



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Architettura di Internet

a.a. 2022/2023

Esercitazione 2

Ulderico Vagnoni
ulderico.vagnoni2@unibo.it

www.unibo.it

Delay end-to-end e ritardi

- Delay di propagazione:

$$\frac{D}{v} = \frac{\text{distanza tra nodi}}{\text{velocità di propagazione}} \quad \frac{m}{\frac{m}{s}} = s$$

- Delay di trasmissione:

$$\frac{L}{R} = \frac{\text{dimensione del pacchetto}}{\text{Banda di trasmissione}} \quad \frac{\text{bit}}{\frac{\text{bit}}{s}} = s$$

- Delay di accodamento:

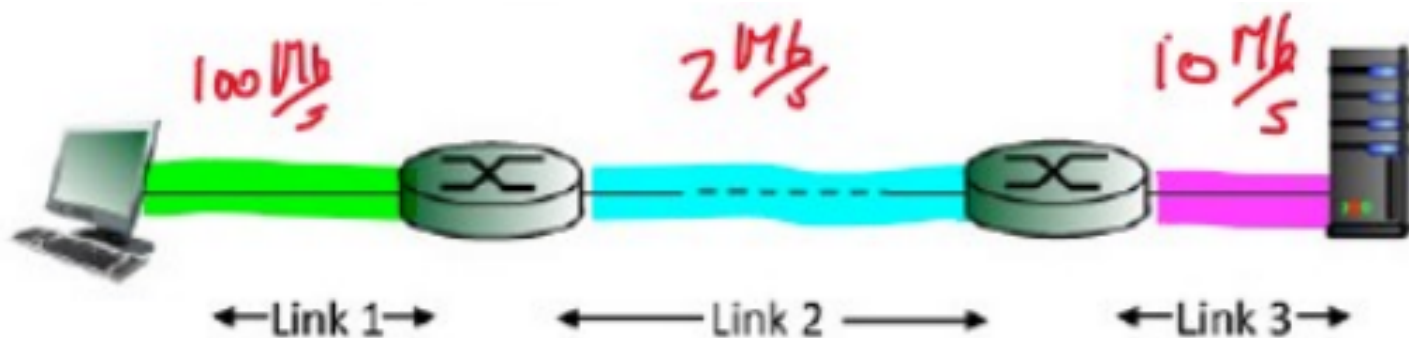
$$N \cdot d_{\text{trasm}} \rightarrow N = \# \text{ medio di pacchetti in coda}$$

- Delay di elaborazione → dipende dalla capacità di ciascun nodo, negli esercizi è dato come costante



Delay end-to-end e ritardi

Nel caso di una rete con collegamenti multipli, il ritardo end-to-end viene calcolato come la somma dei ritardi end-to-end dei singoli collegamenti:



Quindi, nel caso del collegamento in figura, il ritardo end-to-end verrà calcolato come:

$$d_{end-to-end} = d_{link(1)} + d_{link(2)} + d_{link(3)}$$

Throughput medio e massimo

Il throughput si riferisce alla quantità di dati che una rete effettivamente trasmette in un determinato periodo di tempo, espresso in bit al secondo (bps) o in byte al secondo (Bps).

Il throughput massimo, d'altra parte, si riferisce alla velocità massima teorica di trasmissione dati della rete.

Entrambi sono valori che misurano la qualità della rete.

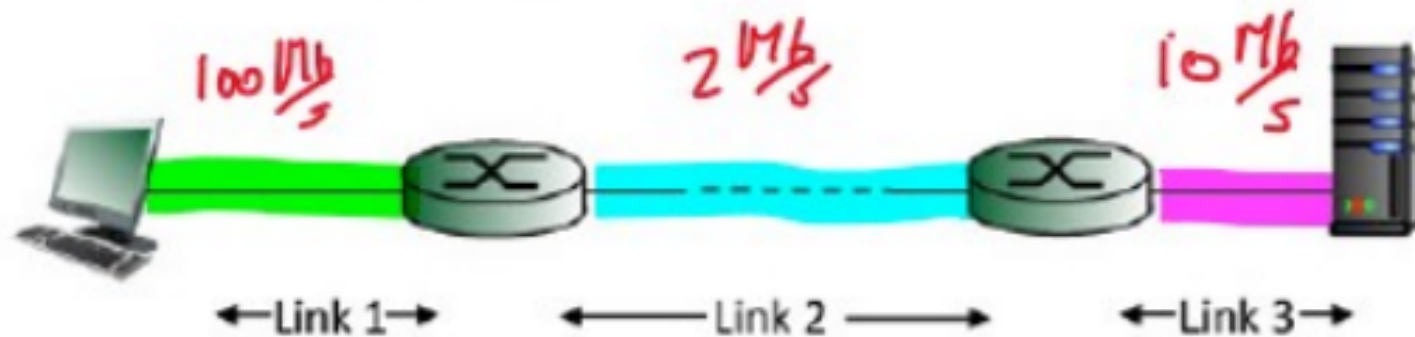


Throughput medio e massimo

Il throughput massimo corrisponde alla banda del collegamento:

$$T_{max} = R$$

Nel caso di una rete con collegamenti multipli, si considera il collegamento che fa da collo di bottiglia (il collegamento con banda più bassa):



In questo caso, il throughput massimo sarà pari a 2 Mbps

Throughput medio e massimo

Il throughput medio viene calcolato dividendo la dimensione del file trasmesso per il tempo totale di trasmissione:

$$T_{medio} = F/T_{totale}$$

Supponendo che il file venga trasmesso come flusso continuo di pacchetti, il tempo totale viene calcolato come:

$$T_{totale} = d_{prop} + N \times d_{trasm}$$

Supponendo invece che il file venga trasmesso pacchetto per pacchetto, il tempo totale viene calcolato come:

$$T_{totale} = N \times d_{prop} + N \times d_{trasm}$$

Dove il numero di pacchetti N viene calcolato come:

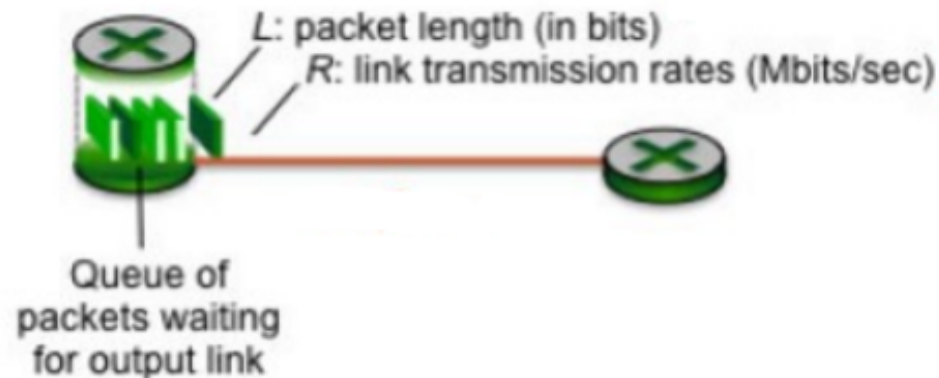
$$N = F/L$$

Anche qui, nel caso di una connessione con collegamenti multipli, si considera sempre il collegamento che fa da collo da bottiglia



Esercizio 1

Considerando il collegamento in figura, dove un router sta trasmettendo pacchetto di lunghezza $L = 1000$ bit su un collegamento singolo con una banda pari a 1 Mbps. Il collegamento ha una velocità di propagazione V pari a 3.0×10^8 m/s e lunghezza $D = 450$ m.



Considerando un ritardo di elaborazione pari a 0.2 ms, un ritardo di propagazione pari a 1.5×10^{-6} s, un ritardo di trasmissione pari a 1 ms, un ritardo di accodamento pari a 5 ms, e un file di dimensione 1 Gbit trasmesso come flusso continuo di pacchetti, calcolare :

- Tempo necessario a trasmettere il file
- Throughput medio
- Throughput massimo

Esercizio 1 - Soluzione

$$\begin{aligned}T_{totale} &= d_{prop} + N \times d_{trasm} \\&= 1.5 \times 10^{-6}s + N \times 1 \times 10^{-3}s \\&= 1.5 \times 10^{-6}s + \frac{F}{L} \times 1 \times 10^{-3}s \\&= 1.5 \times 10^{-6}s + \frac{1 \times 10^9 bit}{1 \times 10^3 bit} \times 1 \times 10^{-3}s \\&= 1.5 \times 10^{-6}s + 1 \times 10^3s = 1 \times 10^3s\end{aligned}$$

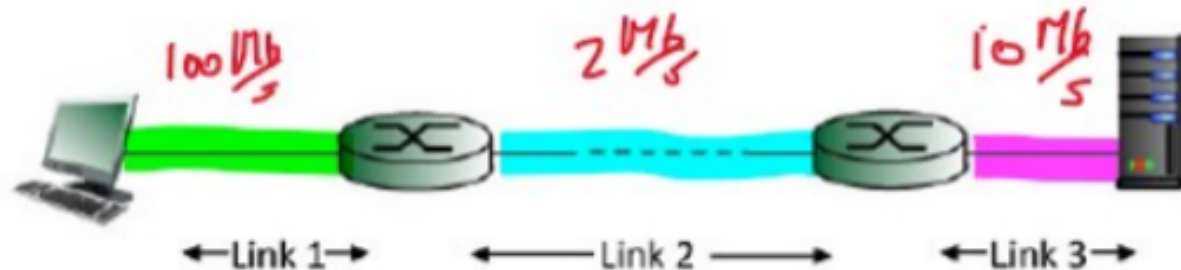
$$T_{medio} = \frac{1 \times 10^9 bit}{1 \times 10^3 s} = 1 \times 10^6 bit/s = 1 Mbps$$

Il throughput massimo coincide con la banda, 1 Mbps



Esercizio 2

Considerare la topologia di rete a tre link in figura:



Calcolare il ritardo end-to-end tra i due host nell'ipotesi che:

- Il ritardo di elaborazione sia costante e pari a 0.1ms
- il ritardo di accodamento è trascurabile
- La dimensione del pacchetto sia pari a $L = 1000$ bit
- Il link 1 ha banda pari a 100 Mbps e distanza pari a 100 m
- Il link 2 ha banda pari a 2 Mbps e distanza pari a 2500 km
- Il link 3 ha banda pari a 10 Mbps e distanza pari a 1 km
- La velocità di propagazione sia pari a $2.5 \cdot 10^8$ m/s

Supponendo che un file di 1 Gbit venga trasmesso sul collegamento come flusso continuo di dati, calcolare il tempo necessario a trasmettere tale file, il throughput medio e quello massimo

Esercizio 2 - Soluzioni

$$d_{end-to-end} = d_{link1} + d_{link2} + d_{link3}$$

$$d_{link1} = d_{prop} + d_{trasm} + d_{elab} \qquad d_{link1} = \frac{D_1}{V} + \frac{L}{R_1} + d_{elab}$$

$$d_{link1} = \left(\frac{1 \times 10^2 m}{2.5 \times 10^8 ms/s} \right) + \left(\frac{1 \times 10^3 bit}{1 \times 10^8 bit/s} \right) + 1 \times 10^{-4} s = 4 \times 10^{-7} s + 1 \times 10^{-5} s + 1 \times 10^{-4} s = 1 \times 10^{-4} s$$

$$d_{link2} = \left(\frac{2.5 \times 10^6 m}{2.5 \times 10^8 ms/s} \right) + \left(\frac{1 \times 10^3 bit}{1 \times 10^6 bit/s} \right) + 1 \times 10^{-4} s = 1 \times 10^{-2} s + 5 \times 10^{-4} s + 1 \times 10^{-4} s = 1 \times 10^{-2} s$$

$$d_{link3} = \left(\frac{1 \times 10^3 m}{2.5 \times 10^8 ms/s} \right) + \left(\frac{1 \times 10^3 bit}{1 \times 10^7 bit/s} \right) + 1 \times 10^{-4} s = 4 \times 10^{-6} s + 1 \times 10^{-4} s + 1 \times 10^{-4} s = 2 \times 10^{-4} s$$

$$d_{end-to-end} = 1 \times 10^{-4} s + 1 \times 10^{-2} s + 2 \times 10^{-4} s = 1 \times 10^{-2} s$$



Esercizio 2 - Soluzioni

$$T_{tot} = d_{prop} + N \times d_{trasm}$$

$$T_{tot} = 1 \times 10^{-2}s + (F/L) \times (L/R)$$

$$T_{tot} = 1 \times 10^{-2}s + F/R = 1 \times 10^{-2}s + \frac{1 \times 10^9 bit}{2 \times 10^6 bit/s} = 0.5 \times 10^3s = 5 \times 10^2s$$

$$T_{medio} = \frac{F}{T_{tot}} = 2Mbps$$

$$T_{max} = R_2 = 2Mbps$$

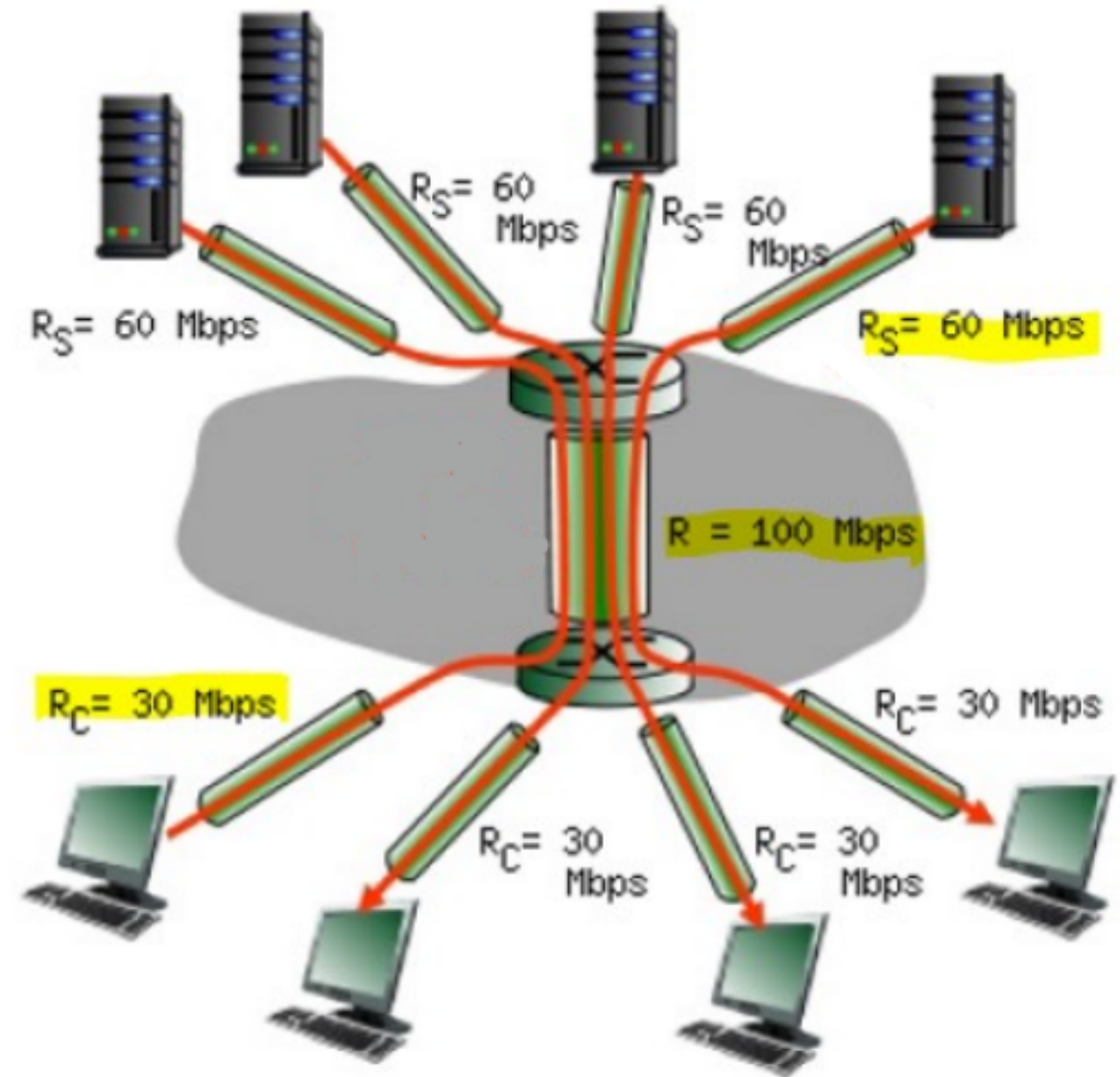


Esercizio 3

Considerare la topologia di rete in figura e calcolare il ritardo end-to-end tra un client e un server nell'ipotesi che:

- il ritardo di accodamento e di elaborazione sono trascurabili
- La dimensione del pacchetto sia pari a $L = 1500$ byte
- Il link dei server abbiano lunghezza pari a 50 m
- Il link condiviso abbia lunghezza 1000 km
- Il link dei client abbia lunghezza 500 m
- La velocità di propagazione sia pari a $V = 2.5 \cdot 10^8$ m/s
- La banda del link condiviso è divisa equamente

Qual è il throughput massimo del collegamento?



Esercizio 3 - Soluzioni

$$d_{end-to-end} = d_{server} + d_{condiviso} + d_{client}$$

$$d_{server} = d_{prop} + d_{trasm}$$

$$d_{server} = D_s/V + L/R_s$$

$$d_{server} = \frac{5 \times 10m}{2.5 \times 10^8 m/s} + \frac{1.5 \times 10^3 bit \times 8}{6 \times 10^7 bit/s}$$

$$d_{server} = \frac{5 \times 10m}{2.5 \times 10^8 m/s} + \frac{1.5 \times 10^3 bit \times 8}{6 \times 10^7 bit/s} = 2 \times 10^{-4} s$$

$$d_{condiviso} = \frac{1 \times 10^6 m}{2.5 \times 10^8 m/s} + \frac{1.5 \times 10^3 bit \times 8}{2.5 \times 10^7 bit/s}$$

$$d_{condiviso} = 4 \times 10^{-3} s + 4.8 \times 10^{-4} = 4.48 \times 10^{-3} s$$

$$d_{client} = \frac{5 \times 10^2 m}{2.5 \times 10^8 m/s} + \frac{1.5 \times 10^3 bit \times 8}{3 \times 10^7 bit/s}$$

$$d_{client} = 2 \times 10^{-6} s + 4 \times 10^{-4} s = 4.02 \times 10^{-4} s$$



Esercizio 3 - Soluzioni

$$d_{end-to-end} = 2 \times 10^{-4}s + 4.48 \times 10^{-3} + 4.02 \times 10^{-4}s = 5.08 \times 10^{-3}s$$

Il throughput massimo coincide con la banda del collegamento che fa da collo da bottiglia, in questo caso il link condiviso.

Quindi, il throughput massimo è uguale a 25 Mbps



Bandwidth Delay Product (BDP)

Il bandwidth delay product rappresenta il numero massimo di bit che possono essere presenti contemporaneamente sul collegamento tra due nodi.

Il BDP viene calcolato moltiplicando la banda della rete per il ritardo di propagazione tra i due nodi di comunicazione.

Esempio: se la banda della rete è di 1 bps e il ritardo di propagazione tra due nodi è di 5 secondi, il BDP sarà di 5 bit ($1 \text{ bps} * 5 \text{ s} = 5 \text{ bit}$):

$$BDP = d_{prop} * R$$



Perdita di pacchetti

I pacchetti persi corrispondono ai pacchetti che non raggiungono la destinazione a causa di errori di trasmissione o di congestionamento di rete. Quando un pacchetto viene perso, il destinatario non riceve le informazioni contenute nel pacchetto e può causare ritardi o errori nella ricezione dei dati.

Il numero di pacchetti persi viene calcolato come il numero di pacchetti per la probabilità di perdere un pacchetto:

$$N_{persi} = N \times P_{perdita}$$

Supponendo quindi uno scenario con dei pacchetti persi, il tempo totale impiegato per la trasmissione di un file viene calcolato come il tempo consumato dai pacchetti persi più il tempo normale che i pacchetti impiegano:

$$T_{perdita} = N \times (d_{prop} + d_{trasm}) + N_{persi} \times (d_{prop} + d_{trasm})$$



Esercizio 4

Considerare un collegamento singolo tra due nodi A e B, separati da 8000 km e collegati da una fibra ottica con banda 100 MBps. Assumendo che la velocità di propagazione del segnale sulla fibra sia di $2.5 * 10^8$ m/s, calcolare:

- Il BDP (Bandwidth-Delay Product)
- Assumere che un file di 1550 Gbyte sia inviato come un flusso di pacchetti. Quale è il numero massimo di bit che si troveranno in viaggio sulla fibra in un dato momento?
- Assumendo che il cavo abbia una probabilità di perdita di 10^{-6} e che i segmenti inviati abbiano una grandezza di 1500 Byte, calcolare il numero medio di segmenti persi del file al punto precedente e il tempo totale impiegato per trasmettere il file



Esercizio 4 - Soluzioni

$$BDP = R \times d_{prop} = R \times \frac{D}{V} = 1 \times 10^8 \times 8bit \times \frac{8 \times 10^6 m}{2.5 \times 10^8 m/s} = 2.56 \times 10^7 bit = 25.6 Mbit$$

Il numero massimo di bit sulla linea è pari al prodotto banda-ritardo

$$N = \frac{1550 \times 10^9 byte}{1500 byte} = 1.033 \times 10^9$$

$$N_{persi} = N \times P_{perdita} = 1.033 \times 10^9 \times 10^{-6} = 1033.33 = 1.033 \times 10^3$$

$$T_{totale} = T_{persi} + T_{normale} = N_{persi} \times d_{tot} + N \times d_{tot}$$

$$d_{tot} = d_{prop} + d_{trasm} = \frac{8 \times 10^6 m}{2.5 \times 10^8 m/s} + \frac{1.5 \times 8 \times 10^3 bit}{1 \times 10^8 bit/s} = 3.212 \times 10^{-2} s$$

$$T_{totale} = (1.033 \times 10^3) \times (3.212 \times 10^{-2} s) + (1.033 \times 10^9) \times (3.212 \times 10^{-2} s) = 3.318 \times 10^7 s$$



Esercizio 5

Considerare un collegamento singolo tra due nodi A e B, separati da 900 km e collegati da una fibra ottica con banda 10 Mbps. Assumendo che la velocità di propagazione del segnale sulla fibra sia di $2.5 * 10^8$ m/s e che la grandezza dei pacchetti sia di 15 kbit, calcolare:

- Calcolare il ritardo end-to-end
- Se il server inizia a trasmettere un pacchetto all'istante $t = 0$, dove si trova l'ultimo bit del pacchetto all'istante $t = d_{trasm}$
- Se il server inizia a trasmettere un pacchetto all'istante $t = 0$, dove si trova il primo bit del pacchetto all'istante $t = d_{trasm}$
- Determinare la distanza tra i due host tale per cui il ritardo di trasmissione è uguale a quello di propagazione





ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Campus di Bologna
Corso di Laurea in Informatica per il management

E-mail ulderico.vagnoni2@unibo.it

www.unibo.it