

IL LIBRO È
O R A
DISPONIBILE
IN TUTTI
GLI STORE!



CAMPIONAMENTO

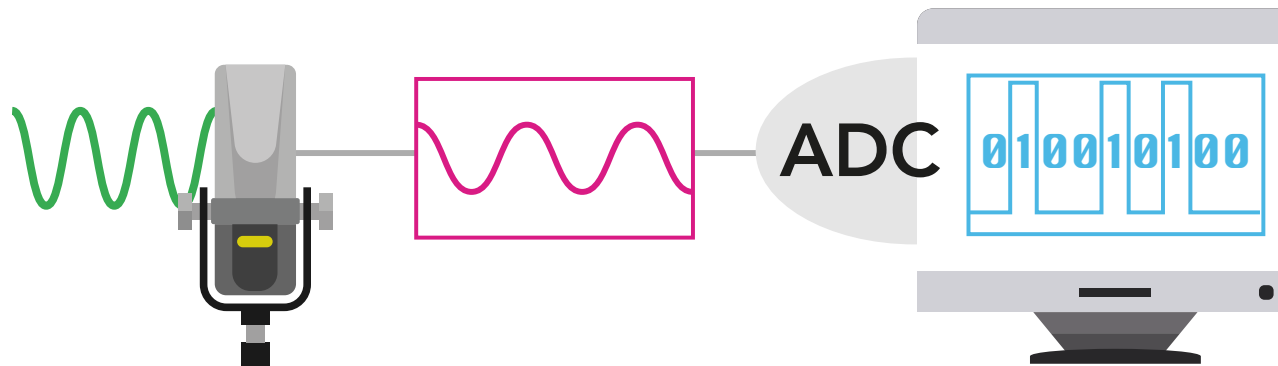
CATENA ELETTROACUSTICA
DIGITALE, CAMPIONAMENTO,
QUANTIZZAZIONE

TOMMASO ROSATI
SOUND ART





ADC

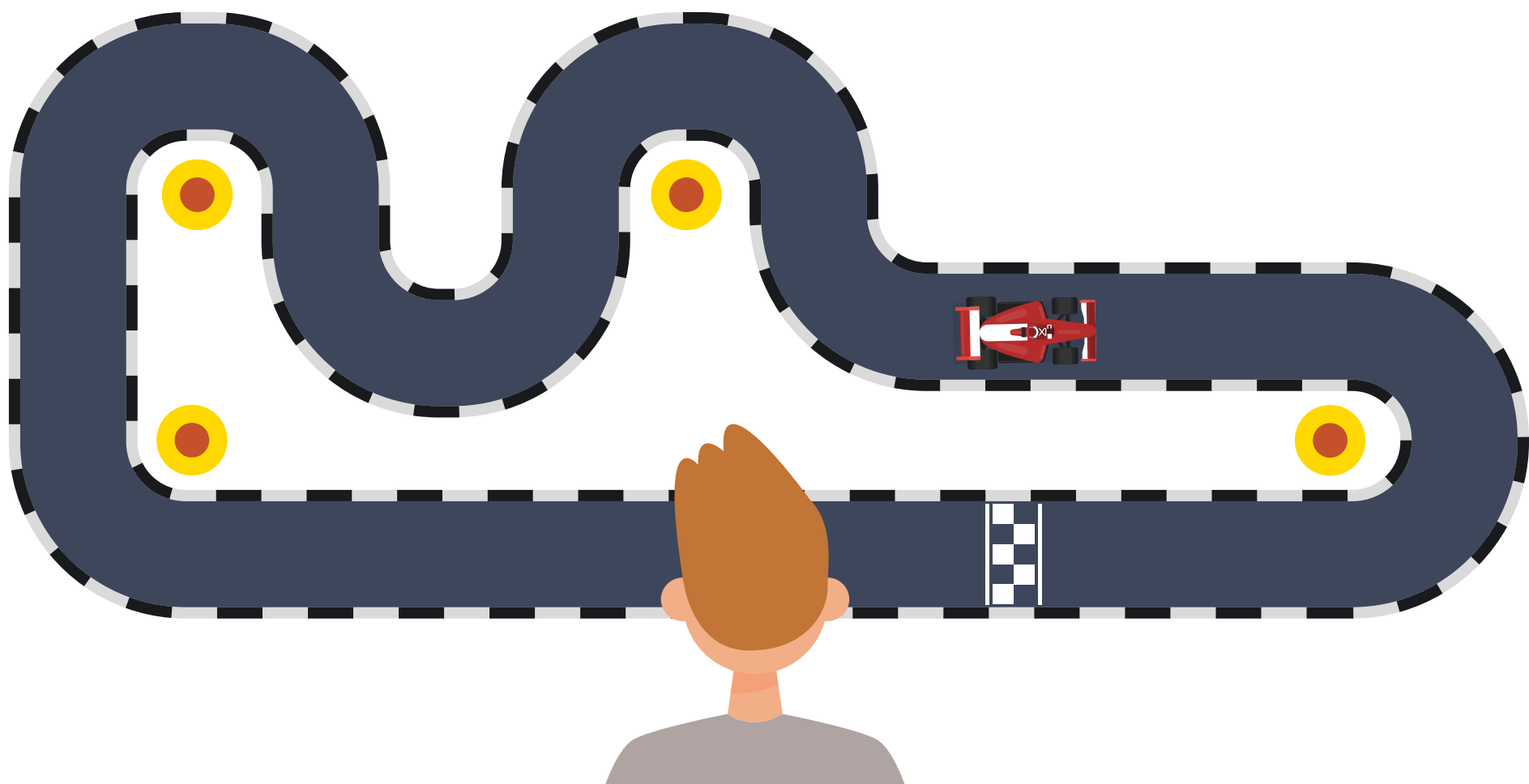


Ogni suono è formato da una somma di sinusoidi: se riesco a rappresentare la forma d'onda risultante dalla somma di tali sinusoidi riesco poi a ricostruire il suono d'origine.

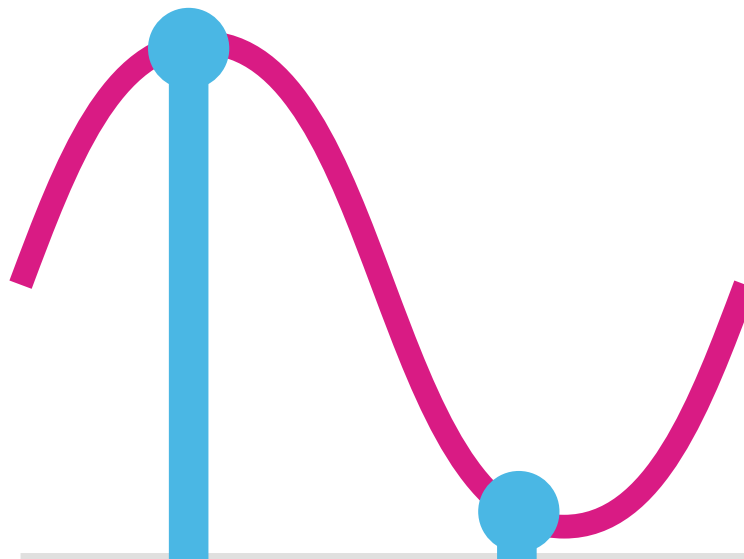
Ma con quale **frequenza** devo prendere i miei campioni per poter poi ricostruire il mio segnale d'origine senza perdita di informazioni?



ADC



ADC



1

Da due punti passa una sola sinusoide.



2

Prendo in considerazione il peggiore dei casi cioè la frequenza più alta che possiamo udire: **20000 Hz** e cerco di campionare quella.

Per farlo, siccome ho bisogno di prendere 2 punti dovrò prendere i campioni a una velocità doppia di tale frequenza: **40000 Hz**

Teorema del campionamento di Nyquist-Shannon

$$f_s \geq 2 B$$

dove B è la banda del segnale che voglio campionare. La frequenza pari alla metà della frequenza di campionamento è anche detta **frequenza di Nyquist**.

ADC

Frequenze di campionamento d'uso comune nell'audio



CD

44100 Hz 16 bit



VIDEO

48000 Hz 16/24 bit



**SCHEDA
AUDIO**

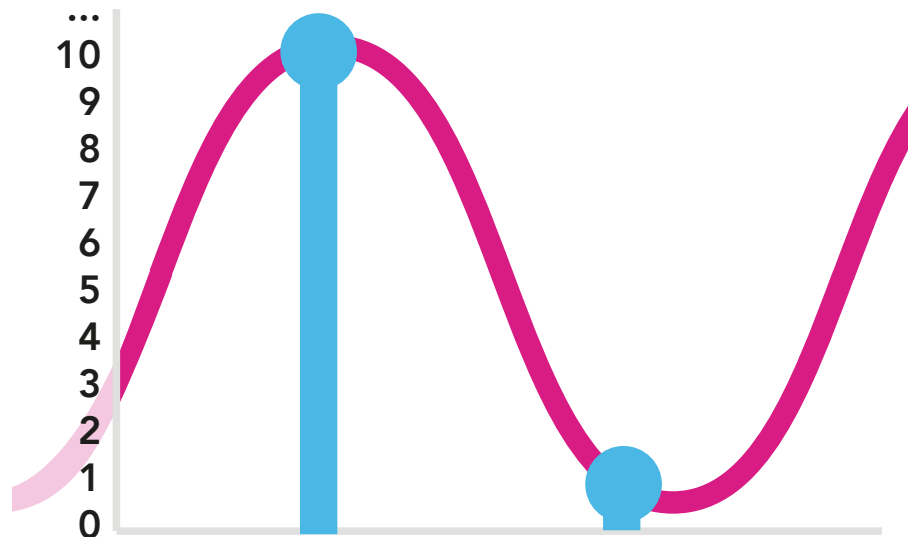
96000 Hz 24 bit



ADC

Ho trovato la frequenza di campionamento ma che valori posso dare ai miei campioni?

Qual'è il numero minimo di valori, il livello di precisione, che mi serve per poter poi ricostruire con precisione il mio suono originale?

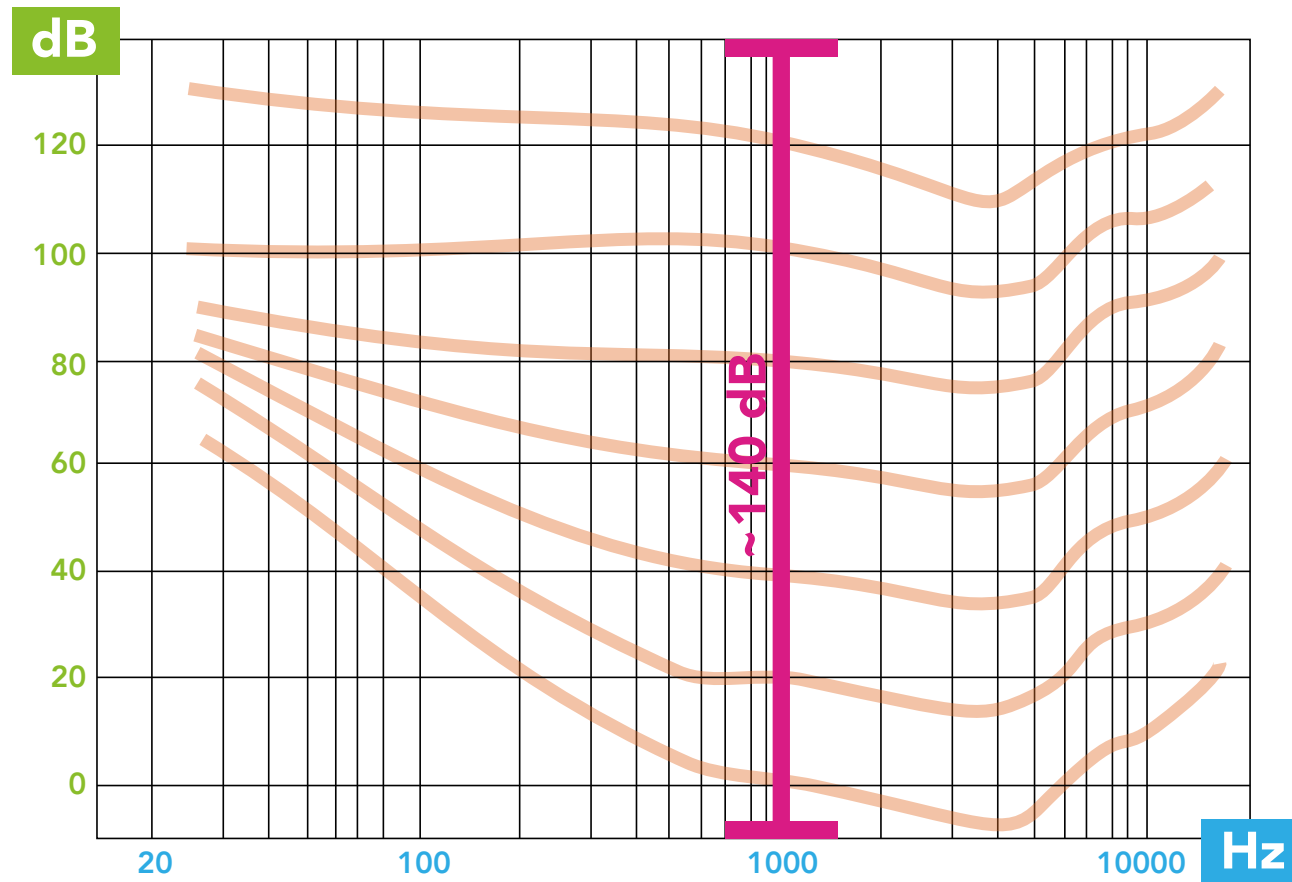




ADC

1

Il range massimo che il nostro apparato uditivo riesce a percepire è 140dB rispetto a un riferimento 0 che è il silenzio.





ADC

2

In digitale si memorizzano i dati in bit cioè celle di memoria che possono assumere uno stato di **0** o di **1**.

Devo quindi trovare il numero di bit che mi permette di rappresentare 100-140dB.

Ricordiamoci che un certo numero di bit ha un numero preciso di stati possibili, dati dal calcolo:

$$\text{numero di stati possibili per 1 bit (0 o 1)} = 2^{\text{numero di bit}}$$



ADC

3

In dB il raddoppio dell'ampiezza si calcola sommando 6dB perché i dB sono una scala logaritmica

In 1 bit ci sono due stati possibili: 0 oppure 1. Se considero 0 come il silenzio e 1 come il suono posso dire che 1 è l'ampiezza doppia del mio silenzio (6dB).

E se adesso voglio raddoppiare la quantità di stati possibili devo salire di un bit.

Con 2 bit ho infatti 4 stati possibili, ecco che posso rappresentare 12dB (il doppio dell'ampiezza di 6dB).

Con 3 bit ho 8 stati e rappresento il doppio di 12dB che è 18dB

etc...

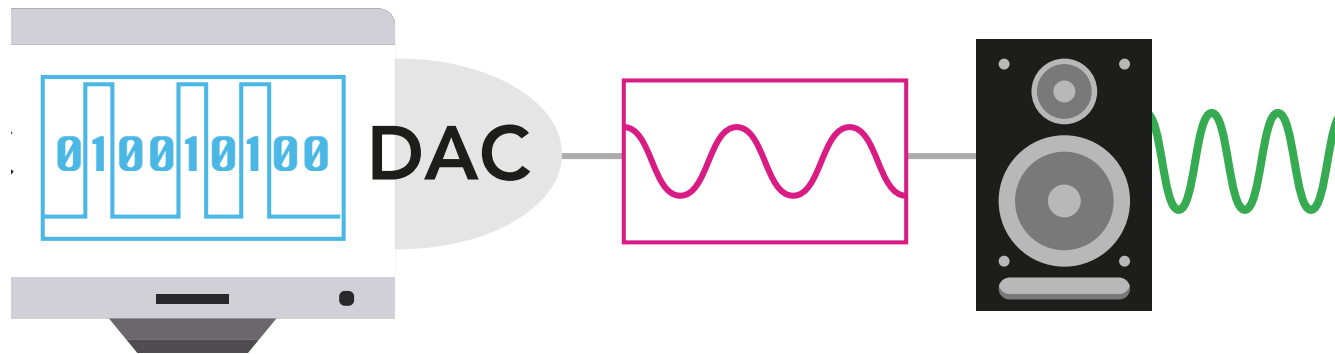


Ecco la regola:

Ad ogni bit che aumento guadagno 6dB

bit	stati	dB
1	2	6
2	4	12
3	8	18
4	16	24
5	32	30
8	256	48
16	65.536	96
24	16.777.216	144

DAC



Nella fase di ricostruzione del segnale analogico possiedo una serie di campioni e devo costruire quello che c'è tra un campione e l'altro.

Qual'è la **funzione** che crea un'interpolazione tra i campioni che mi riporti in maniera fedele al suono originale?



DAC

Frequenze di campionamento e quantizzazioni d'uso comune nell'audio



CD

44100 Hz 16 bit



VIDEO

48000 Hz 16/24 bit

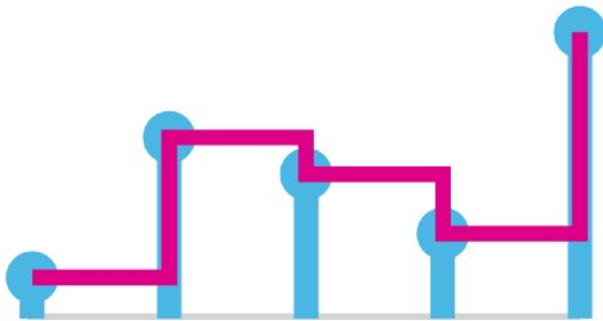


**SCHEDA
AUDIO**

96000 Hz 24 bit

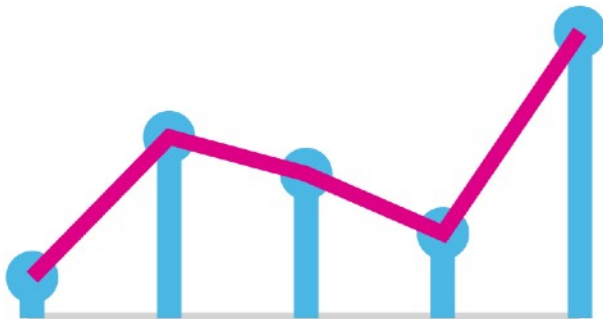
DAC

Nella storia si sono fatte varie prove prima di arrivare alla funzione "perfetta":



Sample and Hold

Primi esperimenti sul CD, semplice da un punto di vista elettrico (impulso di tipo rettangolare) ma riproduce un suono poco fedele, ricco di risonanze acute.



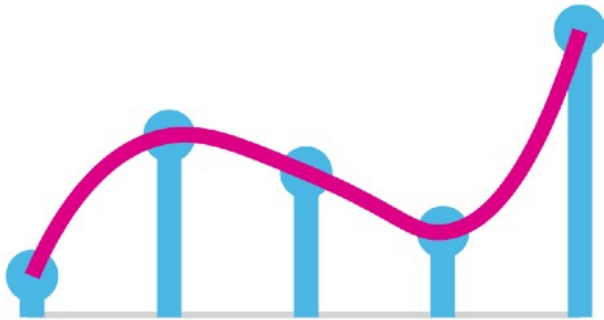
Interpolazione lineare

Di poco più elaborata della precedente (impulso di tipo triangolare) ma ancora lontano dalla fedeltà con l'originale.



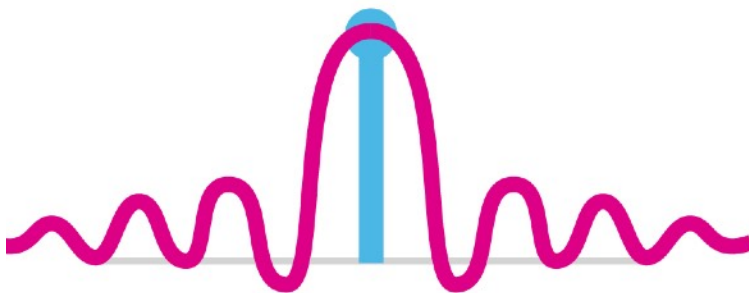
DAC

Nella storia si sono fatte varie prove prima di arrivare alla funzione "perfetta":



Spline cubiche

Funzione creata con polinomi di terzo grado, riproduce un suono piuttosto fedele all'originale ma ancora non "perfetto".



Seno Cardinale

Ci permette di ricostruire in maniera perfettamente fedele l'informazione presente fra i due campioni.



ADC-DAC

Quando campiono a una certa frequenza di campionamento si creano della ambiguità con i multipli della frequenza di campionamento. Queste ambiguità prendono il nome di **ALIAS**.

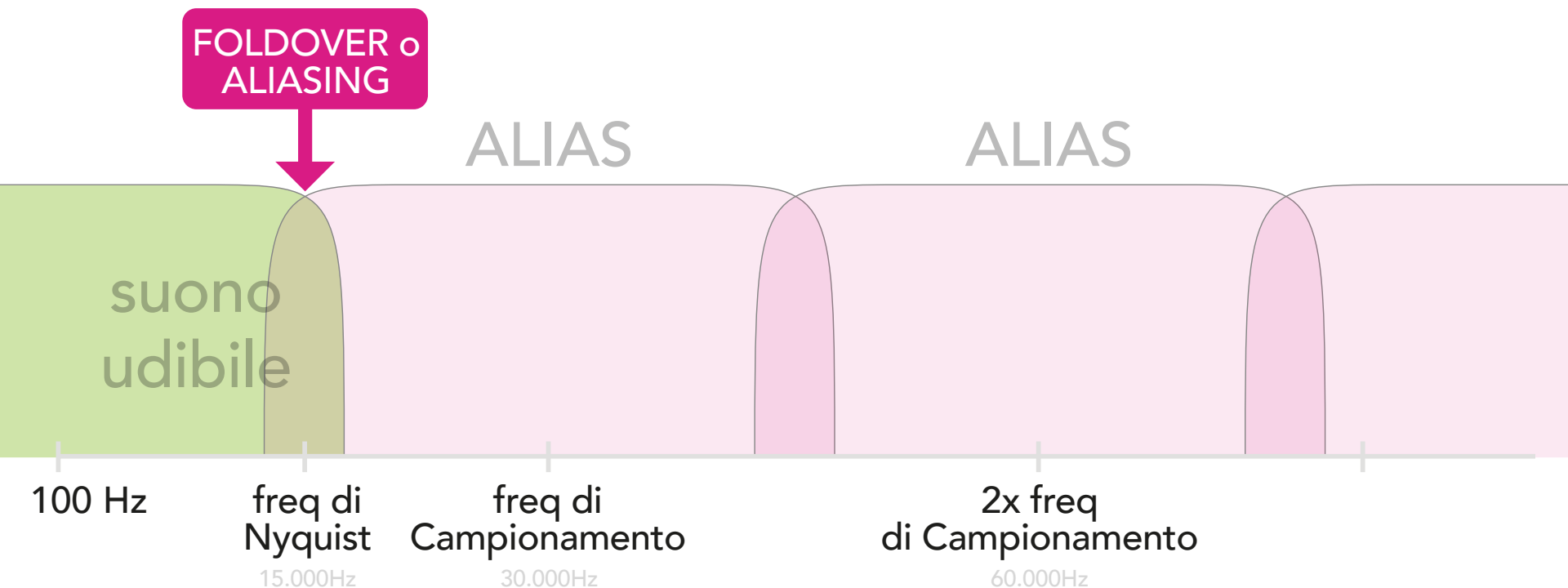


Se campiono con una freq. di campionamento molto alta il fenomeno dell'aliasing non crea grosse difficoltà a meno che non introduca frequenze molto superiori alla freq. di Nyquist.



ADC-DAC

Quando introduco frequenze superiori alla frequenza di Nyquist tali frequenze subiscono un "ripiegamento" detto **foldover (o aliasing)** dovuto alla sovrapposizione tra la parte positiva della frequenza reale con quella speculare negativa della frequenza alias.





ADC-DAC

Per ovviare ai problemi dovuti al **foldover (o aliasing)** posso quindi:

- mettere un **filtro LP (di antialiasing)** molto pendente prima di campionare e dopo aver ricostruito il segnale analogico
- Aumentare la **Frequenza di campionamento**
- Fare **Oversampling**

L'Oversampling si fa in fase di ricostruzione del segnale mettendo dei campioni "aggiuntivi" tra i campioni realmente presi dall'ADC. Questo equivale ad aver campionato al doppio della frequenza.





SUONO ELETTRONICO

MANUALE PER STUDENTI
DI TECNOLOGIE MUSICALI
E ALTRI ESPLORATORI
DI SUONI



TOMMASO ROSATI

IL LIBRO È
ORA
DISPONIBILE
IN TUTTI
GLI STORE!