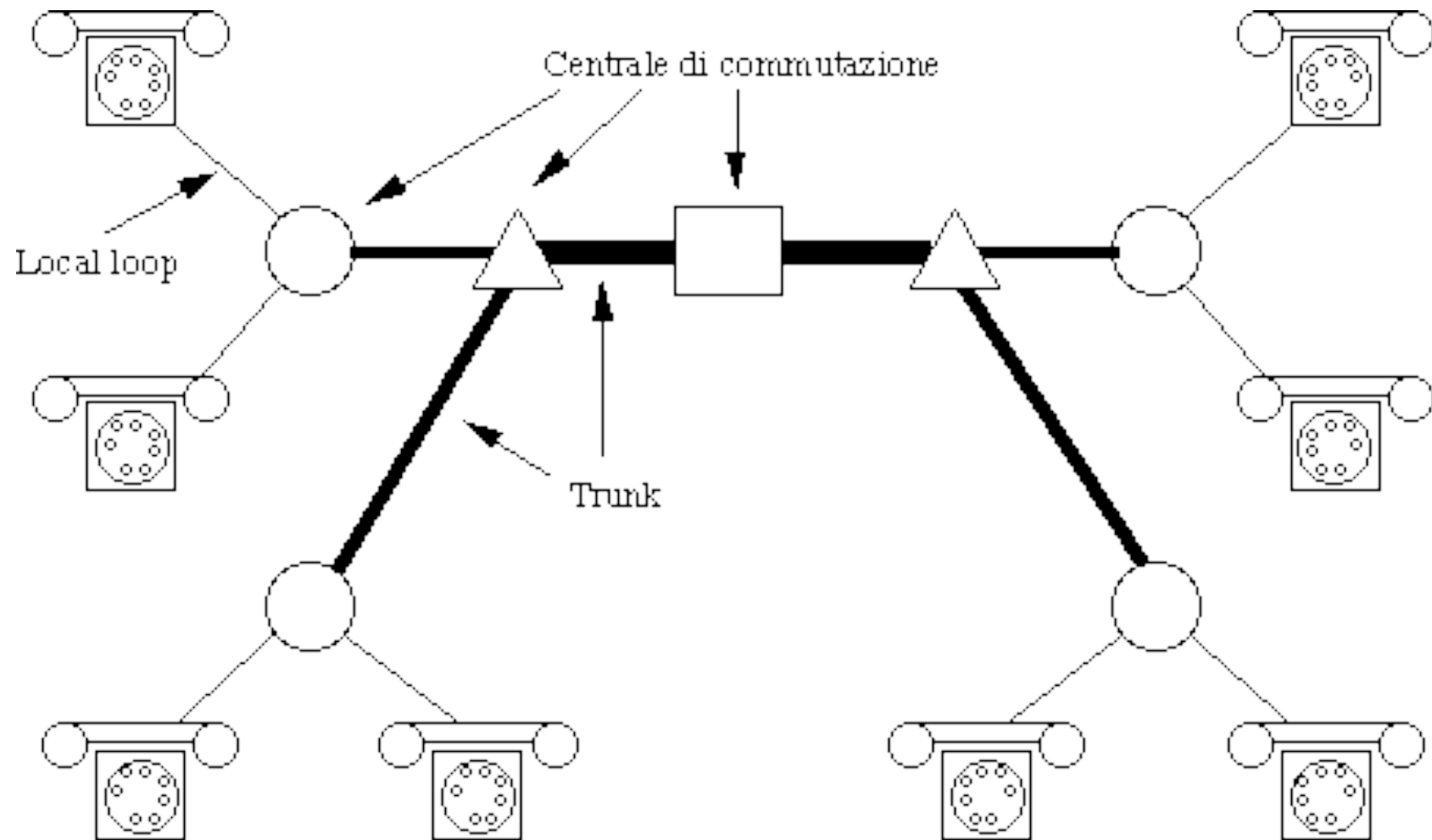


Sistema telefonico (rete pubblica telefonica commutata): nato ed evolutosi per la fonia, poco adatto (almeno sino a qualche anno fa) per la trasmissione dati

	Data rate	Tasso di errore
Cavo fra 2 computer	$10^7 - 10^9$ bps	1 su $10^{12} - 10^{13}$
Linea telefonica convenzionale	$10^4 - 10^5$ bps	1 su 10^5

Senza il sistema telefonico la connessione di apparecchiature distanti centinaia di km risulterebbe praticamente impossibile

I sistemi telefonici attuali sono organizzati in una *gerarchia multilivello* con elevata ridondanza.



local loop: collega il *telefono* alla più vicina *centrale di commutazione* (**doppino** - lungo da 1 a 10 km - trasporta un segnale analogico che occupa una *banda di 3 kHz*).

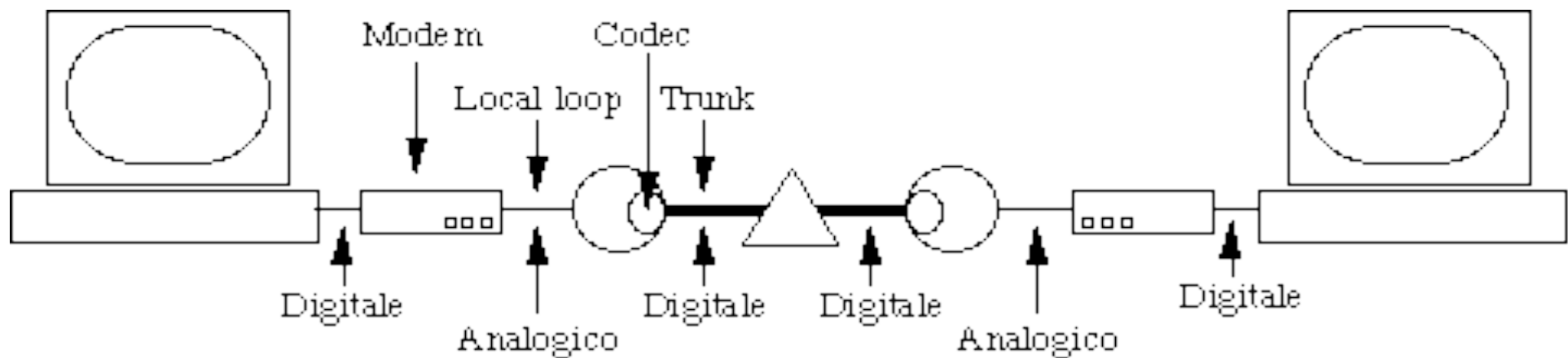
trunk: collegano le *centrali di commutazione* (cavi coassiali, microonde, fibre ottiche).

Centrali di commutazioni quasi ovunque digitali perché, oltre a *data rate* più alti, è più facile:

- *ricostruire il segnale senza introdurre errori;

- *mescolare voce, dati, video, ...

modem: effettua le trasformazioni ***digitale/analogico*** in trasmissione e ***analogico/digitale*** in ricezione, necessarie per trasmettere dati sul local loop (segnale analogico di 3 KHz)



codec: effettua le trasformazioni ***analogico/digitale*** nella prima centralina di commutazione e ***digitale/analogico*** nell'ultima (a valle e a monte del local loop).

Le trasmissioni sul local loop subiscono *attenuazione e distorsione*.

La *trasmissione digitale genera onde quadre*, che hanno un ampio spettro di frequenze.

Poiché l'ampio spettro di frequenze generato dalle onde quadre contrasta con la banda ridotta del local loop, *la trasmissione digitale su local loop può avvenire solo a bassissime velocità di trasmissione*.

Per trasmettere un segnale digitale sul local loop, si modula un segnale sinusoidale, detto *portante*, la cui frequenza è compresa tra 1 e 2 kHz (visto i 3 KHz di banda del local loop):

modulazione di ampiezza: si varia l'ampiezza;

modulazione di frequenza: si varia la frequenza;

modulazione di fase: si varia la fase (cioè il "ritardo" rispetto al segnale originale).

L'ampiezza di banda (4 KHz) del canale telefonico non è determinata dalla capacità del doppino, che supporterebbe frequenze molto più elevate, ma dal filtro passa-basso che tale canale prevede.

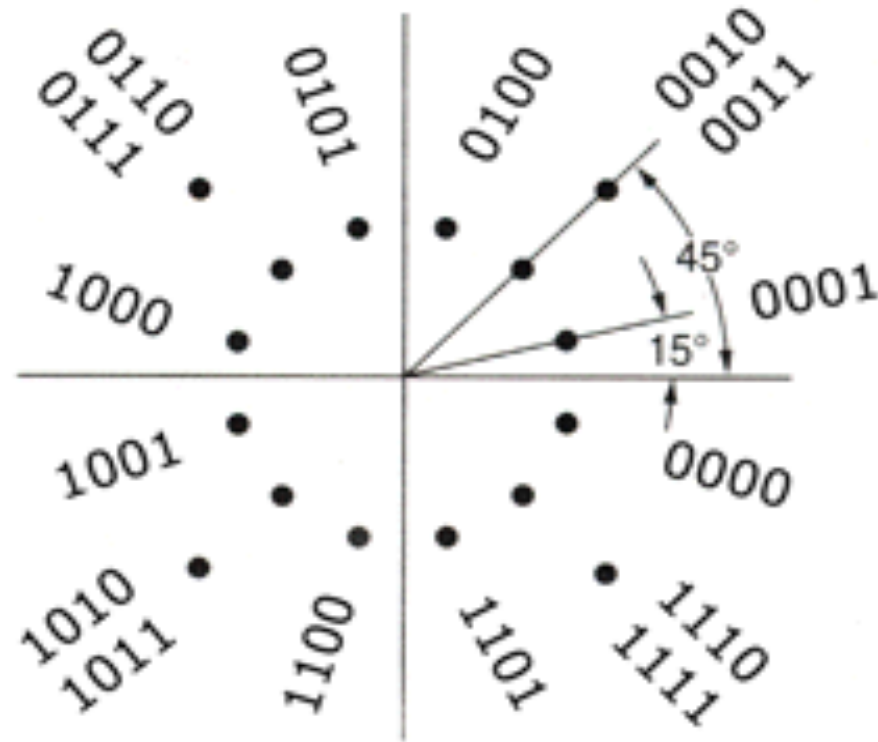
Essendo il rapporto segnale/rumore pari a 30÷35 db, la capacità di trasmissione dati è di 33,6 Kbit/s
{Shannon: $C=B \log (1+ S/N)$ }

Da qui una *capacità teorica* per il *doppino telefonico* + *modem analogico* di 33,6 Kbit/s.

Velocità di trasmissione diverse si ottengono variando il numero di livelli del segnale trasmesso.

Modulando sia ampiezza che fase si possono rappresentare 16 valori diversi (4 bit per baud), ottenendo, su una linea a 2.400 baud (tipici del local loop) la trasmissione di 9.6 Kbps (standard **V.32**).

constellation pattern: diagrammi che definiscono i punti (nello spazio a coordinate polari ampiezza - fase) corrispondenti a valori validi del segnale da trasmettere.



modulazione a 4 bit per baud

V.32 *bis* (14.400 bps su linea a 2.400 baud):
utilizza 64 punti per trasmettere 6 bit per baud.

V.34 (28.800 bps su linea a 2.400 baud):
trasmette 12 bit per baud.

Ovviamente, possono sorgere problemi (teorema di Shannon), se la linea telefonica è più rumorosa del normale.



Diagramma spaziale modem V.33 a 14 400 bit/s.

Un ulteriore aumento delle prestazioni si può ottenere effettuando una *compressione dei dati* prima di trasmetterli.

Anche per la compressione dei dati esistono standard de iure (tipo il *V.42 bis* emesso da ITU) e standard de facto (tipo l'*MNP 5* della Microcom Network)

Maggiori velocità sono oggi possibili con nuove tecnologie quali ISDN, ADSL, ATM,....

Trasmissione *full-duplex*: due alternative

*Si suddivide la banda in due sottobande, una per ogni direzione, ma si dimezza la velocità (tecnica tipica degli standard per le velocità più basse, ad esempio V.21 per 300 bps);

*Ogni modem sfrutta l'intera banda e cancella in ricezione gli effetti della propria trasmissione (*cancellazione dell'eco*).

Tra i protocolli per il livello fisico vi sono anche quelli dell'interfaccia fra elaboratori (***DTE, Data Terminal Equipment***) e modem (***DCE, Data Circuit-terminating Equipment***), in termini:

meccanici;

elettrici;

funzionali;

procedurali.

Ad esempio l'**RS-232-C** fornisce le specifiche

meccaniche: connettore a 25 pin con tutte le dimensioni specificate;

elettriche:

- * 1 corrisponde a un segnale minore di **-3 Volt**;
- * 0 corrisponde a un segnale maggiore di **+4 Volt**;
- * data rate fino a 20 Kbps, lunghezza fino a 20 metri;

funzionali: la corrispondenza pin-segnali (trasmit, receive, clear to send,..);

procedurali: le coppie azione/reazione fra DTE e DCE (ossia il protocollo vero e proprio).

Per *evitare il collo di bottiglia del local loop* occorrerebbe:

**eliminare i filtri a 3 kHz;*

**prevedere local loop non troppo lunghi, realizzati con doppino di buona qualità.*

Principali alternative

cable modem (30 Mbps): si connette l'elaboratore al cavo coassiale fornito da un gestore (i 30 Mbps sono condivisi tra tutti gli utenti in quel momento connessi).

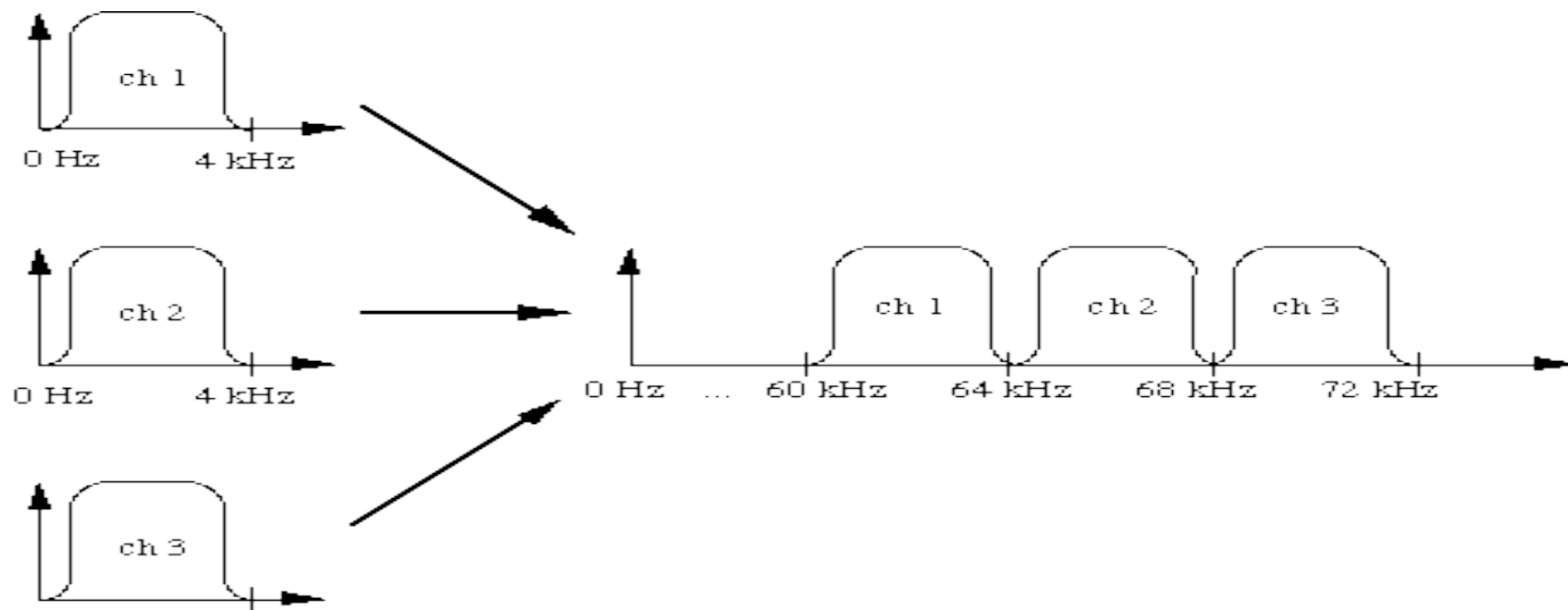
ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line): si eliminano i filtri (9 Mbps in ingresso e 640 Kbps in uscita)

Poiché i ***trunk*** (*cavi coassiali, fibre ottiche*), impiegati per le connessioni fra centrali, offrono una ***ampia banda*** ed un ***bassissimo tasso d'errore***, è possibile convogliare (***multiplexing***) sullo stesso mezzo trasmissivo più comunicazioni indipendenti.

Frequency Division Multiplexing (FDM): adatto alla gestione di segnali analogici;

Time Division Multiplexing (TDM): adatto per la gestione di dati in forma digitale.

Frequency Division Multiplexing (FDM): lo spettro di frequenza è suddiviso in bande più piccole, e ogni comunicazione ha l'esclusivo uso di una di esse.



Canale telefonico: banda di 4 kHz (500+3000+ 500 Hz) centrata su un apposita frequenza.

Standard CCITT per Multiplexing FDM:

group: 12 canali da 4 kHz (60-108 kHz);

supergroup: cinque *group* (60 canali);

mastergroup: cinque *supergroup* (300 canali).

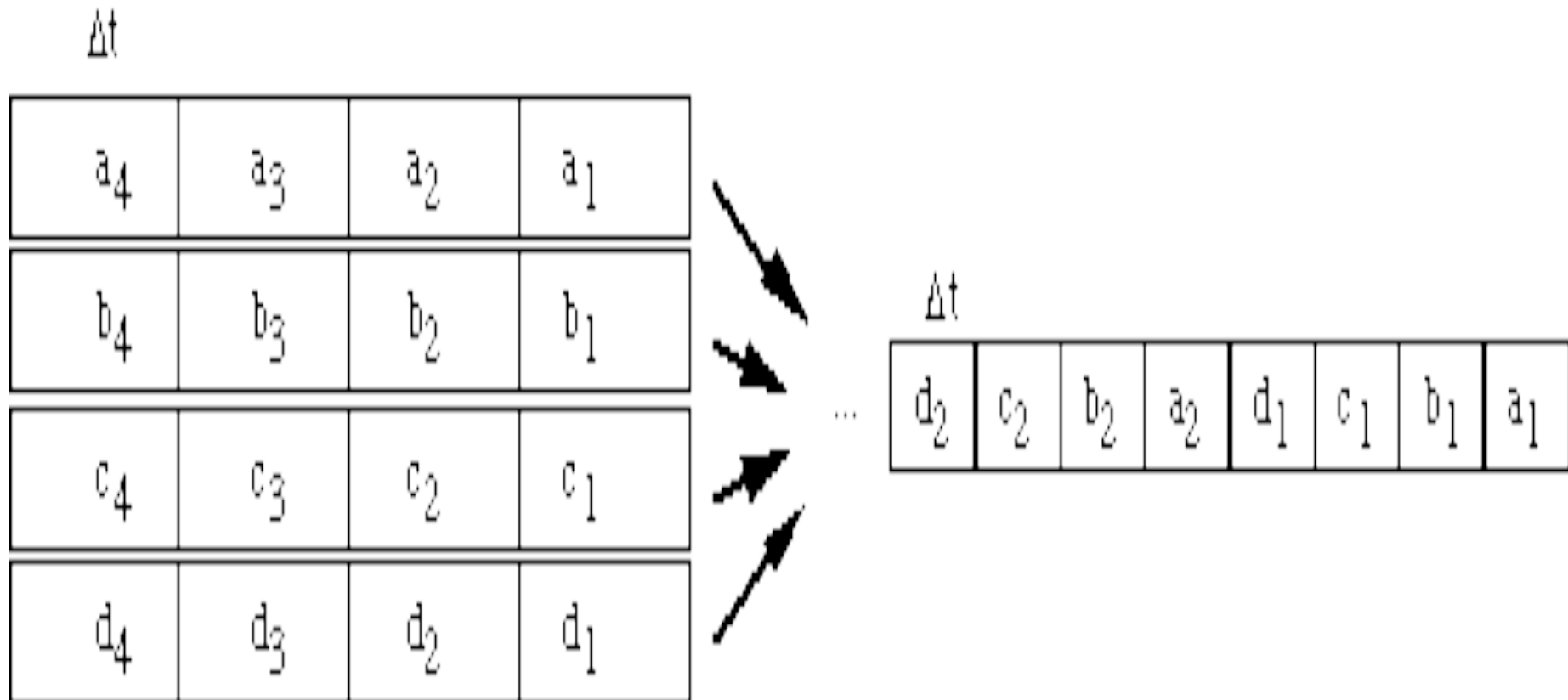
Esistono standard fino a 230.000 canali vocali.

Wavelength Division Multiplexing (WDM) : *multiplexing a divisione di lunghezza d'onda* è una variante della *FDM*, impiegata per le fibre ottiche

I raggi di bande differenti, provenienti da più fibre, convergono in un prisma che li combina inoltrandoli in un'unica fibra.

All'altro capo, attraverso un prisma o un sintonizzatore ottico (basato sugli ***interferometri Fabry-Perot*** o ***Mach-Zehnder***), il raggio viene diviso tra le fibre destinarie (*la divisione avviene selezionando, per ciascuna delle fibre, la lunghezza d'onda del raggio che in essa si intende inoltrare*).

Time Division Multiplexing (TDM): i bit provenienti da diverse connessioni vengono a turno prelevati ed inviati su un'unica connessione ad alta velocità :



PCM (Pulse Code Modulation): il **codec** (**coder-decoder**) trasforma il segnale analogico, proveniente dal local loop, in digitale.

8.000 campioni al secondo (uno ogni 125 μ s, ciascuno rappresentato da 7 bit in USA, 8 bit in Europa).

Il ritmo di funzionamento di tutti i sistemi telefonici è di 125 μ s.

Assenza di standard internazionale per il TDM:

T1 Carrier (America e Giappone): 24 canali, 7 bit dati (voce) + 1 bit controllo ogni 125 μ s ($7*8000+8000$) bps

frame T1: 192 bit (più uno di framing) ogni 125 μ s ($8000*193$ bps = 1,544 Mbps);

E1 Carrier (Europa): 32 canali (30 per i dati e 2 per il controllo) con valori ad 8 bit ogni 125 μ s ($8000*32 * 8$ bps = 2,048 Mbps).

Riapplicando TDM

Carrier	Caratteristiche	Velocità
T2	4 canali T1	6.312 Mbps
T3	6 canali T2	44.736 Mbps
T4	6 canali T3	274.176 Mbps
E2	4 canali E1	8.848 Mbps
E3	4 canali E2	34.304 Mbps
E4	4 canali E3	139.264 Mbps
E5	4 canali E4	565.148 Mbps

La differenza tra i sistemi richiede costose apparecchiature di conversione ai confini fra un l'uno e l'altro.

SDH (Synchronous Digital Hierarchy): gerarchia unificata a livello mondiale, introdotta dal CCITT verso la metà degli anni '80.

SONET (Synchronous Optical NETWORK): nato negli USA, si basa sul canale STS-1 (810 byte ogni 125 μ s: 51.84 Mbps) non presente in SDH.

Scopi principali dell'SDH / SONET:

- *interoperabilità dei vari *Carrier* (ossia interoperabilità tra le diverse aziende telefoniche);

- *unificazione dei sistemi in esercizio in
USA, Europa e Giappone;

- *capacità di trasportare frame T1 e
superiori ed E1 e superiori.

SONET	SDH	Mbps
STS-1		51.84
STS-3	STM-1	155.52
STS-9	STM-3	466.52
STS-12	STM-4	622.08
STS-18	STM-6	933.12
STS-24	STM-8	1244.16
STS-36	STM-12	1866.24
STS-45	STM-16	2488.32

Sistema ***commutato***: in base alle richieste, le linee in ingresso vengono, di volta in volta, connesse a differenti linee in uscita.

Commutazione di circuito (circuit switching): in base al sender, receiver e disponibilità del momento, il sistema stabilisce (***connection setup***) una connessione fisica temporanea attraverso cui far fluire la comunicazione

Sistema telefonico: connessione = local loop + successione di canali a 64K ricavati all'interno di flussi T1, o T3, o STS-M + local loop.

Commutazione di pacchetto (packet switching): i dati, suddivisi in pacchetti, vengono inviati indipendentemente gli uni dagli altri. Solo a destinazione vengono raccolti e riordinati

Vantaggi:

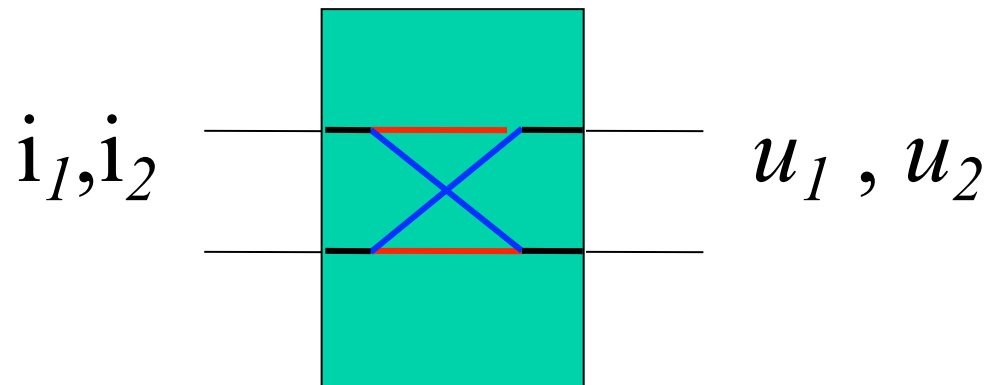
- *non vi è spreco in assenza di traffico;

- *non vi è perdita di tempo per la fase di connection setup;

Svantaggi: probabili problemi di congestione.

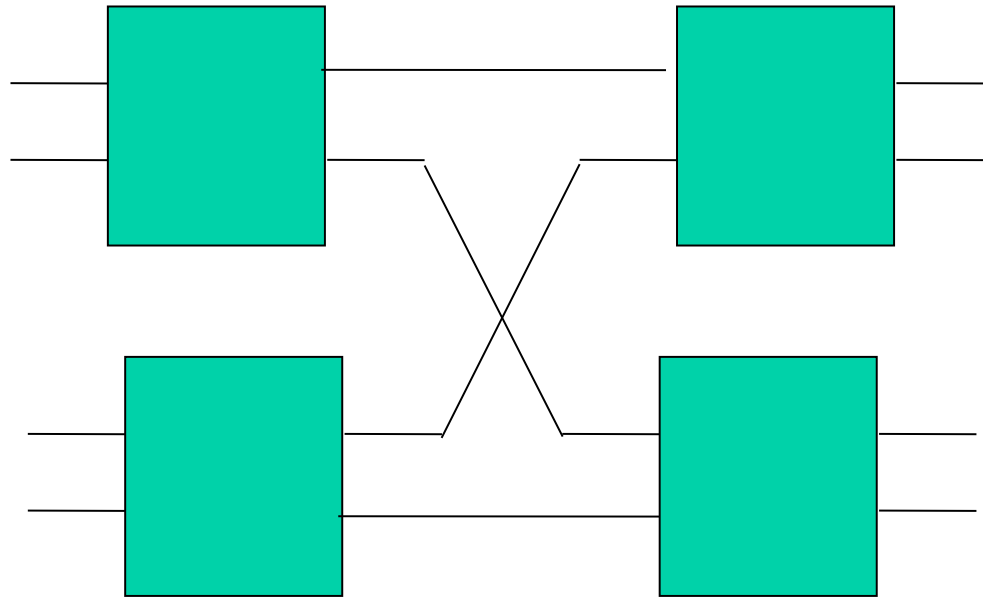
Dispositivi di commutazione:

Switch dispositivo a semiconduttori con due ingressi (i_1, i_2), due uscite (u_1, u_2) e due possibili stati:

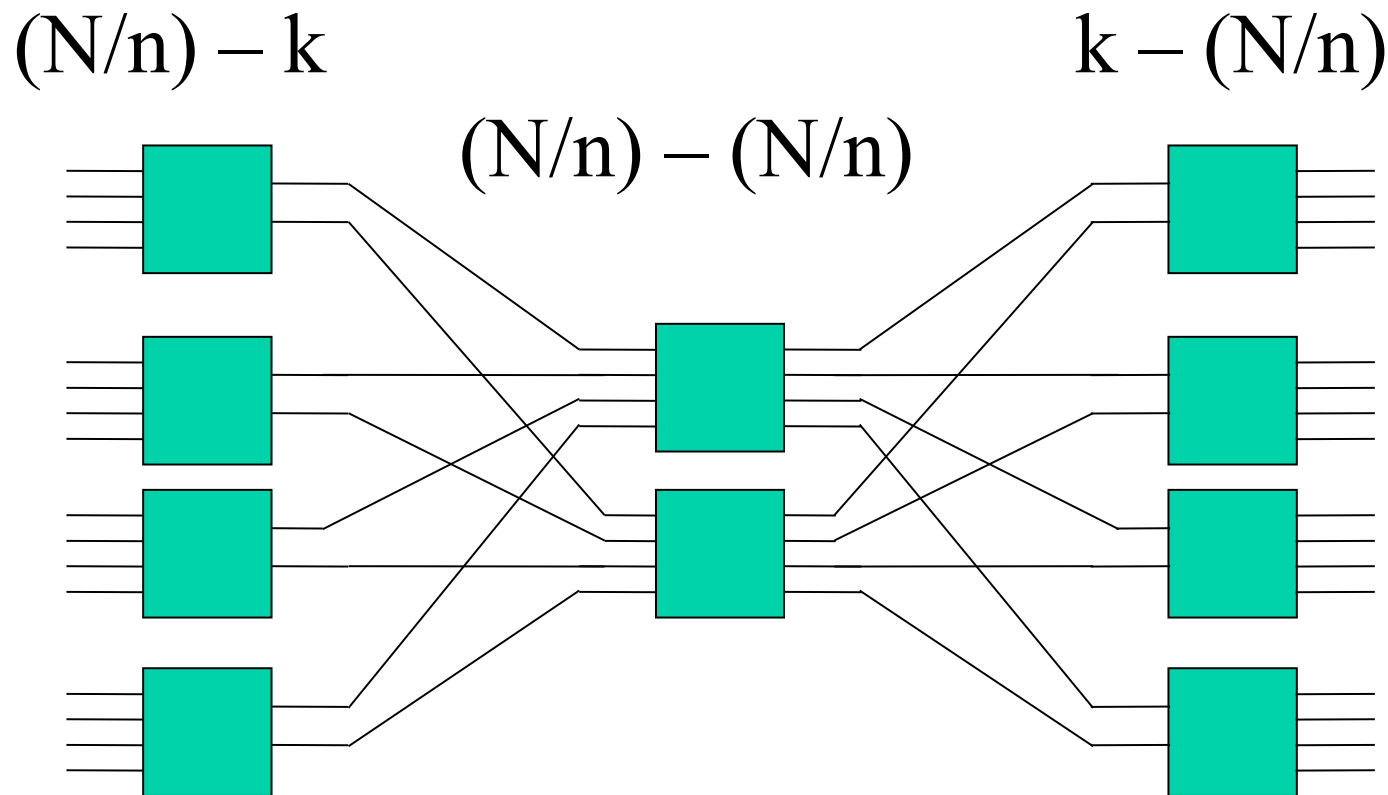


i_1 è connesso a u_1 e i_2 è connesso a u_2 ;
 i_1 è connesso a u_2 e i_2 è connesso a u_1 .

Crossbar: N ingressi, N uscite ed N^2 punti di incrocio, realizzati ciascuno con uno switch.

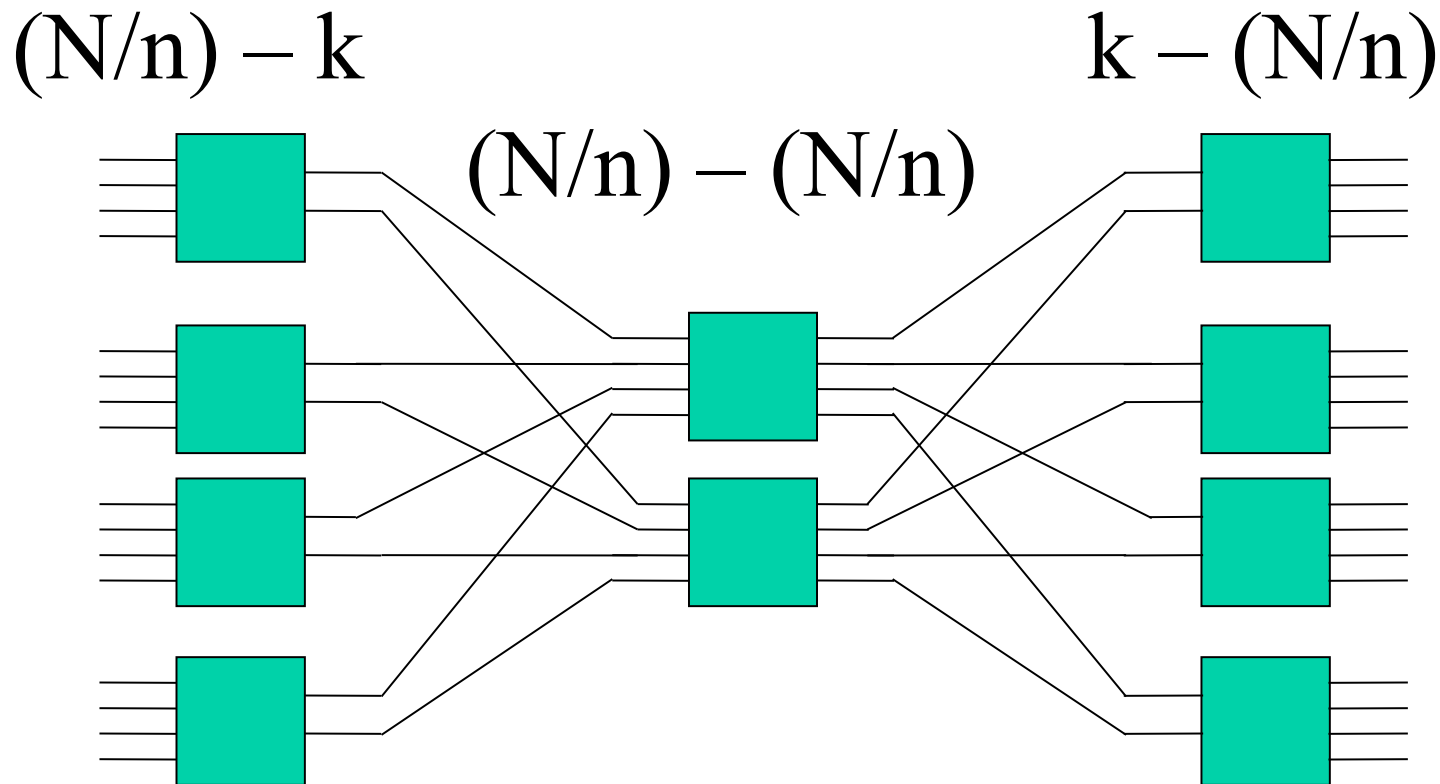


Switch multilivello (multistage switch): utilizzo di più crossbar di piccole dimensioni (ad es. 2×2), organizzati in gruppi su più livelli successivi



$2 \cdot (N/n) \cdot (n \cdot k) + k \cdot (N/n)^2$ punti di incrocio.

Switch multilivello (multistage switch):

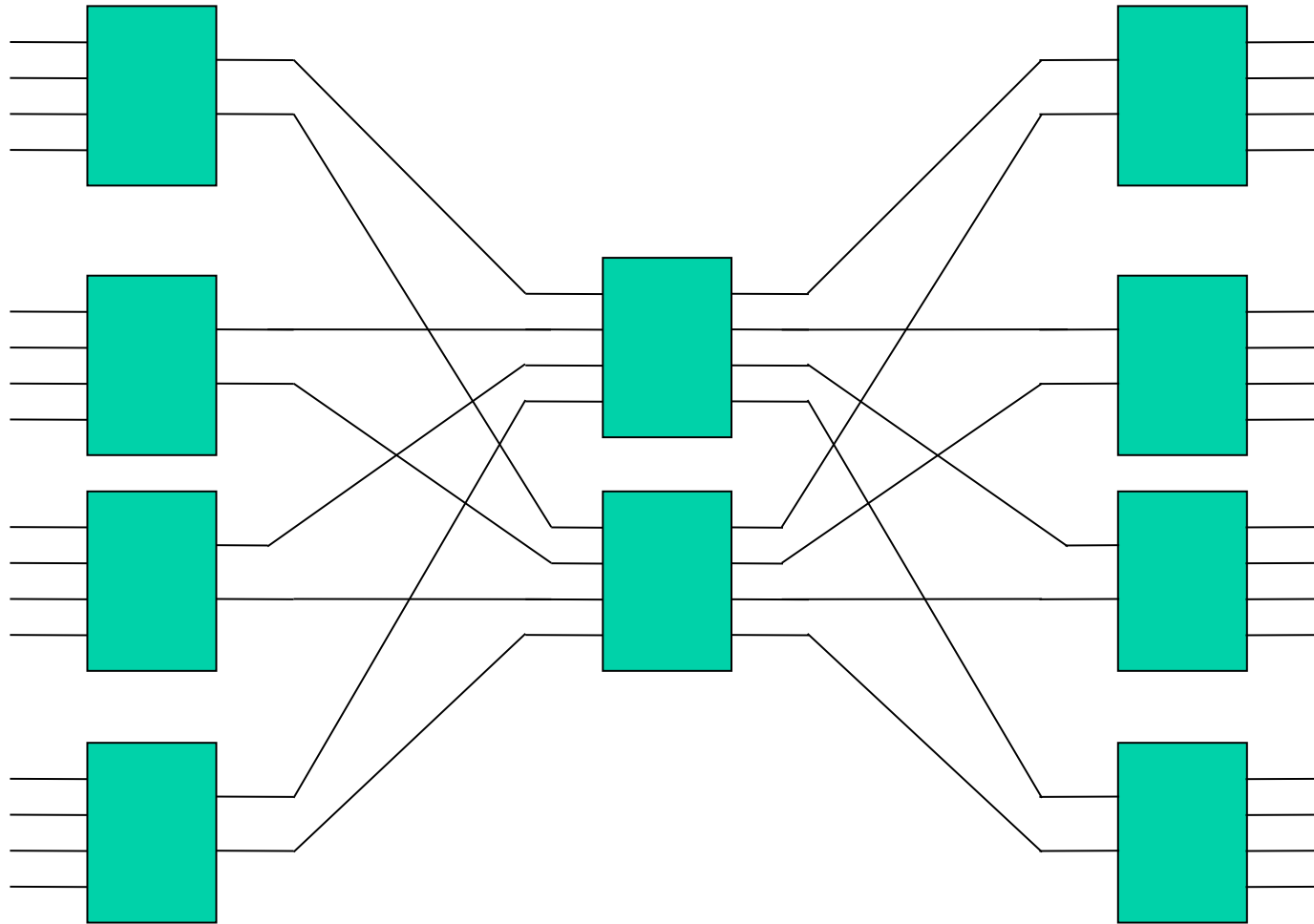


$2kN + k(N/n)^2$ contro $N \cdot (N-1)/2$ punti di incrocio

Per $N=1000$, $n=50$, $k=10$:

499.500 contro 24.000 punti di incrocio.

Switch multilivello:



Lo stadio 2 ha solo 8 linee di uscita la nona telefonata avrebbe segnale di occupato.

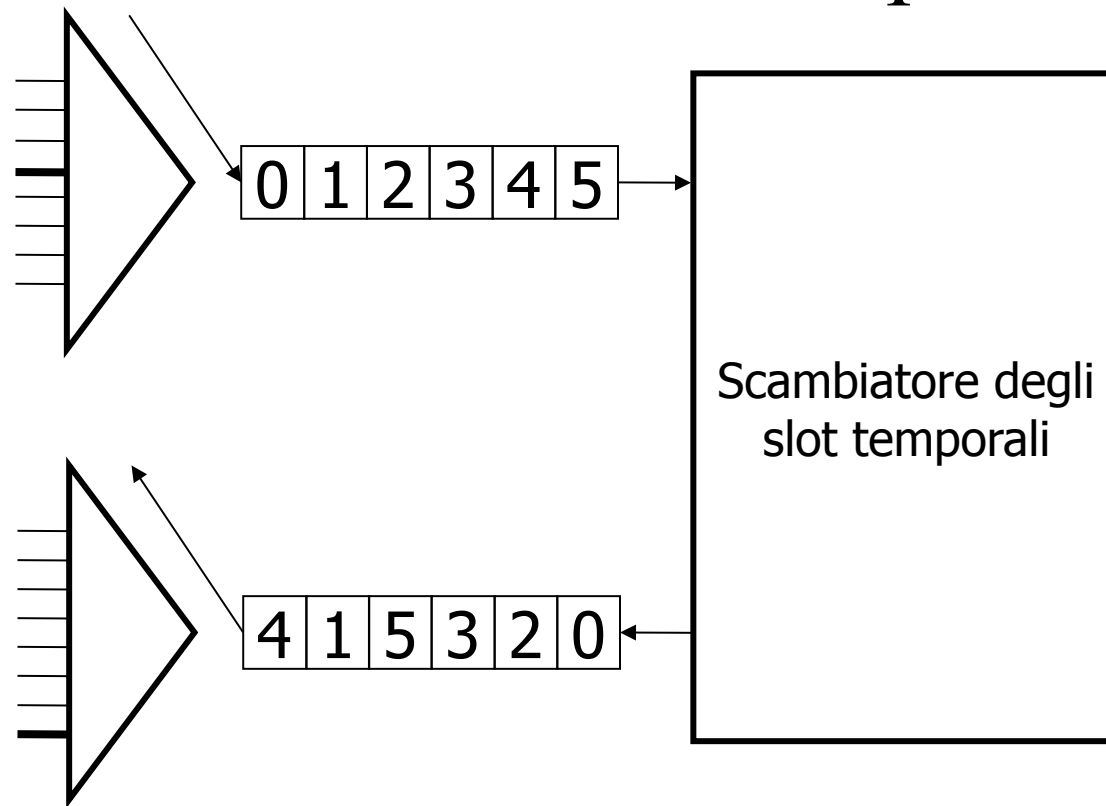
Switch multilivello: *il commutatore può bloccarsi.*

Più grande è K più bassa è la probabilità di un blocco.

Clos (1953) dimostrò che *per $k=2*(n-1)$ il commutatore non si blocca mai.*

Rete di Banyan: rete multistage di particolare interesse, espone a conflitti nell'instradamento ma richiede solo $O(n \lg_2 n)$ switch invece di $n*n$.

Commutatore a divisione di tempo



Il blocco proveniente dalla linea d'ingresso i viene commutato sulla linea d'uscita j. Nell'esempio il blocco proveniente dalla linea d'ingresso 4 passa alla linea d'uscita 0)

Il commutatore a divisione di tempo:
scandendo in sequenza (per $i=0$ to n) le n linee di ingresso,
preleva il blocco di bit proveniente dalla linea i e lo
registra nell' i -esimo slot del proprio buffer.

Completata la scansione in ingresso, si inizia la
trasmissione in sequenza (per $i=0$ to n) sulle n linee di
uscita.

Sulla linea di uscita i -esima viene trasmesso il blocco
registrato nell' j -esimo slot del buffer.

Il valore j rappresenta l' i -esimo valore della tabella di
commutazione anch'essa registrata nell'area buffer del
commutatore.

Principale svantaggio: il tempo di accesso alla RAM (buffer del commutatore) necessaria per immagazzinare gli n blocchi di bit.

Nel sistema telefonico T1 bisogna trasmettere un byte ogni $125\mu\text{S}$. Il commutatore, quindi, deve avere una banda di almeno n Byte ogni $125\mu\text{S}$. Se il singolo accesso in Ram richiede $T \mu\text{S}$, il tempo che intercorre da quando gli n byte presenti sulle linee di ingresso passano su quelle d'uscita è $2nT\mu\text{S}$.

Conseguentemente il numero massimo n di linee è $n = 125/2T$ (per $T=100 \text{ ns} \Rightarrow n = 625$)

Gli elevati costi di cablaggio e l'esistenza di leggi nazionali che regolamentano il settore delle telecomunicazioni, impediscono la stesura materiale dei cavi necessari per realizzare una rete geografica.

Ci si deve rivolgere quindi ad una società telefonica (o Cable TV) per la realizzazione della subnet di comunicazione.

Affitto di linee dedicate: si stipulano contratti per l'affitto di linee telefoniche dedicate.

L'azienda telefonica riserva al cliente un circuito permanente (una linea a 2 Mbps costa diverse decine di migliaia di euro l'anno).

Affitto di servizi trasmissione dati: si realizzano le connessioni fra i nodi della propria subnet affittando i servizi di trasmissione dati:

Frame Relay;

ISDN (Integrated Services Digital Network);

SMDS (Switched Multimegabit Data Service);

ATM (Asynchronous Transfer Mode).