

Emissioni Otoacustiche

Introduzione all' analisi dei segnali

10/24/04

Otoemissioni e segnali

1

Il segnale elettrico

- **Caratteristiche dei segnali**
- **Elaborazione dei segnali**
- **Criteri di valutazione**

10/24/04

Otoemissioni e segnali

2

Caratteristiche dei segnali

- Ampiezza estremamente bassa
- Banda limitata
- Possibile presenza di artefatti
- Possibile presenza di rumore

10/24/04

Otoemissioni e segnali

3

Caratteristiche dei segnali

- L'orecchio umano è in grado di rilevare pressioni sonore **da 20 uPa a 200 Pa**
- $\text{dBspl} = 10 \log_{10}(P^2/P_{\text{rif}}^2) = 20 \log_{10}(P/P_{\text{rif}})$
 $P_{\text{rif}} = 20 \text{ uPa}$
- Sensibilità tipica del microfono
- $S_m = 50 \text{ mV/Pa}$

10/24/04

Otoemissioni e segnali

4

Caratteristiche dei segnali

- -20 dBspl → 2 uPa → 0.1 uV
- -10 dBspl → 6.32 uPa → 0.316 uV
- 0 dBspl → 20 uPa → 1 uV
- +10 dBspl → 63.24 uPa → 3.16 uV
- +20 dBspl → 200 uPa → 10 uV
- +40 dBspl → 2 mPa → 100 uV
- +80 dBspl → 200 mPa → 10 mV

10/24/04

Otoemissioni e segnali

5

Segnali tipici TEOAE



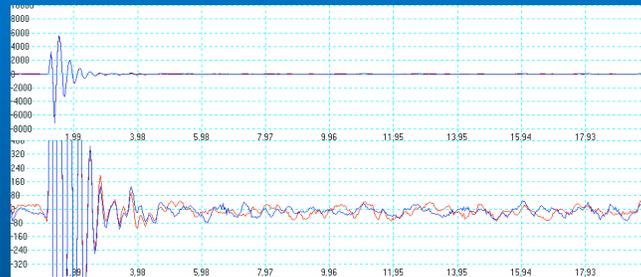
- Ampiezze tipiche inferiori a 500uPa
- Intervallo temporale di 20mS
- Nei bambini anche segnali superiori a 500uPa

10/24/04

Otoemissioni e segnali

6

Segnali tipici TEOAE



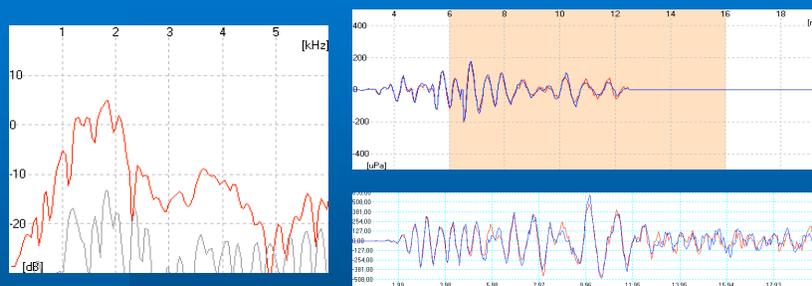
- Artefatti generati dalla sonda (ringing)

10/24/04

Otoemissioni e segnali

7

Segnali tipici TEOAE



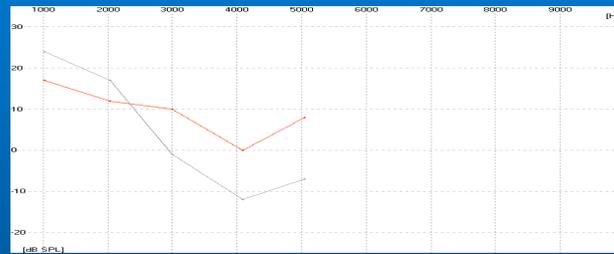
- Banda significativa dello spettro inferiore a 5KHz

10/24/04

Otoemissioni e segnali

8

Segnali tipici DPOAE



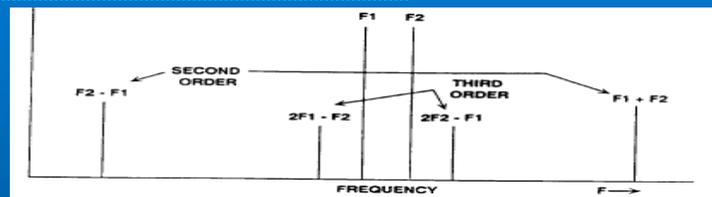
- Ampiezze tipiche inferiori a 30dB
- Frequenze tipiche inferiori a 10KHz
- Grande dinamica dei segnali

10/24/04

Otoemissioni e segnali

9

Segnali tipici DPOAE



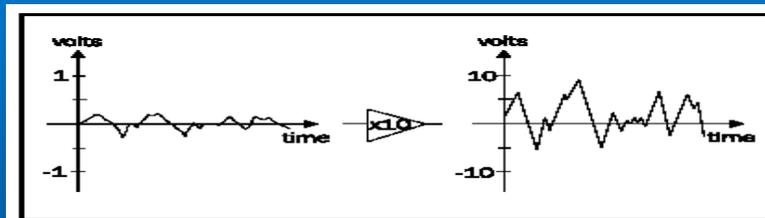
- Prodotti di distorsione per non linearità orecchio
- Toni stimolo tipici tra 50 e 70 dBspl
- Ampiezza DP anche inferiore a -10 dBspl
- Dinamica richiesta superiore a 80dB
- Distorsione cubica $\rightarrow 2F_1 - F_2$
- $K = F_2 / F_1 \rightarrow$ tipico 1.2
- $L_1 - L_2 \rightarrow$ tipico 5 - 10 dB

10/24/04

Otoemissioni e segnali

10

Elaborazione dei segnali



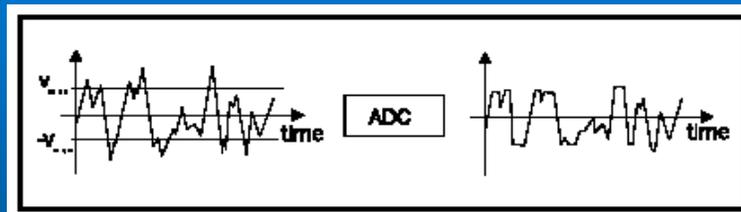
- I segnali devono essere amplificati
- Occorre garantire una bassa distorsione
- Occorre garantire un basso rumore

10/24/04

Otoemissioni e segnali

11

Elaborazione dei segnali



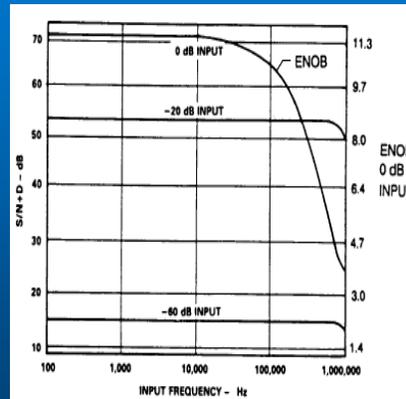
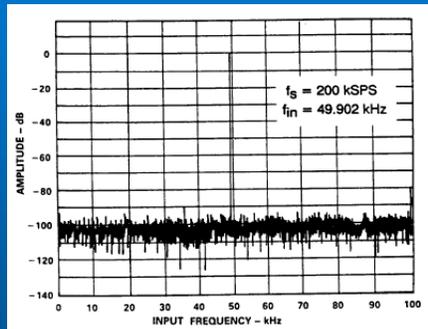
- I segnali devono essere convertiti
- Occorre rispettare la massima dinamica
- Pericolo di introdurre distorsioni

10/24/04

Otoemissioni e segnali

12

Elaborazione dei segnali



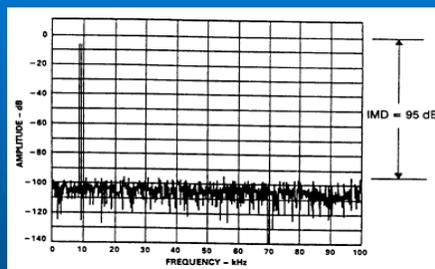
- SNR del convertitore
- $ENOB = (SNR - 1.76) / 6.02$
- Effective Number Of Bit

10/24/04

Otoemissioni e segnali

13

Elaborazione dei segnali



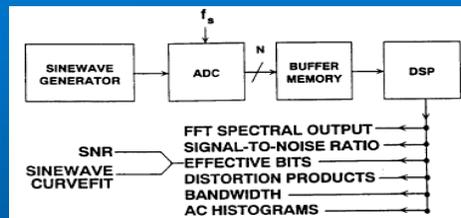
- Il convertitore A/D introduce distorsione
- THD → Total Harmonic Distorsion
- IMD → Intermodulation Distorsion
- **Termini di distorsione** → $m \cdot F_1 + n \cdot F_2$

10/24/04

Otoemissioni e segnali

14

Elaborazione dei segnali



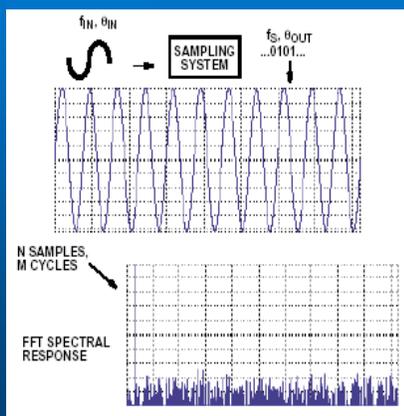
- Elaborazione digitale dei segnali acquisiti → DSP
- Filtraggio digitale
- Algoritmi numerici
- Elevata velocità di elaborazione

10/24/04

Otoemissioni e segnali

15

Elaborazione dei segnali



- **Campionamento coerente**
- $N \cdot F_{IN} = M \cdot F_S$
- F_{IN} = frequenza segnale
- F_S = frequenza campionamento

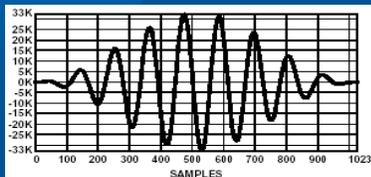
10/24/04

Otoemissioni e segnali

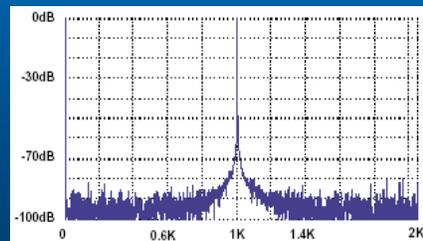
16

Elaborazione dei segnali

WINDOW NAME	WINDOW FUNCTION
Rectangular	$A(n) = 1$ For $n = 0$ to N
Triangular	$A(n) = 2n/N$ For $n = 0$ to $N/2$ $A(n) = 2 - 2n/N$ For $n = N/2$ to N
Hanning	$A(n) = 0.5(1 - \cos(2\pi n/N))$ For $n = 0$ to N
Hamming	$A(n) = 0.08 + 0.46(1 - \cos(2\pi n/N))$ For $n = 0$ to N
Exact Blackman	$A(n) = 0.42 + 0.50\cos(\pi(2n-N)/N) + 0.08\cos(2\pi(2n-N)/N)$ For $n = 0$ to N



- **Campionamento non coerente**
- **Windowing**
- **Leakage**



10/24/04

Otoemissioni e segnali

17

Criteri di valutazione TEOAE

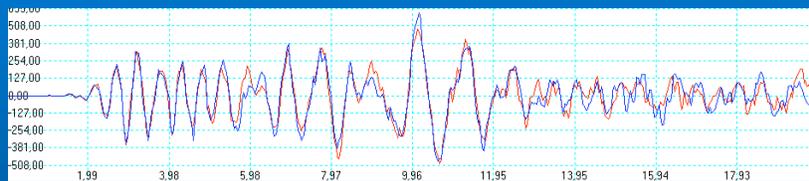
- **TEOAE**
 - Averaging buffer correlation
 - Signal to noise ratio (half-octave frequency band) \rightarrow S/N
 - Binomial statistical test

10/24/04

Otoemissioni e segnali

18

Averaging buffer correlation



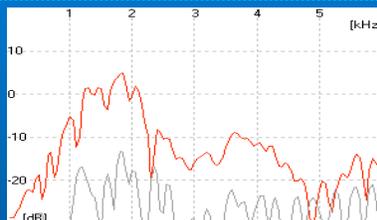
- Due buffer indipendenti con valori mediati
- Filtraggio dei valori acquisiti (Passa Banda)
- Calcolo della correlazione tra i due buffer (Cross Correlazione)
- Tecniche alternative basate su Windowing
- Soglia minima del valore di correlazione

10/24/04

Otoemissioni e segnali

19

Signal to Noise ratio (S/N)



- Calcolo dei rapporti segnale-rumore
- Suddivisione in bande da _ ottava
- Frequenze centrali: 1.5KHz, 2KHz, 3KHz, 4KHz
- Soglia minima → 6 – 10 dB
- Intervallo temporale → da 5 a 12 mS

10/24/04

Otoemissioni e segnali

20

Binomial statistics

- **Analisi statistica binomiale da 6 a 12 mS**
- **Criterio basato sul calcolo della deviazione standard rispetto ad una distribuzione random**
- **Soglie a +3 sigma e -3 sigma (99.9 %)**

10/24/04

Otoemissioni e segnali

21

Criteri di valutazione DPOAE

- **DPOAE**
- **Media nel dominio del tempo**
- **Calcolo rapporti segnale rumore**
- **Frequenze di test tra 1.5KHz e 5KHz**
- **Soglie tra 3 e 6 dB, variabili al variare della frequenza di test**

10/24/04

Otoemissioni e segnali

22