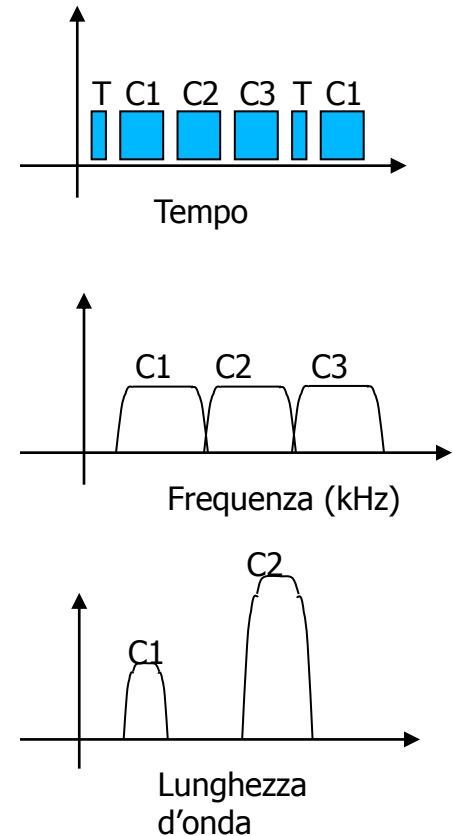


Tecniche di Multiplazione

- A *divisione di tempo (TDM)*
 - modalità deterministica (banda dedicata e ritardo fisso)
 - modalità statistica (banda e delay variabili e migliore sfruttamento del mezzo)
- A *divisione di spazio (SDM)*
 - Dati inviati su media fisicamente separati
- A *divisione di frequenza (FDM e WDM)*
 - Usa differenti frequenze o lunghezze d'onda per differenziare i dati trasmessi
- Per *codifica (CDM)*
 - La differenziazione dei dati trasportati è ottenuta utilizzando diversi tipi di codifica

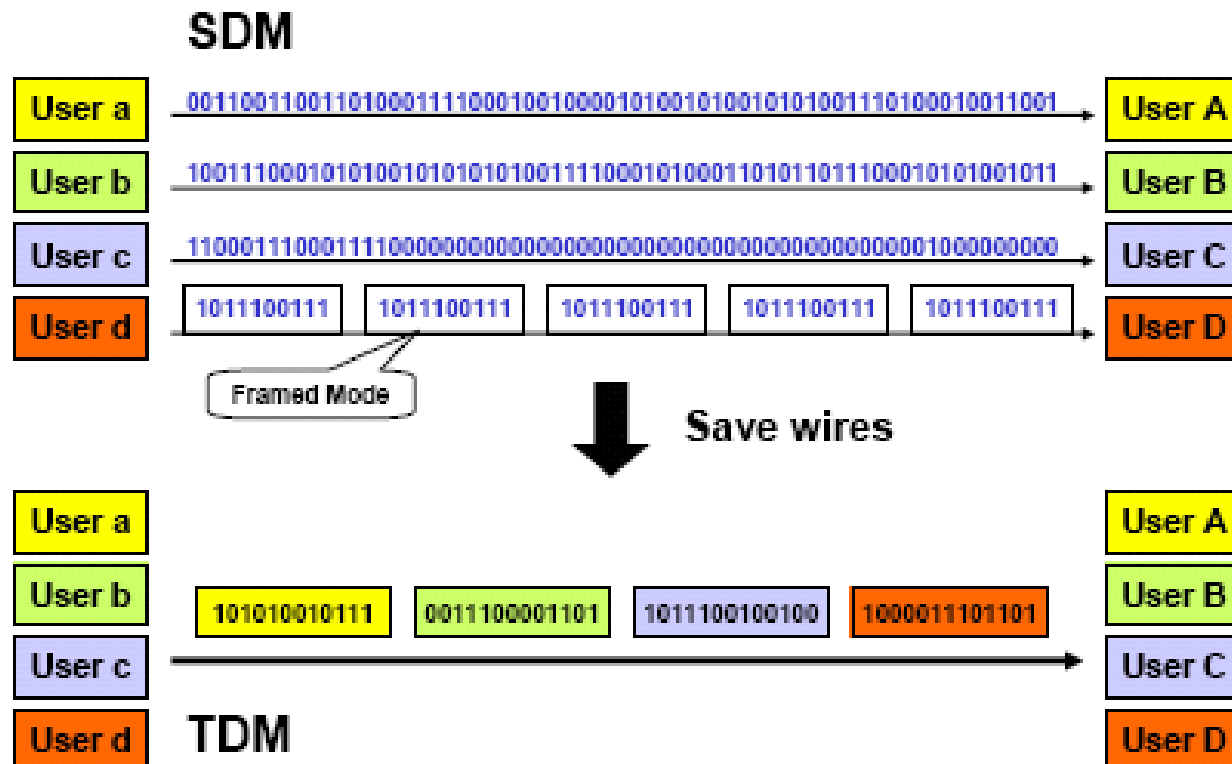


SDM vs TDM

SDM: Una connessione fisica per trasmissione

TDM: La stessa connessione utilizzata per 4 trasmissioni distinte

- Richiede tramatura dei flussi e uso di Multiplexer e demultiplexer
- Meno efficiente ma ottimizza l'uso dei mezzi trasmissivi



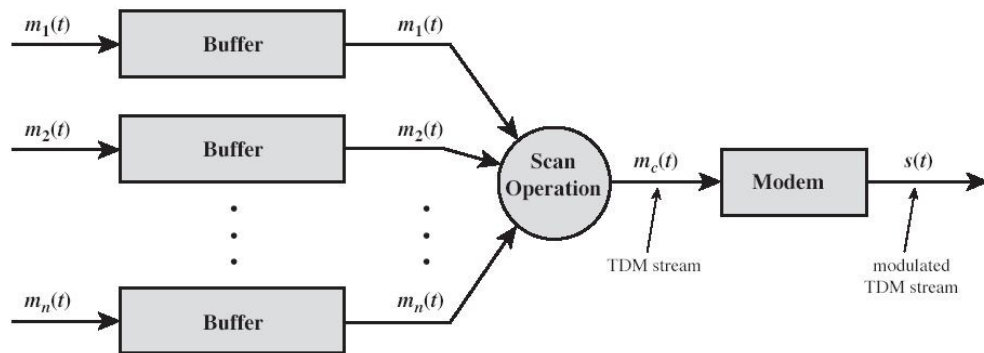
TDM (Time Division Multiplexing)

- Il multiplexing a divisione di tempo è utilizzato quando si dispone di un **canale digitale** capace di un **elevato** tasso di trasmissione dati in cui poter trasmettere **contemporaneamente** un insieme di comunicazioni a tasso **inferiore**
- Si **mischiano** i dati delle diverse comunicazioni, **inframezzando i bit** delle diverse trasmissioni
- Di fatto si **divide** la disponibilità del canale in **periodi temporali**, e si dedicano **a turno** i diversi periodi a diversi flussi trasmissivi

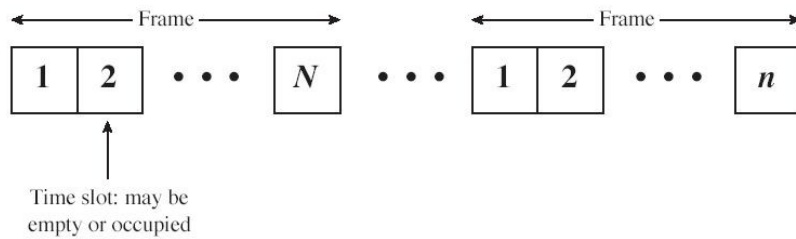
Slot e frame

- Ogni intervallo temporale si chiama **slot** e può contenere **uno o più bit** relativi ad un flusso indipendente
- Il flusso dei dati è organizzato in trame (**frame**)
- Una trama è l'insieme di tutti gli **slot temporali** utilizzati ad una specifica frequenza
- Anche in questo caso il flusso relativo ad un singolo timeslot è detto **canale**

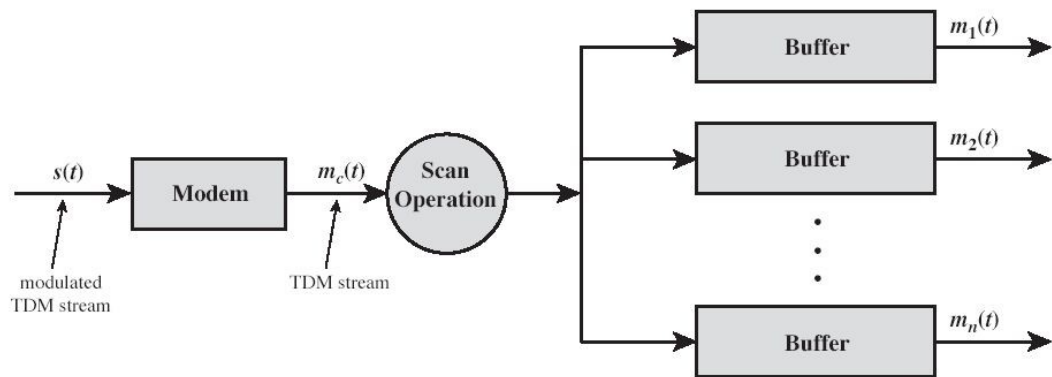
Schema del TDM



(a) Transmitter



(b) TDM Frames



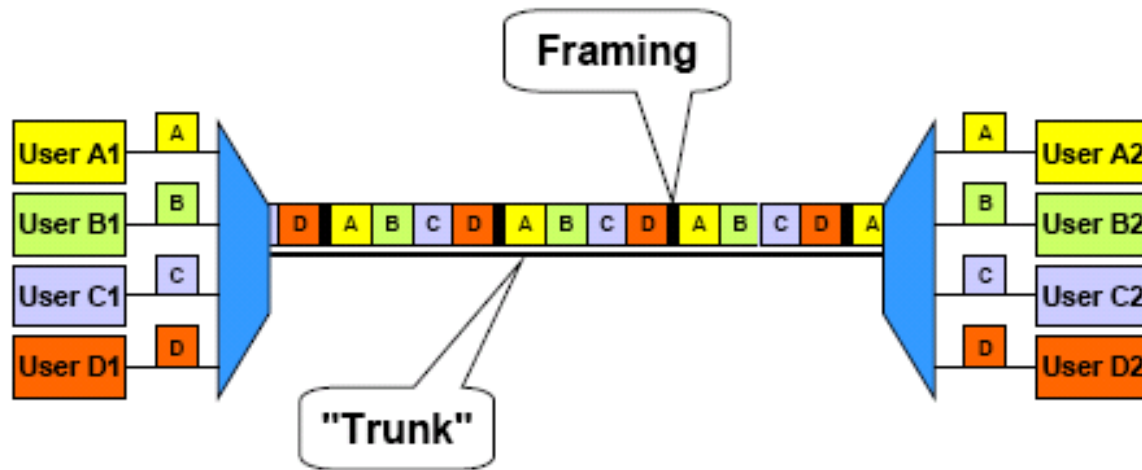
(c) Receiver

TDM deterministico e statistico

- Esistono essenzialmente due metodi di multiplazione
 - Deterministico: ogni canale di comunicazione è identificato dalla sua posizione in termini di slot temporali all'interno della trama. Questa correlazione fissa fra il canale di comunicazione e il relativo timeslot è il principale svantaggio del TDM deterministico: se il canale non è usato comunque occupa il timeslot inviando un pattern idle
 - Statistico: non esiste correlazione fra canale di comunicazione e relativo timeslot. La capacità del mezzo è distribuita statisticamente fra gli utenti che ne concorrono all'uso. E' necessario uno schema separato di tramatura e indirizzamento per garantire le associazioni dinamiche: se un canale non è usato gli altri canali possono disporre della sua capacità trasmissiva.

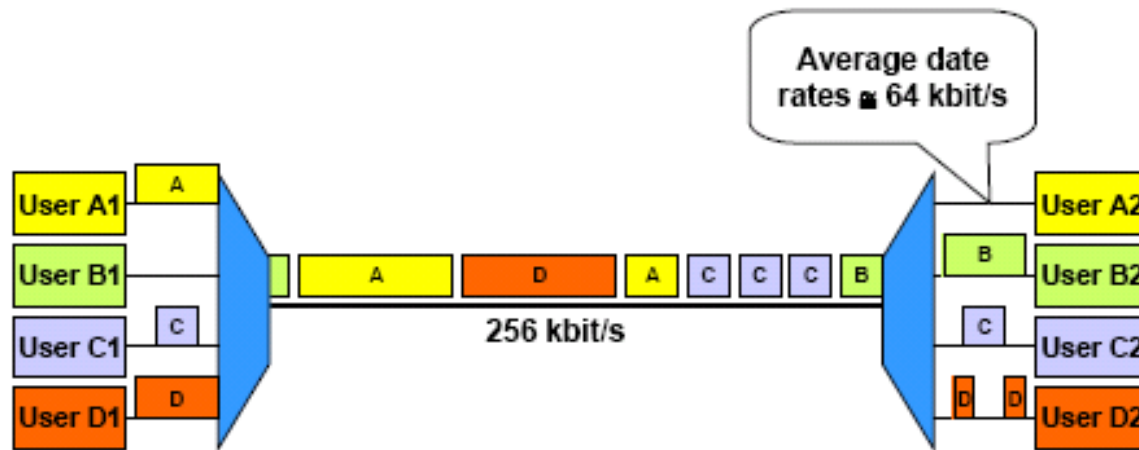
TDM deterministico

- Le trame hanno la stessa taglia - Ordinamento garantito
- Non sono necessari schemi di indirizzamento né di bufferizzazione
- Inerentemente connection oriented e protocol transparent
- Cattiva utilizzazione del mezzo trasmissivo

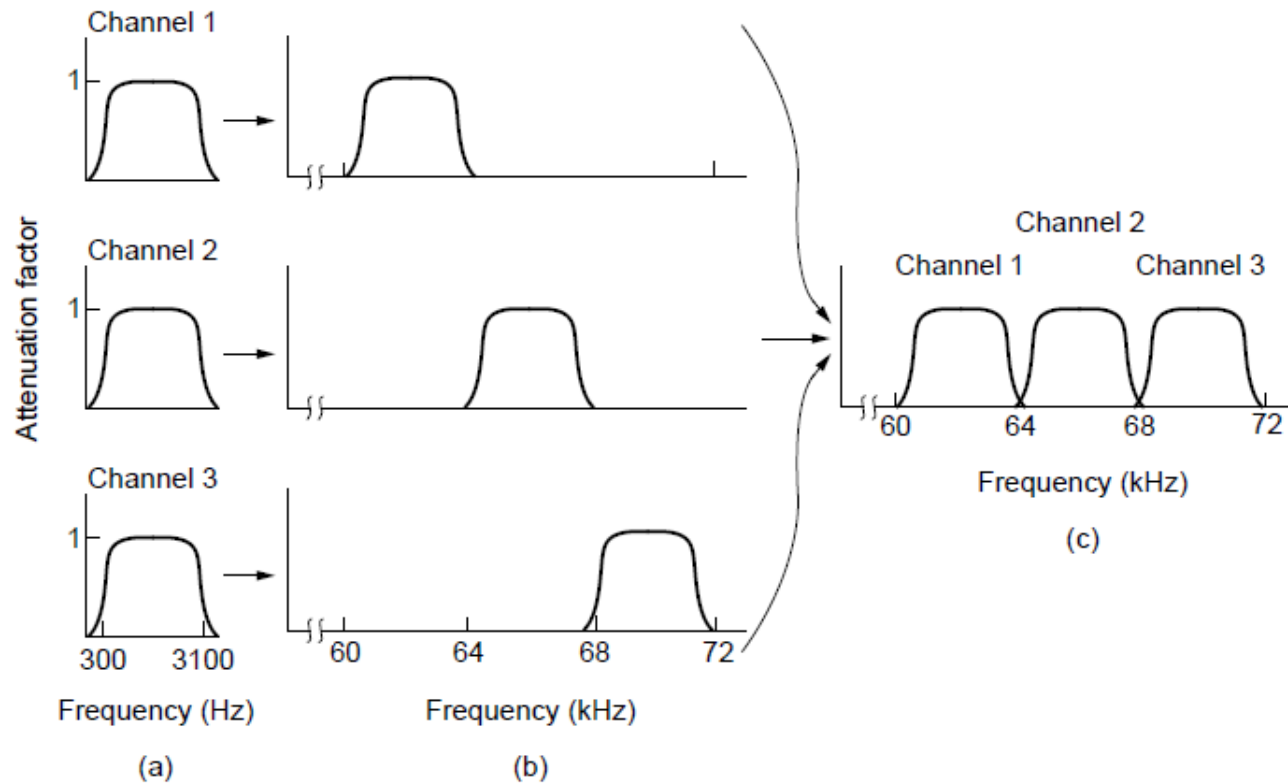


TDM statistico – Multiplazione Statistica

- Trame di taglia differente
- Necessita di uno schema di indirizzamento e di bufferizzazione
- Dipendente dal protocollo
- Ottimo utilizzo del mezzo trasmissivo



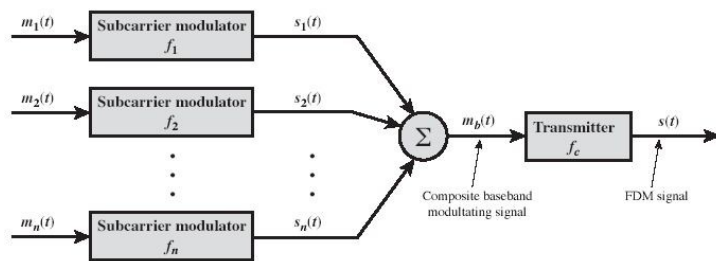
Frequency Division Multiplexing



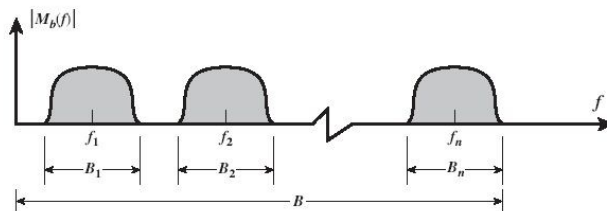
- Usa la trasmissione in banda passante, dividendo lo spettro in bande di frequenza separate, una per canale
- Nessuna coppia di canali può condividere la stessa porzione di spettro

Frequency Division Multiplexing

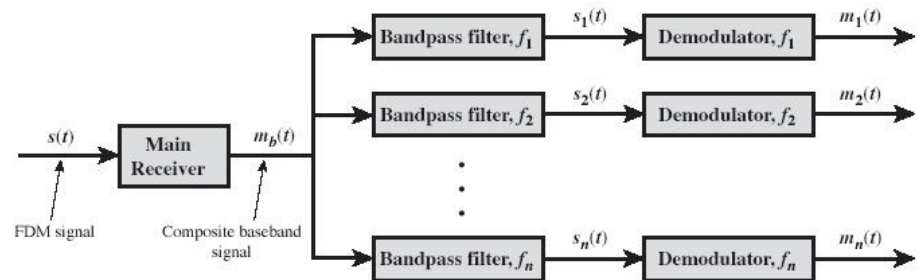
- L'effetto della **modulazione** su un segnale sinusoidale a frequenza f si traduce nella generazione di un segnale il cui spettro ha la **stessa** forma dello spettro del segnale modulante ma **traslato** attorno alla frequenza f della portante
- In presenza di una serie di segnali ciascuno con banda B , e di un mezzo che ha una capacità di banda limitata dai valori f_1 e f_2 ($f_2 - f_1 \gg B$), possiamo utilizzare ciascun segnale per modulare segnali sinusoidali alle frequenze $f_1 + B$, $f_1 + 2B$, $f_1 + 3B$, etc.
- I segnali modulati occuperanno **porzioni distinte** entro la banda trasmissiva del mezzo, e potranno essere trasmessi **contemporaneamente** senza interferire.
- In ricezione, opportune operazioni di demodulazione e filtraggio permetteranno di **separare** i diversi traffici.



(a) Transmitter



(b) Spectrum of composite baseband modulating signal



(c) Receiver

Multi-Carrier Modulation

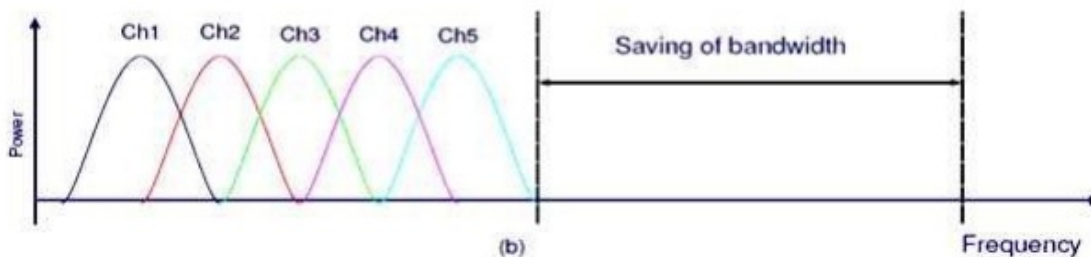
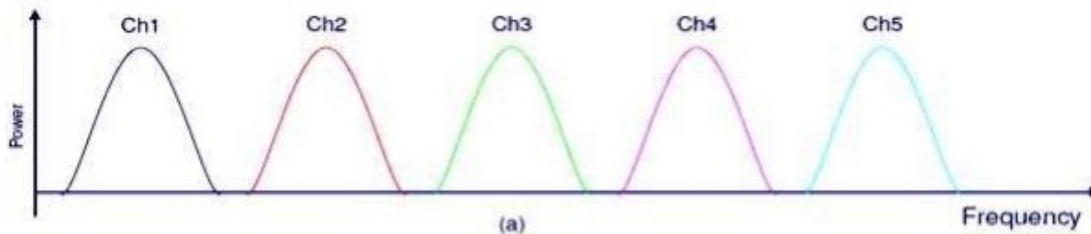
- Nella trasmissione parallela di dati, la banda di frequenza disponibile è generalmente suddivisa in molti canali
- Allo scopo di eliminare l'interferenza intercanale, gli spettri dei sottocanali non devono sovrapporsi: questo però non consente un utilizzo efficiente della banda disponibile
- La sovrapposizione spettrale può essere permessa a patto di sfruttare relazioni di ortogonalità tra i canali
- Nella modulazione multi-portante (MCM) il flusso di dati è diviso in più sottoflussi (substream), ognuno dei quali ha un bit rate molto più basso e ogni substream è usato per modulare una diversa portante (carrier).
- Utilizzando portanti ortogonali (OFDM) non si ha l'interferenza intercanale.

Orthogonal Frequency Division Multiplexing

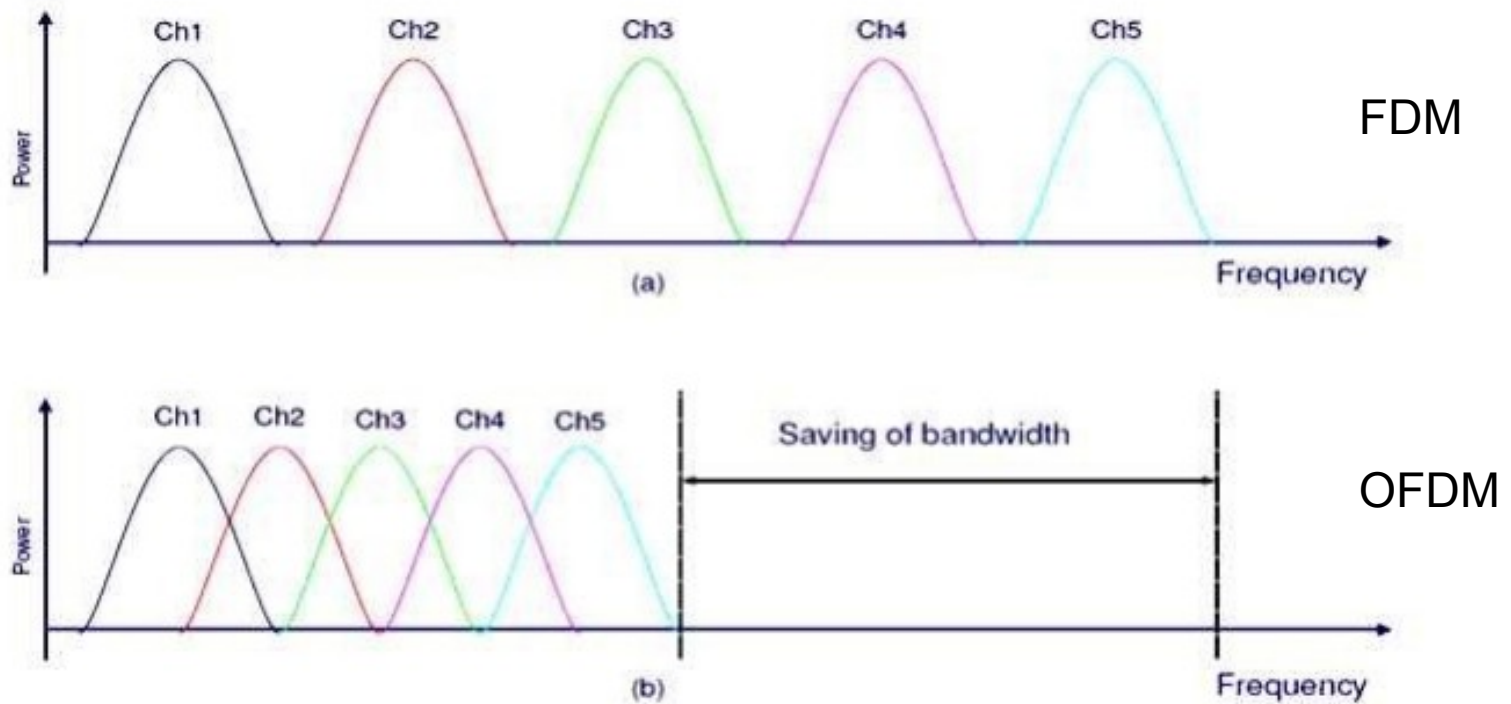
- Nelle tecniche di modulazione multiportante:

la trasmissione delle informazioni non avviene più attraverso un unico flusso supportato da una sola portante, bensì suddividendo il flusso dati ad elevato rate in appositi sottoflussi tutti paralleli tra loro (in numero pari a M), detti anche sottocanali, ciascuno dei quali con una propria specifica sottoportante.

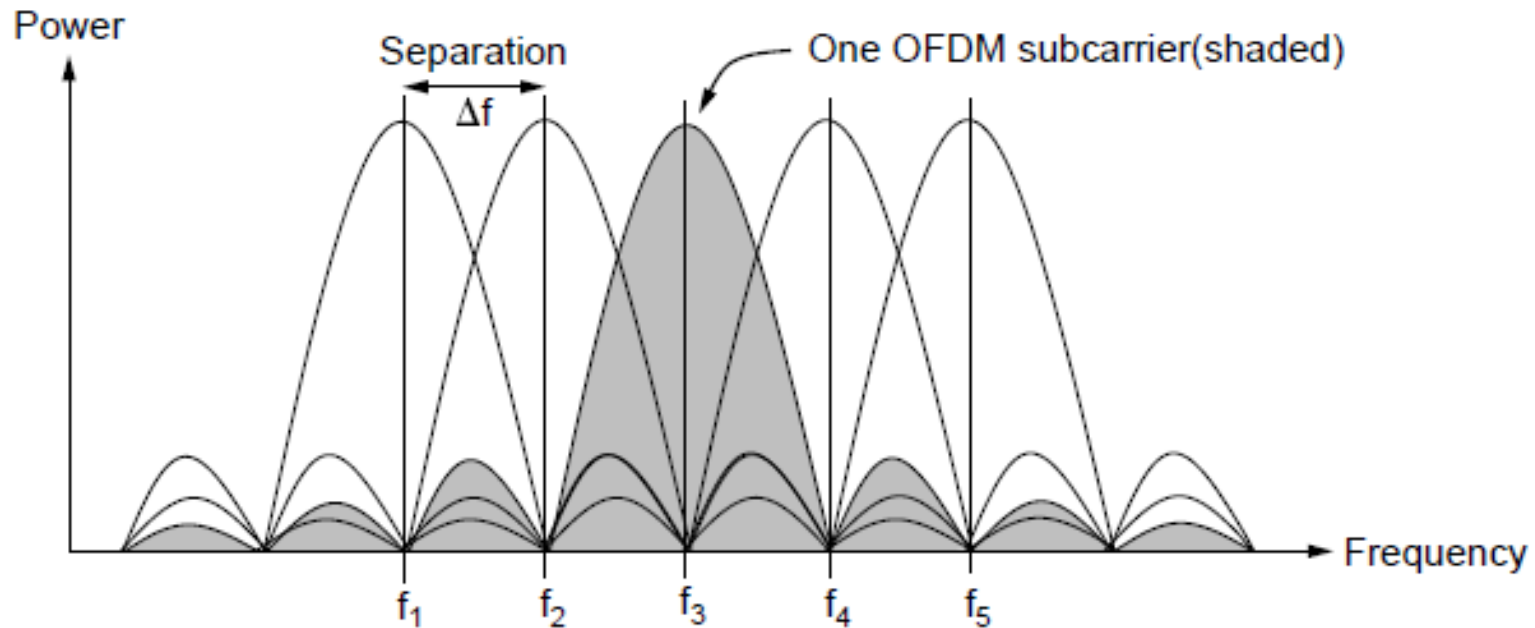
- La velocità di trasmissione dei dati di un singolo sottocanale risulta inferiore, rispetto al caso monoportante, e la banda necessaria è minore rispetto alla banda di coerenza del canale.



Orthogonal Frequency Division Multiplexing



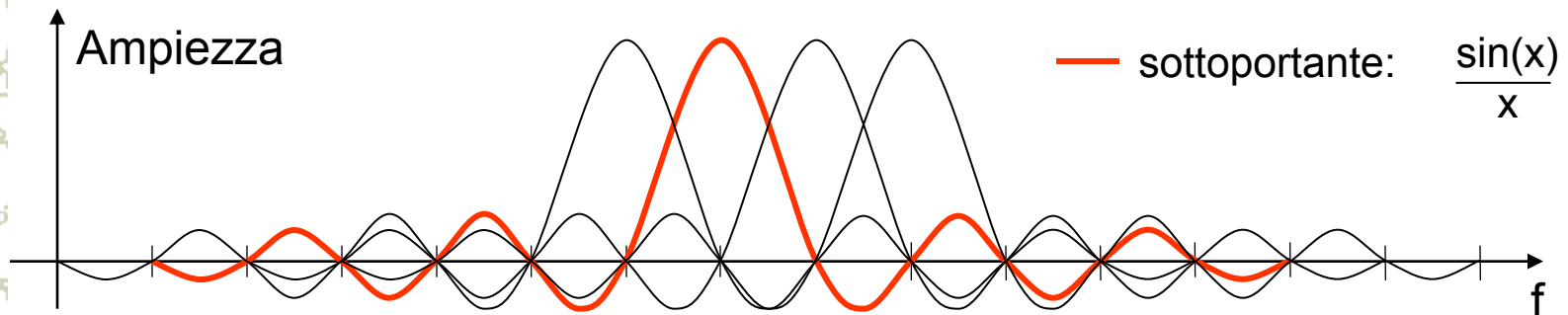
Orthogonal Frequency Division Multiplexing



- modulazione a multi-portante, che utilizza un numero elevato di sottoportanti tra loro ortogonali.
- Ciascuna portante è modulata con una modulazione di tipo convenzionale (ad esempio una QAM) con un basso symbol rate.
- Gli algoritmi OFDM sono generati usando la trasformata di Fourier veloce.

Orthogonal Frequency Division Multiplexing

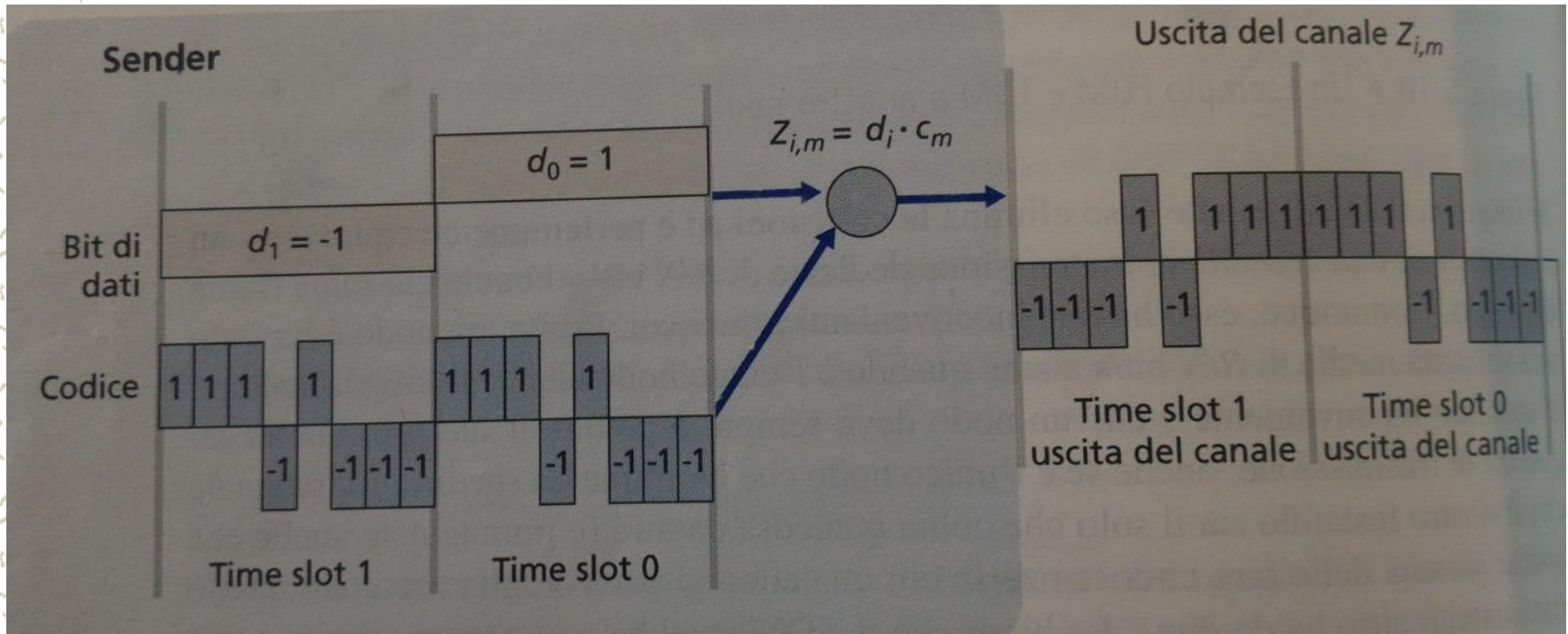
- E' possibile trasmettere su più canali in parallelo usando sottoportanti ortogonali caratterizzate da un rate inferiore
- Si sovrappongono multiple frequenze nello stesso range
- Il Massimo di una sottoportante ha luogo a una frequenza dove tutte le altre sottoportanti assumono un valore nullo



Code Division Multiplexing (1)

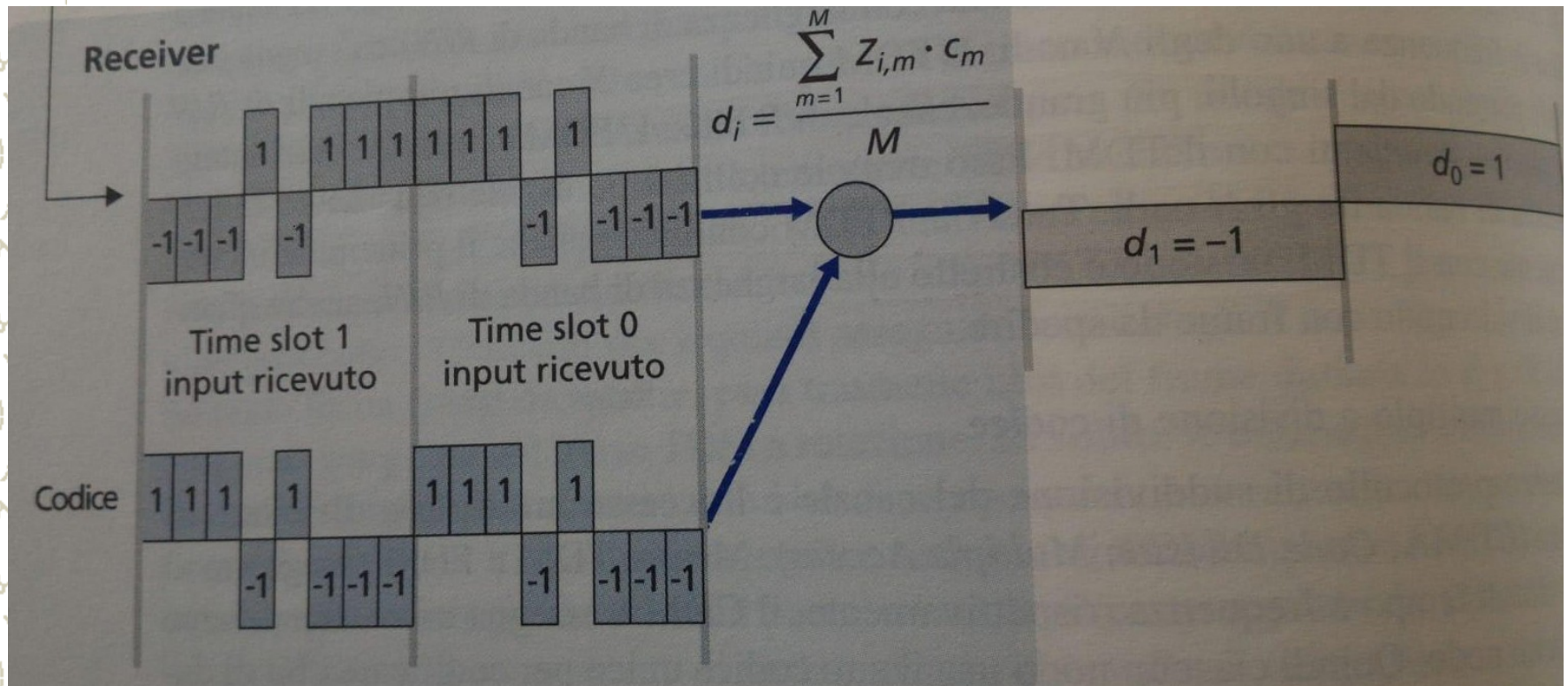
- La moltiplicazione è realizzata moltiplicando in trasmissione l'informazione binaria generata da una sorgente per un'opportuna parola di codice detta chip
- La sequenza $s(t)$ in uscita dal moltiplicatore sarà successivamente modulata e infine trasmessa sul canale
- In ricezione il segnale ricevuto $r(t)$ dal ricevitore sarà costituito dalla somma vettoriale (comprensiva di modulo e fase) di tutti i segnali trasmessi dalle singole sorgenti di informazione, con in più un eventuale termine dovuto al rumore termico.

Code Division Multiplexing (2)



Trasmissione

Code Division Multiplexing (3)



Ricezione

Code Division Multiplexing (4)

- Se i chip delle sorgenti sono ortogonali tra loro, l'estrazione dell'informazione associata a ciascuna sorgente potrà essere fatta in maniera complementare alla trasmissione moltiplicando il segnale ricevuto con il particolare codice associato alla sorgente che si vuole estrarre e integrando successivamente il segnale ottenuto in un intervallo di tempo pari alla durata del bit di informazione.
- Ciò permette di ottenere un segnale che è dato dalla somma di un segnale di ampiezza dominante, (o utile, associato alla sorgente da estrarre), e di un segnale di ampiezza minore, costituito da una combinazione fra rumore termico e quelli associati alle altre sorgenti.

Code Division Multiplexing (5)

Il codificatore CDM è costituito principalmente da due parti:

- la prima che divide la sequenza di bit in M repliche (ad esempio, se la sequenza era +1 +1 -1, ora sarà M volte +1, M volte +1 ecc..),
- la seconda parte che moltiplica ogni replica generata per un termine $d[m]$, chiamato CODICE DI CANALIZZAZIONE di lunghezza M .

Ogni bit del codice di canalizzazione (ad es + o - 1) viene moltiplicato con le repliche della sequenza iniziale in modo da generare un codice in base alla sequenza di partenza. In ricezione, quindi, il segnale potrà essere decodificato soltanto da chi avrà il codice di canalizzazione esatto.

$$A = (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)$$

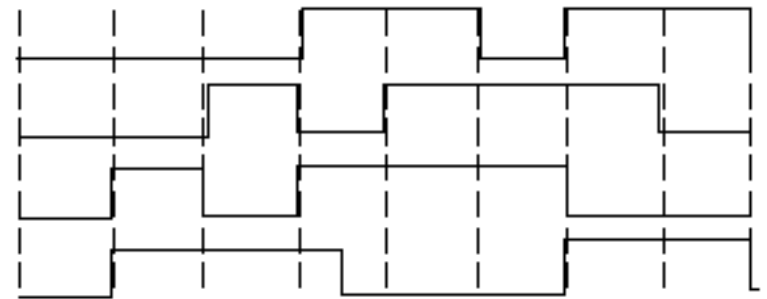
$$B = (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)$$

$$C = (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)$$

$$D = (-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)$$

(a)

Chip sequences for four stations



(b)

Signals sequences representation

Code Division Multiplexing (6)

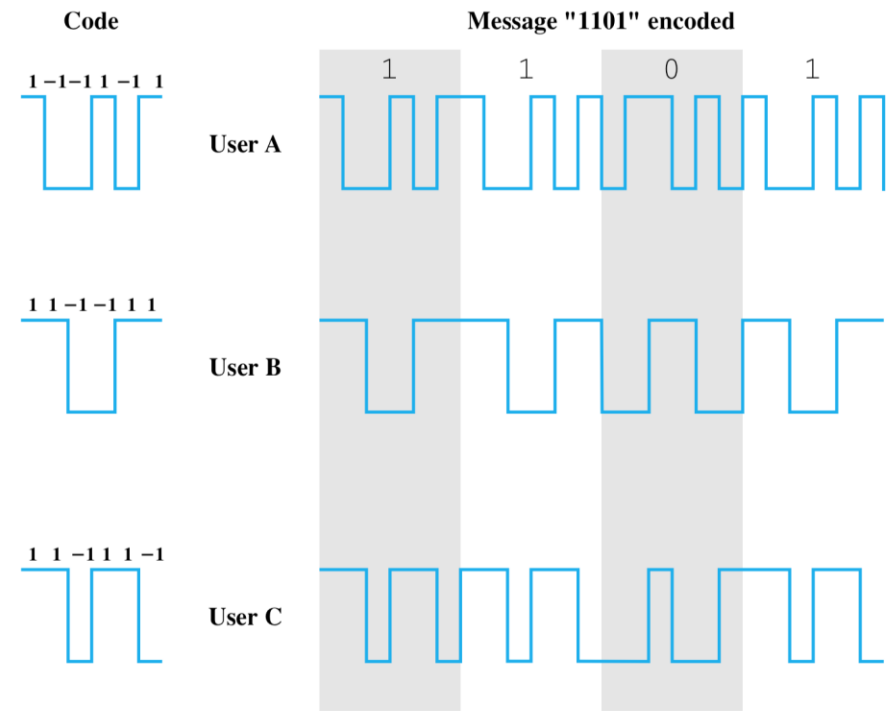
- ✱ D = bit rate del segnale da trasmettere
- ✱ Rappresentiamo ogni bit in k chips
 - I Chips sono pattern fissi specificati dall'utente
- ✱ Chipping data rate del nuovo canale = kD
- ✱ Se $k=6$ e rappresentiamo i chipping codes come sequenze di 1 e -1
 - Per un bit '1' bit, A invia il pattern codificato
 - $\langle c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6 \rangle$
 - Per un bit '0' bit, A invia il suo complemento
 - $\langle -c_1, -c_2, -c_3, -c_4, -c_5, -c_6 \rangle$
- ✱ Il ricevitore conosce il codice dell'inviante e può decodificare con:

$$S_u(d) = (d_1 \times c_1 + d_2 \times c_2 + d_3 \times c_3 + d_4 \times c_4 + d_5 \times c_5 + d_6 \times c_6) / k$$

- $\langle d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6 \rangle$ = chip pattern ricevuto
- $\langle c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6 \rangle$ = codice di chipping dell'inviante

Code Division Multiplexing (7)

- Chipping code User A = $\langle 1, -1, -1, 1, -1, 1 \rangle$
Per inviare
 - un bit 1 = $\langle 1, -1, -1, 1, -1, 1 \rangle$
 - un bit 0 = $\langle -1, 1, 1, -1, 1, -1 \rangle$ (complemento)
- Chipping code User B = $\langle 1, 1, -1, -1, 1, 1 \rangle$
Per inviare
 - un bit 1 = $\langle 1, 1, -1, -1, 1, 1 \rangle$
- Chipping code User C = $\langle 1, 1, -1, 1, 1, -1 \rangle$
Per inviare
 - un bit 1 = $\langle 1, 1, -1, 1, 1, -1 \rangle$



Code Division Multiplexing (8)

- Se A invia un bit 1 allora d vale $\langle 1, -1, -1, 1, -1, 1 \rangle$ e il calcolo precedente $S_u(d)$ con $u=A$ (usando il chipping code di A) diventa:

$$(1 * 1 + (-1) * (-1) + (-1) * (-1) + 1 * 1 + (-1) * (-1) + 1 * 1) / 6 = 6/6 = 1$$

- Se A invia un bit 0 che corrisponde a $d = \langle -1, 1, 1, -1, 1, -1 \rangle$, otteniamo, sempre utilizzando il chipping code di A:

$$((-1) * 1 + 1 * (-1) + 1 * (-1) + (-1) * 1 + 1 * (-1) + (-1) * 1) / 6 = -6/6 = -1$$

- Nota che $-1 \leq S_u(d) \leq 1$
- I soli valori di d che risultano nei valori estremi 1 e -1 sono riconducibili al codice usato per A.
 - se SA produce +1, abbiamo ricevuto un bit 1 da A
 - se SA produce -1, abbiamo ricevuto un bit 0 da A
 - Altrimenti qualche altro canale sta inviando informazioni oppure c'è un errore.

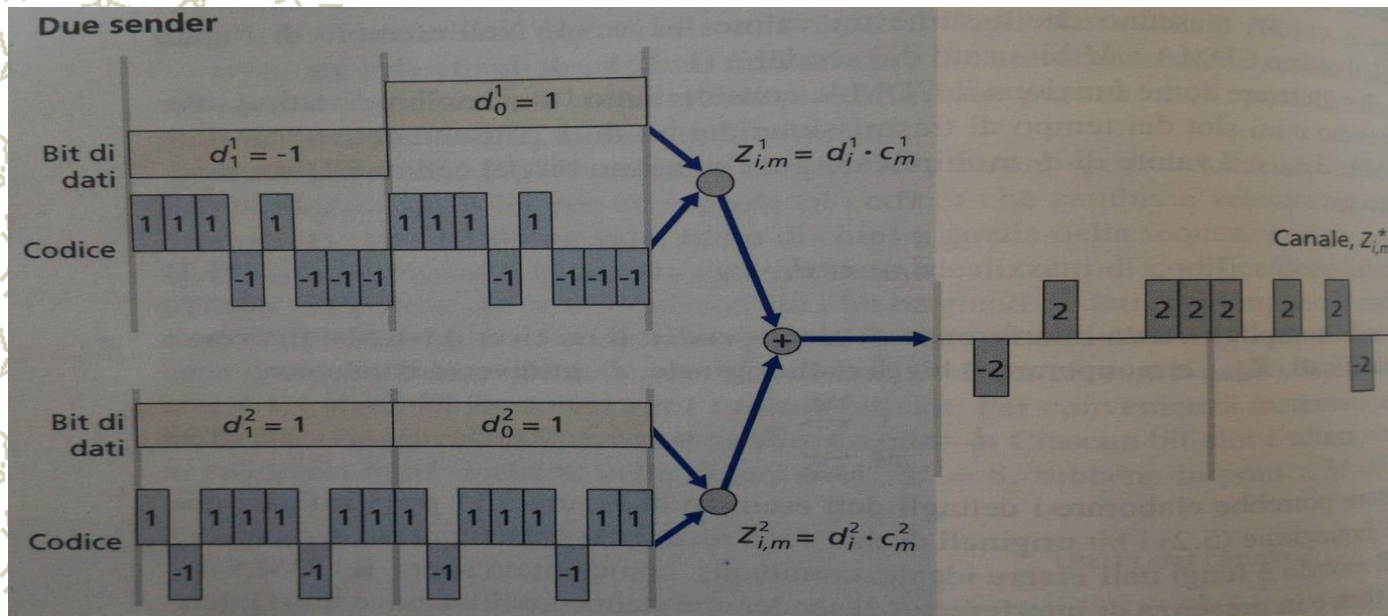
- Se B invia un bit 1 allora $d = \langle 1, 1, -1, -1, 1, 1 \rangle$. Usando il chipping code di A si ottiene:

$$(1 * 1 + 1 * (-1) + (-1) * (-1) + (-1) * 1 + 1 * (-1) + 1 * 1) / 6 = 0$$

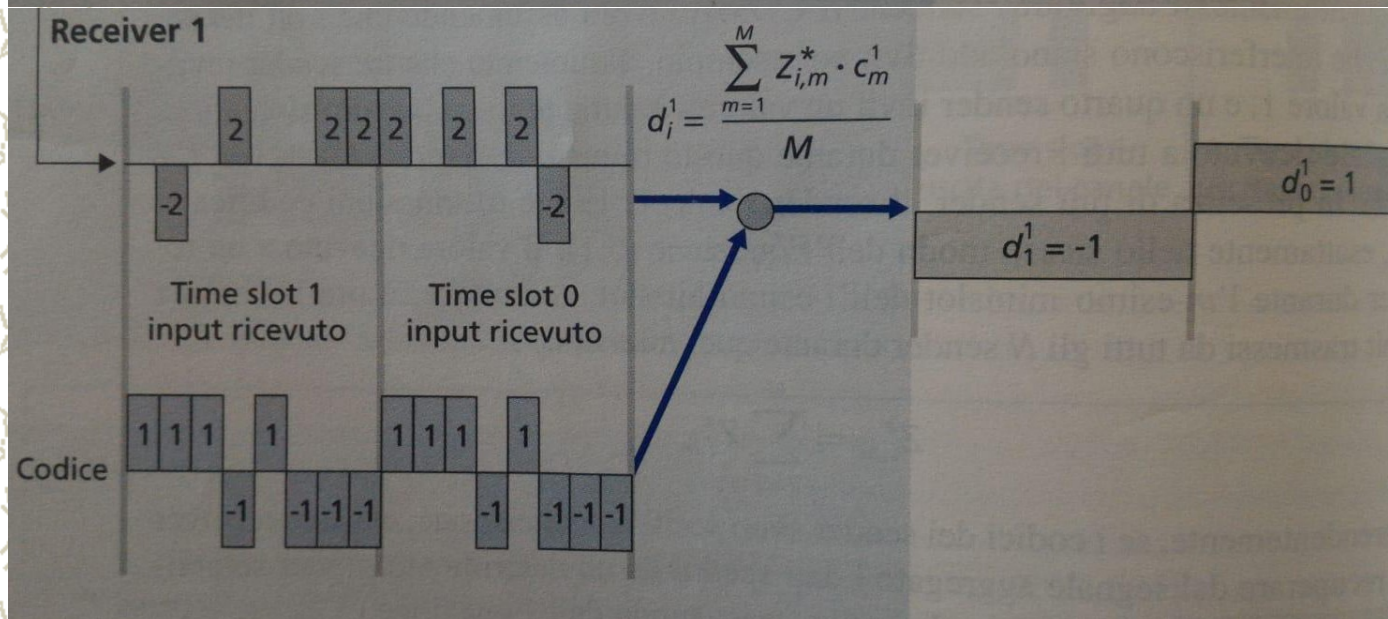
- Il segnale inviato da B non viene percepito da A.
- Se B invia un bit 0, analogamente avremo un valore 0 se usiamo il codice di A
- I codici di A e B sono **ortogonali**, quindi hanno la seguente proprietà:

$$S_A(d_B) = S_B(d_A) = 0$$

Code Division Multiplexing (9)

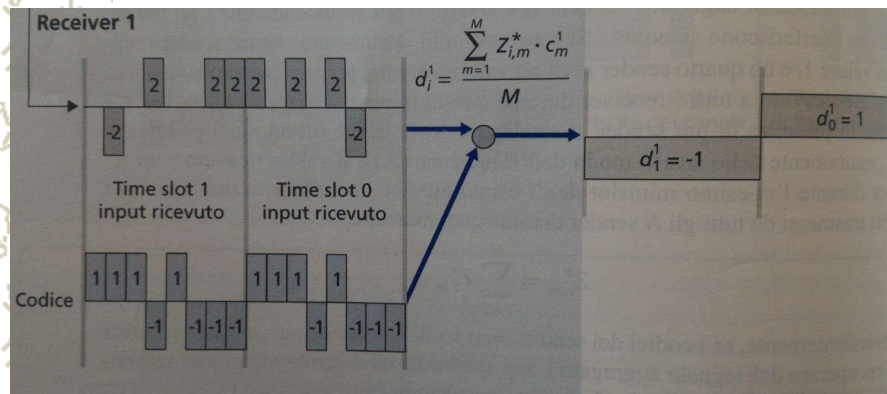
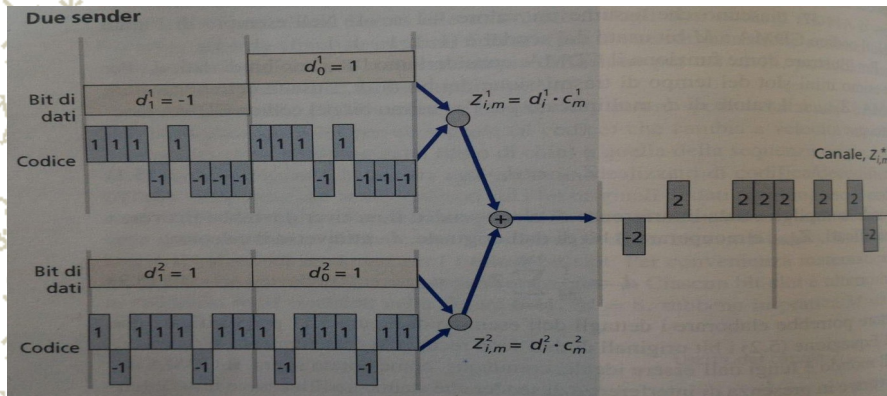


Due sender



Ricezione del sender 1

Code Division Multiplexing (10)



Sender 1; $d = -1 \rightarrow -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1$
 Chip 1; $\rightarrow 1 1 1 -1 1 -1 -1 -1$
 Z1 $\rightarrow -1 -1 -1 1 -1 1 1 1$

Sender 2; $d = 1 \rightarrow 1 1 1 1 1 1 1 1$
 Chip 2; $\rightarrow 1 -1 1 1 1 -1 1 1$
 Z2 $\rightarrow 1 -1 1 1 1 -1 1 1$

Z1; $d = -1 \rightarrow -1 -1 -1 1 -1 1 1 1$
 Z2; $d = 1 \rightarrow 1 -1 1 1 1 -1 1 1$
 Tot.: $\rightarrow 0 -2 0 2 0 0 2 2$

Ricez.; $\rightarrow 0 -2 0 2 0 0 2 2$
 Chip 1; $\rightarrow 1 1 1 -1 1 -1 -1 -1$
 $d: \rightarrow 0 -2 0 -2 0 0 -2 -2$
 Bit ricevuto $\rightarrow -8/8 = -1$