



O2L

La scala infinita
Documentazione tecnica

0: La scala di Shepard

Nel 1964, lo psicologo Roger N. Shepard pubblico' un articolo dal titolo 'Circularity in judgements of relative pitch', in cui descriveva un effetto psicoacustico che si manifesta nell'ascolto di una successione finita di toni propriamente sintetizzati e riprodotti in una sequenza chiusa ad anello.

Questa scala, pur ripetendosi, illude l'ascoltatore di non aver fine, di salire o scendere quindi all'infinito; cosi' come la scala di Escher rappresenta la stessa illusione sotto un profilo visivo:

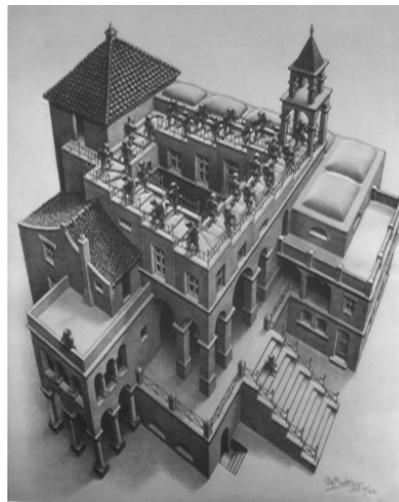


Fig. 1 La scala infinita di Escher

Piu' tardi, intorno agli anni 60, il compositore Jean-Claude Risset, basandosi sul lavoro di Shepard, sviluppo' una alternativa alla scala discreta utilizzando un unico tono modulato.

1.1: Principi della illusione

Per il teorema di Fourier, ogni segnale periodico $Y(t)$ di frequenza f e che rispetti le condizioni di Dirichlet puo' essere scomposto nella somma di un termine costante (valore medio) e di segnali sinusoidali, il primo di frequenza f (fondamentale) e i successivi di frequenza multipla di f (armoniche superiori).

La percezione assoluta delle altezze sonore da parte del nostro sistema uditivo e' vincolata al riconoscimento dell'onda **fondamentale**. Ad esempio, in una scala naturale, le note LA2 e LA3 (A2,A3) saranno caratterizzate da fondamentali rispettivamente di 440Hz e 880Hz. Risulta quindi facile discernere le due note anche se non proposte in una scala tonale.

Nell'illusione di Shepard viene meno il concetto di fondamentale: il suono viene realizzato mediante la sintesi di armoniche (in genere in numero maggiore di 4), elaborate poi da un filtro passa banda a forma caratteristica. Tale ultima operazione aumenta considerevolmente l'effetto di circolarita' per i motivi che andremo ad analizzare nei capitoli successivi.



1.2: La scala

La scala di Shepard e' generalmente costituita da 12 toni appositamente 'preparati' e riprodotti in successione, cominciando nuovamente dal primo una volta suonato il dodicesimo.

Anche senza la presenza di una fondamentale, saremmo comunque in grado di ricostruire l'altezza del suono, sebbene in maniera ambigua. E' questa ambiguita' che rende funzionale l'illusione: la nostra mente percepira' il passaggio dal tono #12 al tono #1 (o viceversa) non come un salto di una intera ottava, ma di un solo mezzotono.

La figura seguente e' una rappresentazione spettrografica (tempo/frequenza) di una scala di Shepard suonata per due volte:

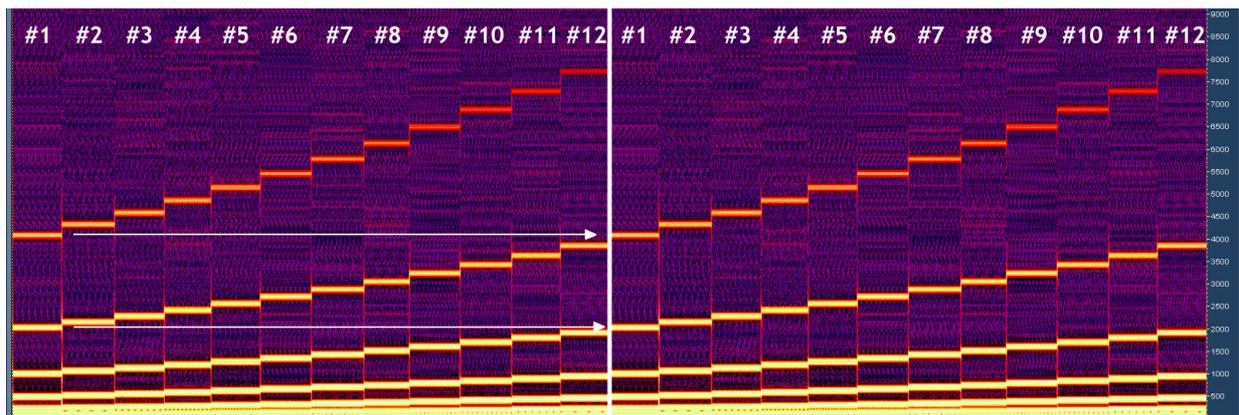


Fig. 2 Spettrogramma a tempo di due scale consecutive

I segmenti rappresentano le singole armoniche, la loro tonalita' l'intensita' del segnale (minore se piu' scuro), ogni blocco contrassegnato dal numero bianco il tono in riproduzione.

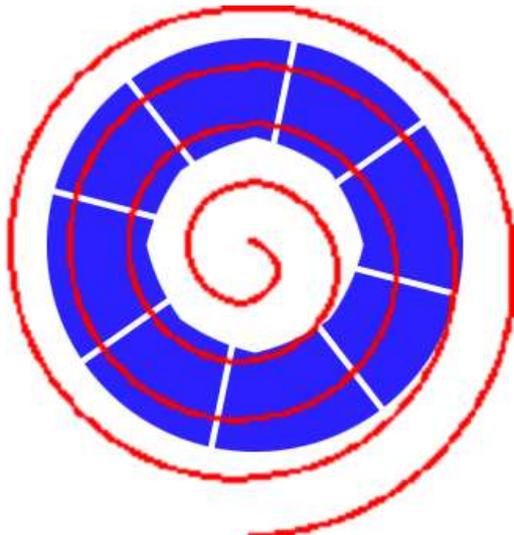
Le frecce bianche collegano due armoniche che tornano a ripetersi dopo il modulo di 12 toni. L'armonica di frequenza piu' alta non si raccorda, ma sfuma considerevolmente fino a divenire impercettibile.



O2L

La scala infinita
Documentazione tecnica

Uno schema piu' intuitivo, a titolo di esempio di cio' che accade alla successione delle armoniche puo' essere riassunto nella seguente figura:



Gli archi individuati dalle aree coperte dalla corona circolare segmentata possono essere paragonati all'andamento di due armoniche.

Assimilato ad un grafico polare, il tempo assumerebbe la coordinata angolare, la frequenza il raggio.

Cominciando la riproduzione dei toni, ovvero la visita in senso orario o antiorario da uno qualsiasi dei segmenti, si arriva in un segmento dove si assiste alla 'uscita' dal tracciato della spirale nella parte esterna della corona.

Questo e' cio' che accadeva in Fig.2 per il tono #12.

Fig. 3 Spirale di Koenigen

Prendendo una 'istantanea' dello spettro di due qualsiasi toni, ad esempio del #1 e del #6 otterremmo:

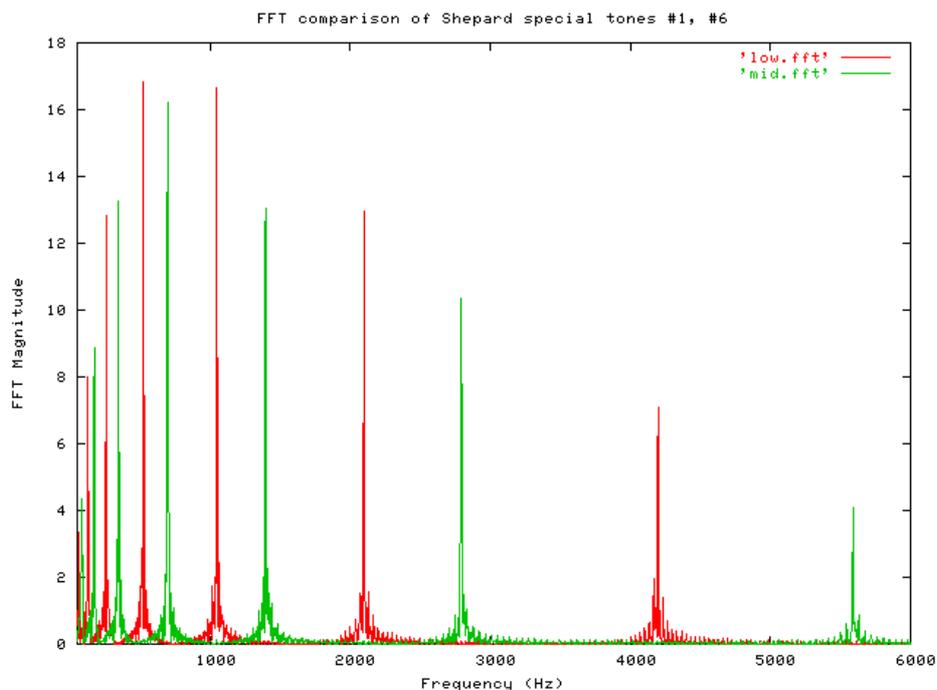


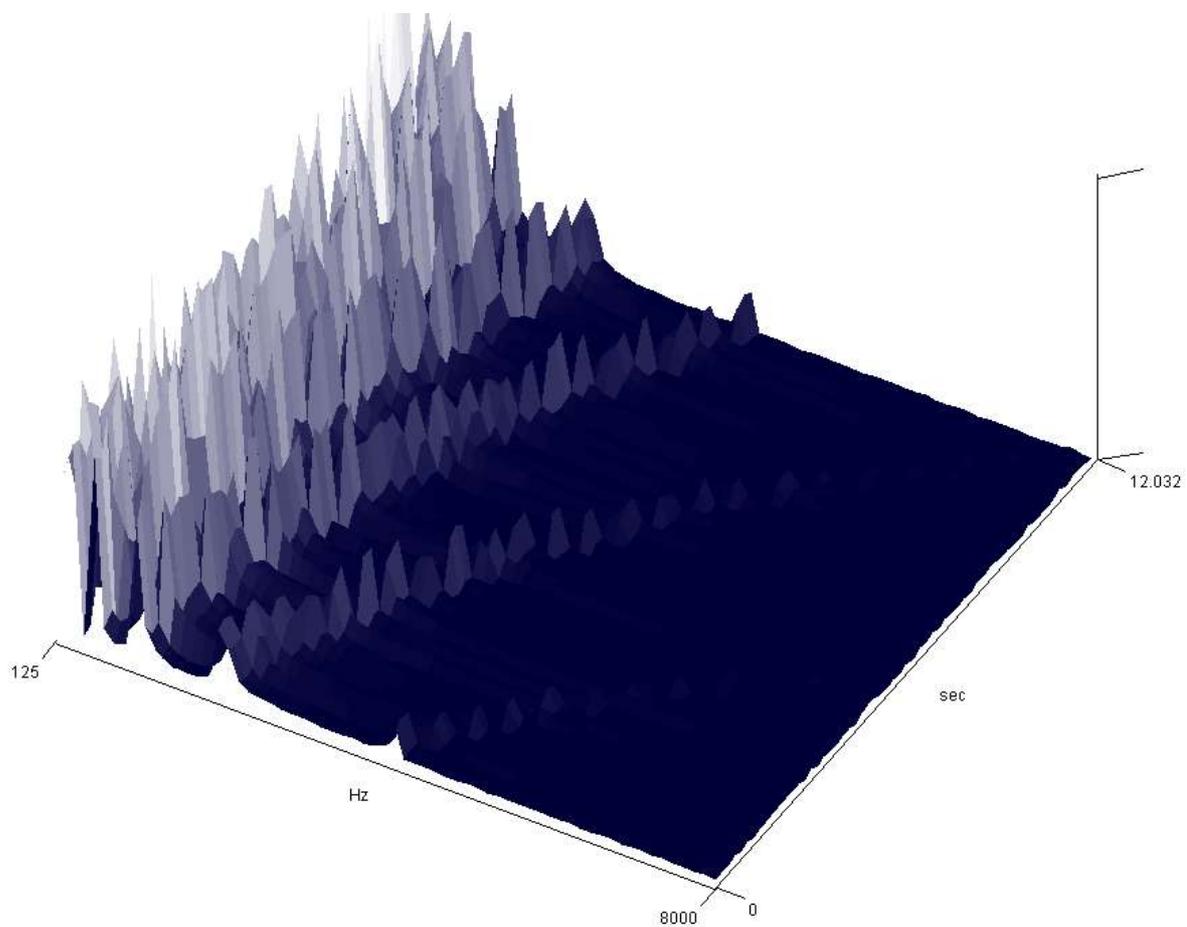
Fig. 4 Spettro di due toni



Il filtro passabanda a campana introdotto nel capitolo 1.1 e' chiaramente visibile in questo grafico.

Mentre le armoniche (ora rappresentate dai picchi di diverso colore) si spostano verso destra (maggiore frequenza), l'involuppo del filtro rimane costante e permette alle armoniche piu' esterne di entrare o uscire 'dolcemente' nello scenario.

Una ulteriore rappresentazione di Fig.2 e' visibile nella successiva:



In questo caso le intensita' sono discernibili dalle altezze relative dei picchi (cfr. con la Fig.2).



O2L

La scala infinita
Documentazione tecnica

2.1: O2L.net e La Scala Infinita

2.1.1: Obiettivi

1. Realizzare l'illusione acustica di Shepard
2. Onorare la richiesta di localizzazione della fonte sonora (sensori:casce = 1:1)
3. Ottenere prestazioni real-time (causa/effetto: pressione->emissione)
4. Raggiungere massimi margini di affidabilita'
5. Rendere soddisfacente la qualita' di riproduzione sonora
6. Massimizzare l'intuitivita' della esperienza

2.1.1.1: La scala di Shepard

L'esito di una buona esperienza e' indubbiamente legato alla qualita' del set di campioni caricato sul sistema. I campioni sono stati prodotti con avanzate tecniche di sintesi, tali da garantire un'ottima prestazione e dinamica di riproduzione.

2.1.1.2: Trasduttori locali

La localizzazione delle fonti sonore risponde all'esigenza di minimizzare le potenze in gioco. In questo modo l'esperienza diviene piu' intima, riducendo le interferenze arrecate a postazioni posizionate sulla stessa sala.

2.1.1.3: Prestazioni

La relazione causa/effetto del contatto con l'area sensibile e l'emissione sonora, gioca un ruolo cruciale nella retroazione che lo sperimentatore ha con il sistema.

Real-time significa che il ritardo di attivazione del suono non e' umanamente percepito.

2.1.1.4: Affidabilita'

Una installazione stabile deve poter essere affidabile massimizzando la durata operativa. Questo riduce i costi di manutenzione e i disagi causati da un malfunzionamento che potrebbe tendere a bloccare il sistema.

2.1.1.5: Qualita' di riproduzione sonora

Il campione viene convertito in suono da una speciale unita' di decodifica digitale (DAC). Questo segnale viene poi trasferito ad un amplificatore ed infine ad una cassa. La qualita' intrinseca di ogni stadio determina poi la qualita' finale di riproduzione.

2.1.1.6: Esperienza intuitiva

Per sperimentare l'effetto bastera' attenersi alle indicazioni presentate su una brochure o su un espositore. Nulla toglie al visitatore di poter spaziare su prospettive diverse, rendendo l'installazione duttile alle proprie fantasie.

**02L**La scala infinita
Documentazione tecnica

2.2: La dotazione

2.2.1: Le componenti

L'installazione e' costituita da:

- Struttura orbitale che accoglie gli elementi sensibili (triggers)
- 12 moduli sintetizzatori

Tali moduli, denominati MDMA, sono dei sintetizzatori a wave-table riprogrammabili e configurabili per suonare uno dei 16 campioni in memoria.

Tutti i moduli vengono programmati con lo stesso file, che conterra' i campioni ad offset di 4kB.

La sintesi viene attivata per mezzo di un trigger esterno di tipo a contatto secco e l'emissione durera' per l'intera chiusura del circuito.

L'intero sistema e' infine gestito completamente a bassa tensione per soddisfare i parametri di sicurezza per il pubblico.

2.2.2: Il modulo MDMA

Il modulo MDMA presenta le seguenti caratteristiche (MDMA v0.1-REV2):

Memoria wave-table	64kB suddivisa in 16 banchi da 4kB, EPROM commerciale 27C512
Configurazione banco	stabile mediante dip-switch, codifica binaria
Programmazione wave-table	mediante programmatore EPROM (non fornito)
Formato wave-table	Unsigned 8bit
Precisione DAC	8bit
Frequenza di riproduzione	Configurabile tra 48kHz e 100kHz, tarata in laboratorio a 64kHz
Ingresso trigger	dry-contacts con stadio optoisolatore
Ritardo di attivazione da transizione O-C trigger	0.6µs
Ritardo di disattivazione da transizione C-O trigger	2µs
Uscita audio	2.4Vpp, impedenza 47kOhm
Alimentazione	9..12V cc (non stabilizzata)
Temperatura di esercizio	0°C - 50°C