Calcolo numerico per utilizzare i residui di udito

Andrea Trucco, Ph.D.
Dipartimento Ingegneria Biofisica ed Elettronica
DIBE - Università di Genova
trucco@ieee.org

Segnale audio

- Variazione della pressione nel tempo (segnale fisico)
- Il microfono trasforma le variazioni di pressione in variazioni di tensione (segnale elettrico)
- L'altoparlante esegue l'operazione contraria
- Si tratta comunque di segnali analogici

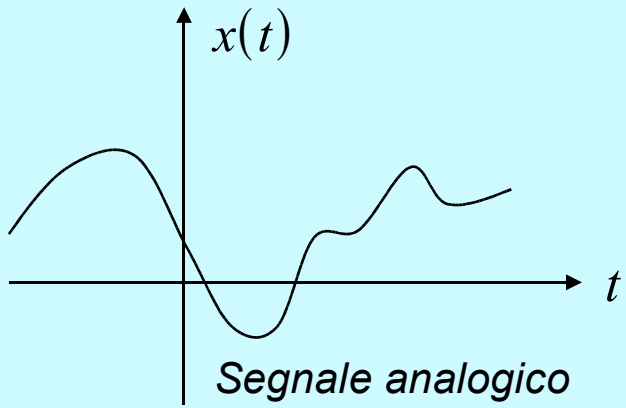
Categorie di segnali

TEMPO

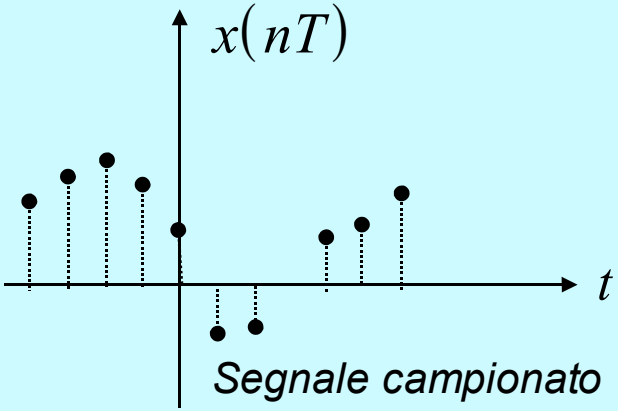
Continuo | **Discreto**

AMPIEZZA

Continua

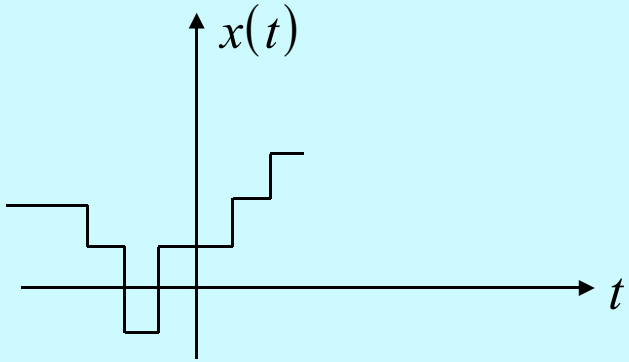


Segnale analogico

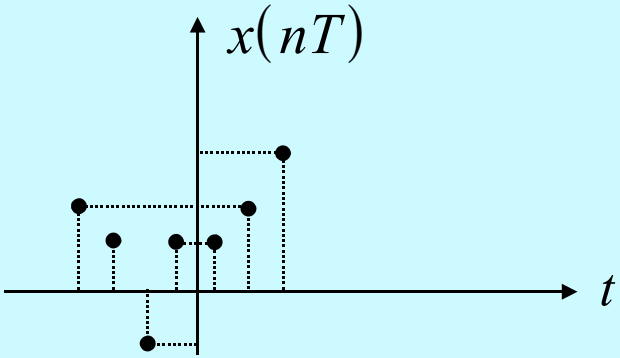


Segnale campionato

Discreta



Segnale discreto o quantizzato



Segnale digitale o numerico

Segnali digitali: vantaggi

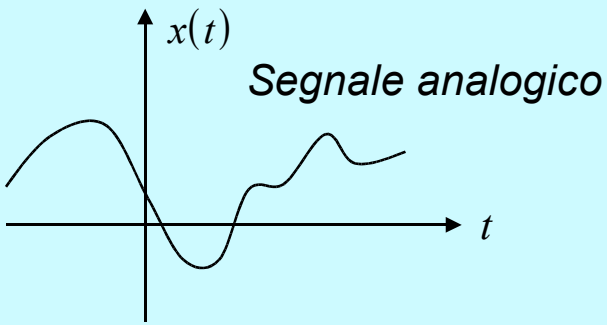
- Maggiore robustezza rispetto al rumore in fase di trasmissione
- Possibilità di eseguire complesse elaborazioni tramite algoritmi difficili da implementare in analogico
- Possibilità di trasmettere più segnali digitali su uno stesso canale

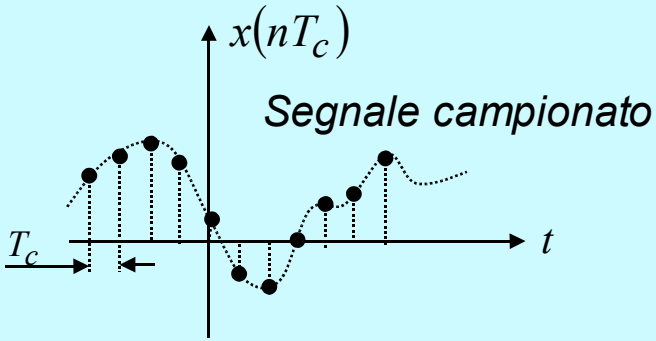
Elaborazione digitale

- Per usufruire dei vantaggi del segnale digitale, bisogna:
  - convertire il segnale analogico in segnale digitale
  - eseguire le elaborazioni desiderate
  - riconvertire il segnale digitale in segnale analogico
- Queste operazioni avvengono nel dominio elettrico

Da analogico a digitale (1)

- Primo passo: discretizzare il segnale analogico sul dominio del tempo, ottenendo un segnale campionato





- Bisogna che la sequenza dei campioni consenta la ricostruzione del segnale analogico originario

Frequenza di campionamento

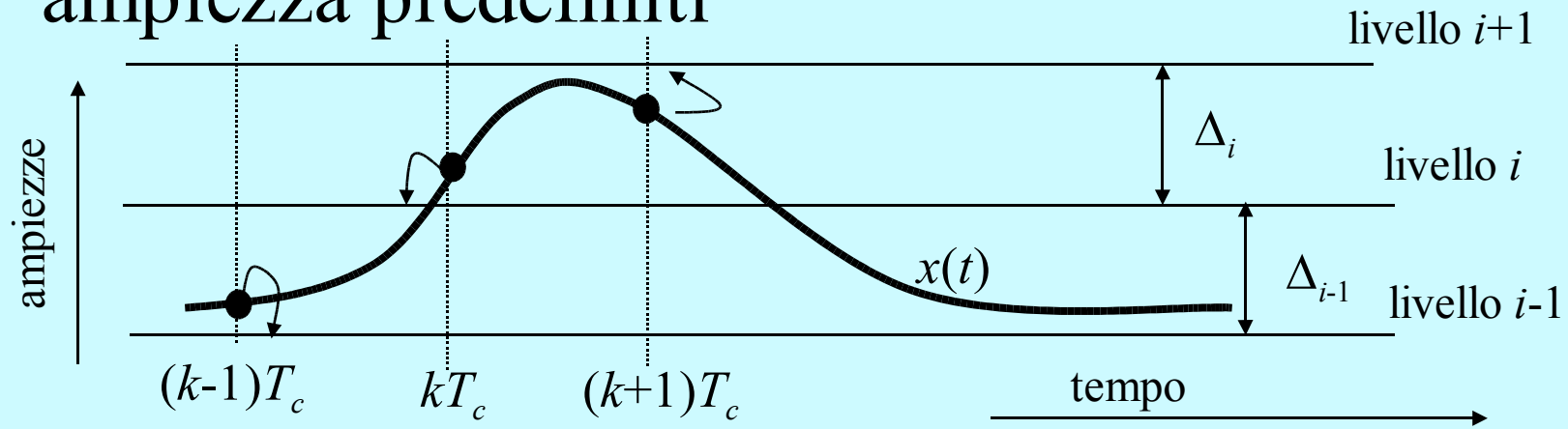
- **Teorema del campionamento**:

un segnale $x(t)$ con spettro nullo per frequenze superiori a f_{max} è completamente specificato dai suoi campioni se essi sono acquisiti con una frequenza di campionamento f_c maggiore o uguale a $2f_{max}$

- Rispettando questo teorema è possibile ricostruire perfettamente il segnale analogico

Da analogico a digitale (2)

- Secondo passo: discretizzare il segnale nel dominio delle ampiezze tramite la quantizzazione
- Si approssima il valore di ogni campione tramite il più vicino fra i livelli discreti di ampiezza predefiniti



Da analogico a digitale (3)

- Il segnale analogico può essere ora descritto mediante una sequenza di numeri
- Ogni campione viene rappresentato tramite il numero intero che indica il livello cui tale campione è stato assegnato
- Nei circuiti di elaborazione digitale i numeri interi sono espressi in base binaria (0, 1)

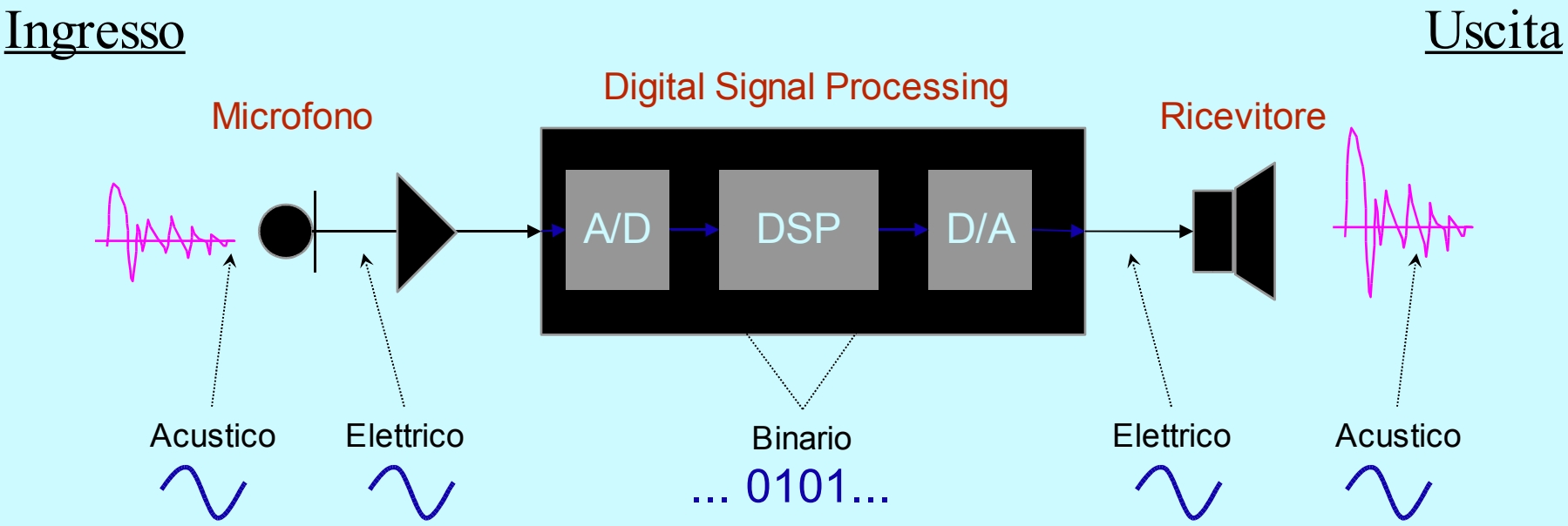
Da digitale ad analogico

- L'errore commesso nella fase di approssimazione (errore di quantizzazione) non può essere recuperato
- Bisogna che lo spazio fra i livelli sia piccolo

  $\Rightarrow$ numero di livelli molto grande

  $\Rightarrow$ elevato numero di *bit per campione*

Protesi digitali: struttura



Protesi digitali: vantaggi (1)

- Consentono di *svolgere meglio* le operazioni già previste dalle protesi analogiche più avanzate:
  - elaborazione multi-banda
    - elaborazioni di diversa natura applicate alle diverse frequenze (bande) contenute nel segnale di ingresso
    - migliore adattamento della protesi alle caratteristiche della persona in termini di sensibilità alle frequenze
  - amplificazione non-lineare
    - deve essere ottimizzata per ogni banda frequenziale

Protesi digitali: vantaggi (2)

- *Svolgere meglio* significa:
  - aumentare il numero di bande e la complessità dell'elaborazione senza aumentare le dimensioni della protesi
  - poter aggiornare e rivoluzionare la tipologia di elaborazione e amplificazione durante la vita della protesi
  - creare un'interfaccia più efficace con il computer per la configurazione e la taratura della protesi

Amplificazione non-lineare

- Si vuole comprimere l'intensità del segnale audio all'interno del ridotto intervallo dinamico residuo della persona in esame

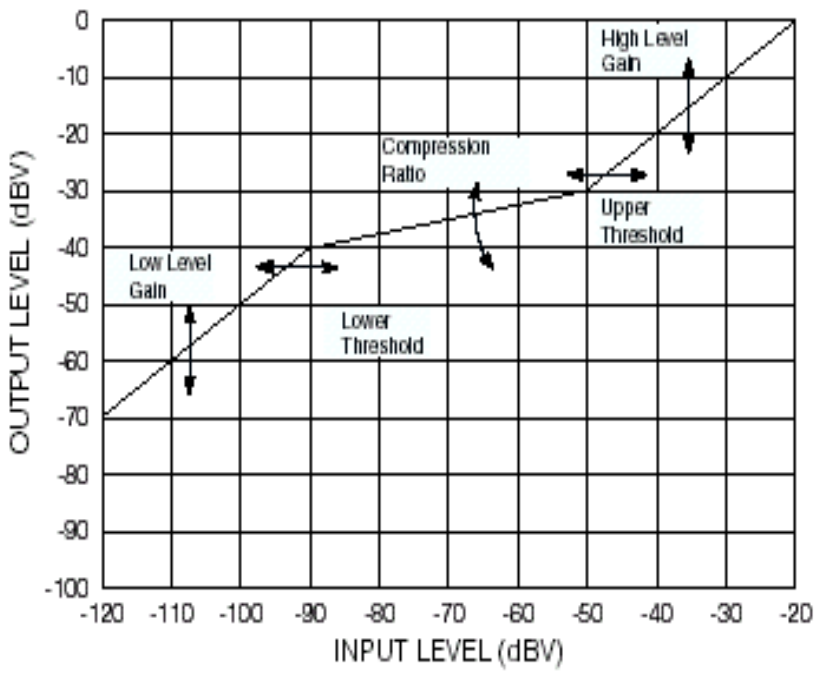


Fig. 2 Independent Channel I/O Curve Flexibility

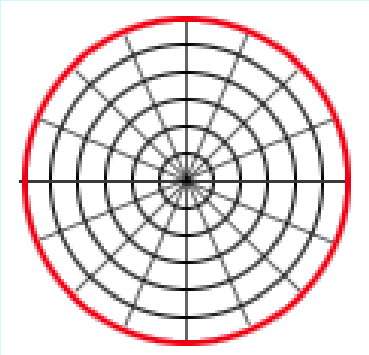
- La misura del livello di ingresso è assai laboriosa
- È necessaria la regolazione di molti parametri per bene adattare la curva alla persona
- I circuiti digitali permettono di *svolgere meglio* queste 2 operazioni

Il futuro: protesi multi-microfono

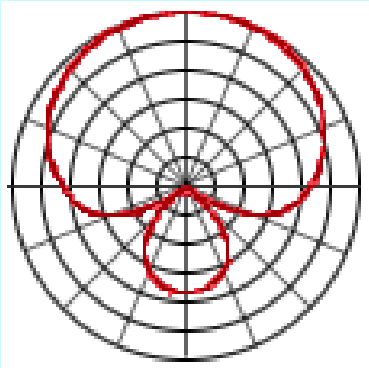
- Mantengono le caratteristiche delle protesi digitali (multi-banda e non-linearità)
- Incrementano il rapporto tra segnale utile e rumore (SNR), grazie alla separazione spaziale delle sorgenti
- L'incremento in SNR produce una migliore intelligibilità del parlato
- La separazione spaziale avviene tramite la direzionalità propria della schiera

Direzionalità di un microfono

- Un **microfono omnidirezionale** raccoglie con **uguale sensibilità** i segnali che provengono da **diverse direzioni**

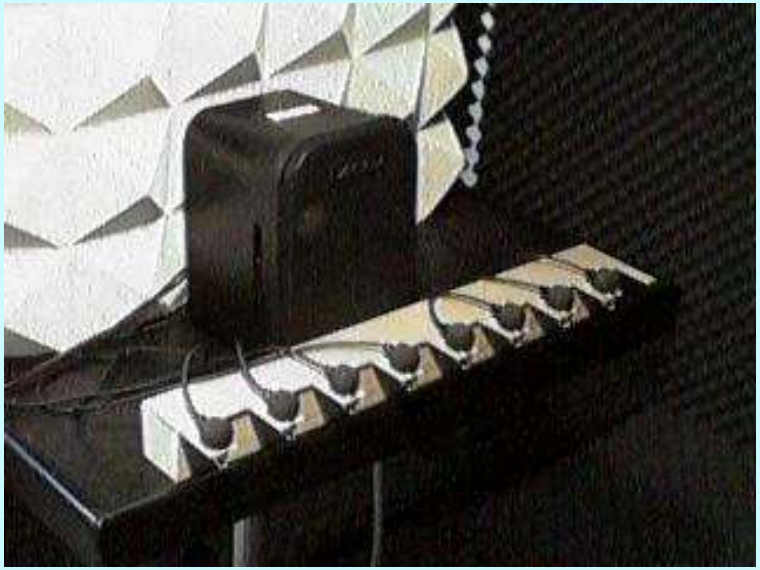


- Il **microfono unidirezionale** raccoglie con diversa sensibilità i segnali che provengono da diverse direzioni.
  - **vantaggi**: ha una direzione preferenziale
  - **svantaggi:** grandi dimensioni, direzionalità variabile con la frequenza, direzionalità non soddisfacente alle basse frequenze



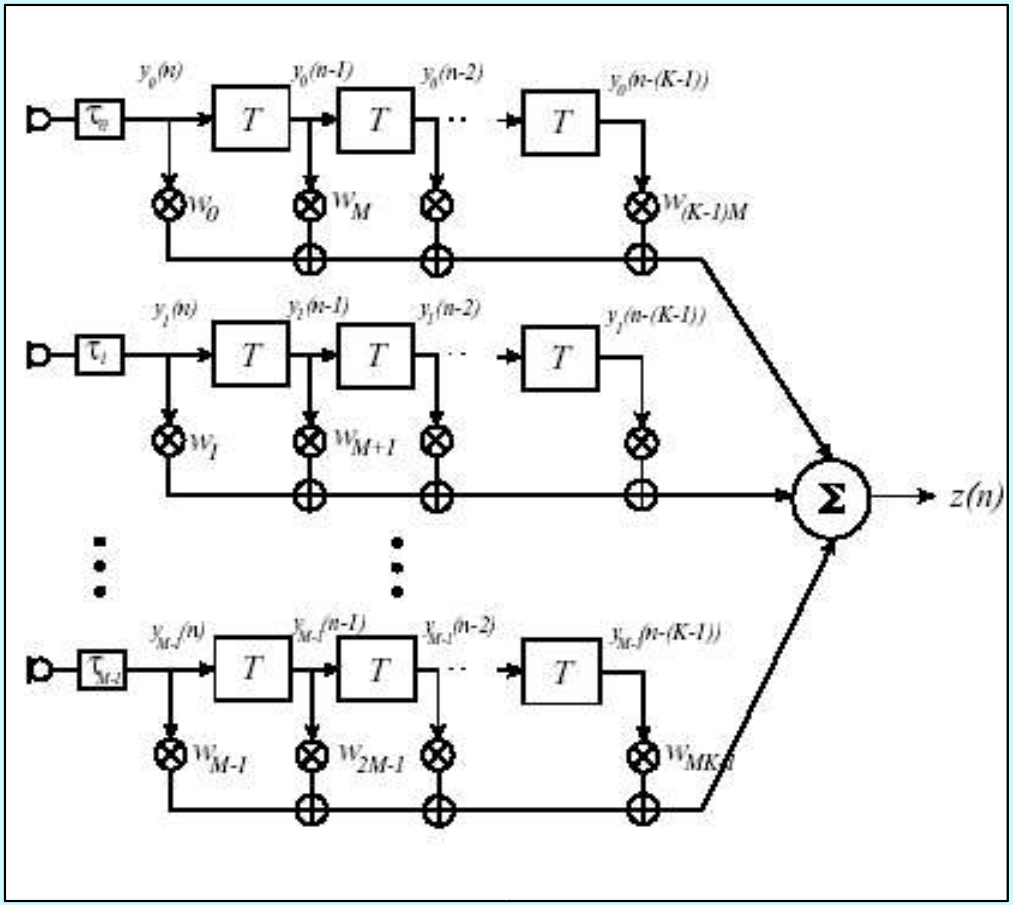
Direzionalità di una schiera

- Schiera: insieme di **più microfoni omnidirezionali** posti lungo un segmento
  - **vantaggi:** alta direzionalità costante su tutta la gamma di frequenze del parlato
  - **svantaggi:** necessita un segmento su cui appoggiare la schiera, maggiore complessità della protesi



Beamforming a larga banda

- Serve a elaborare i segnali captati dai microfoni della schiera
- Ciascun segnale è filtrato attraverso uno specifico filtro digitale
- I segnali filtrati sono sommati fra loro
- Il segnale risultante è analogo a quello che si otterrebbe tramite un ipotetico microfono super-direzionale



Problemi aperti (1)

- Si desidera ottenere una buona direzionalità che sia costante su almeno 3 ottave, usando:
  - una schiera corta rispetto alla lunghezza d'onda
  - una potenza di calcolo a disposizione del *beamforming* assai limitata
- la letteratura attuale sulle schiere (sonar, radar, ecografia) non fornisce soluzioni

$\Rightarrow$ necessario un notevole sforzo di **ricerca scientifica**

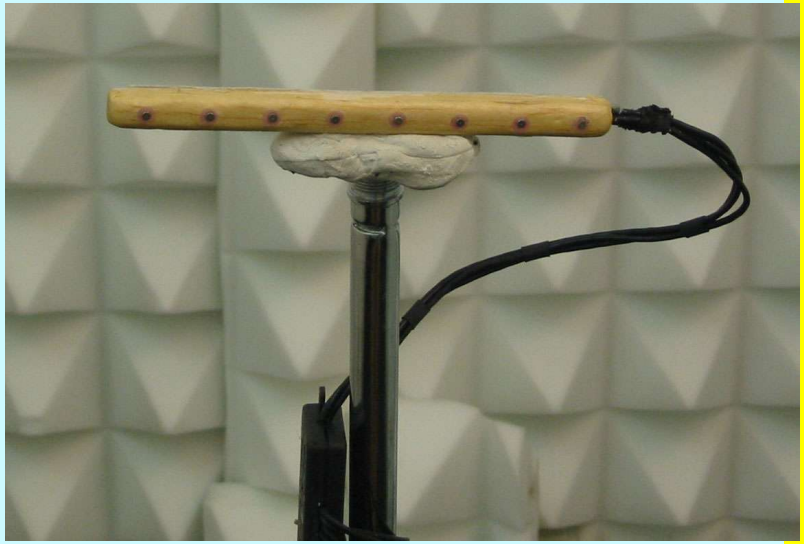
Problemi aperti (2)

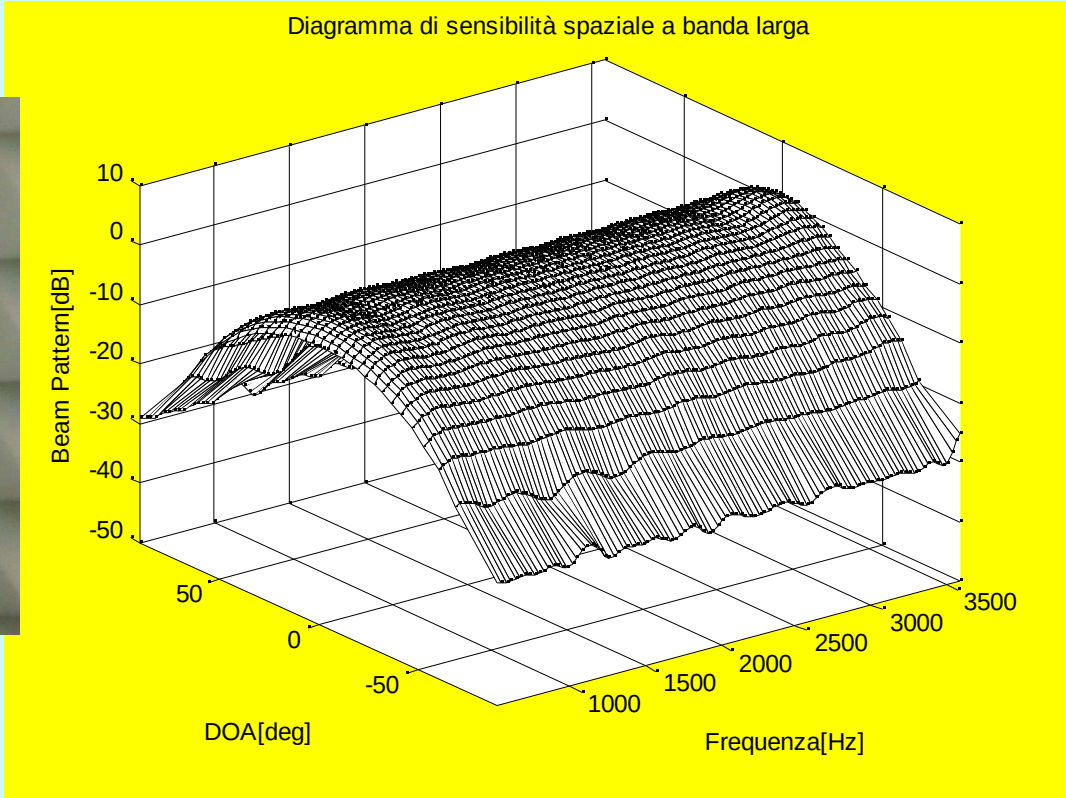
- Altri problemi da risolvere:
  - invisibilità della schiera
  - ritardo di elaborazione contenuto
  - potenti circuiti DSP miniaturizzati
  - mantenimento di costi accettabili

$\Rightarrow$ necessario uno **sviluppo tecnologico** adeguato

- DIBE e LINEAR hanno stretto accordi per svolgere le auspicate attività di ricerca

Diagramma di sensibilità spaziale





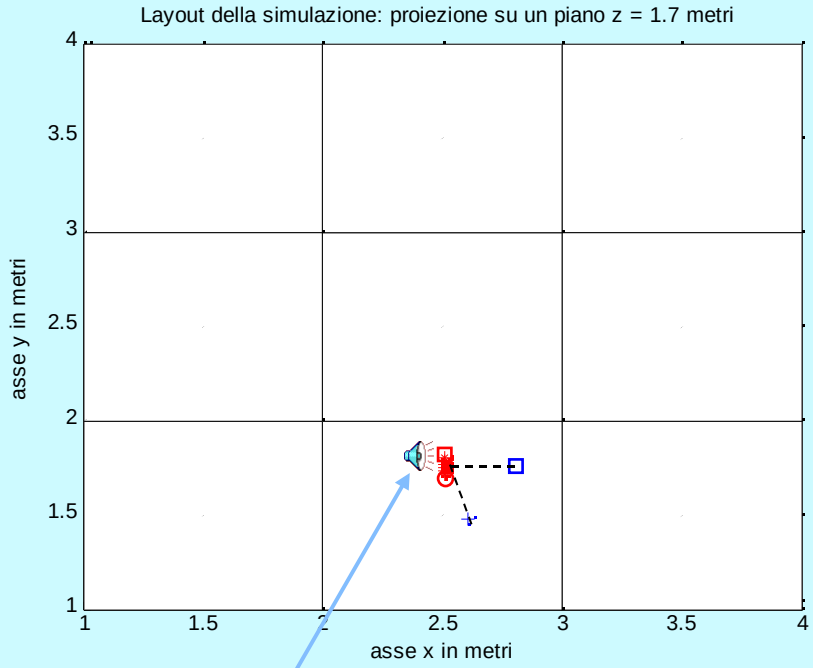
Prototipo di schiera:

8 microfoni su un'apertura di 12 cm

Risultato ottenuto sulla banda 500 – 3600 Hz

Esempio di funzionamento

- Sorgenti vocali “simultanee” (speaker a 0° e disturbo a 70°)



Segnale ricevuto da un generico microfono

Speaker originale □

Disturbo originale +

Segnale prodotto dalla schiera

↓

Il disturbo è attenuato di circa 20 dB rispetto allo speaker

↓

Le prestazioni del beamformer coincidono con quelle attese

Conclusioni

- La **digitalizzazione del suono** offre enormi potenzialità di elaborazione
- Le **protesi digitali** permettono di svolgere al meglio l'amplificazione non-lineare in strutture multi-banda
- La ricerca che stiamo conducendo è impegnata a creare **protesi** digitali **multi-microfono**, in grado di offrire alta direzionalità grazie a:
  - schiera di microfoni
  - raffinate tecniche di elaborazione dei segnali