

# **FACOLTÀ DI INGEGNERIA**

**Corso di laurea in Ingegneria  
Informatica/Elettronica**

## **Corso di Sistemi Telematici**

**LA RETE TELEFONICA**

**Ing. Socievole Annalisa**

***socievolea@deis.unical.it***

**ANNO ACCADEMICO 2010/2011**



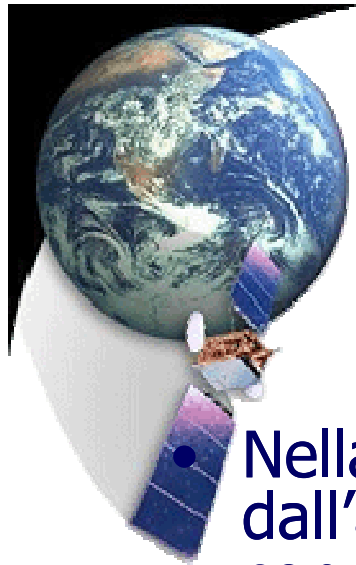
## *Reti telefoniche*

- Le reti telefoniche sono reti dedicate al trasporto del segnale vocale e sono state le prime ad avere una diffusione mondiale.
- Con l'integrazione delle reti (telefonia e dati) e dei servizi, le reti di trasporto sviluppate per le reti telefoniche oggi sono da supporto alle reti dati geograficamente distribuite.
- Le reti degli ISP sono basate sullo stesso trasporto della rete telefonica.



## *Trasmissione del segnale voce*

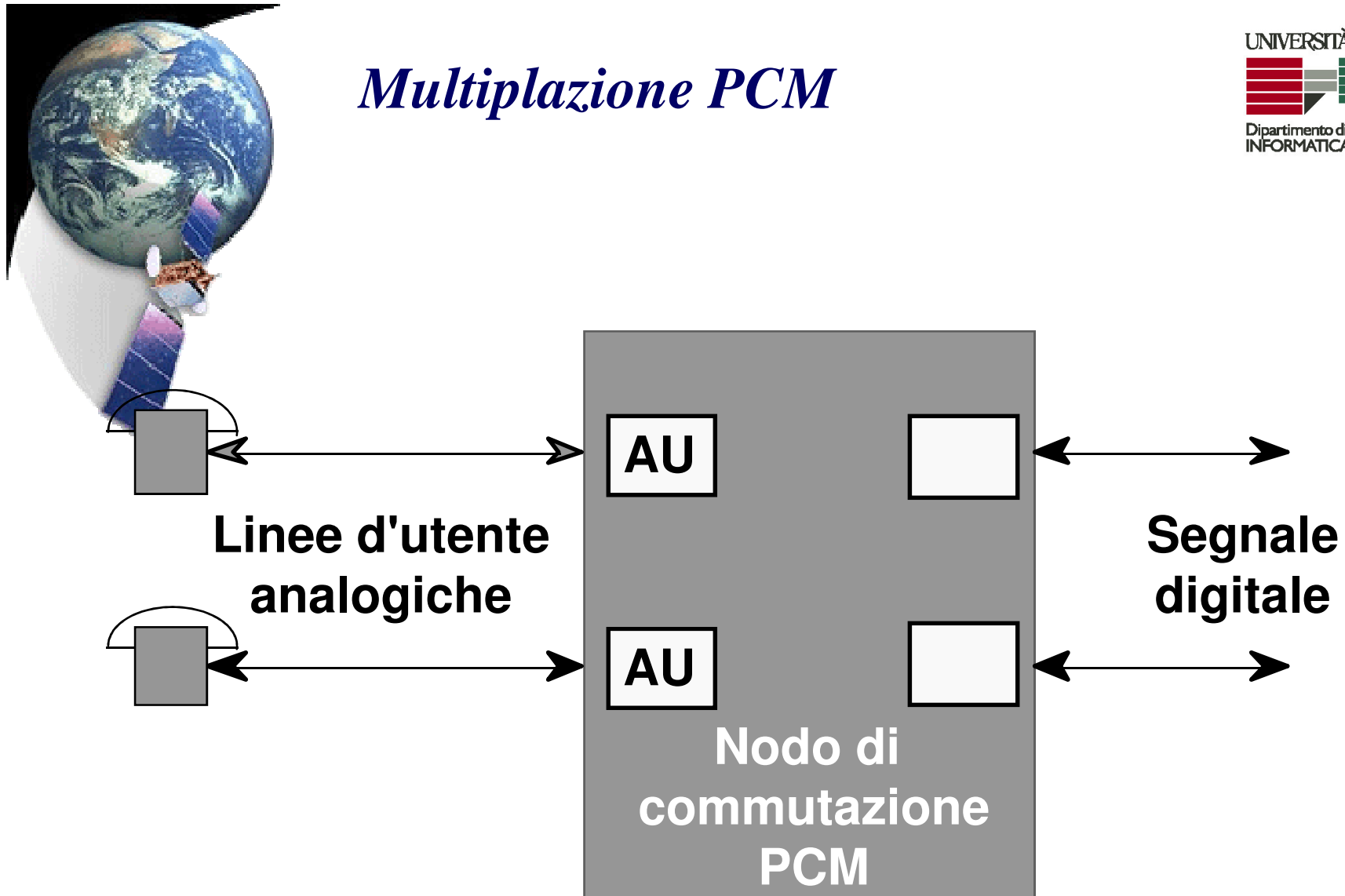
- Il segnale vocale in passato veniva trasportato in forma **analogica**.
- Le reti telefoniche attuali trasportano il segnale vocale in forma **digitale**.
- Come trasformare il segnale vocale in un flusso di bit?
  - Waveform codec: metodi basati sulle caratteristiche del segnale (es. reti telefoniche classiche con flusso a 64 kbit/s);
  - Source codec: metodi basati sul modo di produrre la voce (es. segnale vocale GSM con flusso a 13 kbit/s, cordless a 32 kbit/s, UMTS a 8 kbit/s).



## *Trattamento del segnale voce*

- Nella rete telefonica classica il segnale emesso dall'apparecchio telefonico è analogico e viene convertito in digitale nella prima centrale.
- Nella rete di accesso tra il doppino e la prima centrale il segnale viaggia in forma analogica.
- Nella rete ISDN anche la rete d'accesso è digitale e la conversione avviene direttamente nel terminale d'utente.
- Oltre alla conversione, nella prima centrale avviene anche una prima moltiplicazione a gruppi di 30 segnali vocali (Sistema Europeo – Racc. ITU G704-G705) all'interno di un apparato di centrale detto **moltiplicatore PCM (Pulse Code Modulation)**.

## *Multiplazione PCM*





## *Multiplazione PCM*

- L'interfaccia tra una linea d'utente e un nodo di commutazione a circuito PCM è costituita dall'attacco d'utente (AU).
- La multiplazione permette che più segnali provenienti da canali a bassa velocità possano essere trasmessi sullo stesso portante ad alta velocità:
  - i flussi numerici a bassa velocità sono detti *tributari*;
  - il flusso ad alta velocità è definito flusso *aggregato*.
- Pulse Code Modulation: ogni impulso campionato viene rappresentato come una sequenza di bit (quantizzazione e codifica).



## *Multiplazione PCM e TDM*

- Il segnale fonico viene campionato a frequenza uguale a 8 KHz (8000 campioni a 1 secondo, 1 campione ogni 125  $\mu$ s) ed ogni campione è codificato con 8 bit.
- Time Division Multiplexing (TDM): tecnica che lega campioni provenienti da sorgenti diverse, di modo che l'informazione di queste sorgenti possa essere trasmessa in modo seriale su di un singolo canale di comunicazione.
- In una trama sono presenti 32 slot (30 canali voce a 64 kbit/s e due canali di segnalazione e controllo) e la durata di trama (periodo di campionamento) è pari a 125  $\mu$ s.
- Ogni slot contiene 8 bit.
- Il segnale multiplo PCM europeo (E1) ha una durata di 2,048 Mbit/s.



## *Gerarchia di multiplazione numerica*

- E' una serie di operazioni di multiplazione numerica, per le quali è definita una scala di livelli (gerarchia) in modo tale che:
  - la multiplazione a un livello combina un numero definito di segnali numerici (ognuno dei quali ha il ritmo di cifra prescritto per un livello inferiore) in un segnale numerico con un prescritto ritmo di cifra;
  - quest'ultimo è disponibile per una ulteriore combinazione con altri segnali numerici dello stesso ritmo in una multiplazione numerica di livello immediatamente superiore.





## *Tipi di gerarchia*

- Gerarchia numerica plesiocrona o asincrona (PDH): i flussi tributari possono avere frequenze diverse del loro valore nominale (non sono sincrone rispetto al clock del flusso aggregato)
- Gerarchia numerica sincrona (SDH): i flussi tributari hanno frequenze coincidenti al loro valore nominale (sono sincroni rispetto al clock del flusso aggregato).
  - Nella pratica si riesce ad ottenere una condizione detta di mesocronia (stessa frequenza media).



## *Gerarchia numerica plesiocrona*

LIVELLO GERARCHICO NUMERICO	RITMI BINARI GERARCHICI (in kbit/s)
1	2.048
2	8.448
3	34.368
4	139.264



## *Gerarchia numerica sincrona*

LIVELLO GERARCHICO NUMERICO	RITMI BINARI GERARCHICI (in kbit/s)
1	155.520
4	622.080
8	1.244.160
12	1.866.240
16	2.488.320



## *Trattamento del traffico*

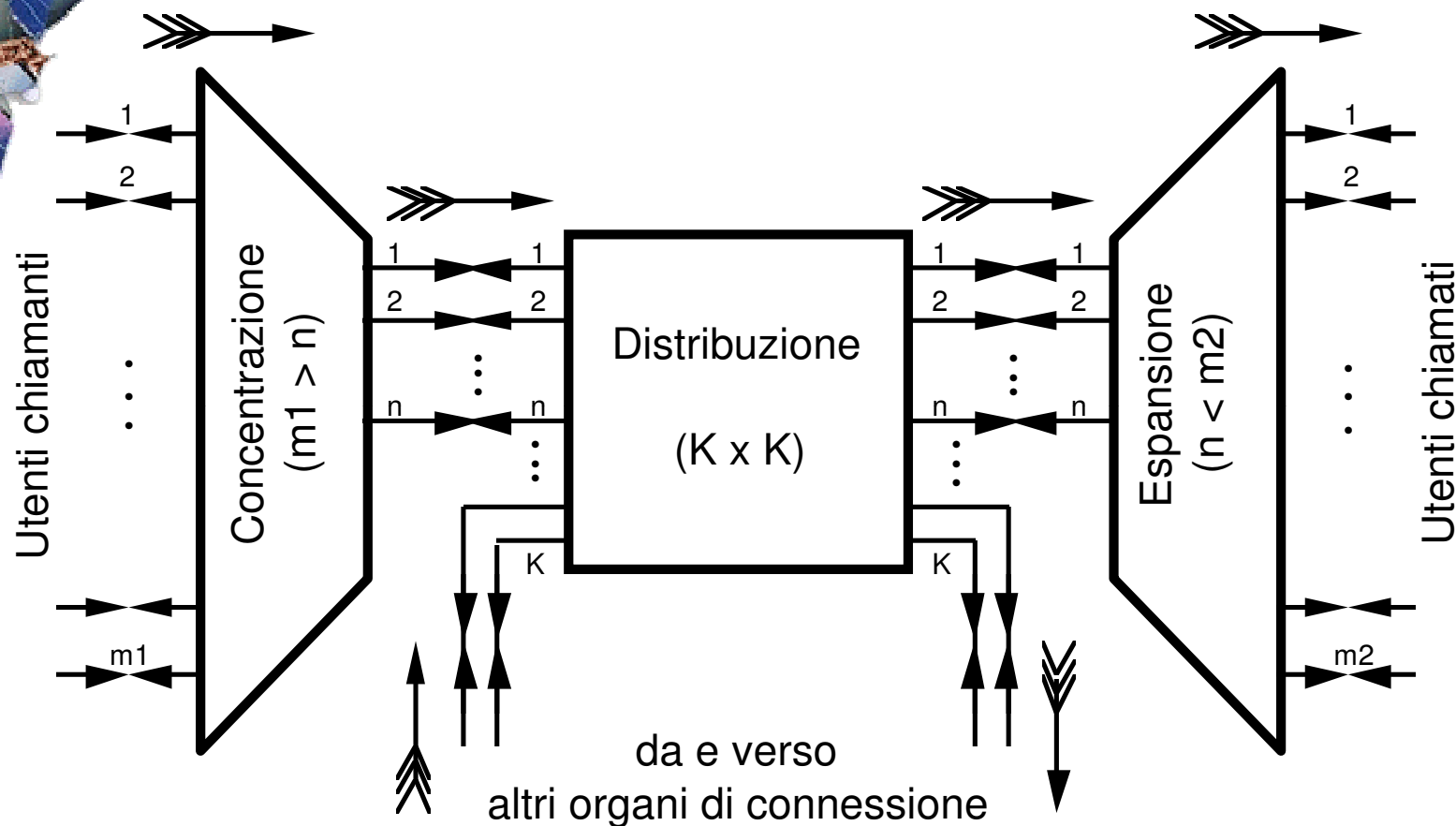
- L'inizializzazione di una comunicazione telefonica su base chiamata richiede lo svolgimento di tre operazioni:
  - nell'autocommutatore di origine, la chiamata è trasferita dalla linea dell'utente chiamante all'insieme dei percorsi di rete ammissibili verso la destinazione desiderata;
  - nella sezione interna della rete viene impegnato, fisicamente e per tutta la durata della comunicazione, uno di questi percorsi;
  - nell'autocommutatore di destinazione, la chiamata è trasferita dal percorso di rete alla linea dell'utente chiamato.



## *Trattamento del traffico*

- Queste tre operazioni sono dette di
  - concentrazione
  - distribuzione
  - espansione

# Trattamento del traffico



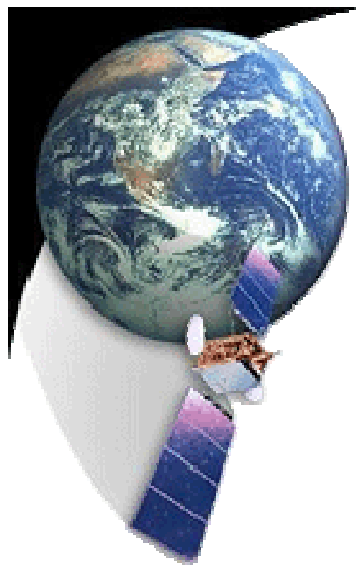
— Linee di giunzione  
 — Linee di utente

→ Senso della fonia  
 ⇨ Senso del traffico

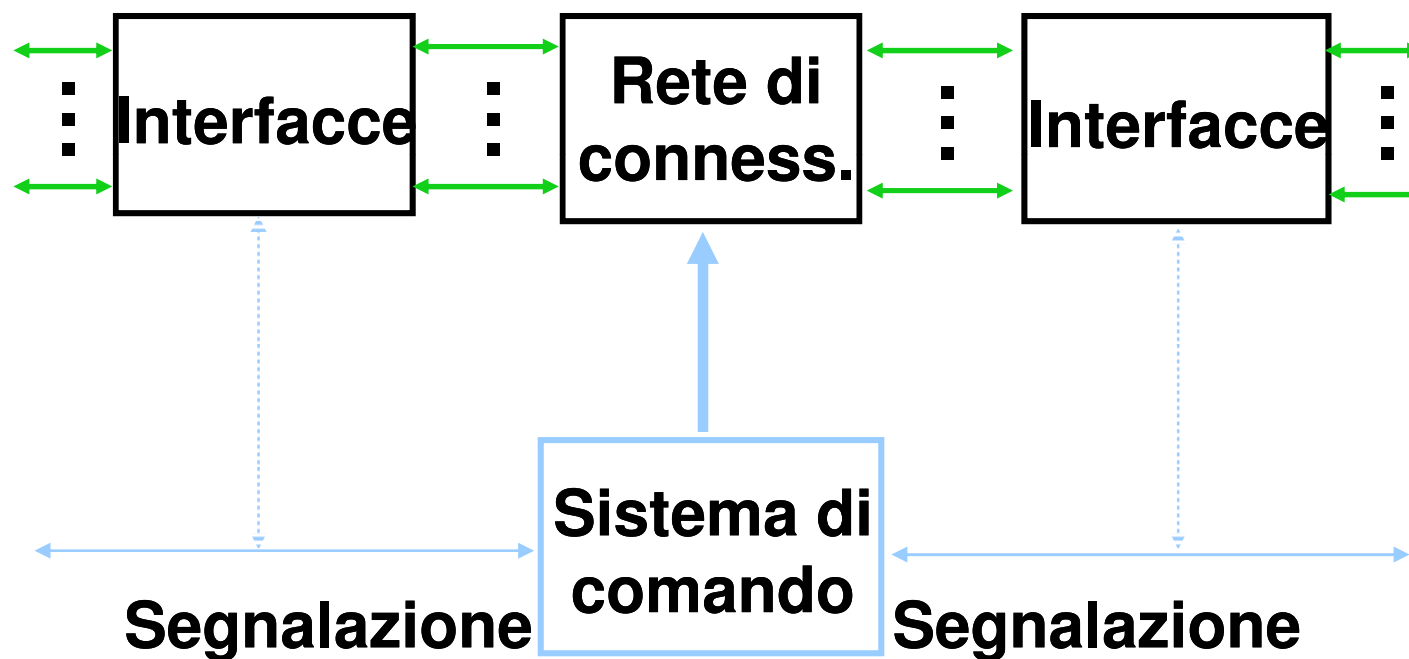


## *Sezioni di un autocommutatore*

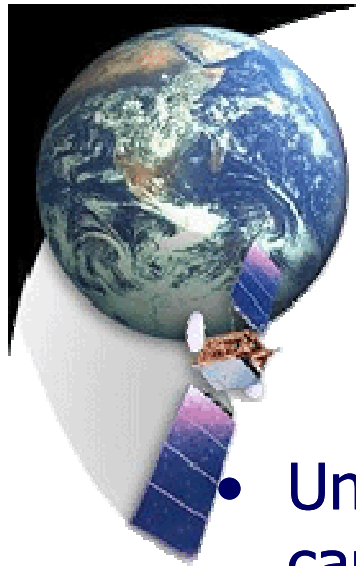
- Stadio (selettore) di utente (di linea): svolge le operazioni di concentrazione e di espansione.
- Stadio (selettore) di gruppo: svolge l'operazione di distribuzione.



## *Struttura di un autocommutatore a circuito*







## *Autocommutatore*

- Un autocommutatore ha la funzione di instaurare dei cammini fisici tra ingressi ed uscite (commutazione telefonica).
- Gli autocommutatori sono costituiti da elementi base detti *matrici di commutazione*.
- In generale un autocommutatore di una rete pubblica non è costituito da un'unica matrice di commutazione.
- Si usano più matrici connesse tra loro per formare una *rete di connessione*.



## *Autocommutatore: proprietà della rete di connessione*

- Una rete di connessione ha le seguenti proprietà:
  - piena accessibilità (possibilità di commutare ogni ingresso su ogni uscita arbitraria, in assenza di altre connessioni in atto);
  - rete non bloccante (è sempre possibile trovare un nuovo percorso da un ingresso libero ad un'uscita libera scelti arbitrariamente, indipendentemente dalle connessioni in atto);
  - rete non bloccante in senso stretto (è possibile trovare il percorso senza dover riarrangiare i percorsi già attivi).

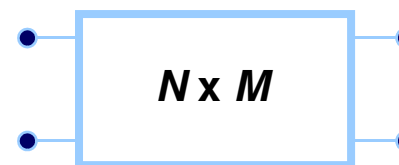
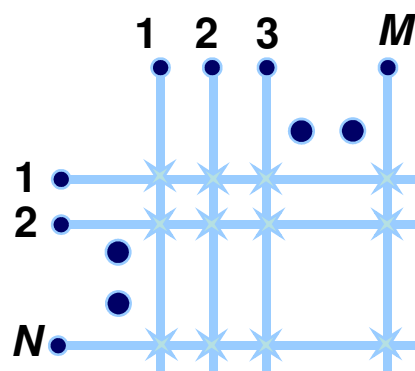


## *Matrice di commutazione*

- L'elemento base di una rete di connessione a divisione di spazio (DS) è la *matrice spaziale a divisione di spazio*, indicata come *S-matrice DS*.
- Una S-matrice DS ( $N \times M$ )-dimensionale è una struttura che consente di connettere a richiesta una delle  $N$  linee appartenenti all'ingresso con una delle  $M$  linee appartenenti all'uscita.
- È modellabile con un insieme di *punti di incrocio* posti all'intersezione di righe individuate dalle linee di ingresso e di colonne individuate dalle linee di uscita.

## *Matrice di commutazione*

- La chiusura del punto di incrocio posto all'intersezione della riga  $i$ -esima ( $i = 1, 2, \dots, M$ ) e della colonna  $j$ -esima ( $j = 1, 2, \dots, M$ ) stabilisce una connessione tra la  $i$ -esima linea di ingresso e la  $j$ -esima linea di uscita.





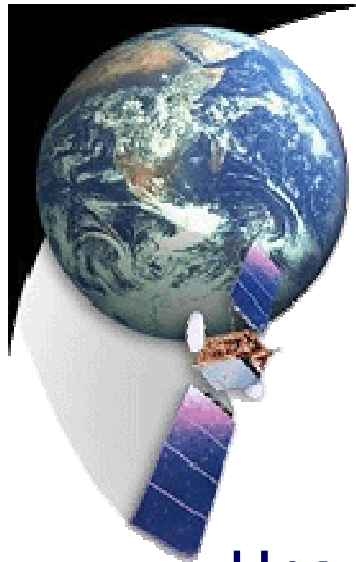
## *Rete di connessione*

- Per realizzare la connessione di un elevato numero di linee di ingresso e di uscita, è possibile in linea di principio, utilizzare una sola S-matrice DS (*rete monostadio*).
- Tuttavia vincoli di natura tecnica ed economica hanno indirizzato verso l'impiego di una pluralità di S-matrici DS organizzate a stadi.
- Le matrici di uno stadio hanno tutte la stessa dimensione.
- Le uscite di uno stadio sono gli ingressi dello stadio successivo.
- La rete di connessione viene allora organizzata topologicamente in *stadi di commutazione* collegati tra loro in cascata (*rete multistadio*).



## *Rete di connessione*

- In una rete DS multistadio la connessione tra gli stadi adiacenti è effettuata tramite un fascio di linee (*giunzioni interstadio*).
- Se tale connessione e la struttura delle S-matrici DS sono tali da assicurare che ogni linea di ingresso della rete può essere connessa con una qualunque linea di uscita, la rete di connessione è *a piena accessibilità*.
- Nel seguito si farà esclusivo riferimento a reti di questo tipo.



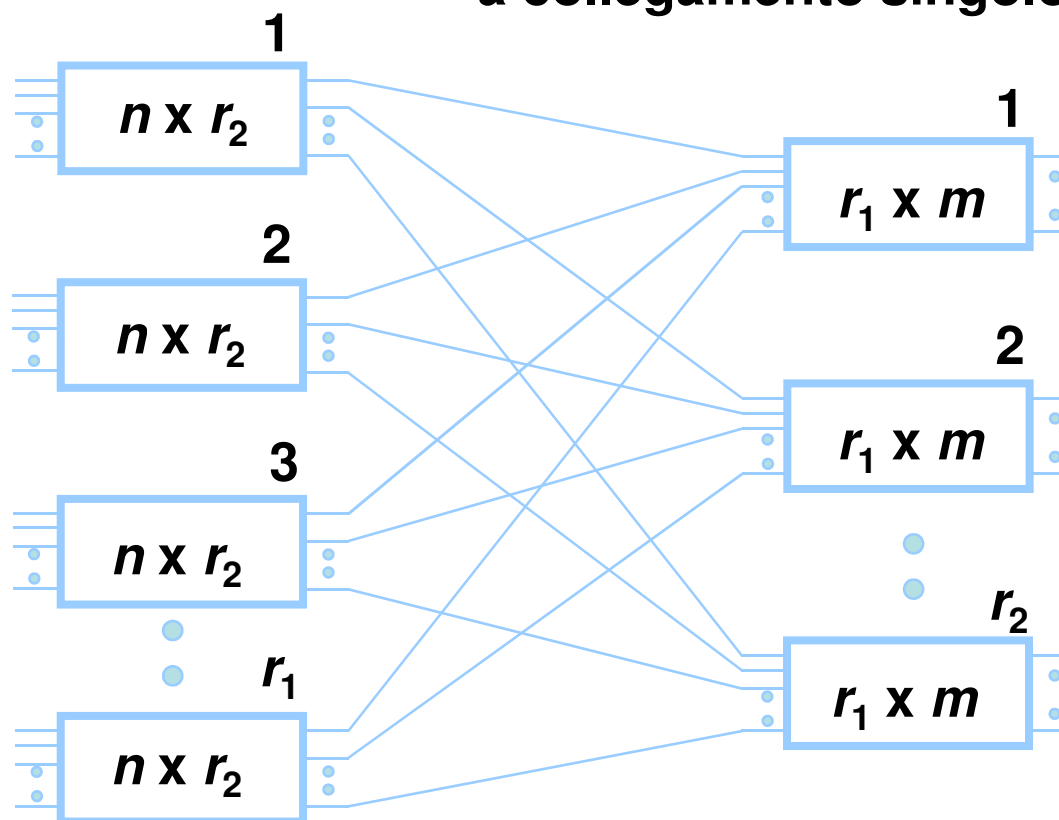
## *Rete di connessione a 2 stadi*

- Una *rete di connessione DS a due stadi* in cui ogni matrice del primo stadio ha *una sola* giunzione verso ciascuna matrice del secondo stadio è detta *a collegamento singolo*.
- Si ha invece una rete DS *a collegamento multiplo* quando ogni matrice del primo stadio è collegata da due o più giunzioni con ogni matrice del secondo stadio.



## *Rete di connessione a due stadi*

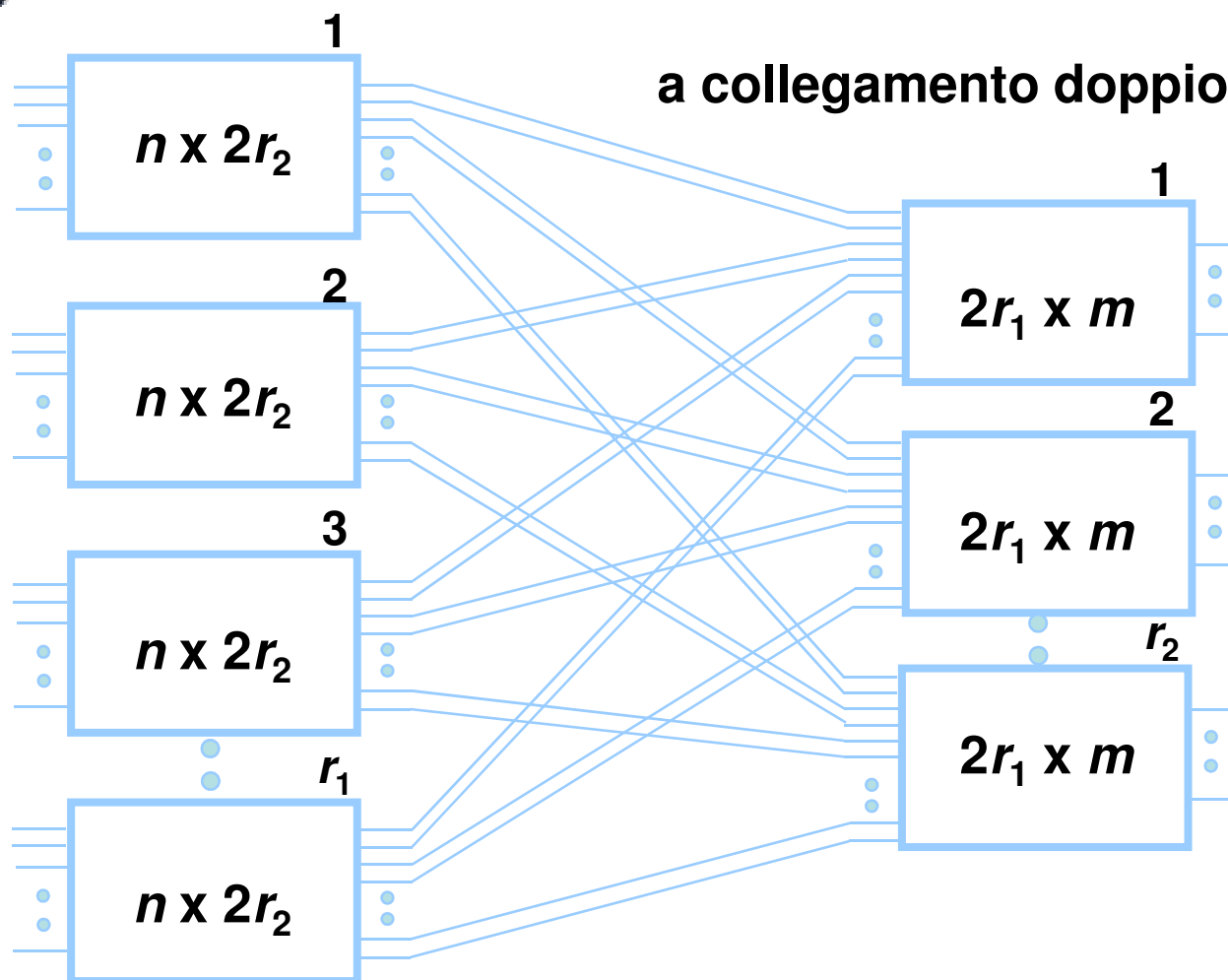
a collegamento singolo







## *Rete di connessione a due stadi*





## *Rete di connessione a due stadi*

- Una rete DS a due stadi a collegamento singolo è sempre di tipo *bloccante*.
- Si supponga che sia in atto la connessione tra un ingresso della prima matrice del primo stadio e una uscita della prima matrice del secondo stadio. Se, in tali condizioni, viene richiesta la connessione tra un altro ingresso della prima matrice del primo stadio e una uscita libera della prima matrice del secondo stadio, questa richiesta non può essere soddisfatta, in quanto l'unico collegamento fra le due matrici interessate è già impegnato.



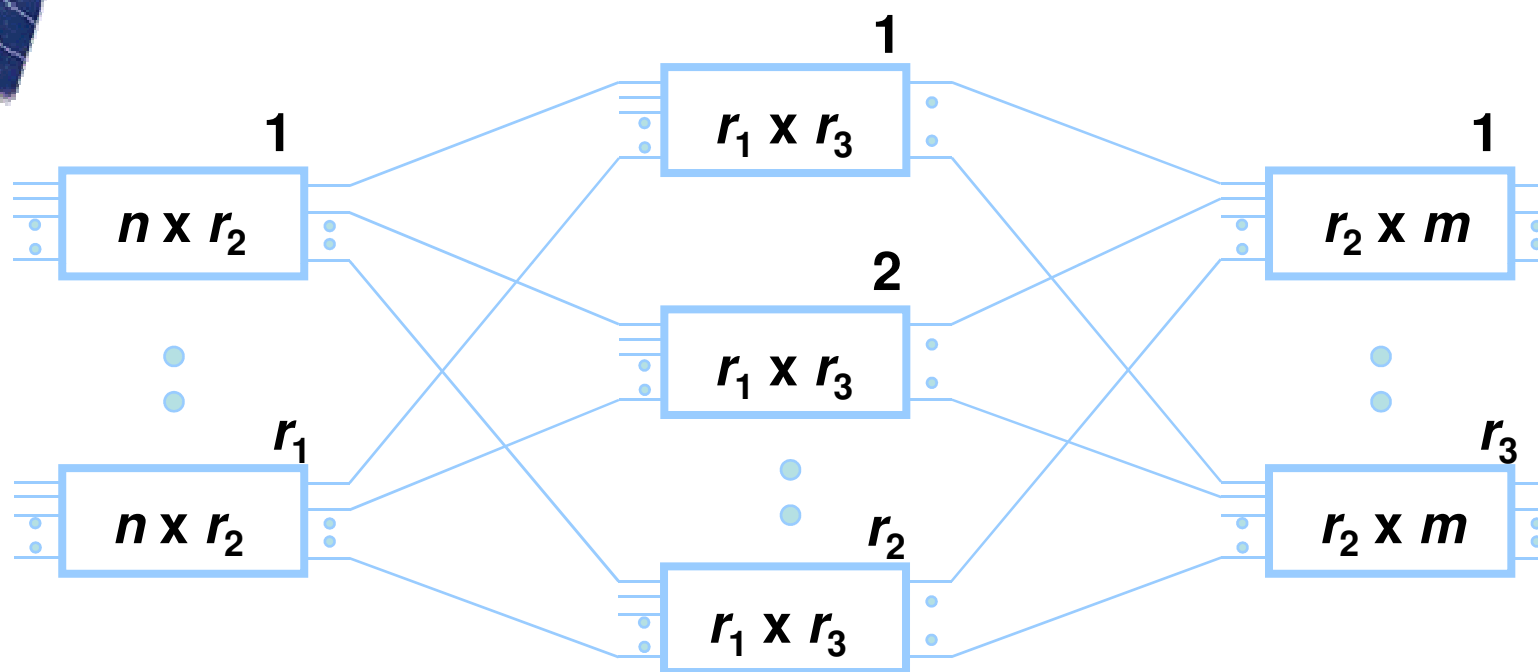
## *Reti di connessione a due stadi*

- Una rete DS a due stadi può essere resa *non bloccante* passando a un collegamento interstadio di *tipo multiplo*.
- In particolare una rete a due stadi è non bloccante se la molteplicità  $D$  del collegamento interstadio è uguale al minimo tra il numero  $m$  di uscite di ogni matrice del secondo stadio e il numero  $n$  degli ingressi di ogni matrice del primo stadio; cioè

$$D = \min (m \times n)$$



## *Rete di connessione a tre stadi*





## *Reti di connessione*

- Le reti di connessione finora descritte si usavano in reti analogiche.
- Oggi le matrici di commutazione commutano flussi PCM multiplati e si parla di reti di connessione a divisione di tempo.
- Si distinguono due tipi di matrici usate negli autocommutatori numerici:
  - matrici S (spaziali): operano una commutazione di tipo spaziale; cioè commutano il contenuto di uno slot  $j$  di un canale d'ingresso con lo stesso slot di un canale d'uscita;
  - matrici T (temporali): operano su flussi multiplati nel tempo. Vengono cambiati di posto gli slot tra ingresso e uscita.



## *Commutazione di circuito*

- Il servizio telefonico si basa sulla commutazione di circuito.
- Una chiamata telefonica si articola in tre fasi:
  - instaurazione: la rete determina il percorso verso la destinazione e riserva le risorse necessarie;
  - connessione: gli utenti connessi si scambiano informazioni (flussi PCM nel servizio telefonico base);
  - rilascio: la connessione viene disattivata e le risorse rilasciate.



## *Sistema telefonico*

- Il sistema telefonico è formato da:
  - **sistema di trasmissione:** insieme di dispositivi che consente il trasferimento di segnali tra elementi di rete (terminali e nodi) lungo un portante trasmissivo (rame, fibra, etere, ecc.)
    - ✓ accesso analogico (telefonia tradizionale) o numerico (ISDN e telefonia mobile)
    - ✓ trasmissione numerica (PCM)
  - **sistema di commutazione:** attua fisicamente la connessione end-to-end
  - **sistema di segnalazione:** trasferisce informazioni di segnalazione per controllare il funzionamento della rete nel suo complesso.



## *Sistema telefonico: rete fisica*

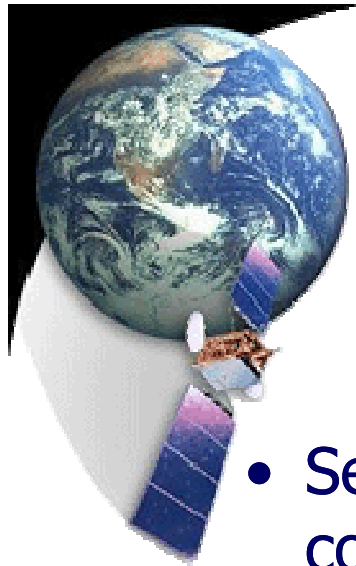
- Nella sezione interna sono ormai impiegati, in modo pressoché esclusivo, i cavi in fibra ottica monomodale in luogo dei mezzi in rame (cavi a coppie simmetriche o a coppie coassiali).
- Nella sezione di accesso esiste tuttora una larga varietà di soluzioni alternative per il mezzo trasmissivo di legamento degli utenti all'autocommutatore di competenza: accanto al tradizionale mezzo in rame (doppino), sono attualmente impiegate soluzioni in fibra ottica, o di tipo ibrido.





## *Architettura di rete*

- La topologia della sezione interna di una rete telefonica è normalmente definita in modo da ottenere un rendimento di utilizzazione per ognuna delle linee di giunzione (cioè per ciascuna delle risorse di trasferimento condivise) che sia il più elevato possibile compatibilmente con un'accettabile qualità del servizio offerto.



## *Architettura di rete*

- Se c'è molto traffico tra due nodi conviene collegarli mediante un collegamento diretto. Se tutti i nodi hanno collegamenti diretti fra loro si ottiene una rete completamente magliata.
- Se il traffico non è molto elevato conviene collegare più nodi mediante un nodo di transito intermedio:
  - l'architettura che ne risulta è a stella;
  - il nodo di transito assume il significato di livello gerarchico superiore rispetto ai nodi d'accesso.



## *Topologia a maglia completa*

- Ognuno degli  $N$  nodi appartenenti a un insieme della rete è interconnesso a tutti gli altri  $N-1$  nodi dello stesso insieme con un ramo specifico.
- Il numero di rami componenti è  $N(N-1)/2$ .
- Il percorso di rete tra due nodi qualsiasi può essere scelto in una molteplicità di alternative possibili, tra cui quella di lunghezza logica minima è costituita dal ramo che connette i due nodi.



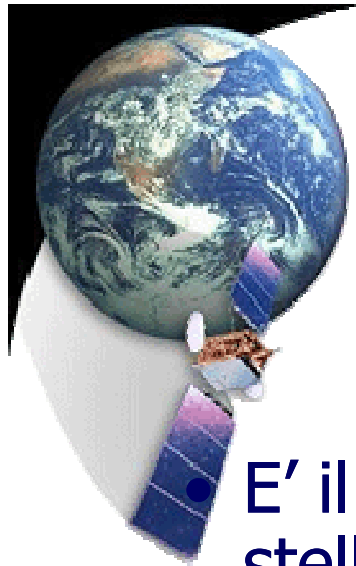
## *Topologia a stella pura*

- Ogni elemento di un insieme di nodi  $A_1, A_2, \dots$  è connesso con un solo ramo a un nodo B: questo costituisce il centro stella.
- Se l'insieme B,  $A_1, A_2, \dots$  è costituito da  $N$  nodi, il numero dei rami è uguale a  $N-1$ .
- Esiste un solo percorso di rete, che include il centro stella e che è costituito da due rami.
- Si dice che una topologia a stella pura è a due livelli gerarchici: il primo livello include i nodi  $A_1, A_2, \dots$ , mentre il secondo comprende il solo nodo B.



## *Topologia ad albero*

- E' una generalizzazione della topologia a stella pura, nel senso che è definita da una struttura a stella multipla. Ad esempio:
  - i nodi  $B_1, B_2$  di due o più stelle pure sono a loro volta connessi con un solo ramo a un nodo  $C$ ;
  - il procedimento può essere ripetuto per i nodi di tipo  $C$ , e così via;
  - gli insiemi di nodi  $A_1, A_2 \dots, B_1, B_2 \dots, C_1, C_2 \dots$  sono di rango via via crescente.

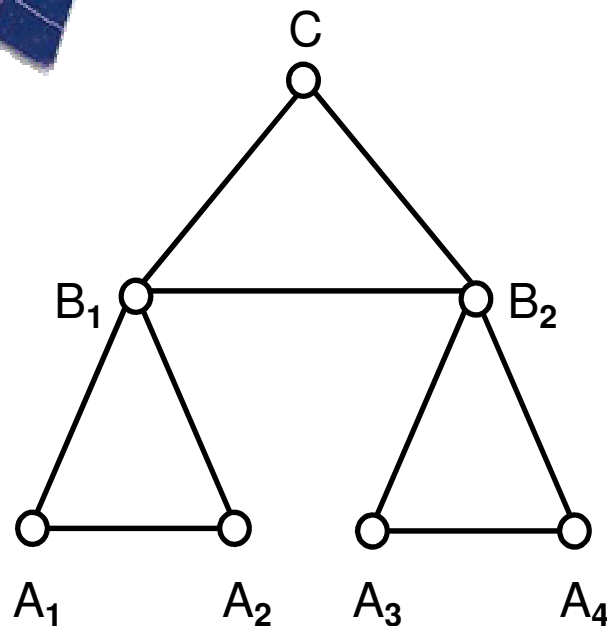


## *Topologia della sezione interna*

- E' il risultato di un compromesso tra la forma a stella pura (e le sue generalizzazioni) e quella a maglia completa.
- Deriva dalla ripartizione delle relazioni di traffico in funzione della distanza tra gli autocommutatori della rete:
  - due nodi geograficamente vicini possono essere interessati da quote di traffico maggiori di quelle che possono interessare nodi geograficamente lontani;
  - le quote di traffico per ogni relazione diminuiscono al crescere della distanza tra gli autocommutatori.



## *Topologia della sezione interna*



1. Tra i nodi  $A_1$  e  $A_2$  ovvero tra i nodi  $A_3$  e  $A_4$  può essere giustificato un ramo diretto.
2. Tra  $A_1$  e  $A_4$  può non essere giustificato un ramo diretto; il percorso di rete può allora essere quello  $A_1 B_1 B_2 A_4$  che attraversa i nodi di rango superiore  $B_1$  e  $B_2$ , se questi sono connessi da un ramo diretto.
3. Se non lo sono, il percorso di rete attraversa anche il nodo  $C$  di rango ulteriormente superiore.



## *Struttura gerarchica*

- Ragionamenti del tipo precedente conducono a stabilire una gerarchia di centri di commutazione, in modo che la graduale riduzione delle quote di traffico con la distanza venga compensata concentrando il traffico proveniente da zone di territorio sempre più estese.
- Ogni centro di questa gerarchia ha, nell'ambito del territorio su cui opera la rete, una sua zona di influenza.
- Conseguentemente la zona di influenza di un centro di rango più elevato comprende tutte le zone dei centri di rango più basso da esso dipendenti.

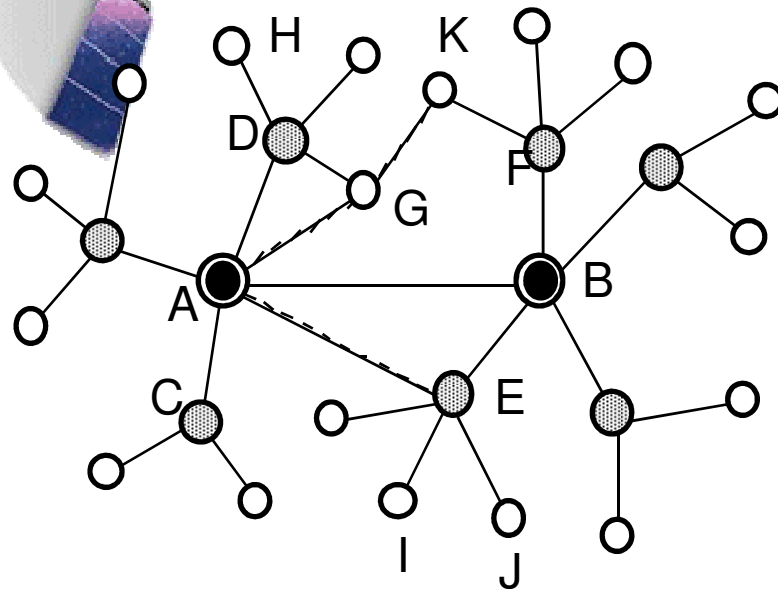
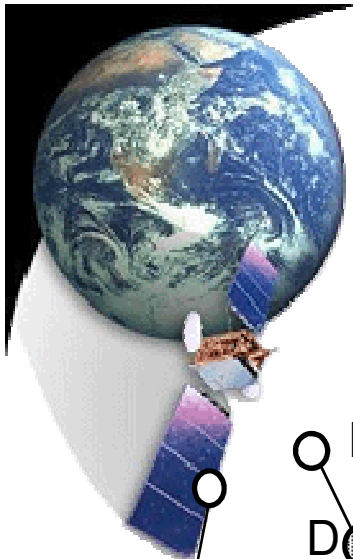




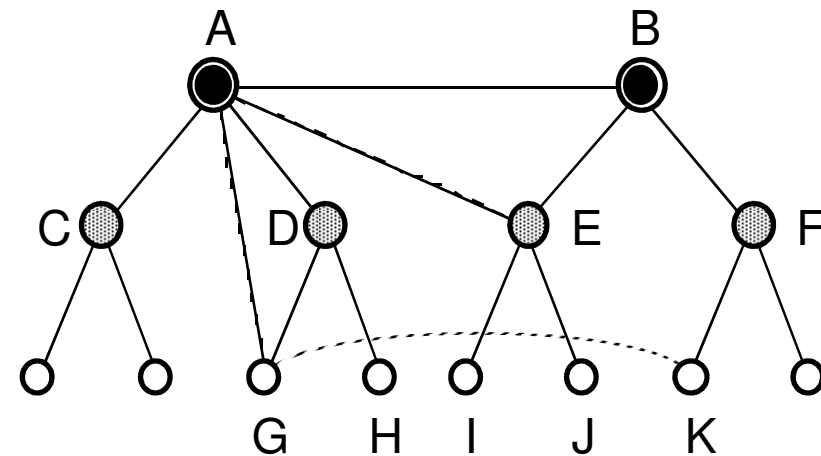
## *Struttura gerarchica*

- I centri di rango più elevato sono di norma connessi con una topologia a maglia completa.
- I centri di rango inferiore sono connessi, di norma con modalità a stella, al centro da cui dipendono gerarchicamente.
- Sono anche ammessi, in deroga a queste regole, rami tra centri geograficamente vicini così caratterizzabili
  - hanno ugual rango e fanno capo allo stesso centro di rango superiore;
  - hanno ugual rango, ma fanno capo a centri di rango superiore diversi;
  - hanno diverso rango e sono gerarchicamente indipendenti.

# Struttura gerarchica



configurazione geografica



Struttura ad albero

○ Centri di rango 1

● Centri di rango 2

⦿ Centri di rango 3



## *Instradamento*

- Tutte le volte che la richiesta di una nuova chiamata viene rivolta alla rete mediante le tecniche di segnalazione, occorre determinare se esiste un cammino sul quale la chiamata potrebbe essere inoltrata verso la destinazione.
- Il problema della ricerca del cammino è relativo alla funzione di instradamento che può essere svolta dalla rete utilizzando procedure ed algoritmi diversi.



## *Instradamento in una rete a circuito*

- In generale, esiste una pluralità di cammini possibili tra un nodo di origine  $N_i$  ed un nodo di destinazione  $N_j$ .
- Normalmente, l'insieme degli instradamenti ammissibili per la relazione di traffico  $(N_i, N_j)$  è un sottoinsieme dei cammini possibili tra il nodo di origine  $N_i$  ed il nodo di destinazione  $N_j$ .



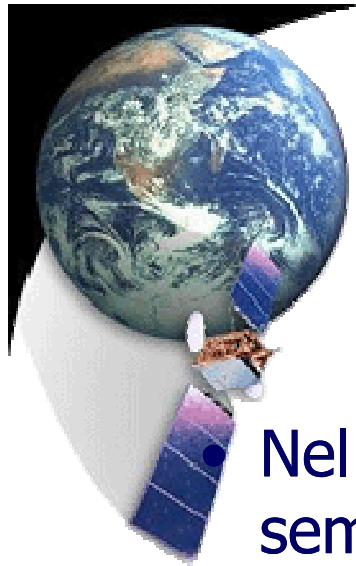
## *Instradamento in una rete a circuito*

- In corrispondenza di un tentativo di chiamata la rete deve:
  - ricercare un cammino disponibile nell'insieme dei cammini ammissibili (instradamento in senso stretto);
  - in caso di esito positivo, decidere se instaurare o meno la chiamata (controllo di flusso);
  - in caso di esito negativo, decidere la sorte della chiamata (perdita o attesa).



## *Politica di instradamento*

- Una politica di instradamento consiste:
  - a) in un insieme di regole che, per ogni chiamata entrante, consentono la scelta del cammino su cui instaurare la relativa connessione, nell'ambito degli instradamenti ammissibili;
  - b) nell'insieme dei dati richiesti per l'effettuazione di tale scelta
- Le politiche di instradamento possono essere di tipo:
  - probabilistico;
  - a trabocco sequenziale.



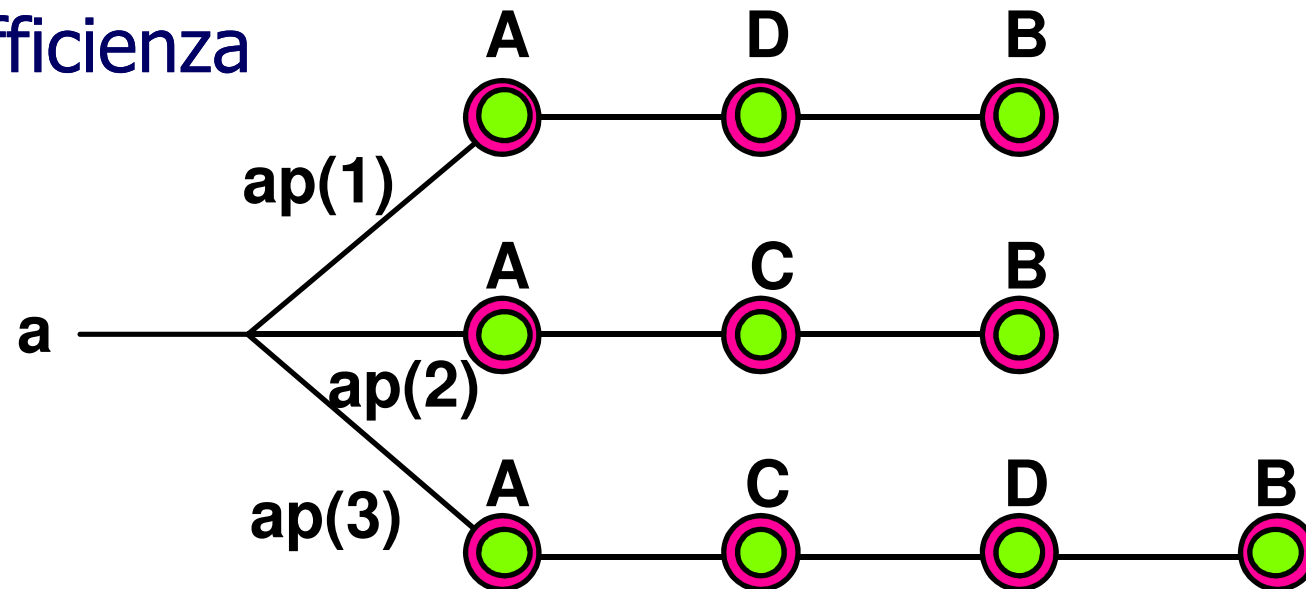
## *Instradamento probabilistico*

- Nel caso di instradamento probabilistico il criterio più semplice è quello della ripartizione di carico (load sharing).
- Ad ogni relazione  $(i,j)$  viene assegnato un insieme  $\check{S}(i,j)$  di  $R$  instradamenti ammissibili.
- Il traffico della relazione  $(i,j)$  è ripartito in  $R$  instradamenti ammissibili.
- Il cammino viene assegnato sulla base di una distribuzione di probabilità  $p(r,i,j)$  ( $r=1,2,\dots,R$ ); se il cammino non è disponibile la chiamata è rifiutata.



## *Instradamento probabilistico*

- Il metodo a ripartizione di carico è caratterizzato da un basso valore di efficienza







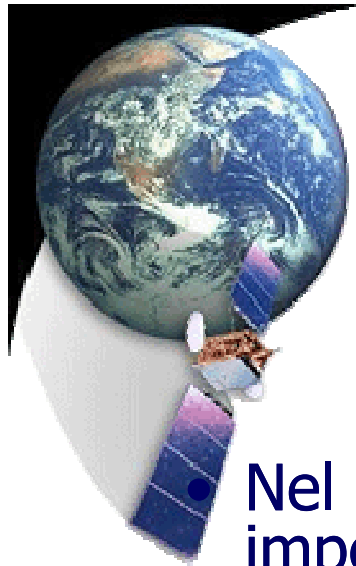
## *Instradamento a trabocco sequenziale*

- Esiste un ordine fissato di esplorazione degli instradamenti ammissibili.
- Si sceglie il primo instradamento che presenta almeno un circuito libero in tutti i fasci componenti.
- Una chiamata trabocca sull'instradamento successivo quando, sull'instradamento precedente, viene riscontrato uno stato di blocco.
- Si esplorano tutti i percorsi possibili secondo un prefissato ordine sequenziale, in modo che un percorso saturo trabocchi sul percorso successivo alla lista.
- Una chiamata viene rifiutata solo se tutti i percorsi ammissibili sono saturi.



## *Instradamento a trabocco sequenziale*

- La possibilità di trabocco è regolata dal tipo di selezione adottata nella rete:
  - selezione passo-passo (sezione per sezione);
  - selezione coniugata (da estremo ad estremo).



## *Selezione passo-passo*

- Nel nodo di origine sono esplorate le vie ammissibili e si impegna quella che offre un circuito libero nel ramo uscente dal nodo d'origine.
- Ad ogni passo, il controllo dell'instradamento passa al nodo successivo che provvede a ricercare un circuito libero verso il nodo di destinazione; se non esiste un circuito disponibile la chiamata è perduta.
- Ogni nodo deve avere solo visibilità locale sui diversi percorsi, cioè conosce solo i rami uscenti su cui provare sequenzialmente l'instradamento, senza sapere cosa fanno gli altri nodi.



## *Selezione passo-passo*

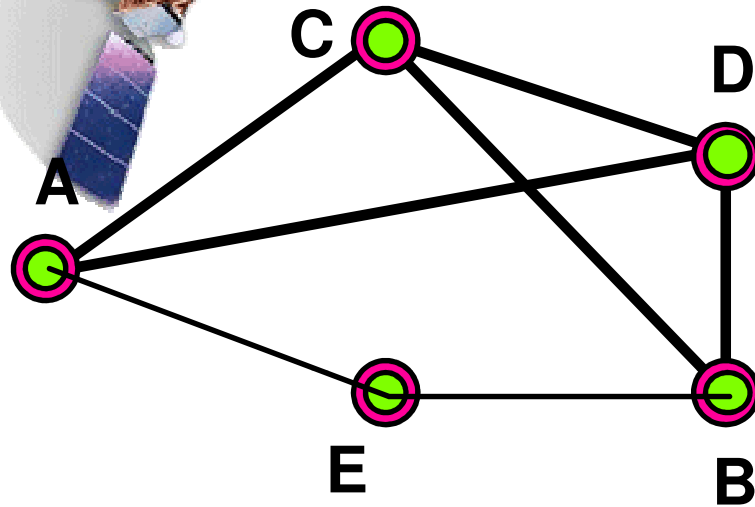
- Il trabocco avviene tra cammini che hanno in comune il percorso fino al nodo che decide il trabocco, poiché il trabocco che da un ramo saturo ad un altro viene deciso da un nodo che origina necessariamente i due rami.



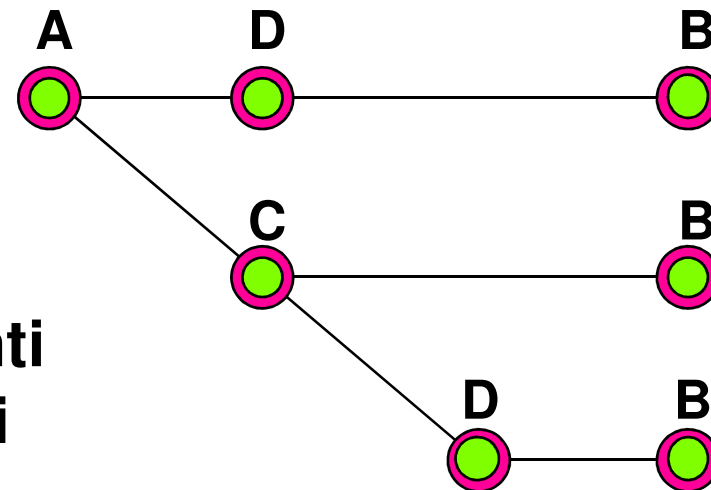
## *Selezione coniugata*

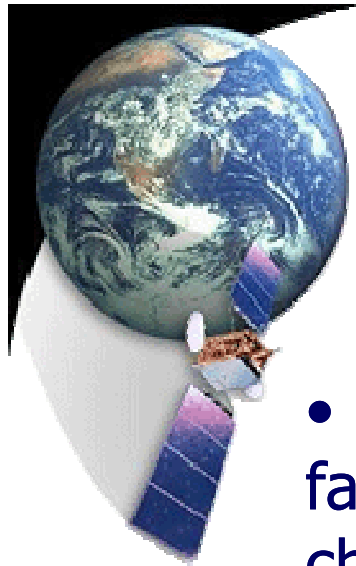
- Il controllo dell'instradamento rimane sempre al nodo di origine.
- Ogni nodo ha visibilità globale della topologia di rete e dispone della tabella d'instradamento.
- E' sempre possibile il trabocco tra tutti gli instradamenti disponibili.
- Fornisce un miglior grado di servizio, ma richiede una maggiore complessità delle procedure di controllo.

## *Esempio: relazione A-B*



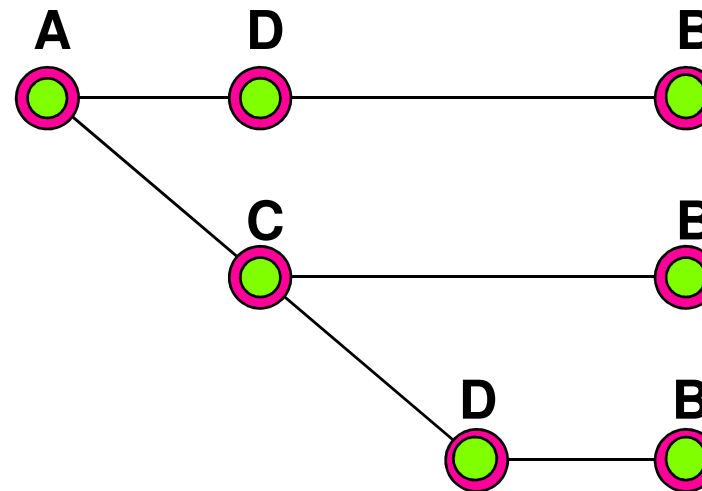
**Instradamenti  
ammissibili**





## *Esempio: relazione A-B*

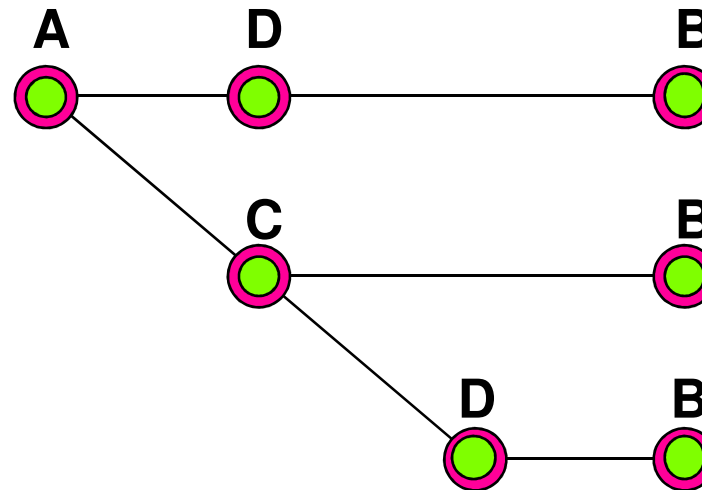
- Nella soluzione passo-passo, se viene impegnato il fascio A-D e nessun circuito è libero nel fascio D-B, la chiamata è rifiutata, anche se altri instradamenti ammissibili presentano circuiti liberi.





## *Esempio: relazione A-B*

- Nella selezione coniugata, in caso di blocco, gli instradamenti ammissibili sono tutti esplorati.



- Le reti attuali utilizzano in gran parte la soluzione di tipo passo-passo.





## *Criteri di instradamento*

Possono essere classificati in:

- Statici (invarianti nel tempo):
  - l'insieme degli instradamenti ammissibili ed i dati su cui agisce la politica di instradamento rimangono invarianti nel tempo; le possibilità di cammino per le chiamate di una stessa relazione rimangono le stesse nel tempo.
- Dinamici:
  - l'insieme dei cammini e l'ordine di percorrenza variano nel tempo;
  - se il criterio di variabilità è basato sullo stato di congestione della rete, si parla di instradamento adattativo.