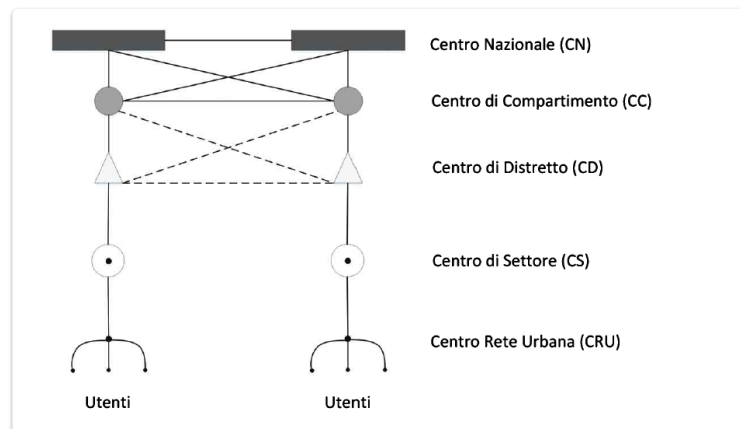


RETE TELEFONICA (PUBBLICA)

- Usa la Commutazione di Pacchetto (CP)
- Denominata anche PSTN (Public Switched Telephone Network)
- Architettura gerarchica



Collegamenti a maglia completa solo nei piani gerarchici alti (perché guasti in queste zone causerebbero problematiche rilevanti anche ai piani più bassi). Nei piani più bassi il collegamento è a stella

Glossario:

- Utenti → singoli apparecchi che abbiamo in casa
- CRU → armadi a bordo strada
- CS → Centrali di quartiere/piccole città
- CD → Centrali grandi città/regioni
- CC → Centrali Regionali
- CN → Centrali Nazionali (ce ne sono 3 in Italia, utili per telefonate internazionali)

TELEFONIA ANALOGICA

- Banda nominale: $[0 \div 4]\text{KHz}$
 - Banda utile (udibile): $[300 \div 3400]\text{KHz}$ (modulabile a frequenze più convenienti se necessario)

TELEFONIA NUMERICA

- Teorema Campionamento
 - Permette di ricostruire un segnale analogico di banda limitata a partire da un insieme di campioni separati l'un l'altro da un passo di campionamento T_s sufficientemente piccolo. In particolare è necessario che

$$f_s \geq 2B \quad \xleftrightarrow{f=\frac{1}{T_s}} \quad T_s \leq \frac{1}{2B}$$

Ovvero f_s deve essere maggiore o uguale della **frequenza di Nyquist**

- A tale procedura segue la **quantizzazione** che permette di portare i valori campionati da continui a interi, introducendo inevitabilmente un certo **errore di quantizzazione**
- L'ultimo passo è la **rappresentazione binaria**. Si sceglie un numero di bit associato a ogni campione (più bit, meno errore di quantizzazione)

Nella telefonia numerica quindi ($B = 4\text{KHz}$):

$$T_s \leq \frac{1}{2 \cdot 4 \cdot 10^3} = 125 \mu s$$

- quindi se vogliamo ricostruire il segnale analogico, al massimo ogni $125 \mu s$ bisogna campionare. Scegliendo come standard 8 bit per la rappresentazione binaria, questo comporta che ogni singolo bit per essere trasmesso necessita di un tempo pari a

$$\tau = \frac{T_s}{8} = \frac{125 \mu s}{8} \quad ,$$

e quindi la banda minima per la trasmissione sarà:

$$B = \frac{1}{\tau} \Rightarrow 64\text{KHz}$$

E relativo bit-rate: $R = \frac{8}{T_s} = 64 \text{ Kbit/s}$

🔴: frequenza più elevata per il collegamento rispetto a quella analogica (64KHz vs 4KHz)

😊: costa meno; più sicura; più adatta per le congestioni; migliore qualità nella condivisione del mezzo trasmissivo; si trasmettono bit quindi il formato è unico e indipendente; codifica canale più semplice (info più protetta); informazione da trasmettere più riservata (**privacy**); **immune al rumore**, comodo per lunghe tratte (vedi dopo); **integrità**

IMMUNITÀ AL RUMORE: RICOSTRUZIONE DEL SEGNALE "PERFETTA"

Quando trasmettiamo un segnale, in fase di ricezione si ottiene una elaborazione (non voluta) del primo dovuta alla presenza di disturbi. In generale quindi questo non ci permette di ricostruire perfettamente il segnale.

Nel caso analogico è proprio così: il segnale distorto "ce lo teniamo" e siamo impossibilitati a fare qualcosa, se non qualche filtraggio.



Nel caso digitale tuttavia la situazione è diversa:

- Il segnale trasmesso non è "incostante", ma è invece una serie di segnali costanti generalmente di ampiezza unitaria
- In ricezione si ha ancora un segnale disturbato, però adesso il nostro interesse non è capire com'è fatto esattamente il segnale in ogni istante, ma piuttosto capire se abbiamo trasmesso 1 oppure 0. È sufficiente quindi impostare una soglia minima sotto la quale si decide di "approssimare" e quindi ricostruire il segnale con un valore costante di 1 o 0 a seconda del caso (in figura la soglia minima è 0)



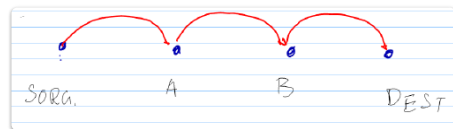
Quindi:

😞 Analogico: ricostruzione di un "involuppo di un segnale continuo" (rumore ancora presente)

😊 Digitale: semplice discriminazione di 1 o 0 a seconda del caso (rumore non presente)

LUNGA TRATTA: IL SEGNALE DEVE ESSERE RIGENERATO

Supponiamo che vogliamo trasmettere un segnale a lunga distanza: esso necessita di essere rigenerato dopo un po' perché nel tragitto perde potenza. La situazione è la seguente:



Se il segnale è affetto da disturbi come nel caso analogico, quando esso arriva a destinazione è composto interiormente dalla **somma di tanti disturbi** che sono stati inevitabilmente amplificati durante il tragitto.

Nel caso digitale questo problema non si pone, o comunque non succede niente in assenza di errori

MULTIPLEXING

- Tecnica che permette di sfruttare un unico mezzo/linea fisico/a per il trasporto di più segnali. L'alternativa a tale tecnica sarebbe quella di aumentare il numero di linee su cui trasportare in ciascuna uno specifico servizio/segnale, ma tuttavia si dimostra conveniente il multiplexing.

Si può eseguire la divisione secondo:

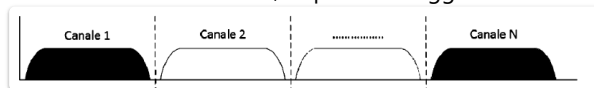
- La frequenza (FDM) → segnali analogici (radio FM)
- Il tempo (TDM) → segnali numerici (bit)
- La lunghezza d'onda (WDM) → segnali ottici (fibra)

FDM

- Multiplexing a divisione di frequenza
Il canale di trasmissione viene condiviso grazie alla divisione della banda di frequenza principale in sottocanali (sottobande)
- Ogni sottocanale è dedicato a un utente
- Esempio: Radio FM

Ogni volta che un utente usa il canale per **trasmettere** si esegue una specifica **modulazione** in frequenza, che permette di posizionare il segnale nella apposita sottobanda dedicata

- In **ricezione**, al contrario, si esegue l'operazione di **demodulazione**, dopo un filtraggio bassabanda (per estrarre solo la banda interessata)



☹️: a volte ci sono interferenze con altri canali (vedi radio FM)

😊: si possono usare degli intervalli di guardia per limitare il suddetto problema; **tutti** gli utenti possono essere presenti contemporaneamente

In quanti sottocanali si divide un una banda di frequenza NELLA TELEFONIA?

- Si parla in questi casi di **gerarchia FDM**. In particolare:

GRUPPO	12
SUPERGRUPPO	60
MASTERGRUPPO	300
⋮	⋮
	10800

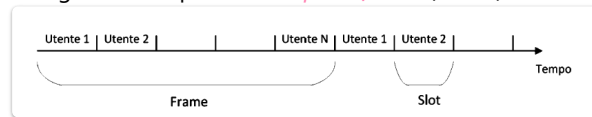
In particolare, il numero di sottocanali cresce via via che si sale di gerarchia, perché aumenta la capacità (vedi schema)

TDM

- Multiplexing a divisione di tempo

Il canale di trasmissione viene concesso a un determinato utente solo per un determinato intervallo di tempo prefissato (detto **slot**). Una volta terminato, si passa all'utente successivo.

- Quando si esegue "un giro" completo di tutti gli utenti si parla di **tempo di frame** (trama)



☹️: non tutti gli utenti possono essere presenti contemporaneamente (tempo di slot/frame)

😊: a livello d'interferenze (e quindi di sicurezza) il suddetto problema diventa un vantaggio; non abbiamo più bisogno di bande di guardia

Come sono aggregati i vari canali? Si parla di gerarchia PCM (oppure TDM)

1° gruppo	32 canali	$\begin{cases} 30 \text{ canali flusso informativo} \\ 2 \text{ canali segnalazione} \end{cases}$
2° gruppo	132 canali	$\begin{cases} 120 \text{ canali flusso informativo} \\ 12 \text{ canali segnalazione} \end{cases}$
⋮	⋮	⋮
n° gruppo	8828 canali	$\begin{cases} 7680 \text{ canali flusso informativo} \\ 1148 \text{ canali segnalazione} \end{cases}$

Un gruppo è composto da n canali, ovvero n flussi elementari (atomici), a 4KHz \rightarrow 8bit. Ciascuna parte è separata dalla successiva nel tempo da 125 μs

- Ovviamente ci sono diversi livelli perché a seconda delle esigenze ci vuole più o meno canali

Come si nota, non tutti questi canali sono destinati alla trasmissione informativa: nel 1° gruppo ad esempio, abbiamo 2 canali di "non informazione", ovvero di **segnalazione**: in questi casi vengono trasferite informazioni rivolte agli apparati di rete circa la corretta gestione dei flussi informativi in modo adeguato (non sono dunque informazioni utili agli utenti, ma piuttosto all'hardware che utilizziamo)

WDM

- Multiplexing a divisione di lunghezza d'onda

Il segnale che si trasmette si interpreta come fascio di luce, quindi la più plausibile divisione che si può fare è quella seconda la propria lunghezza d'onda

Comodo per sfruttare al meglio tutta la banda disponibile che offre la banda

SERVIZI DATI (INTERNET) UTILIZZANDO LA RETE TELEFONICA

Oltre alla trasmissione di segnali telefonici, sappiamo che la telefonia ci aiuta anche nel contesto di internet. Questo è permesso grazie alle tecniche di **xDSL**

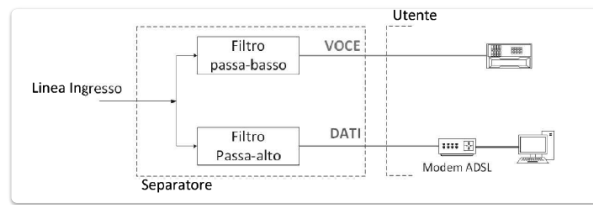
- Si utilizza quindi il supporto fisico offerto dalla telefonia per uno scopo finale diverso da quello per cui era stato pensato. La parola specifica che riassume la condivisione di dato attraverso la telefonia è **Dial-Up**
- Questo era permesso grazie all'utilizzo (in ciascuna abitazione) del **modem** (modulatore/demodulatore): esso permetteva di convertire i dati a disposizione in un formato adatto a essere trasmesso sulla rete telefonica

TECNICHE xDSL

ADSL

Trasmissione dati su rete telefonica in modo **asimmetrico**: velocità di accesso diverse in download e in upload (bande assegnate differenti)

Lato utente, se vogliamo godere di entrambi i servizi (telefonia e internet) abbiamo la necessità di utilizzare due filtri: un passa-alto e un passa-basso, come in figura

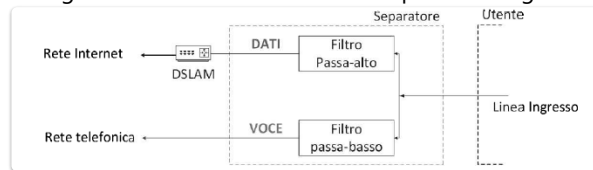


- Tali dispositivi, come nella FDM, permettono di suddividere la frequenza totale del mezzo trasmissivo che giunge in due frequenze di ampiezza diversa. La telefonata occupa lo spettro basso ($0 \div 4\text{KHz}$), mentre per i dati (internet) è riservato lo spettro alto



[esempio di filtraggio ↑](#)

Lato centrale, si esegue una moltiplicazione del segnale che arriva dall'utente. Si separa tale segnale in maniera analoga. In schema:



- La parte dati internet necessita infine di un'ultima rielaborazione, che viene eseguita dal dispositivo **DSLAM**, che permette di unire in un unico flusso i tanti flussi provenienti dagli utenti che si collegano

DSL SIMMETRICO

Basta di accesso suddivisa in egual modo in termini di banda. Esistono:

- SDSL**: Stessa velocità up/down load
- HDSL**: Si concede una linea dedicata per un singolo cliente