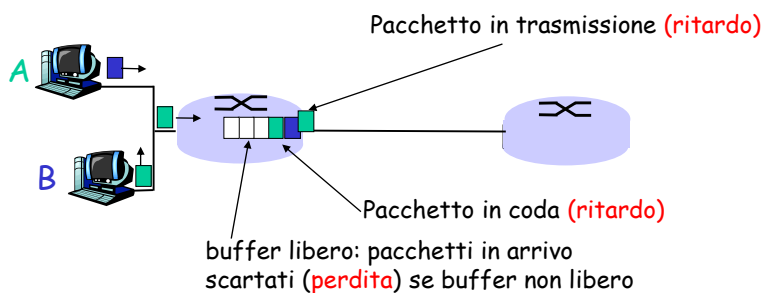


Capacità e prestazioni delle reti a commutazione di pacchetto

- ❑ latenza (ritardo)
- ❑ perdita di pacchetti
- ❑ frequenza trasmissiva
- ❑ throughput
- ❑ prodotto banda-ritardo

Ritardi e perdite nelle reti a commutazione di pacchetto

- ❑ un pacchetto attraversa una serie di router
- ❑ i pacchetti attendono in *coda* il proprio turno
- ❑ la coda (buffer) che precede un link ha capacità finita
- ❑ un pacchetto che arriva ad una coda piena viene scartato



Tipi di ritardo dei pacchetti

❑ 1. ritardo di elaborazione del nodo:

- controllo errori
- scelta del link di uscita
- tipicamente < msec

❑ 2. ritardo di coda:

- tempo in attesa di elaborazione e di trasmissione sul link di uscita
- dipende dal livello di congestione del router

Tipi di ritardo dei pacchetti

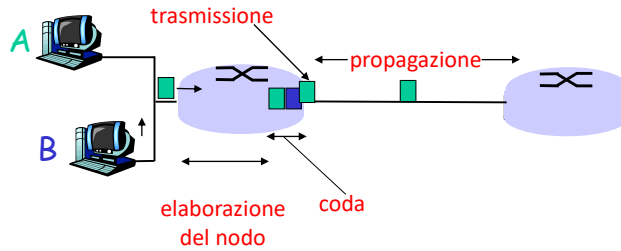
❑ 3. ritardo di trasmissione (store-and-forward):

- R = banda del link (bps)
- L = lunghezza del pacchetto (bits)
- tempo per trasmettere tutti i bit del pacchetto sul link
= L/R

❑ 4. ritardo di propagazione:

- d = lunghezza del link fisico
- v = velocità di propagazione nel mezzo ($\sim 2.8 \times 10^8$ m/sec)
- ritardo di propagazione = d/v

Quattro sorgenti di ritardo



$$d_{\text{nodo}} = d_{\text{elab}} + d_{\text{coda}} + d_{\text{trasm}} + d_{\text{prop}}$$

Latenza

- *Latenza*: quanto tempo serve perchè un pacchetto arrivi completamente a destinazione, dal momento in cui il primo bit parte dalla sorgente

N router tra nodo sorgente e nodo destinazione

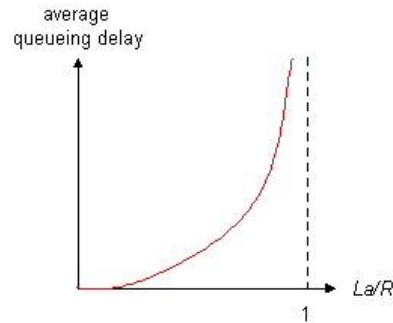
$$d_{\text{end-to-end}} = d_{\text{trasm}} + d_{\text{prop}} + N (d_{\text{elab}} + d_{\text{trans}} + d_{\text{queue}} + d_{\text{prop}})$$

sorgente

router

Ritardo di coda

- d_{queue} dipende da
 - Velocità arrivo traffico
 - Velocità trasmissione del link
 - Natura del traffico
- a = frequenza media di arrivo dei pacchetti
- intensità del traffico = $\lambda a/R$



- $\lambda a/R \ll 1$, $d_{\text{queue}} \cong 0$
- $\lambda a/R \rightarrow 1$, d_{queue} tende a crescere esponenzialmente
- $\lambda a/R > 1$, ritardo medio infinito ...

Ritardo di coda (cont.)

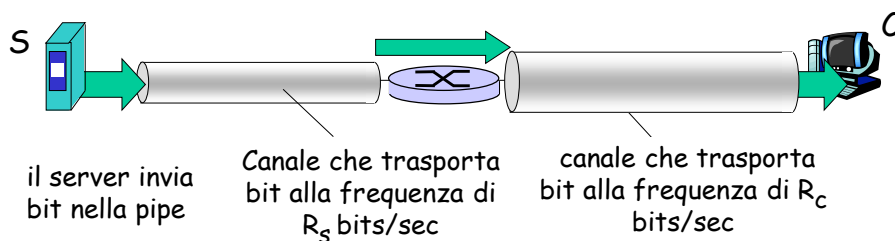
- Se $\lambda a/R > 1$, arrivano più pacchetti di quanti possono essere serviti
- Ipotizzando buffer non limitati, $d_{\text{coda}} \rightarrow \infty$
- In realtà, i router hanno buffer di dimensione finita
- Il ritardo di coda non tende ad infinito
 - I pacchetti vengono scartati
 - La quantità di pacchetti persi aumenta con l'aumentare dell'intensità del traffico

Ritardo di coda (cont.)

- Se $\lambda/R \leq 1$, il ritardo di coda dipende dalla natura del traffico
 - Se ogni pacchetto arriva periodicamente ogni L/R sec, $d_{\text{coda}} = 0$
 - Se arrivano a raffica, d_{coda} varia per ogni pacchetto
 - Il primo $d_{\text{coda}} = 0$
 - Il secondo $d_{\text{coda}} = L/R$
 - L' N -simo $d_{\text{coda}} = (N-1) * L/R$
 - Ritardo medio $d_{\text{coda}} = \dots$

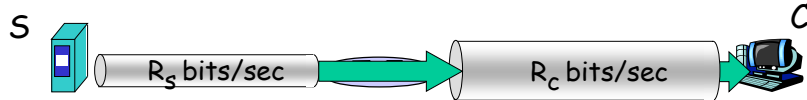
Throughput

- **throughput**: frequenza (bit/tempo) **effettiva** di trasferimento dei bit
 - **istantaneo**: frequenza in un dato punto in un certo istante di tempo
 - **medio**: frequenza su un periodo di tempo lungo

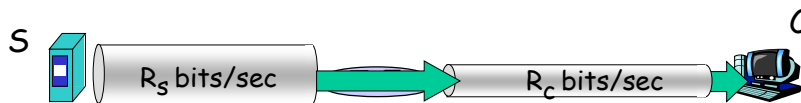


Throughput (cont.)

- $R_s < R_c$ qual è il throughput medio end-end?



- $R_s > R_c$ qual è il throughput medio end-end?

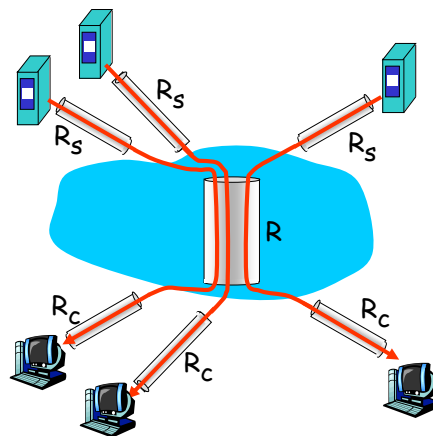


Link bottleneck

link sul percorso che vincola il throughput end-end

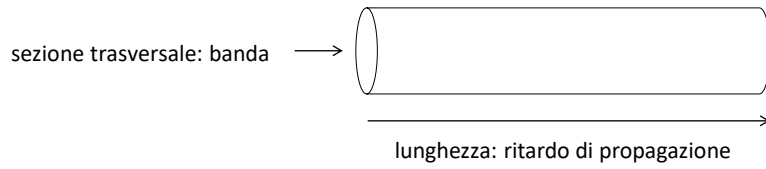
Throughput: scenario tipico

- throughput end-end per connessione:
 $\min(R_c, R_s, R/10)$
- Nella realtà R_c o R_s è spesso bottleneck



10 connessioni condividono equamente il link della backbone a R bits/sec

Prodotto banda-ritardo



$R \times d_{\text{prop}}$ definisce il numero di bit che il link può contenere