

Capitolo 3: Il modello OSI

3.1. Introduzione

Il modello OSI (Open System Interconnection), sviluppato alla fine degli anni '70 dall'organismo internazionale ISO (International Standard Organization), ha come obiettivo principale la realizzazione di **sistemi aperti**, fra i quali sia possibile trasferire dati indipendentemente dal costruttore e dalla configurazione dei sistemi considerati.

Il modello OSI definisce come **sistema** un insieme di uno o più elaboratori con il relativo software, periferiche e terminali. **Un'applicazione** è invece l'elemento (es. programma software) che svolge effettivamente l'elaborazione dei dati.

Lo standard OSI si occupa dello scambio di informazione tra sistemi e tra gli altri elementi che contribuiscono alla connessione di tali sistemi (strutture ed apparati di telecomunicazioni), come mostrato nella Figura 3.1. Esso si propone i seguenti scopi:

- *Fornire una base comune per la realizzazione di standard nel settore dell'interconnessione di sistemi informatici e di telecomunicazione.*
- *Facilitare l'interconnessione tra apparati prodotti da diverse aziende.*
- *Costruire una struttura di riferimento per realizzare una rete aperta e trasparente per l'utente.*

L'architettura generale del sistema OSI è basata su tre componenti principali:

1. **I sistemi** che contengono le applicazioni.
2. **I processi applicativi** per lo scambio di informazione.
3. **Le connessioni** che permettono lo scambio di informazioni.

Per semplificare la descrizione e la progettazione di un sistema, lo standard OSI utilizza una **struttura a livelli**. Questo tipo di approccio è oggi comune a tutti gli standard per le architetture di rete, mentre possono variare il numero di livelli, il loro nome e le funzionalità.



Figura 3.1. Schema generale di un sistema di comunicazione tra due computer.

3.2 Descrizione generale del modello OSI

L'architettura di un qualunque sistema per il trasferimento dell'informazione viene divisa dal modello OSI nei seguenti sette livelli:

- 1 livello fisico
- 2 livello di collegamento (data link)
- 3 livello di rete
- 4 livello di trasporto
- 5 livello di sessione
- 6 livello di presentazione
- 7 livello di applicazione

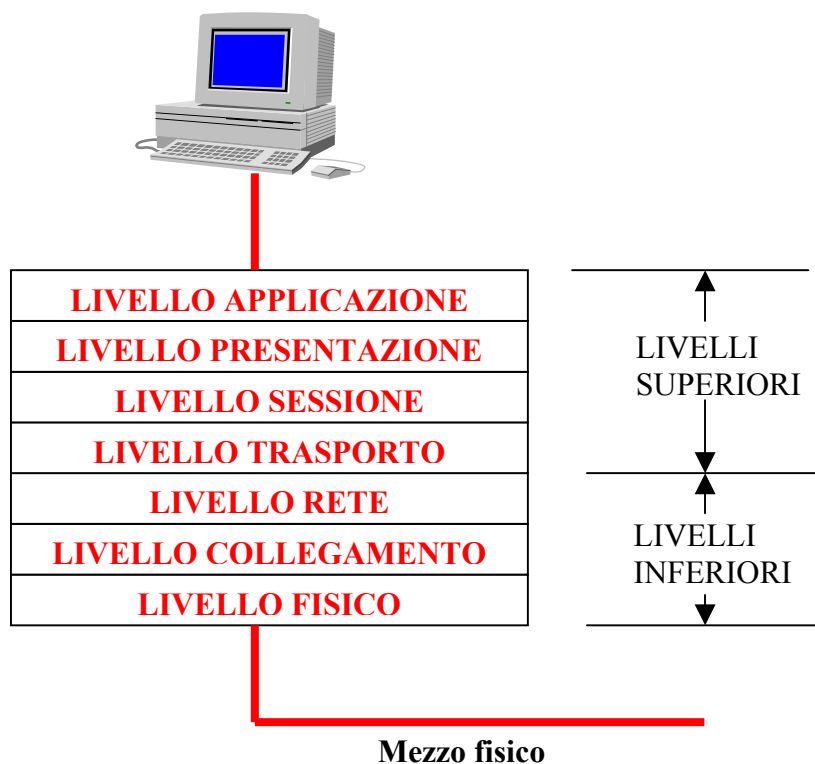


Figura 3.2. La struttura in livelli del modello OSI.

La struttura del modello, indicata anche con il nome di pila OSI, è mostrata nella Figura 3.2. Ciascun livello svolge compiti ben precisi ed interagisce con gli altri livelli mediante procedure definite ed universali. Ogni livello contiene:

- le **entità** che rappresentano gli elementi attivi di ogni livello e possono risultare sia di tipo software (ad esempio un processo), sia di tipo hardware (ad esempio un dispositivo di I/O). Ogni livello è composto da una o più entità.
- I **punti di accesso al servizio**, indicati con il simbolo **SAP (Service Access Point)**.

Lo scopo di ciascun livello è di fornire in modo trasparente servizi alle entità di livello superiore. Le entità del livello n forniscono perciò in modo trasparente servizi utilizzati dal livello $n+1$, ovvero senza che il livello $n+1$ debba intervenire nelle operazioni svolte dal livello n . Il livello n è definito **fornitore di servizio** ed il livello $(n+1)$ è denominato **utente del servizio**.

I servizi forniti dal livello n sono disponibili per il livello $(n+1)$ nei SAP del livello n . Ciascun SAP ha un *indirizzo che lo identifica in modo univoco*. Per chiarire le idee consideriamo l'analogia con la rete telefonica: in questa analogia i SAP possono essere rappresentati dalle prese in cui sono inseriti i telefoni e l'indirizzo dei SAP dai numeri di quei telefoni. Le entità usano e forniscono i servizi tramite i SAP come mostrato nella Figura 3.3.

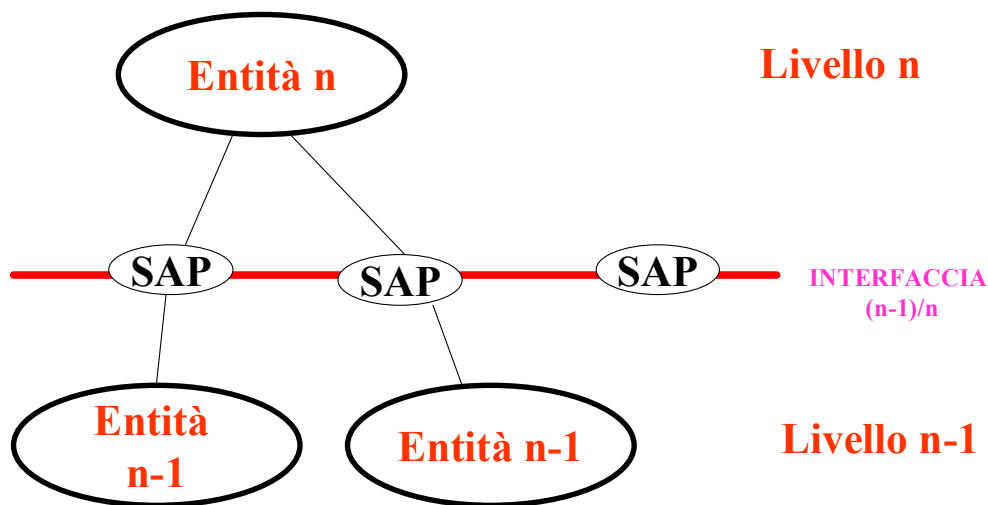


Figura 3.3. Realizzazione di servizi mediante le SAP tra il livello $(n-1)$ e il livello n .

Due livelli possono scambiarsi informazioni se sono stabilite un insieme di regole relative al modo di operare dell'**interfaccia**. L'interfaccia definisce perciò quali operazioni primitive e quali servizi sono forniti da un livello superiore ad un livello inferiore.

Il livello n riceve dati dal livello superiore ed aggiunge una serie di dati di controllo, come mostrato nella Figura 3.4, in cui sono considerati il processo che trasmette i dati e il processo che li deve ricevere

Il processo che trasmette fornisce i dati al livello di applicazione; quest'ultimo effettua due operazioni:

- Aggiunge l'intestazione di applicazione (AH=Application Header) senza introdurre nessuna modifica nei dati forniti dal processo trasmittente.
- Fornisce il nuovo messaggio (AH + i dati) al livello inferiore.

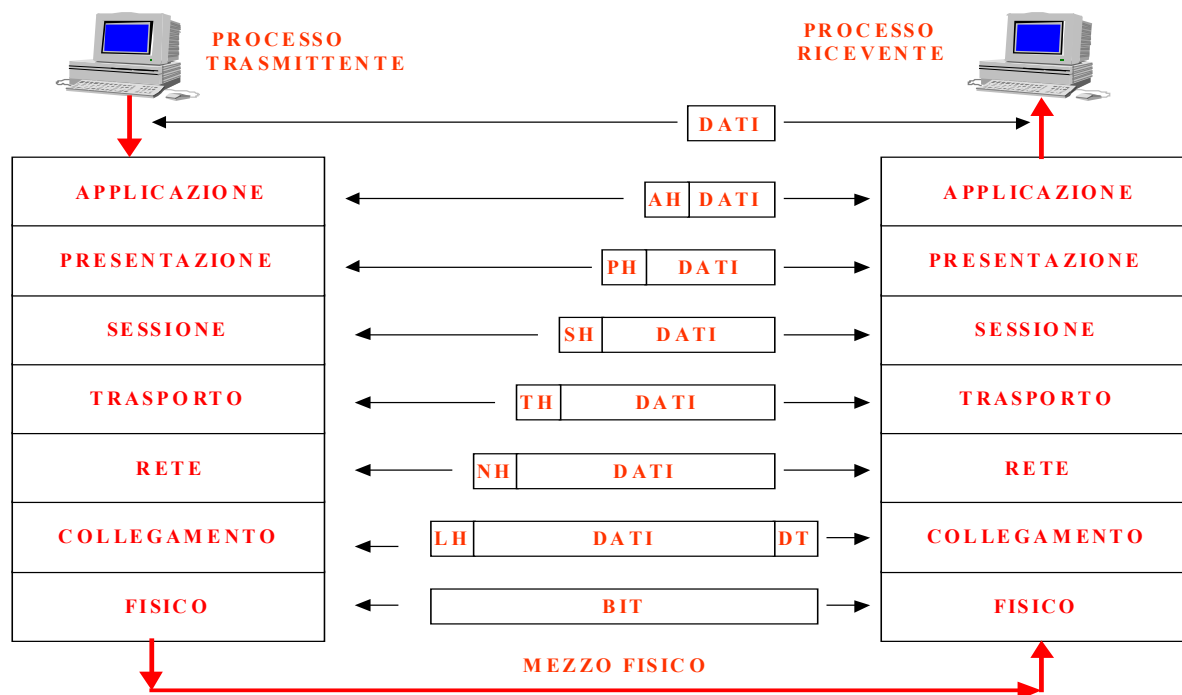


Figura 3.4. Gestione dei dati da parte dei livelli nel modello OSI.

Il processo si ripete in modo simile nei livelli successivi. Il livello n riceve i dati dal livello $n+1$, aggiunge un'intestazione senza modificare i dati provenienti dal livello superiore e passa il nuovo messaggio al livello inferiore. In questo modo il livello n non distingue tra i dati a livello $n+2$ e l'intestazione aggiunta dal livello $n+1$. Nel livello 2 viene aggiunta anche una sequenza in coda per il controllo d'errore. Il livello fisico (livello 1) non aggiunge nessuna informazione ma trasforma i dati provenienti dal livello 2 in una sequenza di simboli. In ricezione il livello n analizzerà la testata introdotta in trasmissione dal livello corrispondente ed utilizzerà questi simboli per effettuare una serie di operazioni e controlli, dopodiché eliminerà la sua testata e passerà i "dati" al livello superiore.

Il concetto base nella struttura OSI è che *ciascun livello opera come se la trasmissione avvenisse in orizzontale* e quindi il livello n in ricezione interagisce solo con il livello n in trasmissione, utilizzando soltanto le informazioni aggiunte da quest'ultimo. In questo modo i livelli sono indipendenti ed isolati. *Questa struttura consente di cambiare un livello, ad esempio modificando i protocolli di tale livello, senza dover introdurre cambiamenti negli altri livelli.*

I dati generati dal protocollo di livello n sono detti **PDU (Protocol Data Unit)** del livello n (o n -PDU). Una volta attraversata nei SAP l'interfaccia tra il livello n ed il livello $n-1$, essi diventano una **SDU (Service Data Unit)** del livello $n-1$ e sono indicati con $(n-1)$ -SDU come mostrato nella Figura 5. Nell'ambito del livello $(n-1)$ l'unità **PCI (Protocol Control Information)**, indicata anche come $(n-1)$ -PCI, genera dei dati, che costituiscono l'header, del livello $(n-1)$. L'insieme dei dati $(n-1)$ -PCI e $(n-1)$ -SDU formano i dati da passare al livello inferiore.

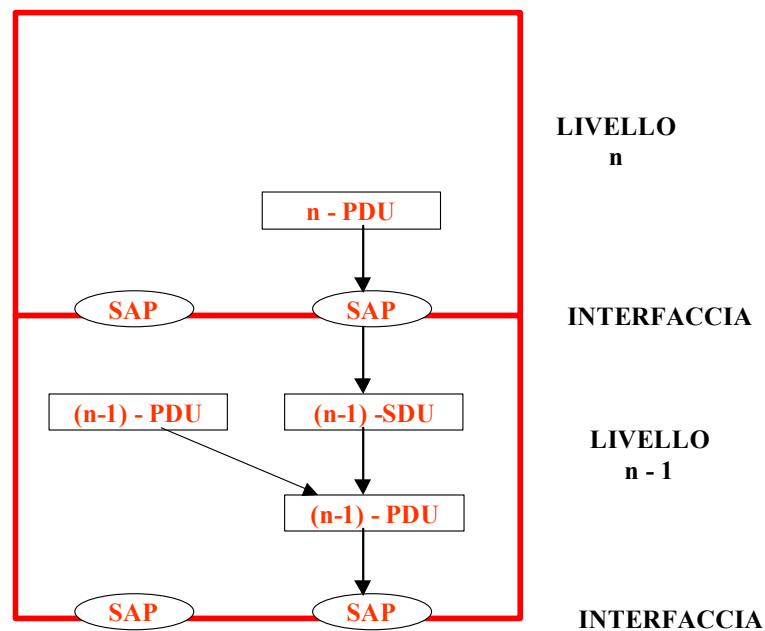


Figura 3.5. Gestione dei dati tra i livelli.

I sette livelli del modello OSI sono spesso divisi in due classi (Figura 3.2):

- **Protocolli di rete o di livello inferiore:** corrispondono ai primi tre livelli (fisico, link, network) e riguardano la rete di comunicazione; il compito di questi livelli è di far arrivare le informazioni al processo destinazione in modo corretto.
- **Protocolli di livello superiore:** corrispondenti ai 4 livelli superiori (trasporto, sessione, presentazione ed applicazione); questi livelli devono assicurare che i dati consegnati a destinazione siano correttamente interpretabili.



Figura 3.6 - Schema generale di un sistema di trasmissione dati.

Lo schema generale di un sistema per il trasferimento delle informazioni tra due terminali è mostrato nella Figura 3.6, in cui sono evidenziati i principali blocchi. I due calcolatori rappresentano i due sistemi finali (quello di trasmissione e di ricezione), mentre il nodo di rete (in generale saranno più di uno) serve a realizzare il collegamento tra i due sistemi. Nei due calcolatori devono essere presenti tutti i sette livelli del modello OSI, mentre nei nodi di comunicazione devono essere presenti soltanto i livelli che supportano il trasferimento dell'informazione sulla rete, cioè i primi tre livelli, come mostrato nella Figura 3.7. In alcuni casi il nodo della rete ha solo il livello 1 oppure solo i primi due livelli.

3.3. Servizi senza connessione o con connessione

I protocolli e i servizi dei diversi livelli OSI possono essere definiti con due modalità diverse:

- Modalità senza connessione.
- Modalità con connessione.

Modalità con connessione

Nella modalità con connessione lo scambio di dati è organizzato in tre fasi:

- 1 creazione della connessione tra le due stazioni;
- 2 trasferimento dei dati;
- 3 abbattimento del collegamento.

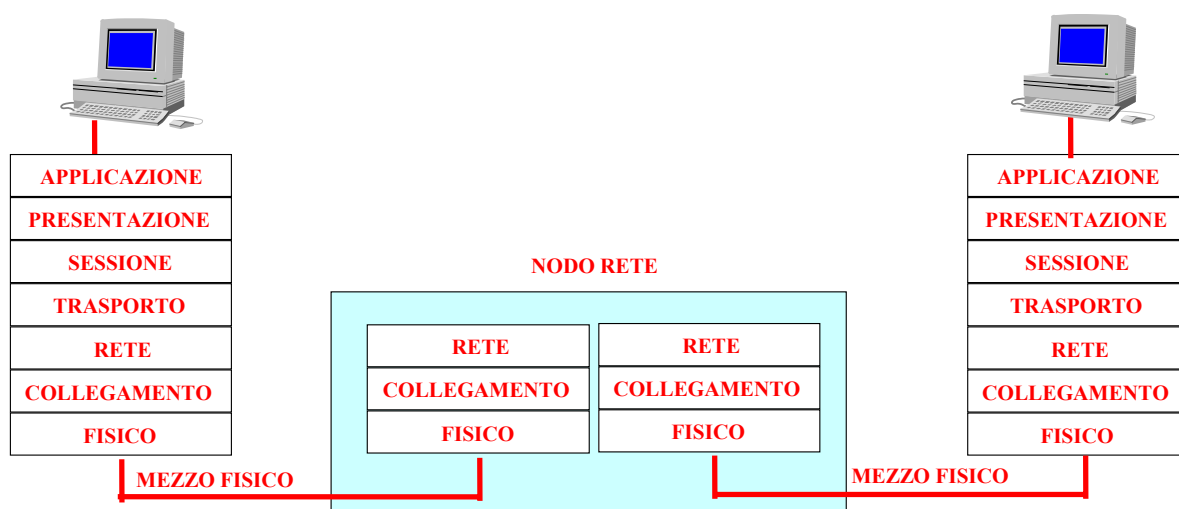


Figura 3.7 - Livelli OSI per i diversi componenti del sistema di trasmissione dati.

Questa tecnica è molto simile da un punto di vista concettuale a quella utilizzata nella telefonia. Durante la prima fase, la stazione chiamante deve specificare *gli indirizzi del mittente e del destinatario*. Alla fine di questa fase *viene realizzato un collegamento fisico* tra le due stazioni, che sarà utilizzato per il trasferimento di tutti i dati tra queste. Nella seconda fase le entità coinvolte dovranno specificare soltanto l'identificativo della connessione stabilita nella prima fase. Nella modalità con connessione le PDU sono ricevute nello stesso ordine con cui sono trasmesse. Alla fine della trasmissione, il sistema provvede ad abbattere il collegamento.

Le fasi di creazione ed abbattimento del collegamento possono introdurre ritardi significativi nella trasmissione di dati, specialmente se i dati da trasferire hanno una lunghezza limitata.

Modalità senza connessione

Nella modalità senza connessione (o *datagram*) ogni pacchetto dati PDU segue un percorso autonomo nella rete; per questo ogni PDU deve contenere l'indirizzo del destinatario (e nella maggior parte dei casi anche del mittente). I pacchetti che formano un messaggio possono seguire strade diverse nella rete per raggiungere il ricevitore e possono perciò verificarsi i seguenti inconvenienti:

- i pacchetti di uno stesso messaggio possono avere ritardi diversi;
- i pacchetti possono essere ricevuti in ordine diverso da quello di trasmissione. Per questo motivo il ricevitore deve memorizzare i pacchetti ricevuti in un buffer e ristabilire l'ordine temporale dei pacchetti.

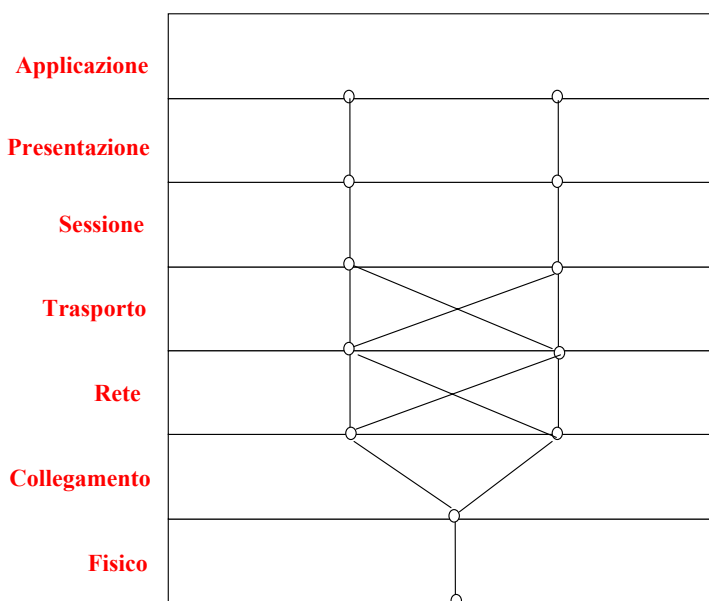


Figura 3.8. Scelte tra i servizi con e senza connessione.

Confronti tra la modalità con e senza connessione

Lo standard OSI prevedeva inizialmente un servizio orientato alla connessione. Successivamente, a causa di discussioni e posizioni discordanti su questa problematica, l'ISO introdusse una modifica nello standard per includere ambedue i tipi di servizio. La scelta tra le due modalità di connessione deve essere fatta in tutti e tre i livelli, di collegamento, di rete e di trasporto, per cui alcuni livelli possono essere con connessione ed altri senza connessione. Nel modello OSI alla sommità di ciascuno dei livelli 2,3 e 4 esistono due SAP attraverso i quali il livello superiore può accedere ai servizi, che possono essere orientati alla connessione o senza connessione. La scelta tra i due può essere effettuata in uno qualunque dei SAP, come mostrato nella Figura 3.8. Si possono ottenere perciò varie possibilità e tipologie di servizi.

3.4 Livelli OSI

Il modello OSI specifica le attività e le operazioni che ogni livello deve effettuare, ma non definisce i servizi e i protocolli da utilizzare in ciascun livello. Per questo motivo *il modello*

OSI non è un'architettura di rete. In questo paragrafo descriviamo le principali caratteristiche di ogni livello.

Livello fisico

Il livello fisico riguarda la trasmissione di bit attraverso il canale di comunicazione e specifica perciò le modalità di trasmissione dei simboli (bit) e le caratteristiche dei segnali utilizzati per trasmetterli (Figura 3.9)

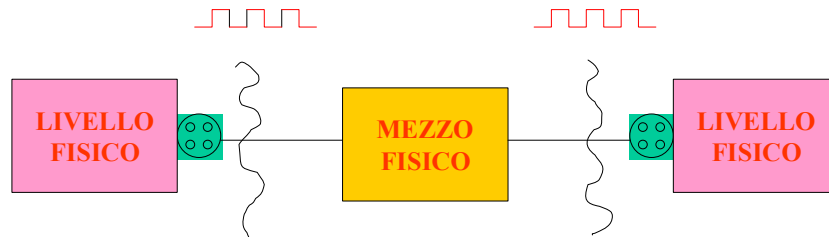


Figura 3.9 . Livello fisico.

Le due parti che colloquiano devono utilizzare gli stessi segnali, codici di linea e lo stesso tipo di modulazione. In particolare, i principali aspetti definiti dal livello fisico sono:

- *le forme d'onda utilizzate per trasmettere i simboli;*
- *durata temporale di ciascun simbolo;*
- *regole per l'attivazione e la disattivazione del collegamento fisico tra due punti;*
- *caratteristiche dei cavi e dei connettori;*
- *interfaccia tra il DTE (Data Terminal Equipment) e il DCE (Data Communication Equipment);*
- *operazione di multiplazione;*
- *operazioni di modulazione.*

Interfaccia tra DTE e DCE

Gli aspetti progettuali a livello fisico riguardano essenzialmente le interfacce meccaniche, elettriche, procedurali e con il mezzo fisico di trasmissione, situato al di sotto del livello fisico.

Un esempio di protocollo del livello fisico è rappresentato dallo standard **EIA RS-232-C**, che con piccole modifiche è stato adottato successivamente dal CCITT con lo standard **V.24**. Esso definisce l'interfaccia elettrica, meccanica e funzionale tra il DTE e il DCE, in questo caso rappresentato da un modem. Lo standard RS-232 è stato adottato per velocità inferiori a 20 Kbit/s e per lunghezze del cavo tra DTE e DCE inferiori a 15 m; con l'evoluzione della tecnologia è stato sviluppato un nuovo standard nel caso di collegamenti mediante modem per tenere conto di sistemi a velocità superiori. Il nuovo standard, emanato dall'EIA, è indicato con la sigla **RS-449** ed è in realtà composto da tre standard:

- **RS-449**, che specifica le interfacce elettriche, meccaniche, funzionali e procedurali;

- **RS-423-A**, che specifica l'interfaccia elettrica. Questo standard utilizza una trasmissione sbilanciata, come nel RS-232-C, in cui tutti i circuiti condividono una massa elettrica comune.
- **RS-422-A**, che specifica l'interfaccia elettrica nel caso di trasmissione bilanciata, in cui ciascuno dei circuiti principali di collegamento tra DTE e DCE utilizza due fili senza una massa comune. In questo modo è possibile ottenere velocità fino a 2Mbit/s con un cavo di lunghezza massima uguale a 60 m.

Interfaccia digitale X.21

Lo standard **X.21**, emanato nel 1976 dal CCITT, definisce l'interfaccia tra DTE e DCE nel caso di linee di comunicazioni digitali.

Livello di *data link* o di collegamento dati

Il livello di *data link* organizza una struttura nei dati trasmessi dividendoli in **frame** o trame e provvede alla trasmissione in modo corretto di tali frame. Le principali funzioni svolte da questo livello sono:

- *suddivide in frame i bit forniti dal livello fisico;*
- *controlla la presenza di errori e può gestire meccanismi di correzione di tali errori;*
- *regola il flusso in trasmissione in modo che un ricevitore lento non risulti sommerso dai dati provenienti da un trasmettitore veloce.*
- *fornisce una serie di differenti classi di servizio al livello di rete.*

Suddivisione in frame

I bit forniti dal livello fisico possono contenere errori, oppure il numero di bit ricevuti può essere diverso da quelli trasmessi. Il livello di data link ha lo scopo di rivelare e correggere questi errori. Per ottenere questi risultati, è necessario introdurre una struttura nei bit mediante la loro suddivisione in frame. Esistono vari metodi per dividere i dati in frame; nel seguito descriviamo i metodi più utilizzati.

Conteggio dei caratteri

Nell'intestazione del frame viene inserito un campo che specifica il numero di caratteri che costituiscono il frame (Figura 3.10a). Attraverso tale informazione il livello di data link al ricevitore può determinare la lunghezza del frame ricevuto. Tuttavia, questo sistema è molto sensibile agli errori introdotti dal canale di comunicazione; infatti se un errore altera il campo iniziale di un frame il ricevitore perde il sincronismo e questa perdita si propaga ai frame successivi (Figura 3.10b).

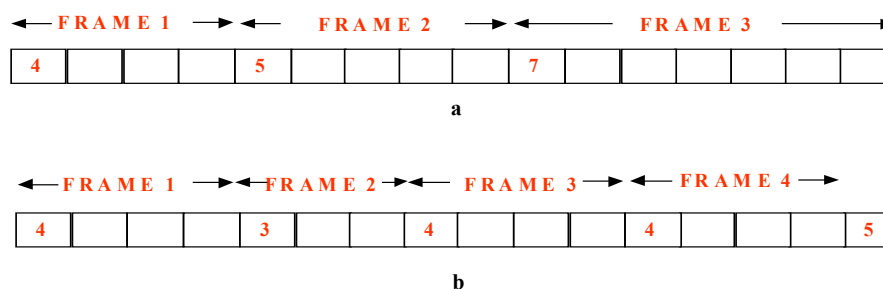


Figura 3.10 – Metodo di conteggio dei caratteri per delimitare il frame :
a) suddivisione in frame; b) ricostruzione errata dei frame a causa di un errore.

Introduzione dei caratteri di inizio e di fine frame

In questo sistema sono introdotti dei caratteri ASCII all'inizio ed alla fine del frame; il frame ha inizio con i due caratteri DLE STX, mentre termina con i caratteri DLE ETX. Naturalmente può accadere che i caratteri DLE STX o DLE ETX si presentino casualmente tra i dati e quindi si verifichino incertezze sull'inizio o la fine di un frame. Per ovviare a questo problema, il livello di collegamento inserisce un carattere DLE prima di un carattere DLE presente nei dati (Figura 3.11). Questo carattere sarà rimosso dal livello di collegamento in ricezione. Utilizzando questa tecnica non si ha più perdita di sincronismo, in quanto ciascun frame è un'entità individuata in modo autonomo.

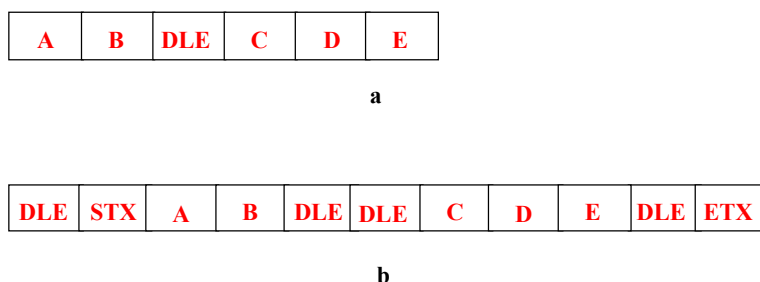


Figura 3.11. Formazione del frame mediante caratteri di inizio e fine: a) dati; b) frame.

Tecnica di bit stuffing

La tecnica di riferimento dei bit (detta anche di **bit stuffing**) è la più usata nelle moderne reti di telecomunicazioni. In questa tecnica ogni frame inizia e termina con la sequenza di bit 01111110. Per evitare che queste sequenze siano confuse con dati informativi, il livello di collegamento analizza i bit informativi e se incontra cinque bit uguali ad 1 inserisce uno 0 (Figura 3.12).

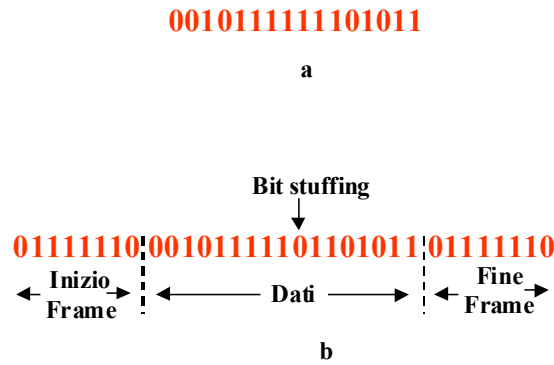


Figura 3.12. Esempio della tecnica di riempimento dei bit.

Controllo degli errori

Un'operazione particolarmente importante realizzata dal livello di collegamento è il controllo della correttezza dei frame ricevuti. Durante la trasmissione possono verificarsi varie situazioni che producono errori alla stazione di ricezione A:

- un frame è ricevuto affetto da errori;
- un frame trasmesso viene perduto nella rete (ad esempio per un overflow in un buffer o per un errore nel campo che contiene l'indirizzo A della stazione ricevente);
- un frame viene ricevuto dalla stazione A anche se indirizzato ad un'altra stazione (a causa di un errore nel campo di indirizzo della stazione di ricezione).

Per ovviare a questi inconvenienti e garantire un'affidabilità ai dati che saranno forniti a livello di rete, il livello di collegamento contiene alcuni protocolli per il controllo degli errori. Tali protocolli utilizzeranno i seguenti meccanismi:

- il livello di collegamento in ricezione invia un riconoscimento positivo o ACK (acknowledgment) al trasmettitore per ogni frame ricevuto correttamente, oppure un riscontro negativo o NACK (negative acknowledgment) nel caso opposto. In quest'ultimo caso il trasmettitore deve inviare nuovamente il frame;
- il livello di collegamento in trasmissione contiene un timer, che viene attivato ogni volta che viene trasmesso un frame. Il timer è impostato per scadere dopo un tempo prefissato (generalmente il tempo di andata e ritorno del segnale più il tempo di elaborazione del frame). Se il frame o il riconoscimento (ACK o NACK) sono perduti nella rete, il trasmettitore invierà nuovamente il frame alla scadenza del tempo prefissato per il timer.

La rivelazione degli errori e i protocolli con il controllo delle ritrasmissioni (o protocollo ARQ) sono descritti in un capitolo precedente.

Controllo del flusso

Il controllo del flusso informativo tra due computer, che possono avere velocità e caratteristiche diverse, è molto importante per il corretto funzionamento del collegamento, perché la velocità di invio di dati del trasmettitore deve essere adattata a quella del ricevitore. Il controllo di flusso avviene mediante un meccanismo di retroazione, in cui il ricevitore invia informazioni al trasmettitore sul numero di frame che ha elaborato.

Servizi forniti al livello di rete

Il principale servizio è il trasferimento dei dati al livello superiore di rete. Tuttavia le modalità di esecuzione del servizio possono variare da sistema a sistema e possono essere divisi in:

- *Servizio senza connessione o senza riscontro*
Non viene effettuata nessuna connessione in anticipo e il ricevitore non invia riconoscimenti (ACK o NACK) al trasmettitore sui frame ricevuti, per cui i frame sono accettati così come sono ricevuti. Questo sistema è adottato a linee con bassa probabilità di errore.
- *Servizio senza connessione e con riscontro*
Il ricevitore invia un riconoscimento (ACK o NACK) per ogni frame e si utilizza un protocollo ARQ per la ritrasmissione dei frame ricevuti errati.
- *Servizio orientato alla connessione*
Questo servizio è generalmente il più sofisticato e richiede che il trasmettitore e ricevitore identifichino un canale di comunicazione prima di attivare lo scambio dei dati.

Descrizione di alcuni protocolli del livello di collegamento dati per reti geografiche

I principali protocolli di livello 2 nelle reti geografiche a commutazione di pacchetto sono :

- SDLC (Synchronous Data Link Control), protocollo sviluppato da IBM per la rete SNA;
- HDLC (High Level Data Link Control);
- LAP (Link Access Procedure);
- LPAB (Link Access Procedure Balanced);
- LAPD (Link Access Procedure D-Channel);
- LAPF (Link Access Procedure to Frame mode bearer services);
- LLC (Logical Link Control).

Questi protocolli sono molto simili tra loro; tuttavia, *lo standard OSI utilizza in modo esplicito il protocollo HDLC*. In questi protocolli le modalità di scambio di informazioni possono essere notevolmente diverse a seconda della configurazione del collegamento. I possibili modi operazionali possono essere divisi in due categorie:

- *Connessione bilanciata*; in questo caso il numero di stazioni è limitato a due e si riferisce perciò a collegamenti punto-punto. Viene utilizzato il modo operativo *ABM (Asynchronous Balanced Mode)*, che definisce un collegamento full-duplex, in cui entrambe le stazioni possono iniziare a trasmettere senza attendere alcuna autorizzazione reciproca. Il protocollo LAPB consente soltanto questa modalità di connessione.
- *Connessione sbilanciata*; questa procedura è tipica dei collegamenti multipunto con controllo centralizzato, in cui esiste una stazione primaria che gestisce il flusso dei dati e controlla la correzione degli errori. La stazione primaria emette degli ordini e riceve delle risposte. Esistono due diversi modi di operazione:
 - *NRM (Normal Response Mode)*: in cui una stazione secondaria risponde soltanto se interrogata (polling) dalla stazione primaria;
 - *ARM (Asynchronous Response Mode)*: in cui una stazione secondaria può iniziare a trasmettere in qualsiasi momento, anche se non interrogata dalla stazione

principale. Questa soluzione può provocare facilmente contese tra le stazioni secondarie.

Il formato del frame HDLC, che tuttavia è uguale a quello degli altri protocolli, è mostrato nella Figura 3.13. Descriviamo in dettaglio la funzione dei diversi campi presenti nel frame.

FLAG	INDIRIZZO	CONTROLLO	DATI	FCS	FLAG
------	-----------	-----------	------	-----	------

Figura 3.13. Formato del frame HDLC.

Campo Flag

I due campi **FLAG** all'inizio e alla fine del frame servono ad identificare l'inizio e la fine del frame; essi contengono la sequenza di 8 bit 01111110. Il protocollo HDLC usa la tecnica di bit stuffing per evitare che nell'interno del campo dei dati possa comparire una sequenza uguale a quella utilizzata per i flag.

Campo indirizzo

Il campo indirizzo, lungo 1 byte, contiene l'indirizzo della stazione ricevente; nel caso di un frame di risposta contiene l'indirizzo della stazione che sta rispondendo.

Campo controllo

Il campo di controllo ha una lunghezza di 1 o 2 byte e viene utilizzato per vari scopi. In particolare esistono tre diversi formati di tale campo:

- *Frame Informativo o I-Frame*; servono a trasportare le informazioni dell'utente (i pacchetti forniti dal livello superiore). Il formato del campo di controllo è mostrato nella Figura 3.14a. La correzione degli errori viene effettuata in HDLC mediante una tecnica a rivelazione d'errore (ARQ) del tipo Go-Back-N. Il protocollo utilizza una finestra scorrevole di 3 bit e quindi possono essere presenti nel sistema fino a 7 frame non confermati. Il *campo NS* indica il numero di sequenza del frame, mentre il *campo NR* rappresenta il numero della trama confermata positivamente (ultima trama ricevuta correttamente). Il *campo P/F (Poll/Final)*, formato da 1 bit, serve per effettuare l'interrogazione ciclica (polling) di un gruppo di terminali. Se il bit è posto uguale a P, il computer che invia la trama sta invitando il terminale ad inviare i dati. Tutti i frame inviati dal terminale hanno il bit uguale a P, tranne l'ultimo frame in cui il bit è posto uguale a F.
- *Frame di Supervisione o S-Frame*; servono a fornire una serie di informazioni per la gestione del collegamento; non contengono il campo dati. Il formato del campo di controllo è mostrato nella Figura 3.14.b. Il *campo Tipo*, composto di 2 bit, serve a distinguere vari tipi di frame di supervisione:
 - RR (Receiver Ready): frame utilizzato per fornire un ACK in assenza di traffico; in presenza di traffico la conferma positiva viene inviata nel campo di controllo della trama informativa (tecnica di piggybacking).
 - RNR (Receiver Not Ready): questo frame viene utilizzato per indicare che la stazione non è momentaneamente in grado di ricevere nuove informazioni a causa di qualche problema. Quando il ricevitore è nuovamente operativo invia un frame RR.

- ❑ REJ (REject): questo frame viene utilizzato per richiedere la ritrasmissione di tutti i frame già trasmessi a partire da quello NR.
- ❑ SREJ (Selective REject): questo frame richiede la ritrasmissione del solo frame NR. Questo frame è presente in HDLC, ma non è supportato da LAPB.
- *Frame non numerato o U-Frame*; sono frame utilizzati per il controllo del collegamento e non contengono il campo dati. I vari protocolli orientati al bit differiscono soprattutto in questa parte. Il formato del campo di controllo è mostrato nella Figura 3.14c. Sono disponibili vari tipi di U-Frame definiti in base al valore del campo type (2 bit) e del campo Modificatore (3 bit). Descriviamo i principali tipi di U-Frame:
 - ❑ DISC (DISConnect): frame utilizzato per la disattivazione di una macchina.
 - ❑ SABM (Set Asynchronous Balanced Mode): frame utilizzato per inizializzare una connessione bilanciata full duplex tra due stazioni. Questa modalità di trasmissione è l'unica presente in LAPB. Viene utilizzata una finestra di 3 bit per la conferma dei frame ricevuti.
 - ❑ SABME (Set Asynchronous Balanced Mode Extended): è analoga alla precedente, ma viene utilizzata una finestra di 7 bit.
 - ❑ SNRM (Set Normal Response Mode): frame utilizzato per inizializzare una connessione sbilanciata o asimmetrica; la finestra di controllo è su 3 bit.
 - ❑ SNRME (Set Normal Response Mode Extended): frame analogo al precedente, in cui la finestra di controllo è basata su 7 bit.
 - ❑ UI (Unnumbered Information): trama utilizzata per inviare i dati in modalità non connessa.
 - ❑ UA (Unnumbered Acknowledge): frame utilizzato in risposta ad altri U-Frame, quali SABM, SABME, DISC,....
 - ❑ FRMR (FraME Reject): indica che è stato ricevuto un frame in cui il controllo d'errore è soddisfatto, ma che presenta altri problemi (ad esempio, lunghezza inferiore a 32 bit, frame di controllo illegale,...) per cui il frame non è accettabile.
 - ❑ DM (Disconnect Mode): frame che conferma la ricezione di un messaggio DISC.

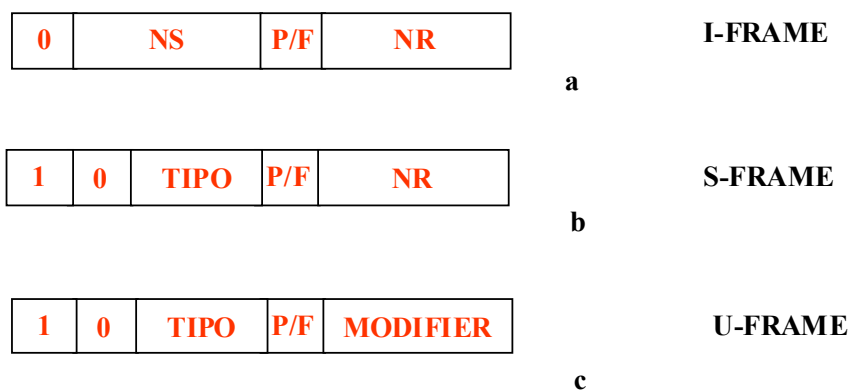


Figura 3.14. Formato del frame di controllo in HDLC : a. I-Frame; b. S.Frame; c. U-Frame

Campo Dati

Il campo dati è usato per trasportare l'informazione e può essere arbitrariamente lungo. Esso contiene il pacchetto fornito dal livello superiore.

Campo FCS

Il campo FCS, composto da 2 o 4 byte, contiene la ridondanza di un codice ciclico per rivelare eventuali errori introdotti dal canale di comunicazione. Il codice può avere 16 o 32 bit di ridondanza. La scelta del codice e quindi la ridondanza da utilizzare viene decisa dalle stazioni mediante opportuni messaggi.

Esempio

Descriviamo attraverso un esempio molto semplice l'uso del protocollo HDLC considerando il caso in cui due sistemi DTE1 e DTE2 si devono scambiare informazioni mediante una rete a commutazione di pacchetto di tipo X.25 (Figura 3.15a). Nella Figura si considerano due DTE, ma la stessa procedura viene effettuata anche tra nodi della rete.

- *Fase di costruzione del collegamento*

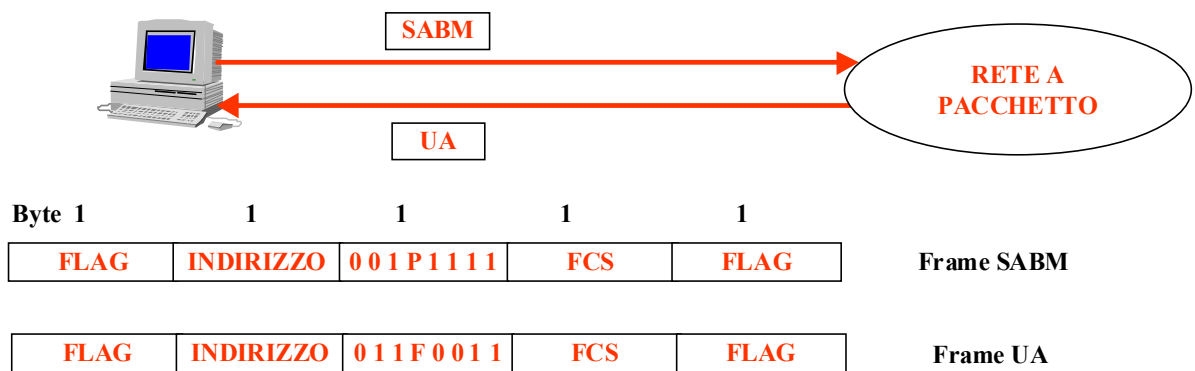
Il terminale DTE1 invia in primo luogo un U-Frame SABM per indicare una richiesta di trasmissione indicando nel campo "indirizzo" l'indirizzo della stazione con cui si vuole connettere. La rete, nel caso in cui la richiesta possa essere soddisfatta, invia un frame UA di controllo che fornisce una risposta affermativa (Figura 3.15a).

- *Fase di trasferimento dell'informazione*

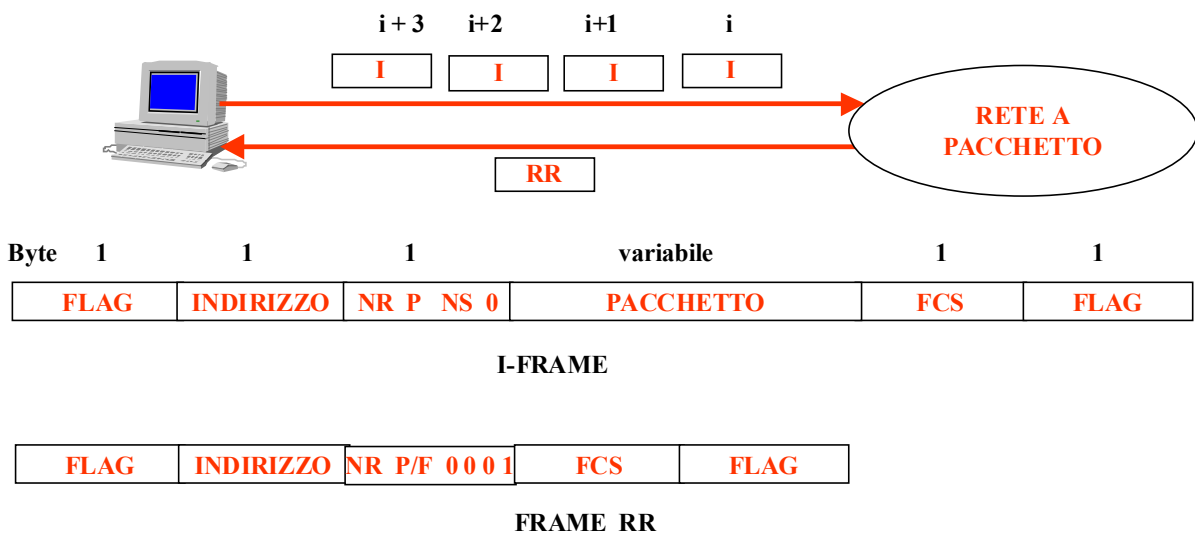
Il DTE1 inizia ad inviare frame informativi numerati da 0 a 7. Consideriamo ad esempio il caso in cui il DTE1 deve inviare il frame i e che tutti i precedenti frame siano stati correttamente confermati. Il DTE1 (o il nodo della rete) invia un I-frame che nel campo di controllo contiene $NS=0$ e successivamente continua a trasmettere gli altri frame, se presenti, con valori di NS crescenti. Nella Figura 3.15b si suppone che il DTE1 trasmetta altri tre frame, indicati con $i+1$, $i+2$ e $i+3$. Il DTE2 invierà ad un certo istante una trama RR (Receiver Ready) contenente il numero $i+4$; questo indica che i pacchetti fino a $i+3$ sono stati ricevuti correttamente. Nel caso in cui uno dei pacchetti non sia ricevuto correttamente il DTE2 può inviare una trama REJ per richiedere la ritrasmissione del pacchetto e dei successivi (strategia Go-Back-N con finestra $N=7$).

- *Fase di abbattimento del collegamento*

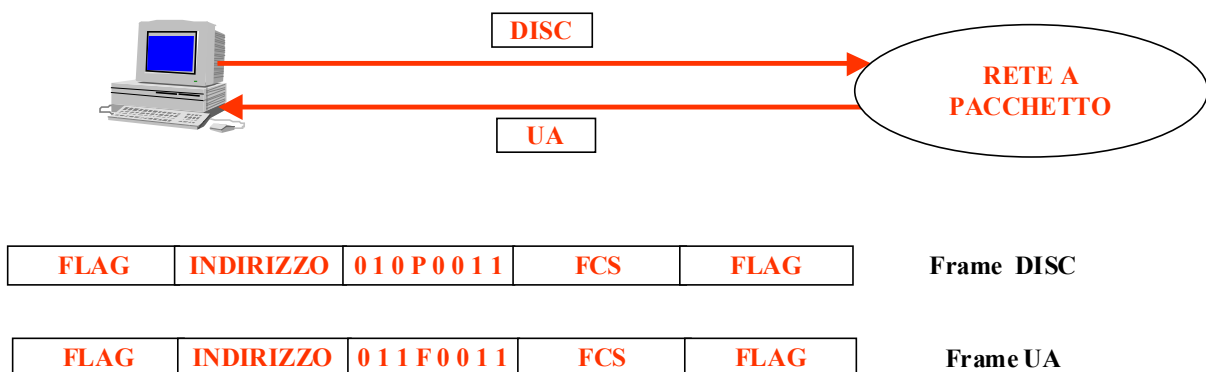
Alla fine del trasferimento dati, il DTE1 invia la trama DISC, che segnala l'abbattimento del collegamento, e il DTE2 risponde con una trama UA (Figura 3.15c).



a



b



c

Figura 3.15 – Esempio di funzionamento del protocollo X.25.

Livello di rete

Il livello di rete gestisce l'instradamento dei messaggi attraverso la rete scelta dal livello di trasporto. Le funzioni principali svolte dal livello di rete sono le seguenti:

- *servizi offerti al livello di trasporto;*
- *multiplazione di due o più flussi di dati sullo stesso circuito fisico;*
- *instradamento o (routing) dei dati dalla stazione di partenza a quella di arrivo.*
L'instradamento può avvenire mediante due tecniche diverse:
 - a. **circuiti virtuali**, in cui tutti i pacchetti utilizzano lo stesso percorso;
 - b. **datagram**, in cui i pacchetti possono utilizzare percorsi diversi.
- *controllo della congestione della rete;*
- *interconnessione di reti.*

Instradamento o routine

Il protocollo di instradamento serve a scegliere il cammino su cui inviare un pacchetto per farlo arrivare alla stazione di destinazione. Nel caso in cui la rete operi con una tecnica datagram la scelta del cammino deve essere effettuata per tutti i pacchetti. Nel caso di circuiti virtuali, la scelta del cammino è effettuata soltanto nella fase di attivazione del collegamento.

Gli algoritmi di instradamento possono influenzare in modo significativo le prestazioni di una rete. I principali parametri che caratterizzano un algoritmo di instradamento sono:

- la semplicità;
- la robustezza, in presenza di guasti o malfunzionamenti;
- la stabilità;
- la minimizzazione del ritardo incontrato nell'attraversare la rete.

Gli algoritmi di instradamento possono essere divisi in due classi:

- algoritmi non adattabili, in cui il percorso per collegare due nodi è calcolato in anticipo;
- algoritmi adattabili, in cui il percorso per collegare due nodi viene deciso in base a misure o stime del traffico presente nella rete. Questi algoritmi presentano, in linea teorica, prestazioni ottimali, ma sono spesso complessi.

Congestione

Quando il traffico all'ingresso di una rete è troppo elevato, le prestazioni della rete possono degradare rapidamente, determinando una congestione della rete stessa. Nella Figura 3.16 sono mostrate diverse situazioni in cui può trovarsi una rete. Definiamo time-slot la durata temporale di un pacchetto. Nella Figura 3.16 è riportato il traffico utile (throughput) all'uscita della rete in funzione del carico S (n.pacchetti/time-slot) all'ingresso della rete. In una rete ideale il throughput è uguale a quello in ingresso fino a quando $S \leq 1$, mentre si mantiene uguale a 1 per $S \geq 1$. I protocolli reali hanno ovviamente un comportamento diverso e all'aumentare del traffico possono innescarsi facilmente fenomeni di congestione della rete.

Per controllare il pericolo di congestione della rete sono stati sviluppati vari algoritmi basati su meccanismi di scarto dei pacchetti, sospensione di nuovi ingressi quando la rete è sovraccarica o mediante l'uso di algoritmi di controllo di flusso.

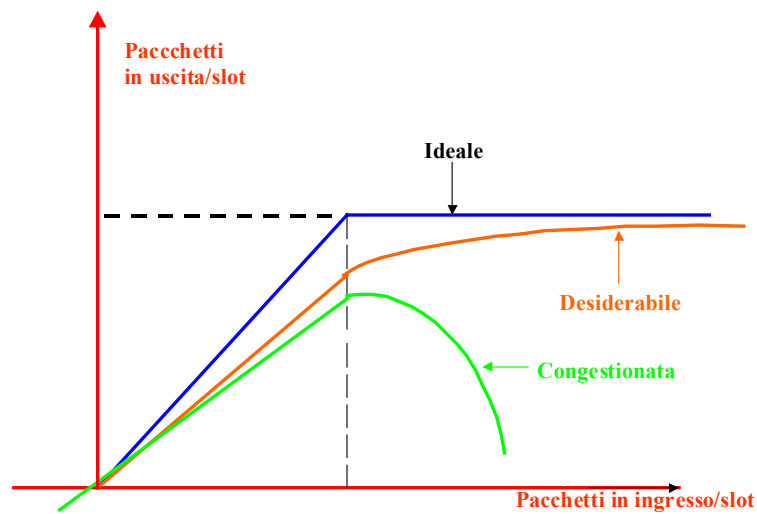


Figura 3.16. Vari comportamenti di una rete al variare del carico.

Interconnessione di reti

L'interconnessione tra reti diverse (LAN, MAN, WAN,...) viene effettuata nel livello di rete.

Livello di trasporto

Il livello di trasporto ha lo scopo di fornire un trasporto di dati affidabile, efficiente ed economico dalla macchina di partenza a quella di arrivo indipendentemente dalla rete utilizzata. Esso rappresenta il livello d'utente più basso e il primo livello che non si trova all'interno della rete, ma solo ai nodi terminali (Figura 3.7).

Il livello di trasporto effettua un *controllo end-to-end dei dati* per prevenire errori e malfunzionamenti e fornire perciò un servizio affidabile al livello di sessione.

Le principali funzioni svolte dal livello di trasporto sono:

- *servizi offerti al livello di sessione;*
- *definizione della qualità del servizio;*
- *rivelazioni e controllo di errori;*
- *controllo del flusso dei dati;*
- *segmentazione e assemblaggio dei dati;*
- *scelta della rete di trasporto.*

L'unità dei dati a questo livello non ha un nome specifico contrariamente ai due livelli precedenti (Figura 3.17).

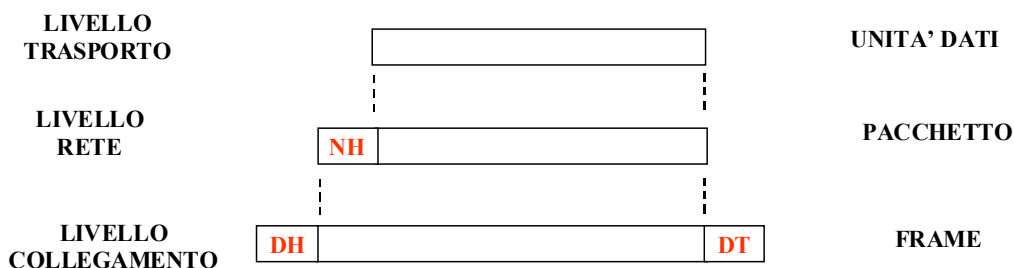


Figura 3.17. Le unità dati nei vari livelli.

Servizi forniti a livello di sessione

I servizi forniti a livello di sessione possono essere divisi in:

- servizi orientati alla connessione;
- servizi senza connessione.

Ambedue questi servizi sono molto simili a quelli forniti a livello di rete. La necessità di introdurre questi due servizi anche nel livello di trasporto, oltre che in quello di rete, nasce dalla differente posizione dei due livelli; il livello di rete è posto nella rete di comunicazione e quindi la qualità del servizio dipende dal gestore di comunicazione nel caso di collegamenti su reti pubbliche. In questo modo l'utente non è in grado di controllare la qualità del servizio offerto dalla rete. Per ovviare a questo inconveniente, il livello di trasporto può consentire all'utente di scegliere la qualità di servizio.

Qualità di servizio

Il livello di trasporto può migliorare la qualità di servizio (QoS) rivelando errori, pacchetti perduti o altri inconvenienti non rivelati dalla rete sottostante. La qualità di servizio può essere caratterizzata da un certo numero di parametri che possono essere specificati dall'utente. Il livello di trasporto deve determinare se le scelte dell'utente sono compatibili con le risorse disponibili e quindi se è in grado di fornire il servizio richiesto.

I principali parametri che caratterizzano la QoS di un servizio sono:

- Ritardo di attivazione di una chiamata
Il tempo tra la richiesta di connessione da parte del livello di trasporto di trasmissione e la ricezione della conferma da parte del livello di trasporto di ricezione.
- Throughput
- Ritardo di transito
- Tasso errore residuo: Il tasso di errore residuo presente nei dati dopo il livello di trasporto in ricezione.
- Priorità: Indica la priorità da dare ad alcuni tipi di dati.
- Probabilità di fallimento del trasferimento

L'utente può specificare sia i valori desiderati, sia i valori minimi accettabili.

Livello di sessione

Il livello di sessione è il più basso dei livelli di elaborazione e fornisce ai programmi applicativi un insieme di funzioni necessarie per la gestione ed il controllo di trasferimento dei dati.

Le principali funzioni svolte dal livello di sessione sono:

- *servizi offerti al livello di presentazione;*
- *formazione della connessione con un altro utente;*
- *sincronismo.*

La funzione principale svolta dal livello di sessione è quella di consentire agli utenti della sessione di stabilire una connessione tra loro, indicata con il termine **sessione**, e di trasferire dati tra loro. Una sessione può essere utilizzata per trasferire un file, per effettuare un collegamento di un terminale ad un computer,

Sincronizzazione

Un servizio particolarmente importante svolto dal livello di sessione è la sincronizzazione del trasferimento dati tra due stazioni (quella di trasmissione e quella di ricezione).

Il sincronismo viene organizzato inserendo alcuni riferimenti facilmente riconoscibili detti **punti di sincronismo** nell'interno di un messaggio (Figura 3.18). Se durante una sessione si verificano dei problemi all'istante t , la sessione è in grado di essere ristabilita correttamente ripartendo dal punto di sincronismo precedente.



Figura 3.18. Inserimento dei punti di sincronismo in una sessione.

Gli standard internazionali prevedono due tipi di punti di sincronismo:

1. *punti principali di sincronismo*
2. *punti secondari di sincronismo.*

I dati sono generalmente divisi in *unità di dialogo*, ciascuna delle quali contiene dati indipendenti dalle altre unità. Un'unità di dialogo è individuata da due punti principali di sincronismo.

In molte applicazioni si introduce un'ulteriore struttura nei dati, considerando un insieme composto da varie unità di dialogo; tale insieme è chiamato *attività*.

Ogni attività è indipendente dalle altre. La struttura più generale di una sessione è perciò mostrata nella Figura 3.19.

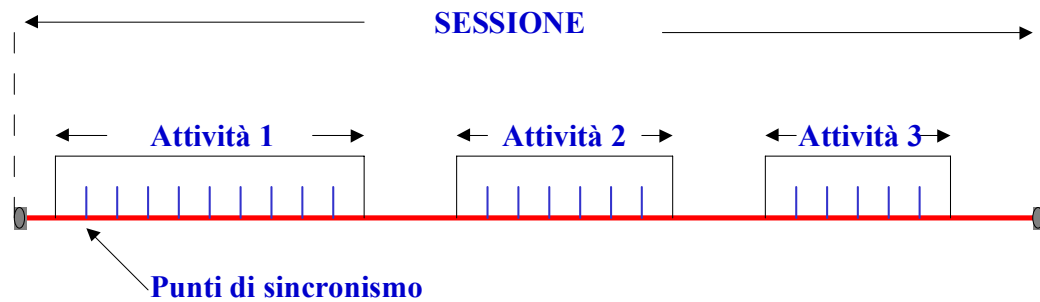


Figura 3. 19. Organizzazione di una sessione.

I punti principali di sincronismo sono generalmente posti all'inizio e fine di ogni attività di dialogo. I punti secondari di sincronismo consentono di introdurre una struttura nei dati interni di unità di dialogo. L'introduzione di tali punti consente di ottimizzare la fase di recupero dei dati quando si verifica qualche inconveniente.

I punti principali di sincronismo sono particolarmente importanti ed il livello di sessione in ricezione provvede ad inviare una conferma per ogni punto principale al corrispondente livello di sessione del trasmettitore. In questo modo il trasmettitore è informato che le unità di dialogo fino a quella riscontrata positivamente possono essere scartate. Per i punti secondari di sincronismo non sono inviate conferme al trasmettitore.

Quando si deve effettuare una risincronizzazione è possibile ritornare indietro al massimo fino al punto principale di sincronismo precedente. Consideriamo ad esempio Figura 3.20. Una perdita di sincronismo tra i punti 12 e 13 può essere recuperata sincronizzandosi su 12, 11, 10, 9 o al massimo 8.

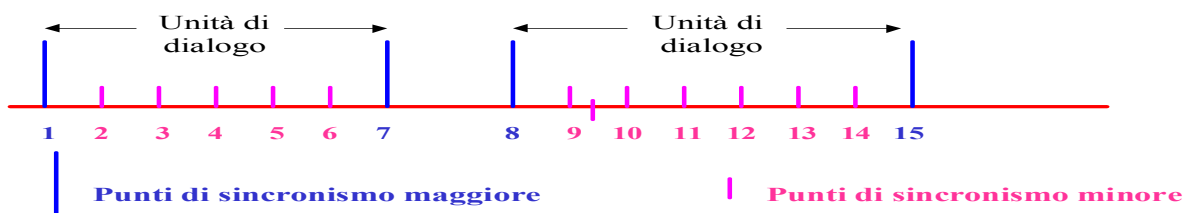


Figura 3.20. Punti di sincronismo maggiori e minori.

Livello di presentazione

Il livello di presentazione ha il compito di consentire la corretta interpretazione dei dati scambiati tra due DTE indipendentemente dai codici, dai formati e da tutte le altre convenzioni impiegate da ciascun sistema. Per questo esso deve trasformare la rappresentazione dei dati interni del computer in una sequenza di bit adatti per essere trasmessi e in ricezione effettuare l'operazione opposta.

Il livello di presentazione svolge i seguenti servizi:

- *rappresentazione dei dati;*

- *compressione dei dati;*
- *cifratura dei dati.*

La compressione e la cifratura dei dati non saranno considerate in questo capitolo.

Rappresentazione dei dati

I computer presentano diversi tipi di rappresentazione interna per i dati; perciò per far comunicare due computer è necessario effettuare un'opportuna conversione dei formati dei dati. Per questo ISO ha sviluppato uno standard noto come *notazione di sintassi astratta 1*, indicata con la sigla **ASN.1, (Abstrat Sytax Notation)** descritta nello standard 8824. Le regole per codificare le strutture di dati in una sequenza di bit da trasmettere sono specificate nello standard ISO 8825.

Livello di applicazione

Il livello di applicazione contiene tutti i programmi di utente o **programmi applicativi** che consentono all'utente di svolgere le sue attività in rete. Questo livello contiene vari protocolli, tra cui i più importanti sono:

- *trasferimento, accesso e gestione dei file;*
- *posta elettronica;*
- *terminale virtuale.*