

# Qualità del Servizio per applicazioni multimediali

1

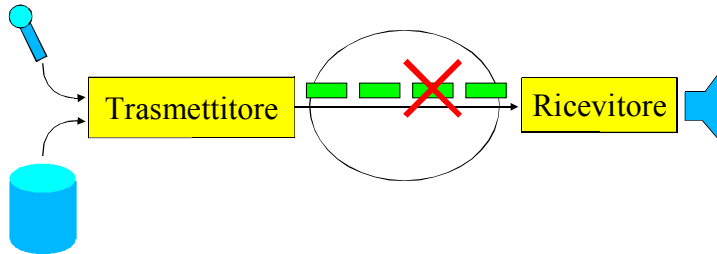
## Sommario

- Perdita di pacchetti
- Errori di trasmissione
- Ritardo medio end-to-end
- Jitter
- Modelli di canale
- Modelli di traffico

2

## Perdita di pacchetti

- Def: certi pacchetti non arrivano al decodificatore



3

## Perdita di pacchetti (2)

- Cause
  - Congestione della rete
    - overflow della coda del router
    - no ritrasmissioni per contenere i ritardi (UDP)
  - Ritardo molto elevato e timeout del ricevitore
  - Errori sui bit rilevati ma non corretti

4

## Perdita di pacchetti (3)

- Rilevazione
  - numero progressivo nell'header del pacchetto multimediale
  - checksum o CRC per rilevare (non corregg.) errori sui bit
- Misura
  - Packet loss rate (PLR) su una certa finestra temporale

$$PLR = \frac{\text{numero pacchetti persi}}{\text{numero pacchetti spediti}}$$

- Finestra temporale piccola --> valore istantaneo
- Finestra temporale grande --> valore medio

5

## Perdita di pacchetti (4)

- Effetti
  - generazione di pause di silenzio (voce, audio)
  - congelamento del video
  - degrado della qualità a causa della sostituzione dei campioni mancanti con loro stime a partire dai campioni vicini ricevuti correttamente (**concealment**)



6

## Errori di trasmissione

- Def: certi bit cambiano valore e tale evento non viene rilevato dal ricevitore
- Cause (soprattutto nei canali radio)
  - interferenza tra nodi
  - attenuazione del segnale per distanza, ostacoli
- Misura
  - Bit error rate (BER) su una certa finestra temporale

$$BER = \frac{\text{numero di bit errati}}{\text{numero totale di bit}}$$

- Finestra temporale piccola --> valore istantaneo
- Finestra temporale grande --> valore medio

7

## Errori di trasmissione (2)

- Effetti
  - degrado della qualità a causa dell'errata decodifica
  - pericolo di crash del decodificatore se questo è implementato in maniera non robusta

8

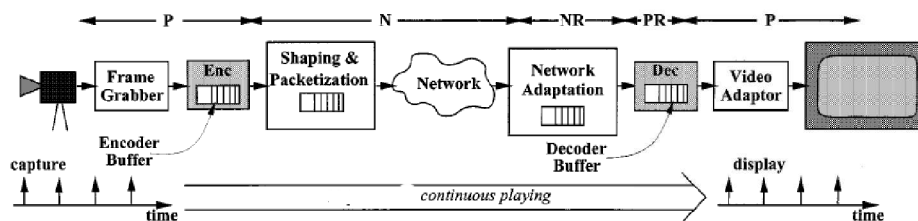
## Ritardo end-to-end

- Def: tempo intercorrente tra l'istante in cui la grandezza fisica (luce, suono) viene campionata e l'istante in cui il corrispondente campione viene riprodotto al ricevitore
- Al fine di una riproduzione fluida il ritardo end-to-end dovrebbe essere costante.

9

## Ritardo end-to-end (2)

- Componenti
  - compressione (ritardo algoritmico + tempo di elaboraz.)
  - accodamento prima della trasmissione
  - propagazione
  - accodamento ed elaborazione nei router
  - accodamento prima della decompressione
  - decompressione (tempo di elaborazione)



10

## Stima del ritardo end-to-end

- Al ricevitore non è possibile conoscere il ritardo end-to-end in maniera assoluta a causa della mancanza di un clock comune tra TX e RX
- Stima dalla distanza temporale tra i pacchetti
  - $R_i$  istante di arrivo del pacchetto  $i$ -esimo
  - $T$  intervallo tra la riproduzione di 2 pacchetti consecutivi

$$D_i = R_i - R_{i-1} - T$$

- idealmente  $D_i = 0$
- in pratica: valor medio  $\sim$  nullo

11

## Valor medio di $D_i$

- Calcolo esatto
  - Sia  $\{D_i\}$  l'insieme dei ritardi misurati su  $N$  pacchetti

$$\mu_D = \frac{\sum_1^N D_i}{N} \approx 0$$

- Stima effettuata "al volo" al ricevitore

$$\bar{D}_i = \alpha D_i + (1 - \alpha) \bar{D}_{i-1} \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad \alpha = \frac{1}{8}$$

12

## Variazione di $D_i$

- Calcolo esatto (deviazione standard)
  - Sia  $\{D_i\}$  l'insieme dei ritardi misurati su  $N$  pacchetti

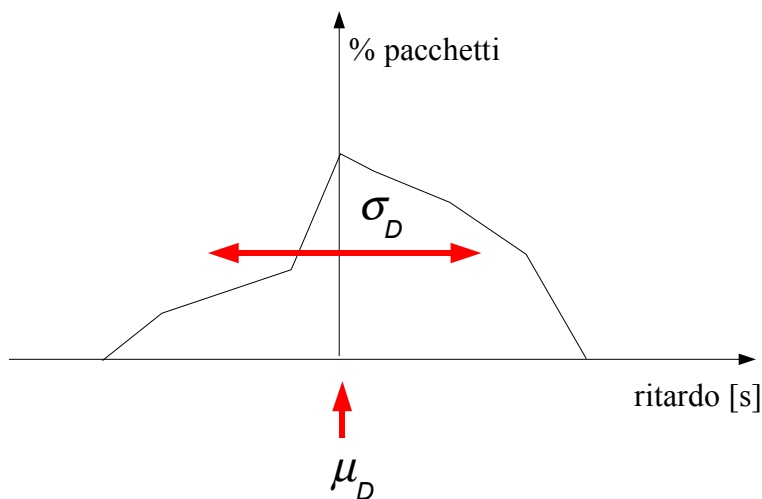
$$\sigma_D = \sqrt{\frac{\sum_1^N (D_i - \mu_D)^2}{N}} \approx \sqrt{\frac{\sum_1^N D_i^2}{N}}$$

- Stima effettuata “al volo” dal ricevitore

$$J_i = \alpha |D_i| + (1 - \alpha) J_{i-1} \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad \alpha = \frac{1}{16}$$

13

## Distribuzione dei $D_i$



14

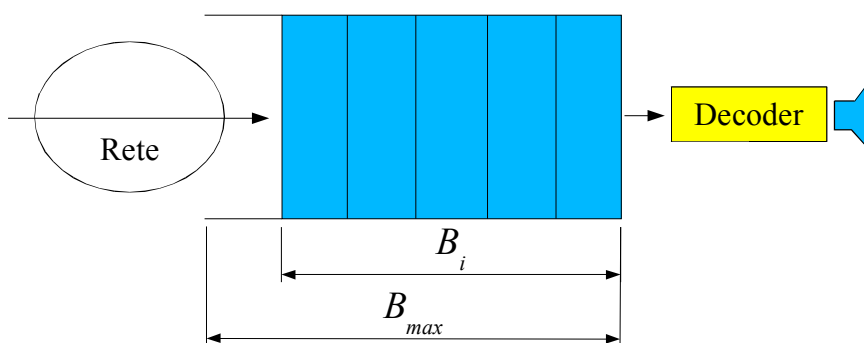
## Jitter

- **Def: variazione del ritardo end-to-end**
- **Cause: variazione nel tempo delle condizioni del canale di comunicazione**
  - variazioni del traffico totale nella rete
  - variazioni della qualità del segnale radio
    - movimento del trasmettitore e/o ricevitore
      - presenza di ostacoli
      - attenuazione del segnale con la distanza
    - movimento di altri nodi che vanno ad interferire con trasmettitore e/o ricevitore
- **Effetti**
  - ritardo elevato (vedi slide precedenti) e timeout
  - arrivo “a valanga” dei pacchetti

15

## Buffer anti-jitter

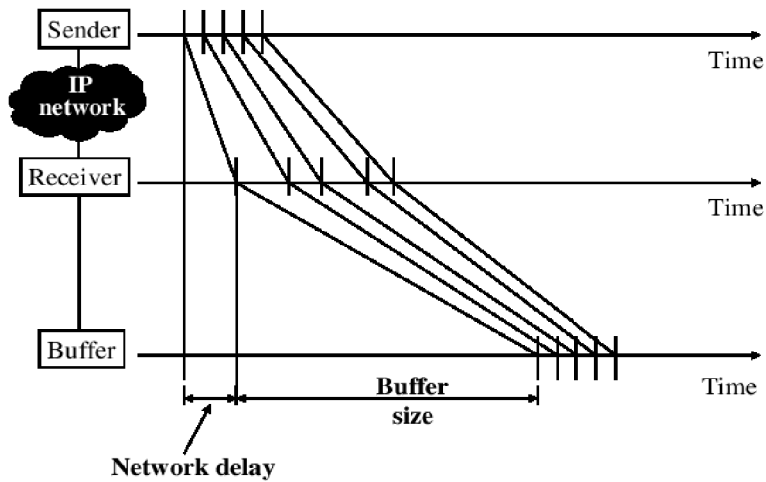
- Coda di pacchetti al ricevitore
- Trasforma le variazioni di ritardo in un ritardo fisso
  - Aumenta il ritardo end-to-end (compromesso)



16



## Buffer anti-jitter (2)



17

## Buffer anti-jitter (3)

- All'istante di decodifica del pacchetto  $i$ -esimo
  - Se vale la relazione

$$D_i = R_i - R_{i-1} - T \geq B_i$$

- allora il pacchetto è considerato perso per timeout e svuotamento del buffer (buffer underflow)
- altrimenti se

$$B_i - D_i > B_{max}$$

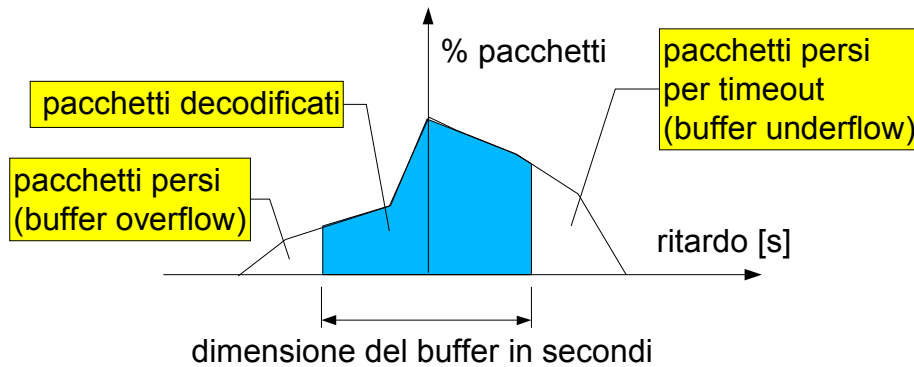
- allora il pacchetto è considerato perso per riempimento del buffer (buffer overflow)
- altrimenti il pacchetto è decodificato

18

## Buffer anti-jitter (4)

- L'occupazione del buffer all'istante  $i$ -esimo

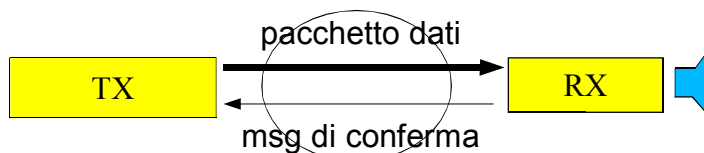
$$B_{i+1} = \min(B_{max}, \max(0, B_i - D_i))$$



19

## Round trip time

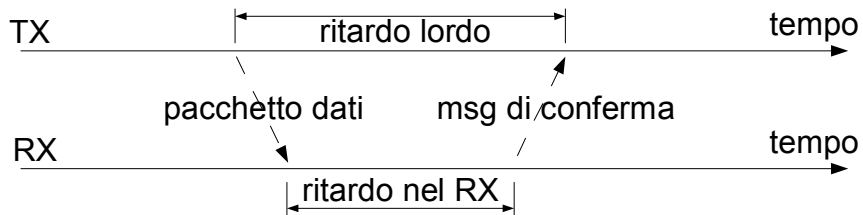
- Tempo intercorrente tra l'istante di trasmissione di un pacchetto dati e la ricezione di un messaggio di conferma (acknowledge).
- Viene calcolato al TX
- Il messaggio di conferma può essere messo in un
  - pacchetto specifico
  - pacchetto informativo sulle statistiche di ricezione
  - pacchetto multimediale trasmesso nella direzione opposta (applicazioni interattive)



20

## Stima del ritardo tramite round trip time

- Metodo di stima del ritardo di **propagazione nella rete** mediante il calcolo del round trip time
  - Viene fatto al TX (a differenza del metodo del  $D_p$ )
  - Il messaggio di conferma dal RX deve riportare il ritardo nel RX



$$\delta = \frac{\text{ritardo lordo} - \text{ritardo nel RX}}{2}$$

21

## Stima del ritardo tramite round trip time (2)

- Possibile errore di stima se i pacchetti fanno percorsi diversi nelle due direzioni
- Es: satellite per il download + linea terrestre per l'upload

22

## **Modelli di traffico**

23

## **Parametri caratterizzanti**

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

24

## 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

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

25

## 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'unita' di tempo

26

## Calcolo della burstiness: esempio



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

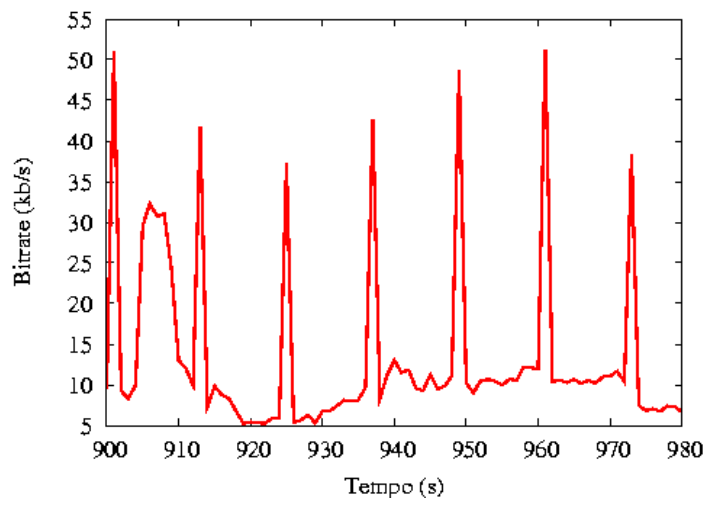
27

## 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

28

## Traffico VBR di MPEG



29

## Modelli di canale

30

## Parametri caratterizzanti

- Errori sul bit
  - probabilità
  - sequenze (burst) di errori
- Perdita di pacchetti
  - probabilità
  - sequenze (burst) di pacchetti persi

31

## Probabilità di errore sul bit

- Sia  $p_{01}$  la probabilità che un bit cambi da 0 a 1 durante la trasmissione e  $p_{10}$  la probabilità che un bit cambi da 1 a 0
  - Potenziale dipendenza dal tipo di simbolo
  - Potenziale dipendenza statistica tra l'evento riguardante un simbolo e quello riguardante il successivo

32



## Canale binario simmetrico senza memoria

- Se  $p_{01}=p_{10}=p$  e non c'è dipendenza statistica dal bit precedente allora si ha un **modello di canale binario simmetrico senza memoria**

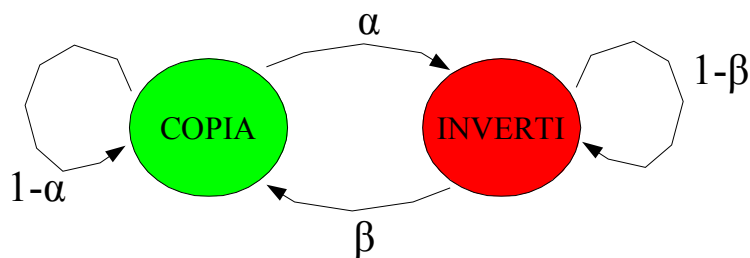
- Pseudo-codice di simulazione

```
r=rand(0,1) /* val. casuale uniformemente
              distribuito tra 0.0 e 1.0 */
if(r<p)
    cambia valore al bit
```

33

## Canale binario simmetrico con memoria

- $p_{01}=p_{10}=p$  **dipendente** dal bit precedente
- presenza di burst di errori di lunghezza media  $\lambda$
- Catena di Markov a due stati



$$0.0 \leq \alpha, \beta \leq 1.0$$

$$p = \frac{\alpha}{\alpha + \beta}$$

$$\lambda = \frac{1}{\beta}$$

34

## Perdita di pacchetti

- Sia  $p$  la probabilità che un pacchetto non venga decodificato
- Potenziale dipendenza statistica tra eventi riguardanti pacchetti consecutivi

35

## Canale con perdita senza memoria

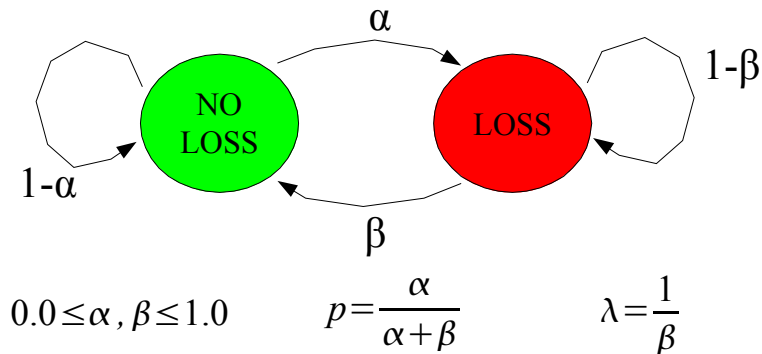
- Gli eventi di perdita sono statisticamente indipendenti
- Pseudo-codice di simulazione

```
r=rand(0,1) /* val. casuale uniformemente
              distribuito tra 0.0 e 1.0 */
if(r<p)
    pacchetto perso
```

36

## Canale con perdita con memoria

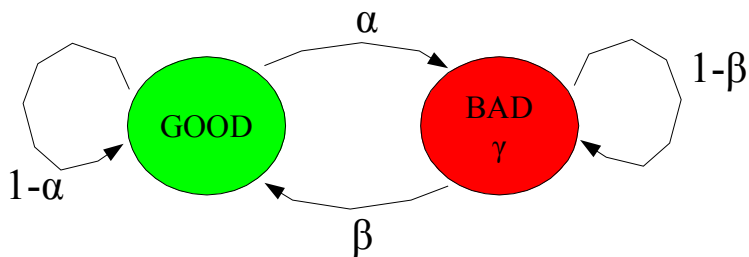
- eventi di perdita statisticamente dipendenti
- presenza di burst di pacchetti persi di lunghezza media  $\lambda$
- Catena di Markov a due stati



37

## Modello di Gilbert-Elliot

- Catena di Markov gerarchica
- Nello stato GOOD: nessun errore (o perdita)
- Nello stato BAD: errori (o perdite) indipendenti con probabilità  $\gamma$



38