

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

IMPIANTO DI VALCIMARRA II
Installazione di un nuovo gruppo reversibile
Centrale di Valcimarra
Comune di Caldarola (MC)

Progetto Definitivo per Autorizzazione
**ANALISI DELL'IPOTESI DI USO DEGLI ESPLOSIVI
PER GLI SCAVI SOTTERRANEI**

File: GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.246.00 Analisi Uso Esplosivi (Rev01)

REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
01	17/09/2023	Seconda Emissione	F.Maugliani	A.Balestra	M. Braghini
00	05/09/2023	Prima Emissione	F.Maugliani	A.Balestra	M. Braghini

GRE VALIDATION					
COLLABORATORS			VERIFIED BY		VALIDATED BY
			Support Team: F.PODIO		Project Engineer: G.RIPELLINO

PROJECT / PLANT ANAPO	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
	GRE	EEC	D	9	9	I	T	H	1	7	1	6	8	0	0	1	2	0	0

CLASSIFICATION PUBLIC	UTILIZATION SCOPE PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE
------------------------------	---

This document is property of Enel Green Power S.p.A. It is strictly forbidden to reproduce this document, in whole or in part, and to provide to others any related information without the previous written consent by Enel Green Power S.p.A.



<i>GRE CODE</i> GRE.EEC.D.99.IT.H.17168.00.246.00
<i>INTERNAL CODE</i> 2021.0047.008-AM-GEN-RET-120.00
<i>PAGE</i> Pag. 2 di/of 13

R.01	17.09.2023	MFr	Bal
R.00	05.09.2023	MFr	Bal
Versione	Data	Redatto	Verificato

Lombardi SA Ingegneri Consulenti
Via del Tiglio 2, C.P. 934, CH-6512 Bellinzona-Giubiasco
Telefono +41(0)91 735 31 00
www.lombardi.group, info@lombardi.group

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
1.1	Contesto generale e scopo del lavoro	1
1.2	Bibliografia	2
2.	MODALITA' DI SCAVO	3
2.1	Modalità di scavo prevista a progetto	3
2.2	Ipotesi di uso di esplosivi: principi tecnici di tutela	4
2.3	Ipotesi di uso di esplosivi: valutazione degli effetti	5
3.	CONCLUSIONI	9

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1: Impianto di Valcimarra Chienti - Fresa puntuale per scavo in sotterraneo: a sinistra macchina specializzata, a destra fresa montata su escavatore telecomandato.....	3
Figura 2: Impianto di Valcimarra Chienti - Equipaggiamento per scavo di pozzi verticali mediante la tecnica del raise boring (raise boring rig).....	4
Figura 3: Impianto di Valcimarra Chienti - Parti dell'attrezzatura per il raise boring: a sinistra la macchina superiore per la rotazione ed il sollevamento, a destra la testa fresante, pronta per la fase di scavo.	4
Figura 4: Impianto di Valcimarra Chienti – Schema indicativo di primo dimensionamento della volata per l'eventuale scavo con esplosivi della galleria di accesso principale (da [2], caso 2.4).....	7

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1: Equazioni predittive empiriche, da [5].....	6
Tabella 2: Limiti indicativi di vibrazioni da scavo con esplosivi, [8]	8

1. INTRODUZIONE

1.1 Contesto generale e scopo del lavoro

Enel Produzione SpA – HGT Design & Execution, ha affidato a Lombardi SA l'incarico professionale di ingegneria per la Progettazione Definitiva per Autorizzazione dell'intervento di installazione di un nuovo gruppo reversibile nell'impianto idroelettrico di Valcimarra, sito nel Comune di Caldarola (MC).

L'opera idraulica, fa parte dell'asta idroelettrica del Fiume Chienti, costituita dagli impianti idroelettrici dell'asta del fiume Chienti, comprendenti le centrali di Valcimarra Chienti, Belforte 1°salto, Belforte 2°salto, Città di Macerata, S. Maria Apparente e Molino Nuovo.

Le dighe di Fiastra e Polverina alimentano la Centrale di Valcimarra. A valle di essa sono ubicati gli impianti di Belforte 1°salto e 2°salto. La centrale di Belforte 1°salto è alimentata dal bacino di Borgiano, che è stato realizzato sbarrando il fiume Chienti poco più a valle del punto di rilascio delle acque di scarico della centrale di Valcimarra Chienti nel comune di Serrapetrona (MC). La centrale di Belforte 2°salto è alimentata dal bacino di S. Maria, realizzato sbarrando il fiume Chienti in prossimità del borgo di S. Maria nel comune di Belforte del Chienti. Proseguendo lungo l'asta idroelettrica del fiume Chienti si trovano gli impianti di Città di Macerata e, in prossimità della foce, gli impianti idroelettrici in successione di S. Maria Apparente e Molino Nuovo. Lo schema idroelettrico è interamente gestito da Enel GP.

Attualmente la centrale di Valcimarra è dotata di tre gruppi di produzione: 2 turbine Francis (Gr.1 e Gr.2) con asse verticale da 14.823 MW sulla derivazione Fiastrone ed una turbina Francis (Gr.3) con asse verticale da 14.9 MW sulla derivazione Polverina.

L'intervento prevede la parziale trasformazione dell'impianto idroelettrico di generazione esistente di Valcimarra Chienti in un impianto reversibile, di generazione e pompaggio, mediante la costruzione di un nuovo impianto che utilizzi le opere di derivazione esistenti, con sala macchine in sotterraneo destinata ad accogliere un gruppo idroelettrico reversibile. Il concetto dell'impianto nasce per iniziativa delle strutture tecniche di Enel Green Power con lo scopo di incrementare localmente la capacità di regolazione di rete, utilizzando una risorsa idrica già disponibile: l'obiettivo tecnico è di disporre di nuova potenza in pompaggio e della possibilità di effettuare regolazioni di rete mediante l'uso di un nuovo gruppo reversibile a velocità costante, idoneo a fornire i servizi ancillari di rete secondo i protocolli di TERNA (regolazione di frequenza, generazione di potenza reattiva, ecc.).

Il progetto dell'impianto è, alla data del presente documento in corso di istruttoria presso il MASE, con identificativo di procedura [ID_VIP 8953]: le integrazioni istruttorie sono richieste con la comunicazione prot. Ctva.Registro Ufficiale U.0005346 del 08 maggio 2023.

Il presente documento viene quindi redatto per provvedere alla risposta al quesito istruttorio di cui al punto 4.3 della citata comunicazione, trascritto per opportunità a riferimento nel seguito:

4.3 In relazione alla possibilità indicata dal Proponente di utilizzo di esplosivi durante la realizzazione delle opere, occorre predisporre uno studio integrativo in relazione agli impatti indotti per le componenti ambientali rumore e vibrazioni ed indicare le azioni e le modalità operative da porre in atto per mitigare gli impatti di tale tipologia di lavorazione.

Nel seguito si analizza in modo specifico il tema vibrazioni indotte dall'ipotetico uso di esplosivi, mentre per quanto riguarda l'effetto rumore si rimanda ai documenti di risposta ai punti 4.1 e 4.2.

1.2 Bibliografia

- [1] AA. VV., Lavori con Esplosivo, Italesplosivi, 1977
- [2] G. Berta, L'esplosivo come strumento di lavoro, Italesplosivi, 1985
- [3] C. Giorgio, Impiego degli esplosivi, Del Bianco, 1967
- [4] C.E. Gregory, Explosives for North American Engineers, Trans Tech Publications, 1984
- [5] P. Ragma, D.S. Nimaje, Assessment of Blast Induced Ground Vibration using Different Predictor Approaches - A Comparison, CET Chemical Engineering Transactions, vol. 66, 2018
- [6] A. Parida, M.K.Mishra, Blast Vibration Analysis by different predictor approach, Procedia 11-2015
- [7] S. Hosseini, R. Pourmirzaee, D. J. Armaghani, M. M. Sabri Sabri, Prediction of ground vibration due to mine blasting in a surface lead-zinc mine using machine learning ensemble techniques, Scientific Reports, 2023
- [8] Queensland Government, Guideline Noise and Vibration from blasting, ESR/2016/2169, version 3.02, last review 09feb2022
- [9] M. Cardu, L. Sambuelli, Vibrazioni indotte dallo scavo delle gallerie: sorgenti, misure, previsioni, rimedi, norme, Conference Paper AGI Meccanica ed Ingegneria delle Rocce 2002, Novembre 2002
- [10] G. Lunardi, A. Bellocchio, G. M. Passarella, F. Marrone, A. Mancarella, Il caso della galleria Borzoli-Erzelli Mitigazione delle vibrazioni indotte dall'avanzamento in galleria mediante esplosivo per il sovrappasso dell'autostrada A10, Gallerie&tunneling, Strade&autostrade 1-2018

2. MODALITA' DI SCAVO

2.1 Modalità di scavo prevista a progetto

Le modalità di scavo per l'esecuzione delle opere in sotterraneo prevedono l'impiego di:

- Fresa puntuale montata sul braccio di un escavatore o di una macchina speciale per le gallerie di accesso e la caverna di centrale (**Figura 1**);
- Raise borer per l'esecuzione dei pozzi necessari per l'allacciamento della nuova macchina idraulica alle condotte esistenti (**Figura 2, Figura 3**): lo scavo è anche in questo caso affidato ad una testa fresante, questa volta recuperata in verticale a mezzo di un albero inserito in un foro guida.

In entrambi i casi, risultando l'energia di scavo ridotta ed applicata direttamente ai volumi da demolire, senza dispersioni nell'ammasso, le vibrazioni indotte sono estremamente ridotte, localizzate puntualmente e caratterizzate da assenza di propagazione.

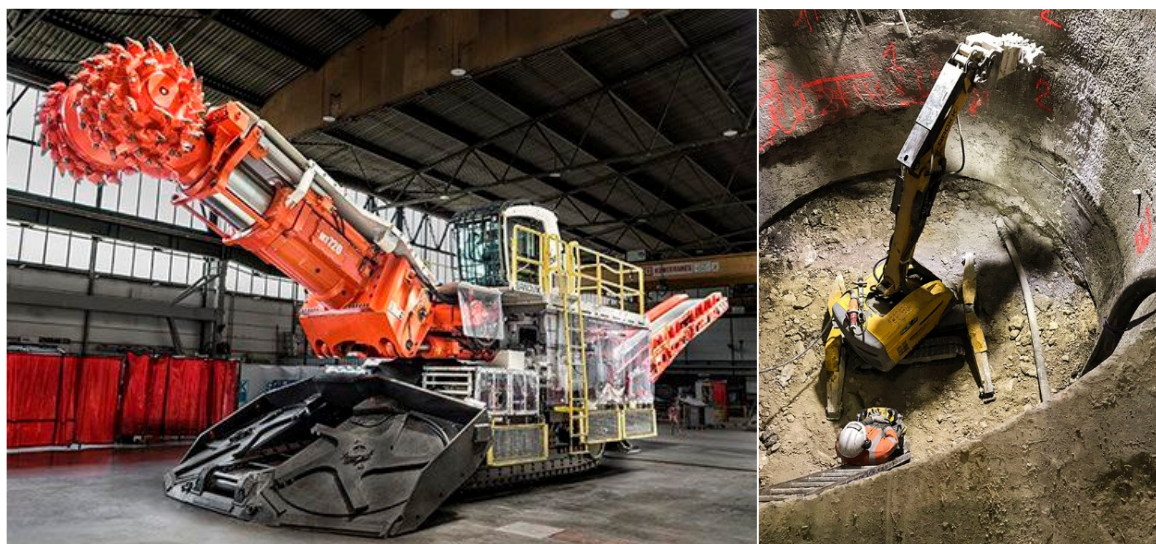


Figura 1: Impianto di Valcimarra Chienti - Fresa puntuale per scavo in sotterraneo: a sinistra macchina specializzata, a destra fresa montata su escavatore telecomandato.



Figura 2: Impianto di Valcimarra Chienti - Equipaggiamento per scavo di pozzi verticali mediante la tecnica del raise boring (raise boring rig)



Figura 3: Impianto di Valcimarra Chienti - Parti dell'attrezzatura per il raise boring: a sinistra la macchina superiore per la rotazione ed il sollevamento, a destra la testa fresante, pronta per la fase di scavo.

2.2 Ipotesi di uso di esplosivi: principi tecnici di tutela

L'uso di esplosivi è riservato esclusivamente al caso in cui la qualità dell'ammasso sia particolarmente elevata, tanto da causare ridottissimi avanzamenti con l'utilizzo della tecnica proposta, ed al momento non è previsto secondo la qualità della roccia rilevata in fase di indagine geologica e geotecnica.

In questa eventualità remota è necessario comunque prevedere di utilizzare il metodo di scavo con esplosivi, adottando in ogni caso alcuni principi tecnici per la limitazione degli effetti di vibrazione, seppur tollerando alcune perdite di efficienza nella produzione a causa di queste regole tecniche:

- Volate costituite da microcariche.
- Volate calibrate per avanzamenti del fronte scavo di decine di centimetri, ove possibile per configurazione geometrica anche per porzioni successive del fronte scavo (quindi non a sezione piena).
- Accensione delle cariche di volata su tempi piuttosto lunghi, dell'ordine di alcuni secondi, al fine di evitare la sovrapposizione nella propagazione remota dell'intera energia della volata.

2.3 Ipotesi di uso di esplosivi: valutazione degli effetti

In riferimento alla valutazione degli effetti in termini di vibrazioni della modalità di scavo con esplosivi, si osserva che un eventuale modello numerico teorico richiede, al fine della corretta valutazione delle vibrazioni indotte sui recettori (ed al proposito si osserva che il recettore più prossimo all'area di scavo è il fabbricato dell'attuale centrale, mentre non risultano nelle immediate vicinanze fabbricati ad uso di civile abitazione) disporre non solo dei dati caratteristici di armamento di ogni volata per le geometrie di ogni sezione (dati eventualmente risolvibili con adeguata ipotesi progettuale, comunque soggetta ad eventuali modifiche per discrezionalità dell'impresa esecutrice) ma anche dei dati caratteristici del comportamento elastico e di smorzamento dell'ammasso soggetto a scavo, questi funzione delle caratteristiche della roccia costituente, in particolare delle anisotropie geologiche dovute a tipo di roccia, stratigrafie, famiglie di fessurazioni a diverso orientamento, presenza di strati alterati o milonitizzati, ecc..

Il livello di dettaglio geologico richiesto per una simulazione efficacemente significativa non è evidentemente disponibile.

Un modello numerico puramente isotropo non può essere considerato rappresentativo dell'effettiva propagazione dell'onda sismica dovuta allo scavo con esplosivi.

Nello stesso modo l'applicazione di un modello predittivo di tipo neurale, secondo alcuni recenti indirizzi in materia, [7], risulta richiedere uno sforzo applicativo non congruente con l'effettiva qualità dei dati disponibili per la simulazione numerica e di conseguenza il risultato ottenibile nuovamente non può essere considerato rappresentativo.

In questo senso è quindi più opportuno ricorrere, secondo un metodo tecnico normalmente applicato, all'impiego di formule predittive di tipo empirico (**Tabella 1**), per la stima del valore caratteristico della velocità di picco delle particelle (PPV peak particle velocity).

Predictor name	Equation
USBM (Duvall and Fogelson, 1962)	$V = K \left[\frac{D}{\sqrt{Q_{max}}} \right]^{-B}$
Amraseys-Hendron (Amraseys and Hendron, 1968)	$V = K \left[\frac{D}{(Q_{max})^{\frac{1}{3}}} \right]^{-B}$
Langefors-Kihstrom (Langefors and Kihstrom, 1963)	$V = K \left[\sqrt{(Q_{max} / D^{\frac{2}{3}})} \right]^B$
Bureau of Indian standard (Bureau of Indian standard, 1973)	$V = K [(Q_{max} / D^{\frac{2}{3}})]^B$
CMRI (Roy, 1991)	$V = n + K \left[\frac{D}{\sqrt{Q_{max}}} \right]^{-1}$

V = PPV (mm/s)

Q = carica massima per ritardo (kg)

D = distanza tra area di scavo al punto di vibrazione delle vibrazioni (m)

K, B, n parametri dovuti alle geometrie del sito

Tabella 1: Equazioni predittive empiriche, da [5]

Queste equazioni predittive sono disponibili in ampio numero in letteratura tecnica e scientifica (in particolare il riferimento bibliografico [7] arriva ad elencarne 25) ed è quindi necessaria una selezione ragionata per l'utilizzo della piu' adeguata e quindi rappresentativa del caso in esame.

Si farà nel seguito uso del riferimento nazionale di cui in [1], capitolo "Caratteristiche ed effetti delle vibrazioni prodotte da esplosioni", pag. 111, ed in [2], Capitolo IV "Sollecitazioni indotte dalle esplosioni verso l'ambiente esterno alla volata", sub. 2.2 "Previsione dei parametri di vibrazione".

In assenza di un dimensionamento della volata, questo riservato all'impresa esecutrice, nel rispetto dei principi tecnici sopra indicati per la riduzione degli effetti di vibrazione, è possibile assumere le seguenti ipotesi di predimensionamento:

- Prodotto esplosivo Tutagex 210 con massa volumica 1150 kg/m³, impedenza tra 4,83 e 3,86 10⁶ kg/(m²s), energia per unità di massa pari a 3,52 MJ/kg
- Roccia in posto con energia di frantumazione da 1,47 10⁻³ MJ/m³ (calcri)

La galleria di accesso principale corrisponde al caso 2.4 da Cap. VI del manuale [2], galleria di accesso con sezione di 25 m², con consumo specifico di esplosivo 2,10 kg/m³, con sfondo (avanzamento) di 2,9 m.

La carica totale di 152,7 kg per 72,5 m³ può essere ridotta al 50%, supponendo di contenere l'avanzamento da 2,9 m a 1,45 m: la carica totale può essere inoltre suddivisa su 5 ritardi di 0,5 sec cadauno, in modo da considerare efficace ai fino dello spostamento l'energia di 1/5 della volata, quindi circa 15 kg di esplosivo

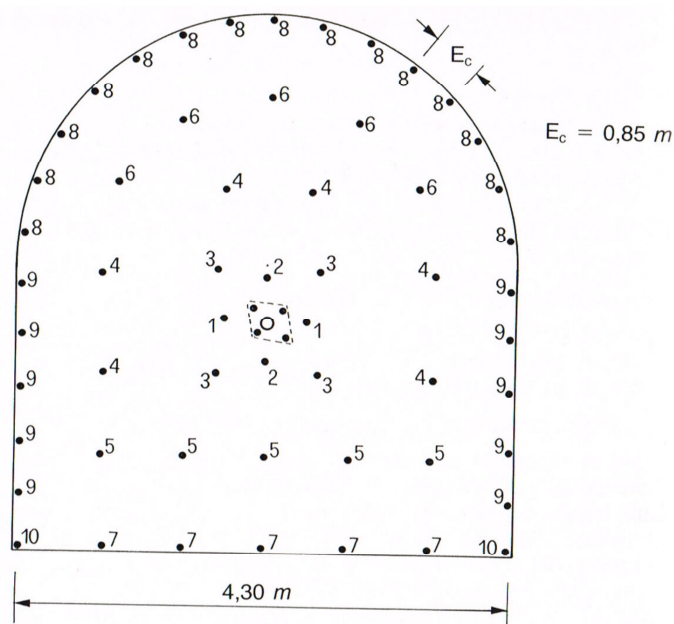


Figura 4: Impianto di Valcimarra Chienti – Schema indicativo di primo dimensionamento della volata per l'eventuale scavo con esplosivi della galleria di accesso principale (da [2], caso 2.4)

In questo caso la PPV indotta sulle opere della limitrofa centrale, dopo lo scavo con fresa dell'imbocco (strato superficiale alterato, non meccanicamente resistente), è calcolato mediante la formula empirica di Langefors (Cap. IV paragrafo 2 da [2]):

$$V(PPV) = K * (Q/R^{3/2})^{1/2}$$

Con $K = 200$ costante di Langeford per spazio semiconfinato

$Q = 15$ kg quantità di esplosivo

$R = 100$ m distanza tra fabbricato e punto della volata (oltre lo scavo di imbocco)

Il risultato è $PPV = 25$ mm/s, compatibile per opere di fondazione di strutture industriali (il valore da manuale per questi edifici è fino a 40 mm/s), ulteriormente riducibile ammettendo ulteriori suddivisioni della volata o ulteriori riduzioni dell'avanzamento richiesto per volata.

L'armamento di volata potrà essere comunque meglio dimensionato con una misura diretta sul posto della PPV sulla struttura ricevente provocata da una piccola carica di prova.

Nell'area si osserva non vi sono civili abitazioni, se non a distanza superiore ai 400 m (a 220 m ed oltre l'alveo del Chienti è collocato un fabbricato con uso ad uffici di Enel GP). Per questi fabbricati il notevole incremento della distanza consente di ben rientrare nei limiti anche delle normative di maggior restrizione, si veda ad esempio il valore limite ottenibile da [8], norma anglosassone particolarmente restrittiva per aree urbane, con espressione di limiti diversi per fasce orarie, riportata solo per scopo informativo con estratto in **Tabella 2** (si osservi come la norma punti all'accorgimento tecnico di un elevato frazionamento della volata, fino a una diluizione della carica su 10 ritardi ed oltre).

Dalle osservazioni nel merito della posizione dei possibili recettori civili, ne risulta che di fatto l'area interessata da vibrazioni oltre la soglia di sensibilità, al di sotto delle soglie tecniche di effetto strutturale su strutture ordinarie non dimensionate in modo specifico, con il predimensionamento indicativo delle volate eseguite, è confinata all'interno del sedime ad uso tecnologico di Enel GP, attualmente occupato dalle strutture dell'esistente centrale e della cabina.

Il limite di quest'area grossomodo rappresentabile in pianta con un raggio di 150 dal centro dell'edificio centrale e spostato di alcuni metri verso il pendio a monte, rappresenta il limite della fascia di rispetto, già nella proprietà di Enel GP, oltre il quale l'effetto delle volate è al limite dell'effettiva percezione.

Per quanto riguarda il tema rumore, si può osservare che l'eventuale scavo con esplosivi è per opere sotterranee, quindi, in spazi confinati e non in aria libera: la diffusione eventuale all'aperto è fortemente direzionale secondo l'orientamento degli imbocchi delle gallerie di accesso in fase di scavo, il cui comportamento tipico è quello di una guida d'onda.

L'espansione in aria nei volumi già scavati fino all'esterno consente l'attenuazione del fronte d'onda acustico di alcune decine di dB: questa attenuazione e la forte direzionalità consentono l'adozione di accorgimenti di attenuazione e limitazione della propagazione, ad esempio mediante barriere acustiche ad alcuni metri dagli imbocchi. Il tema rumore può quindi essere considerato poco rilevante e ben controllabile nel caso di scavi in sottterraneo (cosa ben diversa è invece lo scavo di coltivazione mineraria a cielo aperto, dove comunque il dimensionamento delle volate è ben superiore).

Noise and vibration criteria for blasting	
For construction and quarry	
Blasting limits	Sensitive or commercial place criteria
Surface mining	9am to 3pm Monday to Friday and 9am to 1pm Saturday
Airblast overpressure	115 dB (Linear) Peak for 9 out of 10 consecutive blasts initiated and not greater than 120 dB (Linear) Peak at any time
Ground vibration peak particle velocity (vector sum)	5 mm/second peak particle velocity for 9 out of 10 consecutive blasts and not greater than 10 mm/second peak particle velocity at any time

Notes 1 Under exceptional circumstance blasting may extend to 5pm
 Notes 2 No Blasting on Sunday and Public Holidays

Tabella 2: Limiti indicativi di vibrazioni da scavo con esplosivi, [8]

3. CONCLUSIONI

Con riferimento allo specifico quesito 4.3, si è precisato che:

- La modalità di scavo prevista, sulla base delle valutazioni geologiche e geotecniche di progetto definitivo, è lo scavo con fresa puntuale, tecnologia a bassa energizzazione dell'ammasso che non provoca vibrazioni sensibili oltre il punto di scavo;
- L'uso di esplosivi è eventualità remota, non congruente con le informazioni disponibili sull'effettiva qualità dell'ammasso.

In ogni caso si è provveduto alla valutazione efficace delle vibrazioni indotte da un dimensionamento preliminare delle volate di scavo che tenga conto dei principi tecnici normalmente adottati per il contenimento di vibrazioni in aree ad alta densità di fabbricati.

La valutazione è stata eseguita con formula empirica, con validità ampiamente riconosciuta da letteratura: il valore della velocità di picco delle particelle PPV ottenuto sul fabbricato centrale è di 25 mm/s, inferiore al valore limite di riferimento di 40 mm/s normalmente adottato, ulteriormente riducibile a mezzo di ulteriori cautele nel frazionamento delle volate.

La collocazione dei recettori civili ben oltre il limite di distanza dal possibile fronte scavo del fabbricato centrale (da 220 a 400 m) consente una stima ulteriormente ridotta delle PPV in corrispondenza di questi recettori, al di sotto anche delle più restrittive prescrizioni in materia.

In ogni caso all'atto dell'eventuale improbabile scavo con esplosivi è possibile procedere al rilievo diretto dei valori di PPV sui recettori, provvedendo quindi se del caso ad eventuali diversi proporzionamenti dei frazionamenti e delle cariche di volata, al fine del rispetto dei limiti normativi di riferimento più restrittivi.

La relativa prescrizione sarà in ogni caso trasferita all'impresa esecutrice, a cui viene riservato il dimensionamento operativo delle volate, in ogni caso sotto la sorveglianza della Direzione Lavori, nel caso, ritenuto molto improbabile, dell'effettiva necessità di uso di esplosivi.