

Corso di Sistemi Telematici

La rete telefonica

Prof. S. Marano

Università della Calabria

A.A. 2014-2015

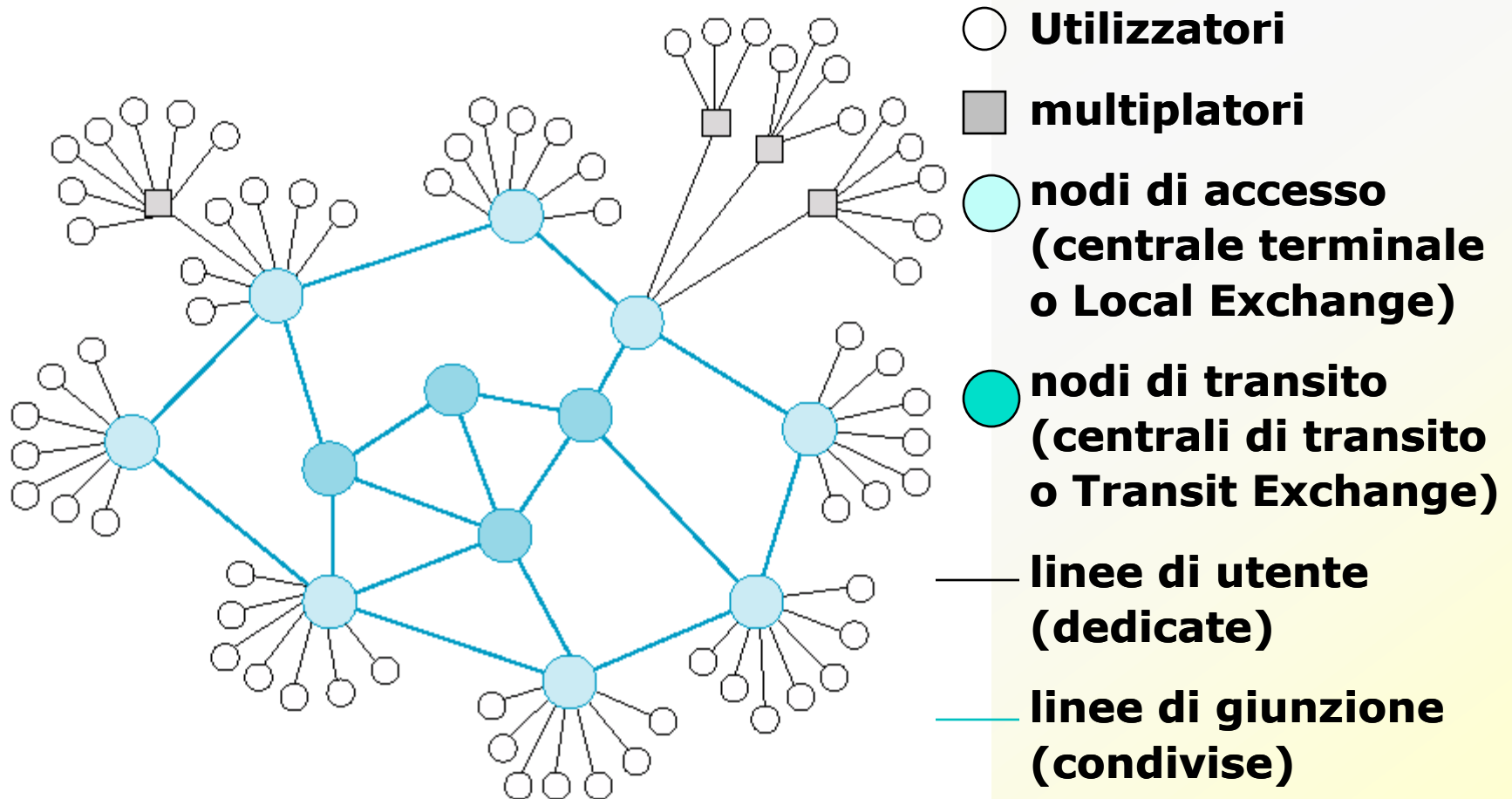
Sistema telefonico

- **Il servizio di telefonia si basa sulla **commutazione di circuito****
 - **Alloca a priori le risorse di rete necessarie per la comunicazione**
- **Il servizio consiste in una chiamata telefonica e si articola in tre fasi**
 - **Instaurazione:** la rete determina il percorso verso la destinazione e riserva le risorse di rete necessarie
 - **Connessione:** gli utenti connessi si scambiano informazioni (flussi PCM nel servizio telefonico di 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 di rete) lungo un portante trasmissivo (rame, fibra, etere, ecc.).
 - ★ Trasmissione numerica (PCM su gerarchie PDH e SDH)
 - ★ Accesso analogico (telefonia tradizionale) o numerico (ISDN e telefonia mobile)
 - **Sistema di commutazione:** attua fisicamente la connessione end-to-end (serie di canali e nodi di commutazione)
 - **Sistema di segnalazione:** trasferisce informazioni di segnalazione per controllare il funzionamento della rete nel suo complesso
 - ★ Utente-rete
 - ★ Tra nodi di rete

Configurazione di rete



Centrali telefoniche

➤ Centrali d'accesso

- ↗ interfacce d'accesso tra rete ed utenti**
- ↗ commutazione locale e instradamento verso la rete**
- ↗ topologia a stella (contiene solo linee di utente)**

➤ Centrali di transito

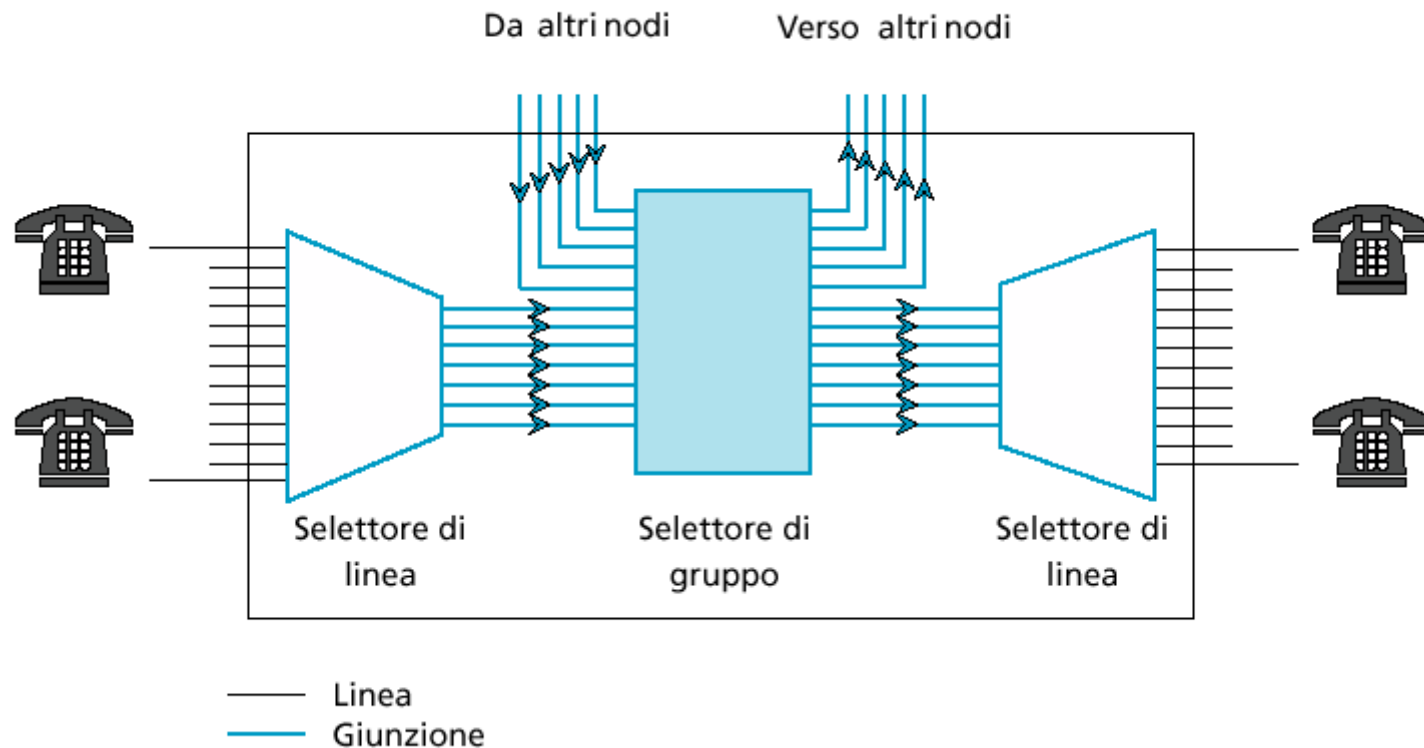
- ↗ nodi di transito della rete non connessi ad alcun utente in modo diretto**
- ↗ topologia a maglia (contiene solo linee di giunzione)**

Centrali telefoniche

➤ Centrali d'accesso

- servono da un lato gli utenti e dall'altro le giunzioni
- dato il basso carico generato da ciascun utente sono di solito divise in due parti:
 - ★ stadio di **concentrazione** (dualmente in uscita esiste lo stadio di **espansione**)
 - ★ stadio di **distribuzione** (rete di commutazione)

Centrali telefoniche



- **Selettore di linea**
 - funzioni di **concentrazione/espansione**
- **Selettore di gruppo**
 - funzioni di **distribuzione**

Centrali telefoniche

- **lo stadio di concentrazione $n \times m$ (n linee di utente, m linee di giunzione) è caratterizzato da $m < n$ in modo da avere le m linee d'uscita sufficientemente cariche**
 - ★ **nota la differenza col multiplatore!**
 - ★ **al crescere di m si riduce la probabilità di blocco di una chiamata (migliore servizio) ma si riduce anche l'utilizzazione media della singola giunzione (maggiore costo unitario di chiamata)**
 - ★ **valori tipici di n/m sono nell'intervallo 5-10**

Centrali telefoniche

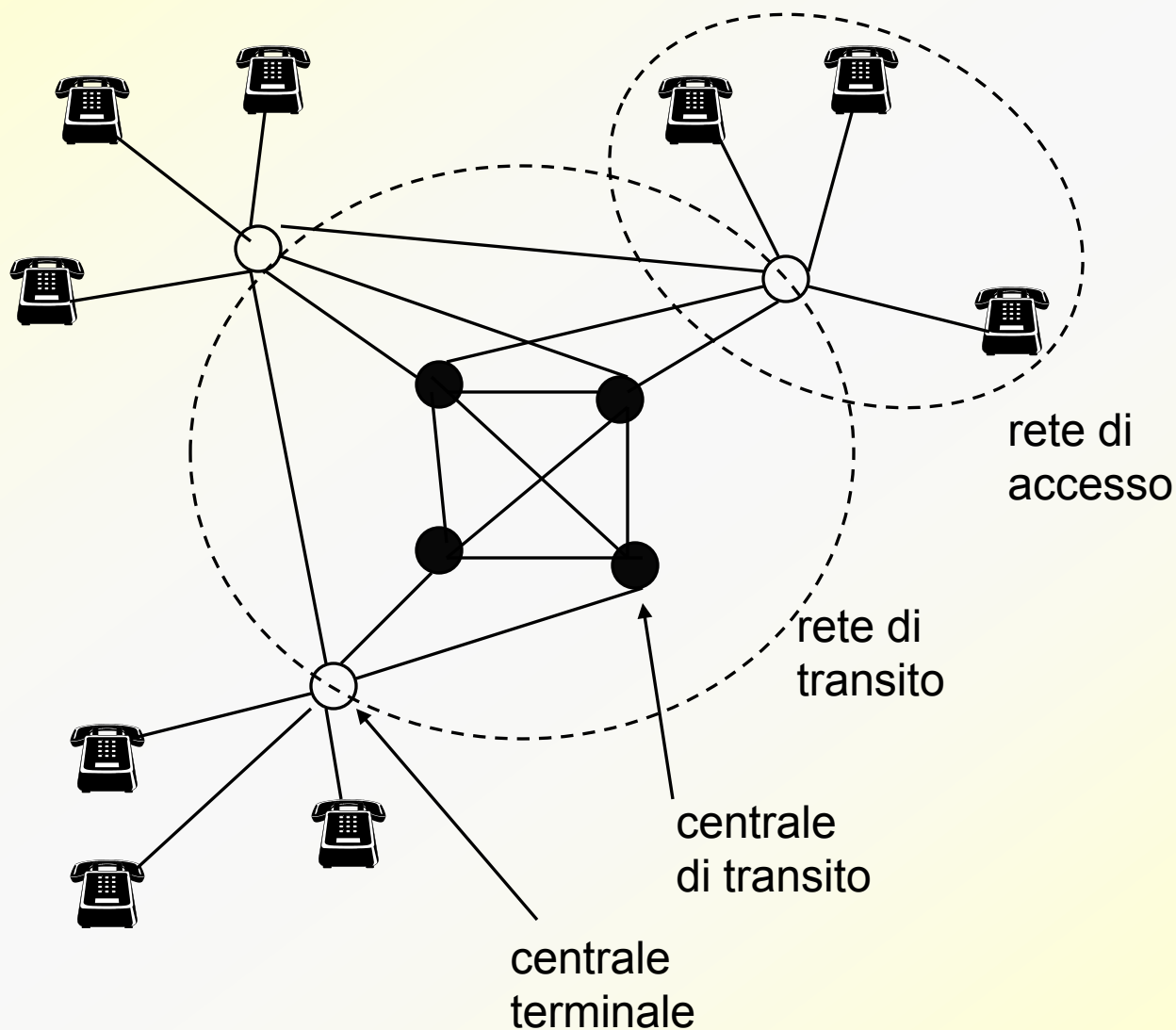
➤ Centrali d'accesso

- nel caso di accesso analogico lo stadio di concentrazione ha anche il compito di formare i flussi PCM**

➤ Centrali di transito

- Si differenzia da una centrale di accesso per l'assenza del selettore di linea**
- la commutazione avviene direttamente sui flussi multiplati PCM**
- operano di solito su matrici quadrate**

Architettura della rete



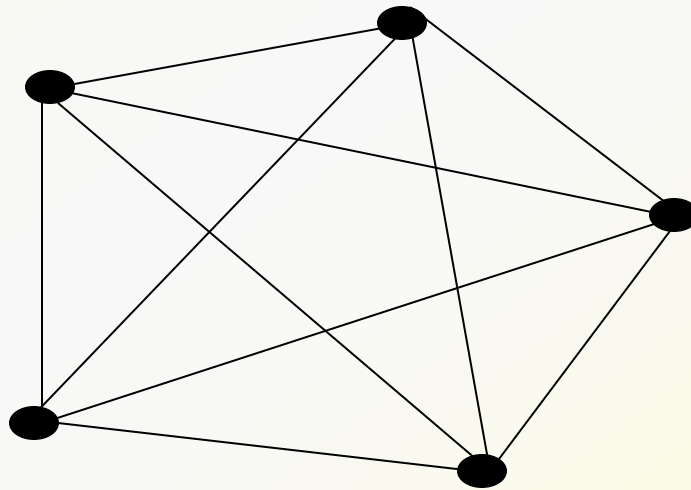
Architettura di rete

- **L'architettura della rete è definita dalla dislocazione geografica delle centrali telefoniche, dai fasci che le connettono e dalla loro molteplicità (numero di circuiti)**
- **Definire un'architettura ottima di una rete telefonica, noto il traffico che deve servire, è un compito possibile anche se molto complesso**
- **Nella pratica i vincoli tecnici sono solo una parte dei vincoli che il progettista deve tenere in conto e quindi l'architettura che ne risulta è il frutto di scelte dettate spesso da criteri euristici**

Definizione dell'architettura

Criterio 1)

- **Se c'è molto traffico tra gli utenti di due nodi conviene collegarli mediante un collegamento diretto**
 - ↗ **se applicato a tutta la rete porta a costruire una rete completamente magliata**

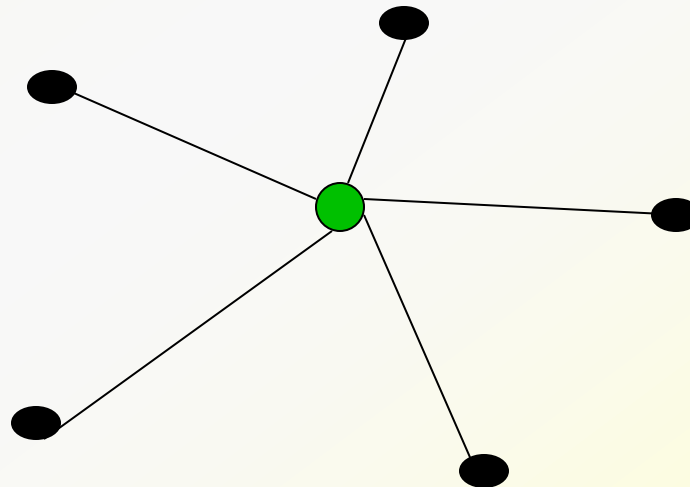


Definizione dell'architettura

➤ **Criterio 2)**

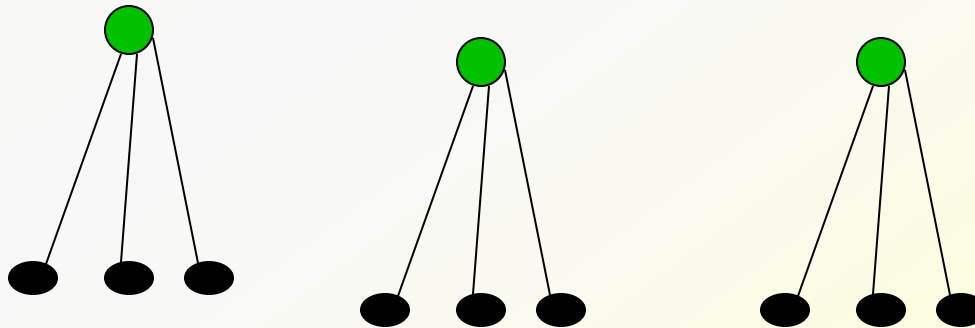
➤ **se invece il traffico non è molto elevato conviene collegare più nodi mediante un nodo di transito intermedio**

➤ **l'architettura che ne risulta è a stella**



Definizione dell'architettura

- **Nel collegamento a stella il nodo di transito assume il significato di livello gerarchico superiore rispetto ai nodi d'accesso**
- **se si dividono le centrali d'accesso in aree e si usa il criterio a stella per i nodi di una stessa area è possibile collegare tra loro le centrali di transito per completare la rete**



Definizione dell'architettura

- **La definizione dei collegamenti tra i nodi di transito può essere ispirato agli stessi criteri**
- **se si usa ancora il criterio a stella è possibile costruire un livello gerarchico superiore**
- **La rete di trasporto è in genere caratterizzata da una **struttura gerarchica****
 - **nella pratica l'architettura può essere a più livelli gerarchici, ma i nodi di uno stesso livello possono essere collegati tra loro quando il traffico tra le aree servite è di un livello elevato**

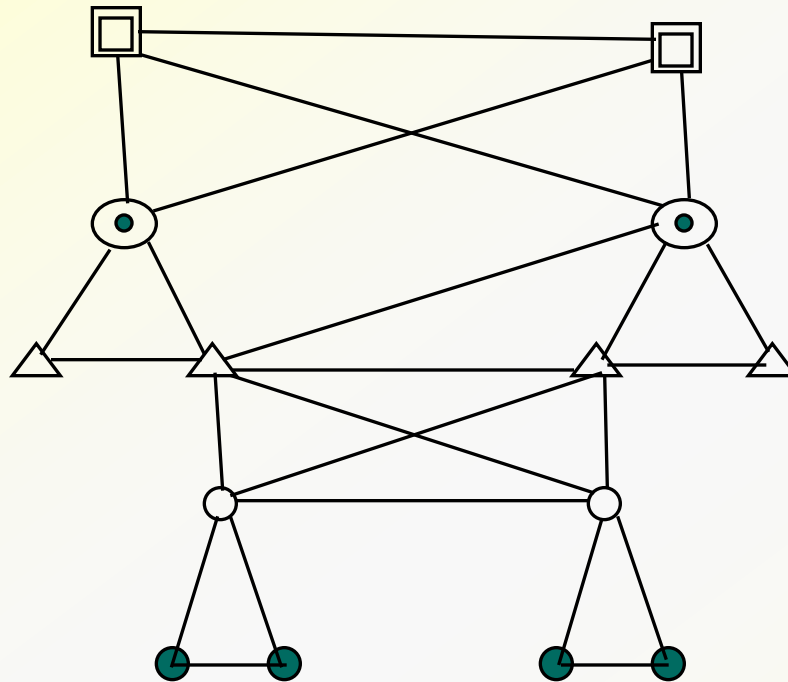
Definizione dell'architettura

- **Regola:** una chiamata viene instradata attraversando il minor numero di nodi e impegnando i nodi del livello gerarchico più basso, compatibilmente con la topologia della rete
- In generale, una rete gerarchica comprende 5 livelli:
 - al livello più basso (il quinto) si trovano le centrali terminali
 - agli altri livelli corrispondono centrali di transito
 - il numero di nodi a ogni livello diminuisce a livelli gerarchici superiori
 - i nodi di livello 1 garantiscono connettività internazionale

Definizione dell'architettura

- **I nodi di livello 1 e 2 sono generalmente connessi a maglia (completa se il numero di nodi è piccolo)**
- **A partire dal livello 2, scendendo verso il basso della gerarchia, ogni nodo del livello i è connesso a stella ai nodi del livello $i+1$ che rientrano nella sua area geografica di competenza**
- **Collegamenti tra nodi di uguale livello (collegamenti orizzontali) sono presenti ogni volta che sia necessario in base al traffico diretto tra i nodi in questione**
- **Possono essere presenti collegamenti tra centrali di livelli non adiacenti, per esigenze di migliore distribuzione del traffico in rete**
- **Il numero max di collegamenti in serie che compongono una connessione in ambito nazionale è 9, in ambito internazionale è 12**

Architettura gerarchica



□ centro nazionale

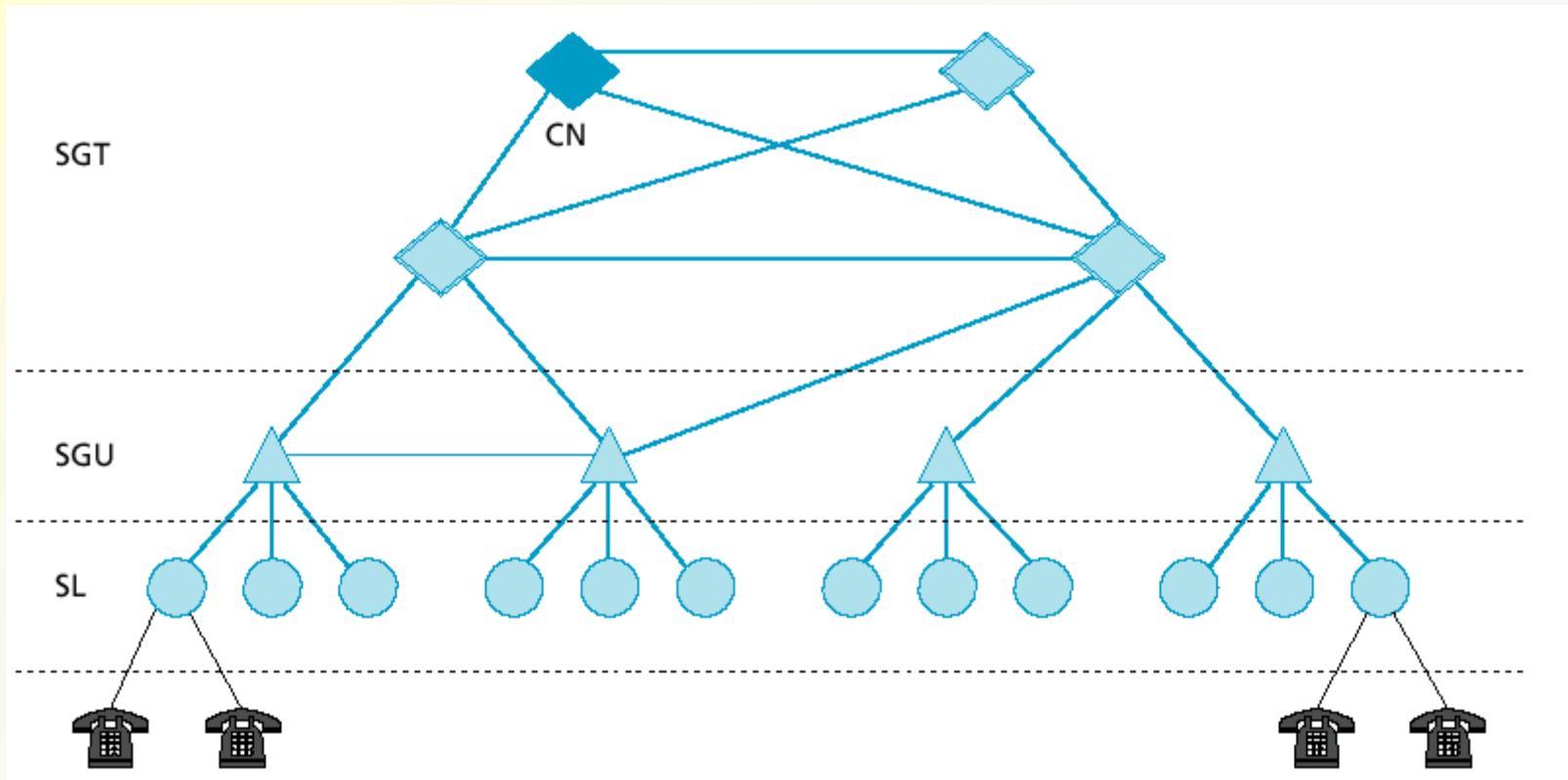
● centro di
compartimento

△ centro di
distretto

○ centro di settore

● centro urbano

Es. rete gerarchica in Italia (Telecom)



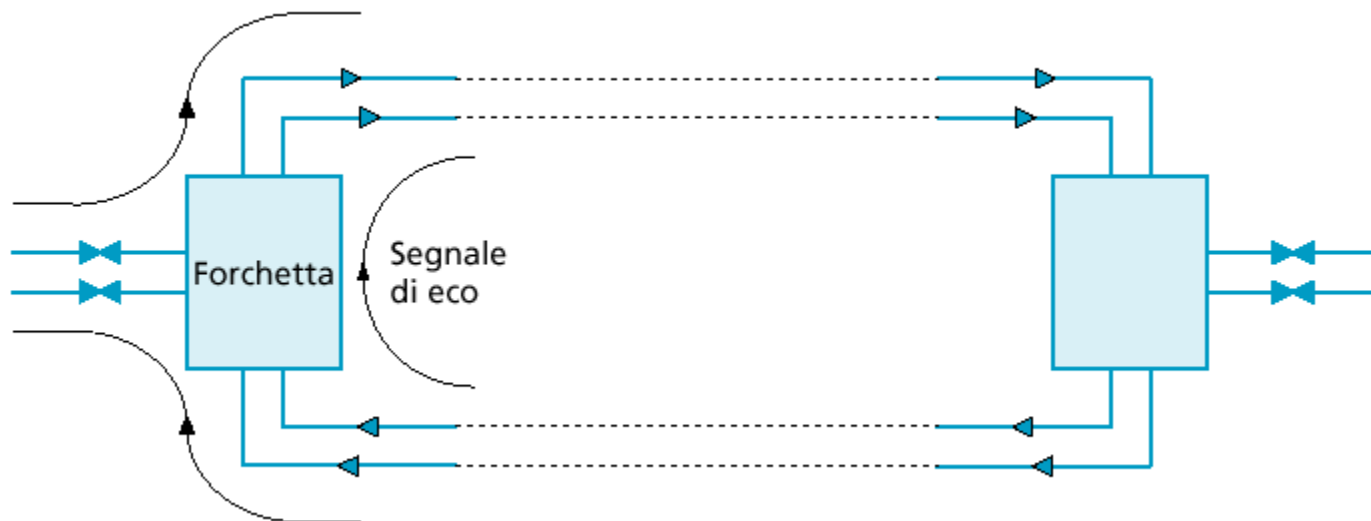
- **Stadio di Gruppo di Transito (SGT),** svolge la funzione dei primi 2 livelli; il primo agisce come centro nazionale (CN), che interfaccia giunzioni in paesi esteri
- **Stadio di Gruppo Urbano (SGU)** raggruppa 60.000-100.000 utenti
- **Stadio di Linea (SL)** dove si interfacciano gli utenti

Linee di trasmissione

- **Il servizio di telefonia usa comunicazione bidirezionale (full-duplex) tra due utenti**
- **I segnali vengono trasferiti su:**
 - **Linee a due fili**, in cui i segnali nelle due direzioni condividono lo stesso supporto trasmissivo, es. doppino di utente
 - **Linee a quattro fili**, in cui i segnali nelle due direzioni utilizzano portanti trasmissivi diversi, cioè una coppia per direzione, es. una giunzione
- **La rete di accesso è prevalentemente a due fili, quella di transito a 4 fili**
 - il dispositivo che interfaccia una linea a 2 fili con una a 4 fili si chiama **forchetta** (hybrid) e si trova nella centrale locale
 - la forchetta è realizzata tramite elementi passivi (trasformatori)

Linee di trasmissione

- Ogni coppia dal lato rete (4 fili) trasmette segnali in una sola direzione, li definiamo linea entrante e linea uscente
- La forchetta invia il segnale trasmesso dall'apparecchio locale lungo la linea uscente e il segnale ricevuto dall'apparecchio remoto lungo la linea entrante sul doppino di utente
 - parte del segnale ritorna all'apparecchio remoto dopo un round trip time (segnale di eco); per ritardi inferiori ai 40 ms (circuiti di 4000km) il disturbo da eco è trascurabile, altrimenti si usano soppressori o cancellatori di eco



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 utilizzano procedure ed algoritmi diversi**

Instradamento

- **Politica di instradamento effettuata nodo per nodo**
 - **Definire l'insieme dei possibili percorsi che, a partire dal nodo in questione, consentono di instradare con successo la chiamata verso l'utente chiamato**
 - **Stabilire un ordine di selezione tra questi percorsi, al momento in cui la chiamata deve essere instradata**

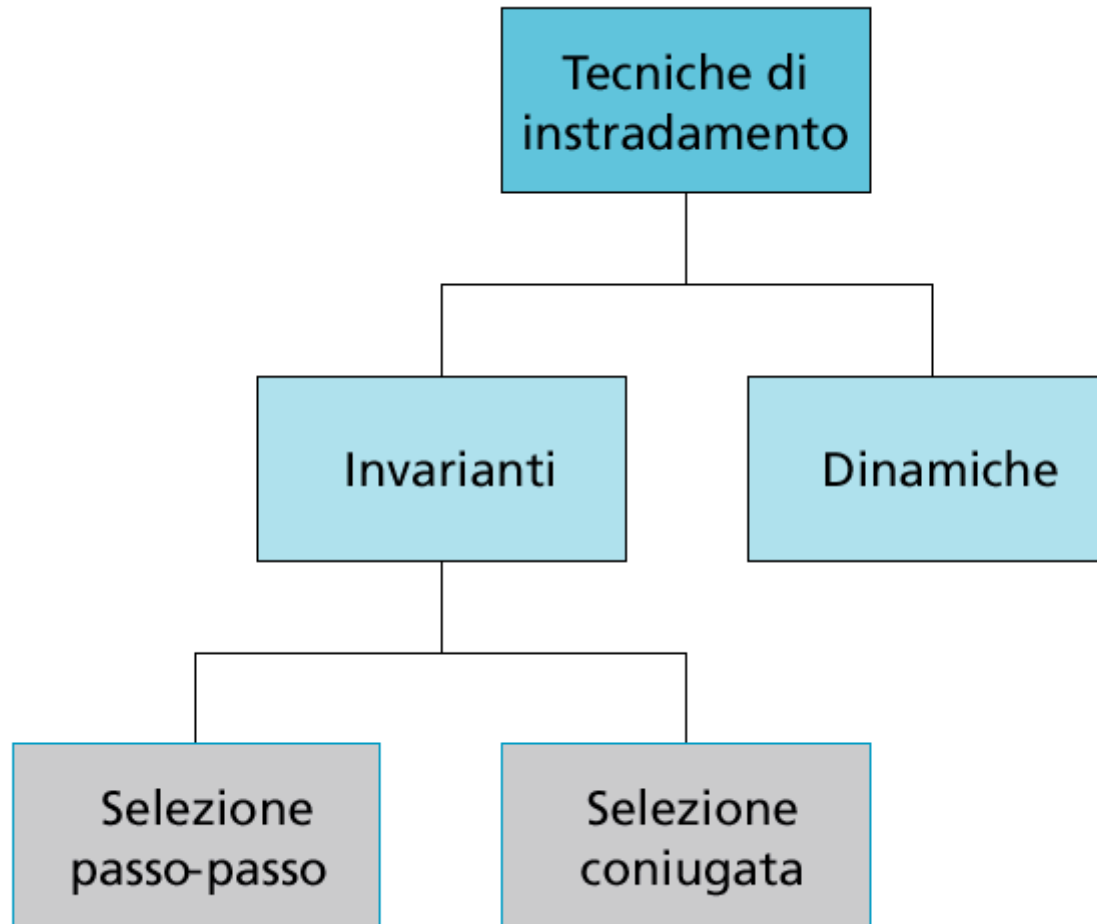
Instradamento ottimo

- **La procedura di instradamento ottima è definibile come quella**
 - ↗ **in grado di bloccare una chiamata se e soltanto se non vi è alcun cammino in rete con circuiti disponibili in grado di connettere gli utenti interessati**
 - ↗ **in grado di distribuire il traffico in rete in modo da minimizzare la probabilità che una chiamata debba essere bloccata**

Instradamento ottimo

- **Nella pratica una procedura ottima non è utilizzabile a causa**
 - della complessità algoritmica
 - della necessità di centralizzare l'esecuzione del processo di scelta del cammino
- **Le procedure adottate in pratica sono sub-ottime, ma consentono di distribuire l'esecuzione nelle parti di controllo di tutte le centrali interessate**

Tecniche di Instradamento



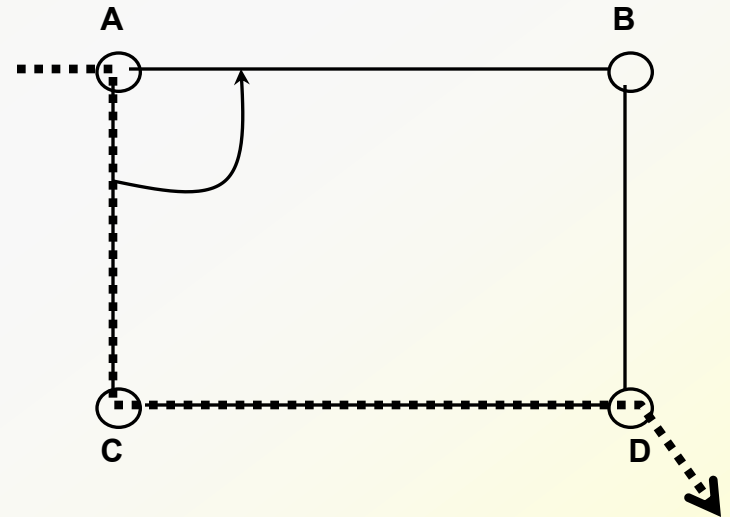
Tecniche di instradamento

- **Instradamento invariante:** l'instradamento della chiamata è effettuato sempre allo stesso modo, indipendentemente dall'istante di arrivo e dallo stato della rete
- **Instradamento dinamico:** varia dinamicamente nel tempo in seguito di variazioni del traffico in rete o guasti
- Si possono usare due tecniche per la scelta del percorso:
 - **Criteri probabilistici:** il percorso viene scelto nell'ambito di quelli possibili con una data probabilità
 - ★ Una chiamata può essere rifiutata anche se ci sono percorsi disponibili, nel caso si selezioni un percorso saturo
 - **Trabocco sequenziale:** tutti i percorsi possibili vengono esplorati secondo un prefissato ordine sequenziale, cioè in modo che un percorso saturo trabocca sul percorso successivo della lista
 - ★ La chiamata viene rifiutata solo se tutti i percorsi ammissibili sono saturi

Esempio di instradamento

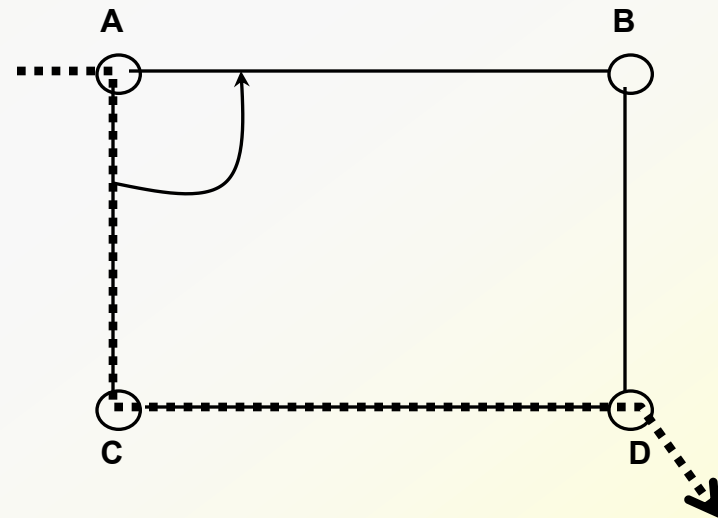
➤ **Procedura A:**

- **le chiamate da A verso D vengono tutte instradate sul cammino ACD**
- **In questo caso una volta esauriti i circuiti del cammino (4 nell'esempio) le chiamate possono**
 - 1. essere bloccate (unico instradamento fissato) o**
 - 2. instradate sul cammino ABD (trabocco del traffico su un altro cammino)**



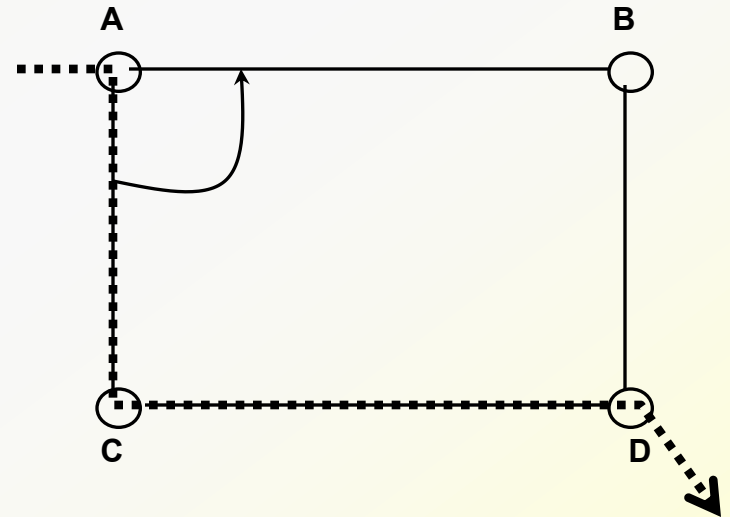
Esempio di instradamento

- **Nel caso 1 le chiamate sono bloccate anche se esiste un cammino disponibile in rete**
- **Nel caso 2 le chiamate tra A e D non sono bloccate se non quando tutti i possibili circuiti sono già stati utilizzati**
- **Purtroppo, però, la scelta dell'instradamento privilegiato sul cammino ACD ha conseguenze sull'altro traffico**



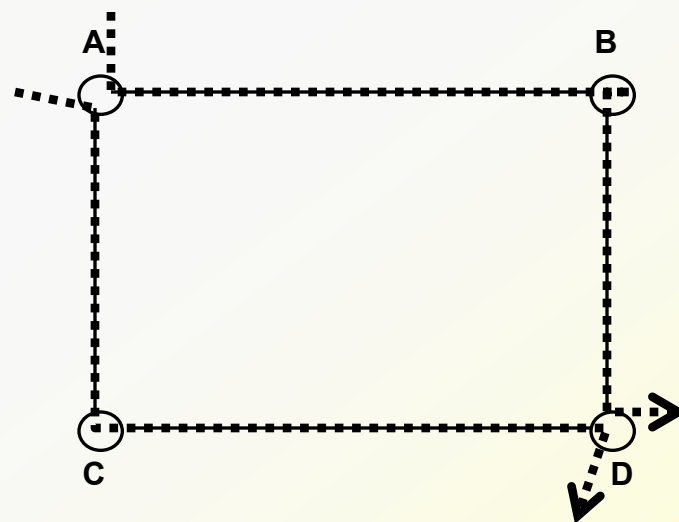
Esempio di instradamento

- Se ci sono già 4 chiamate instradate tra A e D
- non è possibile instradare circuiti tra A e C e tra C e D !
- E' possibile che la rete possa fare di meglio per servire il traffico in rete?
- In generale si, ma dipende dalla distribuzione del traffico



Esempio di instradamento

- **E' possibile distribuire il traffico sui circuiti disponibili usando in modo alternato sia il cammino ABD che il cammino ACD**
- **in questo caso se le chiamate tra A e D sono 4 saranno instradate 2 su ACD e 2 su ABD**
- **in questo caso è possibile accettare nuove chiamate per tutte le relazioni di traffico**
- **si può dimostrare che in situazioni di traffico uniforme questo criterio ha una più bassa probabilità di blocco**



Instradamento a trabocco

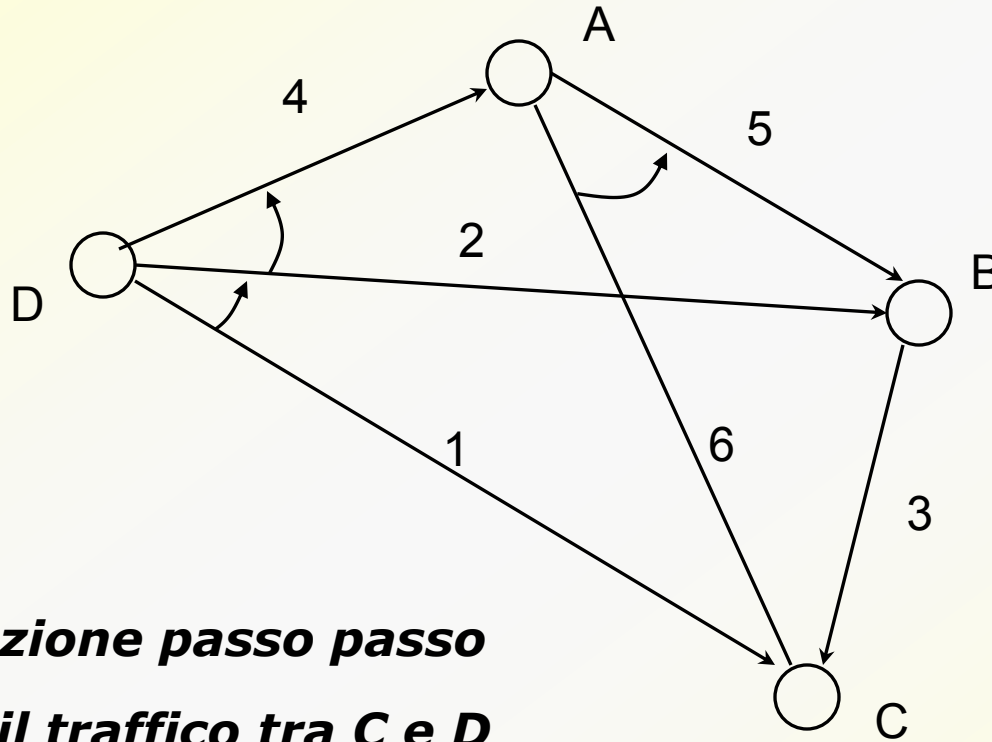
- **Anche se l'instradamento che distribuisce il carico è quello con la minor probabilità di blocco, l'instradamento usato nella pratica è molto spesso**
 - ↗ **fisso**
 - ↗ **a trabocco**
- **per tale instradamento sono definibili due modalità:**
 - ↗ **selezione passo passo**
 - ↗ **selezione coniugata**

Instradamento a trabocco

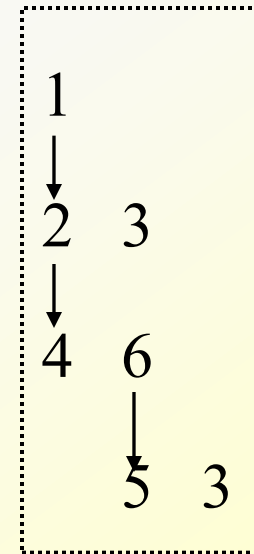
➤ *selezione passo-passo (link by link)*

- ogni nodo della rete realizza un passo della selezione del cammino ed ogni nodo adotta un criterio a trabocco, cioè opera una scansione sequenziale dei rami uscenti e instrada la chiamata sul primo fascio uscente non saturo**
- la chiamata è bloccata se tutti i fasci uscenti sono saturi**
- il trabocco avviene tra cammini che hanno in comune il percorso fino al nodo che decide il trabocco, poiché il trabocco da un ramo saturo a un altro viene deciso da un nodo che origina necessariamente i due rami**
- ogni nodo deve avere visibilità solo "locale" sui diversi percorsi, cioè conosce solo i rami uscenti su cui provare sequenzialmente l'instradamento, senza sapere cosa fanno gli altri nodi**

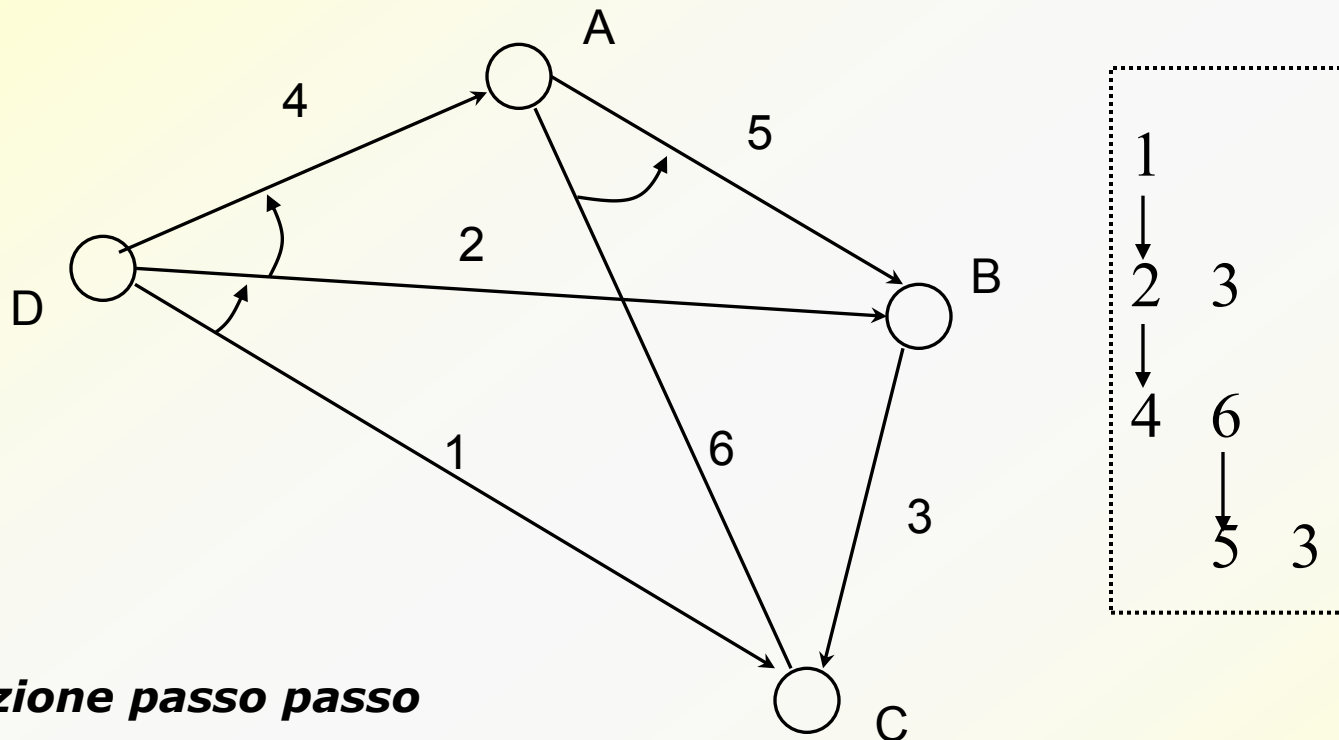
Esempio di instradamento a trabocco



➤ ***selezione passo passo
per il traffico tra C e D***



Esempio di instradamento a trabocco



➤ *selezione passo passo*

può portare al blocco di una chiamata anche se nella rete esistono cammini con circuiti disponibili!

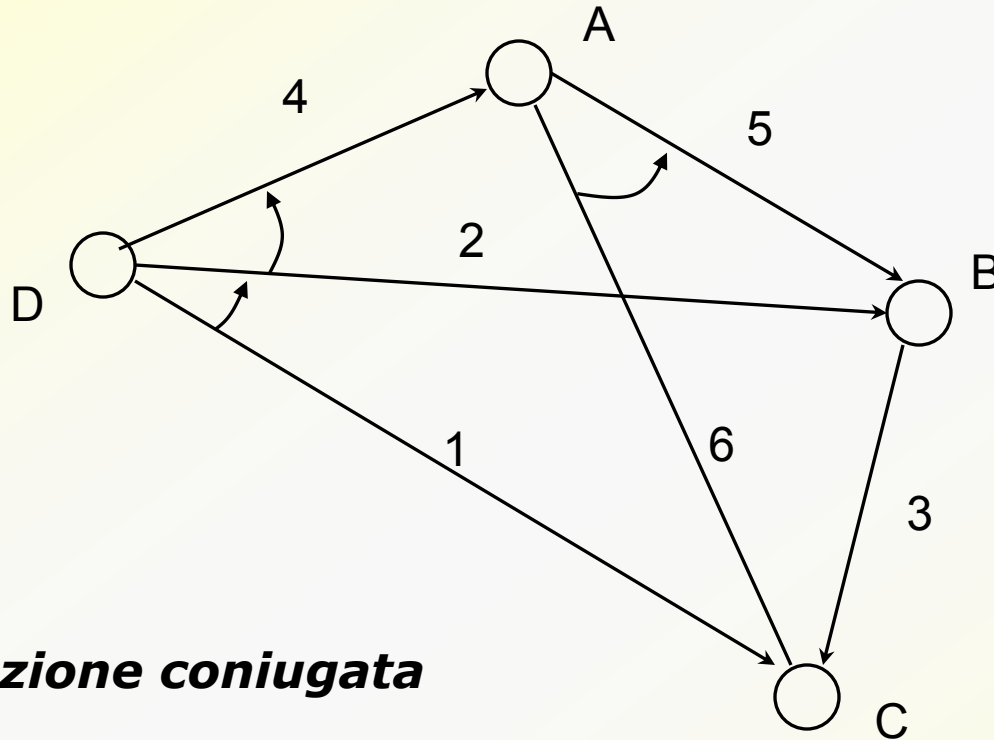
Se il fascio 1 è saturo mentre il fascio 2 ha circuiti disponibili, una chiamata da D a C è instradata sul fascio 2. Se, però, il fascio 3 è saturo a causa di altre relazioni di traffico (ad es. il traffico B-C), la chiamata viene bloccata anche nell'ipotesi che il cammino attraverso i fasci 4 e 6 abbia circuiti disponibili

Instradamento a trabocco

➤ *selezione coniugata (end to end)*

- Il nodo di origine seleziona tutto l'instradamento sulla base di una tabella che specifica tutti i percorsi possibili**
- la scelta del cammino è di tipo globale e il trabocco può avvenire anche tra cammini che non hanno parti in comune**
- ogni nodo ha visibilità globale della topologia di rete e dispone dell'intera tabella di instradamento**
- ad ogni variazione di topologia della rete tutti i nodi devono aggiornare le proprie tabelle di instradamento, mentre nella selezione passo-passo solo i nodi coinvolti nella variazione di topologia modificano le proprie tabelle**
- perciò la selezione passo-passo è spesso preferita a quella coniugata**

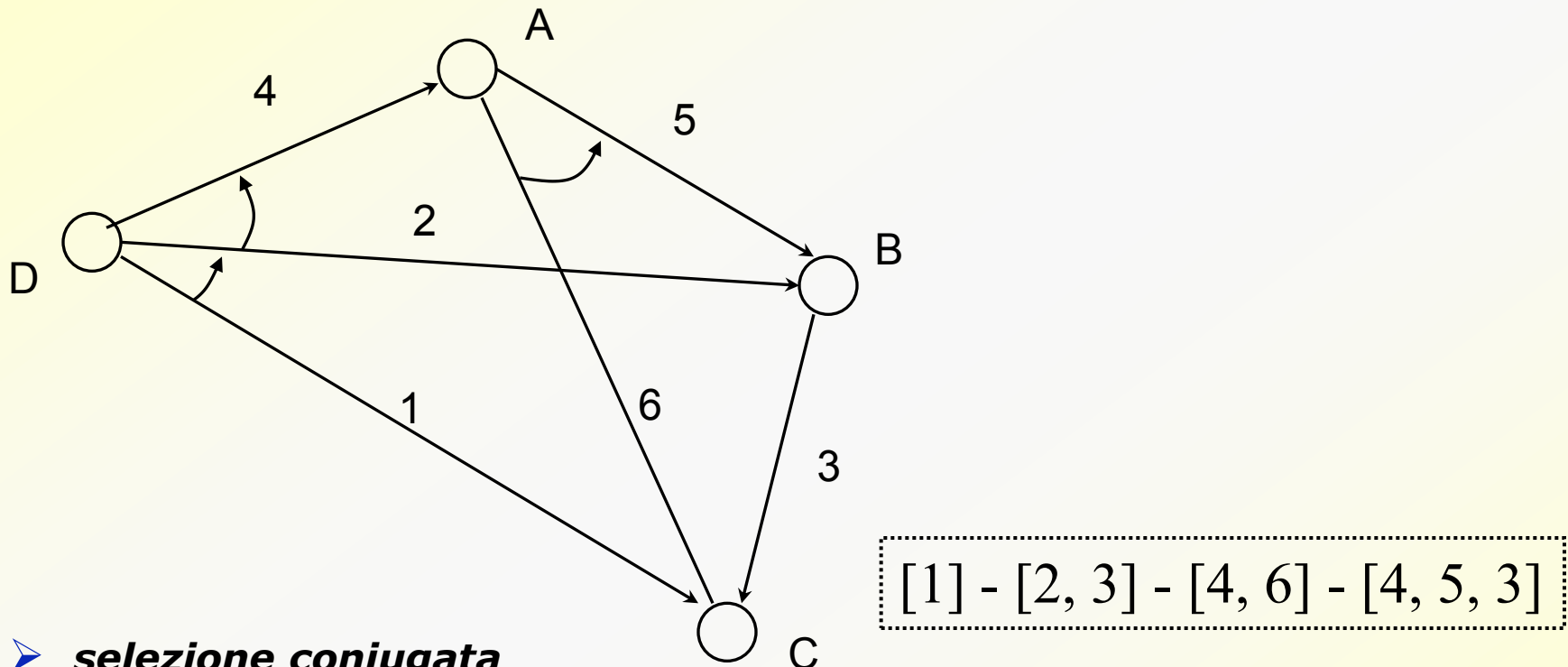
Esempio di instradamento a trabocco



➤ ***selezione coniugata***

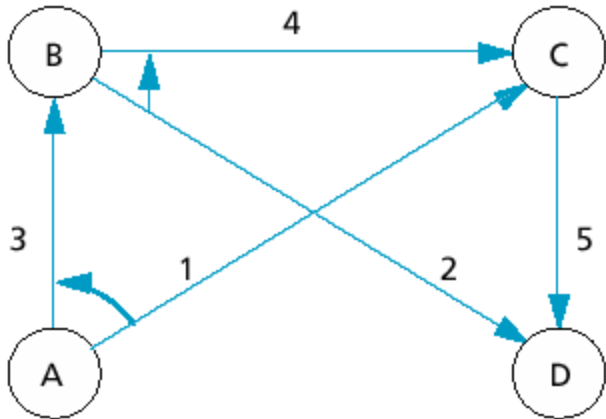
[1] - [2, 3] - [4, 6] - [4, 5, 3]

Esempio di instradamento a trabocco



- **selezione coniugata**
- In questo caso se il fascio 2 ha circuiti disponibili mentre il fascio 3 è saturo, la chiamata da D a C non viene bloccata ma instradata attraverso il cammino alternativo [4, 6]
- è di complessa implementazione perché richiede che il controllo non venga passato da un nodo al successivo, ma venga mantenuto un qualche controllo di tipo centralizzato (ad es. da parte della centrale d'origine)

Esempio di Instradamento



Relazione (A, D)

Instr.	Fasce
I	1 5 ↓
II	3 2 ↓
III	3 4 5

(a)

(a) Selezione passo-passo

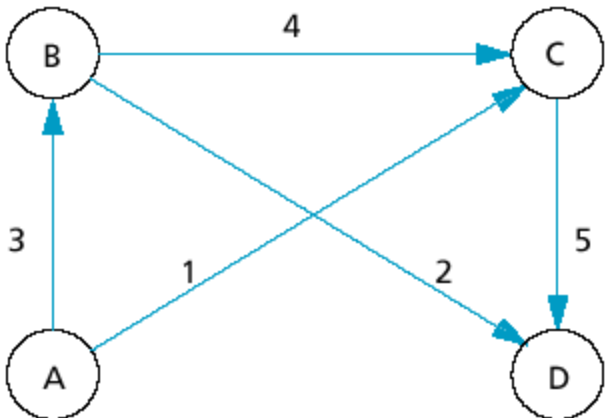
(b) Selezione coniugata

Traffico da A a D

Selezione coniugata: il trabocco dal I al II percorso avviene per saturazione del ramo 1 o del 5

(b)

Selezione passo-passo: la saturazione del ramo 5 blocca la chiamata



Relazione (A, D)

Instr.	Fasce
I	1 5 ----- ↓
II	3 2 ----- ↓
III	3 4 5

Instradamento nella pratica

- **Nella pratica le procedure comunemente adottate sono di tipo passo-passo**
- **in ogni nodo sono memorizzati dei piani di instradamento per ogni relazione di traffico che prevedono l'elenco dei fasci possibili in ordine di scelta**

Instradamento dinamico

- **Piani di instradamento dinamici**
 - possono essere predisposti in rete piani di instradamento differenti in base a
 - ★ fasce orarie (**algoritmi temporali**, nei quali gli instradamenti vengono variati a intervalli di tempo prefissati in base alle previsioni di traffico in rete)
 - ★ in base a rilevazione delle condizioni di traffico in rete (**algoritmi adattativi**)

Traffico telefonico

- **Dati la frequenza media λ di arrivo delle chiamate a un nodo e il tempo medio h di una chiamata telefonica, si definisce traffico offerto A_o il numero medio di chiamate ricevute in un intervallo di tempo uguale al tempo di chiamata:**

$$A_o = \lambda h$$

- **l'unità di misura di A_o (adimensionale) è detta Erlang**
- **Per una singola linea di utente A_o rappresenta la frequenza media di generazione di chiamate da parte dell'utente, ovvero la frazione di tempo in cui la linea risulta occupata**
- **Valori tipici reali del traffico offerto da un utente nell'ora di punta sono dell'ordine 0.10-0.15 Erlang**
 - **In un canale da 100.000 utenti il traffico offerto è di migliaia di Erlang**

Traffico telefonico

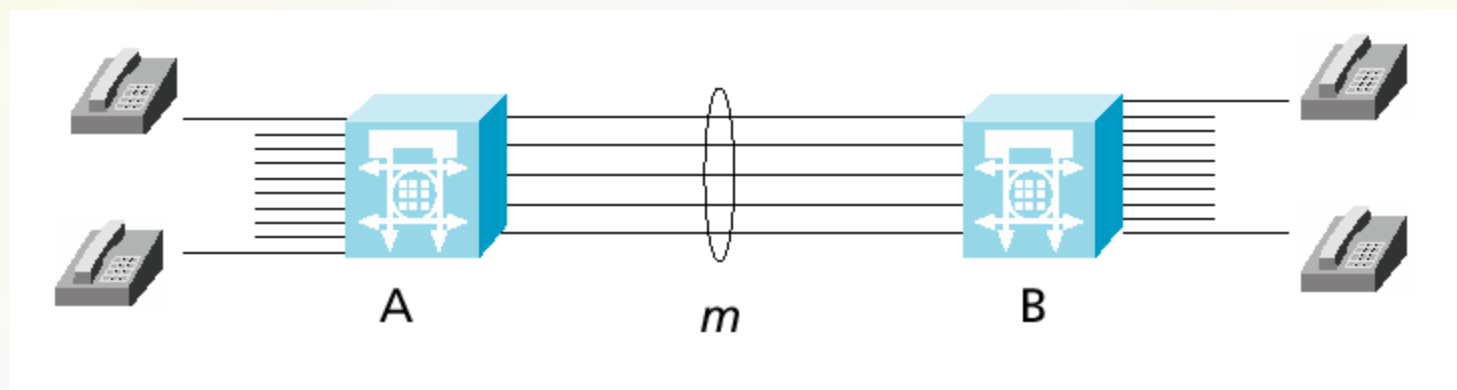
- **La max quantità di traffico che può offrire una linea di utente e che può smaltire una giunzione è 1 Erlang**
- **Un generico nodo di commutazione accetta alcune chiamate instradandole verso le giunzioni uscenti (traffico smaltito A_s) e ne rifiuta altre (traffico perso A_p):**

$$A_o = A_s + A_p$$

- **La misura di prestazione più significativa in una rete telefonica è la probabilità (Π_b) che una generica chiamata venga rifiutata per indisponibilità di giunzioni libere (probabilità di blocco)**

Traffico telefonico

- **Data una struttura elementare di rete costituita da 2 nodi di accesso collegati da m giunzioni, se il traffico offerto ha una caratterizzazione statistica poissoniana e le chiamate hanno una durata distribuita esponenzialmente, allora la rete può essere studiata con il sistema a coda $M/M/m/0$**



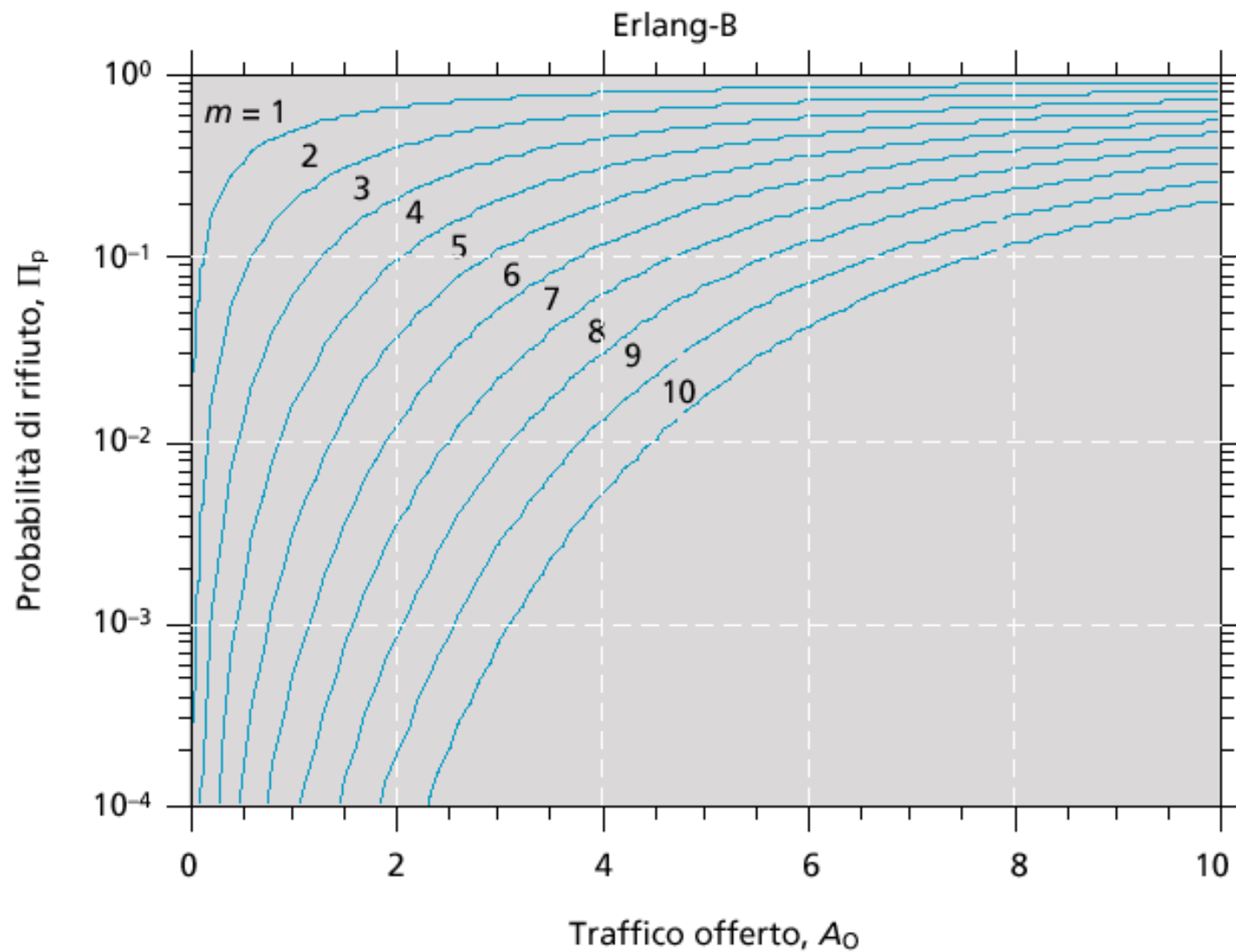
Traffico telefonico

- La probabilità di blocco Π_b si ricava dalla formula di Erlang B:

$$\Pi_p = \frac{\frac{A_o^m}{m!}}{\sum_{i=0}^m \frac{A_o^i}{i!}}$$

- L'andamento della formula di Erlang in funzione del traffico offerto per diversi valori di m consente, per un dato livello di traffico offerto, di ricavare il numero di giunzioni m tale da garantire una certa probabilità di blocco

Traffico telefonico



***La rete ISDN
(Integrated Services Digital
Network)***

Interfacce d'accesso: accesso analogico

- **La sezione d'accesso della rete telefonica classica è di tipo analogico**
- **il terminale d'utente genera un segnale analogico che viene convertito in numerico nella prima centrale mediante un multiplatore PCM**
- **la conversione numerica PCM è pensata per trattare il segnale analogico generato dalla voce umana e quindi viene fatta considerando una banda lorda del segnale di 4 kHz ed applicando le regole del teorema del campionamento**

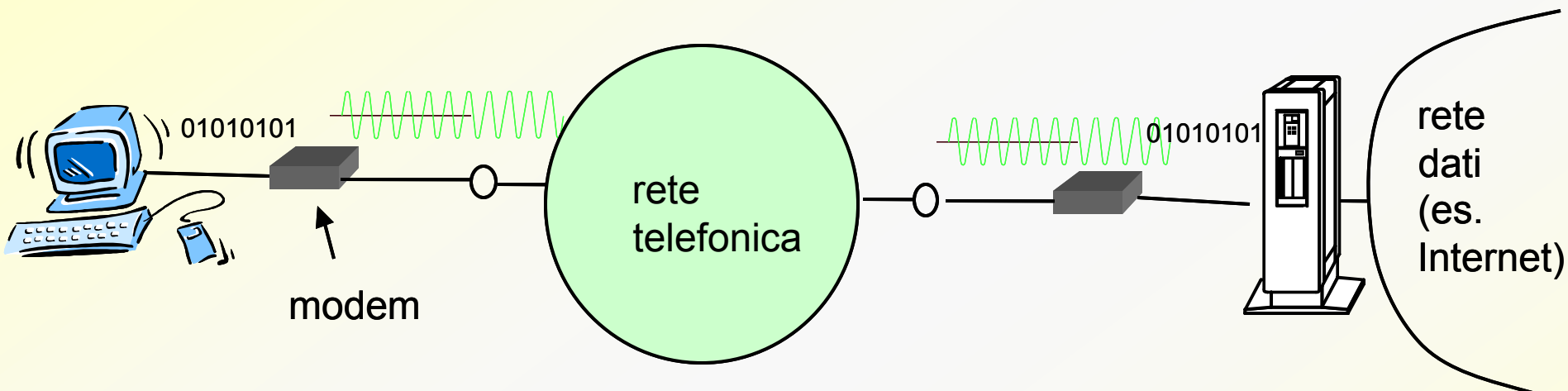
Interfacce d'accesso: accesso analogico

- **Dato che la conversione sfrutta come unico parametro del segnale la sua ampiezza di banda, è possibile trasportare sulla sezione d'accesso e poi in rete segnali diversi da quello vocale, ma comunque caratterizzati da una banda max di 4 kHz**
- **Si può affermare che la rete telefonica mette a disposizione circuiti analogici con banda 4 kHz**
- **Proprio questa possibilità è sfruttata per la trasmissione di dati da un estremo ad un altro della rete telefonica mediante dispositivi detti *modem***

Interfacce d'accesso: accesso analogico

- **Il modem è un dispositivo in grado di inviare un flusso di bit (in uscita ad es. da un computer) sulla rete telefonica mediante delle tecniche di modulazione digitale, tenendo conto del vincolo che il segnale generato deve avere un banda di al più 4 kHz**
- **Il modem all'estremo opposto del circuito riceve il segnale (che nel frattempo avrà subito le procedure di codifica PCM e decodifica PCM) e lo riconverte in un flusso di bit da consegnare al computer destinatario**

Interfacce d'accesso: accesso analogico



- **NOTA:** il flusso di bit PCM relativo al circuito che attraversa la rete telefonica non è in diretta relazione con il flusso di bit che si scambiano i due computer, ma è solo la conversione numerica PCM del segnale analogico in uscita dal modem

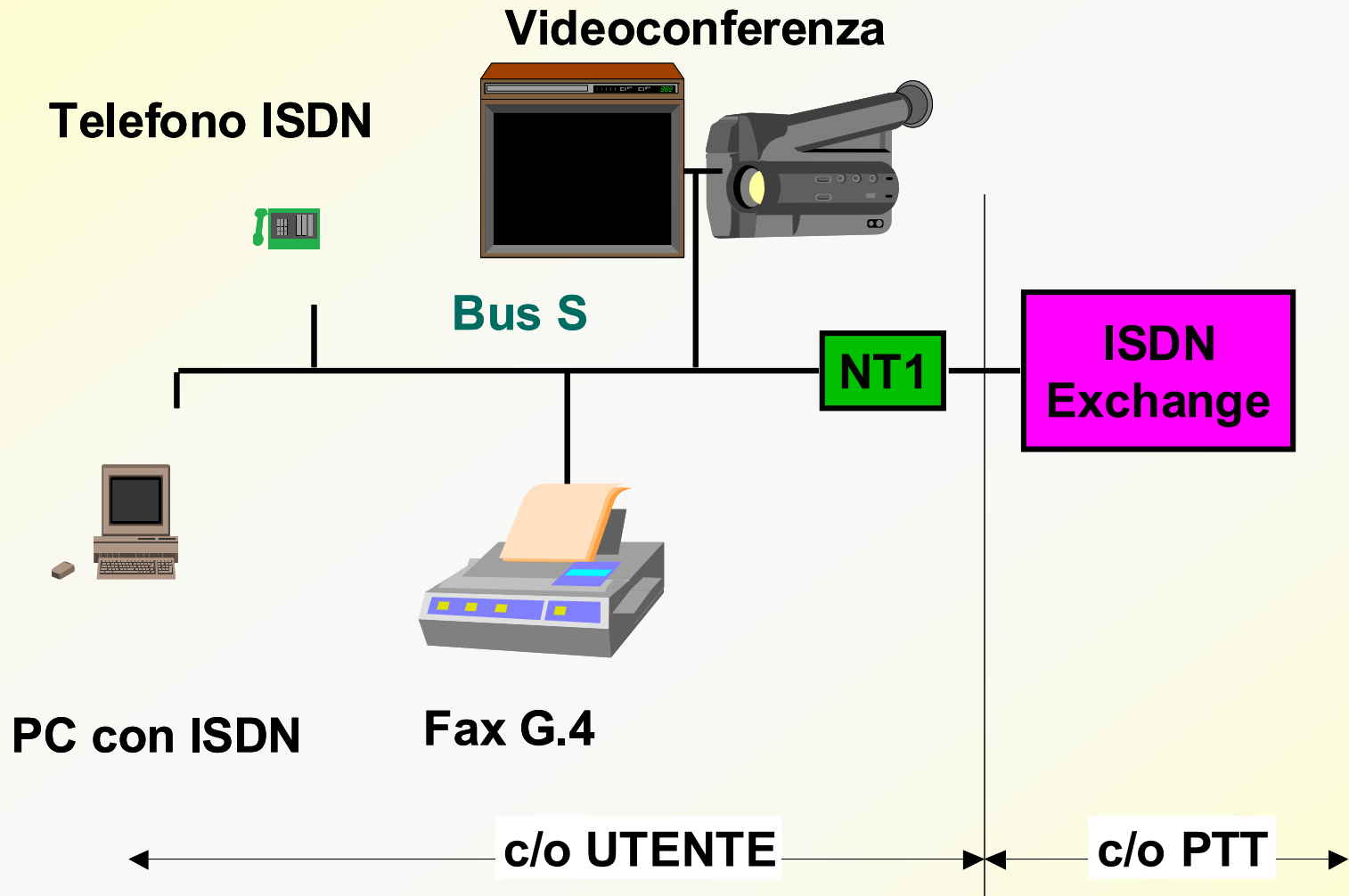
Interfacce d'accesso: accesso analogico

- **Le procedure e le tecniche usate dai modem per effettuare la modulazione del segnale sono spesso molto sofisticate per sfruttare al meglio la piccola banda disponibile**
- **Esistono degli standard internazionali che descrivono i diversi tipi di modem e per questo modem di diversi costruttori possono comunicare senza problemi**
- **Anche le interfacce di connessione tra il terminale d'utente (il computer) e il modem sono molto spesso standard, come ad es. l'interfaccia RS-232 (seriale)**

L'accesso digitale: ISDN

- **Un'evoluzione delle rete telefonica classica è rappresentata dalla rete ISDN (Integrated Services Digital Network)**
- **La principale differenza rispetto alla rete telefonica classica è costituita dall'utilizzo di una parte d'accesso di tipo digitale:**
 - **la conversione dei segnali avviene direttamente nei dispositivi dell'utente e non nella rete che invece tratta direttamente flussi informativi digitali**

ISDN



- **ISDN consente di offrire agli utenti *accesso integrato* alla rete: varie apparecchiature di utente (telefono, fax, PC) accedono mediante un'unica interfaccia (NT1) alla rete ISDN**

ISDN: standardizzazione

- **Lo standard ISDN è stato sviluppato nell'ambito ITU-T e le prime raccomandazioni furono pubblicate nel 1984 (Red Book) e aggiornate a partire dal 1988 (Blue Book)**
- **Tutte le raccomandazioni relative alla rete ISDN sono raggruppate nella Serie I**
 - ↗ **La capacità di canale base resa disponibile in un accesso ISDN è di 64 kbit/s che coincide con la banda richiesta per trasportare un segnale fonico codificato con tecnica PCM**

ISDN: interfacce d'accesso

- **I servizi ISDN vengono offerti dalla rete attraverso interfacce di tipo standardizzato**
- **Le interfacce d'accesso alla rete specificano i formati delle strutture informative e le regole con le quali l'utente può comunicare col nodo di accesso**
 - ↗ **il colloquio tra utente e rete attraverso le interfacce avviene mediante dei *canali***
 - ↗ **la caratteristica dell'interfaccia utente-rete è dettata dal numero e dal tipo di canali utilizzati**

Canali

- **Tre tipi di canali utilizzati da ISDN all'interfaccia di accesso per trasportare informazioni di utente o di controllo:**
- **Canale B:**
 - ↗ opera a 64 kbit/s ed è utilizzato per il trasporto di informazione d'utente
 - ↗ supporta connessioni commutate a circuito o a pacchetto
 - ↗ Es. voce PCM, dati in banda fonica (facsimile), video a bassa velocità
- **Canale H:**
 - ↗ ha le stesse caratteristiche del canale B ma a velocità maggiori, multiple di 64 kbit/s: 384 kbps (H0), 1536 Kbps (H11), 1920 Kbps (H12)
 - ↗ Es. trasferimento dati ad alte velocità (o a bassa velocità multiplati), videoconferenza

Canali

➤ **canale D:**

- **opera ad una velocità di 16 o 64 kbit/s**
- **è utilizzato per il trasporto di**
 - ★ **segnalazione e controllo (dei canali B e H)**
 - ★ **dati in modalità a pacchetto; es. dati interattivi a bassa velocità, telemetria (servizi di emergenza)**
- **Es.: per richiedere l'instaurazione di una chiamata voce su un canale B vengono inviati sul canale D i messaggi di richiesta connessione, invio numero chiamato, ecc.**

Interfacce d'accesso standard

- **I tipi di interfaccia definiti dallo standard ISDN sono due (normativa europea):**
- ***Interfaccia base: BRI (Basic Rate Interface)***
 - **è composta da 1 canale D a 16 kbit/s e 2 canali B ($2B+D$)**
 - **per un trasferimento full-duplex a velocità complessiva di 144 kbit/s (sulla linea fisica la velocità è maggiore a causa degli overhead del livello fisico)**
 - **D fa da canale di segnalazione per la gestione dei due canali B tra utente e rete**
 - **Normalmente usata da un'utenza residenziale**

Interfacce d'accesso standard

➤ *Interfaccia primaria: PRI (Primary Rate Interface)*

- è composta da 1 canale D a 64 kbit/s e 30 canali B ($30B+D$) in Europa, Australia, e altre parti del mondo per una velocità di 1984 kbit/s (totale sull'interfaccia 2,048 Mbps)**
- 23 canali B e 1 canale D (a 64Kbps) in Nord America e Giappone, per un bit rate totale di 1,544 Mbps**
- Normalmente usata da un'utenza di tipo affari**

Interfacce d'accesso standard

- **L'interfaccia BRI è spesso usata per utenza residenziale per:**
 - **accesso al servizio telefonico (usa uno dei due canali B)**
 - **accesso ad alta velocità a reti dati come Internet (usa 1 o 2 canali B con una velocità effettiva di 64/128 kbit/s)**
 - **NOTA: spesso si parla di "modem ISDN" anche se il termine è improprio; sarebbe più corretto parlare di *terminal adapter***

Interfacce d'accesso standard

- **L'interfaccia PRI è usata per:**
 - **consentire l'accesso mediante i centralini privati (PBX)**
 - **come accesso per servizi a larga banda (es. Videoconferenza)**
 - **la configurazione 30B+D non è l'unica disponibile, ma sono utilizzabili anche configurazioni con canali H**
 - ★ **Es. 1 canale H12, o più canali Ho secondo la configurazione $nH_o + D$ ($n \leq 5$), o canali H e B, in tal caso il numero di canali B disponibili si riduce in modo da conservare il valore totale della banda d'utente (es. $3H_o + 13B$)**
 - **il trasporto dell'interfaccia è basato sulla portante E1 a 2,048 Mbit/s di cui solo 1984 kbit/s sono occupati da informazione d'utente**

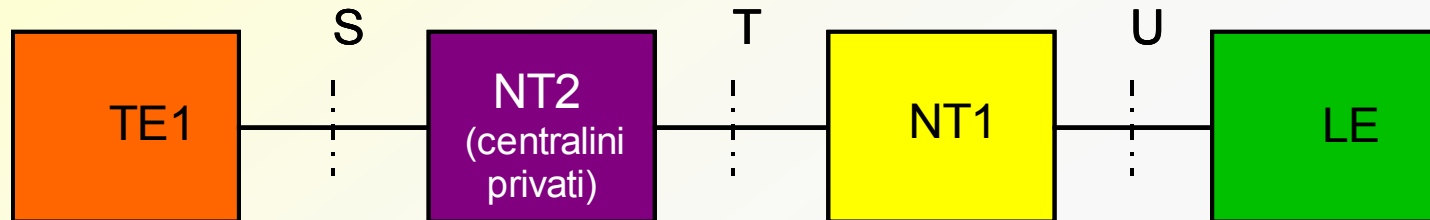
Canali e Interfacce

Canale		Frequenza di cifra	Interfaccia	Tipo di informazione trasferita
B		64 kbit/s	BRI/PRI	Informazione commutata a circuito o a pacchetto
D		16 kbit/s 64 kbit/s	BRI	Segnalazione per il controllo dei canali B e H Informazione commutata a pacchetto
H	H ₀	384 kbit/s	PRI	Informazione commutata a circuito o a pacchetto
	H ₁₁	1536 kbit/s		
	H ₁₂	1920 kbit/s		

Dispositivi e punti di riferimento

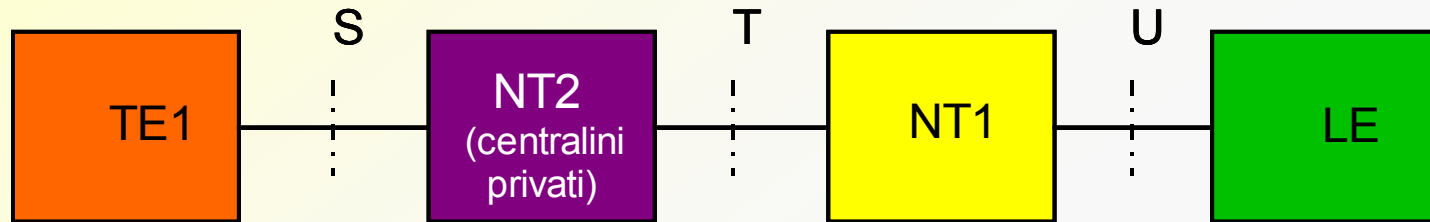
- L'apparato di rete che fornisce le funzioni e i protocolli di ISDN è detto LE (**Local Exchange**) ed è di fatto la centrale d'accesso
- Dall'altra lato, l'accesso dei terminali d'utente alla rete avviene tramite la terminazione di rete NT (**Network Termination**) fisicamente posta presso l'utente e che ha il compito di interagire con gli apparati d'utente per conto della rete
 - NT1 consente il collegamento diretto dei terminali d'utente;
 - NT2 serve a connettere un centralino privato
- Più terminali d'utente TE (**Terminal Equipment**) possono essere connessi contemporaneamente alla stessa NT e accedere ai servizi di rete

Dispositivi e punti di riferimento



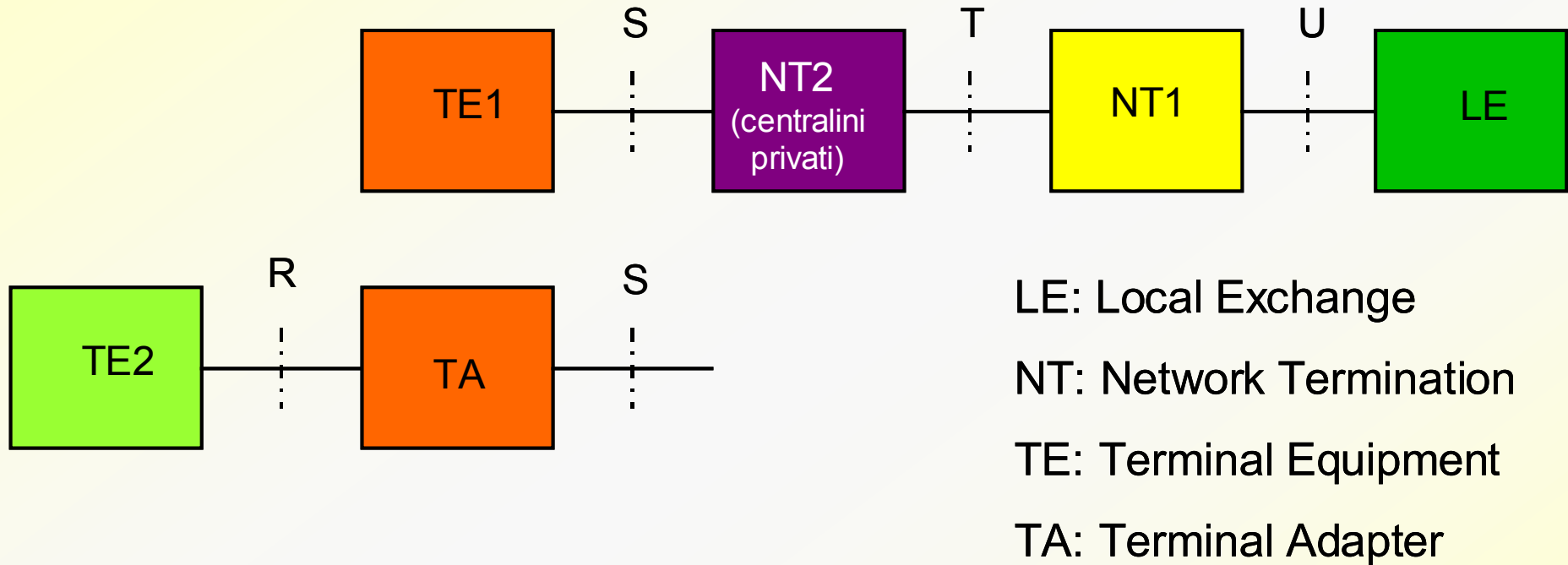
- NT1 e NT2 connettono il circuito a 4 linee (tra TE e NT) al circuito di utente (local loop) convenzionale a due linee (tra NT e LE)
- NT1 è sempre presente e svolge funzioni di: gestione della temporizzazione della linea di utente, alimentazione elettrica dei TE, conversione di segnali e protocolli usati dai TE in quelli richiesti dal nodo ISDN e viceversa
 - in Europa l'NT è di proprietà del gestore di rete, in USA è un dispositivo di utente (*customer premises equipment, CPE*)

Dispositivi e punti di riferimento



- NT2, se presente, fornisce funzioni di comunicazioni aggiuntive, quali commutazione locale, moltiplicazione e/o concentrazione
- es. di NT2: centralini digitali privati (*private branch exchanges*, PBX), controllori di terminali, moltiplicatori, reti LAN
- esiste anche un dispositivo NT1/2 che combina le funzioni di NT1 e NT2

Dispositivi e punti di riferimento



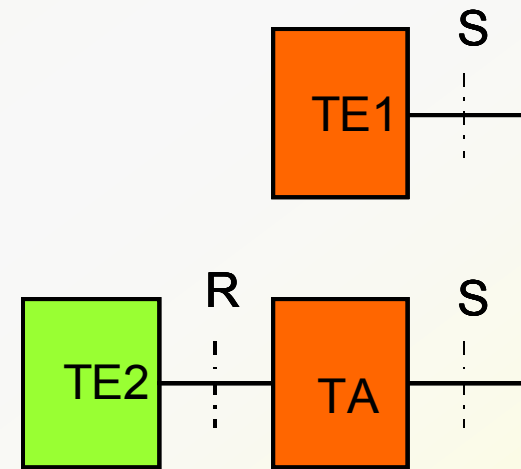
NT1 consente il collegamento diretto dei terminali d'utente

NT2 serve a connettere un centralino privato

LE è la centrale di accesso

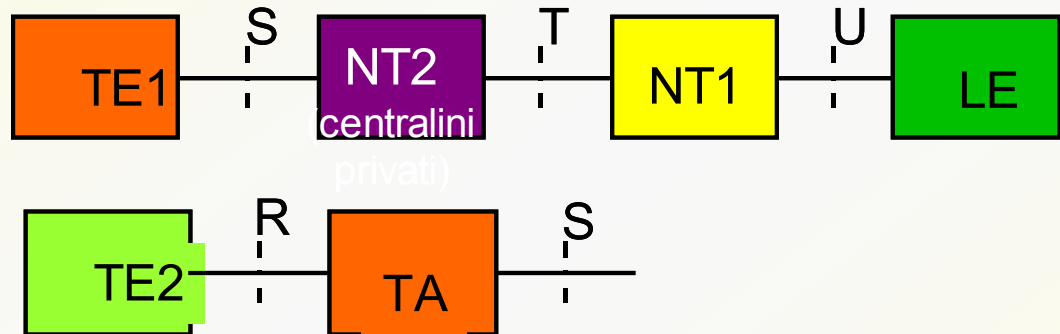
Dispositivi e punti di riferimento

- **TE1 si connette alla rete ISDN attraverso un link digitale a 4 fili (2 coppie) usando connettori a 8 pin**
- **Terminali d'utente non ISDN (TE2), ad es. i tradizionali telefoni analogici, possono essere collegati in rete mediante degli adattatori TA che convertono segnali e protocolli del TE2 in quelli di ISDN**
- **TA può essere un dispositivo standalone o una scheda in TE2. Se TA è implementato come dispositivo standalone, allora si connette al TE2 tramite un'interfaccia standard di livello fisico. Es.: EIA/TIA-232-C (in precedenza RS-232-C), V.24, e V.35.**



Dispositivi e punti di riferimento

- Il **punto S** si trova tra i terminali d'utente ISDN (TE1) e la terminazione di rete, sia essa NT1 o NT2



- Il **punto T** si trova tra il centralino locale e la terminazione di rete NT1; in assenza del centralino si parla di punto S/T come interfaccia tra TE e NT
- Il **punto U** è l'interfaccia tra la centrale locale e la terminazione di rete. Tale interfaccia non è standard ma viene considerata come interna alla rete e quindi di competenza del gestore; in realtà la questione è controversa e organismi di standardizzazione diversi danno interpretazioni diverse (per l'ITU, International Telecommunication Union, è interna, per l'ANSI, American National Standard Institute, è esterna e quindi standardizzabile)

Architettura dei protocolli

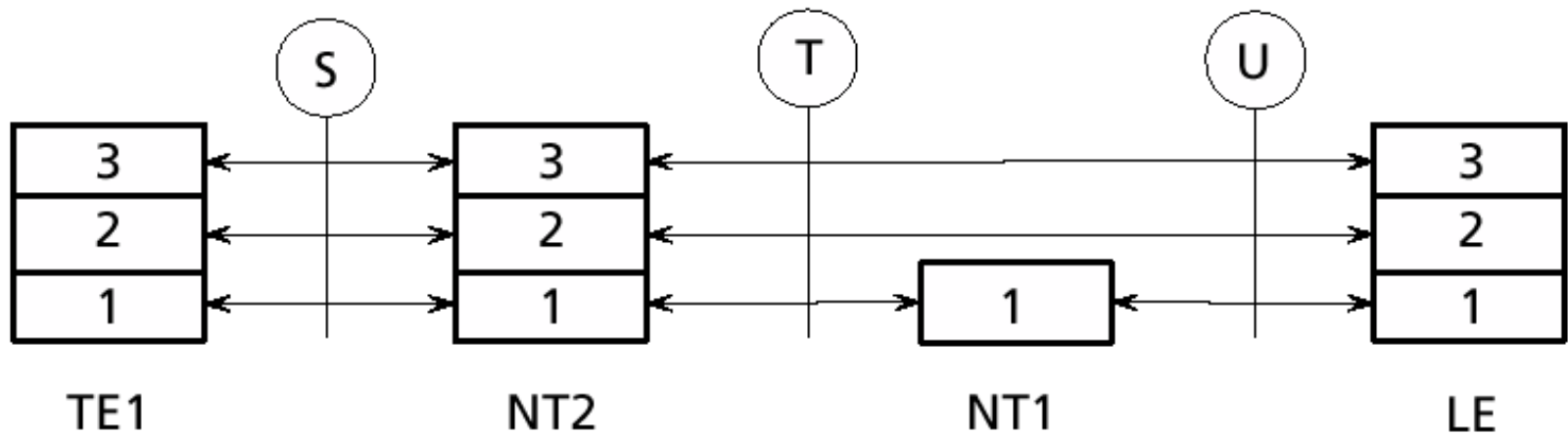
- **Nella descrizione degli strati e dei protocolli di ISDN occorre distinguere due diversi piani, il piano d'utente, che gestisce il trasporto dell'informazione, e il piano di controllo che gestisce la segnalazione tra utente e rete.**

controllo

utente

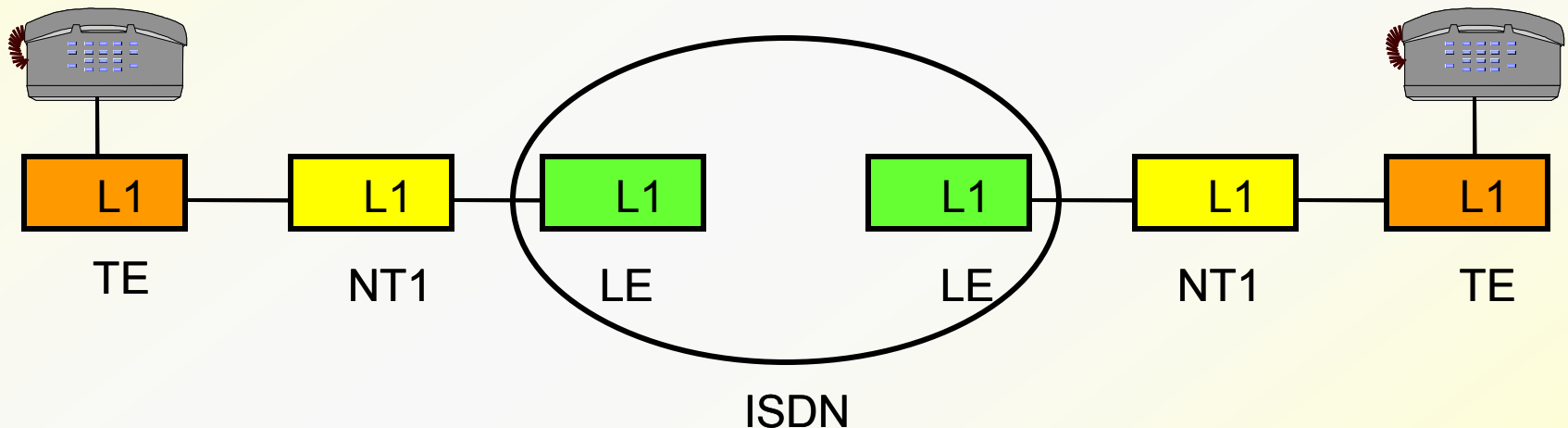


Architettura dei protocolli



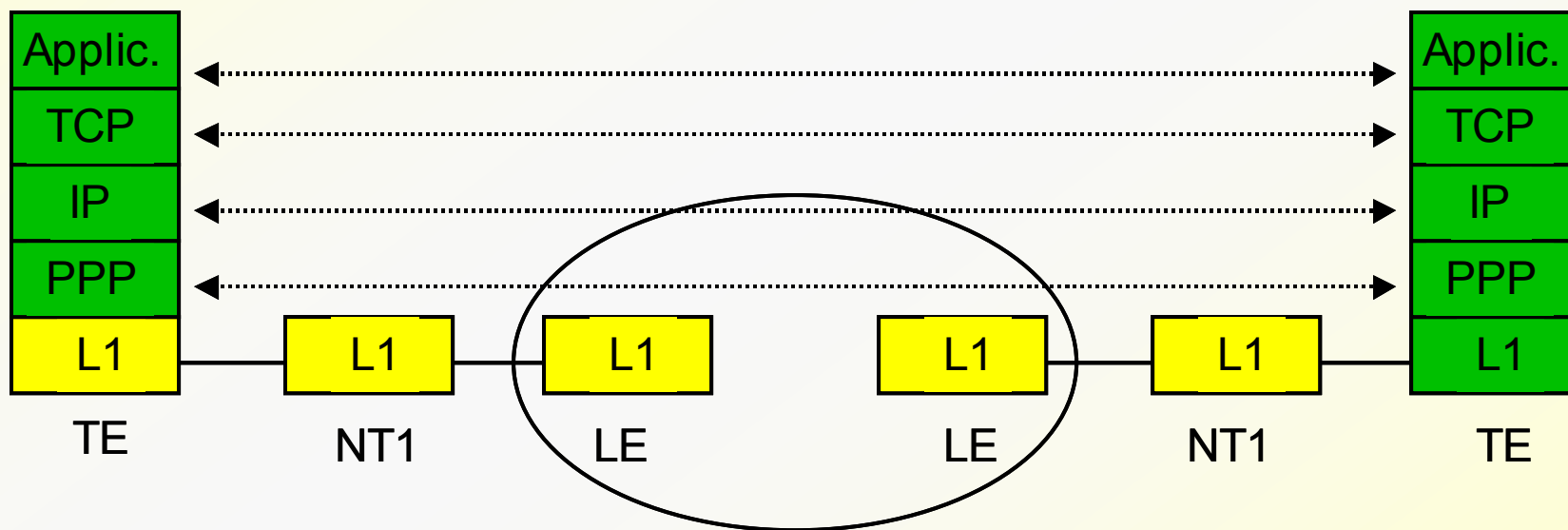
Architettura dei protocolli

- **I canali B sono usati in modalità a circuito, quindi il trasporto è un puro trasporto di livello fisico**



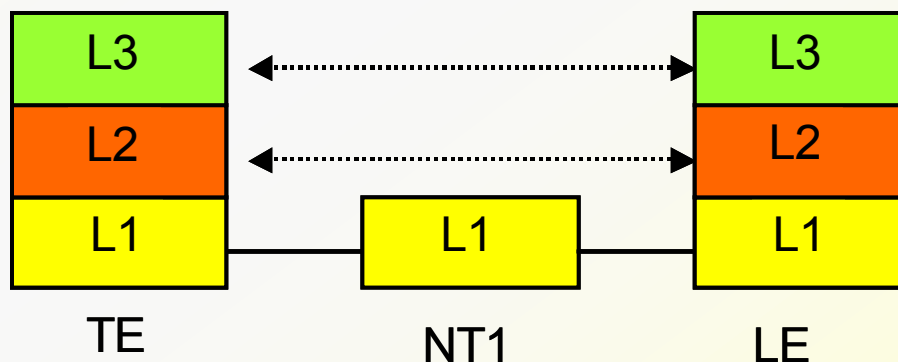
Architettura dei protocolli

- Il livello fisico ISDN può essere usato per il trasporto di dati, come nel caso di connessione a ISP (Internet Service Provider)



Architettura dei protocolli

- Per l'apertura del circuito sul canale B, i terminali d'utente devono interagire con la rete sul piano di controllo mediante messaggi di segnalazione che utilizzano il canale D
- La trasmissione dei messaggi sul canale D avviene in modalità a **pacchetto** e l'architettura dei protocolli si articola in tre livelli



Architettura dei protocolli

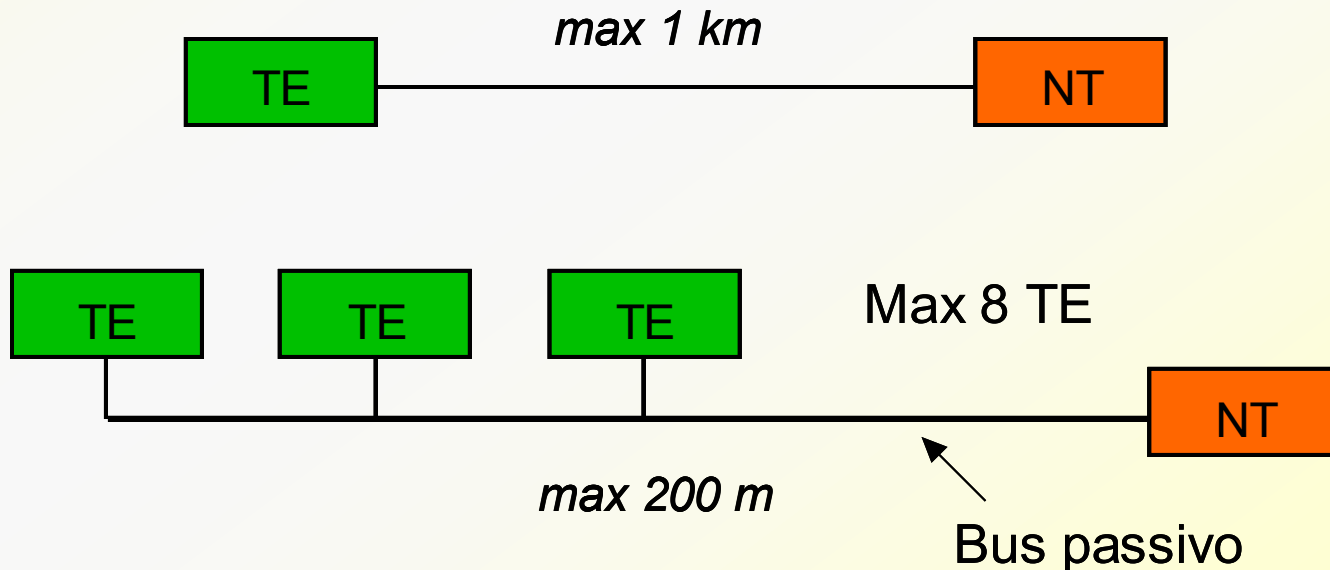
- **Il livello 1, di competenza della normativa ISDN, è quello del punto S/T tra TE e NT1 e definisce**
 - **connessione fisica tra TE e NT**
 - ★ **La connessione fisica è sincrona (il sincronismo è fornito dal segnale emesso dalla NT) e full-duplex**
 - **trasmissione full-duplex dei canali B, H e D**
 - **multiplazione dei canali (a divisione di tempo) a formare la BRI o PRI**
 - **codifica di linea del segnale multiplato**
 - **gestione della condivisione del canale di segnalazione D da parte di tutti i TE**
 - **divisione in trame**
 - **alimentazione delle apparecchiature di utente (NT alimenta i TE)**

Architettura dei protocolli

- **Il livello 2 ha il compito**
 - indirizzamento dei terminali
 - controllo di flusso
 - controllo d'errore
- **Il protocollo usato è il LAPD (Link Access Procedure for D channel) derivato da HDLC e il LAP-B per il canale B**
- **Il livello 3 è relativo al trasporto dei messaggi di segnalazione mediante i protocolli DSS (Digital Subscriber Signalling)**
- **Il canale D può anche essere usato per accesso dati a pacchetti. In questo caso il livello 3 è quello del protocollo X.25 che definisce uno standard d'accesso per reti a pacchetto in modalità circuito virtuale**

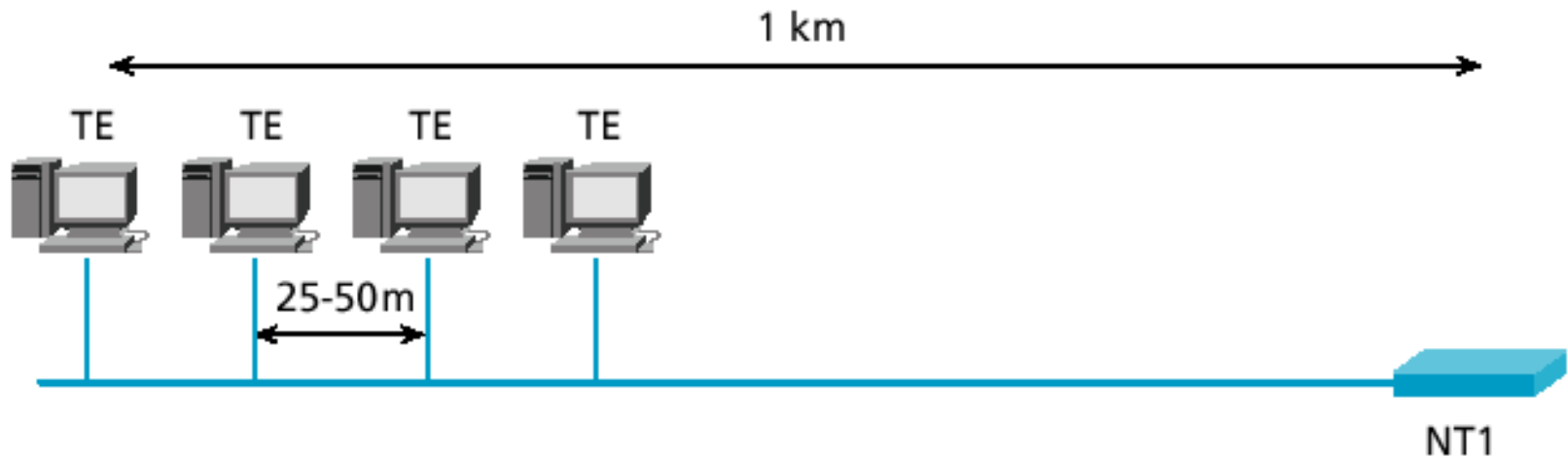
Livello fisico in ISDN

- Il protocollo di livello 1 per l'interfaccia BRI è definito nella raccomandazione ITU-T I.430 che descrive il collegamento tra apparati d'utente TE ed apparati NT attraverso il punto di riferimento S/T
- L'accesso può far uso di una configurazione punto-punto o punto-multipunto
- L'interfaccia PRI usa solo configurazioni punto-punto, tramite NT2 (PBX o LAN)



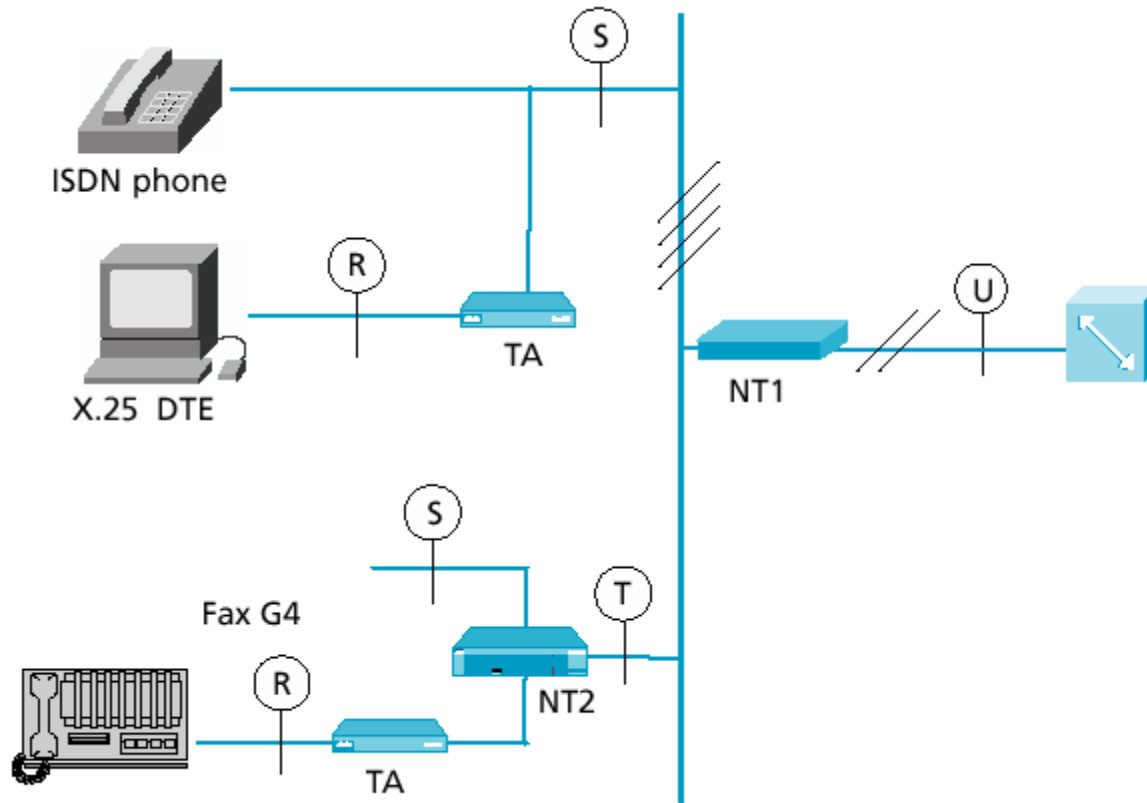
Livello fisico in ISDN

- **Bus passivo esteso: accesso multipunto per siti di utente con apparati TE distanti da NT**



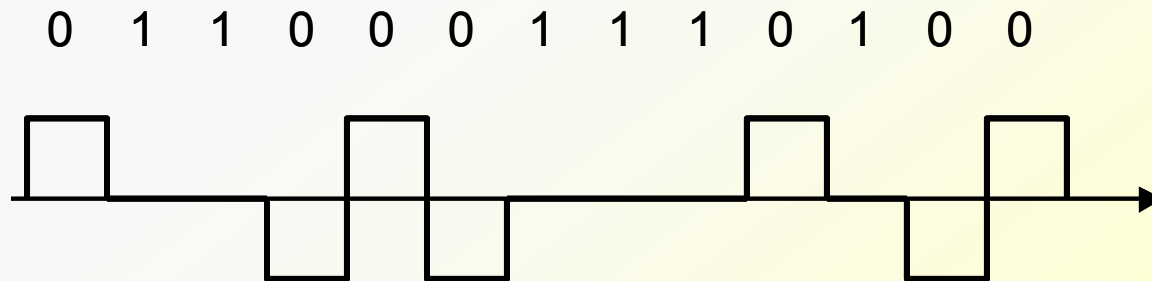
Esempio di configurazione BRI

- **Es. di topologia a bus con 4 TE: un telefono ISDN, un terminale a pacchetto X.25 che si connette tramite un TA, un facsimile (ISDN compatibile) e una segreteria telefonica (tramite TA) connessi al bus tramite cent**



Codifica di linea

- Lo schema di codifica di linea della BRI viene detto pseudo-ternario (la PRI usa il codice AMI)
 - un bit 0 viene rappresentato da un segnale costante di tensione che può assumere, in modo alternato, un valore positivo o negativo (750 mV)
 - un bit 1 viene codificato con l'assenza di tensione
 - due 0 consecutivi di uguale tensione costituiscono una violazione del codice. Tale violazione è usata per dividere le trame su cui è basata la struttura TDM dell'interfaccia d'accesso



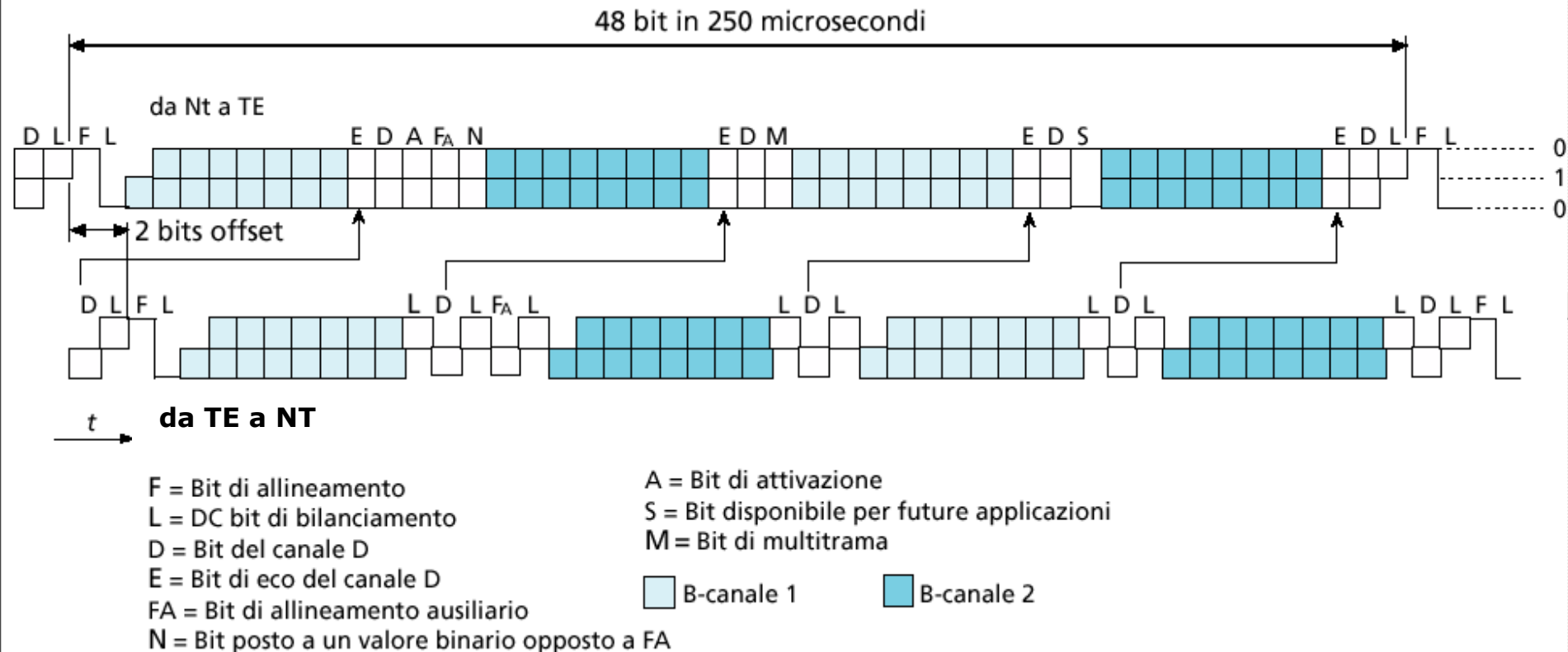
Codifica di linea

- **AMI bipolare:** codifica il simbolo binario 0 con assenza di segnale e il simbolo binario 1 con un impulso di polarità alternativamente positiva e negativa al susseguirsi dei simboli 1; l'alternanza di impulsi positivi e negativi fornisce un semplice meccanismo di rivelazione di errore, che si verifica con la ricezione di due impulsi consecutivi di uguale polarità, anche se distanziati da un intervallo di tempo con assenza di impulsi;
- **pseudoternario:** è il caso duale dello schema AMI bipolare, in quanto codifica il simbolo binario 1 con assenza di segnale e il simbolo binario 0 con un impulso di polarità alternativamente positiva e negativa al susseguirsi dei simboli 0;
- **2B1Q:** è uno schema di tipo multilivello, che utilizza quattro diversi livelli del segnale, ognuno associato a una coppia di bit; in questo caso la velocità di trasmissione è espressa in simboli al secondo, o *baud*, che corrisponde a una frequenza di cifra doppia, se espressa in bit al secondo.

Struttura TDM dell'interfaccia BRI

- **Il segnale numerico scambiato tra TE e NT nei punti di riferimento S e T dell'interfaccia BRI è organizzato in trame**
- **Ogni trama è composta da 48 bit (di cui 36 bit sono di dati) ed ha una durata di 250 μ s, quindi la velocità sul canale risulta di 192 kbit/s (ben superiore ai 144 kbit/s netti di 2B+1D)**
- **Ciascuna trama contiene 16 bit per ciascuno dei due canali B (bit B1 e B2) e 4 bit per il canale D (congruentemente con le velocità dei canali di 64 e 16 kbit/s rispettivamente; 4 bits x 4000 frames/sec=16 kbps)**

Struttura TDM dell'interfaccia BRI



I TE iniziano a trasmettere le loro trame con un ritardo di 2 bit rispetto alla trama generata da NT

Struttura TDM dell'interfaccia

- **Il bit di inizio trama (F) segnala l'inizio trama mediante una violazione del codice**
 - **F è trasmesso come 0 positivo sia a inizio trama che a fine trama (violazione di codice pseudoternario)**
- **I bit L sono di bilanciamento e assicurano che non vi sia alcuna componente continua nel segnale (aggiustano il valor medio dei bit affinché sia zero)**
 - **il primo bit L è trasmesso come 0 negativo in accordo al codice pseudoternario, quindi si trasmette lo 0 successivo come 0 negativo (altra violazione del codice), nella fig. è il I bit di B1; se non ci sono 0 fino a Fa, allora Fa è codificato come 0 negativo; uno 0 positivo e 2 negativi impongono che l'ultimo bit F della trama sia codificato come 0 positivo**
- **I bit di allineamento ausiliari (Fa) vengono usati per l'allineamento di trama in collaborazione con il bit F**

Struttura TDM dell'interfaccia

- **Bit M (di multitrama):** usato da NT per definire una struttura a più trame
 - Le trame sono organizzate in multitrame di 20 trame; il bit M della prima trama della multitrama vale 1 mentre vale 0 nelle altre trame
 - Ogni 5 trame il bit Fa è usato dai TE come ulteriore canale di segnalazione verso NT (canale Q) a 800 bit/s (4 bit ogni 20 trame di 250 μ s) ed è segnalato da un bit Fa=1 da NT a TE
- **Bit N:** nella direzione NT a TE, assume sempre valore binario opposto al simbolo Fa che lo precede e si usa quando il bit Fa è usato per segnalare il canale Q e non può essere usato per la violazione del codice

Struttura TDM dell'interfaccia

- **Il bit A (di attivazione):** è usato da NT per segnalare l'attivazione/disattivazione della connettività coi TE
- **Il bit E (di eco del canale D):** usato nella direzione da NT a TE contiene l'ultimo simbolo binario ricevuto sul canale D nella direzione opposta; serve per la risoluzione delle contese nel caso multipunto poiché tutti i terminali trasmettono contemporaneamente verso il blocco NT
 - ↗ **Non esiste contesa nella direzione NT-TE** perché tutti i TE ricevono lo stesso segnale trasmesso da NT
 - ↗ **La contesa tra TE in direzione NT non può avvenire sul canale B** perché una procedura di controllo al livello 3 assegna ogni canale B a un singolo TE
 - ↗ **La contesa sorge nell'accesso al singolo canale D** da parte di tutti i TE per l'invio di messaggi di segnalazione a NT

Struttura TDM dell'interfaccia

- **L'assegnazione dei canali B avviene sulla base della segnalazione inviata sul canale D e quindi un solo TE per volta accede al canale B**
- **L'invio della segnalazione sul canale D avviene con modalità a pacchetto ed è possibile che più terminali accedano contemporaneamente al canale (collisione)**
- **Per risolvere le collisioni viene adottato un meccanismo di accesso multiplo che fa uso dei bit di eco E**

Struttura TDM dell'interfaccia

- **NT trasmette nel bit E verso i terminali il simbolo binario dell'ultimo bit D ricevuto**
- **Un terminale che trasmette sul canale D controlla che i bit di eco siano pari ai bit trasmessi; se così non è il terminale interrompe la trasmissione immediatamente, così un solo TE alla volta trasmette verso NT**
- **Un terminale che non impegna il canale D trasmette una sequenza di 1 sul canale stesso che corrispondono ad "assenza di segnale"**

Struttura TDM dell'interfaccia

- **Prima di iniziare la trasmissione sul canale D, il TE verifica che questo sia libero analizzando il bit E**
 - **Se questo contiene simboli 1 (assenza di segnale) allora capisce che il canale è libero (eventuale sovrapposizione di simboli 1 da più TE dà luogo a un simbolo 1)**
 - **I TE non trasmettono sul canale D finché rilevano un “certo numero” di bit 1 in base alla priorità di TE**
- **Se la collisione si verifica (2 o più TE sentono il canale libero nello stesso istante) allora viene rilevata nel momento in cui 2 TE coinvolti nella collisione trasmettono bit diversi in corrispondenza dello stesso bit D**
 - **Il TE che ha trasmesso 0 riceverà 0 sul canale di eco e continuerà a trasmettere; il TE che ha trasmesso 1 si accorge della collisione e interrompe la trasmissione**

Struttura TDM dell'interfaccia

- **Dopo una trasmissione con successo del messaggio D, il TE si riduce la priorità richiedendo di rilevare più 1 continui prima di trasmettere. I TE non possono aumentare la priorità finchè tutti gli altri dispositivi sulla stessa linea hanno avuto l'opportunità di inviare un messaggio D**
- **Le connessioni telefoniche hanno priorità più alta rispetto agli altri servizi, e la segnalazione ha la priorità più alta rispetto all'informazione utente**

Struttura TDM dell'interfaccia PRI

- **L'interfaccia PRI, che in Europa raggiunge i 2,048 Mbit/s, usa solo connessioni punto-punto tra TE e NT, tipicamente realizzate tramite NT2 (PBX, LAN)**
- **Il codice di linea usato è AMI bipolare (duale del codice pseudoternario)**
- **La struttura di trama è la stessa del sistema trasmissivo E1:**
 - **32 time slot**
 - **Slot 0 usato per allineamento di trama e servizio**
 - **Slot 16 usato per canale D**