



Reti di Comunicazioni e Internet

Controllo di flusso e di congestione

Massimo Tornatore

Politecnico di Milano

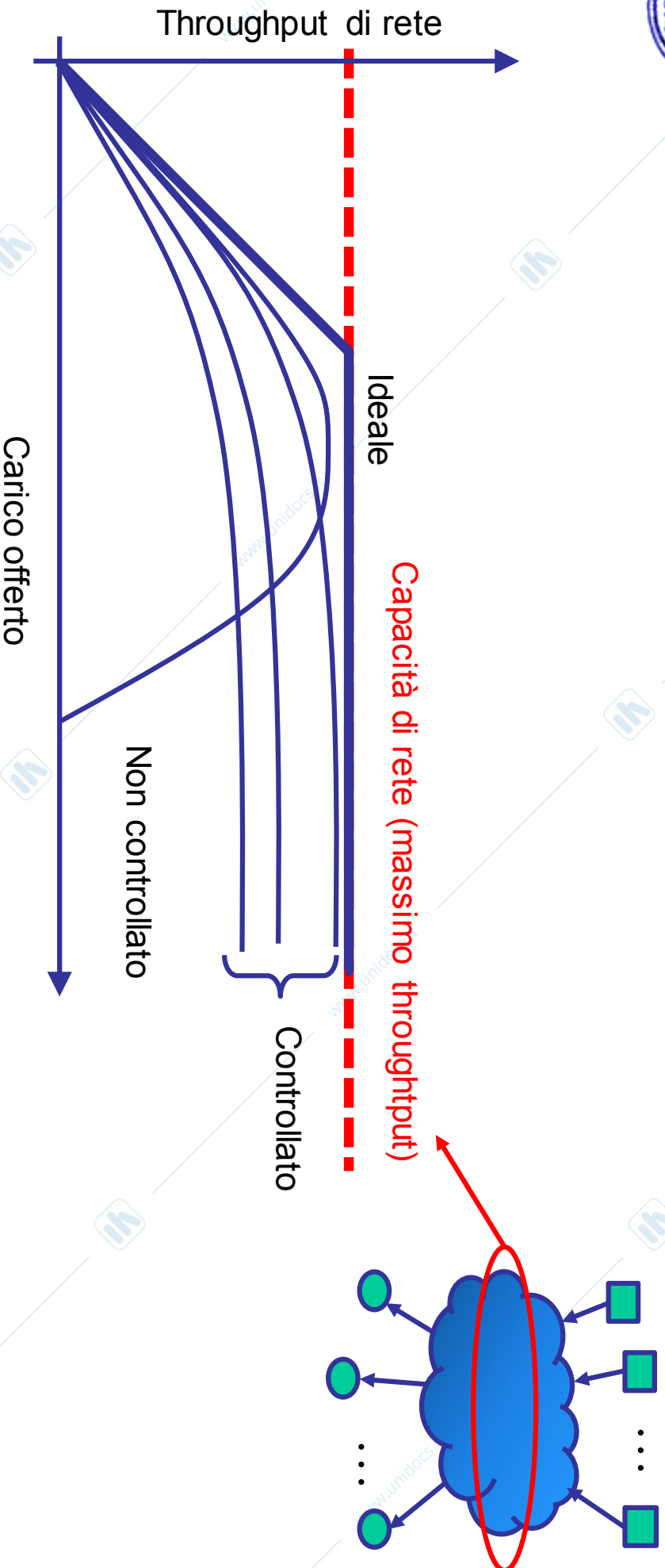
Dip. di Elettronica, Informazione e Bioingegneria (DEIB)

Via Ponzio, 34/5 – 20133 Milan, Italy

massimo.tornatore @polimi.it



Controllo di flusso e di congestione



- ▶ Caso non controllato: instabilità (ad es. ritrasmissioni che prevalgono su trasmissioni in protocolli ad accesso casuale come CSMA/CD o ALOHA)
- Mediante il **CONTROLLO DI FLUSSO** si rinuncia a raggiungere la massima capacità della rete a favore della **STABILITÀ**



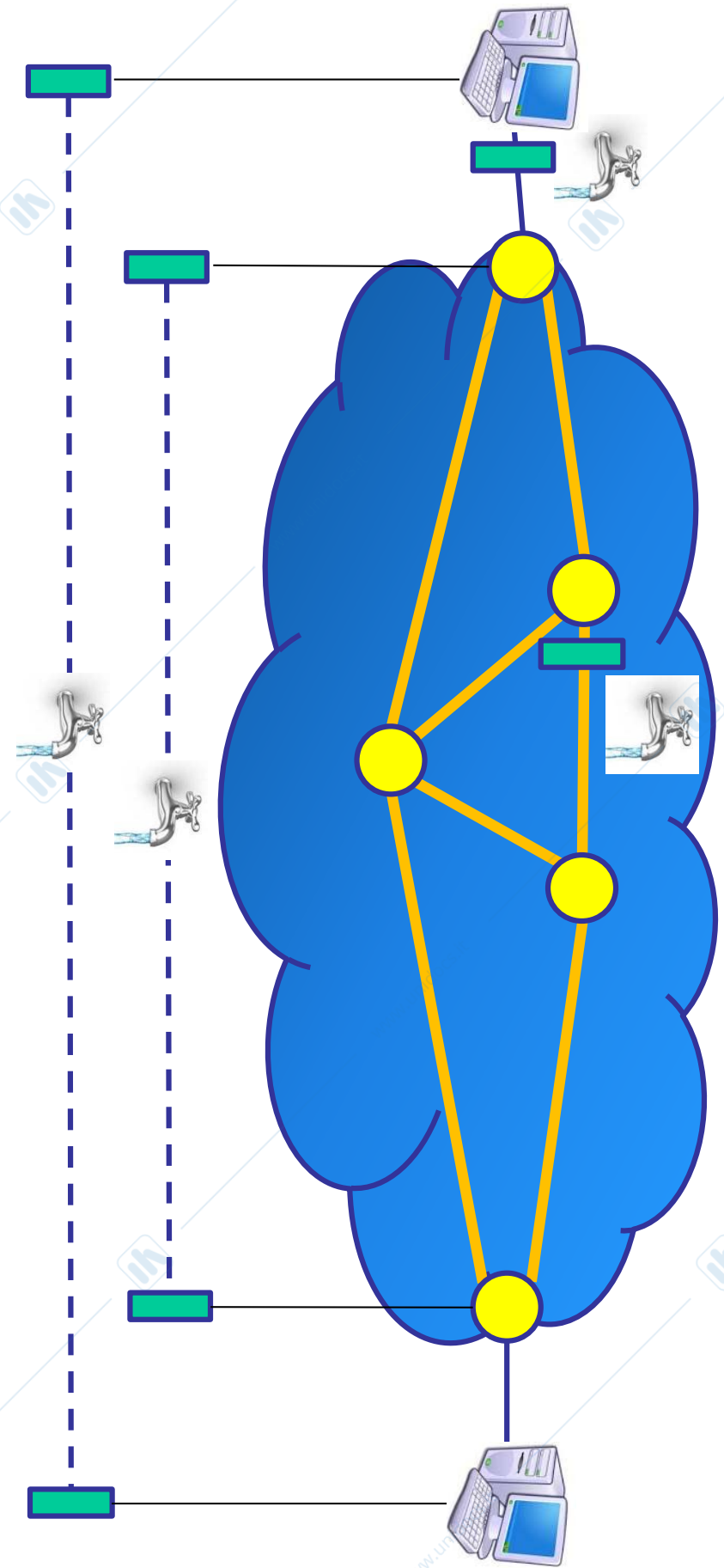
Controllo di flusso e di congestione

- **Flusso o congestione?**
 - ▶ Il controllo è di flusso quando regola l'attività di una connessione in funzione dello stato della connessione stessa
 - ▶ Il controllo è di congestione quando regola una connessione in funzione dello stato della rete (link e/o nodi) attraversata
- Si trovano strategie di controllo di flusso e congestione ai livelli 2, 3, 4 e 5, con scopi diversi e progettate per servizi diversi
- E' difficile identificare una classificazione che le contenga tutte
- Ci basiamo su quella proposta in [Pattavina, cap. 5.3], che considera separatamente tre aspetti fondamentali:
 - ▶ Portata
 - ▶ Tipologia
 - ▶ Tecnica di controllo



Controllo di flusso e di congestione

Generalità



- **Portata (estensione geografica)**

- ▶ In accesso alla rete
- ▶ Internodo
 - Hop-by-hop
 - Da estremo a estremo (edge-to-edge)
- ▶ Da terminale a terminale (end-to-end)

Strato di rete - controllo flusso



Controllo di flusso e di congestione

Generalità

- **Tipologia**
 - ▶ **Metodi reattivi**
 - Attuati all'occorrenza di eventi di congestione (necessario metodo per rilevarla!)
 - Operano con schema ad *anello chiuso*
 - ▶ **Metodi preventivi**
 - Attuati indipendentemente dalla rilevazione della congestione
 - Operano con schema ad *anello aperto*
- **Tecnica**
 - ▶ Credit-based → rilascio limitato di crediti (no sezione 5.3.1)
 - Per esempio: controlli a finestra in HDLC (liv 2) o TCP (liv 4)
 - ▶ Rate-based → imposizione di limiti alla frequenza media (throughput)
 - Tecnica isaritmica (non la facciamo)
 - Leaky bucket
 - Token bucket

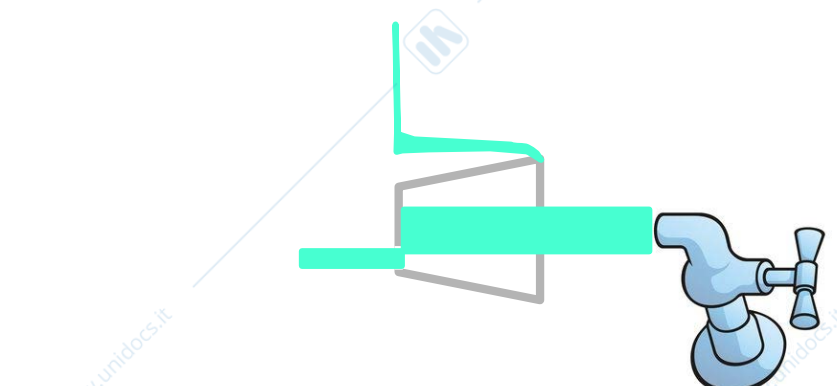
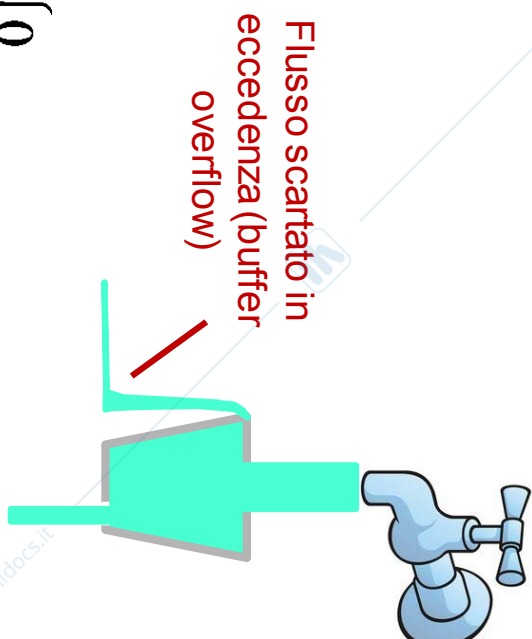
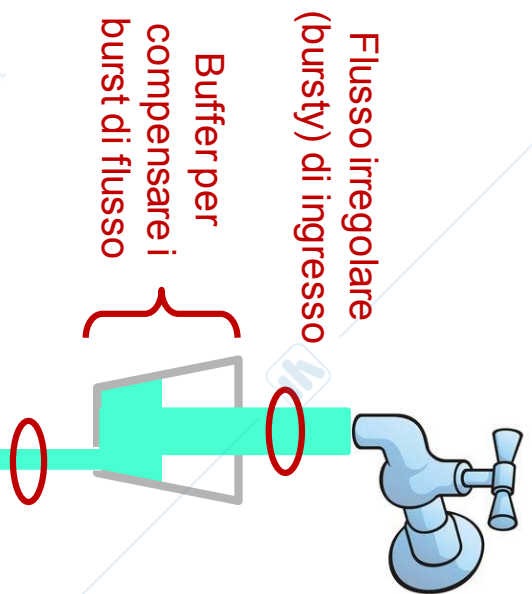


Controllo di flusso

Rate-based

- **Tecniche a bucket (usate principalmente a livello 3)**
 - ▶ Utilizzate sia in accesso, sia tra nodi
 - ▶ Due tecniche
 - Leaky bucket
 - Token bucket

- **Concetto di Leaky Bucket**



$$\text{Flusso controllato di uscita} = \begin{cases} 0 & \text{if } f_{in} > f_{out-max} \\ f_{in} & \text{if } f_{in} \leq f_{out-max} \end{cases} \quad [pkt / s]$$

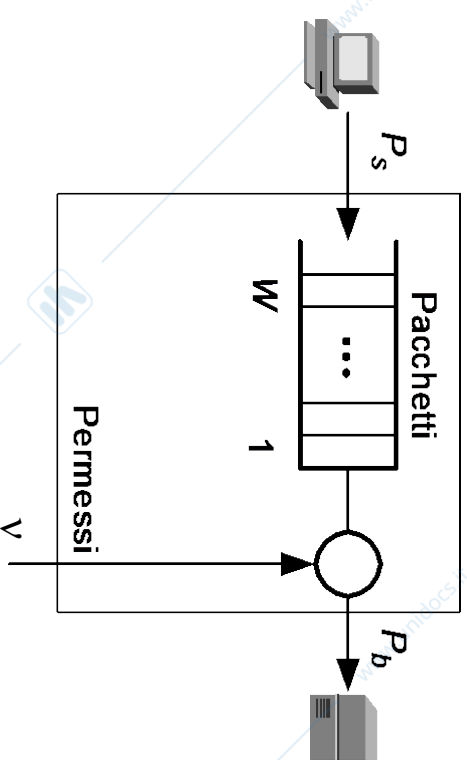


Controllo di flusso

Rate-based

- **Controllo di flusso con leaky bucket**
 - ▶ Buffer dei **pacchetti** con capacità W (**pacchetti**)
 - ▶ I pacchetti trasmessi hanno lunghezza costante L_b e vengono trasmessi al bitrate P_b
 - ▶ Un pacchetto trasmesso consuma un permesso
 - ▶ Un permesso è generato con frequenza ν (s^{-1})
 - Se non ci sono pacchetti in coda il permesso è inutilizzato e viene perso
 - ▶ Perde pacchetti quando ne ha accumulati W
- **Frequenza media massima in uscita dal dispositivo con pacchetti di L_b bit**
 - Si calcola assumendo che la coda dei pacchetti non sia mai vuota

$$A_{b\max} = L_b \cdot \nu \leq P_b$$



$$T_b = L_b / P_b$$

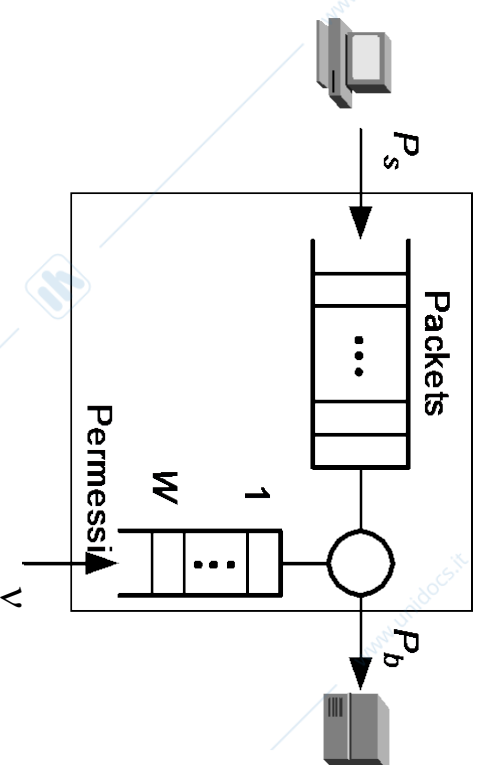


Controllo di flusso

Rate-based

- **Controllo di flusso con token bucket**
 - ▶ Buffer dei **permessi** con capacità W (**permessi**)
 - ▶ Un permesso è generato con frequenza ν (s^{-1})
 - ▶ Un pacchetto trasmesso consuma un permesso
 - Se non ci sono pacchetti in coda da trasmettere, il permesso generato NON viene perso, ma rimane nel buffer dei permessi
 - ▶ Perde permessi in eccesso di W , ma non perde a priori pacchetti
 - ▶ Serve meglio sorgenti intermittenti (bursty)
- **Frequenza media massima in uscita dal dispositivo con pacchetti di L_b bit**

$$A_{b\max} = L_b \cdot \nu \leq P_b$$



$$T_b = L_b / P_b$$



Controllo di flusso

Rate-based

Esempio

Dati Sorgente (VBR)

$$t_s = 0.2 \text{ s}$$

$$P_s = 1 \text{ Mbit/s}$$

$$T_{ON} = 0,8 \text{ s}$$

$$T_{OFF} = 1 \text{ s}$$

$$L_{ON} = T_{ON} \times P_s = 800 \text{ kbit}$$

$$W = 10L_b$$

Dati Bucket

$$L_b = 200 \text{ kbit}$$

$$t_b = 0.1 \text{ s}$$

$$P_b = 4 \text{ Mbit/s}$$

$$1/\nu = 0,4 \text{ s} = r$$

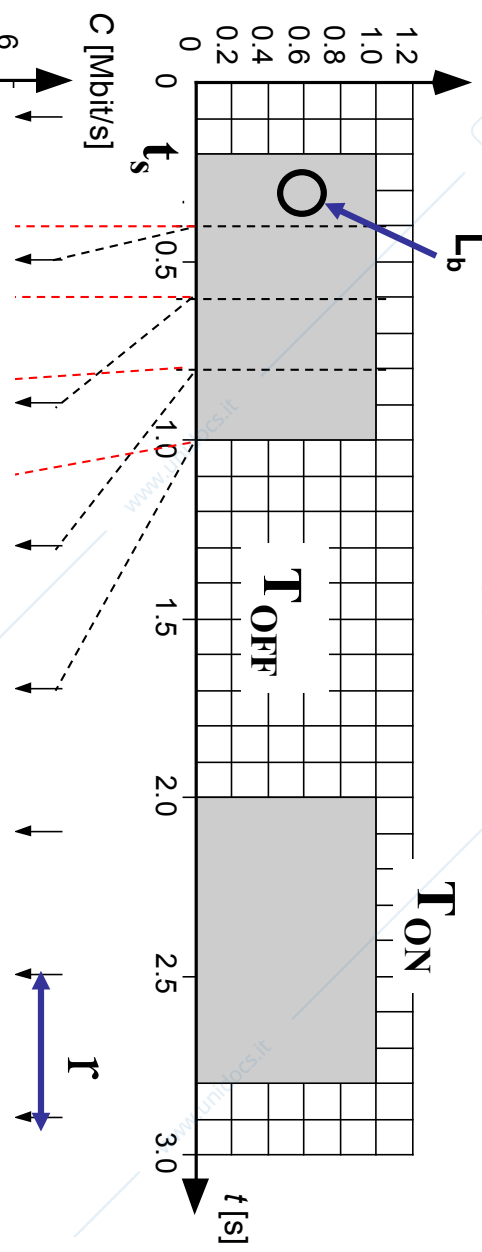
Leaky bucket

$$T_b = \frac{L_b}{P_b} = \frac{200}{4000} \text{ s} = 0.05 \text{ s}$$

$$A_{\text{max}} = L_b \cdot \nu = \frac{L_b}{r} = \frac{200}{0.4} \text{ kbit/s} = 500 \text{ kbit/s}$$

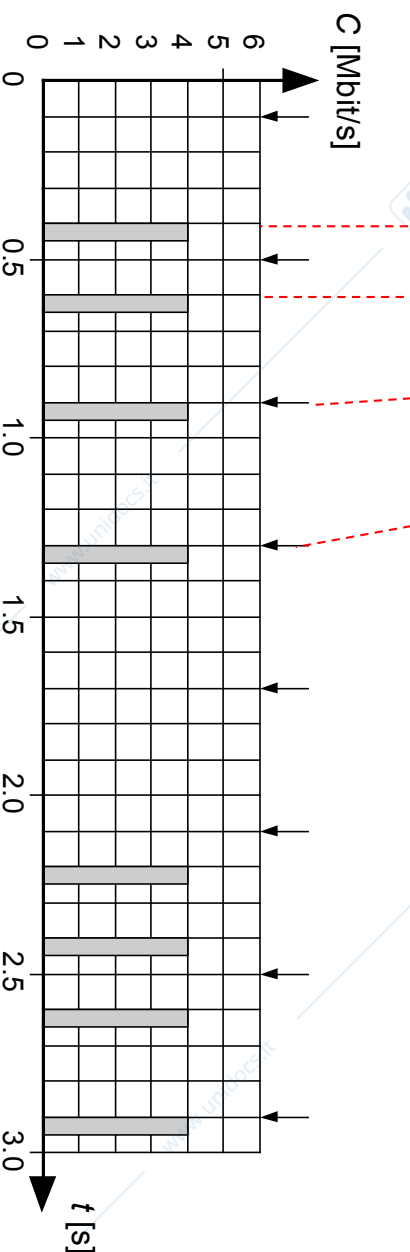
Token bucket

C [Mbit/s]



Hp): Modalità STORE & FORWARD

C [Mbit/s]





Controllo di flusso

Rate-based - Variazione nelle caratteristiche del bucket

Esempio

$$P_s = 1 \text{ Mbit/s}$$

$$T_{ON} = 0,8 \text{ s}$$

$$T_{OFF} = 1 \text{ s}$$

$$P_b = 1 \text{ Mbit/s}$$

$$1/\nu = 0,3 \text{ s}$$

$$W = 10L_b$$

$$L_b = 200 \text{ kbit}$$

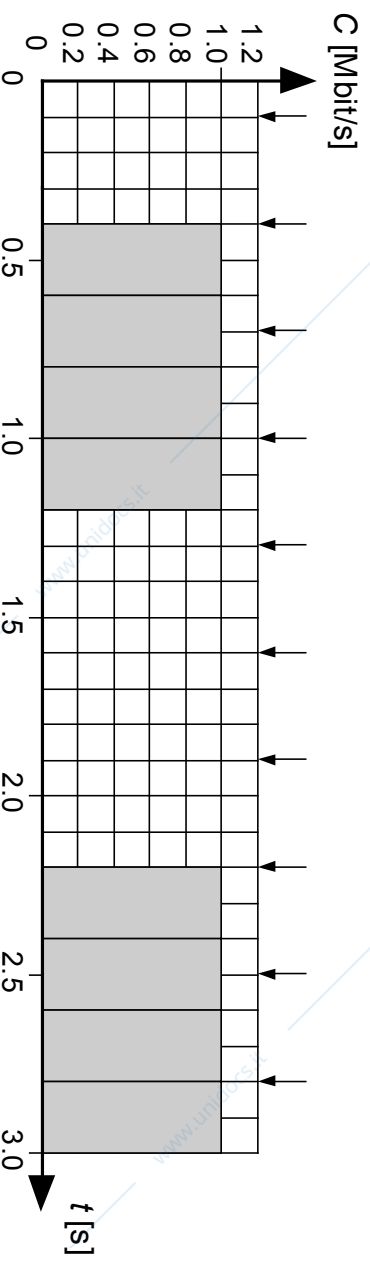
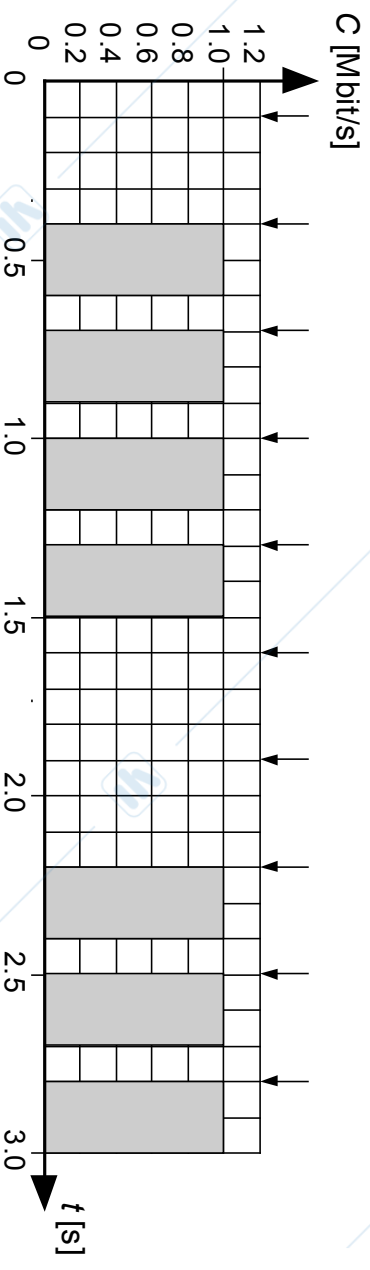
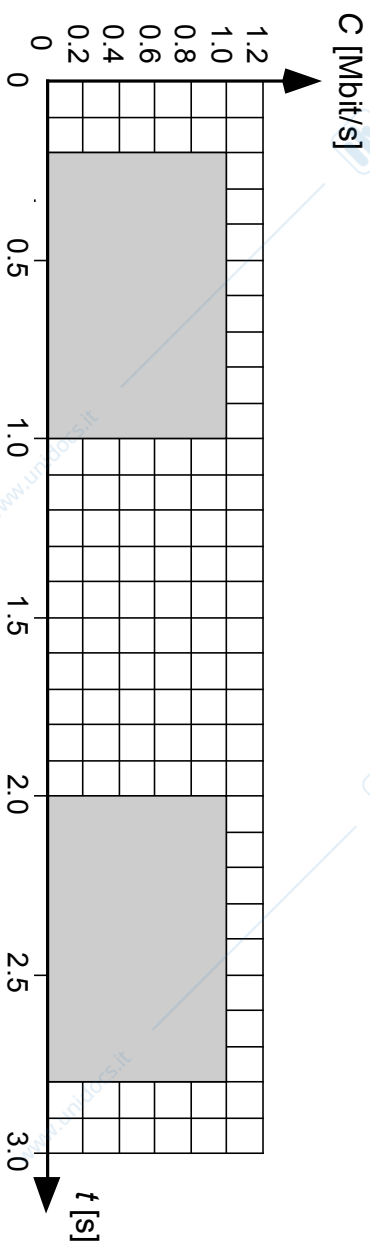
Leaky bucket

$$T_b = \frac{L_b}{P_b} = \frac{200}{1000} \text{ s} = 0.2 \text{ s}$$

$$A_{\text{max}} = L_b \cdot \nu = \frac{L_b}{r} = \frac{200}{0.3} \text{ kbit/s} = 666.7 \text{ kbit/s}$$

Token bucket

Disegno errato sul libro: permessi ogni 0.4 s (errore sia in token bucket sia in leaky bucket)





Controllo di flusso

Rate-based

Hp): Modalità CUT-THROUGH

- **Esempio**

$$P_s = 1 \text{ Mbit/s}$$

$$P_b = 1 \text{ Mbit/s}$$

$$T_{ON} = 0,8 \text{ S}$$

$$1/\nu = 0,3 \text{ S}$$

$$T_{OFF} = 1 \text{ S}$$

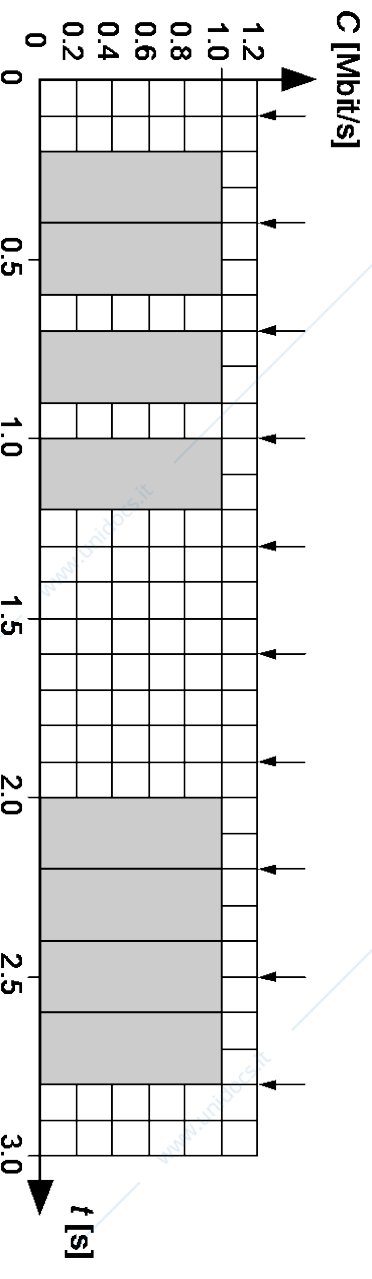
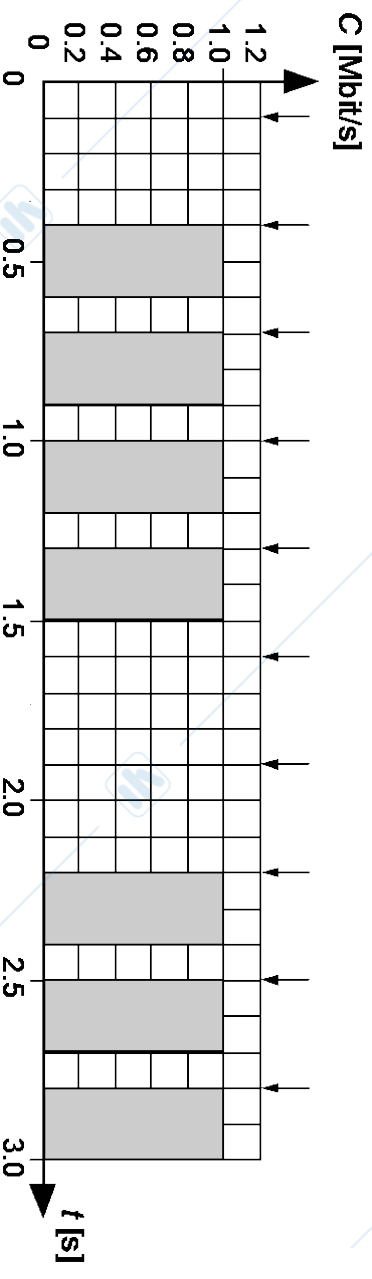
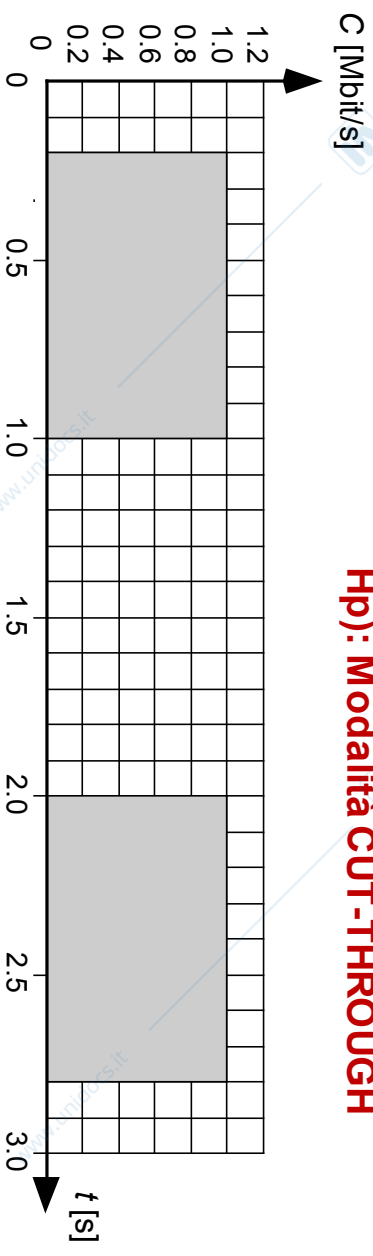
$$W = 10L_b$$

$$L_b = 200 \text{ kbit}$$

- **Leaky bucket**

- **Token bucket**

Disegno errato sul libro: in token bucket il quarto pacchetto non aspetta il permesso



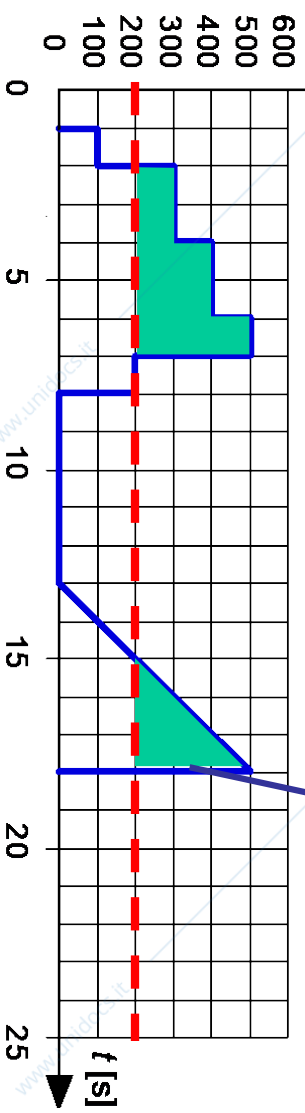


Controllo di flusso

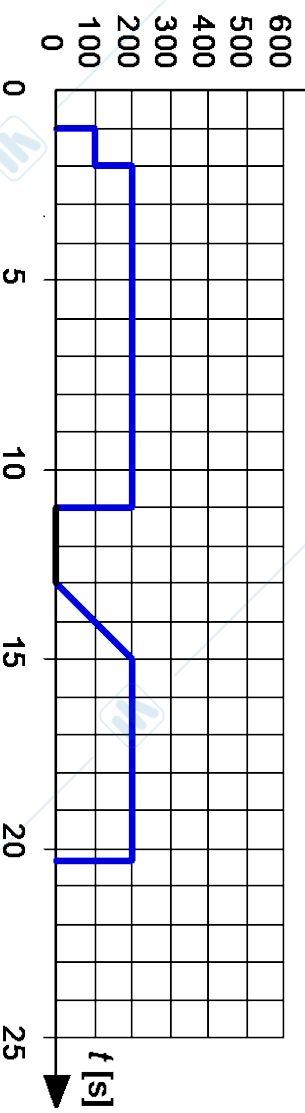
Esempio 2 - Leaky bucket

f_{in} [pacchetti/s]

$1/\nu = 5 \text{ ms}$
 $W = 600$



f_{out} [pacchetti/s]

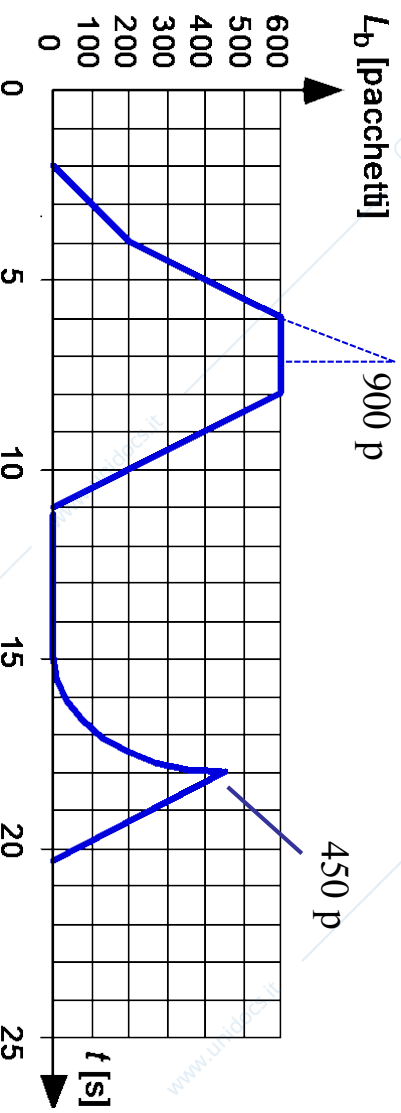


$N_{lost} = 300$

$$f_{out-MAX} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-3}} = 200 \text{ (pkt / s)}$$

$$L_b(t) = \int_{x=0}^t V_b(t) dt$$

$$V_b(t) = f_{in}(t) - f_{out}(t)$$





Strato di rete - controllo flusso

- 13 -

FINE

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

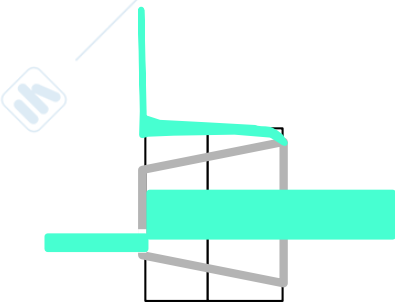
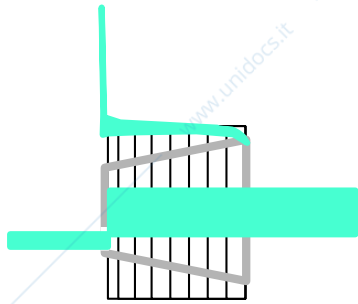


Strato di rete - controllo flusso

www.unidocs.it

- Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

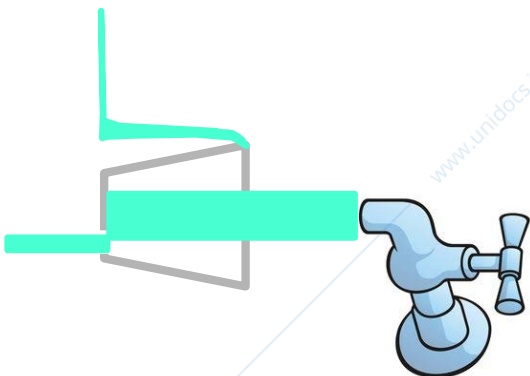
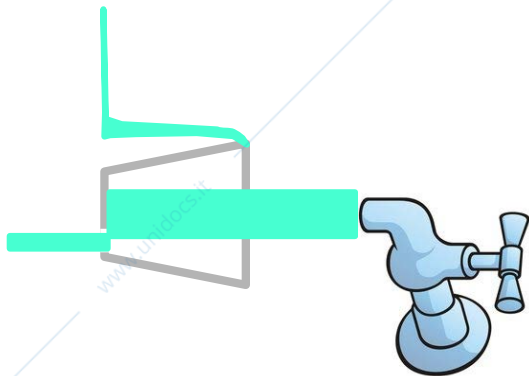
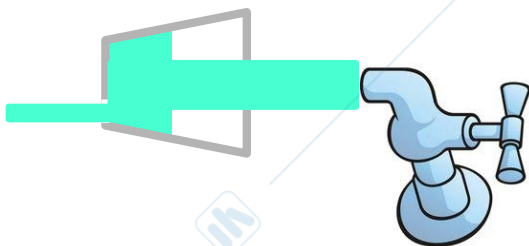
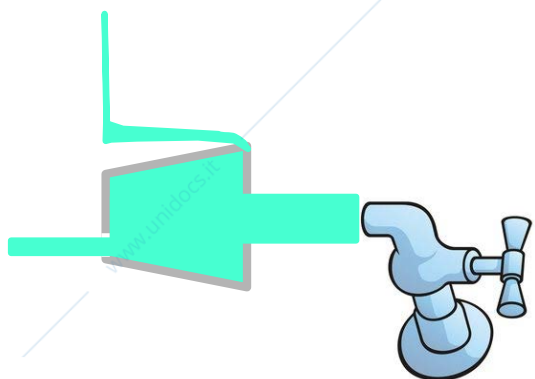




Strato di rete - controllo flusso

www.unidocs.it

- Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari





Controllo di flusso

Credit-based

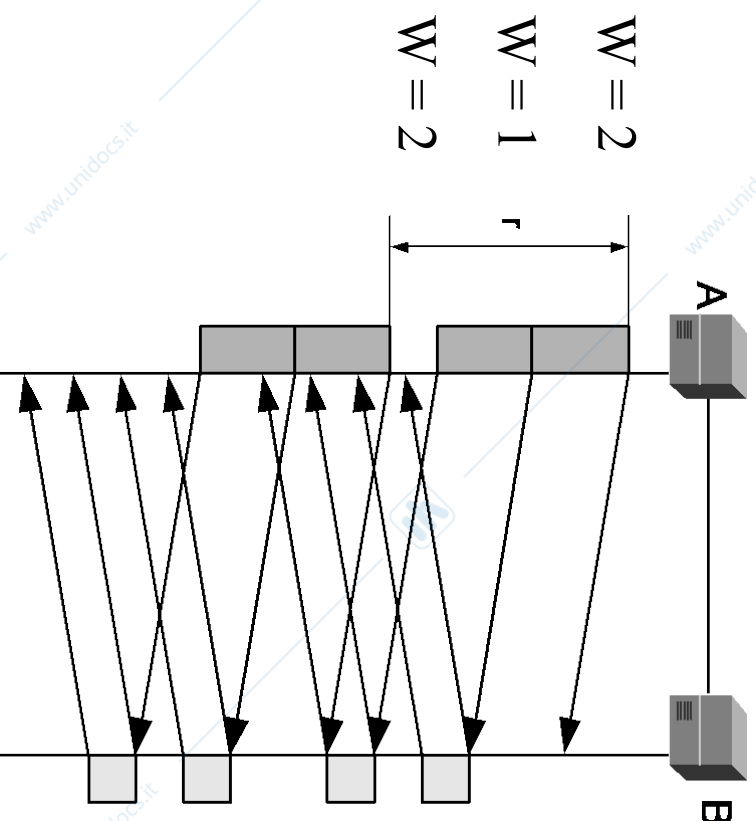
- **Controllo di flusso a finestra ad anello chiuso**
 - ▶ Ack-based window
 - Avanzamento della finestra determinato dai riscontri (autorizzano *implicitamente* il trasmittente a continuare la propria attività)
 - Utilizzato tipicamente hop-by-hop a livello 3 (es. ATM) o sul singolo link a livello 2 (es. HDLC)
 - ▶ Credit-based window
 - **Credito esplicito**
 - I riscontri che il ricevente invia al trasmittente contengono dei messaggi con cui si autorizza *esplicitamente* a continuare la trasmissione
 - Utilizzato a livello end-to-end (livello 4, es. TCP)
 - Il flusso diventa bursty (critico il dimensionamento di W)
 - Non garantisce una capacità minima alla sessione
- **In tutti i casi precedenti è la destinazione ad autorizzare la trasmissione (anello chiuso), ma è possibile operare anche senza riscontro (anello aperto, slide successiva)**



Controllo di flusso

Credit-based

- **Controllo di flusso a finestra ad anello aperto**
 - ▶ La finestra permette di inviare W pacchetti ogni r secondi
 - Ogni r secondi la finestra si apre di W posizioni
 - Massimo flusso consentito: W/r pacchetti/s
 - Per ogni pacchetto trasmesso la finestra decrementa di una posizione (indipendentemente dai riscontri)





Controllo di congestione

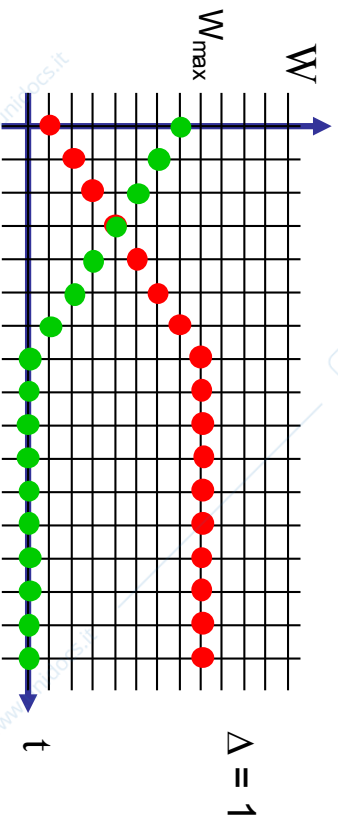
Credit-based

- **Controllo di congestione mediante meccanismo a finestra (ad anello chiuso)**

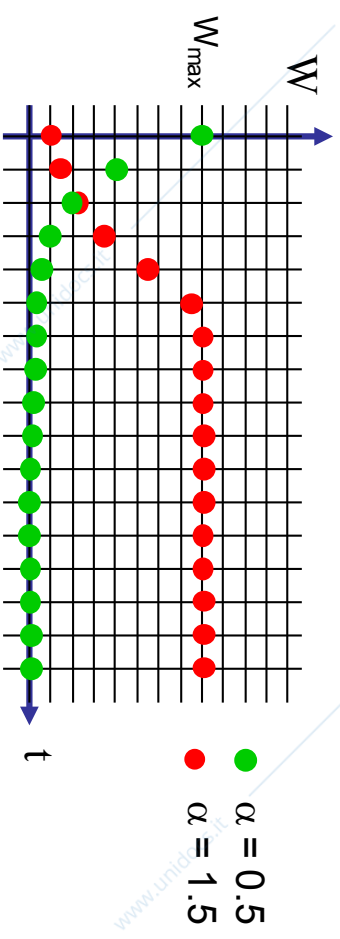
- ▶ La dimensione della finestra può essere dinamicamente aumentata o diminuita in base alle indicazioni di congestione (esplicite o implicite) che il destinatario riceve dalla rete:

- Incremento/decremento additivo
- Incremento/decremento moltiplicativo
- Combinazione dei due (per esempio, decremento moltiplicativo e incremento additivo)

$$W_{t+1} = \begin{cases} \max(W_t - \Delta; 0) & \bullet \\ \min(W_t + \Delta; W_{\max}) & \bullet \end{cases}$$

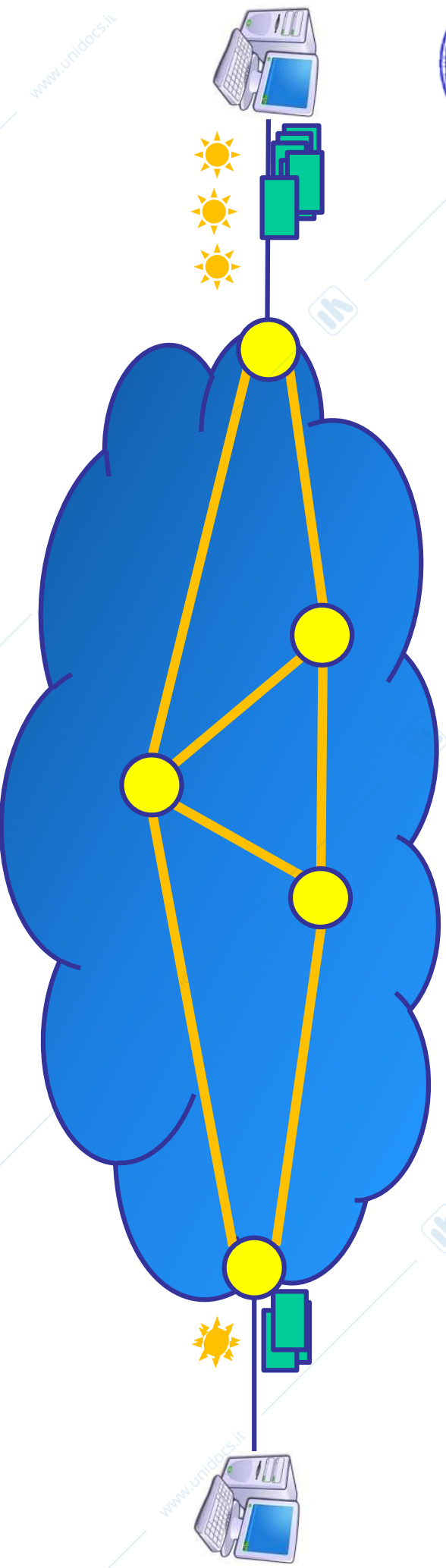


$$W_{t+1} = \begin{cases} \alpha \cdot W_t & \alpha \leq 1 \\ \min(\alpha \cdot W_t; W_{\max}) & \alpha > 1 \end{cases}$$



Controllo di flusso

Rate-based



- **Tecnica isaritmica (usato principalmente a livello 3)**
 - ▶ Utilizzata tipicamente all'accesso della rete
 - ▶ Un numero fisso di permessi circola nella rete
 - ▶ Un pacchetto entra in rete se nel nodo di ingresso vi è un permesso che viene consumato
 - ▶ Un pacchetto che esce dalla rete genera un permesso nel nodo di uscita
 - ▶ Gestione critica della distribuzione dei permessi in rete