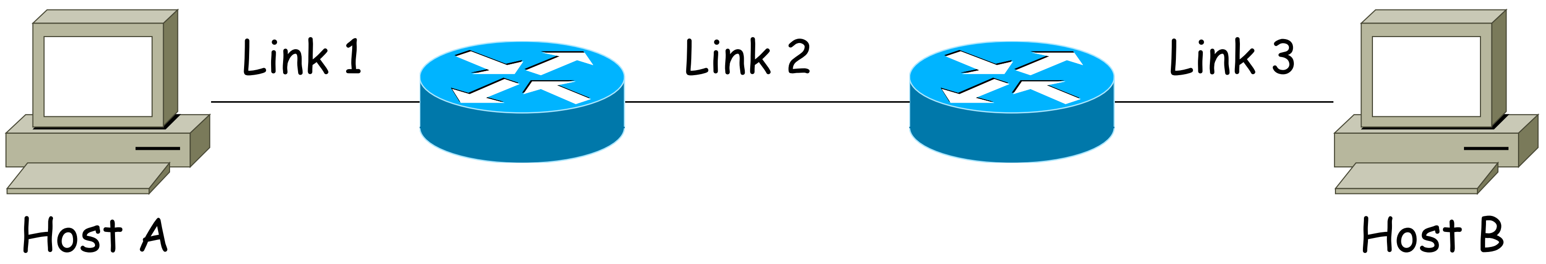
Marco Listanti

Esercizi 1

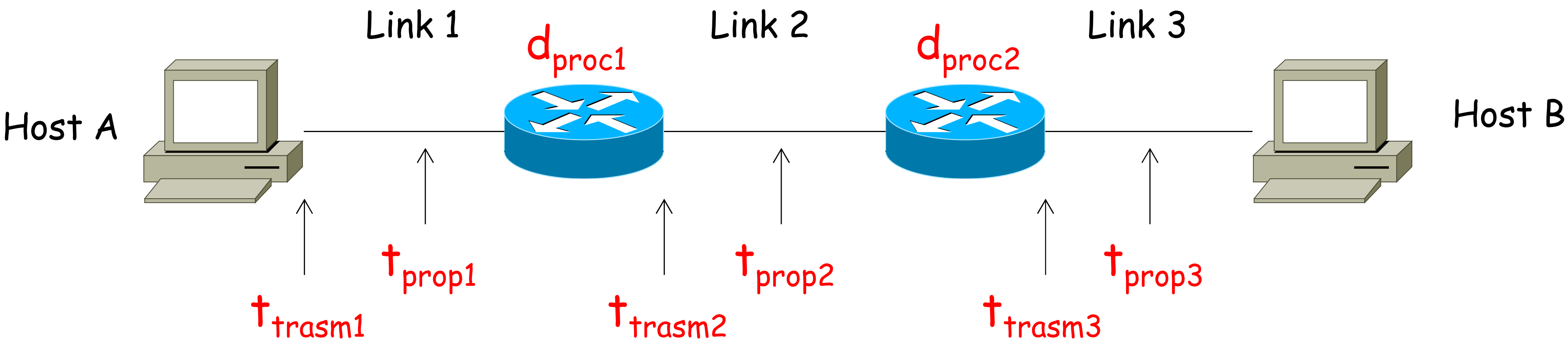
Ritardi di trasferimento

Esercizio 1 (1)

- Consideriamo un pacchetto di lunghezza L (bit) trasmesso da un host A ad un host B attraverso tre link. Siano d_i, v_i, e R_i la lunghezza (km), la velocità di propagazione (m/s) ed il bit rate di trasmissione (bit/s) sul link i=1,2,3; sia inoltre d_{proc} il tempo di elaborazione (ms) necessario in ogni router per le operazioni di switching.
- Assumendo che il tempo di accodamento in ogni router sia nullo, si determini il tempo complessivo D_{e2e} di trasferimento del pacchetto dall'host A all'host B.



Esercizio 1 (2)



- **Il ritardo end-to-end (D_{e2e}) è dato da:**

$$D_{e2e} = t_{trasm1} + t_{prop1} + d_{proc1} + t_{trasm2} + t_{prop2} + d_{proc2} + t_{trasm3} + t_{prop3}$$

- quindi

$$D_{e2e} = \frac{L}{R_1} + \frac{d_1}{v_1} + d_{proc1} + \frac{L}{R_2} + \frac{d_2}{v_2} + d_{proc2} + \frac{L}{R_3} + \frac{d_3}{v_3} =$$

$$= L\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right) + \frac{d_1}{v_1} + \frac{d_2}{v_2} + \frac{d_3}{v_3} + d_{proc1} + d_{proc2}$$

Esercizio 1 (3)

- **Nelle ipotesi che:**
  - a) il pacchetto abbia una lunghezza L=1500 byte;
  - b) la velocità di propagazione sui tre link sia $v=2\ 10^8$ m/s (5 μs/km);
  - c) il rate di trasmissione sui tre link sia R=2 Mbit/s;
  - d) il tempo di processa mento dei due router sia d_{proc}=3 ms;
  - e) le lunghezze dei link siani d_1= 5000 km, d_2=4000 km, d_3=1000 km
- **qual è il ritardo end-to-end D_{e2e} del pacchetto ?**
- **Si ha**

$$D_{\mathrm{e2e}} = L\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\right)+\frac{d_1}{v_1}+\frac{d_2}{v_2}+d_{\mathrm{proc1}}+d_{\mathrm{proc2}} =$$

$$= \frac{3L}{R}+\frac{1}{v}\cdot\left(d_1+d_2+d_3\right)+2\cdot d_{\mathrm{proc}}$$

Esercizio 1 (4)

- **Quindi**

$$D_{e2e} = \frac{3L}{R} + \frac{1}{v}\cdot(d_1 + d_2 + d_3) + 2\cdot d_{proc}$$

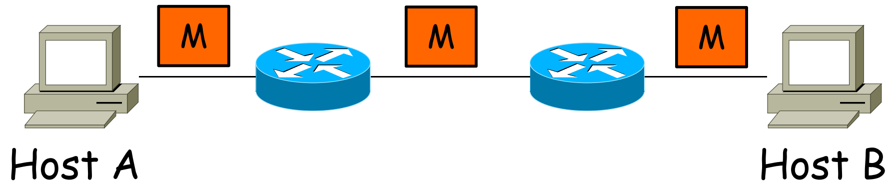
  - $3L = 3\cdot 1500\cdot 8 = 36.000$ bit
  - $d_1+d_2+d_3 = 5000 + 4000 + 1000 = 10.000$ km
  - $2\cdot d_{proc} = 6$ ms
- **Da cui**

$$\frac{3L}{R} = \frac{36000}{2\cdot 10^6} = 18\ ms \qquad \frac{1}{v}\cdot(d_1 + d_2 + d_3) = \frac{10000}{2\cdot 10^5} = 50\ ms \qquad 2\cdot d_{proc} = 6\ ms$$

$$D_{e2e} = 18 + 50 + 6 = 74\ ms$$

Esercizio 2(1)

- L'host sorgente suddivide i messaggi (per esempio, un'immagine o un file di musica) in pacchetti che trasmette in rete. Il destinatario riassembla i pacchetti per ricostruire il messaggio originario. Chiamiamo questo processo segmentazione del messaggio. La Figura illustra il trasporto end-to-end di un messaggio con e senza segmentazione.



- (a) Si consideri un messaggio lungo $M=8 \cdot 10^6$ bit e si supponga che ogni link abbia un bit rate R=2 Mbit/s. Si trascurino i ritardi di propagazione, di accodamento e di elaborazione.
  - Calcolare il tempo di trasferimento del messaggio dall'host sorgente al primo router.
  - Qual è il tempo totale richiesto per trasferire il messaggio tra l'host sorgente e quello di destinazione?
- (b) Si consideri ora che il messaggio venga segmentato in N=800 pacchetti, di lunghezza L=10000 bit.
  - Quanto tempo è richiesto per trasferire il primo pacchetto dall'host sorgente al primo router ?
  - In quale istante il secondo pacchetto sarà completamente ricevuto dal primo router ?
- (c) Quanto tempo richiede la trasmissione del file se si usa la segmentazione del messaggio in pacchetti ?

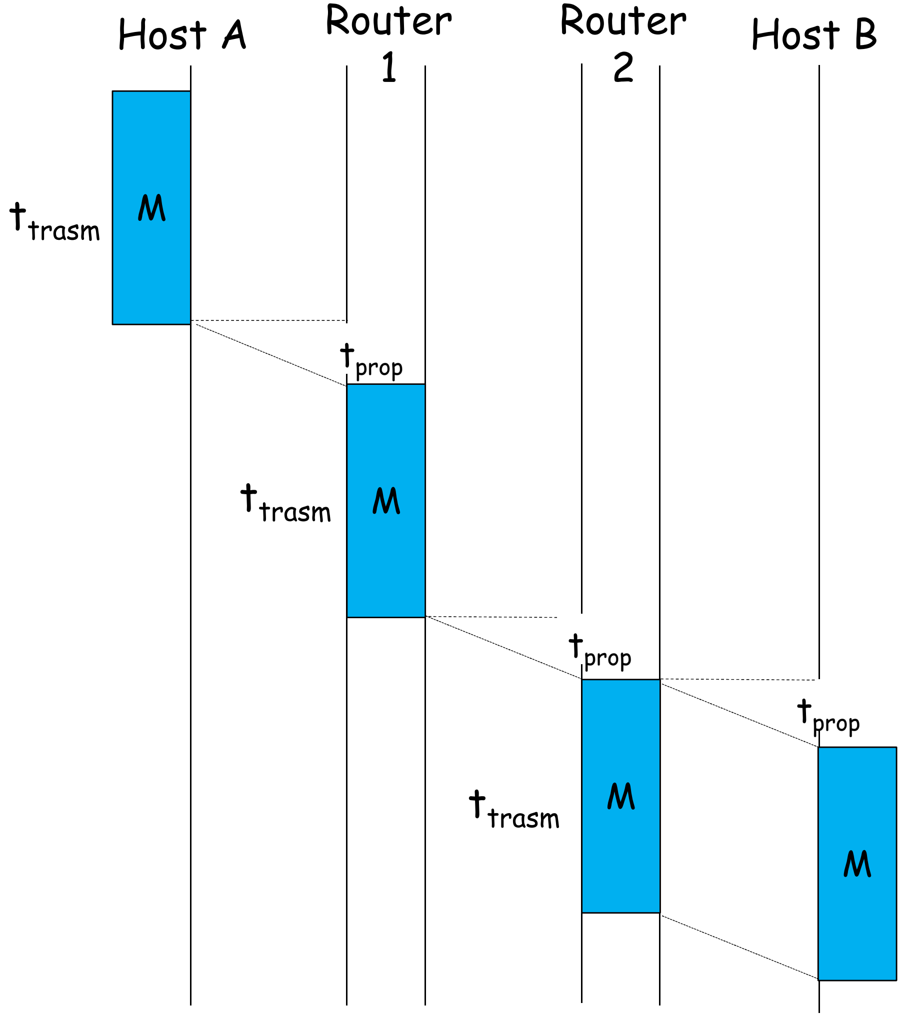
- Confrontate questo risultato con la risposta del punto (a).

Esercizio 2(2)

- **Quesito (a)**
  - Riprendendo l'espressione del ritardo di trasferimento calcolato nell'esercizio 1 e considerando che sono trascurabili i tempi di propagazione e di elaborazione, si ha:

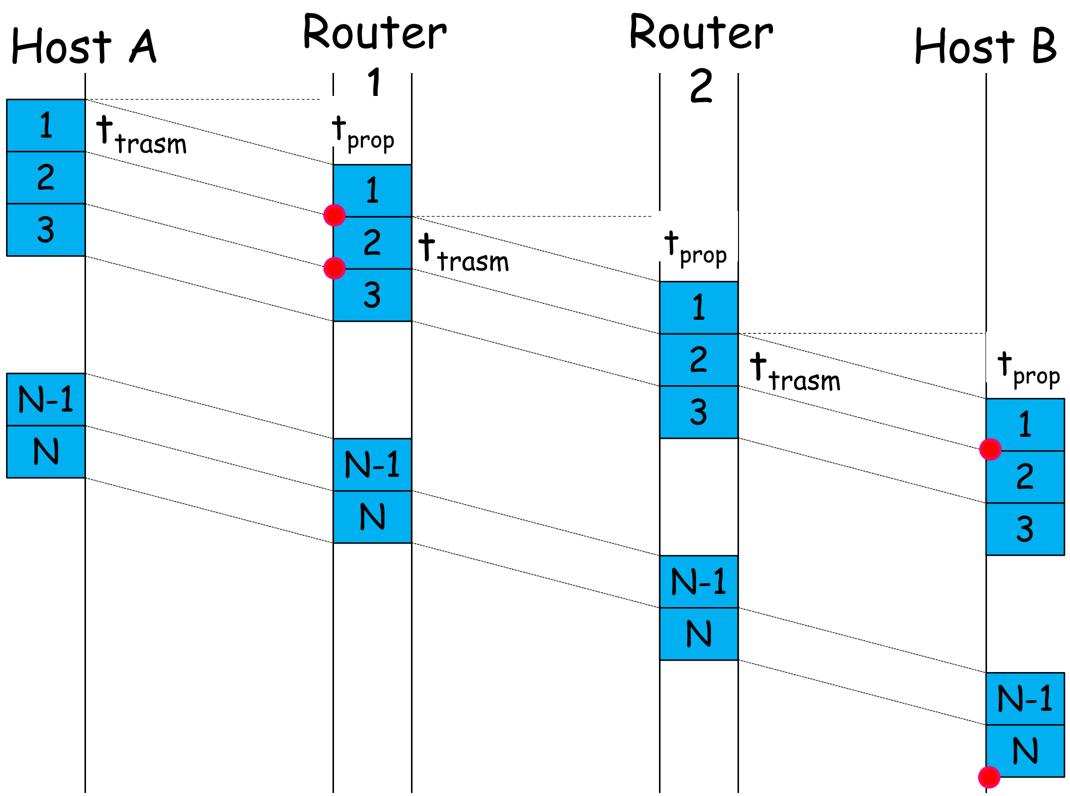
$$D_1 = \frac{M}{R} + t_{prop} = \frac{8 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6} + 0 = 4\ s$$

$$\boxed{D_{e2e} = \frac{3M}{R} + 3t_{prop} = \frac{3 \cdot 8 \cdot 10^6}{2 \cdot 10^6} + 0 = 12\ s}$$



Esercizio 2(3)

- **Quesiti (b) e (c)**
  - Il trasferimento dei pacchetti avviene secondo lo schema illustrato in figura



$$t_{trasm} = \frac{L}{R} = \frac{10^4}{2 \cdot 10^6} = 5\ ms$$

$$T_1 = \frac{L}{R} + t_{prop} = 5 + 0 = 5\ ms$$

$$T_2 = \frac{2L}{R} + t_{prop} = 10 + 0 = 10\ ms$$

$$\boxed{D_{e2e} = \left[3 \cdot t_{trasm} + 3 \cdot t_{prop}\right] + \left[(N-1) \cdot t_{trasm}\right]}$$

Tempo di trasferimento del primo pacchetto

Tempo di trasmissione dei restanti (N-1) pacchetti

Esercizio 2(4)

- **Il tempo di trasferimento complessivo D_{e2e} sarà:**

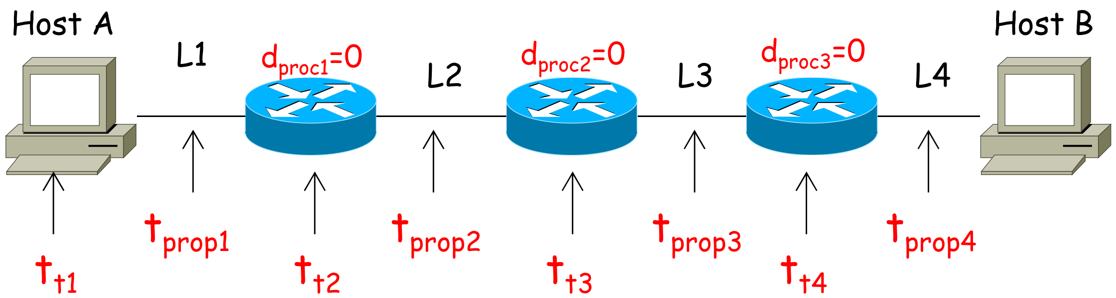
$$D_{\mathrm{e2e}} = \left[3 \cdot t_{trasm} + 3 \cdot t_{prop}\right] + \left[(N-1) \cdot t_{trasm}\right] = 3\frac{L}{R} + 3 \cdot t_{prop} + (N-1)\frac{L}{R} = 4.01\ s$$

- **(d) Oltre a ridurre il ritardo, ci sono altri vantaggi della segmentazione dei messaggi ?**
  - Migliori prestazioni dei meccanismi di error recovery e di ritrasmissione
- **(e) Quali sono gli svantaggi della segmentazione dei messaggi.**
  - Maggiore overhead

Esercizio 3(1)

- **Si consideri il trasferimento di un messaggio di M=1000 bit tra due host A e B attraverso una sezione di rete a pacchetto costituita da K=3 nodi.**
- **Si suppone che:**
  - il ritardo di propagazione su ogni link sia di D=0,1 s
  - il bit rate su ogni link sia R=400 bit/s
  - il carico su ogni nodo e il tempo di elaborazione dei nodi siano trascurabili
  - l'intestazione dei pacchetti sia di lunghezza costante H=20 bit
- **Si vogliono confrontare due soluzioni:**
  - a) i pacchetti della rete hanno un campo informativo di dimensione costante L=80 bit
  - b) i pacchetti della rete hanno un campo informativo di dimensione variabile di dimensione massima L=80 bit
- **Si chiede di:**
  - 1. calcolare il ritardo di trasferimento del messaggio nelle soluzioni a) e b)
  - 2. indicare, in generale, come la differenza di ritardi di trasferimento delle due soluzioni a) e b) varia al crescere L

Esercizio 3(2)



- **Caso (a): lunghezza pacchetti costante L**
  - Il messaggio è segmentato in N pacchetti

$$N = \left\lceil \frac{M}{L} \right\rceil = \left\lceil \frac{1000}{80} \right\rceil = 13$$

  - Considerando che ogni pacchetto avrà lunghezza complessiva L_p=H+L=100 bit e quindi t_{ti}=250 ms (i=1,..,4), il ritardo $D_{e2e}(a)$ è dato da

$$D_{e2e}(a) = 4\frac{H+L}{R} + 4D + \left(\left\lceil \frac{M}{L} \right\rceil - 1\right)\frac{(H+L)}{R} = 4 \cdot 250 + 4 \cdot 100 + 12 \cdot 250 = 4400\ ms = 4.4\ s$$

Tempo di trasferimento del primo pacchetto

Tempo di trasmissione dei restanti (N-1) pacchetti

Esercizio 3(3)

- **Caso (b): pacchetti di lunghezza variabile con lunghezza massima L_{max}**
  - In questo caso il messaggio sarà segmentato in N=13 pacchetti, di cui i primi N-1=12 saranno di lunghezza massima L_{max}, mentre l'ultimo avrà lunghezza L_2

$$L_2 = M - (N-1) \cdot L_{\max} = 1000 - 12 \cdot 80 = 40 \ bit$$

  - Da cui il tempo di trasferimento $D_{e2e}(b)$

$$D_{\text{e2e}}(b) = 4\frac{H + L_{\max}}{R} + 4D + \left(\left\lceil \frac{M}{L_{\max}} \right\rceil - 2 \right) \frac{(H + L_{\max})}{R} + \frac{(H + L_2)}{R} =$$

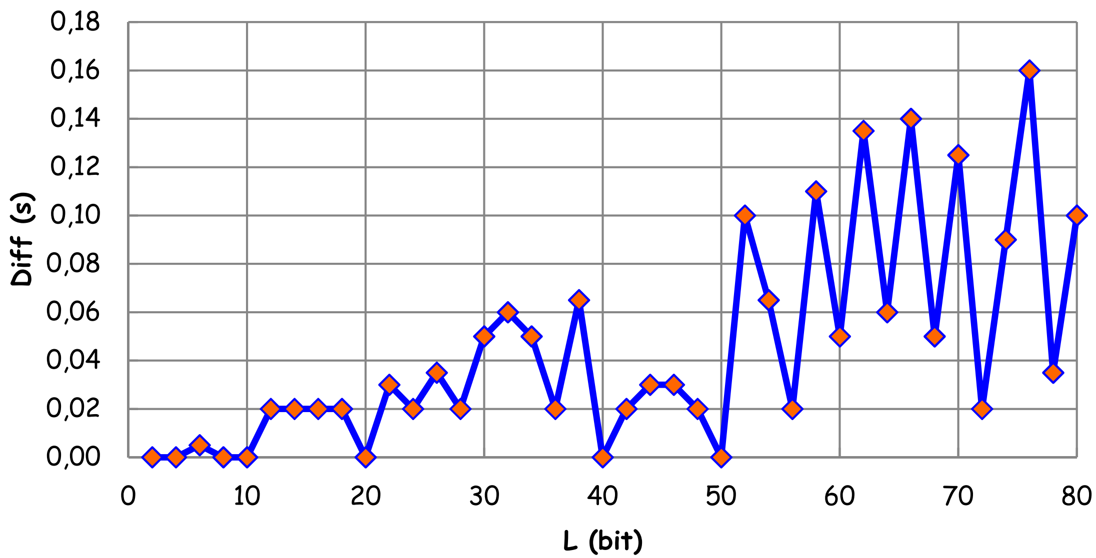
$$= 4 \cdot 250 + 4 \cdot 100 + 11 \cdot 250 + 150 = 4300 \ ms = 4.3 \ s$$

Esercizio 3(4)

- **Differenza dei ritardi al variare di L**
  - $Diff = D_{e2e}(a) - D_{e2e}(b)$
  - I due ritardi sono uguali per valori di L_{max} sottomultipli di M
  - Al crescere di L_{max} la differenza tendenzialmente cresce perché pesa maggiormente in $D_{e2e}(a)$ il tempo di trasmissione dell'ultimo pacchetto

$$Diff = D_{e2e}(a) - D_{e2e}(b) =$$

$$= \frac{1}{R}\left(\left\lceil \frac{M}{L_{max}} \right\rceil \cdot L_{max} - M \right)$$



Scelta della lunghezza del pacchetto

- Al crescere di L_{max} diminuisce l'effetto pipeline
- Al diminuire di L_{max} cresce il peso dell'intestazione H
- Ottimizzazione di L_{max}:
  - Supponiamo che il numero di link sia K e che $\lceil y \rceil = y + \frac{1}{2}$

$$D_{\mathrm{e2eAB}}(b) = d_{propAB} + \left(\left\lceil \frac{M}{L_{\max}} \right\rceil - 1\right)\frac{(H + L_{\max})}{R} - \frac{(H + L_{\max})}{R} + K\frac{H + L_{\max}}{R} + \frac{(H + L_2)}{R} =$$

$$= d_{propAB} + (K-1)\frac{H + L_{\max}}{R} + \left(\left\lceil \frac{M}{L_{\max}} \right\rceil - 1\right)\frac{(H + L_{\max})}{R} + \frac{H}{R} + \frac{1}{R}\left[M - \left(\left\lceil \frac{M}{L_{\max}} \right\rceil - 1\right)\cdot L_{\max}\right] =$$

$$= d_{propAB} + (K-1)\frac{H + L_{\max}}{R} + \left(\frac{M}{L_{\max}} - \frac{1}{2}\right)\frac{(H + L_{\max})}{R} + \frac{H}{R} + \frac{1}{R}\left[M - \left(\frac{M}{L_{\max}} - \frac{1}{2}\right)\cdot L_{\max}\right]$$

$$D_{\mathrm{e2eAB}}(b) = d_{propAB} + (K-1)\frac{H + L_{\max}}{R} + \frac{M}{R} + \frac{H \cdot M}{R \cdot L_{\max}} + \frac{H}{2R}$$

Scelta della lunghezza del pacchetto

- Il valore ottimo di L_{max} che minimizza il ritardo $D_{e2eAB}(b)$ si ottiene risolvendo l'equazione

$$\frac{d}{dL_{\max}} D_{\text{e2eAB}}(b) = 0$$

- da cui

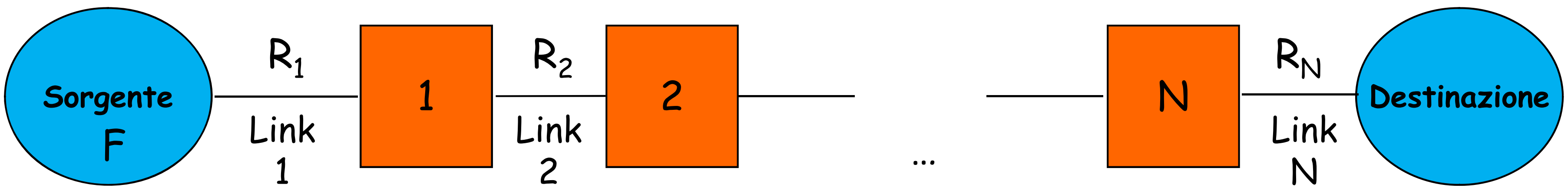
$$\frac{d}{dL_{\max}} D_{\text{e2eAB}}(b) = \frac{K-1}{R} - \frac{M \cdot H}{R \cdot L_{\max}^2} = 0 \quad \Rightarrow \quad \boxed{L_{\max\ opt} = \sqrt{\frac{M \cdot H}{K-1}}}$$

- Nel nostro caso

$$L_{\max\ opt} = \sqrt{\frac{M \cdot H}{K-1}} = \sqrt{\frac{40000}{3}} \cong 116\ bit$$

Flusso continuo

- **Il ritardo di trasferimento che interessa in questo caso è l'intervallo di tempo tra l'istante in cui un dato bit entra nella rete e l'istante in cui lo stesso bit ne esce (DBIT)**
  - F: il ritmo binario di codifica di sorgente (costante);



Ritardo di trasferimento: flusso continuo

- **Supponiamo che**
  - per ogni link risulti

$$\frac{L+H}{R_i} \le \frac{L}{F}$$

Tempo di pacchettizzazione

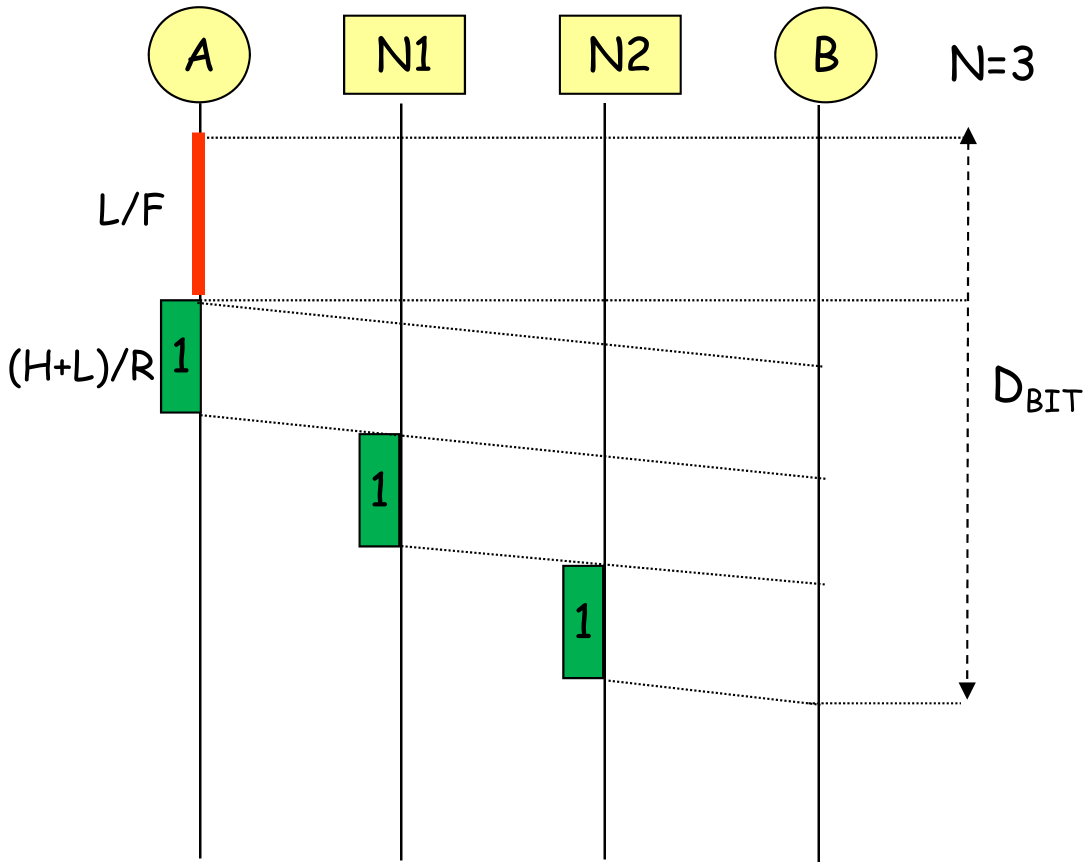
  - Il tempo di trasmissione di un pacchetto sia non superiore al tempo di riempimento del pacchetto (tempo di pacchettizzazione)
  - i ritardi di propagazione e di elaborazione siano trascurabili;
  - il ritardo di attesa nei buffer dei nodi sia trascurabile

Ritardo di trasferimento: flusso continuo

- **Allora**

$$D_{BIT} = \frac{L}{F} + (L+H)\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{R_i}$$

- **dove**
  - il primo addendo è il ritardo di pacchettizzazione
  - il secondo addendo è il tempo di emissione di un pacchetto sull'insieme delle varie interfacce che costituiscono il percorso del flusso informativo



Ritardo di trasferimento: flusso continuo

- D_{BIT} diminuisce quando L diminuisce, finché per una o più interfaccia risulti

$$\frac{L+H}{R_i} = \frac{L}{F}$$

  - in questo caso si ha il minimo ritardo di trasferimento

- Diminuendo ulteriormente L, il ritardo di trasferimento diventa infinito, in quanto si ha accumulo indefinito di pacchetti sull'interfaccia per cui

$$\frac{L}{F} < \frac{L+H}{R_i}$$

- All'aumentare della capacità di trasferimento R_i, l'addendo dominante nell'espressione di D_{BIT} è L/F (termine che non è influenzato dalla presenza di altro traffico)