



# Qualità di servizio nelle reti

---

A.A. 2005/2006

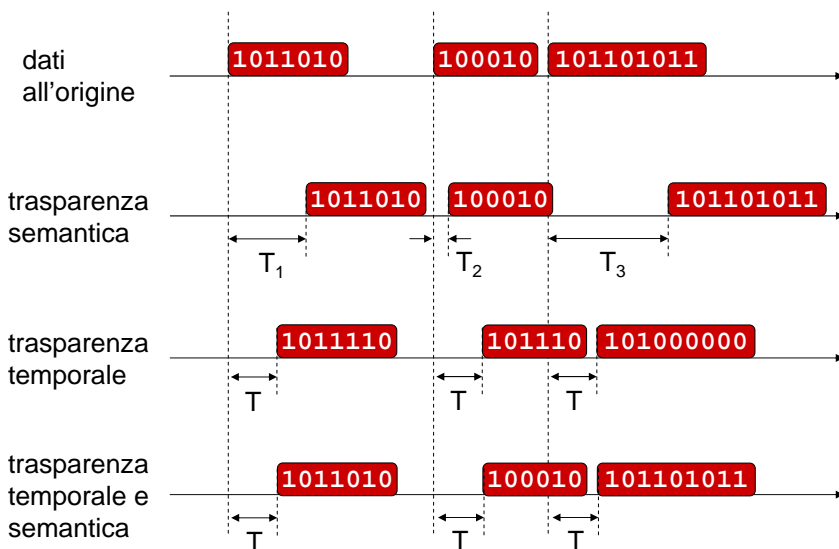
Walter Ceroni

## Reti multiservizio

---

- Reti che consentono il trasporto di diversi tipi di servizio (dati, voce, video) aventi diversi requisiti di qualità, in termini di
  - affidabilità
  - ritardo
  - variazioni del ritardo (jitter)
  - banda
- Applicazioni **non real-time**
  - richiedono trasparenza semantica (affidabilità)
  - utilizzano la ritrasmissione end-to-end in caso di errori
- Applicazioni **real-time**
  - richiedono trasparenza temporale (ritardo e jitter)
  - la rete stessa deve operare in modo da garantire basso ritardo e/o jitter limitato

## Trasparenza semantica e temporale



3

## Requisiti di qualità per diversi servizi

- High = requisito altamente critico
- Low = requisito poco critico

Application	Reliability	Delay	Jitter	Bandwidth
E-mail	High	Low	Low	Low
File transfer	High	Low	Low	Medium
Web access	High	Medium	Low	Medium
Remote login	High	Medium	Medium	Low
Audio on demand	Low	Low	High	Medium
Video on demand	Low	Low	High	High
Telephony	Low	High	High	Low
Videoconferencing	Low	High	High	High

Da A.S. Tanenbaum, "Computer Networks"

4

## Modi di trasferimento dell'informazione

---

- La modalità di trasferimento dell'informazione in una rete deve essere in grado di
  - supportare efficientemente l'ampia varietà di servizi offerti
  - adattarsi all'evoluzione dei requisiti dei servizi stessi
- Tradizionalmente sono stati utilizzati due modi di trasferimento dell'informazione
  - modo di trasferimento **a circuito**
    - un circuito fisico collega la sorgente alla destinazione
    - collegamento dedicato → assenza di contese a circuito attivato
    - possibilità di blocco all'accesso per carenza di risorse
  - modo di trasferimento **a pacchetto**
    - i dati viaggiano in unità informative separate
    - collegamento condiviso → possibili contese per le risorse
    - accodamento per risolvere le contese

5

## Modi di trasferimento dell'informazione

---

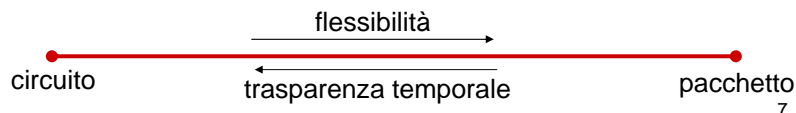
- Il modo di trasferimento a circuito fornisce
  - trasparenza temporale
  - scarsa flessibilità nell'allocazione della banda
  - scarsa flessibilità nel trattamento di nuovi servizi
  - scarsa efficienza per profili di traffico altamente variabili (bursty)
- Il modo di trasferimento a pacchetto fornisce
  - ritardi variabili
  - flessibilità nell'allocazione di banda
  - adattabilità a trattare servizi nuovi
  - efficienza nell'utilizzo delle risorse (multiplexazione statistica)

6

## Definizione di modo di trasferimento

---

- Un **modo di trasferimento** è definito da:
  - **schema di multiplazione**: identifica la modalità di utilizzazione di un canale di comunicazione all'interfaccia utente-rete e tra due nodi di rete
  - **principio di commutazione**: definisce le modalità secondo le quali l'informazione viene instradata all'interno dei nodi di commutazione
  - **architettura del protocollo**: definisce la stratificazione delle funzioni operate sull'informazione dai terminali e dai nodi della rete
- I modi di trasferimento possono essere collocati su una linea continua ideale ai cui estremi si trovano i modi a circuito e a pacchetto



7

## Modo di trasferimento a circuito

---

- E' quello usato dalla rete telefonica
- Schema di multiplazione
  - slotted
    - l'asse dei tempi è suddiviso in intervalli di durata prefissata (slot)
  - framed
    - gli slot vengono strutturati in trame (frame)
  - assegnazione statica della banda (TDM sincrono)
- Principio di commutazione
  - trasferimento orientato alla connessione
  - assegnazione fisica delle risorse
  - funzionamento sincrono
- Architettura protocollare
  - la multiplazione e la commutazione sono funzioni di strato 1

8

## Modo di trasferimento a pacchetto

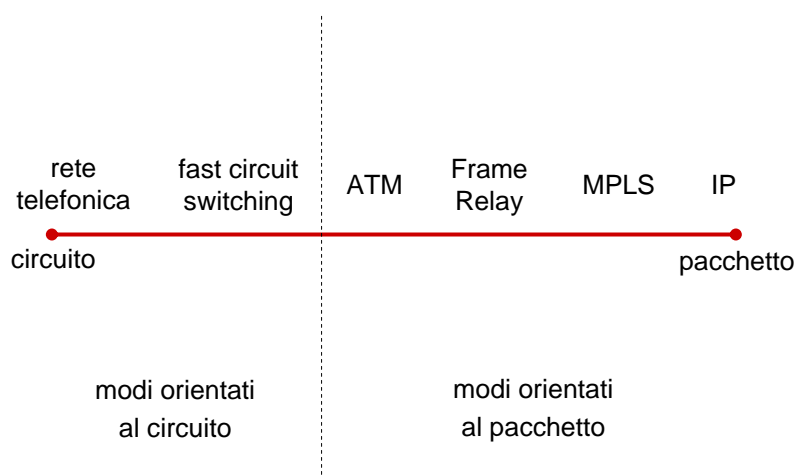
---

- E' quello usato dalla rete Internet
- Schema di multiplazione
  - unslotted, e quindi unframed
  - assegnazione dinamica della banda (TDM asincrono)
    - assegnazione della banda media o di picco
    - gestione delle contese tramite accodamento
- Principio di commutazione
  - trasferimento
    - senza connessione (IP)
    - orientato alla connessione (MPLS)
  - assegnazione logica delle risorse
  - funzionamento asincrono
- Architettura protocollare
  - nodi con funzioni di strato 3

9

## Esempi di modi di trasferimento

---



10

## La rete telefonica

---

- Trasmissione della voce tra utenti distanti
  - utilizzo di un segnale elettrico **analogico**
  - trasmissione punto-punto di tipo interattivo
    - richiede trasparenza temporale
  - topologia di rete a **stella gerarchica**
    - trasmissione analogica tra terminali e centrali (local-loop)
    - uso di tecniche digitali tra le centrali
  - collegamenti fisici tipici
    - doppini di rame nel local-loop
    - fibre ottiche o collegamenti radio tra centrali
  - il segnale analogico richiede 4 KHz di banda (voce intellegibile)
  - nelle centrali telefoniche si utilizza la **commutazione di circuito**
  - necessità di meccanismi di **segnalazione**
    - segnale di libero/occupato, composizione del numero, chiusura, ...

11

## Tecniche analogiche e digitali

---

- Tra terminali e centrali si trasmette in analogico
  - instaurazione di un circuito elettrico terminale-centrale
- I segnali analogici possono essere convertiti in digitale (conversione A/D), trasmessi e riconvertiti in analogico (conversione D/A); vale il **teorema del campionamento**
  - frequenza di campionamento  $\geq 2 \times$  banda del segnale
- Tra centrali si trasmette in digitale utilizzando la codifica **PCM** (Pulse Code Modulation)
  - voce con 4 KHz di banda lorda  $\rightarrow$  8000 campioni/sec
  - trasmissione di un campione ogni 125  $\mu$ s
  - moltiplicazione a divisione di tempo sincrona (S-TDM)
  - campioni codificati con 8 bit
  - singolo canale telefonico a  $8 \times 8000 = 64$  kbps
  - problemi di distribuzione del sincronismo nella rete

12

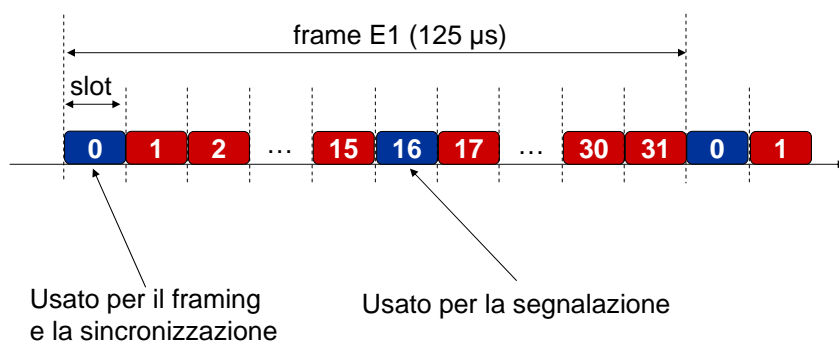
## Problematica del sincronismo di rete

- Le trasmissioni digitali prevedono l'invio di un flusso di bit ad una velocità (bit rate) determinata da un oscillatore locale
- Problema fondamentale: un oscillatore progettato per funzionare ad una velocità nominale in pratica presenta un errore aleatorio e variabile nel tempo che al più può essere contenuto all'interno di una certa tolleranza
- Sono possibili due scenari per la sincronizzazione
  - **reti plesiocrone**: gli oscillatori posti su nodi distinti sono indipendenti, e forniscono velocità leggermente diverse
  - **reti sincrone**: viene distribuito un sincronismo di rete a cui vengono asserviti gli oscillatori di tutti i nodi; le velocità generate sono pertanto eguali a meno del rumore

13

## Sistema TDM/PCM plesiocrono

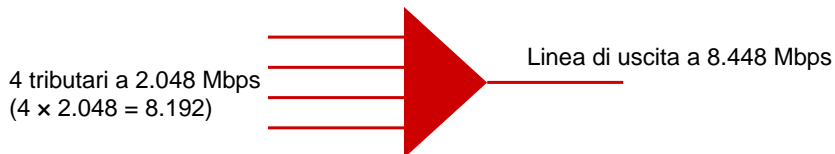
- Si moltiplicano diversi canali telefonici sulla stessa linea
- Framing ITU-T di primo livello (E1)
  - moltiplica 30 canali tributari + 2 di sincronizzazione e segnalazione
  - $64 \text{ kbps} \times 32 = 2.048 \text{ Mbps}$



14

## Sistema TDM/PCM plesiocrono

- Successive moltiplicazioni permettono piccole variazioni di bit-rate tra tributari diversi (sistema plesiocrono)
  - gli eventuali vuoti in uscita sono riempiti dai bit di giustificazione, che possono essere individuati ed eliminati in ricezione
  - per estrarre un canale bisogna demoltiplicare tutto



Europa	USA	Giappone
2.048 Mbit/s (E1)	1.544 Mbit/s (T1)	1.544 Mbit/s
8.448 Mbit/s	6.312 Mbit/s	6.312 Mbit/s
34.368 Mbit/s (E3)	44.736 Mbit/s (T3)	32.064 Mbit/s
139.264 Mbit/s	274.176 Mbit/s	97.728 Mbit/s
565.148 Mbit/s		

15

## Reti TDM sincrone

- Per evitare gli inconvenienti delle reti plesiocrone si può implementare una rete sincrona; occorre
  - un centro che generi il sincronismo e lo distribuisca a tutti i nodi mediante appositi canali
  - dei meccanismi di recupero per permettere alla rete di funzionare in caso di caduta del centro stesso o dei collegamenti col centro
- L'architettura sopra descritta è molto costosa e non fu realizzata quando furono introdotte le trasmissioni numeriche
  - sistema esclusivamente plesiocrono fino agli anni '90
- Al momento dell'introduzione dei sistemi in fibra ottica si decise che conveniva passare alla rete sincrona
  - **Synchronous Optical NETWORK (SONET)** (standard ANSI)
  - **Synchronous Digital Hierarchy (SDH)** (standard ITU-T)

16



## Gerarchia SONET/SDH

---

SONET	SDH	Bit-rate (Mbps)
STS-1 / OC-1	---	51.84
STS-3 / OC-3	STM-1	155.52
STS-9 / OC-9	STM-3	466.56
STS-12 / OC-12	STM-4	622.08
STS-18 / OC-18	STM-6	933.12
STS-24 / OC-24	STM-8	1244.16
STS-36 / OC-36	STM-12	1866.24
STS-48 / OC-48	STM-16	2488.32
STS-192 / OC-192	STM-64	9953.28
STS-768 / OC-768	STM-256	39813.12

17

## Qualità di servizio: applicazione audio

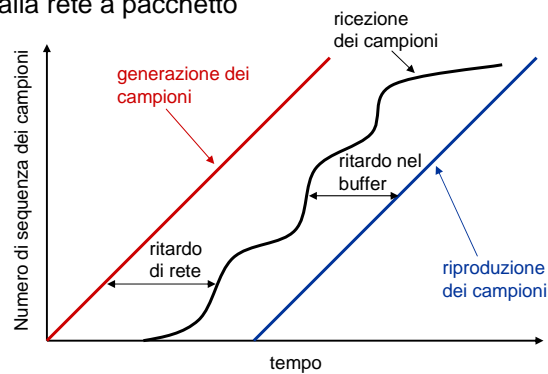
---

- Un'applicazione audio genera dati ottenuti da una conversione A/D che vengono inseriti in pacchetti e trasmessi attraverso la rete
- Al ricevitore i dati devono essere consegnati con la tempistica appropriata per la conversione D/A
  - ogni campione vocale deve essere ricevuto 125 microsecondi dopo l'istante di ricezione del campione che lo precede
- Per far funzionare l'applicazione audio bisogna garantire che tutti i campioni attraversino la rete con lo stesso ritardo (trasparenza temporale)
  - caratteristica intrinseca delle reti a circuito
  - problematico in una rete a pacchetto che fa uso di tecniche store and forward

18

## Qualità di servizio: applicazione audio (pacchetto)

- Al ricevitore si memorizzano i campioni in una memoria tampone (**playback buffer**) in modo da garantire la consegna con la corretta tempistica
  - ogni campione ricevuto viene riprodotto dopo l'aggiunta di un ritardo variabile per compensare il ritardo (aleatorio) introdotto dalla rete a pacchetto



19

## La qualità di servizio nella rete Internet

- Il modello **best effort** è la modalità su cui si basa il funzionamento attuale di Internet
  - la rete ha l'unico obiettivo di consegnare i pacchetti e lascia agli estremi della rete il compito di recuperare situazioni di errore
  - non è sufficiente per le applicazioni real-time
- Occorre un nuovo modello operativo di rete che consenta di garantire il livello di servizio richiesto dalle applicazioni
- IETF ha proposto due modelli
  - **Integrated Services (IntServ)**: fornisce la qualità di servizio a livello di singola applicazione o di singolo flusso
  - **Differentiated Services (DiffServ)**: fornisce la qualità di servizio a livello di classi di dati o traffico aggregato

20

## Modello Integrated Services

---

- Integrated Services è un gruppo di lavoro di IETF che ha operato principalmente negli anni 1995-97
- In RFC 1633 è descritto il modello IntServ
- In RFC 2205 è definito il protocollo RSVP utilizzato per riservare risorse di rete
- In RFC 2210 sono specificate le modalità in cui RSVP debba essere usato in ambito IntServ
- Altre RFC (2211, 2212, ...) descrivono ulteriori dettagli

21

## IntServ: classi di servizio e flussi

---

- IntServ definisce due classi di servizio
  - **guaranteed services**: è definita per le applicazioni non tolleranti per le quali un pacchetto non può mai arrivare in ritardo
  - **controlled load**: è definita per applicazioni in grado di adattarsi allo stato della rete
- Un'applicazione che genera un **flusso** di pacchetti deve comunicare alla rete il tipo di servizio richiesto
  - le informazioni che vengono fornite alla rete sono chiamate **specifiche di flusso**:
    - tipo di servizio (es. guaranteed services o controlled load)
    - valore dei parametri di servizio (es. ritardo massimo consentito o tasso di perdita massimo consentito)
    - caratteristiche del traffico (es. banda media, banda di picco o descrizione più elaborata della banda richiesta)

22

## IntServ: descrizione della banda richiesta

---

- Consiste nella specifica del filtro **token bucket**
  - descritto da due parametri
    - **R** = velocità di generazione dei token
    - **B** = capacità del contenitore di token (bucket)
  - per poter trasmettere un byte bisogna possedere un token
    - i token si accumulano nel bucket alla velocità di R token al secondo
    - non si possono accumulare più di B token
  - quando il bucket è pieno si possono inviare B byte alla velocità che si vuole, purché su un periodo di tempo sufficientemente lungo non si trasmettano più di R byte al secondo
  - esempio: R = 1 Kbyte/s, B = 512 Kbyte, 1024 Kbyte da inviare, bucket pieno
    - posso trasmettere subito 512 Kbyte e il resto a velocità R  
→ impiego 513 s ma al termine il bucket è vuoto
    - posso trasmettere sempre a velocità R  
→ impiego 1024 s ma al termine il bucket è pieno di token

23

## IntServ: funzioni implementate

---

- **Controllo di ammissione**
  - in relazione ad una richiesta di servizio si deve stabilire se la rete è in grado di garantire le specifiche sulla base dello stato attuale
  - se le specifiche sono eccessive, la richiesta deve essere rifiutata
  - si deve controllare che un flusso precedentemente ammesso non superi i limiti imposti dalle specifiche
- **Prenotazione delle risorse**
  - meccanismo utilizzato per allocare risorse a valle di una richiesta e verificare che questa sia ammissibile
- **Classificazione e scheduling**
  - insieme dei meccanismi attuati dai router che consentono di soddisfare i requisiti di un flusso ammesso

24

## IntServ: prenotazione delle risorse

---

- Il protocollo di prenotazione usato da IntServ è **RSVP** (**resource ReSerVation Protocol**)
  - il trasmettitore invia il messaggio **PATH** contenente
    - le caratteristiche del flusso di traffico generato dal trasmettitore
    - il percorso dal trasmettitore al ricevitore (aggiornato dai nodi attraversati)
  - dopo avere ricevuto il PATH, il ricevitore effettua la prenotazione mediante il messaggio **RESV** che
    - contiene le specifiche di flusso complete
    - viene inviato a ritroso lungo il percorso fino al trasmettitore
  - ogni router lungo il percorso vede la richiesta e cerca di allocare le risorse necessarie
    - se la richiesta può essere soddisfatta, il router invia il messaggio RESV al router successivo
    - altrimenti invia un messaggio di errore al ricevitore
  - i messaggi PATH e RESV vengono ripetuti ogni 30 secondi

25

## IntServ: prenotazione delle risorse

---

- Quando un router o un link va fuori servizio
  - i protocolli di routing provvedono automaticamente a realizzare un nuovo percorso tra trasmettitore e ricevitore
  - i successivi messaggi PATH seguono e registrano il nuovo percorso
  - i messaggi RESV seguenti effettuano la prenotazione lungo il nuovo percorso
  - intanto i router sul vecchio percorso, non ricevendo più messaggi RESV, rilasciano le risorse allocate
- Meccanismo adatto anche alle trasmissioni multicast
  - lo stesso flusso generato da un trasmettitore deve raggiungere ricevitori multipli
  - quando un messaggio RESV percorre a ritroso l'albero multicast è probabile che trovi un tratto in cui è già stata fatta prenotazione di risorse per la stessa applicazione

26

## IntServ: funzioni dei router

---

- Una volta effettuata la prenotazione ogni router del percorso deve eseguire due funzioni
- **Classificazione**
  - si analizza l'intestazione di ogni pacchetto per determinare a quale flusso appartiene
    - indirizzo IP sorgente e destinazione
    - porte TCP/UDP sorgente e destinazione
    - identificativo del protocollo
- **Scheduling**
  - si decide la modalità di gestione delle code in modo che i flussi di pacchetti ottengano il servizio richiesto
  - tipicamente si usano code separate per ciascun tipo di servizio
  - si prelevano i pacchetti dalle code dando priorità ai flussi con requisiti più stringenti

27

## IntServ: problemi di scalabilità

---

- Nel modello best effort i router non memorizzano alcuna informazione sui flussi che li attraversano
- Nel modello IntServ ogni flusso che passa attraverso un router potrebbe avere delle particolari specifiche e richiedere una differente prenotazione
  - al crescere delle dimensioni della rete il numero di informazioni memorizzate in ogni nodo e la quantità di dati di segnalazione scambiati potrebbero diventare molto grandi
- **Esempio**
  - link a 2.5 Gbit/s
  - flussi audio a 64 Kbit/s
  - numero totale di flussi = circa 39.000 ciascuno dei quali richiede una diversa prenotazione che deve essere aggiornata periodicamente

28

## Modello Differentiated Services

---

- Descritto in RFC 2475
- Le risorse vengono allocate ad intere **classi di servizio** anziché ai singoli flussi (maggiore scalabilità)
- Si definisce solo il comportamento dei singoli router, senza utilizzare segnalazione end-to-end (**Per-Hop Behaviour – PHB**)
  - si utilizza il campo ToS (Type of Service) dell'intestazione IP per identificare il PHB
  - tutti i router appartenenti allo stesso dominio amministrativo (**DiffServ domain**) devono adottare la stessa definizione di classi di servizio e garantire allo stesso modo i requisiti di qualità
  - il campo ToS dei pacchetti IP viene impostato all'accesso al dominio DiffServ nei cosiddetti **edge router**, a seconda del tipo di traffico trasportato e della classe di servizio a cui esso appartiene

29

## DiffServ: Expedited Forwarding (EF)

---

- PHB standard definito in RFC 3246
- Considera una classe di servizio prioritaria il cui inoltro deve essere accelerato rispetto al traffico regolare
- Il traffico di tipo EF ha stringenti requisiti di qualità
  - ritardo limitato
  - jitter limitato
  - perdite limitate
- Il traffico EF deve trovare sempre le risorse disponibili, a costo di maggiore congestione del traffico regolare
- Si implementa tramite **accodamento con priorità**
  - si trasmettono prima i pacchetti EF, poi quelli regolari
- La percentuale di traffico EF deve essere minore di quello regolare per ottenere davvero differenziazione

30

## DiffServ: Assured Forwarding (AF)

---

- PHB standard definito in RFC 2597
- Definisce 4 classi di servizio, ciascuna con 3 diverse priorità → in tutto 12 PHB diversi
- Si garantisce una banda minima e perdita limitata
- Il profilo di traffico per un servizio AF potrebbe essere del tipo:
  - l'utente  $X$  è abilitato ad inviare fino a  $B_x$  Mbit/s di traffico AF
  - se resta nei limiti, i pacchetti sono marcati come "in-profile"
  - se ne invia di più, i pacchetti in eccesso sono marcati come "out-profile" e perdono il loro livello di priorità
- Si basa su **algoritmi avanzati di accodamento**