

STF

STUDIO TECNICO FOLCHI

Ingegneria degli esplosivi

STF

STUDIO TECNICO FOLCHI

Ingegneria degli esplosivi

00199 Roma · Via Cheren. 12 · Tel. ☎ 06/8391160

ARCHIVIO

**FERROCEMENTO - Costruzioni  
e Lavori Pubblici S.p.A.**

**via Scarpellini 20**

**00197 Roma**

**MINISTERO DEI LL.PP.**

**PROVVEDITORATO REGIONALE ALLE OPERE PUBBLICHE PER IL LAZIO  
SEZIONE PER LE COMPETENZE STATALI**

**OPERE IDRAULICHE PER LE PROVINCIE DI FROSINONE E LATINA**

**Scolmatore sul fiume Liri a difesa dalle inondazioni  
dell'abitato di Isola Liri (FR):**

**ABBATTIMENTO CONTROLLATO CON ESPLOSIVI PER LO SCAVO  
DELLA GALLERIA DI DERIVAZIONE**

Roma, 19 febbraio 1990

(Pratica 90I4A - Rif.: R1)

Roberto Folchi

Ingegnere Minerario  
Geologo

Dott. Geol. Roberto FOLCHI

ORDINE NAZIONALE DEI GEOLOGI

n. 8215





INDICE (90I4A\_R1)

	PAG.
0.- PREMESSE	1
1.- DESCRIZIONE DELLA GALLERIA	2
2.- "ABBATTIMENTO CONTROLLATO CON ESPLOSIVI" PER LA REALIZZAZIONE DI SCAVI AREE ANTROPIZZATE	
2.0.- Generalità	6
2.1.- Vibrazioni indotte dal brillamento delle cariche	6
2.1.1.- Effetti sulle strutture	6
2.1.2.- Sensibilità umana alle vibrazioni	8
2.2.- Onda di sovrappressione aerea	9
3.- MISURE DI SICUREZZA DA ADOTTARE DURANTE LA ESECUZIONE DELL'ABBATTIMENTO	
3.0.- Premesse	16
3.1.- Vibrazioni indotte dal brillamento delle cariche	16
3.2.- Onda di sovrappressione aerea	17
4.- RIFERIMENTI	20



## 0.- PREMESSE

Nel mese di febbraio 1990 l'impresa FERROCEMENTO S.p.A., che ha in corso di esecuzione un complesso di lavori per la realizzazione di uno scolmatore sul fiume Liri, nei pressi dell'abitato di Isola del Liri (FR), mi ha incaricato di redigere il presente studio sui problemi di sicurezza connessi all'impiego di esplosivi per la realizzazione della galleria di derivazione.

L'adozione del metodo tradizionale di scavo (perforazione e sparo) si rende necessaria a causa della elevata compattezza dell'ammasso litoide che rende scarsamente efficace l'azione della fresa puntuale (tipo PAURAT HDE 134) sino ad ora impiegata.





## 1.- DESCRIZIONE DELLA GALLERIA

La galleria, il cui sviluppo è pari a 1'086 m, sarà realizzata nei rilievi collinari (località Forli e S. Sebastiano) che delimitano, ad occidente, la piana della conca di Isola del Liri.

Lo scavo, realizzato a foro cieco (dalla progressiva Km 0+000 alla progressiva Km 1+032) ed in artificiale (dalla progressiva Km 1+032 alla progressiva Km 1+086), si svilupperà con pendenza costante da quota 248 m a quota 220 m s.l.m. (figure 1.1. e 1.2.). La sezione trasversale della galleria è a ferro di cavallo con altezza e lunghezza pari a 6.5 m (figura 1.3.).

La formazione litoide attraversata è costituita da conglomerati, a clasti calcarei, interessati da uno spinto grado di cementazione (formazione delle "puddinghe fluvio-lacustri" del Pleistocene [cfr. CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:100'000, FOGLIO 152 SORA]).



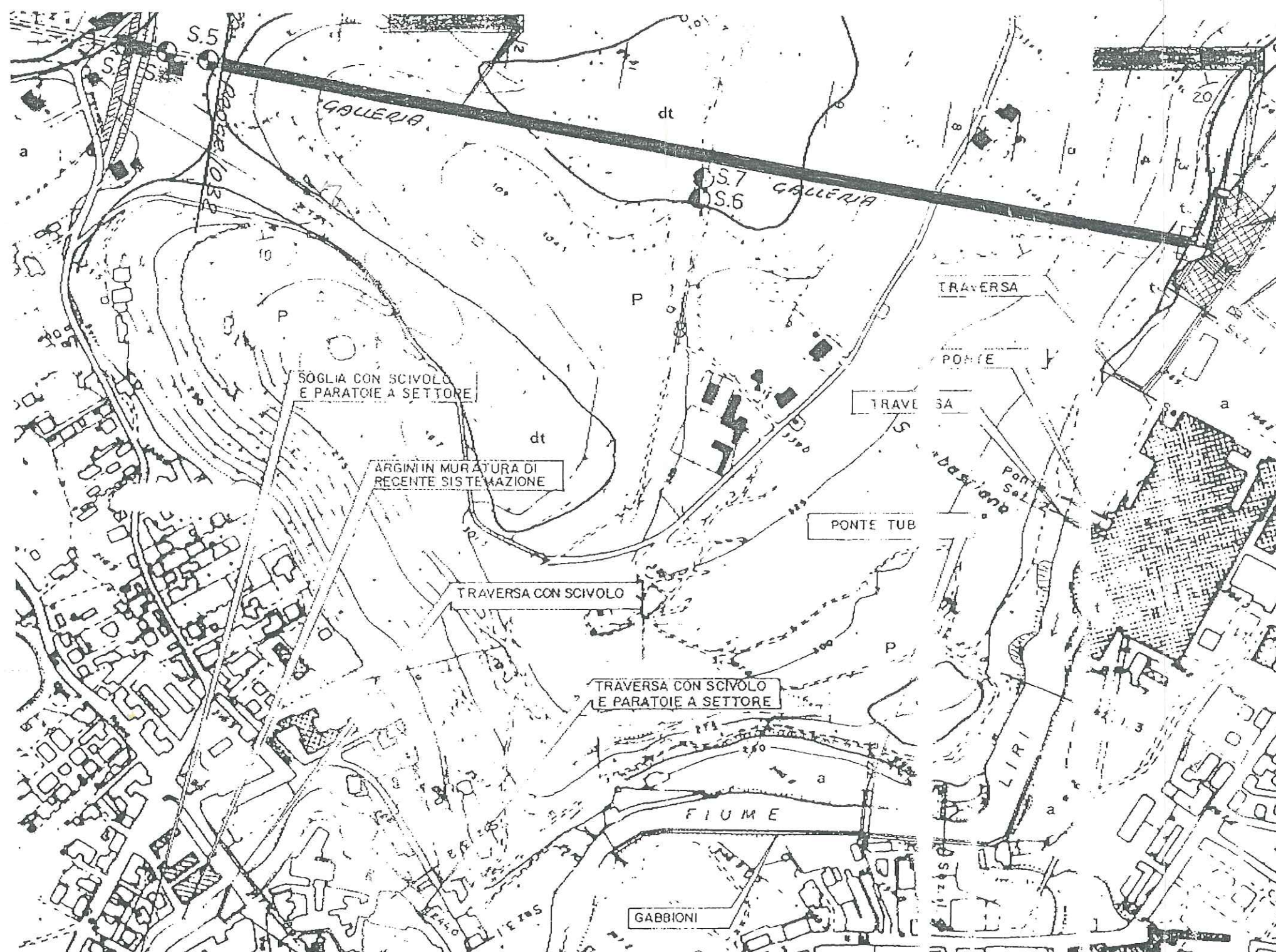


figura 1.1.- Tracciato, in pianta, della galleria di derivazione.

(SCALA 1:5'000)



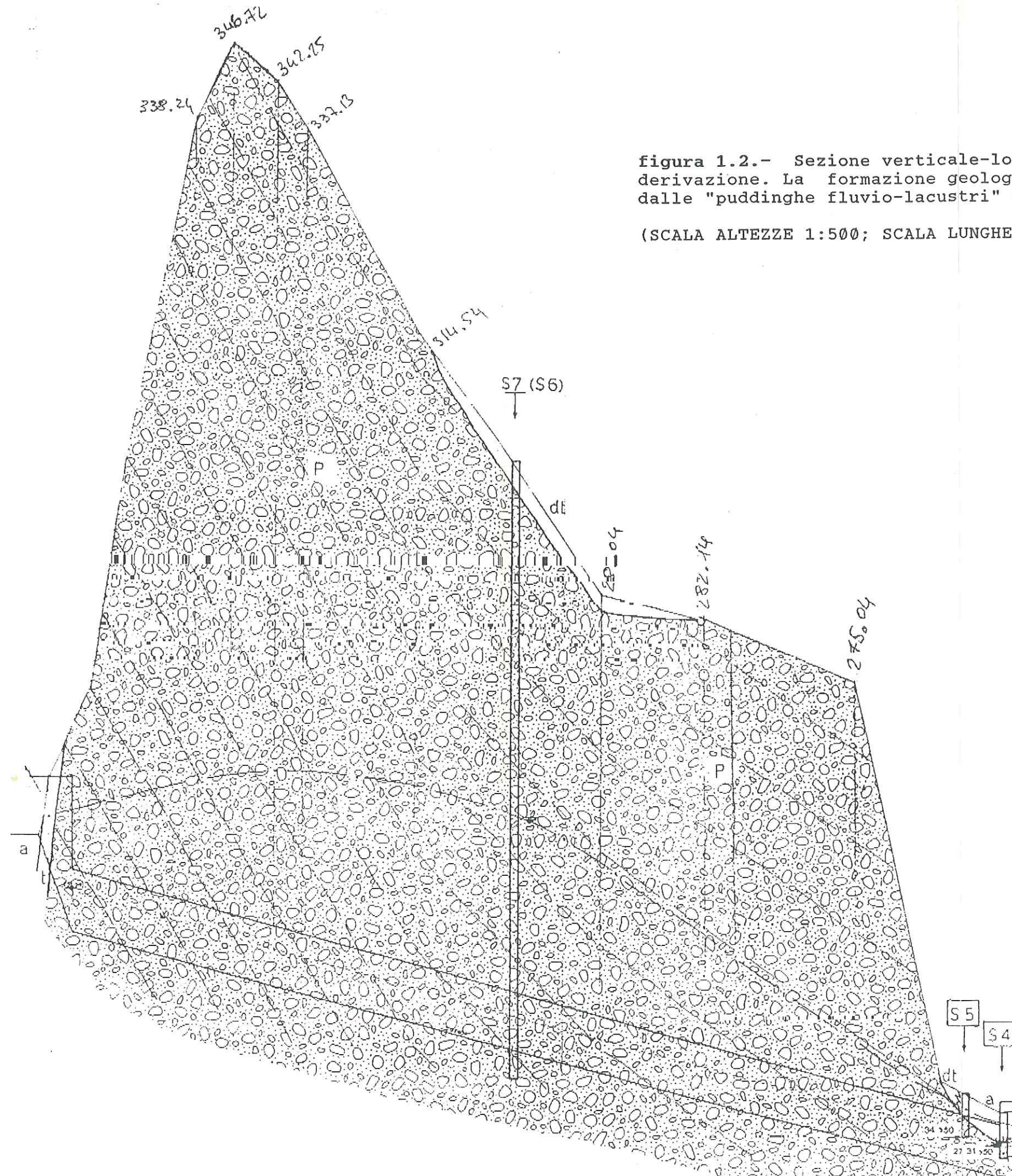


figura 1.2.- Sezione verticale-longitudinale della galleria di derivazione. La formazione geologica attraversata è costituita dalle "puddinghe fluvio-lacustri" del Pleistocene.

(SCALA ALTEZZE 1:500; SCALA LUNGHEZZE 1:5'000)



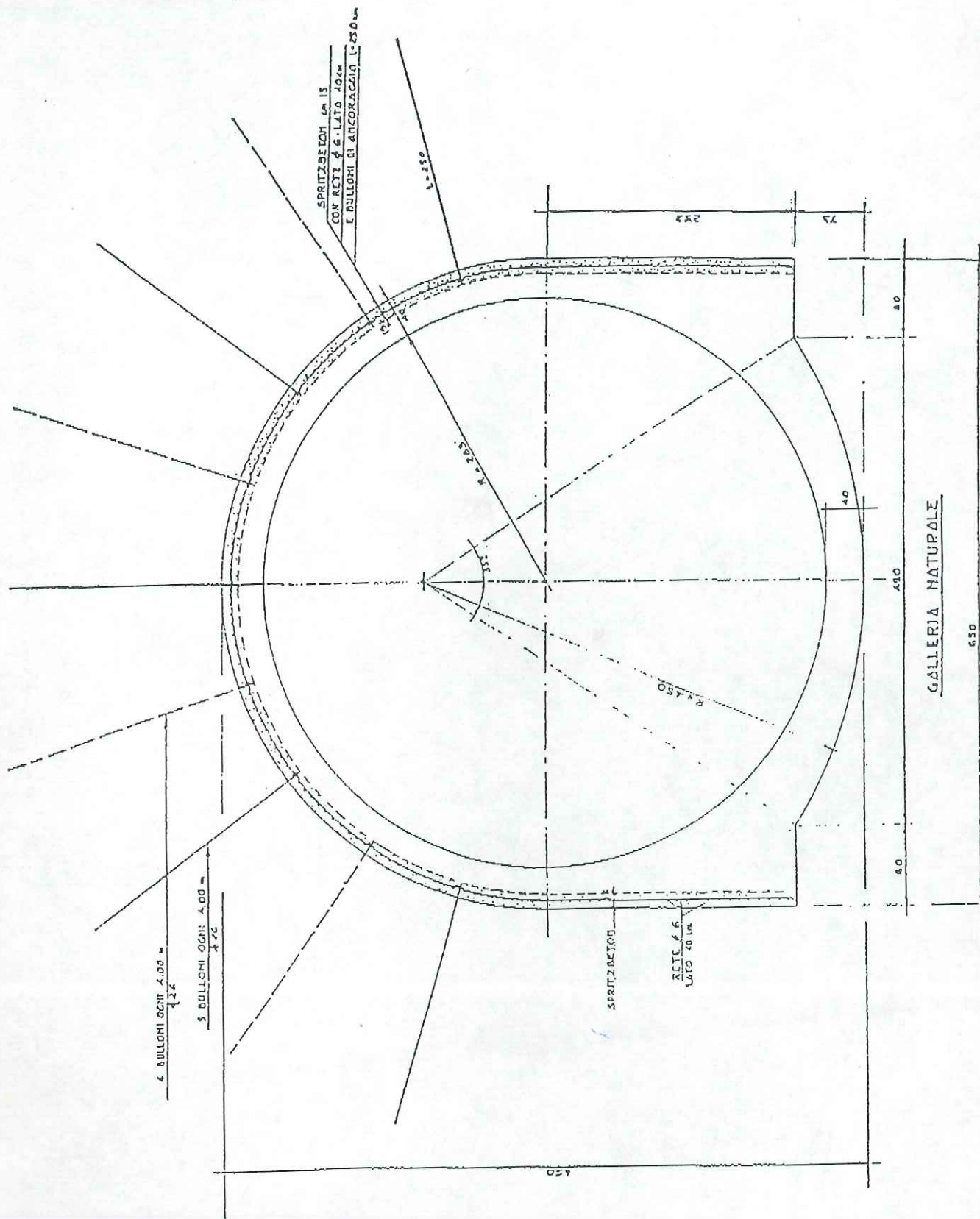


figura 1.3.- Sezione verticale-trasversale della galleria.



## 2.- "ABBATTIMENTO CONTROLLATO CON ESPLOSIVI" PER LA REALIZZAZIONE DI SCAVI AREE ANTROPIZZATE

### 2.0.- Generalità.

Per "abbattimento controllato" sono intese quelle tecniche per mezzo delle quali possono essere limitati, entro valori prestabiliti, gli effetti secondari degli spari (per effetto primario è inteso l'abbattimento vero e proprio della roccia).

Nel caso della galleria di derivazione gli effetti secondari sui quali dovrà essere posta una particolare attenzione sono essenzialmente dovuti alle vibrazioni indotte nel mezzo circostante (onde sismiche). Dalla realizzazione degli imbocchi sino a quando il fronte non sarà avanzato di 100 ÷ 200 m nell'ammasso, una certa attenzione dovrà pure essere posta al problema delle emissioni foniche (onda di sovrappressione aerea).

### 2.1.- Vibrazioni indotte dal brillamento delle cariche.

#### 2.1.1.- Effetti sulle strutture.

L'esplosione della carica collocata nell'ammasso d'abbattere libera una elevata quantità d'energia di cui una parte si disperde nel mezzo solido circostante sotto forma di



onda sismica.

Le onde sismiche assumono particolare rilevanza ai fini della sicurezza statica delle strutture limitrofe. Estese ricerche sperimentali hanno permesso di stabilire una stretta correlazione tra la "V<sub>MAX</sub>" (velocità massima delle particelle di terreno, al passaggio dell'onda in prossimità delle strutture) ed i danni.

La legge di attenuazione della "V<sub>MAX</sub>" può essere schematicamente indicata nella seguente:

$$V_{MAX} = K \cdot Q^{\alpha} / R^{\beta}$$

dove K,  $\alpha$  e  $\beta$  sono parametri funzione del tipo di volata, di esplosivo del mezzo e del percorso di propagazione;

R e Q sono rispettivamente la distanza dal punto di volata e la massima carica fatta brillare per ritardo.

La legge di attenuazione della "V<sub>MAX</sub>" può essere anche espressa nel modo seguente:

$$V_{MAX} = K \cdot (R/Q^c)^{-\beta} = K \cdot (DS)^{-\beta}$$

dove "c" (=  $\alpha/\beta$ ), K e  $\beta$  devono essere esplicitati mediante misure in situ o tratti per analogia da precedenti lavori.

Per la stima (approssimata per eccesso) del valore della "V<sub>MAX</sub>" al variare dalla distanza dal punto di sparo e della quantità di carica nel caso oggetto del presente studio, può quindi essere fatto riferimento al grafico di figura 2.1. [Dowding, 1985].

Per quanto riguarda i valori limite di "V<sub>MAX</sub>" da rispettare per la sicurezza delle strutture, in mancanza di specifiche Leggi nazionali, può essere fatto riferimento alle Norme DIN 4150, parte III, della Repubblica federale di Germania (tabella 2.1.) [Arnold, 1983] che sono tra le più restrittive in ambito internazionale.

#### 2.1.2.- Sensibilità umana alle vibrazioni.

Da non trascurare sono gli effetti connessi con la sensibilità del corpo umano alle vibrazioni [Nicholls, 1971]. Deve comunque essere fatto rilevare che i reclami da parte degli abitanti le aree circostanti si fondano spesso su motivi squisitamente psicologici, complessi e non facilmente schematizzabili. Così, per esempio, il vibrare di vetri di una finestra, ritenuto normale ed accettato se causato dal vento o dal traffico, desta apprensione e certezza dell'esistenza di danni quando è collegato alla notizia del brillamento di cariche esplosive o, in generale, alla esecuzione di operazioni nei cui riguardi esistono pregiudizi.

In figura 2.2. è evidenziata una correlazione fra sensibilità umana e vibrazioni di tipo continuo [(a) Siskind, 1980].

Il corpo umano è un discreto rivelatore di



vibrazioni ma non un "misuratore" per cui è raro, e la pratica ingegneristica lo conferma, che un livello di vibrazione tecnicamente sicuro possa essere accettato senza reclami e lamentele. Non a caso, infatti, confrontando i dati riportati nel grafico in figura 2.2. con i valori di sicurezza riportati nella tabella 2.1. si rileva che valori di velocità delle particelle che possono essere soggettivamente giudicati molesti sono molto inferiori a quelli imposti per la sicurezza delle strutture. Le lamentele, le proteste e le richieste di danni ad esse associate, non sono pertanto generalmente eliminabili.

## 2.2.- Onda di sovrappressione aerea.

Parte dell'energia liberata dall'esplosione si disperde in aria. La frazione di energia che si trasmette in aria aumenta al diminuire del confinamento della carica nell'ammasso roccioso ed è massima per esplosioni in aria libera, distanti dal suolo.

In figura 2.3. sono riportati i valori del picco di sovrappressione aerea in funzione della distanza dal punto di sparo, scalata sulla radice cubica della carica, per spari all'aperto [(b) Siskind, 1980]. In tabella 2.2. sono riportati gli effetti indotti sulle strutture per valori crescenti di sovrappressione [Hoeck, 1977].



In figura 2.4. sono riportati i livelli di sopportabilità per emissioni foniche varia forma d'onda e vario periodo predominante rilevati in una estesa ricerca effettuata per conto dell'United States Bureau of Mines [(a) Siskind, 1980].

L'ampiezza massima (picco) dell'onda di sovrappressione aerea, per effetto della sempre maggiore attenuazione dovuta al percorso in galleria, diverrà gradatamente trascurabile con l'avanzare del fronte di scavo.



"V <sub>MAX</sub> " VELOCITA' LIMITE DELLE PARTICELLE DI TERRENO (mm/s)			
TIPOLOGIE EDILIZIE	FREQUENZA PREDOMINANTE DEL TRENO D'ONDA SISMICO (Hz)		
	<10	10÷50	50÷100(*)
COSTRUZIONI INDUSTRIALI	20	20÷40	40÷50
COSTRUZIONI RESIDENZIALI	5	5÷15	15÷20
COSTRUZIONI PARTICOLARMENTE SENSIBILI ALLE VIBRAZIONI	3	3÷8	8÷10

(\*) PER VALORI DELLA FREQUENZA SUPERIORI AI 100 Hz POSSONO ESSERE ADOTTATI I VALORI LIMITE PER 100 Hz

tabella 2.1.- Norme Din 4150, parte III (1983), della Repubblica Federale di Germania: velocità limite delle particelle di terreno in prossimità dei manufatti da salvaguardare.

EFFETTO SULLE STRUTTURE	SOVRAPPRESSIONE AEREA (dB)
ROTTURA DEI VETRI DELLE FINESTRE	160
SOGLIA DI SICUREZZA	140
VIBRAZIONE DEI VETRI DI FINESTRE	120

tabella 2.2.- Onda di sovrappressione in aria: effetti indotti sulle strutture.

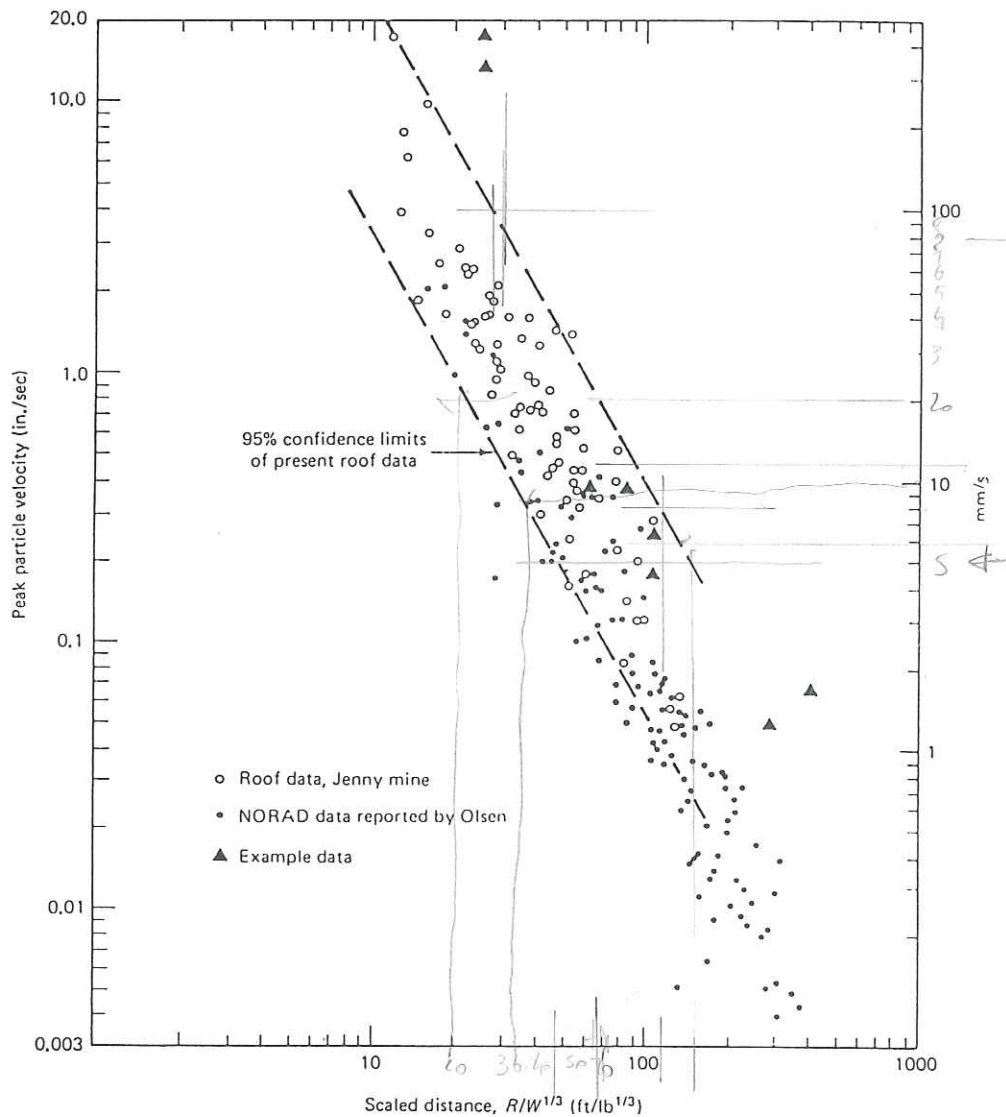


figura 2.1.- Velocità massima delle particelle di terreno, al passaggio dell'onda sismica, in funzione della distanza dal punto di sparo della volata e della massima carica per ritardo (valori misurati e rette del 95-percentile).



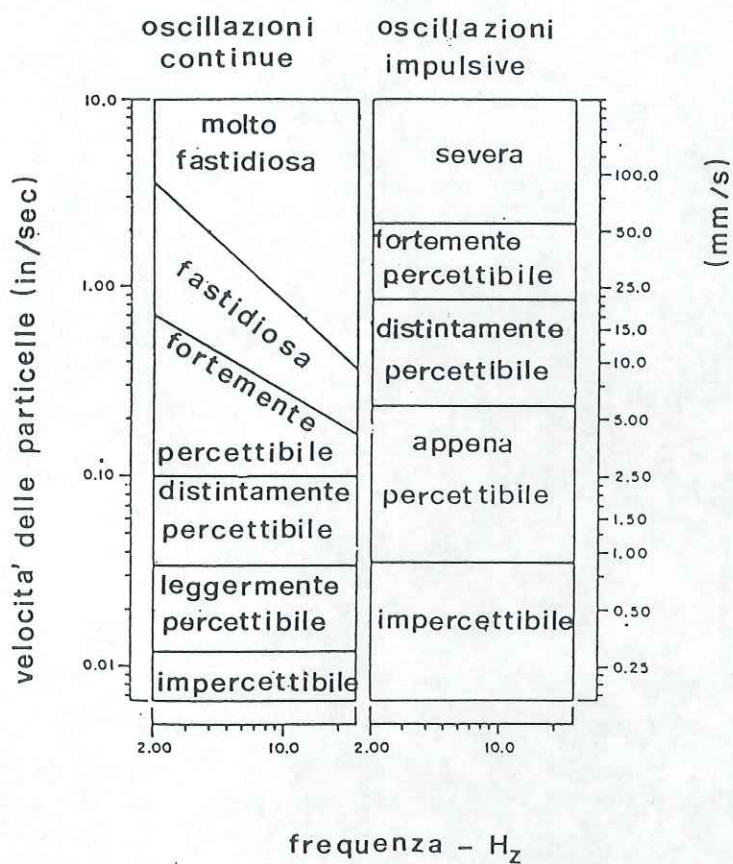


figura 2.2.- Sensibilità del corpo umano alle vibrazioni di tipo continuo e transiente.

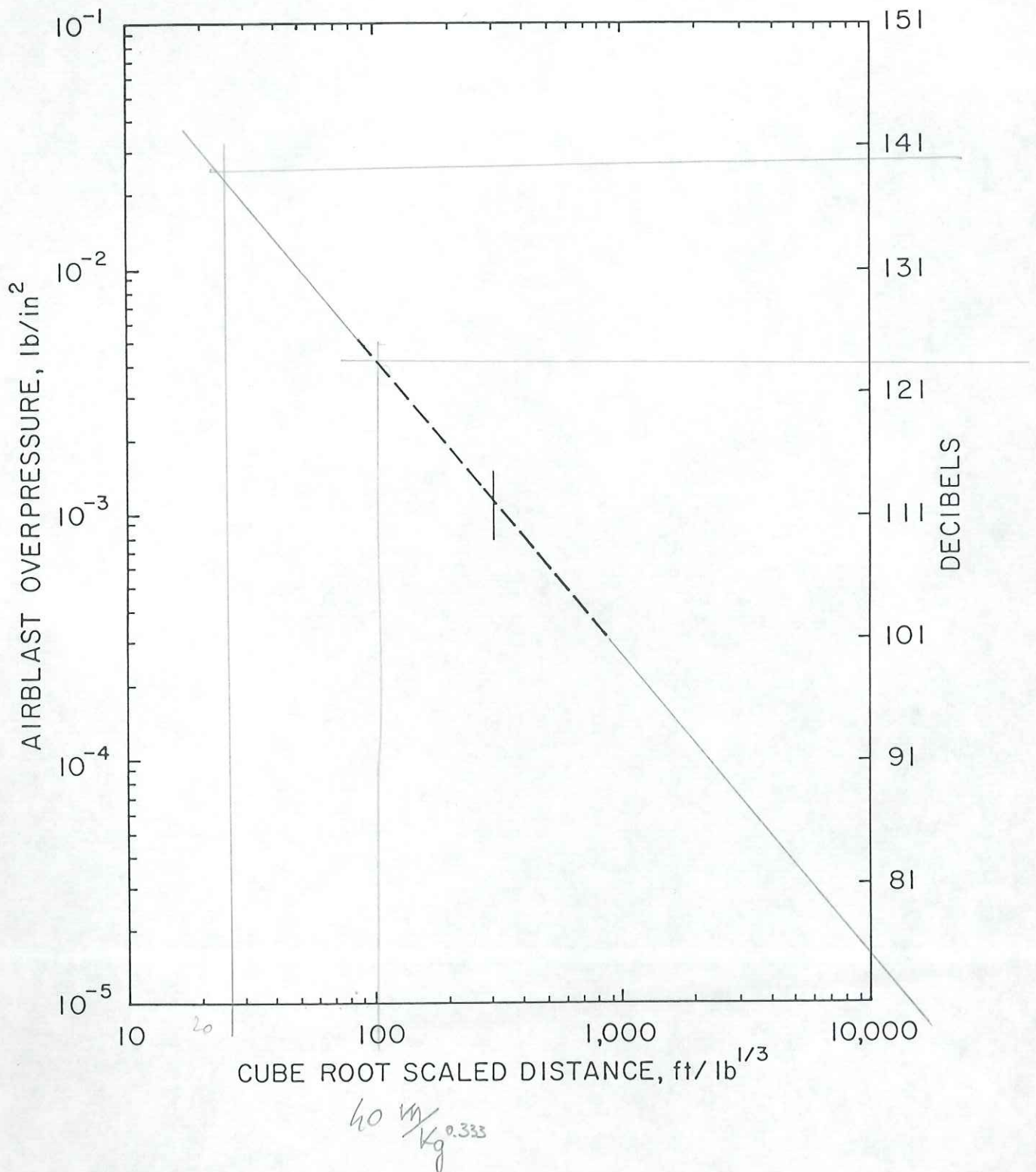


figura 2.3.- Picco di sovrappressione aerea in funzione della distanza dal punto di sparo scalata sulla radice cubica della carica.



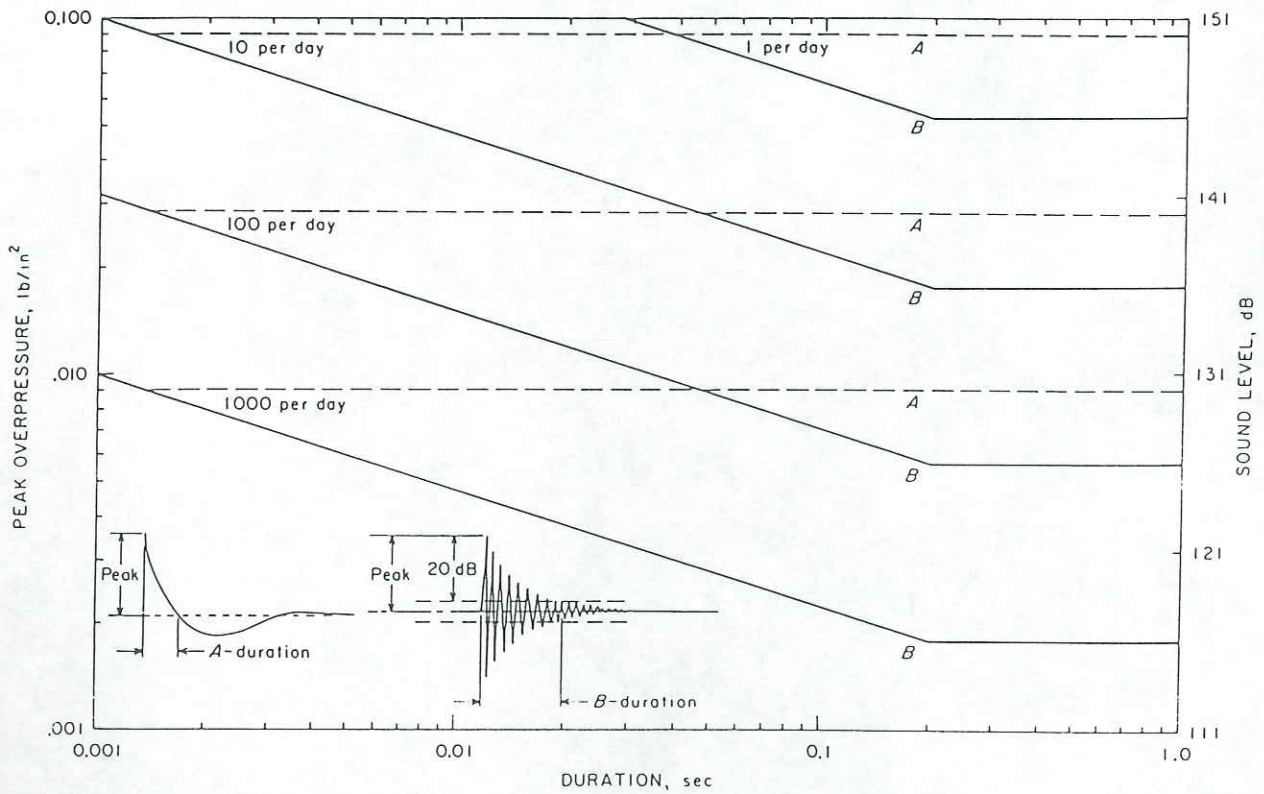


figura 2.4.- Livelli di sopportabilità per sovrappressioni aeree di varia ampiezza, forma d'onda e periodo predominante, per varie frequenze di ricorrenza giornaliera.



### 3.- MISURE DI SICUREZZA DA ADOTTARE DURANTE LA ESECUZIONE DELL'ABBATTIMENTO

#### 3.0.- Premesse.

Sulla scorta di quanto indicato nel precedente capitolo sono nel seguito riportate le accortezze che dovranno essere seguite in fase di esecuzione dei lavori, affinché siano rispettate rigorose condizioni di sicurezza.

#### 3.1.- Vibrazioni indotte dal brillamento delle cariche.

Il valore massimo delle particelle di terreno in prossimità dei manufatti da salvaguardare " $V_{MAX}$ " dovrà essere preso dalla tabella 2.1. in funzione della particolare tipologia strutturale.

Per contenere il numero di reclami da parte dei residenti nelle aree limitrofe potrebbe, tuttavia, risultare opportuno prefissare un valore limite di " $V_{MAX}$ " più basso di quello di sicurezza per gli edifici e, ad esempio, pari a 5 mm/s.

Facendo riferimento alla retta del 95-percentile superiore, in figura 2.1., ad una velocità limite di 5 mm/s corrisponde una distanza scalata " $DS$ " pari a  $150 \text{ ft/lb}^{1/3}$  ( $= 60 \text{ m/Kg}^{1/3}$ ).

$$10 \text{ mm/s} \rightarrow 100 \text{ ft/lb}^{1/3} = 39.7 \text{ m/Kg}^{1/3}$$

approssimando a 40 m/Kg<sup>1/3</sup>





La massima carica per ritardo "Q" (Kg) ammessa a brillare dovrà dunque variare, in funzione della distanza "R" (m) dai manufatti più vicini, secondo la legge:

$$Q \text{ (in Kg)} = (R \text{ (in m)} / 60)^3 \quad (\text{figura 3.1.}).$$

### 3.2.- Onda di sovrappressione aerea.

La massima ampiezza dell'onda di sovrappressione aerea indotta nei pressi dei primi fabbricati dovrà essere inferiore a 115 dB così da risultare tollerabile per una ricorrenza pari a 1'000 eventi/giorno (figura 2.4.).

Facendo riferimento al grafico in figura 2.3., ad un picco di sovrappressione aerea pari a 115 dB corrisponde una distanza scalata pari a 200 ft/lb<sup>1/3</sup> (= 80 m/Kg<sup>1/3</sup>).

La massima carica per ritardo "Q" (Kg) ammessa a brillare dovrà dunque variare, in funzione della distanza "R" (m) dai manufatti più vicini, secondo la legge:

$$Q \text{ (in Kg)} = (R \text{ (in m)} / 80)^3 \quad (\text{figura 3.2.}).$$

Roma, 19 febbraio 1990

Roberto Folchi

Ingegnere Minerario  
Geologo



Dott. Geol. Roberto FOLCHI  
ORDINE NAZIONALE DEI GEOLOGI

n° 6215  
★



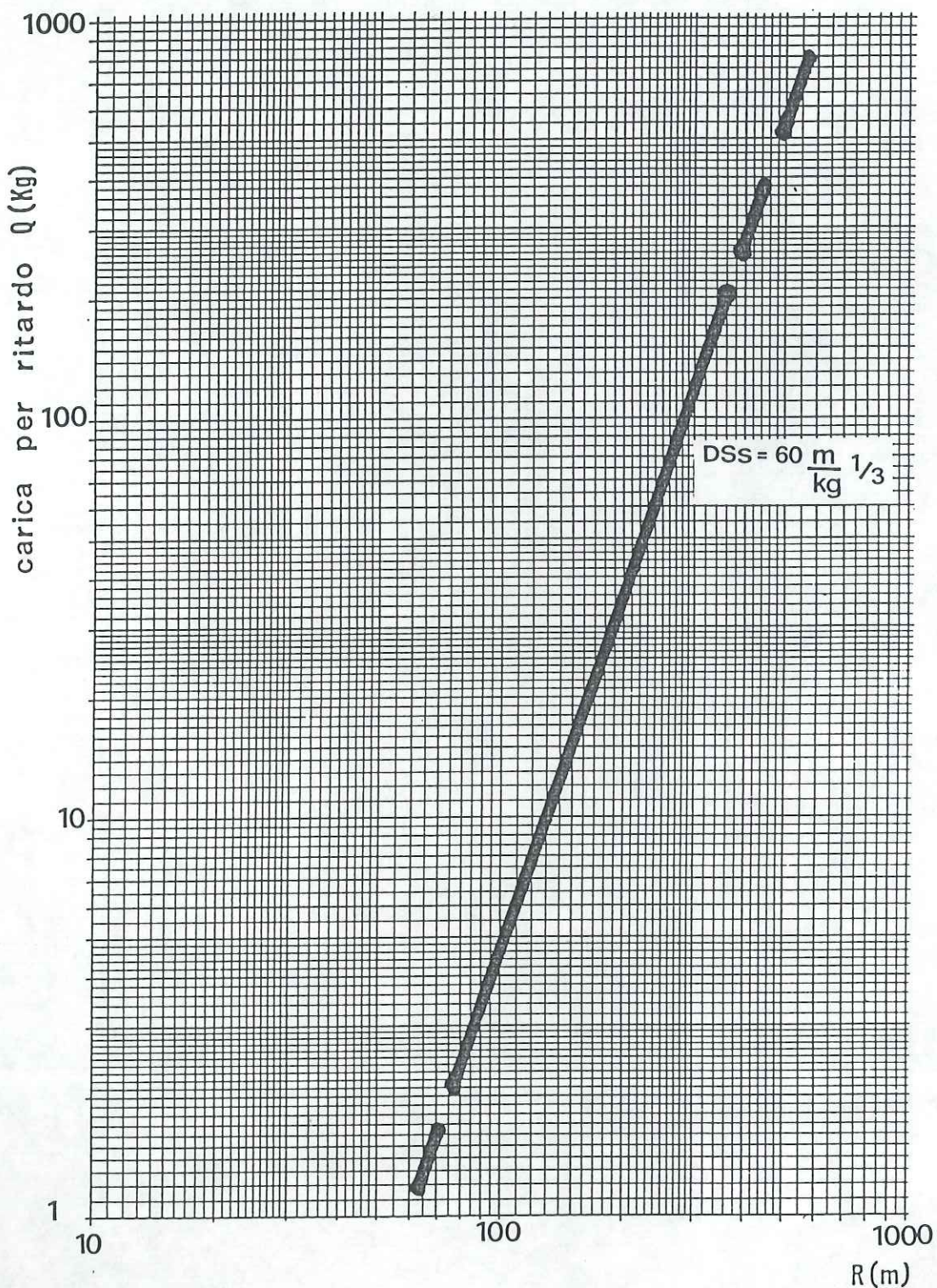


figura 3.1.- Massima carica che può essere fatta brillare per ritardo per contenere il valore della "V<sub>MAX</sub>", in prossimità del manufatto, al di sotto dei 5 mm/s.



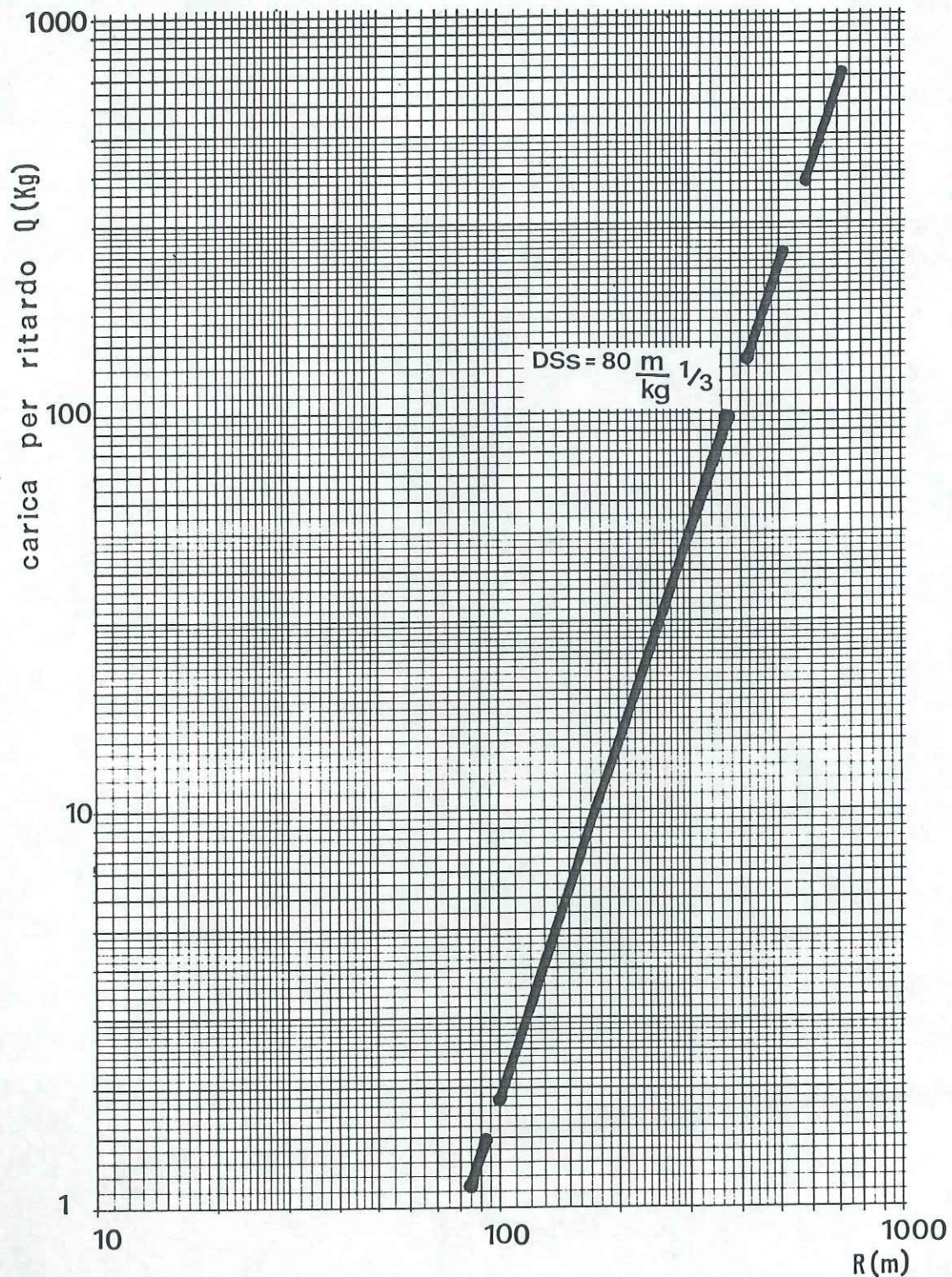


figura 3.2.- Massima carica che può essere fatta brillare per ritardo per contenere il valore dell'onda di sovrappressione aerea, in prossimità del manufatto, entro la soglia di tollerabilità per una ricorrenza pari a 1'000 eventi/giorno.





#### 4.- RIFERIMENTI

Arnold Karlheinz; *"Welche Folgerungen ergeben sich aus dem Gelbdruck DIN 4150 'Einwirkungen auf bauliche Anlagen', fuer die Durchfuehrung von Sprengarbaiten?"*; Nobel Hefte, juli-dezember 1983.

Dowding C. H.; *"Blast vibration monitoring and control"*; Prentice-hall., Englewood Cliffs, NJ 1985.

Hoeck E., Bray J. W.; *"Rock slope engineering"*; Inst. of Mining and Metallurgy, London 1977.

Nicholls H. R., Johnson C. F., Duval W. I.; *"Blasting vibrations and their effects on structures"*; U.S.B.M. Report of Inv. n. 656, 1971.

(a) Siskind D. E., Stagg M. S., Kopp J. W., Dowding C. H.; *"Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting"*; U.S.B.M. Report of Inv. n. 8507, 1980.

(b) Siskind D. E., Stacura Virgil J., Stagg Mark S., Kopp J. W.; *"Structure response and damage produced by airblast from surface mining"*; U.S.B.M. Report of Inv. n. 8585, 1980.