ERTO E CASSO

Committente: WELLY RED S.r.l.

Progetto: PROGETTO DI UNA CENTRALE IDROELETTRICA SUL TORRENTE VAJONT, CON PRESA ALLO SCARICO DEL LAGO RESIDUO DEL VAJONT, SUBITO A VALLE DELLA DIGA, IN TERRITORIO COMUNALE DI ERTO E CASSO (PN)

Elaborato: PROBLEMATICHE SISMICHE CONNESSE ALL'UTILIZZO DI ESPLOSIVI PER LO SCAVO DELLA CENTRALE E DELLA RELATIVA GALLERIA DI ACCESSO

1 INTRODUZIONE

La presente relazione concerne la valutazione degli effetti sismici indotti nell'ambiente circostante dall'utilizzo dell'esplosivo durante lo scavo della caverna centrale e della relativa galleria di accesso, previste dal progetto in argomento.

Con riferimento all'elaborato di progetto A "Relazione tecnico-illustrativa" il progetto prevede l'impiego di esplosivo solo durante lo scavo della caverna che ospiterà la nuova centrale di produzione e della relativa galleria di accesso; per la realizzazione delle altre parti d'opera è previsto l'impiego di metodologie di scavo meccanizzato.

Come noto, il brillamento di cariche esplosive in sotterraneo provoca la propagazione di onde sismiche all'interno della massa rocciosa le cui caratteristiche sono funzione di differenti parametri

quali: la tipologia di materiale esplosivo previsto, la distanza dei recettori sensibili dal punto di sparo, la carica esplosiva massima cooperante, le caratteristiche geologiche, morfologiche e strutturali dell'ammasso.

Nella presente fase preliminare di studio, la previsione dell'effetto sismico indotto dal brillamento delle cariche esplosive che saranno utilizzate per lo scavo della caverna centrale e della relativa galleria di accesso viene effettuata mediante l'impiego di modelli teorici che tengono conto dei suddetti parametri.

Nel caso in argomento, tenuto conto della posizione dei punti di brillamento (caso A: tratto iniziale della galleria di accesso, caso B: tratto profondo galleria di accesso, caso C: caverna centrale) ed ipotizzando per ciascuno di essi la realizzazione di specifici piani di volata, saranno definiti tramite l'applicazione di relazioni empiriche di comprovata affidabilità, i valori della velocità sismica di picco (PPV) in corrispondenza dei recettori più sensibili presenti nell'intorno del cantiere di lavoro (parete rocciosa, spalla della diga, spalla del ponte tubo, via ferrata della Memoria, gallerie stradali lungo la SR251, chiesa di S. Antonio da Padova al Colomber, centro abitato di Casso, centro abitato di Erto, centro abitato di Longarone).

Tali valori di PPV (Peak Particle Velocity) previsti in corrispondenza di ciascun recettore sensibile, saranno successivamente confrontati con i valori limite di rispetto suggeriti dalle seguenti normative internazionali:

- norme tedesche DIN4150-3 "Erschütterungsmessungen in Bauwesen" Deutsches Institut für Normung Berlin, 1986
- norme svizzere SN640312a „Erschütterungsauswirkungen auf Bauwerke“ Schweizer Norm Bern, 1992.

Le Norme sopra citate forniscono infatti per diversi intervalli di frequenza sismica, i valori di riferimento della velocità di picco della vibrazione (PPV) al di sotto dei quali non si verifica statisticamente alcun danno strutturale alle strutture (recettori sensibili) indicate dalle norme medesime.

Tali previsioni di velocità sismica PPV dovranno essere verificate in sede di progettazione esecutiva, mediante l'esecuzione di un campo prova finalizzato a determinare gli effettivi parametri di propagazione delle vibrazioni ("legge sismica del sito") e dovranno essere controllate in corso d'opera mediante l'attuazione di uno specifico piano di monitoraggio sismico dei recettori sensibili.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la valutazione degli effetti delle vibrazioni indotte dalle volate di esplosivo sui recettori sensibili circostanti, si fa riferimento alla normativa di seguito riportata:

- Norma italiana UNI 9916 “criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici”, 2004 (viene richiamata in Appendice D la Norma DIN 4150);
- norme tedesche DIN4150-3 “Erschutterungsmessungen in Bauwesen” Deutsches Institut für Normung Berlin, 1986;
- norme svizzere SN640312a „Erschütterungsauswirkungen auf Bauwerke“ Schweizer Norm Bern, 1992.

3 UBICAZIONE DELLE OPERE E DEI RECETTORI SENSIBILI

L’ubicazione planimetrica della caverna centrale e della relativa galleria di accesso sono illustrate negli elaborati grafici allegati al progetto e nelle figure seguenti.



Fig.1: inquadramento generale area di intervento

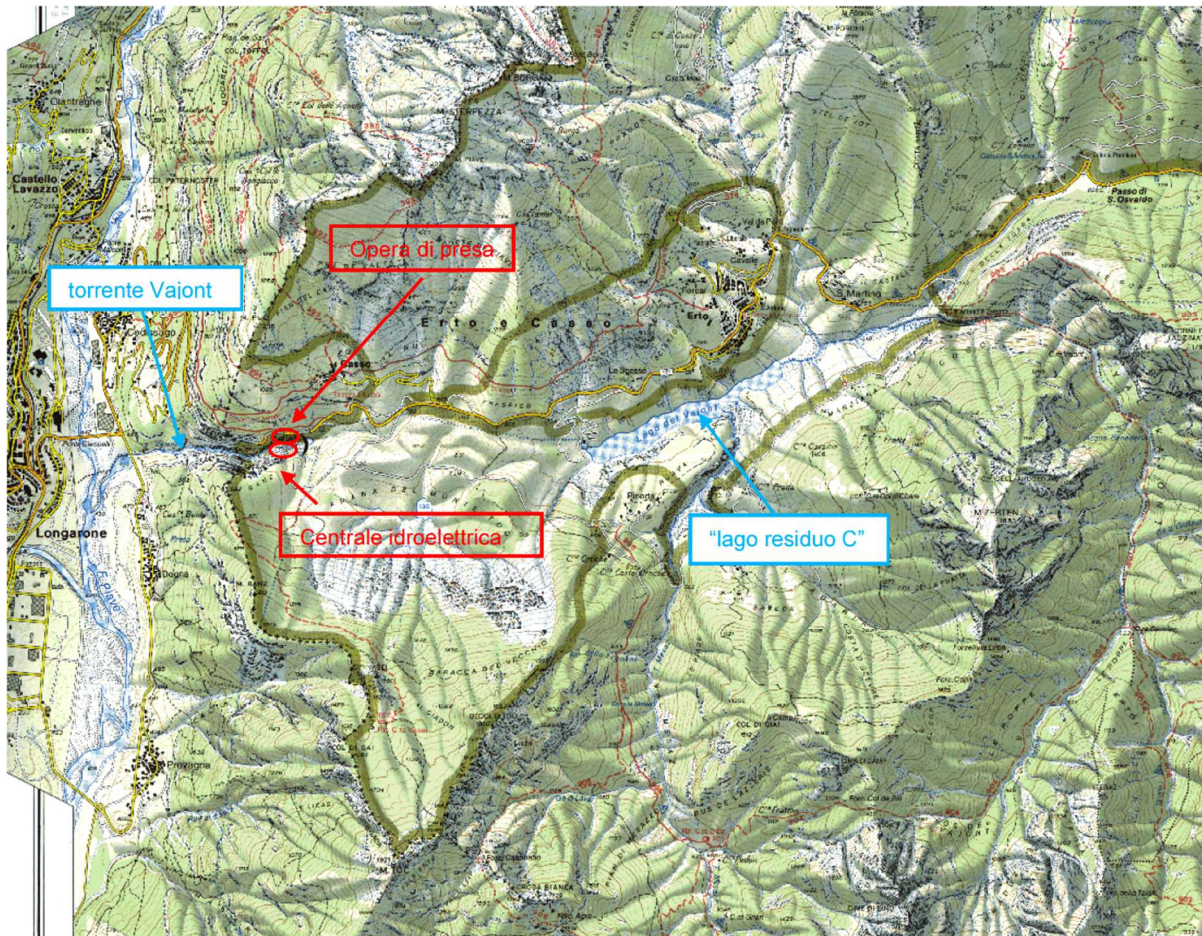


Fig.2: inquadramento geografico generale

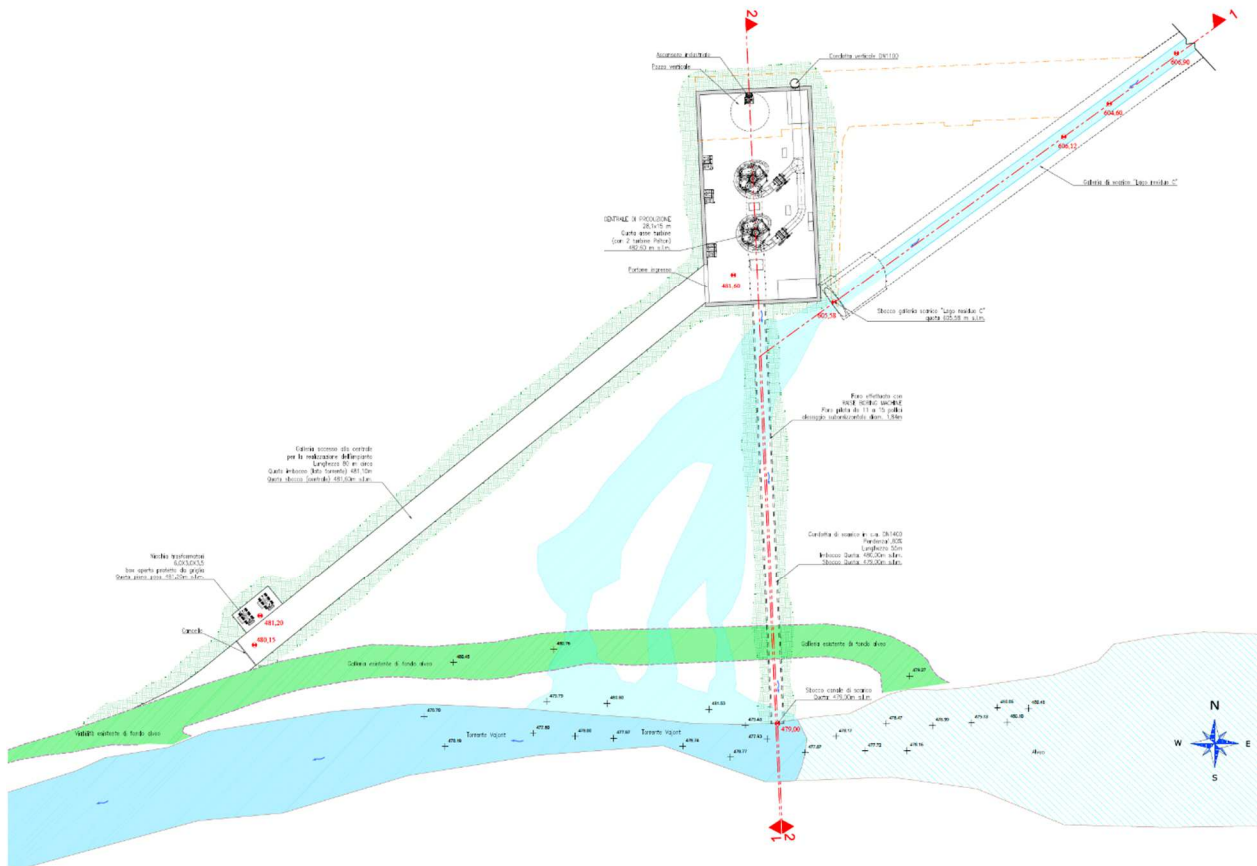


Fig.3: pianta caverna centrale e relativa galleria di accesso

4 CARATTERISTICHE DELLE OPERE E DEI RECETTORI SENSIBILI

4.1 Caratteristiche della galleria di accesso

La galleria di accesso alla caverna centrale è caratterizzata da uno sviluppo rettilineo $L=80\text{m}$ circa e da una sezione trasversale a sagoma rettangolare di larghezza $B=4\text{ m}$ ed altezza $H=4\text{m}$.

Essa sarà scavata con il metodo tradizionale “drill & blasting” mediante uso di esplosivo a sezione piena.

Caso A: per il primo tratto di sviluppo $L=20\text{m}$ a partire dall'imbocco, le volate di esplosivo

saranno caratterizzate da uno sfondo massimo $L=2,00\text{m}$ e da una carica esplosiva cooperante $W \leq 1,5\text{kg}$, tipica di realizzazioni analoghe (imbocchi di gallerie di dimensioni ridotte). Al fine del calcolo della velocità sismica indotta sulla parete rocciosa di imbocco dal brillamento della volata si considera prudenzialmente la distanza del recettore sensibile $D=10\text{m}$.

Caso B: per il tratto seguente di sviluppo $L=60\text{m}$ fino alla caverna centrale, le volate di esplosivo saranno caratterizzate da uno sfondo massimo $L=4,00\text{m}$ e da una carica esplosiva cooperante $W \leq 5\text{kg}$, tipica di realizzazioni analoghe (gallerie profonde di dimensioni ridotte).

Al fine del calcolo della velocità sismica indotta sulla parete rocciosa di imbocco dal brillamento della volata si considera prudenzialmente la distanza del recettore sensibile $D=20\text{m}$.

Come per la caverna centrale è previsto che l'ammasso roccioso sia di origine calcareo dolomitica, caratterizzato da qualità buona (appartenente alla classe I e II di Bieniawski) e da limitata fessurazione.

Le caratteristiche geometriche della galleria di accesso alla caverna centrale sono riportate nelle figure e schemi seguenti:



Fig.4: sezione trasversale della galleria di accesso alla caverna centrale

4.2 Caratteristiche della caverna centrale

La caverna centrale è caratterizzata da una pianta rettangolare di sviluppo $L=27\text{m}$, larghezza $B= 14 \text{ m}$ e da un'altezza in chiave di volta $H= 10\text{m}$ (calotta circolare a tutto sesto avente raggio $R=7\text{m}$). Essa sarà scavata con il metodo tradizionale "drill & blasting" mediante uso di esplosivo a sezioni parzializzate (calotta, strozzo e piedritti) con sfondi massimi di 2÷3 metri di lunghezza e cariche frazionate in modo da limitare la carica esplosiva cooperante al valore massimo $W=15\text{kg}$ per medesimo ritardo, tipico di realizzazioni analoghe in ammasso roccioso calcareo.

Al fine del calcolo della velocità sismica indotta dal brillamento della volata si considerano prudenzialmente le seguenti distanze del punto di scoppio rispetto ai recettori sensibili:

- | | |
|--|-------------------------|
| 1) Spalla della diga in destra idrografica | -> $D = 170\text{m}$; |
| 2) Spalla del ponte tubo in destra idrografica | -> $D = 146\text{m}$; |
| 3) Via ferrata della Memoria | -> $D = 397\text{m}$; |
| 4) Gallerie stradali SR251 | -> $D = 280\text{m}$; |
| 5) Chiesa di S. Antonio da Padova al Colomber | -> $D = 415\text{m}$; |
| 6) Centro abitato di Casso | -> $D = 690\text{m}$; |
| 7) Centro abitato di Erto | -> $D = 3500\text{m}$; |
| 8) Centro abitato di Longarone | -> $D = 1900\text{m}$; |

Sulla base degli studi geologici condotti in sede di progetto, è previsto che l'ammasso roccioso sia di origine calcareo dolomitica, caratterizzato da qualità buona (appartenente alla classe I e II di Bieniawski) e da limitata fessurazione.

Le caratteristiche geometriche della caverna centrale sono illustrate nelle figure seguenti:

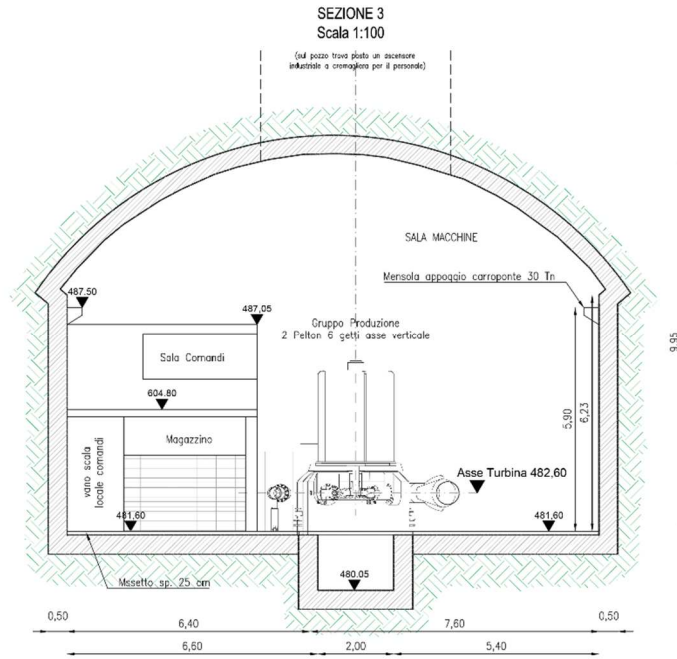


Fig.5: Sezione trasversale della caverna centrale

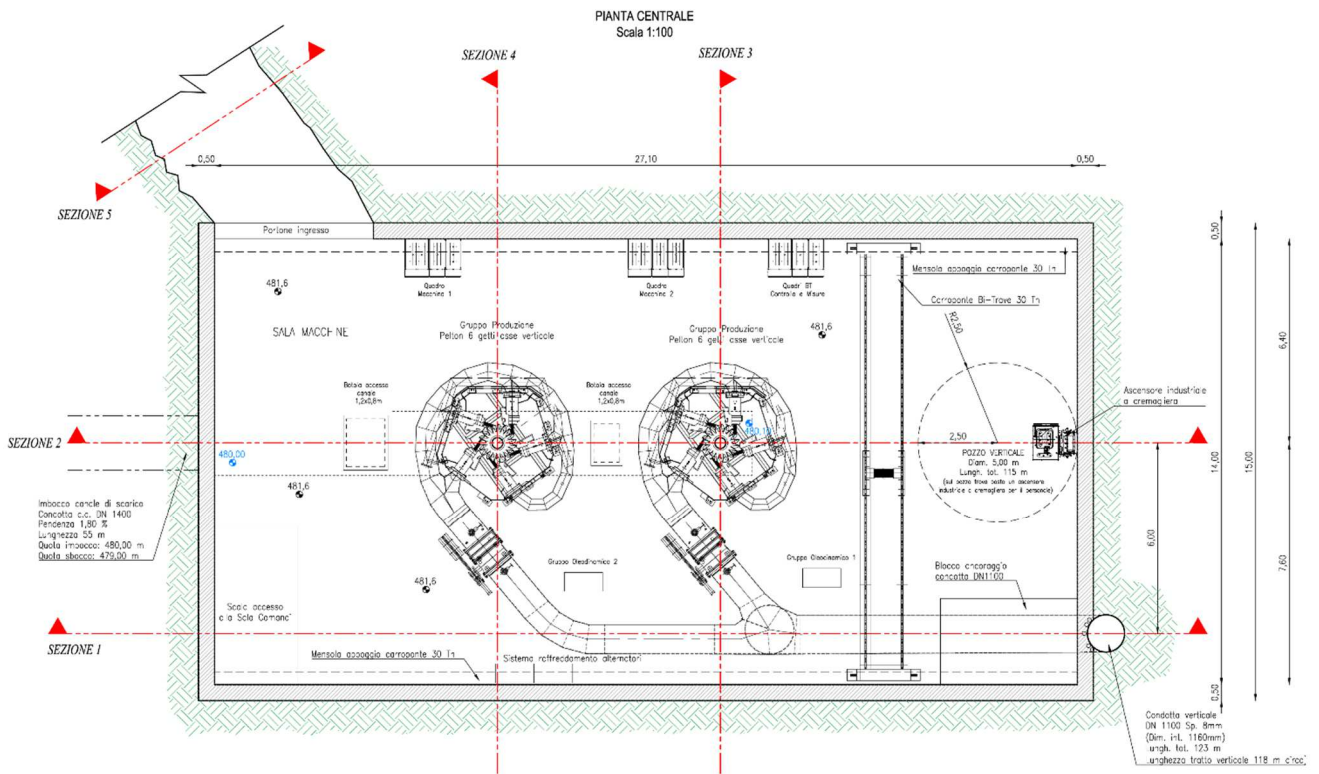


Fig.6: Pianta caverna centrale

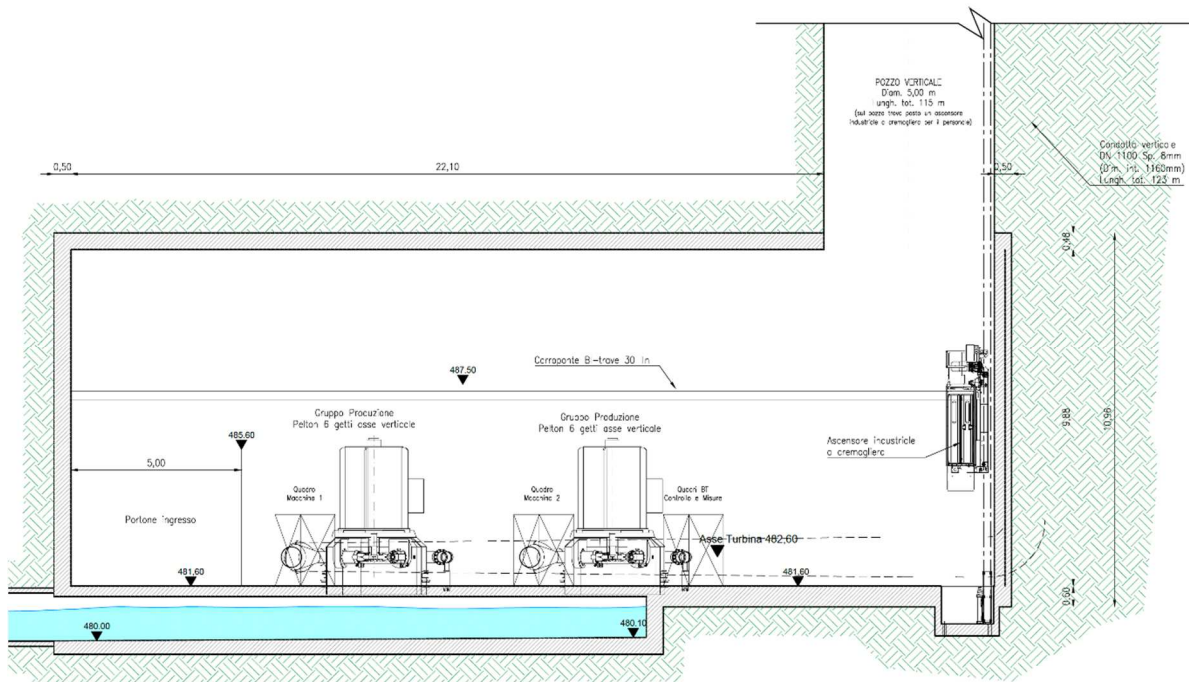


Fig.7: Sezione longitudinale in asse caverna centrale

5 PREVISIONE DELLE VIBRAZIONI INDOTTE DAL BRILLAMENTO DELLE CARICHE ESPLOSIVE

La propagazione delle onde sismiche indotte dallo sparo delle mine all'interno dell'ammasso roccioso è funzione di differenti parametri tra cui la distanza dal punto di sparo, la carica esplosiva massima cooperante e le caratteristiche geologiche, morfologiche e strutturali della massa rocciosa.

La previsione dell'effetto sismico indotto da una volata di esplosivo può essere efficacemente effettuata mediante l'impiego di modelli teorici che tengano conto dei suddetti parametri per mezzo di coefficienti ed esponenti adimensionali.

Questi coefficienti ed esponenti sono correlati alle caratteristiche dell'ammasso e caratterizzati da un comportamento "direzionale", cioè variano localmente in funzione delle eterogeneità del terreno e quindi della direzione di propagazione. Per tale motivo, per determinare tali coefficienti sono necessarie prove in situ mirate alla definizione della "legge sismica del sito" che dovranno essere realizzate in sede di progettazione esecutiva.

5.1 Modello matematico per la previsione delle vibrazioni indotte dall'uso di esplosivo

Il brillamento di volate di esplosivo genera vibrazioni che propagandosi sotto forma di superfici semisferiche e concentriche raggiungono le strutture circostanti mettendole in movimento vibratorio forzato.

Il problema del controllo delle vibrazioni generate e propagate nel suolo durante la detonazione degli esplosivi nei fori da mina si risolve con successo facendo uso di modelli matematici e di moderne apparecchiature (sismografi ed accelerometri) che registrano con precisione le caratteristiche delle onde sismiche nei punti di interesse. Un valido riferimento per determinare le soglie di tollerabilità delle vibrazioni da parte delle strutture e impianti sollecitati dall'impulso sismico è costituito dalle Norme UNI 9916, DIN 4150, BS 7385 alle quali si fa riferimento nell'ambito della presente relazione.

Nella letteratura tecnica si riscontrano numerose formule empiriche che correlano i parametri sopra elencati con la velocità di oscillazione dell'onda sismica durante la sua propagazione nel sottosuolo.

Per la determinazione in prima approssimazione della velocità di oscillazione dell'onda sismica nell'ammasso roccioso, la letteratura tecnica suggerisce tra le altre l'applicazione della collaudata formula di Langefors, definita dalla seguente equazione:

$$PPV = k \left(\frac{D}{W^{0,5}} \right)^{-n}$$

In cui:

- PPV = velocità d'oscillazione dell'onda (mm/s)
- W = carica massima cooperante (kg)
- D = distanza dal punto di scoppio (m)
- k = coefficiente adimensionale dipendente dal tipo di esplosivo e dalle sue modalità di confinamento (da determinare in fase esecutiva mediante campo prova);
- n = coefficiente adimensionale dipendente dalle condizioni geologico-strutturali dell'ammasso roccioso (da determinare in fase esecutiva mediante campo prova).

In considerazione delle caratteristiche dell'esplosivo che sarà presumibilmente utilizzato e delle caratteristiche geologico-strutturali dell'ammasso roccioso presente in situ (calcere dolomitico di buona qualità) si assumono per i coefficienti k ed n i seguenti valori caratteristici:

- $k = 500$ (valore medio prudenziale);
- $n = 1,6$.

Tali previsioni di velocità sismica PPV dovranno essere verificate in sede di progettazione esecutiva, mediante l'esecuzione di un campo prova finalizzato a determinare gli effettivi parametri di propagazione delle vibrazioni ("legge sismica del sito") e dovranno essere controllate in corso d'opera mediante l'attuazione di uno specifico piano di monitoraggio sismico dei recettori sensibili.

5.2 Caso A: tratto iniziale della galleria di accesso

Nel presente paragrafo si illustra il calcolo relativo alla previsione delle vibrazioni indotte dal brillamento delle volate di esplosivo nel tratto iniziale della galleria di accesso di sviluppo $L=20m$ (caso A).

Con riferimento alla formula del modello previsionale sopra citato (rif. par. 5.1), in considerazione dei seguenti parametri caratteristici della volata :

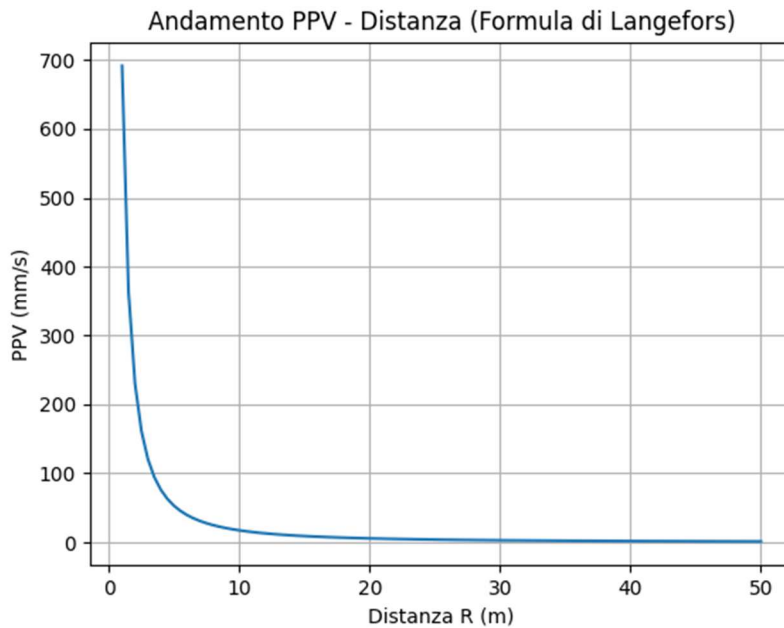
- carica massima cooperante: $W = 1,5 \text{ kg}$;
- distanza minima dal punto di scoppio: $D = 10m$;

il valore della velocità di picco PPV dell'onda sismica risulta:

$$PPV = 500 \left(\frac{10}{1,22} \right)^{-1,6}$$

$$PPV = 17,37 \text{ mm/s}$$

Il seguente diagramma illustra l'attenuazione della velocità d'oscillazione dell'onda sismica rispetto alla distanza dal punto di brillamento della volata.



5.3 Caso B: tratto profondo della galleria di accesso

Nel presente paragrafo si illustra il calcolo relativo alla previsione delle vibrazioni indotte dal brillamento delle volate di esplosivo nel tratto profondo della galleria di accesso di sviluppo L=60m (caso B).

Con riferimento alla formula del modello previsionale sopra citato (rif. par. 5.1), in considerazione dei seguenti parametri caratteristici della volata :

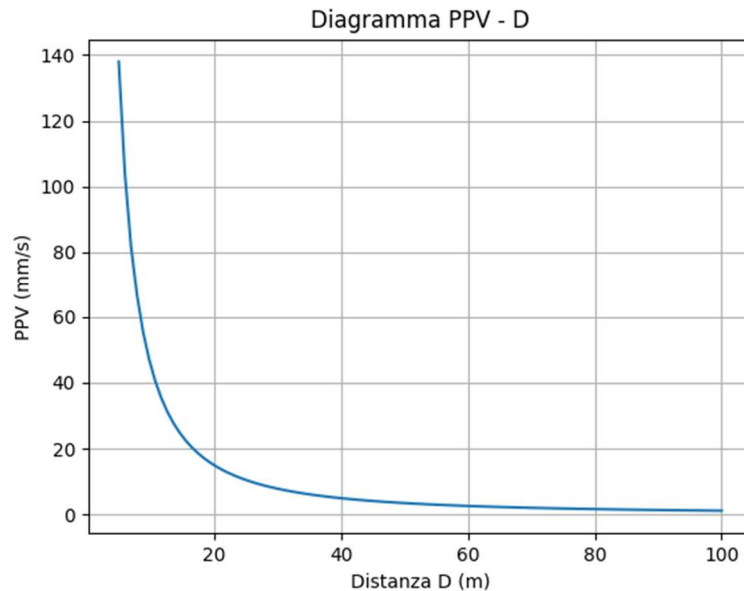
- carica massima cooperante: $W = 5 \text{ kg}$;
- distanza minima dal punto di scoppio: $D = 20\text{m}$;

il valore della velocità di picco PPV dell'onda sismica risulta:

$$PPV = 500 \left(\frac{20}{2,236} \right)^{-1,6}$$

$$PPV = 15,00 \text{ mm/s}$$

Il seguente diagramma illustra l'attenuazione della velocità d'oscillazione dell'onda sismica rispetto alla distanza dal punto di brillamento della volata.



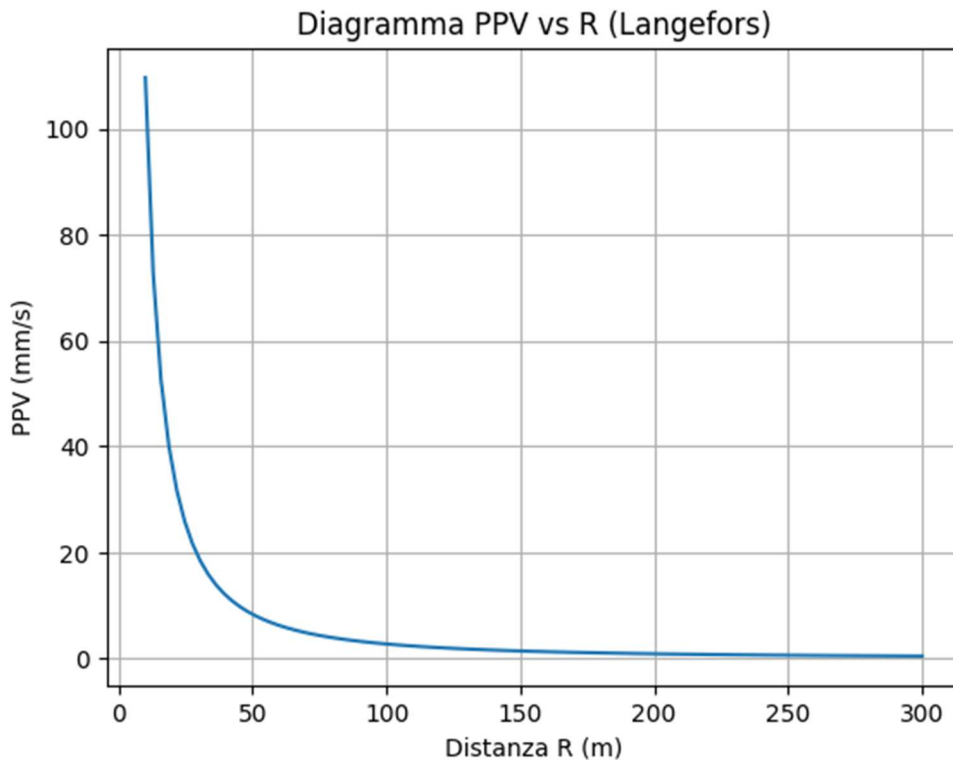
5.4 Caso C: caverna centrale

Nel presente paragrafo si illustra il calcolo relativo alla previsione delle vibrazioni indotte dal brillamento delle volate di esplosivo per lo scavo della caverna centrale rispetto ai seguenti recettori sensibili (caso B):

- | | |
|--|---------------|
| 1) Spalla della diga in destra idrografica | -> D = 170m; |
| 2) Spalla del ponte tubo in destra idrografica | -> D = 146m; |
| 3) Via ferrata della Memoria | -> D = 397m; |
| 4) Gallerie stradali SR251 | -> D = 280m; |
| 5) Chiesa di S. Antonio da Padova al Colomber | -> D = 415m; |
| 6) Centro abitato di Casso | -> D = 690m; |
| 7) Centro abitato di Erto | -> D = 3500m; |
| 8) Centro abitato di Longarone | -> D = 1900m; |

Il seguente diagramma illustra l'attenuazione della velocità d'oscillazione dell'onda sismica

rispetto alla distanza dal punto di brillamento della volata.



5.4.1 Spalla della diga in destra idrografica

Con riferimento alla formula del modello previsionale sopra citato (rif. par. 5.1), in considerazione dei seguenti parametri caratteristici della volata :

- carica massima cooperante: $W = 15 \text{ kg}$;
- distanza minima dal punto di scoppio: $D = 170\text{m}$;

il valore della velocità di picco PPV dell'onda sismica risulta:

$$PPV = 500 \left(\frac{170}{3,87} \right)^{-1,6}$$

$$PPV = 1,17 \text{ mm/s}$$

5.4.2 Spalla del ponte tubo in destra idrografica

Con riferimento alla formula del modello previsionale sopra citato (rif. par. 5.1), in considerazione dei seguenti parametri caratteristici della volata :

- carica massima cooperante: $W = 15 \text{ kg}$;

- distanza minima dal punto di scoppio: $D = 146\text{m}$;

il valore della velocità di picco PPV dell'onda sismica risulta:

$$PPV = 500 \left(\frac{146}{3,87} \right)^{-1,6}$$

$$PPV = 1,50 \text{ mm/s}$$

5.4.3 Via ferrata della Memoria

Con riferimento alla formula del modello previsionale sopra citato (rif. par. 5.1), in considerazione dei seguenti parametri caratteristici della volata :

- carica massima cooperante: $W = 15 \text{ kg}$;

- distanza minima dal punto di scoppio: $D = 397\text{m}$;

il valore della velocità di picco PPV dell'onda sismica risulta:

$$PPV = 500 \left(\frac{397}{3,87} \right)^{-1,6}$$

$$PPV = 0,30 \text{ mm/s}$$

5.4.4 Gallerie stradali SR251

Con riferimento alla formula del modello previsionale sopra citato (rif. par. 5.1), in considerazione dei seguenti parametri caratteristici della volata :

- carica massima cooperante: $W = 15 \text{ kg}$;
- distanza minima dal punto di scoppio: $D = 280\text{m}$;

il valore della velocità di picco PPV dell'onda sismica risulta:

$$PPV = 500 \left(\frac{280}{3,87} \right)^{-1,6}$$

$$PPV = 0,53 \text{ mm/s}$$

5.4.5 Chiesa di S. Antonio da Padova al Colomber

Con riferimento alla formula del modello previsionale sopra citato (rif. par. 5.1), in considerazione dei seguenti parametri caratteristici della volata :

- carica massima cooperante: $W = 15 \text{ kg}$;
- distanza minima dal punto di scoppio: $D = 415\text{m}$;

il valore della velocità di picco PPV dell'onda sismica risulta:

$$PPV = 500 \left(\frac{415}{3,87} \right)^{-1,6}$$

$$PPV = 0,28 \text{ mm/s}$$

5.4.6 Centro abitato di Casso

Con riferimento alla formula del modello previsionale sopra citato (rif. par. 5.1), in considerazione dei seguenti parametri caratteristici della volata :

- carica massima cooperante: $W = 15 \text{ kg}$;
- distanza minima dal punto di scoppio: $D = 690\text{m}$;

il valore della velocità di picco PPV dell'onda sismica risulta:

$$PPV = 500 \left(\frac{690}{3,87} \right)^{-1,6}$$

$$PPV = 0,13 \text{ mm/s}$$

5.4.7 Centro abitato di Erto

Con riferimento alla formula del modello previsionale sopra citato (rif. par. 5.1), in considerazione dei seguenti parametri caratteristici della volata :

- carica massima cooperante: $W = 15 \text{ kg}$;
- distanza minima dal punto di scoppio: $D = 3500\text{m}$;

il valore della velocità di picco PPV dell'onda sismica risulta:

$$PPV = 500 \left(\frac{3500}{3,87} \right)^{-1,6}$$

$$PPV = 0,01 \text{ mm/s}$$

5.4.8 Centro abitato di Longarone

Con riferimento alla formula del modello previsionale sopra citato (rif. par. 5.1), in considerazione dei seguenti parametri caratteristici della volata :

- carica massima cooperante: $W = 15 \text{ kg}$;
- distanza minima dal punto di scoppio: $D = 1900\text{m}$;

il valore della velocità di picco PPV dell'onda sismica risulta:

$$PPV = 500 \left(\frac{1900}{3,87} \right)^{-1,6}$$

$$PPV = 0,02 \text{ mm/s}$$

6 VALORI LIMITE DI RISPETTO DELLE VIBRAZIONI

Nel presente capitolo i valori di PPV (Peak Particle Velocity) previsti in corrispondenza di ciascun recettore sensibile (rif. Cap. 5) vengono confrontati con i valori limite di rispetto suggeriti dalle seguenti normative internazionali:

- norme tedesche DIN4150-3 "Erschütterungsmessungen in Bauwesen" Deutsches Institut für Normung Berlin, 1986
- norme svizzere SN640312a „Erschütterungsauswirkungen auf Bauwerke“ Schweizer Norm Bern, 1992.

Le Norme sopra citate stabiliscono per diversi intervalli di frequenza sismica, i valori di riferimento della velocità di picco della vibrazione (PPV) al di sotto dei quali non si verifica statisticamente alcun danno strutturale ai recettori sensibili indicati dalle norme medesime.

6.1 Norme Tedesche DIN4150-3

Le Norme tedesche DIN4150-3 forniscono i valori di riferimento della velocità di picco della vibrazione (p.c.p.v. „peak component particle velocity“) al di sotto dei quali non si verifica statisticamente alcun danno strutturale ai recettori.

Con il termine velocità di picco della vibrazione si intende il valore massimo in modulo di una delle 3 componenti vettoriali di velocità sismica, misurate contemporaneamente

La tabella seguente riassume i valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di

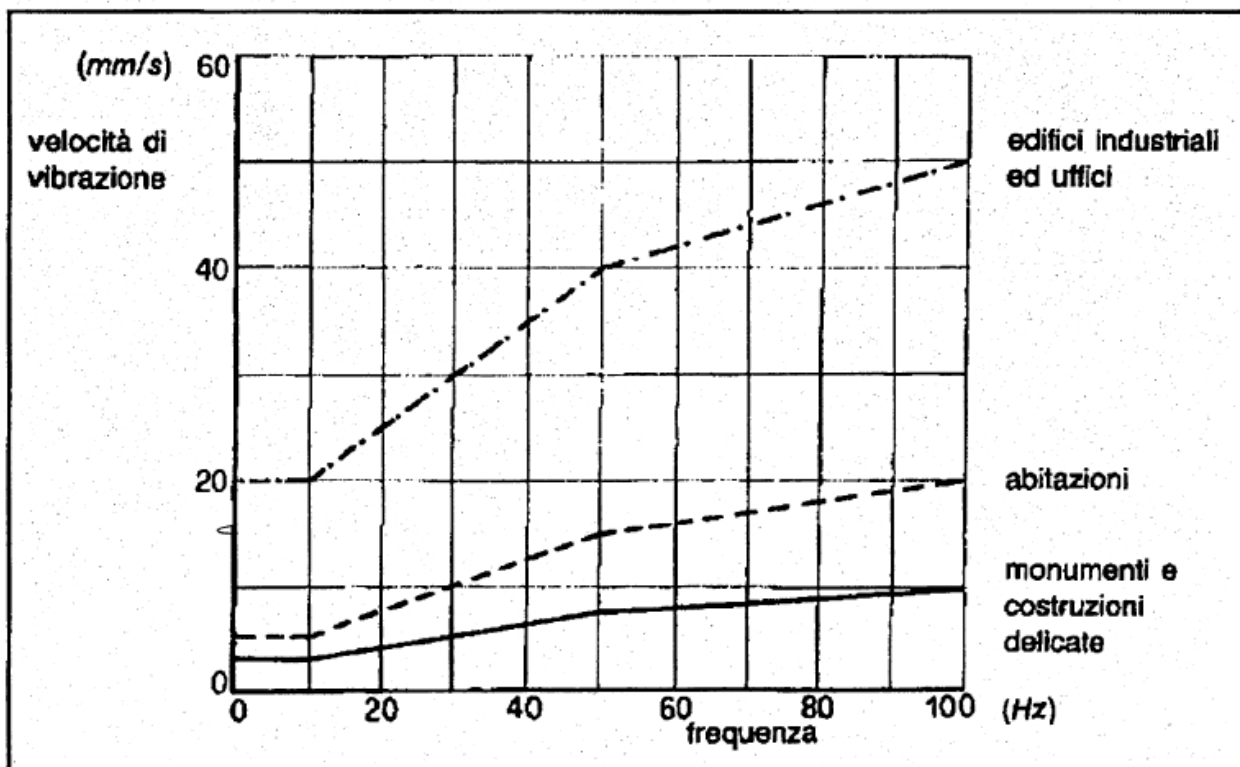
valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata su diverse tipologie di costruzioni.

La linea superiore del diagramma si riferisce a costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili (Classe1). La linea intermedia si riferisce a edifici residenziali e costruzioni simili (Classe 2), la linea inferiore a costruzioni che non ricadono nelle due precedenti e che sono degne della massima tutela, per esempio monumenti storici (Classe 3).

Il senso del "valore limite" secondo questa norma è il seguente: i valori misurati che rientrano nei valori limite (e si trovano di conseguenza al di sotto delle linee nel diagramma sovrastante) non possono statisticamente creare nessun danno strutturale sulle relative costruzioni.

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v in mm/s			
		Fondazioni			Piano alto
		Da 1 Hz fino a 10 Hz	Da 10 Hz fino a 50 Hz	Da 50 Hz fino a 100 Hz ¹⁾	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 ($f=10$ Hz) fino a 40 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 40 ($f=50$ Hz) fino a 50 ($f=100$ Hz)	40
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 ($f=10$ Hz) fino a 15 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 15 ($f=50$ Hz) fino a 20 ($f=100$ Hz)	15
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 ($f=10$ Hz) fino a 8 ($f=50$ Hz)	Varia linearmente da 8 ($f=50$ Hz) fino a 10 ($f=100$ Hz)	8

¹⁾ Per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz.



6.2 Norme Svizzere SN640312a

Le Norme svizzere SN640312a forniscono i valori di riferimento della velocità di picco puntuale della vibrazione (p.p.v. „peak particle velocity“) al di sotto dei quali non si verifica statisticamente alcun danno strutturale alle costruzioni indicate dalle norme medesime.

Con il termine velocità di picco puntuale della vibrazione si intende il valore massimo in modulo del vettore velocità (somma vettoriale delle 3 componenti) misurato in un punto.

La tabella seguente riassume i valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata su diverse tipologie di costruzioni.

Classe	Tipo di costruzione	Esposizione	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.p.v. in mm/s		
			Posizioni di misura *)		
			Da 8 Hz fino a 30 Hz ¹⁾	Da 30 Hz fino a 60 Hz	Da 60 Hz fino a 150 Hz
A	Costruzioni molto poco sensibili (per esempio ponti, gallerie, fondazioni di macchine)	Occasionale Frequente Permanente	Fino a tre volte i valori corrispondenti alla classe C	Fino a tre volte i valori corrispondenti alla classe C	Fino a tre volte i valori corrispondenti alla classe C
B	Costruzioni poco sensibili (per esempio edifici industriali in cemento armato o metallici) costruiti a regola d'arte e con manutenzione adeguata	Occasionale Frequente Permanente	Fino a due volte i valori corrispondenti alla classe C	Fino a due volte i valori corrispondenti alla classe C	Fino a due volte i valori corrispondenti alla classe C
C	Costruzioni normalmente sensibili (per esempio edifici d'abitazione in muratura di cemento, cemento armato o mattoni, edifici amministrativi, scuole, ospedali, chiese in pietra naturale o mattoni intonacati) costruiti a regola d'arte e con manutenzione adeguata	Occasionale Frequente Permanente	15 6 3	20 8 4	30 12 6
D	Costruzioni particolarmente sensibili (per esempio monumenti storici e soggetti a tutela) case con soffitti in gesso, edifici della classe C nuovi o ristrutturati di recente	Occasionale Frequente Permanente	Valori compresi tra quelli previsti per la classe C e la loro metà	Valori compresi tra quelli previsti per la classe C e la loro metà	Valori compresi tra quelli previsti per la classe C e la loro metà
*) Le posizioni di misura devono essere scelte sugli elementi rigidi della struttura portante o dove sono attesi i maggiori effetti delle vibrazioni.					

7 VERIFICHE DI COMPATIBILITA' TRA I VALORI DI VIBRAZIONE PREVISTI E QUELLI NORMATIVI DI RISPETTO

Nell'ambito del presente capitolo viene effettuato il confronto tra i valori previsti di PPV in corrispondenza di ciascun recettore sensibile (rif. cap.5) ed i valori limite di rispetto suggeriti dalle norme tedesche DIN4150-3 e dalle norme svizzere SN640312a (rif. Cap.6).

7.1 Verifica caso A: tratto iniziale della galleria di accesso

Nel presente paragrafo si confronta il valore previsto della velocità di picco PPV delle vibrazioni indotte dal brillamento delle volate di esplosivo nel tratto iniziale della galleria di accesso (sviluppo L=20m) con i valori di rispetto previsti dalle normative di riferimento.

Si specifica che nel presente caso di studio:

- il recettore sensibile è costituito dalla parete rocciosa limitrofa all'imbocco della galleria situata alla distanza di circa 10m dalla "rinora" della volata (punto di scoppio);

- secondo la norma DIN4150-3 tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE 1, pertanto:

- nello spettro di frequenze $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=20\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $10\text{Hz} < f < 50\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $\text{PCPV}=20\text{ mm/s}$ a $\text{PCPV}=40\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $50\text{Hz} < f < 100\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=40\text{ mm/s}$ a $\text{PCPV}=50\text{ mm/s}$;
- per frequenze $f > 100\text{Hz}$ può essere considerato il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=50\text{ mm/s}$;

- secondo la norma svizzera SN640312a tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE A, pertanto:

- nello spettro di frequenze $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=18\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $30\text{Hz} < f < 60\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=24\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $60\text{Hz} < f < 150\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=36\text{ mm/s}$;

Con riferimento ai risultati del caso analizzato nel paragrafo 5.2 ed ai limiti normativi di rispetto, si osserva:

- che il valore previsto della velocità di picco misurata a 10m di distanza dal punto di scoppio risulta pari a $PPV = 17,37 \text{ mm/s}$;
- che tale valore di PPV risulta sempre inferiore alla soglia di rispetto più cautelativa della norma DIN (valida per frequenze di vibrazione $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$) ed anche alla soglia di rispetto più cautelativa della norma SN (valida per frequenze di vibrazione $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$);

7.2 Caso B: tratto profondo della galleria di accesso

Nel presente paragrafo si confronta il valore previsto della velocità di picco PPV delle vibrazioni indotte dal brillamento delle volate di esplosivo nel tratto profondo della galleria di accesso (sviluppo $L=60\text{m}$) con i valori di rispetto previsti dalle normative di riferimento.

Si specifica che nel presente caso di studio:

- il recettore sensibile è costituito dalla parete rocciosa adiacente la galleria situata alla distanza minima di circa 20m dalla "rinora" della volata (punto di scoppio);
- secondo la norma DIN4150-3 tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE 1, pertanto:
 - nello spettro di frequenze $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $PCPV=20 \text{ mm/s}$;
 - nello spettro di frequenze $10\text{Hz} < f < 50\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $PCPV=20 \text{ mm/s}$ a $PCPV=40 \text{ mm/s}$;
 - nello spettro di frequenze $50\text{Hz} < f < 100\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $PCPV=40 \text{ mm/s}$ a $PCPV=50 \text{ mm/s}$;
 - per frequenze $f > 100\text{Hz}$ può essere considerato il valore di rispetto della velocità sismica risulta $PCPV=50 \text{ mm/s}$;
- secondo la norma svizzera SN640312a tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE A, pertanto:
 - nello spettro di frequenze $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $PPV=18 \text{ mm/s}$;

- nello spettro di frequenze $30\text{Hz} < f < 60\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=24 \text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $60\text{Hz} < f < 150\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=36 \text{ mm/s}$;

Con riferimento ai risultati del caso analizzato nel paragrafo 5.3 ed ai limiti normativi di rispetto si osserva pertanto:

- che il valore previsto della velocità di picco misurata a 20m di distanza dal punto di scoppio risulta pari a $\text{PPV} = 15 \text{ mm/s}$;
- che tale valore di PPV risulta sempre inferiore alla soglia di rispetto più cautelativa della norma DIN (valida per frequenze di vibrazione $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$) ed anche alla soglia di rispetto più cautelativa della norma SN (valida per frequenze di vibrazione $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$);
- che per distanze tra punto di scoppio e recettore $D > 20\text{m}$, la velocità sismica si riduce a valori $\text{PPV} < 15 \text{ mm/s}$, inferiori ai valori di rispetto della norma DIN e della norma SN per qualsiasi spettro di frequenza considerato.

7.3 Caso C-1: spalla della diga in destra idrografica

Nel presente paragrafo si confronta il valore previsto della velocità di picco PPV delle vibrazioni indotte dal brillamento delle volate di esplosivo nella caverna centrale con i valori di rispetto previsti dalle normative di riferimento in corrispondenza della spalla DX della diga.

Si specifica che nel presente caso di studio:

- il recettore sensibile è costituito dalla spalla della diga in destra idrografica situata alla distanza minima di circa 170m dalla "rinora" della volata (punto di scoppio);
- secondo la norma DIN4150-3 tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE 1, pertanto:
 - nello spettro di frequenze $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=20 \text{ mm/s}$;
 - nello spettro di frequenze $10\text{Hz} < f < 50\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $\text{PCPV}=20 \text{ mm/s}$ a $\text{PCPV}=40 \text{ mm/s}$;

- nello spettro di frequenze $50\text{Hz} < f < 100\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $\text{PCPV}=40\text{ mm/s}$ a $\text{PCPV}=50\text{ mm/s}$;
- per frequenze $f > 100\text{Hz}$ può essere considerato il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=50\text{ mm/s}$;

- secondo la norma svizzera SN640312a tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE A, pertanto:

- nello spettro di frequenze $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=18\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $30\text{Hz} < f < 60\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=24\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $60\text{Hz} < f < 150\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=36\text{ mm/s}$;

Con riferimento ai risultati del caso analizzato nel paragrafo 5.4.1 ed ai limiti normativi di rispetto si osserva pertanto:

- che il valore previsto della velocità di picco misurata a 170m di distanza dal punto di scoppio risulta pari a $\text{PPV} = 1,17\text{ mm/s}$;

- che tale valore di PPV risulta sempre inferiore alla soglia di rispetto più cautelativa della norma DIN (valida per frequenze di vibrazione $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$) ed anche alla soglia di rispetto più cautelativa della norma SN (valida per frequenze di vibrazione $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$).

7.4 Caso C-2: spalla del ponte tubo in destra idrografica

Nel presente paragrafo si confronta il valore previsto della velocità di picco PPV delle vibrazioni indotte dal brillamento delle volate di esplosivo nella caverna centrale con i valori di rispetto previsti dalle normative di riferimento in corrispondenza della spalla DX del ponte tubo.

Si specifica che nel presente caso di studio:

- il recettore sensibile è costituito dalla spalla del ponte tubo in destra idrografica situata alla distanza minima di circa 146m dalla "rinora" della volata (punto di scoppio);

- secondo la norma DIN4150-3 tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE 1, pertanto:

- nello spettro di frequenze $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=20\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $10\text{Hz} < f < 50\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $\text{PCPV}=20\text{ mm/s}$ a $\text{PCPV}=40\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $50\text{Hz} < f < 100\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $\text{PCPV}=40\text{ mm/s}$ a $\text{PCPV}=50\text{ mm/s}$;
- per frequenze $f > 100\text{Hz}$ può essere considerato il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=50\text{ mm/s}$;

- secondo la norma svizzera SN640312a tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE A, pertanto:

- nello spettro di frequenze $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=18\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $30\text{Hz} < f < 60\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=24\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $60\text{Hz} < f < 150\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=36\text{ mm/s}$;

Con riferimento ai risultati del caso analizzato nel paragrafo 5.4.2 ed ai limiti normativi di rispetto si osserva pertanto:

- che il valore previsto della velocità di picco misurata a 460m di distanza dal punto di scoppio risulta pari a $\text{PPV} = 1,50\text{ mm/s}$;
- che tale valore di PPV risulta sempre inferiore alla soglia di rispetto più cautelativa della norma DIN (valida per frequenze di vibrazione $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$) ed anche alla soglia di rispetto più cautelativa della norma SN (valida per frequenze di vibrazione $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$).

7.5 Caso C-3: via ferrata della Memoria

Nel presente paragrafo si confronta il valore previsto della velocità di picco PPV delle vibrazioni indotte dal brillamento delle volate di esplosivo nella caverna centrale con i valori di rispetto previsti dalle normative di riferimento in corrispondenza della via ferrata della Memoria.

Si specifica che nel presente caso di studio:

- il recettore sensibile è costituito dalla parete rocciosa percorsa dalla suddetta via ferrata in destra

idrografica situata alla distanza minima di circa 397m dalla "rinora" della volata (punto di scoppio);

- secondo la norma DIN4150-3 tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE 1, pertanto:

- nello spettro di frequenze $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=20\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $10\text{Hz} < f < 50\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $\text{PCPV}=20\text{ mm/s}$ a $\text{PCPV}=40\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $50\text{Hz} < f < 100\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $\text{PCPV}=40\text{ mm/s}$ a $\text{PCPV}=50\text{ mm/s}$;
- per frequenze $f > 100\text{Hz}$ può essere considerato il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=50\text{ mm/s}$;

- secondo la norma svizzera SN640312a tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE A, pertanto:

- nello spettro di frequenze $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=18\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $30\text{Hz} < f < 60\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=24\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $60\text{Hz} < f < 150\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=36\text{ mm/s}$;

Con riferimento ai risultati del caso analizzato nel paragrafo 5.4.3 ed ai limiti normativi di rispetto si osserva pertanto:

- che il valore previsto della velocità di picco misurata a 397m di distanza dal punto di scoppio risulta pari a $\text{PPV} = 0,30\text{ mm/s}$;

- che tale valore di PPV risulta sempre inferiore alla soglia di rispetto più cautelativa della norma DIN (valida per frequenze di vibrazione $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$) ed anche alla soglia di rispetto più cautelativa della norma SN (valida per frequenze di vibrazione $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$).

7.6 Caso C-4: gallerie stradali SR251

Nel presente paragrafo si confronta il valore previsto della velocità di picco PPV delle vibrazioni indotte dal brillamento delle volate di esplosivo nella caverna centrale con i valori di rispetto previsti

dalle normative di riferimento in corrispondenza delle gallerie stradali presenti lungo la SR251.

Si specifica che nel presente caso di studio:

- il recettore sensibile è costituito dalle pareti delle suddette gallerie situate alla distanza minima di circa 280m dalla "rinora" della volata (punto di scoppio);

- secondo la norma DIN4150-3 tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE 1, pertanto:

- nello spettro di frequenze $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=20\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $10\text{Hz} < f < 50\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $\text{PCPV}=20\text{ mm/s}$ a $\text{PCPV}=40\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $50\text{Hz} < f < 100\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $\text{PCPV}=40\text{ mm/s}$ a $\text{PCPV}=50\text{ mm/s}$;
- per frequenze $f > 100\text{Hz}$ può essere considerato il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=50\text{ mm/s}$;

- secondo la norma svizzera SN640312a tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE A, pertanto:

- nello spettro di frequenze $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=18\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $30\text{Hz} < f < 60\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=24\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $60\text{Hz} < f < 150\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PPV}=36\text{ mm/s}$;

Con riferimento ai risultati del caso analizzato nel paragrafo 5.4.4 ed ai limiti normativi di rispetto si osserva pertanto:

- che il valore previsto della velocità di picco misurata a 280m di distanza dal punto di scoppio risulta pari a $\text{PPV} = 0,53\text{ mm/s}$;

- che tale valore di PPV risulta sempre inferiore alla soglia di rispetto più cautelativa della norma DIN (valida per frequenze di vibrazione $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$) ed anche alla soglia di rispetto più cautelativa della norma SN (valida per frequenze di vibrazione $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$).

7.7 Caso C-5: Chiesa di S. Antonio da Padova al Colomber

Nel presente paragrafo si confronta il valore previsto della velocità di picco PPV delle vibrazioni indotte dal brillamento delle volate di esplosivo nella caverna centrale con i valori di rispetto previsti dalle normative di riferimento in corrispondenza della Chiesa di S. Antonio da Padova al Colomber.

Si specifica che nel presente caso di studio:

- il recettore sensibile è costituito dall'edificio della Chiesa situato alla distanza minima di circa 415m dalla "rinora" della volata (punto di scoppio);

- secondo la norma DIN4150-3 tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE 3, pertanto:

- nello spettro di frequenze $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=3\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $10\text{Hz} < f < 50\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $\text{PCPV}=3\text{ mm/s}$ a $\text{PCPV}=8\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $50\text{Hz} < f < 100\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $\text{PCPV}=8\text{ mm/s}$ a $\text{PCPV}=10\text{ mm/s}$;
- per frequenze $f > 100\text{Hz}$ può essere considerato il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=10\text{ mm/s}$;

- secondo la norma svizzera SN640312a tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE D, pertanto:

- nello spettro di frequenze $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica PPV varia linearmente da 3 a 6 mm/s;
- nello spettro di frequenze $30\text{Hz} < f < 60\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica PPV varia linearmente da 4 a 8 mm/s;
- nello spettro di frequenze $60\text{Hz} < f < 150\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica PPV varia linearmente da 6 a 12 mm/s;

Con riferimento ai risultati del caso analizzato nel paragrafo 5.4.5 ed ai limiti normativi di rispetto si osserva pertanto:

- che il valore previsto della velocità di picco misurata a 415m di distanza dal punto di scoppio risulta pari a $\text{PPV} = 0,28\text{ mm/s}$;

- che tale valore di PPV risulta sempre inferiore alla soglia di rispetto più cautelativa della norma DIN

(valida per frequenze di vibrazione $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$) ed anche alla soglia di rispetto più cautelativa della norma SN (valida per frequenze di vibrazione $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$).

7.8 Caso C-6: centro abitato di Casso

Nel presente paragrafo si confronta il valore previsto della velocità di picco PPV delle vibrazioni indotte dal brillamento delle volate di esplosivo nella caverna centrale con i valori di rispetto previsti dalle normative di riferimento in corrispondenza del centro abitato di Casso.

Si specifica che nel presente caso di studio:

- il recettore sensibile è costituito dagli edifici del centro abitato di Casso situati alla distanza minima di circa 690m dalla "rinora" della volata (punto di scoppio);

- secondo la norma DIN4150-3 tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE 3, pertanto:

- nello spettro di frequenze $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=3\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $10\text{Hz} < f < 50\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $\text{PCPV}=3\text{ mm/s}$ a $\text{PCPV}=8\text{ mm/s}$;
- nello spettro di frequenze $50\text{Hz} < f < 100\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $\text{PCPV}=8\text{ mm/s}$ a $\text{PCPV}=10\text{ mm/s}$;
- per frequenze $f > 100\text{Hz}$ può essere considerato il valore di rispetto della velocità sismica risulta $\text{PCPV}=10\text{ mm/s}$;

- secondo la norma svizzera SN640312a tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE D, pertanto:

- nello spettro di frequenze $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica PPV varia linearmente da 3 a 6 mm/s;
- nello spettro di frequenze $30\text{Hz} < f < 60\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica PPV varia linearmente da 4 a 8 mm/s;
- nello spettro di frequenze $60\text{Hz} < f < 150\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica PPV varia linearmente da 6 a 12 mm/s;

Con riferimento ai risultati del caso analizzato nel paragrafo 5.4.6 ed ai limiti normativi di rispetto si osserva pertanto:

- che il valore previsto della velocità di picco misurata a 690m di distanza dal punto di scoppio risulta pari a $PPV = 0,13 \text{ mm/s}$;
- che tale valore di PPV risulta sempre inferiore alla soglia di rispetto più cautelativa della norma DIN (valida per frequenze di vibrazione $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$) ed anche alla soglia di rispetto più cautelativa della norma SN (valida per frequenze di vibrazione $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$).

7.9 Caso C-7: centro abitato di Erto

Nel presente paragrafo si confronta il valore previsto della velocità di picco PPV delle vibrazioni indotte dal brillamento delle volate di esplosivo nella caverna centrale con i valori di rispetto previsti dalle normative di riferimento in corrispondenza del centro abitato di Erto.

Si specifica che nel presente caso di studio:

- il recettore sensibile è costituito dagli edifici del centro abitato di Erto situati alla distanza minima di circa 3500m dalla “rinora” della volata (punto di scoppio);
- secondo la norma DIN4150-3 tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE 3, pertanto:
 - nello spettro di frequenze $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $PCPV=3 \text{ mm/s}$;
 - nello spettro di frequenze $10\text{Hz} < f < 50\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $PCPV=3 \text{ mm/s}$ a $PCPV=8 \text{ mm/s}$;
 - nello spettro di frequenze $50\text{Hz} < f < 100\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $PCPV=8 \text{ mm/s}$ a $PCPV=10 \text{ mm/s}$;
 - per frequenze $f > 100\text{Hz}$ può essere considerato il valore di rispetto della velocità sismica risulta $PCPV=10 \text{ mm/s}$;
- secondo la norma svizzera SN640312a tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE D, pertanto:
 - nello spettro di frequenze $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica PPV varia linearmente da 3 a 6 mm/s;
 - nello spettro di frequenze $30\text{Hz} < f < 60\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica PPV varia linearmente da 4 a 8 mm/s;
 - nello spettro di frequenze $60\text{Hz} < f < 150\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica PPV varia linearmente da 6 a 12 mm/s;

Con riferimento ai risultati del caso analizzato nel paragrafo 5.4.7 ed ai limiti normativi di rispetto si osserva pertanto:

- che il valore previsto della velocità di picco misurata a 690m di distanza dal punto di scoppio risulta pari a $PPV = 0,01 \text{ mm/s}$;
- che tale valore di PPV risulta sempre inferiore alla soglia di rispetto più cautelativa della norma DIN (valida per frequenze di vibrazione $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$) ed anche alla soglia di rispetto più cautelativa della norma SN (valida per frequenze di vibrazione $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$).

7.10 Caso C-8: centro abitato di Longarone

Nel presente paragrafo si confronta il valore previsto della velocità di picco PPV delle vibrazioni indotte dal brillamento delle volate di esplosivo nella caverna centrale con i valori di rispetto previsti dalle normative di riferimento in corrispondenza del centro abitato di Longarone.

Si specifica che nel presente caso di studio:

- il recettore sensibile è costituito dagli edifici del centro abitato di Erto situati alla distanza minima di circa 1900m dalla "rinora" della volata (punto di scoppio);
- secondo la norma DIN4150-3 tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE 3, pertanto:
 - nello spettro di frequenze $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica risulta $PCPV=3 \text{ mm/s}$;
 - nello spettro di frequenze $10\text{Hz} < f < 50\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $PCPV=3 \text{ mm/s}$ a $PCPV=8 \text{ mm/s}$;
 - nello spettro di frequenze $50\text{Hz} < f < 100\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica varia linearmente da $PCPV=8 \text{ mm/s}$ a $PCPV=10 \text{ mm/s}$;
 - per frequenze $f > 100\text{Hz}$ può essere considerato il valore di rispetto della velocità sismica risulta $PCPV=10 \text{ mm/s}$;
- secondo la norma svizzera SN640312a tale recettore può essere cautelativamente considerato di CLASSE D, pertanto:
 - nello spettro di frequenze $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica PPV varia linearmente da 3 a 6 mm/s;
 - nello spettro di frequenze $30\text{Hz} < f < 60\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica PPV varia linearmente da 4 a 8 mm/s;

- nello spettro di frequenze $60\text{Hz} < f < 150\text{Hz}$ il valore di rispetto della velocità sismica PPV varia linearmente da 6 a 12 mm/s;

Con riferimento ai risultati del caso analizzato nel paragrafo 5.4.8 ed ai limiti normativi di rispetto si osserva pertanto:

- che il valore previsto della velocità di picco misurata a 1900m di distanza dal punto di scoppio risulta pari a $\text{PPV} = 0,02 \text{ mm/s}$;
- che tale valore di PPV risulta sempre inferiore alla soglia di rispetto più cautelativa della norma DIN (valida per frequenze di vibrazione $1\text{Hz} < f < 10\text{Hz}$) ed anche alla soglia di rispetto più cautelativa della norma SN (valida per frequenze di vibrazione $8\text{Hz} < f < 30\text{Hz}$).

8 CONCLUSIONI

Nell'ambito della presente relazione viene effettuato il confronto tra i valori prevedibili della velocità sismica PPV indotta dal brillamento delle volate di esplosivo previste dal progetto per lo scavo della caverna centrale e della relativa galleria di accesso ed i valori limite di rispetto suggeriti dalle norme tedesche DIN4150-3 e dalle norme svizzere SN640312a in corrispondenza di ciascun recettore sensibile.

I punti di brillamento considerati sono costituiti da:

- caso A: tratto iniziale ($L=20\text{m}$) della galleria di accesso;
- caso B: tratto profondo ($L=60\text{m}$) della galleria di accesso;
- caso C: caverna centrale.

Per ciascun punto di brillamento è stato ipotizzato un valore massimo di carica cooperativa operante W e sono stati definiti tramite l'applicazione di relazioni empiriche di comprovata affidabilità, i valori della velocità sismica di picco (PPV) in corrispondenza dei recettori più sensibili presenti nell'intorno del cantiere di lavoro.

Su indicazione della progettista delle opere dott.ssa Roberta Tedeschi, sono stati analizzati i seguenti casi di studio:

Caso A: tratto iniziale della galleria di accesso;

Caso B: tratto profondo della galleria di accesso;

Caso C-1: spalla della diga in destra idrografica;

Caso C-2: spalla del ponte tubo in destra idrografica;

Caso C-3: via ferrata della Memoria;

Caso C-4: gallerie stradali SR251;

Caso C-5: Chiesa di S. Antonio da Padova al Colomber;

Caso C-6: centro abitato di Casso;

Caso C-7: centro abitato di Erto;

Caso C-8: centro abitato di Longarone.

Per ciascun dei suddetti casi è stato effettuato il confronto tra i valori previsti di PPV in corrispondenza di ciascun recettore sensibile ed i valori limite di rispetto suggeriti dalle norme tedesche DIN4150-3 e dalle norme svizzere SN640312a.

I risultati delle verifiche di compatibilità tra i valori di vibrazione previsti e quelli normativi di rispetto (rif. cap.7) confermano che in tutti i casi analizzati i valori della velocità sismica PPV risultano ampiamente inferiori ai valori di rispetto suggeriti dalle norme di riferimento.

Tali previsioni di velocità sismica PPV dovranno essere verificate in sede di progettazione esecutiva, mediante l'esecuzione di un campo prova finalizzato a determinare gli effettivi parametri di propagazione delle vibrazioni ("legge sismica del sito") e dovranno essere controllate in corso d'opera mediante l'attuazione di uno specifico piano di monitoraggio sismico dei recettori sensibili.

9 BIBLIOGRAFIA

[I] BERTA G. "L'esplosivo strumento di lavoro" Italesplosivi, Milano 1996

[II] DIN-4150 "Structural vibrations in buildings." Deutsches Institut für Normung Berlin 1986

- [III] DOWDING C.H. „Construction vibrations” Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 1996
- [IV] EFSTRATIADIS D.A. “The vibrometrical survey as protection of historical monuments.” Engineering Geology of Ancient Works, Monuments & Historical Sites, Editions Balkema Rotterdam 1988
- [V] EFSTRATIADIS D.A. “Safeguarding the archeological monuments of Platamon Castle in Northern Greece under severe vibrations regime. A global solution to the problem.” 2nd MR2002 Symposium “Erschutterungsmessungen und Ueberwachungen”, Editions EMPA Zurich 1999
- [VI] EFSTRATIADIS D.A. & COREN F. « Problemi vibrometrici connessi con l’uso di esplosivo » Edizioni FFSS Roma 1986
- [VII] INTERNATIONAL SOCIETY OF EXPLOSIVES ENGINEERING “Blaster’s Handbook” Ohio, 2000
- [VIII] OLOFSSON S. “Applied Explosives Technology for Costruction & Minning” Applex Arla Sweden 1997.
- [IX] ORIARD L.L. & COULSON J.H. “TVA Blast Vibration Criteria for Mass Concrete” Proc. Conference of ASCE, Portland, OR, USA 1980.
- [X] PER-ANDERS PERSSON et altr. « Rock Blasting & Explosives Engineering » CRC Press Boca Raton New York 1994
- [XI] PIJUSH PAL ROY “Rock Blasting, Effects & Operations” Balkema Publishers, Netherlands 2005
- [XII] SINGH S.P. “Prediction & measurement of blast vibrations” Intl Jrnl of Surface Mining & Reclamation No 7, pp. 149-154, 1993
- [XIII] SISKIND et altr. “Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting” U.S. Bureau of Mines, RI8507 Washington D.C. 1980
- [XIV] SN640312a “Erschitterungsauswirkungen auf Bauwerke” SCHWEIZER NORM Bern 1992
- [XV] UNI9916:2004, Norma Tecnica „Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici” Milano 2004
- [XVI] Ziegler A. “Neue Eschutterungsnormen: Anwendung und Interpretation” 3rd MR2002 Symposium “Erschutterungsmessungen und Ueberwachungen”, Editions EMPA Zurich 2000