

EFFETTI DELLE VOLATE DI MINA SULLE COSTRUZIONI IN PROSSIMITÀ DEL CANTIERE

Si premette che l'utilizzo di esplosivi è il metodo più comune per l'abbattimento di rocce ad elevata resistenza meccanica. Gli esplosivi, reagendo con grande velocità, sviluppano calore e onde di compressione tali da abbattere la porzione di roccia desiderata.

Le onde di compressione mutano, nel campo lontano dalla sorgente, in onde sonore che si propagano nello spazio circostante (nel prosieguo di questa relazione sarà stimata la distanza alla quale avviene tale cambiamento).

Nell'aria, considerata come un gas perfetto, l'onda sonora viaggia a velocità pari a:

$$V_{SUONO_{ARIA}} = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T_{ARIA}}$$

dove

γ = rapporto calori specifici a pressione e volume costanti, per l'aria

pari a 1,4.

R = Costante del gas specifico = 288 J / Kg K

T_{ARIA} = Temperatura dell'aria in cui si propaga l'onda sonora = 288 K

quindi:

$$V_{SUONO_{ARIA}} = \sqrt{\gamma \cdot R \cdot T_{ARIA}} = \sqrt{1,4 \cdot 288 \cdot 288} = 341 \text{ m/s}$$

Nel caso invece di un materiale non gassoso, come il suolo specifico, la formula di calcolo per velocità di propagazione delle onde di compressione (di tipo P) è data da:

$$V_{SUONO_{SUOLO}} = \sqrt{\frac{\lambda + 2 \cdot G}{\rho}}$$

in cui

$$\lambda = \frac{\nu \cdot E}{(1 - 2 \cdot \nu)(1 + \nu)} \quad ; \quad G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

dove

G = Modulo di elasticità trasversale del terreno

E = Modulo di Young del terreno;

ν = Modulo di Poisson

ρ = Densità media del terreno, assunta pari a 2000 Kg / m³

Valori tipici medi della velocità delle onde longitudinali nei materiali maggiormente presenti nel terreno della zona di Laives sono riassunti nella seguente tabella:

MATERIALE	V _{SUONO} [Km/s]
1) Materiale di frana sciolto	0,35
2) Sabbia, ghiaia e loess secchi	0,55
3) Morene, alluvioni e argille attuali	1,50
4) Argille	2,10

Procedendo con un'operazione di media pesata in base alla percentuale di questi materiali presenti in forma disciolta nel terreno (dalla relazione geotecnica effettuata sul lotto specifico si ha infatti che nei primi 15 mt di profondità nel suolo circa 5 mt sono costituiti da sabbia fine e limo, 3,9 mt da torba bruna, 4,6 mt da ghiaia con matrice sabbiosa e limo, 1,5 mt da argilla) si può stimare una probabile velocità di propagazione delle onde di compressione, tenendo comunque conto del fatto che, come definito nella

relazione tecnica del geologo, il terreno qui analizzato è estremamente caotico e ricco di diversi materiali:

MATERIALE	PERCENTUALE DI PRESENZA (%)
1) Materiale di frana sciolto	30,7
2) Sabbia, ghiaia e loess secchi	33,3
3) Morene, alluvioni e argille attuali	26,0
4) Argille	10,0

la velocità del suono nel terreno potrà essere assunta pari a:

$$V_{SUONO_{SUOLO}} = \frac{30,7}{100} V_{SUONO_1} + \frac{33,3}{100} V_{SUONO_2} + \frac{26,0}{100} V_{SUONO_3} + \frac{10,0}{100} V_{SUONO_4} \cong 0,89 \text{ km/s} = 890 \text{ m/s}$$

La densità di energia trasportata dall'onda sonora è:

- per l'aria la cui densità è pari a $\rho_{ARIA} = 1,2 \text{ Kg / m}^3$ si ha:

$$dE_{C_{ARIA}} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{ARIA} \cdot V_{SUONO_{ARIA}}^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 341^2 \cong 69769 \frac{J}{m^3}$$

- per il suolo:

$$dE_{C_{SUOLO}} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{SUOLO} \cdot V_{SUONO_{SUOLO}}^2 = \frac{1}{2} \cdot 2.000 \cdot 890^2 = 792.100.000 \frac{J}{m^3}$$

dunque, al fine di generare un'onda sonora in aria o nel terreno, il rapporto

di energia necessario a produrla è pari a:

$$\mu = \frac{dEc_{SUOLO}}{dEc_{ARIA}} = \frac{792.100.000}{69.769} = 11.353 \approx 11.000$$

ovvero, per poter generare un'onda di compressione nel terreno bisogna impiegare 11.000 volte l'energia necessaria a produrla in aria.

Nel caso in esame, l'onda di compressione è generata dalla detonazione della mina. Generalmente, gli esplosivi utilizzati in campo civile sono

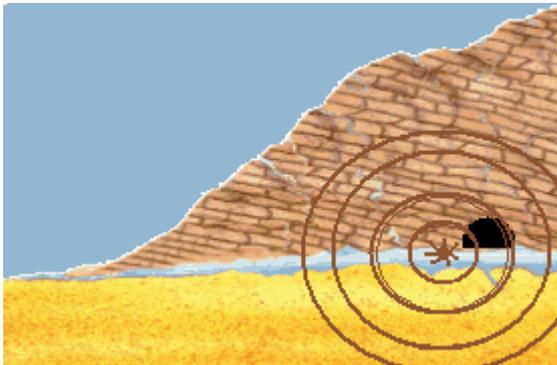
caratterizzati da una entalpia di esplosione (o calore di esplosione) di
 $H_{\text{exp}} \cong 4000 \text{ KJ/Kg} \cdot$

Durante i lavori di scavo erano stati utilizzati Kg. 325 per ogni volata.

L'energia sviluppata in ogni esplosione è data dal prodotto dell'entalpia di esplosione e la quantità di esplosivo impiegato:

$$E_{\text{exp}} = H_{\text{exp}} \cdot M_{\text{exp}} = 4000 \cdot 325 = 1300000 \text{ KJ}$$

L'energia viene rilasciata e trasportata dalle onde di compressione sferiche



che si propagano nello spazio circostante.

Supponendo che l'esplosione avvenga in superficie, in ambiente aperto e all'ingresso della galleria, possiamo ammettere che la metà

superiore di queste onde si trasmette in aria, mentre la restante si propaga nel terreno.

$$E_{\text{exp SUOLO}} = E_{\text{exp ARIA}} = \frac{E_{\text{exp}}}{2} = \frac{1.300.000}{2} = 650.000 \text{ KJ}$$

Inoltre, metà delle semisfere considerate investirà il centro abitato, mentre l'altra metà si propagherà verso i monti.

Calcoliamo allora l'intensità delle onde che investono il centro abitato, in parte per via aerea, in parte per via sotterranea.

INTENSITA' ONDE VIA AEREA:

Come già accennato, solo metà della semisfera superiore (quella che si propaga in aria), colpirà per via aerea il centro abitato (l'altra metà si propagherà verso le montagne) trasportando un'energia pari a:

$$E_{\text{exp } ARIA \text{ centro abitato}} = \frac{E_{\text{exp } ARIA}}{2} = \frac{650.000}{2} = 325.000 \text{ KJ}$$

La velocità di detonazione si aggira intorno ai 5.000 m/s, ma l'onda d'urto che si crea durante l'esplosione degenera in onda di deflagrazione entro pochi metri dalla zona di innesco (l'avanzamento nella roccia grazie all'urto è di circa 1-3 mt) e successivamente si trasforma in onda di compressione (quindi acustica) nell'intorno di una distanza:

$$D = \sqrt{Q} \cdot 20 = 360 \text{ m}$$

dove $Q = 325 \text{ kg}$ è la quantità di esplosivo utilizzato durante ogni operazione di scavo.

Questa formula è dedotta empiricamente ed è possibile ritrovarla in qualsiasi manuale specifico; essa si riferisce alla distanza minima di sicurezza alla quale riferirsi quando le volate sono effettuate nei pressi di centri abitati ed è una formula prudenziale, ossia sovrastima l'effettiva distanza alla quale devono trovarsi le suddette costruzioni.

L'intensità dell'onda di compressione che si produce durante le operazioni di scavo, è pari al prodotto della densità di energia sonora (ossia l'energia sonora che interessa l'unità di volume del campo sonoro) per la velocità di propagazione dell'onda.

Nel nostro caso, il volume interessato è un quarto di sfera di raggio r , quest'ultimo assunto pari alla distanza tra imbocco galleria ed edifici interessati dalle presunte lesioni ad essi provocate ($r = 650 \text{ m}$).

$$I = \frac{E_{\text{exp ARIA centro abitato}} \cdot V_{\text{SUONO ARIA}}}{\frac{1}{4} \left(\frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \right)} = 385 \quad \text{W/m}^2$$

il che giustifica i fastidi sonori percepiti dalla popolazione, ma NON le lesioni agli edifici.

Infatti, sapendo che l'intensità sonora è anche pari al prodotto della pressione sonora (p) per la velocità di propagazione ($V_{\text{SUONO,aria}}$), allora:

$$I = p \cdot V_{\text{SUONO ARIA}}$$

$$p = \frac{I}{V_{\text{SUONO ARIA}}} = \frac{385 \quad \text{W/m}^2}{341 \quad \text{m/s}} = 1,129 \quad \text{Pa}$$

Sapendo che la pressione dell'aria in condizioni standard è di $p_{\text{aria}}=101.325$ Pa (ossia 1 atm) ciò implica che al passaggio dell'onda sonora si produce una sovrappressione sui muri degli edifici 100.000 volte più bassa della pressione atmosferica, quindi assolutamente innocua per la stabilità delle strutture in questione. Si pensi infatti che la stessa sovrappressione può essere generata da una raffica di vento che soffia a soli 5 km/h.

INTENSITA' ONDE VIA SOTTERRANEA:

Come nel caso precedente solo metà della semisfera, questa volta quella inferiore (che si propaga nel suolo) colpirà per via sotterranea il centro abitato. Però, per poter generare un'onda di compressione nel terreno, bisogna impiegare maggiore energia rispetto al caso in aria e ciò a causa delle varie attenuazioni in gioco, quindi l'energia rimanente da trasportare dall'onda sotterranea è pari a:

$$E_{\text{exp SUOLO centro abitato}} = \frac{E_{\text{exp ARIA centro abitato}}}{11.000} = \frac{325.000}{11.000} = 29,5 \text{ KJ}$$

L'intensità dell'onda è pari, come nel caso di diffusione in aria, al prodotto della densità di energia sonora per la velocità di propagazione dell'onda (a distanza $r = 650$ m dalla sorgente).

$$I = \frac{E_{\text{exp SUOLO centro abitato}} \cdot V_{\text{SUONO SUOLO}}}{\frac{1}{4} \left(\frac{4}{3} \pi \cdot r^3 \right)} = 0,092 \quad \text{W/m}^2$$

Ossia 1.000 volte più piccola rispetto l'intensità dell'onda che colpisce gli edifici per via aerea.

Bisogna precisare che in questa trattazione si è supposto che l'energia sviluppata nella detonazione della mina non si sia dissipata per la frantumazione della roccia, con la conseguenza di una sovrastima dei risultati ottenuti.