

RETI A COMMUTAZIONE DI CIRCUITO

Prof. Ing. Maurizio Casoni

Dipartimento di Ingegneria “Enzo Ferrari”
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia

COMMUTAZIONE DI CIRCUITO: GENERALITÀ

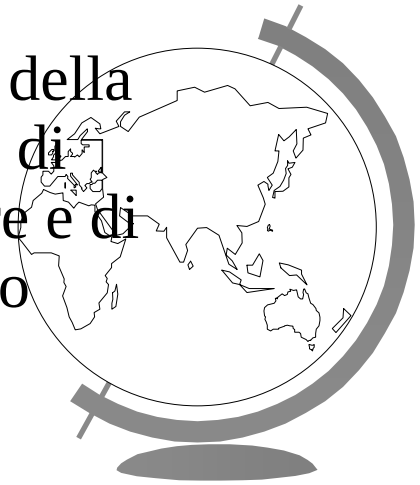
- Per realizzare la comunicazione tra due utenti si stabilisce un circuito dedicato a loro uso esclusivo per l' intera durata della comunicazione mediante allocazione **statica** delle risorse
- Una volta instaurato, il circuito risulta trasparente agli utenti per i quali sembra di disporre di un collegamento diretto
- Concepito per il traffico voce analogico può supportare pure quello numerico dati anche se in modo inefficiente
- Se la topologia di rete non è quella a maglia completa, si distinguono due tipi principali di dispositivi:
  - stazioni o terminali di utente (telefono, computer,…)
  - nodi di commutazione: l' insieme dei nodi si definisce Rete di Telecomunicazioni



COMMUTAZIONE DI CIRCUITO: FASI

Ogni comunicazione che si avvale della commutazione di circuito si svolge in 3 fasi:

- ***Instaurazione o set-up del circuito***: prima della trasmissione dell' informazione occorre stabilire il circuito tra gli utenti terminali attraverso i nodi della rete mediante segnalazione utente-nodo e nodo-nodo
- ***Trasferimento dei dati***: i dati transitano sui canali delle linee prestabilite e vengono commutati dai nodi
- ***Abbattimento o tear-down del circuito***: al termine della comunicazione una delle stazioni mediante segnali di controllo notifica alla rete l' intenzione di terminare e di rilasciare le risorse dedicate a loro fino a quel punto



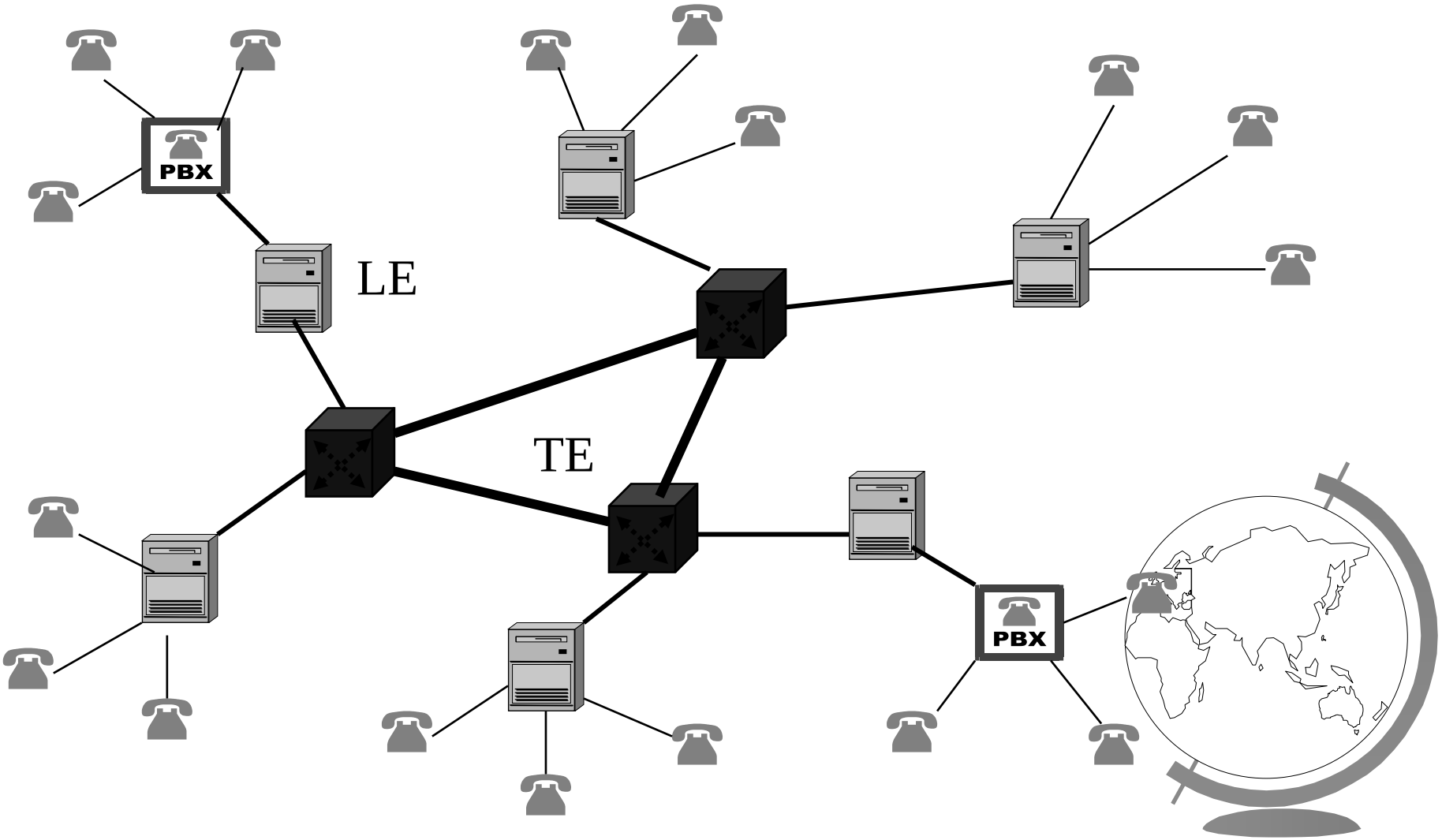
CONFIGURAZIONE DI RETE

Una generica rete per telefonia è data da 5 elementi:

- ***Terminali di utente***
- ***Nodi di accesso*** (LE, Local Exchange, o CO, Central Office): interfacciano gli utenti con altri nodi della rete e fanno da ponte tra la rete di accesso e quella di trasporto
- ***Nodi di transito*** (TE, Transit Exchange): costituiscono la rete di trasporto
- ***Linee di utente*** (subscriber o local loop): collegano l' utente con il nodo di accesso della rete
- ***Linee di giunzione***: interconnettono nodi della rete



CONFIGURAZIONE DI RETE



LINEE DI GIUNZIONE

- Caratterizzate dalla capacità necessaria per un canale telefonico
  - segnale numerico PCM: 64 kbit/s
- Il ramo che collega due nodi è di solito dato da molteplici giunzioni (fascio di giunzioni)
- Viene usata in tempi diversi da utenti diversi e può essere impegnata fino al 100% del tempo
- Anche la linea di utente ha la stessa capacità ma è usata solo da un certo utente



RETI

- ***Reti di accesso***
  - topologia a stella
  - raccoglie/distribuisce il traffico di utente
  - comprende solo linee di utente
- ***Reti di trasporto***
  - topologia a maglia completa o incompleta
  - comprende solo linee di giunzione
  - struttura gerarchica a 5 livelli
    - nodo di livello più basso ha copertura geografica meno estesa ma più capillare del territorio



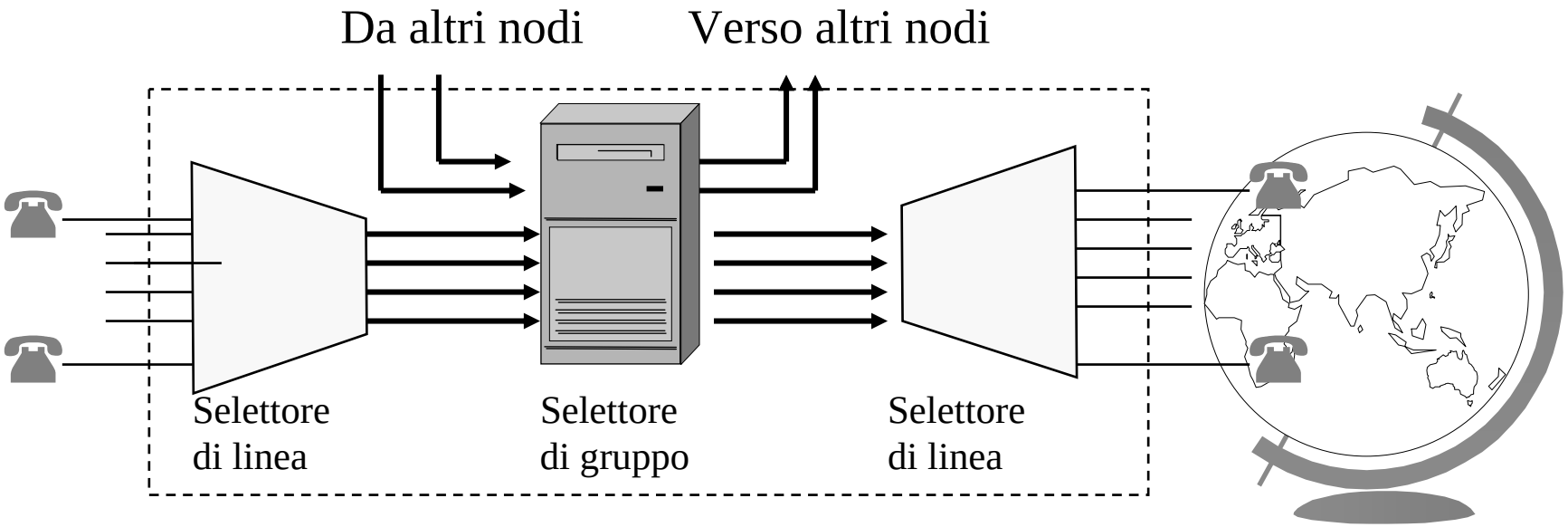
GERARCHIA DEI NODI

	Nord America	Europa ITU-T
Classe 1	Regional center	Quaternary center
Classe 2	Sectional center	Ternary center
Classe 3	Primary center	Secondary center
Classe 4	Toll center	Primary center
Classe 5	End office	Local exchange



NODO DI ACCESSO

- ***Selettore di linea***:
  - concentrazione delle chiamate ricevute dagli utenti locali
  - espansione delle chiamate ricevute e dirette ad utenti locali
- ***Selettore di gruppo***:
  - distribuzione delle chiamate entranti-uscenti mediante connessione di giunzioni entranti con giunzioni uscenti



NODO DI ACCESSO: FUNZIONE DI CONCENTRAZIONE

- Realizza la connessione tra *n* linee di utente ed *m* giunzioni con $n>m$
- Si mettono a disposizione degli *n* utenti *m* giunzioni che consentono fino ad *m* connessioni contemporanee verso utenti locali o remoti
- Linee di utente e di giunzione di pari capacità: 64 kbit/s
- Funzione svolta dal concentratore: capacità totale delle linee di ingresso > di quella delle linee di uscita ($n>m$)
- Possibilità che un utente non trovi una giunzione libera al momento della richiesta di una connessione (blocco)
- Obiettivo: condividere risorse interne della rete in modo da ridurne il costo di installazione ed esercizio per il singolo utente
- Il rapporto *n/m* è il parametro chiave del concentratore: compromesso probabilità di blocco-efficienza
- Nodo di transito non ha il selettore di linea e quindi non opera la funzione di concentrazione/espansione
  - ha il solo selettore di gruppo: connette giunzioni di ingresso e uscita



LINEE DI TRASMISSIONE

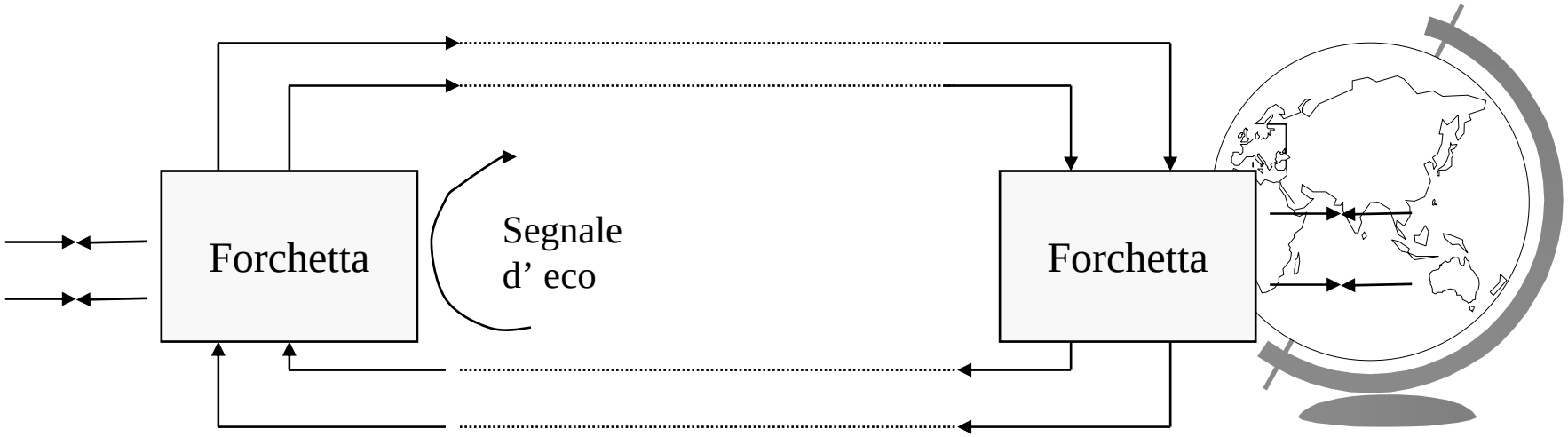
Servizio telefonico è di tipo full-duplex con uso opportuno di due principali linee di trasmissione:

- ***Linee a due fili***: i segnali nelle due direzioni condividono lo stesso mezzo trasmissivo (doppino in rame)
  - si usa TDM o FDM
  - usate nella rete di accesso
- ***Linee a quattro fili***: i segnali nelle due direzioni usano coppie distinte
  - una giunzione è un esempio di linea a quattro fili
  - usate nella rete di trasporto



FORCHETTA

- Dispositivo che interfaccia linee a due fili con linee a quattro
- Si trova nel nodo di accesso
- Invia il segnale trasmesso dall' apparato locale sulla linea uscente e quello ricevuto sulla linea entrante sullo stesso doppino di utente
- Dispositivo passivo dato da trasformatori: non ideale
  - parte della potenza del segnale ricevuto sulla linea entrante finisce nella linea uscente ritornando all'utente remoto producendo un fenomeno di eco
  - fino a 40 ms tale disturbo è irrilevante, oltre occorre prendere provvedimenti (soppressore e cancellatore d'eco)



SOPPRESSORE E CANCELLATORE D'ECO

- ***Soppressore di eco***:
  - inserisce un' attenuazione molto alta (35 dB) sulla linea uscente (entrante) se viene rilevato un segnale sulla linea entrante (uscente) del circuito a quattro fili
  - evita che l' eco giunga all'utente remoto o che sia ricevuto da quello locale
  - Problema: se i due parlatori si sovrappongono si perde la prima parte del discorso del nuovo utente perché il tempo di commutazione del dispositivo è di circa 5 msec
- ***Cancellatore di eco***:
  - sottrae algebricamente sulla linea uscente una replica del segnale ricevuto sulla linea entrante con opportuno ritardo ed attenuazione



RETE TELEFONICA

- Si considera l'esempio di TELECOM ITALIA
- Fino agli anni '80 era perfettamente rispondente ai 5 livelli ITU-T

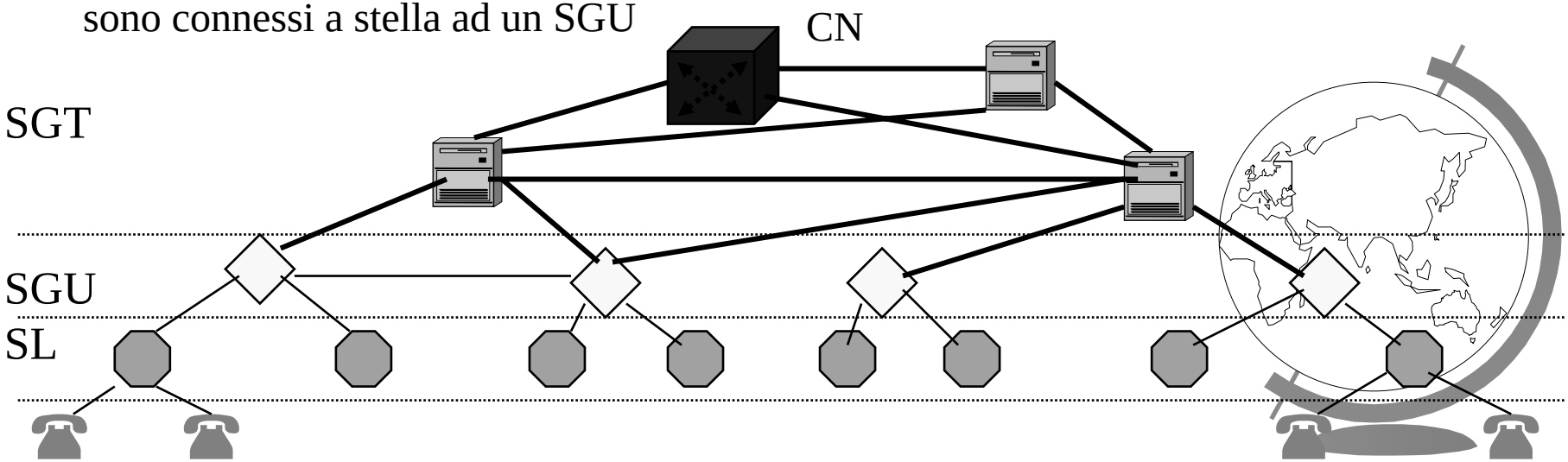
	Telecom Italia	Europa ITU-T
Classe 1	Centro di compartimento nazionale	Quaternary center
Classe 2	Centro di compartimento	Ternary center
Classe 3	Centro di distretto	Secondary center
Classe 4	Centro di settore	Primary center
Classe 5	Centro di rete urbana	Local exchange



RETE TELEFONICA

Con l'evoluzione verso reti numeriche la gerarchia si è semplificata a quattro livelli:

- ***Stadio di gruppo di transito*** (SGT): rete magliata a livello nazionale e svolge funzioni dei primi due livelli avendo un centro nazionale (CN) per commutare giunzioni attestate all'estero
- ***Stadio di gruppo urbano*** (SGU): serve 60.000-100.000 utenti ed è collegato ad almeno un SGT; per esigenze di traffico gli SGU possono anche essere collegati fra loro
- ***Stadio di linea*** (SL): interfaccia gli utenti ed opera la concentrazione; diversi SL sono connessi a stella ad un SGU



PIANO DI NUMERAZIONE

- Definisce la modalità di assegnazione del numero di utente in funzione della sua posizione geografica
- Deve agevolare l'operazione di commutazione da parte dei nodi per l' instaurazione della chiamata
- Utenti sono raggruppati per aree geografiche e viene assegnato loro una parte uguale iniziale del loro numero telefonico (prefisso Stato o country code, prefisso di distretto)
- Vi sono due piani di numerazione:
  - uniforme
    - tutti i numeri di utente sono di lunghezza costante
    - 3 cifre di prefisso e 7 di utente, di cui 3 identificano il nodo di accesso e le altre 4 la linea di utente in quel nodo
  - non uniforme
    - la lunghezza del numero è variabile e dipende dalla posizione dell'utente
    - numero di utente al massimo è di 15 cifre diminuito del prefisso dello Stato; dato da due campi di cui il primo è un prefisso (National Destination Code) ed il secondo indica il numero di utente (Subscriber Number); NDC può mancare nel piano di numerazione nazionale e questo avviene in Italia



TECNICHE DI INSTRADAMENTO

- **Obiettivo**: instradare una chiamata sulla base del numero del chiamato
- Molteplicità di percorsi possibili che collegano chiamante-chiamato comporta necessità di adottare in ogni nodo una politica di instradamento:
  - elenco di tutti i percorsi possibili
  - stabilirne un ordine
- Uso di grafo per rappresentare la topologia della rete
  - nodo del grafo rappresenta un nodo della rete
  - ramo del grafo rappresenta un fascio di giunzioni
- Queste tecniche si suddividono in:
  - ***tecniche invarianti***
  - ***tecniche dinamiche***: le decisioni possono cambiare in funzione della misura del traffico, dell'istante di tempo, ecc.
- Inoltre, si può operare in due modi per la scelta del percorso:
  - *criteri probabilistici*: ad ogni percorso possibile è assegnata una probabilità
  - *trabocco sequenziale*: tutti i percorsi sono esplorati in sequenza secondo un certo ordine e se un percorso è saturo si trabocca nel successivo

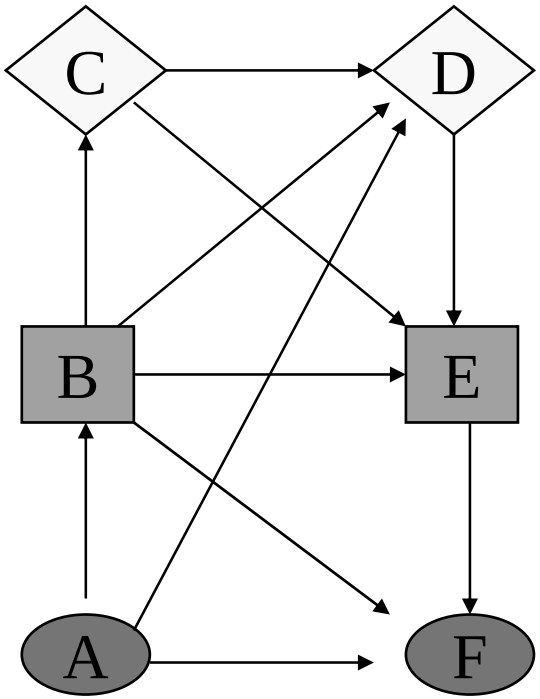


INSTRADAMENTO IN RETI GERARCHICHE

- **Obiettivo**: costruzione della tabella di instradamento tra due nodi arbitrari
- Si assegna un peso ad ogni nodo della rete che si trova ad un livello superiore nella gerarchia rispetto ai nodi origine (O) e destinazione (D), che hanno invece peso zero
  - si determina il percorso più lungo attraverso la gerarchia tra O e D e si numerano i nodi da D verso O in modo crescente cominciando da D=0
  - ad ogni nodo è assegnato il peso 2^{i-1} dove i è il numero assegnatogli
- Il peso di un percorso è dato dalla somma dei pesi dei nodi attraversati
- Percorso diretto o di prima scelta: percorso a peso zero
- Percorso fondamentale o di ultima scelta: percorso di peso massimo
- Una chiamata è rigettata se non può essere servita neanche utilizzando il percorso fondamentale
- Tabella di instradamento può essere costruita ordinando i percorsi in ordine crescente di peso dal percorso diretto a quello fondamentale



INSTRADAMENTO IN RETI GERARCHICHE: ESEMPIO

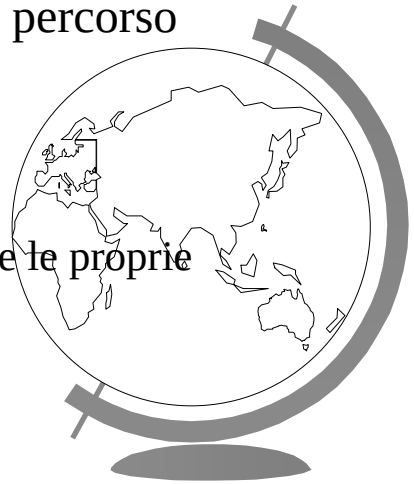


Relazione	Percorso	Peso
A-E	ADE ABE ABDE ABCE ABCDE	1 4 5 6 7
B-E	BE BDE BCE BCDE	0 1 2 3
C-D	CD	0
C-F	CEF CDEF	1 3

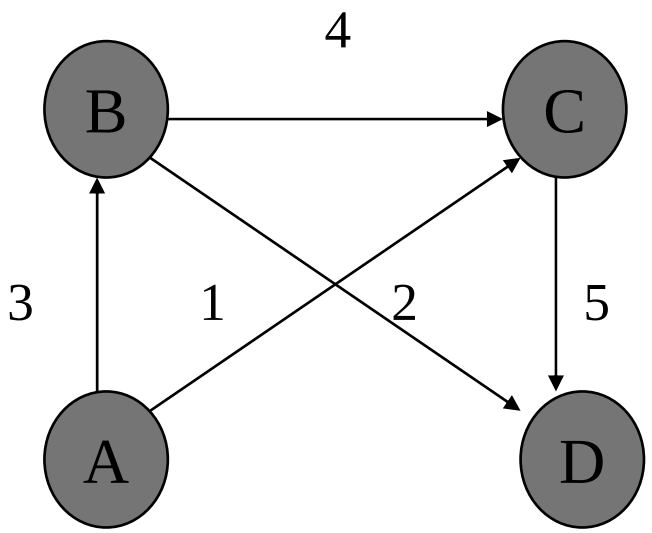
TECNICHE DI INSTRADAMENTO INVARIANTI

Si basano sulla segnalazione tra nodi che può essere di due tipi:

- ***Selezione passo-passo***
  - ogni nodo della rete realizza un passo della selezione del percorso corrispondente ad un certo ramo uscente
  - disponibilità di più percorsi comporta la scansione sequenziale dei rami uscenti ed userà il primo non saturo
  - chiamata bloccata se tutti i rami sono già impegnati
- ***Selezione coniugata***
  - il nodo di origine seleziona tutto l'instradamento sulla base di una tabella che riporta tutti i percorsi possibili
  - tale nodo verifica la disponibilità di giunzioni presso i nodi sul percorso desiderato interrogandoli sequenzialmente
  - il controllo della chiamata rimane sempre al nodo origine
  - Prestazioni superiori a scapito di una maggiore complessità
    - ad ogni cambiamento topologico TUTTI i nodi devono aggiornare le proprie tabelle



TECNICHE DI INSTRADAMENTO INVARIANTI: ESEMPIO



Rete gerarchica con selezione passo-passo o coniugata

Relazione A-D

Percorso	Fasci
I	1 5
II	3 2
III	3 4 5

Si considera il trabocco sequenziale



TECNICHE DI INSTRADAMENTO DINAMICHE

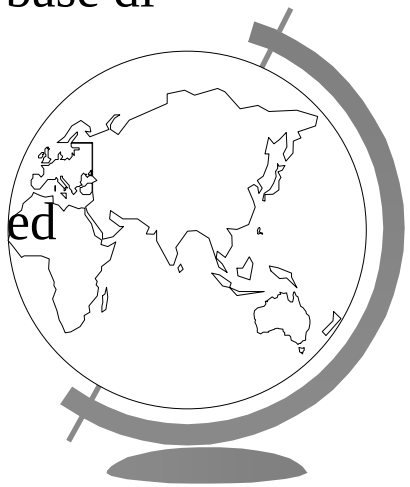
- Pensate per far fronte a picchi di traffico, guasti e, in generale, eventi non previsti al momento della progettazione e messa in opera della rete
- Consentono di adattare il processo di instradamento di una chiamata all'evoluzione della rete
- Gli algoritmi che implementano tali tecniche vanno a modificare le tabelle di instradamento
- Considerando il modo di rilevazione dello stato della rete vi sono due classi principali:
  - *Algoritmi temporali*
    - modificano le tabelle periodicamente in funzione di previsioni di traffico
  - *Algoritmi adattativi*
    - modificano le tabelle in base a misure di traffico



ALGORITMI ADATTATIVI

Si suddividono in tre classi principali:

- ***Centralizzati***
  - tabelle sono generate da singolo centro di controllo e poi distribuite agli altri nodi della rete
- ***Distribuiti***
  - tabelle sono generate localmente nei singolo nodi sulla base di misure di traffico scambiate con i nodi adiacenti
- ***Isolati***
  - tabelle generate dai singoli nodi sulla base dei successi ed insuccessi nell' instaurazione delle proprie chiamate

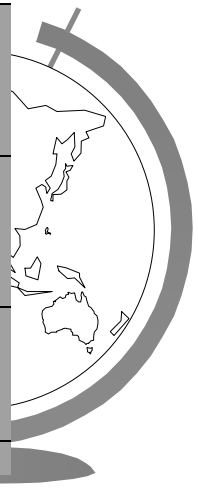


ALGORITMO DNHR

- *Dynamic Non-Hyerarchical Routing* (AT&T dal 1984 al 1991)
- Primo algoritmo dinamico adottato in rete telefonica
- Algoritmo di tipo temporale con tabelle configurate in base a previsioni del traffico in funzione della fascia oraria della giornata e del giorno della settimana
- Per ogni destinazione il nodo dispone di una lista ordinata di nodi verso cui tentare l' instradamento della chiamata

Relazione A - B

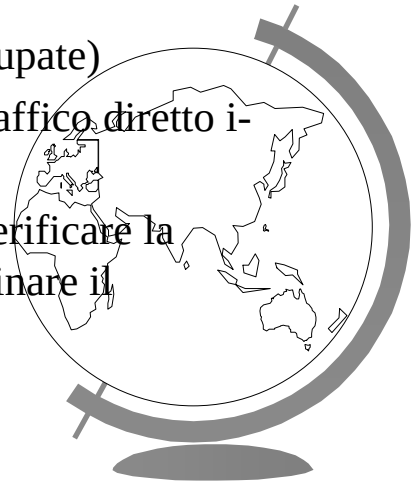
Mattina	X	Y	Z	W
Pomeriggio	X	Z	Y	W
Sera	Y	X	Z	W



ALGORITMO DCR

- *Dynamic Controlled Routing*
- Impiegato da Stentor Canada, Bell Canada, Sprint, MCI (1991-1995)
- Controllo centralizzato che impiega come variabile di decisione la capacità residua dei fasci al momento della rilevazione periodica dello stato della rete
- Ogni 10 sec circa il nodo centrale riceve informazioni sullo stato di occupazione dei fasci, elabora le nuove tabelle di instradamento da impiegare nell'intervallo successivo e le trasmette a tutti i nodi della rete
- Consideriamo una generica relazione di traffico dal nodo i al nodo j
  - il percorso di prima scelta è quello diretto, se esiste
  - N(i,k): numero di giunzioni nel fascio da i a k
  - x(i,k): numero di giunzioni che si prevedono occupate (o quello ora occupate)
  - r(i,k): numero di giunzioni che nel fascio da i a k sono riservate per il traffico diretto i-k (soglia di protezione del traffico diretto)
  - per instradare il traffico da i a j attraverso un generico nodo k occorre verificare la disponibilità d(i,k) e d(k,j) di giunzioni sui due fasci in serie per determinare il percorso di seconda scelta e sarà

$$d(i,k) = \max[N(i,k) - x(i,k) - r(i,k), 0]$$



ALGORITMO DCR (segue)

- Essendo un percorso di due passi, la disponibilità da i a j è data da:

$$C(i,k,j) = \min [d(i,k) , d(k,j)]$$

- La via di seconda scelta attraverso il generico k viene selezionata in modo aleatorio con probabilità:

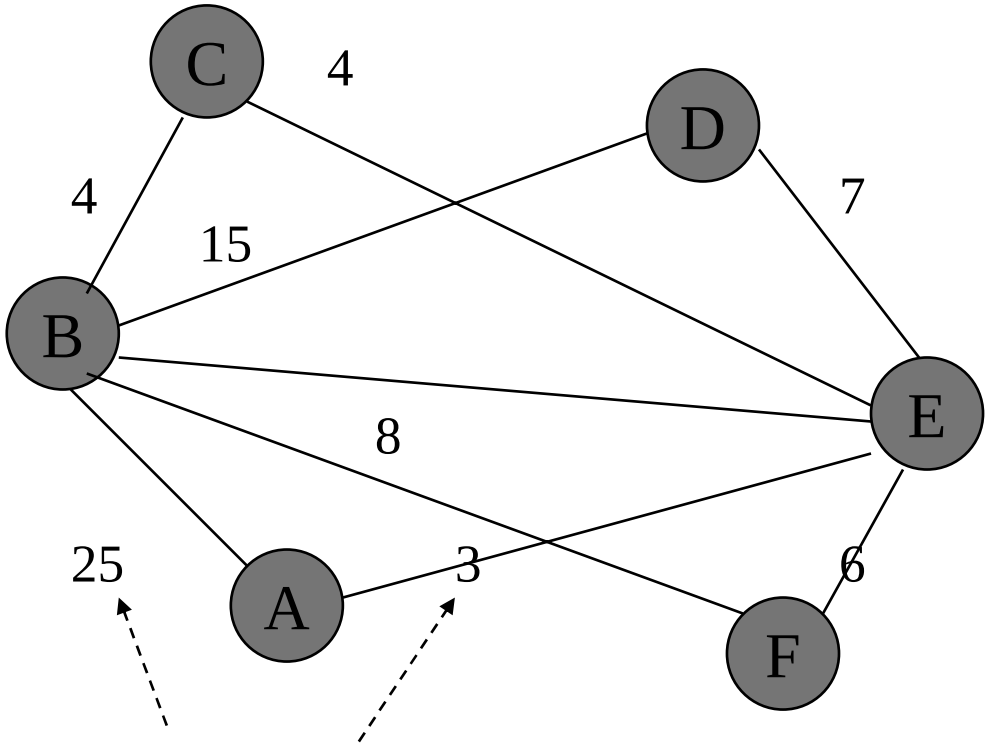
$$p(k;i,j) = \frac{C(i,k,j)}{\sum_{n \in \Pi(i,j)} C(i,n,j)}$$



- in cui Π(i,j) è l'insieme dei nodi di transito per i percorsi a due passi da i a j
- Si scelgono di più i percorsi con maggior disponibilità e l'aspetto probabilistico riduce gli effetti di previsioni errate

ALGORITMO DCR: ESEMPIO

Ipotesi: N(i,k)=30 e r(i,k)=3 giunzioni su ogni collegamento



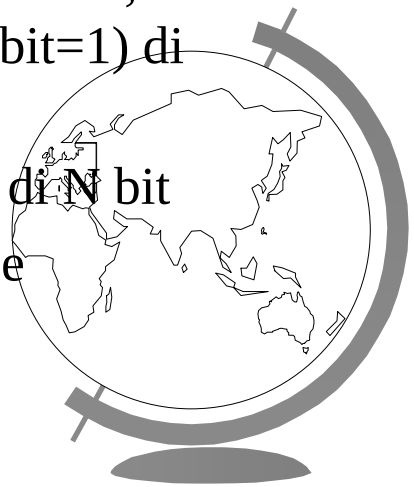
Numero di giunzioni occupate in ogni fascio

Transito	C(B,k,E)	p(k,B,E)
A	2	0.04
B	-	-
C	23	0.41
D	12	0.21
E	-	-
F	19	0.34

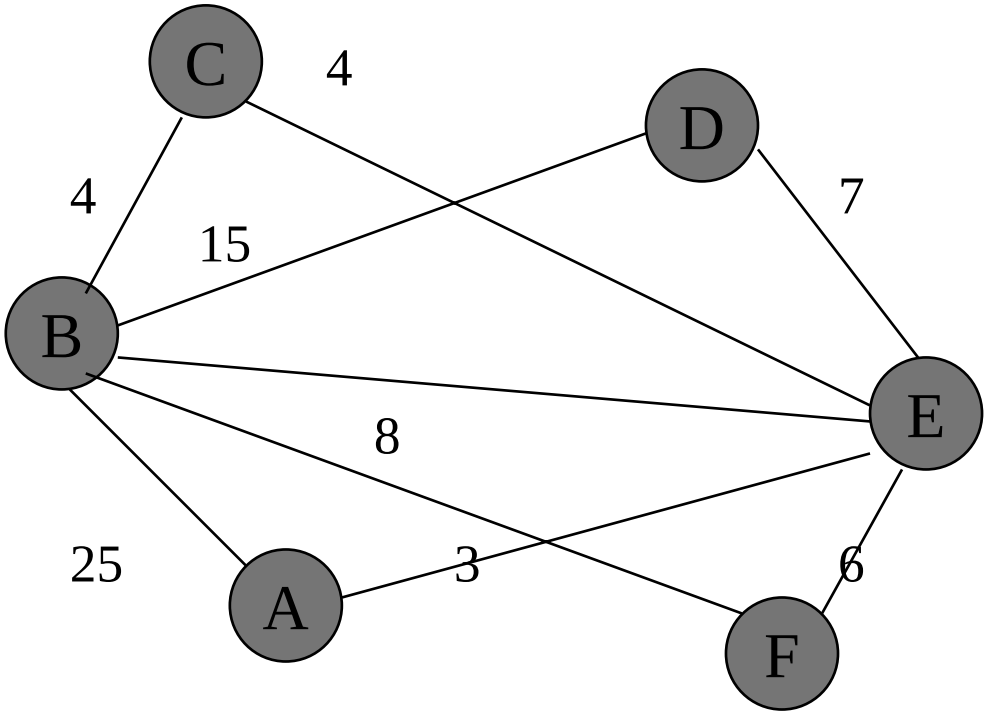


ALGORITMO RTNR

- *Real Time Network Routing*, usato da AT&T dal 1991
- Algoritmo che ha per prima scelta il fascio diretto e, se saturo, seleziona come seconda scelta quello meno carico tra quelli a due passi
- Algoritmo di tipo distribuito
  - nodi adiacenti si scambiano informazioni sul livello di utilizzazione dei singoli fasci
  - si può definire una soglia di fasci occupati, ad esempio 60%, e trasmettere con singolo bit=0 il superamento o meno (bit=1) di tale soglia
  - informazione su N nodi di reca quindi con una stringa di N bit
- Mediante operazioni di AND logico tra stringhe e possibile determinare i nodi da utilizzare per i percorsi migliori



ALGORITMO RTNR: ESEMPIO



30 giunzioni disponibili su ogni link
soglia=60%=18 giunzioni

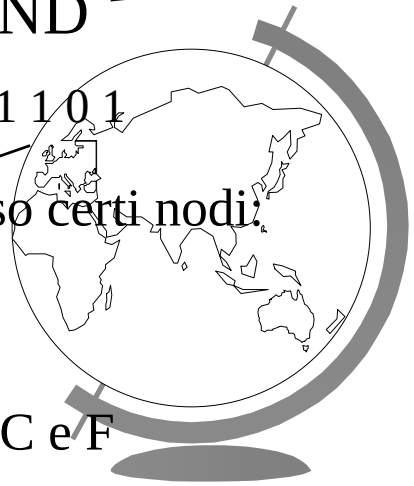
Determinare i migliori percorsi a 2 passi tra B ed E

A B C D E F
B:0 0 1 1 0 1

A B C D E F
E: 1 0 1 1 0 1

AND

0 0 1 1 0 1



Se, come ulteriore vincolo, si autorizzasse il trasito solo attraverso certi nodi:

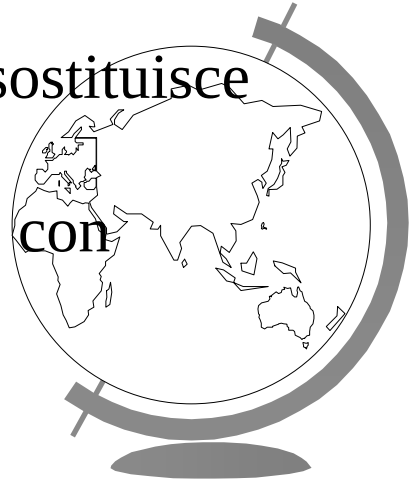
1 0 1 0 0 1 → AND

0 0 1 0 0 1

Conclusione: i percorsi migliori a 2 passi sono attraverso i nodi C e F

ALGORITMO DAR

- Dynamic Alternative Routing, usato da BT e Norwegian Telecom nel 1996
- Algoritmo di tipo isolato da parte di ogni singolo nodo
- Percorso di prima scelta è sempre il fascio diretto mentre quello di seconda scelta è sempre a due passi e coincide con quello scelto per la chiamata precedente per gli stessi nodi origine e destinazione
- Nel caso in cui quest' ultimo è bloccato, si sceglie aleatoriamente un nuovo percorso a due passi che sostituisce il precedente
- Algoritmo che combina l'instradamento a trabocco con quello a ripartizione di carico



RIEPILOGO

Dinamica	Algoritmo	Elaborazione instradamento	Variabile decisionale	Frequenza
Temporale	DNHR	Centralizzata	Capacità Residua fasci	Ore/giorni
Adattativa	DCR	Centralizzata	Capacità Residua fasci	10 sec
	RTNR	Distribuita	Capacità Residua fasci	Di chiamata
	DAR	Isolata	Insuccesso chiamata precedente	Di chiamata

