

Università di Genova
Facoltà di Ingegneria

11. Servizi Multimediali e Qualità del Servizio (QoS) su IP

Prof. Raffaele Bolla



Reti per servizi multimediali

Caratteristiche fondamentali

- Tipicamente richiedono il rispetto di un qualche vincolo sul ritardo (massimo, *jitter*, medio)
- Ma sono “tolleranti” alla perdita (perdite poco frequenti causano “solo” una leggera perdita di qualità)
- I requisiti, in questo senso, sono esattamente opposti a quelli richiesti dai servizi dati.
- I servizi multimediali sono spesso indicati anche col nome di “*continuous media*”

Classi di applicazioni

continuous media:

- ***Streaming stored audio and video*** (video diffusivo non in tempo reale)
- ***Streaming live audio and video*** (video diffusivo in tempo reale)
- ***Real-time interactive audio and video*** (video interattivo in tempo reale)

6.2

Reti per servizi multimediali

Streaming stored audio and video

- Un *client* richiede un file audio/video ad un server e concatena/parallelizza la ricezione dalla rete con la visualizzazione.
- E' interattivo: l'utente può eseguire delle operazioni di controllo (operando in modo simile ad un video registratore : *pause, resume, fast forward, rewind, etc.*)
- Ritardo: dalla richiesta del *Client* alla partenza della visualizzazione possono passare da 1 a 10 s.

Streaming live audio and video

- Molto simile alle TV e radio attuali ma realizzato tramite internet.
- Non interattivo, solo "guarda e ascolta".

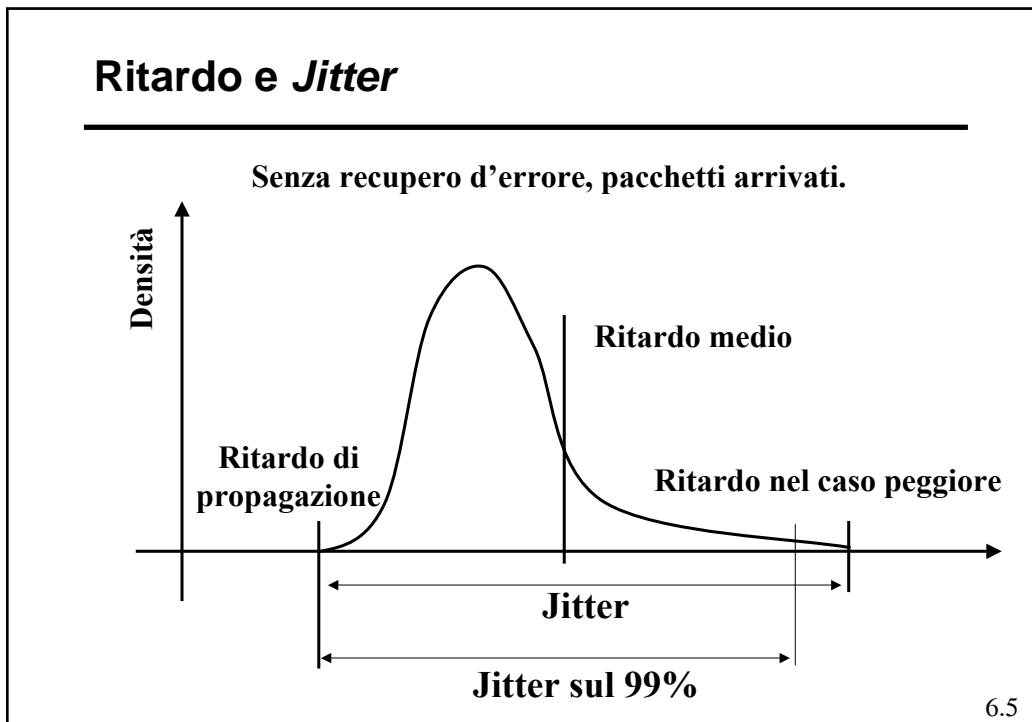
Interactive Real-Time :

- Conferenze audio/video.
- Vincoli sul ritardo più stringenti a causa dell'interazione in tempo reale.
- Video: accettabile < 150 msec
- Audio: buono < 150 msec, accettabile < 400 msec³

Il supporto di IP

- TCP/UDP/IP suite fornisce un servizio *best-effort* senza garanzie sul ritardo o sulla variabilità del ritardo.
 - Le applicazioni *streaming* con un ritardo iniziale di 5-10 sec sono oggi relativamente comuni, ma le prestazioni si deteriorano quando le linee tendono a congestionarsi.
 - Le applicazioni in tempo reale interattive hanno dei requisiti più stringenti sia sul ritardo che sul *jitter*, requisiti che non si riescono a rispettare in modo affidabile usando il TCP/IP.

6.4



Servizi multimediali su IP

- In ogni modo si possono attuare alcune azioni per mitigare l'effetto del "best-effort":
 - Usare UDP evitando la fase di *slow-start* ed il recupero d'errore del TCP.
 - Usare un buffer ed un ritardo iniziale di visualizzazione a destinazione per compensare il *jitter*.
 - Introdurre dei *timestamp* così da permettere la riproduzione temporale corretta dei dati.
 - Adattare la compressione alla banda disponibile.
 - Inviare pacchetti ridondanti per mitigare le perdite.
- La realizzazione di servizi multimediali sarebbe certamente più agevole se la rete IP distinguesse almeno due classi di servizi (ad es. 1° classe e 2° classe).

6.6

Linee evolutive di Internet verso il supporto delle comunicazioni multimediali (QoS)

- Una prima filosofia non prevede particolari interventi architetturali:
 - Nessuna distinzione di classe e nessuna prenotazione di banda.
 - Quando la domanda sale fornire più banda in generale (aumentare le capacità delle linee o il loro numero).
 - Cercare di localizzare i contenuti sul bordo della rete (*Cache* e *server* nella rete d'accesso degli ISP) .
- **Un altro elemento sono le VPN (*Virtual Private Networks*)**

6.7

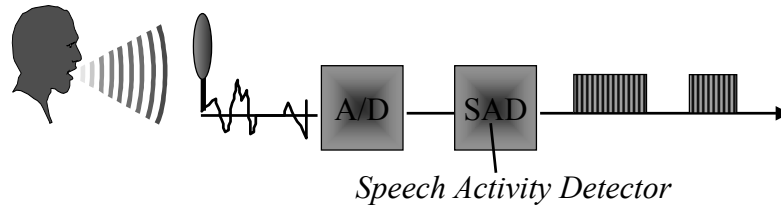
Linee evolutive di Internet verso il supporto delle comunicazioni multimediali (QoS)

- | | |
|---|--|
| <p style="text-align: center;"><i>Integrated Services</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Si modifica i protocolli Internet in modo che possano riservare banda <i>end-to-end</i> <ul style="list-style-type: none"> - Richiede un protocollo che riservi la banda. - Richiede un meccanismo di <i>scheduling</i> nei <i>router</i>. - Le applicazioni devono dichiarare le caratteristiche del proprio traffico. - Richiede del software nuovo e complesso sia nei <i>router</i> che negli <i>host</i> - Poco scalabile. | <p style="text-align: center;"><i>Differentiated Services</i></p> <ul style="list-style-type: none"> ● Con "poche" modifiche alla struttura della rete si può fornire due (o tre) classi di servizio: <ul style="list-style-type: none"> - I datagram vengono contrassegnati come appartenenti ad una classe. - Gli utenti pagano di più per i pacchetti della 1° classe agli ISP. - Gli ISP pagano di più al <i>backbone</i> per i pacchetti di 1° classe. |
|---|--|

6.8

Multimedia su *best-effort*: Un esempio di servizio voce su IP

- Una sorgente vocale può essere modellata come un sistema a due stati: *parlo* e *silenzio*.

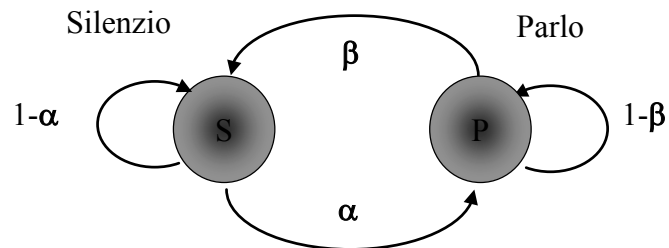


- Durata media del periodo attività (*talkspurt*) = 1.00 s
- Durata media del periodo di silenzio (*gap*) = 1.35 s
- Percentuale di attività $\approx 42\%$

6.9

Multimedia su *best-effort*: Un esempio di servizio voce su IP

- Il modello diventa del tipo:



6.10

Multimedia su *best-effort*:**Un esempio di servizio voce su IP**

- Nel caso in esempio, supponiamo che quando la sorgente è nello stato *parlo* l'applicazione generi dati con tasso pari a 64 Kb/s (8000 campioni/s, ognuno di 8 bit), nello stato *silenzio* ovviamente non genera dati.
- Questa significa che l'applicazione, ogni 20 ms genera un blocco di 160 Bytes.
- Al blocco aggiunge una intestazione ed il tutto viene inserito in un pacchetto UDP ed inviato in rete.
- Il ricevitore riceve questi pacchetti, ma non tutti perché alcuni vanno persi, e con ritardo variabile (eventualmente anche fuori sequenza).
- Il ricevitore deve decidere quando riprodurre un blocco e cosa fare se mancano dei blocchi.

6.11

Multimedia su *best-effort*:**un esempio di telefonia su IP**

- Sono due i problemi principali che vanno risolti
 - Perdite di pacchetti:
 - » Si potrebbe usare TCP, ma la ritrasmissione introduce ritardo e il controllo di flusso limita il tasso.
 - » Se si usa UDP, in ogni modo, bisogna inserire numeri di sequenza per accorgersi di eventuali perdite.
 - Ritardo
 - » Il ritardo *end to end* deve essere inferiore a 400 ms, altrimenti ne risente l'interattività.
 - » Il *jitter* in questo caso è dato dal fatto che i pacchetti sono trasmessi a 20 ms uno dall'altro ma possono arrivare al ricevitore sia più vicini che più lontani.
 - » Si dovrebbe comunque inserire dei *timestamp* per capire quando un blocco dati debba essere riprodotto.

6.12

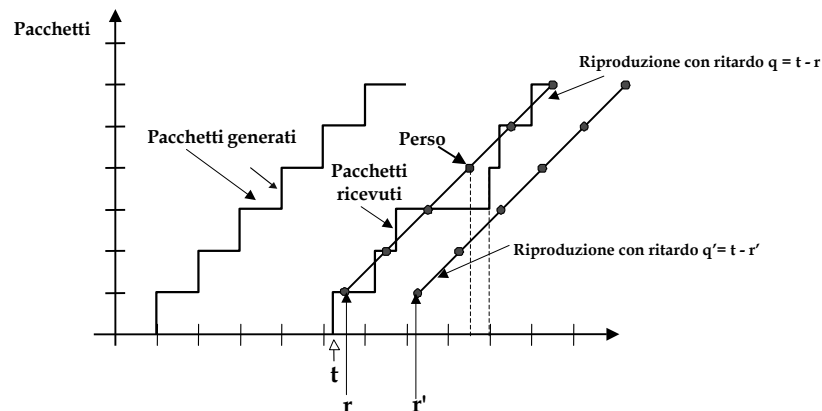
Compensazione del *jitter*

- Il *Jitter* viene in genere compensato utilizzando un buffer ed inserendo un ritardo q di riproduzione, ossia:
 - Se un blocco con un *timestamp* t è ricevuto entro $t + q$, viene riprodotto all'istante $t + q$
 - Altrimenti viene scartato
- Questa strategia non richiede numeri di sequenza per gestire le perdite
- Il problema è fissare q
 - q lunghi implicano meno perdite (per *jitter*);
 - q corti: l'interazione è più efficace.

6.13

Compensazione del *jitter*

- La sorgente genera un pacchetto ogni 20 ms.
- Il primo pacchetto è ricevuto all'istante t .
- Nel primo caso (ritardo q) è riprodotto a partire dall'istante r .
- Nel secondo caso (ritardo q') è riprodotto a partire dall'istante r' .



6.14

Compensazione del *jitter*

- Il meccanismo di compensazione del jitter può essere reso più efficace variando in modo adattativo il ritardo di riproduzione.
- In particolare questo si realizza
 - Stimando il ritardo introdotto dalla rete (ed eventualmente la sua varianza).
 - Variando l'istante di inizio di ogni periodo di *parlato* (quando la sorgente è nello stato *parlo*), ossia comprimendo o allungando i periodi di silenzio (quelli durante i quali la sorgente è nello stato *silenzio*).
 - Durante i periodi di *parlato* (*talk spurt*) la riproduzione avviene come nel caso di ritardo fisso.

6.15

Compensazione del *jitter*

- Indicando con
 - t_i = il *timestamp* dell'*i*-esimo pacchetto
 - r_i = l'istante in cui l'*i*-esimo pacchetto viene ricevuto
 - p_i = l'istante in cui l'*i*-esimo pacchetto viene riprodotto
 - d_i = il ritardo medio di rete stimato dopo la ricezione dell'*i*-esimo pacchetto
 - v_i = la deviazione media del ritardo dopo la ricezione dell'*i*-esimo pacchetto
- Si può scrivere:

$$d_i = (1 - u)d_{i-1} + u(r_i - t_i)$$

$$v_i = (1 - u)v_{i-1} + u | r_i - t_i - d_i |$$

↙ Costante < 1 (ad es. 0,01)
- I valori d_i e v_i sono calcolati ogni pacchetto ricevuto, anche se vengono usati solo all'inizio di ogni periodo di *parlato*.

6.16

Compensazione del *jitter*

- Usando questa quantità si può iniziare a riprodurre un *talk-spurt* all'istante:

$$p_i = t_i + d_i + Kv_i$$

- Per ogni singolo pacchetto il ritardo dovrà essere:

$$q_i = p_i - t_i = d_i + Kv_i$$

- E quindi l'istante di riproduzione di un pacchetto r all'interno del *talk-spurt* diventa

$$p_r = t_r + q_i$$

- Per determinare l'inizio di un *talk-spurt* si deve verificare se la differenza fra due successivi *timestamp* con il numero di sequenza (che qui diventa necessario per non farsi ingannare dalle perdite di pacchetti) in ordine corretto è $>$ di 20 msec.

6.17

Compensazione delle perdite

- **Forward Error Correction (FEC)**

- Siccome la perdita significa il non arrivo del pacchetto, le tecniche FEC devono coinvolgere più di un pacchetto.
- Possiamo fare due esempi di possibili strategie:

- **Strategia 1**

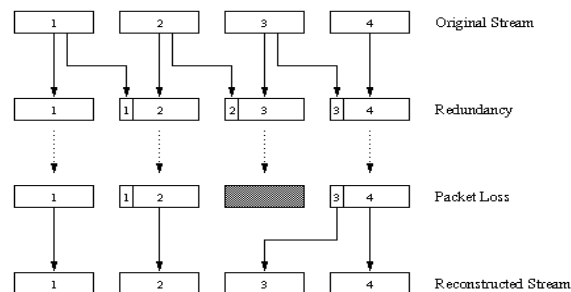
- Ogni n blocchi, si costruisce un blocco ridondante ottenuto come XOR degli n precedenti e lo si invia in coda al gruppo
- Se perdo un blocco solo degli $n+1$, all'istante di ricezione del blocco $n+1$ lo posso ricostruire
- La banda aumenta di un fattore $1/n$ (ad es. $1/10$ se $n=10$)
- Il ritardo fisso iniziale d deve essere tale da permettere la ricezione di almeno $n+1$ pacchetti (se $n=10$, $d > 200$ msec).
- Quindi aumentando n aumenta l'efficienza ma aumenta anche il ritardo e la probabilità di avere più di una perdita in una sequenza (situazione in cui questo meccanismo diventa inefficace).

6.18

Compensazione delle perdite

Strategia 2

- Si comprime i dati usando due codifiche a risoluzioni diverse: una bassa (B) ed una alta (A) (ad es. un PCM a 64 Kbit/s e un GSM a 13 Kbit/s).
- Si costruisce il pacchetto n prendendo il blocco n del flusso codificato con A (160 Byte) e il blocco n-1 del flusso codificato con B (32,5 byte)
- Quando un pacchetto viene perso può essere ricostruito (con minore qualità) all'arrivo de pacchetto successivo
- Si può proteggere anche nei confronti di due perdite consecutive aggiungendo anche il blocco n-2 del flusso B.

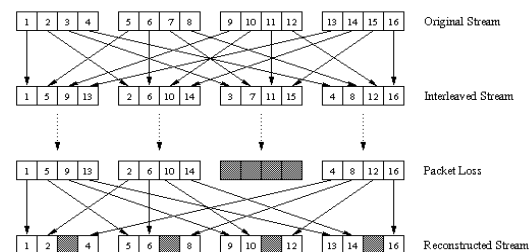


6.19

Compensazione delle perdite

• Interleaving

- I blocchi sono spezzato in unità più piccole (ad esempio in 4 unità da 40 byte).
- Le unità vengono mescolate in pacchetti successivi che quindi contengono parti di più blocchi.
- I blocchi originari vengono ricostruiti al ricevitore.
- Se un pacchetto viene perso la perdita viene distribuita su n blocchi e quindi è più facilmente compensabile.



- Ricostruzione pacchetto/unità persa
 - Si usano dei dati che assomiglino ai precedenti (ripetizione o interpolazione)
 - Funziona abbastanza bene per perdite rare e pacchetti/unità piccole (4-40 msec)

6.20

Real-Time Protocol (RTP)

- Introduce le funzionalità che mancano a UDP per lo *streaming* di contenuti multimediali anche in multicast
- Sviluppato principalmente da H. Schulzrinne nel periodo 1992-1996.
- **RFC 1889** definisce il protocollo mentre **RFC 1890** fornisce il profilo base per audio/video conferenza.
- RTP risiede nei sistemi terminali (end system)
- I pacchetti RTP vengono incapsulati in segmenti UDP
- Per quanto riguarda l'architettura funzionale RTP è considerato una estensione del protocollo di trasporto
- Dal punto di vista dello sviluppatore è invece parte dell'applicazione, ossia deve essere inglobato nel software applicativo (per lasciare più controllo e flessibilità all'operazione di pacchettizzazione)

6.21

RTP

- In sostanza RTP aggiunge all'UDP le seguenti funzionalità:
 - Identificazione del *payload*
 - Numeri di sequenza
 - *timestamp*
 - Capacità di identificare le sorgenti per la sincronizzazione
- Ad esempio, nel caso di voce PCM a 64 Kbit/s, ad ogni blocco audio viene aggiunta l'intestazione RTP a formare un pacchetto RTP che viene quindi passato all'UDP.
- Il pacchetto RTP permette alla sorgente di riconoscere il tipo di codifica (che la sorgente può modificare potenzialmente pacchetto per pacchetto) e compensare il *jitter* tramite il *timestamp* ed i numeri di sequenza.

6.22

RTP: QoS

- RTP non fornisce nessun meccanismo per assicurare una QoS (ritardo o perdita).
- Il pacchetto RTP è visto solo dai nodi finali e non dai nodi di rete (router) che quindi non forniscono ai pacchetti RTP un trattamento preferenziale.
- Per poter fornire una QoS bisogna utilizzare dei meccanismi aggiuntivi (*Integrated* o *Differentiated Services*)

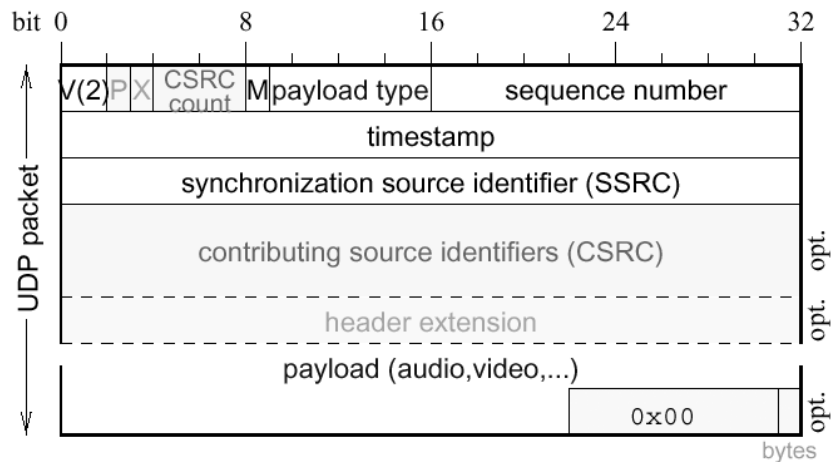
6.23

RTP: Streams

- RTP permette di assegnare un flusso (*stream*) indipendente ad ogni sorgente (telecamera, microfono, ...).
- Alcuni standard di compressione (MPG1 e 2 ad esempio) permettono l'integrazione dell'audio e video durante il processo di decodifica; in questo caso ci sarà un solo *stream* per ciascuna direzione (comunicazioni unicast).
- Nel caso multicast ogni sorgente ha il proprio *stream* ma tutti gli *stream* usano lo stesso indirizzo multicast e lo stesso albero di distribuzione; la comunicazione tramite RTP all'interno di un gruppo multicast viene chiamata "session".

6.24

Il pacchetto RTP



6.25

Il pacchetto RTP

- **Version** (2 bit): è la versione, attualmente la 2
- **eXtention** (1bit): se a 1 indica la presenza di un *header extension*
- **Payload Type** (7 bits): indica il tipo di codifica usata per quel pacchetto (se la sorgente cambia codifica e tramite questo campo che il ricevitore se ne accorge)
 - Payload type 0: PCM mu-law, 64 Kbps
 - Payload type 3, GSM, 13 Kbps
 - Payload type 7, LPC, 2.4 Kbps
 - Payload type 26, Motion JPEG
 - Payload type 31, H.261
 - Payload type 33, MPEG2 video
- **Sequence Number** (16 bits): si incrementa di uno ogni pacchetto inviato (serve a riconoscere le perdite).

6.26

Il pacchetto RTP

- *Timestamp* (32 bit): riflette l'istante di campionamento del primo campione presente nel pacchetto ed è derivato dal *clock* del campionatore
 - Ad esempio, viene incrementato di uno ogni campione (per la voce +1 ogni 125 μ s e quindi supponendo 8 bit per campione e 160 Bytes a pacchetto, verrebbe incrementato di 160 ogni pacchetto). Il valore viene incrementato anche quando la sorgente è inattiva ed è riferito al flusso prima della codifica.
- *Synchronization Source Identifier* (32 bit): Identifica la sorgente, non è un indirizzo IP ma un identificatore generato casualmente.

6.27

Il pacchetto RTP

- *Contributing Source* (CSRC) (32 bit): se un pacchetto contiene segnali di più sorgenti mescolati (tipicamente audio di più parlatori) questo campo permette di identificare le diverse sorgenti originarie (fino a 16).
- *CSRC Count* (4 bit): indica il numero di campi CSRC presenti nel pacchetto.
- Le estensioni trasportano informazioni ulteriori riguardanti ad esempio la codifica.

6.28

Real-Time Control Protocol (RTCP)

- Lavora insieme al RTP.
- Ogni partecipante ad una sessione RTP invia periodicamente pacchetti di controllo RTCP a tutti gli altri partecipanti (multicast).
- Ogni pacchetto contiene informazioni statistiche del ricevitore/trasmittitore utili alle applicazioni.
- Fra le informazioni inviate si trovano, i pacchetti inviati/ricevuti, la percentuale delle perdite, il *jitter*,...
- Questa retroazione può essere usata per verificare le prestazioni e per diagnostica; eventualmente la si può usare per modificare le caratteristiche della trasmissione (parametri della o tipo di compressione, risoluzione, ...).

6.29

RTCP

- Tipi di pacchetti ed informazioni inviate
 - *Receiver report*: frazione di pacchetti persi, ultimo numero di sequenza, jitter di interarrivo medio
 - *Sender Report*: SSRC dello *stream* RTP, tempo corrente, numero di pacchetti inviati, numero di bytes inviati, *timestamp* dell'ultimo pacchetto RTP inviato.
 - *Source description*: e-mail del mittente, nome del mittente, SSRC dello stream. Questo pacchetto lega i dati del mittente con l'SSRC.
- Anche i pacchetti RTCP vengono trasportati tramite UDP ma usano una porta diversa rispetto RTP
- Un singolo pacchetto UDP può trasportare più pacchetti RTCP (eventualmente compressi).

6.30

RTCP

- RTCP può essere usato per sincronizzare diversi *stream* all'interno di una sessione
- Si consideri una videoconferenza in cui ciascuna sorgente genera uno *stream* RTP per il video e uno per l'audio.
- I *timestamp* dei pacchetti RTP sono legati ai *clock* dei singoli campionatori, ma non hanno un riferimento temporale comune.
- I *sender report* contengono un riferimento assoluto di tempo e il *timestamp* dell'ultimo pacchetto, per cui permettono di ricostruire un sincronismo, ad esempio, fra voce e video.

6.31

RTCP

- Nel caso multicast, il traffico generato dall'RTCP tenderebbe a crescere linearmente col numero dei partecipanti alla sessione.
- Lo standard prevede invece che il traffico RTCP debba essere limitato al 5% della banda disponibili per la sessione.
- Questo 5% (ad esempio su 2 Mb/s sarebbero 100 Kbit/s) il 75% sono riservati ai ricevitori, 25% alle sorgenti
- L'intervallo di trasmissione per i pacchetti RTCP viene calcolato come:

Per le sorgenti

$$T = (\text{dim pacchetto}) * (\text{num. sorgenti}) / (0,25 * 0,05 * \text{Banda})$$

Per i ricevitori

$$T = (\text{dim pacchetto}) * (\text{num. ricevitori}) / (0,75 * 0,05 * \text{Banda})$$

6.32

RTP - RTCP

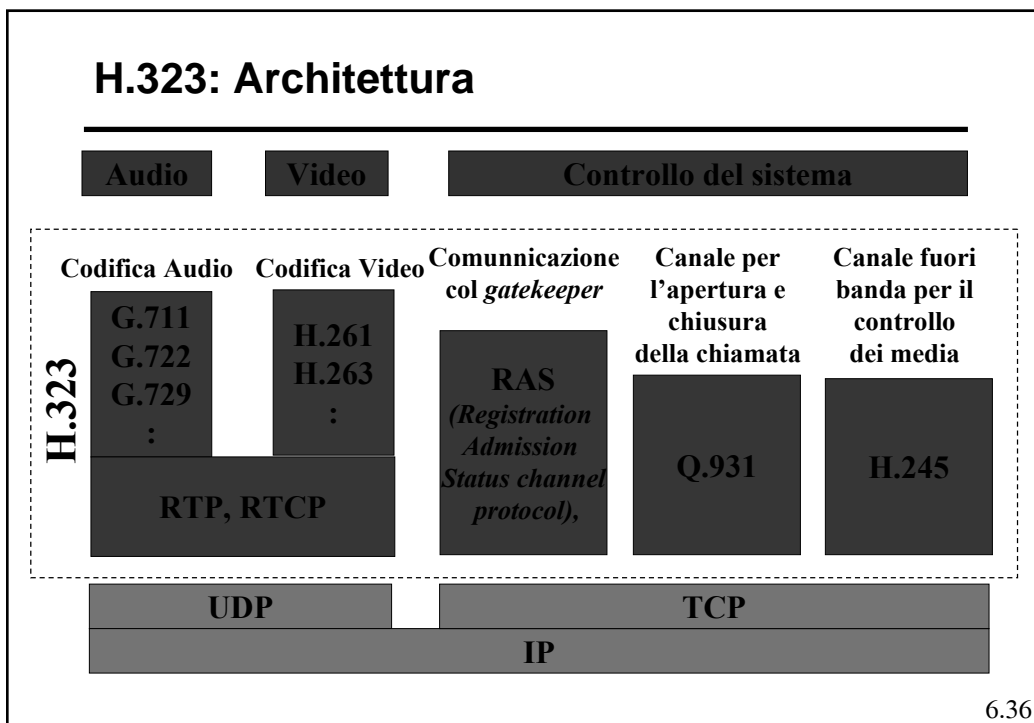
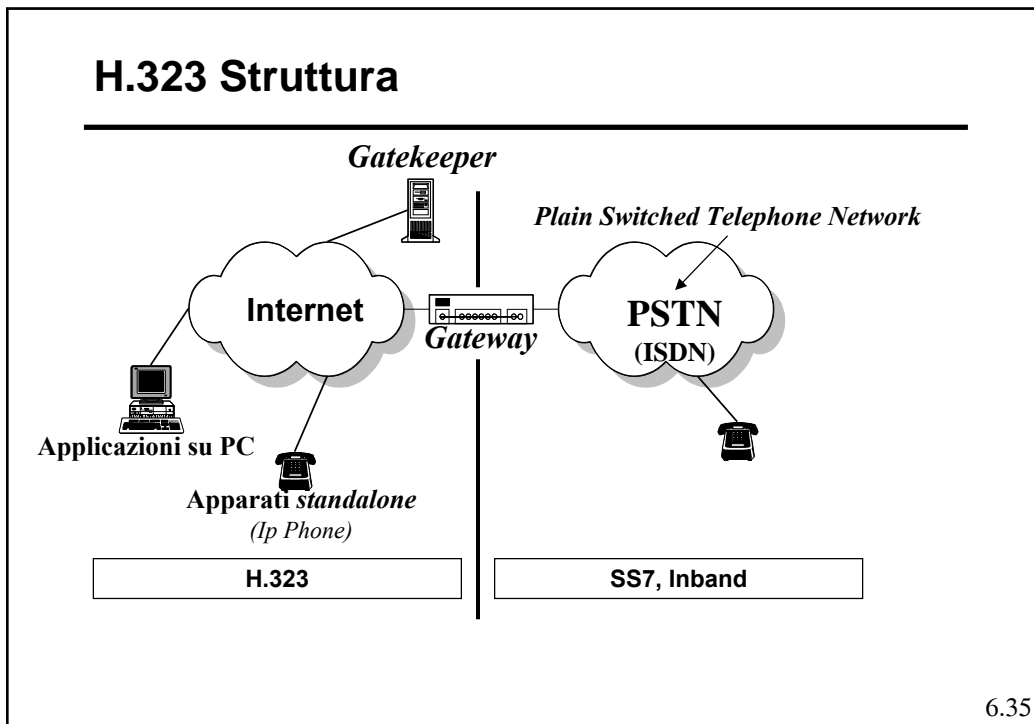
- Alcuni esempi di applicazioni che usano RTP-RTCP sono
 - Strumenti di Mbone: vic/vat/rat
 - Real Media (real audio, real video)
 - MS Netmeeting
 - *Apple Quicktime*
 - H.323
- Attualmente le varie applicazioni non sono sempre in grado di comunicare fra loro
 - Per incompatibilità slegate da RTP
 - Per piccoli scostamenti dallo standard

6.33

H.323

- U.323 sono un insieme di protocolli strutturati in una architettura per servizi di video/audio conferenze tramite IP
- Il target sono i servizi interattivi in tempo reale
- Nasce sotto l'egida dell'IUT
- Le specifiche includono:
 - Come i nodi terminali fanno e ricevono le chiamate.
 - Come negoziano le codifiche.
 - Come i flussi vengono incapsulati.
 - Come avviene la sincronizzazione.
 - Come i terminali colloquiano con elementi di coordinamento (*Gatekeeper*).
 - Come i terminali possono interagire con la rete telefonica classica.

6.34



H.323: Codifiche

Audio

- I terminali devono supportare lo standard di compressione voce G.711 a 56-64 Kbps
- Consigliato il supporto del G.723.1 che opera a 5,3 - 6,3 Kbps
- Opzionalmente si possono usare G722, G728 e G729

Video

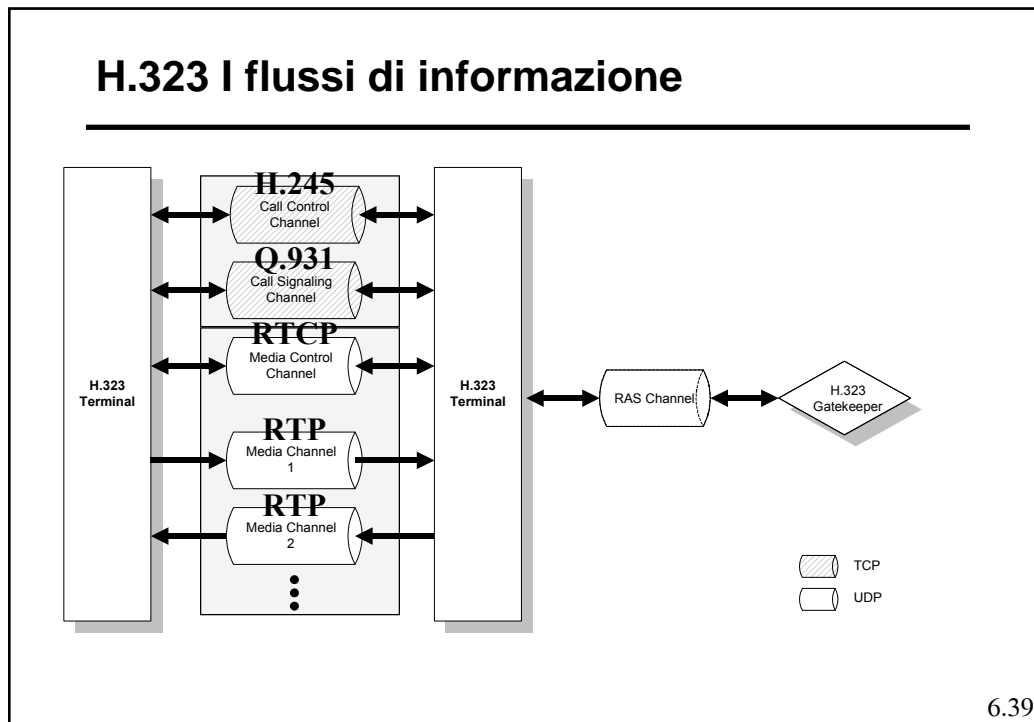
- Le capacità video sono opzionali
- Se capace di trattare video, un terminale deve supportare formati QCIF H.261 (176 x 144 pixel)
- Opzionalmente può supportare H.263 e dimensioni CIF (352 x 288), 4CIF (704 x 576) e 16CIF (1408 x 1152).

6.37

H.323 Il canale di controllo H.245

- Una sessione H.323 può contenere canali multipli per differenti tipi di media.
- Si ha comunque sempre un unico canale di controllo H.245 che si appoggia su TCP.
- I compiti principali sono
 - Aprire e chiudere i canali relativi ai media.
 - Permettere la negoziazione delle funzionalità (per esempio le codifiche).
- In sostanza H.245 ha, per la sessione di conferenza multimediale, la stessa funzione che RTCP ha per lo *stream* del singolo media.

6.38



H.323 Gatekeeper

- E' un elemento opzionale del sistema
- Le sue funzioni principali sono:
 - Traduzione di indirizzi IP (come un DNS, ossia tradurre il nome di una persona nel corrispondente indirizzo IP)
 - Gestire la banda, principalmente attraverso un controllo d'accesso
- In genere si immagina che sia presente un *gatekeeper* per area ed il funzionamento dovrebbe essere il seguente:
 - Quando attivata, una applicazione H.323 si deve registrare presso il *gatekeeper* (se esiste), usando il RAS;
 - Nel momento in cui deve fare una chiamata l'applicazione chiede il permesso al GK;
 - Se gli viene accordato il permesso invia un indirizzo email, un nome, un numero telefonico e il GK lo traduce (interagendo eventualmente con altri GK) in un indirizzo IP e lo rimanda all'applicazione.

6.40

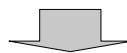
Controllo di comunicazioni multimediali

- H.323 non contiene tutti i protocolli e non è l'unica architettura di riferimento per il controllo di applicazioni multimediali
- Esistono altri protocolli, fra i quali si possono citare per esempio:
 - *Real Time Streaming Protocol (RTSP)*: serve a controllare in remoto una sorgente *stream* (come se fosse un audio/video registratore)
 - *Session Initiation Protocol (SIP)*

6.41

Reti integrate nei servizi

- Uno degli obiettivi delle reti di telecomunicazioni nell'ultimo decennio è stato l'integrazione dei servizi: creare una rete in grado di supportare ogni tipo di servizio (previsto e prevedibile)
- Un rete integrata permetterebbe una elevata efficienza e renderebbe appetibile l'offerta dinamica di nuovi servizi di tlc ma richiede una tecnologia molto flessibile



Commutazione di pacchetto

6.42

IP e ATM

- Inizialmente gli standard (ITU-T) e la ricerca hanno proposto ATM (Asynchronous Transfer Mode)
 - Commutazione pacchetto veloce
 - Orientato alla connessione
 - Pensato principalmente per servizi *real-time* (video-voce)
 - ATM non si trova molto "a suo agio" con il traffico dati, al contrario di IP che è invece stato pensato solo per i dati.
- Con Internet, il TCP/IP si è imposto sia come tecnologia che come "infrastruttura" di rete, quindi è sembrato "naturale" proporre **Internet** anche come **rete integrata universale**

6.43

QoS

- Per poter fornire supporto a servizi differenti, bisogna poter assicurare una **Qualità** ossia rispettare dei requisiti diversi in termini
 - Perdita massima ↓
 - Ritardo massimo ↓
 - *Jitter* ↓
 - *Throughput* ↑
- In corrispondenza di flussi di traffico differenti per
 - Tasso di generazione
 - Statistiche di generazione (CBR, VBR,...)

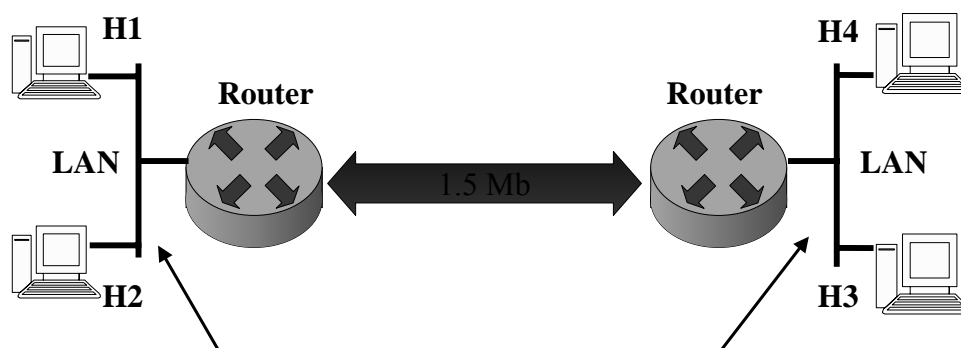
6.44

QoS su reti a pacchetto

- Internet o, in generale, l'architettura TCP/IP è nata ed è attualmente strutturata per fornire solo servizi *best-effort*, ossia con
 - Perdita di pacchetto
 - Ritardi non superiormente limitati
 - Ritardi variabili (*Jitter*)
- Per poter utilizzare Internet come rete universale, bisogna poter assicurare un grado di QoS ad applicazioni o utenti che ne facciano richiesta, e quindi bisogna introdotti dei **nuovi componenti architetturali**.

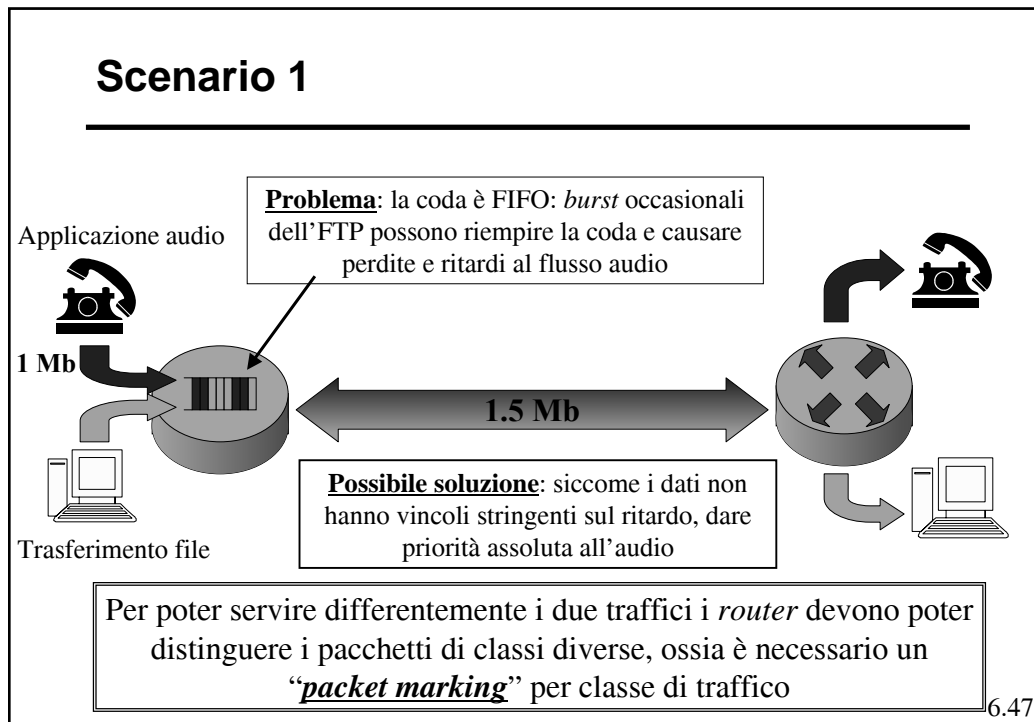
6.45

Scenario di riferimento



Si supponga che la LAN non sia un elemento critico (nel senso che ha una velocità molto più alta di quella presente fra i due *router*)

6.46



Scenario 1

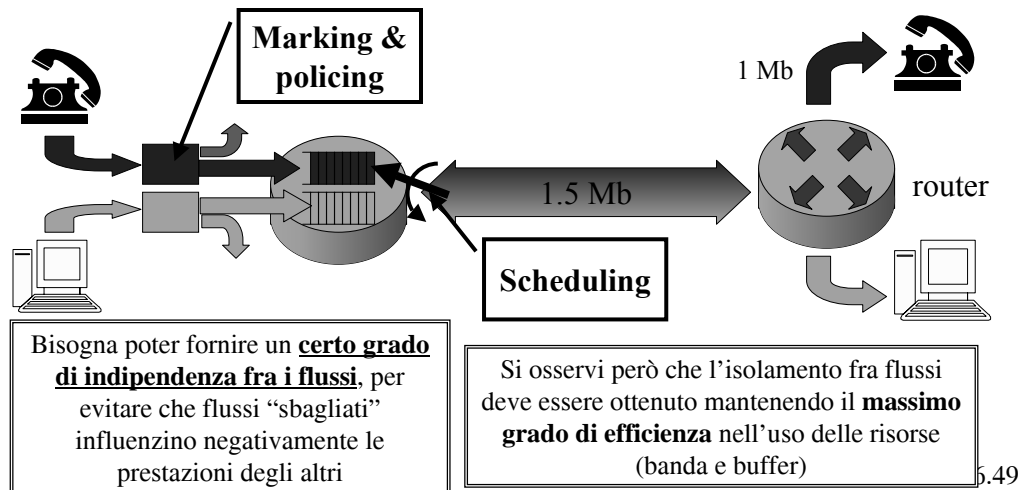
- Se l'utente del trasferimento file ha pagato molto per avere un servizio di "prima classe", mentre l'utente audio ha pagato poco per avere un servizio a basso prezzo, non è detto che la priorità dell'audio debba essere assoluta.
- Ci sono tre considerazioni da fare:
 - Il *Marking* esplicito serve solo a distinguere i pacchetti ma non determina necessariamente il tipo di servizio che riceverà un pacchetto.
 - Il modo con cui il *router* classifica (*classification*) i pacchetti può basarsi su diversi criteri (sorgente, destinazione, stato della linea) di cui l'identificazione esplicita è solo uno degli elementi
 - Il modo in cui i diversi pacchetti vengono classificati e poi trattati dipende dalla "politica" di servizio.

Non basta fare il marking per assicurare una QoS
Occorrono anche altri meccanismi

6.48

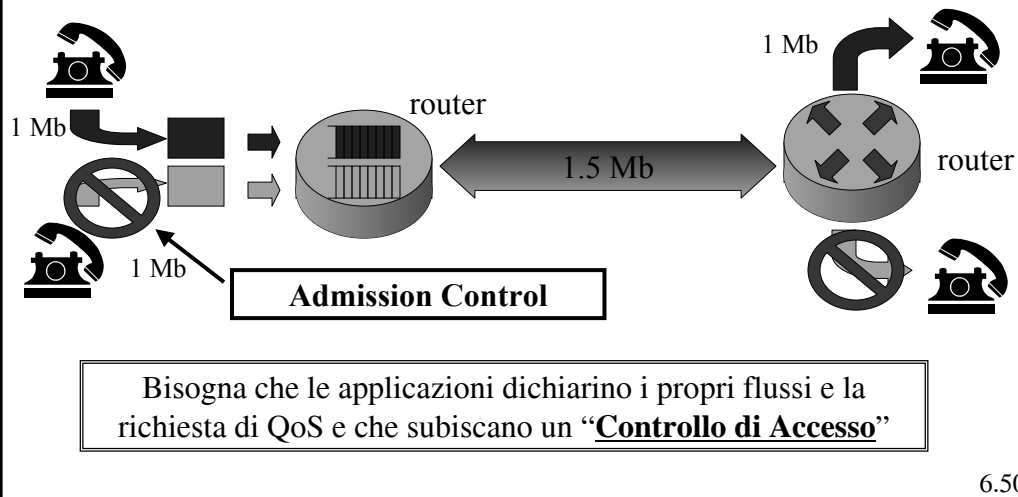
Scenario 2

L'applicazione audio (volontariamente o per errore) comincia a generare più di 1 Mbps; se arriva a generare ≥ 1.5 Mbps, l'FTP non passa più



Scenario 3

Se si attivano due applicazioni audio da 1 Mbps, qualunque *classification* o *policing* o partizione (*scheduling*) non permette di mantenere la QoS



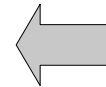
Elementi

- In sostanza gli elementi che devono essere considerati per fornire una QoS su IP sono:
 - **Classificazione dei pacchetti** (*Packet Classification*)
 - **Isolamento dei flussi:** *Scheduling* e *Policing*
 - **Efficace utilizzazione delle risorse** (*Allocazione dinamica delle risorse*)
 - **Controllo di ammissione** (*Call Admission*)

6.51

IP-QoS

- L'IETF ha proposto due approcci diversi (ma non necessariamente mutualmente esclusivi):
 - **Integrated Services**
 - **Differentiated Services**



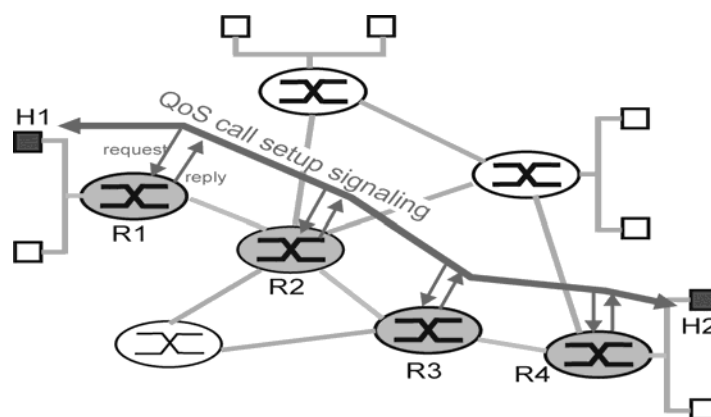
6.52

Integrated Services (IntServ)

- In sostanza, si porta la filosofia ATM in IP:
 - Tramite cinque parametri (indirizzo destinazione, ind. sorgente, protocollo, porta sorgente, porta destinazione) i pacchetti vengono identificati "su base connessione o flusso" (*marking*).
 - Quando un flusso chiede di essere attivato la sorgente deve dichiarare:
 - » La QoS richiesta (definiti da un insieme di dichiarazioni dette **R-spec**)
 - » Le caratteristiche del traffico (descritte nel **T-spec**)
 - un protocollo (RSVP) di segnalazione trasporta i T-Spec e R-spec e chiede ai *router* lungo il percorso verso la destinazione di onorarli (riservando la banda); se questo non è possibile ne informa la sorgente che non attiva il flusso (*Call Admission*).
 - Si ha quindi una sorta di "Circuito Virtuale" che richiede la presenza di uno stato per flusso nei *router*.

6.53

Integrated Services (IntServ)



6.54

Integrated Services (IntServ)

- I router devono assicurare banda e QoS a ciascun flusso (tramite uno *scheduling* fra i flussi)
- All'ingresso della rete sul flusso di ogni connessione è applicato un "*policing*" (ed eventualmente uno "*shaping*") per mantenerli sempre conformi al dichiarato.
- Sono state definite due classi generali di servizio per le quali riservare banda:
 - » *Guaranteed Quality Service*: a cui si assicura banda, ritardo massimo limitato e perdita nulla
 - » *Controlled Load Network Service*: a cui si assicura le stesse prestazioni del best-effort in caso di rete poco carica

6.55

Integrated Services (IntServ)

- Il protocollo principale legato a questo approccio è il *ReSerVation Protocol (RSVP)*.
- Si tratta, in sostanza, di un protocollo di segnalazione che permette ai *router* (ed eventualmente agli *host*) di interagire per attivare e configurare flussi con QoS assicurata.
- Non definisce meccanismi da applicare per assicurare banda e ritardo, e neppure come calcolare quanta banda riservare ai diversi flussi e come decidere se accettare o meno un nuovo flusso.
- Non è un protocollo d'instradamento e non influenza l'instradamento.

6.56

Integrated Services (IntServ)**RSVP**

- E' definito nell'RFC 2205
- Ha le seguenti caratteristiche principali:
 - E' pensato per operare anche in presenza di multicast.
 - E' di tipo simplex (opera la segnalazione solo per una direzione).
 - La prenotazione è guidata dal/ dai ricevitori;
 - Utilizza i "*soft state*".
 - Permette di "aggregare" secondo modalità diverse le richieste di banda delle sorgenti.
 - Opera direttamente sopra IP.

6.57

Integrated Services (IntServ)**RSVP**

- RSVP opera tramite due messaggi:
 - **Path**
 - **Resv**
- Un trasmettitore che vuole iniziare a trasmettere un flusso invia un messaggio di Path al gruppo, il quale fluisce nell'albero di distribuzione e fa sì che ogni *router* attraversato memorizzi il salto (*hop*) inverso verso la sorgente.
- Ogni ricevitore risponde con un messaggio di Resv che contiene le sue richieste e che fluisce in senso inverso fino alla sorgente.
- Ogni *router* che riceve il Resv verifica la disponibilità di risorse e (se disponibili) le riserva, creando un *softstate* per il flusso e facendo proseguire il Resv verso la sorgente (conosce l'*hop* grazie al messaggio di Path precedente).

6.58

Integrated Services (IntServ)**RSVP**

- Se il *router* è nel punto di incontro di più rami dell'albero di distribuzione del multicast, opera effettuando una "fusione" delle richieste.
- Anche le richieste legate a più sorgenti di uno stesso gruppo possono venir "fuse" secondo uno di tre stili di prenotazione:
 - Filtro aperto: unica prenotazione da condividere da parte di tutte le sorgenti.
 - Filtro fisso: elenco di sorgenti e corrispondente prenotazione per ciascuna
 - Condivisione esplicita: elenco di sorgenti e unica prenotazione da condividere solo fra queste.

6.59

Integrated Services (IntServ)**Conclusioni**

- Il distinguere ciascun flusso ha il vantaggio di permettere una precisa allocazione delle risorse ma ha il grosso limite di essere **poco scalabile**.
- I *router* delle dorsali, che commutano molti flussi e gestiscono capacità molto elevate, potrebbero non riuscire a gestire una QoS per flusso in modo efficiente.
- Per cui, l'approccio IntServ appare realistico all'interno di "aree" di rete ristrette e/o applicato insieme a delle tecnologie di supporto per la QoS (ATM o MLSP)

6.60

Differentiated Services

- Il vincolo principale a cui ha cercato di sottostare questo approccio è permettere una agevole scalabilità
- Con questo proposito si è introdotto (rispetto agli *IntServ*):
 - L'aggregazioni dei flussi in classi
 - La differenziazione delle funzionalità dei *router*
 - La riduzione del traffico di segnalazione
 - La riduzione delle variabili di stato nei *router*

6.61

Differentiated Services

- Il campo ToS (*Type of Service*) dell'IP viene rinominato ***DS field*** ed usato per identificare delle "**classi di servizio**".
- Ad ogni classe viene legato un ***Per Hop Behaviour*** (PHB) che stabilisce il tipo di trattamento che ad ogni *router* deve dare ai pacchetti appartenenti ad una certa classe.

6.62

PHB

- *Expedited Forwarding* (EF)

- E' pensato per costruire servizi *end-to-end* a
 - » bassa perdita
 - » bassa latenza
 - » basso *Jitter*
 - » banda assicurata
(VLAN, Videoconferenza, voice over IP, ...)
- Ai due estremi appare come una "linea dedicata virtuale".
- Impone, in sostanza, un servizio prioritario ed una allocazione di risorse indipendente dalle altri classi

6.63

PHB

- *Assured Forwarding* (AF)

- Ha l'obiettivo di permettere un servizio accettabile anche in condizioni di congestione della rete.
- Al suo interno si possono distinguere più sotto classi (AF1-AF4).
- I pacchetti possono essere "marcati" con tre diversi colori (verde, giallo e rosso) che implicano diversi livelli di precedenza in caso di scarto (*drop*).

6.64

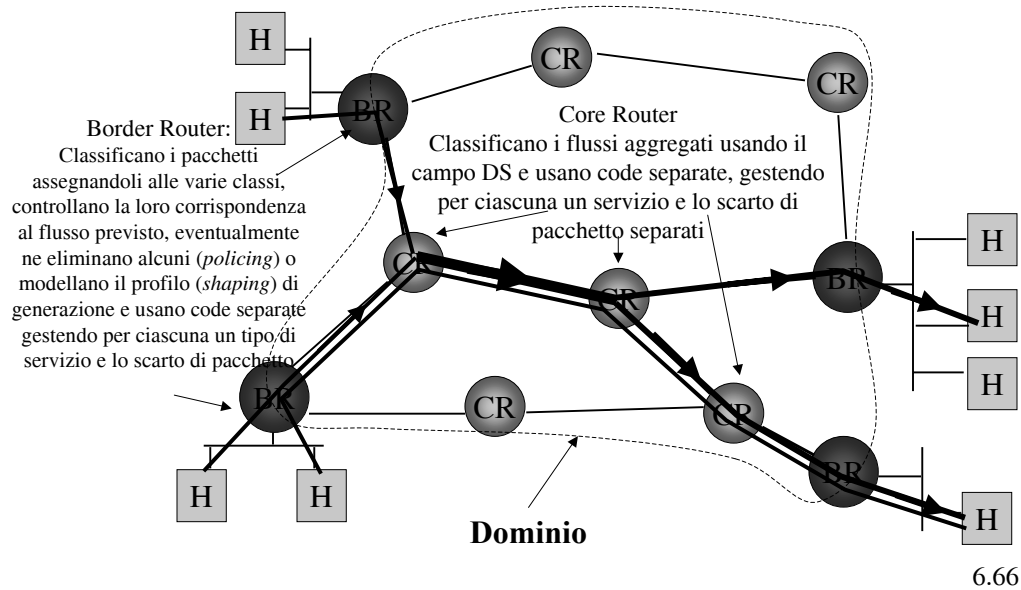
PHB

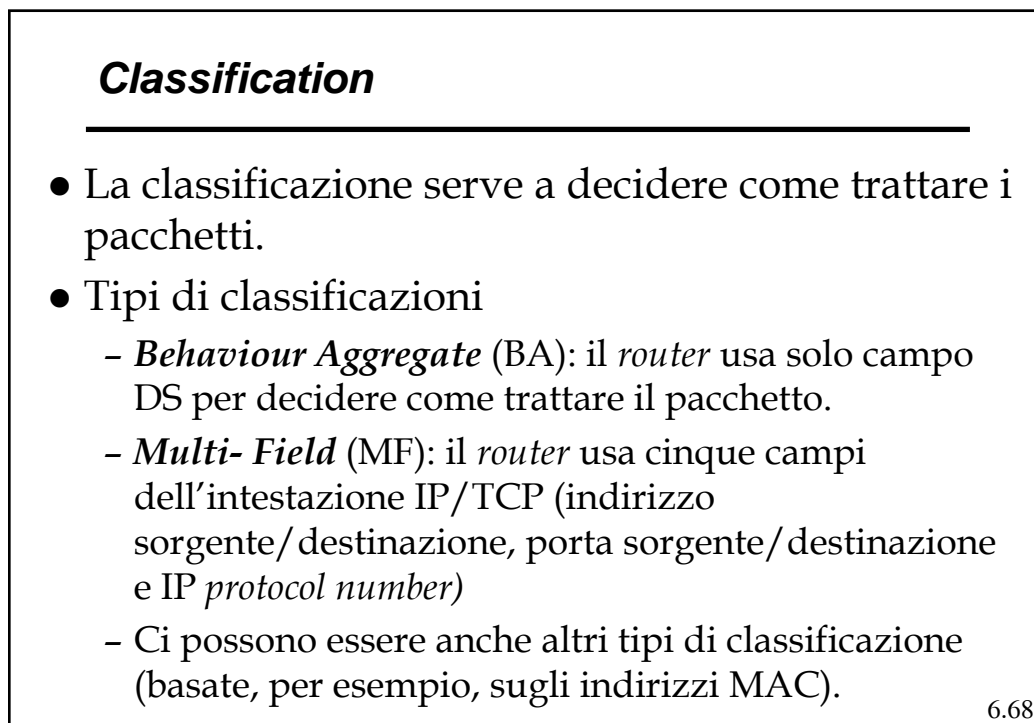
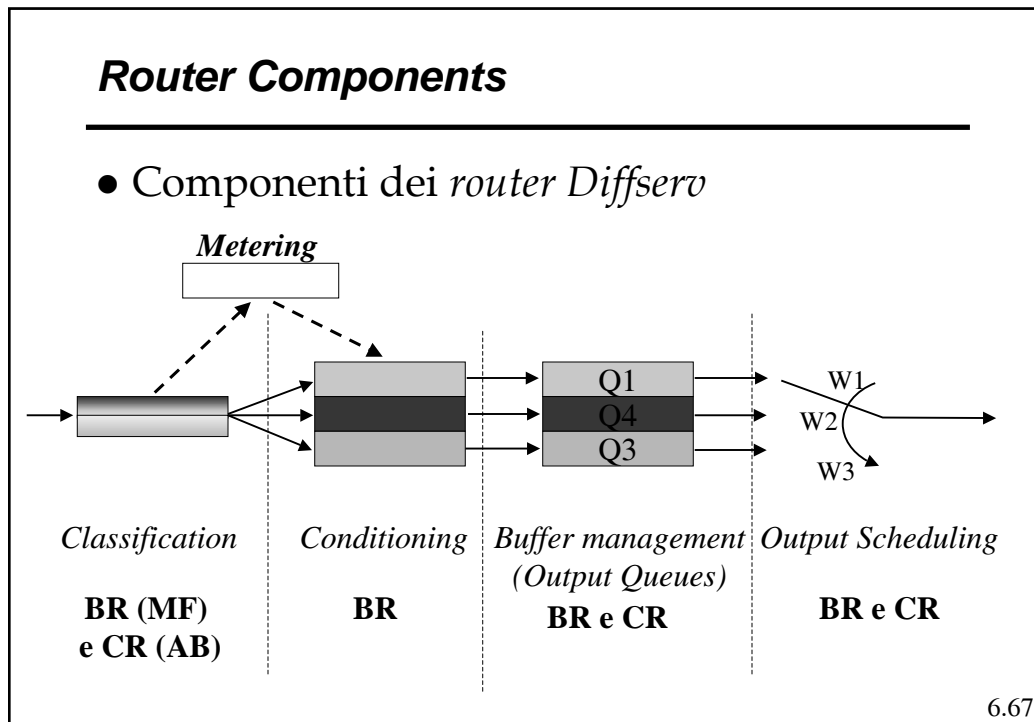
- **Default Forwarding (DF)**

- Sono i pacchetti non esplicitamente marcati, ossia l'attuale traffico *best effort*
- Questa classe, in linea di principio, potrebbe venir trattata come un AF con la priorità più bassa in assoluto o considerata a parte.

6.65

Differentiated Services Schema di principio



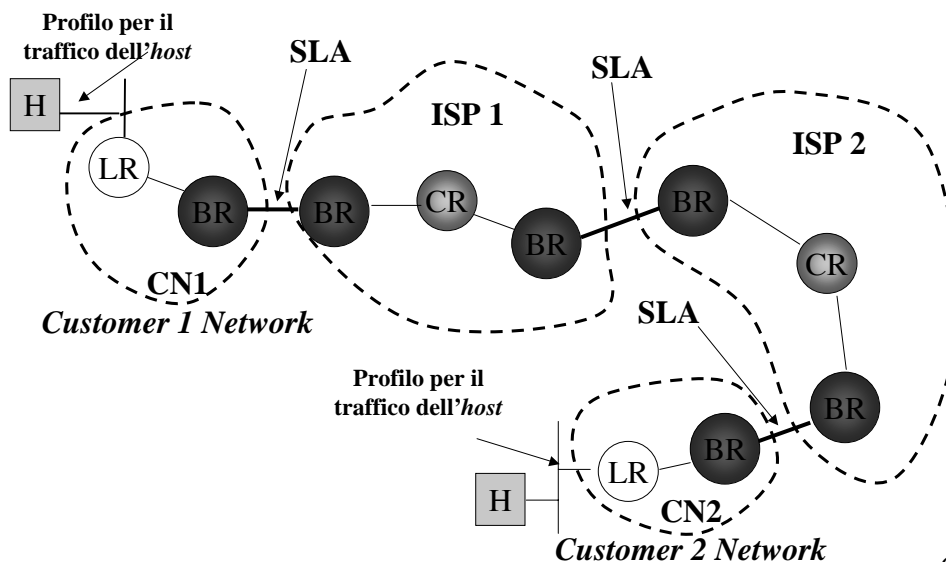


Service Level Agreement (SLA)

- In corrispondenza dell'attivazione di servizi differenziati, deve venir stabilito un "profilo di traffico" a cui il flusso generato deve sottostare.
- Questi profili sono definiti tramite *Service Level Agreement (SLA)*, che definiscono le classi supportate e il livello di traffico con le sue caratteristiche.
- Ogni area di confine, fra *host* e "Leaf Router" (LR), fra rete utente e ISP, fra domini diversi e diversi ISP, devono essere definiti dei Profili di Traffico o degli SLA che stabiliscano, per ogni classe, le caratteristiche del flusso.

6.69

SLA



6.70

SLA

- Gli SLA possono essere
 - statici (definiti per lunghe durate, mesi/anni).
 - dinamici, cioè attivati su richiesta, all'occorrenza.
- Per poter gestire gli SLA dinamici occorre un protocollo di segnalazione (RSVP?).
- Gli SLA dinamici devono ovviamente essere soggetti ad un controllo di accesso.

6.71

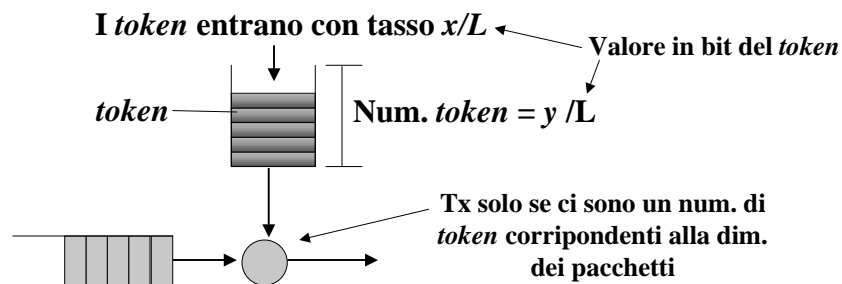
Metering e Conditioning

- Il *Metering* serve a verificare che i flussi in ingresso sia conformi agli SLA o ai profili definiti.
 - Agisce effettuando delle misure sui tassi medi e di picco
- Il *Conditioning* serve a intervenire sul traffico quando questo non risulta conforme al previsto
- Può operare le seguenti azioni
 - Riclassificare i pacchetti non conformi cambiando il valore del DS all'interno della classe o cambiandoli classe (ad es. portandoli alla classe *best-effort*)
 - Applicare degli *shaper*, ad esempio un *Leaky Buket*, per rimodellare il flusso
 - Eventualmente scartare dei pacchetti

6.72

Shaping- Policing

- *Linear bound arrival process:*
 $(\text{num. bit trasmessi in } t) \leq xt+y$
 $x = \text{tasso a lungo termine}$
 $y = \text{lungh. massima burst (deviazione massima)}$
- Implementazione: *Leaky Bucket*



6.73

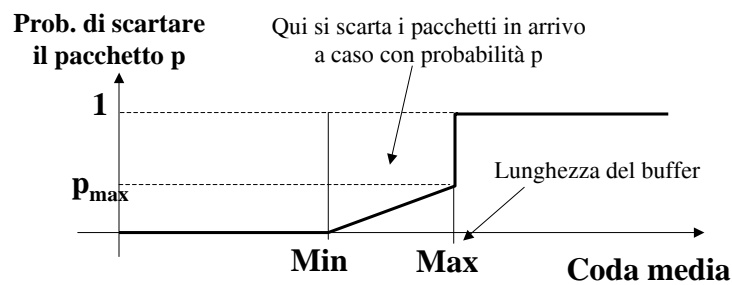
Buffer management

- In un caso semplice, la perdita di pacchetti, avviene in modo “naturale” in corrispondenza di un sovraccarico temporaneo, per riempimento della coda: i pacchetti che arrivano quando la coda è piena vengono scartati (*dropped*).
- Questo modo di procedere non è, generalmente, il più efficace perché da luogo a “burst” di pacchetti consecutivi persi che hanno due effetti:
 - Peggiorano la qualità di flussi non controllati
 - Tendono a sincronizzare i controlli di flusso del TCP dando luogo a comportamenti oscillatori poco efficienti

6.74

Random Early Detection (RED)

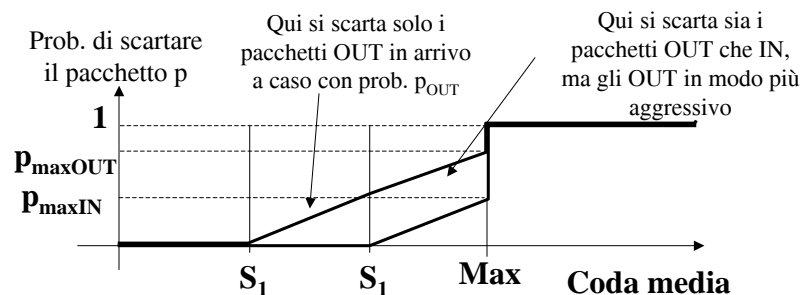
- Un modo per porre rimedio a questo problema è cercare di rendere le perdite "casuali".
- Un metodo per farlo prende il nome RED (*Random Early Detection*); al di sopra di una certa soglia sulla coda media (media esponenziale) introduce una probabilità di perdita che varia linearmente con il valore della coda media



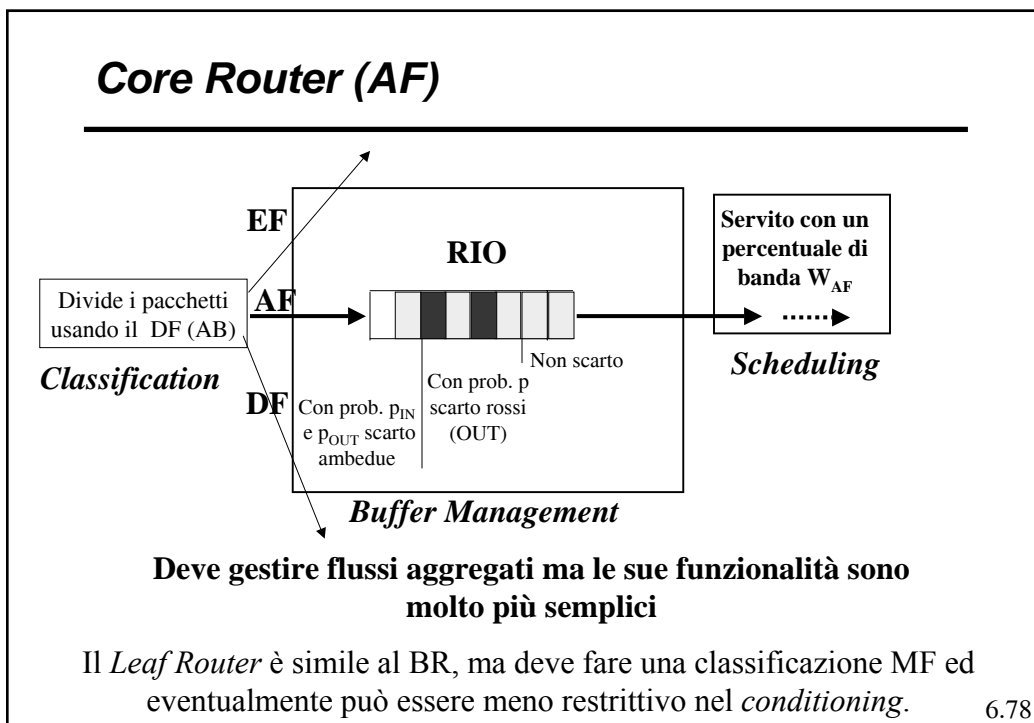
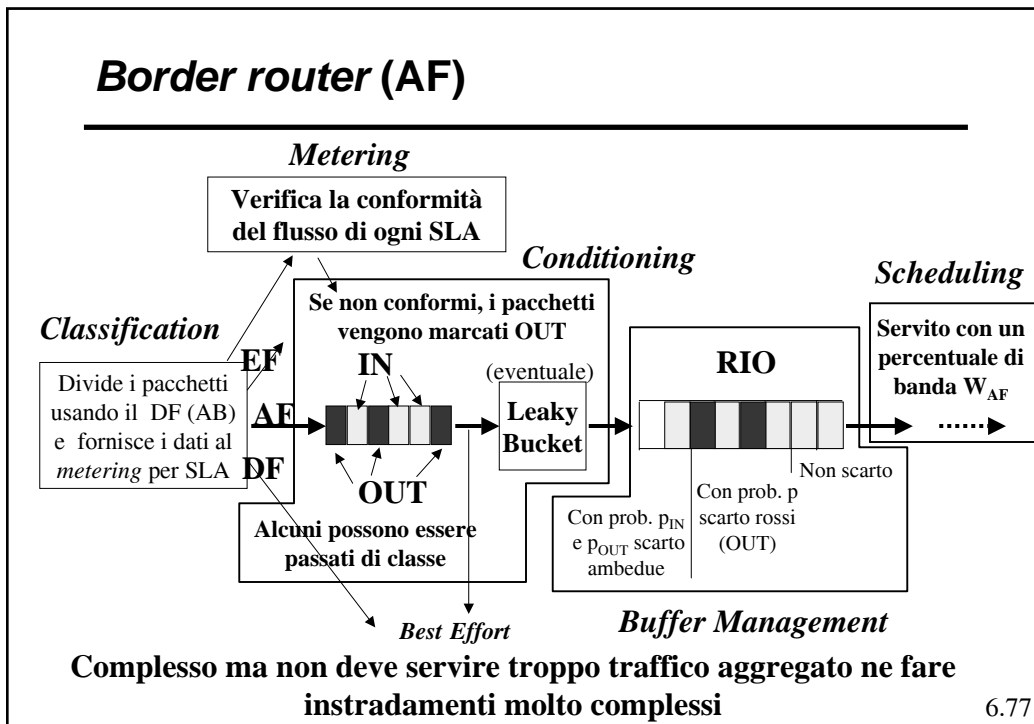
6.75

RIO

- Una seconda tecnica più sofisticata si chiama *Random early detection with In and Out (RIO)*.
 - In questo caso si suppone la presenza di due classi di pacchetti: IN e OUT (gialli e rossi).
 - Si applicano due RED separati per ciascuna classe:



6.76



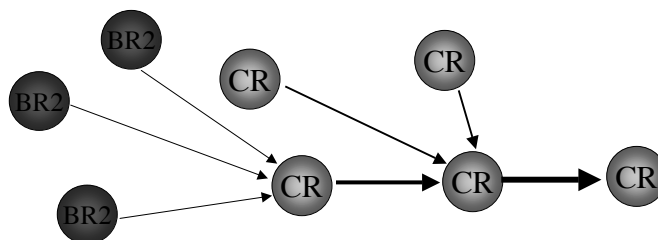
Expedited Forwarding (EF)

- Per i EF il discorso è simile al AF con alcune differenze:
 - Il traffico è sottoposto a *shaping* sia ai LR che ai BR
 - Il traffico in eccesso (sul tasso di picco) non è cambiato di classe ma scartato
 - Lo *scheduler* serve con priorità elevata il traffico EF, indipendentemente dal carico generato dagli altri traffici.
 - Il traffico EF è soggetto a controllo di accesso (gli SLA possono essere sia statici che dinamici).
 - La quantità di traffico EF ammesso nelle rete deve essere una percentuale ridotta (10%) della capacità totale del traffico in rete.

6.79

Expedited Forwarding (EF)

- Con questi presupposti, dato che in genere tutti i *link* in un *router* sono *full-duplex* e quindi la capacità in ingresso è uguale a quella d'uscita, se il flusso EF è minore del 10% ed è prioritario subisce sempre pochissima perdita e ritardo.
- In realtà non necessariamente detto che questo sia vero (perché sia così bisogna usare degli algoritmi di *routing* per la QoS o fare un management specifico)



6.80

Allocazione di Banda - BB

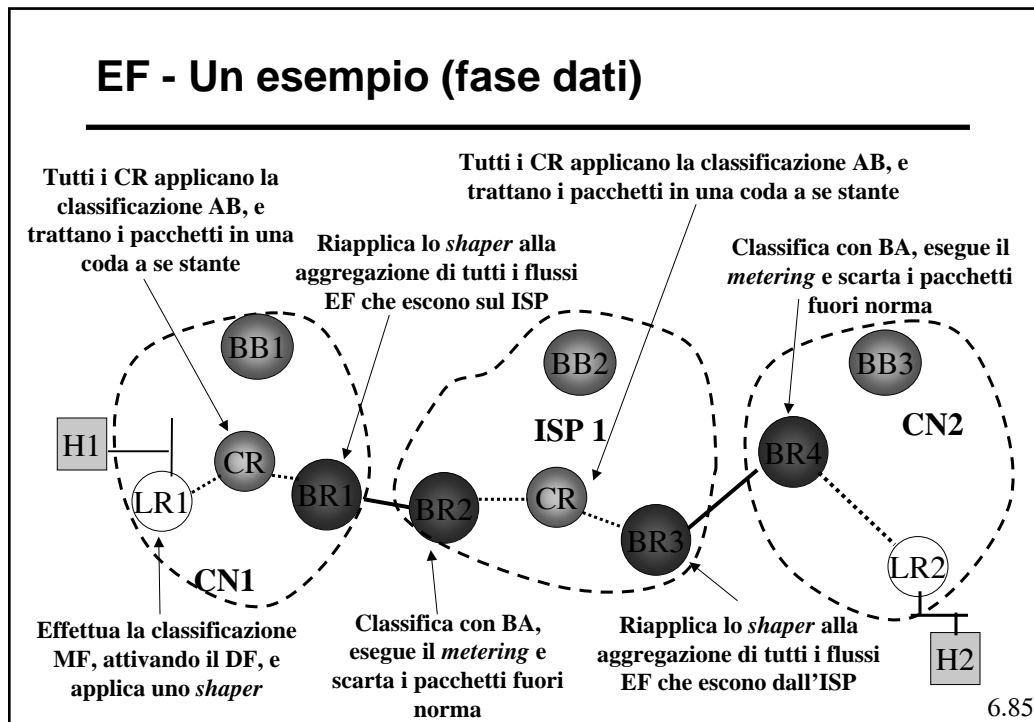
- Sebbene gli elementi architettura siano stati definiti, in realtà non è stato definito l'elemento che determina l'allocazione delle risorse ed eventualmente effettua il Controllo d'accesso.
- Tale elemento viene in genere indicato col nome di ***Bandwidth Broker***
- Si tratta di una entità logica che risiede in ogni dominio (di utente o di ISP).
- Nella rete dell'utente, il BB interagisce con l'host all'attivazione del servizio e configura il LR e tutti i *router* intermedi per permettere la realizzazione del servizio

6.81

Allocazione di Banda - BB

- All'interno degli ISP, se gli SLA sono statici, non è strettamente necessario un BB, in quanto le risorse possono essere allocate via *management*
- Se ci sono SLA dinamici, i BB sono necessari per configurare i *router* (BR e CR) e devono essere in grado di colloquiare fra loro anche fra domini diversi.
- Sebbene definiti architetturalmente, non sono definite (e neppure banali) le politiche attraverso le quali le risorse devono essere allocate.

6.82



Altri elementi importanti

- *MultiProtocol Label Switching (MPLS)*
- *QoS Routing (Constraint based routing)*
- *Traffic Engineering*
- ATM

6.86