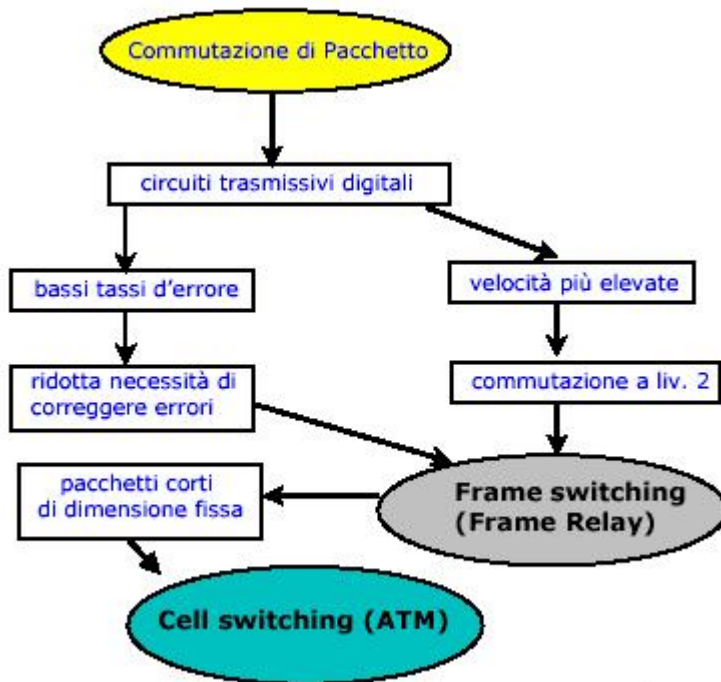


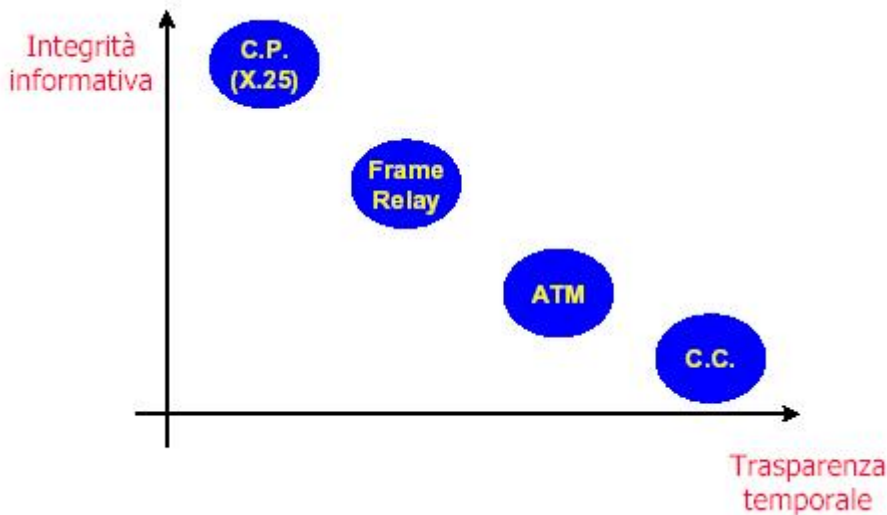
Frame Relay

Evoluzione della commutazione di un pacchetto



Modi di trasferimento

- *Frame relay*;
- ATM.



Nel corso degli ultimi dieci anni si è assistito ad una visibile evoluzione nel settore dell'*information technology* e nel contesto delle telecomunicazioni.

Le reti di telecomunicazioni hanno adottato in maniera sempre più diffusa tecnologie trasmissive affidabili e ad alta capacità (fibre ottiche) e la capacità di elaborazione dei dispositivi di utente è andata progressivamente crescendo, consentendo all'utente l'impiego di dispositivi intelligenti (*router, bridge, eccetera*) e di *software* in grado di fornire teleservizi affidabili ad alte prestazioni.

Tutto ciò ha reso possibile la migrazione di alcune funzioni che in passato erano tipiche della rete,

verso le apparecchiature di utente, riducendo in tal modo la complessità delle funzioni svolte dai nodi della rete e consentendo a questi ultimi di operare su capacità trasmissive sempre più alte.

È in un contesto come questo che è stato possibile lo sviluppo di tecniche come il *Frame Relay* e l'ATM, che sono caratterizzate da alte velocità e da semplificazioni protocollari, unite ad evoluti aspetti architetturali e tecnologici dei nodi di rete.

### Definizione di Frame Relay

*Frame relay* è un modo di trasferimento dell'informazione:

- Schema di moltiplicazione.
- Tecnica di commutazione.
- Architettura dei protocolli.

Come tutti i modi di trasferimento, anche *frame relay* comprende le componenti di moltiplicazione, commutazione, profilo dei protocolli.

Lo schema di moltiplicazione non prevede una suddivisione della capacità trasmissiva in slot, utilizza una modalità asincrona di assegnazione della capacità ai tributari che condividono la banda e si basa sull'utilizzo di un'etichetta (impropriamente riferita come *ADDRESS*).

La commutazione avviene con il meccanismo di *store and forward* e si basa sull'etichetta delle trame dati. Un nodo *frame relay*, ricevendo una trama da una porta di ingresso, analizza la presenza di errori e, se la trama è valida, legge il valore dell'etichetta (in particolare, il numero di canale logico), interroga una tabella di *look-up*, preliminarmente configurata dal gestore del servizio, e preleva dalla tabella stessa il link di uscita su cui deve proseguire la trama ed il numero di canale logico che la trama deve avere uscendo dal nodo; quindi ricalcola il codice di protezione da errori e trasferisce la trama sulla porta di uscita.

L'architettura dei protocolli risulta particolarmente semplificata, poiché *frame relay* si basa su una struttura di livello *data-link* ed impiega una parte (detta *core*) delle funzioni di strato *data-link*. Ciò rende il trasferimento dei dati inaffidabile, nel senso che non sono previste, da parte della infrastruttura geografica, funzioni di riscontro delle trame ricevute e procedure di ritrasmissione delle trame corrotte. Se il livello fisico è di buona qualità, implicitamente le funzioni di livello 2 possono essere semplificate perché la probabilità di errore è praticamente nulla. In caso di errori, saranno i protocolli a bordo degli *end-system* a recuperare i dati persi o scartati.

*Frame relay* è anche:

- Una tecnologia.
- Un protocollo.
- Un servizio *WAN*.
- Un'interfaccia.

*Frame relay* non è una rete:

- Se si fa riferimento al termine rete, occorre dare il giusto peso al termine (si intende l'infrastruttura tecnologica e non il piano di indirizzamento).

*Frame relay* è una tecnologia perché non impiega (almeno nella maggior parte delle implementazioni mondiali) uno schema di indirizzamento di livello 3. Le funzioni di indirizzamento che necessitano e che sono funzionali all'istadamento dei dati dal mittente al destinatario, vengono

assolte dal livello 2, mediante le etichette previste.

In una rete di *computer*, infatti, è identificabile una funzione centralizzata di amministrazione degli indirizzi (come avviene, ad esempio, in una rete IP, privata o pubblica). La gestione degli indirizzi in una infrastruttura *frame relay* non è presente, poiché gli indirizzi non vengono utilizzati.

*Frame relay* è un servizio, dal momento che molti *carrier* lo offrono da diversi anni su base geografica per la trasmissione di dati a medie velocità (da 64 kbit/s a 1048 Mbit/s)

*Frame relay* è un protocollo, dal momento che prevede una serie di regole per la trasmissione delle informazioni e prevede un formato per i dati.

*Frame relay* è un'interfaccia, dal momento che specifica un protocollo di accesso; non impone regole per la realizzazione delle sezioni interne della rete. Infatti, le infrastrutture di molti *carrier* impiegano sugli accessi il *frame relay* come protocollo per l'utente e impiegano protocolli proprietari tra i nodi.

*Frame relay* è un'interfaccia anche per il seguente motivo. Un terminale di utente (*router*) accede al servizio *WAN Frame Relay* mediante interconnessione di una sua porta fisica (seriale) ad una terminazione della rete del *carrier* (costituita da un DCE). La stessa porta fisica del *router* può essere configurata per accedere ad una rete puramente trasmissiva (impostando il protocollo di livello 2 come PPP oppure un altro proprietario), oppure ad un servizio *frame relay* (impostando l'incapsulamento *frame relay* a livello 2), oppure ad una rete X.25 (impostando LAP-B come protocollo *data link*), o altro.

### Origini del Frame Relay

Il *Frame relay* nacque pensando alla possibilità di poter disporre di un protocollo di rete geografica che fosse intermedio alla commutazione di pacchetto X.25 e a circuito.

Lo sviluppo si è avuto sotto la spinta di precise forze di mercato:

- sviluppo di applicazioni ad alta velocità.
- Dispositivi di utente intelligenti.
- Linee di trasmissione con bassi tassi di errore.

Ad oggi rappresenta il principale servizio di accesso in reti pubbliche di molti operatori internazionali.

A seguito della numerizzazione delle reti e con l'avvento di moderne tecnologie di trasmissione su fibra ottica, che garantiscono tassi di errore estremamente bassi sui bit trasmessi, l'ipotesi di avere a disposizione mezzi trasmissivi di qualità non elevata, che era alla base di X.25, è oggi sempre meno realistica. Queste considerazioni hanno portato a studiare nuove tecniche a commutazione di pacchetto e nuovi protocolli di interfaccia per l'utente.

Caratteristica comune di queste nuove tecniche è quella di **non prevedere alcuna procedura di recupero degli errori nei nodi interni della rete**; ciò permette di avere velocità di accesso alla rete molto alte e ritardi di attraversamento dei nodi molto bassi. Gli esempi più significativi di tali nuove tecniche sono il *Frame Relay* e l'ATM.

### Caratteristiche principali del Frame Relay (1)

- Tecnica di trasferimento orientata al pacchetto (basata su tecniche di multiploazione di

**pacchetti di lunghezza variabile).**

- Non nacque come protocollo di dati indipendente, ma venne definito originariamente come servizio dati in ambito ISDN.
- È stato definito per l'accesso (UNI), ma può essere impiegato nelle sezioni interne della rete (NNI).
- Offre un servizio permutato (pvc), non fornisce un servizio commutato.
- Mantiene i vantaggi dell'X.25 **semplificando i protocolli, diminuendo il ritardo, aumentando il throughput.**

Il termine *Frame Relay* viene usato per indicare il protocollo, l'interfaccia, la tecnologia, il servizio; di fatto è un modo di trasferimento relativo ad un servizio portante, il *Frame Mode Bearer Service*.

Appena diffuso commercialmente, il servizio FR è stato disponibile su scale geografiche limitate e in ambito di rete monogestore.

Lo scenario della standardizzazione vede attualmente protagonisti l'ITU, l'ANSI e il *Frame Relay Forum*; quest'ultimo è un ente non profit, nato nel 1990 per iniziativa della cosiddetta *gang of four* (*Cisco, Digital, Nortel, Stratacom*), al quale aderiscono oggi numerosi altri costruttori, *carrier*, enti di ricerca.

In tempi più recenti si è delineata la necessità di interconnettere *frame relay* di gestori diversi e di definire le funzioni ai confini tra le reti. A tale scopo, è stata definita in ambito ANSI T1.606b (1993), e successivamente in ambito ITU-T X.76, l'interfaccia tra reti (NNI) comprendente le procedure di dialogo fra interfacce di differenti gestori.

Sono, quindi, oggi disponibili 2 interfacce, quella fra utente e rete (UNI) e quella tra reti (NNI). La differenza principale è sulla simmetria o meno del dialogo di controllo. In particolare, se alla UNI (pur essendo opzionale il *polling* simmetrico) è di fatto sempre l'utente che interroga la rete (*Status enquiry*), ed è la rete a rispondere (Status), alla NNI entrambe le interfacce devono interrogarsi reciprocamente. L'*implementation agreement* del *Frame Relay Forum FRF.2*, si basa quest'ultimo concetto.

Nella versione corrente dell'accordo implementativo (FRF.2.1) il campo di indirizzo è stato esteso a 4 *byte* con un DLCI di 17 *byte* ed un campo di controllo di 8 bit per migliorare le prestazioni gestionali. Inoltre il *polling* non è su base *timer* ma asincrono, ed è inviato solo su necessità; per esempio un messaggio di Status viene inviato in modo asincrono in seguito ad eventi particolari e relativamente ai PVC che hanno subito modifiche. Ciò consente un impiego ottimale della capacità numerica alla NNI. Il supporto del servizio commutato alla NNI resta una questione ancora aperta.

La filosofia che sottende al FR è quella di trasferire le informazioni con minori elaborazioni e funzionalità nei nodi:

- Assenza di controllo di flusso e correzione di errori in rete.

Il risultato è:

- *Throughput* molto più elevati e ritardi minori dell'X.25.
- Efficiente condivisione di banda (Gestione di traffico *bursty*).
- Garanzia di banda alla UNI.
- Multiplazione a livello 2 OSI e trasparenza verso i livelli superiori.
- Assenza di elaborazione a livello 3 OSI.
- Standard consolidati.

A differenza del protocollo X.25, nel *Frame Relay* il livello 3 viene eliminato, mentre il livello 2

viene semplificato ed arricchito delle funzioni di multiplazione e commutazione. Ciò permette di realizzare un servizio di trasmissione dati a velocità più elevata, fino a 2 Mbit/s. (In Italia l'accesso *frame relay* è limitato a 2048 kbit/s; in altri paesi del mondo altri *provider* offrono servizi *frame relay* anche su accessi a 45 Mbit/s e 155 Mbit/s).

Le trame *Frame Relay* vengono multiplate statisticamente per mezzo di un campo etichetta che contiene l'indicazione del circuito virtuale a cui la trama è riferita. La commutazione viene attuata con un cambio di link fisico ed un cambio di etichetta, in base al contenuto della tabella di instradamento (*look-up*) che ciascun nodo contiene.

### Servizio Frame Relay End-to-End

Il servizio trasferimento dati *Frame Relay* ha le seguenti caratteristiche:

- preserva l'ordine delle unità dati trasmesse (sotto forma di trame) attraverso un'interfaccia utente-rete quando queste unità vengono consegnate all'altra estremità;
- trasporta trasparentemente i dati d'utente:
  - (soltanto i campi etichetta e controllo di sequenza bit (FCS) della trama sono modificati dalla rete);
- rileva errori di trasmissione, di formato ed operazionali (Esempio: riconoscimento di connessione virtuale non assegnata);
- non effettua nessun riscontro dei dati ricevuti.

La tecnica *Frame Relay* è connection oriented, per cui preserva per sua natura la sequenza delle trame trasmesse.

La tecnica *Frame Relay* non garantisce però che la sequenza sia completa, in quanto, in caso di trama con errore, la trama viene scartata dal nodo che rileva l'errore senza che venga fornita notifica all'estremità trasmittente. La funzione di riscontro è demandata a protocolli di livello superiore, rispetto ai quali la rete *frame relay* è trasparente.

### Possibili applicazioni

- applicazioni (per elaborazione dati) richiedenti l'interconnessione su base geografica (altre reti, per esempio ITAPAC, ISDN, CDN poco adatte, per costi oppure velocità oppure flessibilità);
- interconnessione geografica di apparati per l'*internetworking* (raramente *bridge*, spesso *router*);
- ... e inoltre trasporto di fonia.

La disponibilità di servizi *frame relay* di rete pubblica è oramai una realtà da diversi anni presso molti *carrier* che operano su mercati nazionali ed anche a livello globale. I costruttori di apparati e sistemi hanno applicato le tecnologie VLSI per realizzare prodotti specifici per telecomunicazioni, ed usufruendo delle economie di scala hanno offerto tali prodotti a costi sempre più convenienti per l'utente finale.

I gestori hanno saputo cogliere l'opportunità di questa tecnologia, disponibile sul mercato degli apparati e sistemi per offrire a clienti medio/grandi servizi di trasporto dati ad alta velocità su base geografica sempre più estesa.

La tecnologia attuale mette a disposizione interfacce ed apparati *frame relay* operanti a velocità che vanno da 64 kbps fino a 34 Mb/s ed oltre. La tecnica *frame relay* è stata applicata recentemente con successo anche a sistemi trasmissivi sincroni a 155 Mbps negli USA.

## Svantaggi del frame relay

- Impossibilità di buon funzionamento in assenza di terminali di utente intelligenti o di linee trasmissive di buona qualità.
- Funzionamento adeguato ma non ottimizzato nel trasporto di applicazioni dati tradizionali (non LAN).
- Particolare criticità nel trasporto di applicazioni *delay-sensitive* (fonia e videoconferenza).

Il *frame relay* è una tecnica di trasmissione pensata espressamente per i dati, in alternativa rispetto alle tecniche tradizionali (X.25) disponibili alla fine degli anni '80. Le funzionalità che non include, e che fanno parte di un tradizionale protocollo di livello *data link*, hanno senso in uno scenario di rete trasmissiva numerica di bassa qualità.

Le moderne reti di TLC sono supportate da tecniche trasmissive numeriche che impiegano largamente fibre ottiche, per cui è giustificabile l'eliminazione nei nodi di certe funzioni legate al recupero degli errori trasmissivi.

Per quanto riguarda l'impiego del *frame relay*, già da alcuni anni sono disponibili sul mercato diversi prodotti in grado di integrare traffico dati e voce su connessioni *frame relay* (*Frame Relay Access Device*, ovvero *Frame Relay Assembler Disassembler* FRAD); tali apparati consentono di collegare due isole remote fra loro sulla stessa connessione o su connessioni logiche diverse apparati di *internetworking* (*router*, *bridge*) e centralini privati per fonia.

Il terminale *frame relay* più diffuso è il *router*.

## Stato degli Standard

Il *Frame Relay* gode di uno stato di standardizzazione molto solido e ben recepito dalle diverse manifatturiere nei suoi aspetti principali.

Il fatto di lasciare opzionali alcuni servizi ne ha favorito l'implementazione.

L'architettura del protocollo prevede due piani operativi separati:

- *Control Plane (C-Plane)*.
- *User Plane (U-Plane)*.

### *C-Plane*:

- responsabile dell'instaurazione, mantenimento e rilascio delle connessioni logiche.

### *U-Plane*:

- responsabile del trasferimento dati tra utenti in modalità *end-to-end*.

Inizialmente il *Frame Relay* è stato definito come un servizio a pacchetto in ambito ISDN, in cui è prevista una netta separazione tra il piano di controllo, che provvede alla gestione della segnalazione per la formazione e l'abbattimento delle connessioni, ed il piano di utente, che provvede alla gestione della fase dati. Nelle reti a pacchetto X.25 non vi è alcuna separazione tra il piano di controllo ed il piano di utente.

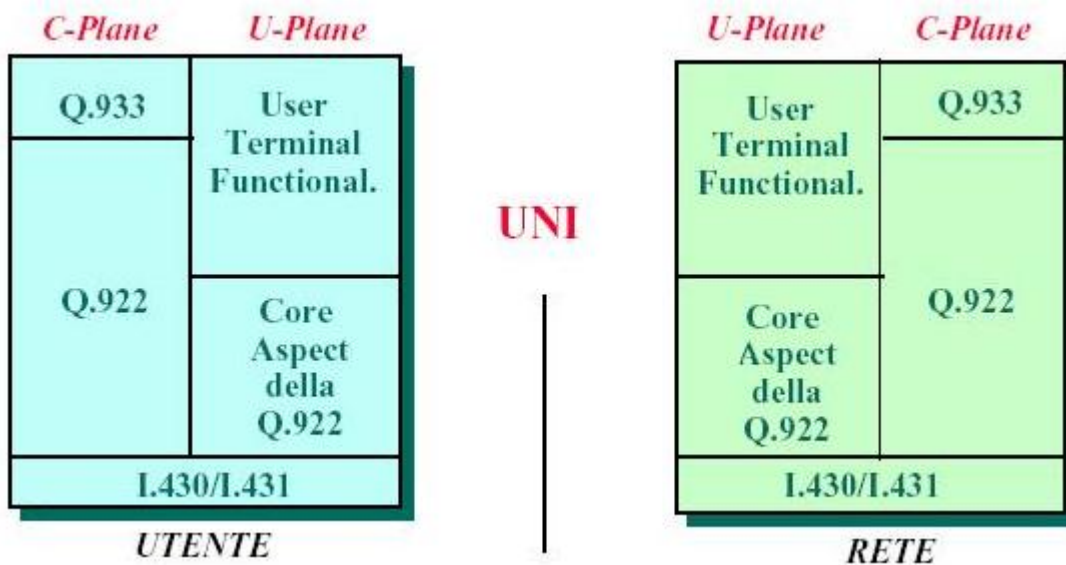
Nell'ISDN la separazione tra il piano di controllo ed il piano di utente è fondamentale per la definizione dei nuovi servizi a pacchetto. Tale separazione può essere realizzata sia utilizzando

canali fisici e logici differenti per la segnalazione e per i dati di utente, sia utilizzando solo canali logici differenti all'interno dello stesso canale fisico.

Per il servizio di circuito virtuale commutato SVC (*Switched Virtual Connection*) sono necessari sia i protocolli del piano di controllo che i protocolli del piano di utente.

Per il servizio di circuito virtuale permanente PVC (*Permanent Virtual Connection*) servono solo i protocolli del piano di utente, poiché il circuito virtuale viene realizzato con procedure di operatore al momento della sottoscrizione del servizio.

### Architettura del Protocollo



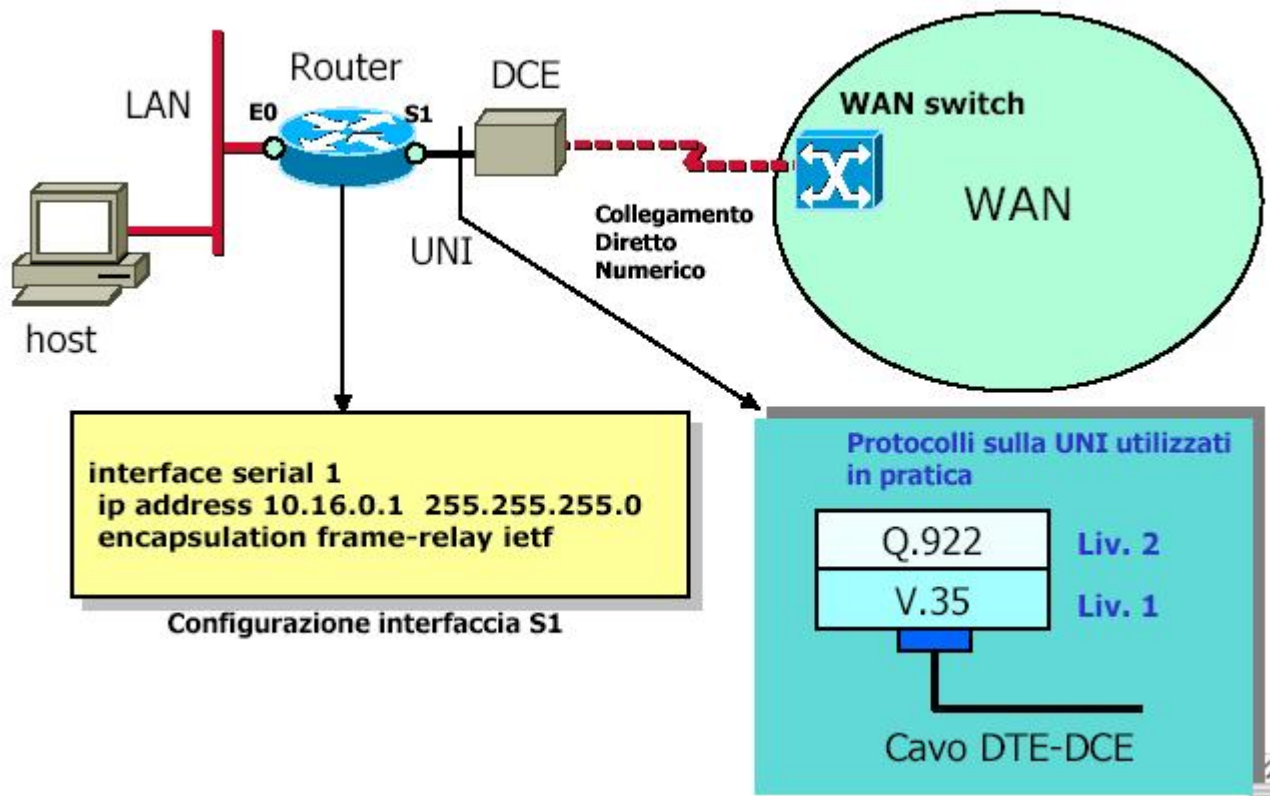
I protocolli di livello fisico sono gli stessi utilizzati in ambito ISDN, anche se molti gestori di reti pubbliche hanno recepito lo standard in maniera parziale. In particolare il livello fisico che viene utilizzato per l'accesso alla rete è quello che viene impiegato per i circuiti diretti numerici (CDN).

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*).

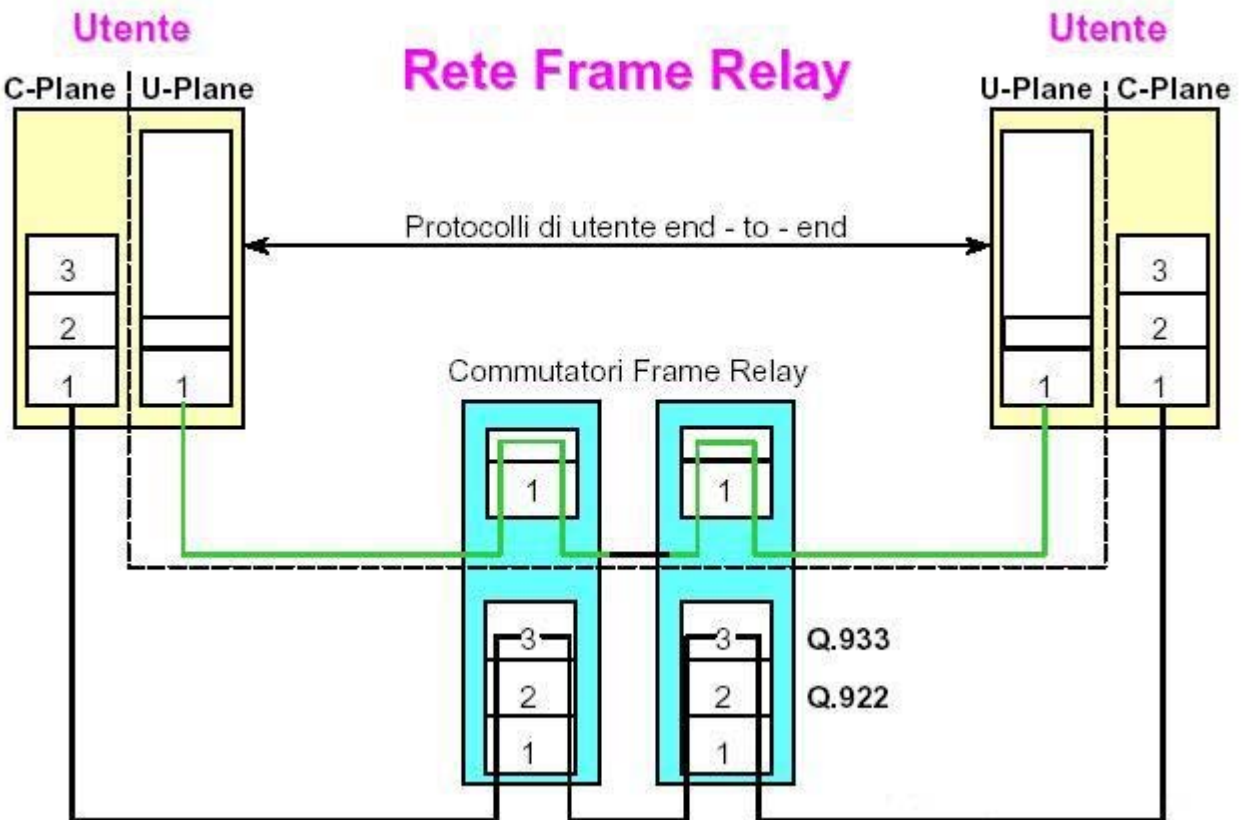
### Il protocollo LAPF è suddiviso in due parti:

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

### Interfaccia Frame Relay



Profilo del protocollo



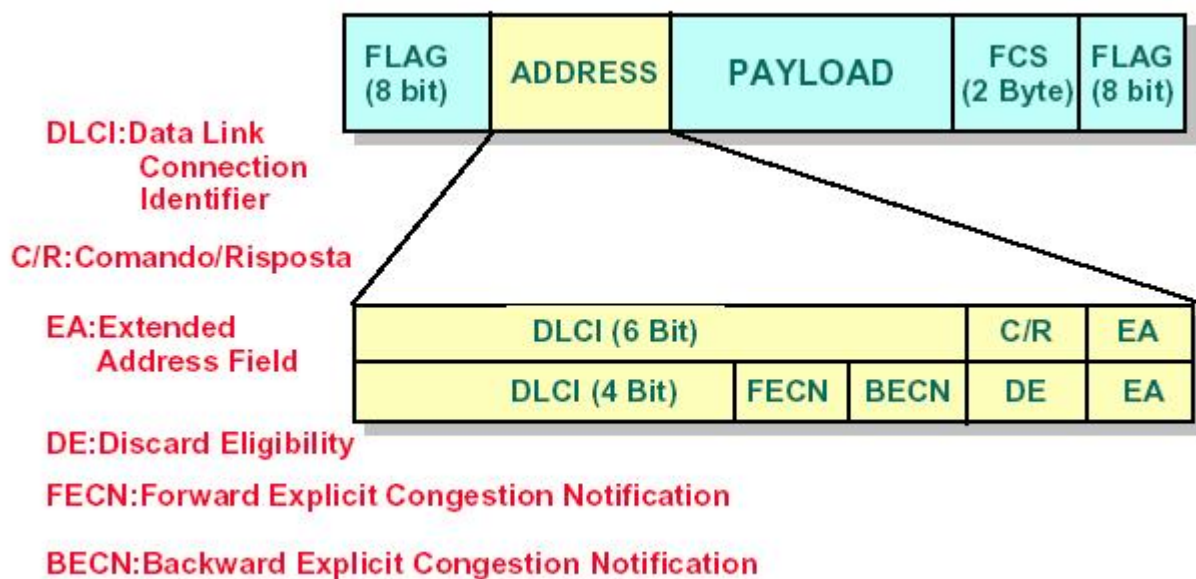
Il piano controllo è responsabile dell'apertura, della supervisione e del rilascio delle connessioni dati. Non sono indicati nello schema i componenti *software* che realizzano le funzioni di *call control* e che operano sia sui terminali di utenti, sia sui nodi di rete.



Uno scenario in cui il *frame relay* offra un servizio SVC (*switched virtual connection*) rappresenta una soluzione in cui *frame relay* può essere considerato una rete, poiché, per poter effettuare chiamate, è necessario gestire un piano di numerazione e di indirizzamento. Tale schema di numerazione e indirizzamento è necessario per fornire agli utilizzatori connettività *any to any*.

Uno scenario in cui *frame relay* offre come servizio un collegamento logico permanente (PVC) preconfigurato e statico, consente di interconnettere un insieme limitato di terminali, ed in particolare, quelli che fanno parte del dominio dell'utente; la soluzione che si delinea è quella di una rete privata virtuale, in cui le comunicazioni sono possibili solo fra terminali appartenenti al gruppo ed i canali dati sono sempre disponibili, senza che sia necessario richiedere alla rete la loro impostazione.

Il protocollo LAPF: formato dei dati



Il LAPF è un protocollo completo di livello 2 e consta di due sottolivelli, denominati rispettivamente Q.922 *core* e Q.922 *upper*. **Il servizio di tipo PVC utilizza solamente il sottolivello *core* del LAPF.**

Come tutti i protocolli sincroni, la trama è delimitata da una *flag* (01111110) che può essere trasmessa continuamente, in caso di inattività della linea, per mantenere attivo il sincronismo con il nodo di accesso (*keep alive sequence*). Per evitare che nel campo dati venga simulata la *flag*, in trasmissione, prima di inviare la trama, per ogni sequenza di 4 1 consecutivi, viene inserito uno 0 che viene rimosso in ricezione prima di analizzare il contenuto della trama. La procedura, detta *bit stuffing* non viene ovviamente applicata alle sole *flag* delimitatrici.

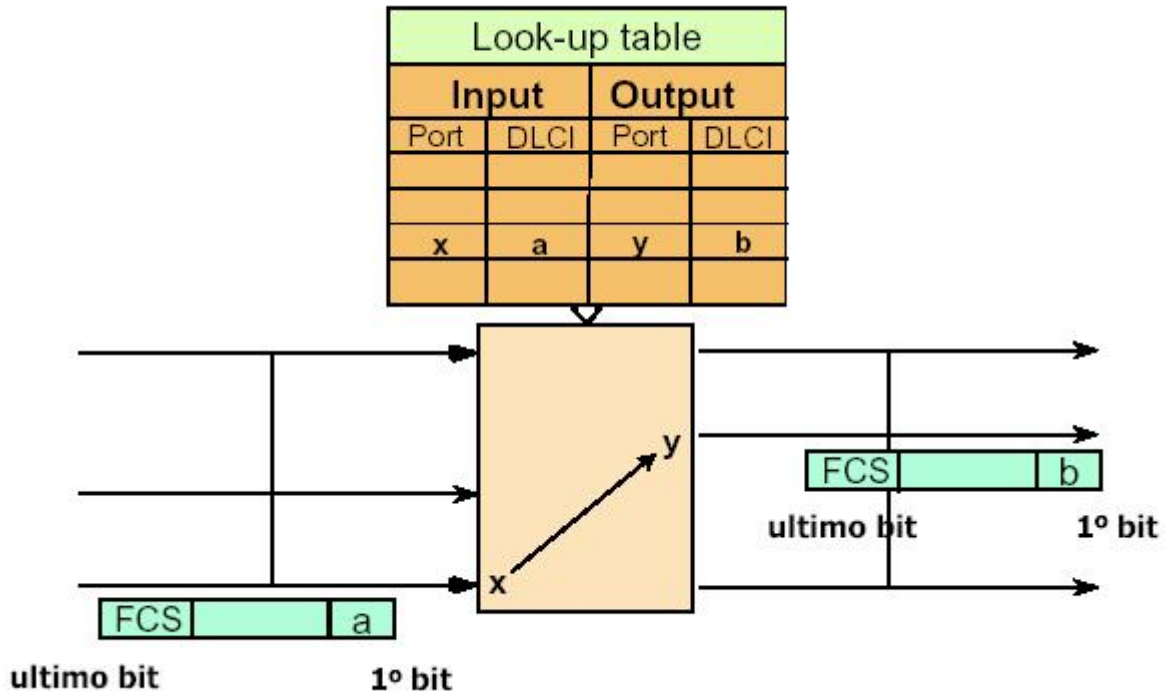
Il DLCI (*Data Link Connection Identifier*) è utilizzato per realizzare il meccanismo di indirizzamento. Il bit EA permette l'estensione del campo indirizzo. Finché il bit EA è posto a zero, il campo indirizzo comprende il *byte* successivo. Nell'ultimo *byte* del campo indirizzo il bit EA è posto ad uno. Nelle applicazioni è generalmente usato l'indirizzo con due *byte*, in cui il bit EA è posto a zero nel primo *byte* e ad uno nel secondo *byte*.

Il bit C/R non viene gestito dalla rete; è un residuo ereditato dal protocollo LAPD. Tale bit passa inalterato attraverso la rete.

I bit BECN, FECN e DE vengono utilizzati per espletare la funzione di controllo della congestione.

Il campo FCS è utilizzato per il controllo formale delle trame ricevute.

### Commutazione Frame Relay (1)



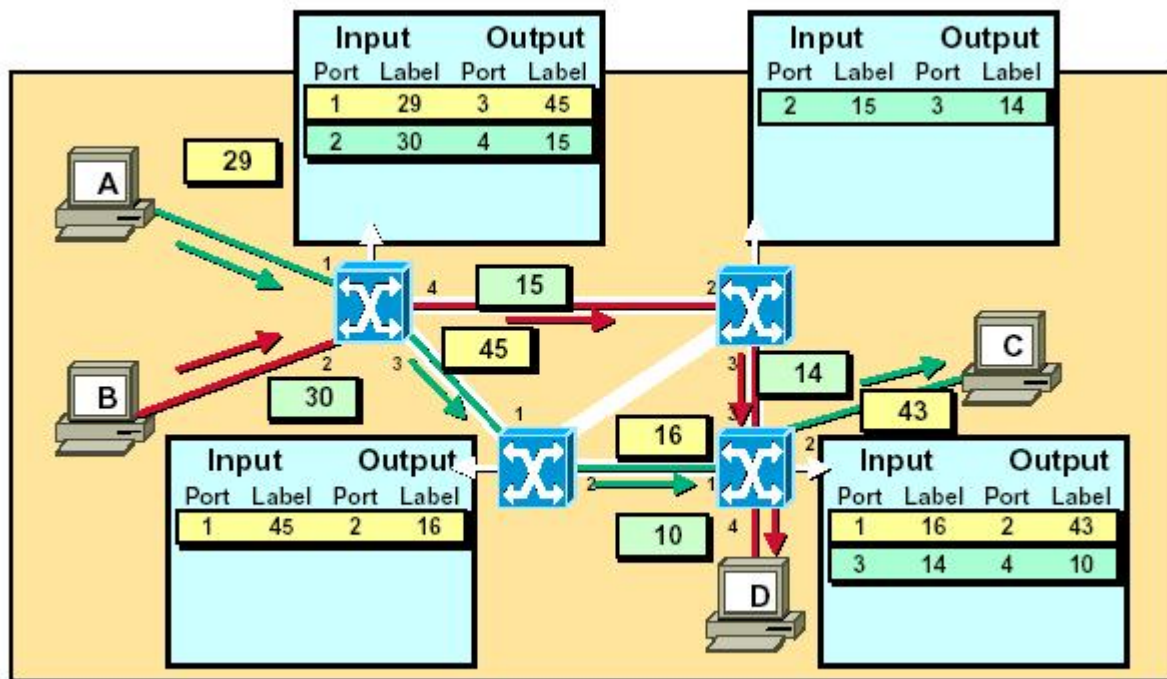
All'interno di ciascun nodo avviene una elaborazione del *frame* basata su tre passi:

- verifica integrità di trama (analisi del campo FCS); se viene rivelato un errore la trama viene scartata;
- lettura del campo DLCI con riscontro su apposita tabella; se il DLCI di destinazione non viene riscontrato la trama viene scartata;
- trasmissione del *frame*.

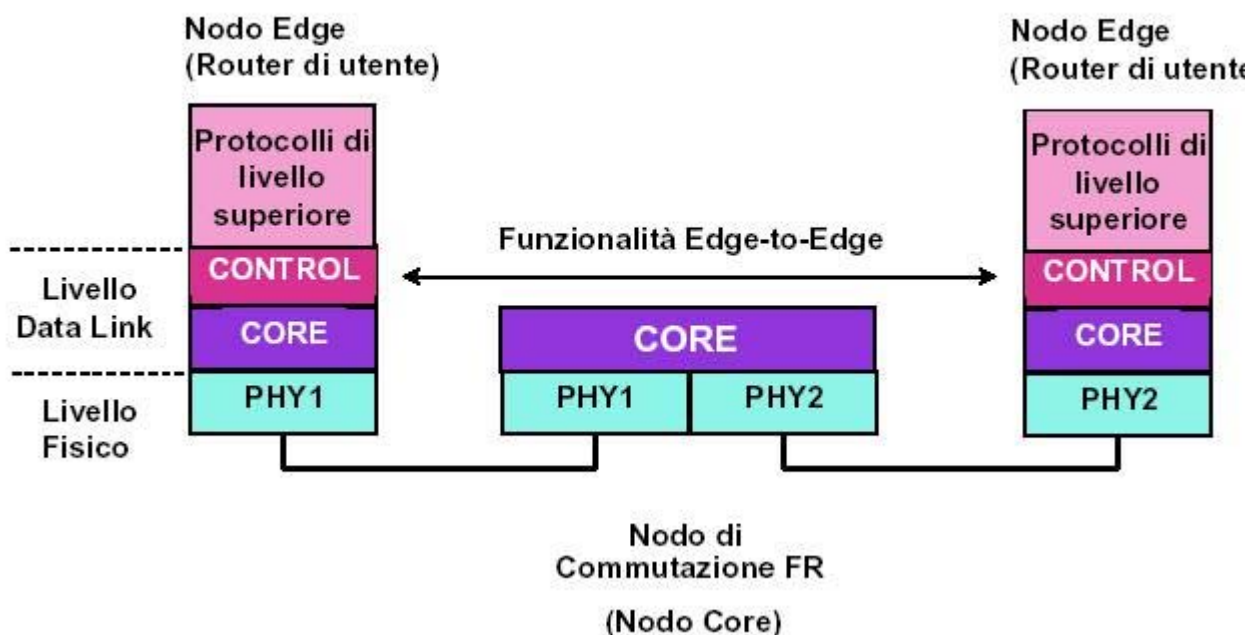
In breve: il *frame* viene scartato ogni qualvolta si registra:

- un errore nella sua trasmissione;
- uno stato di congestione nella rete;

Il recupero delle trame scartate, non previsto dal protocollo LAPF *core*, viene demandato a protocolli di livello superiore (ad esempio LAPF *upper*) e viene effettuato da entità poste agli estremi della rete.



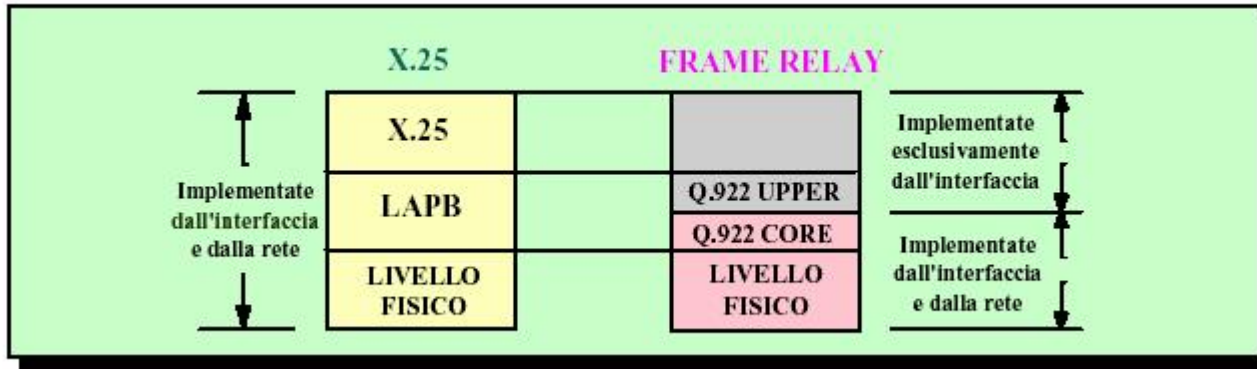
Rete Frame Relay



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* che il *DL-CONTROL*.

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).

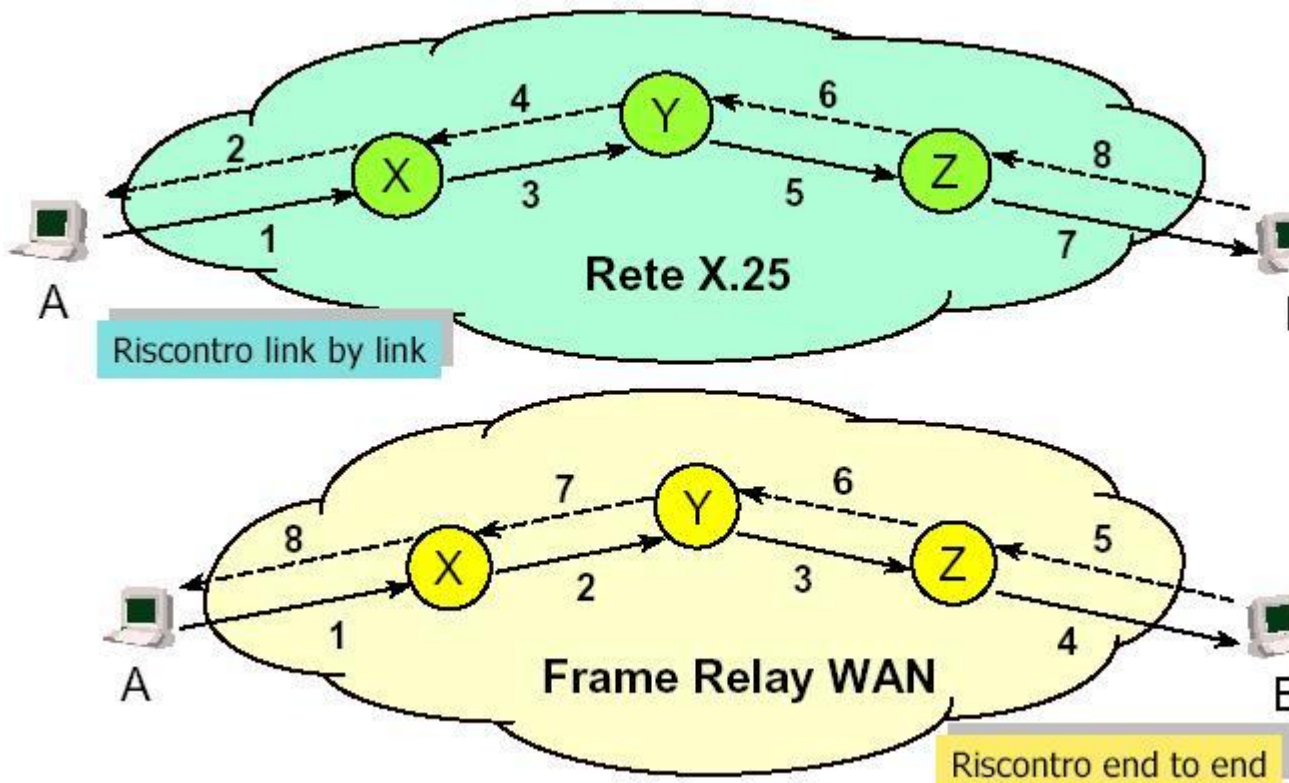
Confronto Frame Relay - X.25



Nelle reti a pacchetto X.25 sono presenti tecniche di rivelazione e correzione di errore in ogni nodo della rete. Queste procedure, basate sull'uso del protocollo LAPB (livello 2 del protocollo X.25) ed eseguite tratta per tratta, richiedono un'elevata capacità elaborativa nei nodi e causano ritardi di rete non trascurabili. Inoltre, la capacità elaborativa richiesta ai nodi X.25 per il trattamento del livello pacchetto e delle procedure di controllo di flusso non è sufficiente per supportare le applicazioni tipiche nell'interconnessione tra LAN remote (applicazioni grafiche, multimediali, trasferimento di file, eccetera).

Le limitazioni delle reti X.25 vengono superate dalla tecnica a pacchetto *Frame Relay*, dove sfruttando la disponibilità di mezzi trasmissivi a basso tasso d'errore, le funzioni di correzione di errore possono essere demandate agli apparati di utente e le procedure di controllo di flusso possono essere semplificate.

Nell'X.25 i pacchetti di controllo e quelli di trasferimento dati, appartenenti alla stessa chiamata, portano tutti lo stesso numero di canale logico di livello 3 (segnalazione in banda), nel *Frame Relay* vale il principio del separazione del controllo dal trasferimento dei dati (segnalazione fuori banda).



Principi di una rete Frame Relay

Il flusso primario di dati si basa direttamente sull'intestazione del *frame* che contiene nel campo DLCI l'identificativo del circuito logico.

L'ordinamento in sequenza dei pacchetti ed il controllo degli errori deve essere gestito da protocolli di livello superiore.

Nel *Frame Relay* i circuiti sono di tipo permanente (PVC): essi sono pertanto configurati da Centro di Controllo e non dal Cliente su base chiamata.

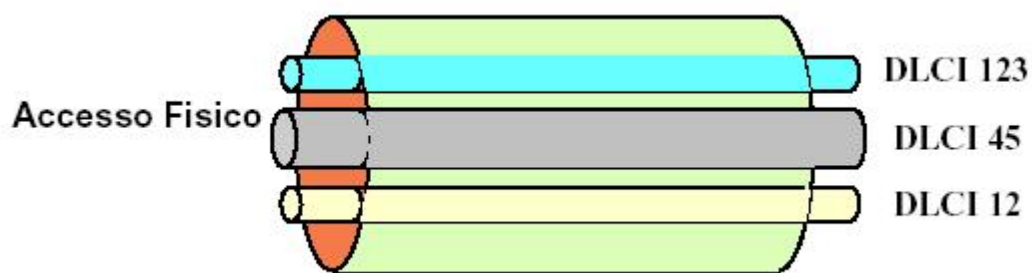
In caso di eliminazione da parte della rete di *frame* ci si affida a protocolli di livello superiore: benché automatica l'operazione di *recovery* impegna risorse elaborative e causa ritardi.

## DLCI

Il DLCI non è un vero e proprio indirizzo in quanto non è associato ad una particolare destinazione.

Identifica un collegamento PVC e dunque ha significato solo locale sull'interfaccia e non globale.

Uno stesso valore di PVC può essere associato a due PVC che hanno origine in due diversi nodi, ma non per individuare due PVC configurati sulla stessa interfaccia.

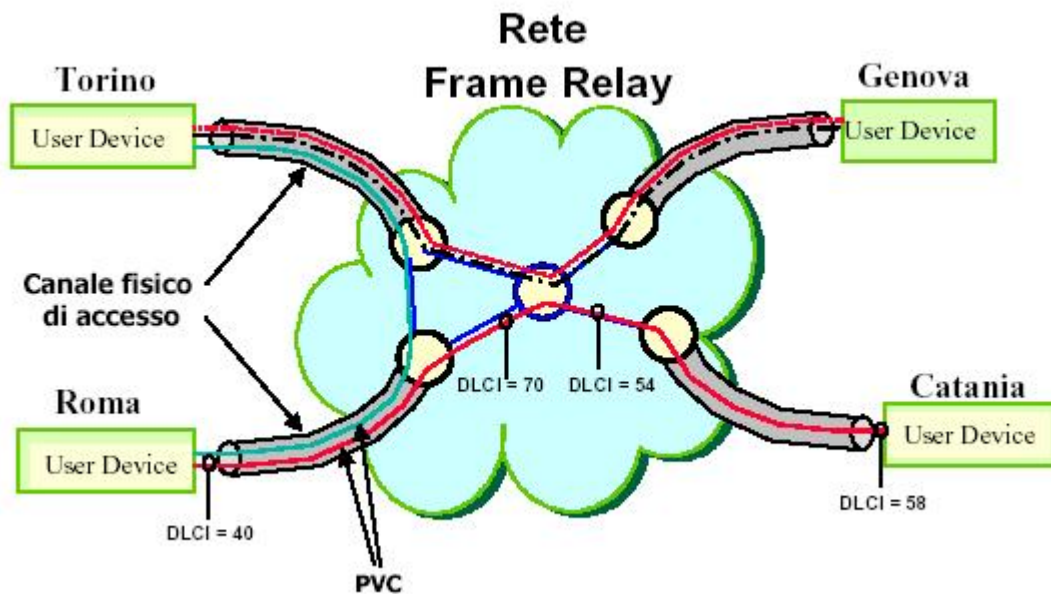


In realtà i fondatori del *Frame Relay Forum* avevano attribuito al DLCI una valenza globale, pensando alle facilitazioni legate alla sua gestione all'interno della rete. I gestori di reti pubbliche hanno optato per una valenza locale, in quanto ciò consente di riutilizzare lo stesso DLCI per link fisici differenti ed avere una maggiore flessibilità.

Il numero di canali disponibili varia tra un massimo di 1024 (due ottetti di campo indirizzo con 10 bit disponibili per la codifica dei DLCI) ad un massimo di 8.388.608 (quattro ottetti di campo indirizzo con 23 bit disponibili per la codifica dei DLCI). La versione italiana prevede un'indirizzamento a 10 bit.

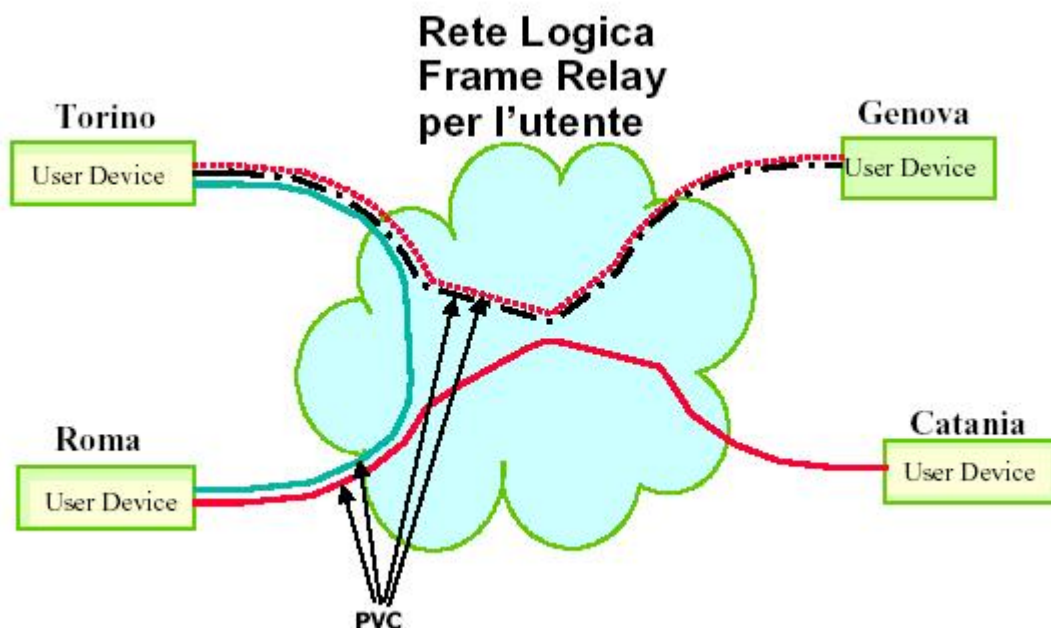
È importante osservare che il DLCI ha significato locale, nel senso che un valore di DLCI identifica una sola connessione all'interfaccia UNI. Quindi lo stesso valore di DLCI può essere associato a due o più link su linee fisiche differenti, ma non sulla stessa linea fisica.

## Configurazione Logica



La rete *Frame Relay* consente di realizzare una qualunque topologia logica fra sedi geografiche distinte del cliente, utilizzando una topologia fisica sostanzialmente a stella per gli accessi.

Un circuito virtuale da sorgente a destinazione è individuato da una cascata di DLCI. Ogni DLCI identifica un link ed i nodi provvedono al *mapping* tra DLCI di ingresso e DLCI di uscita per le trame in transito.



La figura evidenzia l'architettura della rete logica configurata per l'utente considerato. Si tratta di quattro PVC punto-punto configurati tra le seguenti sedi:

2 PVC Torino ---> Genova

1 PVC Torino ---> Roma

1 PVC Roma ----> Catania.

Si noti che i 4 PVC sono bidirezionali e possono avere caratteristiche diverse per esempio in termini di CIR. Inoltre, ciascun PVC può avere CIR diversi nelle due direzioni

## Prestazioni

Il protocollo *Frame Relay* consente di moltiplicare attraverso il meccanismo dei canali logici (DLCI) su un unico accesso fisico bidirezionale *full-duplex* molteplici traffici relativi a diverse applicazioni.

In assenza di meccanismi di segnalazione e gestione di *throughput* non vi è modo di confinare un flusso informativo (applicazione) all'interno di una ben precisa porzione della banda complessiva disponibile sull'accesso.

Questo significa che in qualunque momento applicazioni stazionarie potrebbero venir private della propria porzione di banda da altre (*Bursty*) che eccedono il proprio *rate* nominale.

## Meccanismi di Segnalazione

I meccanismi di segnalazione sono opzionali ma risultano essenziali per conseguire buone prestazioni di rete.

Tali meccanismi permettono di:

- segnalare la presenza di congestione di rete;
- fornire informazioni sullo stato delle connessioni;
- assicurare *throughput* adeguato agli utenti;
- supportare nuovi servizi (SVC).

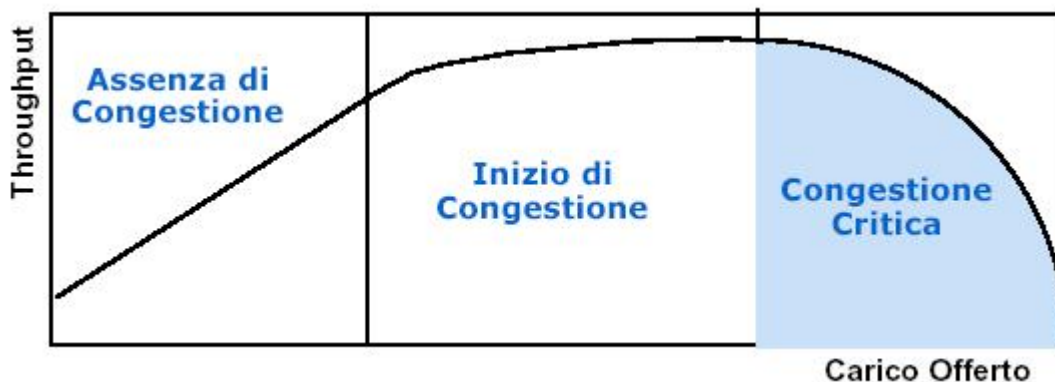
Tali meccanismi fanno uso tanto di appositi bit del *frame* tanto di appositi DLCI riservati alla segnalazione.

## Controllo della Congestione

Il controllo della congestione è di fondamentale importanza nella gestione di una rete *Frame Relay*.

Sono stati previsti due meccanismi di segnalazione per segnalare agli apparati terminali la congestione:

- notifica esplicita tramite i campi BECN e FECN (Addendum a ANSI T1.606);
- notifica implicita (ANSI T1.618).



Riguardo al trattamento della congestione le normative CCITT non esprimono una regola ben precisa da adottare, ma si limitano a suggerire possibili algoritmi di controllo di tipo cooperativo. Tali algoritmi presuppongono un'azione di rallentamento del flusso da parte dei terminali di utente

secondo determinate soglie e sono caratterizzati da isteresi.

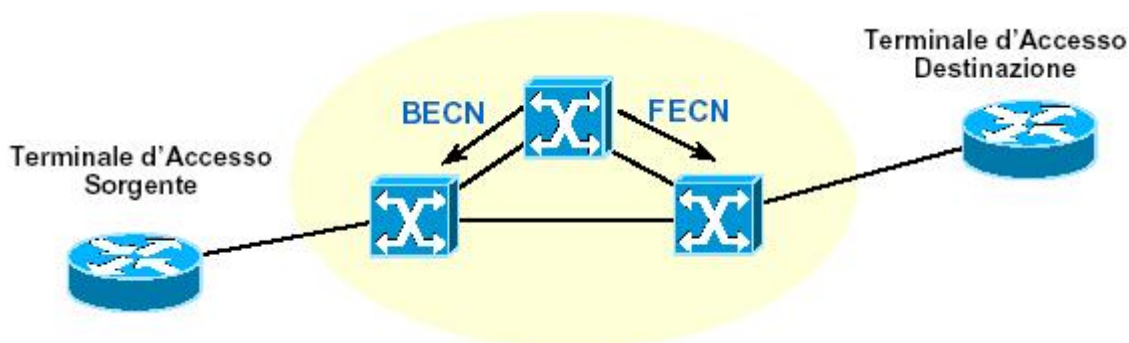
Il controllo della congestione coinvolge principalmente due aspetti. Il primo è la prevenzione della congestione, riguardante quei meccanismi preposti a scongiurare l'insorgere della congestione. Il secondo riguarda i meccanismi di recupero della congestione, che agiscono in aggiunta ai precedenti per risolvere una situazione di grave congestione.

I meccanismi di controllo e di recupero della congestione previsti per il *Frame Relay* sono basati sull'uso dei bit DE, FECN e BECN. In linea di principio esistono due modalità per controllare il livello di congestione della rete: la notifica implicita ICN (*Implicit Congestion Notification*), e la notifica esplicita ECN (*Explicit Congestion Notification*). Con la ICN si demanda totalmente all'utente la risoluzione del problema. Con la ECN la rete interviene a segnalare agli utenti lo stato di congestione della rete, anche se poi sarà cura degli utenti regolare il traffico in maniera tale da riportare la rete in condizioni di normalità.

Controllo della congestione: FECN e BECN

La caratteristica di gestire traffico *bursty* rende la congestione un fenomeno potenzialmente frequente in una rete *Frame Relay*.

Nel momento in cui un nodo di rete registra l'inizio di uno stato di congestione notifica ai terminali tramite la modifica dei bit FECN e BECN presenti nell'etichetta del *frame*.



La rete *Frame Relay* supporta il meccanismo ECN (*Explicit Congestion Notification*) mediante l'uso dei bit FECN e BECN, contenuti nel campo indirizzo della trama.

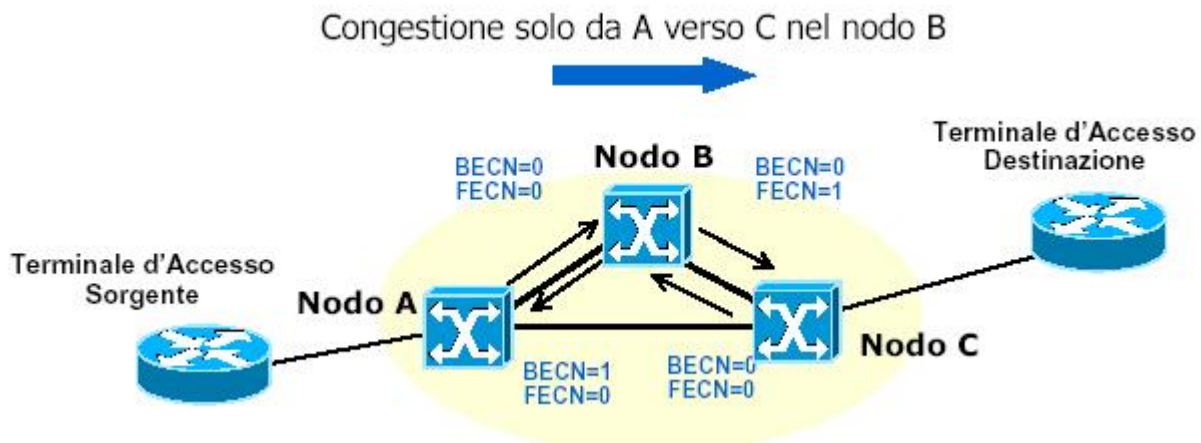
Con riferimento alla figura si supponga che il nodo B sia in congestione, in questo caso esso provvederà ad impostare il bit FECN ad 1 in tutte le trame dirette verso il nodo C, notificando così la situazione anomala alle destinazioni. Al tempo stesso il nodo B provvederà a impostare il bit BECN ad 1 in tutte le trame dirette al nodo A, notificando così la situazione anomala anche alle sorgenti di traffico.

Durante il periodo di congestione le sorgenti dovrebbero ridurre gradualmente il traffico offerto, mentre con il ritorno alla normalità, segnalata dalla ricezione dei bit FECN e BECN posti a zero, le sorgenti di traffico potrebbero gradualmente aumentare il traffico offerto fino ai valori normali.

La rete non può fare affidamento sul comportamento degli utenti per controllare una situazione di congestione. La rete deve essere in grado di proteggersi da situazioni che possono generare congestione, controllando il valore del *throughput* concesso ad ogni chiamata virtuale ed eliminando le trame relative alle chiamate che non rispettano il valore del CIR.

Un nodo FR può essere in congestione solo in una determinata direzione di traffico.



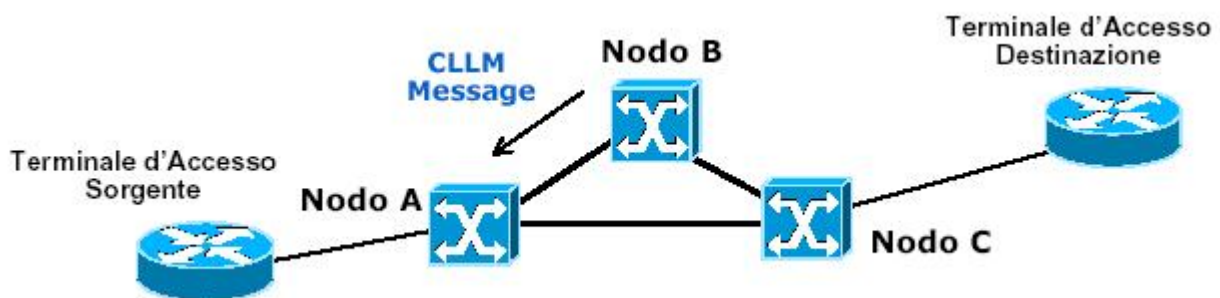


L'utilizzo di due bit (FECN e BECN) in ciascuna trama permette di segnalare l'insorgere di situazioni di congestione indipendentemente nelle due direzioni di transito delle trame FR. La figura mostra i valori dei due bit nelle trame entranti/uscenti nelle due direzioni nel/dal nodo B in congestione nel caso che questa insorga solo da A verso C. Si noti che il bit FECN è utile se il controllo della congestione è affidato al ricevitore (è il caso del protocollo TCP), mentre il bit BECN è utile se il controllo dei dati trasmessi è detenuto dall'*host* in trasmissione (per esempio, il protocollo SNA).

Controllo della congestione: CLLM

In tale metodo viene impiegato un messaggio di rete *Consolidated Link Layer Management* veicolato su un DLCI di servizio (1023) tramite il quale si segnala al dispositivo terminale la presenza di congestione.

È un meccanismo scarsamente implementato ma utile qualora il traffico sia monodirezionale.



Stato delle Connessioni

La segnalazione di controllo all'interfaccia utente-rete sullo stato delle connessioni (PVC) può avvenire per mezzo di due diversi meccanismi:

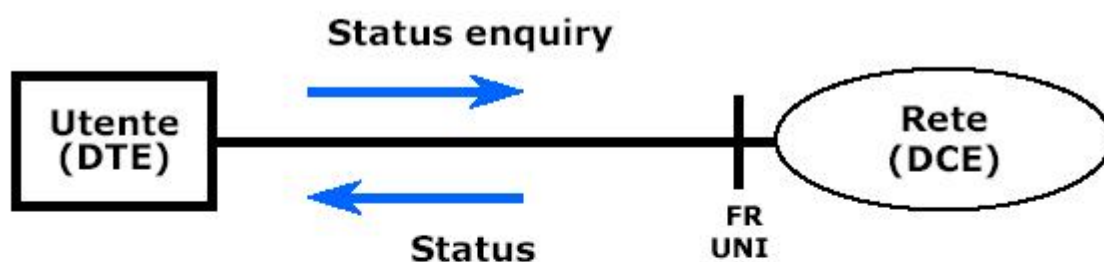
- impiego del protocollo *Local Management Interface* (LMI) con segnalazione di tipo asimmetrico dall'interfaccia d'utente alla rete sul DLCI 1023. Risulta esclusivo rispetto a messaggi CLLM;
- meccanismo definito dall'ANSI (T1.617 Annex D) che estende la specifica LMI con segnalazione di tipo simmetrico sul DLCI 0.

Benché LMI risulti più semplice dal punto di vista dell'implementazione il T1.617 consente la segnalazione anche tra interfacce rete-rete.

Nel servizio FR la specifica LMI definisce il protocollo e le procedure per la gestione dei circuiti virtuali permanenti all'interfaccia UNI. La specifica LMI, proposta inizialmente dal *Frame Relay Forum*, è stata incorporata prima nello standard ANSI T1.617 (Annesso D) ed infine, con lievi modifiche, nella raccomandazione CCITT Q.933 (annesso A).

Il protocollo LMI utilizza un meccanismo di *polling*: l'apparato di utente interroga la rete per ottenere informazioni sullo stato dei PVC definiti all'interfaccia UNI. Lo scambio dei messaggi avviene al livello 2 con modalità senza connessione, utilizzando solo trame informative non numerate secondo il protocollo LAPD (Raccomandazione Q.921). I messaggi di livello 3 sono strutturati secondo la Raccomandazione Q.931, come in ISDN.

### PVC Management



- Verificare l'integrità del collegamento tra DTE e DCE
- Notificare al DTE l'aggiunta di un PVC
- Notificare al DTE la cancellazione di un PVC
- Notificare al DTE lo stato di un PVC (attivo/inattivo)

Uno degli aspetti più articolati del *Frame Relay* è sicuramente il processo di *PVC Management*.

Per *PVC Management* si intende un processo di scambio di messaggi tra il DTE (apparato d'utente, tipicamente un *router*), ed il DCE (l'interfaccia di rete *Frame Relay*). È sostanzialmente un processo di *polling* iniziato sempre, nel caso di interfaccia UNI (*User-to-Network Interface*) dal DTE. Il DTE stimola il DCE inviando messaggi di *Status Enquiry*, a cui la rete deve rispondere opportunamente mediante messaggi di *Status*. Il processo di *polling* avviene sulla base di contatori e *timer* configurati sia sul DTE che sul DCE, e che devono essere congruenti per consentire un corretto scambio dei messaggi.

Lo scopo di questa procedura è quello di:

- verificare l'integrità del link tra DTE e DCE, ossia tra apparato d'utente e interfaccia di rete, in termini di collegamento fisico (linee, modem, eccetera); un corretto scambio di messaggi *Status Enquiry / Status* tra utente e rete implica che la connessione fisica tra DTE e DCE è corretta;
- notificare il DTE con informazioni riguardanti lo stato dei PVC (e dei relativi DLCI) disponibili per la trasmissione dati; infatti, mediante i messaggi di *Status* inviati dalla rete, il DTE è in grado di:
  - capire quali sono i PVC configurati all'interfaccia e di conseguenza rilevare l'aggiunta e

- la cancellazione di un PVC;
- individuare lo stato di un PVC, dove lo stato può essere attivo e quindi disponibile per la trasmissione dati o inattivo e quindi non disponibile per la trasmissione di trame dati *Frame Relay*.

La segnalazione di controllo all'interfaccia utente-rete sullo stato delle connessioni (PVC) può avvenire per mezzo di tre diversi meccanismi:

- Lo standard LMI (*Local Management Interface*, normalizzato in ambito *Frame Relay Forum*) con segnalazione di tipo asimmetrico dall'interfaccia d'utente alla rete sul DLCI 1023.
- Lo standard ITU-T (Q933 Annex A) anch'esso basato sullo scambio asimmetrico dei messaggi di segnalazione sul DLCI 0.
- Lo standard definito dall'ANSI (T1.617 Annex D) che estende la specifica LMI con segnalazione di tipo simmetrico sul DLCI 0 (consente la segnalazione anche tra le interfacce rete-rete NNI).

### Gestione del Throughput

L'impiego del bit DE unitamente a meccanismi di CIR consente al dispositivo di utente o ai nodi di rete di contrassegnare i *Frame* che prioritariamente la rete può scartare in caso di:

- congestione di rete;
- comportamenti anomali da parte di apparati terminali che non rispettino determinati profili di servizio.

In tal modo è possibile garantire anche ad utenti che sviluppano un traffico modesto di non venire penalizzati nella contesa alle risorse di rete (banda trasmissiva) da sorgenti di traffico più intense.

Il fatto che lo standard non obblighi ad implementare la gestione del bit DE porta sovente a spostarne l'impiego sui nodi di rete

### Committed Information Rate - CIR

Il bit DE trova la sua applicazione nel meccanismo del CIR.

Il CIR rappresenta la capacità di banda trasmissiva che ogni utente contrattualizza con la rete e che ritiene necessaria e sufficiente in condizioni stazionarie di traffico per veicolare le proprie applicazioni su un determinato canale logico (DLCI).

Qualora l'utente superi in determinati istanti di tempo il valore di CIR definito, ma non il limite massimo messaggi a disposizione dall'accesso, la rete pone a 1 il bit DE.

In condizioni normali di rete scarica, i *Frame* con DE=1 vengono comunque inoltrati e recapitati.

In caso di congestione tali *Frame* vengono scartati per primi.

La prestazione CIR è disponibile sugli accessi Plus della rete.

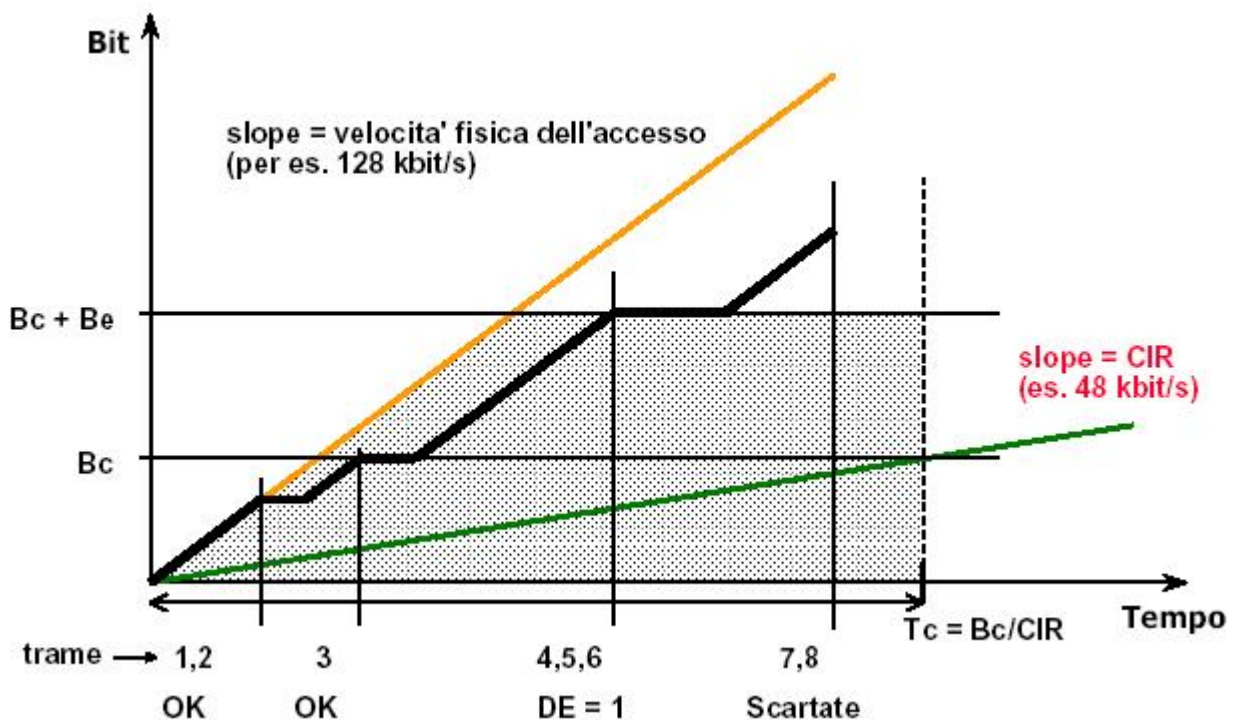
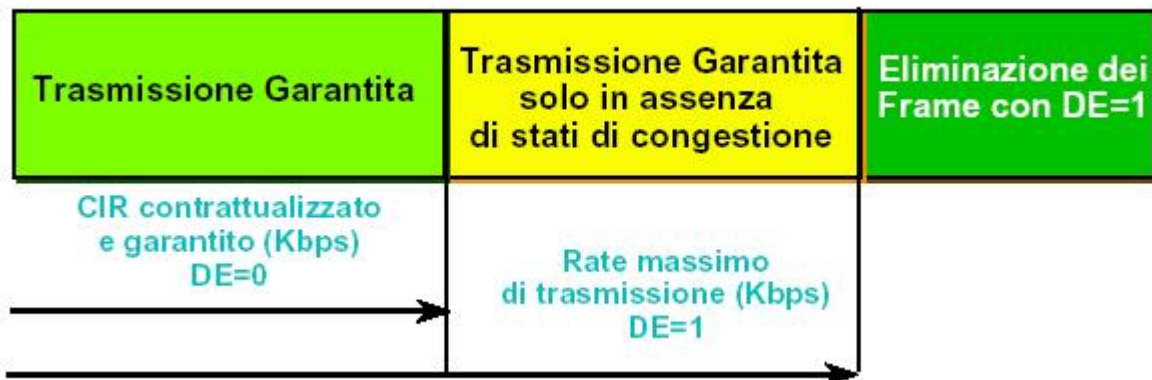
Viene definito sulla base delle seguenti grandezze:

- Bc (*Committed Burst Size*): rappresenta la massima quantità di *byte* che l'utente può offrire alla rete in un tempo prefissato Tc e di cui la rete garantisce la consegna.
- Be (*Excess Burst Size*): è la massima quantità di *byte* al di sopra del valore Bc che un utente

può inoltrare in un tempo  $T_c$  e di cui la rete non garantisce la consegna. I *byte* che vengono inoltrati tra i valori  $B_c$  e  $B_e$  hanno  $DE=1$ .

- $T_c$ : intervallo di tempo di osservazione.
- CIR: viene definito come  $B_c/T_c$ . Per valori di *rate* superiori al CIR i *frame* verranno marcati con  $DE=1$  e scartati dalla rete se le risorse non fossero sufficienti.
- Il CIR verrà garantito attraverso un meccanismo di controllo all'interfaccia di accesso in rete.

L'implementazione del CIR non solo è un importante servizio per garantire qualità al Cliente ma anche uno strumento di controllo e gestione della rete per l'operatore

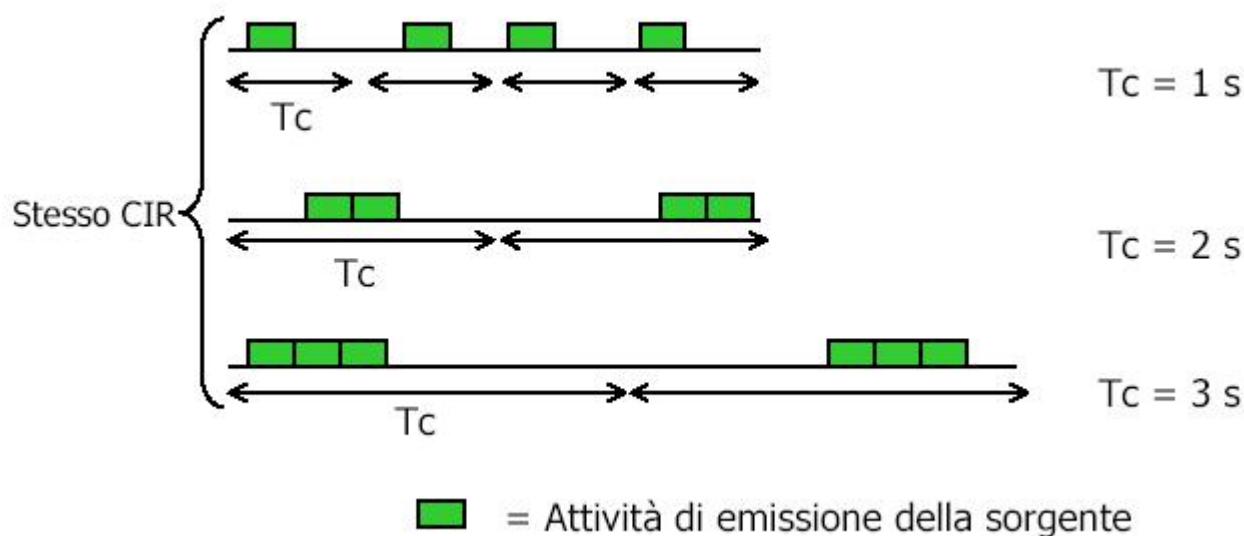


L'utente trasferisce trame alla velocità consentita dalla porta di accesso. La rete controlla il traffico in ingresso e lascia passare inalterate tutte le trame, finché non viene superato il parametro  $B_c$ .

Le trame in eccesso (sino al valore  $B_e$ ) sono accettate, ma il loro bit  $DE$  viene posto ad 1 dalla rete; così facendo esse saranno le prime ad essere scartate in caso di congestione della rete.

Ulteriori trame, inviate dall'utente nell'intervallo  $T_c$  quando il valore  $B_c + B_e$  è stato superato, sono scartate dal nodo di accesso, senza la necessità di segnalare tale operazione all'utente. Trascorso l'intervallo di tempo  $T_c$ , ha inizio un nuovo ciclo di controllo del traffico, rappresentabile con un

nuovo diagramma in cui l'origine degli assi risulta traslato a destra di una quantità pari a  $T_c$ .



A parità di CIR, la definizione di un  $T_c$  più alto permette all'utente di trasmettere la stessa quantità di dati in modo più intermittente, come è evidenziato nella figura. Definire un  $T_c$  più basso vuol dire costringere l'utente a trasmettere la stessa quantità di dati in modo più regolare, cioè più distribuita nel tempo.

L'intervallo di tempo  $T_c$  è fissato dal gestore della rete geografica ed è pari, tipicamente ad 1 s. Valori più piccoli di tale limite tutelano il service provider, poiché consentono di ridurre la durata del *burst*; valori maggiori favoriscono l'utilizzatore.

#### Parametri di QoS per il Frame Relay

Tali parametri per servizi offerti su PVC sono ancora in corso di definizione.

L'unico riferimento è la Raccomandazione ITU-T X.144 che definisce per il *Frame Relay* i seguenti parametri di QoS:

- FTD (*Frame Trasfer Delay*): Intorno ai 5:25 ms in funzione della lunghezza di trama.
- FLR (*User Information Frame Loss Ratio*):  $\text{Frame perse} / (\text{S Fr. perse} + \text{Fr. trasferite} + \text{Fr. trasferite con errore nel payload})$ .
- *Extra Frame Rate*.
- RFER (*Residual Frame Error Ratio*):  $\text{Frame TX corr.te} / (\text{S Fr. TX corr.te} + \text{Fr. TX con errore nel payload})$ .
- PVC *Availability*: Si fissano valori superiori per FLR, EFR e RFER e si dichiara indisponibile il PVC se solo uno dei parametri supera la soglia.

#### CIR e QoS

Anche il parametro CIR (assieme ai parametri  $B_c$  e  $B_e$ ) può essere sicuramente considerato tra i fattori che determinano la Qualità del Servizio *Frame Relay*.

- Il CIR indica il tasso di trasferimento dei dati che la rete garantisce di trasferire in condizioni operative normali.

Tuttavia per la natura statistica del servizio questa garanzia non può che essere fornita in termini di

probabilità di garanzia sul trasferimento dei dati.

Valutare numericamente questa garanzia può risultare molto complesso, come altrettanto complesso può essere il metodo per misurarla in esercizio.

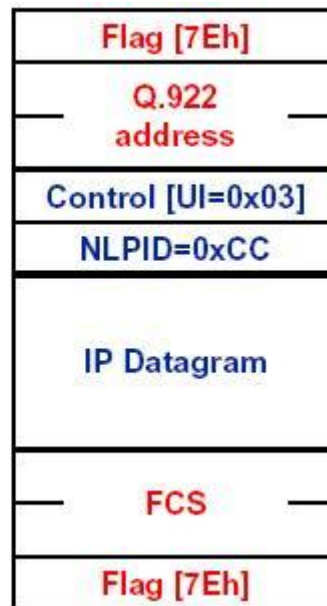
Al momento non esistono valori di riferimento per questa probabilità.

Multiprotocol su frame relay

La RFC 1490 specifica l'incapsulamento di protocolli di livello 2 (*bridged*) e di livello 3 (*routed*) in trame *Frame Relay*.

In particolare, la figura mostra l'incapsulamento di datagrammi IP in trame FR.

UI= Unnumbered Information  
 NLPID = Network Layer  
 Protocol Identifier



La normativa RFC 1490 definisce le modalità di incapsulamento di pacchetti IP in trame FR e consente di moltiplicare più *stack* di protocolli sulla stessa connessione *frame relay*, demandando al *router* ricevente la separazione dei pacchetti appartenenti a *stack* diversi ed il loro smistamento verso apparati di utente specializzati. La moltiplicazione di più *stack* di protocolli avviene mediante il campo dati NLPID che specifica il tipo di livello 3 trasportato nel campo informativo che segue nella trama.

Trend del frame relay



Il mercato mondiale dei servizi *Frame Relay* continua a crescere in maniera stazionaria con proiezioni al 2002 che prevedono ricavi di circa 14 miliardi di dollari. Questo dato si riferisce all'offerta di servizi con *access rates* compresi tra 56/64 kbps a T3/E3.

Il mercato degli U.S.A. è quello più fiorente, ma le proiezioni al 2002 mostrano che il mercato non U.S.A. tende a crescere più rapidamente: il tasso di crescita annuale composto è del 29% contro quello degli U.S.A. che è del 22%.