

Musica e computer

Audio digitale e tecnologie MIDI

Prima parte: Dal suono all'elettricità – La conversione analogico/digitale

Obiettivi del nostro lavoro:

- ❖ Conoscere il funzionamento dell'apparato uditivo e di come avviene la percezione del suono.
- ❖ Capire il procedimento di trasformazione del suono in corrente elettrica.
- ❖ Scoprire la differenza tra la comunicazione analogica e quella digitale.
- ❖ Conoscere il codice binario e il suo utilizzo in ambito informatico.
- ❖ Capire come avviene la digitalizzazione di un suono e quali sono le applicazioni in ambito musicale di questo procedimento.

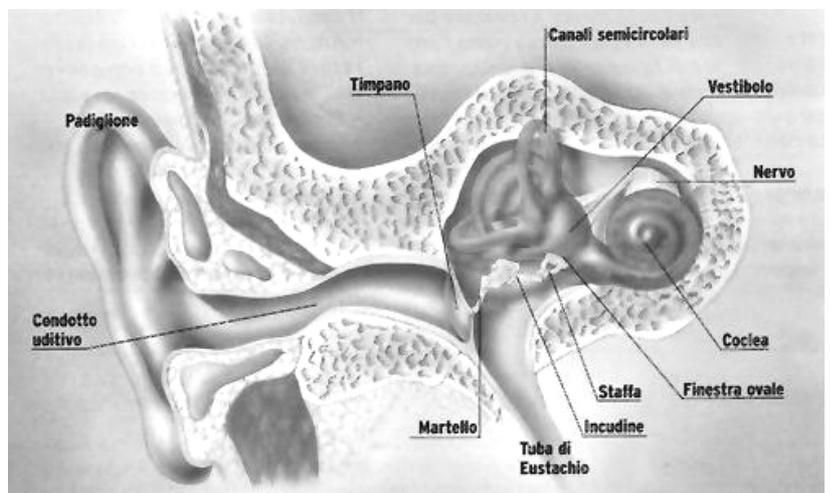
La percezione del suono

Un suono è un'onda di pressione che parte da un oggetto che vibra e si propaga nell'aria circostante. Per poter percepire quest'onda sonora l'uomo utilizza l'orecchio, un organo complesso ed estremamente sensibile.

La porta di ingresso del nostro orecchio è una membrana elastica e sensibile, chiamata **timpano**. Il suono, o meglio l'onda di pressione che penetra nel condotto, si infrange contro il timpano che oscilla impercettibilmente seguendo le variazioni di pressione dell'onda sonora.

La vibrazione del timpano si trasmette a sua volta alla catena dei **tre ossicini dell'orecchio medio** (martello, incudine e staffa). I loro movimenti sono amplificati venti volte e trasmessi all'orecchio interno. Qui si trova un organo chiamato **coclea o chiocciola** per la sua caratteristica forma a spirale.

La chiocciola è l'organo più delicato e complesso del nostro apparato uditivo. Al suo interno sono presenti migliaia di **cellule cigliate** (circa ventimila per ciascun orecchio). Il loro compito è quello di convertire le vibrazioni meccaniche che giungono dagli ossicini in impulsi elettrici che verranno inviati al cervello utilizzando il **nervo uditivo**.



Dal suono all'elettricità

La trasformazione del suono in corrente elettrica ha consentito l'ingresso della musica nelle nostre case attraverso radio, registratori e dischi. Per passare dal mondo dei suoni, fatto di onde di pressione che si propagano nell'ambiente, al mondo dei segnali elettrici che viaggiamo su fili di rame occorrono due dispositivi elettronici:

- ❖ **Il microfono**
- ❖ **L'altoparlante**

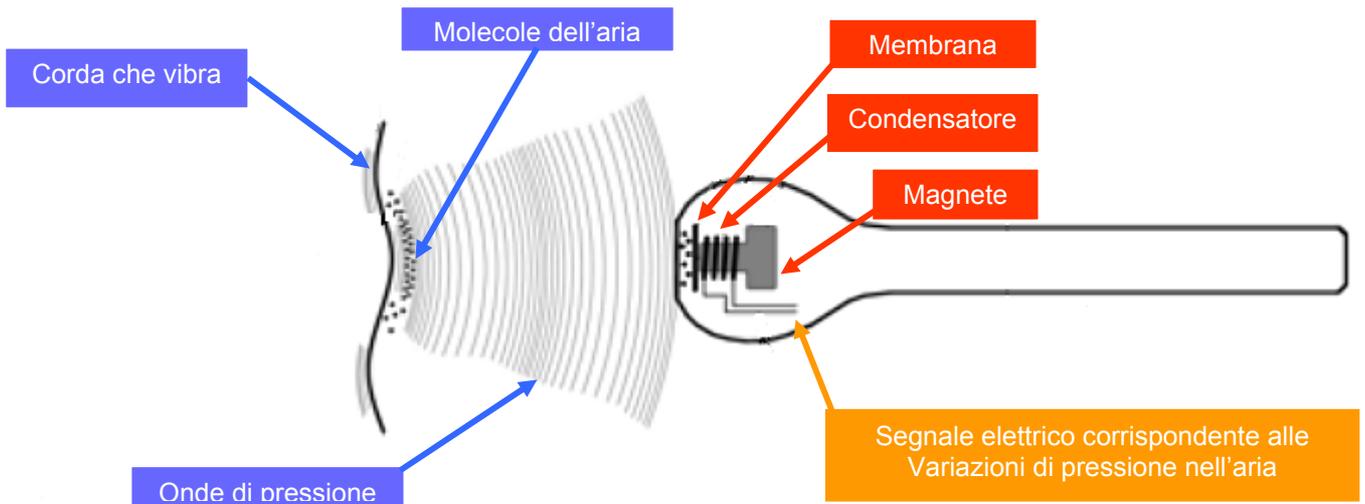
Il microfono

Il funzionamento del microfono simula quello dell'orecchio umano, che trasforma l'energia del segnale sonoro in energia meccanica attraverso la membrana del timpano.

Anche nel microfono infatti c'è una membrana che vibra e, successivamente, l'energia meccanica di questa vibrazione viene trasformata in energia elettrica, tenendo conto della velocità o dell'ampiezza dello spostamento della membrana.

Questa trasformazione avviene per mezzo di un componente elettrico chiamato **condensatore**.

Conversione di un onda sonora in segnale elettrico analogico

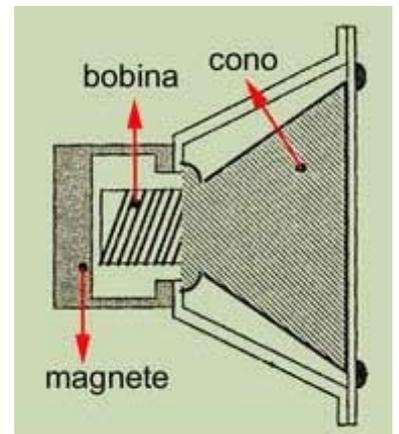


L'altoparlante

L'altoparlante è una membrana di cartone a forma di cono che si occupa di generare nell'aria circostante le onde di pressione che giungeranno al nostro orecchio.

Per poter oscillare seguendo le variazioni del segnale elettrico questo cono è collegato ad una **bobina elettromagnetica**.

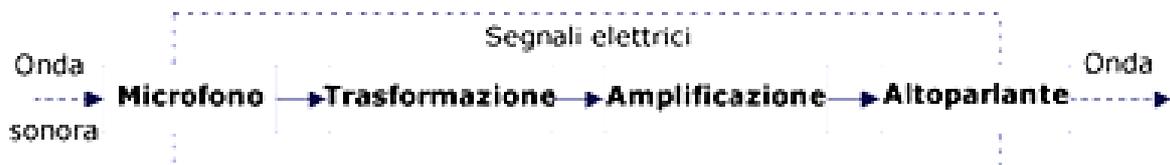
Per essere messa in movimento la bobina richiede un segnale elettrico di potenza sufficientemente alta (qualche decina di Watt). Per raggiungere questa potenza si usa un dispositivo chiamato **amplificatore**.



La trasformazione di un suono in un segnale elettrico è un'operazione fondamentale in campo musicale.

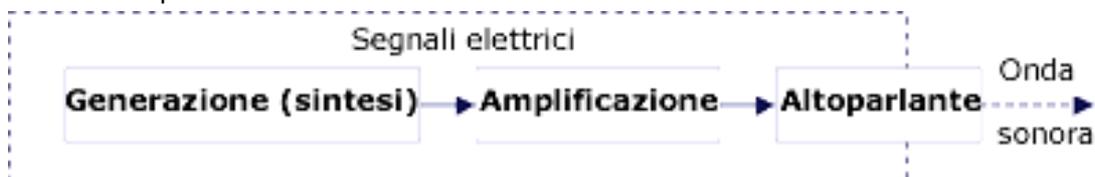
Un segnale elettrico, ad esempio, può essere memorizzato su di un nastro magnetico e riascoltato in qualsiasi momento, oppure può essere trasmesso via radio.

Prima di essere inviato all'amplificatore il segnale elettrico che rappresenta il suono può essere trasformato applicando i cosiddetti effetti. Gli effetti permettono di ricreare il riverbero di un ambiente, la distorsione del suono di una chitarra elettrica, ecc.



Oppure si può generare ex-novo un segnale elettrico oscillante e poi trasformarlo in un suono. Questo procedimento, chiamato "**sintesi sonora**" era utilizzato dai vecchi "sintetizzatori" (ad esempio il famosissimo Moog).

Questi suoni elettrici vengono chiamati **analogici** per distinguerli da quelli **digitali**, che sono generati dai computer.



Analogico e digitale

La comunicazione analogica si basa sulla somiglianza (analogia) tra la grandezza comunicata e il dato da comunicare.

La comunicazione digitale trasmette l'informazione dopo averla codificata in una stringa di cifre di un sistema numerico opportunamente scelto.

L'orologio a lancette, la clessidra, il tachimetro di un'autovettura, la colonna di mercurio di un termometro sono dispositivi analogici perché mostrano dati variabili con continuità, seguendo, rispettivamente le variazioni continue di tempo, velocità e temperatura



Sono invece dispositivi basati sulla comunicazione digitale il contachilometri di un'autovettura o l'orologio munito di display a cristalli liquidi, che convertono in cifre, rispettivamente, una distanza o lo scorrere del tempo.



Anche se il PC è un apparecchio elettronico come una radio o un videoregistratore, c'è un'importante differenza. Questi ultimi sono dispositivi analogici, mentre il computer è digitale.

In un circuito analogico i segnali elettrici variano di continuo cambiando il loro valore nel tempo, ad esempio per seguire le variazioni della musica registrata.

In un **circuito digitale, invece, i segnali elettrici possono assumere due soli valori**. Su qualsiasi filo, in un dato momento, o c'è tensione elettrica o non c'è: non vi sono valori intermedi o altre possibilità.

Bit

In un dato istante, quindi, un segnale digitale può essere in uno tra due possibili stati: con o senza tensione. Per rappresentare questi due possibili stati, si usano convenzionalmente due cifre:

- ❖ **0** (zero): **non c'è tensione**, es. zero Volt.
- ❖ **1** (uno): **c'è tensione**, es. 5 Volt.

Lo stato del filo può dunque essere rappresentato da un numero.

Questo numero può avere due soli valori (zero o uno) ed è chiamato bit, abbreviazione di BInary digiT (cifra binaria).

Se abbiamo due fili, lo stato di ciascuno di essi sarà indicato con un bit. Avremo quindi quattro possibili combinazioni di bit:

- ❖ **00** (non c'è tensione in nessun filo)
- ❖ **01** (c'è tensione solo nel filo di destra)
- ❖ **10** (c'è tensione solo nel filo di sinistra)
- ❖ **11** c'è tensione in entrambi i fili)

Se numeriamo progressivamente queste quattro combinazioni, ad esempio 0, 1, 2, 3, con questa coppia di fili abbiamo rappresentato un numero.

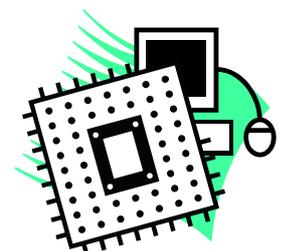
Con quattro fili vi sono 16 possibili combinazioni, a ciascuna delle quali possiamo assegnare un numero progressivo.

Questo tipo di numerazione, basata su cifre a due soli valori (cifre binarie, o bit) si chiama **codice binario**.

Ciò che importa è che gruppi di fili, all'interno del computer, possono essere usati per rappresentare numeri. Su questi numeri si possono eseguire tutte le comuni operazioni aritmetiche.

Un microprocessore è appunto un circuito che lavora sui numeri binari, rappresentati da segnali elettrici che viaggiano in gruppi di fili.

0000	0	1000	8
0001	1	1001	9
0010	2	1010	10
0011	3	1011	11
0100	4	1100	12
0101	5	1101	13
0110	6	1110	14
0111	7	1111	15



Numeri binari

Nei computer i fili viaggiano a gruppi di 8, 16 o 32 (in quelli più recenti anche a gruppi di 64).

- ❖ **Un gruppo di 8 bit è chiamato byte,**
- ❖ 16 bit corrispondono a due byte
- ❖ 32 bit a quattro byte.

Con gli 8 bit che formano un byte si possono fare 256 combinazioni diverse. Quindi in un byte possono essere rappresentati i numeri da zero a 255. Allo stesso modo, con 16 bit si hanno 65.536 combinazioni, e con 32 bit oltre 4 miliardi.

La conversione analogico/digitale

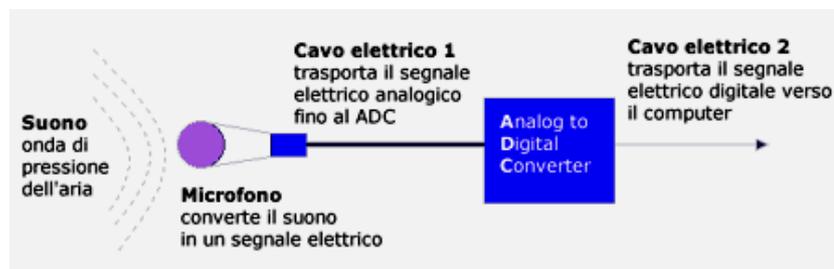
Un computer, come già accennato in precedenza, non può registrare variazioni continue, ma soltanto numeri. Occorre quindi convertire il segnale elettrico continuo proveniente dal microfono (che segue fedelmente le variazioni di pressione) in forma numerica. Questa operazione si chiama **campionamento** (sampling) o **digitalizzazione**.

Esso consiste nel misurare a intervalli regolari il segnale elettrico, registrandone il valore. Si avrà così una serie di numeri tranquillamente registrabili in un file. Convertendo nuovamente questi numeri in corrente elettrica da inviare ad un altoparlante, si riprodurrà il segnale originale.

Ma come avviene questa conversione di un'onda di pressione in una sequenza di numeri?

- ❖ per prima cosa, usando un microfono, si deve trasformare l'onda di pressione in un'onda di potenziale elettrico, ovvero in un segnale analogico.
- ❖ Successivamente questo segnale verrà filtrato e poi inviato ad un componente chiamato **ADC (Analog to Digital Converter)** che lo convertirà in una sequenza digitale di numeri binari.

Come vedremo questi numeri binari potranno essere utilizzati da un computer o memorizzati su un supporto digitale, come ad esempio un Hard Disk o un CD Rom.



Per produrre una sequenza di numeri binari da un segnale analogico l'ADC procede in due passi:

- ❖ Il primo passo, chiamato **campionamento**, consiste nel trasformare l'onda che arriva al suo ingresso in un insieme di gradini. Questa trasformazione consiste nel prelevare un solo valore dell'ampiezza del suono ad intervalli di tempo regolari.
- ❖ Il secondo passo, chiamato **quantizzazione**, consiste invece nel trasformare l'altezza di ognuno di questi gradini in un numero binario che potrà finalmente essere utilizzato dal computer.

Il campionamento

Il campionamento è un procedimento simile a quello che effettua una cinepresa quando trasforma una immagine in movimento in una sequenza di fotografie.

La grossa differenza è che per ricostruire un filmato sono necessarie circa 30 immagini al secondo mentre **per ricostruire un suono si utilizzano 44.100 valori di ampiezza al secondo**.

Negli anni '70, quando Philips e Sony iniziarono a cercare un modo di migliorare la qualità audio della musica registrata, si rivolsero al campionamento digitale.

Fu scelto un sample rate di 44.100 campioni per secondo (44.1 kHz) perché era superiore all'obiettivo fissato dal **teorema di Shannon-Nyquist**.

Il teorema di Shannon-Nyquist stabilisce infatti che la frequenza di campionamento deve essere almeno il doppio della frequenza più elevata del segnale audio da digitalizzare.

Una frequenza di campionamento inferiore potrebbe produrre artefatti o dissonanze nell'incisione, cioè modelli d'interferenza noti come **aliasing**.

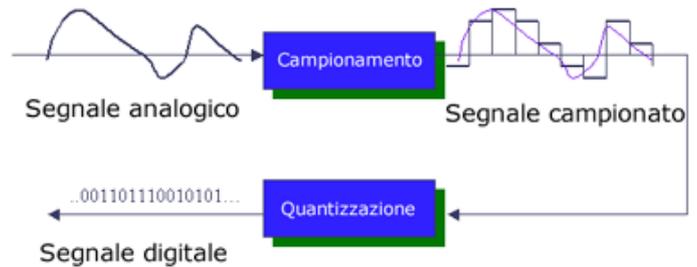
Una frequenza di campionamento di 44.100 hertz (44,1 kHz) supera ampiamente il doppio della massima frequenza udibile dall'orecchio umano che è di 20.000 hertz (20 kHz) e garantisce perciò una buona fedeltà nella riproduzione musicale.

La quantizzazione

Con il procedimento della quantizzazione viene assegnato un valore numerico ad ogni singolo campione sonoro prelevato.

Il numero di bit utilizzati per descrivere ogni campione determina la gamma dinamica del suono, ossia la differenza tra il livello sonoro di massima intensità e il più debole.

Ad ogni bit corrisponde una gamma dinamica di 6 decibel (6 dB). Quindi possiamo rappresentare alcuni valori in una tabella:



GAMMA DINAMICA						
bit	8	12	16	18	20	24
dB	48	72	96	108	120	144

Per creare una registrazione digitale di musica ad alta fedeltà, nel formato Cd-Audio è stato deciso che ogni campione (prelevato 44.100 volte al secondo) fosse archiviato come dato binario a 16 bit (gamma dinamica 96 dB), in modo che potesse rappresentare 65.536 diversi valori possibili.

Nei cd audio ogni "campione" è dunque rappresentato da un numero che rappresenta le oscillazioni indietro – avanti dell'onda sonora attraverso valori che possono variare da -32.768 a +32.767.

Questo numero indica l'ampiezza dell'onda all'istante del campionamento.

Così un'onda campionata che oscillasse indietro ed avanti da -32,768 a +32,767 sarebbe l'onda di volume massimo che questo formato potrebbe rappresentare, mentre un'onda oscillante tra -1 e +1 sarebbe quella a minor volume ed un gruppo di zeri in fila indicherebbe silenzio completo.

Questa serie di valori d'ampiezza è eccellente e permette di rappresentare accuratamente anche piccole variazioni di suono.

Tale campionamento audio digitale è noto con l'acronimo **PCM** che sta per **Pulse Code Modulation**.

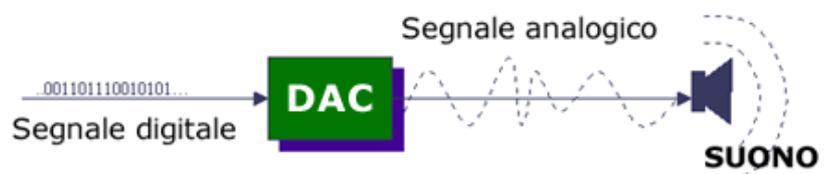
La conversione digitale/analogica

Grazie alla conversione analogico-digitale un computer è in grado di acquisire e memorizzare un suono trasformandolo in una sequenza di numeri binari.

Per ascoltare questa sequenza di numeri però è necessario un ulteriore passaggio: la conversione di questa sequenza digitale in un segnale analogico che possa essere poi inviato ad un amplificatore e trasformato in suono da un altoparlante.

Il componente che si occupa di questa trasformazione si chiama **DAC, (Digital to Analog Converter)**, e rappresenta la porta di uscita del suono di un dispositivo digitale.

Questo componente infatti è presente non solo sulle schede audio dei computer ma anche sui lettori di CD, sulle tastiere musicali e in qualsiasi dispositivo digitale che emetta dei suoni a partire da una sequenza digitale di numeri.



Programmi di elaborazione audio

I programmi per l'elaborazione audio sono chiamati "**wave editor**"

Questi software permettono di registrare direttamente in formato digitale:

- ❖ **Attraverso un microfono**, qualsiasi suono proveniente da una fonte esterna al PC
- ❖ **In modo diretto**, i suoni provenienti dal computer (file musicali, CD audio, ecc.)

Oltre alle funzioni di registrazione, gli editor wave consentono di intervenire successivamente sul suono registrato per elaborarlo o modificarlo a piacere (funzioni di "editing").

Essi mettono a disposizione gli strumenti necessari per:

- ❖ Ritagliare, copiare, incollare un suono o una parte di esso.
- ❖ Miscelare tra loro suoni registrati precedentemente.
- ❖ Applicare al suono filtri di vario genere (eco, riverbero, ecc.).
- ❖ "Ripulire" le registrazioni da vari tipi di rumori di fondo (presenti ad esempio sui nastri magnetici o sui vecchi dischi di vinile).
- ❖ Riprodurre vari effetti acustici (ad esempio la sonorità di una sala da concerto).
- ❖ Intervenire su parametri sonori come il volume e la velocità di riproduzione.



Il sistema operativo Windows possiede un registratore di suoni che offre anche alcune funzioni di base per l'elaborazione audio.

Chi desidera invece un maggior numero di funzioni può provare "**Audacity**", un ottimo programma freeware in lingua italiana (<http://audacity.sourceforge.net>).



Audacity 1.2.0-pre3

Un Editor libero per l'audio digitale