

ORIGINI STORICO-SCIENTIFICHE DELLA SINTESI GRANULARE DEL SUONO

E. Giordani – LEMS- Conservatorio di Musica G. Rossini – Pesaro
Classe di Musica Elettronica – A.A. 2003/04

Introduzione

[da D. Gabor – *I Quanti acustici e la teoria dell'udito- Nature 1947*].....Nella esposizione tradizionale della meccanica delle onde, sono state usate da parecchi autori diverse illustrazioni acustiche, con particolare successo da Landè. In una pubblicazione recente sulla Teoria della Comunicazione, ho intrapreso una via opposta.

I fenomeni acustici sono qui discussi attraverso metodi matematici strettamente relati a quelli della teoria quantistica. Mentre in fisica acustica da un nuovo approccio formale ai vecchi problemi non ci si può attendere di scoprire più di quanto non sia già noto, la posizione per l'acustica soggettiva (psicoacustica) è piuttosto differente, infatti, i nuovi metodi hanno già provato i loro valori euristici e ci si può aspettare di fare più luce sulla teoria dell'ascolto.

Nel mio scritto originale il punto di vista era principalmente quello dell'ingegneria delle comunicazioni; nell'indagine seguente ho enfatizzato quelle caratteristiche che possono essere d'interesse per i fisici e gli psicologi. Cosa ascoltiamo noi? La risposta classica dei libri di testo e' tale che pochi studenti, se ve ne sono, può essere stata mai accettata senza un grano di sale.

In accordo con la teoria principalmente connessa con i nomi di Ohm ed Helmholtz, l' orecchio analizza il suono attraverso le sue componenti spettrali, e le nostre sensazioni sono costituite dalle componenti di Fourier, o piuttosto dai loro valori assoluti. Ma l'analisi di Fourier e' una descrizione *senza tempo*, cioè nei termini di onde esattamente periodiche di *durata infinita*. Dall' altro lato, e' la nostra esperienza elementare che il suono possiede un *insieme temporale* così come un *insieme frequenziale*. Questa dualità delle nostre sensazioni non trova espressione nella descrizione del suono come un segnale $s(t)$ in funzione del tempo, ne' nella sua rappresentazione attraverso le componenti di Fourier $S(f)$.

Si rende quindi necessaria una descrizione matematica in modo tale che venga tenuta in considerazione tale dualità. Consideriamo ora entrambi, tempo e frequenza come coordinate del suono, e vediamo quale significato può essere dato a tale rappresentazione.

Se t ed f sono disposte su un sistema di assi coordinati, possiamo ottenere un *diagramma dell'informazione* (Fig. 1) . Una semplice oscillazione armonica e' rappresentata da una linea verticale di ascissa f , un impulso matematico da una linea orizzontale all'istante t . Questi sono i casi estremi. In generale, i segnali non possono essere rappresentati da linee, ma e' possibile associare ad essi un certo rettangolo caratteristico o "cella" attraverso un processo che a prima vista può apparire come qualcosa di complicato.

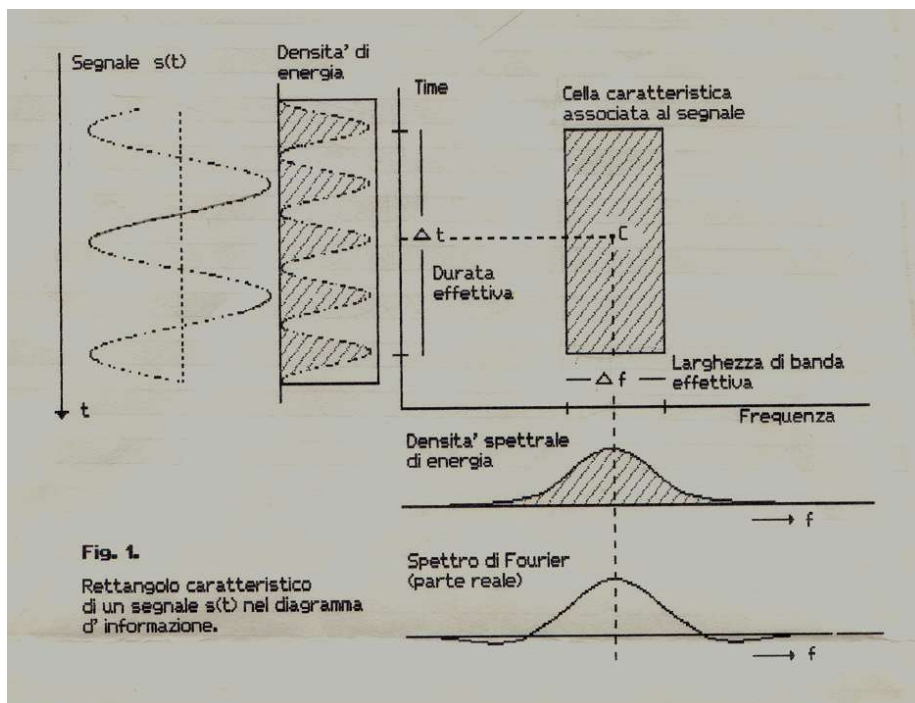
Consideriamo un dato segnale descritto come $s(t)$ nel dominio del tempo e dalla sua trasformata di Fourier $S(f)$ nel dominio della frequenza. Se $s(t)$ e' reale, $S(f)$ sarà in genere complessa¹ e lo spettro si estenderà attraverso le frequenze positive e negative. Questa asimmetria può essere rimossa considerando un segnale complesso $\psi(t) = s(t) + j \sigma(t)$ dove $\sigma(t)$ è la Trasformata di Hilbert di $s(t)$. Questo artificio rende la trasformata $\Psi(f)$ nulla per tutte le frequenze negative.

Definiamo poi la *densità di energia* del segnale come $\psi \psi^*$, dove l'asterisco denota il valore complesso coniugato, e similmente $\Psi \Psi^*$ come la *densità spettrale di energia*. In Fig. le due distribuzioni di energia sono mostrate come aree ombreggiate. Esse sono di eguali dimensioni, cioè l'energia totale del segnale è la stessa in entrambe le definizioni. Possiamo ora definire un tempo medio t_m del segnale e similmente una frequenza media f_m come le coordinate del centro di gravità delle due distribuzioni. Questo fornisce un punto C nel diagramma dell'informazione come il centro del segnale. Avanzando di un passo, noi possiamo definire l'effettiva durata Δt e l'effettiva larghezza frequenziale Δf del segnale per mezzo della deviazione del valore efficace delle due distribuzioni di energia dai valori medi t_m e f_m . Nella figura esse appaiono come il raggio inerziale delle due aree ombreggiate. Per ragioni che saranno più evidenti in seguito, e' conveniente definire Δt e Δf come $2\sqrt{\pi}$ volte il raggio inerziale rispettivo. Con queste definizioni può essere applicata una relazione matematica, la disuguaglianza di Schwarz, la quale afferma che:

¹ Questo risultato deriva direttamente dagli sviluppi matematici della teoria dei segnali attraverso la notazione complessa.

$$\Delta t \Delta f \geq 1$$

e ciò vale a dire che l'area del rettangolo caratteristico o "cella di un segnale" è almeno unitario.



analizzato e ricostruito per mezzo dei **quanti acustici** o **grani**.

Nella pratica, un grano sonoro è un breve segnale con un involuppo d'ampiezza generalmente di tipo a campana. La forma d'onda al suo interno può variare da grano a grano e per ciascuno di essi possono essere definiti un certo numero di parametri associati.

Gabor stesso, dopo l'esposizione della teoria nel 1947, costruì una macchina elettro-ottica per la granulazione del suono e fu la prima applicazione nel campo della compressione e dell'espansione temporale del suono, cioè il cambiamento della durata senza cambiare l'altezza. Il compositore Iannis Xenakis fu il primo musicista a studiare i documenti scientifici di Gabor e propose una teoria compositiva basata sui grani sonori. Nel 1959 Xenakis propose la seguente ipotesi: "Ogni suono, anche le sue variazioni più continue, è assimilabile ad un insieme di un numero sufficientemente alto di particelle elementari...Durante l'attacco, il sostegno e decadimento di un suono complesso, migliaia di suoni puri appaiono in intervalli di tempi più o meno brevi". Lavorando presso la RTF in Francia, Xenakis realizzò la composizione "Analogique A-B" per orchestra d'archi e nastro magnetico (Ed. Salabert, Paris). La parte del nastro fu realizzata tagliando in piccoli frammenti un nastro magnetico su cui erano stati registrate onde sinusoidali e ricomponendolo in un ordine completamente diverso al fine di creare una tessitura granulare.

Curtis Roads nel 1974, presso l'Università di San Diego CA, programmò in Algol un mainframe computer che poteva produrre 1 minuto di suono granulare in una settimana di calcoli. Solo verso la fine degli anni ottanta, il compositore canadese Barry Truax riuscì a produrre la granulazione in tempo reale attraverso un DSP (DMX-1000) controllato da un micro computer Digital PDP 11-34. Attualmente, la potenza delle CPU consente di generare la sintesi in tempo reale anche su computer personali.

I parametri generali della sintesi granulare

Base di generazione

Nella sua accezione più elementare, la sintesi granulare si produce disponendo di un oscillatore in grado di riprodurre una forma d'onda modulata in ampiezza da un inviluppo generalmente di forma a campana (curva Gaussiana, cfr. fig. 2)

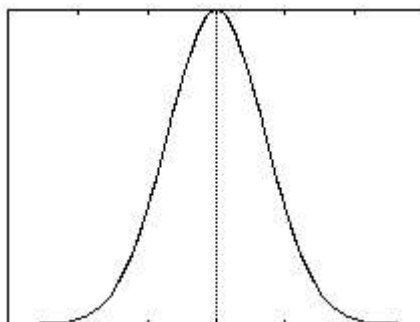


Fig. 2

In generale la granulazione dei suoni si può ripartire in:

1. **Granulazione di suoni sintetici**
2. **Granulazione di suoni reali (precampionati o real time)**

In entrambi i casi, lo strumento base per la granulazione è costituito da un oscillatore (ovvero un banco di oscillatori) controllato da un inviluppo (ovvero un banco di inviluppi). Nel secondo caso l'oscillatore, anziché leggere ripetutamente una stessa forma d'onda ciclica, preleva i campioni da un file che contiene la registrazione digitale di un suono precedente campionato o eventualmente da un buffer che cattura il suono stesso direttamente dall'esterno.

La complessità del suono generato dalla sintesi granulare non risiede nell'algoritmo base di generazione che di per sé è triviale, bensì nella flusso di parametri che ne controlla la sintesi.

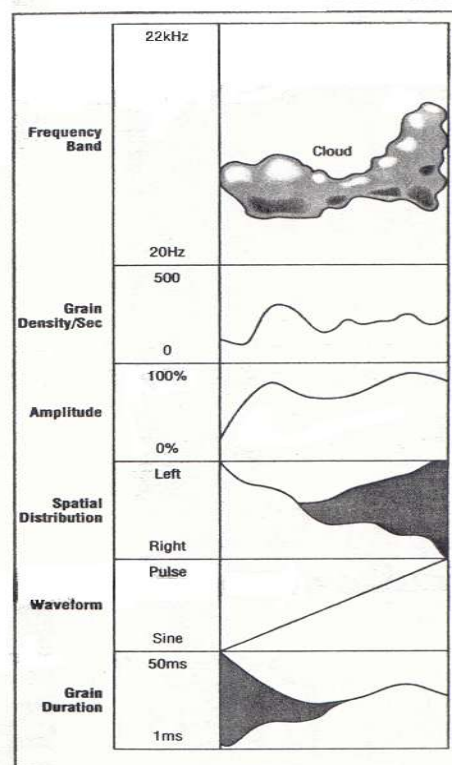
La combinazione di migliaia di grani sonori può essere organizzata in strutture di controllo di alto livello, dal momento che non è possibile controllare individualmente tutti i parametri di ciascun grano. Curtis Roads propone il concetto di "clouds" (nuvole sonore) nelle quali il compositore specifica l'organizzazione strutturale dei grani ad alto livello, cioè attraverso un numero molto ridotto di parametri.

Nella rappresentazione a lato sono visibili i parametri di controllo per la sintesi di una nuvola.

Dal basso all'alto:

1. Durata dei grani
2. Forma d'onda
3. Distribuzione spaziale
4. Ampiezza
5. Densità (grani /sec)
6. Banda di frequenza

Fig. 3



Si può osservare che i parametri possono avere un andamento deterministico (parametri 2 e 4) e/o deterministico-aleatorio (è il caso dei rimanenti parametri). Le aree scure nel disegno rappresentano degli ambiti (range) di probabilità entro i quali l'algoritmo "sceglie" il valore corrente del parametro mentre il compositore ha definito solo i limiti di tali ambiti.

I parametri proposti da Roads sono definiti in modo più esaustivo e più precisamente nelle seguenti specificazioni:

1. *Tempo d'inizio e durata della nuvola*
2. *Durata dei grani* (tipicamente da 1 a 100 ms)
3. *Densità dei grani per sec*
Basse densità producono effetti di suono puntillistico. Alte densità provocano una sovrapposizione dei grani fino a produrre suoni continui o bande, dipendentemente dalla larghezza di banda
4. *La forma dell'involuppo del grano*
5. *La forma d'onda del suono sintetico o reale* (può variare da grano a grano)
6. *Posizione spaziale*
I grani possono essere individualmente distribuiti in più canali di riproduzione creando così tessiture tridimensionali. La traiettoria spaziale di una nuvola può comprendere la distribuzione randomica o l'effetto di localizzazione laterale (panning)
7. *Larghezza di banda della nuvola*
La frequenza di ogni grano viene definita specificando i limiti minimo e massimo entro cui i grani sono dispersi. Quando i limiti coincidono, il risultato è una linea continua e dal punto di vista sonoro ciò corrisponde ad un suono ad altezza determinata. Se le frequenze iniziali e finali differiscono il risultato è un glissato.
8. *Tipo di nuvola*
Si possono ottenere "nuvole sincrone" o "nuvole asincrone". Nelle nuvole sincrone ogni grano segue il precedente con un ritardo fisso tra un grano e l'altro. In questo tipo di nuvola, la densità determina il periodo tra un grano e un altro. Ad esempio una densità di 4 grani/sec significa che i grani si succedono ad intervalli di $\frac{1}{4} = 250$ ms. Quando la durata di ciascun grado è breve e la densità è minore di 20 grani/sec, il flusso regolare di impulsi sonori crea un ritmo metrico. Per esempio, un flusso di grani sincroni a 5 grani/sec di densità, crea un ritmo a quintine, assumendo un tempo base di 60 bpm. Nelle nuvole asincrone, i grani sono distribuiti temporalmente in modo

irregolare. A basse densità i grani creano ritmi irregolari mentre per valori elevati e con bande estese, si creano tessiture rumorose.

Nella granulazione dei suoni campionati il processo è simile a quello dei suoni sintetici. In questo caso però, occorre tener presente che possiamo preservare la struttura temporale generale e quindi l'identità del suono originale estraendo grani nell'ordine da sinistra a destra, indicando così il punto di inizio e fine del file ad esso associato. Questo tipo di processo è definito *progressione deterministica*. Se la scansione del file avviene per un tempo maggiore rispetto alla durata del suono originale, si produrrà un effetto di espansione temporale mentre per il contrario si otterrà una compressione. In entrambi i casi, il suono non perde la sua caratteristica di pitch originale se la durata media di ciascun grano è tale da preservarne la periodicità locale. Viceversa, è possibile modificare completamente l'ordine temporale di estrazione dei grani, determinandosi così una quasi totale disgregazione della sua struttura originale. I risultati più interessanti di questa seconda strategia si ottengono mescolando diversi suoni granulati al fine di produrre una tessitura policroma.

Le nuvole possono poi essere organizzate e sommate attraverso un processo di montaggio fino a determinare strutture temporali di vario livello gerarchico. A seconda della prevalenza di una caratteristica temporale o spettrale, il compositore è in grado di produrre di volta in volta situazioni statiche, evolutive e molte tipologie di gesto musicale.

La gamma timbrica prodotta dalla sintesi granulare (in tutte le varie forme possibili) è estremamente estesa.

Il timbro che si ottiene è la risultante di molti parametri concomitanti anche se il materiale di base (sintetico o sonoro) gioca un ruolo rilevante. Ma questa caratteristica può essere sovrastata dal peso del parametro durata. Una delle più importanti leggi dell'acustica afferma che la larghezza di banda di un segnale è inversamente proporzionale alla sua durata (Fig. 4).

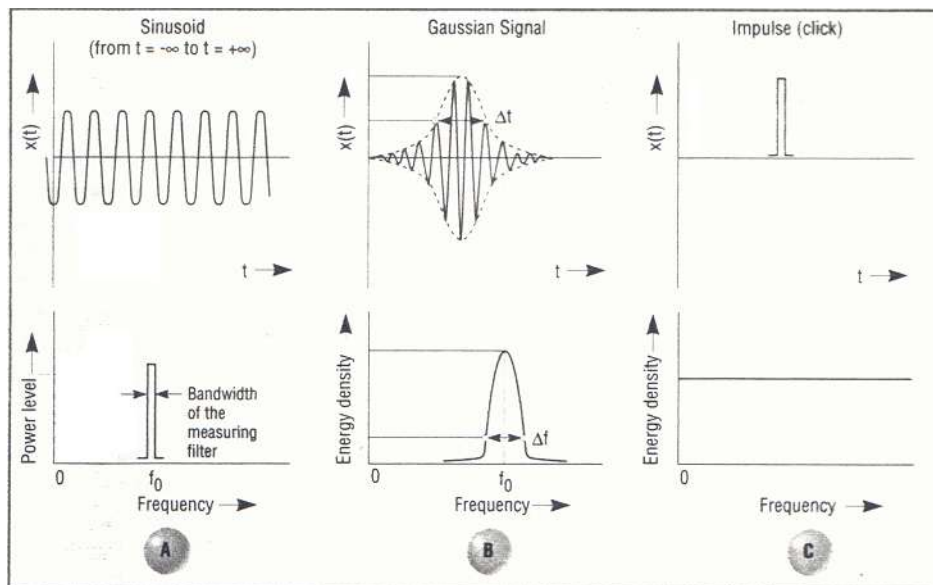


Fig.4

Per questo motivo, controllando tale parametro siamo in grado di variare il timbro da un suono ad altezza definita gradualmente in un suono rumoroso.

Un'altra componente importante deriva dai processi di modulazione che stanno alla base della sintesi granulare. Gli effetti della modulazione AM producono una quantità aggiuntiva di energia acustica dovuta al formarsi delle bande laterali le quali creano relazioni intervallari complesse con la struttura spettrale del suono sottoposto a granulazione. Nelle nuvole asincrone la regolarità delle bande laterali (che si ha nelle nuvole sincrone) viene diminuita poiché l'istante d'attacco di ogni nuovo grano è reso casuale. Questo porta alla possibilità di trasformare un suono con una struttura spettrale molto definita in un suono più assottigliato e con un contorno più offuscato ("blurred formant structure").

Sviluppi e tendenze future

La Sintesi Granulare aggiunge alla tradizionale gerarchia architettonica della musica un altro elemento: alle forme-sezioni-frasi-note si aggiunge un ultimo strato: il **dominio micro-sonico**. Come nel mondo reale tale mondo sub-atomico è rimasto nascosto per secoli, oggi è possibile "rendere musicalmente visibile" questo ulteriore livello strutturale. Si è cioè in grado di penetrare all'interno della struttura microscopica del suono e una volta entrati si può influenzare dal micro-livello gli attributi più esterni.

Un'altra importante implicazione deriva dalla possibilità di adottare processi compositivi che facciano uso di interfacce grafiche in una sorta di **sintesi grafica del suono**, creando così un parallelo molto stretto con quelle forme d'arte grafiche (video-arte) in cui un'immagine reale viene elaborata e modificata attraverso strumenti di decomposizione-ricomposizione strutturali. Il primo esempio di sintesi grafica del suono si è concretizzato per opera di Xenakis con il sistema UPIC (Unité Plyagogique Informatique du CEMAMU [Centre d'Etudes de Mathematiques et Automatiques Musicales]) nei primi anni '70