



Università
degli Studi
della Campania
Luigi Vanvitelli

Reti di Calcolatori e Cybersecurity

IPv4 - Indirizzamento

Ing. Vincenzo Abate

Indirizzo IP

Un indirizzo IP è una sequenza di 32 bit

Un pacchetto IP ha, nell'header, l'indirizzo IP del mittente e quello del destinatario

In forma testuale, per un uso da parte di un utente umano, un indirizzo IP è solitamente rappresentato nella notazione dotted decimal:

- i 32 bit sono composti in 4 byte, il valore di ciascuno dei quali è riportato in decimale come numero naturale tra 0 e 255
- i quattro numeri decimali sono scritti in sequenza separati dal punto

In una rete IP (ad esempio, la rete Internet) un indirizzo IP serve ad identificare univocamente un'interfaccia di rete di un dispositivo

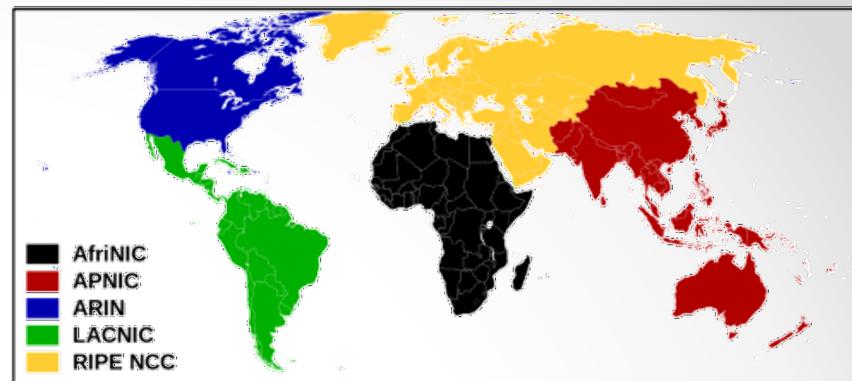
- Un end system può avere una sola interfaccia di rete, un router almeno due
- I terminali moderni hanno diverse interfacce di rete (multi-homed) e dunque diversi indirizzi IP (es. interfaccia Ethernet, WiFi, Bluetooth, ecc.)

10010100	01001110	11111010	00001100
----------	----------	----------	----------

148 . 78 . 250 . 12

L'host ha molte interfacce da quelle attraverso le quali invia pacchetti e una nella quale riceve mette pacchetti.

Indirizzo IP



L'assegnazione degli indirizzi IP avviene attraverso un sistema gerarchico di autorità

Il gestore globale dell'intero spazio di indirizzamento è IANA

- IANA - Internet Assigned Numbers Authority
- In origine IANA era una persona: Jon Postel

IANA dipartimento di ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)

registry: ente regolatore

IANA delega la gestione degli indirizzi IP a cinque autorità regionali (RIR)

In Europa opera come Regional Internet Registry il RIPE NCC

I registry regionali assegnano blocchi di indirizzi agli Internet Service Provider (ISP) ed alle grosse organizzazioni

Questi, a loro volta, sono responsabili della assegnazione unica degli indirizzi di loro pertinenza ai singoli dispositivi delle proprie reti

Indirizzi assegnati a blocchi

→ associata a broadcast

Classi Indirizzi IP

↑ Rete

Un indirizzo IP è costituito da due parti: un identificatore Network della rete di appartenenza e un identificatore Host che identifica il terminale all'interno della rete

Nella rete Internet, inizialmente, si adottò una gestione degli indirizzi per classi

Nella gestione per classi, la demarcazione tra i campi Network ed Host è fissa e determinata dal valore dei primi bit

Significato di rete: tutti gli host di una stessa rete possono comunicare direttamente a livello 2, senza l'ausilio di un router

32 bits			Range of host addresses	Notes
Class A	0	Network	Host	Range of host addresses 0.0.0.0 – 127.255.255.255 Rete contiene di elementi che possono comunicare tra loro senza passare per un router.
Class B	10	Network	Host	128.0.0.0 – 191.255.255.255
Class C	110	Network	Host	192.0.0.0 – 223.255.255.255
Class D	1110	Multicast address		224.0.0.0 – 239.255.255.255
Class E	1111	Reserved for future use		240.0.0.0 – 255.255.255.255

Classi Indirizzi IP

Un indirizzo IP di **classe A** usa il primo byte per identificare la rete ed i restanti tre byte per identificare l'host

Una rete di classe A è un blocco di $2^{24} = 16.777.216$ indirizzi consecutivi

Esistono $2^8 = 256$ reti di classe A distinte

Un indirizzo IP di **classe B** usa i primi due byte per identificare la rete ed i restanti due byte per identificare l'host

Una rete di classe B è un blocco di $2^{16} = 65.536$ indirizzi consecutivi

Esistono $2^{12} = 4.096$ reti di classe B distinte

Un indirizzo IP di **classe C** usa i primi tre byte per identificare la rete ed il restante byte per identificare l'host

Una rete di classe C è un blocco di $2^8 = 256$ indirizzi consecutivi

Esistono $2^5 = 32$ reti di classe C distinte

Gli indirizzi di **classe D** (nel range 224.0.0.0-239.255.255.255) sono usati per identificare gruppi di trasmissione multicast (RFC1112)

Possono essere usati solo come indirizzo destinazione

Gli indirizzi di **classe E** (nel range 240.0.0.0-255.255.255.255) sono stati riservati per usi futuri e mai utilizzati

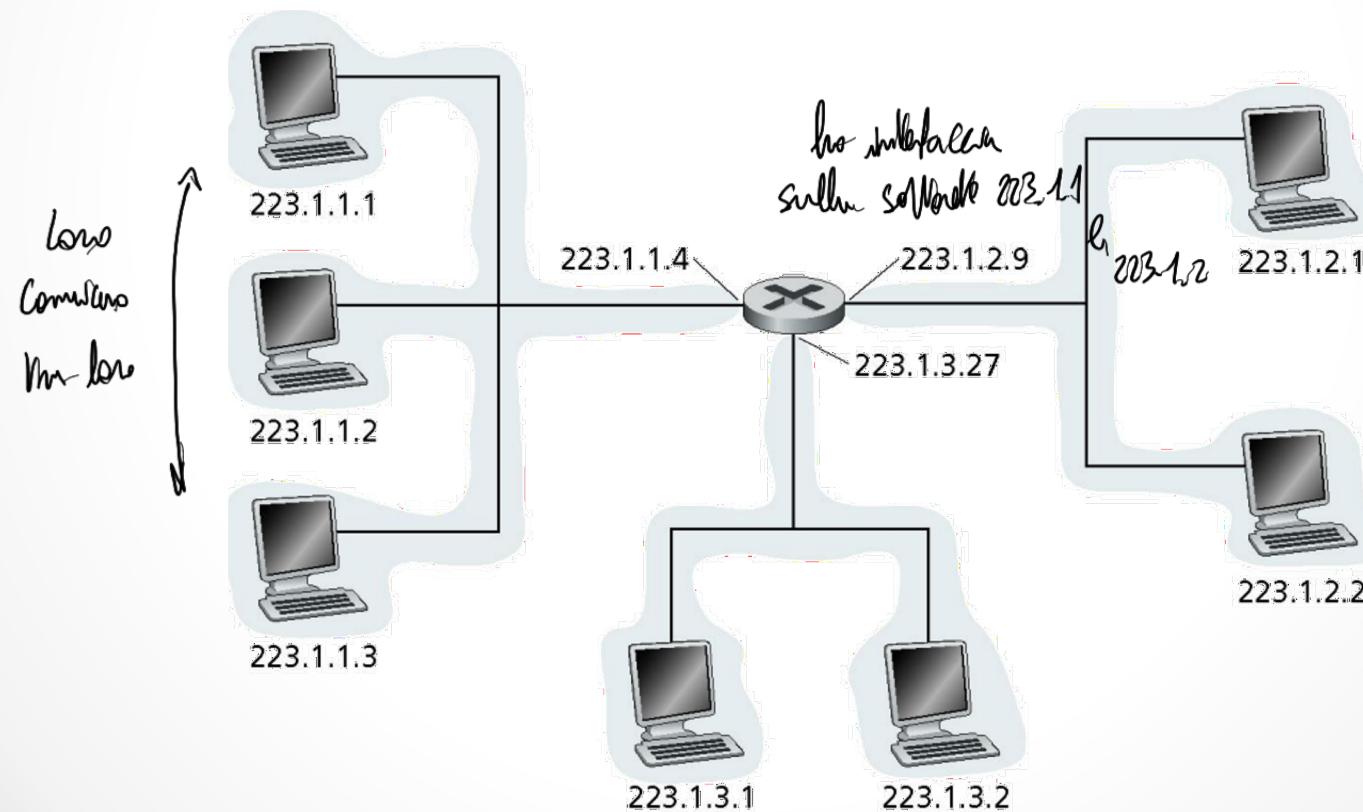
Assegnazione Indirizzi IP a interfacce di rete

Scenario con tre reti fisiche associate a tre diverse reti di classe C

223.1.1.X è il prefisso per la rete a sinistra 3 byte

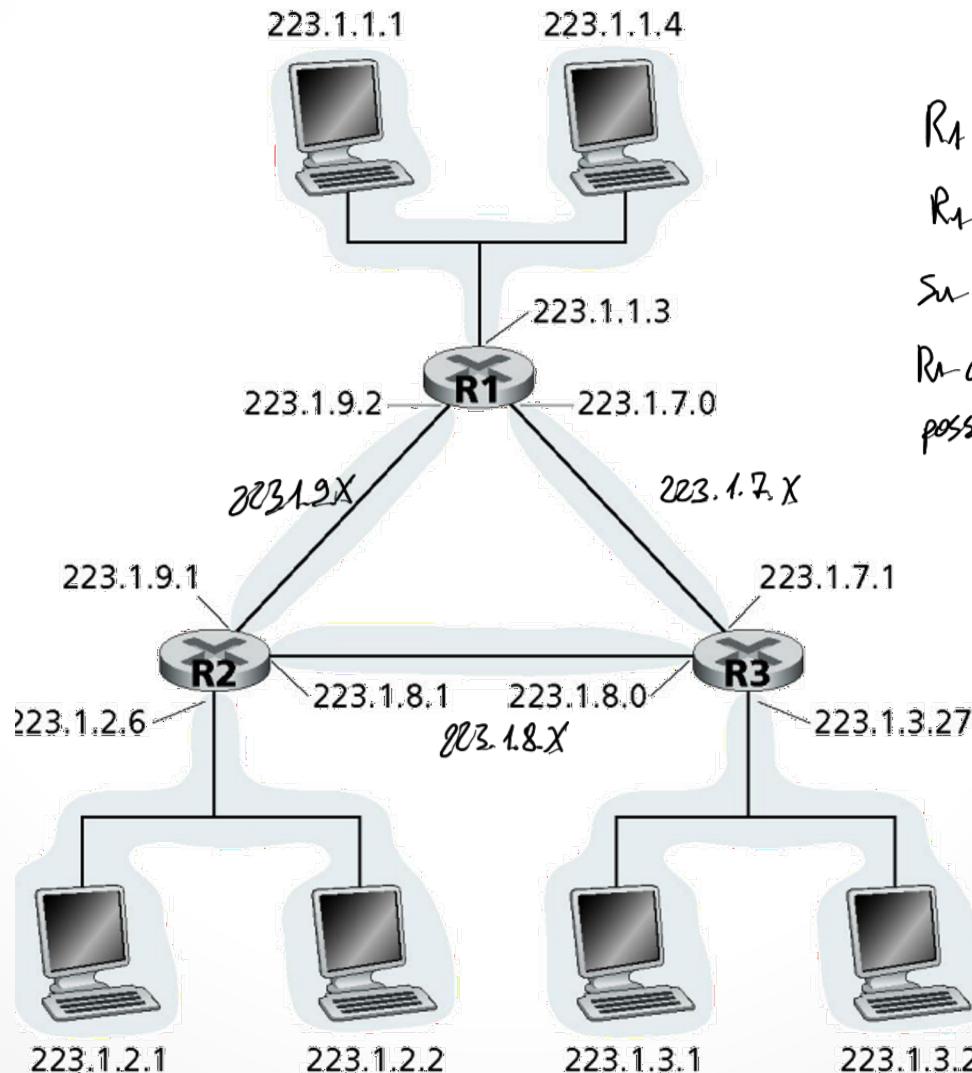
223.1.2.X è il prefisso per la rete a destra

223.1.3.X è il prefisso per la rete in basso



Assegnazione Indirizzi IP a interfacce di rete

Scenario con sei distinte reti fisiche associate a sei diverse reti di classe C



R1 sta su rete 1 ma
R1 e R2 devono avere interfacce
su una rete che prende sta
Ra che R2. Allora non
possono comunicare.

Indirizzi IP Speciali

L'indirizzo 0.0.0.0 è usato per scopi speciali in vari contesti

- Ad esempio, all'interno di un host, identifica "qualunque indirizzo IP assegnato alle sue proprie interfacce"
Poiché da una rete, scelti specifici. L'indirizzo IP associato alle sue interfacce

Tutto il blocco di indirizzi 0.X.Y.Z (con X, Y, e Z qualsiasi) è riservato e non può essere assegnato specificamente ad un'interfaccia
per questioni di test

Gli indirizzi della rete 127.0.0.0, cioè del tipo 127.X.Y.Z (con X, Y, e Z qualsiasi), sono tutti associati ad un'interfaccia virtuale che è presente in qualunque sistema e che può essere usata per la comunicazione tra processi in esecuzione nella stessa macchina (interfaccia di loopback)

- L'interfaccia di loopback è, di solito, configurata con l'indirizzo 127.0.0.1

L'indirizzo 255.255.255.255 (usato come destinazione) indica il broadcast a tutti gli host nella rete locale del mittente

L'indirizzo che ha tutti zero nel campo host serve ad identificare la rete

- Es. la rete 148.78.0.0

L'indirizzo che ha tutti uno nel campo host serve ad identificare (come destinatario) tutti gli host della rete specificata nel campo network (broadcast diretto)

- Es. un pacchetto con indirizzo 148.78.255.255 è consegnato a tutti i sistemi che hanno un'interfaccia nella rete 148.78.0.0

Data una rete qualsiasi, gli indirizzi che hanno nel campo host tutti zero e tutti uno sono considerati speciali e quindi non assegnabili a specifici host

Numeri massimi di indirizzi è 2 host, 1 per la rete e uno per tutto 1 per broadcast

Mentre che deve avere 256 host. Non basta la C, dove andare da B. IP address è unico sulla rete pubblica.

Indirizzi IP: Netmask

La gestione per classi degli indirizzi IP condusse ad un uso inefficiente dello spazio di indirizzamento e ad una conseguente difficoltà ad assegnare indirizzi IP a nuove reti collegate ad Internet

Nella gestione per classi, una rete con più di 256 host necessita di un blocco di indirizzi di classe B che, però, comprende 65.536 indirizzi

Classless addressing

Nel 1992 una nuova tecnica di gestione degli indirizzi IP fu introdotta: **CIDR**

In CIDR, la separazione tra campo network e campo host all'interno di una rete è fatta attraverso una stringa di 32 bit ausiliaria, detta **network mask** o **netmask**

La netmask contiene una sequenza di k '1' in testa che identificano la parte di bit che costituiscono l'identificatore di rete, ed una restante sequenza di (32-k) '0' che identificano l'host nella rete

Una netmask si rappresenta o in notazione dotted decimal, oppure con la notazione /k, dove k è il numero di '1' consecutivi in testa

Esempi: 16 bit per rete

- 255.255.0.0 o /16 - per 16 host
- 255.255.128.0 o /17
- 255.255.255.0 o /24
- 255.255.255.240 o /28
- 255.255.255.252 o /30 - esempio più semplice da rete. 1 subnet, broadcast 1 e 2

Numero di bit per host è modulato

Indirizzi IP: classless (CIDR)

Nella gestione CIDR ciascuna delle reti originariamente definite dalle classi è stata suddivisa in sottoreti, ovvero in blocchi di indirizzi consecutivi

Una sottorete è identificata usando un campo **subnet** sottratto al campo host

La demarcazione tra i campi subnet e host è realizzata mediante la **netmask**

Gli **host** di una stessa sottorete comunicano direttamente a livello 2 senza l'ausilio di un **router**

Tutti gli **host** della stessa sottorete devono essere configurati con la stessa **netmask**

La figura seguente mostra blocco di indirizzi di classe B ripartito in $2^8 = 256$ sottoreti da 256 indirizzi ciascuna

Confronto Netmask e punti di IP fino a Subnet per capire se 2 host parlano su stessa rete

10	Network	Subnet	Host
11111111	11111111	11111111	00000000

La subnet dell'esempio può contenere fino a 254 host distinti, perché gli indirizzi che hanno tutti zero e tutti uno nel campo host sono usati per scopi speciali

Indirizzi IP per usi speciali

IANA (RFC 1918) ha riservato i seguenti tre blocchi di indirizzi per reti TCP/IP private

10.0.0.0 - 10.255.255.255 (10.0.0.0/8) un blocco di 2^{24} indirizzi

172.16.0.0 - 172.31.255.255 (172.16.0.0/12) un blocco di 2^{20} indirizzi

192.168.0.0 - 192.168.255.255 (192.168.0.0/16) un blocco di 2^{16} indirizzi

Indirizzi solo
usati direttamente
in rete private

Una rete privata è una rete non collegata a livello 3 alla rete Internet

Un'organizzazione può assegnare nella propria rete interna gli indirizzi specificati in RFC 1918 senza dover ricevere alcuna autorizzazione

Questo però impedisce la possibilità di comunicare con host in Internet

(A meno di non usare una soluzione di address translation (NAT))

In RFC 5737 sono indicati tre blocchi di indirizzi che sono considerati riservati per l'uso in manuali e documentazione

192.0.2.0/24 (TEST-NET-1) *Per manuali*

198.51.100.0/24 (TEST-NET-2)

203.0.113.0/24 (TEST-NET-3)

I router di Internet sono configurati per eliminare (cioè non inoltrare) pacchetti aventi come indirizzo mittente o destinazione uno degli indirizzi riservati di RFC 1918 ed RFC 5737

Altri indirizzi IPv4 riservati per usi speciali sono elencati in:

<https://www.iana.org/assignments/iana-ipv4-special-registry/iana-ipv4-special-registry.xhtml>

Fixed Length Subnet Mask (FLSM)

Un blocco di $N=2^n$ indirizzi consecutivi è identificato dal prefisso /k con $k = 32 - n$

Il termine **subnetting con fixed length subnet mask (FLSM)** indica la ripartizione di un blocco di N indirizzi consecutivi in M sottoinsiemi disgiunti ciascuno formato da (N/M) indirizzi consecutivi (subnet) *Ogni sottoretina ha N/M indirizzi, M blocki con lo stesso numero di indirizzi*

In ciascun blocco di (N/M) indirizzi, due indirizzi saranno riservati per scopi speciali:

l'indirizzo che ha tutti zero nel campo host indica l'intera subnet

l'indirizzo che ha tutti uno nel campo host indica il broadcast alla subnet

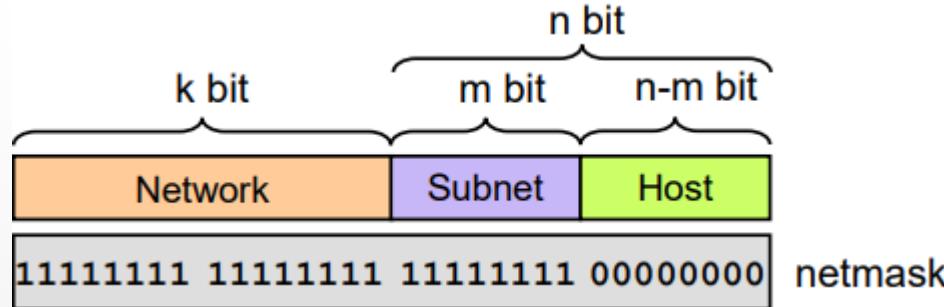
Pertanto, solo $(N/M)-2$ indirizzi saranno attribuibili alle interfacce degli host che appartengono alla subnet (host range)

All'interno del blocco, ciascuna subnet sarà identificata da $m = \log_2(M)$ bit

Tutte le interfacce dei dispositivi della rete saranno configurate con una netmask avente:

$k + m$ bit '1' per identificare globalmente ciascuna subnet

$n - m$ bit '0' per identificare ciascun host all'interno di una subnet



Esempio

Si abbia assegnato il blocco di $N=2^8=256$ indirizzi 192.168.20.0/24

Lo si voglia ripartire in $M=8$ blocchi uguali (subnet) da $N/M=32$

indirizzi ciascuno *Voglio 8 sottorete uguali*

In ciascuna subnet al più 30 indirizzi sono assegnabili agli host ed ai router perché due indirizzi sono riservati

Ciascuna subnet è identificata da $m=\log_2 8=3$ bit

Occorre usare una netmask con

$24+3=27$ bit '1'

$8-3=5$ bit '0'

Netmask rappresentata in binario:

11111111.11111111.11111111.11100000

256 indirizzi divisi a
blocchi, non possono comunicare

Netmask rappresentata in notazione dotted decimal:

255.255.255.224

Se manca un router.

Netmask rappresentata come prefisso: /27



Esempio

Blocco di $N=2^8=256$ indirizzi $192.168.20.0/24$

ripartito in $M=8$ subnet da $N/M=32$ indirizzi ciascuna con netmask /27

Primo per la rete, ultimo per il broadcast. Quello in mezzo

Subnet	Subnet Address	Host Range	Broadcast Address	Spazio
0	192.168.20.0 /27	192.168.20.1 to 192.168.20.30	192.168.20.31	
1	192.168.20.32 /27	192.168.20.33 to 192.168.20.62	192.168.20.63	
2	192.168.20.64 /27	192.168.20.65 to 192.168.20.94	192.168.20.95	
3	192.168.20.96 /27	192.168.20.97 to 192.168.20.126	192.168.20.127	
4	192.168.20.128 /27	192.168.20.129 to 192.168.20.158	192.168.20.159	
5	192.168.20.160 /27	192.168.20.161 to 192.168.20.190	192.168.20.191	
6	192.168.20.192 /27	192.168.20.193 to 192.168.20.222	192.168.20.223	
7	192.168.20.224 /27	192.168.20.225 to 192.168.20.254	192.168.20.255	

Per connettersi con dei router cosa posso fare? Serve una rete da 6 dispositivi.
Non ha troppo senso.

Variable Length Subnet Mask (VLSM)

Sia disponibile un blocco di $N=2^n$ indirizzi consecutivi identificato dal prefisso /k con $k = 32 - n$

Il termine **subnetting con variable length subnet mask (VLSM)** indica la ripartizione del blocco di N indirizzi consecutivi in M sottoinsiemi disgiunti di differente dimensione

Tutti i blocchi devono avere come dimensione una potenza di due

La ripartizione avviene in maniera gerarchica

Si ripartisce il blocco in M_1 blocchi "grandi" identificati da un prefisso di $m_1=\log_2(M_1)$ bit

Uno o più dei blocchi ottenuti dalla prima ripartizione sono suddivisi in M_2 blocchi più piccoli identificati da un prefisso di $m_2=\log_2(M_2)$ bit

La ripartizione può essere ulteriormente effettuata in blocchi ancora più piccoli se necessario

Ciascun blocco sarà associato ad una propria netmask

Subnet associate ai blocchi "grandi": netmask / $k+m_1$

Subnet associate ai blocchi ottenuti dalla seconda suddivisione: netmask / $k+m_1+m_2$

... e così via

Variable Length Subnet Mask (VLSM)

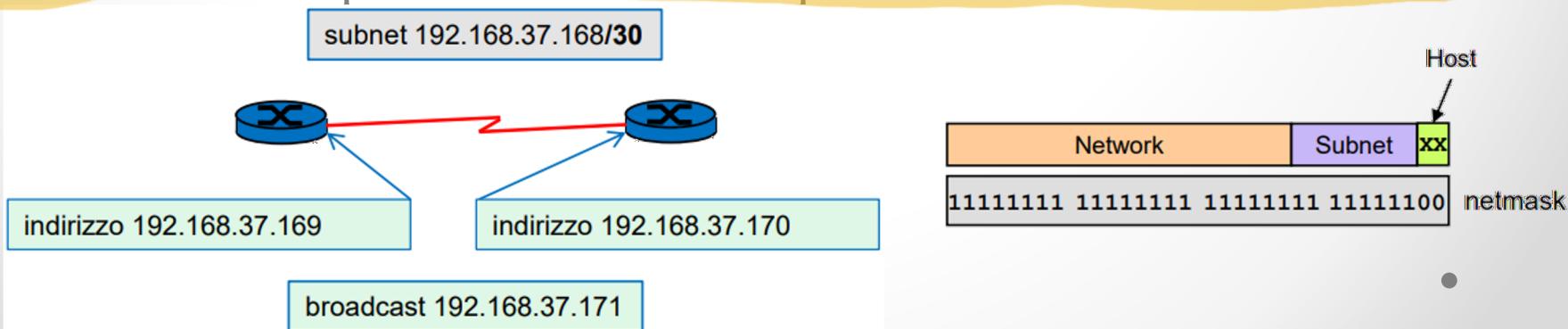
Quando si usa la tecnica VLSM, alle reti associate ai link punto-punto che collegano due router conviene assegnare una subnet che comporti il minor spreco possibile di indirizzi IP

Tale subnet deve comprendere quattro indirizzi IP consecutivi

- indirizzo che ha nel campo host la configurazione di bit 00 riservato per la subnet *30 bit alla rete, 2 aby host*
- indirizzo che ha nel campo host la configurazione di bit 11 riservato per il broadcast

Sono associabili alle interfacce dei due router gli indirizzi che hanno nel campo host le configurazioni di bit 01 ed 10

La netmask da usare per una tale subnet è quindi /30 ovvero 255.255.255.252



Esempio

Blocco di $N=2^8=256$ indirizzi consecutivi identificato dal prefisso /24

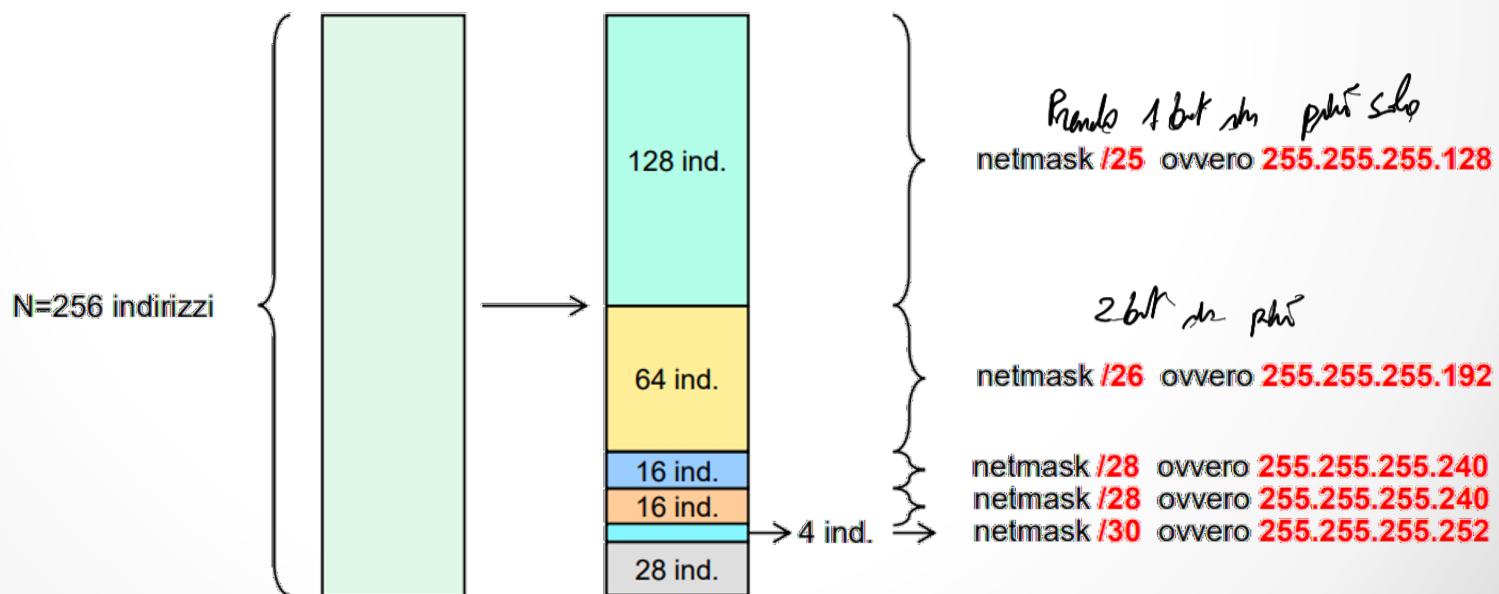
Si debba ripartire il blocco in 5 sottoreti di dimensione: 128, 64, 16, 16, 4

In ciascun blocco due indirizzi sono riservati e pertanto non assegnabili a host

Il numero totale di indirizzi usati è $128+64+16+16+4=228$

Dei 256 indirizzi disponibili ne avanzeranno 28

La ripartizione è effettuata in blocchi di dimensione decrescente



Esempio

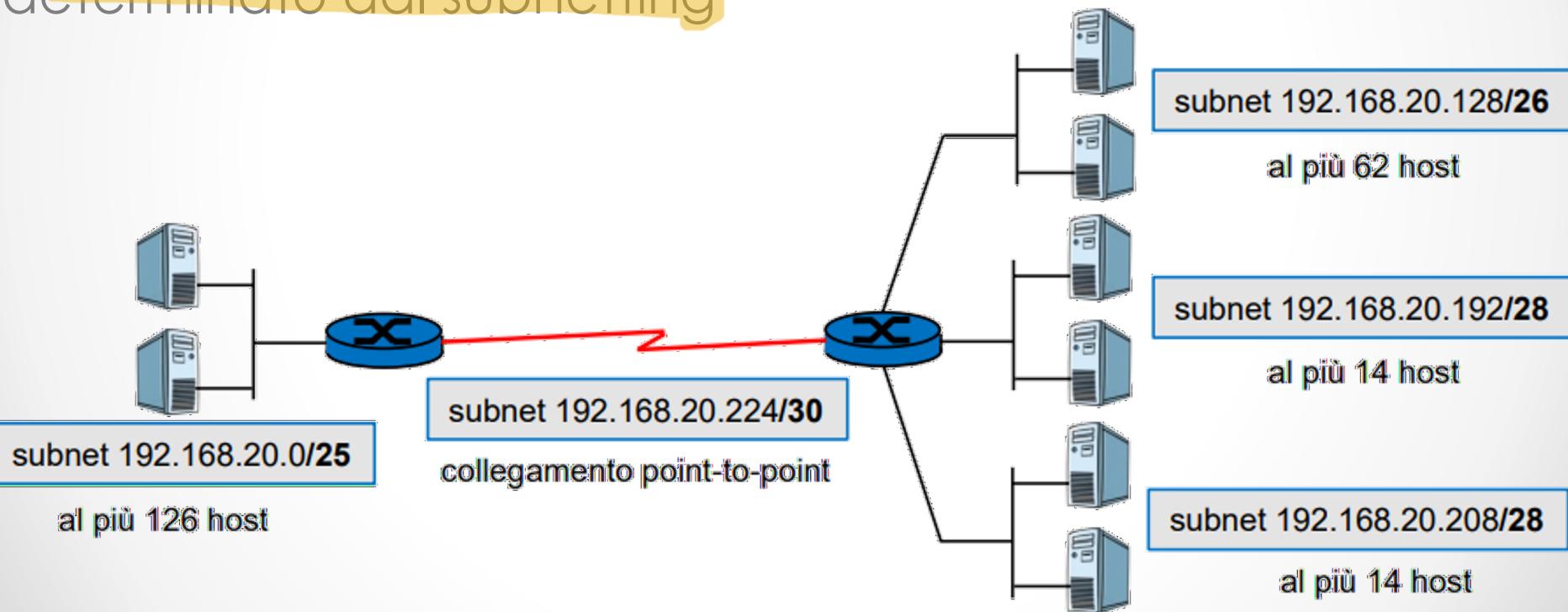
Blocco di $N=2^8=256$ indirizzi 192.168.20.0/24 ripartito 5 in subnet di dimensione: 128, 64, 16, 16, 4 indirizzi

Subnet	Subnet Address	Host Range	Broadcast Address
0	192.168.20.0 /25	192.168.20.1 to 192.168.20.126	192.168.20.127
1	192.168.20.128 /26	192.168.20.129 to 192.168.20.190	192.168.20.191
2	192.168.20.192 /28	192.168.20.193 to 192.168.20.206	192.168.20.207
3	192.168.20.208 /28	192.168.20.209 to 192.168.20.222	192.168.20.223
4	192.168.20.224 /30	192.168.20.225 to 192.168.20.226	192.168.20.227
Unused		192.168.20.228 to 192.168.20.255	

Esempio

Blocco di $N=2^8=256$ indirizzi $192.168.20.0/24$ ripartito 5 in subnet di dimensione: 128, 64, 16, 16, 4 indirizzi

Esempio di rete a cui si applica il piano di indirizzamento determinato dal subnetting



Esempio

Prendiamo come esempio la rete **172.18.0.0 /16**. In binario diventa:

|----- parte rete -----|----- parte host -----|
10101100.00010000.00000000.00000000
11111111.11111111.00000000.00000000

172.18.0.0

Supponiamo di aver bisogno di:

- 1 rete da 1000 host **/22** 172.18.0.0
- 1 rete da 800 host **/22** 172.18.4.0
- 1 rete da 700 host **/22** 172.18.8.0 +4
- 1 rete da 500 host **/23** 172.18.12.0 → +2
- 1 rete da 400 host **/23** 172.18.14.0 +2
- 1 rete da 100 host **/25** 172.18.16.0 +128
- 1 rete da 60 host **/26** 172.18.16.128 +64
- 2 reti da 12 host **/28** 172.18.16.192 → 172.18.16.208 +16
- 1 rete da 10 host
- 2 reti da 2 host

172.18.16.208
2^6

Esempio

Per ognuna di queste sottoreti, prendiamo in prestito alcuni bit dal campo host di origine. Ad esempio, per la prima rete da 1000 host avremo bisogno in tutto di 10 bit da dedicare alla nuova parte host: infatti $2^{10}=1024$ combinazioni disponibili, con uno spreco (il minore possibile) di 24 indirizzi.
La rete sarà pertanto una /22, con 6 bit (in rosso) presi in prestito dalla parte host originaria:

----- parte rete ----- --- host ---
10101100.00010000.00000000.00000000
11111111.11111111.11111100.00000000

Esempio

Sottoreti necessarie	Bit per gli host	Combinazioni possibili	Maschera di rete	Bit presi in prestito
1 rete da 1000 host	10	$2^{10}=1024$, utilizzabili 1022	/22	6
1 rete da 800 host	10	$2^{10}=1024$, utilizzabili 1022	/22	6
1 rete da 700 host	10	$2^{10}=1024$, utilizzabili 1022	/22	6
1 rete da 500 host	9	$2^9=512$, utilizzabili 510	/23	7
1 rete da 400 host	9	$2^9=512$, utilizzabili 510	/23	7
1 rete da 100 host	7	$2^7=128$, utilizzabili 126	/25	9
1 rete da 60 host	6	$2^6=64$, utilizzabili 62	/26	10
2 reti da 12 host	4	$2^4=16$, utilizzabili 14	/28	12
1 rete da 10 host	4	$2^4=16$, utilizzabili 14	/28	12
2 reti da 2 host	2	$2^2=4$, utilizzabili 2	/30	14

Recuperiamo quindi le prime 3 sottoreti /22 da dedicare rispettivamente alle reti da 1000, 800 e 700 host.

A partire dalla rete originaria 172.18.0.0 /16 si possono avere ben 64 reti /22.

Infatti i bit presi a prestito sono 6 e $2^6=64$.

A noi servono solo le prime 3 reti /22, ed utilizzeremo la quarta per recuperare 2 reti /23.

Esempio

172.18.0.0/22	per la rete da 1000 hosts
172.18.4.0/22	per la rete da 800 hosts
172.18.8.0/22	per la rete da 700 hosts

172.18.12.0/22 → ricaviamo 2 reti /23, la 172.18.12.0/23 per la rete da 500 hosts,
la 172.18.14.0/23 per la rete da 400 hosts

Utilizziamo la successiva rete /22 per ottenere le reti /25:

172.18.16.0/22 → 8 reti /25, delle quali la 172.18.16.0/25 è per la rete da 100 hosts

Seguendo il ragionamento sin qui proposto:

172.18.16.128/25 → 2 reti /26, delle quali la 172.18.16.128/26 per la rete da 60 hosts

172.18.16.192/26 → 4 reti /28, 172.18.16.192/28 rete da 12 hosts, 172.18.16.208/28 seconda rete da 12 hosts, 172.18.16.224/28 rete da 10 hosts

172.18.16.240/28 → 4 reti /30, 172.18.16.240/30 rete da 2 hosts, 172.18.16.244/30 seconda rete da 2 hosts

Esempio

Numero Host	Indirizzo Rete
1000	172.18.0.0/22
800	172.18.4.0/22
700	172.18.8.0/22
500	172.18.12.0/23
400	172.18.14.0/23
100	172.18.16.0/25
60	172.18.16.128/26
12	172.18.16.192/28
12	172.18.16.208/28
10	172.18.16.224/28
2	172.18.16.240/30
	172.18.16.244/30

Funzioni del router

Forwarding: funzione esplicata dal **data plane**

Routing: funzione esplicata dal **control plane**

molte deligazioni che arrivano sull'interfaccia di ingresso a voltefaccia di uscita

Il **data plane** deve essere in grado di operare alla velocità dei link \Rightarrow Perché? Maggiore velocità possibile. Perché altrimenti, se spostò un ingresso da uscita in modo più lento di quanto non

- La funzione di **forwarding** è tipicamente realizzata mediante hardware specializzato *

creano un
ingresso, uscita.

Il **control plane** può operare a velocità più bassa (le scelte di percorso cambiano nell'ordine dei secondi)

- La funzione di **routing** è tipicamente realizzata mediante software eseguito da CPU

* Data plane consulta la tabella di routing e lo deve fare veloce.

Forwarding

A ciascuna interfaccia di un router è assegnato un indirizzo IP appartenente alla subnet associata alla rete a cui l'interfaccia si collega

Internamente, il router identifica le proprie interfacce mediante degli identificatori locali come fa0, eth0, eth1, ecc. *port, ethernet 0...*

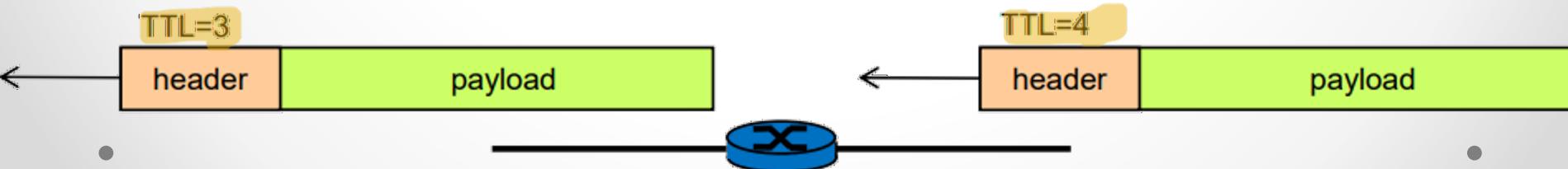
La funzione di forwarding svolta da un router IP è la seguente:

Per ciascun pacchetto, viene determinata l'interfaccia di uscita sulla base dell'indirizzo IP destinazione contenuto nel pacchetto *:Leggo dal diagramma, leggo la tabella e smetto.*

Prima della ritrasmissione, il campo TTL (time-to-live) nell'header del pacchetto inoltrato viene decrementato di 1

Se il TTL diventa zero, il pacchetto non è inoltrato ma viene eliminato

La modifica del TTL impone il ricalcolo del valore del campo header checksum



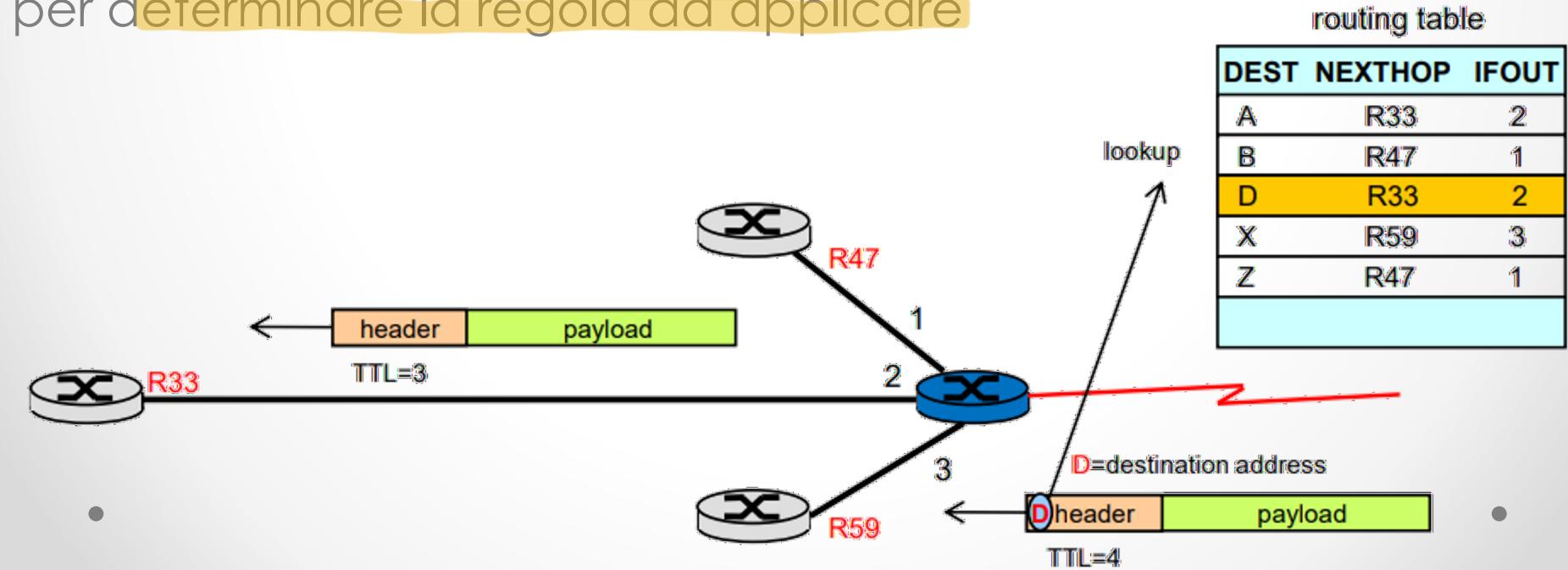
Forwarding

La scelta dell'interfaccia verso la quale il router realizza la ritrasmissione è determinata dall'indirizzo IP del destinatario del pacchetto

Tale scelta è operata sulla base delle regole di instradamento contenute in una tabella: la **tabella di routing**

Ogni volta che il router deve inoltrare un pacchetto, viene consultata la tabella di routing per determinare l'interfaccia di uscita del pacchetto

Il router effettua un'operazione di ricerca nella tabella (**lookup**) per determinare la regola da applicare



Forwarding

Nella tabella di routing c'è scritto, per ogni destinazione:

- L'indirizzo IP del nexthop router prossimo nonché a cui deve essere pacchettato.
- L'identificativo locale dell'interfaccia tramite la quale si raggiunge il nexthop

Non è plausibile avere una regola per ciascun possibile indirizzo IP di destinazione: $2^{32} =$ circa 4 miliardi di indirizzi

Occorrono tecniche che consentano di compattare le regole nelle tabelle di routing

Tutti i blocchi di indirizzi consecutivi che hanno lo stesso prefisso e lo stesso nexthop router sono rappresentati nella tabella di routing da una sola regola Blocco più grande che può diventare un via sempre più piccolo

L'operazione di lookup nella tabella di routing viene effettuata con il criterio detto

longest prefix match

Una **regola di default** è di solito presente e si applica a tutte le destinazioni per le quali non c'è una regola esplicita nella tabella

- ES: chi ha Porta 24 bNL sottoscrive la manda lì.
-

Forwarding

Esempio:

→ Parte del suo indirizzo

Destination Prefix (binary)	Da 1st bit	Destination Prefix (decimal)	Output Interface
11001000 00010111 00010		200.23.16.0/21	0
11001000 00010111 00011		200.23.24.0/21	2
11001000 00010111 00011000		200.23.24.0/24	1
default		default	3

Del blocco da rete ho solo una sottorete /24 a cui posso sottoscrivere. Ti mando lo.

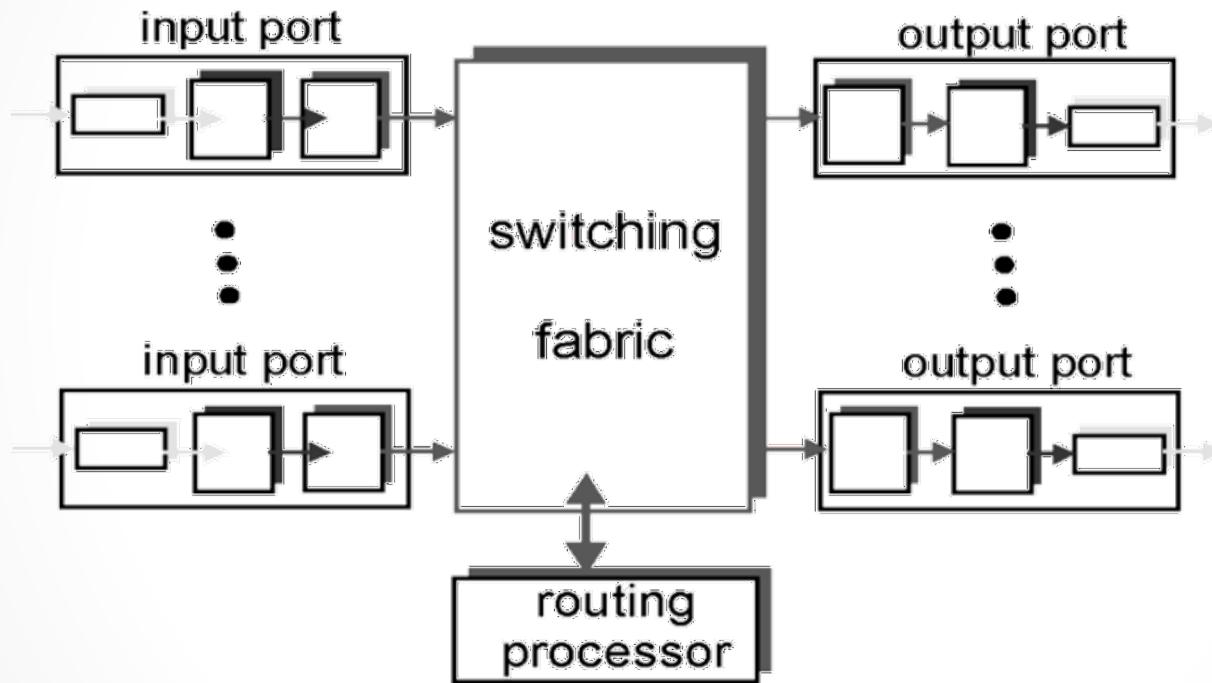
Pacchetto con destinazione: **200.23.24.17** cioè **11001000 00010111 00011000 00010001**

Longest prefix match con la terza regola → output interface = 1

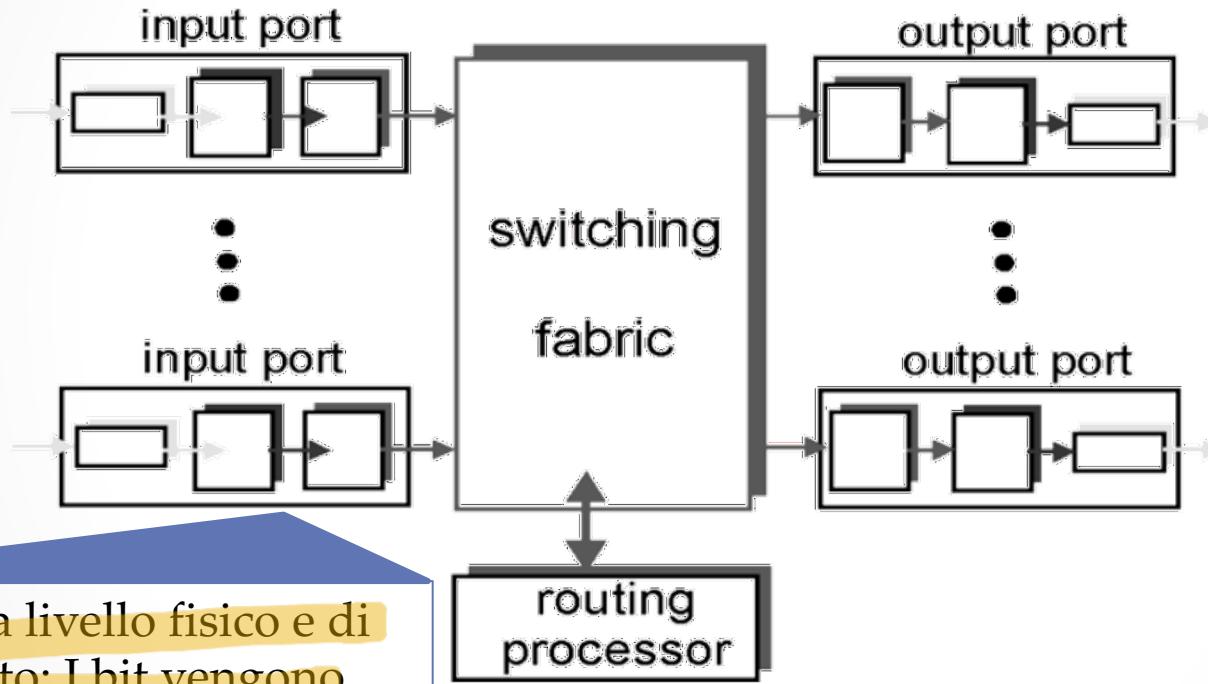
Pacchetto con destinazione: **200.23.25.11** cioè **11001000 00010111 00011001 00001011**

Longest prefix match con la seconda regola → output interface = 2

Struttura router



Struttura router

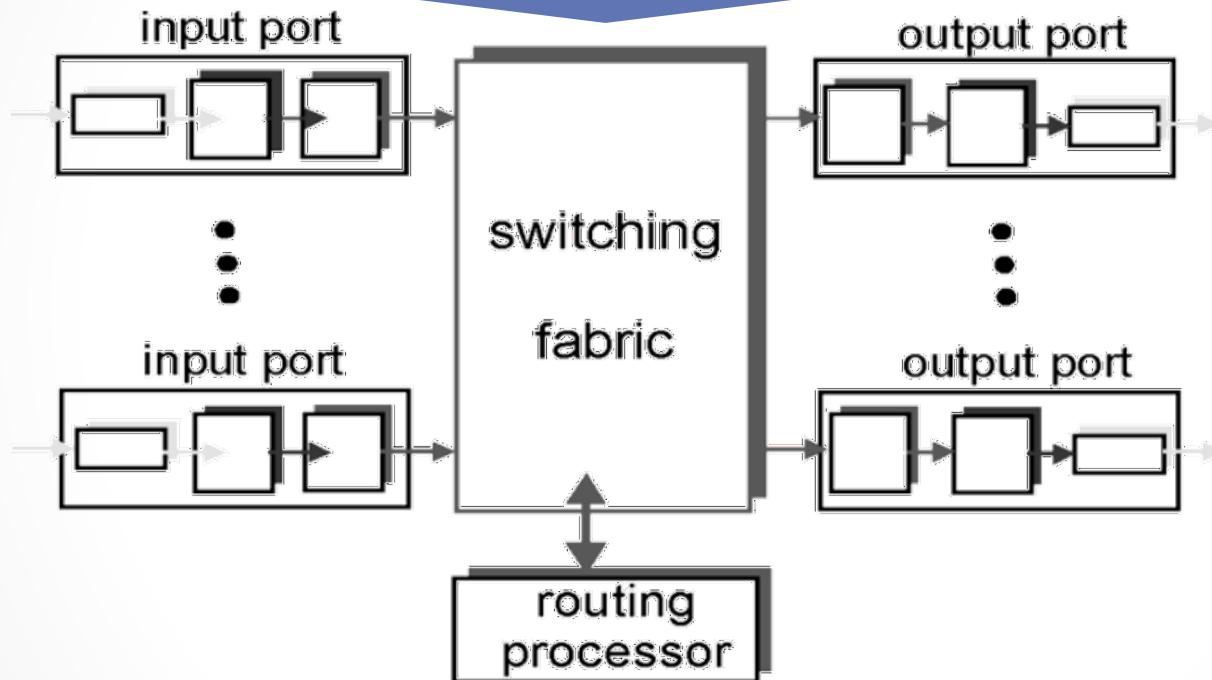


Implementa livello fisico e di collegamento: I bit vengono ricostruiti a partire dal segnale ricevuto, si estrae il frame e quindi il datagramma, se integro si passa al livello di rete

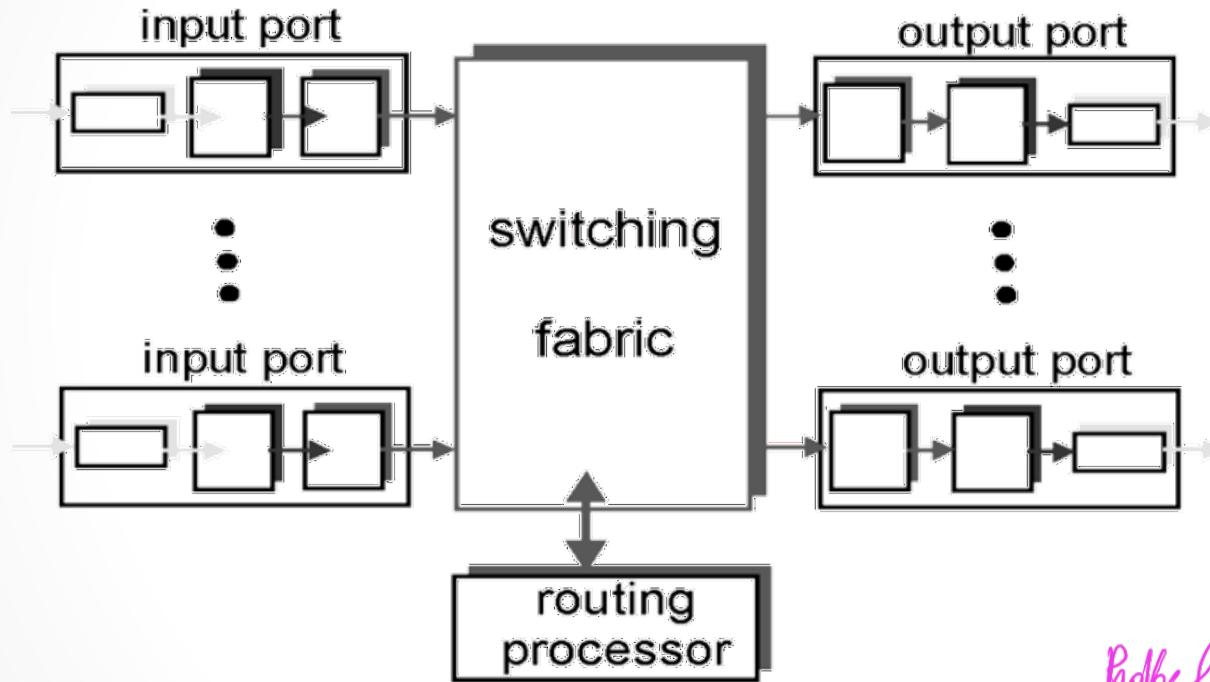
Faccio una sorta di ricerca per far uscire sulla porta corretta il datagramma (dove metto cosa)

Struttura router

Connette fisicamente le porte di ingresso a quelle di uscita. Sposta datagrammi dalla coda di input alla coda di output



Struttura router

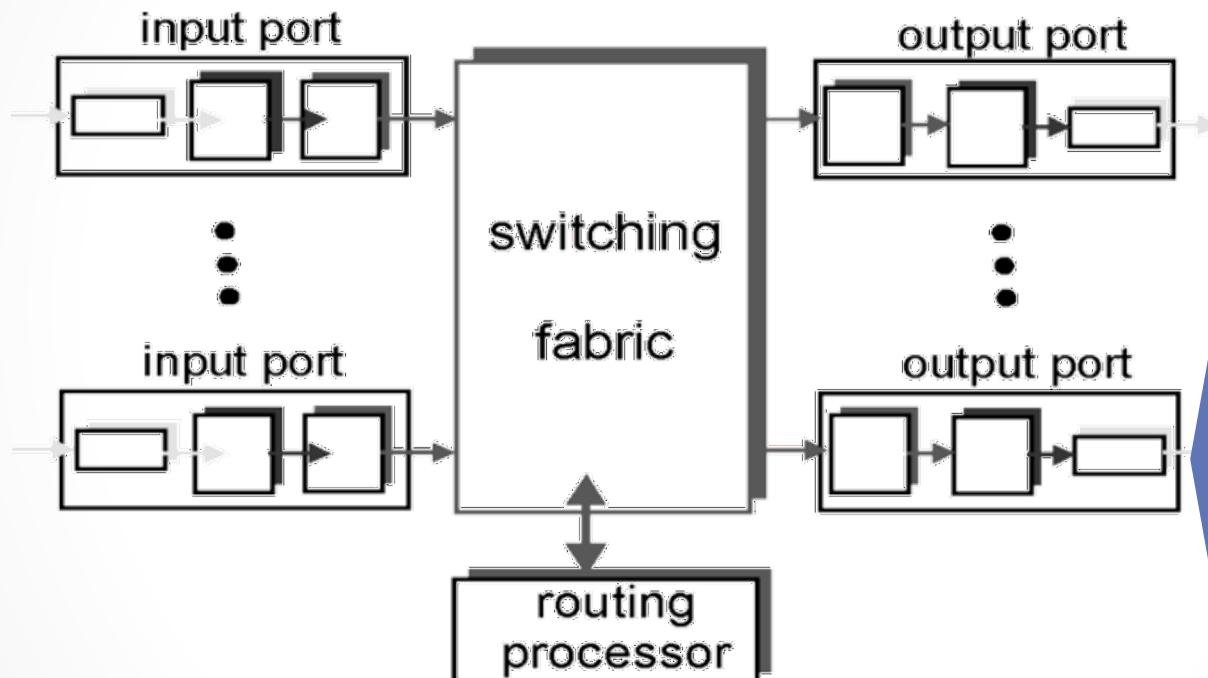


↗ Protocoli che gestiscono le tabelle.

Implementa funzionalità del livello di rete esegue le funzioni del piano di controllo. Nei router tradizionali esegue i protocolli di instradamento, gestisce le tabelle di inoltro e le informazioni sui collegamenti attivi ed elabora la tabelle di inoltro per il router.



Struttura router



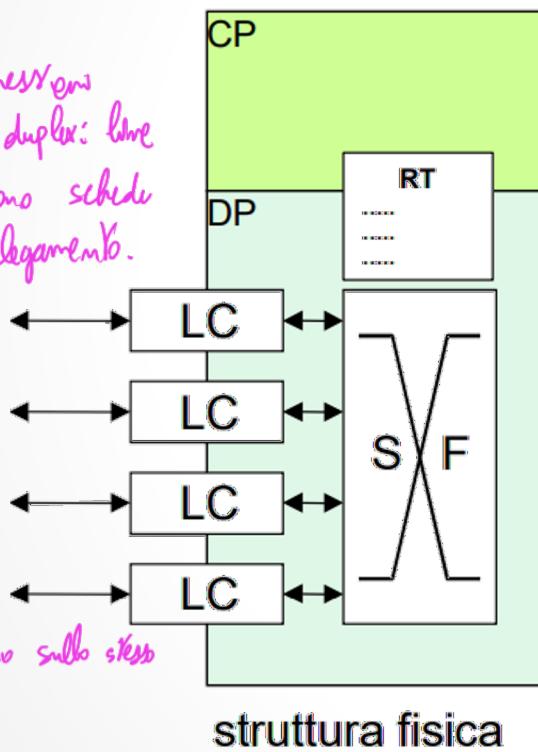
Accoda
datagrammi che
vengono
incapsulati in
frame e tradotti
in segnali da
trasmettere
attraverso il
livello fisico

Router Struttura interna

Nei collegamenti bidirezionali, che trasportano traffico in entrambe le direzioni, la porta di uscita verso un collegamento è accoppiata alla porta di ingresso di quel collegamento sulla stessa scheda di collegamento (line card)

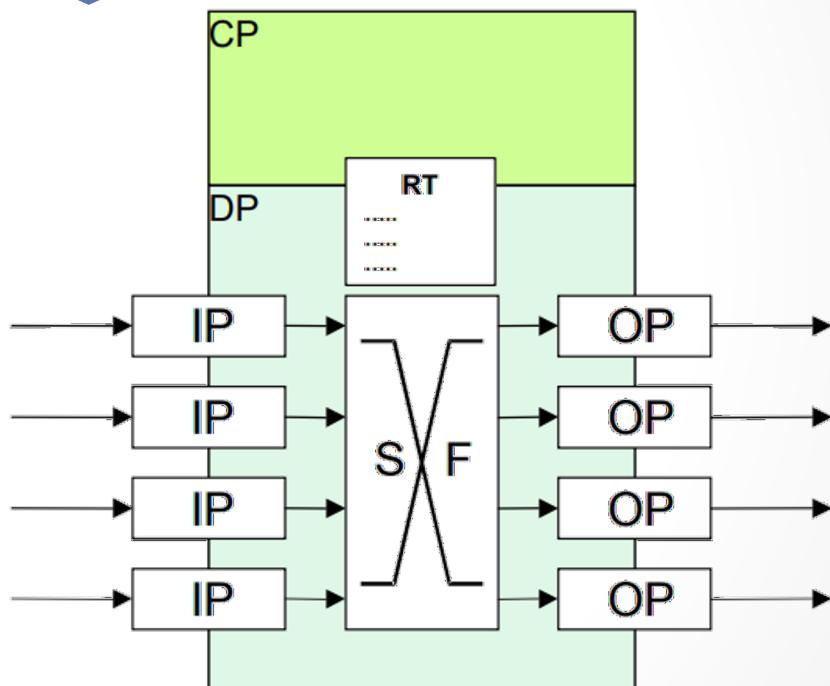
Connessioni
full duplex: tutte
le card sono schede
di collegamento.

Viaggiano sullo stesso
cavo



struttura fisica

CP: Control Plane
DP: Data Plane
RT: Routing Table



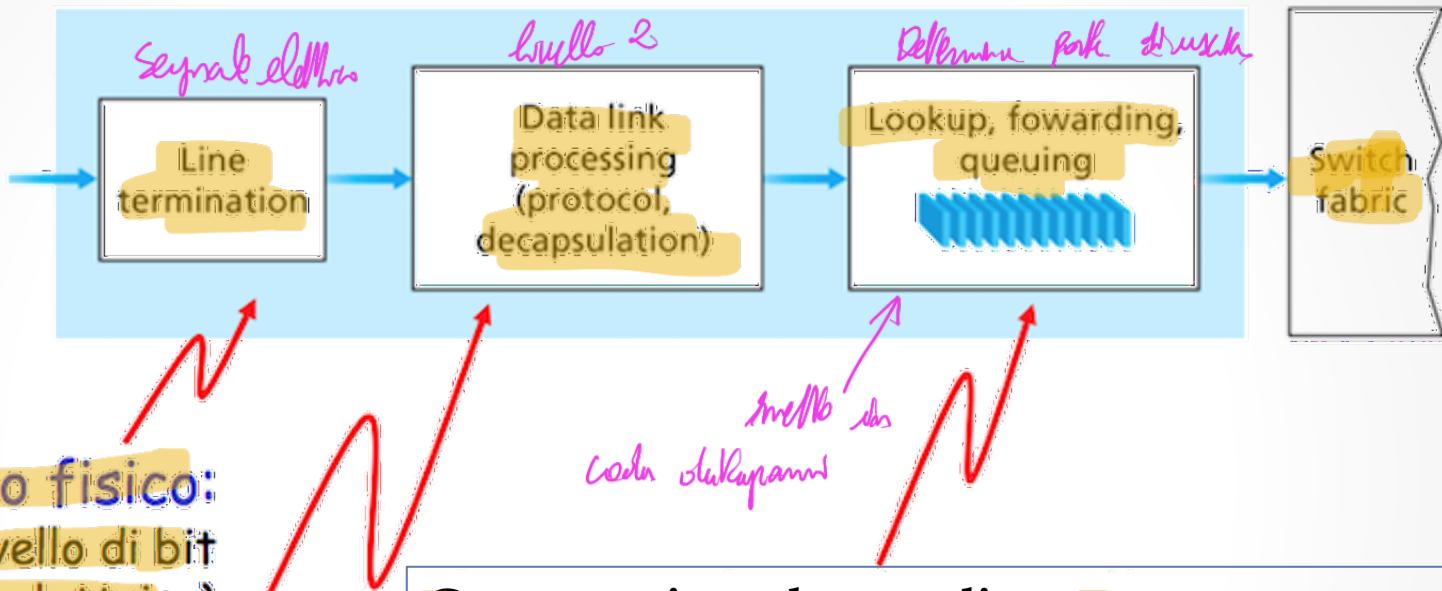
struttura logica

LC: Line Card
SF: Switching Fabric
IP: Input Processor
OP: Output Processor

Struttura router

- In un router porte di ingresso, di uscita e la struttura di commutazione sono implementate in hardware. Per capire perché basta pensare che con un collegamento in ingresso a 100Gbps e un datagramma IP di 64 byte la porta di ingresso ha solo 5 ns circa per elaborare il datagramma prima che il successivo possa arrivare... considerando N porte su una line card → impossibile via software!
- Le funzioni di controllo operano su tempi più rilassati (ms o s) pertanto le funzioni del piano di controllo sono implementate via software ed eseguite sul processore di instradamento

Porte di ingresso



Livello fisico:
ricezione a livello di bit
(terminazione elettrica)

Livello di collegamento:
Es. Ethernet

Commutazione decentralizzata:

Determina la porta d'uscita dei pacchetti utilizzando le informazioni della tabella d'inoltro (c'è una copia della tabella memorizzata nella porta di ingresso)

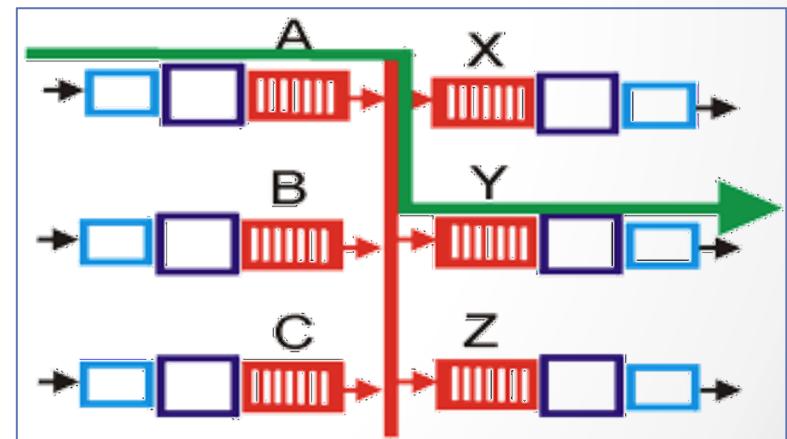
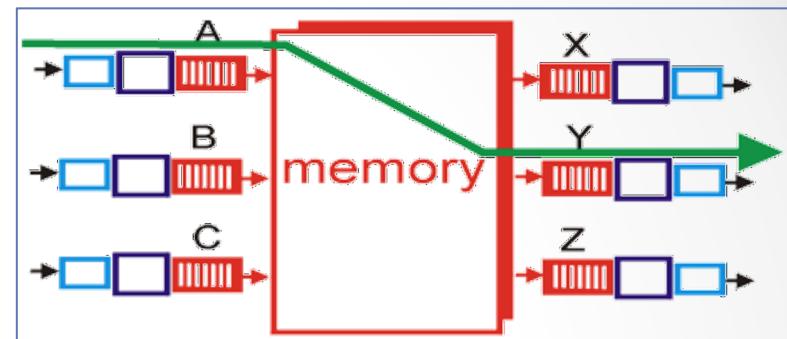
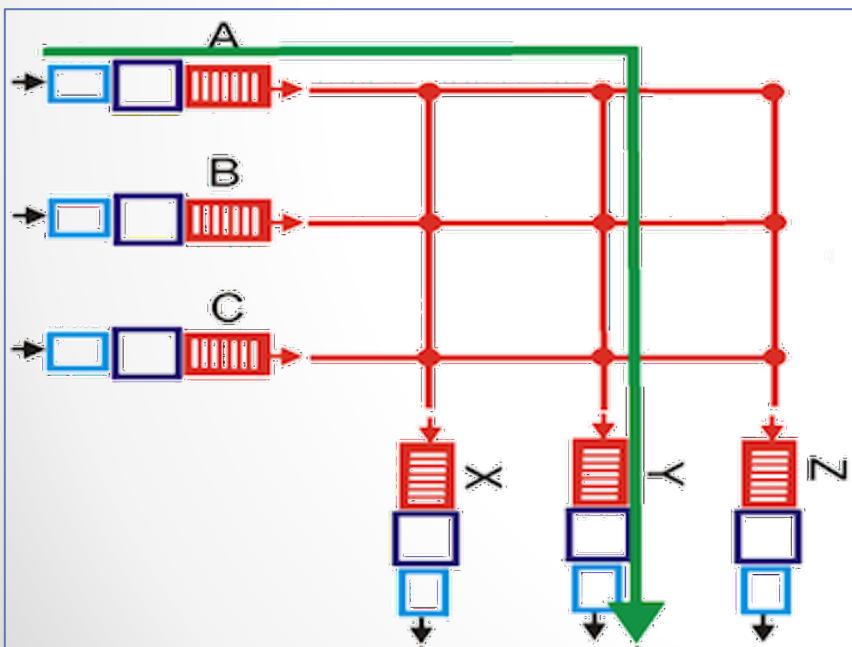
Obiettivo: completare l'elaborazione allo stesso tasso della linea (evitare colli di bottiglia)

Accodamento: se il tasso di arrivo dei datagrammi è superiore a quello di inoltro

Una volta determinata la porta di uscita il pacchetto verrà inoltrato alla struttura di commutazione

Tecniche di commutazione

- Memoria
- Bus
- Rete di interconnessione



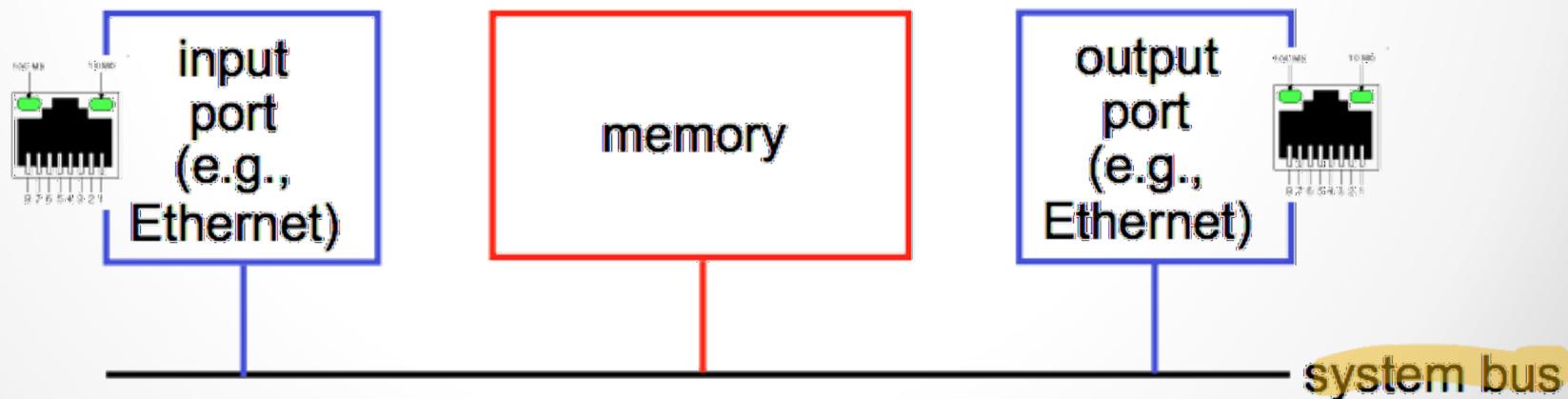
Commutazione in memoria

Prima generazione di router:

Erano tradizionali calcolatori e la commutazione era effettuata sotto il controllo diretto della CPU.

Il pacchetto veniva copiato nella memoria del processore.

I pacchetti venivano trasferiti dalle porte d'ingresso a quelle d'uscita



Usava un bus di sistema

Commutazione tramite Bus

Le porte d'ingresso trasferiscono un pacchetto direttamente alle porte d'uscita su un bus condiviso, senza intervento del processore di instradamento.

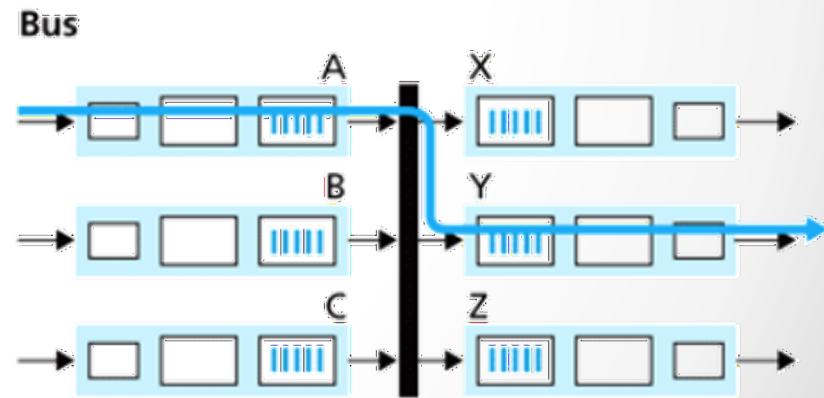
Si può trasferire un solo pacchetto alla volta

I pacchetti che arrivano e trovano il bus occupato vengono accodati alla porta di ingresso

Contesa per il bus: la larghezza di banda della commutazione è limitata da quella del bus.

Cisco 5600 opera con bus da 32 Gbps: è sufficiente per router che operano in reti d'accesso o in quelle aziendali

Porte SW che devono andare



Key:



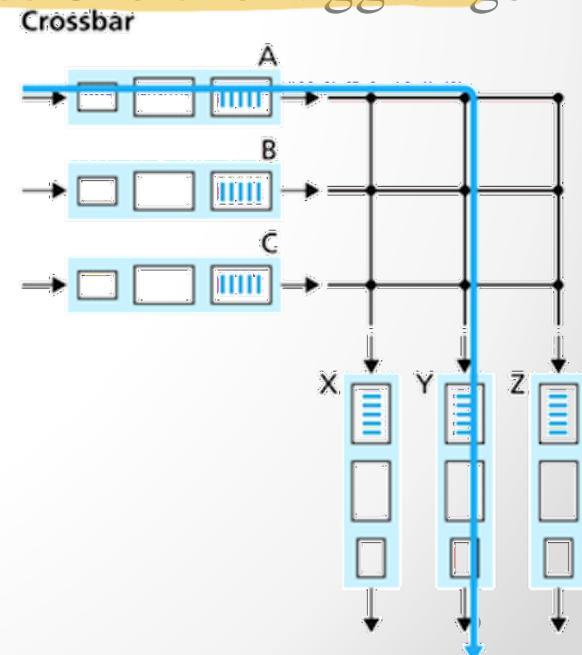
Commutazione tramite Rete di Interconnessione

Supera il limite di banda di un singolo bus condiviso.

Un crossbar switch è una rete d'interconnessione che consiste di $2n$ bus che collegano n porte d'ingresso a n porte d'uscita

Tendenza attuale: frammentazione dei pacchetti IP a lunghezza variabile in celle di lunghezza fissa (riassemblati nella porta di uscita).

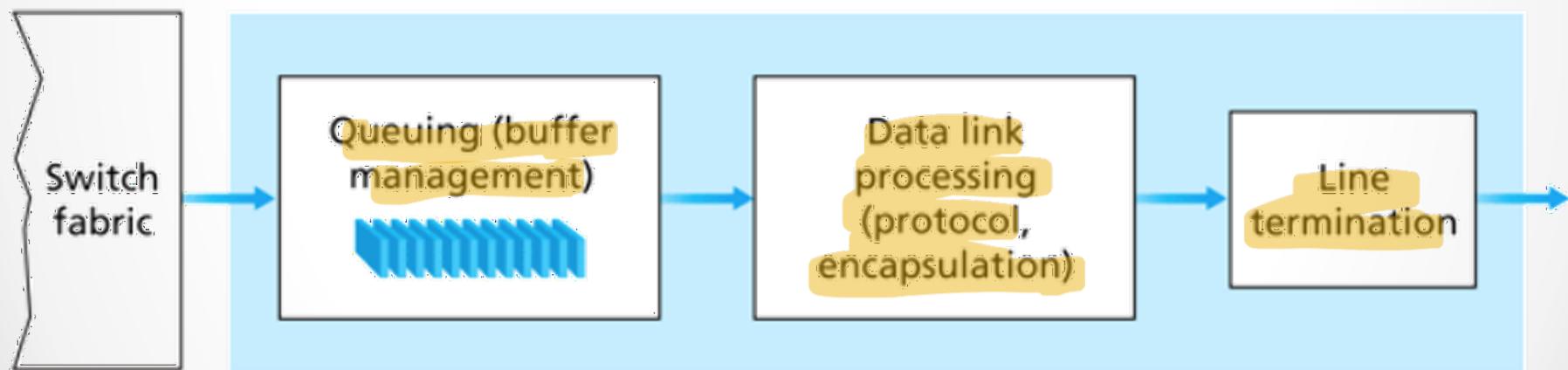
Switch Cisco 12000: usano una rete d'interconnessione che raggiunge i 60 Gbps nella struttura di commutazione.



Porte di Uscita

Funzionalità di accodamento: quando la struttura di commutazione consegna pacchetti alla porta d'uscita a una frequenza che supera quella del collegamento uscente.

Schedulatore di pacchetti: stabilisce in quale ordine trasmettere i pacchetti accodati.



Dove si verifica l'accodamento?

Sia nelle porte di ingresso che nelle porte di uscita

Velocità di commutazione: frequenza alla quale tale struttura può trasferire i pacchetti dalle porte di ingresso a quelle di uscita

Accodamento nelle porte di ingresso – quando la struttura di commutazione ha una velocità inferiore a quella delle porte di ingresso (per non avere accodamento la velocità di commutazione dovrebbe essere n*velocità della linea di ingresso)

Accodamento nelle porte di uscita

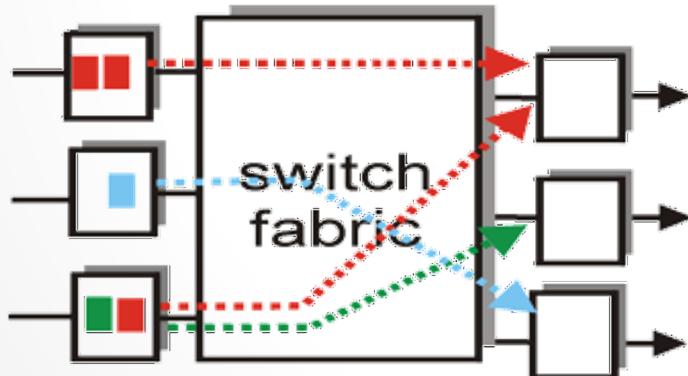
- Quando la struttura di commutazione ha un rate superiore alla porta di uscita
- Quando troppi pacchetti vanno sulla stessa porta di uscita

Accodamento su porte di ingresso

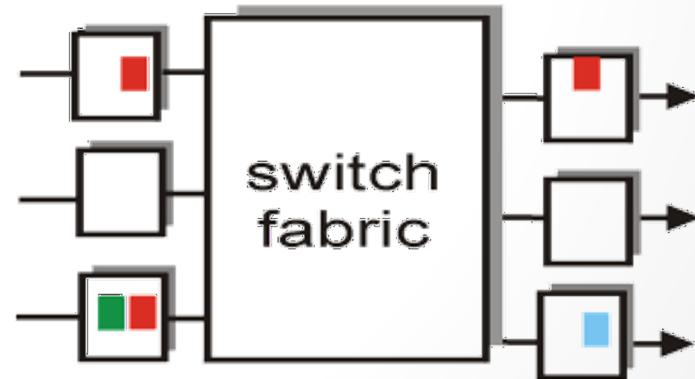
Oltre alla velocità inferiore della struttura di commutazione

Blocco in testa alla fila (HOL: head-of-the-line blocking): un pacchetto nella coda d'ingresso deve attendere il trasferimento (anche se la propria destinazione è libera) in quanto risulta bloccato da un altro pacchetto in testa alla fila.

Se le code diventano troppo lunghe, i buffer si possono saturare e quindi causare una perdita di pacchetti!



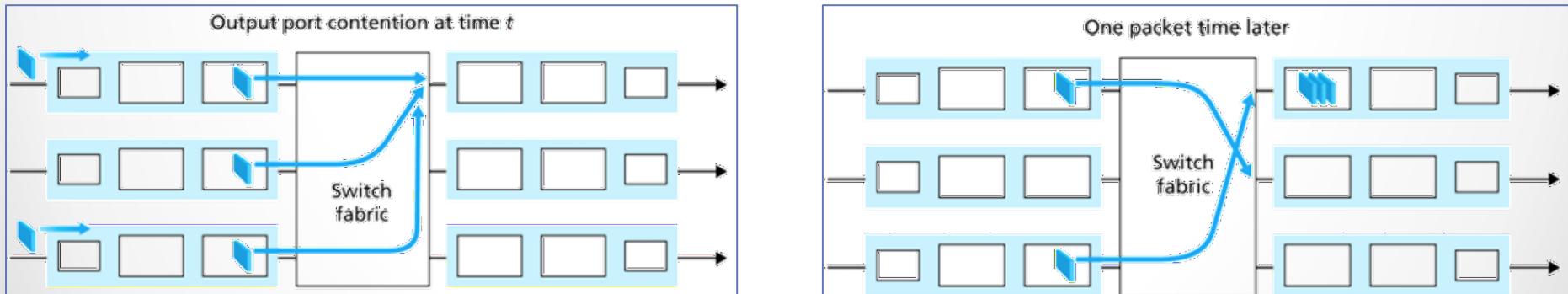
output port contention
at time t - only one red
packet can be transferred



green packet
experiences HOL blocking

Accodamento su porte di uscita

- Se la struttura di commutazione ha un rate superiore a quello della porta di uscita, si può verificare un accodamento.
- Se troppi pacchetti vanno sulla stessa uscita
- Se le code diventano troppo lunghe, i buffer si possono saturare e quindi causare una perdita di pacchetti!



Capacità buffer?

Per diversi anni si è seguita la regola definita in RFC 3439: la quantità di buffering dovrebbe essere uguale a una media del tempo di andata e ritorno (RTT ad esempio 250 msec) per la capacità del collegamento C

Es.: C = collegamento da 10 Gbps: buffer 2.5 Gbit

Attuali raccomandazioni dicono che la quantità di buffering necessaria per N flussi TCP è:

$$\frac{RTT \cdot C}{\sqrt{N}}$$

N connessioni TCP che arrivano sulla stessa porta.

Schedulazione Pacchetti

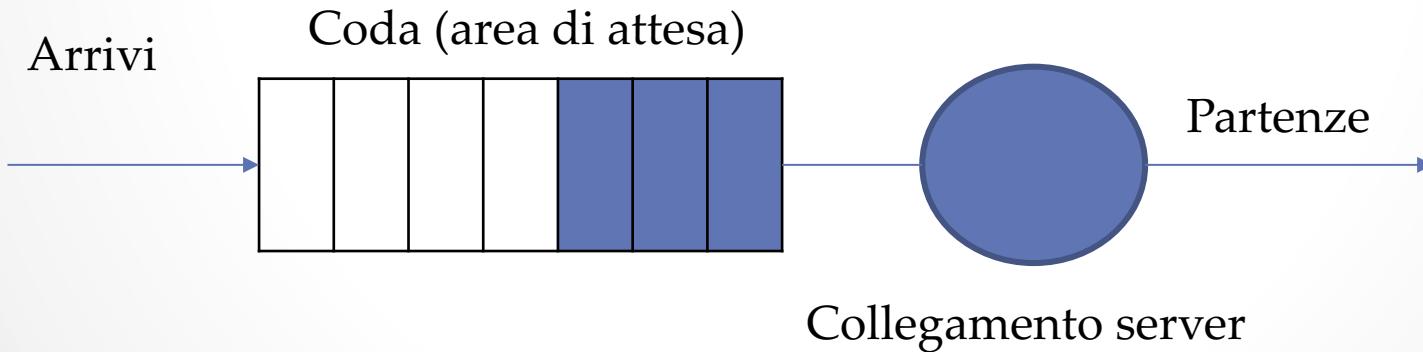
Come determinare l'ordine dei pacchetti trasmessi sulla porta di uscita? → Gestione code

- FIFO (First in first out) detta anche FCFS (first come first served)
- Code con priorità
- Round Robin
- Weighted Fair Queuing (WFQ)

FIFO (First in first out)

I pacchetti che arrivano alla coda di uscita del collegamento aspettano di essere trasmessi se quest'ultimo è occupato nella trasmissione di un altro pacchetto. Se non c'è sufficiente spazio nel buffer per il pacchetto che arriva, la politica di scarto determina se il pacchetto va eliminato o se bisogna rimuovere dei pacchetti dalla coda per far spazio. Da implementare.
Supponiamo venga scartato.

I pacchetti vengono trasmessi nello stesso ordine in cui sono arrivati



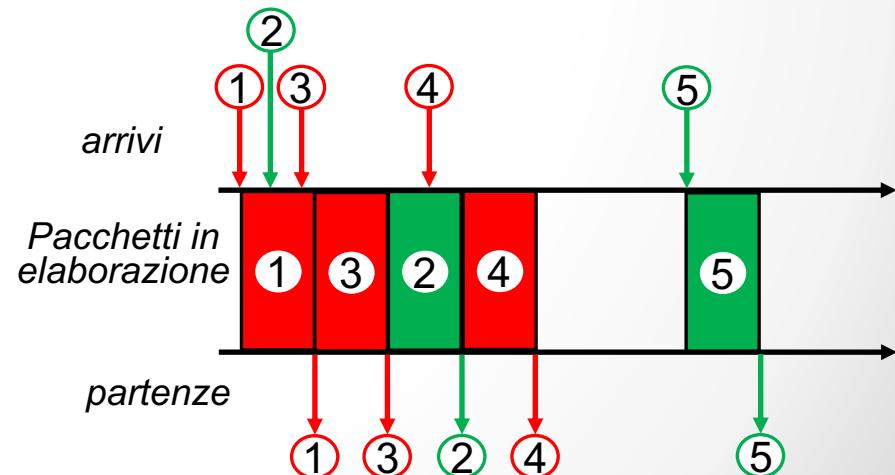
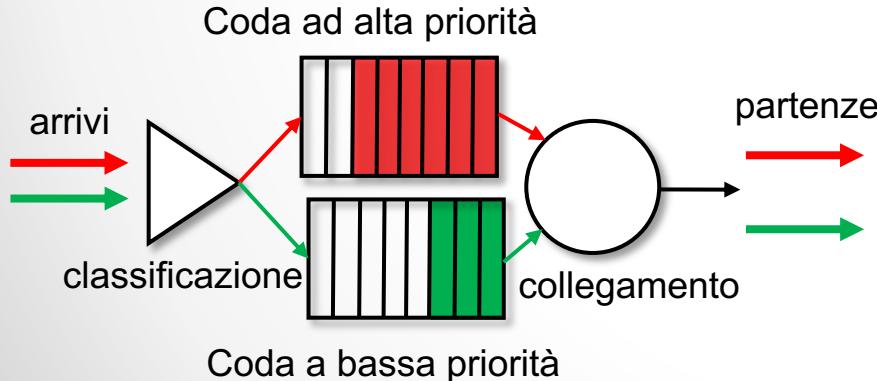
Code con Priorità

I pacchetti sono classificati in base a classi di priorità, ciascuna classe di priorità ha una propria coda.

I pacchetti non sono più trasmessi nell'ordine di arrivo, ma selezionando di volta in volta il pacchetto dalla coda non vuota con priorità più alta.

La scelta tra i pacchetti di una classe è in genere effettuata con logica FIFO

Nella modalità di accodamento a priorità senza prelazione la trasmissione dei pacchetti non può essere interrotta una volta iniziata



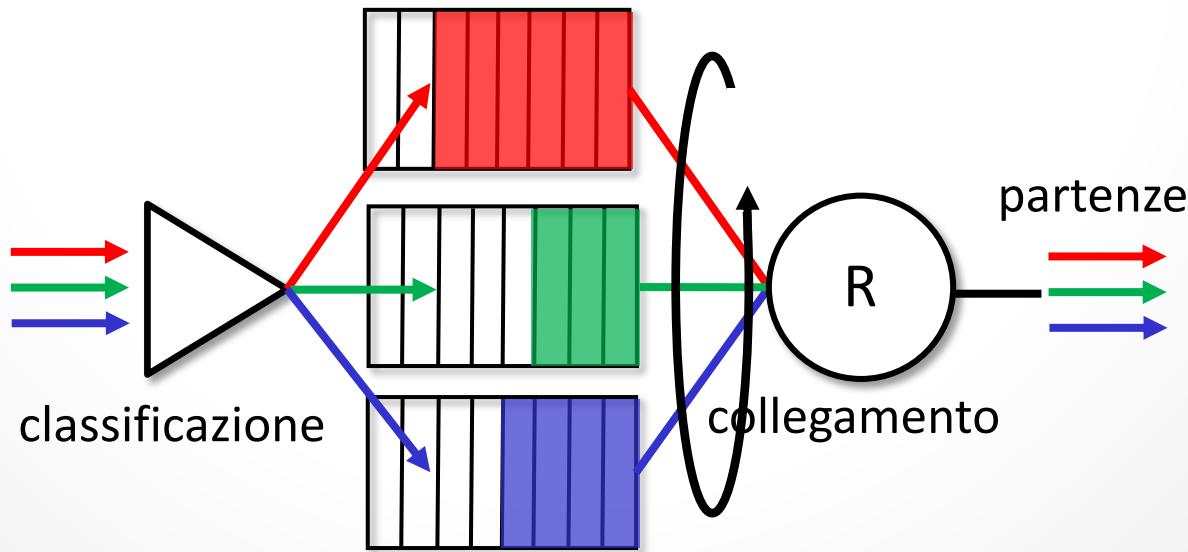
Shanty VS SMTP

Round Robin

Anche in questo caso i pacchetti sono classificati in base a classi, senza una rigida priorità di servizio, ma con un'alternanza tra le classi.

La forma più semplice di round robin prevede una alternanza tra le classi (prima un pacchetto di classe 1 poi uno di classe 2 e così via)

Nella modalità conservativa il collegamento non resta mai inattivo fintanto che ci sono pacchetti di qualsiasi classe da trasmettere; se la coda di una classe è vuota si controlla subito la successiva.



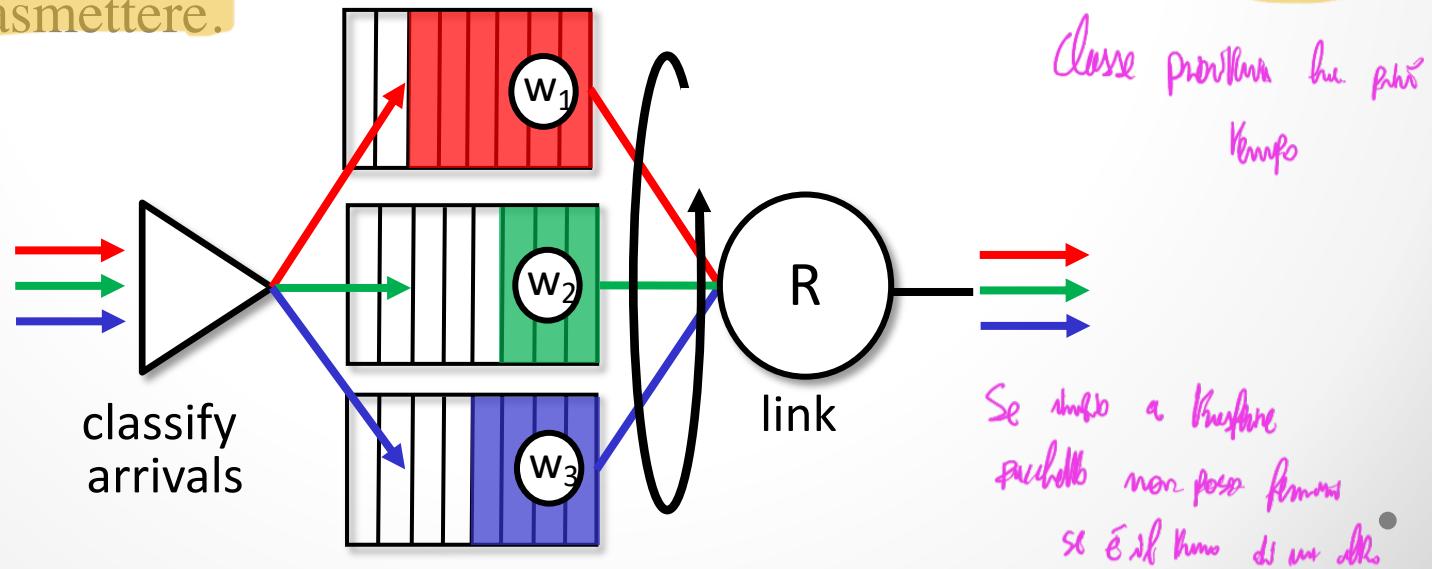
Weighted Fair Queuing

Un'astrazione generalizzata del round robin è la modalità di accodamento equo ponderato (WQF).

I pacchetti in arrivo sono classificati e accodati in base alla classe.

- Anche WQF offre un servizio di tipo ciclico.
- Anche WQF è conservativa.
- A differenza di round robin le varie classi possono ricevere un servizio differenziato. In particolare, a ciascuna classe i è assegnato un peso w_i .

In qualsiasi momento in cui nella coda ci siano presenti pacchetti da spedire WQF garantisce che questi ricevano una frazione di servizio pari a $w_i / \sum w_j$, dove al denominatore c'è la somma effettuata su tutte le classi che hanno pacchetti da trasmettere.



Routing

Un router esplica la funzione di forwarding dei pacchetti consultando, per ogni pacchetto processato, la tabella di routing. La costruzione della tabella di routing è un compito che può essere svolto in 2 modi:

- **routing statico**: l'amministratore di rete, conoscendo la topologia della rete, determina i percorsi tra qualunque coppia sorgente-destinazione e conseguentemente configura ciascun router con le opportune regole di inoltro.
- **routing dinamico**: in ciascun router, nel control plane, opera un programma il quale, mediante lo scambio di informazioni con i router vicini, determina (attraverso un algoritmo) i percorsi verso qualunque destinazione e conseguentemente crea nella tabella di routing le regole corrispondenti.

Lo scambio di informazioni tra i router necessario all'esecuzione dell'algoritmo di routing è regolato da appositi protocolli di comunicazione: i **protocolli di routing**.