

CAPITOLO 5

TECNICHE DI TRASFERIMENTO DELL'INFORMAZIONE

5. TECNICHE DI TRASFERIMENTO DELL'INFORMAZIONE

Le reti di telecomunicazioni mettono a disposizione, ad un certo numero di utenti, due tipi di risorse da condividere:

- **RISORSE TRASMISSIVE**, intese come banda a disposizione nei link.
- **RISORSE ELABORATIVE**, necessarie per le operazioni di commutazione e di indirizzamento. Nei nodi interni alla rete sono, infatti, necessari degli elaboratori che processano le informazioni fornite dall'utente (indirizzo di destinazione) per inviare i dati correttamente.

Quando si parla di risorse, gli obiettivi del gestore e le richieste dell'utente sono antagonisti a causa degli interessi in gioco certamente differenti:

PUNTO DI VISTA DEL GESTORE: i gestori di rete hanno come obiettivo quello di sfruttare al meglio le risorse hardware e software, in maniera da aumentare al massimo i guadagni. Questo si traduce nel cercare di utilizzare tali risorse più vicino possibile alla saturazione, fermo restando l'obiettivo di garantire un'appropriata *qualità di servizio* (QOS). In pratica il gestore deve riuscire a massimizzare l'utilizzazione delle risorse, ottimizzando, contemporaneamente, l'efficienza dell'investimento.

PUNTO DI VISTA DELL'UTENTE: per contro gli utenti, indipendentemente da come la rete è organizzata e gestita, gradirebbero avere l'impressione di comunicare tramite una linea totalmente dedicata a loro, che assicuri una determinata QOS, pattuita al momento del contratto.

Abbiamo visto che non è conveniente strutturare la rete secondo una topologia a maglia completa, di conseguenza sono necessarie delle tecniche per la condivisione delle risorse trasmissive.

5.1 Assegnazione delle Risorse

Quando si progetta una rete di telecomunicazione, un gestore deve scegliere come realizzare l'assegnazione di risorse condivise dagli utenti. Le strategie di **ASSEGNAZIONE** di risorse possono essere classificate in:

- **MULTIPLAZIONE STATICA**
- **MULTIPLAZIONE DINAMICA**

Nel caso di **MULTIPLAZIONE STATICA**, *la capacità trasmissiva del canale è suddivisa in maniera fissa in tante parti quante sono le attività richiedenti (canali fisici)* per essere pre-assegnate a dei gruppi di utenti o a particolari nodi di transito (i canali via satellite sono spesso assegnati in questa maniera).

Osserviamo immediatamente che l'assegnazione statica del canale è troppo costosa e può essere utilizzata solo da particolari utenti: un esempio è l'assegnazione delle frequenze alle grosse reti televisive o al servizio pubblico di diffusione televisivo.

Nel caso di **MULTIPLAZIONE DINAMICA**, le risorse trasmissive sono assegnate di volta in volta agli utenti in base alle loro richieste e alle condizioni di traffico. In pratica, *il canale fisico di trasmissione viene suddiviso in un certo numero di canali logici, che di volta in volta sono assegnati a coppie di utenti.*

Visto che il traffico che viene immesso nella rete da certe applicazioni non è continuo, ma vi è un susseguirsi di periodi di non utilizzazione (Fig. 5.1-1), nell'ambito del **MULTIPLEXING DINAMICO** (MULTIPLAZIONE DINAMICA) esistono due antagoniste strategie di assegnazione:

- **Assegnazione a domanda**: è lo schema più favorevole per il gestore di rete in quanto tende a massimizzare l'utilizzazione del canale trasmissivo. L'assegnazione del canale avviene ad ogni inizio di utilizzazione e il rilascio avviene alla fine. Durante i periodi

di non utilizzo, all'interno dell'attività (evoluzione temporale dell'attività), la risorsa può essere usata per altre attività. Questa tecnica, dunque, permette di ottenere un'alta utilizzazione della risorsa trasmissiva, perché si "sposta" il problema della condivisione solo quando l'utente ha bisogno di trasferire i dati.

Di contro questa tecnica ha un basso livello d'accessibilità: infatti, non essendo presente la fase di apertura della connessione, ogni spezzone di unità informativa (UI), contenuto in un periodo di utilizzazione, viene mandato allo sbaraglio alla ricerca di risorse.

E' ovvio che un approccio di questo tipo conviene ad un utente con bassa utilizzazione del canale; se al contrario i periodi di OFF sono brevi rispetto agli spezzoni di utilizzazione, all'utente conviene avere delle risorse assegnate.

- **Pre-Assegnazione.** *La risorsa viene assegnata on demand (su domanda) quando insorge l'attività e viene mantenuta per tutta la durata dell'attività stessa. Distinguiamo due tipi di pre-assegnazione:*

⇒ **Pre-assegnazione individuale.** *È la tecnica più diffusa, nella quale la risorsa è assegnata nella sua interezza (in modo indiviso) ad una sola attività (coppie di utenti che hanno bisogno di aprire una connessione). Cioè, una volta che la richiesta viene processata, la risorsa è assegnata a quell'utente per tutta la durata dell'attività.*

La rete telefonica opera proprio in questa maniera: le risorse trasmissive vengono assegnate ad un singolo utente indipendentemente dal tasso di attività.

Ovviamente sarà necessaria una fase iniziale in cui l'utente si presenta, richiedendo l'apertura di una connessione: questa fase dell'assegnazione è molto critica perché possono nascere problematiche di contesa, di ritardo nell'allocazione delle risorse condivise o anche di blocco delle risorse, perciò la richiesta viene persa (come avviene nelle reti telefoniche nel momento in cui non ci sono linee disponibili). Tutto ciò avviene perché la pre-assegnazione individuale è un servizio connection oriented.

⇒ **Pre-assegnazione collettiva.** *Si basa sul principio generale dell'assegnazione a domanda, ma con la differenza che il numero di attività che possono usare la risorsa è controllato da un'autorizzazione di accesso, ottenuta all'inizio della comunicazione su richiesta (ambiente connection oriented).*

L'utente in pratica, quando vuole aprire un'attività, lo segnala, nella fase di set-up, alla rete, specificando in modo statistico la QOS richiesta. L'organo di autorizzazione controlla le risorse che statisticamente sono a disposizione in quel momento, facendo una previsione delle risorse disponibili a breve e medio termine e decide di effettuare un'assegnazione statistica in base alle previsioni effettuate e alla QOS richiesta dall'utente. Una volta accettata la connessione, la rete dovrà trattare le varie richieste di utilizzazione cercando di garantire la QOS promessa all'utente, privilegiando quelli che avevano richiesto una migliore qualità di servizio.

Quindi questa tecnica deve avere un meccanismo di previsione della qualità del servizio per poter garantire una certa QOS.

La pre-assegnazione collettiva è più conveniente dell'assegnazione on demand, in quanto la rete non deve attivare per ogni periodo di utilizzazione degli algoritmi di instradamento e di indirizzamento; inoltre la pre-assegnazione collettiva lascia che l'utente dichiari, in termini statistici, quali sono le soglie di garanzia volute (massimo ritardo ammissibile per il trasferimento dei dati, massima probabilità di perdita di un dato, ecc.)



Fig. 5.1-1: attività non continua con periodi di utilizzazione variabili

Le reti a COMMUTAZIONE DI CIRCUITO utilizzano la tecnica della *pre-assegnazione individuale*, le reti a COMMUTAZIONE DI PACCHETTO e le RETI INTEGRATE usano la *pre-assegnazione collettiva*, mentre le RETI CONNECTIONLESS usano la tecnica di *assegnazione a domanda* (solitamente le reti geografiche usano tale tecnica perché consente loro di gestire in modo efficiente le risorse).

Vediamo adesso di inquadrare il problema della gestione delle risorse dedicandoci all'aspetto della trasmissione e della commutazione.

5.2 Multiplexing

La MULTIPLAZIONE (*Multiplexing*) è l'implementazione del concetto di condivisione di risorse trasmissive.

- Per i vari link della rete, lo SCHEMA DI MULTIPLAZIONE *definisce le modalità con cui le unità informative (UI Information Unit) entranti condividono logicamente la banda disponibile dal ramo di rete detto appunto canale multiplato.*
- **LO SCOPO** è quello di rendere efficiente l'uso della connessione fisica soddisfacendo i requisiti prestazionali richiesti dall'utente. Tra i vari requisiti prestazionali che caratterizzano la QOS, due particolarmente importanti sono:

L'INTEGRITÀ INFORMATIVA

LA TRASPARENZA TEMPORALE

L'integrità informativa si riferisce alla possibilità che, durante la trasmissione vengano corrotti e/o persi alcuni bit del messaggio o l'intero messaggio. Un elevato grado di *integrità informativa* è molto importante nel caso di comunicazione di dati, dove il tasso di errore binario residuo richiesto è dell'ordine di 10^{-10} .

La trasparenza temporale si riferisce ai *ritardi di transito* che differenti unità informative della sequenza di ricezione possono presentare rispetto alle corrispondenti UI della sequenza di emissione.

Maggiore è la *trasparenza temporale* della comunicazione, minore è la variabilità dei ritardi osservati nelle varie UI trasmesse.

Esistono dei servizi detti ISOCRONI in cui per una corretta interpretazione dell'informazione a destinazione, è necessario che il trasferimento sia temporalmente trasparente. Ad esempio nella codifica numerica della voce PCM è necessario che ad ogni 125 μ s un campione vocale venga messo in rete, e che ad ogni 125 μ s tale campione vocale venga prelevato dal destinatario e utilizzato per ricostruire il segnale analogico. Nel caso in cui il campione arriva con un po' di ritardo si avrà una imperfezione nel segnale ricostruito.

Sono detti ANISOCRONI i servizi che non richiedono un'elevata trasparenza temporale nel trasferimento.

Va osservato che un servizio isocrono può utilizzare un trasferimento non temporalmente trasparente a patto che il valore medio della distribuzione dei ritardi di transito sia abbastanza

piccolo e a destinazione si operi una *equalizzazione dei ritardi* che elevi il grado di trasparenza temporale.

- Bisogna osservare che, accanto al problema della gestione della banda (che può avvenire in modo statico o dinamico) c'è il problema della **FORMAZIONE DEL FLUSSO MULTIPLATO** in base alla modalità di accesso al canale. Esistono due alternative:

Con **L'ACCESSO CENTRALIZZATO** il moltiplicatore assegna alle sorgenti, in modo dinamico o statico, la banda richiesta. In pratica il moltiplicatore ha a monte un buffer in cui vengono immagazzinate tutte le UI provenienti dalle sorgenti tributarie per essere successivamente immesse nel canale trasmissivo attraverso un'opportuna politica di scheduling.

Con **L'ACCESSO DISTRIBUITO O MULTIPLO** la formazione del flusso multiplato viene effettuata direttamente dalle sorgenti. Non c'è un unico buffer in cui arrivano le UI dalle varie sorgenti, ma sono le sorgenti, che afferiscono al ramo della rete, ad avere un buffer locale.

Con questa tecnica si dovrà necessariamente far uso di un opportuno protocollo, detto *MAC* (*Medium Access Control Protocol*) che dovrà assegnare la banda a disposizione alle varie sorgenti, risolvendo eventuali situazioni di contesa e cercando di assicurare l'accesso a tutti i richiedenti: questo mi consente di ottenere

- ~ un'efficiente utilizzazione della banda disponibile e
- ~ un limitato ritardo di attesa.

Consideriamo adesso solo gli schemi di **MULTIPLAZIONE CON ACCESSO CENTRALIZZATO**.

Con la moltiplicazione riusciamo ad avere a disposizione, in ogni link della rete, diversi *canali di comunicazione*. Tali possono essere realizzati tramite:

- I. MULTIPLEXING A DIVISIONE DI SPAZIO
- II. MULTIPLEXING A DIVISIONE DI FREQUENZA
- III. MULTIPLEXING A DIVISIONE DI TEMPO

Il **MULTIPLEXING SPAZIALE** è una tecnica *primordiale* di assegnazione statica, ormai non più usata, che consiste nel realizzare i canali logici di comunicazione tramite collegamenti fisici. Il link si presentava, dunque, come un fascio di cavi e i canali erano spazialmente divisi l'uno dall'altro.

Nel **MULTIPLEXING A DIVISIONE DI FREQUENZA** i vari canali logici condividono lo stesso mezzo fisico ma sono caratterizzati da spettri di frequenza che non si sovrappongono. In pratica la banda del mezzo trasmissivo viene suddivisa in tanti canali di frequenza che vengono assegnati di volta in volta agli utenti che richiedono delle comunicazioni. Tale schema di moltiplicazione è molto utilizzato nei sistemi wireless o nelle comunicazioni via satellite.

Quello che caratterizza la moltiplicazione a divisione di frequenza è che una parte della banda totale viene allocata per tutto il tempo necessario alla comunicazione.

Nel **MULTIPLEXING A DIVISIONE DI TEMPO**, a differenza dei precedenti schemi, il canale di comunicazione è uno solo e viene assegnato alle varie comunicazioni in istanti temporali differenti. Questo è il tipo di moltiplicazione più usata nelle reti per dati, in cui la trama (ad esempio PCM) è formata da un certo numero di slot temporali, all'interno dei quali è possibile trasmettere l'unità informativa; la loro durata dipende dalla banda messa a disposizione dal canale e dalla quantità informativa che si deve trasmettere.

Se l'assegnazione dei canali temporali è periodica (cioè l'intervallo temporale viene riservato periodicamente ad una comunicazione) allora, chiaramente, questo è un caso di *pre-assegnazione individuale*.

La *moltiplicazione a divisione di tempo* è invece statistica se si prevede che su uno stesso link accedono più stazioni che inviano dei messaggi accordati in un opportuno buffer prima di essere

trasmessi, cioè ogni unità informativa utilizza la risorsa trasmissiva per tutto il tempo che ne ha bisogno. In conformità a quanto appena detto, esistono diversi schemi di *multiplazione a divisione di tempo*, che esamineremo dopo aver messo in evidenza le PROBLEMATICHE da risolvere quando si opera con questo tipo di multiplazione.

- **PROBLEMA A)** Affinché il demultiplore riesca ad *individuare ogni singola UI* nel flusso di bit ricevuto, è necessaria una *DELIMITAZIONE IMPLICITA O ESPLICITA* delle varie UI.

Nel caso di *delimitazione esplicita* vengono aggiunti delle opportune sequenze di bit che individuano *univocamente* l'inizio e la fine della UI: in pratica s'introduce un *overhead* poiché, come detto, è necessario trasferire dei bit aggiuntivi (informazione di controllo) per ogni UI da trasmettere.

Nel caso di *delimitazione implicita* non si introduce nessun campo di controllo, e il riconoscimento della UI viene effettuato dal nodo di destinazione.

L'unico modo per effettuare questo tipo di delimitazione è quello di incasellare i messaggi in intervalli temporali sincronizzati fra loro: quindi è necessaria una perfetta sincronizzazione tra sorgente e destinatario.

- **PROBLEMA B)** Un secondo problema riguarda la necessità di *indirizzare ogni singola UI* in modo che il demultiplore possa riconoscere la destinazione. Anche qui le tecniche possono essere due:

indirizzamento implicito e

indirizzamento esplicito.

Come la *destinazione esplicita*, anche l'*indirizzamento esplicito* prevede l'aggiunta di un *overhead*.

Una prima classificazione degli schemi di multiplexing a divisione di tempo può essere effettuata in base a com'è gestito l'asse dei tempi. Due possibili alternative sono:

- **UNSLOTTED MULTIPLEXING (U):** ASSE TEMPORALE INDIVISO.
- **SLOTTED MULTIPLEXING (S):** ASSE DEI TEMPI SUDDIVISO IN TIME SLOT (TS) DI LUNGHEZZA FISSA.

Nell'UNSLOTTED MULTIPLEXING, come mostra la Fig. 5.2-1,

- ⇒ *tutte le unità informative possono essere di lunghezza variabile,*
- ⇒ *non esiste nessun vincolo sull'istante di inizio in cui tali UI possono essere trasferite (supponendo che il canale trasmissivo sia disponibile) ed*
- ⇒ *è quindi necessario adottare la tecnica della delimitazione esplicita (con flag) per permettere al demultiplexer di interpretare correttamente il dato.*

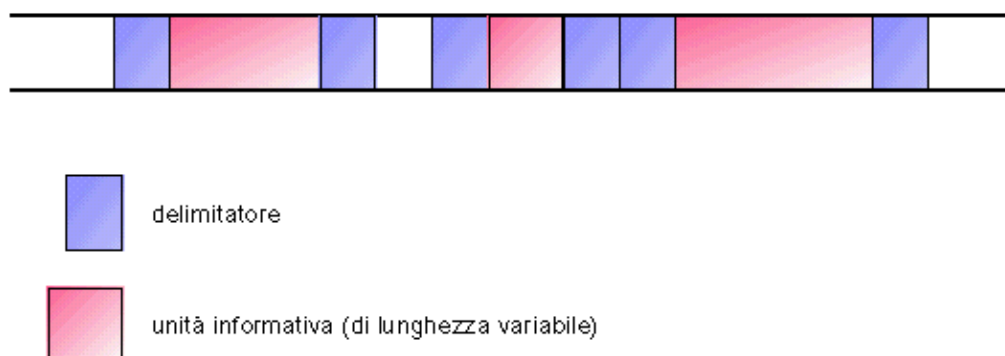


Fig. 5.2-1: Asse temporale nella UNSLOTTED MULTIPLEXING

Questa tecnica è usata nelle reti a commutazione di pacchetto tradizionali.

Lo SLOTTED MULTIPLEXING, in cui l'asse temporale è suddiviso in slot di lunghezza fissa (Fig. 5.2-2), prevede che

- ⇒ tutte le unità informative hanno la stessa lunghezza pari allo slot,
- ⇒ può essere usata la delimitazione implicita,
- ⇒ vi siano delle tecniche di recupero della sincronizzazione per evitare l'eventuale sfasamento dei tempi.

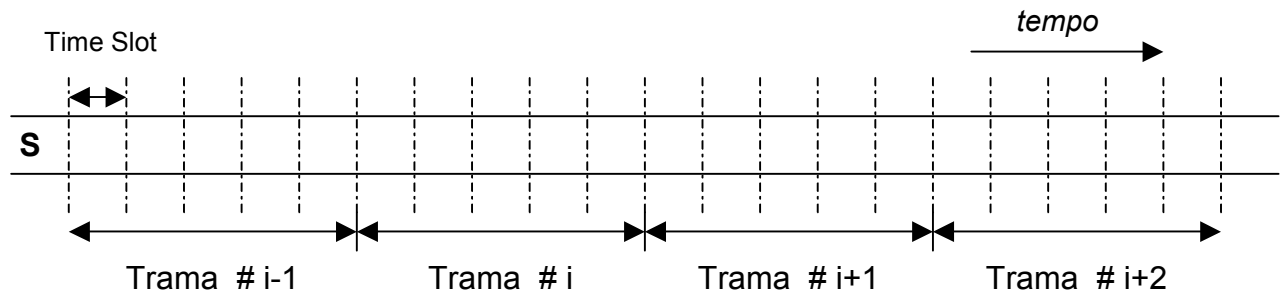


Fig. 5.2-2: SLOTTED MULTIPLEXING

Esistono due varianti della tecnica SLOTTED:

- **Slotted Framed Multiplexing** (SF - moltiplicazione slottata a trame)
- **Slotted Unframed Multiplexing** (SF - moltiplicazione non slottata a trame)

Lo SLOTTED FRAMED MULTIPLEXING (Fig. 5.2-3) adotta un'organizzazione a trama, in cui

- > le trame sono intervalli di tempo di uguale durata costituite da un numero intero di Time Slot (TS) e
- > le parole di allineamento, necessarie per la sincronizzazione di trama e slot fra moltiplicatore e demoltiplicatore, sono poste in un particolare slot della trama (solitamente il primo).

Questa tecnica è usata nel PCM, in cui ogni trama di 125 μ s contiene il campione relativo ad una particolare comunicazione.

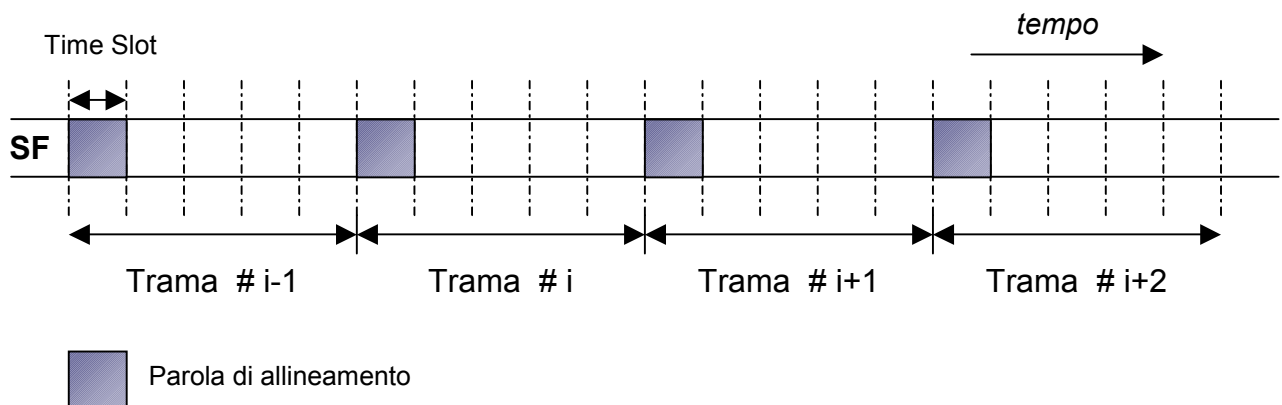


Fig. 5.2-3: SLOTTED FRAMED MULTIPLEXING

La tecnica SLOTTED UNFRAMED MULTIPLEXING (Fig. 5.2-4) non è organizzata a trama e quindi

> le unità di sincronizzazione sono particolari gruppi di bit inseriti in slot non utilizzati dalle UI come campo informativo.

Da notare che in condizioni di alto carico, gli slot vuoti sono molto pochi e quindi la probabilità di perdita di sincronizzazione è molto superiore rispetto alle condizioni di basso carico.

Questo schema è usato nelle nuove reti a commutazione di pacchetto ATM.

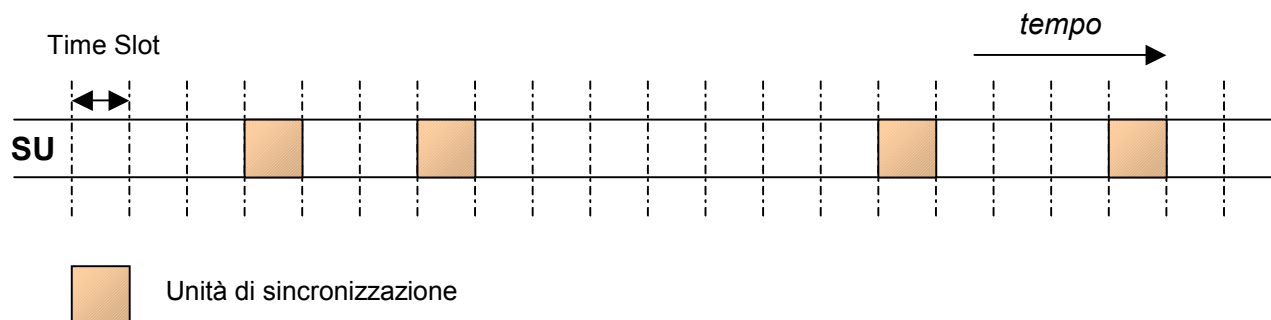


Fig. 5.2-4: SLOTTED UNFRAMED MULTIPLEXING

Esaminiamo in quali casi le varie tecniche di *multiplazione* presentano vantaggi.

Il vantaggio dell'UNSLOTTED MULTIPLEXING è la grande flessibilità grazie a cui è facile realizzare delle funzioni di tipo *multi-rate* che vanno da una gamma di bit rate bassissime ad una gamma di bit rate altissime, impegnando al massimo il canale trasmissivo.

Infatti, questa è la strada seguita per realizzare reti ad alta velocità come l'ATM.

La soluzione SLOTTED FRAMED MULTIPLEXING è invece tipicamente utilizzata in *regime di pre-assegnazione individuale*.

Lo SLOTTED UNFRAMED MULTIPLEXING si può applicare sia in regime di *pre-assegnazione collettiva* che in regime di *assegnazione on demand*, in quanto entrambi si basano su una divisione di tempo asincrona; è comunque preferibile usare una multiplazione di tipo UNSLOTTED quando l'assegnazione è *on demand* (tecnica di massima flessibilità e libertà): così ciascuno utilizza la risorsa quando è il proprio turno.

Viceversa la *pre-assegnazione collettiva* si sposa meglio con la tecnica SLOTTED UNFRAMED.

Comunque, se si va verso un orientamento di *assegnazione rigida* della capacità complessiva della banda del canale, bisogna usare una tecnica di tipo SLOTTED FRAMED MULTIPLEXING, che permette la suddivisione della capacità totale del canale in sub-canali. Effettuando dunque una pre-assegnazione individuale su base chiamata, è possibile assegnare per tutta l'attività un sub-canale ad una comunicazione (viene anche limitata perfettamente la quantità di banda a disposizione dell'attività). Questa tecnica assicura una completa trasparenza temporale ed è idonea sia per servizi isocroni che per trasferimenti orientati al circuito.

Riprendendo il problema dell'*indirizzamento*, abbiamo già accennato che le soluzioni possono essere due. Nel caso di *indirizzamento esplicito* è necessario inserire nell'*header* del pacchetto da inviare un identificativo che può essere o l'indirizzo completo della destinazione o un'etichetta che caratterizza la comunicazione. In ogni caso c'è l'aggiunta di un *overhead*.

L'*indirizzamento implicito* può essere usato in abbinamento con la tecnica SLOTTED FRAMED, in cui la caratterizzazione di una unità informativa, appartenente ad una particolare comunicazione, è data dalla posizione dell'UI all'interno della frame. Ad esempio nella Fig. 5.2-3 ogni frame è composta da 5 slot di cui 4 sono disponibili.

Se i sub-canali vengono gestiti con la tecnica della *pre-assegnazione individuale*, si possono assegnare a 4 distinte comunicazioni i 4 sub-canali, e identificare le UI in base alla posizione che occupano nella frame.

5.3 Switching

Abbiamo visto come possono essere gestite le risorse di comunicazione.

Adesso vediamo come la rete riesce a trasferire i dati dal nodo sorgente al nodo di destinazione, cioè esaminiamo le varie tecniche di **COMMUTAZIONE (SWITCHING)** esistenti, usate dai nodi interni alla rete per gestire le varie UI.

Fin dagli anni '70 le reti per dati sono state suddivise, in base alle **TECNICHE DI COMMUTAZIONE (SWITCHING)** usate, in:

- **RETI A COMMUTAZIONE DI CIRCUITO (CIRCUIT SWITCHING)**
- **RETI A COMMUTAZIONE DI MESSAGGIO (MESSAGE SWITCHING)**
- **RETI A COMMUTAZIONE DI PACCHETTO (PACKET SWITCHING)**

IL CIRCUIT SWITCHING (commutazione di circuito) è la tecnica usata nella rete telefonica e consiste nel creare un percorso tra il nodo chiamante e il nodo chiamato, in una fase preliminare alla comunicazione vera e propria detta fase di *set-up del circuito*.

Una volta costruito il percorso le risorse usate vengono assegnate secondo la tecnica di *pre-assegnazione individuale* e mantenute per tutta la durata della comunicazione.

I nodi interni alla rete sono semplicemente degli autocommutatori che cortocircuitano una porta di ingresso con una porta di uscita. Se la fase di *set-up* va a buon fine, la rete *scompare*, nel senso che gli utenti è come se fossero collegati tramite un link (virtuale) esteso punto-punto fra l'utente chiamante e l'utente chiamato.

La tecnica di commutazione di circuito applicata alla rete telefonica è schematizzata in Fig. 5.3-1 in modo molto semplificato.

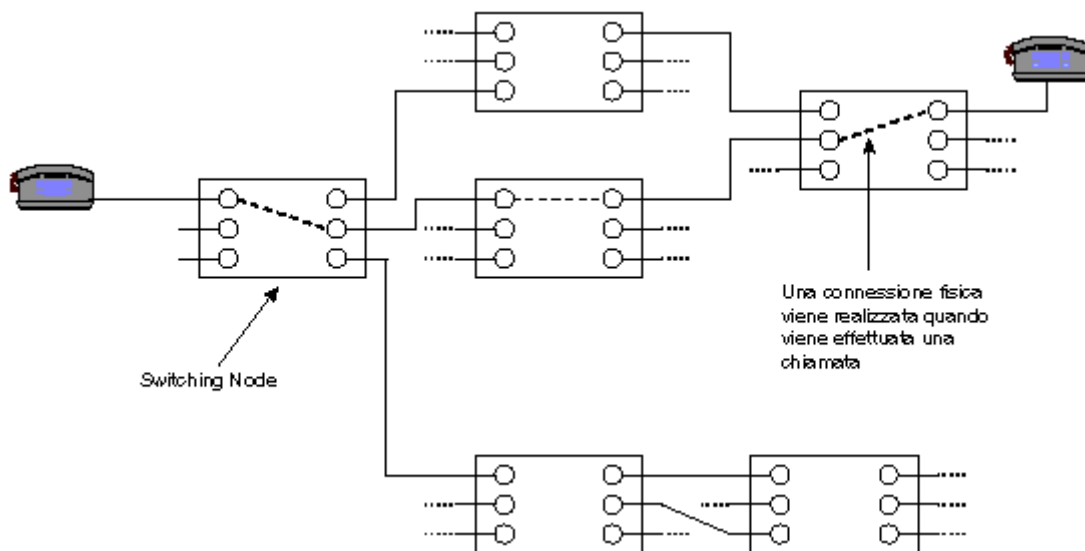
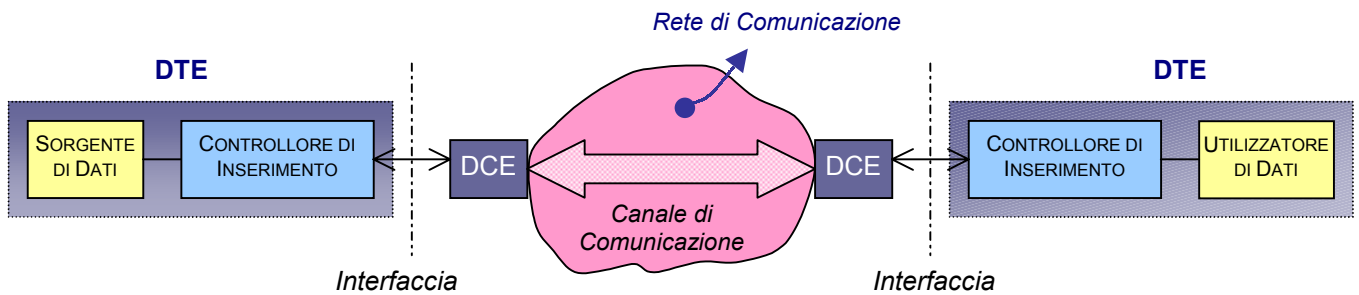


Fig. 5.3-1: Tecnica di Commutazione di Circuito applicata alla rete telefonica

Una RETE A COMMUTAZIONE DI CIRCUITO può essere schematizzata secondo quanto raffigurato in Fig. 5.3-2:



DTE: Data Terminal Equipment

DCE: Data Circuit Termination Equipment

Fig. 5.3-2: SCHEMA di una RETE A COMMUTAZIONE DI CIRCUITO

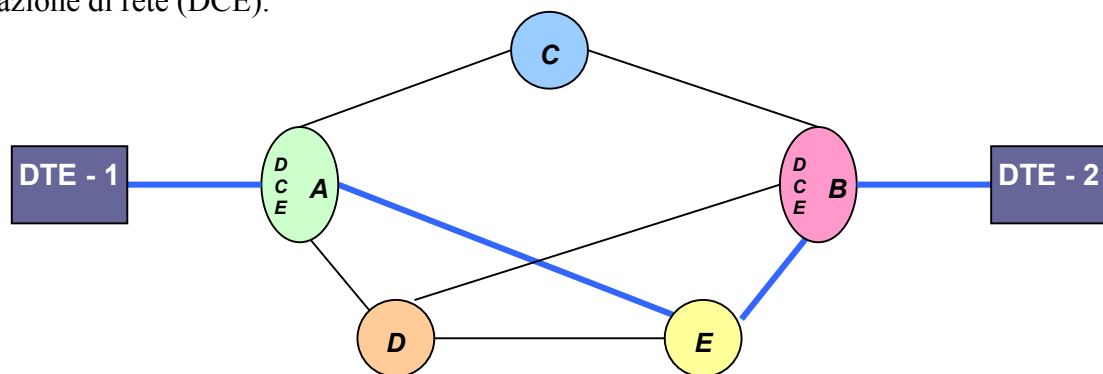
Troviamo:

- ⇒ un **DTE** (*Data Terminal Equipment*) che mi rappresenta la porta della stazione dati che si interfaccia con la rete ed
- ⇒ un **DCE** (*Data Circuit Termination Equipment*) che costituisce la porta della rete che si interfaccia verso la stazione dati.

Il colloquio fra le due stazioni dati non è altro che un colloquio tra due DTE remoti.

Se un DTE -1 deve aprire una comunicazione su una *rete a commutazione di circuito*, esso esprime questa volontà al nodo terminale della rete (DCE), mandando un'informazione di segnalazione in cui è contenuto, ad esempio, l'indirizzo dell'utente (DTE-2) con cui vuole connettersi.

Secondo quanto rappresentato in Fig. 5.3-3, il nodo A di rete, elaborata la segnalazione, apre la connessione scegliendo la strada migliore su cui instradare questa comunicazione. Se il nodo prescelto è il nodo E, questo riceve l'informazione di segnalazione e, come il nodo A, attraverso un algoritmo di instradamento, sceglie di aprire il circuito verso il nodo B, che rappresenta l'altra terminazione di rete (DCE).



DTE: Data Terminal Equipment

DCE: Data Circuit Terminating Equipment

A, B, C, D, E: NODI DI COMMUTAZIONE

— CONNESSIONE FISICA

Fig. 5.3-3: connessione tra il DTE-1 e il DTE-2 in una RETE A COMMUTAZIONE DI CIRCUITO

Ovviamente se la rete contiene molti link, l'informazione di segnalazione continuerà ad essere instradata dai vari nodi intermedi fino alla terminazione di rete (DCE) connessa con il DTE-2.

Quando la segnalazione arriva a destinazione, il DTE-2 invia delle informazioni di controllo che viaggiano a ritroso, ricalcando il tragitto di andata, per confermare che la comunicazione è stata accettata: da questo momento in poi inizia la comunicazione tra il DTE-1 e il DTE-2.

In questa fase di presentazione, detta di *setup*, ovvero di apertura della comunicazione tra il DTE-1 e il DTE-2, ogni nodo di transito connette dinamicamente una porta di ingresso con una porta di uscita, e questa associazione rimane fissa per tutto il tempo della comunicazione.

L'effetto è che una parte di risorsa trasmissiva viene allocata su tutti i link appartenenti al circuito che connette fisicamente il DTE-1 con il DTE-2.

Attraverso tale connessione i dati viaggiano molto velocemente in quanto il circuito, anche se coinvolge diversi nodi di commutazione, è come se fosse punto-punto.

Nelle tecniche MESSAGE SWITCHING (*commutazione di messaggio*) e PACKET SWITCHING (*commutazione di pacchetto*)

ogni *messaggio* o *pacchetto* viene trattato in modo autonomo e i canali logici coinvolti dalla comunicazione saranno multiplessati ed utilizzati solo per il tempo necessario per il trasferimento dell'unità informativa.

I nodi interni alla rete, immagazzineranno le UI provenienti dalle porte di ingresso, inserendoli in un'opportuna coda.

Processeranno il primo elemento della coda e in base al nodo di destinazione e a delle tecniche di *routing* rilanceranno l'UI in una particolare porta di uscita.

Una rete che usa questo schema è anche detta di ***store and forward*** (memorizza e rilancia). La tecnica di multiplexing usata con tale schema è ovviamente di tipo statistico.

La differenza tra il *MESSAGE SWITCHING* e la *PACKET SWITCHING* sta nel fatto che nella

commutazione di messaggio l'UI è costituita dall'intero messaggio, mentre nella ***commutazione di pacchetto*** il messaggio è suddiviso in pacchetti di dimensioni abbastanza ridotte. Così facendo si riesce a diminuire il *tempo di trasferimento*, perché nella rete viaggiano contemporaneamente piccoli pacchetti dello stesso messaggio che vengono processati molto velocemente dai nodi della rete.

Di contro, questo spezzettamento dell'intero messaggio non può, però, spingersi oltre un certa soglia (riducendo ulteriormente la dimensione dei pacchetti) a causa della presenza dell'*overhead* introdotto nell'*header* di ogni pacchetto, che deve contenere un numero di sequenza (per ricostruire il messaggio di partenza), oltre all'indirizzo di destinazione, e che può divenire significativo e quindi penalizzante.

E' dunque necessario un ragionevole compromesso fra la tendenza ad non aumentare troppo l'*overhead* e quella di limitare la lunghezza del campo dati.

Nelle RETI A COMMUTAZIONE DI MESSAGGIO, quando un DTE-1 vuole trasferire un messaggio ad un altro DTE-2 (di destinazione), esso prepara un'opportuna unità informativa UI che contiene i dati nel campo informativo e l'indirizzo del DTE terminale nell'*header*.

Inoltre, a differenza della commutazione di circuito, il messaggio viene fatto passare in un canale trasmissivo tipicamente secondo la tecnica del multiplexing statistico, cioè la risorsa viene assegnata quando se ne ha necessità.

Secondo quanto mostrato in Fig. 5.3-3, il messaggio trasmesso dal DTE-1 arriva al DCE nel nodo A e viene inserito in un buffer in cui stazionerà per tutto il tempo necessario per smaltire gli eventuali altri messaggi che sono arrivati precedentemente.

Quando è il momento di trasmettere il messaggio in questione, il DCE A legge l'indirizzo del destinatario e attiva un algoritmo di instradamento per stabilire quale è la strada ottimale che lo collega alla destinazione finale (DTE-2).

Supponendo che il DCE nel nodo A, secondo quanto rappresentato in Fig.5.3-3, scelga di instradare il messaggio verso il nodo E, l'UI viene accodata verso la relativa porta di uscita e trasferita in E.

Il nodo E, a sua volta, compie la stessa operazione di memorizzazione temporanea del messaggio e di rilancio verso il nodo che ritiene più opportuno (DCE relativo al nodo B).

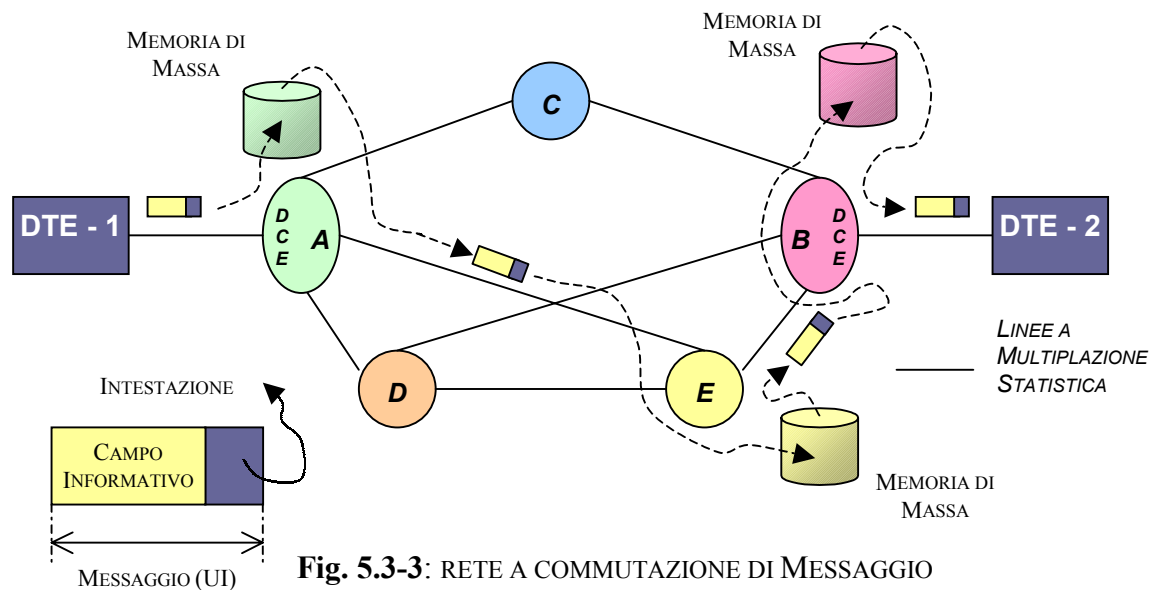


Fig. 5.3-3: RETE A COMMUTAZIONE DI MESSAGGIO

Infine, quando il messaggio sarà pervenuto al DCE del nodo B, tale DCE provvederà a consegnarlo al DTE-2, che rappresenta la destinazione finale.

Come sopra detto, questa filosofia è indicata col nome di *store and forward*, cioè immagazzina e rilancia. Questo schema è più idoneo per la politica di assegnazione dinamica di risorse *on demand* in quanto ciascun messaggio può essere trattato indipendentemente dall'altro, purché ognuno di essi contenga l'indirizzo di destinazione del DTE finale.

Per capire meglio le differenze esistenti fra queste tre tecniche, consideriamo in una rete per dati (Fig. 5.3-4) la sequenza di eventi (evoluzione temporale) che si hanno nelle tre tipologie di COMMUTAZIONE DI CIRCUITO, DI MESSAGGIO e DI PACCHETTO.

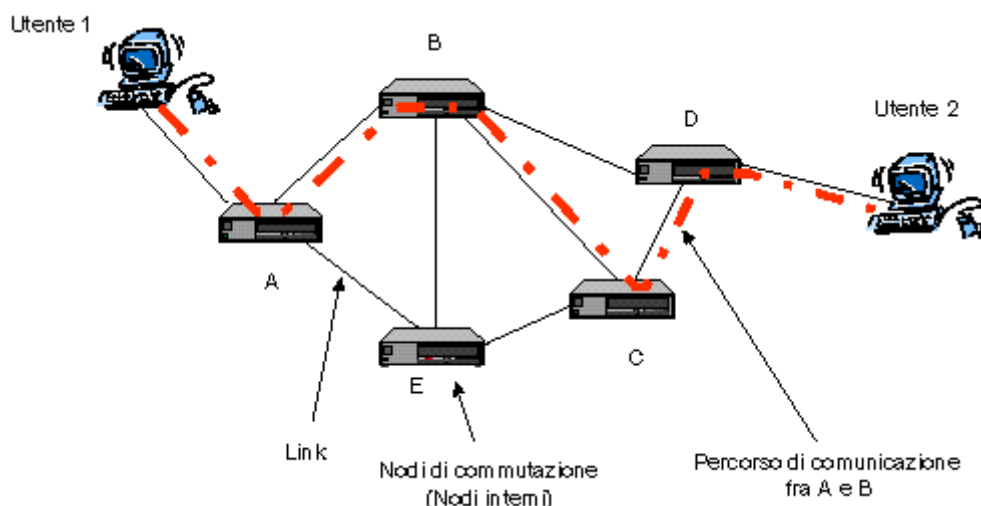


Fig. 5.3-5: Rete per dati

Nel caso di CIRCUIT SWITCHING, come mostrato in Fig. 5.3-6, vi è una fase preliminare di connessione che, una volta trascorsa, crea un collegamento *fisico* tra i due nodi interlocutori. Il ritardo che si osserva sui dati è dunque dovuto semplicemente al ritardo di propagazione perché i nodi intermedi non eseguono nessun processamento dell'informazione.

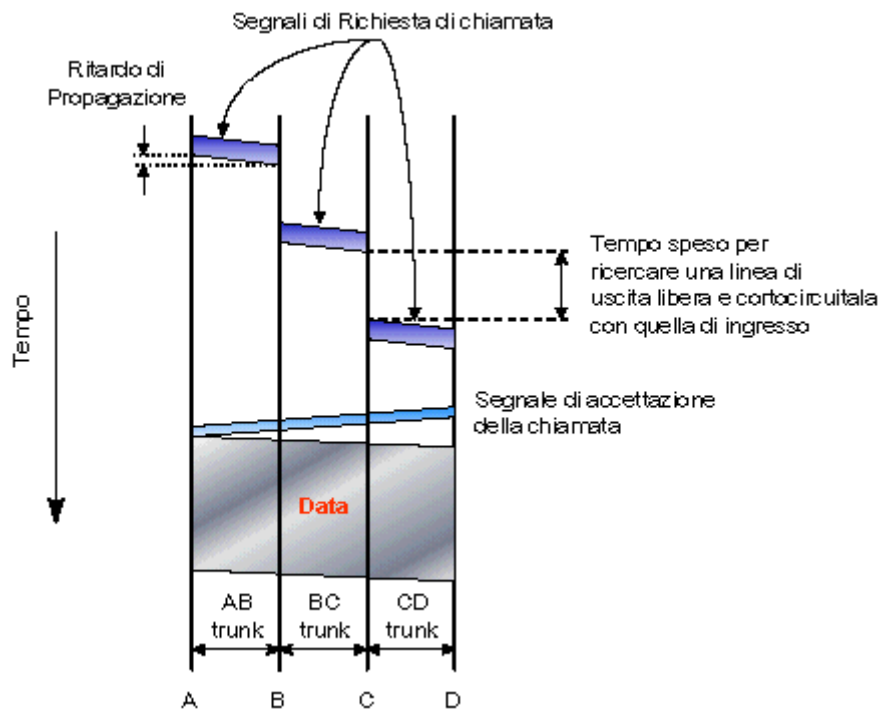


Fig. 5.3-6: sequenza di eventi in una rete a CIRCUIT SWITCHING

Nel caso del MESSAGE SWITCHING (Fig. 5.3-7), l'intero messaggio viene spedito senza che prima venga creato un link che collega il nodo sorgente al nodo di destinazione. Si osserverà dunque, oltre al ritardo di propagazione, il ritardo dovuto al tempo di attesa in coda e al tempo di processamento del messaggio all'interno di ogni nodo intermedio, appartenente al percorso di *routing* del messaggio stesso.

Bisogna inoltre osservare che il messaggio successivo, anche se appartenente alla stessa connessione logica, potrebbe seguire un percorso differente. Con questo schema le risorse elaborative e le risorse di comunicazione vengono usate solo quando se ne ha bisogno.

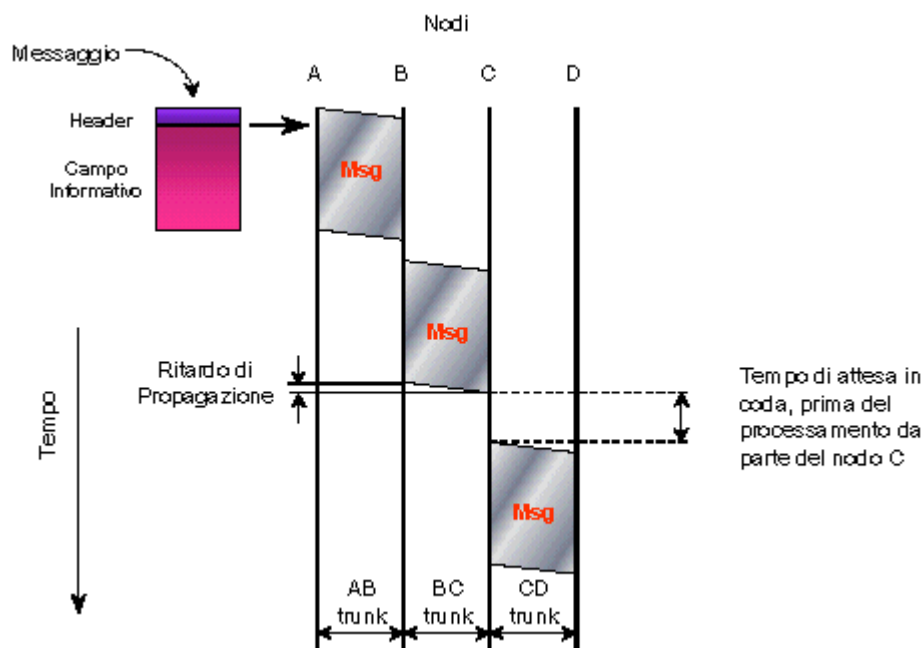


Fig. 5.3-7: sequenza di eventi in una rete a MESSAGE SWITCHING

Infine nel caso del PACKET SWITCHING (Fig. 5.3-8), valgono le considerazioni fatte per il *Message Switching*, con la differenza che il messaggio è spezzettato in pacchetti di dimensione ridotta. Tali pacchetti possono seguire lo stesso percorso o percorsi distinti per arrivare a destinazione: così si ottiene il vantaggio di poter realizzare un'operazione di *pipe lining*, cioè di parallelismo, sul trasporto dei dati contenuti nel messaggio stesso.

Come si vede dalla Fig. 5.3-8, infatti, fissato un istante temporale, è possibile trovare diversi pacchetti in transito nei vari link della rete. Il tempo di trasmissione sarà dunque inferiore rispetto a quello osservato nella tecnica *Message Switching*.

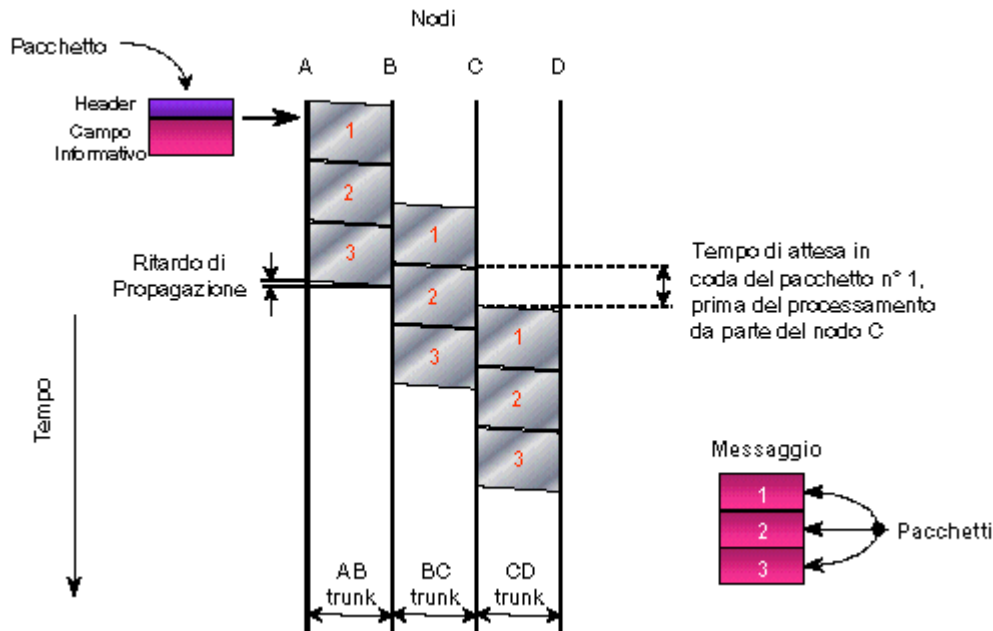


Fig. 5.3-8: sequenza di eventi in una rete a PACKET SWITCHING

Le RETI PACKET SWITCHING possono operare in due modi distinti:

⇒ **Circuito Virtuale**

⇒ **Datagramma**

Nel caso di CIRCUITO VIRTUALE, prima che possa avvenire lo scambio di informazioni vi è una fase di *set-up* del circuito virtuale in cui viene scelto un percorso che collega la sorgente con la destinazione.

Questo percorso verrà usato da tutti i pacchetti appartenenti alla stessa comunicazione che saranno di volta in volta spediti, garantendo così l'ordine di arrivo dei pacchetti stessi. È importante sottolineare che tale circuito è **virtuale**, cioè non è dedicato ad una sola connessione, come avviene nel *Circuit Switching*: quindi le risorse trasmissive vengono utilizzate solo quando se ne ha realmente bisogno (*Multiplexing Statistico*) attraverso una politica di gestione dinamica molto utile in condizioni di congestione della rete.

Questo è il vantaggio di usare un *Circuito Virtuale*.

Nella tecnica DATAGRAMMA, ogni pacchetto è istradato indipendentemente dagli altri, quindi, in generale, l'ordine di arrivo dei pacchetti potrebbe essere differente rispetto all'ordine con cui sono stati immessi nella rete.

Nell'host di destinazione dovrà dunque avvenire il riassettaggio del messaggio tenendo in considerazione il numero di sequenza dei pacchetti stessi.

I vantaggi, che la tecnica *Datagramma* presenta rispetto al *Circuito Virtuale*, sono:

- **non è necessario il set-up** del circuito, quindi questa tecnica è preferita per brevi comunicazioni che richiedono la spedizione di pochi pacchetti;
- **è più robusta** poiché se un nodo intermedio va in *crash*, nel caso di *Circuito Virtuale*, tutte le connessioni passanti per quel nodo vengono interrotte, mentre con il *Datagramma* tutto risulta trasparente prevedendo opportuni accorgimenti;
- **il routing (instradamento) dei pacchetti può tenere conto del traffico** sulla rete, scegliendo percorsi alternativi in caso di congestione.

Analizziamo la sequenza di eventi nel caso di rete a COMMUTAZIONE DI PACCHETTO CON TECNICA A CIRCUITO VIRTUALE. Come si vede dalla Fig. 5.3-9, vi sono due fasi:

- *FASE DI SET-UP*
- *FASE DI TRASFERIMENTO DEI DATI*

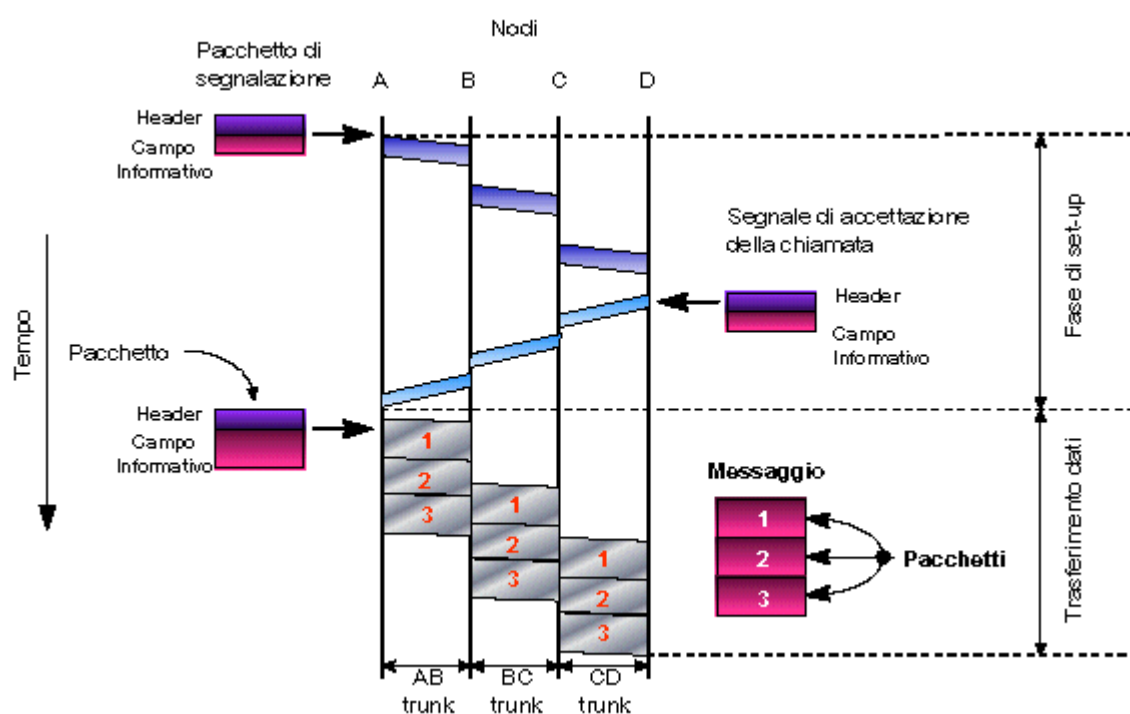


Fig. 5.3-9: sequenza di eventi in una rete a PACKET SWITCHING A CIRCUITO VIRTUALE

Questo è analogo a quanto succedeva nelle reti a commutazione di circuito, ma, ripetiamo che la sostanziale differenza è dovuta al fatto che in questo caso il circuito è *virtuale*.

Nella fase di trasferimento dati, nel caso di *Circuit Switching*, il ritardo è dovuto solamente al tempo di propagazione, nel caso di *Commutazione di Pacchetto con Circuito Virtuale*, il ritardo che si osserverà sui pacchetti è dovuto anche (e soprattutto) al meccanismo di *store and forward* usato dai nodi interni della rete.

Analizziamo adesso cosa avviene durante la fase di *set-up* del circuito virtuale.

Il problema che i vari nodi devono risolvere è essenzialmente la ricerca della porta di uscita nella quale rilanciare il pacchetto di richiesta della connessione e la memorizzazione di tale porta, in modo che gli ulteriori pacchetti dati, appartenenti alla stessa comunicazione, seguano lo stesso percorso.

Pensare di assegnare un contatore per ogni circuito virtuale che identifichi tale percorso in maniera univoca su tutta la rete è una cosa impensabile, soprattutto in ambito geografico. Ogni macchina sceglierà dunque un numero per tale circuito virtuale e tale valore avrà significato solo in ambito locale. Consideriamo il seguente esempio (Fig.5.3-10):

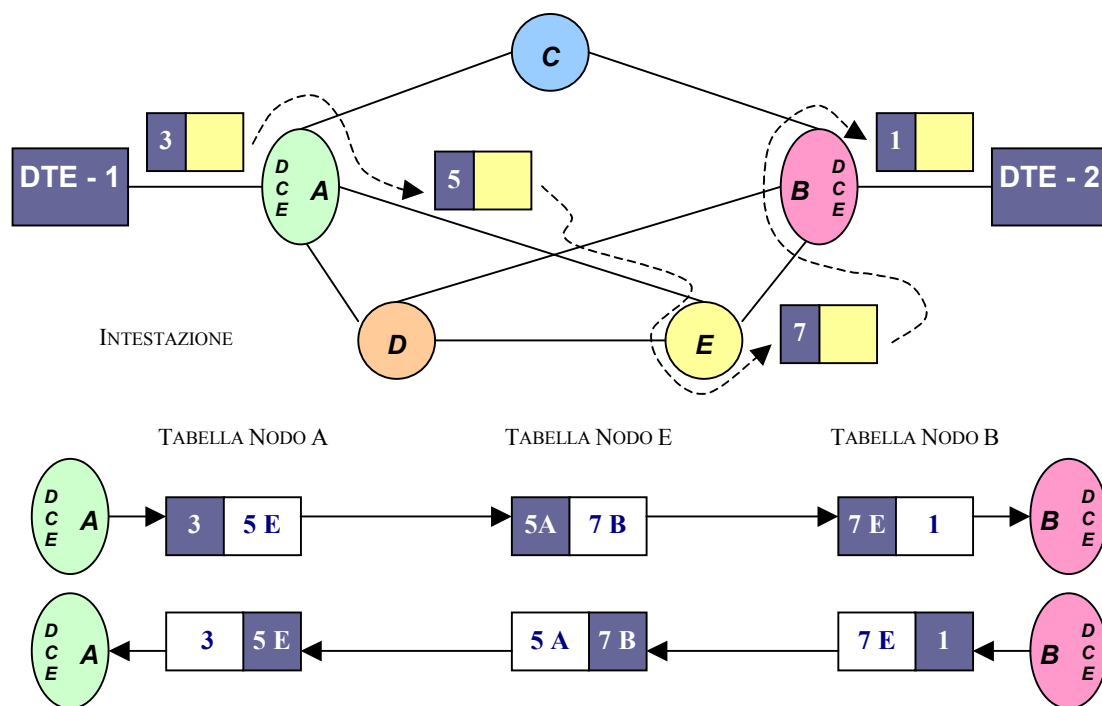


Fig. 5.3-10: rete a PACKET SWITCHING A CIRCUITO VIRTUALE

Il DTE-1 vuole instaurare una connessione con il DTE-2.

Supponiamo che la rete riesca a sostenere contemporaneamente un numero massimo di connessioni pari a 10: quindi, inizialmente, avremo a disposizione 10 connessioni libere.

Il DTE-1 invia un pacchetto di segnalazione al quale assegna il numero di canale logico libero 3: questo significa che il canale logico 1 e 2 sono stati impegnati da altre comunicazioni.

Il nodo A, ricevuto il pacchetto, decide su quale porta di uscita instradarlo, secondo una qualche politica di *routing* (nel nostro caso la porta scelta è quella che collega il nodo A al nodo E, cioè la porta AE), e sostituisce nell'*header* del pacchetto il numero di connessione presente con il primo valore di connessione disponibile sul nodo stesso. Supponiamo che tale valore sia 5.

Pertanto il nodo A inserirà in una tabella interna i valori 3 e 5 E, che indicano che il nodo A ha ricevuto dal DTE-1 il pacchetto con identificativo 3 e lo ha rilanciato verso il nodo E con identificativo 5. In questo modo tutti i successivi dati in arrivo dal DTE-1 con indirizzo di circuito virtuale pari a 3, verranno inviati nella porta di uscita AE con indirizzo di circuito virtuale pari a 5.

Discorso analogo vale per tutti gli altri nodi della rete.

Infatti il nodo E, deciderà di inoltrare il pacchetto verso B (porta EB), inserirà nell'*header* il numero di canale logico libero 7 e aggiornerà la tabella interna con i valori 5 A e 7 B: 5 A indica che il nodo E ha ricevuto il pacchetto dal nodo A con identificativo 5, mentre 7 B indica che lo sta indirizzando verso il nodo B con identificativo 7.

Infine il nodo B assegnerà il numero 7 alla connessione e aggiornerà a sua volta la propria tabella con i valori 7 E e 1.

La fase di *set-up* terminerà quando il DTE-1 riceverà dal DTE-2, il pacchetto di segnalazione in cui è contenuta la conferma "di apertura connessione". Tale pacchetto non conterrà più né l'indirizzo di sorgente e né l'indirizzo di destinazione, in quanto percorrerà a ritroso la stessa strada dell'andata memorizzata nelle rispettive tabelle dei nodi di transito interessati.

Creato il circuito virtuale che collega il DTE-1 con il DTE-2, seguirà lo scambio delle informazioni attraverso dei pacchetti dati che viaggeranno percorrendo, in entrambe le direzioni, la strada segnata dal primo pacchetto di segnalazione.

Con questa politica, se una qualche entità tende a caricare la rete, mandandola in congestione, il gestore può subito provvedere, rallentando il processamento di tutti quei pacchetti con identificativo *x* che hanno provocato il blocco; invece, in un regime *Datagram*, non si può intervenire visto che non si ha nessun modo per riconoscere un particolare flusso dati.

Viceversa, nel caso di guasto di un nodo di transito della rete, in regime *Datagram* i dati continueranno a viaggiare seguendo un'altra strada, mentre se il *Circuito è Virtuale* la tratta assegnata alla comunicazione è in *failure* e quindi il principio di funzionamento dovrà cambiare se si vuole risolvere questa condizione di interruzione.

Per risolvere questo problema si era pensato di applicare delle codifiche di reistradamento (*rerouting*), in caso di *failure* del circuito virtuale: l'idea era buona, ma, per le reti per dati pubbliche, i grandi gestori di rete hanno optato per un controllo di congestione che, in caso di congestione non recuperabile, avvisa l'utente della chiusura della comunicazione, inviando un opportuno pacchetto di segnalazione.

Bisogna puntualizzare che siamo in regime statistico di assegnazione dinamica delle risorse e quindi ogni pacchetto dati dovrà aspettare il proprio turno prima di essere processato: condizioni di elevato traffico fanno aumentare questo tempo di attesa.

Dato che i circuiti virtuali possono essere creati da entrambe le direzioni, potrebbero esserci problemi quando le richieste di connessione vengono propagate contemporaneamente dalle due parti. In tal caso è previsto un opportuno meccanismo che impedisce l'instaurazione della connessione da una parte, evitando dunque inconsistenze nell'algoritmo prima riportato.

Prima di concludere, descriviamo le analogie che esistono tra i vari metodi di commutazione e i reali sistemi di trasporto.

COMMUTAZIONE DI CIRCUITO

⇒ Il modello di trasporto reale è il TRENO, che collega due località percorrendo sempre la stessa strada, fisicamente disponibile fra sorgente e destinazione.

COMMUTAZIONE DI PACCHETTO A DATAGRAM

⇒ Il modello di trasporto reale è il TAXI; infatti il taxista trasporterà un passeggero alla destinazione richiesta, senza alcun vincolo riguardo il percorso da seguire.

Si presuppone, senza alcun obbligo, che il taxista scelga la strada più breve e meno trafficata per far risparmiare tempo all'utente.

COMMUTAZIONE DI PACCHETTO A CIRCUITO VIRTUALE

⇒ Il modello di trasporto reale è l'AUTOBUS, poiché, i passeggeri, in base al biglietto pagato che li identifica, verranno trasportati a destinazione seguendo un percorso, che dinamicamente potrebbe variare a causa di lavori in corso, di traffico, ecc., lasciando, però, inalterato il servizio.

5.4 Conclusioni

Per concludere, nella tabella di Fig. 5.4-1 sono riportate le differenze più rilevanti fra il CIRCUIT SWITCHING e il PACKET SWITCHING:

CARATTERISTICHE	CIRCUIT SWITCHING	PACKET SWITCHING	
		<i>Datagramma</i>	<i>Circuito Virtuale</i>
<i>Percorso Fisico Dedicato</i>	Si	No	
<i>Allocazione di Banda</i>	Fissa	Dinamica	
<i>Possibilità di sprecare banda</i>	Si	No	
<i>Basato su trasmissione Store and Forward</i>	No (end to end)	Si	
<i>Tutti i pacchetti seguono lo stesso percorso di routing.</i>	Si	No	Si
<i>Set Up della connessione</i>	Si	No	Si
<i>Possibilità di avere congestione</i>	Durante la fase di set-up della connessione stessa	Per ogni pacchetto trasferito (produce un ritardo di trasmissione del pacchetto)	
<i>Tariffazione (charging)</i>	Si tariffa la durata della connessione in base alla distanza del collegamento. Per cautelarsi da possibili congestioni, e per ottenere più guadagni, si sono introdotte delle fasce orarie di convenienza.	Per pacchetti trasferiti	Per pacchetti trasferiti
		Dipende solo dal volume di traffico (è soltanto quando viaggia il pacchetto che si impegna la risorsa).	Dipende dalla durata della connessione (tempo di ricerca e memorizzazione del numero di canale logico libero).

Fig. 5.4-1: differenze più rilevanti fra il CIRCUIT SWITCHING e il PACKET SWITCHING

Quindi nel *Circuit Switching* la tariffazione dipende dalla distanza tra gli utenti, che vogliono instaurare una connessione, mentre nel caso del *Packet Switching* questo non avviene.

Per valutare se è più conveniente, per l'utente, affidarsi ad una rete a *Commutazione di Circuito* (CS) o ad una rete a *Commutazione di Pacchetto*, dobbiamo considerare

il **tasso di attività** definito come:

$$\text{Tasso di attività} = \frac{\text{tempo impiegato per il trasferimento dell'informazione}}{\text{durata della connessione}}$$

La Fig. 5.4-2 mostra le aree di convenienza per la *Commutazione di Circuito* (CS) e per la *Commutazione di Pacchetto* in funzione del fattore di distanza (fra i due interlocutori) e del *tasso di attività*.

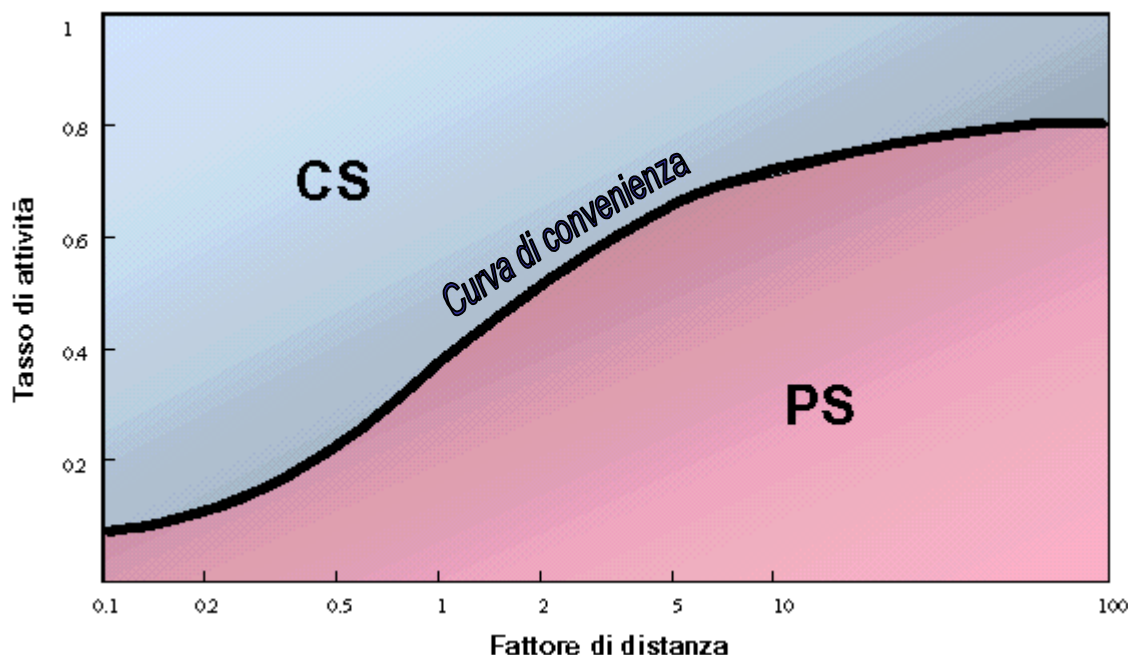


Fig. 5.4-2: aree di convenienza per la *Commutazione di Circuito* (CS) e per la *Commutazione di Pacchetto* in funzione della distanza (fra i due interlocutori) e del *tasso di attività*.

Osserviamo che per brevi distanze spesso conviene il *Circuit Switching* anche per bassi tassi di attività. Quando il fattore di distanza aumenta, anche per elevati tassi di attività è preferibile (perché più economico) utilizzare la tecnica *Packet Switching*.

Oltre a motivazioni di carattere economico, la scelta della rete va fatta anche in relazione alla qualità del servizio (QOS): infatti esistono sorgenti di traffico disposte a pagare pur di avere a disposizione una rete che offri loro particolari servizi di trasferimento dati (esempio il CBR *continuuou bit rate*).

Consideriamo l'esempio della codifica vocale.

Data una sorgente vocale (analogica), operiamo, in trasmissione, una codifica in termini numerici di tipo PCM. Affinché, in ricezione, i campioni del segnale vocale possano essere ricostruiti senza alcuna perdita di informazione, è necessario che tali campioni vengano consegnati al destinatario con la stessa cadenza temporale del campionamento effettuato in partenza.

Pertanto, come mostra la Fig. 5.4-3, una tecnica a *Commutazione di Circuito* mi garantisce un collegamento punto-punto trasparente, che trasporterà i bit del segnale campionato senza alterare i tempi di consegna; al contrario una rete a *Commutazione di Pacchetto*, a causa dello *store and forwarding* (l'informazione staziona memorizzata in un nodo di transito per un tempo dipendente dinamicamente dal traffico presente in rete), modificherà i tempi di consegna con ovvio degradamento del segnale ricostruito in ricezione.

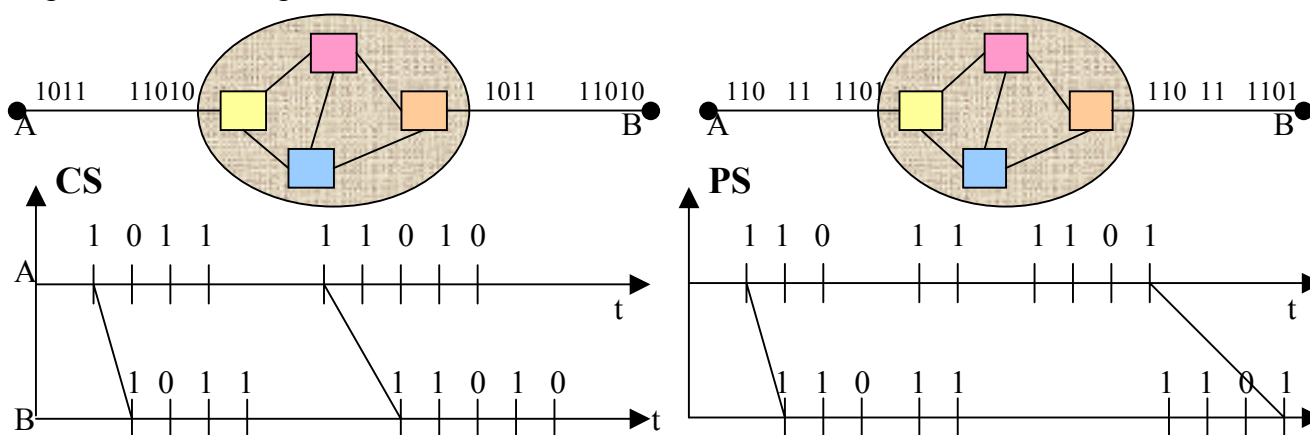


Fig. 5.4-3: codifica vocale PCM con rete a CS e rete a PS.