



**DI3**

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRIESTE  
FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Dipartimento di Ingegneria Industriale e dell'Informazione

---

Tesi di Laurea in  
TRASMISSIONE NUMERICA

# **STUDIO DELLE PRESTAZIONI DELLE TECNICHE MIMO NEI SISTEMI LTE**

*Laureando:*

**Serge TcheguemTango**

*Relatore:*

**Chiar.mo Prof. Fulvio Babich**

*Correlatori:*

**Massimiliano Comisso**

**Alessandro Crismani**

**Cesare Marzano**

---

Anno Accademico 2009-10

# Contenuti della presentazione

DI<sup>3</sup>

## **Introduzione**

Evoluzione delle comunicazioni Radio Mobili

Necessità e limiti UMTS

## **LTE(Long Term Evolution)**

Caratteristiche

Obbiettivi

## **LTE e MIMO**

Concetto di diversità

Concetto di moltiplicazione spaziale

## **Algoritmi MIMO**

Space Time Block Coding (STBC)

Vertical Bell laboratories Layered Space Time (VBLAST)

Schema ibrido (STBC-VBLAST)

## **Conclusioni e sviluppi Futuri**

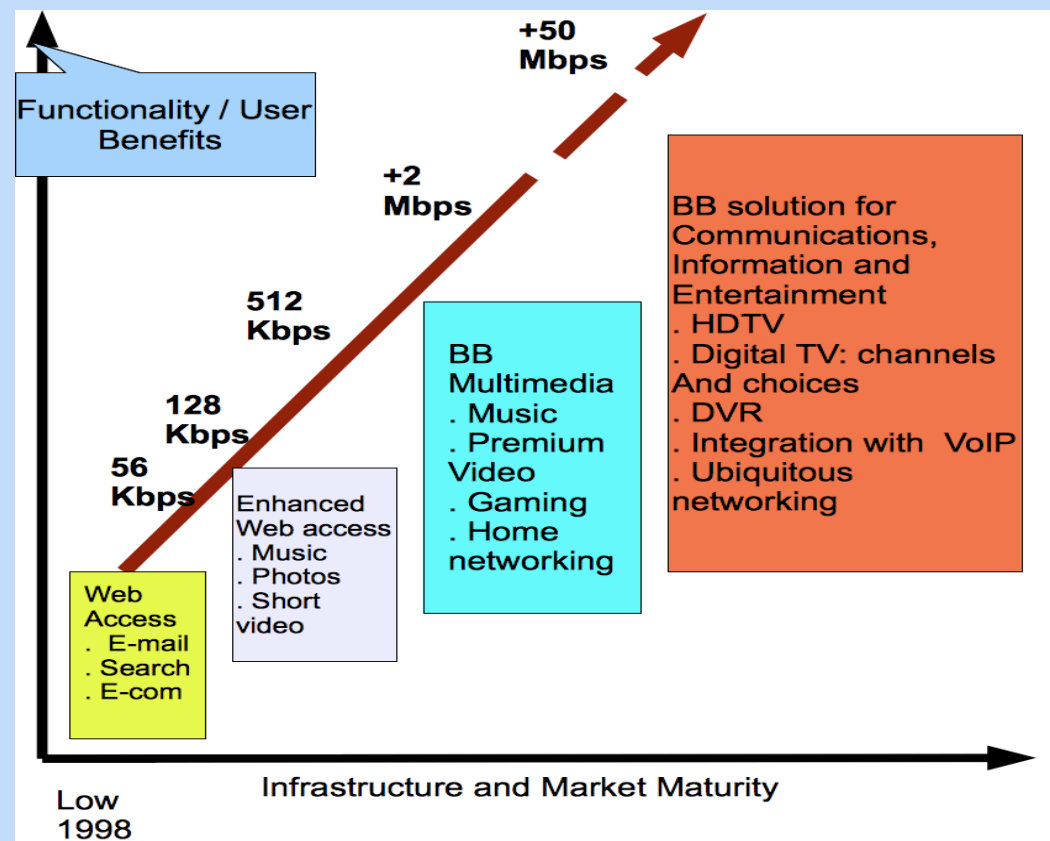
# INTRODUZIONE (1)

DI<sup>3</sup>

## *Evoluzione delle comunicazioni radio mobili*

Aumento del traffico dati a banda larga sulle reti radio mobili:

- internet in mobilità
- servizi multimediali
  - posta elettronica
- servizi real-time
  - gaming
  - video conferenza



**Broadband: evoluzione dei servizi utilizzati**

## Introduzione (2)

DI<sup>3</sup>

### *Evoluzione delle comunicazioni radio mobili*

Evoluzione verso il broadband wireless access per reti radiomobili :

- introduzione (2003/2004) 3G-UMTS

requisiti:

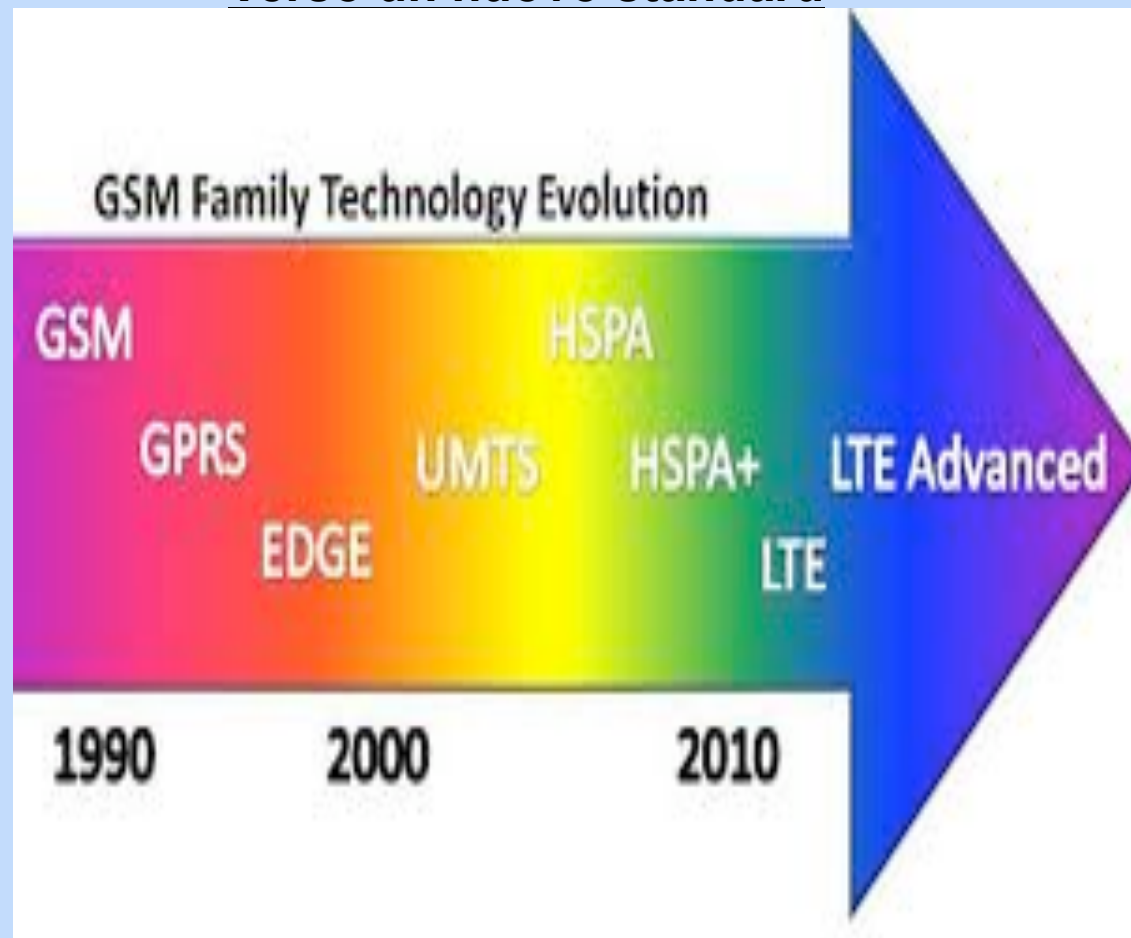
- banda larga in condizioni di mobilità
- bassa latenza
- evoluzione verso la sola commutazione a pacchetto (PS)

# Limiti UMTS

DI<sup>3</sup>

- non completa copertura del territorio
- velocità di trasmissione dati molto bassa

## Verso un nuovo standard



- Evoluzione degli standard di telefonia mobile GSM/UMTS
- Intermedio fra lo standard 3G e lo standard 4G ancora in fase di sviluppo
- Maggiore data rate
- Supporto della qualità di servizio in mobilità
- Prestazioni vicine a quella della rete fissa

## LTE (2)

DI<sup>3</sup>

### *Confronto evolutivo tra UMTS e LTE*

	WCDMA(UMTS)	HSPA	LTE
Bit rate max in downlink	384 Kbps	14 Mbps	100 Mbps
Bit rate max in up link	128 Kbps	5,8 Mbps	50 Mbps
Latenza (RTT)	150 ms	HSDPA 100 ms HSUPA 50 ms	10 ms
3GPP Releases	Rel-99/4	HSDPA Rel-5 HSUPA Rel-6	Rel-8
Anno di messa in circolazione	2003/2004	2007/2008	2009/2010
Tecniche di Accesso	CDMA	W-CDMA	OFDMA/SC-OFDMA

## Obiettivi:

- elevata efficienza spettrale con basso costo per ogni bit
- riduzione dei tempi richiesti per un cambiamento *di stato*
- riduzione della *latenza*
- aumento del *throughput*
- aumento velocità trasferimento dati in uplink e downlink

## Tramite:

- modifica della Core Network
- introduzione di una nuova architettura di rete (SAE)
- architettura “All IP”
- nuovi schemi di accesso in uplink e downlink
- uso di tecniche di trasmissione con antenne multiple



MIMO:

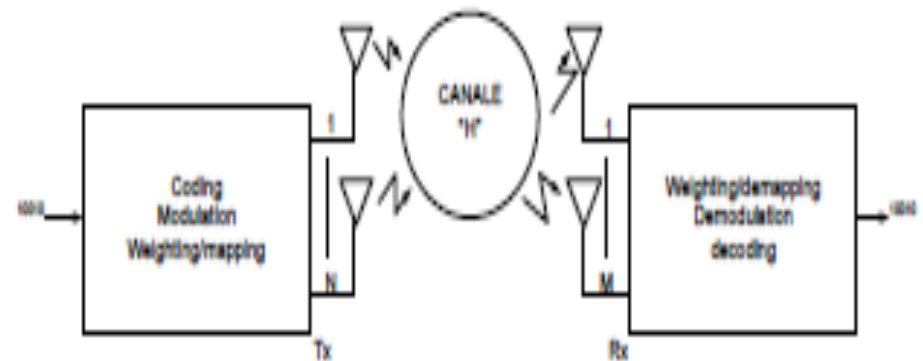
- più ricetrasmittitori in trasmissione e ricezione

Vantaggi:

- incremento del data rate in downlink
- miglior robustezza del collegamento
- guadagno di diversità
- possibilità di un uso “intelligente delle antenne”

Svantaggi:

- complessità del ricevitore
- spazio richiesto tra antenne



## Sistemi di trasmissioni su canali MIMO:

### 1. Tecniche di diversità in trasmissione:

- trasmissione di repliche di informazione
- combinazione al ricevitore di più versioni indipendenti dello stesso segnale
- mitigazione degli effetti dovuti al fading sul canale

Obiettivo: Ridurre la probabilità di errore

### 2. Tecniche di multiplazione spaziale:

- trasmissione di simboli indipendenti uguali al numero di antenne disponibili in trasmissione
- incremento di capacità in presenza di cammini diversi in correlati

Obiettivo: massimizza il data rate in trasmissione.

Configurazioni proposte da LTE:

- 2x2
- 4x4

Privilegiata la 2x2 perché:

- vincoli di ingombro della MS
- spaziatura delle antenne di almeno mezza lunghezza d'onda ( 7 cm a 2 GHz)

Standard non specifica gli schemi MIMO:

- Scelti nell'implementazione
- Schemi consigliati (STBC, VBLAST)

## Space Time Block Code (STBC)

- Massimizza il guadagno di diversità
- Trasmissione di un flusso di dati ridondante
- Ogni simbolo ottenuto viene trasmesso da un'antenna diversa in periodi temporali diversi
- Il ricevitore Maximum Likelihood (ML) combina i diversi flussi ricevuti:
  - aumenta probabilità di ricostruire correttamente il segnale originale
- $S$  è la matrice  $N \times P$  di trasmissione,  $N$  numero di antenne in trasmissione e  $P$  numero di periodi temporali per la trasmissione di un blocco codificato di simboli

Esempio: Alamouti 2x2

	Antenna 1	Antenna 2
$t$	$s_1$	$s_2$
$t + T$	$-s_2^*$	$s_1^*$

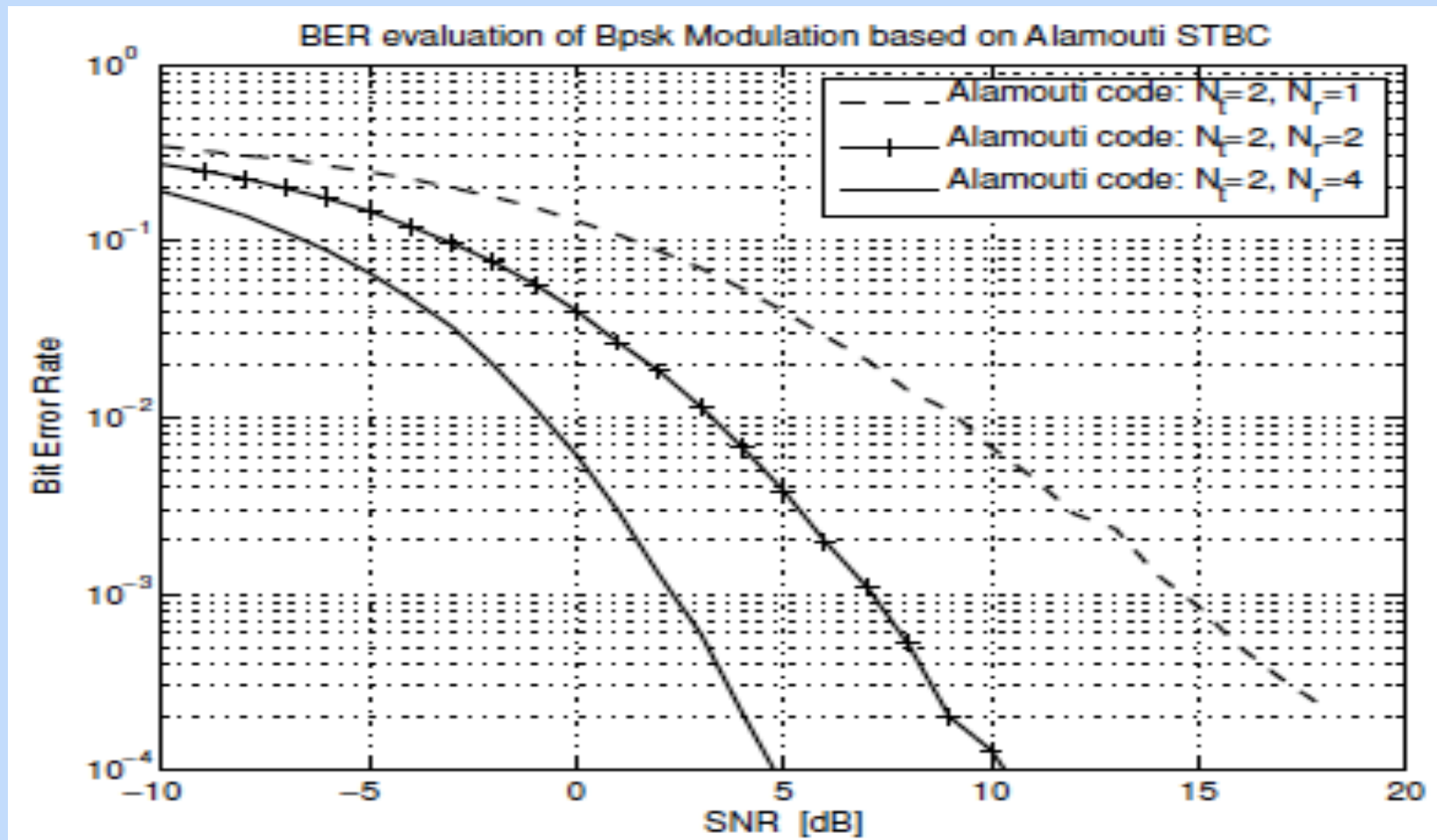
## Simulazioni STBC

DI<sup>3</sup>

- Generare sequenze binarie da trasmettere
- Raggruppare e modulare i bit in gruppi di simboli (BPSK, QPSK, 16QAM)
- Codificare i simboli con lo schema STBC
- Trasmettere sul canale (moltiplicare i simboli codificati per i valori di fading e sommare il rumore)
- Decodificare a ML
- Contare il numero di errori
- Ripetere il procedimento per più valori di SNR

# STBC (Alamouti 2x1, 2x2, 2x4)

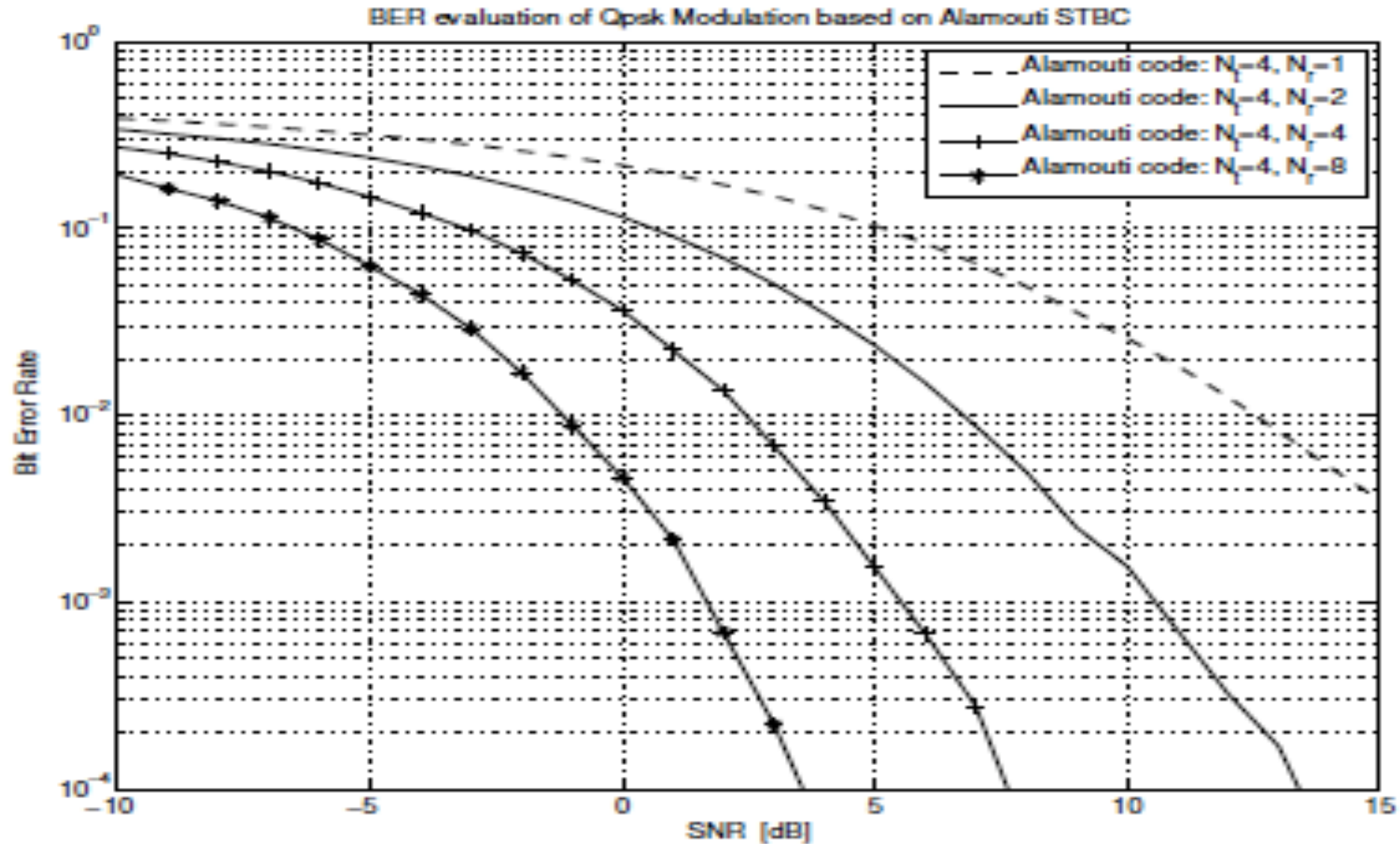
D13



- Ordini di diversità 2, 4, 8 rispettivamente per 2x1, 2x2, 2x4
- A parità di BER =  $10^{-4}$  e modulazione BPSK:
  - guadagno di 5 dB del 2x4 sul 2x2 e di 20 dB del 2x4 sul 2x1
  - 2x4 migliori prestazioni

# STBC 4x1, 4x2, 4x4, 4x8

D13



- Guadagno di diversità con più antenne in trasmissione
- A parità di  $BER = 10^{-4}$  e modulazione QPSK:
  - guadagno di 6 dB del 4x8 sul 4x4
  - diminuisce la quantità di dati trasmessi (tasso codice 3/4)

### Vertical Bell Laboratories Layered Space Time (VBLAST)

Massimizza il data rate con tecniche di multiplexing spaziale

- Trasmissione di  $N$  flussi  $S = (s_1, s_2, \dots, s_N)^T$  indipendenti uguali al numero ( $N_T$ ) di antenne in trasmissione
- Separa i flussi trasmessi al ricevitore

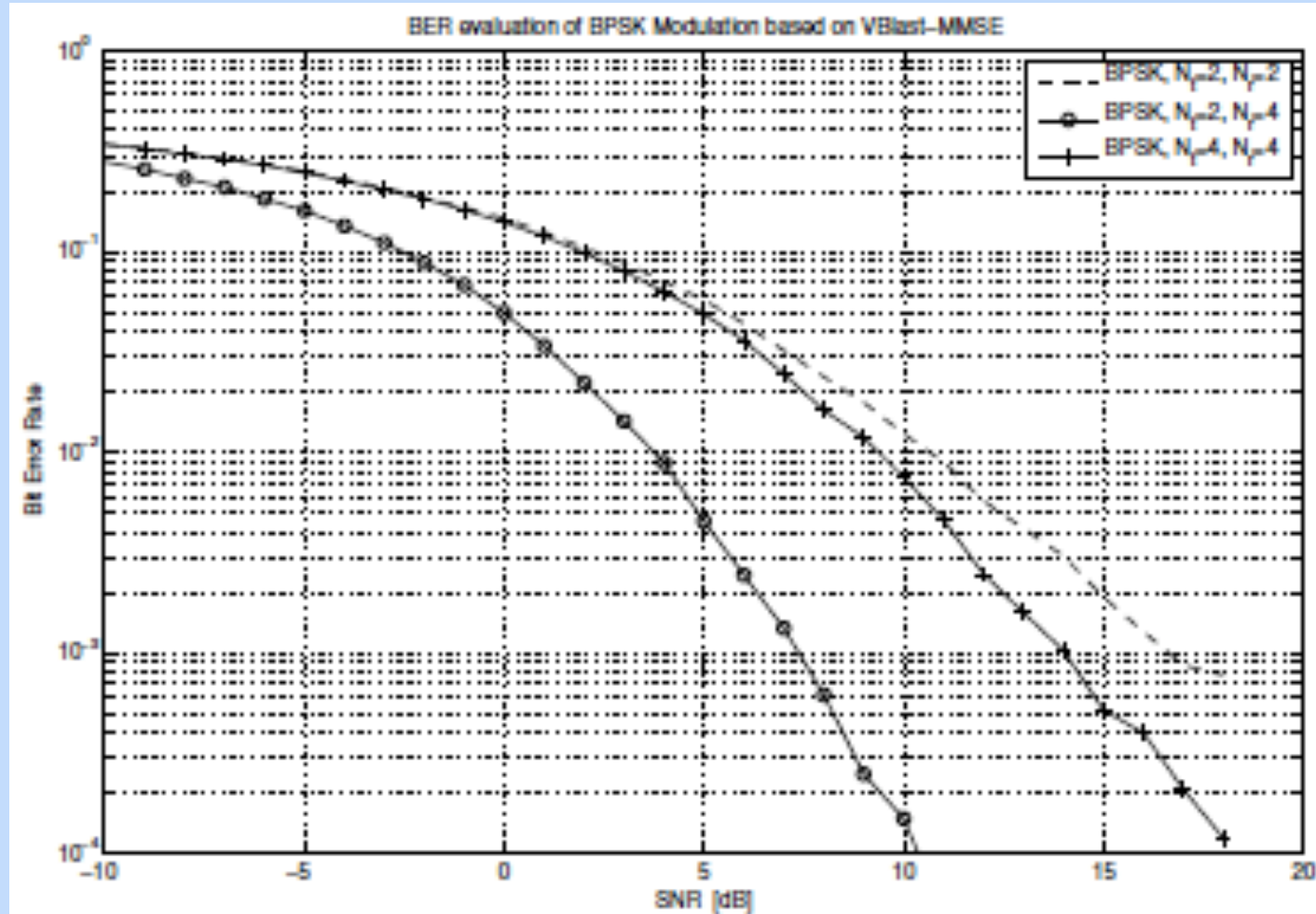
Il ricevitore Minimum Mean-Square Error (MMSE)

- Sceglie il flusso  $i$  con SNR massimo
- Decide a minima distanza il flusso scelto
- Cancella il simbolo deciso dal vettore ricevuto
- Ripete il procedimento con il vettore aggiornato



# VBLAST 2x2, 2x4, 4x4

D13



- Aumenta il numero di dati trasmessi
- A parità di BER =  $10^{-4}$  e modulazione BPSK:
  - guadagno di 10 dB del 2x4 sul 2x2
  - degrado di 9 dB del 4x4 sul 2x4 (perché trasmette il doppio dell'informazione)

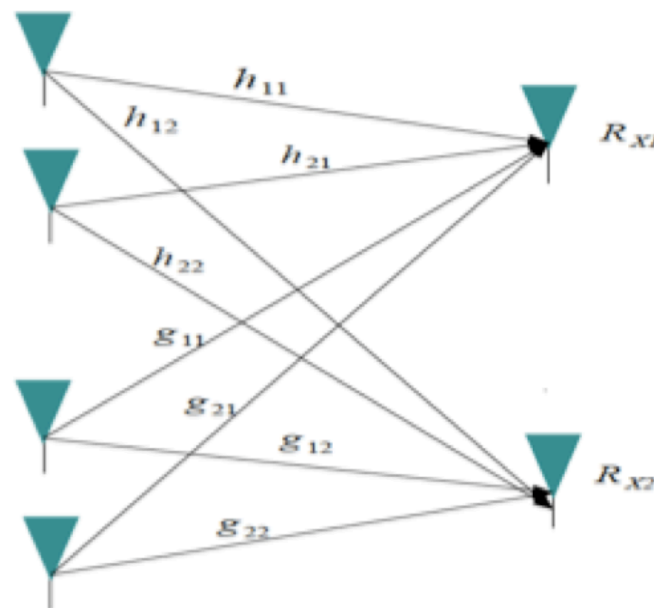
# Schema ibrido (STBC-VBLAST)

DI<sup>3</sup>

- Combina STBC e VBLAST
- Usato nei sistemi che necessitano un aumento di data rate
- Migliora contemporaneamente le prestazioni
  - Guadagno di diversità
  - Quantità di dati trasmessi
- Usa almeno due antenne in ricezione
- Usa STBC sulle due coppie in trasmissione
- Usa in ricezione MMSE a cancellazione di interferenza

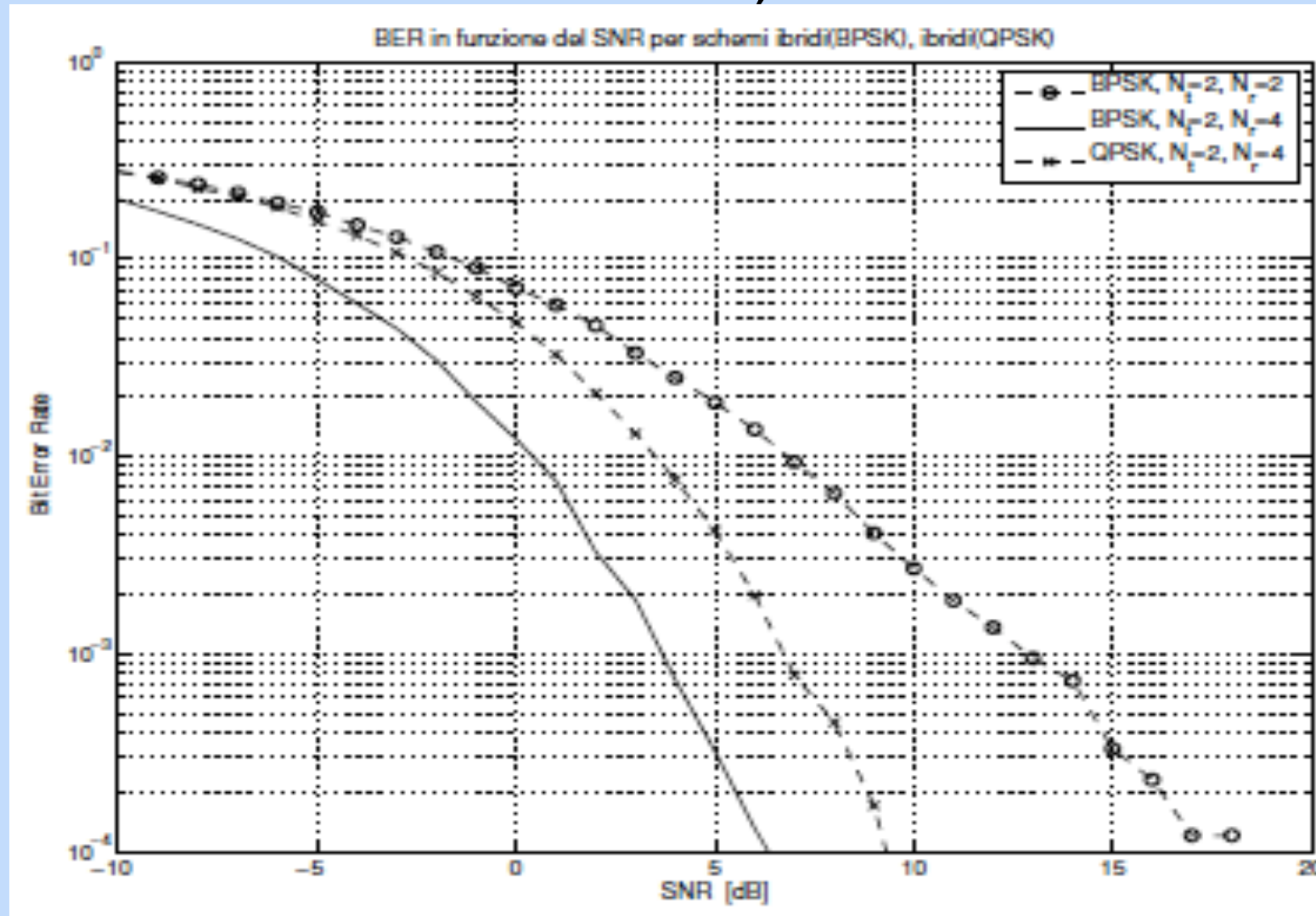
$$S = \begin{bmatrix} s_1 & -s_2^* \\ s_2 & s_1^* \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 & -c_2^* \\ c_2 & c_1^* \end{bmatrix}$$



# Ibrido 2x2, 2x4

D13



- Guadagno di 3 dB di 2x4 (BPSK) su 2x4 (QPSK) e la 2x2 (BPSK) perde 8 dB su 2x4 (QPSK)

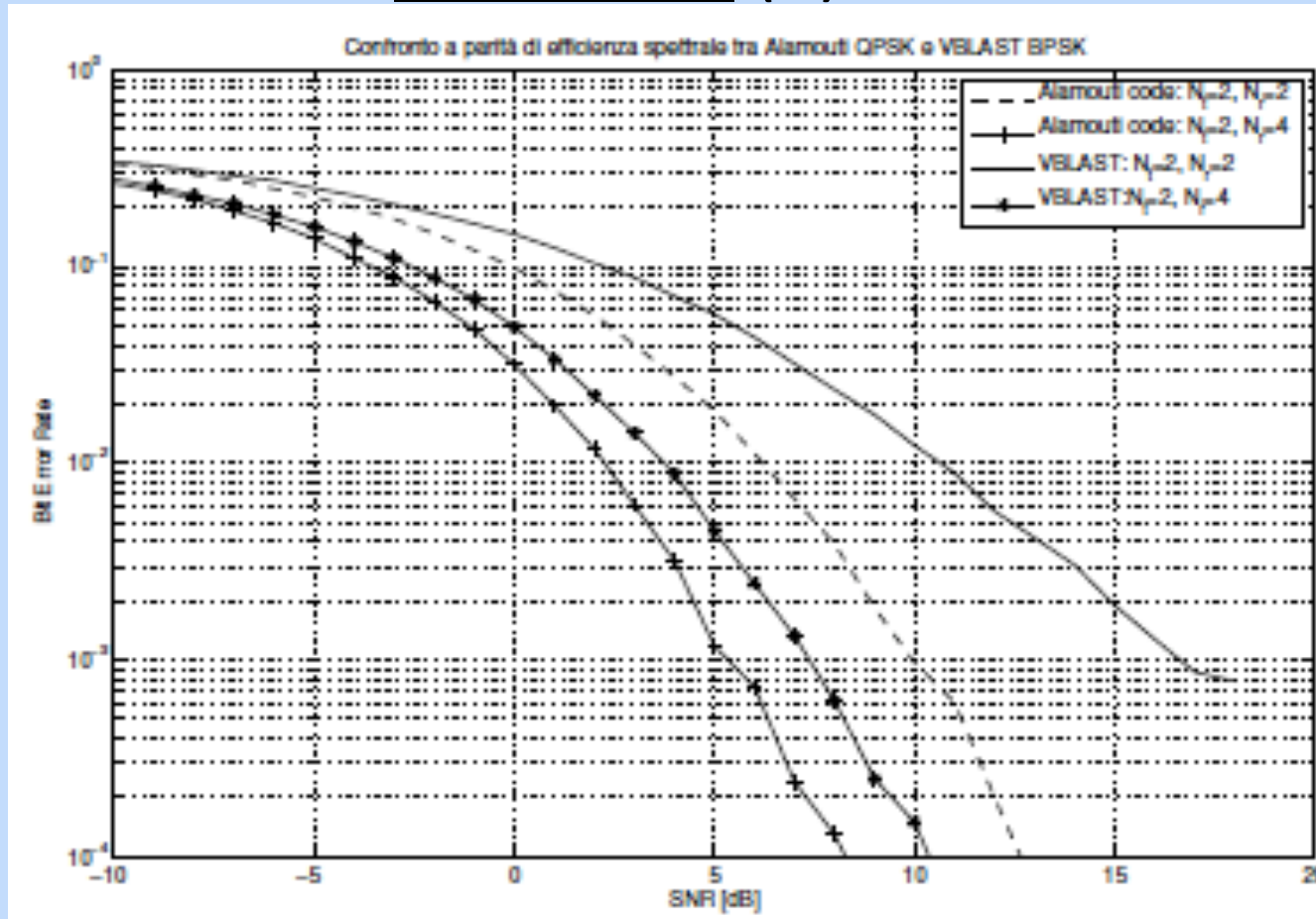
## Confronto tra STBC e VBLAST

DI<sup>3</sup>

- Effettuato a parità di efficienza spettrale  $\eta = N_s \log_2 K$  [Bit/timeslot]
- $K$  numero simboli della modulazione scelta
- $N_s$  numero medio di simboli trasmessi per time slot
- VBLAST:  $N_s = N_T$
- STBC:  $N_s = 1$  se  $N_T = 2$ ,  $N_s = \frac{3}{4}$  se  $N_T = 4$ .

# Confronto (1)

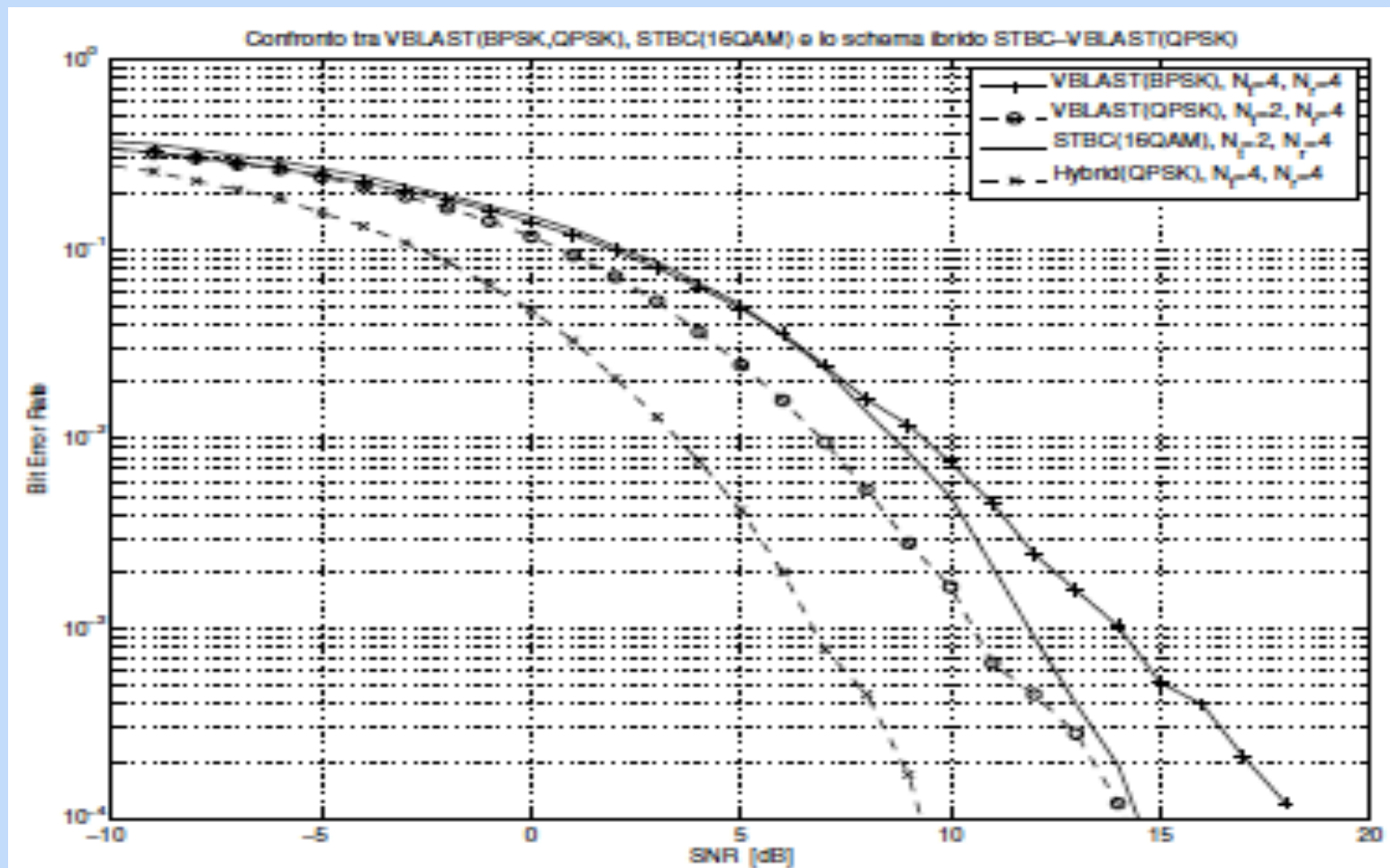
D13



- $\eta = 2$  , modulazioni BPSK per VBLAST e QPSK per STBC
- STBC 2x4 guadagna 2 dB su VBLAST 2x4 e 10 dB su VBLAST 2x2
- VBLAST ha diversità inferiore rispetto a STBC
- VBLAST sfrutta meglio i gradi di libertà
- miglior guadagno di multiploazione

## Confronto (2)

D13



- $\eta = 4$
- STBC-VBLAST 4x4 guadagna circa 6 dB su VBLAST 2x4 QPSK e STBC 2x4 16QAM
- Schema ibrido da prestazioni migliori

## MIMO in Presenza di correlazione tra antenne

- Situazione reale
  - Dimensioni dispositivi non consentono di distanziare sufficientemente le antenne
- Non completa indipendenza dei segnali trasmessi o ricevuti
  - Correlazione tra segnali trasmessi
  - Simboli con stessa attenuazione

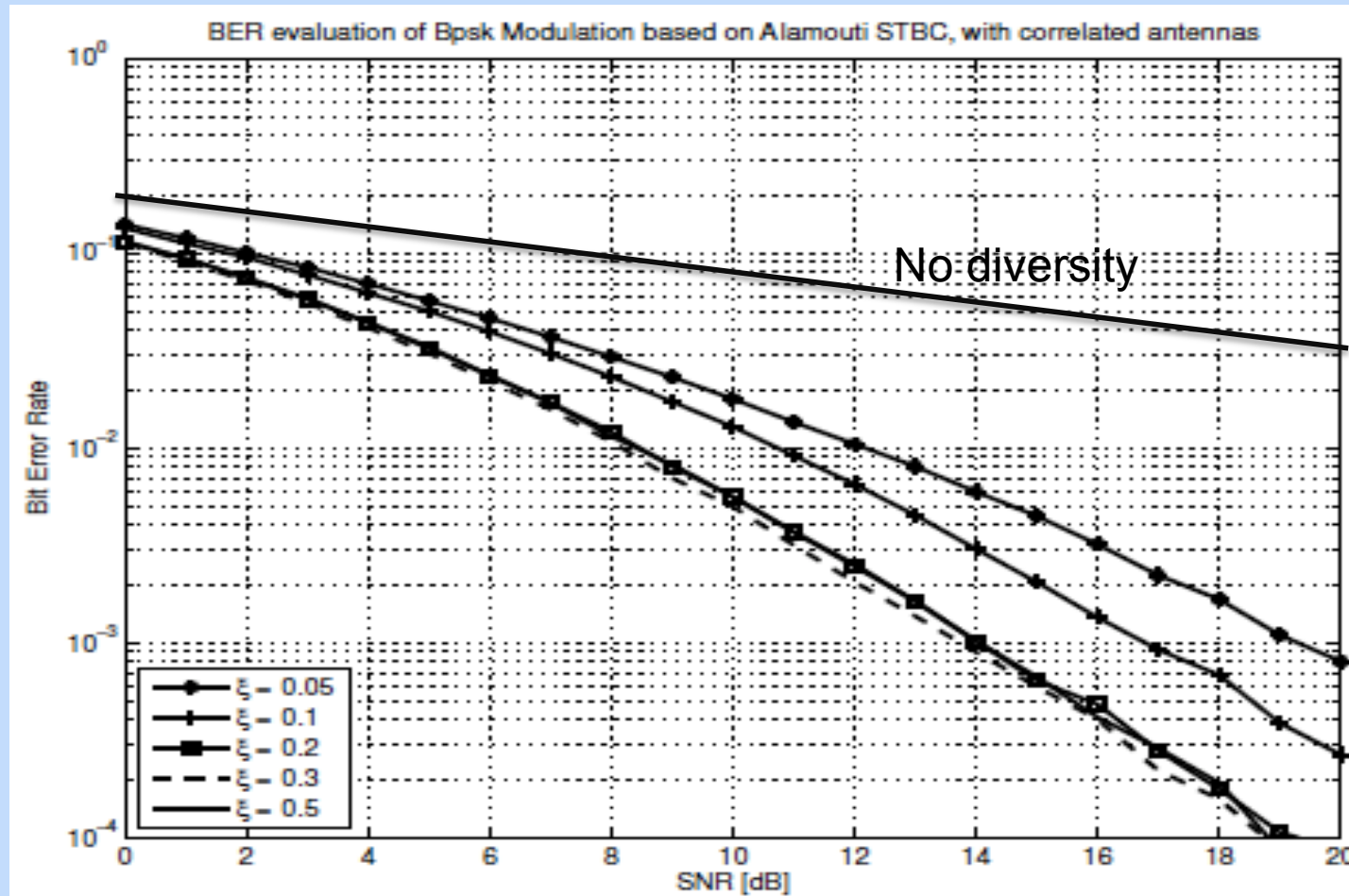
Correlazione tra le attenuazioni subite da due segnali trasmessi dalle antenne  $i$  e  $k$  data da:

$$E[h_{i,j} h_{k,j}^*] = J_0(2\pi\xi |i - k|)$$

- $J_0$  funzione di Bessel non modificata di prima specie
- $\xi$  parametro per modificare la correlazione se diminuisce  
aumenta la correlazione

# STBC con correlazione

D13



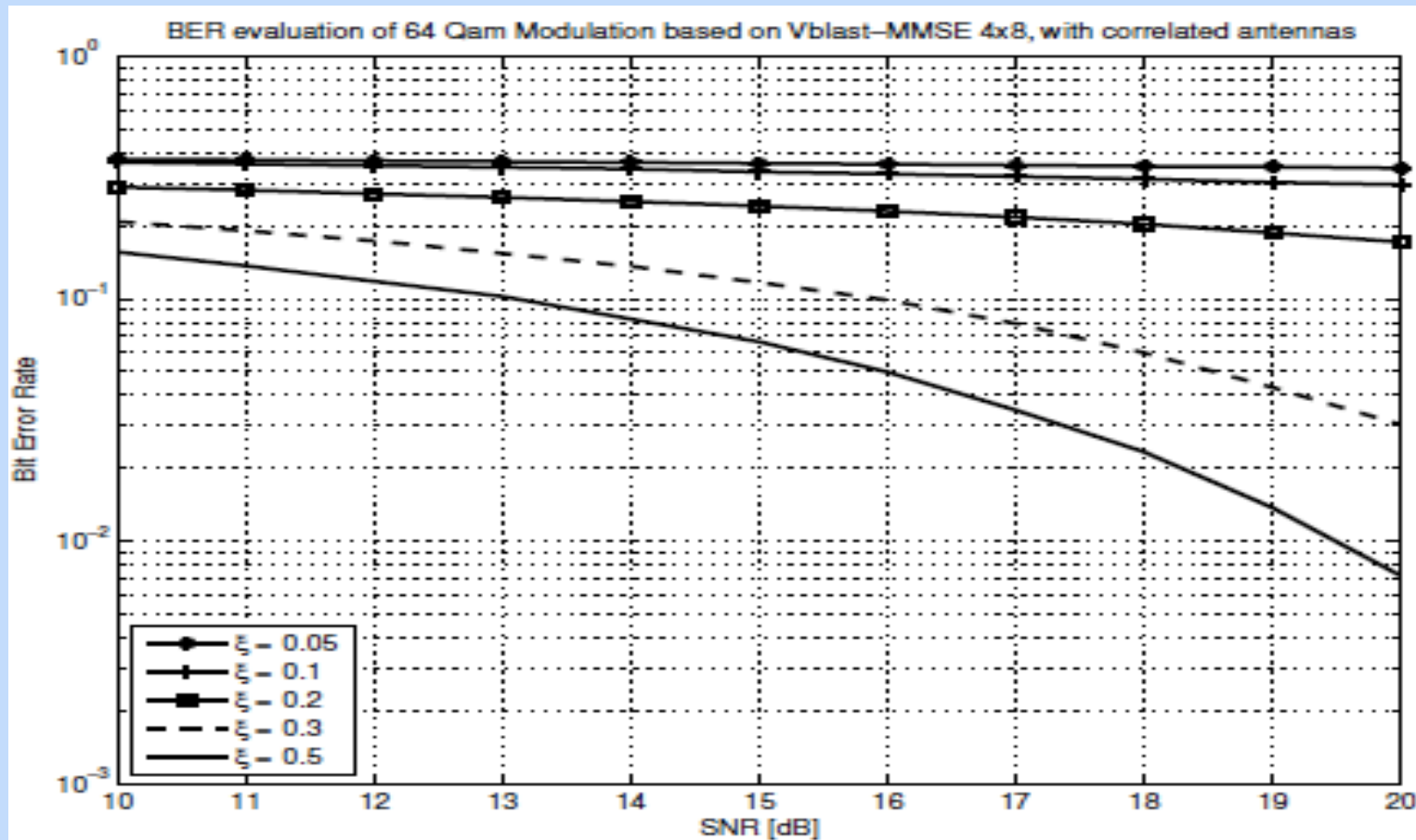
STBC 2x1, 1x1 BPSK

- Prestazioni calano all'aumentare della correlazione
- Per correlazione molto alta ( $\xi = 0.05$ ) simboli ricevuti con stessa attenuazione
- Diversità non più di ordine due ma uno



# VBLAST con correlazione

D13



VBLAST 4x8 64QAM

Per correlazioni alte:

- cresce la BER il ricevitore non distingue più i flussi trasmessi
- servono percorsi indipendenti nel VBLAST per ottenere buone prestazioni

## Conclusioni (1)

DI<sup>3</sup>

VBLAST

Vantaggi:

- aumento del data rate
- migliori prestazioni nei canali a SNR alto

Svantaggi:

- alte BER (codifica di canale)

STBC

Vantaggi:

- guadagno di diversità
- basse BER
- migliori prestazioni nei canali a SNR basso

Svantaggio:

- tasso  $\leq 1$

## Conclusioni (2)

DI<sup>3</sup>

Benefici offerti all'LTE dalla tecnologia MIMO:

- aumento del throughput (VBLAST)
- qualità del servizio (STBC)
- compromesso tra i due precedenti requisiti (tecniche ibride)

Requisiti:

- bassa correlazione tra i percorsi
- dimensioni terminali
- spaziatura tra le antenne

- Soluzioni al problema della correlazione tra segnali trasmessi dalle antenne
  - Schemi robusti alla correlazione
- Confronto LTE – WIMAX
  - Stessi obiettivi
- Modelli più realistici del sistema e del canale