

Michele Pascali

ACUSTICA AMBIENTI ESTERNI



PROPAGAZIONE E VALUTAZIONE DEL RUMORE, CLIMA E IMPATTO ACUSTICO, TECNICHE DI DISINQUINAMENTO

- PROPAGAZIONE DEL RUMORE NELL'AMBIENTE ESTERNO
- VALUTAZIONE RUMORE DA SORGENTI FISSE E MOBILI
- CLASSIFICAZIONE E MAPPATURA ACUSTICA
- PREVISIONE E STIMA DEL CLIMA E DELL'IMPATTO ACUSTICO
- INTERVENTI DI ATTENUAZIONE DEL RUMORE

CD-ROM INCLUSO

CON MODULISTICA PER PREDISPORRE
LA DOCUMENTAZIONE DI CLIMA
E IMPATTO ACUSTICO

Michele Pascali

ACUSTICA AMBIENTE ESTERNO

ISBN 13 978-88-8207-338-1

EAN 9 788882 073381

Manuali, 84

Prima edizione, luglio 2009

Pascali, Michele <1951->

Acustica ambiente esterno / Michele Pascali. – Palermo : Grafill, 2009

(Manuali ; 84)

ISBN 978-88-8207-338-1

1. Acustica.

620.2 CDD-21

SBN Pal0218766

CIP – Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

© **GRAFILL S.r.l.**

Via Principe di Palagonia, 87/91 – 90145 Palermo

Telefono 091/6823069 – Fax 091/6823313

Internet <http://www.grafill.it> – E-Mail grafill@grafill.it

Finito di stampare nel mese di luglio 2009

presso **Officine Tipografiche Aiello & Provenzano S.r.l.** Via del Cavaliere, 93 – 90011 Bagheria (PA)

Tutti i diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica e di riproduzione sono riservati. Nessuna parte di questa pubblicazione può essere riprodotta in alcuna forma, compresi i microfilm e le copie fotostatiche, né memorizzata tramite alcun mezzo, senza il permesso scritto dell'Editore. Ogni riproduzione non autorizzata sarà perseguita a norma di legge. Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

Ai miei figli

INDICE

PREMESSA	p.	9
1. PROPAGAZIONE DEL RUMORE		
IN CAMPO APERTO	"	11
1.1. Introduzione	"	11
1.2. Propagazione del rumore in condizioni ideali	"	13
1.2.1. Propagazione sferica omnidirezionale	"	14
1.2.2. Propagazione semisferica omnidirezionale	"	18
1.2.3. Indice di direttività	"	19
1.2.4. Propagazione influenzata dalla direttività	"	20
1.2.5. Propagazione da una sorgente lineare	"	22
1.3. Comportamento del suono	"	26
1.3.1. Riflessione	"	26
1.3.2. Rifrazione	"	27
1.3.3. Diffrazione	"	28
1.3.4. Interferenza, battimenti	"	30
1.4. Fattori che influenzano la propagazione del rumore nell'ambiente esterno. Propagazione in condizioni reali	"	31
1.4.1. Divergenza geometrica (A_{div})	"	32
1.4.2. Assorbimento atmosferico (A_{atm})	"	32
1.4.3. Effetto del suolo (A_{gr})	"	33
1.4.4. Schermatura (A_{bar})	"	36
1.4.5. L'attenuazione dovuta a vari effetti (A_{misc})	"	43
1.4.6. Fenomeni meteorologici	"	44
2. SORGENTI DI RUMORE IN AMBIENTE ESTERNO	"	47
2.1. Sorgenti fisse e mobili	"	47
2.2. Caratteristiche generali dei rumori prodotti in campo aperto dalle sorgenti fisse e loro valutazione	"	50
2.3. Caratteristiche generali del rumore prodotto dai mezzi di trasporto e loro valutazione	"	58
2.3.1. Rumore prodotto dalla circolazione stradale	"	58
2.3.2. Rumore prodotto dalla circolazione ferroviaria	"	74
2.3.3. Rumore prodotto dal traffico aeroportuale	"	83

3. CONTENIMENTO DELLE EMISSIONI SONORE E RISANAMENTO ACUSTICO	p.	93
3.1. Introduzione	"	93
3.2. Classificazione acustica del territorio comunale	"	93
3.3. Mappatura acustica del territorio e individuazione delle zone inquinate	"	98
3.4. Piano di risanamento acustico comunale.....	"	99
3.5. Individuazione delle priorità degli interventi e indice di priorità.....	"	101
3.6. Tipologie di intervento atte al risanamento	"	101
4. CLIMA, IMPATTO E TECNICHE DI MODELLAZIONE ACUSTICA	"	103
4.1. Introduzione	"	103
4.2. Clima acustico	"	103
4.2.1. Valutazione del clima acustico	"	105
4.2.2. Simulazione del clima acustico futuro	"	106
4.3. Impatto acustico.....	"	111
4.3.1. Valutazione previsionale di impatto acustico	"	112
4.3.2. Valutazione di impatto acustico.....	"	126
4.4. Modelli di calcolo previsionali	"	155
5. CRITERI DI ATTENUAZIONE DEL RUMORE PRODOTTO DALLE SORGENTI FISSE E MOBILI	"	161
5.1. Generalità relativa agli interventi di attenuazione e risanamento	"	161
5.2. Metodi di attenuazione del rumore prodotto da sorgenti fisse.....	"	161
5.2.1. Riduzione del rumore alla sorgente	"	162
5.2.2. Attenuazione del rumore lungo il percorso di propagazione	"	171
5.2.3. Attenuazione del rumore degli impianti di ventilazione	"	175
5.3. Metodi di attenuazione del rumore prodotto dalla circolazione stradale.....	"	183
5.3.1. Interventi attivi	"	184
5.3.2. Interventi passivi.....	"	185
5.3.3. Iniziative di prevenzione	"	196
5.4. Metodi di attenuazione del rumore prodotto dalla circolazione ferroviaria	"	197
5.5. Criteri e metodi per l'attenuazione del rumore aeroportuale.....	"	198

PROCEDURE E MODULISTICA	p.	201
A. Valutazione previsionale di impatto acustico	"	201
A1. Iter per la concessione del nulla osta preventivo		
di impatto acustico da parte dei Comuni	"	202
A2. Modello di richiesta di nulla osta preventivo		
di impatto acustico	"	202
A3. Criteri di redazione della documentazione		
previsionale di impatto acustico	"	204
A4. Autocertificazioni	"	214
<i>Modello di autocertificazione di previsione</i>		
<i>di impatto acustico nuovi impianti ed infrastrutture</i>		
<i>adibite ad attività produttive</i>	"	214
<i>Modello di autocertificazione di previsione di impatto</i>		
<i>acustico pubblici esercizi ed attività commerciali</i>	"	217
A5. Attività a carattere temporaneo	"	219
A6. Comunicazioni per attività rumorose		
a carattere temporaneo	"	220
<i>Modello di comunicazione per attività rumorosa</i>		
<i>prodotta da manifestazioni musicali e ricreative</i>		
<i>all'aperto che rispettano gli orari e i limiti</i>		
<i>previsti dal regolamento comunale.....</i>	"	220
<i>Modello di comunicazione per attività rumorosa</i>		
<i>prodotta da cantieri edili stradali o assimilabili</i>		
<i>che rispettano gli orari e i limiti previsti</i>		
<i>dal regolamento comunale</i>	"	221
A7. Richieste di autorizzazione in deroga per lo svolgimento		
di attività a carattere temporaneo	"	222
<i>Modello di richiesta di autorizzazione in deroga</i>		
<i>per manifestazione di carattere temporaneo</i>	"	222
<i>Modello di richiesta di autorizzazione in deroga</i>		
<i>per attività rumorosa a carattere temporaneo</i>		
<i>(cantieri edili, stradali o assimilabili).....</i>	"	223
B. Valutazione di impatto acustico	"	225
B1. Iter per la concessione del nulla osta definitivo		
da parte dei comuni	"	225
B2. Modello di richiesta di nulla osta definitivo		
di impatto acustico	"	225
B3. Indagine fonometrica	"	227
C. Valutazione previsionale di clima acustico	"	231
C1. Iter per la concessione del nulla osta		
alla realizzazione dell'insediamento/infrastruttura	"	232

C2. Modello di richiesta di nulla osta relativo alla valutazione previsionale di clima acustico	p.	232
C3. Criteri di redazione della documentazione	"	234
C4. Autocertificazioni	"	235
<i>Modello di autocertificazione relativo alla valutazione previsionale di clima acustico</i>	"	235
<i>Modello di autocertificazione relativo alla valutazione previsionale di clima acustico</i>	"	236
D. Valutazione di clima acustico	"	237
D1. Schema di rapporto di indagine fonometrica per la valutazione di clima acustico	"	238
E. Schema di valutazione della propagazione del rumore nell'ambiente esterno	"	239
GUIDA ALL'INSTALLAZIONE DEI MODELLI SU CD-ROM	"	241
– Contenuti del CD-ROM allegato	"	241
– Requisiti hardware e software	"	241
– Richiesta della password utente	"	241
– Procedura per l'installazione del prodotto	"	242
– Procedura per la registrazione del prodotto	"	242
– Utilizzo del software	"	243
– Procedura per utenti Macintosh	"	244
BIBLIOGRAFIA	"	245
– Testi	"	245
– Riviste e Atti di seminari	"	245
– Cataloghi e documentazione tecnica ditte produttrici materiali fonoisolanti e fonoassorbenti, strumentazione	"	246
– Siti Web	"	246
LICENZA D'USO	"	247
SCHEDE DI REGISTRAZIONE	"	248

PREMESSA

In questo manuale, vengono prese in esame le diverse tipologie di sorgenti sonore, generalmente presenti nell'ambiente esterno e viene analizzata la propagazione, ad esse relativa, con modelli semplificati, che in alcuni casi, possono fornire un'indicazione piuttosto attendibile, risultare sufficientemente affidabili e facilmente gestibili.

Vengono inoltre analizzate le caratteristiche generali dei rumori prodotti dalle sorgenti fisse e mobili e i criteri e metodi per la loro valutazione.

I capitoli 3 e 4 sono dedicati alla classificazione e mappatura acustica del territorio, alle tecniche di previsione e di valutazione del clima e dell'impatto acustico, alle tecniche di modellazione più avanzate e potenti che utilizzano software sofisticati.

Infine nel capitolo 5 vengono individuati gli interventi idonei a ridurre le emissioni sonore e i criteri da adottare per ottenere il risanamento acustico dell'ambiente esterno.

L'Autore

PROPAGAZIONE DEL RUMORE IN CAMPO APERTO

▼ 1.1. Introduzione

La propagazione del rumore in campo aperto dipende dal tipo di sorgente e da una serie di fattori che la influenzano come l'effetto del suolo, l'assorbimento atmosferico, gli effetti di origine meteorologica, l'effetto schermante dovuto, in alcuni casi, alla presenza di edifici, schermi e barriere lungo il percorso, alla vegetazione.

In primo luogo viene esaminata la propagazione del rumore in campo aperto, in funzione del tipo di sorgente in atmosfera uniforme e tranquilla e senza prendere in considerazione i fattori che possono influenzarla, cioè in condizioni ideali.

Descritte le nozioni fondamentali viene analizzata la propagazione in condizioni reali considerando tutti i fattori che la possono influenzare.

Sia in fase di progettazione, in cui è necessario fare delle previsioni, sia quando si interviene su situazioni già esistenti, è indispensabile conoscere il livello di potenza sonora (L_w) o il livello di pressione sonora (L_p) in uno o più punti a una certa distanza dalla sorgente.

Le formule che vengono qui descritte consentono, noto il livello di potenza sonora (L_w) di una sorgente (ad esempio una macchina o un impianto), di determinare il livello di pressione sonora (L_p) ad una certa distanza (r) da essa, mentre noto il livello di pressione sonora (L_p) in un dato punto, in quanto ricavato direttamente dalle misure, di risalire al livello di potenza sonora (L_w) o valutare il livello di pressione sonora generato dalla stessa sorgente in altri punti.

In tutte le formule e i calcoli che seguono non viene fatto esplicito riferimento alla frequenza; tuttavia, quando si parla di livello di potenza sonora o di livello di pressione sonora, bisogna intendere i rispettivi valori riferiti ad una frequenza o ad una banda di frequenza (di ottava o di 1/3 di ottava). Per una completa valutazione, i calcoli vanno estesi a tutte le bande di frequenza che interessano. Infatti si ricorda che:

- ad una data frequenza il livello di pressione sonora (L_{p_i}) è dato da:

$$L_{p_i} = 10 \log \frac{p_i^2}{p_0^2} \text{ [dB]}$$

dove:

p_i = pressioni sonore efficaci alle varie frequenze in bande di ottava o 1/3 di bande di ottava [Pa] con $i = 1, \dots, n$

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \frac{N}{m^2} = 2 \cdot 10^{-5} Pa = 20 \mu Pa.$$

Il livello di pressione sonora globale ($L_{p_{globale}}$) è dato da:

$$Lp_{globale} = 10 \log \left(\frac{p_1^2}{p_0^2} + \frac{p_2^2}{p_0^2} + \dots + \frac{p_n^2}{p_0^2} \right) \text{ [dB]}$$

se sono note le pressioni p_i alle varie frequenze, oppure da:

$$Lp_{globale} = 10 \log \left(10^{\frac{Lp_1}{10}} + 10^{\frac{Lp_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{Lp_n}{10}} \right) \text{ [dB]},$$

se sono noti i livelli di pressione sonora (Lp_i) alle varie frequenze.

Noti gli Lp_i alle varie frequenze si può ricavare l' $Lp_{globale}$ relativo alla curva di ponderazione A con la seguente formula:

$$Lp_{globale(A)} = 10 \log \left(10^{\frac{Lp_1+x_1}{10}} + 10^{\frac{Lp_2+x_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{Lp_n+x_n}{10}} \right) \text{ [dB(A)]}$$

dove gli x_i (riportati nella seguente tabella) rappresentano i fattori di ponderazione relativi al filtro A che vanno defalcati o sommati ai valori di Lp_i alle varie frequenze;

Frequenza [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Fattori di ponderazione (filtro A) x_i [dB]	- 16,1	- 8,6	- 3,2	0	+ 1,2	1,0	- 1,1	- 6,6

– ad una data frequenza il livello di potenza sonora (Lw_i) è dato da:

$$Lw_i = 10 \log \left(\frac{W_i}{W_0} \right) \text{ [dB]}$$

dove:

W_i = potenze sonore efficaci alle varie frequenze in bande di ottava o 1/3 di bande di ottava [W] con $i = 1, \dots, n$;

$W_0 = 10^{-12} \text{ W}$.

Analogamente al caso precedente il livello di potenza sonora globale ($Lw_{globale}$) si può calcolare con la seguente formula:

$$Lw_{globale} = 10 \log \left(\frac{W_1}{W_0} + \frac{W_2}{W_0} + \dots + \frac{W_n}{W_0} \right) \text{ [dB]},$$

se sono note le potenze (W_i) alle varie frequenze, oppure con:

$$Lw_{globale} = \log \left(10^{\frac{Lw_1}{10}} + 10^{\frac{Lw_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{Lw_n}{10}} \right) \text{ [dB]}$$

se sono noti i livelli della potenza sonora (Lw_i) alle varie frequenze.

Noti gli Lw_i alle varie frequenze, si può ricavare $Lw_{globale}$ relativo alla curva di ponderazione A con la seguente formula:

$$Lw_{globale(A)} = 10 \log \left(10^{\frac{Lw_1+x_1}{10}} + 10^{\frac{Lw_2+x_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{Lw_n+x_n}{10}} \right) \text{ [dB(A)]}$$

dove gli x_i rappresentano i fattori di ponderazione relativi al filtro A che vanno defalcati o sommati ai valori di Lw_i alle varie frequenze.

▼ 1.2. Propagazione del rumore in condizioni ideali

Il caso più semplice di propagazione del rumore, che può essere preso in considerazione, è quello in campo aperto libero e in atmosfera uniforme e tranquilla.

Infatti, nella maggior parte dei casi, in cui l'energia sonora si propaga per via aerea direttamente dalla sorgente al ricettore, si fa riferimento a questo tipo di propagazione.

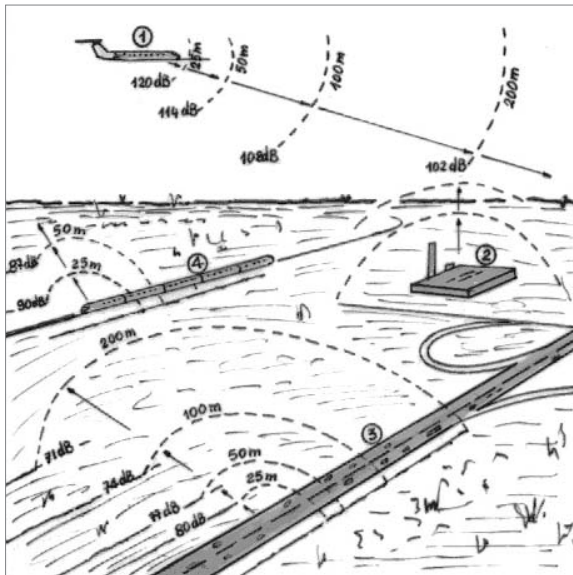
La propagazione del rumore nell'ambiente esterno può essere analizzata essenzialmente riferendosi alle seguenti due tipologie di sorgenti¹:

- puntiforme (ad esempio una fabbrica o un aereo);
- lineare (ad esempio una strada o una ferrovia),

e quindi ai seguenti tipi di propagazione:

- sferica e emisferica omnidirezionale;
- cilindrica e semicilindrica.

Alcuni esempi di sorgenti puntiformi o lineari sono riportati in fig. 1.2.1.



- ① Sorgente puntiforme (propagazione sferica)
- ② Sorgente puntiforme (propagazione emisferica)
- ③ e ④ Sorgenti lineari (propagazione semicilindrica)

Fig. 1.2.1. Esempi di sorgenti lineari e puntiformi

¹ La sorgente piana raramente nei casi ordinari è presente.

1.2.1. Propagazione sferica omnidirezionale

Nel caso di una sorgente puntiforme, che irradia uniformemente in tutte le direzioni, sospesa al centro di un grande spazio aperto e libero da superfici riflettenti e da barriere (fig. 1.2.2.)

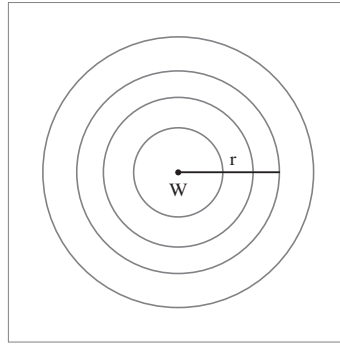


Fig. 1.2.2. Sorgente puntiforme omnidirezionale

il valore della potenza sonora totale è dato da:

$$W = \frac{p^2}{\rho_0 c} 4\pi r^2 \quad [\text{W}] \quad (1.2.1)$$

Si ricorda che:

$I = \frac{p^2}{\rho_0 c}$, $W = I \cdot 4\pi r^2$, $\rho_0 c = 400 \text{ Pa} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}}$ a 39°C e r rappresenta la distanza fra la sorgente e il punto di ricezione in metri.

Essendo:

$$Lp = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} \quad [\text{dB}], \quad p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} = 20 \mu\text{Pa} \quad (1.2.2)$$

$$Lw = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad [\text{dB}], \quad W_0 = 10^{-12} \text{ W} \quad (1.2.3)$$

e per le proprietà dei logaritmi:

$$p^2 = p_0^2 10^{\frac{Lp}{10}} \quad [\text{Pa}]; \quad p^2 = (2 \cdot 10^{-5} \cdot \text{Pa})^2 10^{\frac{Lp}{10}} \quad (1.2.4)$$

$$W = W_0 10^{\frac{Lw}{10}} \quad [\text{dB}], \quad W = (10^{-12} \cdot \text{W}) 10^{\frac{Lw}{10}} \quad (1.2.5)$$

si ha:

$$\frac{(10^{-12} \cdot W) 10^{\frac{L_w}{10}}}{4\pi r^2} = \frac{(2 \cdot 10^{-5} \cdot Pa)^2 \cdot 10^{\frac{L_p}{10}}}{400 Pa \frac{s}{m}}$$

$$10^{-12} \frac{10^{\frac{L_w}{10}}}{4\pi r^2} = 10^{-12} 10^{\frac{L_p}{10}}$$

sostituendo le (1.2.4) e (1.2.5) nella (1.2.1).

Prendendo i logaritmi in base 10 di ambo i membri si ha:

$$\log 10^{\frac{L_p}{10}} = \log 10^{\frac{L_w}{10}} - \log 4\pi r^2$$

$$\frac{L_p}{10} \log 10 = \frac{L_w}{10} \log 10 - \log 4\pi r^2$$

Poiché $\log 10 = 1$ si ha:

$$\frac{L_p}{10} = \frac{L_w}{10} - \log 4\pi r^2$$

$$L_p = L_w - 10 \log 4\pi r^2 \quad [\text{dB}] \quad (1.2.6)$$

$$L_p = L_w - 10 \log 4\pi - 10 \log r^2 \quad [\text{dB}]$$

$$L_p = L_w - 10 \log 4\pi - 20 \log r \quad [\text{dB}]$$

$$L_p = L_w - 11 - 20 \log r \quad [\text{dB}] \quad (1.2.7)$$

La relazione (1.2.6) si può anche scrivere, sfruttando le proprietà dei logaritmi, nella seguente forma:

$$L_p = L_w + 10 \log \frac{1}{4\pi r^2} \quad [\text{dB}] \quad (1.2.8)$$

poiché $10 \log \frac{1}{4\pi r^2} = -10 \log 4\pi r^2$ in quanto $10 \log \frac{1}{4\pi r^2} = 10 \log 1 - 10 \log 4\pi r^2$ e

$10 \log 1 = 0$.

Le formule (1.2.6), (1.2.7), (1.2.8) ovviamente sono equivalenti fra loro.

Dall'equazione (1.2.7) si rileva che, se è noto il livello di pressione sonora ad una certa distanza r_1 dalla sorgente, il livello di pressione sonora ad una distanza maggiore r_2 può essere calcolato senza dover prima valutare il livello di potenza sonora della sorgente. Infatti se si sottraggono membro a membro le due relazioni seguenti:

$$Lp_1 = Lw - 11 - 20 \log r_1 \text{ (livello di pressione sonora alla distanza } r_1) \text{ [dB]} \quad (1.2.7')$$

$$Lp_2 = Lw - 11 - 20 \log r_2 \text{ (livello di pressione sonora alla distanza } r_2) \text{ [dB]} \quad (1.2.7'')$$

si ottiene:

$$Lp_1 - Lp_2 = 20 \log r_2 - 20 \log r_1 \text{ [dB]}$$

$$Lp_1 - Lp_2 = 20 \log \frac{r_2}{r_1} \text{ [dB]}$$

e quindi:

$$Lp_2 = Lp_1 - 20 \log \frac{r_2}{r_1} = Lp_1 - 10 \log \frac{r_2^2}{r_1^2} \text{ [dB]} \quad (1.2.9)$$

L'equazione (1.2.9) rappresenta la nota legge del decadimento del livello di pressione sonora con il raddoppio della distanza (*legge del decadimento decrescente*), per cui, ad ogni raddoppio della distanza dalla sorgente corrisponde una riduzione di 6 dB del livello di pressione sonora².

La spiegazione fisica di questa legge può essere facilmente compresa, rifacendosi al modello di propagazione sferica (fig. 1.2.3) tipica di una sorgente puntiforme. Infatti se si raddoppia il raggio della sfera, la stessa quantità di energia si deve distribuire ora su una superficie quattro volte più grande e conseguentemente l'intensità sonora (I) e il quadrato della pressione sonora si deve ridurre localmente con un fattore quattro.

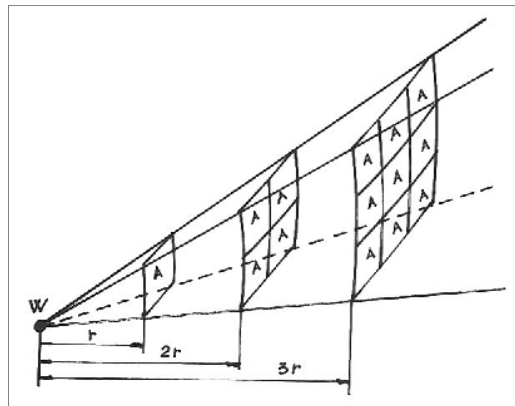


Fig. 1.2.3. Propagazione da una sorgente puntiforme

² Se $r_2 = 2r_1$ si ha $Lp_2 = Lp_1 - 20 \log \frac{2r_1}{r_1}$, $Lp_2 = Lp_1 - 20 \log 2$; $Lp_2 = Lp_1 - 6$ poiché $20 \log 2 = 6$.