

Pasquale Citera

Dipartimento di Musica Elettronica
Conservatorio di Santa Cecilia
via dei Greci 18
Roma (IT)
pasqualecitera81[at]gmail[dot]com

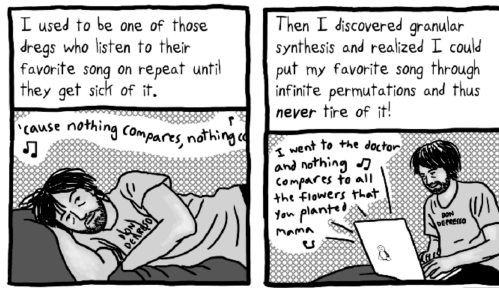
Lezione V- (II on-line) Sintesi e Modulazione - 02

Tecniche di Sintesi e Modulazione del Suono.

La Sesta Lezione è stata basata interamente sul tema della Sintesi e Modulazione del Suono. Abbiamo trattato la Sintesi Granulare e la Modulazione di Frequenza.

1. TECNICHE DI SINTESI

Granular Synthesis Changed My Life



1.1 SINTESI GRANULARE

Nella prima metà del XX secolo si sviluppano le teorie quantistiche della meccanica che descrivono la radiazione e la materia non solo come onde (come nella meccanica classica) ma anche come fenomeno ondulatorio creato da insiemi di particelle in scala atomica e subatomica. Si osserva ad esempio che la luce emessa da qualsiasi sorgente luminosa pur appearing *continua*, non consiste in un flusso unico di onde elettromagnetiche ma al contrario da un

insieme di piccolissimi frammenti di energia (*quanti* di luce) che trasmessi in successione con una certa densità, crea la sensazione di luce continua alla quale siamo abituati.

Nella seconda metà degli anni Quaranta, il fisico inglese Dennis Gabor teorizza la possibilità di trasportare lo stesso concetto di *quanti d'energia* nel campo acustico, quindi di descrivere qualsiasi segnale acustico tramite la combinazione di microparticelle sonore o quanti, chiamati *grani* sonori. Nella meccanica quantistica, in realtà, il quanto sonoro esiste e viene indicato come *fonone*, concetto introdotto dal fisico sovietico Igor Tamm nel 1932 ma già teorizzato da Einstein e Debye agli inizi del Novecento. I fononi risultano essere delle quasiparticelle producenti pacchetti discreti di energia che vanno a costituire le vibrazioni elementari, analogamente a come fanno i fotoni per i campi elettromagnetici.¹ La sintesi granulare teorizzata da Gabor sviluppa l'idea di creare suoni complessi partendo da una grandissima quantità di microsuoni semplici, della durata comprese

¹Per approfondimenti:

- Voce da Wikipedia: <https://en.wikipedia.org/wiki/Phonon>

- Spiegazione approfondita dei Fononi (pg. 9 e sgg.): <https://www.dropbox.com/s/w6by1kksv19bk89/FONONI.pdf?dl=0>

sa tra 1 e 50 millisecondi (i *grani* sonori), aventi ognuno frequenza, intensità, inviluppo e fase propri. Questi grani possono essere generati e riprodotti in rapidissima sequenza creando uno o più toni, oppure sovrapposti a velocità variabile per creare delle superfici sonore più estese, dette anche *nuvole* di suono oppure *soundclouds*. I grani possono essere generati da suoni di sintesi o da micro-scomposizioni di campioni audio di natura concreta. La duttilità in ambito di rappresentazione che la sintesi granulare è in grado di offrire ha consentito la nascita di diverse modalità operative per l'organizzazione della gestione dei grani in ambito temporale, e che possono essere grossolanamente divise in due gruppi:

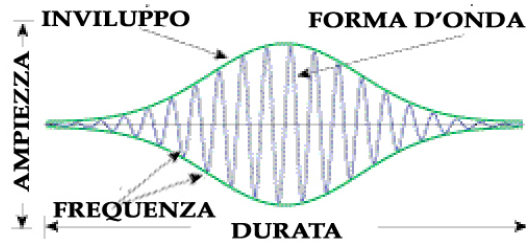
- l'analisi, la resintesi e la modifica di suoni appartenenti a modelli strumentali - vocali tradizionali (*granulazione*);
- la generazione di grani che vanno a comporre suoni sintetici (*sintesi granulare*).

Nelle tecniche basate sull'analisi dei modelli di suoni concreti, la *granulazione*, il segnale viene acquisito digitalmente e scomposto nei suoi parametri dinamici costituenti, ovvero i risultati dell'analisi. Tramite questi dati risulta possibile ricostruire il segnale di partenza con un grado di precisione molto elevato. Questo processo viene definito di *analisi - resintesi*. Pur essendo stato utilizzato in molte altre tecniche di sintesi, il processo di analisi - resintesi offre vari aspetti interessanti che riguardano la peculiarità dei grani stessi, che si comportano 1) da rilevatori di caratteristiche in fase di analisi 2) come da nucleo principale di generazione in fase di resintesi. La resintesi è utile in campo musicale poiché ricomponne un suono partendo da dati di analisi quindi con la stes-

sa facilità questi dati possono essere usati per creare delle varianti del suono originale o per enfatizzare aspetti dello stesso suono; parliamo cioè di tecniche di modifica dell'intonazione senza cambiare formanti (*pitch-shifting*) oppure dilatazione temporale lasciando inalterata l'intonazione (*time-stretching*) o ancora spazializzazione del suono in modo particellare.

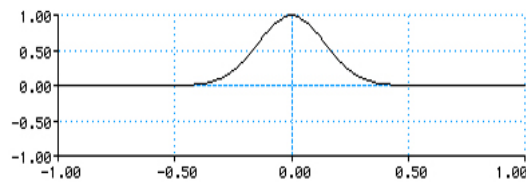
La *sintesi* granulare offre una ampia tavolozza sonora ed un ambito nuovo di approccio compositivo, le nuvole sonore (*sound clouds*), composte da migliaia di grani dispersi organizzati in un unico flusso che, a seconda della densità dei grani, produrrà suoni unici o sfondi sonori pieni d'eventi. Questa tecnica, a causa dell'enorme quantità di dati necessari per governarla, richiede dei sistemi di controllo di tipo *statistico* per consentire la creazione di nuvole sonore utili ai fini musicali: un semplice esempio che dà l'idea sulla quantità di dati di controllo può essere fatto attraverso questo semplice ragionamento: se la variabile n indica il numero di parametri di controllo per ciascun grano, e la variabile d la densità di grani per secondo, allora saranno necessari $n*d$ valori parametrici per definire un secondo di suono. Dato che la variabile d - densità è usualmente superiore a 1000, diventa chiara la necessità di organizzare ad alto livello la gestione di eventi numerosi e complessi tramite l'uso di funzioni od altri algoritmi di controllo che ne facilitino l'uso.

Ogni microsuono-grano è in sé un suono completo avente ampiezza, durata, inviluppo, forma d'onda e frequenza della forma d'onda.

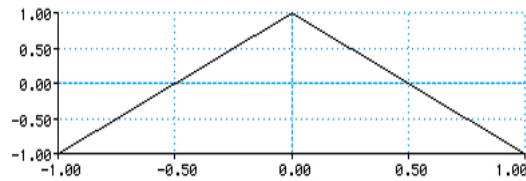


I singoli grani sono normalmente di durata brevissima (tipicamente compresa tra 1-5 e 50-100 ms) e, anche se possono avere numerosi tipi di inviluppi, vi sono tre tipologie più usate indicate dalle prossime figure.

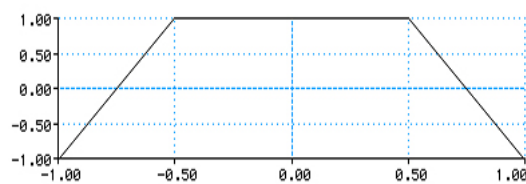
Inviluppo Gaussiano²



Inviluppo Triangolare



Inviluppo Trapezoidale³



Importantissima poi è la forma d'onda contenuta nel grano che dà il timbro alla *sound cloud*. Con questa tecnica è

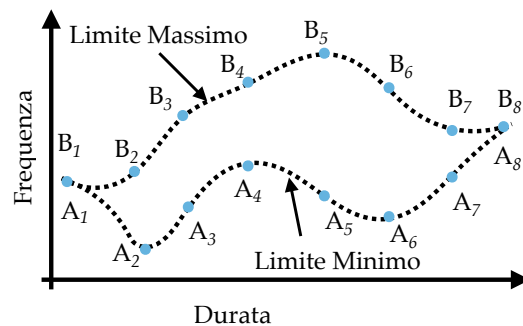
²Curva di Gauss. Approfondimento QUI.

³O inviluppo classico A-D-S-R.

possibile variare la forma d'onda in modo progressivo, anche da grano a grano, consentendo una flessibilità di controllo timbrico sconosciuta ad altre tecniche di sintesi.

La generazione delle *soundcloud* essendo di tipo statistico, distribuisce i grani all'interno di un intervallo di tempo e di frequenza e viene sovente controllata, come già detto, da un algoritmo che controlla:

- il punto d'inizio e la durata della *cloud*;
- la durata, la forma d'onda e la frequenza dei grani;
- la densità dei grani per secondo;
- la larghezza di banda di frequenza della *cloud*, ovvero i limiti inferiori e superiori entro i quali i grani vengono distribuiti; limiti che possono variare in modo dinamico lungo la durata della nuvola. Questo intervallo di frequenza variabile viene detto *maschera di tendenza*.



B_{1-8} : Limite superiore di frequenza dei grani

A_{1-8} : Limite inferiore di frequenza dei grani

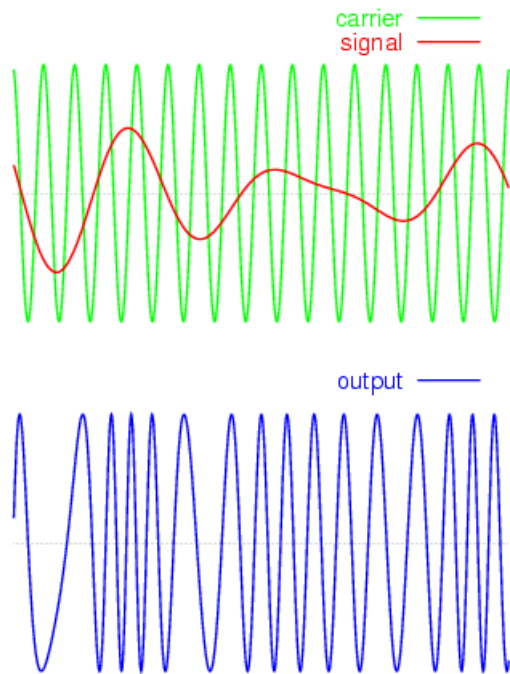
Esempio di Maschera di tendenza variabile

Il compositore americano Curtis Roads è stato il primo ad usare digitalmente la tecnica della sintesi granulare applicata alla composizione. Il compositore canadese Barry Truax invece viene considerato il primo ad aver usato un campionamento di suoni reali come base per la granulazione ed il primo ad usare granulazione e sintesi granulare in tempo reale.

2. MODULAZIONI

2.1 MODULAZIONE DI FREQUENZA - FM

FM - Frequency Modulation



Portante, modulante e risultato

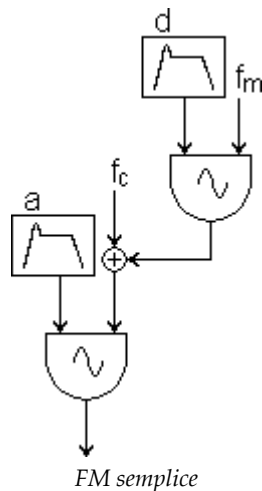
La modulazione di Frequenza nasce ufficialmente nel 1933 per mano di E. H. Armstrong, anche se già dagli anni Venti si discuteva sulla validità delle teorie ad essa collegate, finalizzate alla trasmissione di segnali in radiofrequenza. Consiste nel modulare la frequenza di un segnale radio usato per la trasmissione (chiamato quindi portante) in funzione all'ampiezza del se-

gnale che s'intende trasmettere (chiamato modulante).

Negli anni '60 il compositore americano John Chowning evidenziò che a differenza dei suoni naturali, dove lo spettro si evolve in modo complesso nel tempo, la maggior parte dei suoni sintetici fatti con le tecniche conosciute in quel momento, avevano spettri essenzialmente fissi. A suo avviso, questa differenza tra spettri statici e dinamici, è ciò che rende un suono sintetico, povero e privo di *vita* rispetto a quelli prodotti da strumenti acustici. Anche se la sintesi digitale mediante linguaggi Music-N, dava teoricamente, secondo il modello basato su Fourier, la possibilità di creare qualsiasi suono, praticamente le tecniche di sintesi usate erano troppo costose circa calcoli computazionali nel momento in cui venissero prodotti suoni complessi e dallo spettro dinamico, senza contare la difficoltà per gestire centinaia di parametri di controllo. Nel 1967 Chowning sperimentando diversi tipi di vibrato, scoprì che modulando la frequenza di un oscillatore sinusoidale era possibile avere dei cambi di timbro. In pratica, usare le formule della modulazione di frequenza in modo che sia la portante che la modulante e le rispettive bande laterali prodotte, cadessero nella banda delle frequenze udibili. Quando la frequenza della modulante è bassa ($<20\text{Hz}$), l'effetto prodotto risulta essere di un semplice vibrato e non v'è cambio di timbro ma una leggerissima deviazione in frequenza (tra l'1% ed il 5%) della portante. Quando, al contrario, la frequenza modulante è maggiore di 20 Hz l'effetto non risulta essere di vibrato ma si ha un effetto di trasformazione timbrica. Intorno alla frequenza portante, in questo caso, si formano delle bande laterali simmetriche. L'ampiezza ed il numero delle ban-

de laterali dipendono dalla grandezza della modulazione. Si definisce indice di modulazione il rapporto tra la deviazione di frequenza (ampiezza della modulante) e la frequenza modulante : $I = \frac{d}{m}$.

Uno degli aspetti più interessanti di questo tipo di tecnica è dato dalla riflessione delle bande laterali negative. Nel caso in cui una banda laterale inferiore cade nelle frequenze negative, si riflette rispetto a 0 Hz invertendo la fase. Se queste componenti riflesse coincidono con altre già presenti, si sommano algebricamente. Un altro aspetto che interessava Chowning era la possibilità di generare spettri dinamici, ad imitazione dei suoni naturali. Nella sintesi FM diventa molto semplice farlo facendo variare nel tempo l'indice di modulazione.



L'algoritmo nella precedente figura viene chiamato *FM semplice* o *FM di Chowning*. L'ampiezza degli oscillatori è controllata da involuppi; quello della portante determina l'intensità generale del suono mentre quello della modulante, l'evoluzione dell'indice di modulazione. Nel suo articolo, Chowning dimostrò come, utilizzan-

do relazioni portante/modulante, involuppi di ampiezza e di modulazione differenti, quest'algoritmo era capace di produrre timbri molto vari che imitassero metallofoni, legni, ottoni e percussioni varie. A tal proposito, consigliamo la lettura dell'articolo originale di Chowning, *La sintesi degli spettri audio complessi tramite Modulazione di Frequenza*⁴. La tecnica FM aveva come principali punti di forza l'economia e l'efficienza, dato che con solo quattro generatori (due oscillatori e due generatori d'involuppo) si potevano realizzare spettri complessi e dinamici; la flessibilità, visto che un unico algoritmo permetteva di produrre timbri molto diversi; il controllo e la prevedibilità dati da una tecnica di base con un preciso ragionamento matematico che può prevedere i risultati con un elevato grado di accuratezza. Numerosi studiosi e compositori, successivamente svilupparono gli aspetti della tecnica FM aumentando le portanti, le modulanti e gli involuppi a loro collegati per creare spettri sonori ancora più complessi e dinamici.

Bibliografia

- MAX V. MATHEWS, estratti da *The Technology of Computer Music*; Max V. Mathews, Joan E. Miller, F. R. Moore, John R. Pierce, J. C. Risset. M.I.T. Press, 1977
- CURTIS ROADS, *Microsound*, MIT Press, Cambridge 2001 Full book in PDF
- RICCARDO BIANCHINI, ALESSANDRO CIPRIANI, *Il Suono Virtuale*; ContempoNet, 2001
- J. M. CHOWNING, *The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation*, J. Audio Eng. Soc. 21,07,1973. <https://www.dropbox.com/s/9t4963ad6zrad47/FmChowning.pdf?dl=0>

⁴J. M. Chowning, *The Synthesis of Complex Audio Spectra by Means of Frequency Modulation*, J. Audio Eng. Soc. 21,07,1973. <https://www.dropbox.com/s/9t4963ad6zrad47/FmChowning.pdf?dl=0>

Brani citati e/o consigliati:

Per la Sintesi Granulare:

- Curtis Roads - Eleventh Vortex - https://www.youtube.com/watch?v=XgBjD6_Sb0U
- Barry Truax - Riverrun (1986) - <https://youtu.be/u81IGEFt7dM>
- Barry Truax - Evening, Night and Daybreak. Coda. (from Song of Songs) - <https://youtu.be/09znAHz2ui4>
- Agostino di Scipio - 4 Variazioni sul ritmo del vento - Recorder contrabbasso ed elaborazione elettronica https://youtu.be/4ZG9dM_r8ko
- Agostino di Scipio - 3 Pezzi Muri (Dalla superficie al fondo) n2 - pianoforte ed elaborazione elettronica <https://youtu.be/n2eB2H3LNsU>

Per la Sintesi FM:

- J. Chowning - Turenas - <https://youtu.be/kSbT0B5ft5c>
- J. Chowning - Phoné - <https://www.youtube.com/watch?v=5Jcb57ntzTg>

Strumenti e sintesi diverse assieme::

- Fausto Romitelli - Natura Morta Con Fiamme (1991) - <https://www.youtube.com/watch?v=FSx6uGuZjJg>