



Compression

Parte 2

Prof. Filippo Milotta
milotta@dmi.unict.it



Fattori di compressione per codifiche basate su PCM

■ Dipendono dalla implementazione della PCM:

□ IMA ADPCM: **4a1 (75%)** ~ circa 50 kBps

- Con specifica G.721: 16 o 32 kBps (bit-rate)
- Con specifica G.723: 24 kBps (bit-rate)

□ ACE/MACE ADPCM: **2a1 (50%)**

■ Ma soprattutto dipende dall'utente, che stabilisce in base alle necessità la fedeltà vs compressione del segnale

Queste codifiche con compressione sono di tipo *lossy*

IMA: Interactive Multimedia Association, usato in MS Windows

ACE/MACE è la compressione APPLE

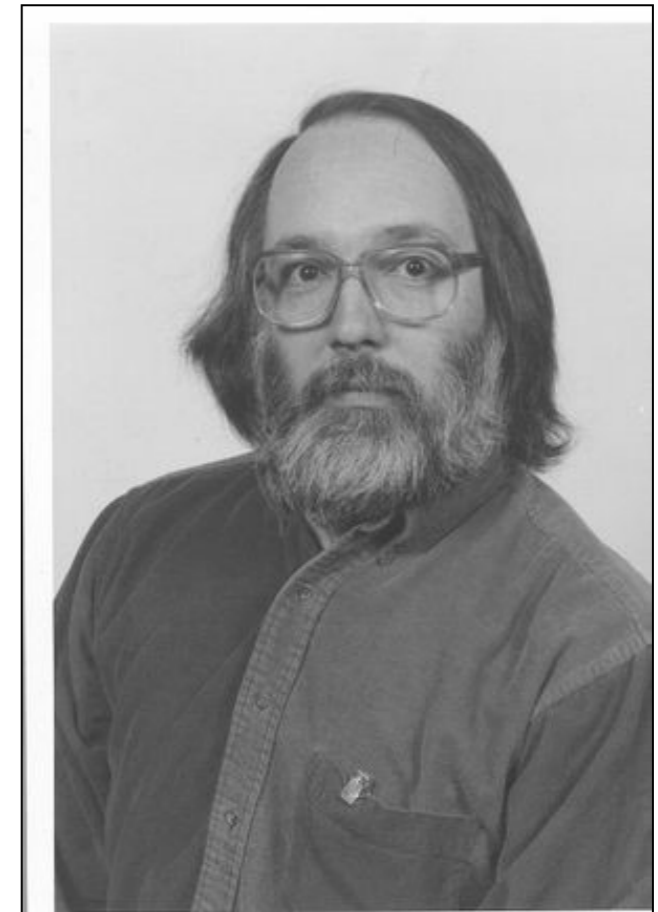
Il bit-rate è il tasso di trasferimento



James D. Johnston

(?? – ancora in vita?)

- Noto come *Il padre delle codifiche di compressione di tipo percettivo*
- Responsabile di numerose codifiche all'interno dei formati MP3 e MPEG-2. Lavorò per 26 anni nei Bell Labs. Dopo aver lasciato i Bell Labs si è trasferito alla Microsoft.





Compressione percettiva (Entropia percettiva)

- J.D. Johnston ha fissato un limite teorico alla comprimibilità di un segnale se si vuole ottenere una codifica trasparente
 - **Codifica trasparente:** è una codifica compressa (*lossy*) che permette una riproduzione non distinguibile dal segnale originale non compresso
- Tale limite è di circa 2.1 bit / campione

Studio della
Entropia Percettiva



Compressione percettiva e Codifica trasparente – Esempio

■ CD Audio

- Tasso di campionamento: **44,1kHz**
- PCM lineare **16 bit**: **44,1kHz** * **16** = **705,6kbps**

- Compressione a **64kbps**

- E' una codifica compressa trasparente?

- Ogni campione verrà campionato con **64.000 / 44.100 = 1,45 bit / campione**

- $1,45 < 2,1 \rightarrow \rightarrow \rightarrow$ Codifica NON trasparente

Il bit rate compresso è minore di quello non compresso (705,6kbps). Questo significa che comprimendo, ogni campione verrà codificato con meno bit di quelli iniziali...

...non più 16 bit / campione, ma 1,45 bit / campione



Codifica trasparente

- La trasparenza non è una proprietà necessaria delle codifiche di compressione
- E' più che altro una conseguenza diretta del bit-rate di compressione scelto
- → Cioè, tipicamente non si può scegliere il bit-rate, perché è dettato dalla strumentazione
 - Fissato il bit-rate è però possibile dire se la codifica sarà trasparente



La tecnica **Compansion**

(Cap. 3.6 – Pag.130 – IV edizione)

- **Compansion = Compression + Expansion**
(intesi proprio come operatori dinamici)
 - Compressione in fase di registrazione
 - Espansione in riproduzione
- → Utilizzata negli schemi di **compressione di tipo percettivo**
- Ideata dalla Dolby negli anni '60-'70 per risolvere i problemi di SNR sui nastri magnetici

Dal testo: il rumore, in particolar modo il fruscio delle cassette audio, non è più di ampiezza costante e indipendente dal segnale: ora è più forte quando il segnale è più forte, ed è più debole quando il segnale è più debole



Compressione di tipo percettivo

- Negli schemi di compressione di tipo percettivo vengono impiegate numerose tecniche, combinate in vari modi
 - Abbiamo appena (ri)visto la *Compansion*
- a questa aggiungiamo:
 - la *quantizzazione non uniforme* (in **μ -law** e **A-law**)
 - la codifica differenziale *ADPCM*
 - e altre 4 tecniche principali... →

Prendiamo in considerazione anche le **debolezze dell'udito umano** :

- La THQ (Threshold to Quiet)
- Le Bande Critiche e il mascheramento



Compressione di tipo percettivo

- Si basa su 4 tecniche principali:
 1. Block Coding
 2. Transform Coding
 3. Sub-band Coding
 4. Huffman Coding



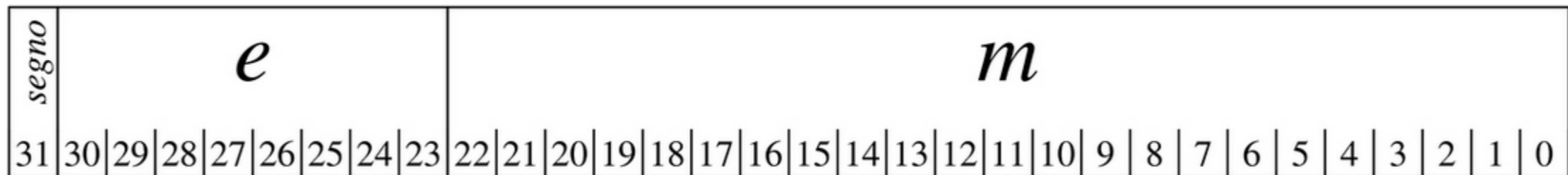
Block Coding

Codifica per blocchi

- La quantizzazione non uniforme si può vedere come una codifica a virgola mobile
 - Esponente e mantissa

- Nelle tracce audio ci si aspetta che l'esponente vari pochissimo
 - Si può codificare l'esponente una volta sola per blocco

Es.: + $10^{-e=-8}$ $\times (m = 123456)$ = +0,00123456





Block Coding

Codifica per blocchi – Pre-echi

- Problema dei pre-echi
 - Dovuto principalmente a transitori impulsivi
- Si può risolvere in 2 modi:
 - Ridurre la durata dei blocchi
 - Usare blocchi di durata variabile in base all'andamento dei transitori, per circoscrivere i rumori impulsivi

Introducono forti cambiamenti di scala (ordine di grandezza)
→ Rendono impossibile utilizzare un unico esponente per tutto il blocco

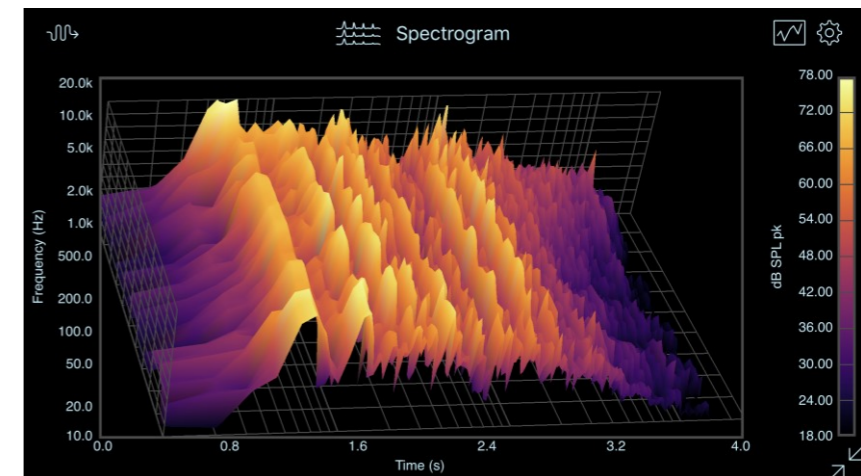
In modo che sia più probabile che tutte le intensità dentro un blocco siano dello stesso ordine di grandezza



Transform Coding

Codifica nel dominio delle frequenze

- Il segnale audio nel dominio delle frequenze tende a variare meno rispetto al dominio dello spazio
(→ *Spettrogramma*)



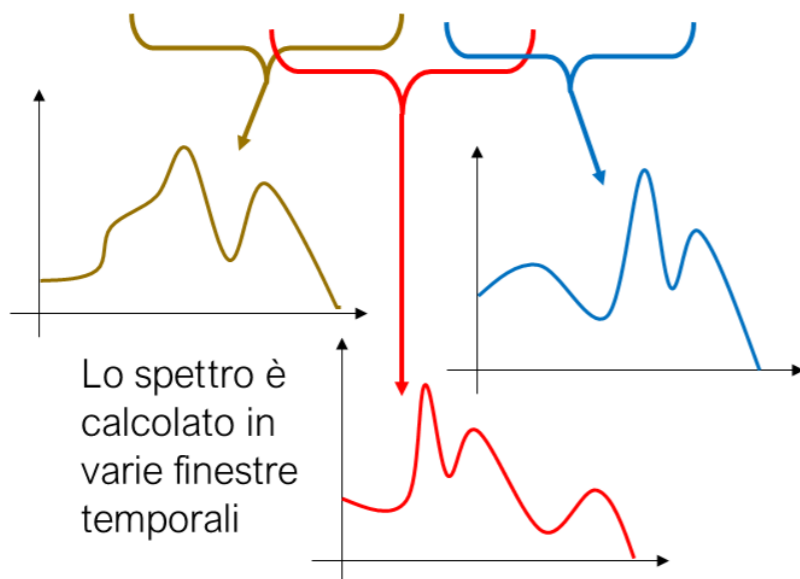
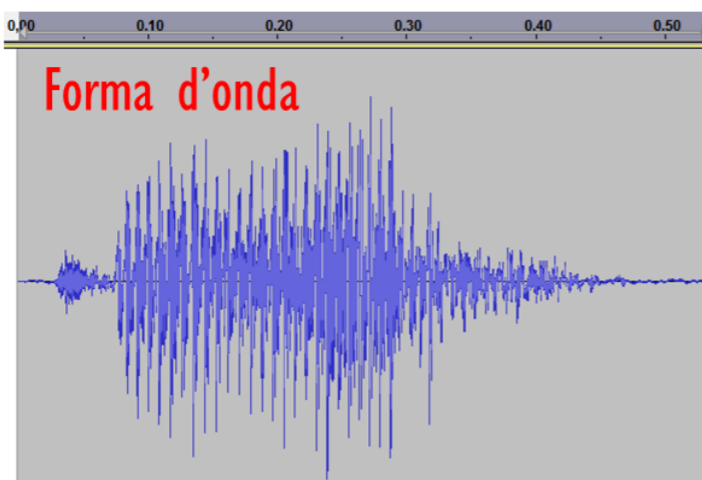
- Al posto della DFT applichiamo trasformate efficienti come la FFT o la DCT
 - La DCT è da preferire

FT: Fourier Transform
DFT: Discrete FT
FFT: Fast FT
DCT: Discrete Cosine Transform
MDCT: Modified DCT

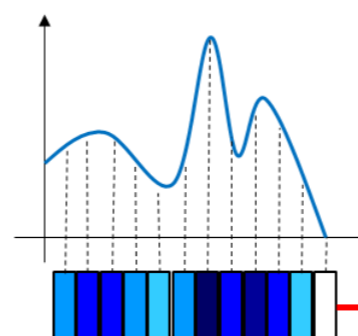
Perché la DFT e la FFT utilizzano numeri complessi, mentre la DCT solo numeri reali, e le funzioni di base sono tutte (e solo) sinusoidi
[Pag 168 – Fig.4.12]

Ripasso – Acustica – Parte 5

Altre rappresentazioni dello spettro

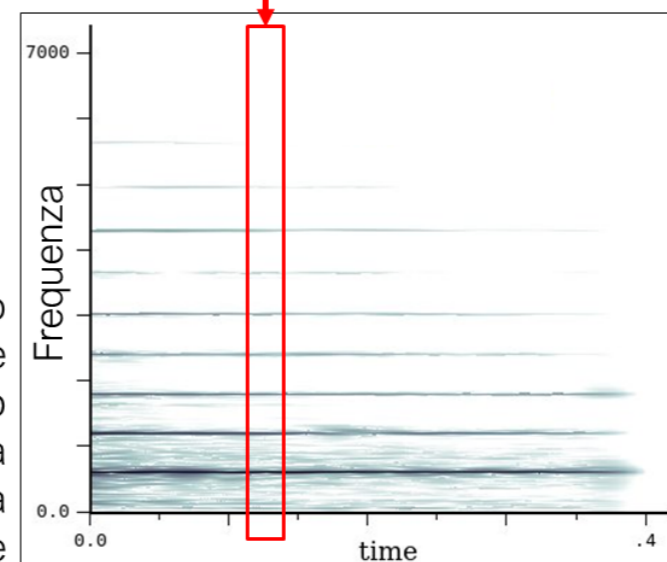


Spettro (continuo)



Se lo vedessimo... dall'alto
 Colori più scuri → Valori più alti
 Colori più chiari → Valori più bassi

Ogni colonna nello spettrogramma è relativa ad uno spettro calcolato da una finestra temporale



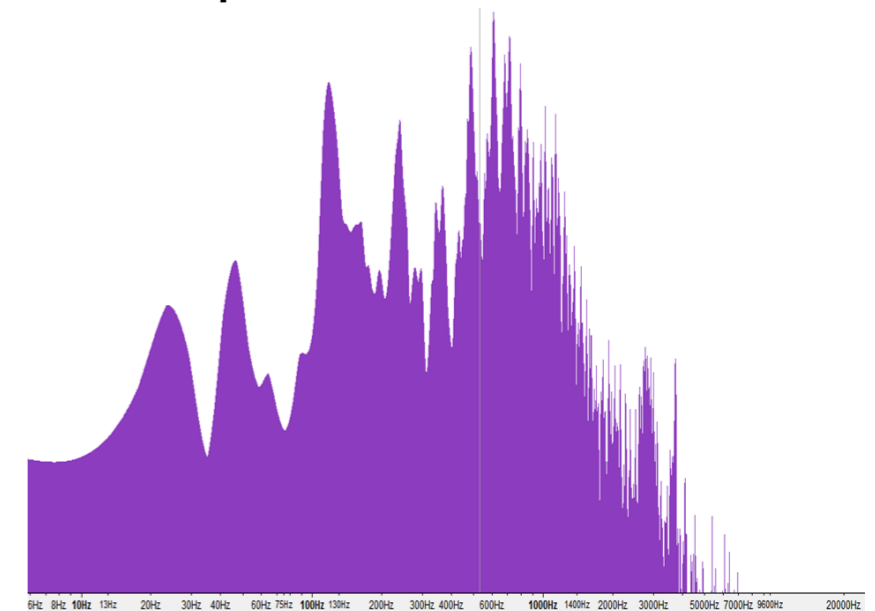


Transform Coding

Codifica nel dominio delle frequenze

- Vantaggiosa se applicata a blocchi con bassa gamma dinamica
- Per evitare i pre-echi
 - Si calcola la trasformata su intervalli sovrapposti per il 50%
 - Con questo metodo si ottiene però il doppio dei campioni necessari
- La compressione viene quindi applicata nel dominio delle frequenze,
 - Sui coefficienti delle trasformate
 - Sugli spettri (→ Sub-band Coding)

Windowing
cioè sovrapposizione per finestre



Spettro (continuo)



Sub-band Coding

Codifica per sottobande

- Analogamente alla codifica a blocchi →
- Divide lo spettro di frequenze in sottobande codificate in maniera individuale
 - Le sottobande con gamma dinamica ristretta possono essere codificate con meno bit
- Il processo di ***band-splitting*** non è semplice e richiede il giusto compromesso fra complessità di splitting e tasso di compressione

Ad esempio, si potrebbe applicare una suddivisione in base alle bande critiche (come nella MDCT)



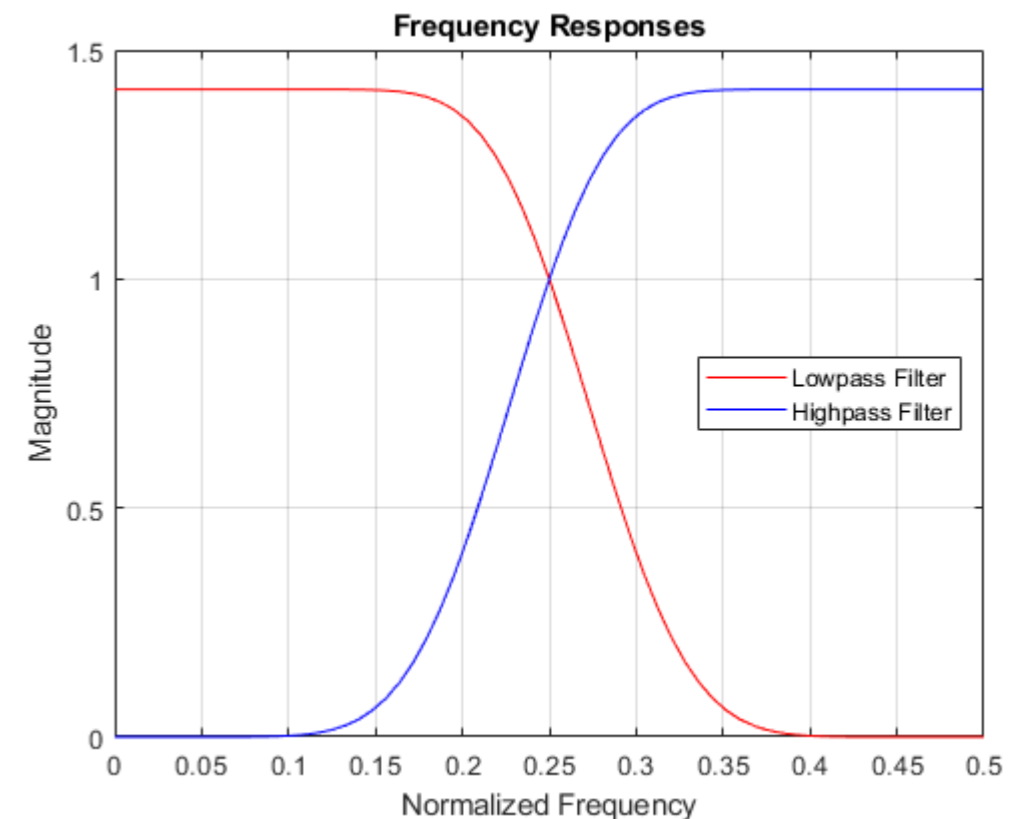
Sub-band Coding

Codifica per sottobande – QMF

Filtraggio a specchio di quadratura

■ QMF: Quadrature Mirror Filtering

- Si considerano 2 segnali separati: basse e alte frequenze
- I filtri QMF possono essere usati in cascata e possono operare in polifase (cioè in parallelo)
- Le due bande devono avere la stessa grandezza





Huffman Coding

Compressione di Huffman

- Codifica ottimale
(→ si avvicina al limite di Shannon)
- Codici senza prefissi
- Compressione Lossless

- Algoritmo greedy:
 1. Selezione di due caratteri con frequenze minime
 2. Sostituzione dei due caratteri con uno fittizio la cui frequenza è la somma delle precedenti due
 3. Ripetere fino a ottenere il carattere con frequenza 1



Huffman Coding

Compressione di Huffman

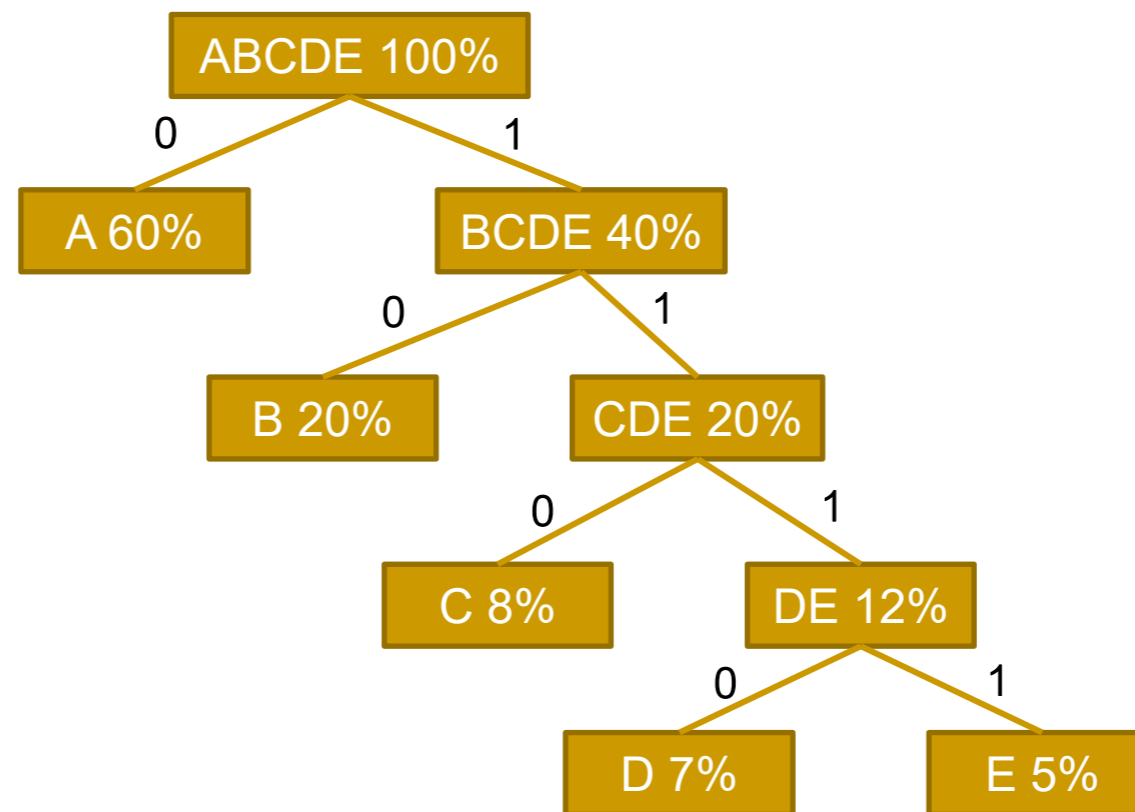
- A questo punto si ottiene un albero, la cui forma può variare in base alle scelte prese
- Si etichettano i rami binari con 0 e 1
- Si assegnano le codeword alle foglie leggendo dalla radice le etichette dei rami
 - Caratteri frequenti avranno codeword brevi
 - Caratteri rari avranno codeword lunghe



Huffman Coding

Esempio

Simboli e frequenze iniziali: A 60% B 20% C 8% D 7% E 5%



Simboli e codifiche finali:

A: 0, B: 10, C: 110, D: 1110, E: 1111



Schema generale di compressione di tipo percettivo

1. **Block-Coding:** Segmentazione della traccia audio in frame *quasi-stazionari* di 2-50 msec
 - Quasi-stazionari: con transitori poco variabili
2. **Transform Coding:** si passa all'analisi nel dominio delle frequenze
3. **Sub-band Coding** opzionale, se si vuole ulteriormente ottimizzare la codifica del range dinamico
4. **Rimozione delle ridondanze** tramite codifiche lossy (ADPCM) o lossless (Huffman)



Approfondimenti

- ***[EN] Paper: Johnston's limit to compression***
<http://labrosa.ee.columbia.edu/~dpwe/papers/Johns88-audiocoding.pdf>
- ***[EN] J.D. Johnston brief biography***
https://ethw.org/James_D._Johnston
- ***[EN] (Compansion) What is Dolby Noise Reduction? Dolby's Humble Beginning***
<https://www.youtube.com/watch?v=DhWL7lgnLnE>
- ***[EN] A tutorial on MPEG/Audio compression***
<https://www.icg.isy.liu.se/courses/tsbk35/material/mpegaud.pdf>