

RISCHI POTENZIALI

Ordine Ingegneri Roma

24-09-2019



VALUTAZIONE RISCHI POTENZIALI

1) RUMORI E SOVRAPRESSIONI IN ARIA

2) PROIEZIONI DEI DETRITI

3) VIBRAZIONI CAUSATE DALLE MICROCARICHE

4) VIBRAZIONI CAUSATE DALL'IMPATTO AL SUOLO

5) POLVERI

RUMORI E SOVRAPRESSIONI IN ARIA

All'atto della **detonazione** di una carica esplosiva vengono prodotti *treni d'onda* il cui transito provoca inizialmente un rapido innalzamento della pressione in aria; a ciò fa seguito la progressiva attenuazione del picco di pressione con raggiungimento di un valore inferiore a quello iniziale (depressione) e successivo graduale ripristino delle condizioni indisturbate iniziali.

Il fenomeno assume essenzialmente un carattere di tipo *impulsivo*, con velocità di propagazione pari a quella del suono in aria, sensibile quindi alle variazioni fisiche del mezzo stesso (temperatura, umidità ecc.).

L'effetto provoca un'oscillazione il cui valore di picco (definito in letteratura anglosassone "*peak air overpressure*") assume un ruolo fondamentale; tali oscillazioni, caratterizzate da valori di frequenza propri, sono percepibili dall'orecchio umano, al di sopra della soglia dei 20 Hz, come suono o rumore mentre vengono avvertite al di sotto di tale valore (soglia di udibilità) sotto forma di sensazioni di scuotimento.

La sovrappressione in aria viene misurata in pascal (Pa) oppure, più frequentemente, in decibel (dB), secondo la formula riportata di seguito:

$$P \text{ (dB)} = 20 * \log_{10} p/p_0$$

dove:

P = pressione in aria, espressa in dB

p = sovrappressione in aria, espressa in pascal (misurata)

p₀ = soglia di udibilità, espressa in pascal (pari a 2 * 10⁻⁵ Pa)

Le variazioni di pressione vengono percepite dall'orecchio umano con sensibilità proporzionale alla sopracitata scala logaritmica, che ha inoltre il vantaggio di "condensare" in un più ristretto intervallo valori assai diversi (molto grandi e molto piccoli) della pressione acustica.

Fonti autorevoli indicano che, per l'uomo, livelli di esposizione *fino a 140 dB* sono generalmente ritenuti accettabili, indipendentemente dal numero dei fenomeni impulsivi.

Tra le strutture più sensibili alle sollecitazioni di tipo acustico sono indubbiamente da annoverare i *vetri*: in letteratura anglosassone vengono indicati come limiti di rottura valori di circa 170 dB che possono scendere a 150 dB per vetri montati in maniera non adeguata, oppure con difetti all'interno della loro struttura.

In ogni caso per l'effettuazione delle misurazioni sugli edifici bisogna tenere conto del grado di isolamento acustico dei medesimi (edificio chiuso, pareti insonorizzate, disposizione dei mobili all'interno delle stanze, ecc).

Il monitoraggio dei brillamenti eseguiti a cielo aperto conduce generalmente alla rilevazione di valori della sovrappressione acustica inferiori a 130 dB.

TABELLA COMPARATIVA EFFETTI SOVRAPRESSIONE IN ARIA

dB	Pa	EFFETTO
180	21000	strutture convenzionali sono danneggiate
170	7000	si rompono i vetri delle finestre
160	2100	possono rompersi vetri delle finestre
150	700	possono rompersi vetri in lastre di grandi dimensioni
140	210	nessun danno
120	21	soglia di fastidio per rumore continuo
117	14	vibrazione di stoviglie e finestre

Per ciò che riguarda invece le sovrapressioni vere e proprie, raramente esse possono causare danni alle strutture, salvo casi rarissimi e limitati comunque alla rottura dei vetri.

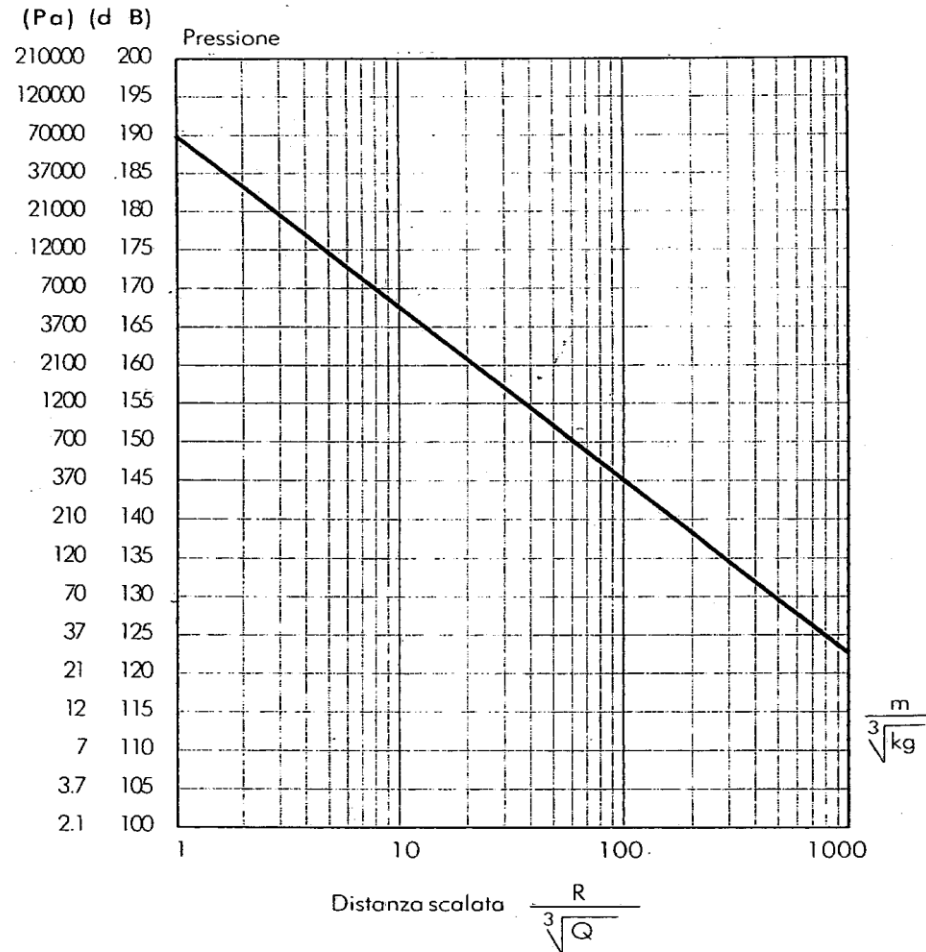
Conosciuta comunque la quantità di esplosivo (Q) che detona nello stesso istante si può calcolare con la formula:

$$D_s = D / Q^{1/3}$$

la distanza sotto la quale potrebbe esserci la possibilità di qualche danno sotto forma di rottura di vetri in lastre di grandi dimensioni.

Infatti, inserendo la distanza (per esempio di una struttura da salvaguardare), si ottiene la distanza scalata, da utilizzare nel diagramma della successiva slide:

TABELLA DELLE SOVRAPRESSIONI IN ARIA
PER ESPLOSIONE DI CARICHE NON CONFINATE



Particolare fondamentale: la Q da inserire nella formula è riferita a cariche esterne o appoggiate e non a cariche in foro con relativo borrhagio.

Nella bibliografia è stata quantificato, come valore da considerare in caso di cariche in foro, fino ad un 10% del valore sopra calcolato e quindi una notevole diminuzione del valore relativo alla sovrappressione.

PROIEZIONI DEI DETRITI

E' possibile predeterminare in sede teorica la distanza a cui possono arrivare i detriti di esplosione tramite la seguente formula, che prende in considerazione la gittata "L" di un frammento (m):

$$L = \text{sen}2a (V_o^2/g)$$

ove V_o = velocità del frammento (m/s) = 23 * Radq (Cs)

a = inclinazione di V_o sull'orizzontale = $\pi/4$

Particolare importante: Non tutti i detriti arriveranno alla gittata ottenuta, ma la maggior parte, di piccole dimensioni, si arresteranno prima grazie all'azione frenante dell'aria.

Se infatti inseriamo la V_o sopra calcolata nel grafico sperimentale sovietico (nella slide successiva), vediamo come la gittata teorica vada ridotta di un coefficiente di smorzamento $K_a = 4$ circa in presenza di una dimensione media dei frammenti pari a 0,02 m (in merito si consideri come una zona minata venga letteralmente disintegrata dalle cariche).

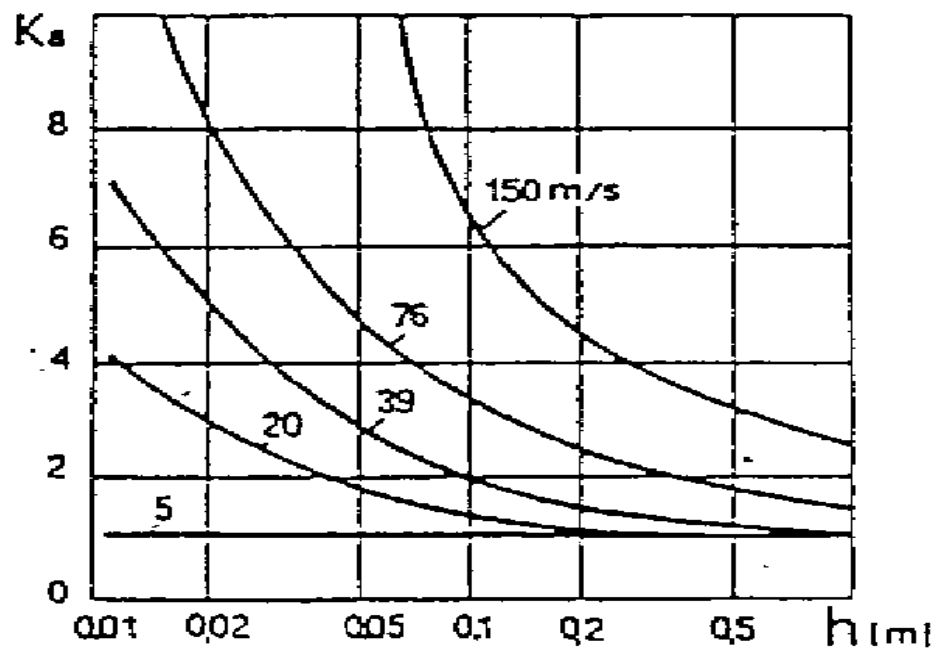


Fig. 2

Relazione tra h (dimensione media del proiettile) e K_a (coefficiente di smorzamento) in funzione di diverse velocità iniziali v_0

L'esperienza dimostra comunque che tali distanze possono essere ulteriormente ridotte effettuando un accurato borrhaggio e disponendo degli idonei ripari.

Per esempio una zona minata può essere coperta con tavolato in legno e/o teli in modo tale da impedire il lancio a distanza dei detriti da esplosione (vedi immagine sottostante)



VIBRAZIONI CAUSATE DALLE MICROCARICHE

Tutti gli studiosi che si sono occupati delle modalità di trasmissione delle vibrazioni sono concordi nel ritenere che tra le tante caratteristiche di una vibrazione (frequenza, ampiezza, accelerazione e velocità), quella più direttamente legata ai possibili danni e quindi più idonea ad indicare il limite di pericolosità sia la **velocità di vibrazione**.

In effetti l'adozione del parametro "velocità di vibrazione" è confortata sia da innumerevoli risultanze pratiche sia dal fatto che esso è stato accettato dalla legislazione mineraria americana.

La legislazione italiana purtroppo non prende in considerazione l'argomento ed è quindi necessario rifarsi a quanto stabilito in altre nazioni: assunto quindi valido il criterio di valutare i danni provocati da una esplosione mediante l'analisi dei valori della grandezza "velocità", la massima velocità di vibrazione al di sotto della quale non si ha alcun danno di nessun tipo, neppure lievissimo, risulta essere:

mm/s	50.80	secondo il Bureau of Mines statunitense con frequenze > 40 Hz (RI 8507)		
" "	50.00	"	il tedesco Kohler.	
" "	70.00	"	lo svedese Langefors.	
" "	50.00	"	Edwards e Northood.	

Questi dati sono validi per strutture molto deboli (vecchie abitazioni in centri storici ecc.) ed inoltre tutti gli studiosi di cui sopra indicano valori già superiori ai 100 mm/s come necessari per piccoli danni quali lesioni agli intonaci ecc.

Per strutture più robuste i valori sono molto più alti (ad esempio per il cemento armato la letteratura tecnica esclude lesioni per valori inferiori ai 400 mm/s).

I parametri che influenzano l'intensità delle vibrazioni sono:

- A) Quantità di esplosivo
- B) Distanza tra il punto di scoppio e la zona da salvaguardare
- C) Caratteristiche fisiche, chimiche, litologiche e geologiche della roccia nella quale si propagano le vibrazioni
- D) Tipo di esplosivo
- E) Tipo di innescamento
- F) Distribuzione dell'esplosivo nei fori da mina
- G) Tipo di impiego dell'esplosivo (1, 2, 3 superfici libere ecc.)

Tra questi sono i punti (A-B-C) quelli che maggiormente influenzano l'intensità delle vibrazioni.

La formula più usata per abbinare i parametri suddetti è:

$$V_{max} = K \text{ rad} q(Q/D^{1,5})$$

ove:

V_{max} = massima velocità di vibrazione (mm/s)

K = coefficiente funzione delle caratteristiche del materiale nel quale si propagano le onde

Q = quantità di esplosivo (Kg)

D = distanza tra il punto di scoppio e la struttura da salvaguardare (m)

E' da precisare in proposito:

1) per quantità di esplosivo Q si intende non il quantitativo totale di una volata bensì la quantità di esplosivo che detona nello stesso istante;

2) il valore di K dipende dalle caratteristiche del materiale in esame, caratteristiche che però risulta spesso difficile valutare con precisione: nella pratica quindi si usa adottare un valore di K derivato da informazioni bibliografiche come ad esempio un K restrittivo = 70 (valido per rocce compatte con gli strati collegati alla struttura da difendere contro un K 40 valido per rocce fratturate senza collegamento diretto tra gli strati e la struttura).

Normativa UNI9916 – DIN4150

Tabella 1: Valori di riferimento per la velocità di oscillazione v_i per la valutazione degli effetti di vibrazioni transienti sulle costruzioni

Riga	Tipi di edificio	Valori di riferimento per velocità di oscillazione v_i in mm/s			
		Fondazioni Frequenze			Ultimo solaio, orizzontale
		da 1 a 10 Hz	da 10 a 50 Hz	da 50 a 100 Hz *)	tutte le frequenze
1	Costruzioni per attività commerciale, costruzioni industriali e costruzioni con strutture similari	20	da 20 a 40	da 40 a 50	40
2	Edifici abitativi o edifici simili per costruzione o utilizzo	5	da 5 a 15	da 15 a 20	15
3	Edifici che per la loro particolare sensibilità alle vibrazioni non rientrano nelle precedenti classificazioni e che sono da tutelare in modo particolare (monumenti sotto protezione belle arti)	3	da 3 a 8	da 8 a 10	8

(*) Per frequenze superiori ai 100 Hz possono essere adottati come minimo i valori per 100 Hz

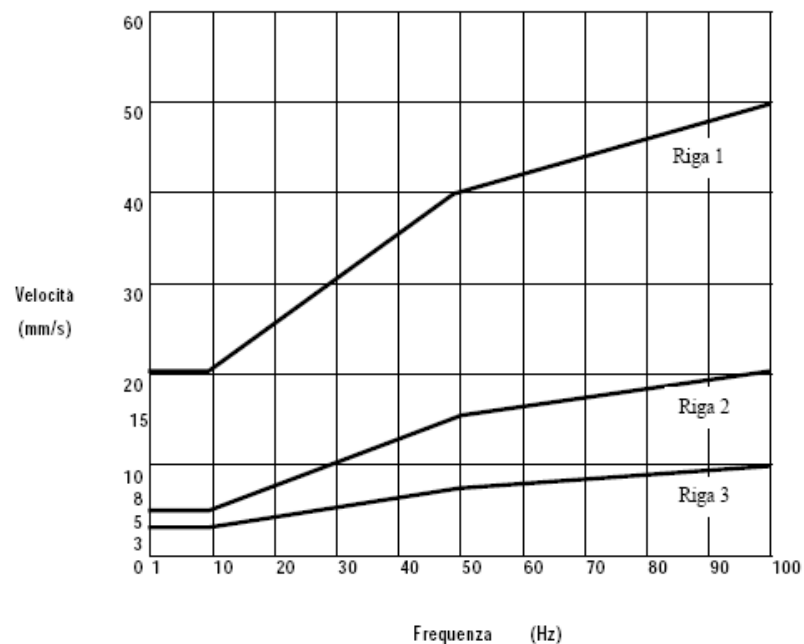


Figura 1: Rappresentazione grafica dei valori di riferimento in fondazione come riportato nella tabella 1.

VIBRAZIONI CAUSATE DALL'IMPATTO AL SUOLO

La formula utilizzata è quella degli studiosi cinesi Zhou e Jin (2002):

$$ppv = 22,1 [R/(M \times g \times h/\partial)^{1/3}]^a$$

con

ppv = velocità vibrazione in mm/s

R = distanza dal punto di impatto in m

M = massa della struttura in ton

g = accelerazione di gravità in m/s²

h = altezza della struttura in m

∂ = costante sperimentale (dipende dalla rigidità del suolo su cui avviene l'impatto e per essa è proposto nella generalità dei casi il valore 100)

a = esponente sperimentale pari a -1,46.

Tale formula segue l'approccio della distanza scalata sulla radice cubica dell'energia liberata dal crollo e l'energia gravitazionale posseduta da strutture rigide in elevazione è data dal prodotto della loro massa per l'altezza e per l'accelerazione di gravità.

Non deve sorprendere il fatto che le vibrazioni misurate risultino quasi sempre di piccola entità e notevolmente inferiori a quanto previsto poiché, indipendentemente dalle dimensioni talvolta imponenti, una struttura che cade a terra non si schianta al suolo nella sua interezza e nello stesso istante bensì si accartoccia su sé stesso in maniera graduale e "soft", come se ogni porzione al momento di toccare terra fosse prima trattenuta dalla porzione successiva per poi a sua volta fare da cuscino a quest'ultima.

POLVERI

Non esiste un sistema di calcolo in grado di quantificare l'entità delle polveri;

in base ad innumerevoli esperienze precedenti si può comunque affermare che la polvere durerà fino ad un massimo di pochi minuti (per strutture di c.a. di una certa dimensione) e si potrà limitare grazie ai seguenti accorgimenti:

- 1) bagnare abbondantemente il terreno ove cadrà la struttura prima dell'esplosione;
- 2) prima del brillamento attivare dei nebulizzatori ad acqua nella zona di caduta della struttura; tali nebulizzatori costituiscono la più innovativa tecnologia disponibile in campo ambientale per l'abbattimento delle polveri presenti in aria.

Il sistema (basato su un semplice effetto naturale: *quando piove non c'è polvere!*) consiste in un cono di proiezione a ventola, di un flusso misto aria-acqua finemente nebulizzata o aerosol, immesso in aria da un grande quantitativo di ugelli e proiettato a distanza.

L'effetto di umidificazione emessa dagli abbattitori, molto simile ad una nebbia, aumenta la massa relativa delle polveri sospese, facendole ricadere a terra velocemente.

La dimensione granulometria delle gocce d'acqua proiettate in aria varia in un range da 50 a 150 μm : maggiore è la quantità di gocce d'acqua immesse in aria simultaneamente, maggiore è la quantità di polvere abbattuta per unità di volume trattato.

**GRAZIE PER
L'ATTENZIONE**

