

# ALGORITMI ADATTATIVI PER IL MIGLIORAMENTO DELLA QUALITÀ AUDIO NEI SERVIZI DI TELECOMUNICAZIONE

Dottorato di Ricerca in  
Ingegneria dell'Informazione e della Comunicazione  
XXIV Ciclo

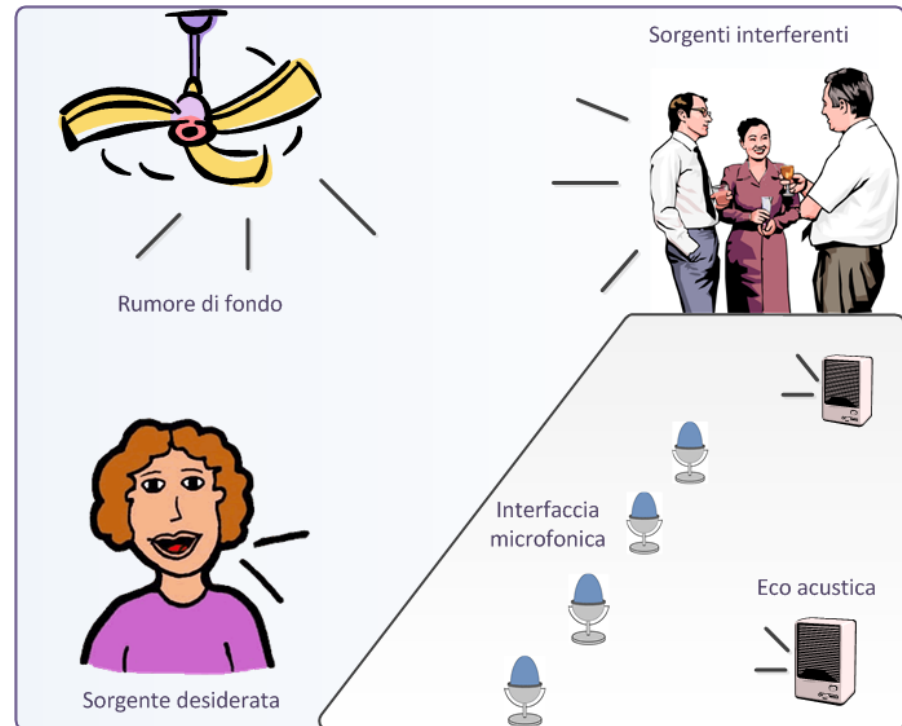
**Dottorando: Danilo Comminiello**

**Tutor "Sapienza": Prof. Aurelio Uncini**

**Tutor "FUB": Dott. Mauro Falcone**

# La comunicazione “distant-talking”

- Nuove esigenze di comunicazione: l’**esperienza immersiva**.
- Scenario **distant-talking**: interfaccia microfónica dislocata e presenza di più sorgenti acustiche nel medesimo ambiente.
- La presenza di rumori interferenti degrada la qualità della comunicazione.
- **Interfacce acustiche intelligenti**:
  - ✓ scambio bidirezionale delle informazioni;
  - ✓ libertà di movimento per l’utente;
  - ✓ elevata qualità dei segnali acquisiti;
  - ✓ realismo spaziale e percezione binaurale.

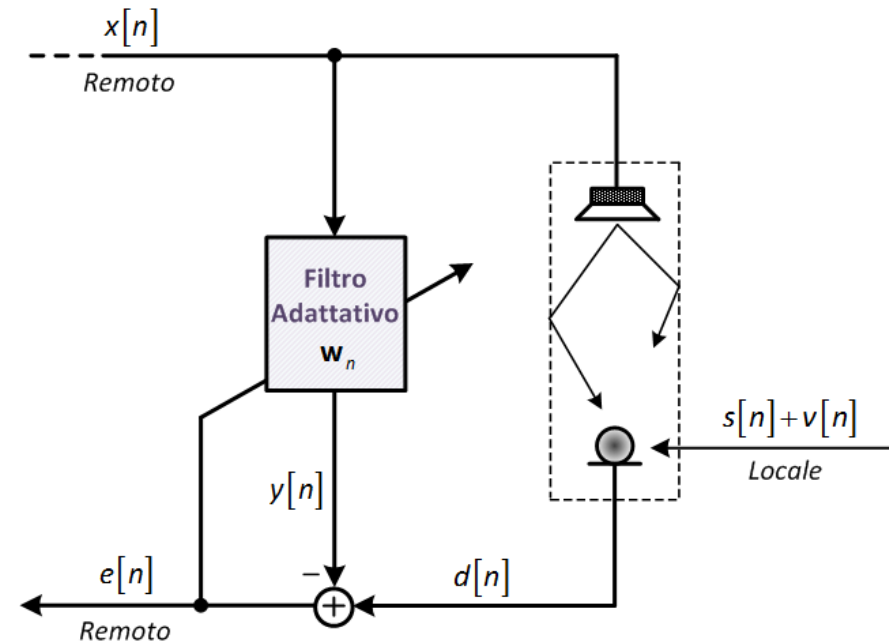


# La modellazione del canale acustico

- La modellazione del canale acustico tramite interfacce acustiche intelligenti richiede l'utilizzo di algoritmi di filtraggio adattativo.
- Esempio applicativo tipico: la cancellazione d'eco acustica.

## Perchè la cancellazione d'eco acustica

- rappresenta tema esaustivo nel settore acustico;
- include problematiche comuni a tutte le applicazioni di analisi della scena acustica;
- permette di avere una valutazione globale degli algoritmi di filtraggio adattativo.



- **Obiettivo:** modellare il percorso acustico dell'ambiente  $w_n$  e rimuovere il contributo d'eco  $y[n]$  dal segnale acquisito  $d[n]$ .

# Limitazioni e problematiche da affrontare



- Rumore, precisione finita e limitazioni dei DSP.
- Stima della risposta impulsiva acustica: riflessioni e sottomodellamento.
- Sorgenti non stazionarie e *double talk*.
- Non linearità introdotte dagli altoparlanti.
- Effetti delle vibrazioni dell'involucro.

# PARTE I – ALGORITMI DI FILTRAGGIO LINEARE

## Stato dell'arte

- Algoritmi classici basati sul gradiente stocastico.
- Introduzione degli algoritmi proporzionati: PNLMS, PNLMS++,  $EG \pm NLMS$ , IPNLMS.

## Contributo

- Formulazione framework innovativo per gli algoritmi adattativi.
- Algoritmo della proiezione affine proporzionato con memoria.
- Algoritmi proporzionati con passo di adattamento variabile.

# Variable Step Size Proportionate APA

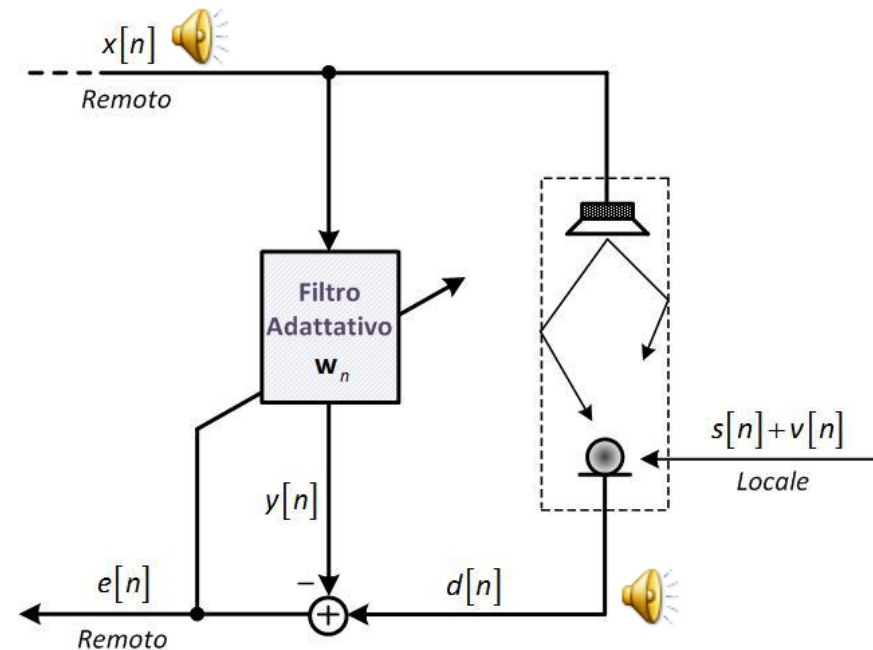
$$\mathbf{w}_n = \mathbf{w}_{n-1} + \alpha_n \boldsymbol{\Gamma}_n^T (\boldsymbol{\Gamma}_n \mathbf{X}_n^T + \delta_p \mathbf{I})^{-1} \mathbf{e}_n$$

$$\alpha_n = 1 - \sqrt{\frac{E\{\mathbf{d}_n^2\} - E\{\mathbf{y}_n^2\}}{E\{\mathbf{e}_n^2\}}}$$

$$\boldsymbol{\Gamma}_n = \mathbf{G}_n \mathbf{X}_n = \begin{bmatrix} \mathbf{g}_n^T \mathbf{x}_n^T \\ \mathbf{g}_{n-1}^T \mathbf{x}_{n-1}^T \\ \vdots \\ \mathbf{g}_{n-K+1}^T \mathbf{x}_{n-K+1}^T \end{bmatrix}$$

## Vantaggi:

- aumento della velocità di convergenza e della precisione a regime;
- robustezza in presenza di segnali non stazionari, in presenza di *double talk*, in presenza di alterazioni del percorso acustico e in situazioni di sottomodellamento della risposta impulsiva.



APA con DTD, M = 1024



PAPA con DTD, M = 1024



VSS-PAPA senza DTD, M = 512

# PARTE II – ALGORITMI DI FILTRAGGIO NON LINEARE

## Stato dell'arte

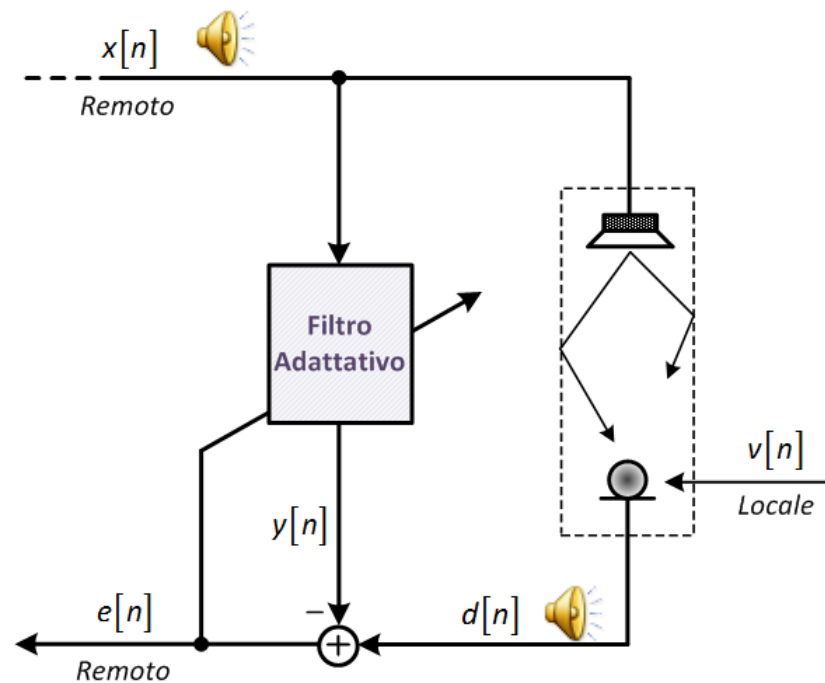
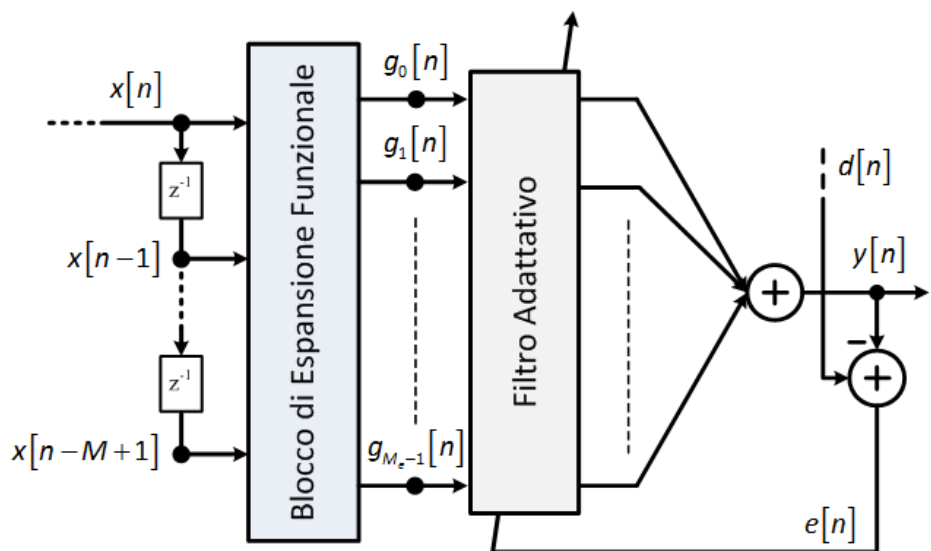
- Costi ancora molto alti e vincoli qualitativi non ancora soddisfatti: problematica aperta.
- Filtri di Volterra del secondo ordine: buona convergenza ma eccessivo costo computazionale.

## Contributo

- Nuovo modello: Functional Link Adaptive Filter (FLAF).
- Algoritmi FLAF per la cancellazione d'eco non lineare (NAEC):
  - Splitted Functional Link Adaptive Filter
  - Algoritmi efficienti: Proportionate FLAF, Variable Step Size FLAF.

# Modello non lineare basato su Functional Links

- Le potenzialità dei *functional links* sono state applicate alla teoria del filtraggio adattativo dando origine ai **Functional Link Adaptive Filters (FLAF)**.
- Il *blocco di espansione funzionale* consiste in una serie di funzioni linearmente indipendenti che hanno come argomento il buffer di ingresso.



APA, assenza di non linearità



APA, presenza di non linearità



FL-APA, presenza di non linearità

# PARTE III – ARCHITETTURE ADATTATIVE ROBUSTE

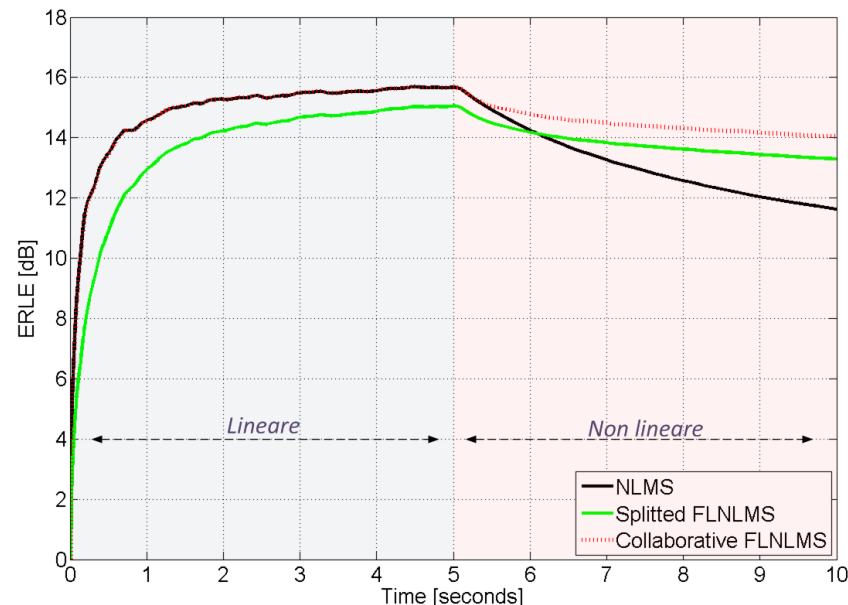
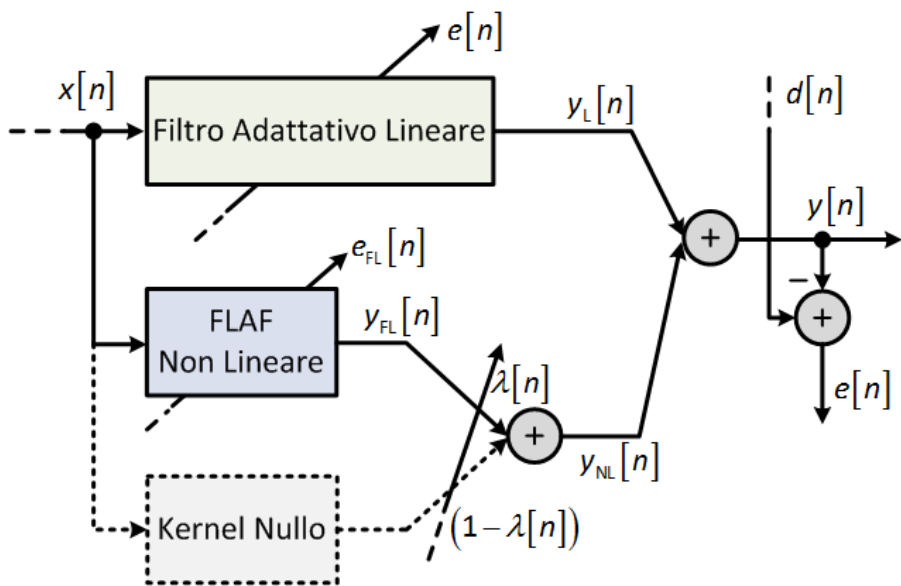
- **Problema principale:** In presenza di non linearità trascurabili l'utilizzo di un NAEC può introdurre rumore di gradiente degradando le prestazioni rispetto a un convenzionale AEC.
- **Stato dell'arte:** Combinazione adattativa di filtri adattativi.

## Contributo

- Architetture combinatorie di beamforming adattativo per lo *speech enhancement*.
- Architettura collaborativa basata sulla combinazione convessa di un FLAF con un filtro virtuale nullo: il filtro non lineare viene disattivato automaticamente quando non necessario.
- Architettura collaborativa a blocchi: in caso di non linearità vengono attivate solo le porzioni necessarie per il modellamento delle non linearità, evitando problemi di *over-fitting*.

***Tema svolto in collaborazione con il dipartimento TSC della Universidad Carlos III de Madrid.***

# Architettura collaborativa per la cancellazione d'eco NL



- Combinazione convessa del FLAF non lineare con un kernel virtuale di zeri (*all-zero kernel*);
- Architettura **collaborativa**: il calcolo del segnale di errore del FLAF tiene conto anche del contributo di uscita dal filtro lineare.
- Il contributo non lineare diventa nullo quando le non linearità nel percorso acustico sono trascurabili.

# Principali risultati ottenuti

- **Parte I:** Algoritmi di filtraggio adattativo basati su *vincoli di sparsità*.
  - Formulazione framework di algoritmi innovativo per la modellazione lineare.
  - Algoritmi proporzionati efficienti basati sulla proiezione affine e sul passo di adattamento variabile.
- **Parte II:** Algoritmi di filtraggio adattativo non lineare basati su *functional link*.
  - Nuovo modello: Functional Link Adaptive Filter (FLAF).
  - Varianti FLAF per la cancellazione d'eco non lineare: *split* FLAF, *proportionate* FLAF, utilizzo del passo di adattamento variabile.
- **Parte III:** Architetture robuste basate sulla *combinazione adattativa di filtri*.
  - Architetture combinatorie di beamforming adattativo per lo *speech enhancement*.
  - Architetture FLAF collaborative per la cancellazione d'eco non lineare.

# Publicazioni 2010/2011

- D. Comminiello, M. Scarpiniti, R. Parisi and A. Uncini, “A Novel Affine Projection Algorithm for Superdirective Microphone Array Beamforming”, in *Proc. IEEE Int. Symp. Circ. Syst. (ISCAS '10)*, pp. 2127-2130, Paris, France, May 2010.
- D. Comminiello, M. Scarpiniti, R. Parisi and A. Uncini, “A Functional Link Based Nonlinear Echo Canceller Exploiting Sparsity”, in *Proc. Int. Works. Acoust. Echo Noise Control (IWAENC '10)*, Tel Aviv, Aug. 2010.
- D. Comminiello, A. Uncini, A. Cirillo, A. Barone and M. Falcone, “Un Sistema a Costo Minimo per il Miglioramento Qualitativo del Parlato”, in *Atti VII Conv. Naz. Ass. Ital. Scienze Voce (AISV '11)*, Lecce, Italy, Jan. 2011.
- D. Comminiello, A. Uncini, A. Cirillo, A. Barone and M. Falcone, “Architettura Collaborativa per la Cancellazione d'Eco Non Lineare”, in *Atti VII Conv. Naz. Ass. Ital. Scienze Voce (AISV '11)*, Lecce, Italy, Jan. 2011.
- D. Comminiello, L. A. Azpicueta-Ruiz, M. Scarpiniti, A. Uncini and J. Arenas-García, “Functional Link Based Architectures for Nonlinear Acoustic Echo Cancellation”, in *Proc. IEEE Works. Hands-free Speech Comm. Microph. Arrays (HSCMA '11)*, pp. 180-184, Edinburgh, UK, May 2011.
- M. Scarpiniti, D. Comminiello, R. Parisi and A. Uncini, “Comparison of Hammerstein and Wiener Systems for Nonlinear Acoustic Echo Cancelers in Reverberant Environments”, in *Proc. IEEE Int. Conf. Digit. Sign. Process. (DSP '11)*, pp. 1-6, Corfù, Greece, Jul. 2011.
- D. Comminiello, R. Parisi, M. Scarpiniti and A. Uncini, “Algoritmi per l'Inversione Acustica Multicanale in Ambienti Reali”, in *Atti 38° Conv. Naz. Ass. Ital. Acustica (AIA '11)*, Rimini, Italy, Jun. 2011.
- M. Scarpiniti, D. Comminiello, R. Parisi and A. Uncini, “Collaborative Kernel Adaptive Filters for Time Series Prediction”, in *Proc. Ital. Works. Neural Net. (WIRN '11)*, Vietri sul Mare, Italy, Jun. 2011.

# Publicazioni 2010/2011

- D. Comminiello, M. Scarpiniti, R. Parisi, A. Cirillo, M. Falcone and A. Uncini, “Multi-stage Collaborative Microphone Array Beamforming in Presence of Nonstationary Interfering Signals”, in *Proc. Int. Works. Machine Listen. Multisource Environ.* (CHiME '11), pp. 64-67, Florence, Italy, Sep. 2011.

## *Articoli in revisione o in corso di sottomissione*

- S. Scardapane, D. Comminiello, M. Scarpiniti, A. Uncini, “Kernel Least-Mean-Square Using Combinatorial Optimization Techniques”, *IEEE Trans. Neural Networks*.
- D. Comminiello, M. Scarpiniti, R. Parisi, A. Cirillo, M. Falcone and A. Uncini, “Interfacce Acustiche Intelligenti per le Comunicazioni Immersive in Presenza di Sorgenti Non Stazionarie”, *VIII Conv. Naz. Ass. Ital. Scienze Voce* (AISV '12).
- D. Comminiello, M. Scarpiniti, L. A. Azpicueta-Ruiz, J. Arenas-García and A. Uncini, “Functional Link Adaptive Filters for Nonlinear Acoustic Echo Cancellation”, *IEEE Trans. Audio, Speech and Language Processing*.
- D. Comminiello, M. Scarpiniti, R. Parisi, A. Cirillo, M. Falcone and A. Uncini, “Combined Microphone Array Beamforming Schemes for Speech Enhancement in Adverse Environments”, *Elsevier Computer Speech and Language*.
- M. Scarpiniti, D. Comminiello, R. Parisi and A. Uncini, “Nonlinear Spline Adaptive Filtering”, *IEEE Trans. Signal Processing*.
- D. Comminiello, M. Scarpiniti, L. A. Azpicueta-Ruiz, J. Arenas-García and A. Uncini, “Functional Links Pruning Using Sparsity Constraints”, *IEEE Signal Processing Letter*.
- M. Scarpiniti, D. Comminiello, R. Parisi and A. Uncini, “Steady-State, Transient and Tracking Properties of Nonlinear Spline Adaptive Filters”, *IEEE Trans. Signal Processing*.