

13

I PROTOCOLLI DI LINEA ED I SERVIZI A PACCHETTO

13.1 INTRODUZIONE

Questo capitolo tratta due differenti tematiche - i protocolli di linea e i servizi a commutazione di pacchetto - nell'ottica del loro utilizzo come mezzi di interconnessione di bridge, router e gateway, per realizzare un internetworking multiprotocollo.

I protocolli di linea sono i protocolli di livello 2 (Data Link) che vengono utilizzati sulle linee pubbliche per trasmissione dati. Nell'ambito delle problematiche di internetworking ci si concentra sui protocolli per linee di tipo punto-punto. I protocolli di linea oggi usati sono tutti discendenti di SDLC (*Synchronous Data Link Control*), protocollo introdotto da IBM con l'architettura SNA.

Tali protocolli formano una famiglia i cui componenti più importanti sono HDLC (*High Level Data Link Control*), LAPB (*Link Access Procedure Balanced*), LAPD (*Link Access Procedure D-channel*), LAPF (*Link Access Procedure to Frame mode bearer services*) e LLC (*Logical Link Control*, già descritto nel paragrafo 5.7).

I servizi a commutazione di pacchetto sono quei servizi che vengono offerti dalle reti geografiche, pubbliche o private, a commutazione di pacchetto. Tra questi vengono trattati X.25, Frame Relay e SMDS.

Una tabella comparativa chiude il capitolo.

13.2 HDLC, LAPB E SDLC

Si tratta di protocolli di linea (livello 2 del modello OSI) progettati per canali geografici di tipo punto-punto o multipunto.

Lo standard OSI prevede esplicitamente l'adozione di HDLC (High Level Data Link Control) il cui funzionamento è descritto dettagliatamente negli standard riportati in bibliografia. Gli altri protocolli sono varianti di HDLC e quanto detto nel resto del paragrafo è valido per HDLC, quando non diversamente specificato.

Originariamente HDLC era in grado di funzionare solo su linee sincrone, ma con lo standard ISO 3309 è stato esteso anche alle linee asincrone.

13.2.1 Connessioni

Il protocollo HDLC connette due o più stazioni. La connessione può essere bilanciata (*balanced*) o sbilanciata (*unbalanced*).

In una connessione bilanciata il numero di stazioni è limitato a due (connessione punto-punto), le stazioni sono paritetiche (*combined stations*) e il protocollo è full-duplex, cioè ogni stazione può trasmettere quando ne ha necessità, indipendentemente da ciò che sta facendo l'altra stazione.

In una connessione sbilanciata esiste una stazione primaria e le altre stazioni (che possono essere molte) sono secondarie. La trasmissione avviene in modalità half-duplex, con la stazione primaria che opera come master del canale multi-punto e le secondarie come slave.

Sulle connessioni sbilanciate i messaggi inviati dalla stazione primaria sono detti comandi (*command*), mentre i messaggi delle stazioni secondarie sono detti risposte (*response*).

Sulle connessioni bilanciate ognuna delle due stazioni può generare una trasmissione, cioè inviare un comando e l'altra, conseguentemente, dovrà generare una risposta.

13.2.2 NRM (Normal Reponse Mode)

Il *Normal Response Mode* è una delle modalità operative previste da HDLC ed è l'unica modalità operativa prevista da SDLC. Si tratta di una connessione sbilanciata half-duplex in cui una stazione secondaria non può iniziare una trasmissione se non riceve una autorizzazione esplicita dalla stazione primaria. In questa modalità possono esserci molte stazioni secondarie che vengono ciclicamente autorizzate dalla stazione primaria a trasmettere su un canale punto-multipunto.

13.2.3 ABM (Asynchronous Balanced Mode)

L'*Asynchronous Balanced Mode* è una modalità operativa prevista da HDLC ed è anche l'unica modalità operativa prevista da LAPB. Si tratta di una connessione bilanciata full-duplex tra due combined station. Entrambe le stazioni possono iniziare a trasmettere quando ne hanno necessità e la trasmissione nei due sensi può avvenire in parallelo.

13.2.4 ARM (Asynchronous Response Mode)

L'*Asynchronous Response Mode* è una modalità operativa prevista da HDLC simile a NRM, ma limitata a due stazioni. In presenza di tale limite la stazione secondaria può iniziare una trasmissione senza l'autorizzazione della stazione primaria, che però continua a mantenere la responsabilità della gestione del collegamento.

13.2.5 Bit stuffing

La trama è delimitata da due caratteri flag che corrispondono alla configurazione binaria 01111110 e che marcano univocamente l'inizio e la fine di una trama, oppure la separazione tra due trame successive.

Perché il flag risulti un marcatore univoco, HDLC usa la tecnica del bit stuffing che garantisce che solo il carattere flag contenga sei uno consecutivi. Infatti il bit stuffing analizza la trama (flag esclusi) prima di trasmetterla e inserisce un bit a zero dopo cinque uni consecutivi (indipendentemente dal valore del bit successivo).

Il ricevitore, se riceve una sequenza di cinque uni e uno zero, elimina lo zero che era stato inserito dal *bit stuffing*, se riceve sei uni e uno zero identifica il carattere flag.

13.2.6 Formato della trama HDLC

Il formato della trama HDLC è riportato in figura 13.1.

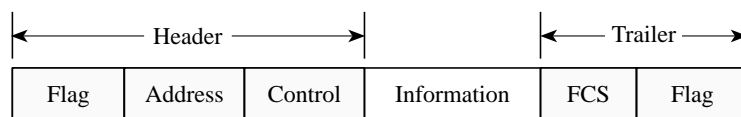


Fig. 13.1 - Trama HDLC.

La trama è composta da tre parti principali: un header, un campo information a lunghezza variabile e un trailer.

Il campo *address* è lungo un ottetto e ha il significato di indirizzo della stazione. Concepito originariamente per il NRM di SDLC, il campo address non ha motivo di esistere negli altri modi di HDLC (ABM e ARM), se non per ragioni di compatibilità di formato.

Nel modo NRM il campo address contiene l'indirizzo della stazione ricevente, nel caso di un messaggio di command, e l'indirizzo della stazione trasmittente, nel caso di un messaggio di response.

Il campo *control* è un campo estremamente importante e può essere lungo uno o due ottetti. Esso assume i tre formati mostrati in figura 13.2.

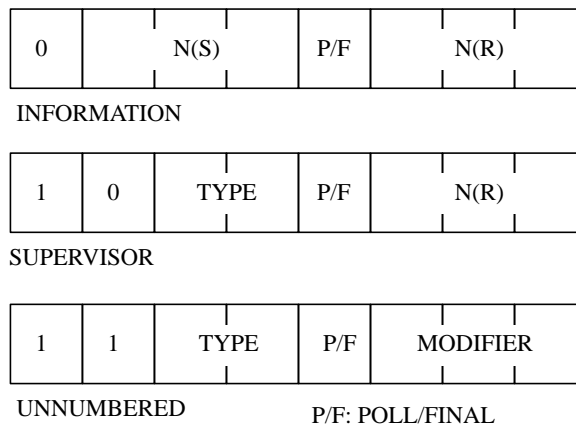


Fig. 13.2 - Formati del campo control.

Il formato *information* è usato per le trame che trasportano i dati in modalità connessa e ha anche la possibilità di trasportare un acknowledge (ACK) per la trasmissione nella direzione inversa (tecnica detta di *piggybacking*). Le trame di questo formato sono dette *I-frame*.

Il formato *supervisor* non prevede la presenza del campo information nella trama ed è usato per trasportare informazioni di controllo relative agli I-frame; ad esempio, fornire un ACK in assenza di traffico nella direzione inversa, operare il controllo di flusso, ecc. Le trame di questo formato sono dette *S-frame*.

Il formato *unnumbered* è utilizzato per due scopi diversi: trasportare dati di utente in modalità non connessa e trasportare messaggi di controllo del collegamento (inizializzazione, diagnostica, ecc.). Le trame di questo formato sono dette U-frame.

La modalità operativa più comune del protocollo HDLC è quella connessa in cui il protocollo scambia I-frame, anche se la modalità non connessa può essere utilizzata tramite gli *U-frame*.

Nella modalità connessa è necessario numerare le trame. HDLC prevede due possibili numerazioni alternative: la normale impiega un numero di trama su tre bit (modulo 8), mentre la estesa (Extended) impiega un numero di trama su 7 bit (modulo 128).

I sottocampi N(S) e N(R) del campo control sono destinati ad ospitare i numeri di trama. Quando si opera in modalità normale (modulo 8) il campo control è sempre lungo 8 bit (1 otteetto), poiché N(S) e N(R) sono lunghi 3 bit ciascuno. Quando invece si opera in modalità estesa (modulo 128), N(S) e N(R) sono lunghi 7 bit e quindi il campo control è lungo un otteetto nel caso degli U-frame, due ottetti nel caso degli I-frame e degli S-frame.

13.2.7 U-frame

I diversi tipi di U-frame, distinguibili in funzione dei valori assunti dai sottocampi *type* e *modifier* del campo control, sono di seguito elencati.

- *SABM (Set Asynchronous Balanced Mode)*. È una trama di comando utilizzata per inizializzare una connessione ABM con numeri di sequenza su tre bit (modulo 8); il campo control è sempre su un otteetto.
- *SABME (Set Asynchronous Balanced Mode Extended)*. È una trama di comando utilizzata per inizializzare una connessione ABM con numeri di sequenza su sette bit (modulo 128); il campo control delle trame I e S è su due ottetti.
- *SNRM (Set Normal Response Mode)*. È una trama di comando utilizzata per inizializzare una connessione NRM con numeri di sequenza su tre bit (modulo 8); il campo control è sempre su un otteetto.
- *SNRME (Set Normal Response Mode Extended)*. È una trama di comando utilizzata per inizializzare una connessione NRM con numeri di sequenza su sette bit (modulo 128); il campo control delle trame I e S è su due ottetti.
- *UI (Unnumbered Information)*. È una trama utilizzata per inviare dati di utente in modalità non connessa. È molto utilizzata dalla variante di HDLC, detta LLC, che opera sulle reti locali (si veda il paragrafo 5.7.2).
- *DISC (DISConnect)*. È una trama di comando utilizzata per terminare una connessione.
- *XID (eXchange station IDentification)*. È una trama di comando o di risposta usata per scambiare e negoziare parametri tra le stazioni, ad esempio l'utilizzo di una FCS su 16 o 32 bit.

- *UA (Unnumbered Acknowledge)*. È una trama di risposta usata come acknowledge della ricezione di un messaggio SABM, SABME, SNRM, SNRME o DISC.
- *FRMR (FRaMe Reject)*. È una trama di risposta usata per indicare la ricezione di un messaggio con FCS corretta, ma che non può essere accettato per una qualche altra ragione, ad esempio una stazione SDLC che riceveva un SABM invia un FRMR, non potendo attivare il modo ABM.
- *DM (Disconnect Mode)*. È una trama di risposta usata come acknowledge della ricezione di un messaggio DISC.

13.2.8 S-frame

Gli S-frame sono usati in associazione agli I-frame nella modalità connessa. Il sottocampo $N(R)$ del campo control contiene il numero di sequenza del prossimo frame che la stazione si aspetta di ricevere; questo serve anche da ACK per tutti i frame con numero di sequenza minore di $N(R)$.

Sono previsti quattro tipi di S-frame, distinguibili in funzione dei valori assunti dal sottocampo *type* del campo control, di seguito elencati.

- *RR (Receiver Ready)*. È un frame utilizzato per fornire un ACK in assenza di traffico (in presenza di traffico l'ACK viene inviato tramite piggybacking in un I-frame), oppure per indicare che la stazione è pronta a ricevere nuovi I-frame, se precedentemente era stato inviato un S-frame di tipo RNR.
- *RNR (Receiver Not Ready)*. È un frame utilizzato per indicare che la stazione è temporaneamente impossibilitata a ricevere nuovi I-frame.
- *REJ (REject)*. È un frame utilizzato per chiedere la ritrasmissione di tutti gli I-frame già inviati a partire da quello con numero di sequenza pari a $N(R)$.
- *SREJ (Selective REject)*. È un frame utilizzato per chiedere la ritrasmissione del solo I-frame con numero di sequenza pari a $N(R)$. Questo messaggio è supportato unicamente da HDLC e non da LAPB.

13.2.9 I-frame

Gli I-frame sono di un solo tipo e trasportano i dati di utente. Il sottocampo $N(S)$ del campo control contiene il numero di sequenza che identifica l'I-frame. Il sottocampo $N(R)$ del campo control contiene un ACK piggybacked per gli I-frame che viaggiano in direzione opposta.

13.2.10 Il bit P/F

Il bit P/F (*Poll/Final*) ha due significati diversi nei modi bilanciati e sbilanciati.

Nei modi sbilanciati è messo a uno dalla stazione primaria per invitare la stazione secondaria a trasmettere (poll). La stazione secondaria può trasmettere un gruppo di frame in cui il bit P/F è a zero, ad eccezione dell'ultimo frame che ha P/F a uno (final).

Nel modo bilanciato il bit P/F uguale a uno, in un frame di tipo command, significa che si chiede l'acknowledge di quel frame. La stazione ricevente risponde con il messaggio di response (acknowledge) con il bit P/F a uno.

13.2.11 FCS

Il campo FCS (*Frame Control Sequence*) contiene una CRC che può essere su 16 bit (2 ottetti) o su 32 bit (4 ottetti). La lunghezza della CRC da utilizzarsi viene decisa dalle stazioni tramite messaggi di tipo XID.

13.2.12 Esempio

La figura 13.3 mostra un esempio di comunicazione HDLC di tipo ABM in cui è possibile comprendere il ruolo degli I-frame e degli S-frame, la modalità di numerazione delle trame e il ruolo delle liste di ritrasmissione.

La stazione A inizia a numerare le trame a partire da 0, mentre la stazione B a partire da 3. Il primo I-frame che invia A a B ha quindi $N(S) = 0$ e $N(R) = 3$, indicati più sinteticamente nella figura con la notazione I(0,3). Questo significa che la stazione A sta trasmettendo la trama 0 e ha ricevuto con successo dalla stazione B la trama 2 ed attende la trama 3.

Analogamente B trasmette un messaggio di tipo I(3,0), cioè sta trasmettendo la trama 3, con ACK per la trama 7, se le stazioni operano con numerazione modulo 8, oppure per la trama 127 se operano modulo 128.

Il frame I(6,1) inviato da B ad A contiene l'ACK per il frame 0 inviato da A a B e l'indicazione che ora B attende di ricevere il frame 1 da A.

Trasmesso il frame I(7,2), B non ha più informazioni da inviare ad A, ma deve comunque fornire gli ACK per i frame 2, 3, 4, 5 inviati da A a B. Effettua tale operazione tramite due S-frame di tipo RR (*Receiver Ready*). Con lo S-frame RR(5) fornisce ad A l'ACK per i frame 2, 3 e 4, mentre con RR(6) fornisce l'ACK per il frame 5 e comunica ad A di essere pronto ad accettare il frame 6.

Si noti che quando arriva l'ACK per un frame, questo viene tolto dalla lista di ritrasmissione.

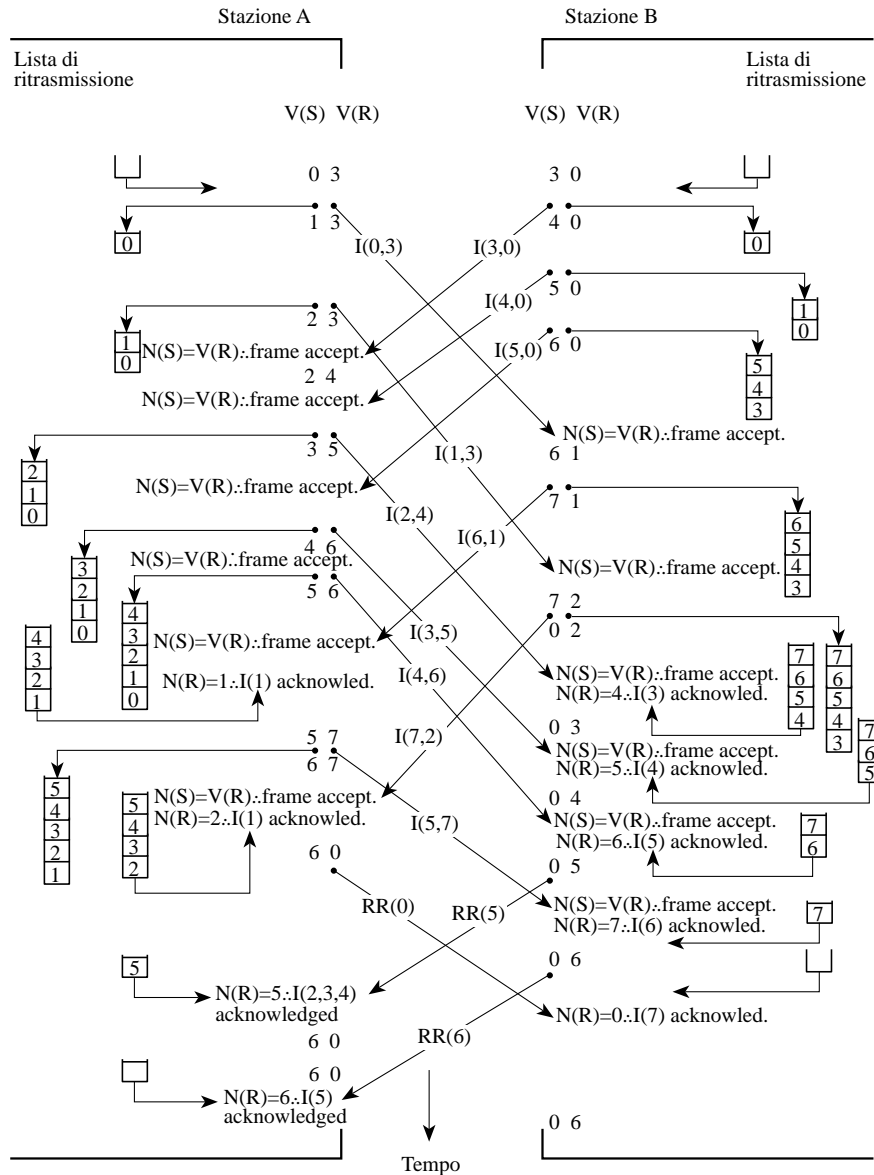


Fig. 13.3 - Esempio di comunicazione in HDLC.

13.3 PPP

13.3.1 Introduzione

Il protocollo HDLC ha una grave carenza: non ha una modalità standard per trasmettere sullo stesso canale pacchetti generati da diversi protocolli di livello superiore. Per questo motivo la comunità di Internet ha introdotto nel luglio 1990 una estensione di HDLC, basata sullo standard HDLC ISO 4335, detta PPP (*Point-to-Point Protocol*). Tale estensione è stata documentata in vari RFC (si veda il paragrafo 16.1) il più recente dei quali è lo RFC 1548 del settembre 1993.

13.3.2 Il livello Data Link

Il formato del pacchetto PPP è mostrato in figura 13.4.

Lunghezza in ottetti

1	1	1	2	variabile	2 o 4	1
Flag	Address	Control	Protocol	Information	FCS	Flag

Fig. 13.4 - Formato della trama PPP.

La differenza principale rispetto ad HDLC risiede nella presenza di un campo *protocol* lungo 2 ottetti. Tale campo contiene la codifica del protocollo di livello superiore la cui PDU è contenuta nel campo *information*. L'appendice A, paragrafo A.8, riporta un elenco dei possibili valori che può assumere il campo *protocol*.

Si noti inoltre che PPP pone limitazioni ai valori leciti per alcuni altri campi e in particolare:

- Il campo *address* deve sempre contenere la sequenza binaria 11111111 che corrisponde alla codifica broadcast. PPP non assegna indirizzi alle stazioni essendo un protocollo punto-punto.
- Il campo *control* deve sempre contenere la sequenza 11000000, cioè la trama deve essere un U-frame di tipo UI (Unnumbered Information). La lunghezza del campo *control* è quindi sempre pari a un ottetto e la trasmissione è di tipo non connesso.
- Il campo *information* ha una lunghezza compresa tra 0 e 1500 ottetti. La lunghezza massima può essere modificata di comune accordo dalle stazioni.

- Il campo FCS ha una lunghezza di 2 ottetti, ma può essere portata a 4 ottetti di comune accordo dalle stazioni.

PPP fornisce un metodo standard per trasmettere pacchetti provenienti da più protocolli diversi, sullo stesso collegamento seriale sincrono o asincrono. Per raggiungere tale scopo, PPP utilizza:

- il protocollo ausiliario LCP (*Link Control Protocol*) per creare, configurare e verificare la connessione a livello Data Link;
- una famiglia di protocolli NCP (*Network Control Protocol*) per configurare i diversi protocolli di livello Network.

13.3.3 Il protocollo LCP

Il Link Control Protocol fornisce un metodo per creare, configurare, gestire e terminare le connessioni punto-punto. LCP è un protocollo estendibile.

LCP opera in quattro fasi:

- apre la connessione e negozia i parametri di configurazione;
- verifica, opzionalmente, la qualità del collegamento per determinare se è sufficiente per i protocolli di livello superiore;
- attiva i protocolli NCP associati ai vari livelli di network affinché svolgano le relative procedure di inizializzazione;
- termina il collegamento.

13.4 X.25

13.4.1 Introduzione

La tecnologia a commutazione di pacchetto X.25 è stata la prima ad essere introdotta ed è ormai disponibile da più di 20 anni. Le reti X.25 sono state definite dal CCITT nel 1976, 1980, 1984 con lo standard intitolato "*Interface between DTE and DCE for Terminal Operating in the Packet Mode and Connected to Public Data Network by Dedicated Circuit*".

Lo standard definisce quindi l'interfaccia tra un DTE-X.25 (ad esempio un calcolatore o un router) e un DCE-X.25 (ad esempio, un modem), ma non come funziona la rete al suo interno (figura 13.5).

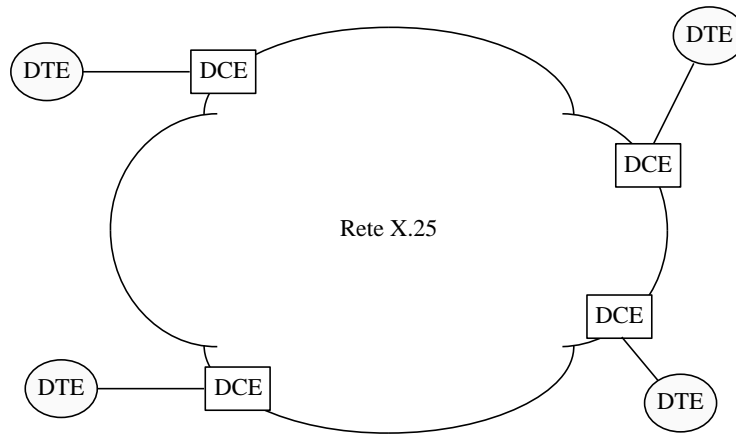


Fig. 13.5 - DTE, DCE e rete X.25.

La rete X.25 è realizzata con dei commutatori di pacchetto (PSE: *Packet Switching Exchange*) cui sono connessi i DCE secondo lo schema generale mostrato in figura 13.6.

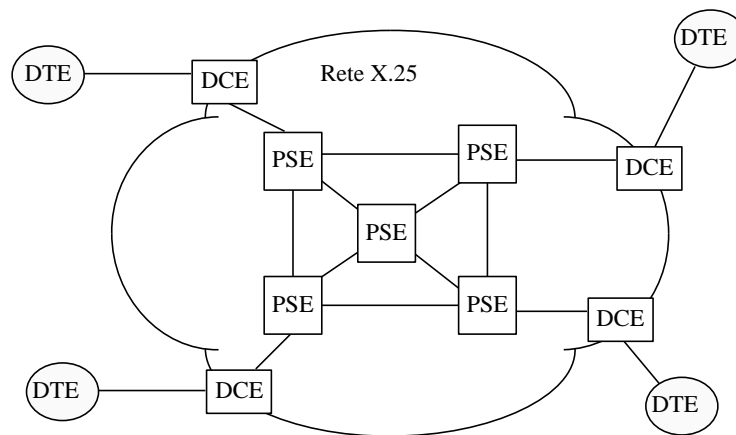


Fig. 13.6 - Struttura interna di una rete X.25.

Tuttavia il termine "rete X.25" rimane in parte non corretto: infatti X.25 non specifica come deve essere organizzata la rete all'interno, ad esempio, con quali criteri si instradano i messaggi tra i PSE.

Lo standard X.25 è stato impiegato con successo per realizzare reti geografiche

sia pubbliche (ad esempio, in Italia, *Itapac*), sia private. Le reti X.25 forniscono servizi di tipo connesso e le connessioni sono dette circuiti virtuali. X.25 prevede sia circuiti virtuali permanenti (PVC: *Permanent Virtual Circuit*), sia circuiti virtuali dinamici (SVC: *Switched Virtual Circuit*).

I PVC sono adatti a chi ha necessità di connettersi frequentemente e per lunghi periodi di tempo con un corrispondente fisso, mentre gli SVC sono adatti a chi deve comunicare con diversi corrispondenti.

Alle reti X.25 possono essere collegati anche DTE asincroni a carattere (tipo TTY, terminali video asincroni, PC con interfaccia asincrona, ecc.) tramite un dispositivo detto PAD (*Packet Assembler/Disassembler*) che si occupa di assemblare/disassemblare i pacchetti per il terminale (figura 13.7).

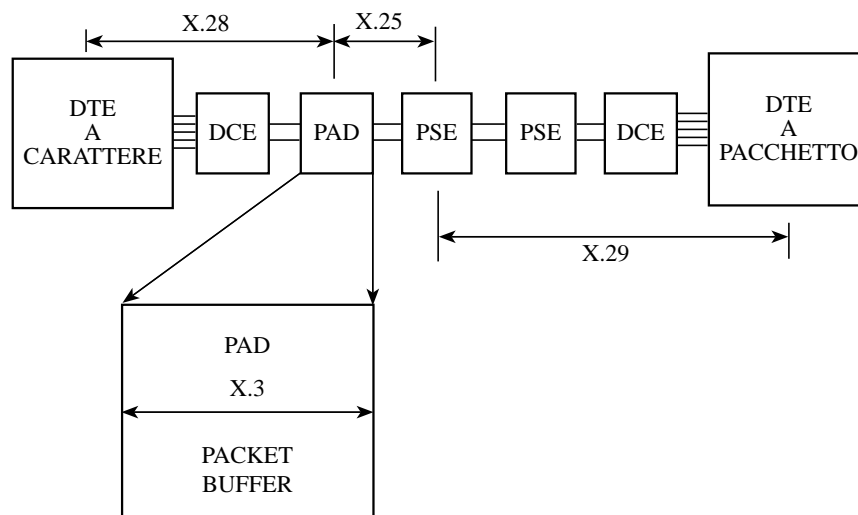


Fig. 13.7 - Relazione tra gli standard X.3, X.25, X.28 e X.29.

Quest'ultima funzionalità è definita dagli standard CCITT X.3, X.28 e X.29, ma riveste scarso interesse per le problematiche di internetworking.

Il vantaggio principale di X.25 è il suo elevato grado di standardizzazione a livello internazionale, il suo limite più spiccato è il basso throughput che si può ottenere, che rende X.25 non troppo idoneo all'internetworking.

Per superare i limiti prestazionali di X.25 sono stati sviluppati altri standard quali Frame Relay e SMDS, che verranno trattati nei paragrafi seguenti.

Lo standard X.25 tratta i primi tre livelli del modello di riferimento OSI.

13.4.2 Il livello Fisico

A livello Fisico le reti X.25 usano linee sincrone punto-punto, con l'unica eccezione della variante X.32 che impiega linee commutate. La velocità delle linee che collegano i DTE varia tipicamente tra 1200 b/s e 64 Kb/s. L'interfaccia di utente è RS-232 per i collegamenti sino a 19200 b/s e V.35 per i collegamenti a velocità maggiore o uguale a 64Kb/s.

13.4.3 Il livello Data Link

A livello Data Link, X.25 adotta il protocollo LAPB (Link Access Procedure Balanced) definito dallo standard ISO 7776 e di derivazione SDLC/HDLC. La connessione viene gestita in ABM (Asynchronous Balanced Mode), cioè in modo full-duplex connesso, con correzione di eventuali errori di trasmissione a livello 2, su ogni tratta.

13.4.4 Il livello Network

Il livello 3 di X.25 è conforme allo standard ISO 8208 e definisce le procedure per la formazione dei circuiti virtuali e per il corretto trasferimento dei dati d'utente. Il pacchetto di livello 3 è imbustato nel campo dati del pacchetto LAPB (figura 13.8).

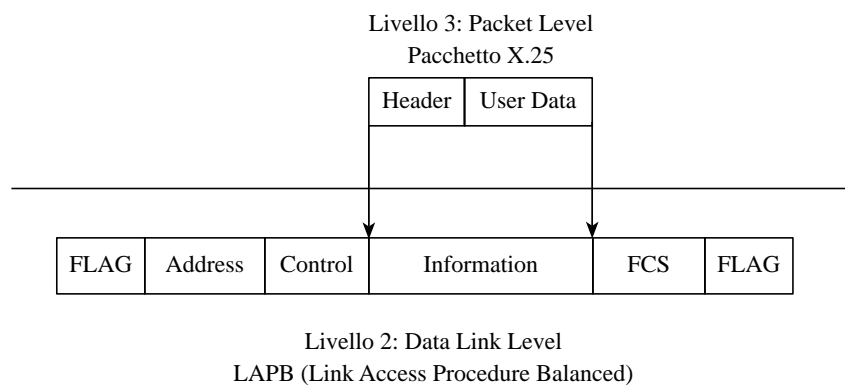


Fig. 13.8 - PDU di livello 2 e 3.

L'header del pacchetto di livello 3 contiene tre campi principali:

- GFI (*General Format Identifier*), di 4 bit, che indica il formato dell'header di livello 3;

- LCI (*Logical Channel Identifier*), di 12 bit, che contiene il numero del circuito virtuale su cui è trasmesso il pacchetto;
- PTI (*Packet Type Identifier*), di 8 bit, che identifica i vari tipi di pacchetto X.25, riportati nella tabella 13.1.

richiesta di chiamata	CAR	chiamata entrante	INC
chiamata completata	CON	chiamata accettata	CAC
richiesta di svincolo	CLR	indicazione di svincolo	CLI
conferma svincolo	CLC	dati	D
interrupt	INT	conferma di interrupt	INTC
pronto a ricevere	RR	non pronto a ricevere	RNR
richiesta di reset	RES	indicazione di reset	REI
conferma di reset	REC	richiesta di restart	RTR
indicazione di restart	RTI	conferma di restart	RTC

Tab. 13.1 - Tipi di pacchetti X.25.

I circuiti virtuali sono identificati tramite lo LCI che, nel caso degli SVC, è assegnato dinamicamente a partire dall'indirizzo di DTE, mentre, nel caso dei PVC, è assegnato permanentemente dal gestore della rete.

L'utilizzo dei vari tipi di pacchetti per richiedere la creazione di un SVC (fase 1), per il suo successivo utilizzo (fase 2) e per la chiusura del SVC stesso (fase 3), è riportato in figura 13.9.

Nell'esempio supporremo che la rete X.25 utilizzata sia Itapac.

Durante la formazione del collegamento (fase 1) un DTE A invia a Itapac un pacchetto CAR (richiesta di chiamata) contenente l'indirizzo del DTE chiamato (DTE B). Itapac invia al DTE B un pacchetto INC (chiamata entrante) per notificargli la richiesta di creazione di un SVC da parte del DTE A.

Il DTE B può rifiutare la chiamata inviando a Itapac un pacchetto CLR oppure accettarla inviando a Itapac un pacchetto CAC (chiamata accettata). In questo secondo caso Itapac conferma al DTE A l'avvenuta connessione tramite un pacchetto CON (avvenuta connessione).

A questo punto inizia la fase di scambio dati (fase 2) che può avvenire contemporaneamente nei due sensi ed utilizza pacchetti di tipo D (data). Se si verificano problemi durante tale fase uno dei due DTE può chiedere il reset del collegamento (pacchetto RES).

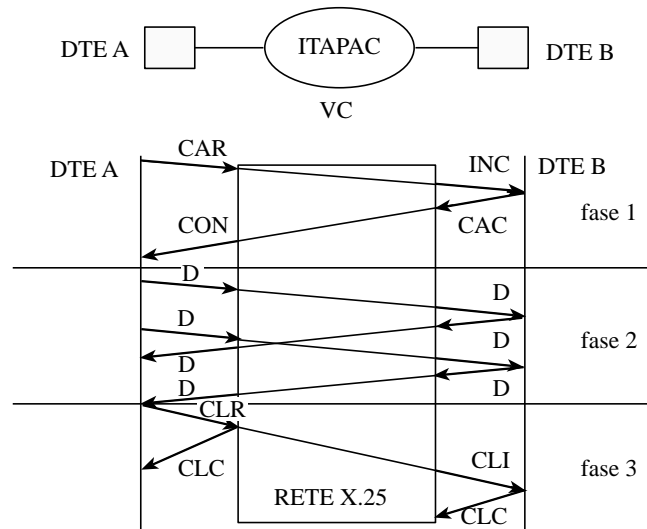


Fig. 13.9 - Esempio di trasferimento dati tramite SVC.

Terminata la fase di scambio dati, si ha l'abbattimento del collegamento (fase 3). Il DTE che vuole chiudere il collegamento invia un pacchetto CLR (richiesta di svincolo) a Itapac, che risponde immediatamente con un pacchetto CLC (conferma di svincolo) e invia al DTE remoto un pacchetto CLI (indicazione di svincolo). Il DTE remoto risponde con CLC (conferma svincolo) a Itapac.

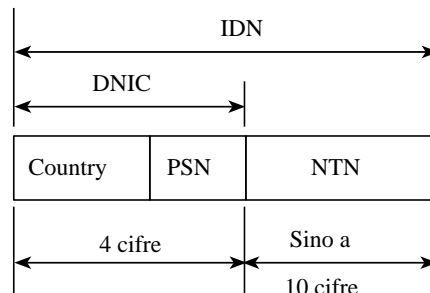
13.4.5 Indirizzamento

Gli indirizzi nelle reti X.25 servono ad attivare gli SVC. Essi sono detti indirizzi di DTE e sono conformi allo standard CCITT X.121.

X.121 propone uno schema di indirizzamento universale (figura 13.10) tramite il quale un DTE può essere individuato tramite un indirizzo internazionale detto *IDN* (*International Data Number*).

L>IDN è composto da due parti:

- DNIC (*Data Network Identification Code*) che si suddivide ulteriormente in:
 - Country che identifica la nazione,
 - PSN (*Packet Switched Network*) che identifica la rete all'interno della nazione;
- NTN (*Network Terminal Number*) che identifica il DTE all'interno della rete.

**Fig. 13.10** - Formato indirizzo X.121.

A livello nazionale in Itapac ogni utente è identificato da un NUA (*Network User Address*) che è un numero di 8 cifre:

- la prima cifra è sempre 2 e corrisponde alla PSN Itapac;
- le seguenti 1, 2 o 3 cifre sono il prefisso teleselettivo del distretto telefonico, privato dello zero iniziale (es.: 11 per Torino);
- le rimanenti cifre identificano l'utente.

13.4.6 Il campo CUD e il supporto multiprotocollo

Il campo CUD (*Call User Data*) è presente nei pacchetti CAR (*Call Request*) che servono per attivare uno SVC. Tale campo è utilizzato per permettere a X.25 di fornire un supporto multiprotocollo.

Infatti, anche se X.25 ha un suo livello 3, questo viene normalmente ignorato dalle architetture di rete, che considerano i circuiti virtuali X.25 come collegamenti di livello 2 e quindi non rinunciano al loro livello 3.

Questo implica che quando, ad esempio, un pacchetto TCP/IP transita su una rete X.25 abbia due buste di livello 3, quella di IP e quella di X.25. L'unica eccezione è rappresentata dalle reti OSI (si veda il paragrafo 17.3) che integrano completamente X.25 al loro interno.

In fase di creazione dello SVC si utilizza il campo CUD per identificare a quale architettura di rete appartengono i dati di livello 3 che transitano sullo SVC.

Una tabella dei valori da assegnare al CUD, in funzione del protocollo di livello 3 richiedente, è riportata in appendice A, paragrafo A.10.

13.5 FRAME RELAY

13.5.1 Introduzione

Frame Relay è uno standard che ha delle similitudini con X.25, essendo uno standard di interfaccia DCE-DTE che permette di far convivere diversi circuiti virtuali su una singola linea trasmissiva. Tuttavia le differenze sono altrettanto importanti: Frame Relay è uno standard puramente di livello 2 e quindi differisce da X.25 che ha un suo livello 3; Frame Relay è uno standard pensato per linee trasmissive veloci ed affidabili e quindi non corregge gli errori su ogni tratta trasmissiva come avviene in X.25.

Frame Relay è uno standard appositamente progettato per interconnettere router e bridge remoti in modo efficiente, con prestazioni nettamente superiori a quelle di X.25.

L'architettura di una rete Frame Relay è schematizzata in figura 13.11, dove si evidenzia come una rete Frame Relay sia un mezzo per creare circuiti virtuali tra DTE Frame Relay.

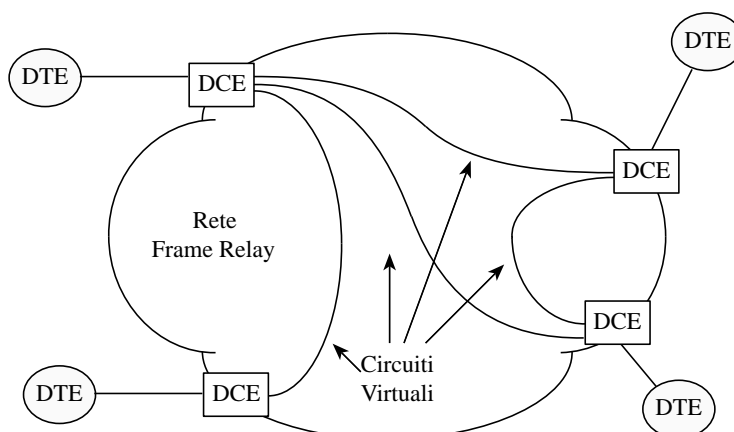


Fig. 13.11 - Rete Frame Relay.

I circuiti virtuali sono permanenti, cioè creati dal gestore della rete, anche se esistono proposte per avere in futuro la possibilità di creare circuiti virtuali temporanei.

13.5.2 L'evoluzione di Frame Relay

Frame Relay è il risultato ottenuto nel 1990 da un consorzio di ditte appositamente creato, di cui facevano parte Cisco, Digital Equipment, Northern Telecom e Stratacom.

Il consorzio si è basato sugli standard proposti in sede CCITT nell'ambito del progetto ISDN ed in particolare sulle raccomandazioni I.122 e Q.922.

Il consorzio ha però proposto numerose e significative estensioni agli standard CCITT, globalmente dette LMI (*Local Management Interface*).

13.5.3 Il livello Data Link di Frame Relay

Lo standard Q.922, che specifica il *data link layer protocol and frame mode bearer services*, si basa sullo standard CCITT Q.921 LAPD (*Link Access Procedure on the D-channel*) e lo estende, formando il LAPF (*Link Access Procedure to Frame mode bearer services*).

Il LAPD e il LAPF utilizzano il flag, come in HDLC, per marcare l'inizio e la fine delle trame, e adottano l'algoritmo di bit stuffing (si veda il paragrafo 13.2.5), per garantire la trasparenza della trasmissione.

Il protocollo LAPF è suddiviso in due parti:

- DL-CORE (*Data Link Core protocol*) definito nella raccomandazione CCITT I.233;
- DL-CONTROL (*Data Link Control protocol*), la rimanente parte di LAPF.

Il formato del pacchetto Frame Relay è mostrato in figura 13.12, dove in grigio sono stati evidenziati i campi ignorati dalle funzionalità di DL-CORE.

Flag	Address	Control	Information	FCS	Flag
------	---------	---------	-------------	-----	------

Fig. 13.12 - Pacchetto Frame Relay.

Il significato dei campi di DL-CORE è il seguente:

- Flag, come in HDLC;
- Address, un indirizzo esteso con funzionalità di controllo delle congestioni con lunghezza pari a 2, 3 o 4 ottetti (figura 13.13);
- FCS, una CRC su 2 ottetti.

In particolare, il campo address è suddiviso in una serie di sottocampi (figura 13.13) il cui significato è il seguente:

- EA (*Address field extension bit*), se a uno, indica l'ultimo ottetto del campo address;

- C/R (*Command/Response*), riservato per usi futuri;
- FECN (*Forward Explicit Congestion Notification*), bit posto a uno dalla rete Frame Relay per segnalare ai router che il cammino percorso dalla trama presenta delle tratte congestionate;
- BECN (*Backward Explicit Congestion Notification*), bit posto a uno dalla rete Frame Relay per segnalare ai router che il cammino in direzione opposta a quello percorso dalla trama presenta delle tratte congestionate;
- DLCI (*Data Link Connection Identifier*), è l'identificatore del circuito logico ed è il sottocampo principale del campo address; lungo normalmente 10 bit ha un significato locale alla connessione DTE-DCE e quindi connessioni diverse, su nodi diversi, possono avere lo stesso DLCI;
- DE (*Discard Eligibility indicator*), se a uno, indica che la trama può essere scartata in presenza di congestione della rete;
- D/C (*DLCI or DL-CORE control indicator*), indica se i rimanenti 6 bit dell'ottetto debbano essere interpretati come DLCI o come DL-CORE control.

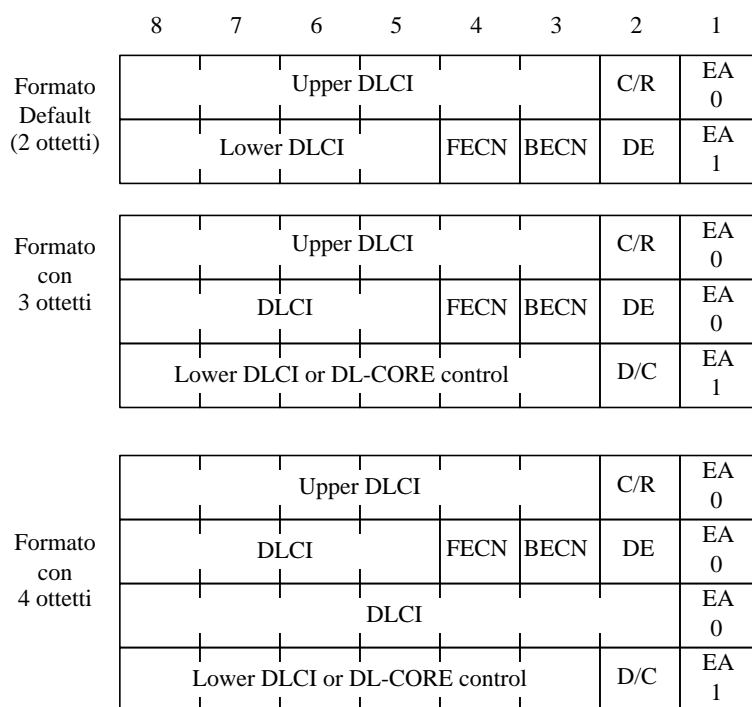


Fig. 13.13 - Il campo Address

Una rete Frame Relay può essere realizzata da un insieme di commutatori Frame Relay (nodi *core*) che instradano il messaggio sulla base del DLCI, realizzando solo la parte di LAPF detta DL-CORE, mentre i nodi terminali (nodi *edge*) realizzano sia il DL-CORE, sia il DL-CONTROL (figura 13.14).

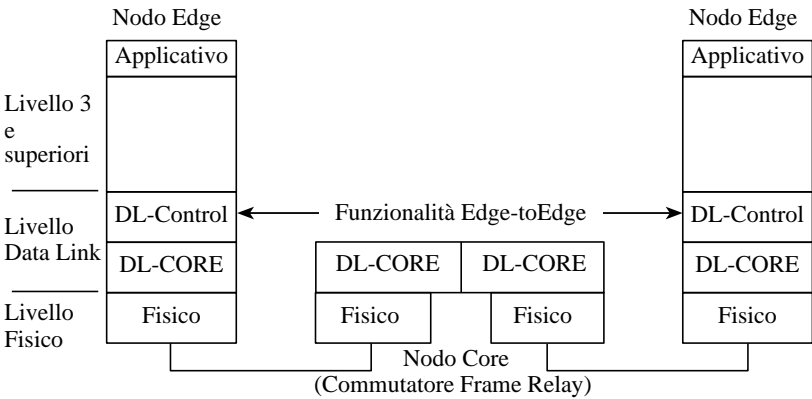


Fig. 13.14 - Esempio di rete Frame Relay.

Tale approccio è detto *core-edge*, in quanto alcune funzionalità vengono realizzate solo edge-to-edge (ad esempio, recupero di errori o controllo di flusso).

La struttura del campo control di figura 13.12 è specificata nella raccomandazione Q.922 e ricalca quella del campo control di HDLC (figura 13.2). La numerazione delle trame, se presente, viene effettuata modulo 128 (su 7 bit), quindi il campo control ha dimensioni pari a un ottetto per gli U-frame e a 2 ottetti per gli S-frame e gli I-frame.

13.5.4 Le trame LMI

Le trame LMI sono state concepite per contenere le estensioni proposte dal consorzio Frame Relay, ma tali estensioni sono state riprese da ANSI e CCITT che le hanno modificate e rese standard. Le versioni standard sono oggi più diffuse di quelle originali.

La figura 13.15 mostra il formato di una trama LMI.

Ottetti								
1	2	1	1	1	1	variabile	2	1
Flag	LMI DLCI	UI	Protocol discriminator	Call reference	Message type	IE	FCS	Flag

Fig. 13.15 - Formato di una trama LMI.

Le trame LMI sono identificabili a livello DL-CORE poiché inviate sul DLCI 1023. A livello DL-Control sono trame di tipo Unnumbered Information (UI).

Il campo *protocol discriminator* contiene un valore fisso che indica il protocollo LMI.

Il campo *call reference* contiene sempre il valore zero.

Il campo *message type* indica i due tipi di messaggi ammessi: *status-enquiry* e *keepalives*.

Il campo *Information Elements (IE)* contiene un primo ottetto detto *IE identifier*, un secondo ottetto di *IE length* e altri ottetti contenenti le informazioni di management del protocollo LMI.

I messaggi di *status-enquiry* permettono ad un nodo di chiedere ed ottenere informazioni sullo stato della rete. Tali messaggi verificano l'integrità dei collegamenti fisici e logici e permettono agli algoritmi di routing di prendere le opportune decisioni in funzione dello stato della rete.

I messaggi di *keepalives* vengono inviati periodicamente da ogni nodo per informare l'altra estremità della connessione che la connessione continua ad essere attiva.

Oltre alle prestazioni classiche di LMI esistono due estensioni importanti: *global addressing* e *multicasting*.

13.5.5 Global Addressing

I nodi Frame Relay non hanno un indirizzo: ad avere indirizzo sono i canali logici (DLCI). Questo è un limite quando si vogliono realizzare reti di grosse dimensioni, poiché impone l'uso di tabelle statiche sui router e inibisce l'utilizzo di protocolli quali ARP/RARP (si veda paragrafo 16.7).

Il global addressing è una estensione che assegna ad ogni nodo Frame Relay un DLCI univoco che diventa il suo indirizzo sulla rete. Questo permette di migliorare l'utilizzo di una rete Frame Relay da parte dei router che, con il global addressing, la vedono equivalente ad una LAN.

13.5.6 Multicasting

I protocolli per il calcolo automatico delle tabelle di instradamento dei router (si veda il paragrafo 14.5.3) necessitano spesso di inviare un messaggio in multicast a tutti i router presenti sulla rete.

L'estensione multicasting di Frame Relay serve a soddisfare tale esigenza.

Vengono riservati quattro valori di DLCI (da 1019 a 1022). L'estensione LMI invia notifiche ai nodi riguardo alla creazione, presenza e cancellazione dei gruppi di multicast.

Un messaggio inviato ad un DLCI associato ad un gruppo di multicast è replicato e trasmesso a tutti i nodi appartenenti al gruppo.

13.6 SMDS

SMDS (Switched Multi-megabit Data Service) è stato proposto da Bellcore (Bell Communication Research) nel 1987 per offrire un servizio pubblico, non connesso, ad alte prestazioni con lo standard TR-772 (Technical Requirements 772). SMDS è particolarmente adatto a realizzare internetworking di LAN.

SMDS fornisce velocità comprese nell'intervallo tra 2 e 34 Mb/s e le BOC (Bell Operating Company) offrono servizi SMDS nell'America del Nord già dal 1990.

In Europa SMDS viene detto anche CBDS (*Connectionless Broadband Data Service*) ed esiste un gruppo di interesse europeo denominato ESIG (*European SMDS Interest Group*).

Ancora una volta SMDS è uno standard che specifica solo l'interfaccia DTE-DCE e non come è organizzata la rete al suo interno. Il protocollo di interfaccia è detto SIP (*SMDS Interface Protocol*) e il punto di demarcazione tra la rete SMDS e gli apparati di utente è detto SNI (*Subscriber Network Interface*).

La figura 13.16 mostra un esempio di utilizzo di SMDS per interconnettere due LAN Ethernet tramite router.

SIP si basa sullo standard per le reti metropolitane DQDB (*Distributed Queue Dual Bus*) descritto nel capitolo 9. Il protocollo SIP ha due tipi di PDU, dette L3PDU* e L2PDU.

Il router genera le L3PDU e le invia all'unità CSU/DSU (*Channel Service Unit / Data Service Unit*) che le frammenta in L2PDU e le trasmette sulla rete. L'unità CSU/DSU all'altro estremo della rete effettua il procedimento inverso.

Il router e la CSU/DSU, per scambiarsi le L3PDU, le incapsulano in una trama HDLC. Il formato di incapsulamento più diffuso è detto DXI (*Data eXchange Interface*).

Le L3PDU hanno una forte analogia con le IMPDU del DQDB (figura 9.12), mentre le L2PDU hanno una forte analogia con gli slot DQDB (figura 9.8) che a loro volta contengono le DMPDU (figura 9.14).

* Attenzione: L3 in questo caso non significa livello 3 OSI, in quanto sia le L3PDU, sia le L2PDU, appartengono al livello 2 OSI.

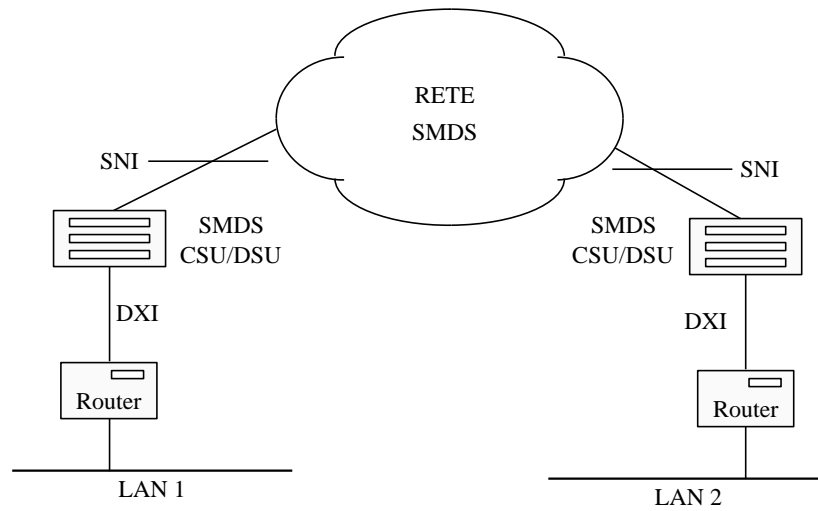


Fig. 13.16 - Esempio di utilizzo di SMDS.

La relazione tra le L3PDU e le L2PDU è mostrata in figura 13.17.

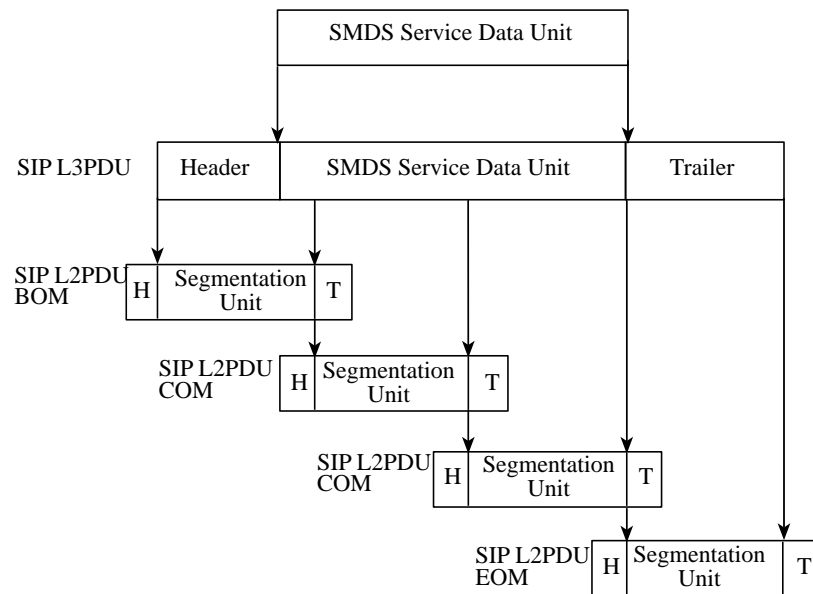


Fig. 13.17 - SMDS Protocol Data Unit.

SMDS non si occupa di fornire un supporto standard per la convivenza di più protocolli. Per questa ragione la SMDS SDU può contenere una LLC-PDU che con i classici meccanismi delle reti locali (si veda il paragrafo 5.7.3) fornisce il supporto multiprotocollo. In particolare lo RFC 1209 indica come usare le SNAP PDU per trasportare i pacchetti IP (si veda il paragrafo 5.7.4).

La figura 13.18 mostra un esempio di internetworking in ambito OSI (si veda paragrafo 17.5) utilizzando SMDS.

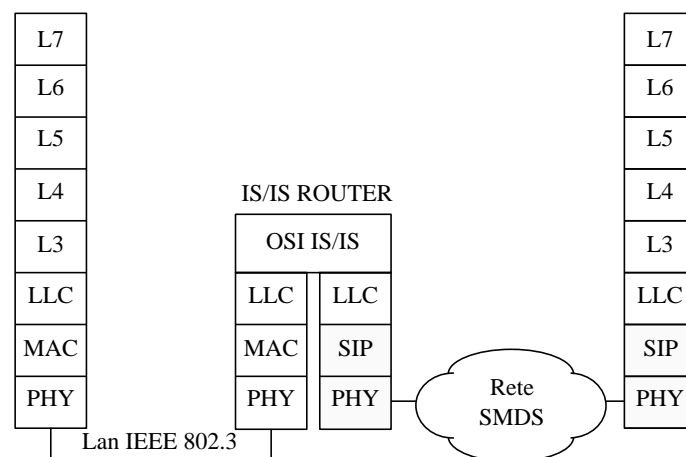


Fig. 13.18 - Internetworking OSI tramite SMDS.

L'indirizzamento SMDS è basato sullo standard E.164 e presenta interessanti funzionalità aggiuntive quali:

- più indirizzi per una singola interfaccia;
- indirizzi di gruppo, cioè un indirizzo identifica un insieme di interfacce: questo è molto utile per la gestione del traffico di broadcast;
- validazione del Source Address dichiarato dall'apparato di utente da parte della rete: questa funzionalità è molto importante per la sicurezza, perché previene i tentativi di connessioni illecite (*address spoofing*).

SMDS fornisce inoltre un sofisticato meccanismo di negoziazione del throughput, tramite la definizione di una *access class* e di un grado di *burstiness* (varianza del *throughput*). Sulle interfacce a velocità superiori tale meccanismo è realizzato da un *credit manager*.

13.7 ANALISI COMPARATA

La tabella 13.2 mostra un'analisi comparata delle tecnologie a commutazione di pacchetto descritte in questo capitolo. Per completezza è inclusa anche la tecnologia ATM, che verrà descritta nei capitoli 19, 20 e 21.

Prestazione	X.25	Frame Relay	SMDS	ATM
Standard	CCITT, ISO, ...	CCITT, ANSI	Bellcore, ETSI	CCITT
Velocità tipica	9.6 - 64 kb/s	64kb/s - 2Mb/s	2 - 34 Mb/s	45 - 155 Mb/s
Dimensione del pacchetto	Variabile sino a 4096 byte	Variabile sino a 4096 byte	Variabile sino a 9188 byte	Fissa 53 byte
Multicasting	No	Sì, scarsamente realizzato	Sì	Proposta
Indirizzi	X.121 a lunghezza variabile, sino a 14 cifre	DLCI a lunghezza fissa, normalmente 10 bit	Lunghezza variabile sino a 15 cifre per formato E.164	VPI/VCI lunghezza fissa 24 bit
Connectionless	No	No	Sì	No
PVC	Sì	Sì	N.A.	Sì
SVC	Sì	Proposta	N.A.	Sì
Controllo di flusso per circuito virtuale	Sì	No	N.A.	No
Correzione degli errori su ogni tratta	Sì	No	No	No

N.A.: Non Applicabile

Tab. 13.2 - Tecnologie a commutazione di pacchetto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ISO 3309, "HDLC Procedures - Frame Structure", 1979.
- [2] ISO 3309/PDAD1, "Addendum 1: Start/Stop transmission", 1984.
- [3] ISO 4335, "HDLC Elements of Procedures", 1979.

- [4] ISO 7776, "HDLC Procedures - X.25 LAPB-compatible DTE Data Link Procedures".
- [5] ISO 7809, "HDLC Procedures - Consolidation of Classes of Procedures"
- [6] ISO 8471, "HDLC Data Link Address Resolution".
- [7] ISO 8885, "HDLC Procedures - General purpose XID Frame Information Field Contents and Format".
- [8] W. Simpson, "RFC 1548: The Point-to-Point Protocol (PPP)", September 1993.
- [9] X.3 "Packet assembly/disassembly facility (PAD) in a Public Data Network".
- [10] X.25 "Interface between DTE and DCE for Terminal Operating in the Packet Mode and Connected to Public Data Network by Dedicated Circuit".
- [11] X.28 "DTE/DCE Interface for Start-Stop Mode DTE Accessing the PAD Facility in a Public Data Network Situated in the Same Country".
- [12] X.29 "Procedures for the Exchange of Control Information and User Data between a PAD facility and a Packet Mode DTE or another PAD".
- [13] X.32 "Interface between DTE and DCE for Terminal Operating in the Packet Mode and Accessing a Packet Switched Public Data Network through a Public Switched Telephone Network or a Circuit switched Public Data Network".
- [14] X.75 "Terminal and Transit Call Control Procedures and Data Transfer System on International Circuits between Packet-Switched Data Network".
- [15] X.121 "International Number Planning for Public Data Network".
- [16] I.122, "Framework for Frame Mode Bearer Services", ITU-T, March 1993
- [17] I.233, "Frame Mode Bearer Services", CCITT, Geneva.
- [18] Q.921, "ISDN user-network interface-Data link layer specification", CCITT, Geneva.
- [19] Q.922, "ISDN Data Link Layer Specification for Frame Mode Bearer Services", CCITT, Geneva, 1992.
- [20] T. Bradley, C. Brown, A. Malis, "RFC 1294: Multiprotocol Interconnect over Frame Relay", January 1992.
- [21] "Generic System Requirements in Support of Switched Multi-Megabit Data Service" Bellcore, TR-TSV-000772, Issue 1, May 1991.
- [22] D. Piscitello, J. Lawrence, "RFC 1209: The transmission of IP Datagrams over the SMDS Service", March 1991.