

**Master in**  
**Ingegneria delle Radiocomunicazioni**

**RETI RADIOMOBILI**

(Titolare: Prof. Oreste Andrisano)

**Metodi di trasmissione  
multiportante:  
principi di funzionamento**

**Ing. Davide Dardari**

**DEIS Università degli Studi di Bologna**

Ing. Davide Dardari

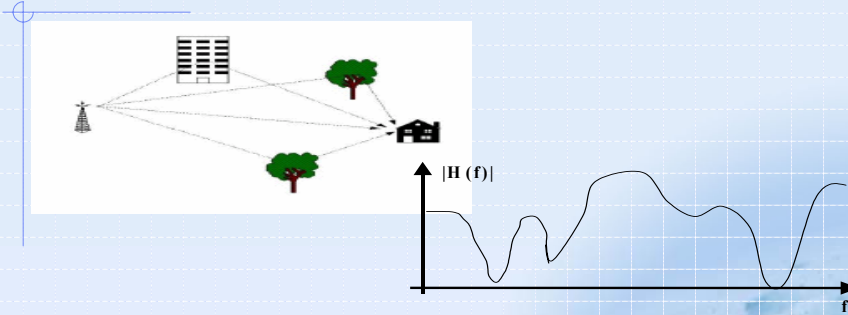
**Cenni storici sulle tecniche di trasmissione multiportante**

- [Shannon 1948] limite teorico sulla capacità in canali AWGN con ISI
- [Collin 1957] Collin primo concetto di modem multiportante
- [Holsinger 1964] prime tecniche per mantenere l'ortogonalità in mezzi distorcenti
- [Weinstein 1971] tecnica DMT mediante impiego della FFT
- [Bingham 1990] concetto di bit loading
- [ANSI 1995] standard ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Loop)
- [ETSI 1995] standard DAB (Digital Audio Broadcasting)
- [ETSI 1997] standard DVB-T (Digital Video Broadcasting)
- [IEEE 1999] standard IEEE802.11a WLAN a 5GHZ

Ing. Davide Dardari

## INTRODUZIONE

Trasmissione in presenza di forti effetti di selettività in frequenza



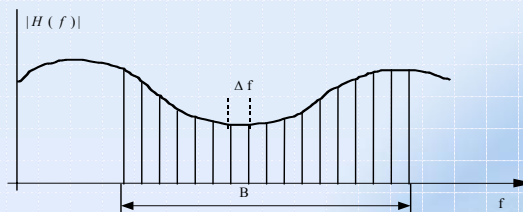
Se i vari echi del segnale sono caratterizzati da un ritardo diverse volte più grande del tempo di bit  $T_b$ , l'equalizzazione nel tempo diventa complessa

Questa situazione è tanto più vera quanto maggiore è la bit rate  $B_r$  che si vuole raggiungere.

Ing. Davide Dardari

## Trasmissione multiportante

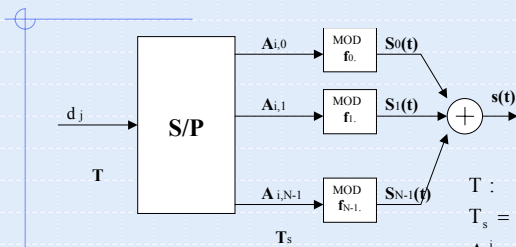
La tecnica multiportante consiste nella suddivisione del flusso informativo a velocità  $B_r$  in  $N$  flussi paralleli a velocità  $B_r/N$ . Ogni flusso viene a modulare una portante diversa.



Se il numero  $N$  è molto grande è possibile considerare gli effetti selettivi trascurabili all'interno di ogni sottobanda (solo fading piatto).

Ing. Davide Dardari

## Soluzione multiportante OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)



$T$  : Tempo di simbolo elementare  
 $T_s = NT$  : Tempo di simbolo o frame OFDM  
 $A_n^i = d_{n+i \cdot N} \in M$  - QAM/PSK

$$s_n(t) = \text{Re} \left\{ V_0 \sum_{i=-\infty}^{\infty} A_n^i g(t - iT_s) \cdot e^{j2\pi f_n t} \right\}$$

Segnale modulato M - QAM o PSK a frequenza  $f_n$

$g(t)$  : forma d'onda rettangolare di durata  $T_s$

$f_n = f_0 + n \cdot \Delta f$  oppure  $f_n = f_0 + (n - N/2) \cdot \Delta f$

$\Delta f$  : spaziatura fra le portanti

Ing. Davide Dardari

Il segnale OFDM è somma di N segnali modulati su portanti separate di una quantità  $\Delta f$

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} s_n(t) = \text{Re} \left\{ i(t) \cdot e^{j2\pi f_0 t} \right\}$$

$$i(t) = V_0 \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{n=0}^{N-1} A_n^i g(t - iT_s) \cdot e^{j2\pi n \Delta f \cdot t} \quad \text{Involuppo complesso}$$

### Condizione di ortogonalità

Se  $\Delta f = 1/T_s = 1/NT$  i segnali trasmessi risultano essere ortogonali in un tempo  $T_s$

$$\int_{iT_s}^{(i+1)T_s} s_n(t) \cdot s_m(t) \cdot dt = 0 \quad \text{per } n \neq m \quad \forall i$$

Ing. Davide Dardari

# Spettro di potenza

Per l'indipendenza dei simboli  $A_n$  lo spettro di potenza può essere calcolato come la sovrapposizione di tanti contributi elementari di tipo M-QAM o PSK

$$W(f) \propto \sum_{n=0}^{N-1} |G(f - f_n)|^2$$

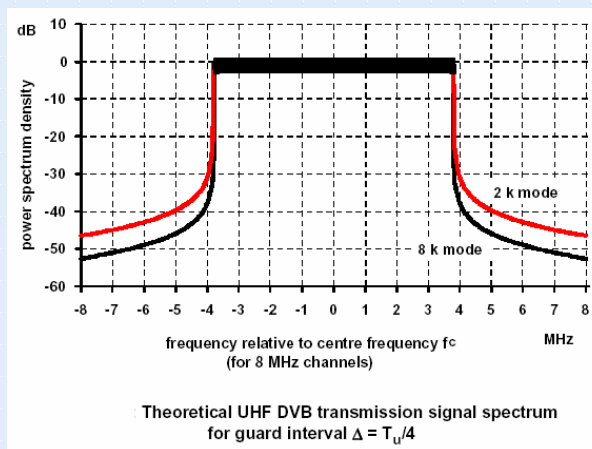
Densità spettrale  
monolaterale di potenza

$$G(f) = \mathfrak{F}[g(t)]$$

Trasformata di Fourier  
dell'impulso base  $g(t)$

Ing. Davide Dardari

# Spettro di potenza



Ing. Davide Dardari

## Problema:

se  $N$  è grande lo schema precedente composto da  $N$  modulatori in parallelo è troppo complesso



**Utilizzo della tecnica DMT  
(Discrete Multitone Technique)**

Ing. Davide Dardari

## TECNICA DMT (Discrete Multitone Technique)

Nel generico intervallo di frame  $[i \cdot T_s, (i+1) \cdot T_s]$  si ha : 
$$i^{(i)}(t) = V_0 \sum_{n=0}^{N-1} A_n^i \cdot e^{j2\pi n \Delta f t}$$

Campioniamo  $i^{(i)}(t)$  in  $t \in \{iT_s + kT_c\}$   
con  $k \in \{0, 1, 2, \dots, N-1\}$

$$u_k^i = i^{(i)}(iT_s + kT_c) = V_0 \sum_{n=0}^{N-1} A_n^i \cdot e^{j2\pi n k \frac{T_c}{T_s}} = V_0 \cdot N \cdot \mathfrak{F}_d^{-1}[A_n^i]$$

dove

$$\mathfrak{F}_d^{-1}[A_n^i] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} A_n^i \cdot e^{j2\pi n k \frac{T_c}{T_s}} \quad \text{anti - trasformata}$$

discreta di Fourier (IDFT)

*Negli istanti di campionamento  $iT_s + kT_c$  c'è equivalenza fra modulazione M-QAM sulle singole portanti e tecnica DMT basata su DFT*

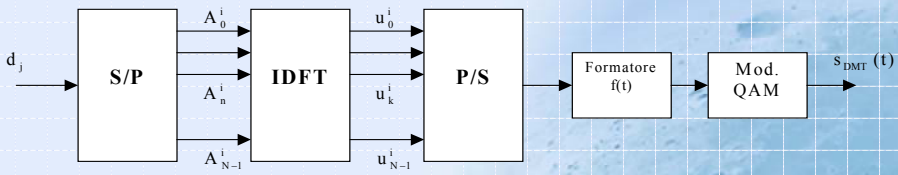
Per ora poniamo  $T_c = T$  (tempo di chip)

Ing. Davide Dardari

## Schema trasmettitore DMT

Occorre trasmettere i simboli  $u_k^i$  associandoli ad una forma d'onda  $f(t)$  :

$$s_{DMT}(t) = \text{Re} \left\{ \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{k=0}^{N-1} u_k^i f(t - kT_c - iT_s) \cdot e^{j2\pi f_0 t} \right\}$$

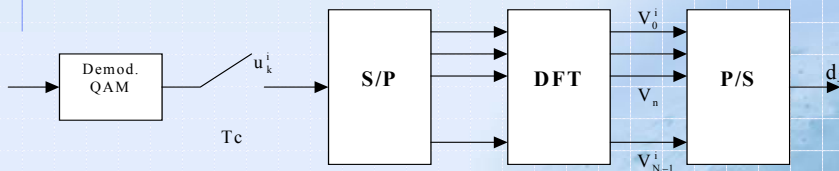


Ing. Davide Dardari

## Schema ricevitore DMT

In ricezione, noti i campioni  $u_k^i$  è possibile risalire in modo univoco ai simboli  $A_n^i$  attraverso una operazione di DFT :

$$A_n^i = \mathfrak{F}_d[u_k^i] / V_0 \cdot N$$



**Oss: schema valido in condizioni ideali  
(assenza di rumore termico e canale non distorcente)**

Ing. Davide Dardari