



Elaborazione del segnale per la trasmissione e la memorizzazione efficiente dell'informazione

Dottorando: *Riccardo Pighi*

Tutor: Prof. Ing. *Riccardo Raheli*

Dottorato in Tecnologie dell'Informazione XVIII Ciclo
Presentazione del Progetto di Ricerca



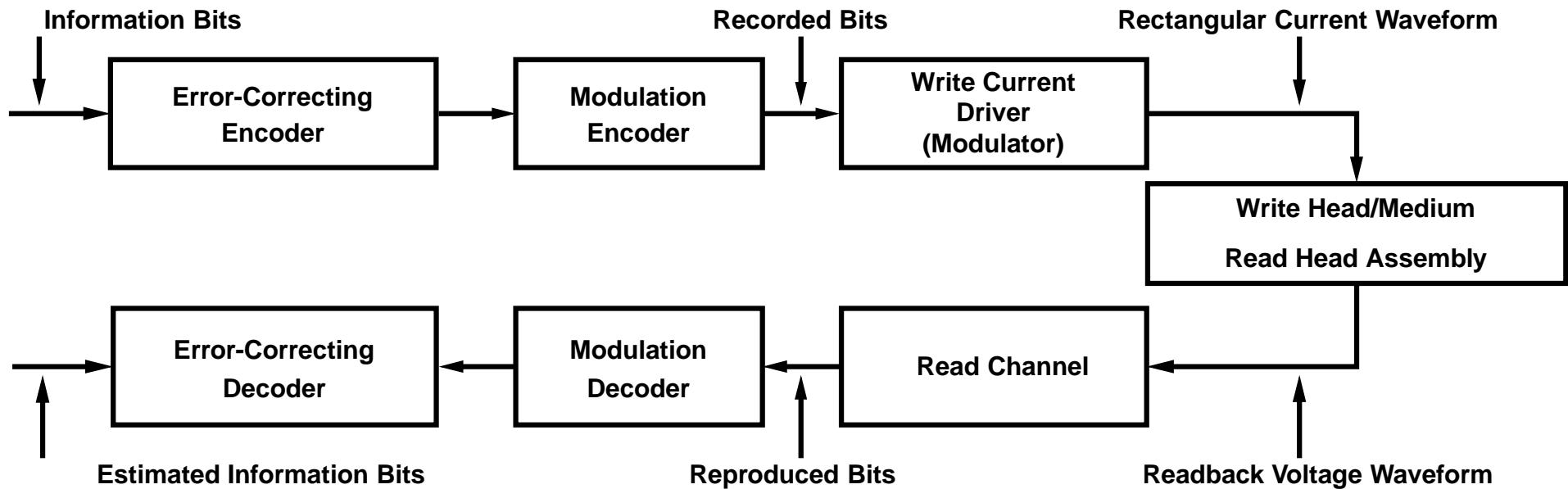
Le aree di lavoro

- I sistemi di memorizzazione:
 - Studio del canale e delle fonti di degrado delle prestazioni.
 - Individuazione di algoritmi per la compensazione di tali disturbi.
 - Studio della capacità teorica del canale.
 - Estensione a sistemi di memorizzazione ottici.
- I sistemi di comunicazione su elettrodotto (onda convogliata):
 - Motivazioni del progetto.
 - Risultati ottenuti per un modem di “seconda generazione”.
 - Idee guida per il progetto di un modem di “terza generazione”.



I sistemi di memorizzazione: stato dell'arte

- Schema a blocchi di riferimento

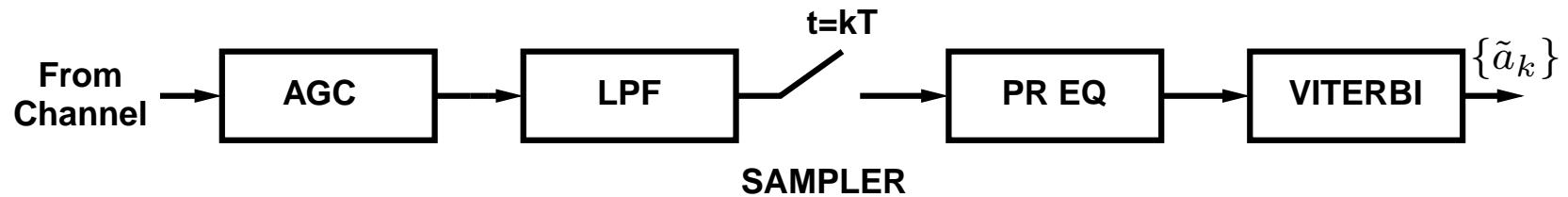


- Il codice a controllo di errore esterno è di tipo Reed Solomon.
- Il codice di linea adatta la sequenza di informazione al canale e facilita la sincronizzazione.



I sistemi di memorizzazione: stato dell'arte

- Schema a blocchi del ricevitore

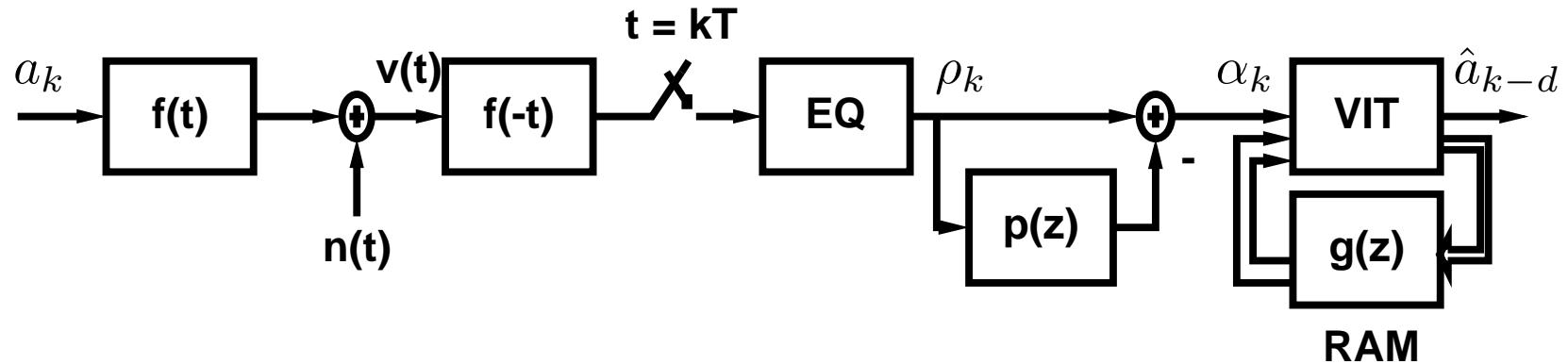


- Per ridurre la complessità computazionale, si ricorre ad una equalizzazione adattativa.
- Le prestazioni sono limitate da alcuni fattori:
 - Rumore termico colorato dall'equalizzatore
 - Rumore del mezzo
 - Non linearità introdotta dalla testina di lettura.



I sistemi di memorizzazione: soluzioni note

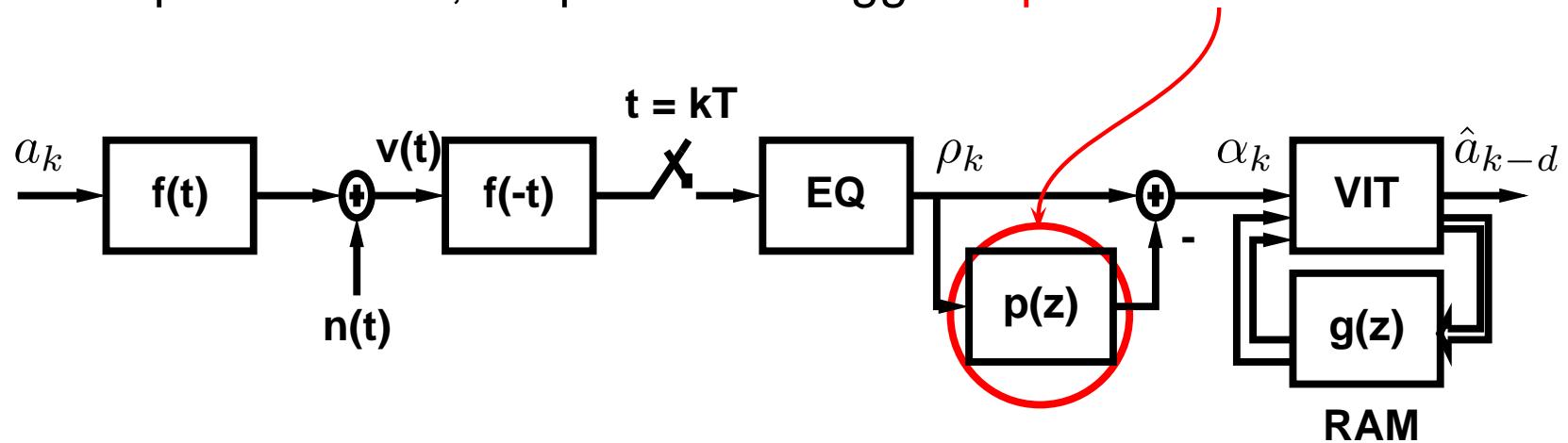
- Per compensare l'aumento di potenza del rumore termico per effetto dell'equalizzazione, si opera un filtraggio di **predizione lineare**.





I sistemi di memorizzazione: soluzioni note

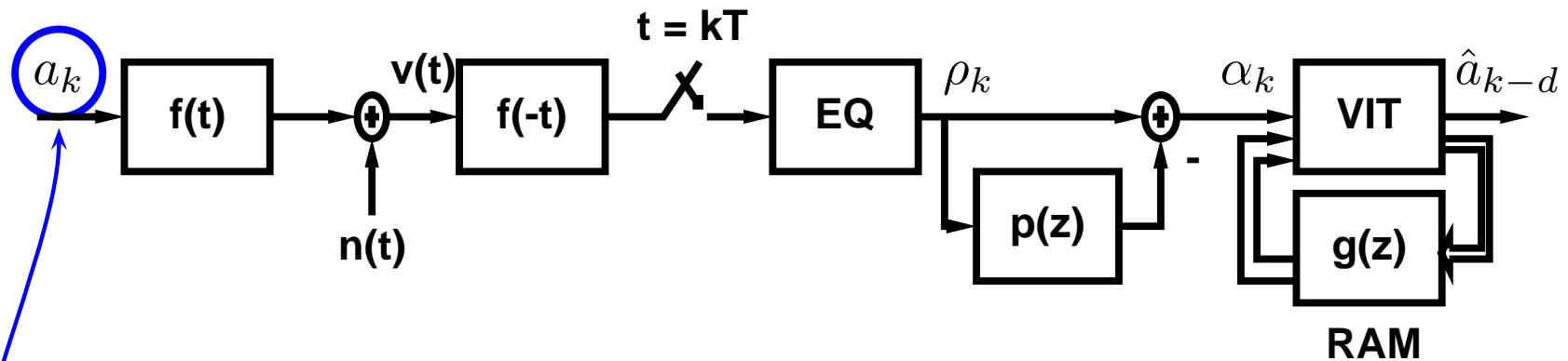
- Per compensare l'aumento di potenza del rumore termico per effetto dell'equalizzazione, si opera un filtraggio di **predizione lineare**.





I sistemi di memorizzazione: soluzioni note

- Per compensare l'aumento di potenza del rumore termico per effetto dell'equalizzazione, si opera un filtraggio di **predizione lineare**.

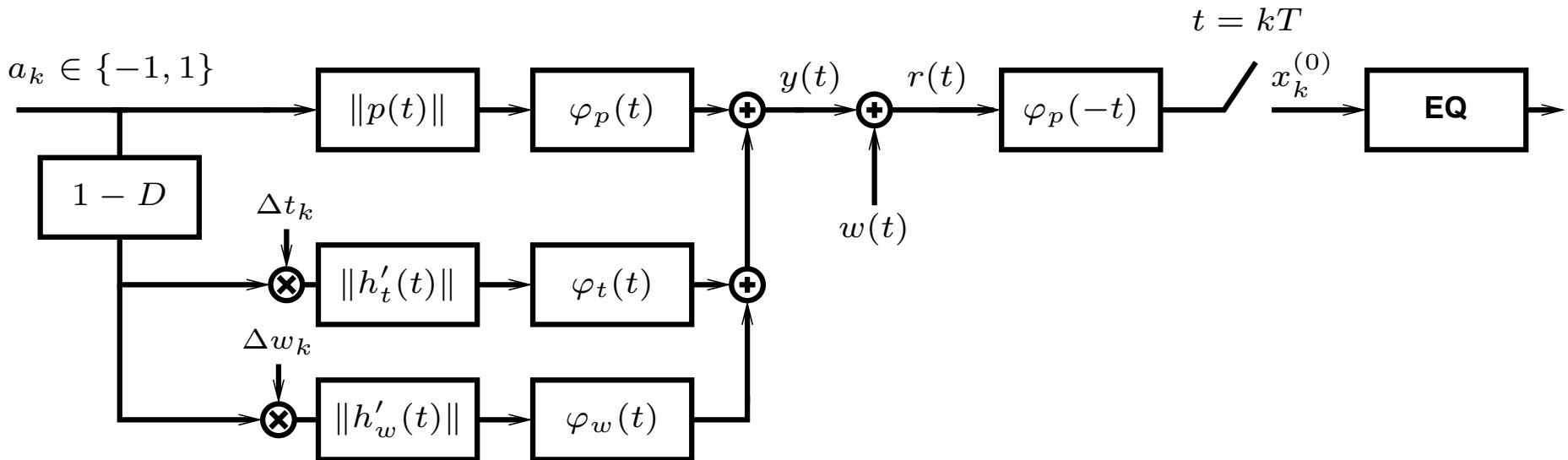


- Per compensare la non linearità del trasduttore magnetico, si opera una **pre-distorsione** sul segnale da memorizzare.



I sistemi di memorizzazione: soluzioni proposte

● Rumore del mezzo



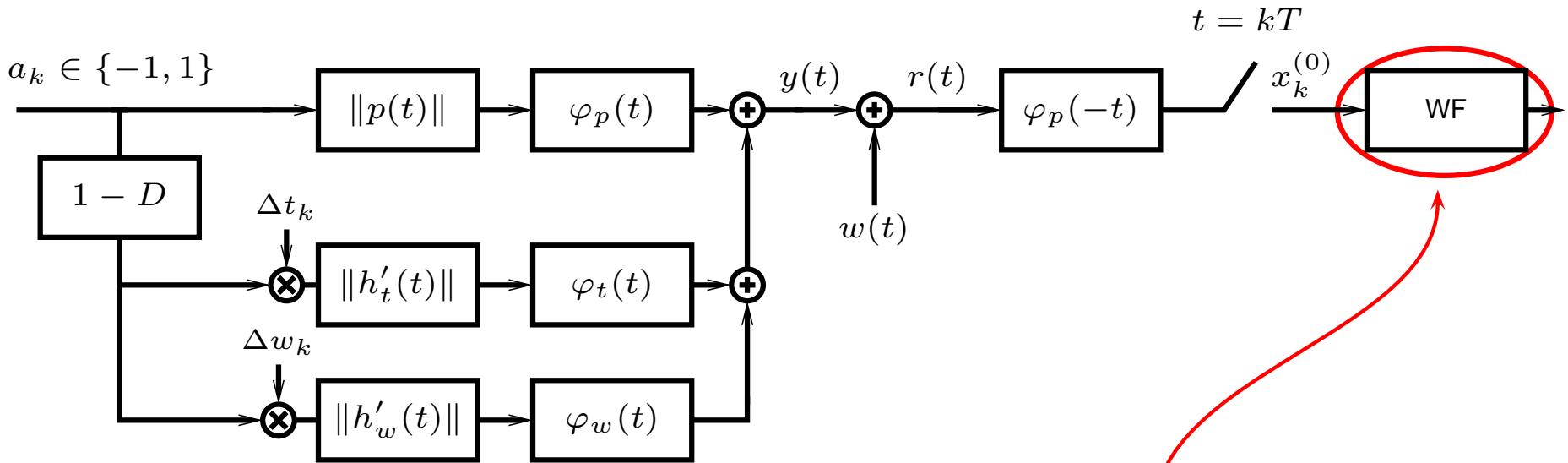
● L'osservabile in uscita dal canale è:

$$\begin{aligned} r(t) &= \sum_k a_k [h(t - kT) - h(t - T - kT)] + w(t) \\ &+ \sum_k b_k \Delta t_k h_t(t - kT) + \sum_k b_k \Delta w_k h_w(t - kT) \end{aligned}$$



I sistemi di memorizzazione: soluzioni proposte

● Rumore del mezzo

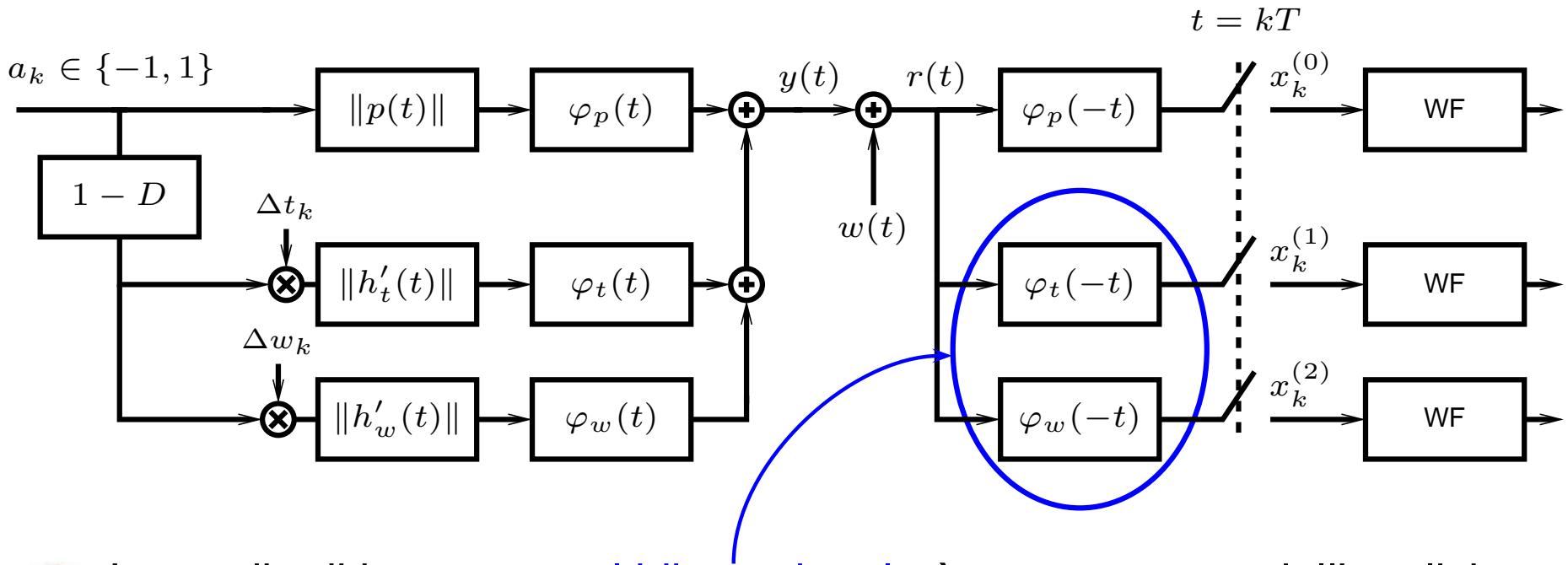


- Al posto dell'equalizzatore si considera un **filtro sbiancante** che rende l'equivalente tempo discreto del canale a fase minima.



I sistemi di memorizzazione: soluzioni proposte

● Rumore del mezzo

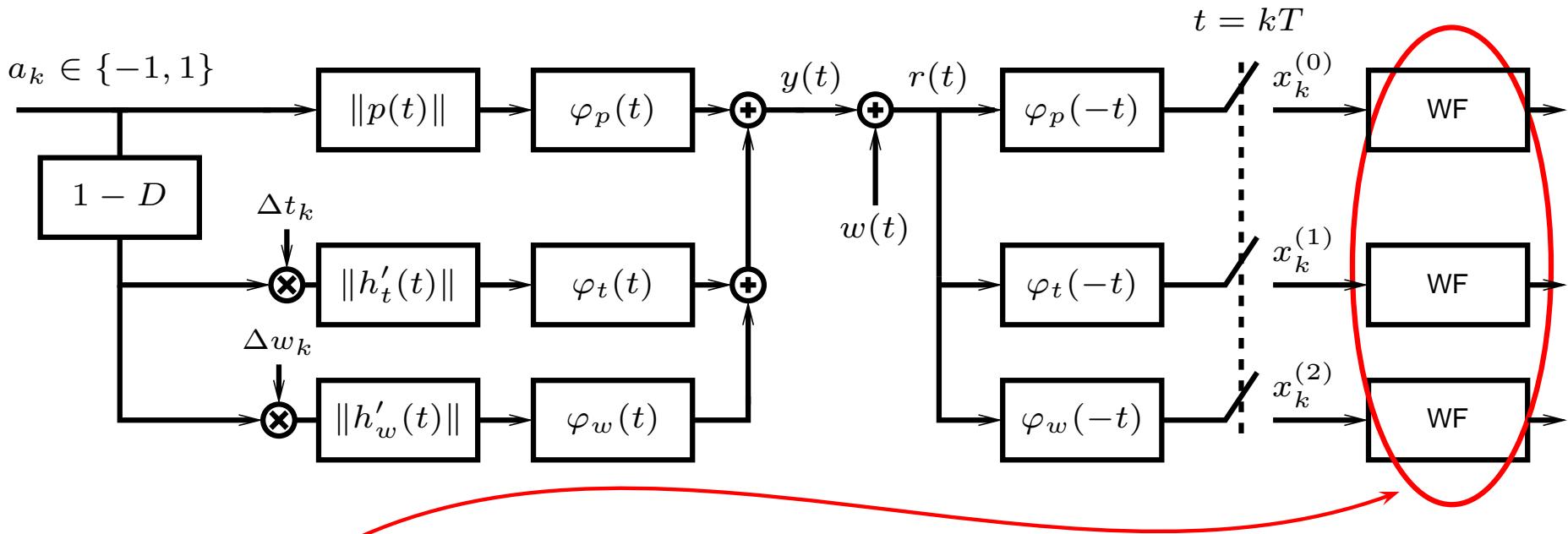


- Lo stadio di ingresso **multidimensionale** è stato ottenuto dall'analisi delle statistiche sufficienti in presenza di rumore del mezzo.



I sistemi di memorizzazione: soluzioni proposte

● Rumore del mezzo

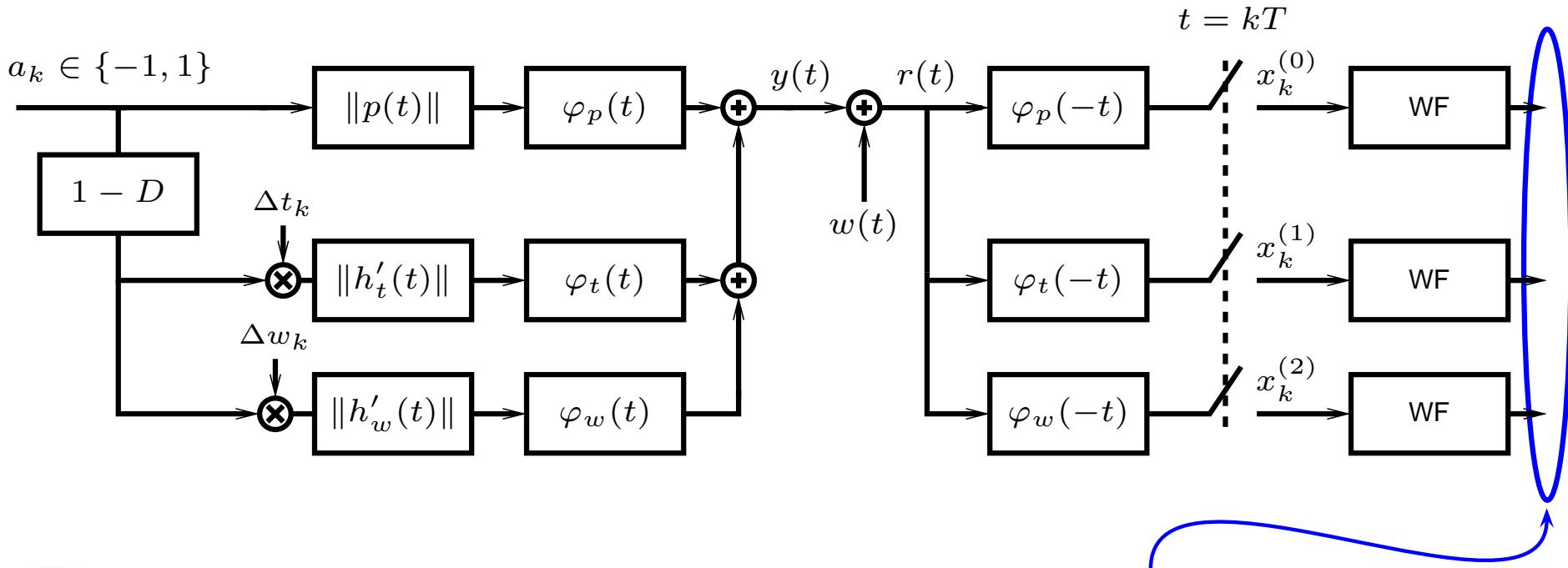


- I **filtri sbiancanti** rendono il rumore termico incorrelato temporalmente ma non spazialmente.
- Inoltre hanno l'effetto di accorciare le risposte all'impulso legate al rumore del mezzo.



I sistemi di memorizzazione: soluzioni proposte

● Rumore del mezzo

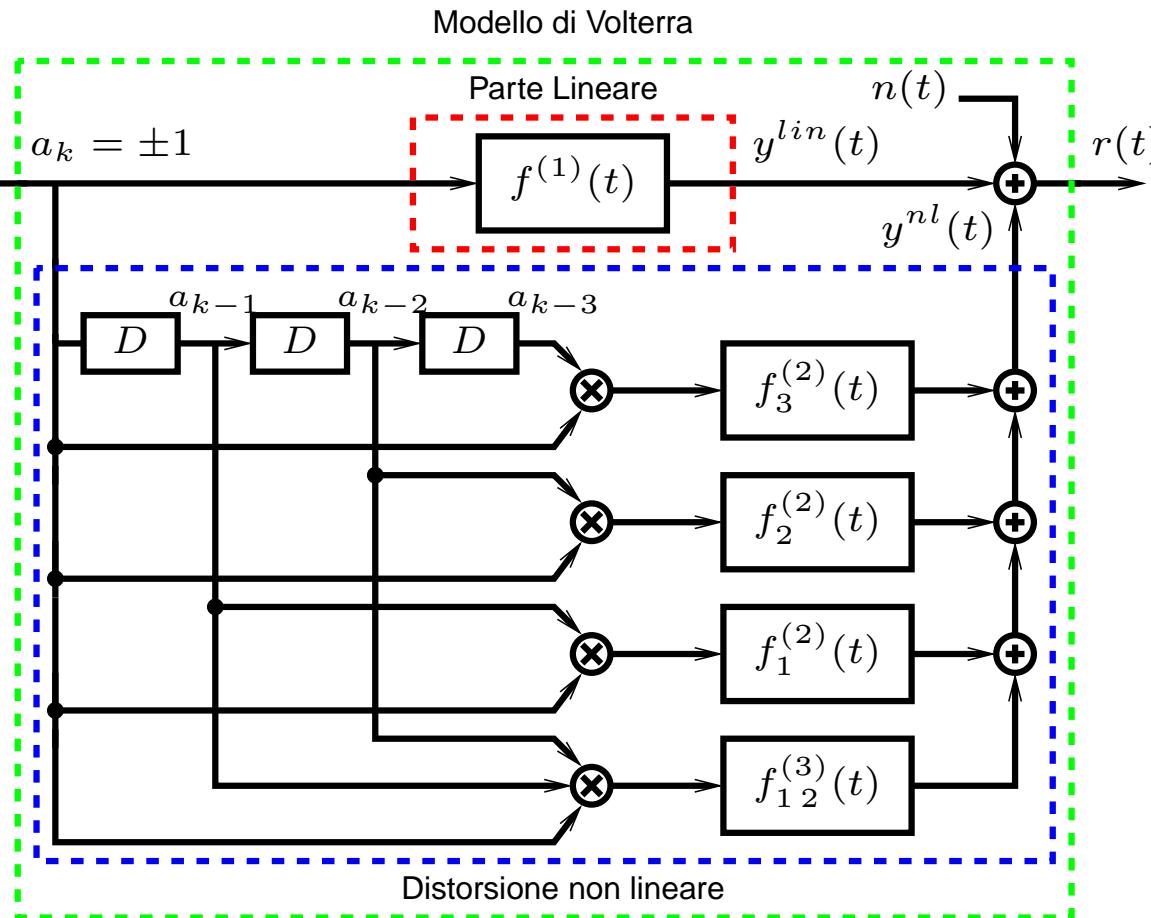


- Estensione della tecnica di predizione lineare a **sistemi multidimensionali**.
- Il guadagno in termini di MMSPE varia dai **3** ai **6** dB passando da una predizione 1D ad una 3D.



I sistemi di memorizzazione: soluzioni proposte

● Non linearità del canale

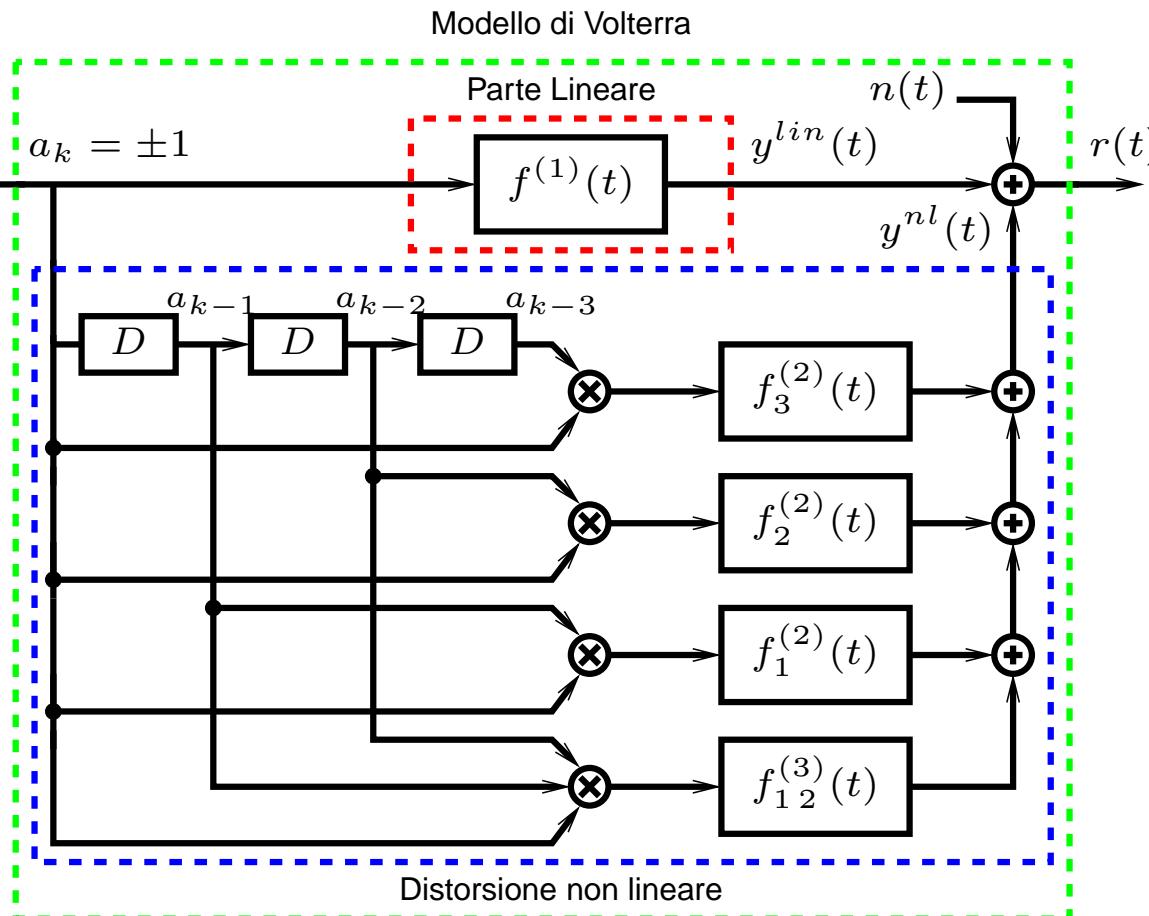


● Niente predistorsione



I sistemi di memorizzazione: soluzioni proposte

● Non linearità del canale

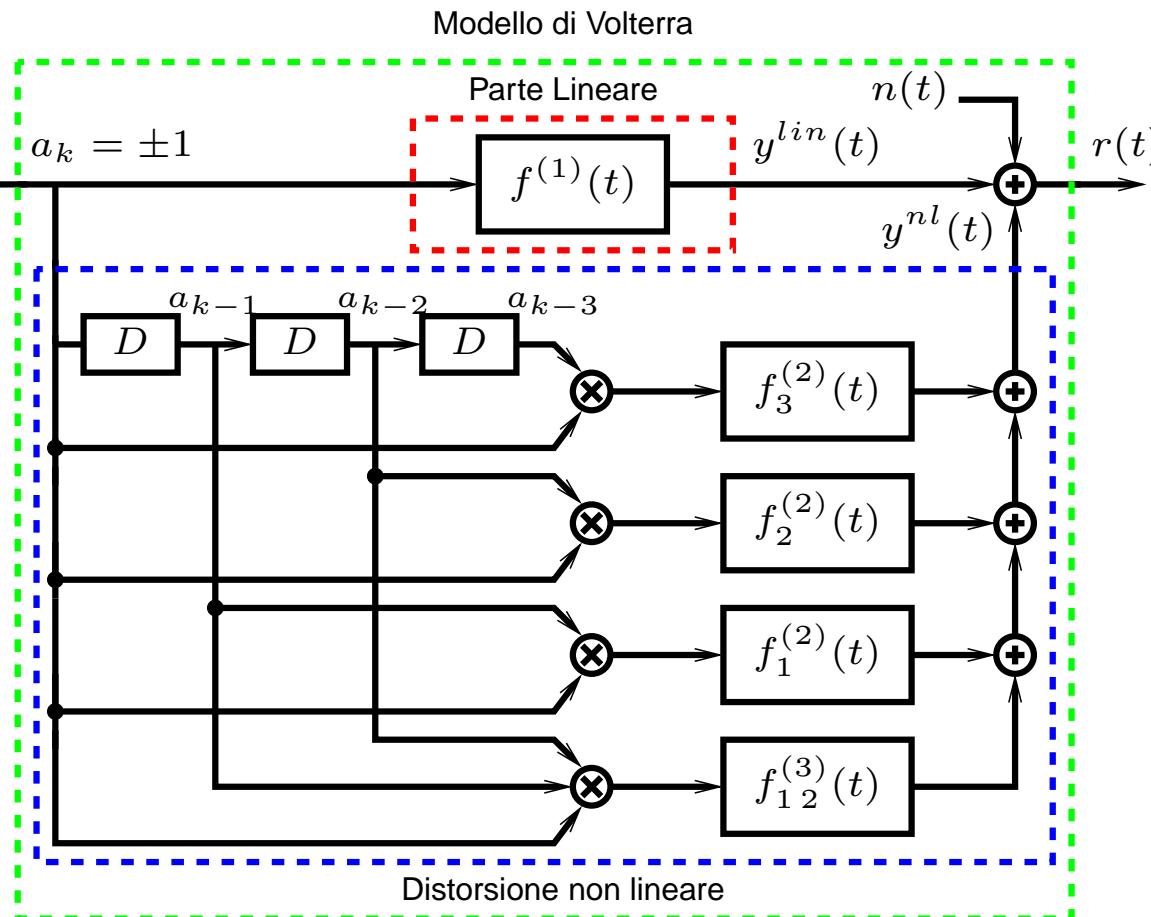


- Niente predistorsione
- Sovracampionamento



I sistemi di memorizzazione: soluzioni proposte

● Non linearità del canale



- Niente predistorsione
- Sovracampionamento
- Alternativa anche per il rumore del mezzo



I sistemi di memorizzazione: possibili sviluppi

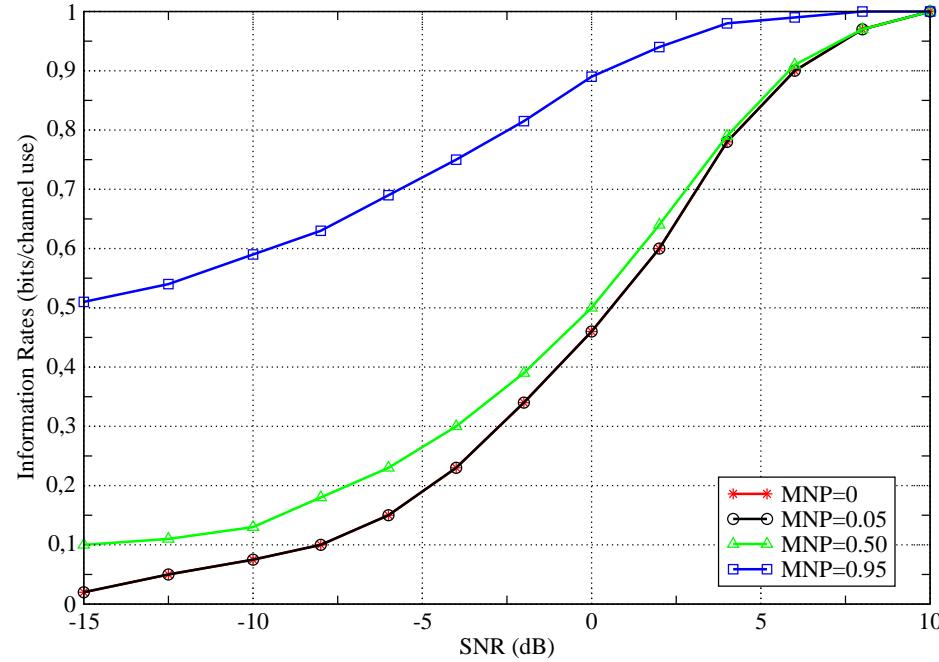
- Valutazione delle prestazioni degli algoritmi proposti attraverso simulazioni al calcolatore.



I sistemi di memorizzazione: possibili sviluppi

- Valutazione delle prestazioni degli algoritmi proposti attraverso simulazioni al calcolatore.
- Studio della capacità del canale affetto da rumore del mezzo con front-end di ricezione multidimensionale.

Information Rates for Lorentzian channels, $D_n = 2.0$





I sistemi di memorizzazione: possibili sviluppi

- Valutazione delle prestazioni degli algoritmi proposti attraverso simulazioni al calcolatore.
- Studio della capacità del canale affetto da rumore del mezzo con front-end di ricezione multidimensionale.
- Reinterpretazione del “rumore del mezzo” come componente utile di segnale.



I sistemi di memorizzazione: possibili sviluppi

- Valutazione delle prestazioni degli algoritmi proposti attraverso simulazioni al calcolatore.
- Studio della capacità del canale affetto da rumore del mezzo con front-end di ricezione multidimensionale.
- Reinterpretazione del “rumore del mezzo” come componente utile di segnale.
- Applicazione di tecniche di codifica avanzate (codici turbo, codici a controllo di parità a bassa densità) e studio di algoritmi di decodifica ad uscite soft.



I sistemi di memorizzazione: possibili sviluppi

- Valutazione delle prestazioni degli algoritmi proposti attraverso simulazioni al calcolatore.
- Studio della capacità del canale affetto da rumore del mezzo con front-end di ricezione multidimensionale.
- Reinterpretazione del “rumore del mezzo” come componente utile di segnale.
- Applicazione di tecniche di codifica avanzate (codici turbo, codici a controllo di parità a bassa densità) e studio di algoritmi di decodifica ad uscite soft.
- Estensione dei risultati ai sistemi di memorizzazione ottica (CD-ROM e DVD).



Onda convogliata: introduzione

- Gli elettrodotti ad alta tensione, a media o lunga distanza, possono essere utilizzati per la trasmissione di segnali per servizi di telecomunicazione e teleoperazione.



Onda convogliata: introduzione

- Gli elettrodotti ad alta tensione, a media o lunga distanza, possono essere utilizzati per la trasmissione di segnali per servizi di telecomunicazione e teleoperazione.
- Parte significativa degli apparati di telecomunicazione attualmente in uso sugli elettrodotti impiegano ancora tecniche di trasmissione di tipo analogico.



Onda convogliata: introduzione

- Gli elettrodotti ad alta tensione, a media o lunga distanza, possono essere utilizzati per la trasmissione di segnali per servizi di telecomunicazione e teleoperazione.
- Parte significativa degli apparati di telecomunicazione attualmente in uso sugli elettrodotti impiegano ancora tecniche di trasmissione di tipo analogico.
- Alcune aziende del settore hanno avviato lo sviluppo di modem digitali: tali modem di “seconda generazione” offrono livelli di affidabilità e flessibilità superiori a quelli dei primi apparati analogici.



Onda convogliata: introduzione

- Gli elettrodotti ad alta tensione, a media o lunga distanza, possono essere utilizzati per la trasmissione di segnali per servizi di telecomunicazione e teleoperazione.
- Parte significativa degli apparati di telecomunicazione attualmente in uso sugli elettrodotti impiegano ancora tecniche di trasmissione di tipo analogico.
- Alcune aziende del settore hanno avviato lo sviluppo di modem digitali: tali modem di “seconda generazione” offrono livelli di affidabilità e flessibilità superiori a quelli dei primi apparati analogici.
- Le tecnologie impiegate in questi modem offrono una buona efficienza, pur essendo di tipo “classico” a singola portante.



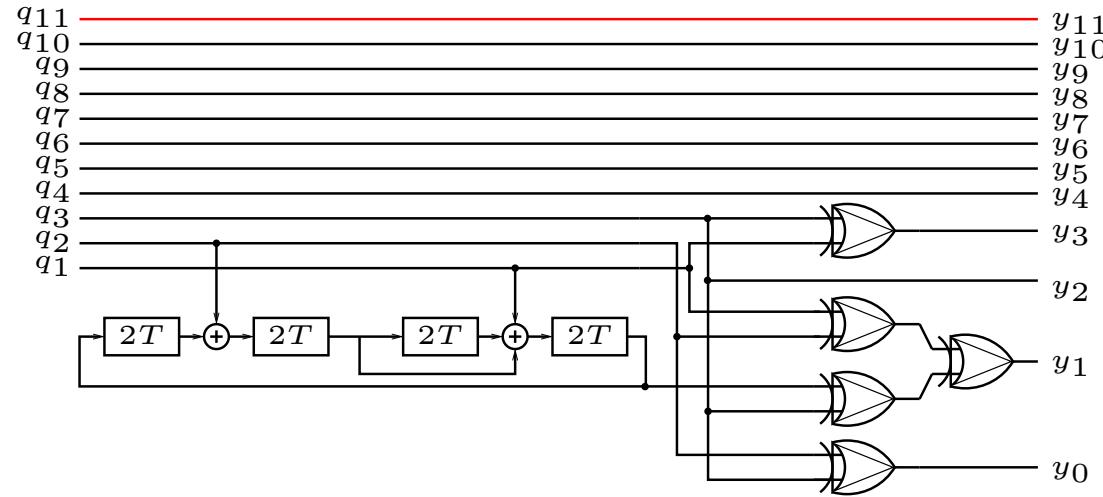
Onda convogliata: stato dell'arte

- Il modem di “seconda generazione”
- Le soluzioni adottate da Selta S.p.A.:
 - Si è proposto uno schema di codifica TCM multidimensionale.
 - Il sistema TCM 4D aggiunge mezzo bit di ridondanza per simbolo 2D trasmesso.
 - Si libera quindi per ciascun simbolo trasmesso **0.5** bit di informazione da utilizzare per un canale di servizio.
 - La velocità di elaborazione del processore di Viterbi raddoppia.



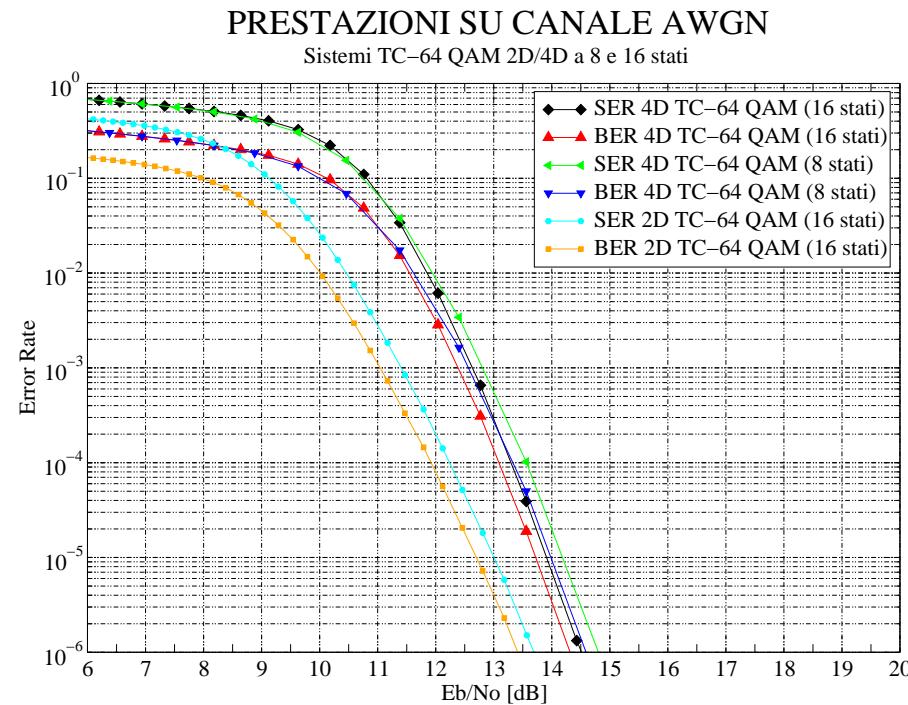
Onda convogliata: i contributi

- Il modem di “seconda generazione”
 - I codici TCM 4D a 8 e 16 stati sono stati proposti per sistemi di trasmissione ad elevata efficienza spettrale, con costellazioni:
 - A) 16 QAM $\rightarrow 3.5 \text{ b/s/Hz}$.
 - B) 64 QAM $\rightarrow 5.5 \text{ b/s/Hz}$.





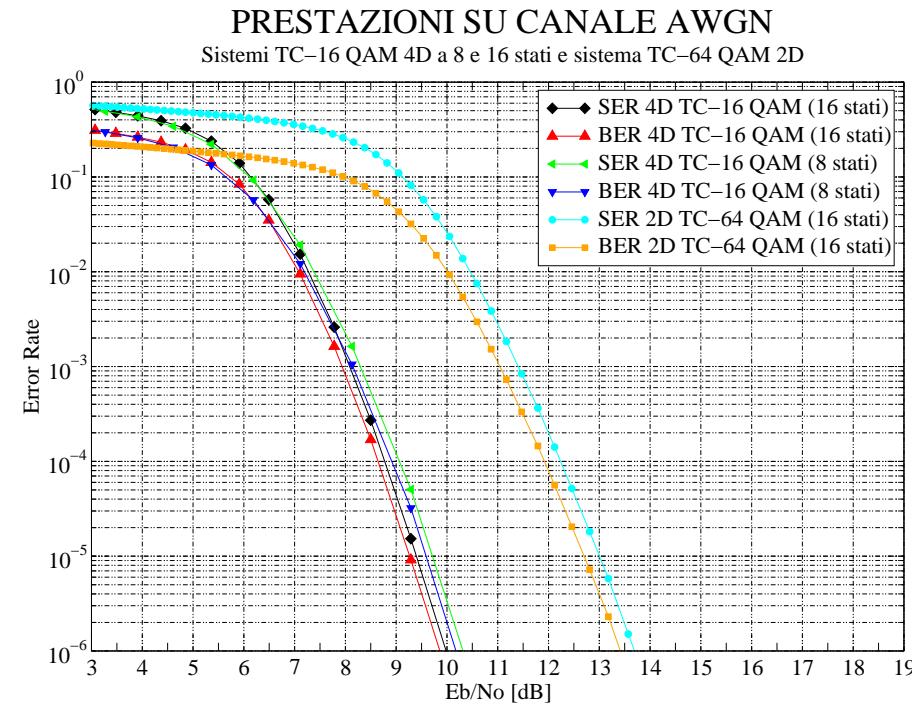
Onda convogliata: i contributi



- Bit-rate di **70.4** Kbit/s contro i **64** Kbit/s del sistema 2D.
- Perdita di 1 dB rispetto al sistema 2D, ma introduzione di un canale di servizio.
- Semplificazione dell'algoritmo di individuazione del punto ricevuto nella costellazione.



Onda convogliata: i contributi



- Bit-rate di **44.8** Kbit/s.
- Guadagno di **3.5** dB rispetto al sistema 2D → maggiore distanza percorribile in situazioni di basso rapporto segnale rumore.



Onda convogliata: possibili sviluppi

- Modem di “terza generazione” caratterizzato da elevati livelli di programmabilità, adattabilità alle condizioni della linea e flessibilità.



Onda convogliata: possibili sviluppi

- Modem di “terza generazione” caratterizzato da elevati livelli di programmabilità, adattabilità alle condizioni della linea e flessibilità.
- Studio della fattibilità di un sistema di trasmissione digitale a larga banda su elettrodotti basato sulle tecnologie OFDM e DMT (Discrete MultiTone).



Onda convogliata: possibili sviluppi

- Modem di “terza generazione” caratterizzato da elevati livelli di programmabilità, adattabilità alle condizioni della linea e flessibilità.
- Studio della fattibilità di un sistema di trasmissione digitale a larga banda su elettrodotti basato sulle tecnologie OFDM e DMT (Discrete MultiTone).
- Progetto di massima di un modem digitale tenendo conto di
 - normative esistenti (banda disponibile e potenza consentita)
 - caratteristiche dei dispositivi di accoppiamento (elevato costo, difficoltà nella sostituzione).



Onda convogliata: possibili sviluppi

- Si approfondirà il progetto tenendo conto delle caratteristiche di distorsione di tipici elettrodotti e valutando le prestazioni dei necessari sistemi di compensazione quali
 - modulazione
 - equalizzazione
 - codifica.



Onda convogliata: possibili sviluppi

- Si approfondirà il progetto tenendo conto delle caratteristiche di distorsione di tipici elettrodotti e valutando le prestazioni dei necessari sistemi di compensazione quali
 - modulazione
 - equalizzazione
 - codifica.
- Si terrà inoltre conto delle caratteristiche di linearità degli amplificatori di potenza e di qualità dei sistemi sincronizzazione di fase e di simbolo, che costituiscono problemi particolarmente sentiti nella tecnologia OFDM.



Onda convogliata: possibili sviluppi

- Si svilupperanno i principali algoritmi di elaborazione del segnale tenendo conto degli specifici problemi legati alla trasmissione su elettrodotto quali
 - risposta in frequenza
 - attenuazione di linea
 - presenza di rumore atmosferico
 - presenza di rumore impulsivo.



Onda convogliata: possibili sviluppi

- Si svilupperanno i principali algoritmi di elaborazione del segnale tenendo conto degli specifici problemi legati alla trasmissione su elettrodotto quali
 - risposta in frequenza
 - attenuazione di linea
 - presenza di rumore atmosferico
 - presenza di rumore impulsivo.
- Si dovrà progettare le tecniche di acquisizione delle caratteristiche del canale e di sincronizzazione.