



Qualità del Servizio per applicazioni multimediali

Davide Quaglia
a.a. 2009/2010

1

Sommario

- Qualità del Servizio
 - Perdita di pacchetti
 - Errori di trasmissione
 - Ritardo medio end-to-end
 - Jitter
 - Round-trip time
- Modelli di traffico
- Modelli di canale

2

Qualità del Servizio

3

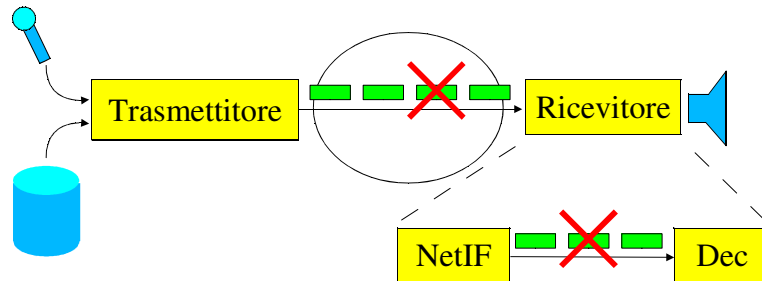
Motivazione del capitolo

- Quant'è buono il servizio che fornisce un'applicazione multimediale in rete ?
 - **Determinazione della Qualità di Servizio (QoS)**
- Quali sono i fenomeni trasmissivi che condizionano la QoS ?
 - **Perdita di pacchetti**
 - **Errori di trasmissione**
 - **Ritardo medio end-to-end**
 - **Jitter**
 - **Round-trip time**
- Si possono misurare al trasmettitore o al ricevitore per rendersi conto della QoS corrente ?
 - **Sì**

4

Perdita di pacchetti

- Def: certi pacchetti non arrivano al decodificatore



5

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

6

Perdita di pacchetti (3)

- Rilevazione al decodificatore
 - 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

7

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**)



8

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

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

Misurato in lab perchè gli errori non sono contabili per definizione !!!

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

9

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

10

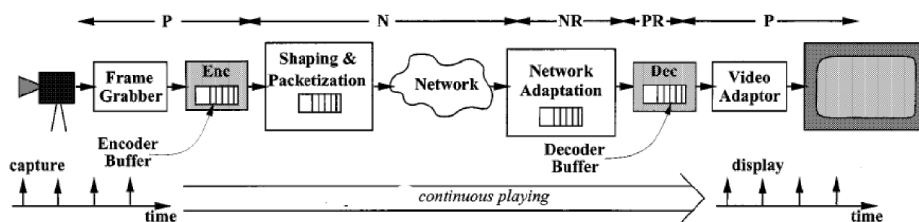
Ritardo end-to-end

- 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
- Ci interessa tenere sotto controllo:
 - la variazione del ritardo (sempre)
 - il ritardo end-to-end (per applicazioni interattive)

11

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)



12

Variazione 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 vorremmo che $D_i = 0 \quad \forall i$
- in pratica: valor medio di D_i è circa nullo

13

Valor medio di D_i

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

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

- Stima effettuata "al volo" al ricevitore

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

- ad esempio $\alpha = \frac{1}{8}$

14

Variazione di D_i

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

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

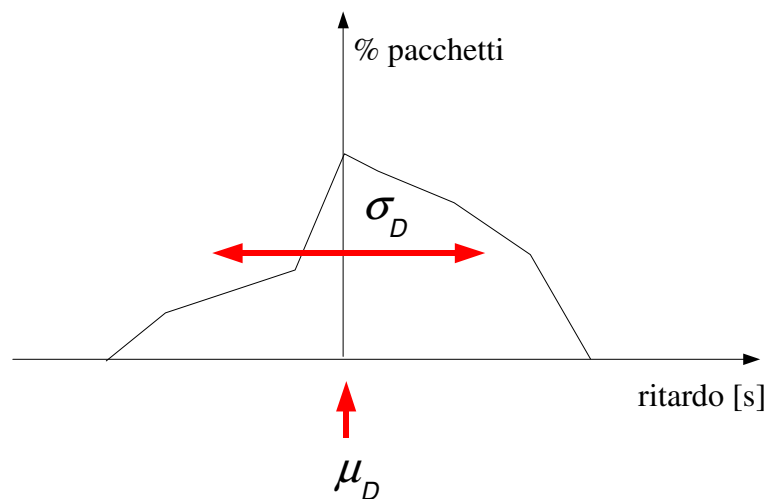
- Stima effettuata "al volo" dal ricevitore

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

- ad esempio $\alpha = \frac{1}{16}$

15

Distribuzione dei D_i



16

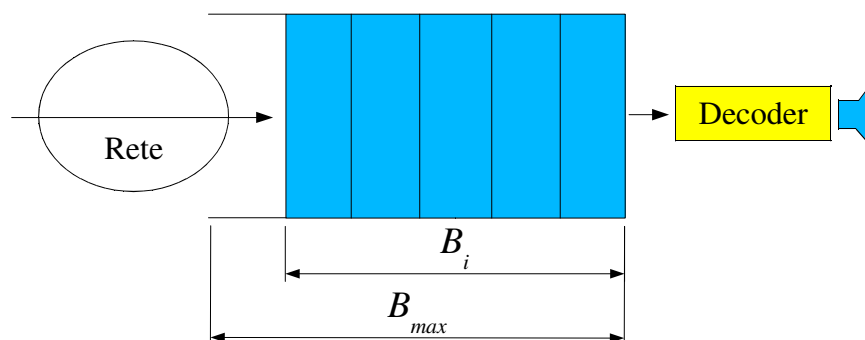
Jitter

- **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

17

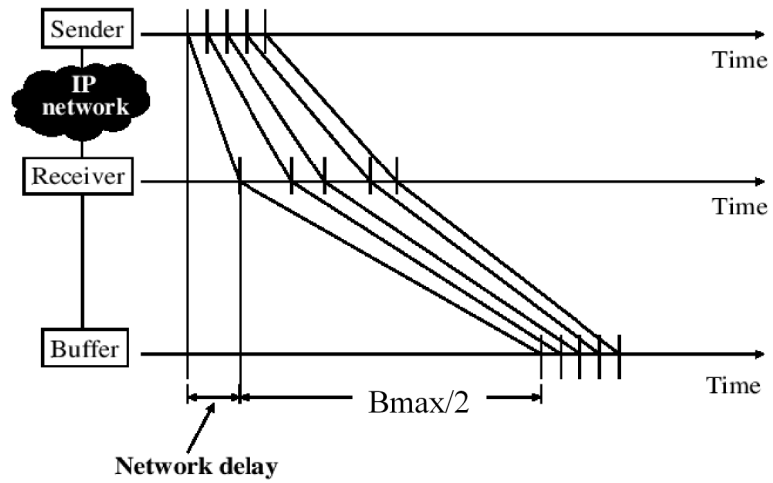
Buffer anti-jitter

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



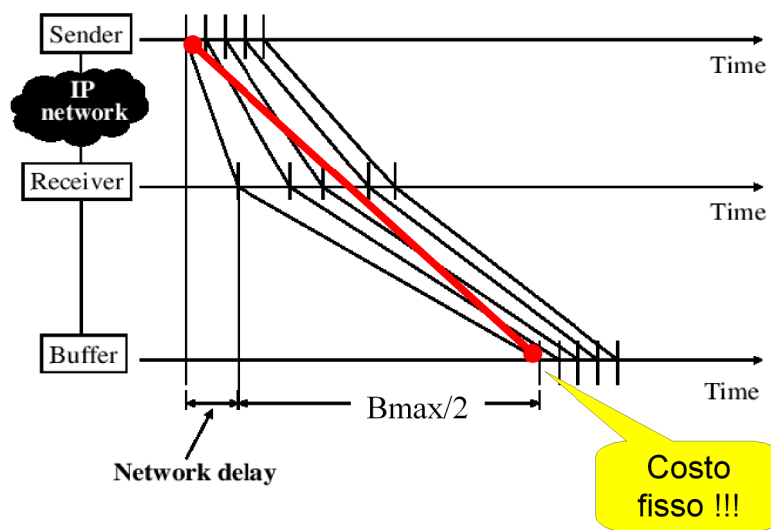
18

Buffer anti-jitter (2)



19

Buffer anti-jitter (2)



20

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

21

Buffer anti-jitter (4)

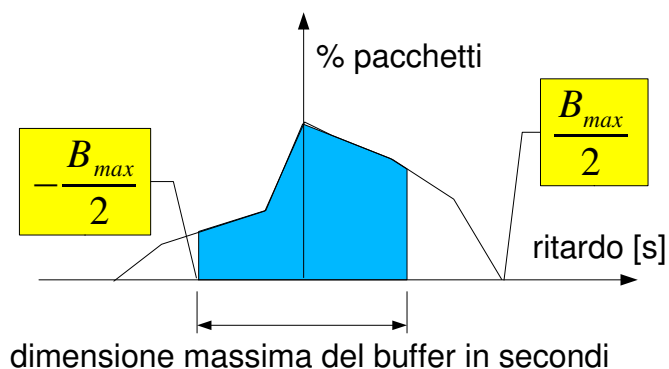
- L'occupazione del buffer dopo l'arrivo del pacchetto i -esimo

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

22

Buffer anti-jitter (5)

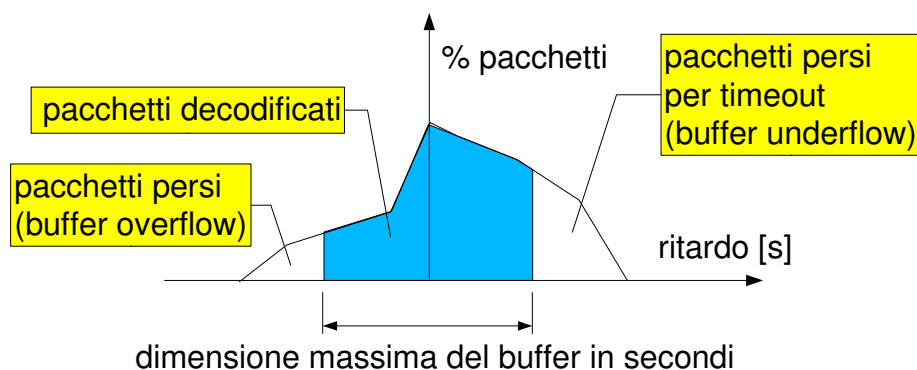
- Relazione tra dimensione max del buffer e distribuzione dei ritardi
 - Si assume di riempire inizialmente il buffer a metà
 - Pago un ritardo fisso di $B_{max}/2$



23

Buffer anti-jitter (6)

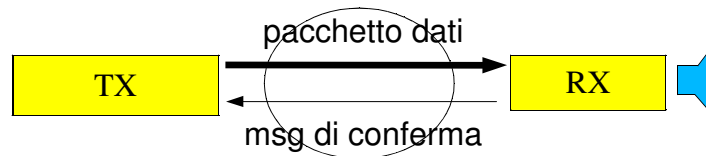
- Relazione tra buffer, distribuzione dei ritardi e pacchetti persi/decodificati



24

Round trip time

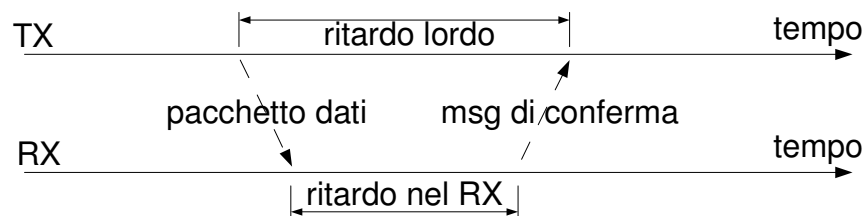
- Tempo intercorrente tra l'istante di trasmissione di un pacchetto dati e la ricezione di un messaggio di conferma (acknowledge).
- Viene calcolato al TX
- Il messaggio di conferma può essere messo in un
 - pacchetto specifico
 - pacchetto informativo sulle statistiche di ricezione
 - pacchetto multimediale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



25

Stima del ritardo end-to-end 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)
 - Il messaggio di conferma dal RX deve riportare il ritardo nel RX



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

26

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
- In realtà quello che interessa nelle applicazioni interattive è proprio il round trip time

27

Modelli di traffico

28

Parametri caratterizzanti

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

29

Bitrate

- Istantaneo $B(t)$
 - Numero di bit osservati nell'unita' di tempo
- Dato un intervallo T di osservazione

- Bitrate medio

$$\frac{1}{T} \int_0^T B(t) dt \qquad \frac{\text{Bit osservati nell'intervallo } T}{T}$$

- Bitrate di picco

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

30

Throughput e Goodput

- Throughput
 - quantità **totale** di bit che arrivano/attraversano un nodo della rete nell'unità di tempo
- Goodput
 - quantità **utile** di bit che arrivano/attraversano un nodo della rete nell'unità di tempo
 - non tiene conto dei pacchetti errati o duplicati

Goodput minore/uguale throughput

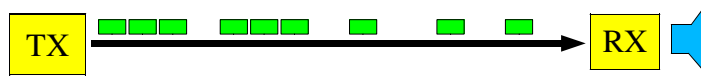
31

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

32

Calcolo della burstiness: esempio



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

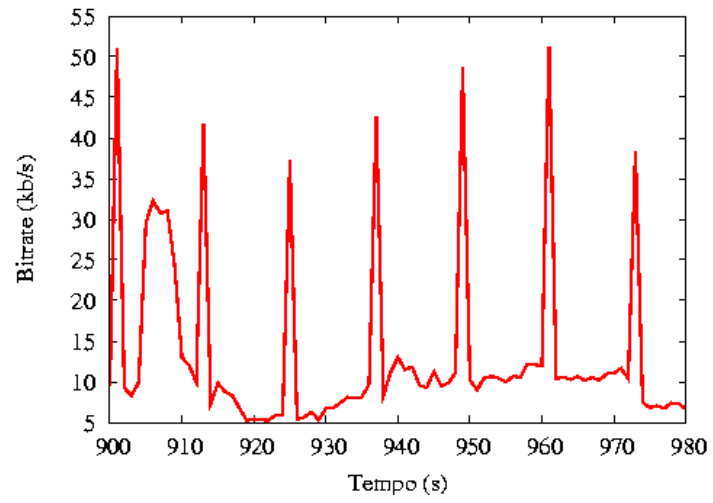
33

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 ON/OFF
 - fase ON --> CBR
 - VoIP con soppressione del silenzio
- Flussi Variable Bit Rate (VBR)
 - bitrate istantaneo variabile nel tempo
 - caratterizzato da bitrate medio e bitrate di picco
 - Esempio:
 - traffico dati su una linea dialup
 - flusso di bit prodotto da un codificatore video MPEG

34

Traffico VBR di MPEG



35

Modelli di canale

36

Parametri caratterizzanti

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

37

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 (memoria)

38

Canale binario simmetrico senza memoria

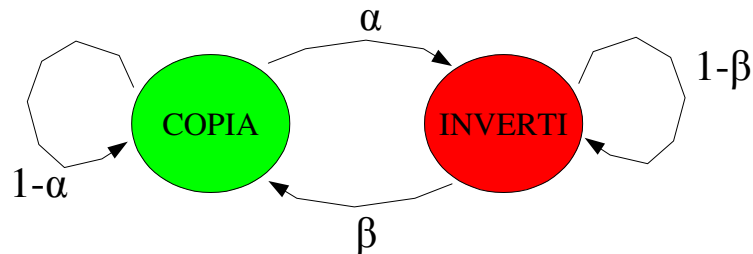
- Se $p_{01}=p_{10}=p$ e non c'è dipendenza statistica dal bit precedente allora si ha un **modello di canale binario simmetrico senza memoria**
- Pseudo-codice di simulazione

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

39

Canale binario simmetrico con memoria

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



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

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

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

40

Perdita di pacchetti

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

41

Canale con perdita senza memoria

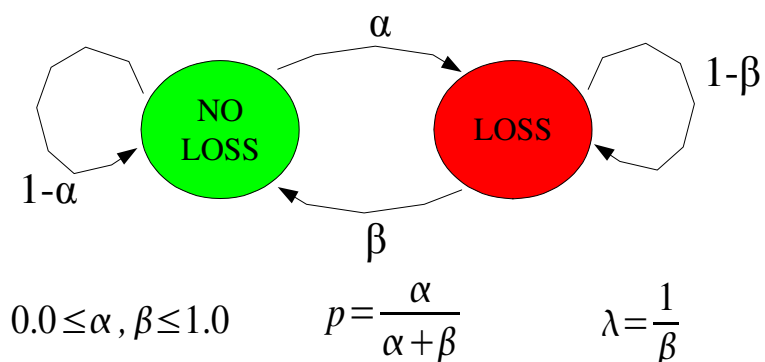
- Gli eventi di perdita sono statisticamente indipendenti
- Pseudo-codice di simulazione

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

42

Canale con perdita con memoria

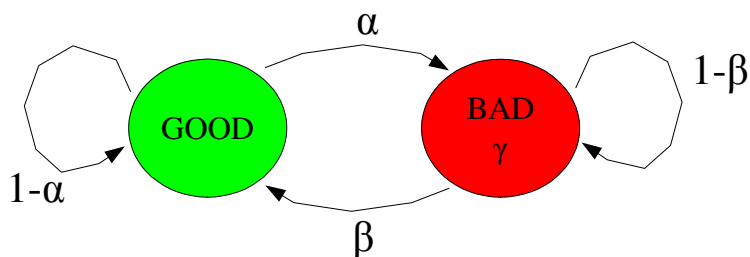
- eventi di perdita statisticamente dipendenti
- presenza di burst di pacchetti persi di lunghezza media λ
- Catena di Markov a due stati



43

Modello di Gilbert-Elliot

- Modello con memoria
- Catena di Markov gerarchica
- Nello stato GOOD: nessun errore (o perdita)
- Nello stato BAD: errori (o perdite) indipendenti con probabilità γ



44