

Corso di  
**RETI DI CALCOLATORI**  
(9 CFU)

a.a. 2020-2021  
II anno / II semestre

Reti di calcolatori Prof. Gianni Fenu

1



Il Livello Rete III - 1

**Servizi**

**Servizi offerti al livello superiore**

1. servizi connection-oriented
2. servizi connectionless

Reti di calcolatori 02 Prof. Gianni Fenu

2

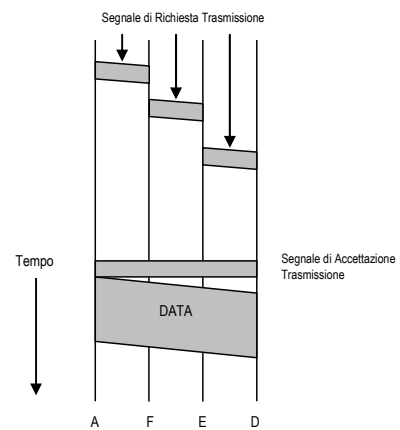
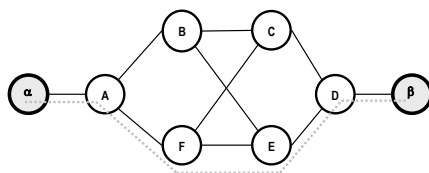
**Principi di commutazione**

**Servizi offerti al livello superiore**

- commutazione di circuito;
- commutazione di messaggio;
- commutazione di pacchetto.

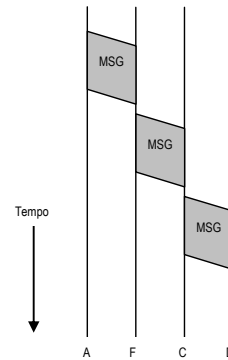
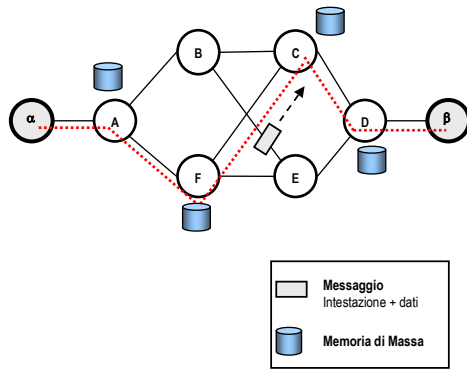
3

**Commutazione di circuito**



4

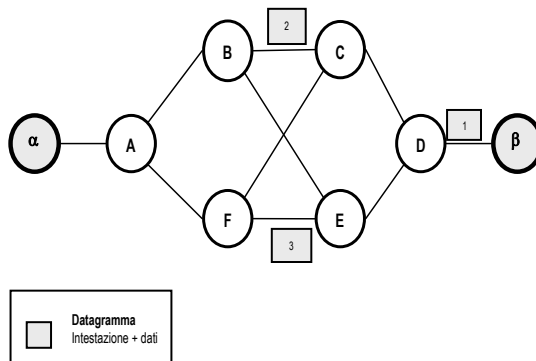
### Commutazione di messaggio



5

### Commutazione di pacchetto

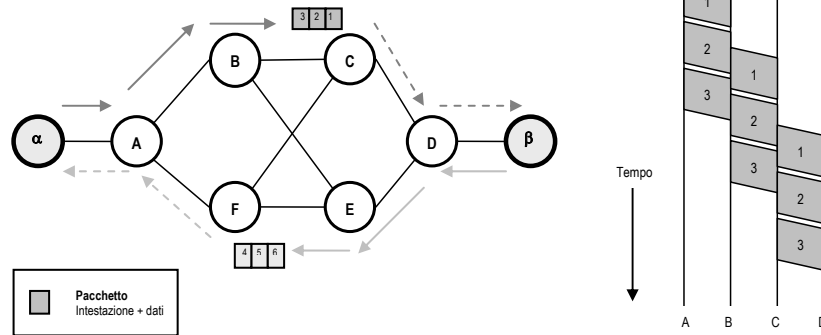
Datagramma



6

**Commutazione di pacchetto**

Circuito virtuale



7

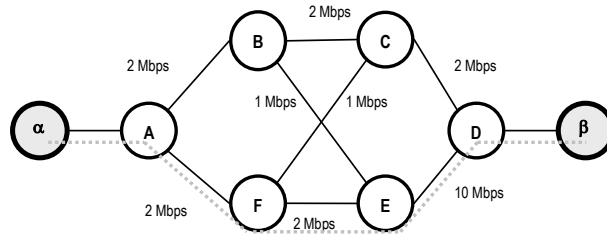
**Algoritmi di routing**

1. Algoritmi statici
2. Algoritmi dinamici

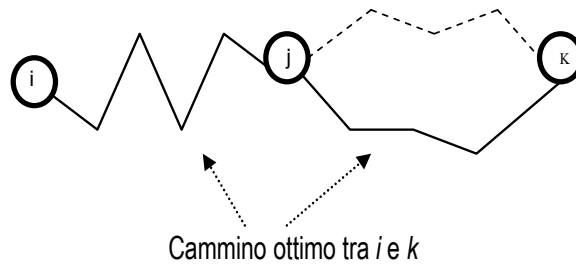
8

**Metrica**

Scelta del percorso basata su metrica larghezza di banda.

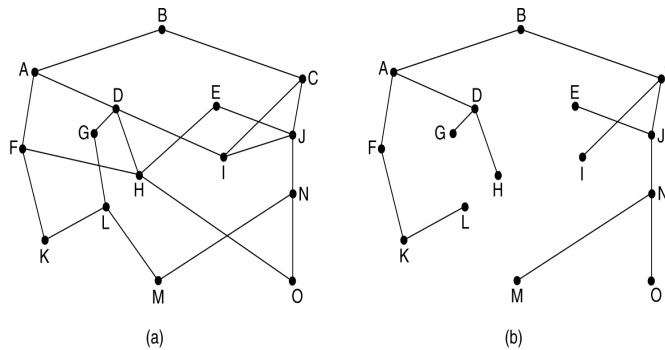


**Principio dell'ottimalità**



Principio dell'ottimalità

- (a) Una sottorete
- (b) Un sink tree per il router B



definizioni:

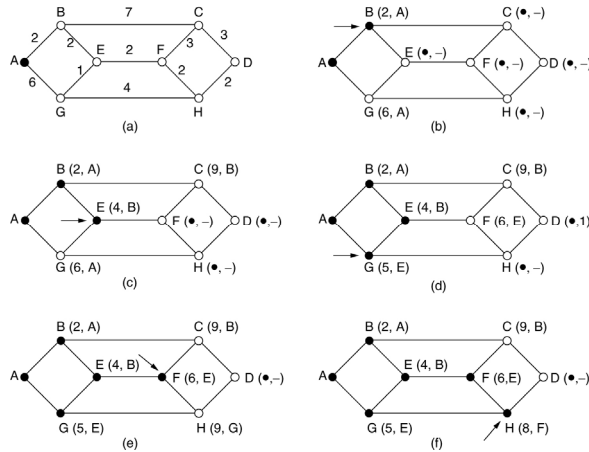
*Load balancing*: equal-cost (stessa metrica) e unequal-cost (diversa metrica)

*Convergenza*: tempo necessario al raggiungimento della consistenza delle tabelle

Algoritmi statici

- shortest path routing;
- flooding;
- flow-based routing.

**Shortest path routing:**



**Flooding**

- inserire in ogni pacchetto un **contatore** che viene decrementato ad ogni hop. Quando il contatore arriva a zero, il pacchetto viene scartato.

- ogni router esamina tali informazioni e ne tiene traccia, e quando le vede per la seconda volta scarta il pacchetto;

- **selective flooding**: i pacchetti vengono duplicati solo sulle linee che vanno all'incirca nella giusta direzione

**Flow-based routing**

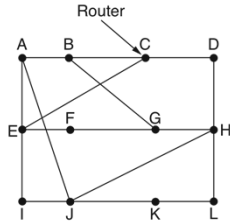
- si considera una matrice di traffico;
- si determinano i percorsi che verranno seguiti per il collegamento fra ogni coppia di router;
- si calcola il traffico che incide su ogni linea (la somma di tutti i  $T(i,j)$  instradati su quella linea, con  $i$  e  $j$  nodi della rete);
- si calcola il ritardo di ogni linea;
- si calcola il ritardo medio della rete;
- si determina un algoritmo di routing che minimizza il ritardo medio dell'intera rete.

**Algoritmi dinamici**

- Distance vector routing;
- Link State routing;



Distance vector routing



	A	I	H	K
A	0	24	20	21
B	12	36	31	28
C	25	18	19	36
D	40	27	8	24
E	14	7	30	22
F	23	20	19	40
G	18	31	6	31
H	17	20	0	19
I	21	0	14	22
J	9	11	7	10
K	24	22	22	0
L	29	33	9	9

Il ritardo da J ad A è 8      Il ritardo da J a I è 10      Il ritardo da J a H è 12      Il ritardo da J a K è 6

Vettori ricevuti dai quattro vicini di J

Nuovo ritardo stimato da J

8	A
20	A
28	I
20	H
17	I
30	I
18	H
12	H
10	I
0	-
6	K
15	K

Nuova tabella di routing di J

(a)

(b)

Distance vector routing  
Il problema del count to infinity

A	B	C	D	E	
•	•	•	•	•	Inizialmente
1	•	•	•	•	Dopo 1 scambio
1	2	•	•	•	Dopo 2 scambi
1	2	3	•	•	Dopo 3 scambi
1	2	3	4	•	Dopo 4 scambi

A	B	C	D	E	
•	•	•	•	•	Inizialmente
1	2	3	4	•	Dopo 1 scambio
3	2	3	4	•	Dopo 2 scambi
3	4	3	4	•	Dopo 3 scambi
5	4	5	4	•	Dopo 4 scambi
5	6	5	6	•	Dopo 5 scambi
7	6	7	6	•	Dopo 6 scambi
7	8	7	8	•	Dopo 6 scambi
•	•	•	•	•	

(a)

(b)

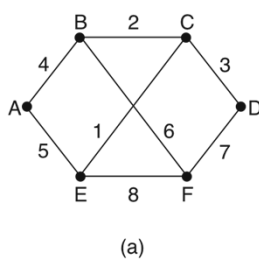
**Link State routing**

1. indagare sui vicini e rilevarne l'indirizzo
2. misurare ritardo o costo per raggiungerli
3. costruire un link state packet
4. inviare il link state packet agli altri router
5. definire i nuovi percorsi minimi per raggiungere i router

1. indagare sui vicini e rilevarne l'indirizzo
  - (HELLO packet)
2. misurare ritardo o costo per raggiungere i nodi
  - (ECHO packet)

3. Costruire un link state packet

- (a) Una sottorete;
- (b) I pacchetti che contengono lo stato dei collegamenti della sottorete



		Coll.			Stato			Pacchetti		
A		B	C	D	E	F				
Seq.		Seq.	Seq.	Seq.	Seq.	Seq.				
Età		Età	Età	Età	Età	Età				
B 4		A 4	B 2	C 3	A 5	B 6				
E 5		C 2	D 3	F 7	C 1	D 7				
		F 6	E 1		F 8	E 8				

21

4. Inviare il link state packet agli altri router (impiego del flooding)

Source	Seq.	Age	Send flags			ACK flags			Data
			A	C	F	A	C	F	
A	21	60	0	1	1	1	0	0	
F	21	60	1	1	0	0	0	1	
E	21	59	0	1	0	1	0	1	
C	20	60	1	0	1	0	1	0	
D	21	59	1	0	0	0	1		

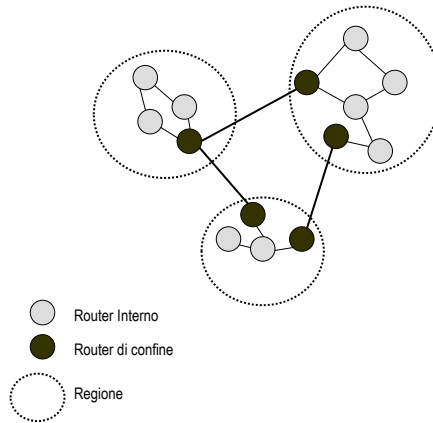
32 bit

stabilisce un tempo di caricamento (1 decremento al secondo)

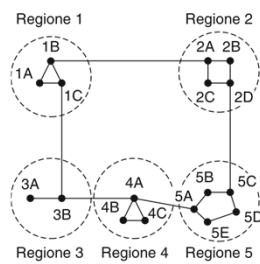
5. Definire i nuovi percorsi minimi per raggiungere i router (OSPF, IS-IS)

22

**Routing gerarchico**



**Routing gerarchico**



(a)

Tabella completa per 1A

Dest.	Linea	Salti
1A	-	-
1B	1B	1
1C	1C	1
2A	1B	2
2B	1B	3
2C	1B	3
2D	1B	4
3A	1C	3
3B	1C	2
4A	1C	3
4B	1C	4
4C	1C	4
5A	1C	4
5B	1C	5
5C	1B	5
5D	1C	6
5E	1C	5

(b)

Tabella gerarchica per 1A

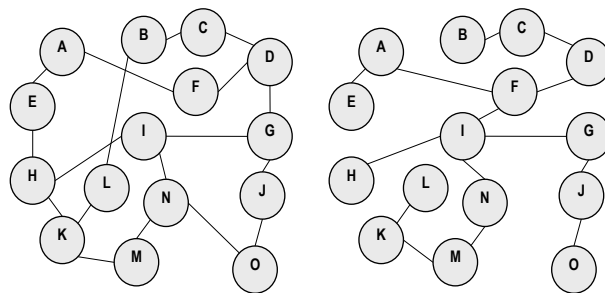
Dest.	Linea	Salti
1A	-	-
1B	1B	1
1C	1C	1
2	1B	2
3	1C	2
4	1C	3
5	1C	4

(c)

**Broadcast routing**

- broadcasting (generico)
- flooding (alta occupazione di banda)
- routing multidestinazione (a carico del router l'analisi e l'inoltro di una copia del pacchetto sulle linee con i nodi di destinazione)
- spanning tree (reinvio di copie del pacchetto solo sull'albero)
- reverse path forwarding

25



Una Sottorete

Uno Spanning Tree da I

esempio di Spanning Tree

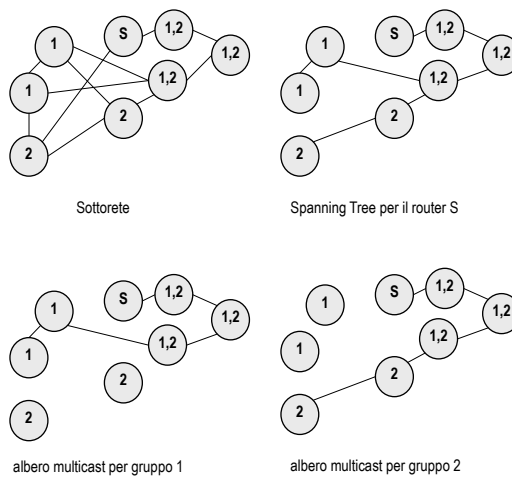
26

**Multicast routing**

- multicasting invio selettivo ad un gruppo o lista di nodi
- viene creato uno spanning tree per singolo gruppo

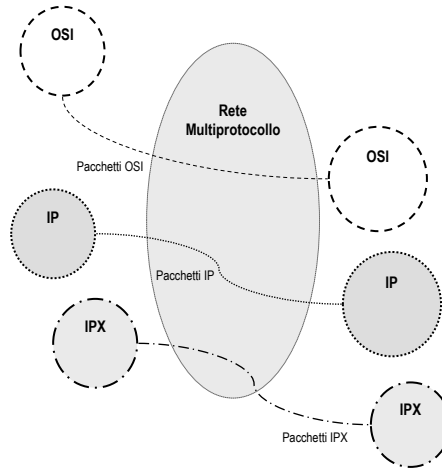
27

esempio di multicast routing

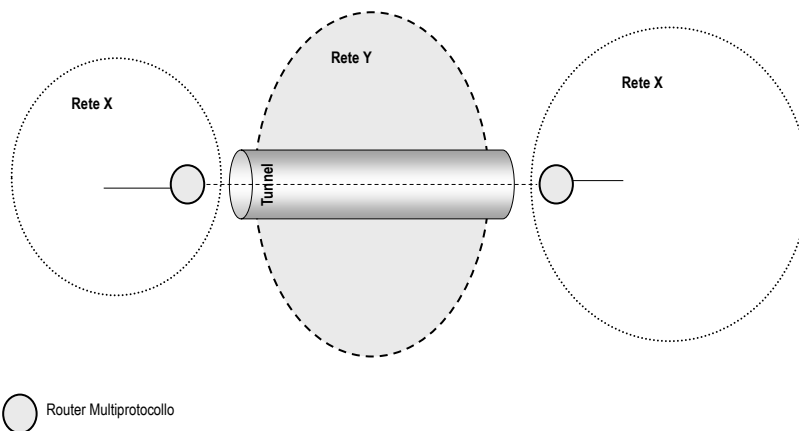


28

**Internetworking**



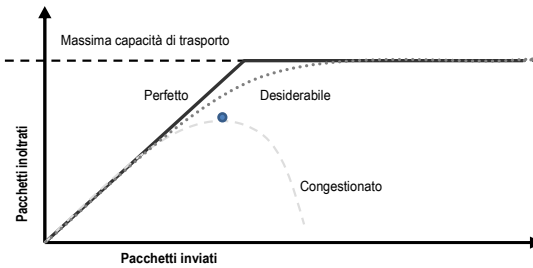
**Internetworking (tunneling)**



**Algoritmi di controllo della congestione**

principi di controllo della congestione:

- monitorare
- trasferire le informazioni al gestore
- correzione sul funzionamento



31

**Politiche di prevenzione**

**OPEN LOOP POLICY**

**CLOSED LOOP POLICY**

32



**Algoritmi di controllo della congestione**

- Choke Packet
- Hop by Hop Choke Packet
- Drop Tail
- Load Shedding
- Active Queue Management (AQM)
- Random Early Detection (RED)

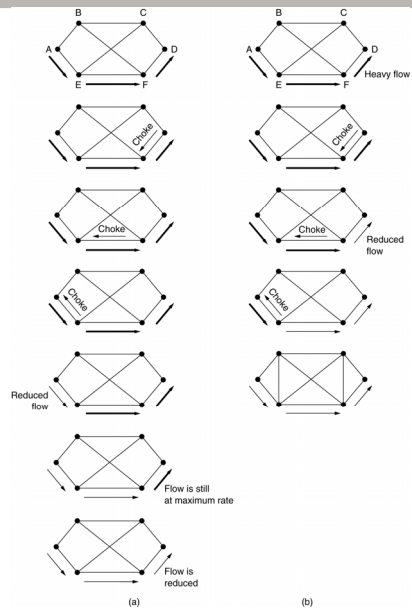
33

**Choke Packet**

- il router controlla il grado di utilizzo delle sue linee di uscita.
- Implementa una variabile di porta (interfaccia)  $M$  che misura il carico e la soglia di pericolo
- in prossimità della soglia di pericolo invia all'host che genera traffico un choke packet

34

**Hop by Hop Choke Packet**



35

**Drop Tail**

Cancellazione dei pacchetti in coda una volta raggiunto il limite massimo del buffer (overflow)

- problema della sincronizzazione dei flussi e della non equa distribuzione della perdita di pacchetti tra le connessioni;
- problema dello scarso utilizzo delle risorse di rete.

36

Il Livello Rete		III - 1
<h3>Load Shedding</h3> <p>Tecnica utilizzata per l'interruzione di energia elettrica da parte del gestore in caso superata disponibilità.</p> <p>Un router, raggiunto il limite massimo del buffer, può decidere di scartare i pacchetti seguendo precise regole, e dipendenti dall'applicativo in esecuzione:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• regola del wine (vino);</li><li>• regola del milk (latte).</li></ul>		
Reti di calcolatori	37	Prof. Gianni Fenu

37

Il Livello Rete		III - 1
<h3>AQM (Active Queue Management)</h3> <p>Schemi AQM, Active Queue Management (Amministrazione attiva di Coda),</p> <p>Il principio di comunicare la presenza di congestione preventivamente:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• causare il decremento dei dati spediti dalla sorgente prima dell'overflow e conseguente perdita di pacchetti.</li><li>• metodo pre-reattivo</li></ul>		
Reti di calcolatori	38	Prof. Gianni Fenu

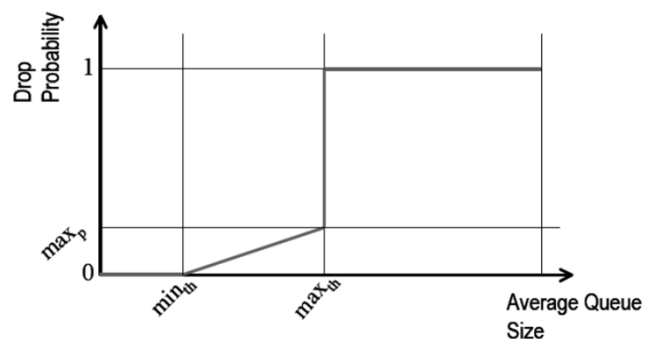
38

**RED (Random Early Detection)**

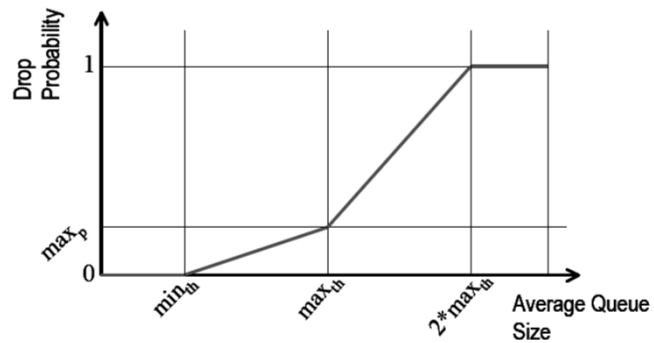
Uno dei più popolari schemi AQM utilizzati in reti TCP/IP

- indaga sulla presenza di congestione nella rete tramite la valutazione della grandezza media della coda, calcolata con l'utilizzo di un filtro pesato,
- reagisce con la cancellazione di pacchetti, in base ad una determinata probabilità, quando la grandezza è compresa tra un limite minimo e un limite massimo, certamente quando la grandezza eccede il limite massimo.

RED (Random Early Detection)  
Probabilità di marcatura (versione classica)



RED (Random Early Detection)  
 Probabilità di marcatura nella gentle-version



PI (Proportional Integral) evoluzione del RED (Random Early Detection)

- Consente di mantenere una lunghezza tipo della coda entro un certo range (lunghezza campione)
- Campiona la lunghezza istantanea della coda ad intervalli prestabiliti e costanti calcolando la variazione della probabilita' di cancellazione

Tuttavia PI offre una risposta meno rapida ad improvvise oscillazioni del traffico in rete.

Il Livello Rete		III - 1
<p><b><u>Qualità del Servizio (QoS)</u></b></p> <p>Flusso</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Affidabilità</li><li>2. ritardo, valutabile e controllabile</li><li>3. Jitter</li><li>4. banda, livelli di garanzia</li></ol>		
Reti di calcolatori	43	Prof. Gianni Fenu

43

Il Livello Rete		III - 1
<p><b><u>Qualità del Servizio (QoS)</u></b></p> <p>Tipologia Reti:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Reti a Velocità Costante</li><li>2. Reti a Velocità Variabile in tempo reale</li><li>3. Reti a Velocità Variabile non in tempo reale</li><li>4. Velocità Disponibile</li></ol>		
Reti di calcolatori	44	Prof. Gianni Fenu

44

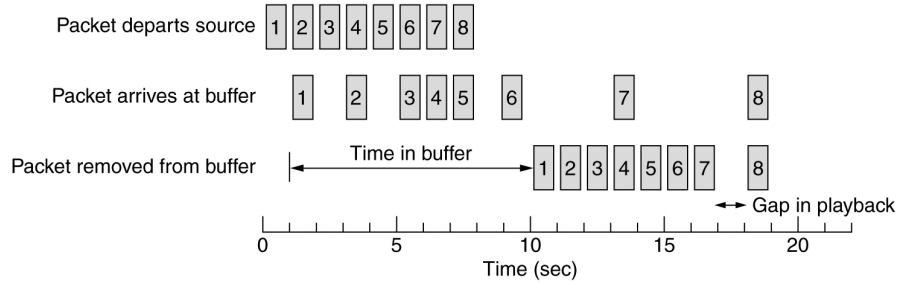
**Tecniche per Qualità del Servizio (QoS)**

1. Bufferizzazione
2. Traffic Shaping
  - leaky bucket (secchio bucatato)
  - token bucket (secchio di gettoni)
  - flow specification (specifica o parametrizzazione del flusso).

**Tecniche per Qualità del Servizio (QoS)**

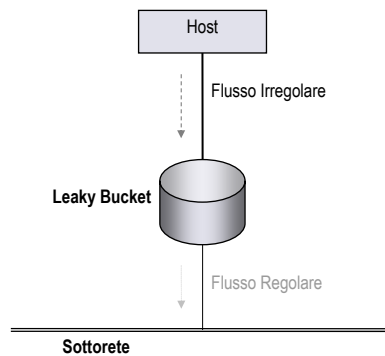
3. Routing adattivo
4. Sovradimensionamento

**1. Bufferizzazione**



47

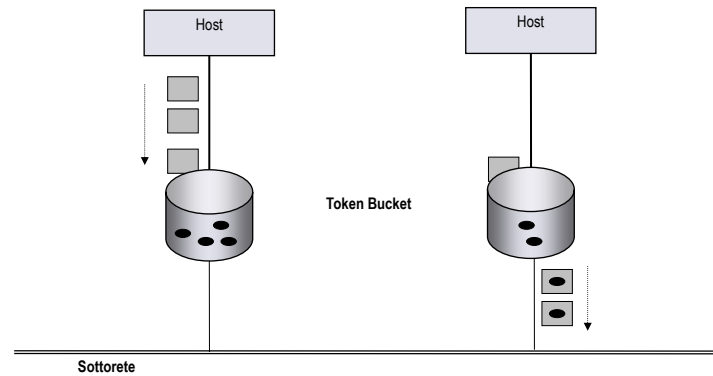
**2.1 Algoritmo del secchio bucato.**



48



## 2.2 Algoritmo del secchio di gettoni.



## 2.3 Flow specification.

prevede un accordo tra sorgente-sottorete-destinazione basato su:

- Caratteristiche del traffico: data rate,...
- Qualita' del servizio: perdita tollerata-concordata di pacchetti,...

In caso di assenza di risorse di sottorete si potra' attivare il blocco nella creazione di nuovi circuiti virtuali (**admission control**).

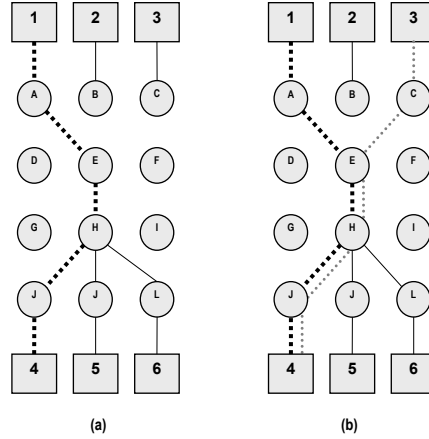
Il Livello Rete		III - 1
<p><b>3. Routing adattivo:</b> ai fini del raggiungimento di QoS</p> <p><b>4. Sovradimensionamento:</b> attribuzione di QoS in ambito di servizi essenziali e/o militari</p>		
Reti di calcolatori	51	Prof. Gianni Fenu

51

Il Livello Rete		III - 1
<p><b><u>Servizi Integrati</u></b></p> <p>Gestione di flussi di dati multimediali o real time</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Protocollo RSVP (Resource reSerVation Protocol)</li><li>• MPLS (MultiProtocol Label Switching)</li></ul>		
Reti di calcolatori	52	Prof. Gianni Fenu

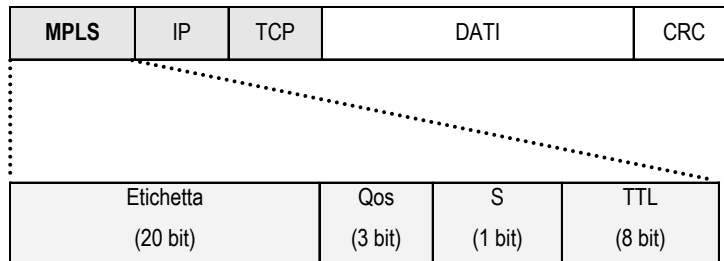
52

**RSVP (Resource reSerVation Protocol)**



**MPLS (MultiProtocol Label Switching)**

Struttura di un pacchetto TCP/IP con protocollo MPLS.



## SLA (Service Level Agreement)

soglie di garanzia minima, o massima, concordata e misurabile su specifici parametri.

I livelli di servizio tipicamente considerano:

- throughput per port
- data delivery ratio (DDR) bps
- constant bit rate (CBR) bps
- back-up di linea (a caldo / a freddo)
- back-up router (a caldo / a freddo)
- uptime (continuità minima di servizio assicurata)
- report service unit (RSU)
- management service unit (MSU)

**KPI** (Key Performance Indicator) indice unico del QoS