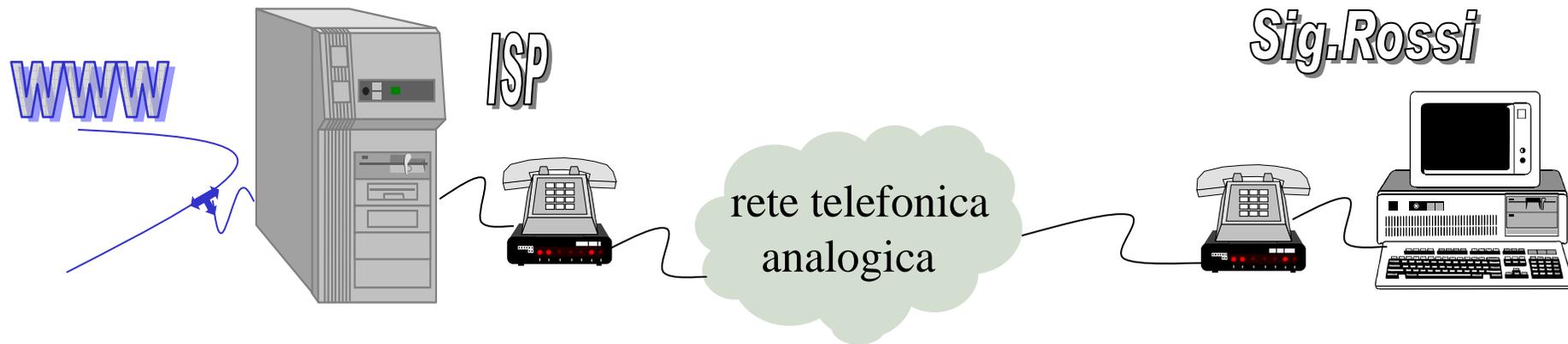


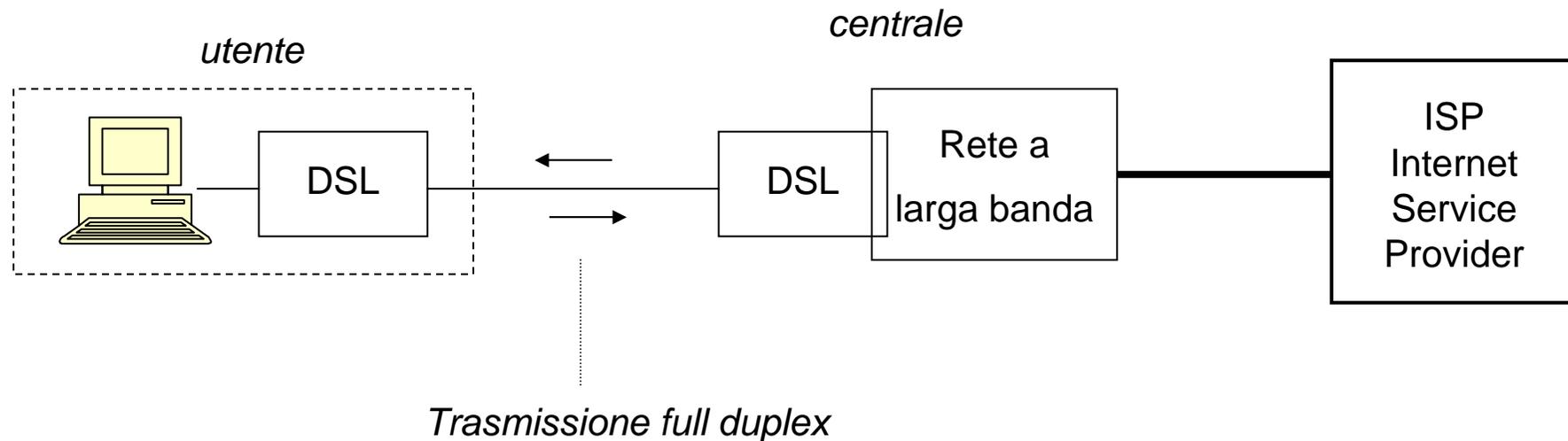
The image features three distinct waveforms. The top waveform is orange and shows a complex, multi-peaked signal with a prominent central peak. The bottom-left waveform is blue and exhibits a sharp initial peak followed by several smaller, oscillating peaks. The bottom-right waveform is yellow and displays a series of regular, periodic peaks of varying amplitudes.

TRASMISSIONE DATI SU RETE TELEFONICA

Trasmissione dati su rete telefonica



- ISP (Internet Service Provider) connesso alla WWW (World Wide Web) vende trasmissione dati
- rete telefonica: unico canale di trasmissione bidirezionale diffuso
- PB: un metodo per scambiarsi dati tramite segnali che possano viaggiare sulla rete telefonica, cioè che abbiano caratteristiche simili a quelle di una comunicazione telefonica, o per lo meno che siano compatibili con i vincoli di tale rete



- Una DSL opera su un sistema di trasmissione locale (utente – centrale) a due fili tipicamente di lunghezza inferiore a 1.5 km.

Fonti di disturbo su DSL

[2/4]

Echi del segnale trasmesso

Rumore elettronico

Interferenza intersimbolica

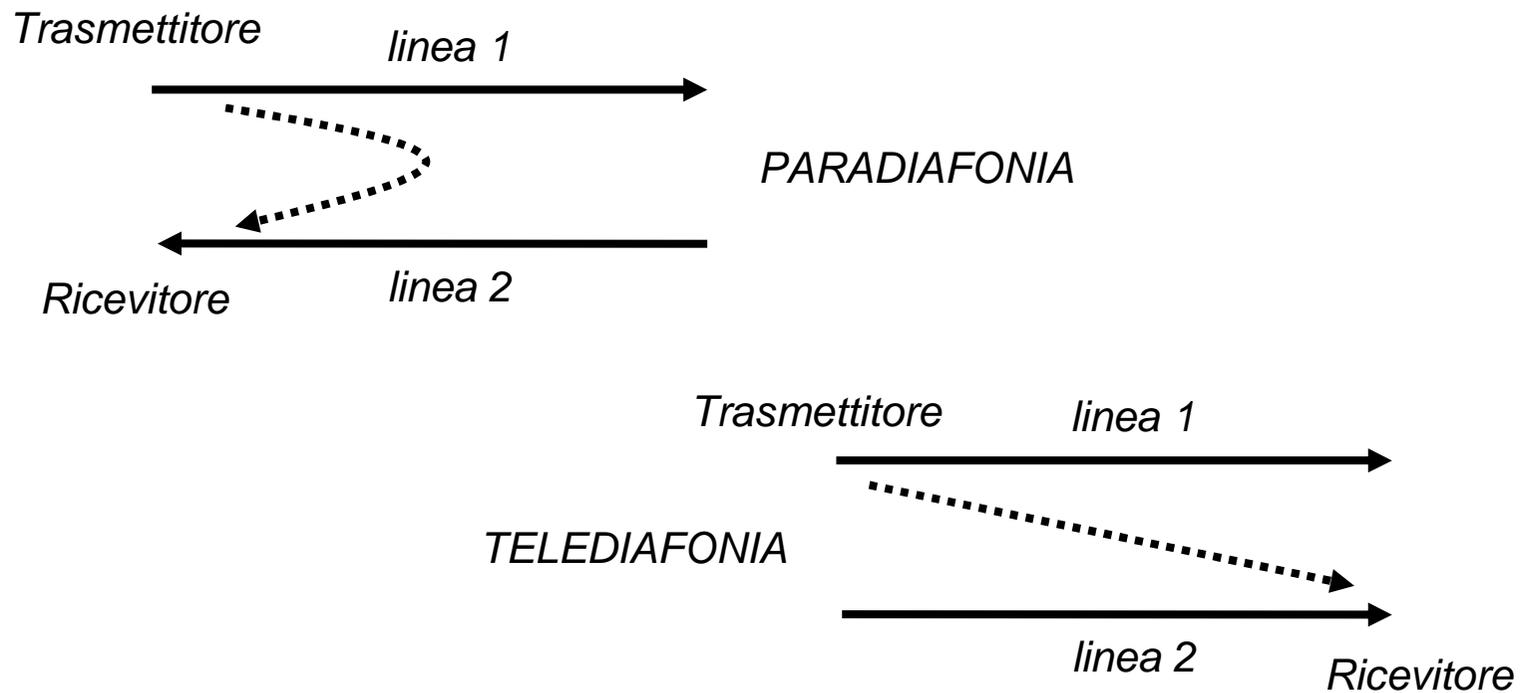
Paradiafonia

[→]

Telediafonia

[→]

I disturbi di para e telediafonia sono dovuti all'accoppiamento capacitivo tra cavi (es. doppiini telefonici) situati in prossimità'.



Modello del canale

[4/4]

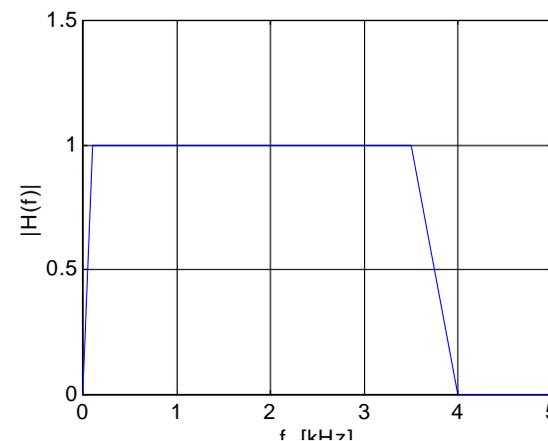
Canale $H(f)$ è la cascata di:

- $D(f)$: doppino

$$|D(f)|^2 = A \exp\left(-k \frac{l}{l_0} \sqrt{f}\right)$$

- $C(f)$: filtro anti-aliasing con taglio a 3.5 kHz

- zero in continua $H(0)=0$



Il segnale vocale sta perfettamente qua dentro. Un segnale numerico come può essere fatto? (Passa-Banda $f_0 \approx 1700$ Hz, $B \leq 3.5$ kHz)

V.32 modem standard

Nel 1992 il sig. Rossi compra un v.32 modem standard:

- $f_0 = 1800$ Hz
- $R_s = 2.4$ kbaud (1 baud = 1 simbolo/s)
- $R_b = 9600$ bps

Infatti sappiamo che in banda passante, con roll off del 40%:

$$B = R_s (1 + \alpha) = 3.36 \text{ kHz} \quad \text{con} \quad R_s = 2.4 \text{ kbaud}$$

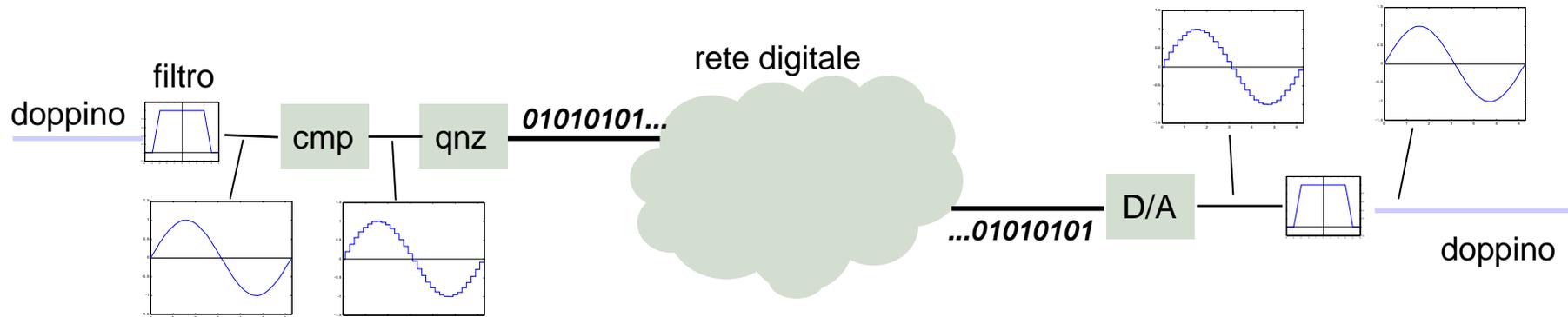
$$R_b = R_s \log_2 M \quad \Rightarrow \quad M = 2^4 = 16 \quad \text{costellazione 16QAM non codificata}$$

Nota

lo standard prevede altri due modi di funzionamento in condizioni critiche di rapporto segnale-rumore:

- 32-CR codificato $R=4/5$ (guadagna 4 dB) 4 bit/simbolo, 9600 bps
- QPSK non codificato 2 bit/simbolo, 4800 bps

Rete telefonica digitale



- miglior SNR sulla rete (34-38 dB) => maggior numero di livelli della costellazione
- si sfrutta al massimo la banda disponibile con tecniche più raffinate di equalizzazione per combattere la distorsione
- i modem si scambiano una serie di toni per stimare la risposta del canale e per decidere f_0 e R_s => velocità di trasmissione variabile a seconda delle condizioni.

V.34 modem standard

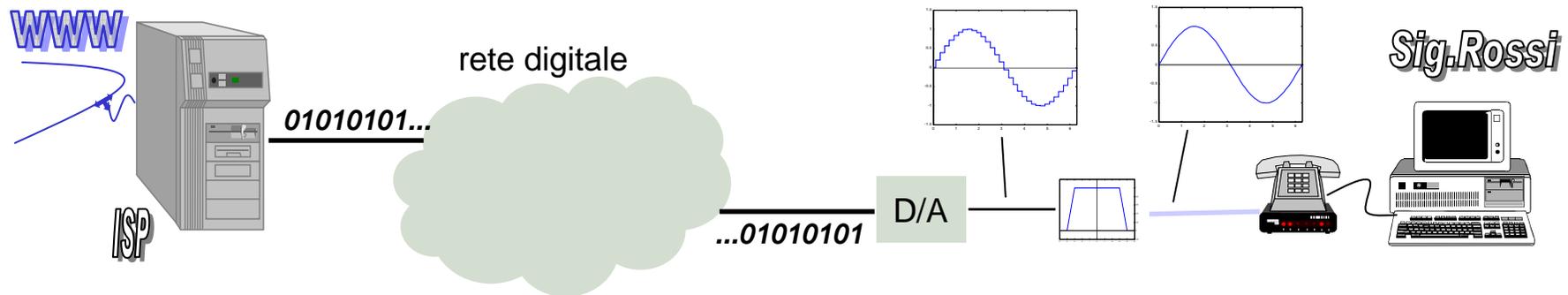
1997: il sig. Rossi butta il v.32 e compra un modem v.34:

- f_0 variabile tra 1600 e 1960 Hz
- R_s variabile tra 2.4 e 3.43 kbaud
- R_b variabile tra 19.2 e 33.6 kbps

Note

- i bit/simbolo (tra 8 e 10.7) anche non interi nascono dall'uso di superframes di simboli
- la costellazione utilizzata varia tra un minimo di 256 ed un massimo di 1664 livelli
- i modem iniziano la comunicazione con una fase di start-up per decidere la qualità del collegamento ed accordarsi sulla modalità da utilizzare

Ma perchè prendere un segnale digitale, modularlo su un segnale analogico, per poi riconvertirlo in digitale? Non è più semplice interfacciarsi direttamente con la rete digitale?



- In ricezione il convertitore D/A in centrale converte il segnale numerico in un segnale a gradini (256 livelli non uniformi, durata 125 μ s). Questo segnale viene filtrato (proprio allo scopo di tagliare gli spigoli quando si tratta di un segnale vocale) e riconvertito A/D al modem.
- Se l'IP trasmettesse direttamente un file numerico, il convertitore lo convertirebbe con la stessa legge: se potessi leggere l'uscita non filtrata mi basterebbe un demodulatore d'ampiezza a 256 livelli (a parte la piccola complicazione che i livelli d'ampiezza sono non uniformi), per ricevere un simbolo 256-PAM ogni 125 μ s.

- pb: il sig Rossi non può by-passare il filtro. Questo filtro visto da un punto di vista numerico genera ISI nel segnale a valle. Quest'ISI si può combattere con una pre-codifica, per cui ogni 7 simboli trasmessi, uno è combinazione degli altri otto: $R_s=7$ kbaud, $R_b= 7 \times 8=56$ kbps
- In tx il convertitore A/D è in centrale quindi il sig. Rossi se lo deve tenere e deve passargli un segnale analogico => modem asimmetrico

V.90 modem standard (asimmetrico)

Nel 1999 quindi il sig. Rossi butta il v.34 e compra un modem v.90:

In ricezione modem digitale

- banda base
- $R_s = 7$ kbaud
- $R_b = 56$ kbps (modulazione 256 PAM)

In trasmissione modem analogico standard v.34

- R_b fino a 33.6 kbps

Nota

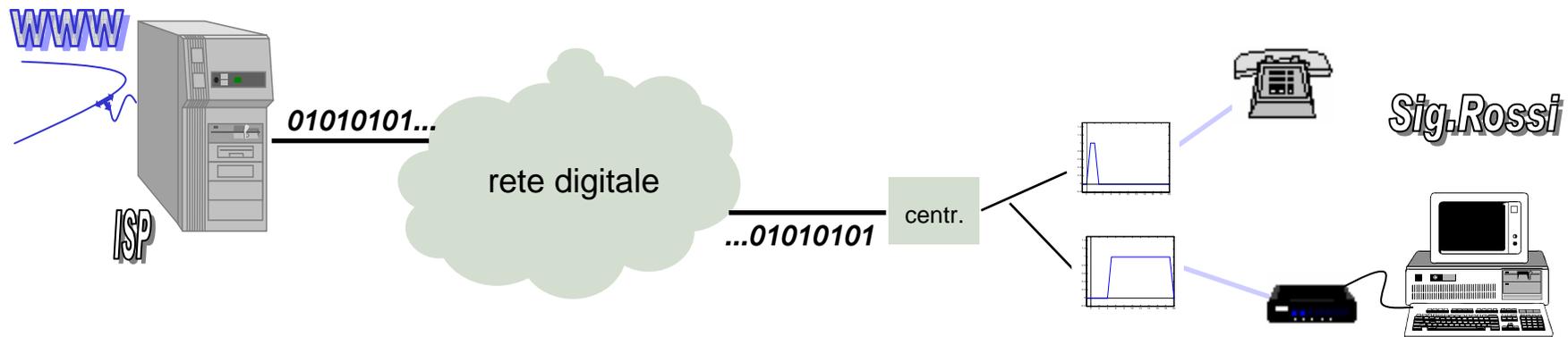
Il traffico internet è molto asimmetrico: il collo di bottiglia è sempre il flusso in ricezione

ADSL

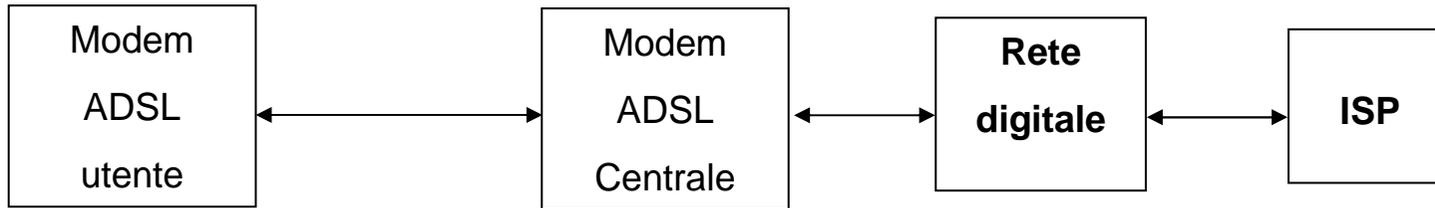
E' lo stesso gestore della rete telefonica che mette a disposizione il servizio modificando le centrali e l'accesso dell'utente: in pratica viene sdoppiata la linea locale

- la parte LP per la fonia
- la parte BP per i dati

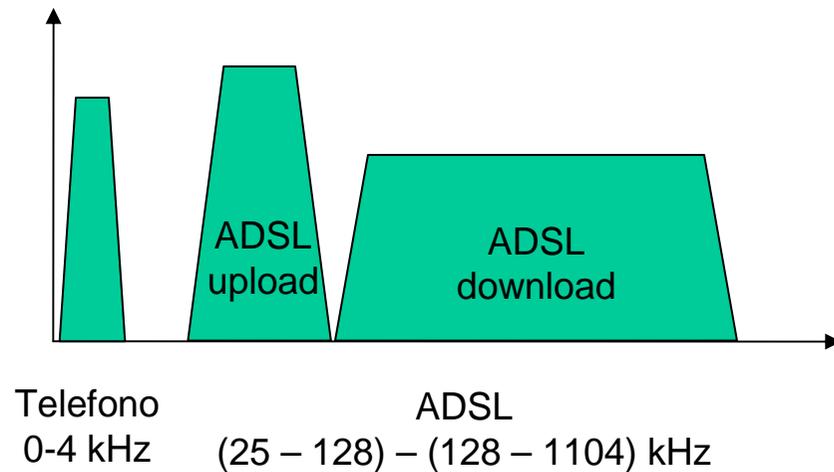
Le due parti vengono multiplate in centrale dopo la conversione in numerico (la linea telefonica rimane sempre libera).



- Ora il segnale dati non deve più passare attraverso il filtro anti aliasing.
- La rete porta per il sig. Rossi un traffico superiore ai 64 kbps di una telefonata standard
- Il modello del canale con cui bisogna fare i conti per il trasferimento dati torna ad essere la funzione di trasferimento del doppino telefonico



Configurazione ASIMMETRICA con trasmissione dati in divisione di FREQUENZA con il segnale telefonico



- Le prestazioni dell' ADSL dipendono dalla lunghezza della linea **utente – centrale** (prima della trasmissione sulla rete digitale a larga banda).
- I segnali voce e dati vengono separati da '**splitters**', ovvero filtri passa alto e passa basso che svolgono il ruolo di **de-multiplexer** in frequenza.

$$|H(f)|^2 = \exp\left(-k \frac{l}{l_0} \sqrt{f}\right)$$

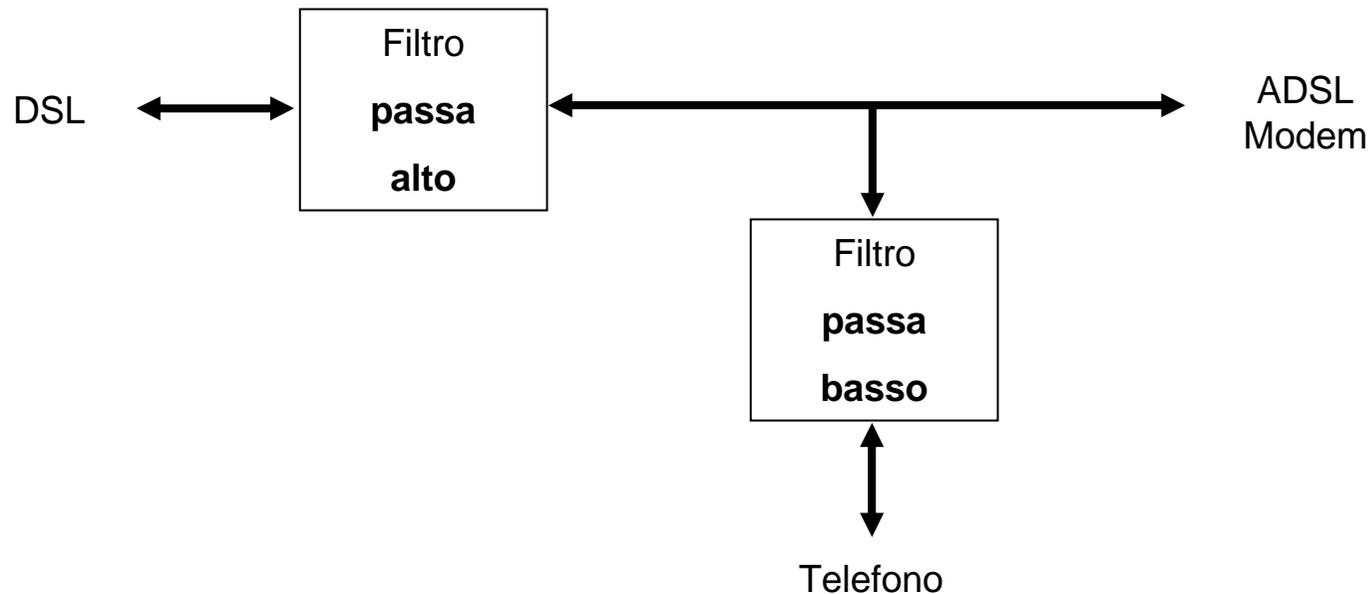
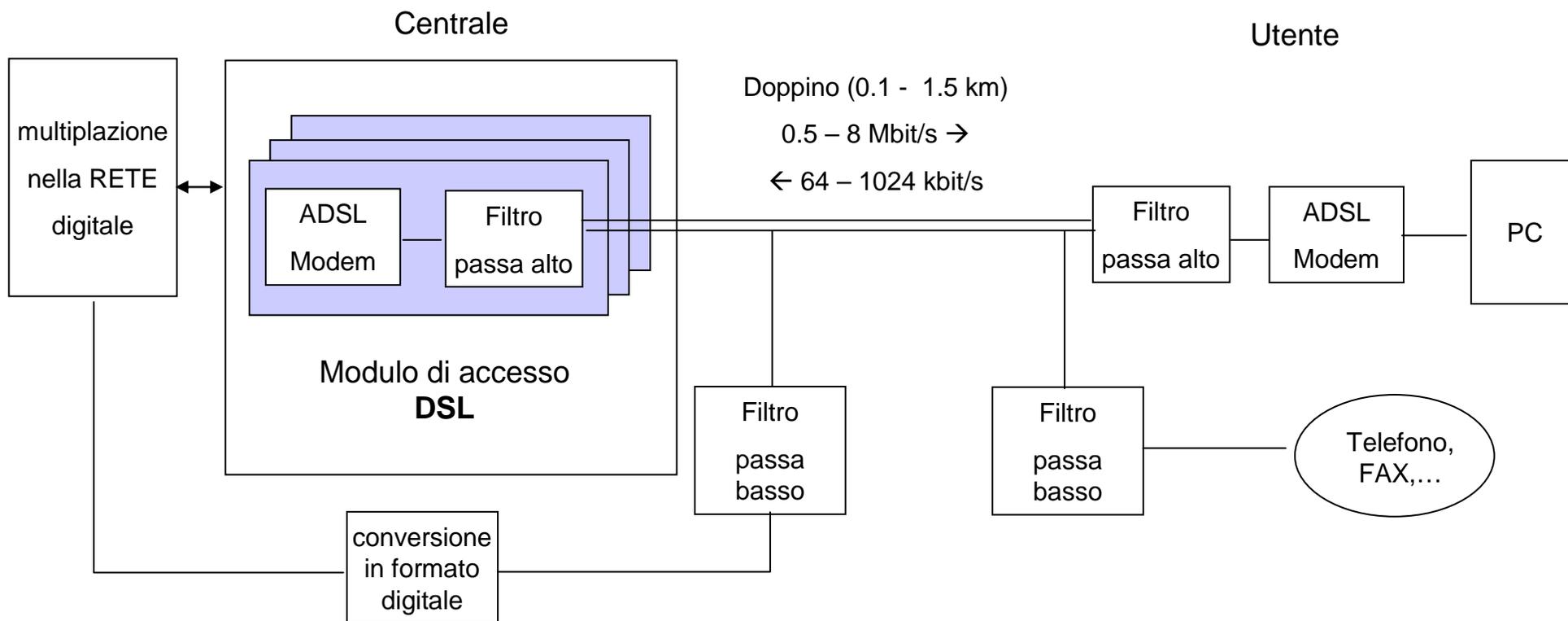


Diagramma a blocchi dell'accesso ADSL



La modulazione usata in ADSL e' detta DMT (Discrete Multitone)



Nella trasmissione DMT il flusso R (bit/s) dei dati viene diviso in N flussi piu' lenti (di velocita' R_k , $1 < k < N$)

L'intera banda disponibile viene quindi divisa in N sotto-bande ed ogni flusso viene trasmesso in parallelo su una delle sotto-bande.

I flussi di dati in ogni sotto-banda vengono modulati da portanti ortogonali tra di loro.

Due flussi di informazioni numeriche sono rappresentati dai coefficienti a_n e b_n (nel caso binario tali coefficienti potranno assumere, ad esempio i valori $\pm A$)

Si possono trasmettere contemporaneamente entrambi i flussi di informazione utilizzando la somma dei due segnali riportati nel seguito.

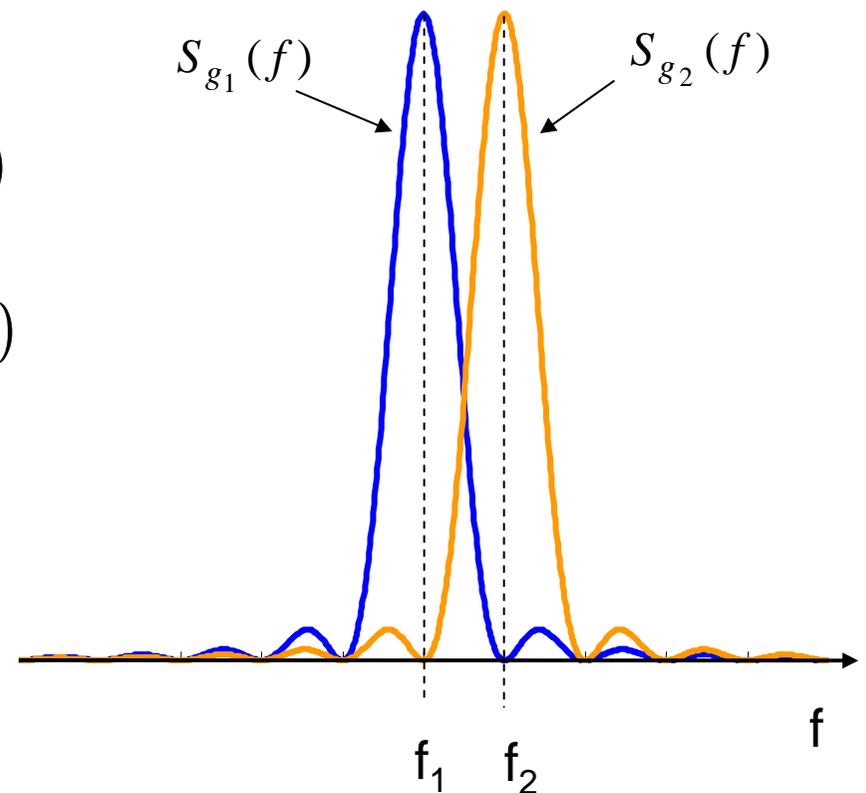
$$g(t) = g_1(t) + g_2(t)$$

$$g_1(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n \cdot \text{rect}\left(\frac{t - nT - \alpha}{T}\right) \cdot \sin(2\pi f_1 t + \vartheta)$$

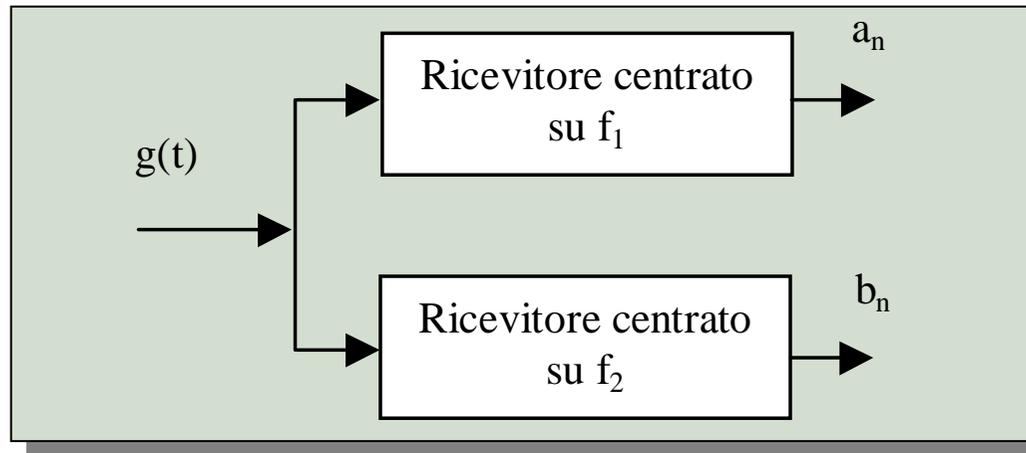
$$g_2(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n \cdot \text{rect}\left(\frac{t - nT - \alpha}{T}\right) \cdot \sin(2\pi f_2 t + \vartheta)$$

T = tempo di simbolo

Nel caso $f_1 = k_1 \cdot (1/T)$ e $f_2 = k_2 \cdot (1/T)$ abbiamo la densità spettrale di potenza dei due processi riportata in figura.



Nonostante le due densità spettrali di potenza siano fortemente sovrapposte una all'altra, in ricezione, dall'unico segnale ricevuto ($g(t)$) possiamo recuperare correttamente sia gli a_n che i b_n . Cioè i segnali $g_1(t)$ e $g_2(t)$ non interferiscono fra loro.



La non interferenza fra i due segnali considerati e' strettamente legata alla condizione di **ortogonalità** fra le portanti nel periodo di simbolo.

$$\int_T \sin(2\pi f_1 t) \cdot \sin(2\pi f_2 t) \cdot dt = \int_T \sin\left(2\pi k_1 \frac{1}{T} t\right) \cdot \sin\left(2\pi k_2 \frac{1}{T} t\right) \cdot dt = 0$$

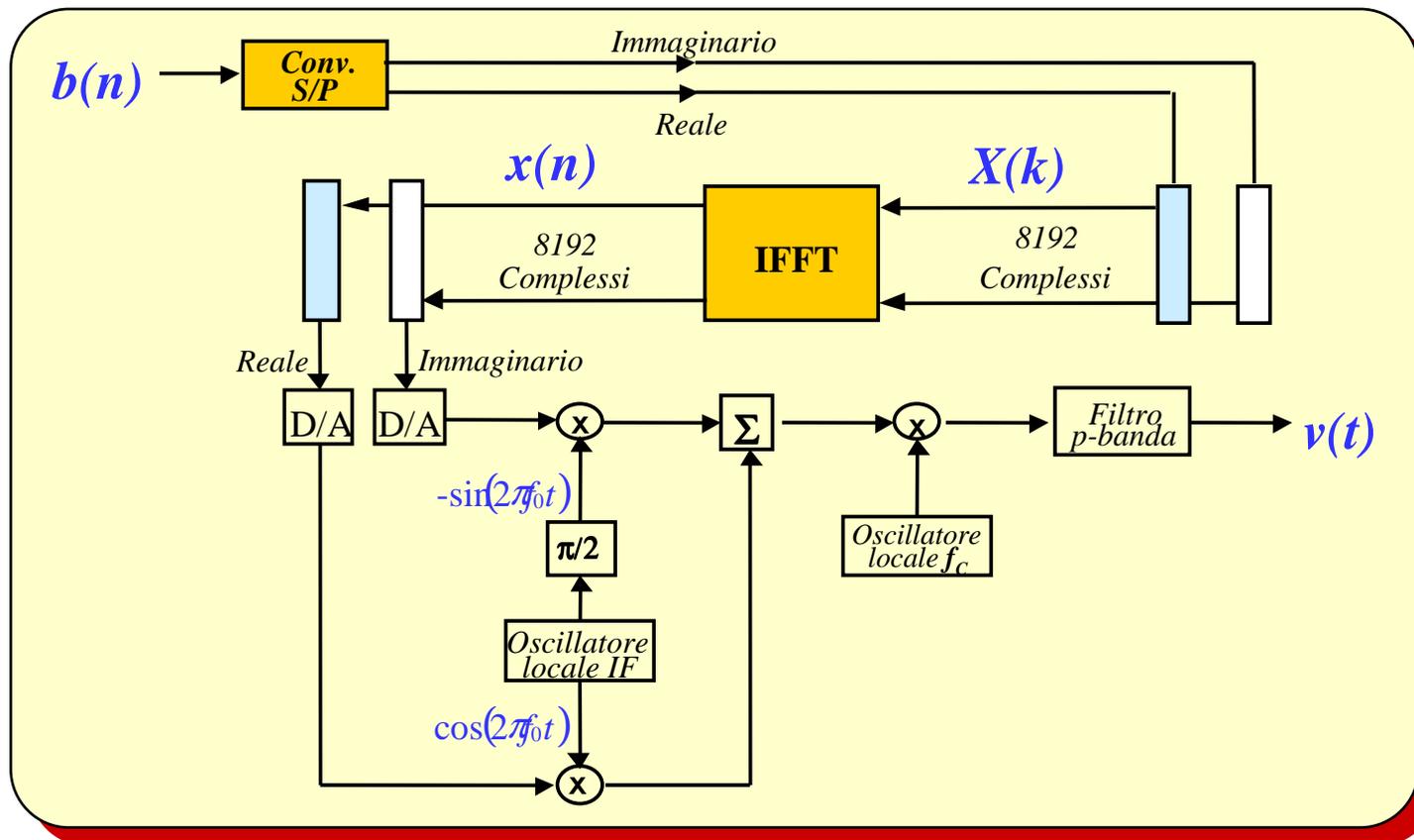
La trasmissione di più flussi di informazioni in parallelo attraverso l'uso di portanti ortogonali è ampiamente utilizzata in diversi sistemi di comunicazione ed e' la base della DMT.

Implementazione della DMT tramite DFT/IDFT

Non è necessario utilizzare un modulatore per ogni sottobanda. La generazione (e ricezione) dei segnali avviene con tecniche numeriche basate sull'uso della DFT (Discrete Fourier Transform) / FFT (Fast Fourier Transform)

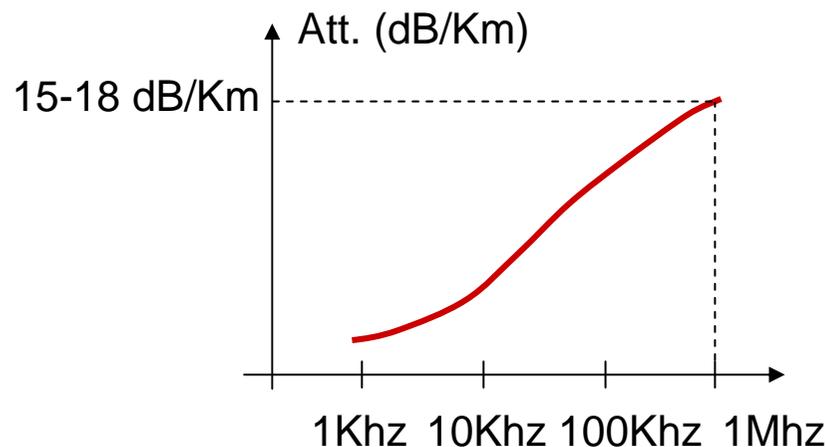
$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot e^{-j \cdot 2\pi \cdot \frac{n \cdot k}{N}} ;$$

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) \cdot e^{j \cdot 2\pi \cdot \frac{n \cdot k}{N}}$$



La modulazione DMT risulta particolarmente utile poiche':

- **permette di sfruttare al meglio la capacita' del canale sfruttando, ad es., le sotto-bande con rapporto segnale rumore migliori per trasmettere a velocita' piu' elevate**
- **e' flessibile e si adatta a condizione di canale trasmissivo diverse**
- **e' resistente a disturbi che siano particolarmente concentrati in alcuni intervalli di frequenza o al rumore ad impulsi, la cui energia viene distribuita sui molti canali.**



Nelle trasmissioni digitali ad alta velocità su doppini telefonici la banda utilizzata e' 5 KHz ÷ 1Mhz

Considerando lunghezza max del collegamento pari a circa 5Km l'attenuazione massima può raggiungere i **90 dB**.

Uno degli aspetti legata alla flessibilità nella DMT e' l'allocazione delle risorse in trasmissione (come ad es. la potenza) per massimizzare la velocità totale in bit/s.

Se non ho un canale ideale con attenuazione costante in frequenza é intuitivo pensare che converrà trasmettere a velocità superiore nelle sotto-bande con minore attenuazione (e quindi migliore SNR) e meno nelle altre.

Questo si può realizzare utilizzando costellazioni a più livelli (M-QAM) nelle sotto-bande 'buone'.

