

Il protocollo X25

Maurizio Casoni

Dipartimento di Ingegneria 'Enzo Ferrari'

Università di Modena e Reggio Emilia

Il protocollo X25

- L'X25 normalizza il dialogo tra un DTE-X25 (calcolatore o router) ed un DCE-X25 (modem, p.es.) nelle reti pubbliche a commutazione di pacchetto, ma in realtà X25 è un documento che si pone l'obiettivo di dare le regole per tutta la rete a commutazione di pacchetto internazionale.
- È considerata tutta la problematica della rete, in particolare sui livelli 1, 2 e 3, ma questi livelli non sono esattamente gli stessi del modello OSI perché il protocollo è nato prima del 1976.

Livello 1 X25 rinvia al documento X21. Si usano linee sincrone punto-punto e commutate (X32). Interfaccia V35 per collegamenti a velocità superiori a 64kbit/s.

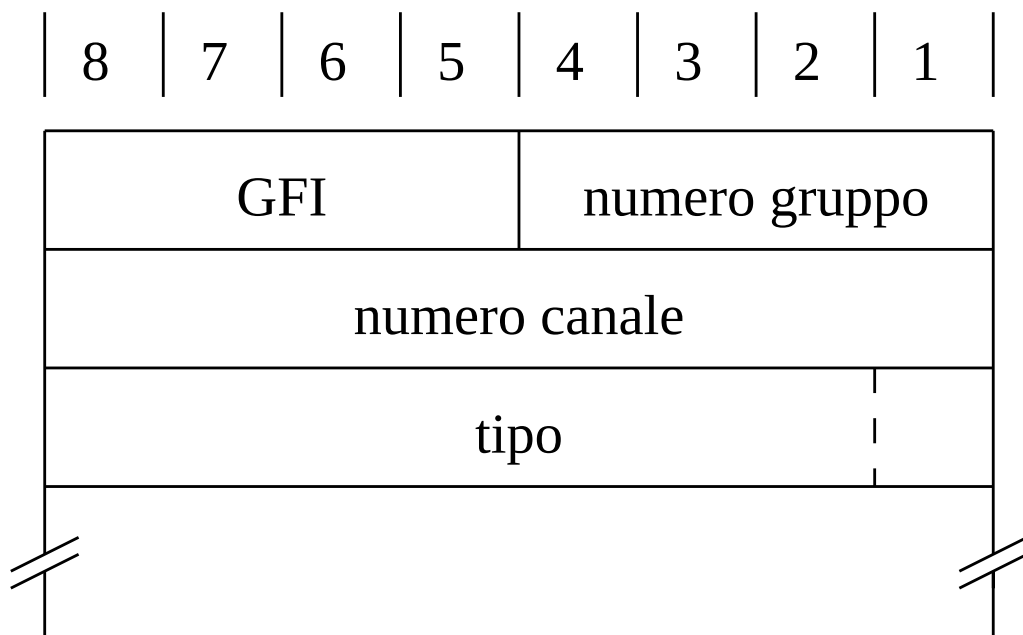
Livello 2 il documento X25 fa una descrizione abbastanza dettagliata del protocollo LAP-B (procedura di accesso alla linea della famiglia HDLC). Per la rimanente parte riguarda il livello 3 e delinea la struttura del pacchetto (che sarà poi incastrato dentro il campo informativo di una trama HDLC).

X.25 Packet Layer Protocol

- X25 è un protocollo nato per il circuito virtuale.
- Prevede circuiti virtuali sia permanenti (*PVC: Permanent Virtual Circuit*) sia dinamici (*SVC: Switched Virtual Circuit*).
- PVC adatti per collegamenti frequenti e per lunghi periodi di tempo con un corrispondente fisso.
- SVC adatti per chi deve comunicare con diversi corrispondenti.
- Sono stati inseriti dei meccanismi di datagram solo in seguito.

Formato di pacchetto

I pacchetti sono rappresentati come delle pagine in cui ogni riga vi è una parola di 8 bit.



Tutti i pacchetti hanno i primi tre byte abbastanza simili.

- Il primo byte contiene un campo di 4 bit che rappresenta il numero di gruppo ed un secondo campo detto *Identificatore Generale di Formato*, GFI;
- Il secondo byte contiene il numero di canale;
- Il terzo indica il tipo di pacchetto.

I bytes successivi dipendono dal tipo di pacchetto e possono anche non esserci per niente.

Il numero di canale virtuale

Poiché l'X25 è un protocollo a pacchetto basato sul canale virtuale, la prima cosa che deve fare un calcolatore per collegarsi con un altro è aprire un canale virtuale inviando un pacchetto di apertura.

Il protocollo prevede che il canale virtuale venga individuato da un numero che è spezzato in due parti:

- numero di gruppo = 4 bit (2^4 combinazioni $\rightarrow$ 16 gruppi)
- numero di canale = 8 bit ($2^8 \rightarrow$ 256 canali per gruppo)

In tutto vi sono 4096 canali possibili.

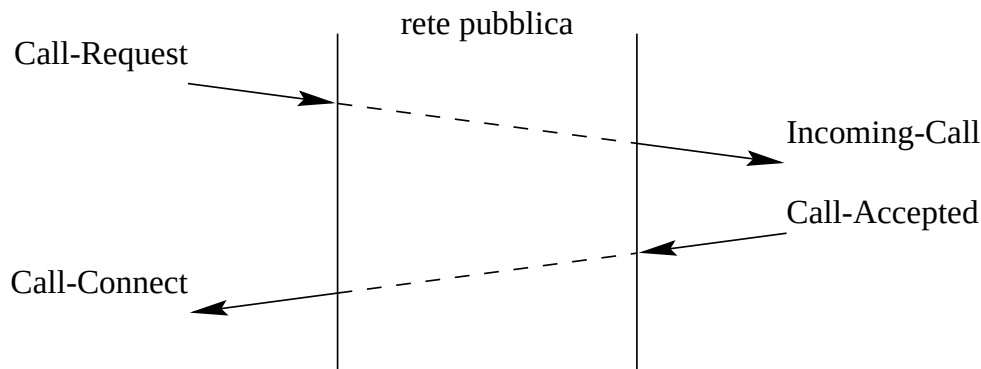
Vi è anche il problema di evitare che una stazione apra un canale verso la rete, e la rete apra lo stesso canale verso la stessa stazione; in tal caso si potrebbe avere una *collisione di chiamata*^a. Per evitare questo, quando una stazione apre un canale virtuale prende quello con numero più basso tra quelli liberi e quando la rete apre un canale virtuale verso una stazione prende il numero più alto, fra quelli disponibili; così, l'avere un grande campo numerico rende praticamente impossibile la collisione.

Nel byte del "tipo" si specifica il tipo di pacchetto. Il primo bit individua se è un pacchetto di dati o di controllo, in particolare se vale:

- "0", porta dei dati;
- "1", è un pacchetto di controllo.

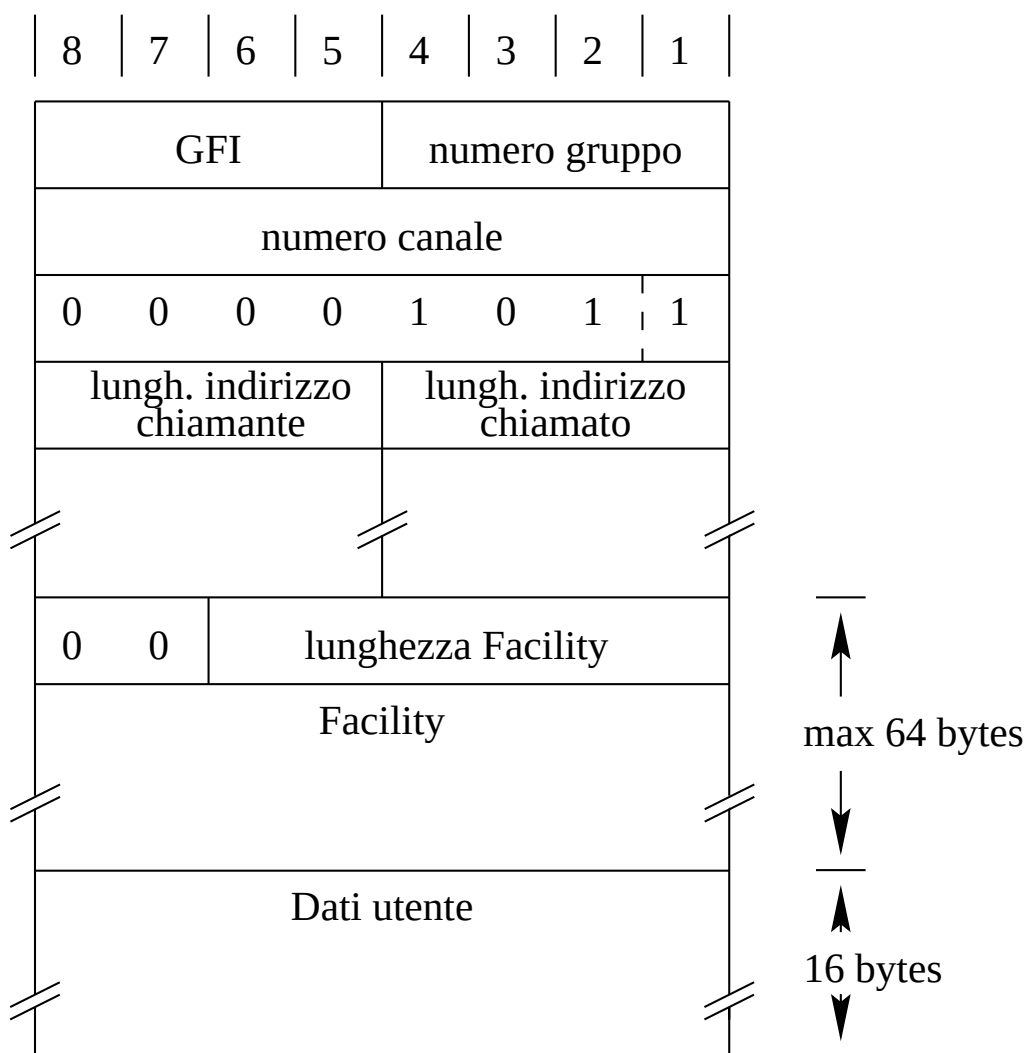
^aSe la stazione manda un pacchetto verso la rete e la rete, indipendentemente, ne manda uno verso la stazione, questa potrebbe credere che quella è la risposta al suo pacchetto.

Apertura di un canale virtuale



1. Il servizio di apertura della connessione è di tipo *Acknowledged* (con conferma), quindi la stazione chiamata deve decidere se rispondere positivamente o meno.
2. La stazione invia un pacchetto *Call-Request* per chiedere l'apertura della connessione.
3. La rete segnala alla stazione destinataria la presenza di una *Call-Request*, mandando un *Incoming-Call*.
4. Se disponibile ad aprire la connessione, il ricevente risponde con un pacchetto di *call Accepted*, verso la rete.
5. La rete comunica al sorgente che la connessione e' stata stabilita con un pacchetto *call Connected*.
6. Il canale virtuale è aperto

Formato del pacchetto Call-Request



Il pacchetto *Call-Request*

- La codifica del campo tipo è 0000101.
- Occorrono tutte le informazioni necessarie per raggiungere il destinatario, individuato da un indirizzo.
- Il tipo di indirizzamento proposto dal ITU è molto simile a quello telefonico ^a.
- Sotto al byte di tipo si possono avere fino a 15 cifre decimali. Poiché i numeri hanno lunghezza variabile,

^aNel caso di reti per dati c'è un numero che individua il tipo di rete con cui si ha a che fare; nel caso di X25, assieme allo indicativo nazionale e al numero nazionale, c'è un "2", che indica che la rete è a commutazione di pacchetto.

occorrerà far precedere questo campo da un byte, diviso in due *nibbles* che esprimono, in binario, il numero di cifre che costituiscono l'indirizzo del chiamato e del chiamante (4 bit → max 15 cifre). In realtà per l'X25 non è obbligatorio il campo per il chiamante.

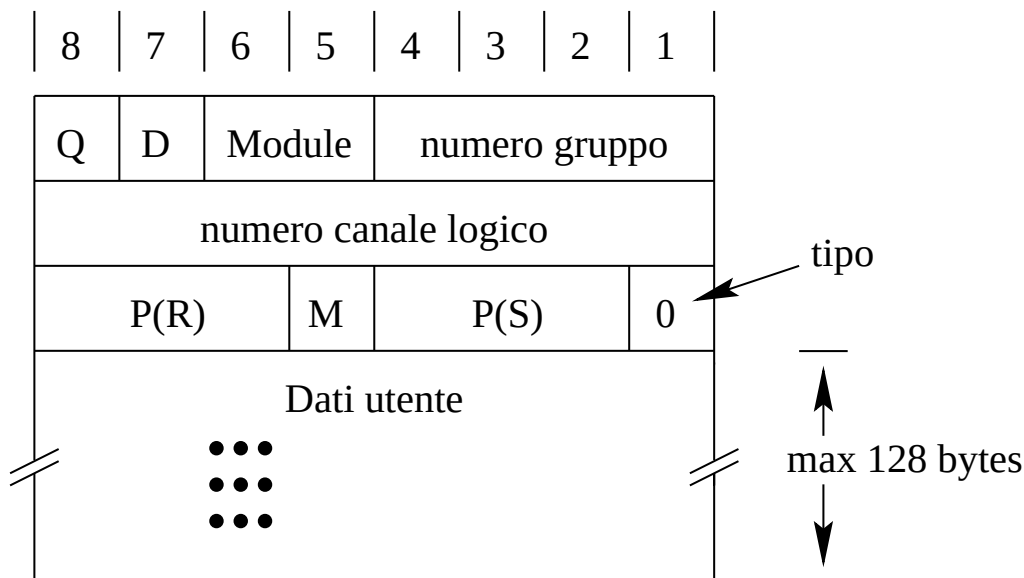
- Negli indirizzi di chiamante e chiamato ogni cifra decimale è codificata in BCD (4 bit per cifra). Se la somma delle cifre dei due indirizzi è dispari si mette un gruppo 0000 nell'ultima parola. L'insieme di questi indirizzi occupa quindi 16 byte al massimo.
- Segue poi un campo di *Facilities* ("possibilità") il cui primo byte possiede due bit "0", mentre i rimanenti 6 bit indicano la lunghezza. Mettendo due "0" iniziali si è scelto che la lunghezza del campo facility non possa superare nel suo complesso i 64 bytes ($2^6 - 1$).
- Al suo interno si indicano delle caratteristiche di connessione che si possono richiedere alla rete, per esempio: tassa a carico del destinatario, emissione di dati a velocità diverse nei vari canali, ecc... .
- Infine vi è la possibilità di mettere un numero limitato di dati di utente (16 bytes). Questi non hanno bisogno di un contatore perché iniziano dopo le facility e finiscono con il pacchetto stesso.

Il pacchetto Call-Accepted

- Molto simile al pacchetto *Call-Request*.
- Nelle risposte bisogna però invertire l'indirizzo del chiamante e del chiamato, e nel campo Facility c'è la risposta alle facilities (per esempio, se si chiede la tassa a carico del destinatario questo risponde dicendo se accetta o meno).
- Questi pacchetti sono gli unici che hanno gli indirizzi, perché una volta passato il pacchetto di Call-Request, tutti gli altri pacchetti si possono riferire a quel particolare canale virtuale semplicemente specificando il numero di gruppo e di canale.

Il pacchetto dati

Il pacchetto dati, rappresentato in figura, ha sempre il numero di gruppo e di canale, il campo tipo comincia con “0”.



Il pacchetto dati dell'X25

Mentre nei pacchetti di controllo i bit rimanenti del campo tipo servono per specificare i vari tipi di pacchetti, nel pacchetto dati i bit rimanenti si dividono in due gruppi, $P(R)$ e $P(S)$, più un bit “M”.

- $P(R)$ e $P(S)$ sono molto simili a $N(R)$ e $N(S)$ visti nell'HDLC e servono per il controllo di flusso, impiegando una finestra scorrevole.
- Mettere nel $P(R)$ un certo numero significa che si attende come pacchetto successivo quello indicato. Quindi con $P(R)$ si fa l'Acknowledge a livello di pacchetto.

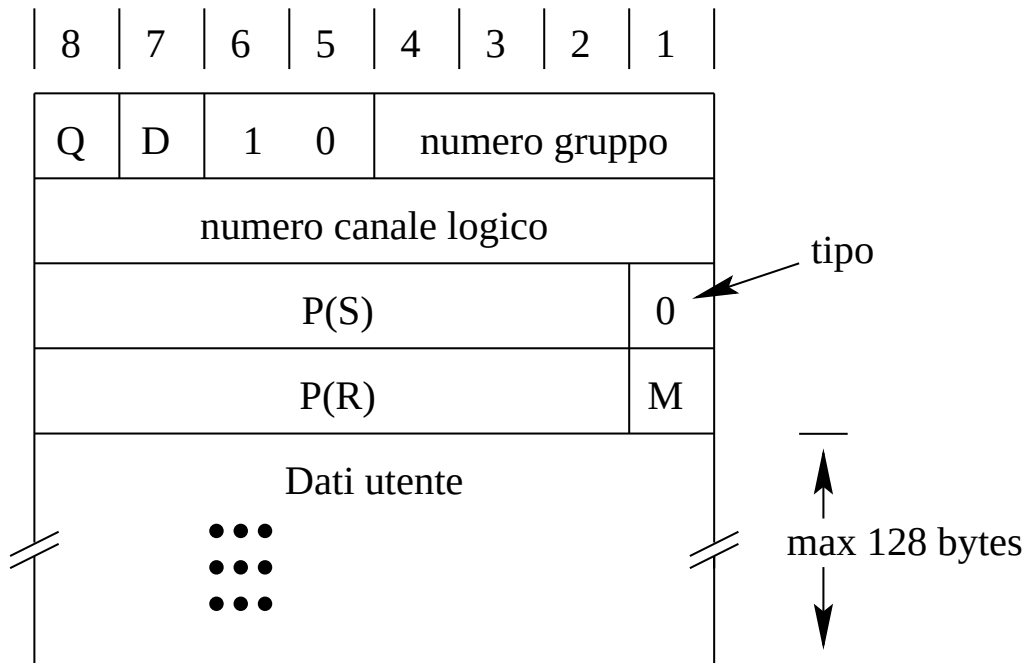
Il livello 3, però, non si preoccupa del recupero dell'errore (é compito del livello 2). Se il livello 2, per qualche motivo, ha fatto degli errori, per cui arrivano dei pacchetti fuori sequenza, il livello 3 se ne accorge, ma si limita a segnalare il guasto ai livelli superiori, facendo partire un'operazione di *Reset*, ma non tenta di recuperare l'errore (non ha i mezzi).

È da notare che l'intero pacchetto dati va inserito dentro ad un frame, e sulla linea tutti i frames passano e sono controllati in sequenza dal livello 2, quindi sembrerebbe ridondante mettere al livello 2 i campi $N(R)$ ed $N(S)$. In realtà $P(R)$ e $P(S)$ fanno l'operazione di controllo *per ogni singolo canale virtuale*.

Il pacchetto dati (segue)

- I tempi di attesa in coda sono proporzionali alla durata del servizio, questo significa che i tempi di attesa nei nodi sono proporzionali alla lunghezza media del pacchetto. Allora una rete che non vuole imporre delle attese troppo lunghe deve scegliere dei pacchetti non troppo grandi. Occorre porre dei limiti alla lunghezza dei pacchetti. I dati di utente per la rete Itapac sono al massimo *128 bytes* .
- Il campo dati ha una lunghezza limitata, e quindi al livello di rete i dati vengono consegnati dal livello 4, che ha anche come compito quello di pacchettizzare le informazioni in frammenti di lunghezza opportuna. Un file molto lungo verrà spezzato in tanti frammenti, e si può segnalare che il frammento che sta trasmettendo non è isolato ma è seguito da altri frammenti dello stesso file mettendo il bit M (*More* = ancora) a 1. È chiaro che un pacchetto che ha $M = 1$ deve essere pieno (non avrebbe senso altrimenti), e solo l'ultimo pacchetto di una stessa serie può avere $M = 0$.

- Il bit Q (*Qualifier*=qualificatore) viene controllato non dalla rete X25 ma dai livelli superiori e la rete lo porta in modo trasparente (indipendentemente dal suo valore). Questo è comodo per i livelli superiori per distinguere, se vogliono, i loro pacchetti di comando dai pacchetti dati. Per i pacchetti dati è $Q = 0$.
- I bit di *Modulo* (bit 6 e 5) possono avere solo le configurazioni 01 o 10. Con 01 i pacchetti sono in formato normale, ed è quello visto; con 10 i pacchetti sono in formato "esteso", ed è rappresentato nella figura seguente:



Il pacchetto dati per il formato esteso

- Il pacchetto di formato esteso raddoppia il campo tipo e attribuisce 7 bit al $P(S)$ e al $P(R)$, quindi si hanno finestre lunghe fino a 128.
- È da notare che per l'intera rete la finestra grande è più importante che per la singola linea da nodo a nodo, perché in una linea il ritardo è semplicemente dovuto alla propagazione, mentre in una rete è dovuto all'attraversamento dei nodi (dove può esserci coda). È importante, se si vuole sfruttare efficientemente la linea, avere una finestra ampia. L'X25 è nato subito con la possibilità del suo formato esteso.

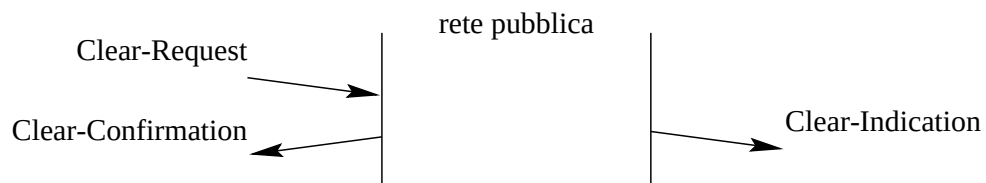
I pacchetti di supervisione

Esistono anche per l'X25 (analogamente all'HDLC) i pacchetti di supervisione. Hanno almeno 3 byte e sono così composti:

8	7	6	5	4	3	2	1
GFI				numero gruppo			
numero canale							
P(R)						0	1

Il pacchetto di supervisione

- Il *Reject* serve a ottenere la ritrasmissione dei pacchetti, a partire da quello indicato in un opportuno campo $P(R)$.
- Il *Reset* riguarda il singolo canale virtuale e provoca la ripartenza da zero di tutte le variabili di stato e lo scarico di tutti i pacchetti in quel canale, cioè si ricomincia a contare con $P(R)$ e $P(S)$ a 0 come se la comunicazione cominciasse in quel momento. Il controllo di sequenza e demandato ai livelli superiori.
- Il *Restart* invece riguarda tutta l'interfaccia. Un pacchetto di Restart inviato da una stazione alla rete significa voler cancellare, su quella linea, tutti i circuiti virtuali presenti. Per riprendere le comunicazioni bisognerà riaprire i circuiti virtuali che interessano. In realtà non si cancellano proprio tutti i circuiti virtuali, perché esiste nell'X25 la possibilità di avere dei circuiti virtuali *permanenti* (PVC) che non ne risultano affetti.
- Altri pacchetti servono per chiudere un circuito virtuale

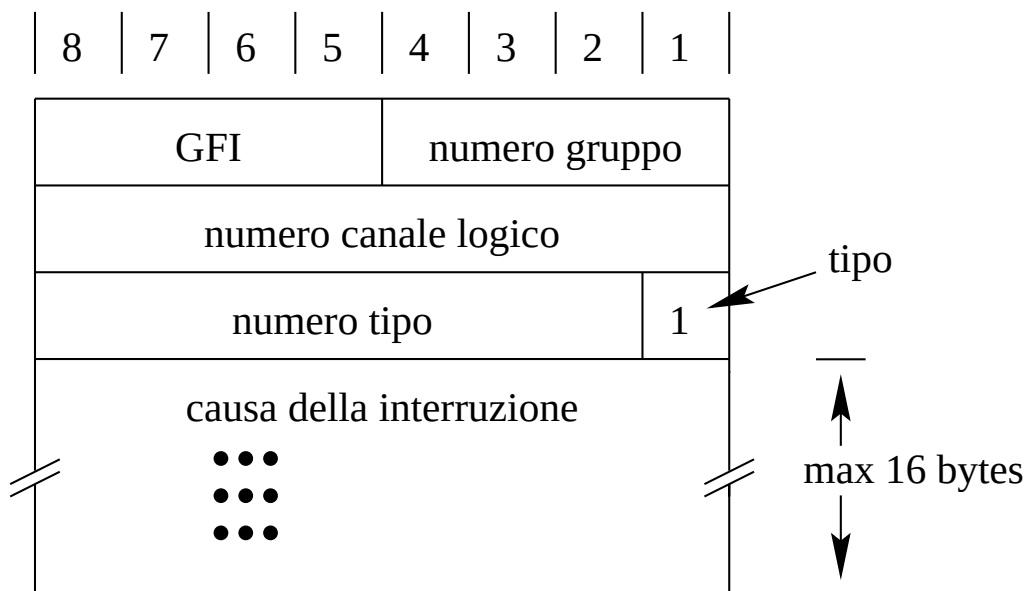


Chiusura della connessione

- Al *Clear Request* la rete risponde con un *Clear Confirmation*. La conferma del Clear è immediata: se A vuole chiudere B può solo accettare.
- Tutti i pacchetti di controllo, eccetto Reject, hanno un omologo pacchetto di conferma.

Il pacchetto Interrupt

Altro pacchetto importante è il pacchetto *Interrupt*; è considerato un pacchetto di controllo, in realtà è una via di mezzo tra un pacchetto dati e uno di controllo.

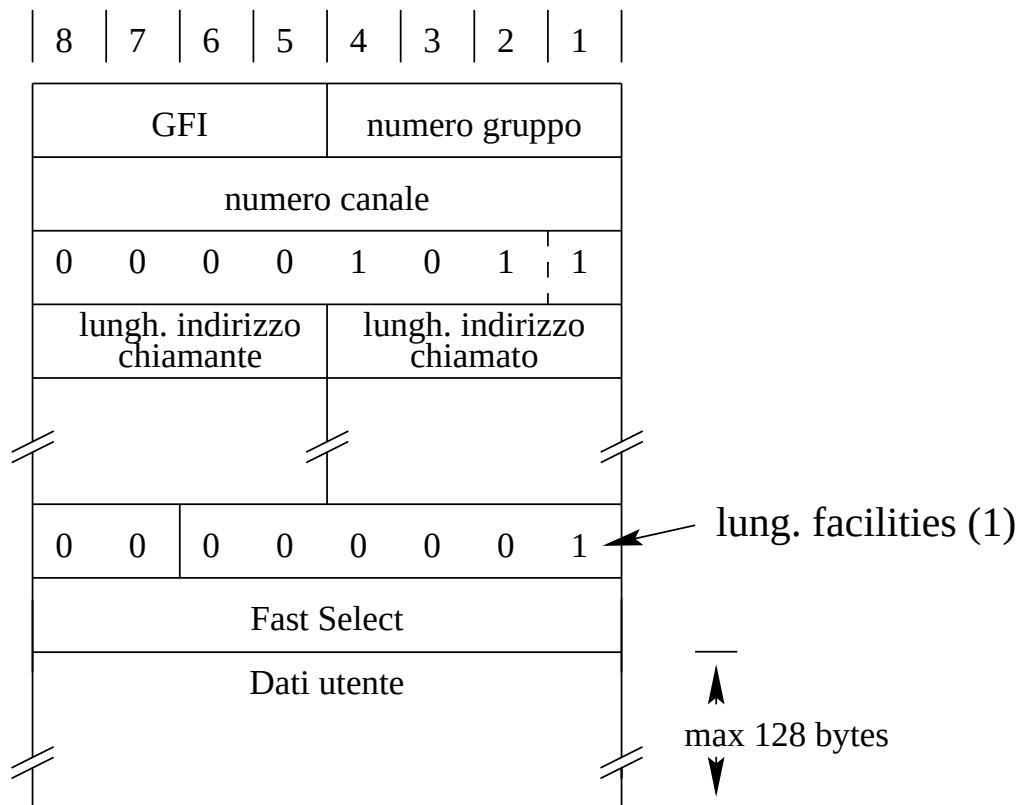


Il pacchetto *Interrupt*

- Dopo i primi 3 bytes vi sono al massimo 16 bytes di dati utente.
- L'Interrupt si inserisce in mezzo alla sequenza dei pacchetti dati e non fa coda con questi, quindi quando arriva li sorpassa. Questo è un modo per recapitare dati urgenti (allarmi).
- Siccome non vi sono $P(S)$ e $P(R)$, la conferma dell' interrupt va fatta fisicamente mediante un pacchetto detto *Interrupt Confirmation*, che il destinatario deve mandare al più presto.
- L'Interrupt consente di disporre di un canale di piccolissima capacità di tipo *Stop and Wait*, che si affianca al normale canale di buona capacità a finestra, ma con il pregio che può superare le code.

Meccanismo per il Datagram

Se interessa trasmettere pochi byte, tutta la procedura di apertura di una connessione è onerosa e quindi è stato inserito un meccanismo di trasmissione *Datagram*. Per realizzare il Datagram bisogna mandare un pacchetto Call Request che ha la sola facility *Fast Select* (selezione veloce, è di 1 byte).



Pacchetto per il “Datagram”

- La parte di dati utente può arrivare fino a 128 bytes.
- Quando passa un pacchetto Fast Select, la rete sa che deve fare l'instradamento nel modo più rapido possibile e non è obbligata ad aprire il circuito virtuale.
- Mentre nel pacchetto dati, questi viaggiano con una intestazione di soli 3 bytes; nel Datagram l'overhead è molto più grande, poiché si devono mantenere gli indirizzi di provenienza e destinazione.
- Vantaggio nel caso di trasmissione di pochissimi dati non confermati.

Il Servizio Frame Relay

Maurizio Casoni

Dipartimento di Ingegneria 'Enzo Ferrari'
Università di Modena e Reggio Emilia

FRAME RELAY

Frame Relay é uno standard che ha delle similitudini con X25 poiché é uno standard di interfaccia DCE-DTE che permette a diversi circuiti virtuali di condividere una singola linea trasmissiva.

Le differenze d'altronde sono molte ed importanti:

- é uno standard di livello 2 e perciò non ha come X25 un livello 3;
- é pensato per linee trasmissive veloci ed affidabili e pertanto *non corregge* gli errori su ogni tratta come invece avviene in X25 ma ne demanda la gestione alle stazioni terminali.

Frame Relay é un sistema di collegamento di LAN su scala geografica ad alta velocità. É stato appositamente progettato per interconnettere router e bridge remoti in modo efficiente con prestazioni nettamente superiori ad X25.

Frame Relay é stato definito per accessi a banda stretta fino al livello E1 (2Mbit/s); anche se é estendibile fino ad E3 (34Mbit/s) nessuno standard é stato finora proposto.

Livello Data Link di Frame Relay

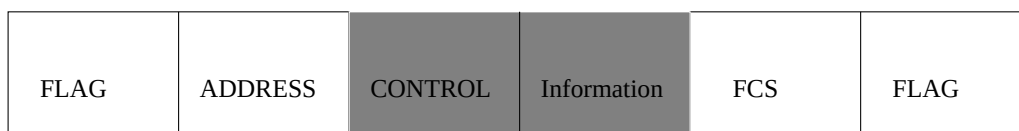
Lo standard Q.922, che specifica il *data link layer protocol and frame mode bearer services*, si basa sullo standard ITU Q.921 LAPD (Link Access Procedure on the D-channel) e lo estende, formando il LAP-F (Link Access Procedure to Frame mode bearer services).

LAPF adotta un flag come HDLC per marcare l'inizio e la fine delle trame ed impiega la tecnica del bit stuffing per assicurare la trasparenza della trasmissione.

LAPF é diviso in due parti:

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

Il formato del pacchetto frame relay é mostrato in figura, dove si sono evidenziati i campi di competenza del DL-CONTROL:



Pacchetto Frame Relay

Il significato dei campi di DL-CORE é:

- FLAG, come in HDLC;
- ADDRESS, indirizzo esteso di lunghezza pari a 2, 3 o 4 ottetti con funzionalità di controllo delle congestioni;
- FCS, un CRC su 2 ottetti.

Il campo ADDRESS é suddiviso in sottocampi:

8	7	6	5	4	3	2	1
Upper DLCI						C/R	EA 0
Lower DLCI				FECN	BECN	DE	EA 1

Upper DLCI						C/R	EA 0
DLCI				FECN	BECN	DE	EA 0
Lower DLCI or DL-CORE control						D/C	EA 1

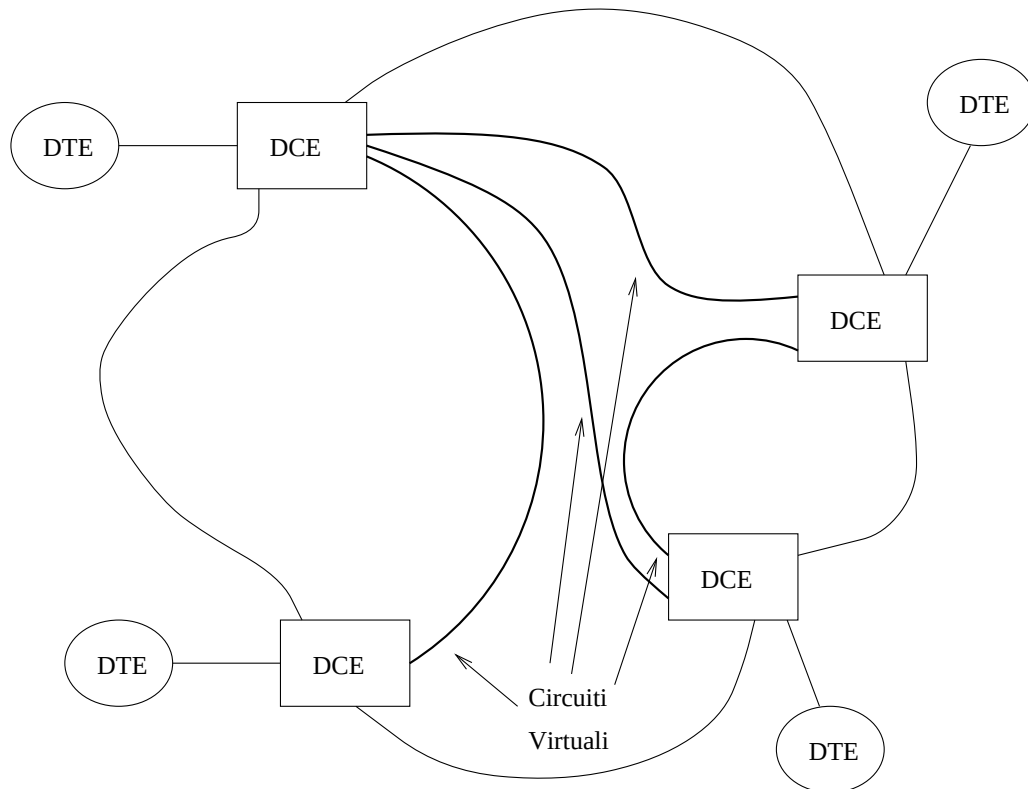
Upper DLCI						C/R	EA 0
DLCI				FECN	BECN	DE	EA 0
DLCI							EA 0
Lower DLCI or DL-CORE control						D/C	EA 1

Il campo Address

- EA, se é posto ad 1 indica l'ultimo ottetto del campo Address;
- C/R, riservato per usi futuri;
- FECN (Forward Explicit Congestion Notification), bit posto ad 1 dalla rete frame relay per informare i router che il cammino percorso dalla trama presenta delle tratte congestionate;
- BECN (Backward Explicit Congestion Notification) , bit posto ad 1 dalla rete frame relay per informare i router che il cammino in direzione opposta a quello percorso dalla trama presenta delle tratte congestionate;

- DLCI (Data Link Connection Identifier), é l'identificatore del circuito logico; lungo di solito 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 é 1 indica che la trama può essere scartata in caso di congestione della rete;
- D/C (DLCI o DL-CORE control indicator), indica se i rimanenti 6 bit dell'ottetto devono essere interpretati come DLCI o DL-CORE control.

Architettura di Rete Frame Relay



Rete Frame Relay

La rete Frame Relay risulta essere un mezzo per creare circuiti virtuali fra DTE-Frame Relay.

Frame Relay instaura collegamenti unicamente di tipo *connection oriented* e, inizialmente, solo di tipo *permanente* mentre la possibilità di instaurare circuiti virtuali subito prima del trasferimento dei dati (*call setup*) é stata definita in seguito.

I circuiti virtuali permanenti sono creati dal gestore della rete e, quindi, questo tipo di servizio é idoneo solo per quegli utenti che necessitano sempre di una determinata capacità di banda tra punti di accesso ben definiti alla rete.

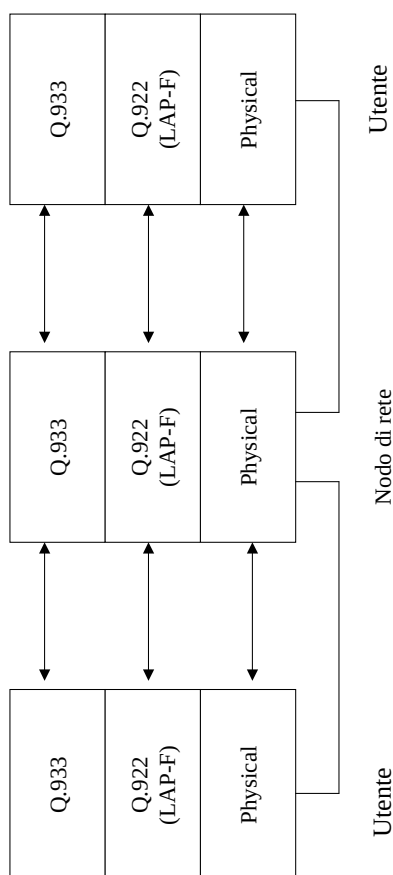
Corrispondentemente, la tariffazione da parte del gestore del servizio Frame Relay avviene in base al numero di PVC richiesti, senza tener conto dell'effettivo utilizzo di questi venendo perciò ad essere penalizzate le sorgenti di traffico sporadico ed intermittente (*bursty*).

Esigenza di maggiore flessibilità e utilizzazione della rete ha spinto la definizione del servizio commutato, SVC (*Switched Virtual Circuit*): utenti possono richiedere l'instaurazione ed il rilascio di circuiti virtuali con procedure automatiche senza l'intervento di un operatore.

Questo richiede però la definizione di protocolli di segnalazione utente-rete e nodo-nodo.

Il servizio commutato consente al gestore di fornire connessioni anche dell'ordine dei minuti in modo economico, in modo da consentire accessi alla rete e non solo interconnessioni di siti aziendali.

SVC: Architettura del Piano di Controllo



A differenza del piano di utente, in tutti i nodi é presente anche il livello 3, per la gestione dei *SVC*.

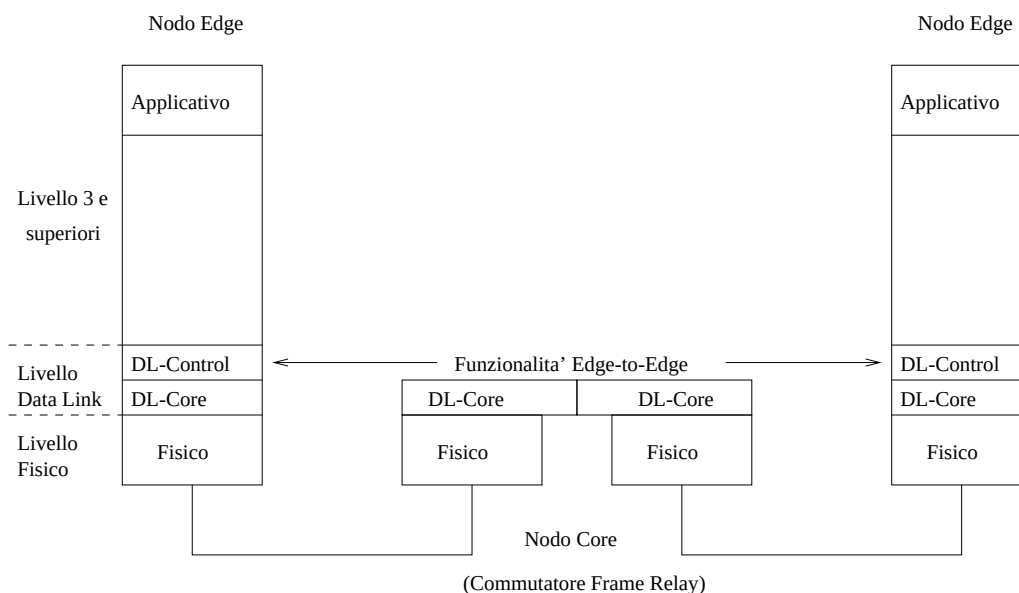
ITU-T ha definito il protocollo Q.933 che definisce le procedure per l'instaurazione ed il rilascio delle connessioni. Le unità informative Q.933 sono trasportate in trame LAP-F.

Il protocollo Q.933 definisce le modalità di accesso attraverso un' interfaccia ISDN (che vedremo):

- *Accesso a circuito*: si usa una connessione a commutazione di circuito verso un apparato Frame Relay remoto (RFH: *Remote Frame Handler*), raggiungibile attraverso la rete ISDN, con servizio di tipo semi-permanente;
- *Accesso a trama*: l'apparato Frame Relay di accesso (FH: *Frame Handler*) é co-locato con il commutatore ISDN locale e si ha il trasferimento di trame Frame Relay, con servizio a commutazione di pacchetto

Esempio di rete Frame Relay

Una rete frame relay può essere realizzata come 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:



Questo approccio è chiamato *core-edge* perché alcune funzioni sono realizzate solo edge-to-edge come il recupero degli errori ed il controllo di flusso.

Per quanto riguarda la struttura del campo CONTROL è identica ad HDLC e la numerazione delle trame, quando presente, avviene modulo 128 (7 bits).

X25 - Frame Relay

Il servizio Frame Relay ha le basi in X25.

X25 prevede le funzioni di segmentazione e riassemblaggio dell'informazione per realizzare corti pacchetti dati da trasferire. Tuttavia la raccomandazione X25 impone anche l'implementazione delle funzioni di rivelazione e correzione dell'errore .

Inoltre la presenza in X25 di un controllo di flusso se da un lato aumenta l'affidabilità del servizio, dall'altro aumenta pure l'overhead, che si riflette sulla velocità di trasmissione:

- Reti X25 operano a 64 kbit/s;

Frame Relay é un sistema di interconnessione tra LAN per applicazioni ad alta velocità.

- Consente di interfacciare una LAN con una MAN/WAN;
- Permette di assegnare piú indirizzi di destinazione sulla stessa linea di accesso;
- Tecnologia ad alta velocità perché, basandosi su mezzi trasmissivi di elevata qualità, demanda funzioni quali il recupero dell'errore alle stazioni terminali.

Il gestore del servizio frame relay tariffa gli utenti, in caso di servizio PVC, in base al numero dei circuiti richiesti, senza tener conto dell'effettivo utilizzo di questi.

Frame Relay é stato definito unicamente per accessi fino a 2Mbit/s.

Frame Relay differisce da X.25 soprattutto per le procedure di controllo del traffico. Il traffico di accesso alla rete viene controllato in base a determinati parametri concordati al momento dell'instaurazione della connessione.

Controllo del Traffico di Accesso

Si suppone che la sorgente di traffico sia interattiva a bit rate variabile (VBR). Quindi, garanzie di qualità di servizio fornite dalla rete possono essere solo di natura statistica.

Si usano tre parametri:

- *committed rate measurement interval*, T_c : intervallo di tempo di valutazione dei parametri di traffico della connessione;
- *committed burst size*, B_c : massimo numero di bit emessi dalla sorgente in un intervallo T_c che la rete si impegna a trasportare;
- *excess burst size*, B_e : massimo numero di bit emessi dalla sorgente in eccesso rispetto a B_c in un intervallo T_c che la rete cercherà di trasportare, senza però fornire alcuna garanzia.

Con questi parametri si possono definire due valori medi, che esprimono la capacità resa disponibile all'utente, con o senza garanzie:

- *Committed Information Rate, CIR*: capacità media, in bit/s, di accesso alla rete Frame Relay, che la rete si impegna a portare a destinazione; viene definita da $CIR = \frac{B_c}{T_c}$;
- *Excess Information Rate, EIR*: capacità di accesso alla rete, in eccesso rispetto alla CIR, che la rete accetta dall'utente senza fornire alcuna garanzia di consegna a destinazione; queste informazioni possono essere scartate nei nodi della rete in presenza di congestione; le relative trame sono marcate dal nodo di accesso con il bit **DE=1**. Viene definita da $EIR = \frac{B_e}{T_c}$

Si ricordi che, a prescindere dai valori CIR e EIR, l'accesso alla rete (*Access Rate, AR*) avviene alla velocità consentita dai protocolli di accesso e risulta sempre $CIR + EIR \leq AR$

Controllo della Congestione

ITU-T ha definito nella Raccomandazione I.370 gli obiettivi per il controllo della congestione nelle reti Frame Relay.

Frame Relay é rete semplificata: non é possibile il meccanismo *sliding window* perché non esiste più il controllo di flusso internodo.

Il controllo di congestione viene svolto, quindi, in collaborazione tra rete e utente finale: rete esegue monitoraggio del suo stato mentre l'utente finale dovrà limitare il proprio traffico.

Si usano tre tecniche complementari:

- *Scarto delle trame*: avviene basandosi sul bit **DE**;
- *Notifica esplicita di congestione*: per prevenire la congestione, ogni nodo controlla lo stato di occupazione delle proprie memorie e, al superamento di una certa soglia, si attiva la procedura di segnalazione di congestione a tutti gli utenti aventi connessioni attive in quel momento: uso dei bit **FECN** e **BECN**;
- *Notifica implicita di congestione*: utente finale si accorge della congestione in seguito a perdita di trame, riscontrabile da protocollo LAP-F o, a livello superiore, TCP.