



# Acustica

## Parte 6

---

Prof. Filippo Milotta  
milotta@dmi.unict.it



# FREQUENZA DELLE NOTE



# Frequenza dei suoni - Note

- Nella musica la frequenza di un suono caratterizza le **note musicali**.
- Potremmo pensare che la **nota** corrisponda allora ad un tono puro, ma come sappiamo la stessa **nota** può essere prodotta da diversi strumenti musicali ed essere quindi percepita in maniera differente.
- In realtà la nota dipende dalla frequenza predominante nello **spettro** dell'onda sonora. Tutte le altre frequenze caratterizzano invece lo strumento.



# Frequenza dei suoni - Note

Si definisce **nota musicale** ciascuno dei simboli utilizzati nella musica per descrivere un particolare suono.

Le note musicali più conosciute sono quelle della **scala diatonica**. Sono 7 e si ripetono a frequenze differenti.

Do Re Mi Fa Sol La Si  
T – T – sT – T – T – T – sT ← *Modo maggiore*

Esistono tuttavia altre scale, come la scala **temperata** e la scala **cromatica**.



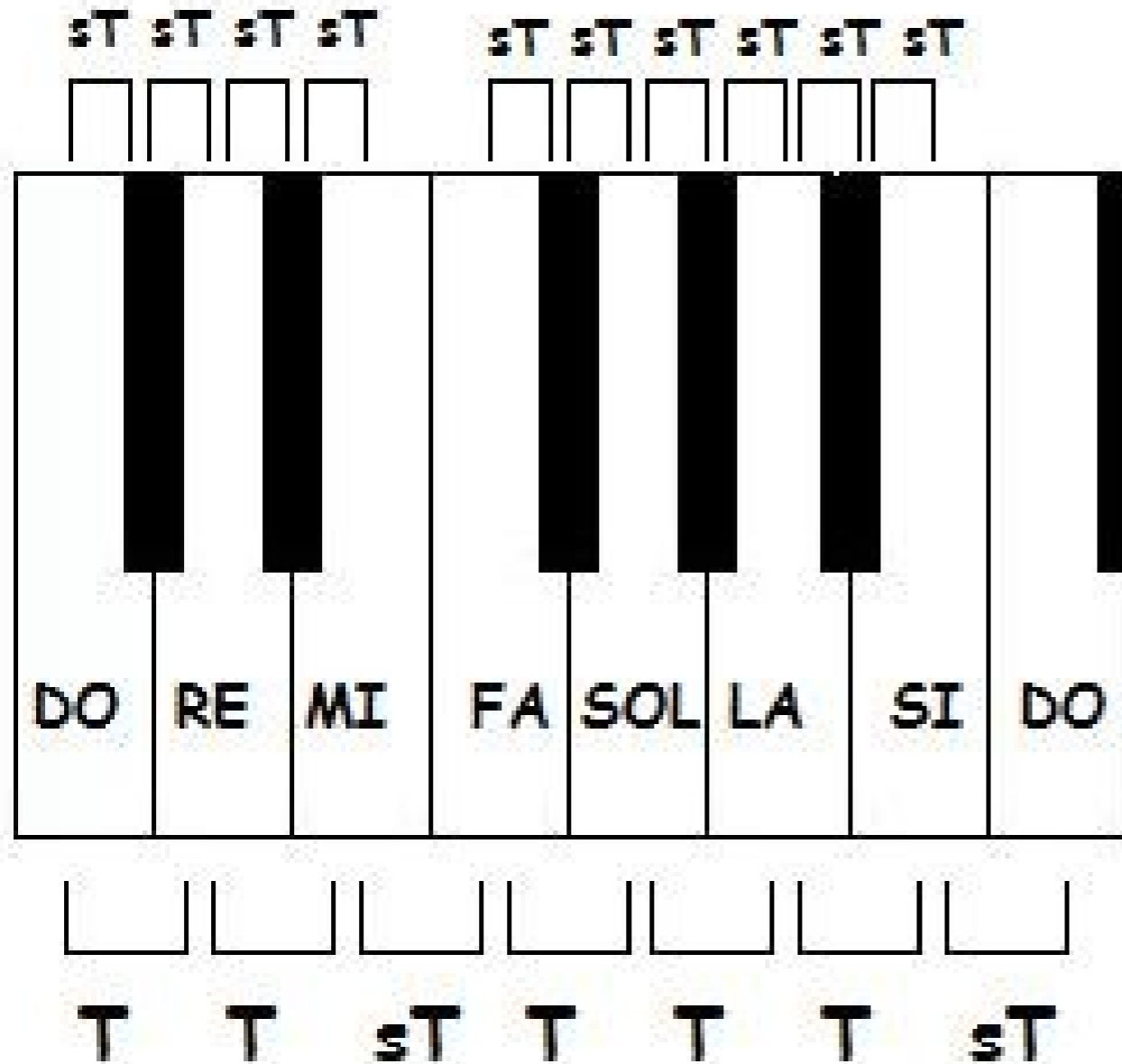
# Frequenza dei suoni - Note

Per ragioni storiche e psicoacustiche, le note sono ripartite all'interno di intervalli denominati **ottave**.

L'**ottava** è l'intervallo che intercorre tra **note** uguali di cui una ha frequenza doppia dell'altra. Ogni ottava inizia con la stessa nota dell'ottava precedente (ma di frequenza doppia).



# Frequenza dei suoni – Ottava



sT = Semitono

T = Tono ( 2 semitoni )



# Frequenza dei suoni - Note

- Ogni **ottava** nella **scala diatonica** contiene 8 note della scala stessa. Es:

Do Re Mi Fa Sol La Si Do

- Nella **scala temperata (occidentale)** le ottave sono divise in 12 semitoni. Un semitono consiste in un aumento in frequenza di un fattore  $2^{1/12}$  tra note adiacenti. Ciò significa che il rapporto tra la frequenza di una nota e quella che la precede, sarà uguale  $2^{1/12}$ . Ogni ottava contiene 13 note tra cui quelle della scala diatonica e 5 variazioni precedute dal simbolo #. Es:

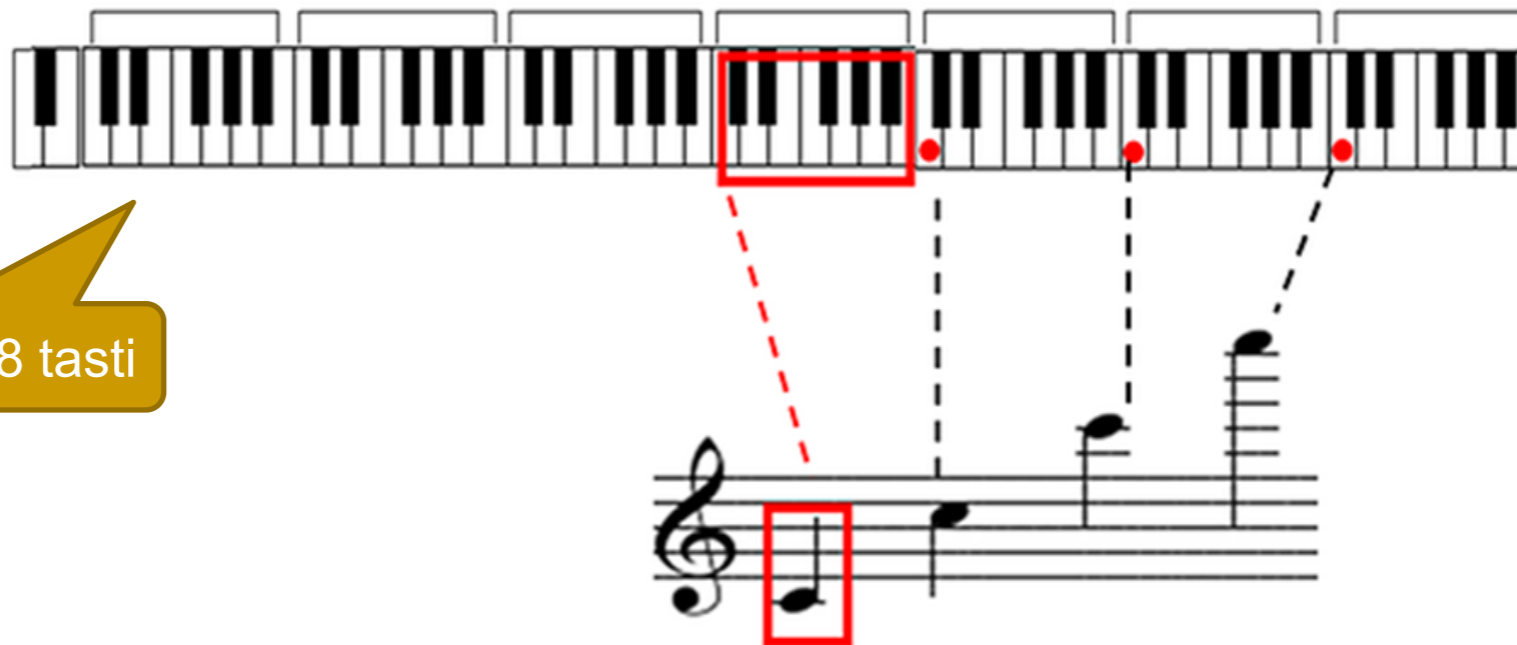
Do #Do Re #Re Mi Fa #Fa Sol #Sol La #La Si Do



# Frequenza dei suoni – Ottava

L'ottava è l'intervallo che intercorre tra note uguali di cui una ha frequenza doppia dell'altra. Ogni ottava inizia con la stessa nota dell'ottava precedente (ma di frequenza doppia).

32,7Hz    65,4Hz    130,8Hz    261,6Hz    523,2Hz    1046Hz    2093Hz    4186Hz  
1° octave    2° octave    3° octave    4° octave    5° octave    6° octave    7° octave



Tipicamente 88 tasti

| do <sub>4</sub> | do# <sub>4</sub> | re <sub>4</sub> | re# <sub>4</sub> | mi <sub>4</sub> | fa <sub>4</sub> | fa# <sub>4</sub> | sol <sub>4</sub> | sol# <sub>4</sub> | la <sub>4</sub> | la# <sub>4</sub> | si <sub>4</sub> |
|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 261,6Hz         | 277,2Hz          | 293,7Hz         | 311,1Hz          | 329,6Hz         | 349,2Hz         | 369,9Hz          | 392Hz            | 415,3Hz           | 440Hz           | 466,1Hz          | 493,9Hz         |





# Frequenza dei suoni - Note

Di recente (1939) è stato deciso di utilizzare come nota di riferimento il **La**, fissato ad una frequenza di **440 Hz**. Un **diapason** opportunamente costruito può emettere esattamente un tono (quasi) puro a questa frequenza.



La frequenza di ogni nota può quindi essere definita in base alla distanza dal **La** fondamentale. Una nota distante  $n$  (intero relativo) semitoni da quella di riferimento nella scala occidentale avrà frequenza:

$$f_n = f_{ref} \times 2^{\frac{n}{12}} \quad \text{con} \quad f_{ref} = 440 \text{ Hz}$$



# Legge n. 170 del 3 maggio 1989

## ■ Essere stonati è illegale!

□ Ref: [https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie\\_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=1989-05-12&atto.codiceRedazionale=089G0200](https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=1989-05-12&atto.codiceRedazionale=089G0200)

### LEGGE 3 maggio 1989, n. 170

Normalizzazione dell'intonazione di base degli strumenti musicali. (GU Serie Generale n.109 del 12-05-1989)

note: **Entrata in vigore della legge: 27/05/1989**

#### Articoli

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7

La Camera dei deputati ed il Senato della Repubblica hanno approvato;

IL PRESIDENTE DELLA REPUBBLICA

PROMULGA

la seguente legge:

Art. 1.

1. Il suono di riferimento per l'intonazione di base degli strumenti musicali e' la nota La<sub>3</sub>, la cui altezza deve corrispondere alla frequenza di 440 Hertz (Hz), misurata alla temperatura ambiente di 20 gradi centigradi.



# Frequenza dei suoni - Note

| Note | Notazione<br>Anglossassone | Frequenza (Hz)                 |
|------|----------------------------|--------------------------------|
| la   | A                          | $440.0 = 440 \times 2^{0/12}$  |
| la#  | A#                         | $466.2 = 440 \times 2^{1/12}$  |
| si   | B                          | $493.8 = 440 \times 2^{2/12}$  |
| do   | C                          | $523.2 = 440 \times 2^{3/12}$  |
| do#  | C#                         | $554.4 = 440 \times 2^{4/12}$  |
| re   | D                          | $587.3 = 440 \times 2^{5/12}$  |
| re#  | D#                         | $622.2 = 440 \times 2^{6/12}$  |
| mi   | E                          | $659.2 = 440 \times 2^{7/12}$  |
| fa   | F                          | $698.4 = 440 \times 2^{8/12}$  |
| fa#  | F#                         | $740.0 = 440 \times 2^{9/12}$  |
| sol  | G                          | $784.0 = 440 \times 2^{10/12}$ |
| sol# | G#                         | $830.6 = 440 \times 2^{11/12}$ |
| la   | A                          | $880.0 = 440 \times 2^{12/12}$ |

Semitono

Ottava



# Frequenza dei suoni – Tabella note

| Note     | ottave |       |       |       |       |       |      |      |      |       |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
|          | 0      | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6    | 7    | 8    | 9     |
| Do       | 16,35  | 32,70 | 65,41 | 130,8 | 261,6 | 523,3 | 1047 | 2093 | 4186 | 8372  |
| Do#-Reb  | 17,32  | 34,65 | 69,30 | 138,6 | 277,2 | 554,4 | 1109 | 2217 | 4435 | 8870  |
| Re       | 18,35  | 36,71 | 73,42 | 146,8 | 293,7 | 587,3 | 1175 | 2349 | 4699 | 9397  |
| Re#-Mib  | 19,45  | 38,89 | 77,78 | 155,6 | 311,1 | 622,3 | 1245 | 2489 | 4978 | 9956  |
| Mi       | 20,60  | 41,20 | 82,41 | 164,8 | 329,6 | 659,3 | 1319 | 2637 | 5274 | 10548 |
| Fa       | 21,83  | 43,65 | 87,31 | 174,6 | 349,2 | 698,5 | 1397 | 2794 | 5588 | 11175 |
| Fa#-Solb | 23,12  | 46,25 | 92,50 | 185,0 | 370,0 | 740,0 | 1480 | 2960 | 5920 | 11840 |
| Sol      | 24,50  | 49,00 | 98,00 | 196,0 | 392,0 | 784,0 | 1568 | 3136 | 6272 | 12544 |
| Sol#-Lab | 25,96  | 51,91 | 103,8 | 207,7 | 415,3 | 830,6 | 1661 | 3322 | 6645 | 13290 |
| La       | 27,50  | 55,00 | 110,0 | 220,0 | 440,0 | 880,0 | 1760 | 3520 | 7040 | 14080 |
| La#-Sib  | 29,14  | 58,27 | 116,5 | 233,1 | 466,2 | 932,3 | 1865 | 3729 | 7459 | 14917 |
| Si       | 30,87  | 61,74 | 123,5 | 246,9 | 493,9 | 987,8 | 1976 | 3951 | 7902 | 15804 |

Nella musica si usano ottave che iniziano sempre con il **Do**, ma nulla vieta di iniziare con altre note. Come visto con il **La** fondamentale, è possibile ricavare le frequenze di tutte le note fissandone una di riferimento e conoscendo la «distanza» da questa.



# Frequenza dei suoni – Pianoforte

| Note     | ottave |       |       |       |       |       |      |      |      |       |
|----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|-------|
|          | 0      | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6    | 7    | 8    | 9     |
| Do       | 16,35  | 32,70 | 65,41 | 130,8 | 261,6 | 523,3 | 1047 | 2093 | 4186 | 8372  |
| Do#-Reb  | 17,32  | 34,65 | 69,30 | 138,6 | 277,2 | 554,4 | 1109 | 2217 | 4435 | 8870  |
| Re       | 18,35  | 36,71 | 73,42 | 146,8 | 293,7 | 587,3 | 1175 | 2349 | 4699 | 9397  |
| Re#-Mib  | 19,45  | 38,89 | 77,78 | 155,6 | 311,1 | 622,3 | 1245 | 2489 | 4978 | 9956  |
| Mi       | 20,60  | 41,20 | 82,41 | 164,8 | 329,6 | 659,3 | 1319 | 2637 | 5274 | 10548 |
| Fa       | 21,83  | 43,65 | 87,31 | 174,6 | 349,2 | 698,5 | 1397 | 2794 | 5588 | 11175 |
| Fa#-Solb | 23,12  | 46,25 | 92,50 | 185,0 | 370,0 | 740,0 | 1480 | 2960 | 5920 | 11840 |
| Sol      | 24,50  | 49,00 | 98,00 | 196,0 | 392,0 | 784,0 | 1568 | 3136 | 6272 | 12544 |
| Sol#-Lab | 25,96  | 51,91 | 103,8 | 207,7 | 415,3 | 830,6 | 1661 | 3322 | 6645 | 13290 |
| La       | 27,50  | 55,00 | 110,0 | 220,0 | 440,0 | 880,0 | 1760 | 3520 | 7040 | 14080 |
| La#-Sib  | 29,14  | 58,27 | 116,5 | 233,1 | 466,2 | 932,3 | 1865 | 3729 | 7459 | 14917 |
| Si       | 30,87  | 61,74 | 123,5 | 246,9 | 493,9 | 987,8 | 1976 | 3951 | 7902 | 15804 |

Tipicamente il pianoforte conta 88 tasti.

Talvolta è possibile avere pianoforti con 97 tasti, aventi cioè l'ottava 0 completa.

E' anche possibile trovare pianoforti elettronici con 76 tasti (6 ottave), e tastiere con 61 tasti (5 ottave) e 49 tasti (4 ottave)



# Alcune frequenze tipiche (dal testo)

| Suono  | Frequenza (Hz) |
|--|----------------|
| La nota più bassa di un pianoforte               | 27,5           |
| La nota più bassa di un cantante basso           | 100            |
| La nota più bassa di un clarinetto               | 104,8          |
| <b>Il do centrale del pianoforte</b>             | <b>261,6</b>   |
| <b>Il la oltre il do centrale del pianoforte</b> | <b>440</b>     |
| L'estensione superiore di un soprano             | 1000           |
| La nota più alta di un pianoforte                | 4186           |
| L'armonica superiore degli strumenti musicali    | 10.000         |
| Il limite dell'udito nelle persone anziane       | 12.000         |
| Il limite dell'udito                             | 16.000-20.000  |



# AMPIEZZA ED INVILUPPO



# Ampiezza – Inviluppo

- Normalmente un suono inizia in un certo istante di tempo e termina in un altro. Prima e dopo troviamo silenzio.
- Come si comporta il volume di un suono durante il suo tempo di vita?
- In generale la variazione dell'ampiezza segue un certo andamento, detto **inviluppo**.

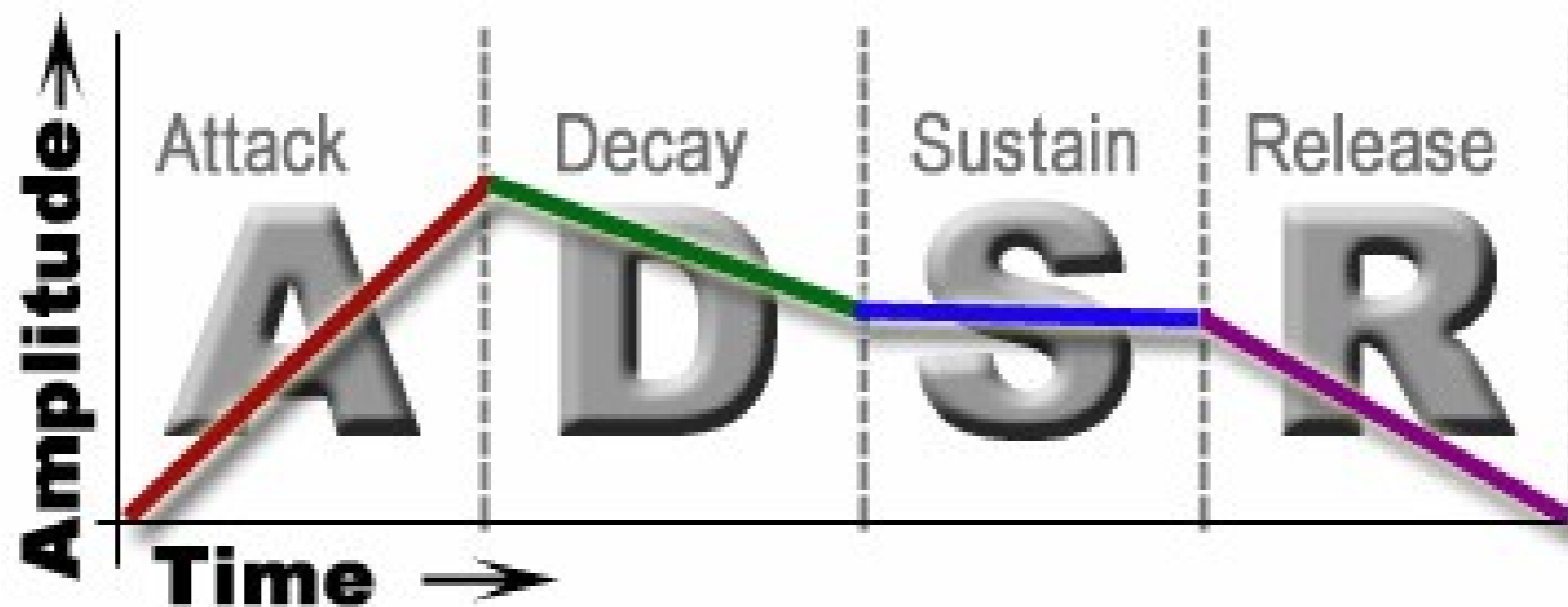




# Ampiezza – Inviluppo

L'inviluppo è l'andamento dell'ampiezza o volume di un suono dall'istante in cui esso viene generato al momento in cui si estingue.

Esistono vari tipi di inviluppo. Uno dei più famosi è quello che caratterizza le note suonate da strumenti musicali: **ADSR**.





# Ampiezza – Involuppo **ADSR**

## I Transitori

- **Attack:** è la prima fase, e rappresenta l'intervallo di tempo che il suono impiega a passare da ampiezza nulla ad ampiezza massima.
- **Decay:** successiva all'Attack, è l'intervallo di tempo necessario a raggiungere un'ampiezza costante.
- **Sustain:** in questa fase l'ampiezza rimane pressoché costante
- **Release:** nell'ultima fase l'ampiezza, da costante, cala fino ad arrivare a zero.



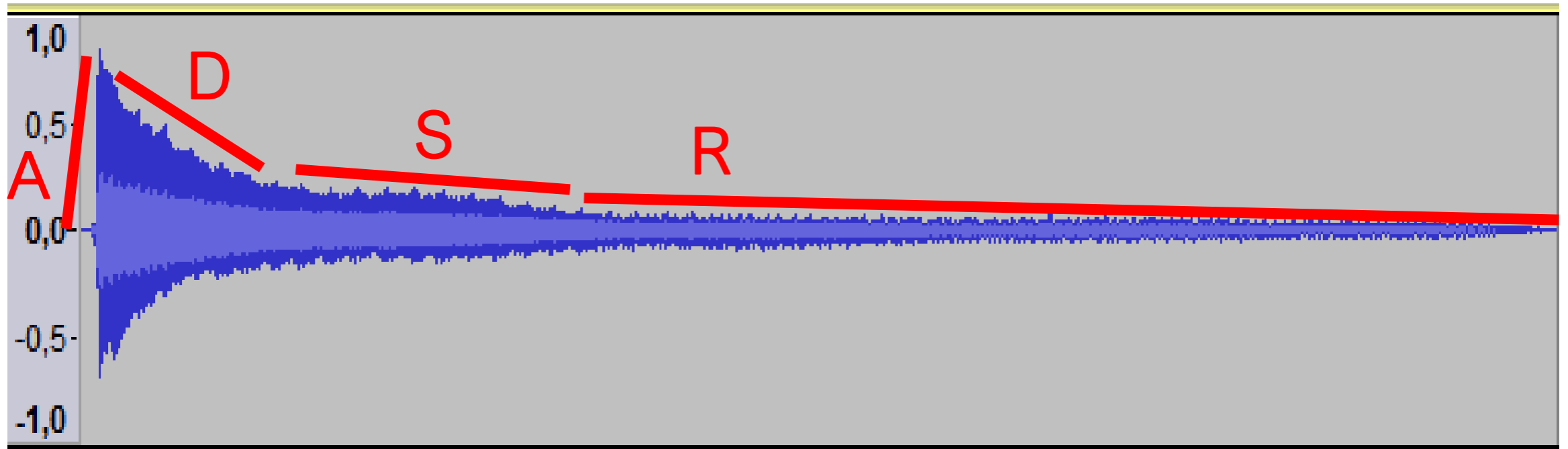
# Ampiezza – Inviluppo ADSR



Ogni strumento musicale ha un inviluppo ADSR caratteristico, in cui variano i tempi di Attack-Decay-Sustain-Release.



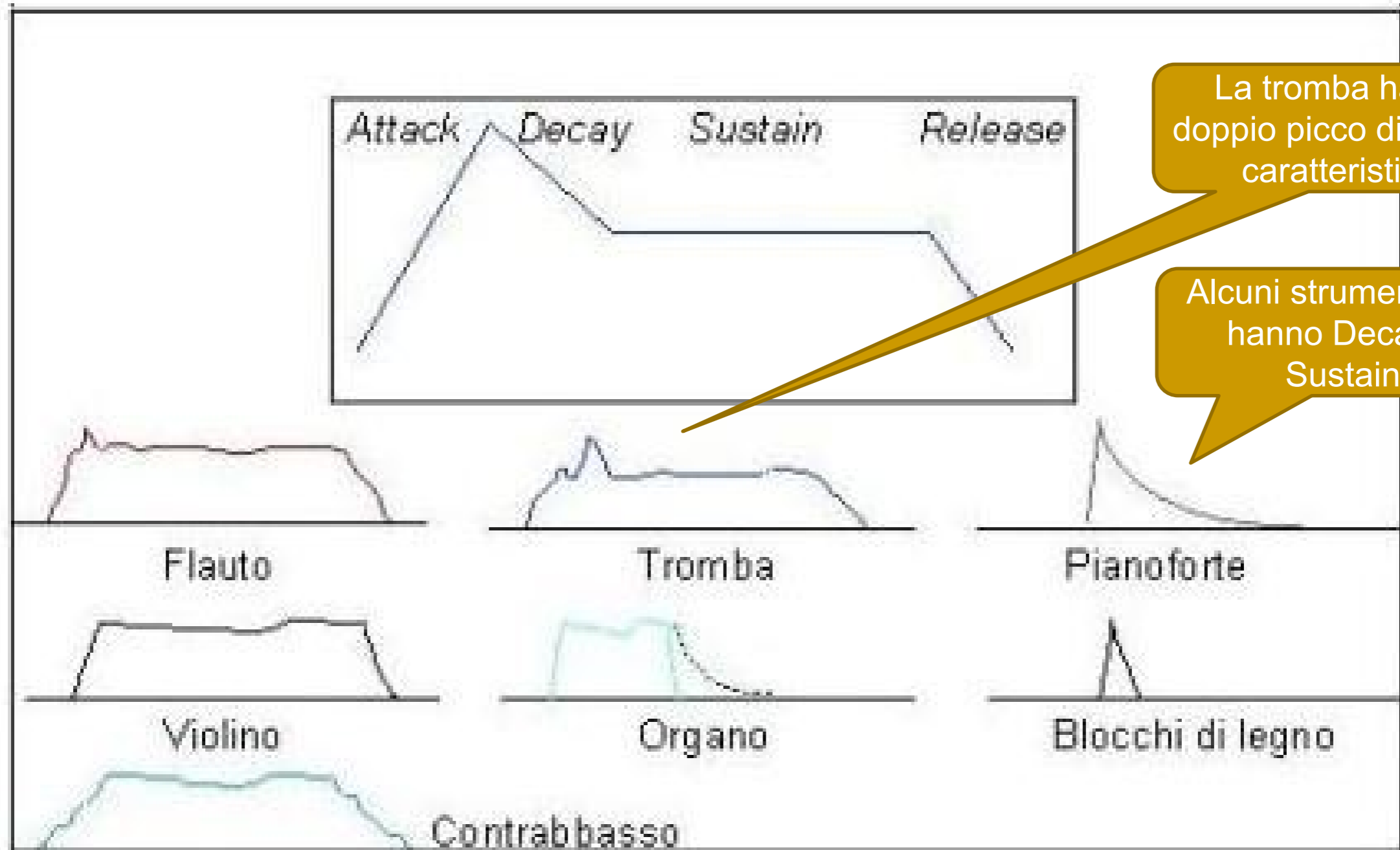
# Ampiezza – Esempio inviluppo



Nell'esempio un **La** di chitarra. Si noti la breve durata della fase di Attack e la lunga durata della fase di Release.

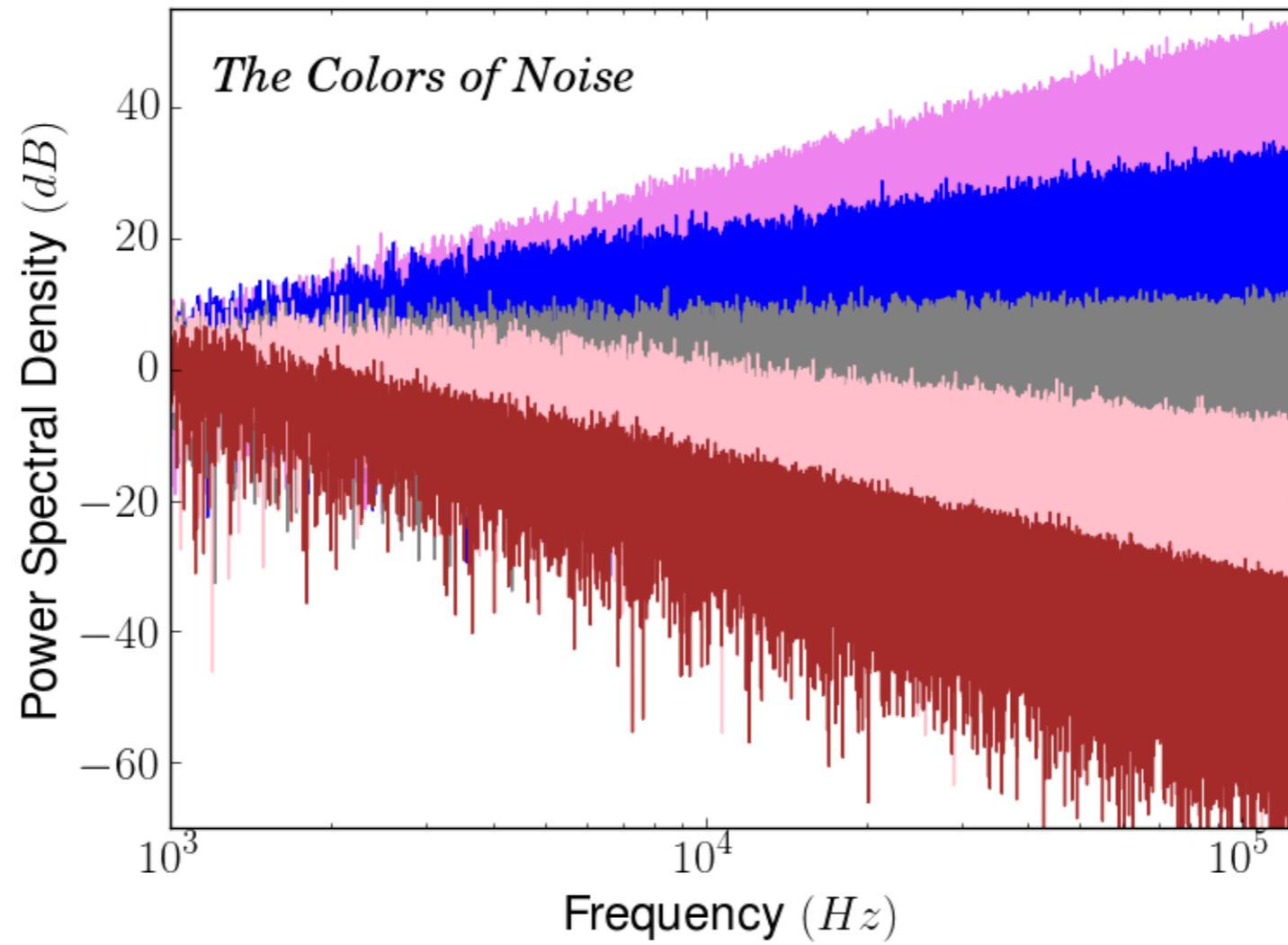


# Ampiezza – Esempi inviluppi



La tromba ha un doppio picco di Attack caratteristico

Alcuni strumenti non hanno Decay e Sustain



# RUMORI COLORATI



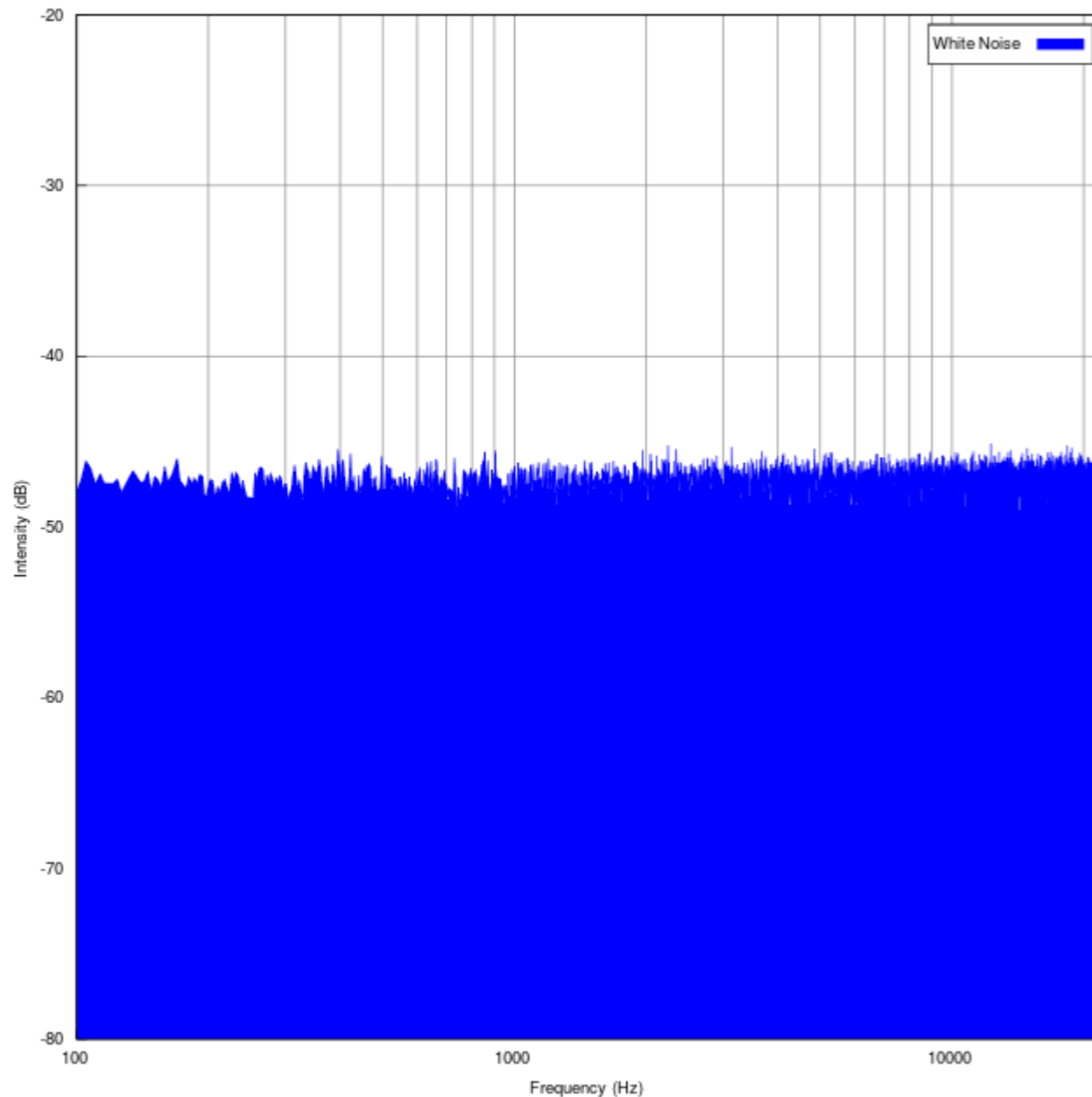
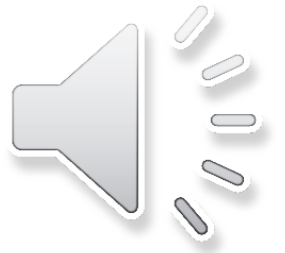
# Spettro – Rumori colorati

Il **rumore**, in generale, è un segnale non desiderato e imprevedibile, che sommandosi ad altri segnali, li distorce in maniera più o meno grave. Poiché nella maggior parte dei casi non è voluto, si cerca di attenuarlo il più possibile.

Tuttavia nell'acustica, esistono particolari onde sonore, con uno **spettro** ben noto che vengono chiamati *rumori*, ma solo perché caratterizzati da una componente *aleatoria*. In realtà questi *rumori* vengono studiati e utilizzati in maniera vantaggiosa. Vedremo il **rumore: bianco, rosa, marrone, blu, viola e grigio.**



# Rumore bianco

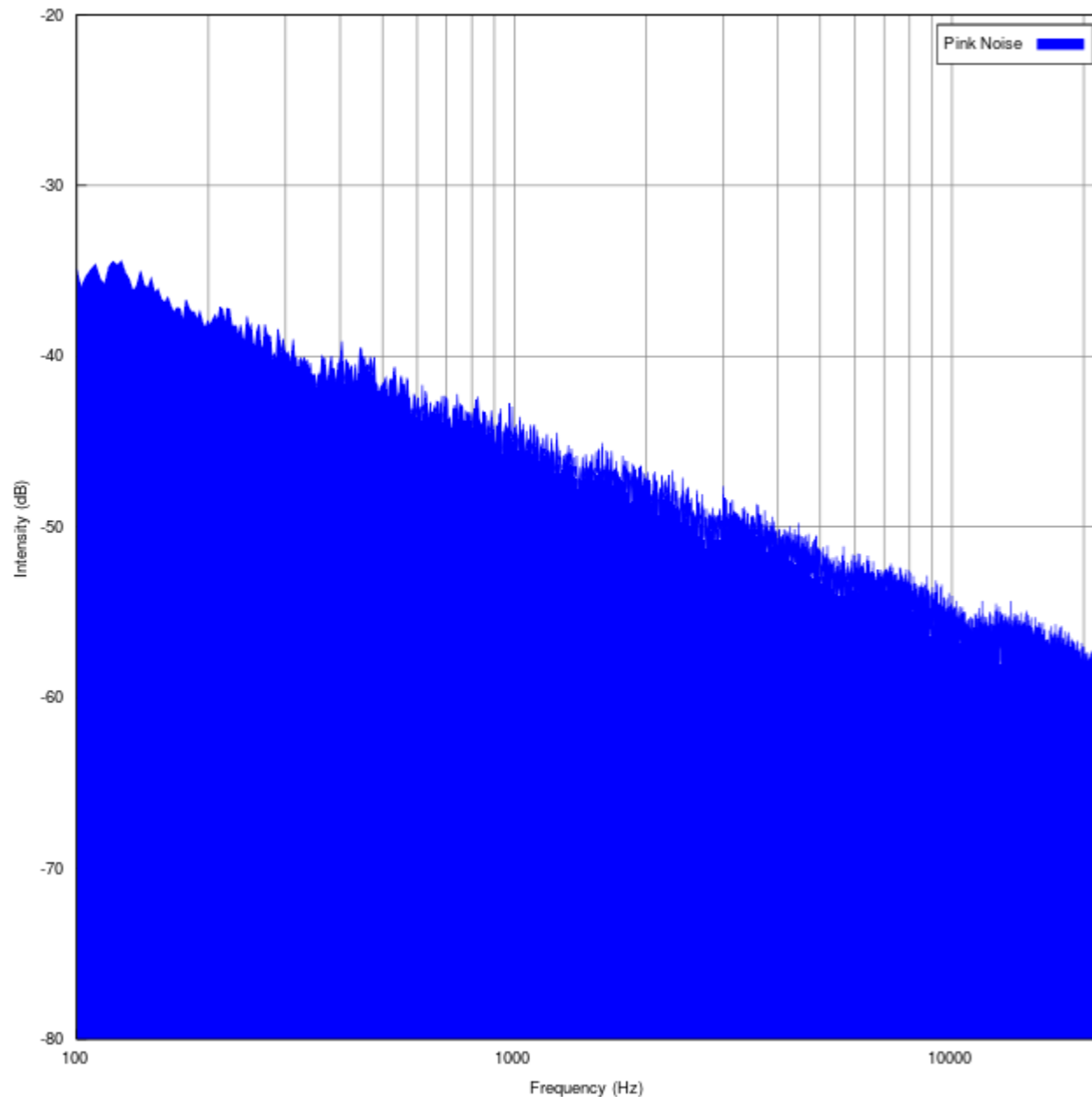
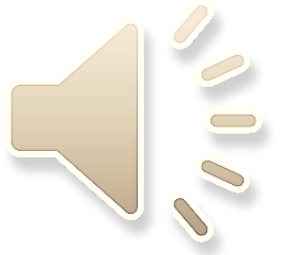


- Caratterizzato da valori di ampiezza del tutto casuali rispetto al tempo, e costanti rispetto alle frequenze (solo idealmente). **I valori seguono una legge di probabilità uniforme.**
- Esiste solo teoricamente, ma può essere approssimato digitalmente o osservando fenomeni naturali aleatori.
- Usi: test per la risposta in frequenza dei sistemi acustici, generazione di numeri casuali, rilassamento.





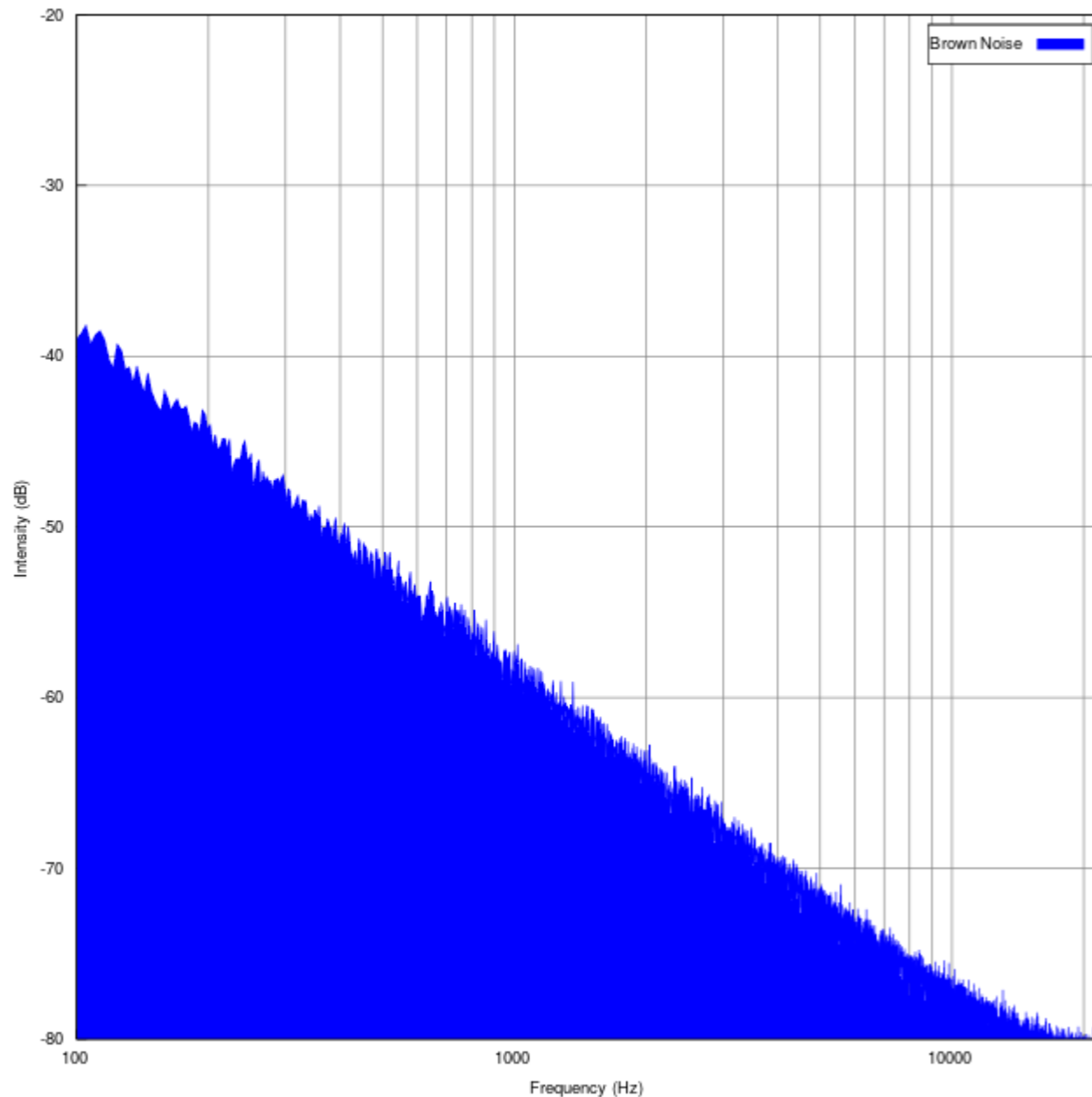
# Rumore rosa



- Lo spettro presenta una relazione inversamente proporzionale tra frequenza e ampiezza.
- In particolare l'intensità si dimezza quando raddoppia la frequenza. Questo corrisponde ad un **decremento di 3 dB per ottava**.
- Generato da fenomeni naturali, a livello acustico ricorda il suono della pioggia. Viene usato come modello per l'equalizzazione della musica, cioè per amplificare maggiormente frequenze più basse e meno le alte.



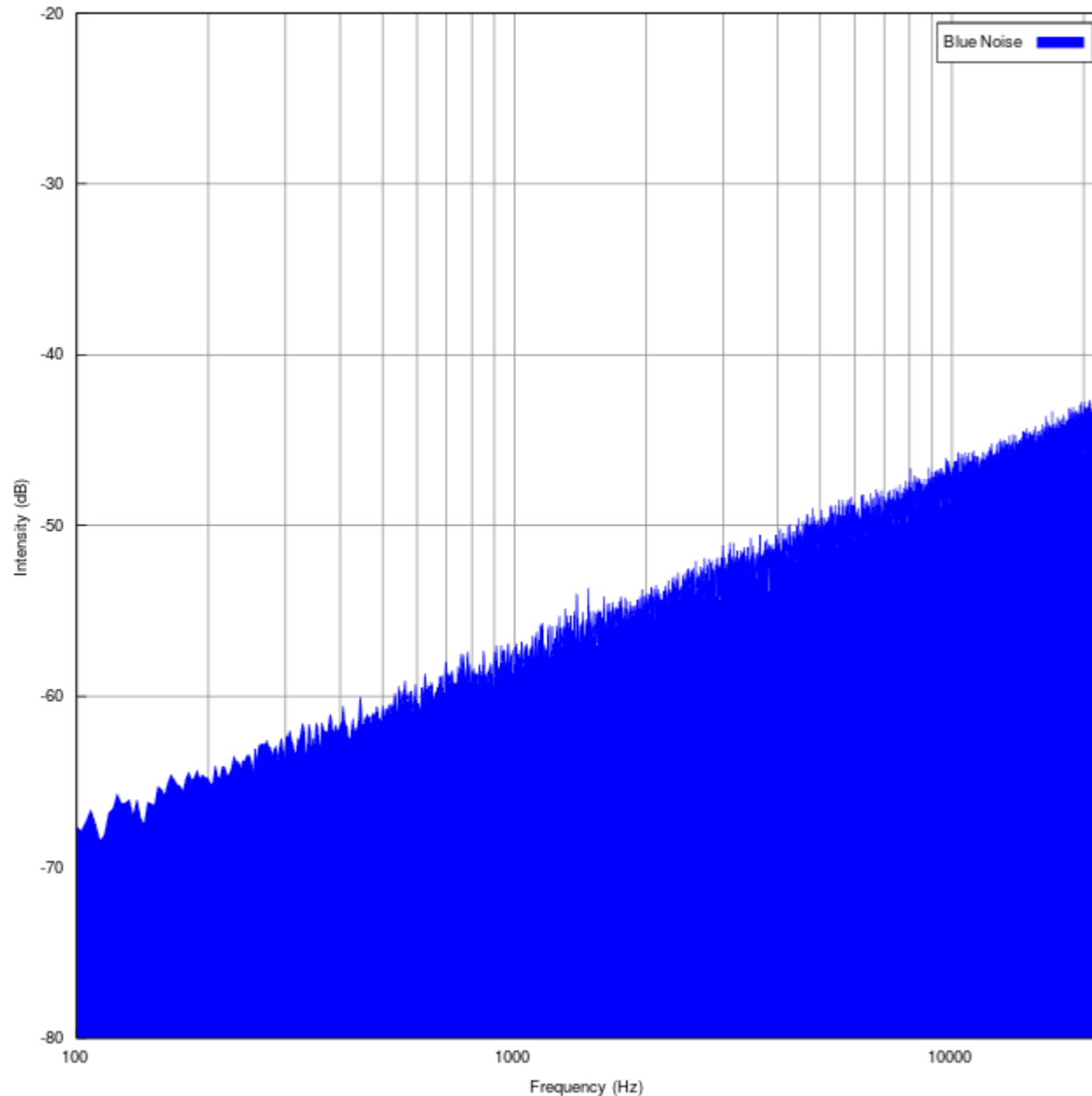
# Rumore marrone



- Come il rumore rosa lo spettro presenta un relazione inversamente proporzionale tra frequenza e ampiezza.
- L'intensità si riduce però di un quarto quando raddoppia la frequenza. Questo corrisponde ad un **decremento di 6 dB per ottava**. Il decremento è quindi più rapido rispetto al rumore rosa.
- Segue la legge del moto Browniano delle particelle di un fluido. Ricorda il fragore delle cascate d'acqua.



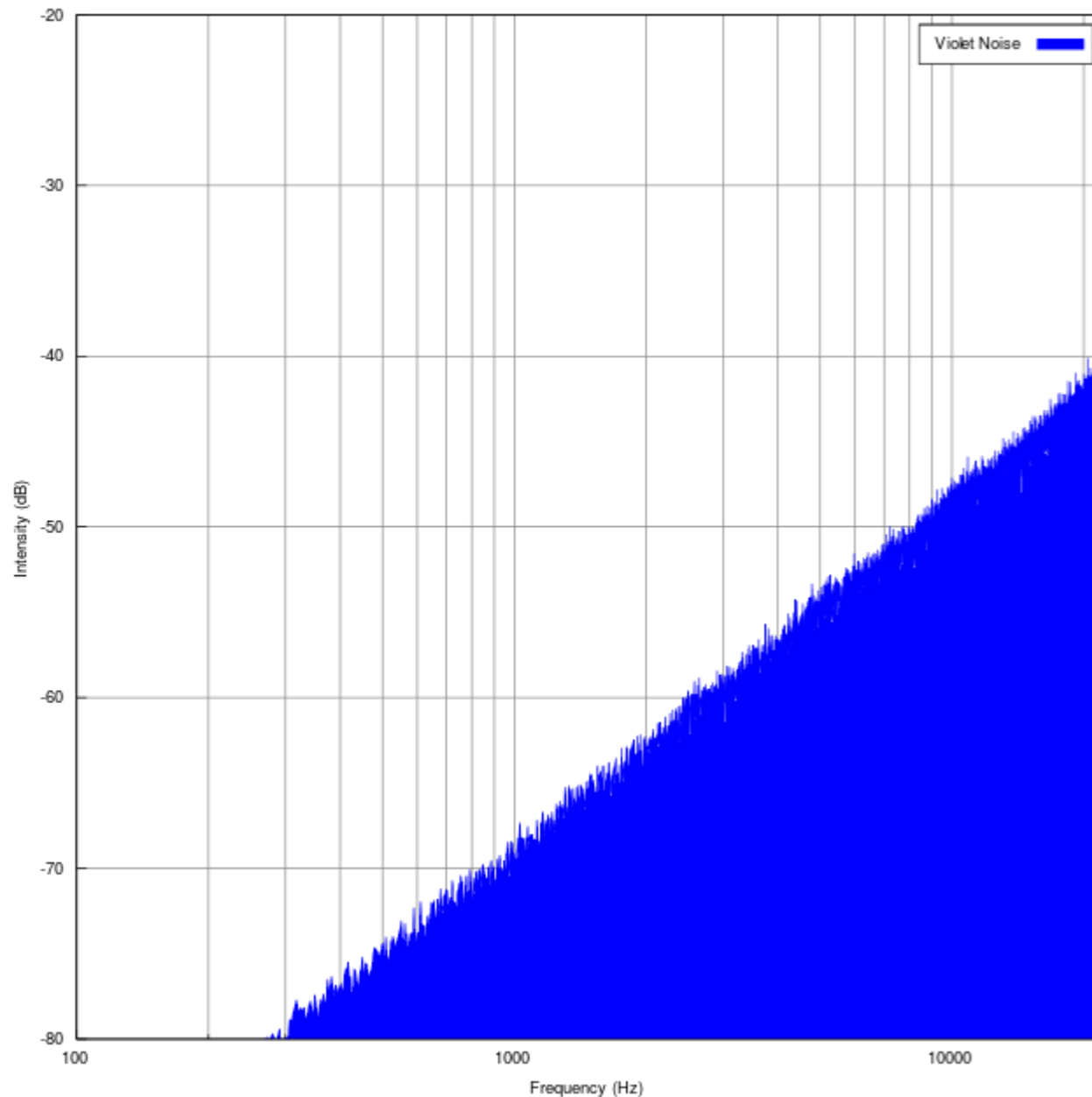
# Rumore blu



- Lo spettro presenta una relazione direttamente proporzionale tra frequenza e ampiezza.
- In particolare si ha un **incremento di 3 dB per ottava**. E' quindi speculare al rumore rosa.
- Un rumore casuale con questo spettro è adatto al Dithering, un processo di riduzione della distorsione introdotta dalla *riquantizzazione*.



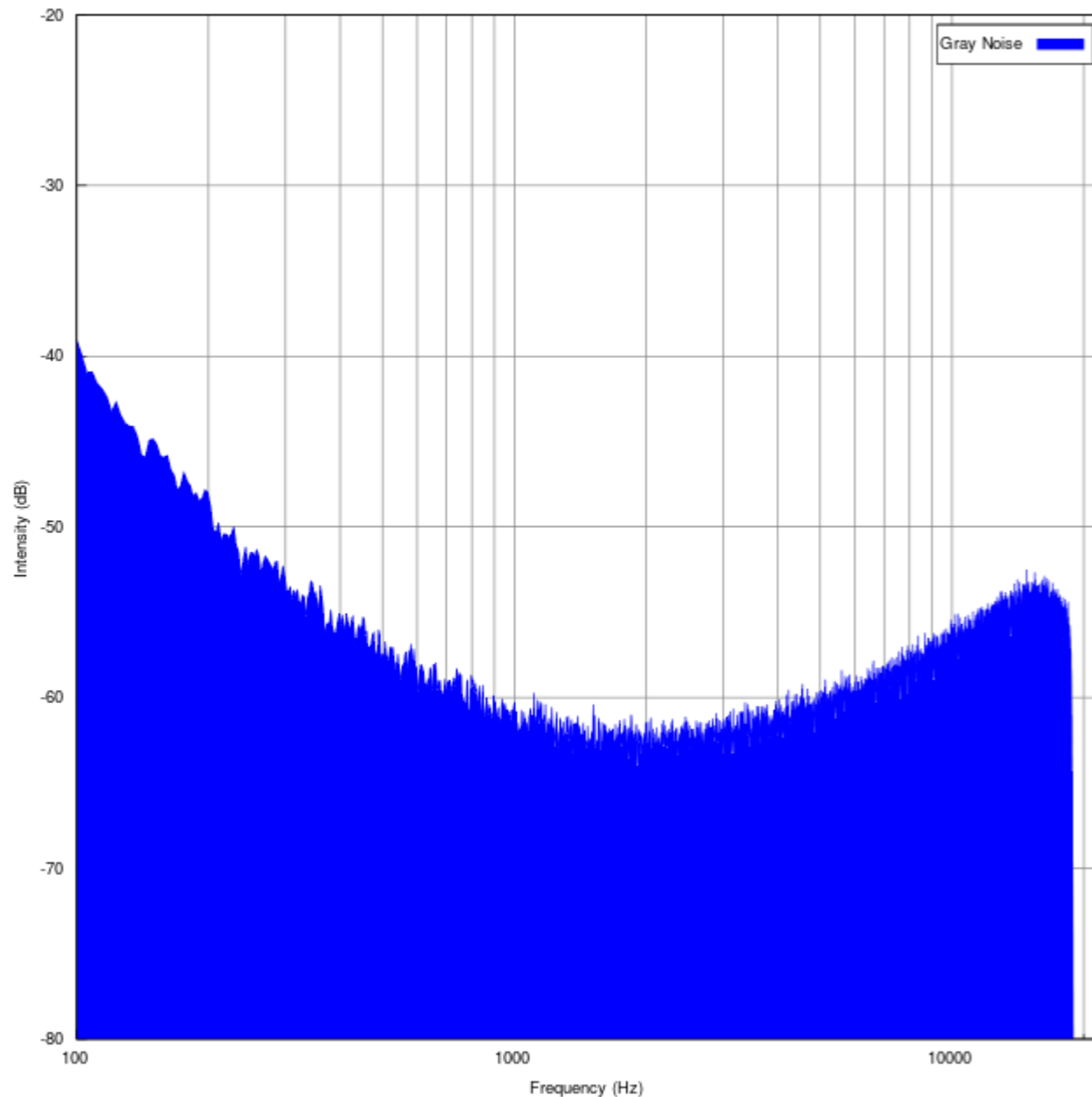
# Rumore viola



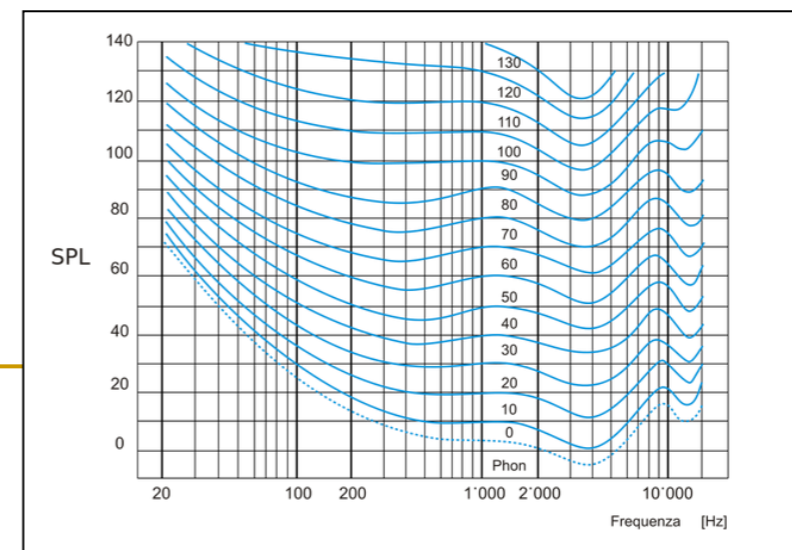
- Come nel rumore blu lo spettro presenta un crescita in intensità all'aumentare della frequenza.
- Si ha un **incremento di 6 dB per ottava**, più grande rispetto al rumore blu. E' speculare al rumore marrone.
- Il rumore viola è un segnale adatto al trattamento degli acufeni (disturbi uditivi). Il suono prodotto ricorda quello di un getto di vapore.



# Rumore grigio



- Caratterizzato da valori di ampiezza del tutto casuali come tutti gli altri rumori.
- Lo spettro segue le curve isofoniche. Viene utilizzato per equalizzare i segnali audio in modo tale che tutte le frequenze vengano percepite allo stesso volume da parte di un ascoltatore umano.





# Approfondimenti

- *Percezione del timbro*

[http://fisicaondemusica.unimore.it/Percezione\\_del\\_timbro.html](http://fisicaondemusica.unimore.it/Percezione_del_timbro.html)

- *Il Sistema temperato equabile*

<https://www.lanaturadellecose.it/sonia-cannas-289/matematica-e-musica-290/il-sistema-temperato-equabile-368.html>

- *I pianoforti hanno tutti lo stesso numero di tasti?*

<https://www.focus.it/cultura/arte/i-pianoforti-hanno-tutti-lo-stesso-numero-di-tasti>

- *Accordatura a 432 Hz – Intrighi e ribellioni!*

<https://www.scienzaeconoscenza.it/blog/consapevolezza-spiritualita/accordatura-a-432-hz>

- *I colori dei rumori*

<https://www.biopills.net/articoli/tecnologia-e-scienza/scienza/i-colori-dei-rumori/>