



Universita' di Verona  
Dipartimento di Informatica



# Metodi di rete per garantire la Qualità del Servizio su rete IP

**Daide Quaglia**  
**a.a. 2009/2010**

(materiale tratto dalle lezioni del prof. J. C. De Martin – Politecnico di Torino)

1

## Sommario

- Definizione del problema
- Parametri di Qualità del Servizio
  - QoS per vari tipi di applicazioni
  - funzione utilita'
- Caratteristiche del traffico immesso
  - policing (token bucket)
- Modello Best Effort
- Resource reservation protocol (RSVP)
- Modello a Servizi Integrati
- Modello a Servizi Differenziati

2

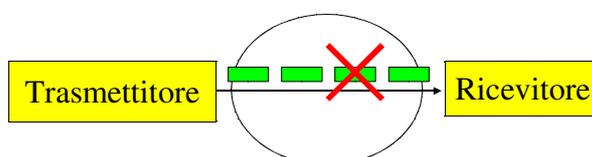
## Definizione del problema

- Le reti a commutazione di circuito avevano una intrinseca garanzia di qualità del servizio (QoS)
- La rete IP tradizionalmente non fornisce garanzie di QoS
- Si può assicurare agli utenti una QoS ?
- Nota: la gestione della QoS non crea banda dal nulla
  - se qualche utente verrà trattato meglio rispetto alla media, qualcun altro verrà trattato peggio

3

## Parametri di Qualità del Servizio

- Variazione max del ritardo end-to-end
- Frazione max di pacchetti persi oppure Throughput minimo
- Ritardo end-to-end max



4

## QoS e applicazioni

Error tolerant	Conversational voice and video	Voice messaging	Streaming audio and video	Fax
Error intolerant	Telnet, interactive games	E-commerce, WWW browsing,	FTP, still image, paging	E-mail arrival notification
	Conversational (delay <<1 sec)	Interactive (delay approx 1 sec)	Streaming (delay <10 sec)	Background (delay >10 sec)

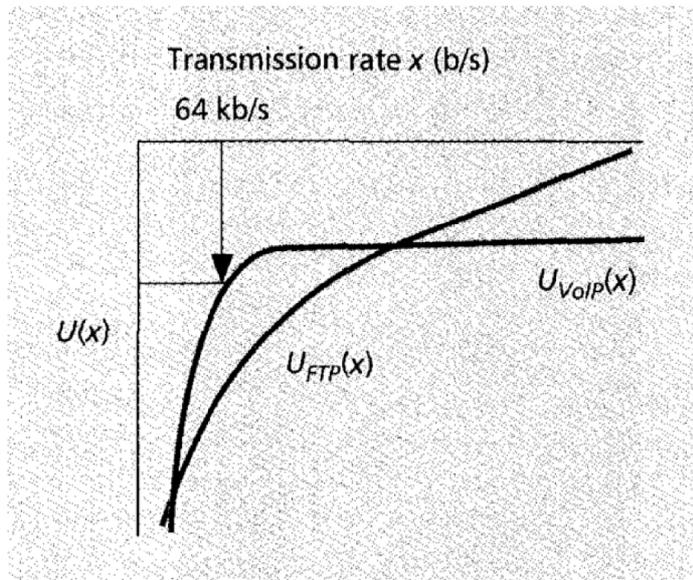
5

## QoS e applicazioni interattive

Medium	Application	Degree of symmetry	Data rate	Key performance parameters and target values		
				End-to-end One-way Delay	Delay Variation within a call	Information loss
Audio	Conversational voice	Two-way	4-25 kb/s	<150 msec preferred <400 msec limit Note 1	< 1 msec	< 3% FER
Video	Videophone	Two-way	32-384 kb/s	< 150 msec preferred <400 msec limit Lip-synch : < 100 msec		< 1% FER
Data	Telemetry - two-way control	Two-way	<28.8 kb/s	< 250 msec	N.A	Zero
Data	Interactive games	Two-way	< 1 KB	< 250 msec	N.A	Zero
Data	Telnet	Two-way (asymmetric)	< 1 KB	< 250 msec	N.A	Zero

6

## Funzione utilita'



7

## Modelli di traffico

8

## Parametri caratterizzanti

- Bitrate
  - Bitrate istantaneo
  - Bitrate medio
  - Bitrate di picco
- Inter-packet gap
- Burstiness
- Packet size
- Packet arrival time
- Packet arrival rate

9

## Bitrate

- Istantaneo  $B(t)$ 
  - Numero di bit che passano sul canale nell'unita' di tempo
- Dato un intervallo  $T$  di osservazione
  - Bitrate medio

$$\frac{1}{T} \int_0^T B(t) dt$$

- Bitrate di picco

$$\max_T(B(t))$$

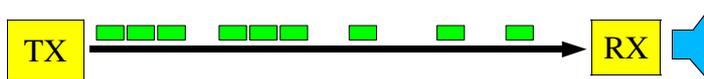
10

## Altri parametri

- Inter-packet gap
  - distanza temporale tra 2 pacchetti successivi
- Burstiness
  - lunghezza media (su un intervallo di osservazione) delle sequenze di pacchetti aventi inter-packet gap nullo
- Packet size
  - dimensione in byte del pacchetto
- Packet arrival time
  - istante di arrivo di un pacchetto al ricevitore
- Packet arrival rate
  - numero medio (su un intervallo di osservazione) di pacchetti che arrivano al RX nell'unità di tempo

11

## Calcolo della burstiness: esempio



$$\text{lunghezza media del burst} = \frac{(3+3+1+1+1)}{5}$$
$$= \frac{9}{5} = 1.8$$

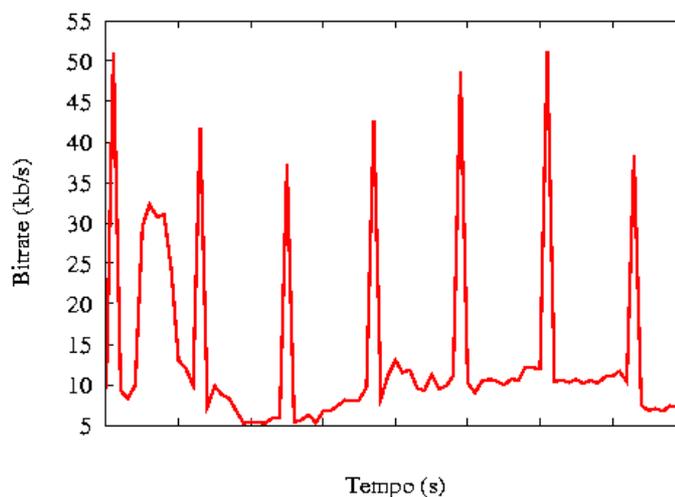
12

## Tipi di modelli di traffico

- Flussi Constant Bit Rate (CBR)
  - bitrate istantaneo costante e uguale al bitrate medio
  - Esempio:
    - conversazione telefonica tradizionale (64kb/s)
- Flussi Variable Bit Rate (VBR)
  - bitrate istantaneo variabile nel tempo
  - caratterizzato da un bitrate medio e di picco
  - Esempio:
    - traffico dati su una linea dialup
    - flusso di bit prodotto da un codificatore video MPEG

13

## Traffico VBR di MPEG



14

## Gli utenti e la rete

- Gli utenti
  - generano traffico avente certe caratteristiche
  - possono chiedere alla rete di assicurare una certa QoS per il proprio traffico
- La rete
  - accetta traffico dagli utenti
  - recapita i pacchetti verso le destinazioni
  - puo' concordare con l'utente che, a fronte di un traffico con certe caratteristiche, garantirà certi valori di QoS (Service Level Agreement - SLA)
  - puo' riservare risorse a certi utenti dotati di SLA

15

## Policing

- La rete deve verificare che l'utente rispetti il SLA
  - Si mette un filtro davanti al traffico in ingresso prodotto dall'utente.
  - Solo i pacchetti che passano il filtro rispettano il SLA e quindi avranno QoS garantita
  - Agendo su alcuni parametri del filtro si riproducono i valori del SLA specifico
- Tipi di filtro
  - Leaky bucket
  - Token bucket
- L'utente con un filtro analogo e gli stessi parametri puo' "modellare" il suo traffico in modo che rispetti sempre il SLA (traffic shaping)

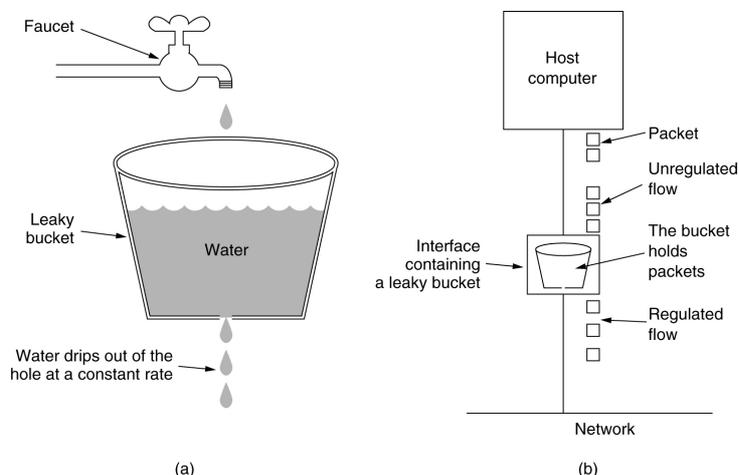
16

## Leaky bucket

- Usato per il policing accetta traffico VBR con un dato rate medio e lo trasforma in traffico CBR a tale rate.
- Usato come traffic shaper genera sempre e solo traffico CBR.
- ATT: introduzione di ritardi (critici x multimedia interattivo)

17

## Leaky bucket

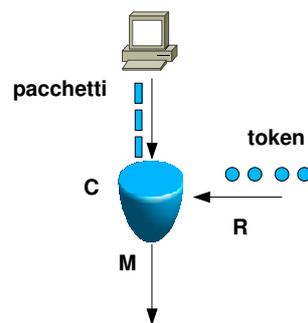


- $C$  = capacita' del bucket
- $b$  = bitrate in uscita

18

## Token bucket

- Un cesto di capacita'  $C$  [bit] riceve token di 1 bit ogni  $1/R$  secondi
- Un pacchetto in arrivo viene ammesso se ci sono token sufficienti per la sua dimensione nel cesto
- In uscita e' ammesso un rate massimo  $M$



19

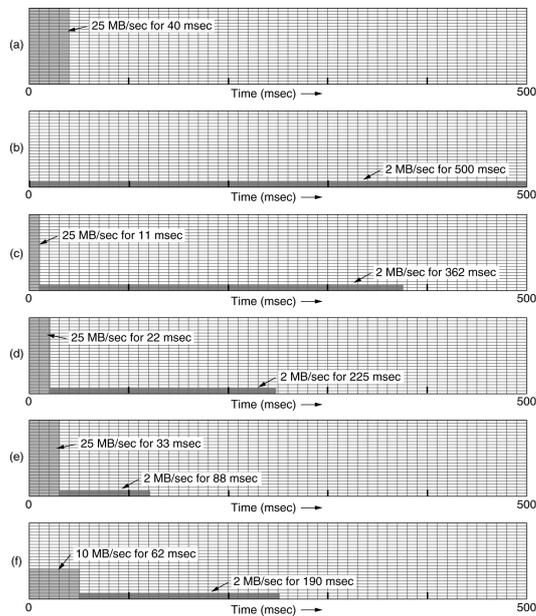
## Token bucket (2)

- Il token bucket ammette in uscita un traffico dato da
  - un bitrate medio  $R$
  - un bitrate di picco  $M$
  - la massima lunghezza di un burst al rate di picco pari a

$$\frac{C}{(M - R)}$$

20

## Leaky bucket vs. Token bucket



(a) Input to a leaky bucket.

(b) Output from a leaky bucket.

(c,d,e) Output from a token bucket with capacities of 250 KB, 500 KB, 750 KB

(f) Output from a 500KB token bucket feeding a 10-MB/sec leaky bucket.

21

## Modello Best Effort

- La rete non assicura nulla all'utente
- La QoS istantanea dipende da
  - carico della rete
  - politiche di traffic engineering e routing
  - controllo di congestione end-to-end (TCP)
  - meccanismi di scheduling e dimensione dei buffer

22

# Resource reservation Protocol (RSVP)

Un protocollo per la prenotazione di risorse  
in Internet

23

## Requisiti di progetto

- Deve supportare applicazioni unicast, multicast uno-a-molti e multi-a-molti
- Deve usare le risorse in modo efficiente
- Deve supportare ricevitori eterogenei
- Deve seguire principi di progetto dello stack TCP/IP
  - robustezza rispetto a perdite di pacchetti o guasti
  - adattamento ai cambiamenti di topologia
- Deve rappresentare un'integrazione dell'architettura tradizionale non una modifica

24

## **RSVP nell'architettura esistente**

- Messaggi incapsulati in IP
  - PATH (unicast o multicast)
  - RESV (unicast)
  - TEARDOWN (unicast o multicast)
- Per la propagazione dei messaggi si usano le normali informazioni di routing unicast o multicast
- Ad ogni “hop” interagisce con il Controllo di Ammissione del router e, se esistono le risorse, le prenota altrimenti avverte il richiedente dell'insuccesso

25

## **Cosa RSVP non fa**

- routing
- controllo di ammissione
- classificazione dei pacchetti
- schedulazione dei pacchetti

26

## RSVP: sommario

- Prenota risorse per ciascun flusso di dati di livello 4
- E' il ricevitore del flusso di dati a decidere se prenotare e quanto prenotare
- Non occorre conferma **end-to-end** di avvenuta prenotazione ma solo di fallimento

27

## RSVP: operazioni (1)

- Esempio: audioconferenza su gruppo multicast con una sorgente e molteplici ricevitori appartenenti al gruppo
- La sorgente invia periodicamente messaggi PATH al/ai ricevitore/i
- Ciascun ricevitore, in risposta ad un messaggio PATH, invia verso la sorgente un messaggio RESV con cui richiede la prenotazione di risorse.
- I messaggi RESV seguono il percorso inverso rispetto ai messaggi PATH.

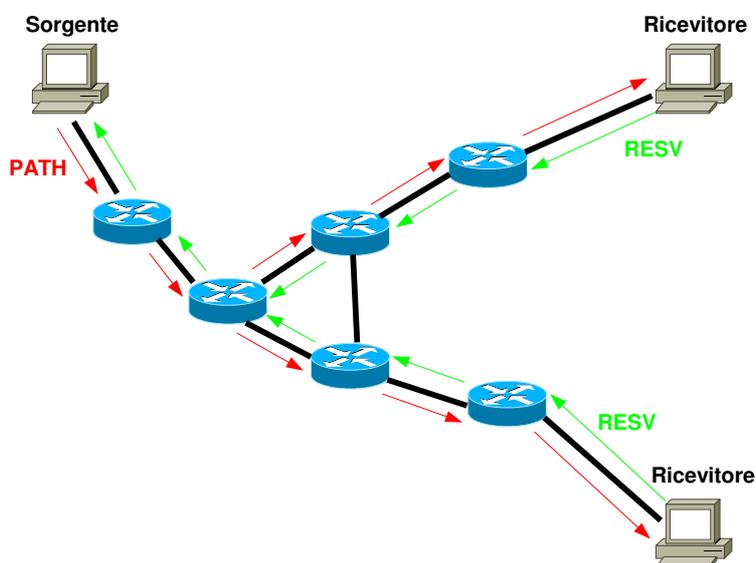
28

## RSVP: operazioni (2)

- I messaggi RESV, hop per hop, portano la richiesta di prenotazione di risorse del ricevitore a ciascun router e alla sorgente del messaggio PATH.
  - se un router non ha sufficienti risorse informa il ricevitore
  - se due o più messaggi RESV (quindi provenienti da ricevitori diversi) richiedono risorse per la stessa sorgente allora le richieste vengono fuse prima di essere propagate verso la sorgente
- Quando il messaggio RESV arriva alla sorgente questa è sicura che tutte le risorse sono state prenotate con successo
- Alla fine della sessione, sorgente e ricevitori inviano un messaggio di TEARDOWN

29

## Esempio



30

## Cambiamenti di topologia

- RSVP è robusto ai cambiamenti di topologia della rete in quanto i messaggi PATH e RESV vengono inviati periodicamente
  - in assenza di cambi di percorso i messaggi periodici rinfrescano semplicemente le prenotazioni
  - quando ci sono dei cambiamenti di topologia i messaggi PATH identificano i nuovi percorsi e i messaggi RESV li seguono a ritroso
  - le prenotazioni non più rinfrescate scadono liberando le risorse del router

31

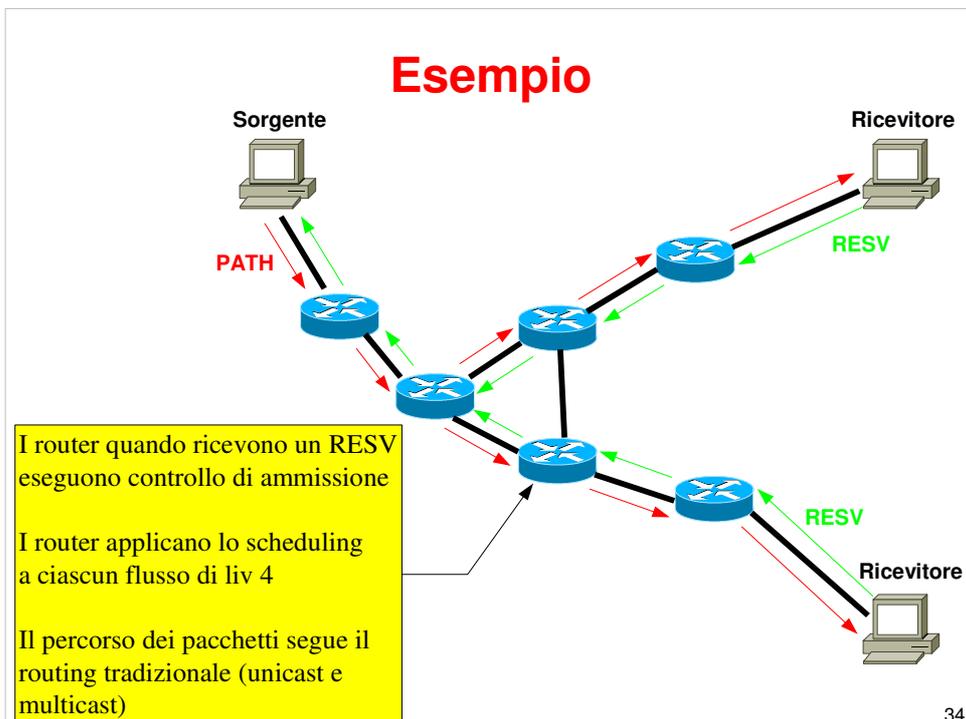
## Modello a Servizi Integrati (IntServ)

32

## Concetti fondamentali

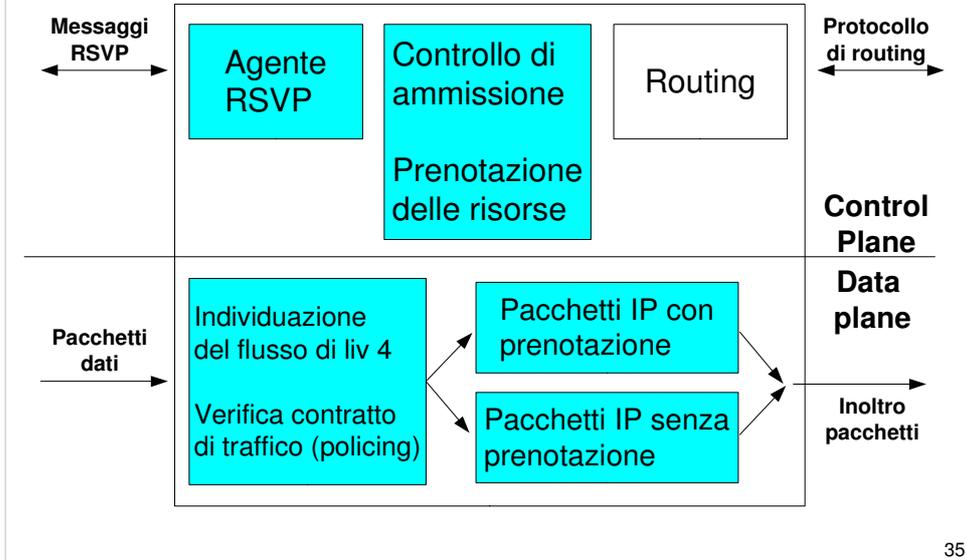
- Applicazioni specifiche richiedono QoS
  - garanzie sui ritardi max
  - garanzie sul throughput minimo
- La QoS viene fornita a flussi di livello 4
  - ogni flusso è identificato da IP sorgente, IP destinazione, porta sorgente, porta destinazione, protocollo (UDP/TCP)
  - ogni flusso informa la rete delle sue richieste (RSVP)
  - la rete accetta o rifiuta in base al tipo di richiesta e alle risorse disponibili
- Supporto QoS per flussi unicast e multicast
- Flussi QoS possono coesistere con flussi best effort
- I router mantengono info per ogni flusso

33



34

## Schema di router IntServ



## Controllo di ammissione

- Messaggio RESV relativo ad un certo flusso di livello 4
  - definizione della QoS richiesta (banda, ritardo)
  - caratterizzazione del traffico che invierà in rete (parametri token bucket)

## Classi di servizio IntServ

- Due classi di servizio standardizzate da IETF
  - Guaranteed Service (GS)
  - Controlled Load (CL)
- Riferimenti
  - Shenker, S., Partridge, C., and R. Guerin, "Specification of Guaranteed Quality of Service", RFC 2212, September 1997
  - Wroclawski, J., "Specification of the Controlled-Load Network Element Service", RFC 2211, September 1997

37

## Guaranteed Service

- Garanzie fornite a pacchetti conformi
  - conformita' definita tramite Token Bucket
  - Upper bound su ritardo di rete end-to-end
  - Nessuna garanzia sul ritardo medio
  - Nessuna garanzia sul jitter del ritardo
  - Nessuna perdita per overflow del buffer del router
    - lo spazio nei router viene prenotato
- I pacchetti non conformi sono trattati come traffico best effort

38

## Controlled Load

- Principio
  - fornire un servizio come in una rete best effort con basso carico e senza congestioni
- Garanzie
  - Nessuna garanzia sulle perdite
  - ...ma le perdite devono essere basse come in GS
  - Nessuna garanzia su ritardi e jitter
  - ...ma il ritardo di accodamento deve essere basso

39

## Bibliografia

- R. Hunt, A review of quality of service mechanisms in IP-based networks - integrated and differentiated services, multi-layer switching, MPLS and traffic engineering, Elsevier CompComm Mag., 2002
- <http://www.ietf.org>
  - RFC 1633: Integrated Services in the Internet Architecture: an Overview, 1994
  - RFC 2205: Resource ReSerVation Protocol (RSVP), 1997
  - RFC 2210: The Use of RSVP with IETF Integrated Services, 1997
- <http://ieeexplore.ieee.org> (down. da dentro la facolta')
  - P. P. White, RSVP and Integrated Services in the Internet: a Tutorial, IEEE Communication Magazine, Maggio 1997

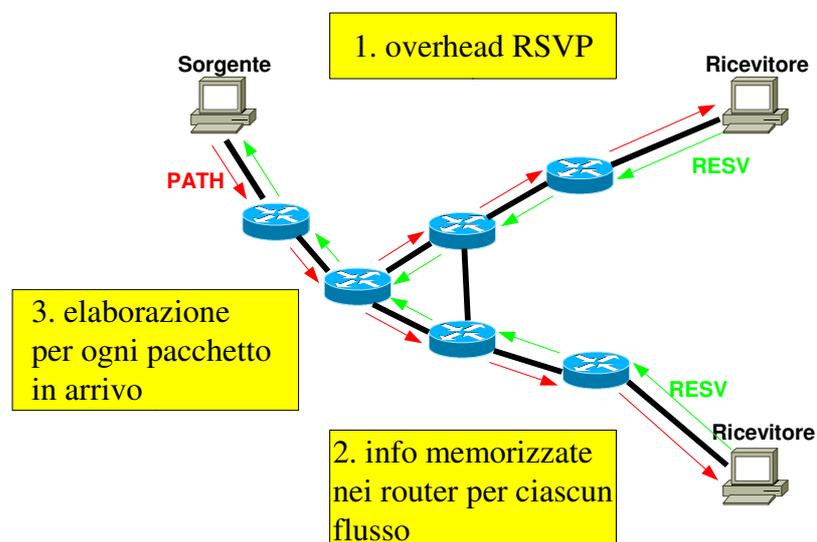
40

## Commento

- Vantaggi
  - garanzie fornite a ciascun flusso di livello 4
- Svantaggi
  - complessità in tutti i router della rete
    - ogni router in ogni parte della rete deve tenere info per ogni flusso di livello 4 (scalabilità)
    - gestione del protocollo RSVP
    - identificazione dei flussi di livello 4 (spacchettamento)
    - policing/queueing/scheduling dei flussi di livello 4
  - definizione delle caratteristiche del traffico in uscita da ogni applicazione
    - certe applicazioni potrebbero non saperlo

41

## Problemi di scalabilità' di IntServ



42

## **Problemi di scalabilita' di IntServ (2)**

- **Overhead RSVP**
  - elaborazione di una coppia PATH/RESV per ogni flusso per ogni periodo di refresh
- **Info memorizzate per ciascun flusso**
  - identificazione dei flussi (IP sorg, IP dest, porta sorg, porta dest, protocollo)
  - identificazione dell'hop precedente (per inoltrare RESV)
  - stato della prenotazione
  - risorse prenotate
- **Elaborazione per ogni pacchetto in arrivo**
  - associazione ad un flusso
  - verifica della prenotazione
  - verifica del contratto

43

## **Modello a Servizi Differenziati (DiffServ)**

44

## Limiti del modello IntServ

- Prenotazione risorse per singole sessioni
  - simile ad un modello a commutazione di circuito (contro la filosofia di Internet)
  - su Internet le sessioni sono spesso molto brevi → eccessivo overhead
- Prenotazione lungo tutto il percorso del flusso dati
  - Internet e' una connessione di reti diverse sotto amministrazioni diverse
- Complessità nel centro della rete
  - Internet ha sempre confinato la complessità ai bordi della rete mantenendo il "core" semplice ed efficiente

45

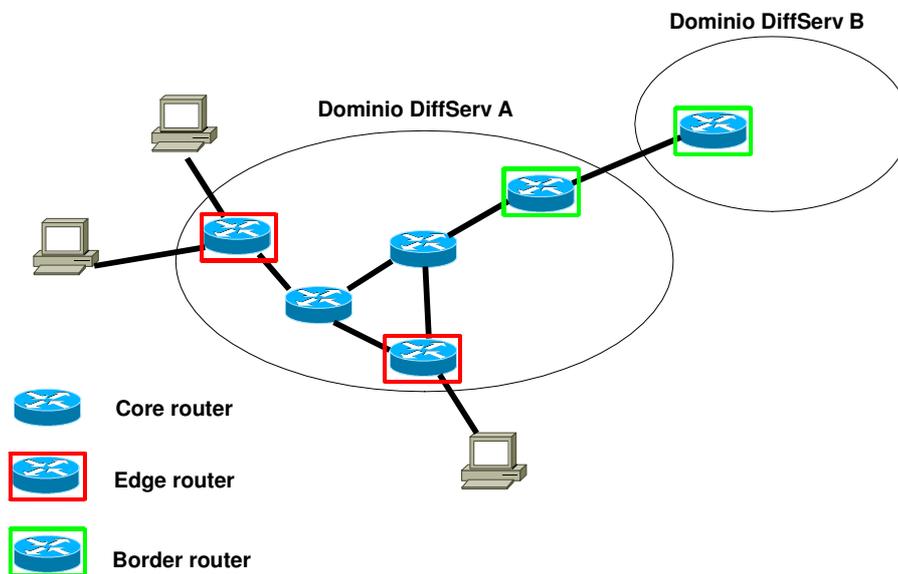
## Un approccio semplificato

- Permettere agli utenti di specificare SLA per alcune classi di traffico
  - Best effort, better effort, real-time
  - diverse garanzie su banda e ritardi per ogni tipo di classe

Error tolerant	Conversational voice and video	Voice messaging	Streaming audio and video	Fax
Error intolerant	Telnet, interactive games	E-commerce, WWW browsing,	FTP, still image, paging	E-mail arrival notification
	Conversational (delay <<1 sec)	Interactive (delay approx 1 sec)	Streaming (delay <10 sec)	Background (delay >10 sec)

46

## Architettura



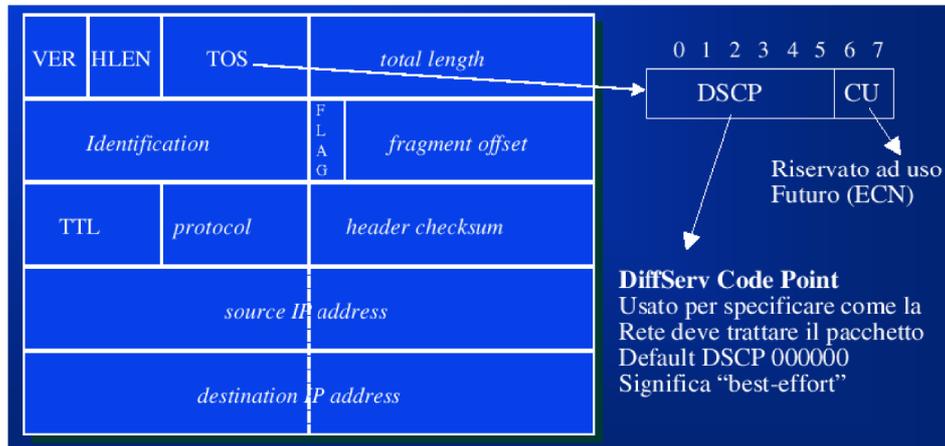
47

## Architettura (2)

- Dominio DiffServ: rete IP con amministrazione omogenea della QoS da fornire alle varie classi
- Edge router: tra host e rete DiffServ
- Border router: tra domini DiffServ
- Il tipo di classe a cui appartiene il pacchetto è indicato in un campo dell'header IP
  - elaborazione a livello 3 e non 4 come in IntServ !
- La marcatura dei pacchetti può essere fatta
  - negli host
  - negli edge router
  - nei border router

48

## Marcatura dei pacchetti IP



49

## Ruolo dei router

- Gli Edge router marcano il traffico proveniente dall'host in base al SLA oppure fanno il policing dei flussi già marcati
  - possono anche fare traffic shaping
- I Border router hanno il compito di mappare le classi di un dominio DiffServ in quelle di un altro dominio
  - l'amministratore potrebbe aver usato DSCP diversi per le stesse classi oppure accorpato più classi
- I Core router gestiscono ciascun pacchetto dati in base alla classe di appartenenza
  - code diverse per classi diverse (es. corsia preferenziale, cassa veloce al supermercato)

50

## Vantaggi

- La complessità computazionale è confinata il più possibile ai bordi della rete
  - (re)marking, policing, (re)shaping
- La differenziazione di trattamento nei core router è più leggera
  - livello 3 invece che 4
  - poche info di stato (solo parametri QoS delle classi)
  - la complessità dipende dal numero di classi e non dal numero di flussi di livello 4
  - il numero di classi solitamente non è molto alto
- La QoS può essere anche assicurata su parte dell'intero tragitto (diversamente da IntServ)

51

## Per-hop behavior (PHB)

- Comportamento che i core router applicano a ciascun pacchetto in base alla classe di appartenenza
- PHB standard
  - best effort
  - expedited forwarding (RFC 2598)
    - bassa percentuale di perdita
    - basso delay
    - basso jitter
  - assured forwarding (RFC 2597)
    - bassa percentuale di perdita
    - 4 sotto-classi servite indipendentemente

52

## **Expedited forwarding (EF)**

- Simile alla posta prioritaria
- Adatta per applicazioni multimediali interattive
- In ogni nodo, l'amministratore deve configurare parte della banda per il traffico EF
  - Il traffico EF deve usufruire della banda indipendentemente dall'intensità di altro traffico attraverso il nodo
  - la banda usata dai pacchetti EF dovrebbe essere, in media, pari almeno alla banda garantita durante qualsiasi intervallo di tempo uguale o più lungo del tempo per inviare un pacchetto di dimensione massima al rate pari alla banda

53

## **Assured forwarding (AF)**

- Simile alla lettera raccomandata
- Obiettivo: dare priorità all'accesso alla banda
  - utenza "business"
  - utenza dial-up a pagamento
  - utenza dial-up gratis
- Ogni classe usa ciò che rimane della banda e lascia il resto alla classe più bassa

54

## DiffServ: considerazioni finali

- assegnare tutto il traffico ad una stessa classe significa tornare al modello best-effort
- Es: rete IP con traffico dati + multimedia real-time
  - best-effort per il traffico dati
  - expedited e assured forwarding per multimedia
- Oggi con pochi servizi multimediali funziona
- Cosa succederà quando il traffico multimediale pareggerà o supererà il traffico dati ?
- Possibile soluzione
  - non tutti i pacchetti multimediali alle classi nobili (cercare un punto ottimo)
  - torna il compromesso rate (risorse) - distortion

55

## Bibliografia

- R. Hunt, A review of quality of service mechanisms in IP-based networks - integrated and differentiated services, multi-layer switching, MPLS and traffic engineering, Elsevier Comp. Comm. Mag., 2002
- <http://www.ietf.org>
  - RFC 2474: Definition of the Differentiated Services Field (DS Field) in the IPv4 and IPv6 Headers, 1998
  - RFC 2475: An Architecture for Differentiated Services, 1998
  - RFC 2597: Assured Forwarding PHB Group, 1999
  - RFC 2598: Expedited Forwarding PHB Group, 1999
  - RFC 2638: A Two-bit Differentiated Services Architecture for the Internet, 1999
- <http://ieeexplore.ieee.org>
  - B. E. Carpenter, K. Nichols, Differentiated Services in the Internet, Proceedings IEEE, vol. 90, n. 9, settembre 2002

56