



POLITECNICO
MILANO 1863



Fondamenti di TELECOMUNICAZIONI

Pierpaolo Boffi

Fondamenti di TELECOMUNICAZIONI



3 – Ritardi e Throughput

Tempo di trasmissione, Propagazione,
Altri ritardi, Throughput

Velocità di trasmissione

- E' la **velocità (rate) R** con la quale l'informazione digitale viene trasmessa su una linea
- E' misurata in **bit/s (bps)**
(vedremo come la velocità sia determinata dal mezzo trasmittivo e/o dalle interfacce)

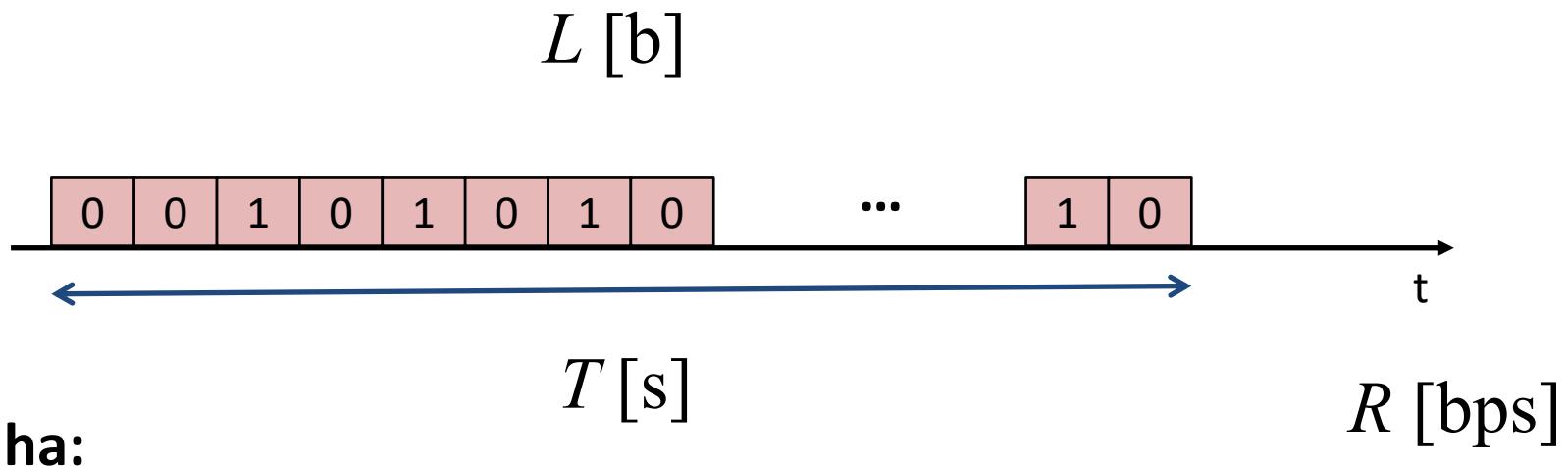


- **Unità di misura:**
1 **kbps** (kb/s) = 10^3 bps 1 **Byte** = 8 bit
1 **Mbps** (kb/s) = 10^6 bps 1 **kB** = 10^3 B
1 **Gbps** (kb/s) = 10^9 bps 1 **MB** = 10^6 B
1 **GB** = 10^9 B



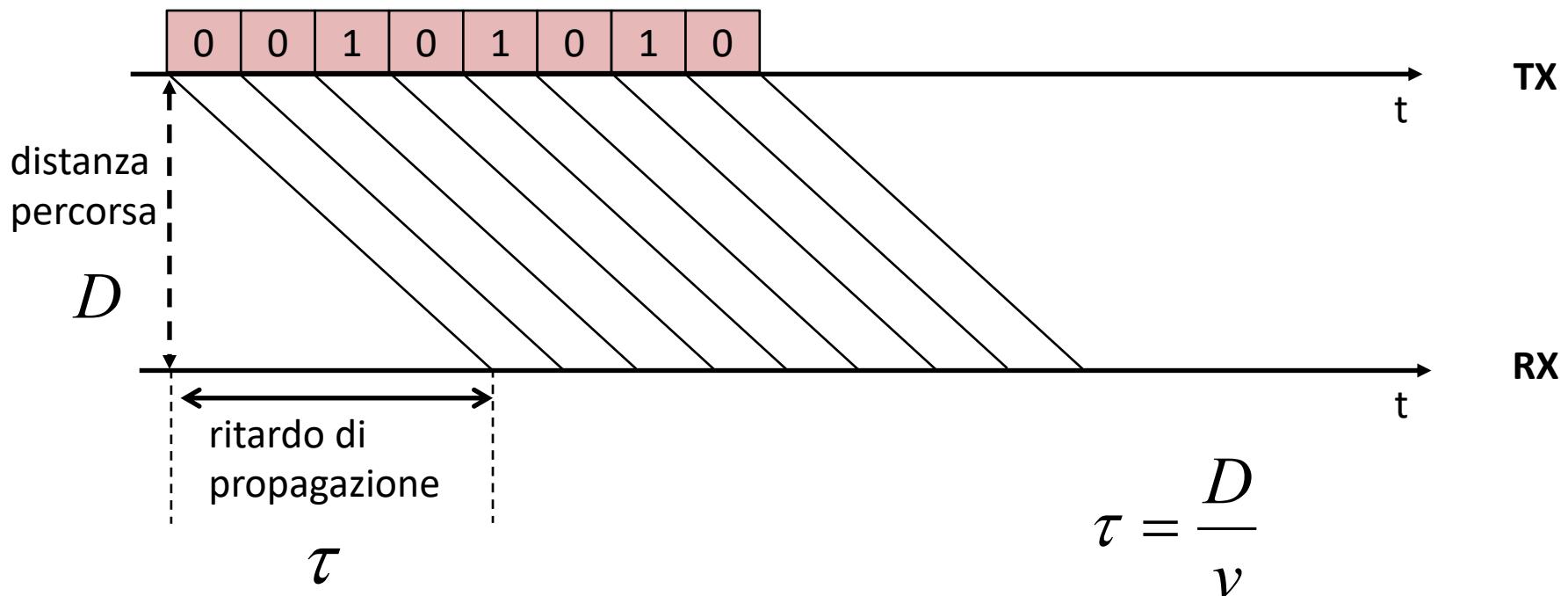
Tempo di trasmissione

- Il tempo T per trasmettere L bits dipende dalla velocità di trasmissione R

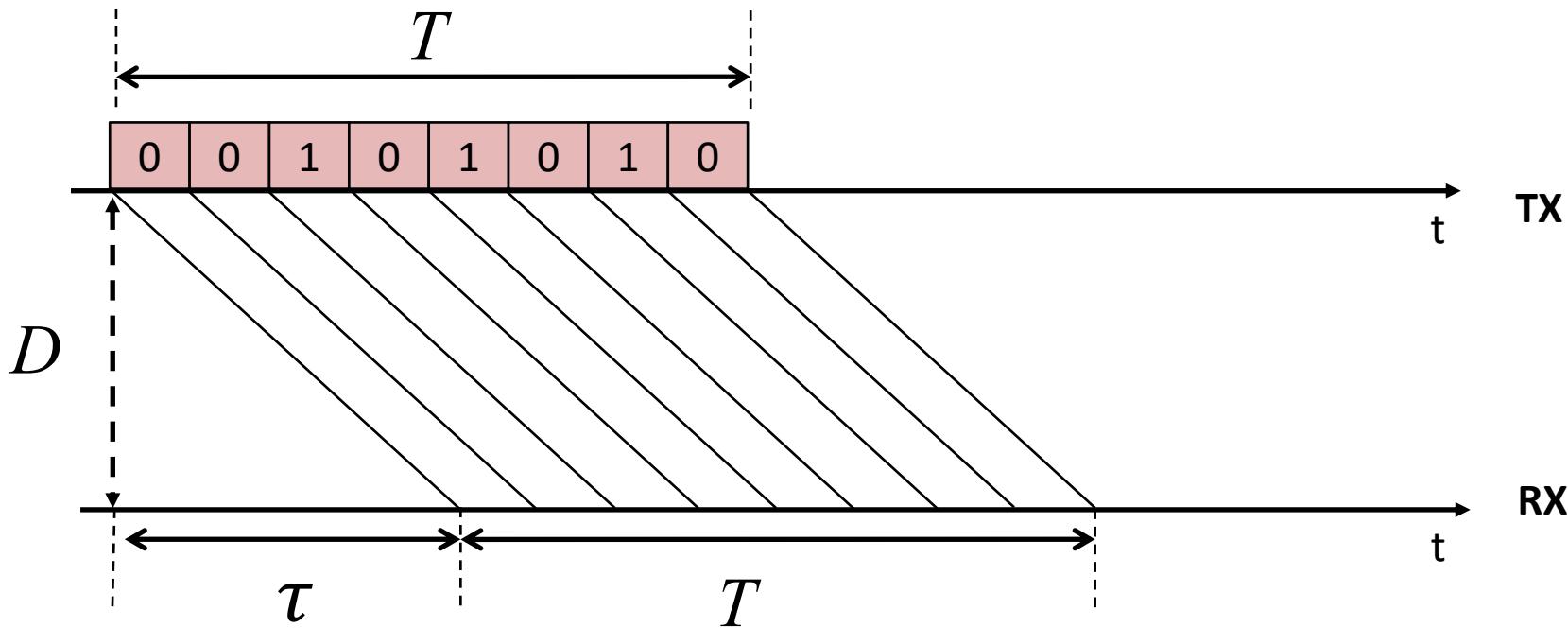


Ritardo di propagazione

- Il tempo τ affinché un impulso trasmesso dal trasmettitore TX raggiunga il ricevitore RX dipende dalla distanza D (in m) e dalla velocità di propagazione v (in m/s, prossima alla velocità della luce)



Tempi di attraversamento del canale

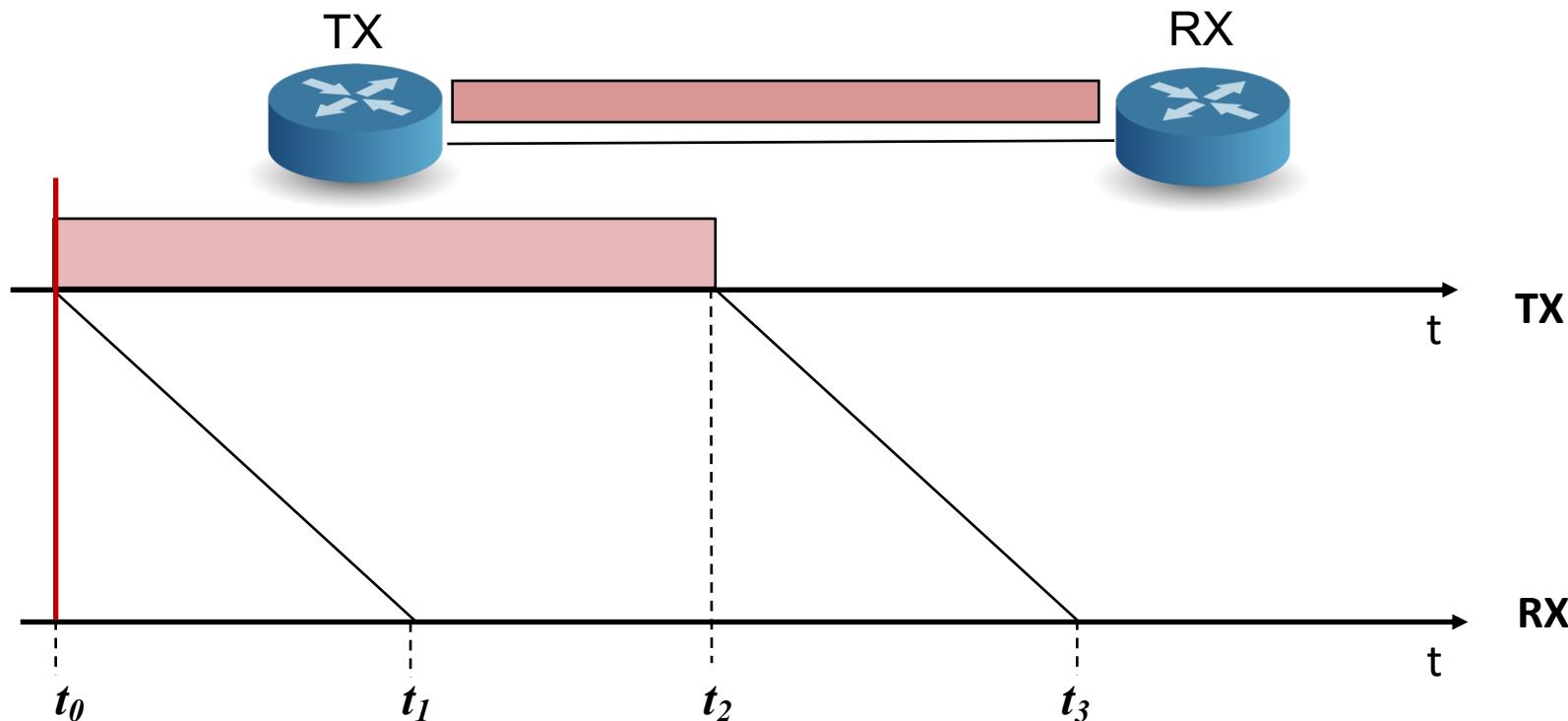


Ritardo fra la trasmissione del
primo bit e la ricezione dell'ultimo

$$T_{tot} = T + \tau$$



Tempi di attraversamento del canale



t_0 =inizio trasmissione

t_1 =arrivo primo bit

t_2 =fine trasmissione

t_3 =arrivo ultimo bit

Tempo di trasmissione:

$$T = t_2 - t_0 = t_3 - t_1 = L/R \quad L=\text{lunghezza del pacchetto [bit]}$$

$$R=\text{velocità di trasm. [bit/s]}$$

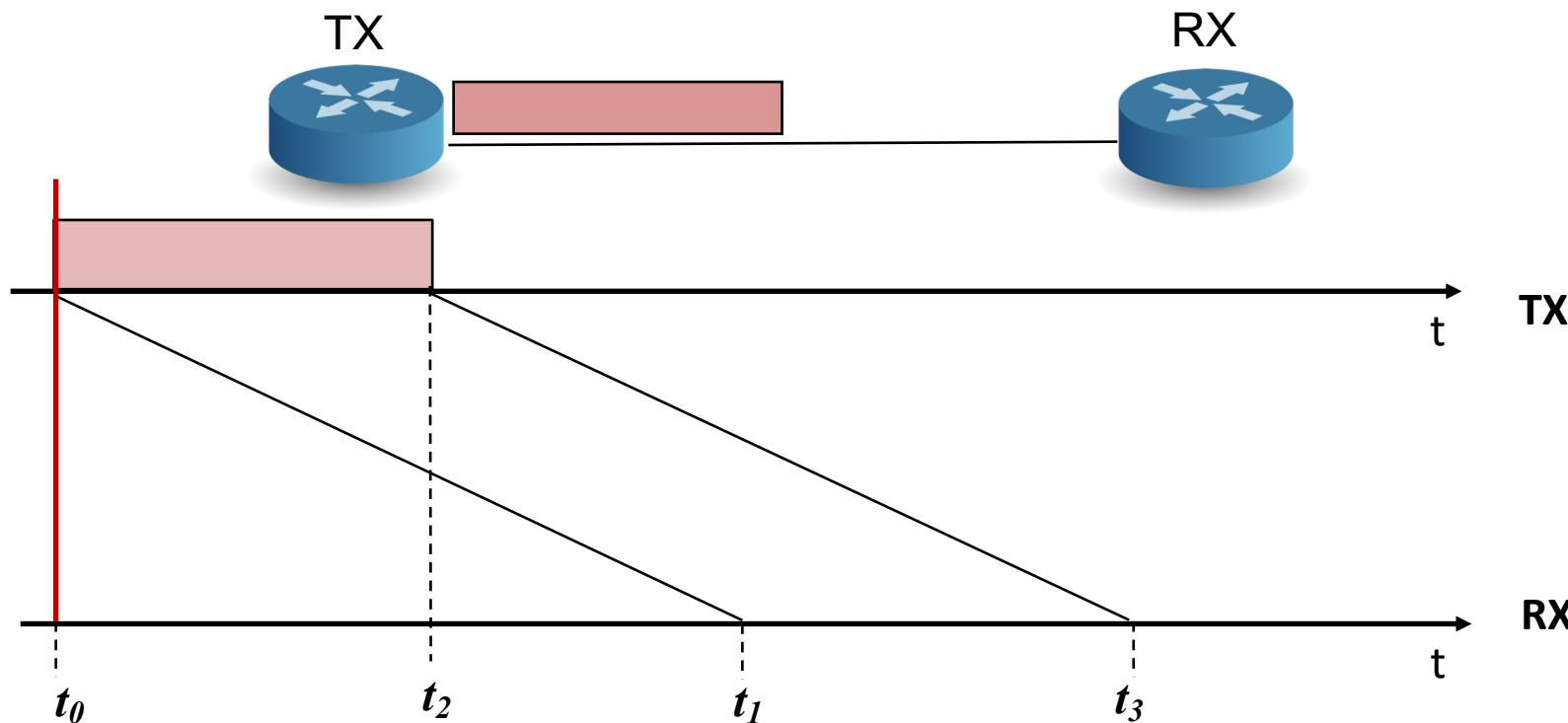
Ritardo di propagazione:

$$\tau = t_1 - t_0 = t_3 - t_2 = D/v \quad D=\text{lunghezza del coll. [m]}$$

$$v=\text{velocità di prop. [m/s]}$$



Tempi di attraversamento del canale



t_0 =inizio trasmissione

t_1 =arrivo primo bit

t_2 =fine trasmissione

t_3 =arrivo ultimo bit

Tempo di trasmissione:

$$T = t_2 - t_0 = t_3 - t_1 = L/R \quad L=\text{lunghezza del pacchetto [bit]}$$

$$R=\text{velocità di trasm. [bit/s]}$$

Ritardo di propagazione:

$$\tau = t_1 - t_0 = t_3 - t_2 = D/v \quad D=\text{lunghezza del coll. [m]}$$

$$v=\text{velocità di prop. [m/s]}$$

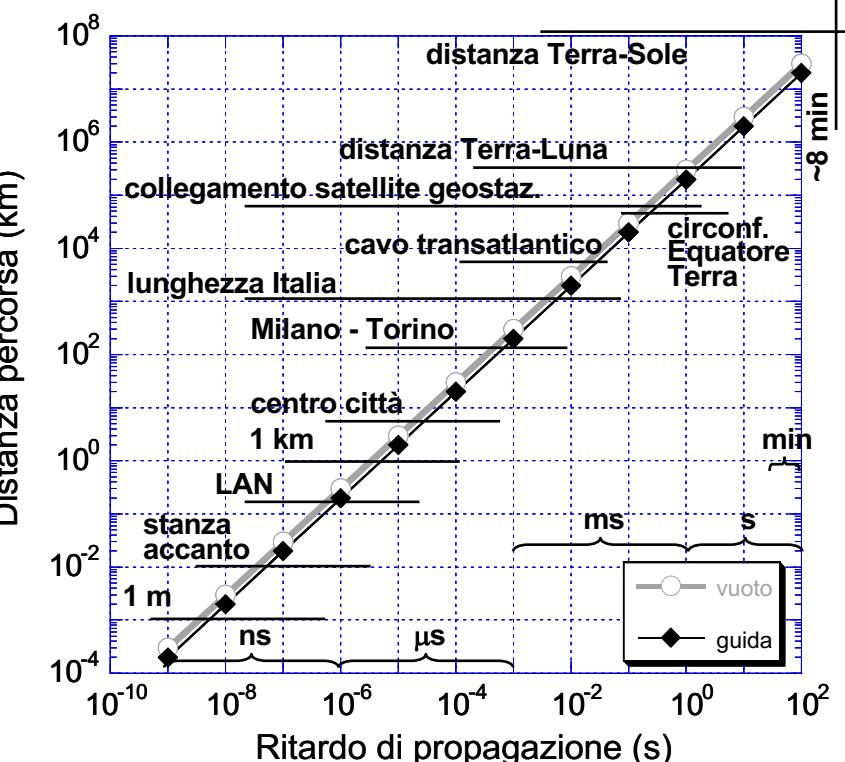


Primo “triangolo magico”

$$\begin{aligned}c_x &= \frac{d}{\tau} \\d &= \tau \cdot c_x \\ \tau &= \frac{d}{c_x}\end{aligned}$$

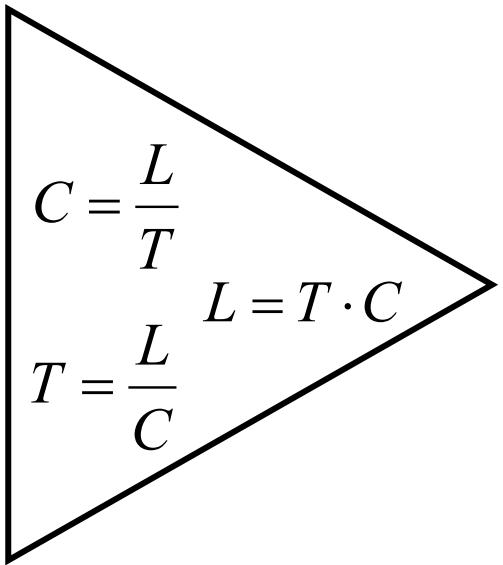
- **c_x = Velocità di propagazione dei segnali elettromagnetici**
 - Propagazione libera (onde radio, vuoto, aria): $c_0 \approx 300000$ km/s
 - Propagazione guidata (cavi in rame, fibra ottica, guide d'onda): $c_g \approx 200000$ km/s
- **d = distanza percorsa [km]**
- **τ = ritardo di propagazione [s]**

Propagazione dei segnali elettromagnetici

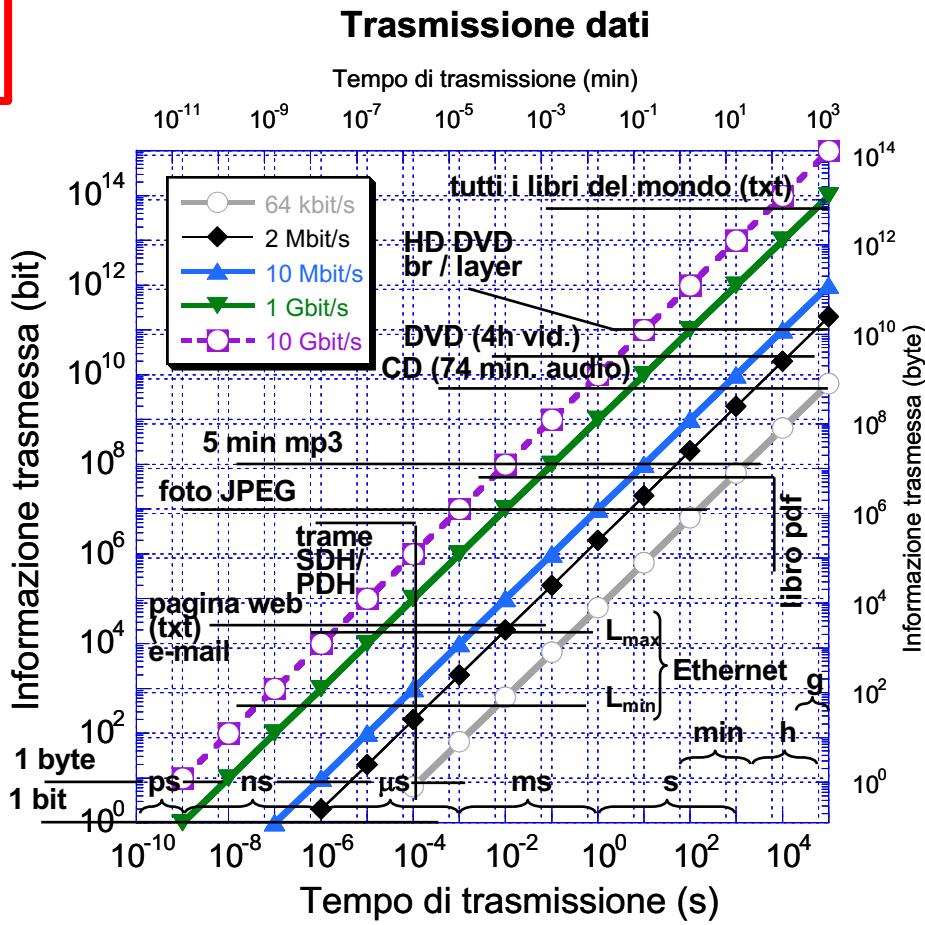


Secondo “triangolo magico”

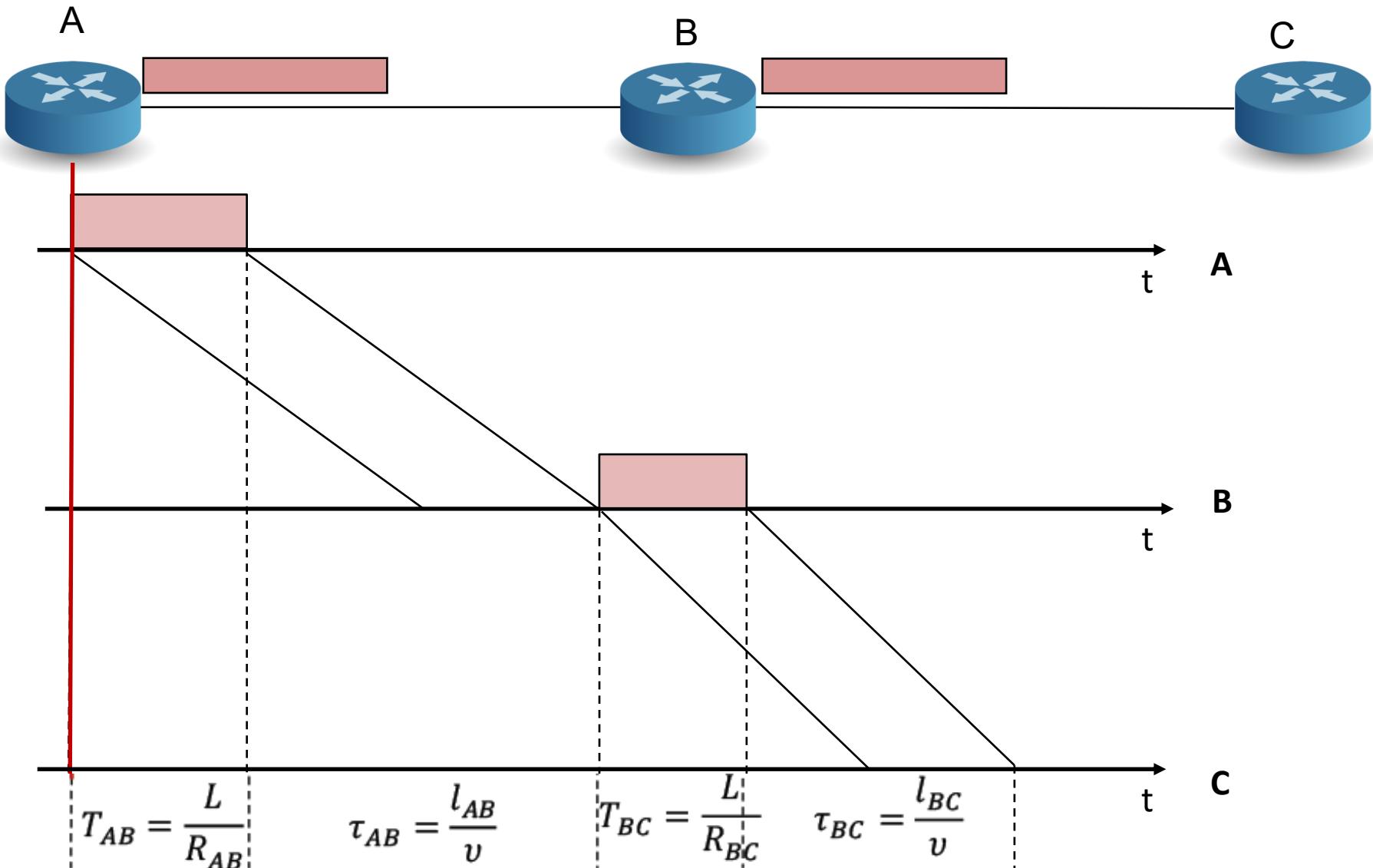
$$D = T + \tau$$



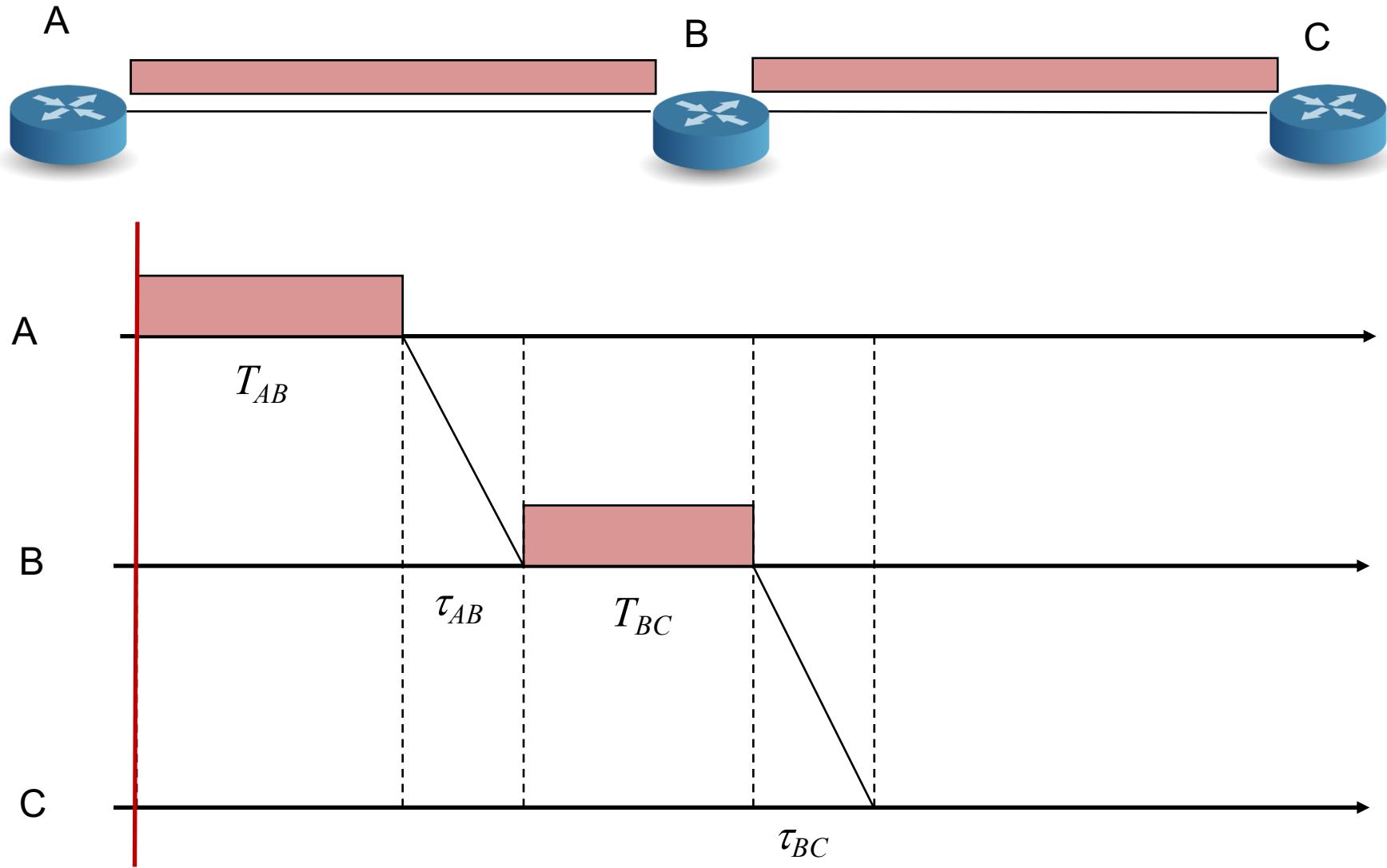
- **C** = Velocità di trasmissione della sorgente [bit/s]
- **L** = quantità d'informazione trasmessa [bit]
- **T** = tempo di trasmissione [s]



Store and forward

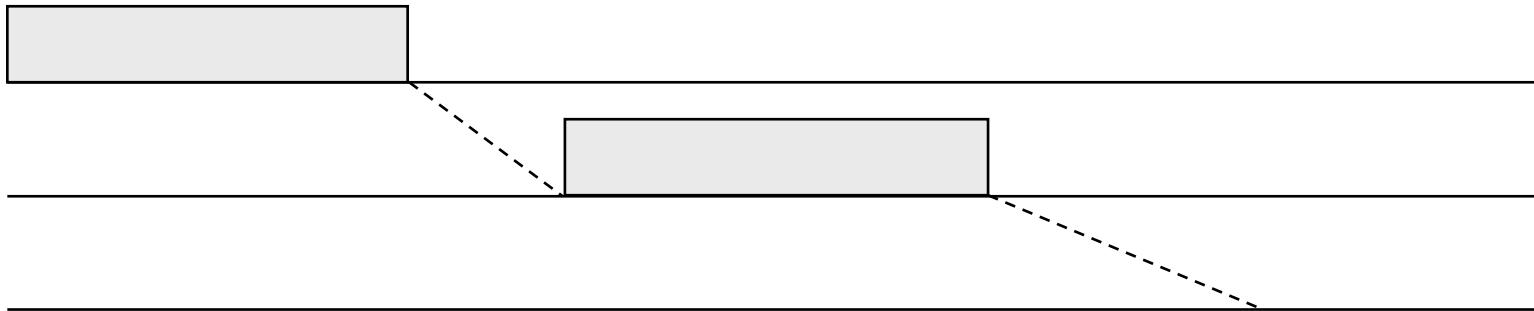


Store and forward

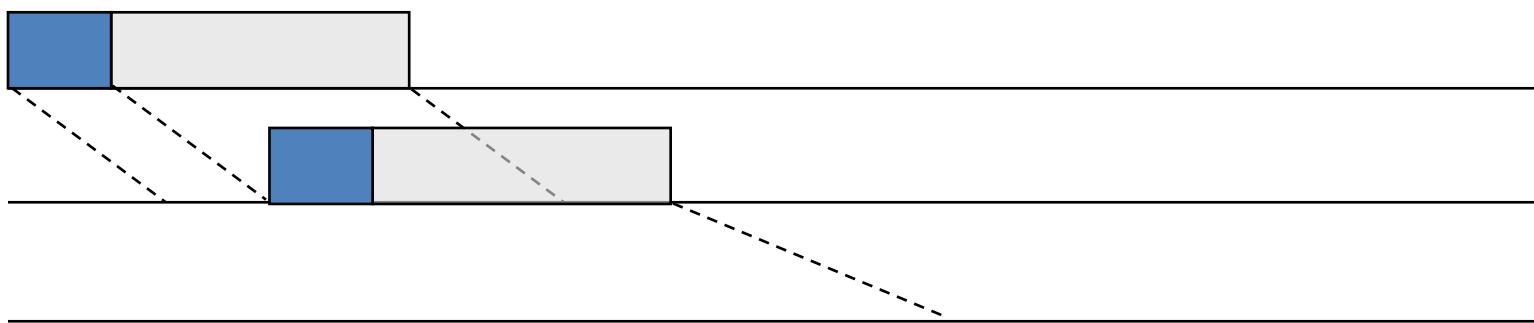


Commutazione a Pacchetto Cut-Through

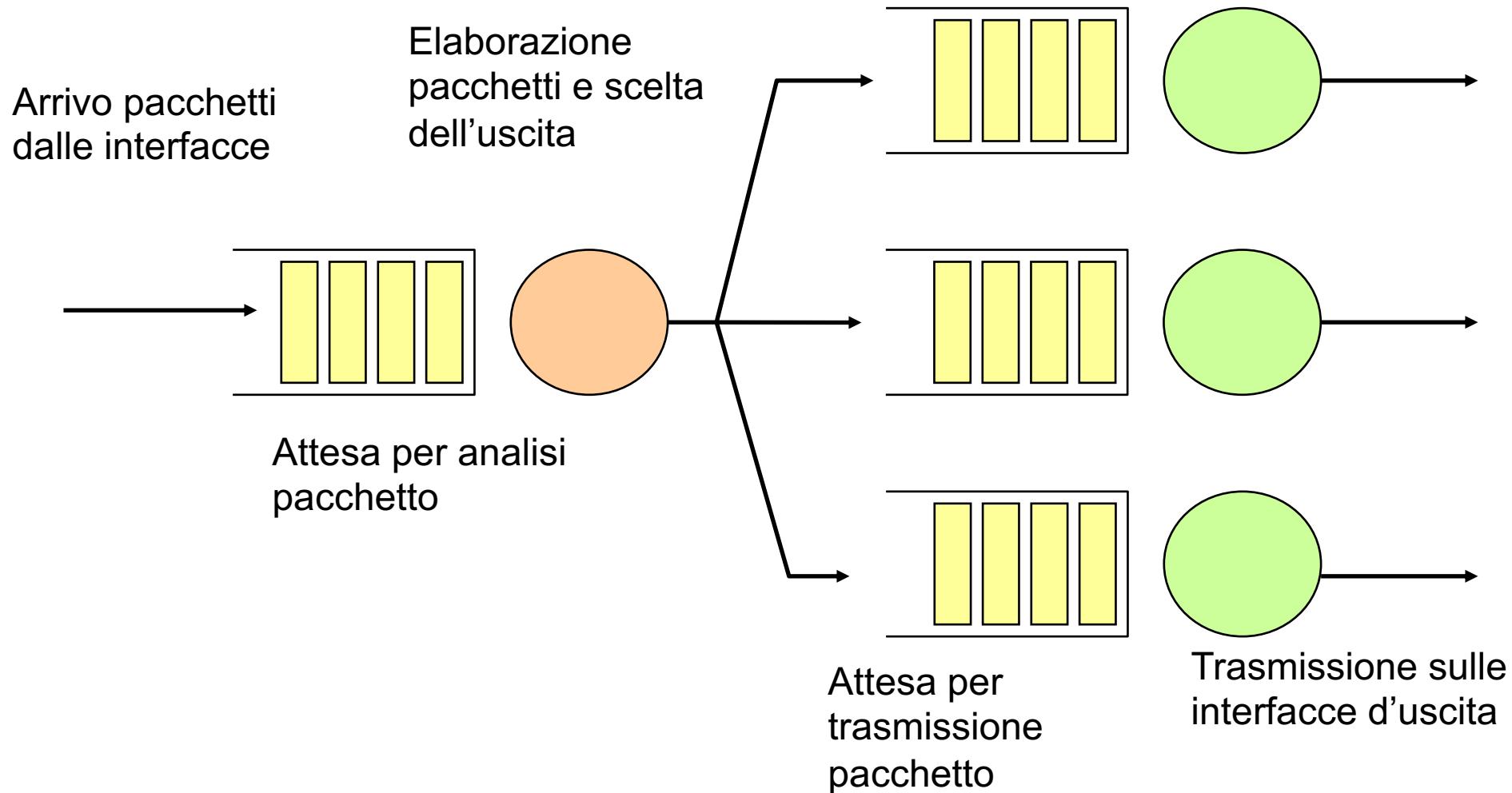
- ***Store-and-forward:*** il pacchetto deve essere completamente ricevuto prima di essere ritrasmesso



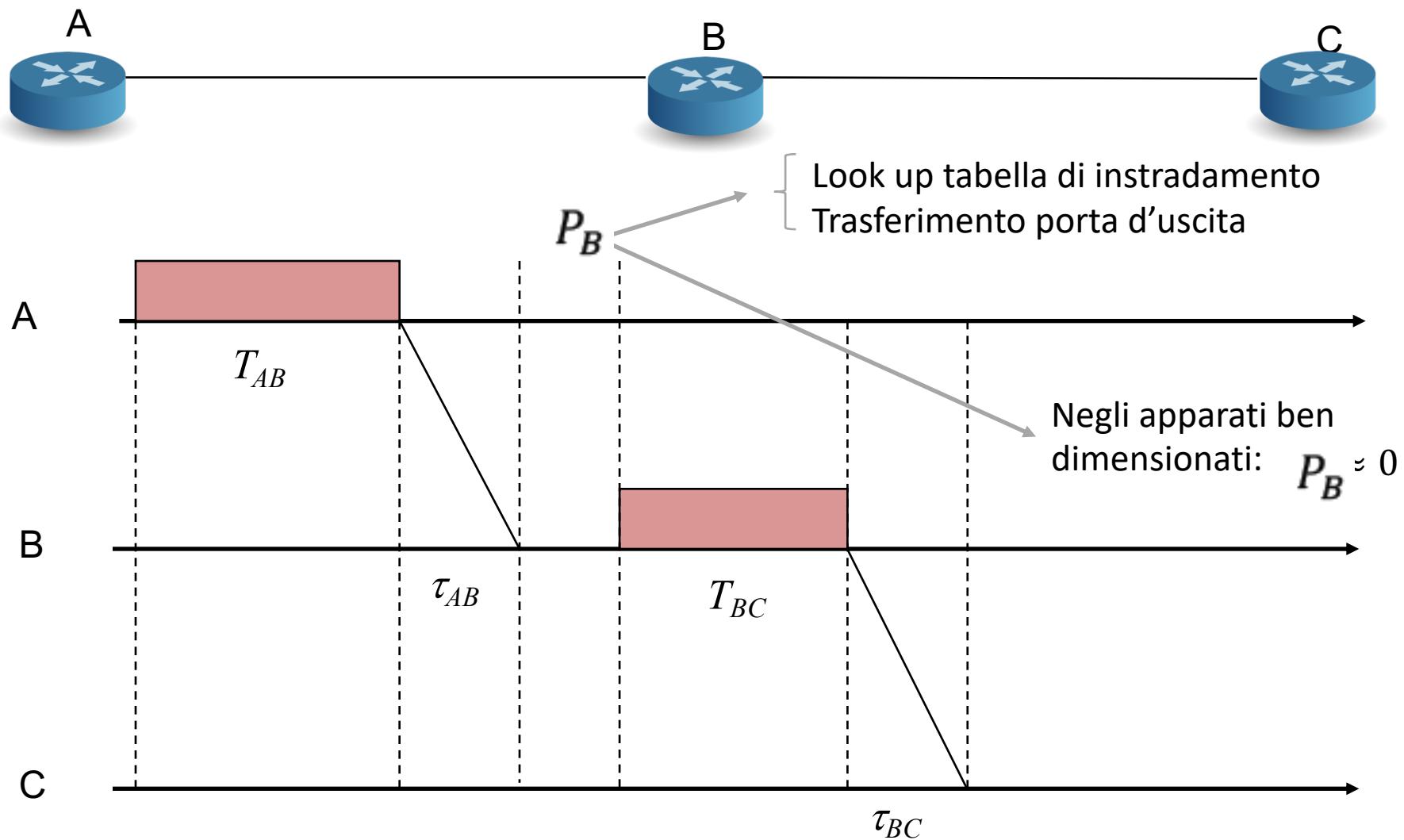
- ***Cut-Through:*** il pacchetto viene ritrasmesso alla completa ricezione dell'header



Modello di un nodo



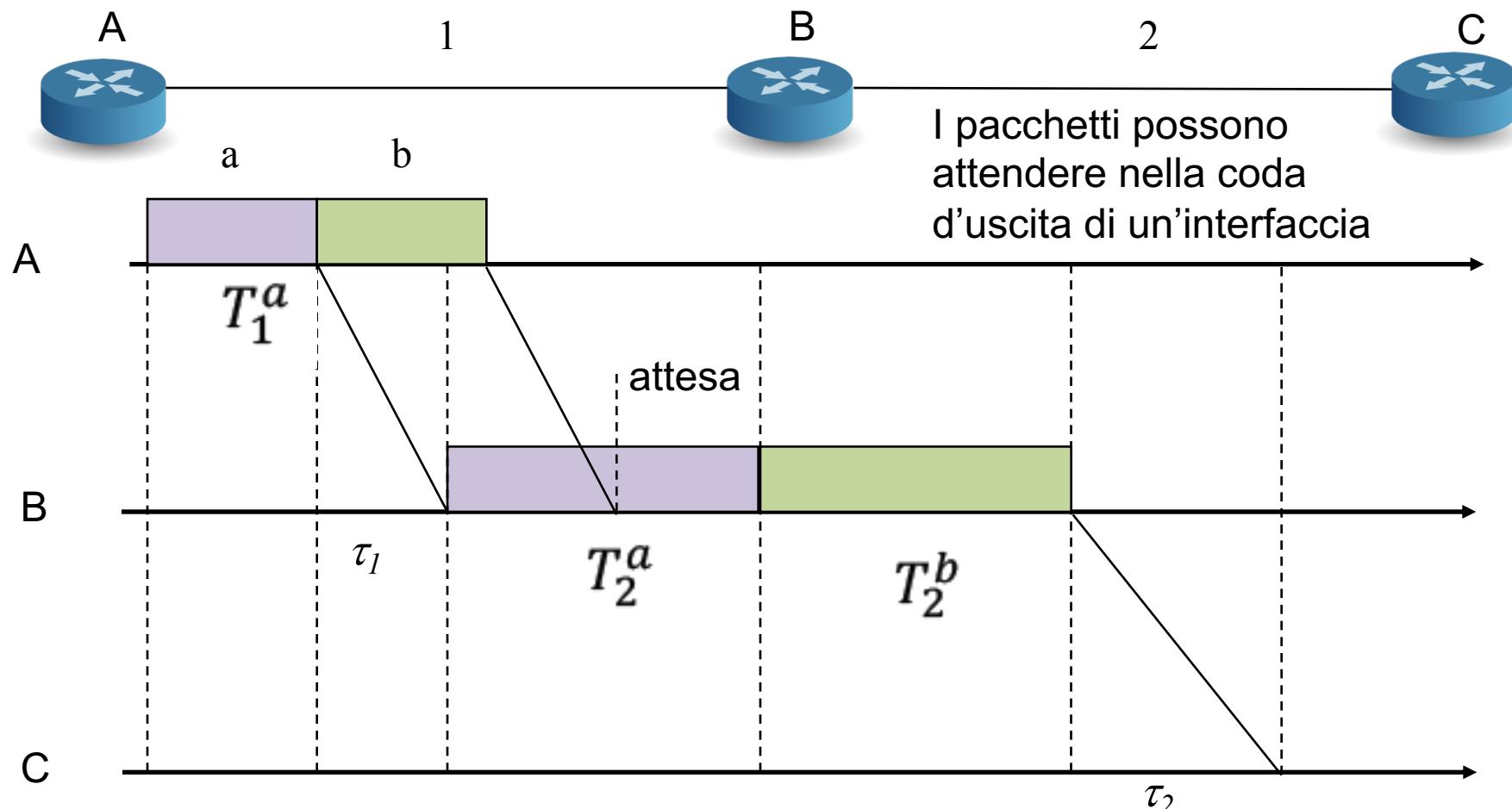
Tempo di elaborazione



Ritardo di accodamento

- Se la linea di uscita è occupata occorre aspettare in coda

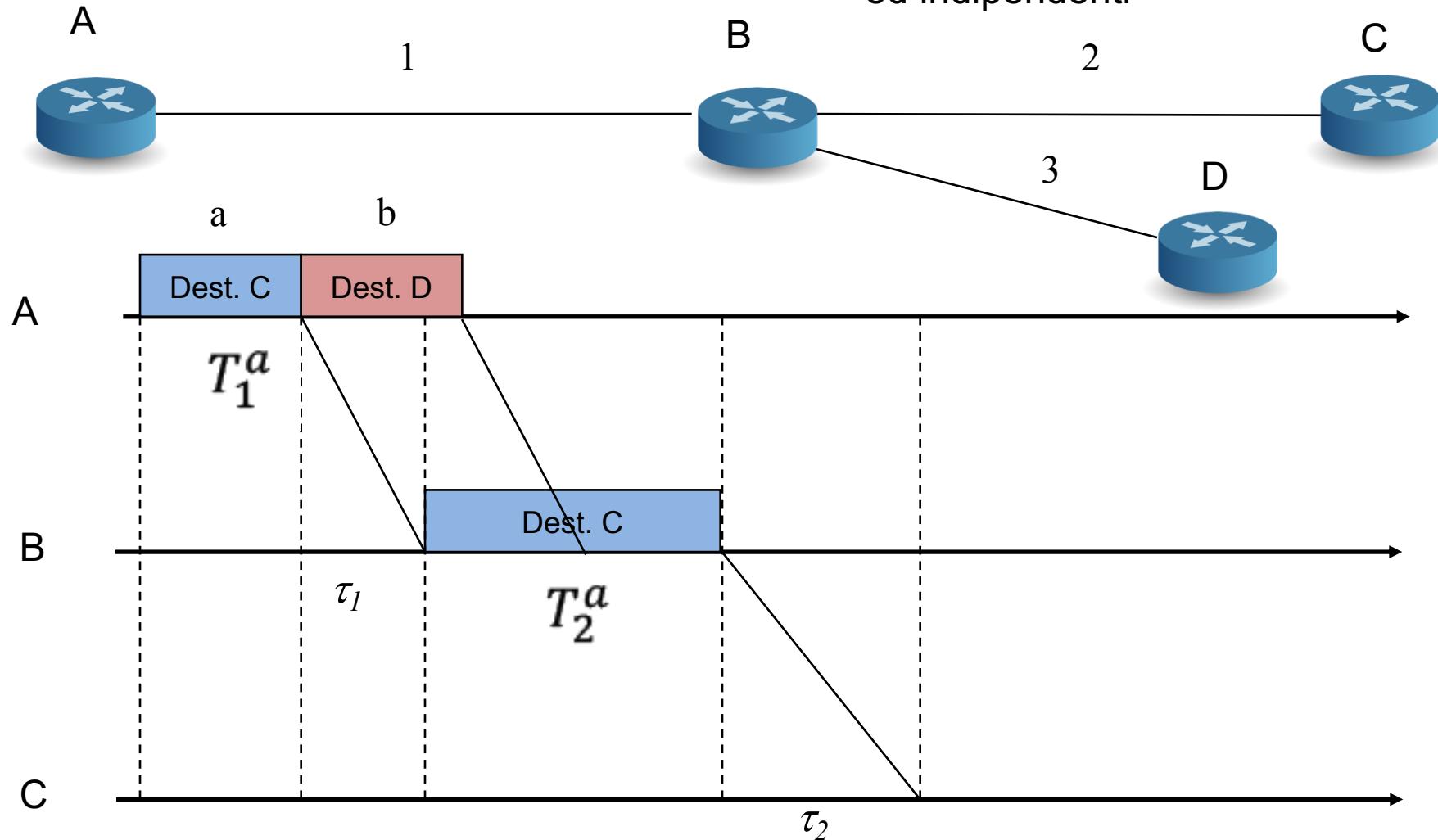
Esempio 1



Ritardo di accodamento

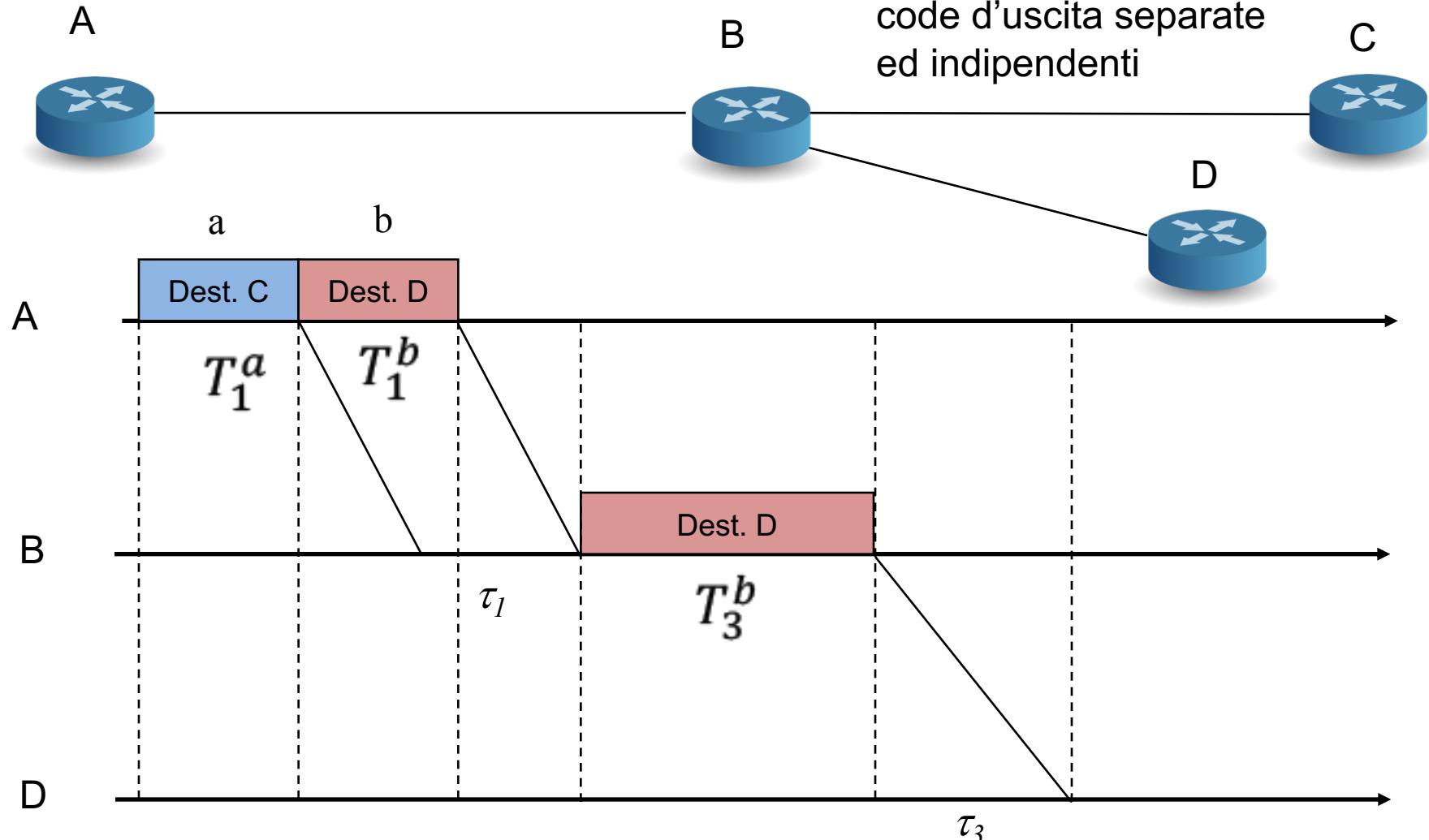
Esempio 2

Interfacce diverse hanno code d'uscita separate ed indipendenti



Ritardo di accodamento

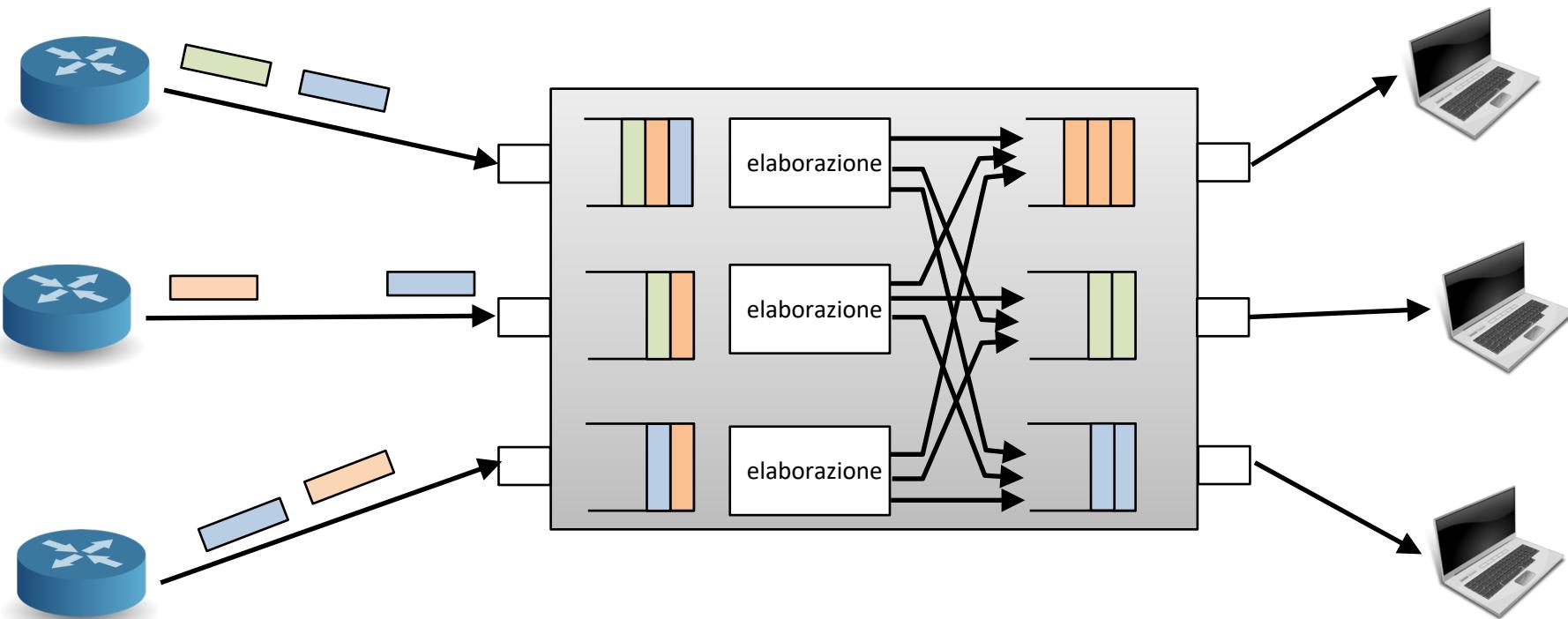
Esempio 2 (continua)



Ritardo di accodamento

Multiplazione statistica

Più in generale il **ritardo di accodamento** dipende dalla **multiplazione statistica** dovuto all'arrivo asincrono dei pacchetti alle code d'uscita (trasmissione)



Ritardo di accodamento

Multiplazione statistica

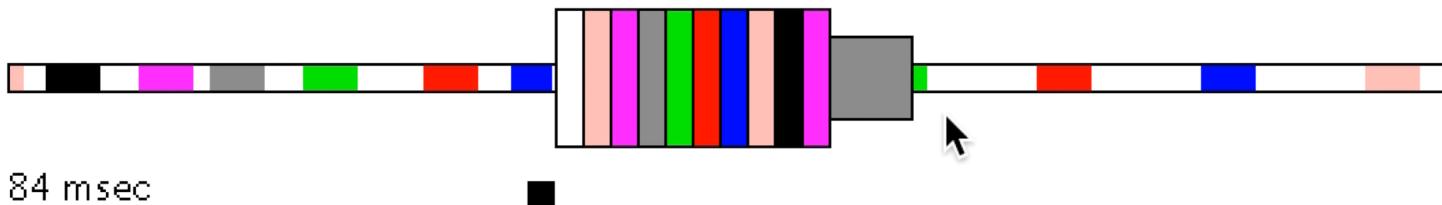
Più in generale il **ritardo di accodamento** dipende dalla **multiplazione statistica** dovuto all'arrivo asincrono dei pacchetti alle code d'uscita (trasmissione)

Emission rate Transmission rate



112 msec
0 packets dropped out of 32

Emission rate Transmission rate



84 msec
1 packets dropped out of 35



Ritardo di Accodamento

Del **ritardo di accodamento medio** T_a si possono fare dei modelli statistici basati sulla **teoria delle code**:

R = velocità del link [b/s]

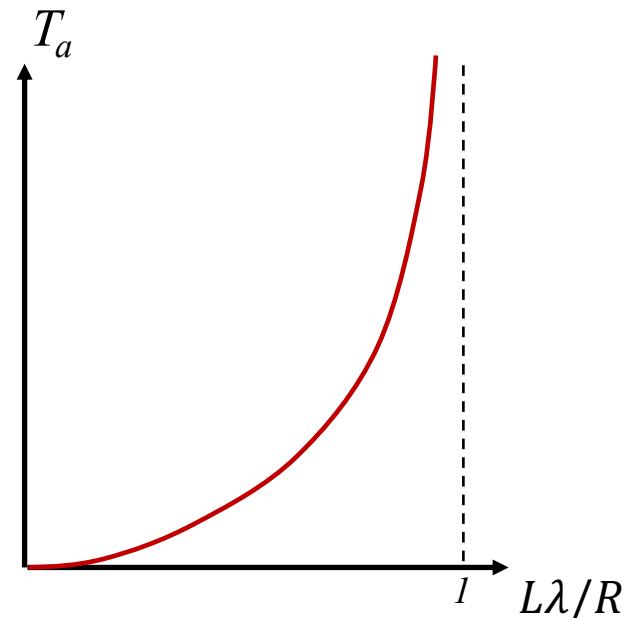
L = lunghezza pacchetto [bits]

λ = frequenza di arrivo dei pacchetti [pack/s]

Intensità di traffico = $L\lambda/R \sim 0$

$L\lambda/R \sim 0$: ritardo in coda piccolo

$L\lambda/R \rightarrow 1$: il ritardo tende all'infinito



Ritardo di Accodamento

Del **ritardo di accodamento medio** T_a si possono fare dei modelli statistici basati sulla **teoria delle code**:

R = velocità del link [b/s]

L = lunghezza pacchetto [bits]

λ = frequenza di arrivo dei pacchetti [pack/s]

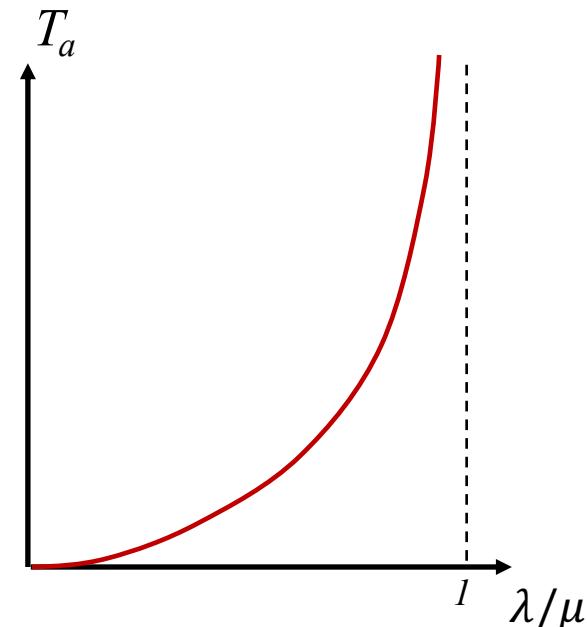
Definiamo:

μ = frequenza di trasmissione dei pacchetti [pack/s]

Si ha:

$$\mu = \frac{R}{L}$$

Si può mostrare che sotto alcuni condizioni sulla statistica degli arrivi e la distribuzione delle lunghezze dei pacchetti:



$$T_a = \frac{1}{\mu - \lambda} - \frac{1}{\mu}$$



Perdite di pacchetti in Internet

- Le code hanno **dimensioni limitate**
- In **congestione** (coda piena) i pacchetti che arrivano vengono **scartati**
- I pacchetti persi possono essere **ritrasmessi** o meno a seconda del livello/protocollo che gestisce l'evento di perdita (vedremo esempi a livello di linea e di trasporto).

