

# Ritardi di Trasferimento

## Addendum #2



SAPIENZA  
UNIVERSITÀ DI ROMA

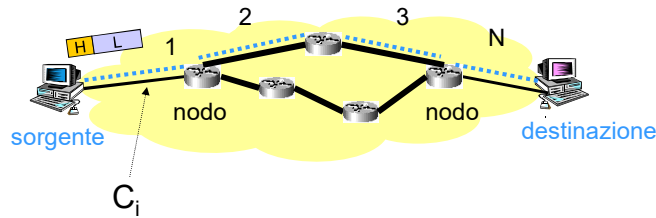
Francesca Cuomo

### Ritardo di trasferimento attraverso una rete a pacchetto

- Ritardo di trasferimento ( $D$ )
- Si desidera fornire un orientamento circa la scelta della lunghezza del pacchetto;
- A tale scopo si distinguono due casi
  - flusso informativo intermittente (del tipo a messaggi)
  - flusso informativo continuo

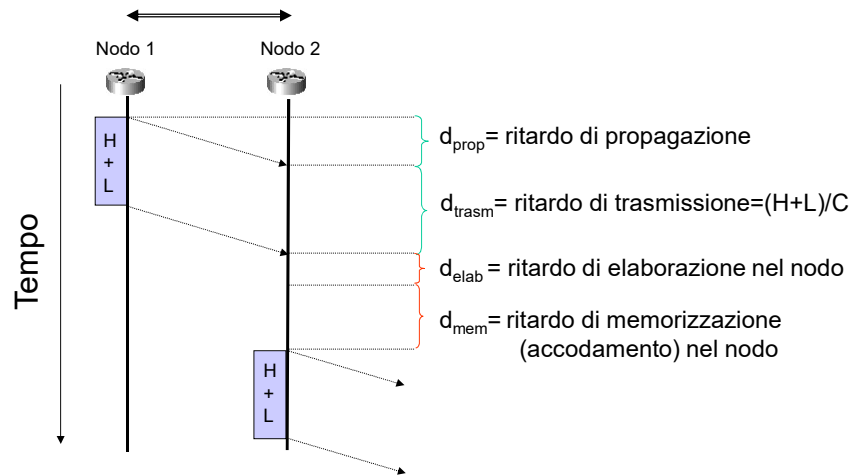
## Ritardo di trasferimento attraverso una rete a pacchetto

- Si assume:
  - $N$ =numero di interfacce di rete (rami) attraversate;
  - $C_i$  = il ritmo di trasmissione (bit/s) sull'interfaccia  $i$ -esima;
  - $d_{prop,i}$ = ritardo di propagazione (s) sull'interfaccia  $i$ -esima;
  - $H$ =lunghezza (bit) dell'intestazione dei pacchetti (supposta costante);
  - $L$ =lunghezza (bit) del "testo" dei pacchetti.

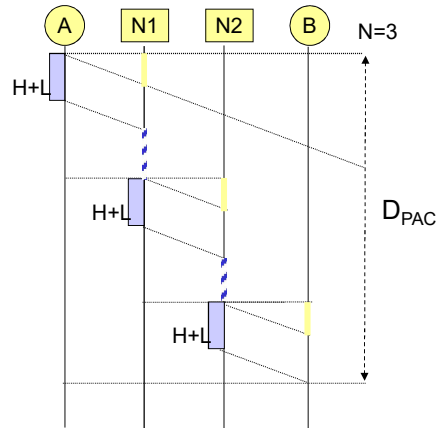


## Ritardo di trasferimento di un pacchetto

Componenti di ritardo di trasferimento di un pacchetto su un'interfaccia



### Esempio (trasferimento di un singolo pacchetto)



$$D_{PAC} = \sum_{i=1}^N \underbrace{\left( \frac{H+L}{C_i} + d_{prop,i} \right)}_{\text{Ritardo sull'interfaccia}} + \sum_{j=1}^{N-1} \underbrace{(d_{elab,j} + d_{mem,j})}_{\text{Ritardo nel nodo}}$$

### Esempio (trasferimento di un singolo pacchetto)

- Assumendo:
  - di avere la stessa capacità C di trasferimento e lo stesso ritardo di propagazione su tutte le interfacce;
  - di poter trascurare il ritardo di elaborazione dei nodi  $d_{elab}$ ;
  - che i nodi siano "debolmente caricati" in modo che sia trascurabile il ritardo di accodamento  $d_{mem}$ ;
- Si ha:

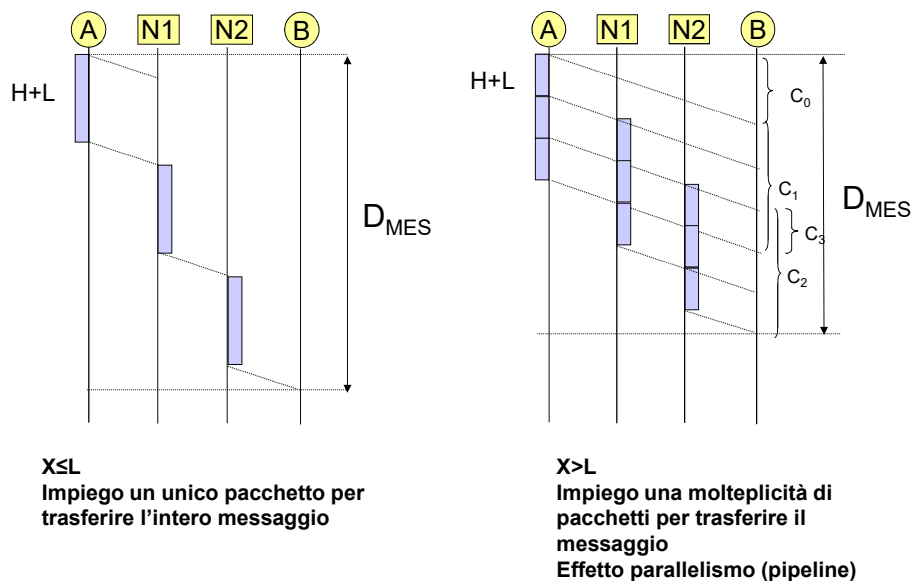
$$D_{PAC} = d_{prop,AB} + \frac{H+L}{C} \cdot N$$

$$\text{con } d_{prop,AB} = N \cdot d_{prop}$$

## Ritardo di trasferimento: flusso intermittente impresso in una rete a pacchetto

- Supponiamo di voler trasferire un messaggio di  $X$  bit attraverso  $N$  rami tutti di ugual capacità  $C$
- Il ritardo di trasferimento che interessa in questo caso è quello relativo al messaggio,  $D_{MES}$ , (intervallo temporale tra l'emissione del primo bit e la ricezione dell'ultimo bit del messaggio);
- Supponiamo che:
  - la rete sia debolmente caricata ( $d_{mem} \approx 0$ )
  - sia trascurabile il tempo di elaborazione nei nodi ( $d_{elab} = 0$ )
- Il messaggio viene suddiviso in un insieme di pacchetti che vengono trasferiti mediante effetto "pipeline"
- Sia  $L$ =lunghezza (bit) del "testo" dei pacchetti
  - a) costante
  - b) variabile, di dimensione massima  $L_{max}$

### Caso a) testo dei pacchetti di dimensione costante = $L$



### Caso a) testo dei pacchetti di dimensione costante = L

$C_0$ =ritardo di propagazione complessivo sulle N interfacce

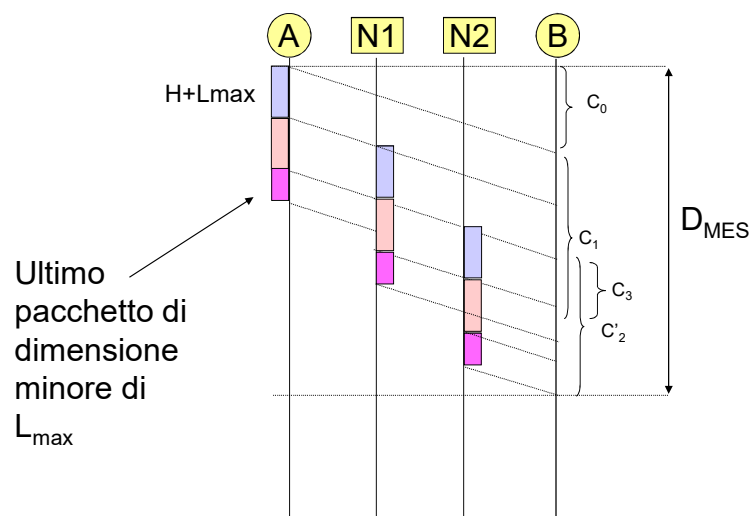
$C_1$ =ritardo di trasmissione del primo pacchetto attraverso tutte le N interfacce

$C_2$ =ritardo di trasmissione su una interfaccia di tutti i pacchetti necessari a trasferire il messaggio

$C_3$ =ritardo di trasmissione del primo pacchetto attraverso una interfaccia

$$D_{MES} = d_{prop,AB} + \frac{H+L}{C} \cdot N + \frac{1}{C} \left\{ \left\lceil \frac{X}{L} \right\rceil \cdot (H+L) \right\} - \frac{H+L}{C}$$

### Caso b) testo dei pacchetti di dimensione variabile $\leq L_{max}$



## Caso b) testo dei pacchetti di dimensione variabile $\leq L_{\max}$

$C_0$ =ritardo di  
propagazione  
complessivo sulle  
N interfacce

$C_1$ =ritardo di  
trasmissione del  
primo pacchetto  
attraverso tutte le  
N interfacce

$C'_2$ =ritardo di  
trasmissione su  
una interfaccia di  
tutti i pacchetti  
necessari a  
trasferire il  
messaggio

$C_3$ =ritardo di  
trasmissione del  
primo pacchetto  
attraverso una  
interfaccia

$$D_{MES} = d_{prop,AB} + \frac{H + L_{\max}}{C} \cdot N + \frac{1}{C} \left\{ X + \left\lceil \frac{X}{L_{\max}} \right\rceil \cdot H \right\} - \frac{H + L_{\max}}{C}$$

## 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  $L_{\max}$ :
  - sostituisco parte intera superiore di  $Y$  con  $Y+1/2$

$$D_{MES} = d_{prop,AB} + \frac{H + L_{\max}}{C} \cdot (N - 1) + \frac{X}{C} + \frac{H}{C} \cdot \frac{X}{L_{\max}} + \frac{H}{2C}$$

- Derivando rispetto a  $L_{\max}$

$$\frac{N - 1}{C} = \frac{H}{C} \cdot \frac{X}{L_{\max}^2}$$



$$L_{\max,opt} = \sqrt{\frac{H \cdot X}{N - 1}}$$

## Esempio numerico

- Si supponga di volere trasferire un messaggio di 1000 bit da un terminale A ad uno B attraverso una sezione di rete a pacchetto costituita da K=3 nodi.
- Si suppone che:
  - il ritardo di propagazione su ogni interfaccia sia di  $d_{prop}=0.1$  s;
  - il ritmo di trasmissione su ogni interfaccia sia di  $C=400$  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 e dimensione massima  $L_{max}=80$  bit.

## Ritardo di trasferimento casi a) e b) (espressione e valore numerico)

$$D_{MES,a} = 4d_{prop} + \frac{H+L}{C} \cdot 4 + \frac{1}{C} \cdot \left\{ \left\lceil \frac{X}{L} \right\rceil \cdot (H+L) \right\} - \frac{H+L}{C}$$

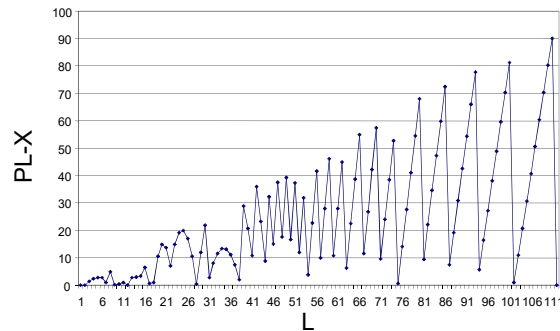
$$D_{MES,a} = 0.4 + \frac{100}{400} \cdot 3 + \frac{1}{400} \cdot 13 \cdot 100 = 4.4 \text{ s}$$

$$D_{MES,b} = 4d_{prop} + \frac{H+L}{C} \cdot 4 + \frac{1}{C} \cdot \left\{ X + \left\lceil \frac{X}{L} \right\rceil \cdot H \right\} - \frac{H+L}{C}$$

$$D_{MES,b} = 0.4 + \frac{100}{400} \cdot 3 + \frac{1}{400} \cdot \{1000 + 13 \cdot 20\} = 4.3 \text{ s}$$

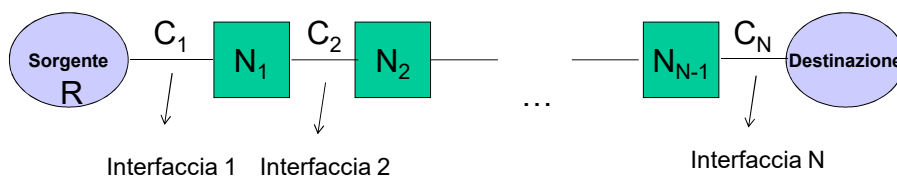
## Come la differenza di ritardi di trasferimento delle due soluzioni a) e b) varia al crescere di L

- $D_{MES,a} \leq D_{MES,b}$ , in particolare i ritardi sono uguali quando  $X/L$  e' un numero intero;
- La differenza  $D_{MES,a} - D_{MES,b}$  cresce al crescere di L; tanto più i pacchetti sono grandi tanto più, nel caso in cui si adotti la soluzione a), si "sprecano" bit di testo di pacchetto (bit di riempimento) necessari solo a raggiungere la dimensione costante del pacchetto;
- detto  $P = \left\lceil \frac{X}{L} \right\rceil$  il numero di pacchetti necessario a trasferire il messaggio, la differenza dei ritardi  $D_{MES,a} - D_{MES,b}$  può essere espressa come  $PL-X$ ; tale differenza, in funzione di L, ha l'andamento riportato in figura



## Ritardo di trasferimento: flusso continuo immesso in una rete a pacchetto

- 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 ( $D_{BIT}$ )
- Sia:  
 $R$ : il ritmo binario di sorgente (costante);





## Ritardo di trasferimento: flusso continuo

- Supponiamo che

- per ogni interfaccia appartenente al percorso del flusso informativo, risulti

$$\frac{L + H}{C_i} \leq \frac{L}{R}$$

cioè i pacchetti siano trasferiti con l'intervallo temporale imposto dal tempo di riempimento del pacchetto (ritardo di pacchettizzazione) e subiscano su ogni interfaccia un ritardo (tempo di trasmissione) che è sempre non superiore a quello di pacchettizzazione

- i ritardi di propagazione e di elaborazione siano trascurabili;
- la rete sia debolmente caricata in modo che possa essere trascurato il ritardo di attesa nei buffer dei nodi dovuto a contese di utilizzazione

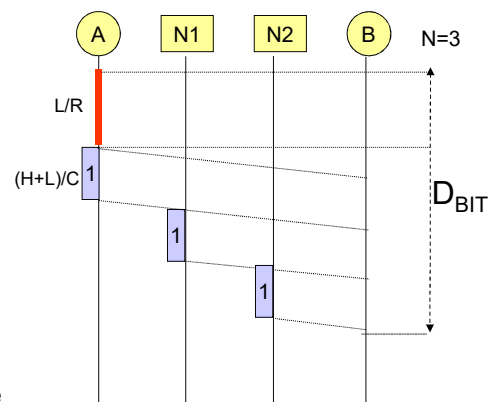
## Ritardo di trasferimento: flusso continuo

Allora

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

ove

- 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

$$\frac{L + H}{C_i} = \frac{L}{R}$$

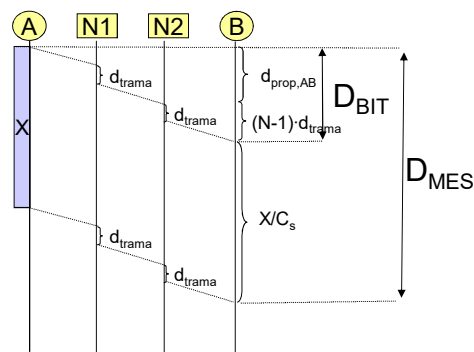
- questo è il minimo ritardo di trasferimento
- diminuendo ulteriormente  $L$ , il ritardo di trasferimento diventa infinito, in quanto si ha accumulo indefinito di pacchetti sull'interfaccia per cui

$$\frac{L}{R} < \frac{L + H}{C_i}$$

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

## Ritardo di trasferimento attraverso una rete a circuito

- Ad un flusso viene pre-assegnato individualmente un sub-canale di capacità  $C_s$  (in uno schema di moltiplicazione statica)
- I ritardi di trasferimento che interessano in questo caso sono:
  - 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 ( $D_{BIT}$ )
  - il tempo necessario a trasferire un messaggio di lunghezza  $X$  ( $D_{MES}$ )
- Si indica con  $d_{trama}$  il ritardo di attraversamento di un nodo a circuito (dovuto in questo caso alla memorizzazione di una trama)



$$D_{BIT} = N \cdot d_{prop} + (N - 1) \cdot d_{trama}$$

$$D_{MES} = D_{BIT} + \frac{X}{C_s}$$