

Fondamenti di **TELECOMUNICAZIONI**

Prof. Marco Mezzavilla

Lezione 14 – Livello di Rete 2

INDICE

14. LIVELLO DI RETE 2

1. Strato di rete

2. Indirizzo IP

3. Inoltro dei pacchetti IP (forwarding)

4. Instradamento in rete (routing)

Parte I (settimana scorsa)

Parte II (oggi)

INOLTRO DEI PACCHETTI IP

01

Inoltro dei pacchetti

- ❑ IP è una tecnica di **internetworking**

- ❑ Nel trasferimento di pacchetti tra due host si serve della capacità di inoltro delle reti (locali) attraversate

- ❑ **Inoltro diretto:**

- ❑ quando la destinazione è nella stessa rete IP

- ❑ **Inoltro indiretto:**

- ❑ quando la destinazione non è nella stessa rete IP

- ❑ I pacchetti trasmessi nelle reti locali attraversate vengono:

- ❑ Incapsulati in trame di livello 2
 - ❑ Si basano sugli indirizzi di livello 2 (indirizzi MAC) dei dispositivi
 - ❑ *N.B. Vedremo il livello 2 nella prossima unità..*

Inoltro diretto negli host

- Rete locale coincidente con rete IP

IP-B: 193.17.31.55

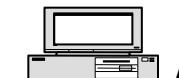
MAC-B: 05:98:76:6c:4a:7b



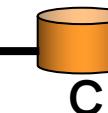
B

IP-A:193.17.31.45

MAC-A: 00:9f:7a:89:90:7a



A



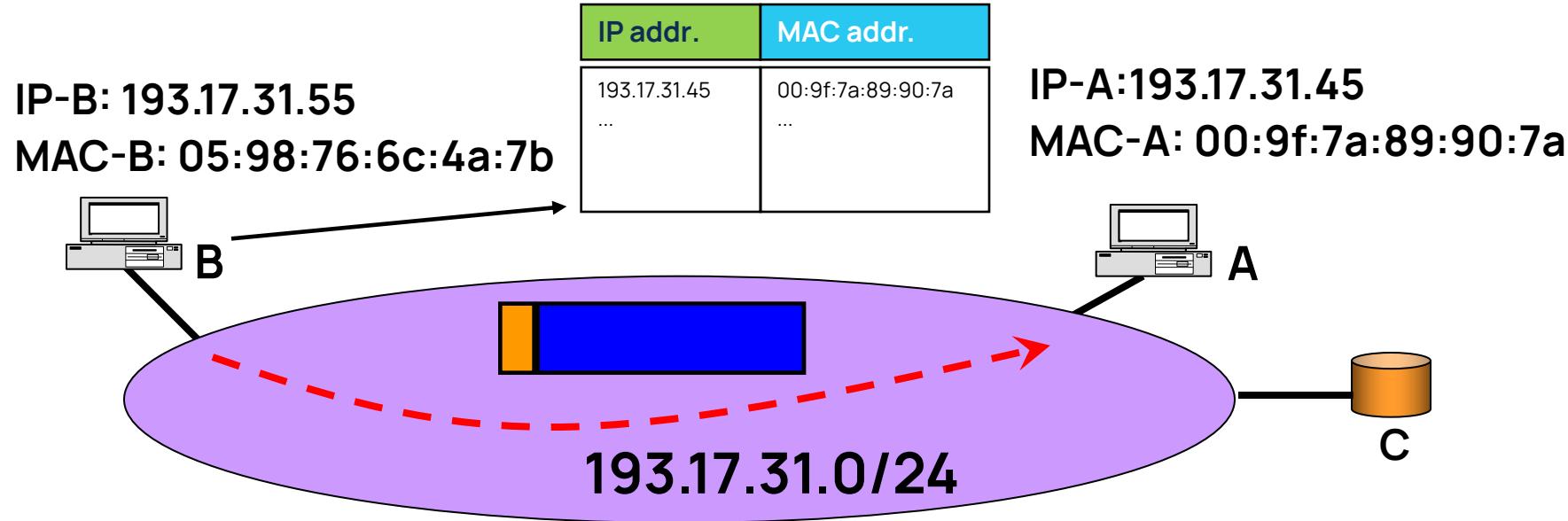
C

193.17.31.0/24

1. L'entità IP di B deve spedire un pacchetto all'indirizzo IP-A

2. B conosce l'indirizzo IP-B della propria interfaccia e dal confronto con IP-A capisce che A si trova nella stessa rete (per fare questo ovviamente serve conoscere la netmask, in questo caso /24)

Inoltro diretto negli host



3. B consulta una tabella di corrispondenza tra indirizzi IP e indirizzi della rete (indirizzi MAC nel caso di rete locale) per reperire l'indirizzo MAC-A

4. L'entità IP di B passa il pacchetto al livello inferiore che crea un pacchetto con destinazione MAC-A

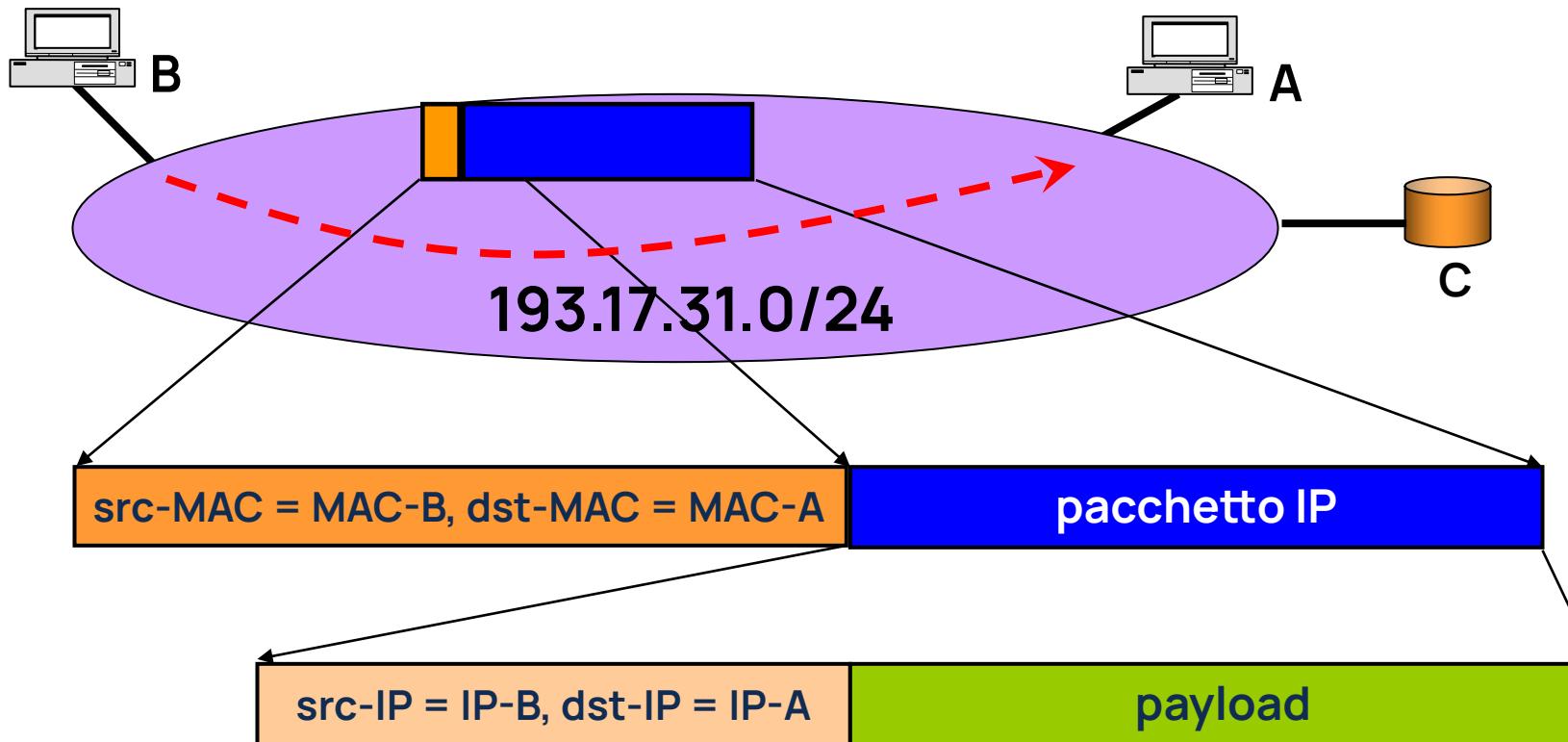
Inoltro diretto negli host

IP-B: 193.17.31.55

MAC-B: 05:98:76:6c:4a:7b

IP-A: 193.17.31.45

MAC-A: 00:9f:7a:89:90:7a



Inoltro indiretto negli host

IP-B: 193.17.31.55

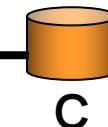
MAC-B: 05:98:76:6c:4a:7b



193.17.31.0/24

IP-C: 193.17.31.254

MAC-C: 99:8b:6f:ac:58:7f

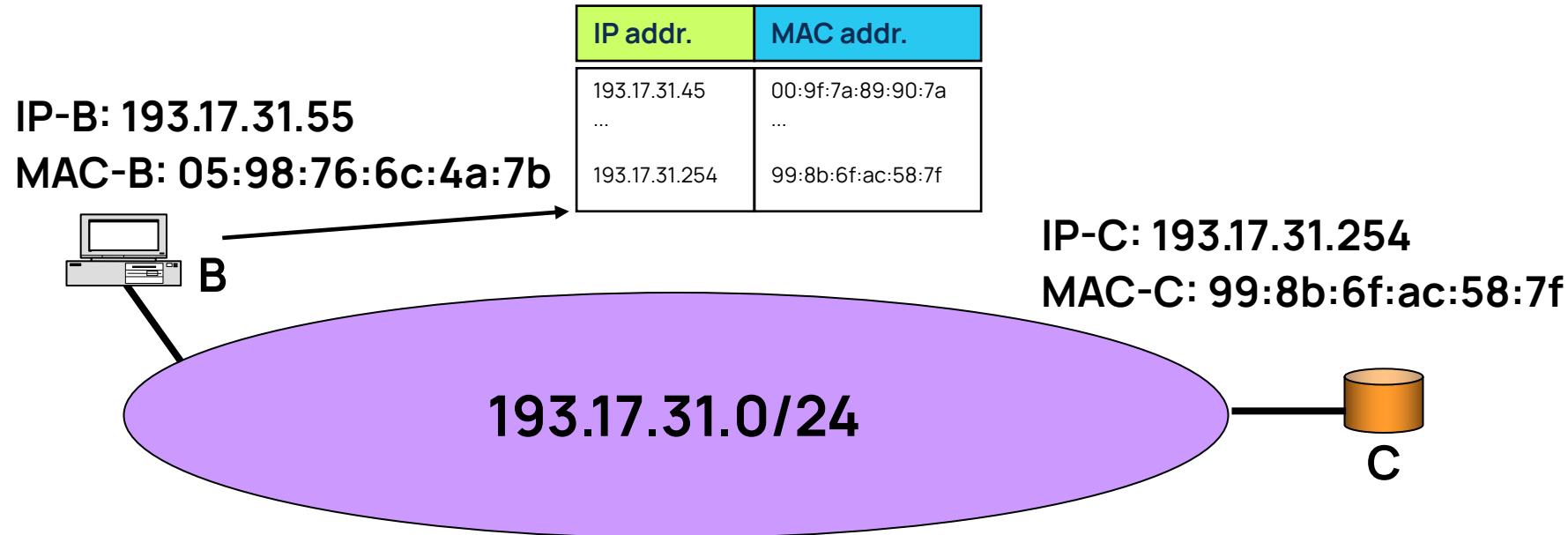


1. L'entità IP di B deve spedire un pacchetto all'indirizzo

IP-D=131.17.23.4

2. B conosce l'indirizzo IP-B della propria interfaccia e dal confronto con IP-D capisce che D NON si trova nella stessa rete

Inoltro indiretto negli host



3. B deve dunque inoltrare il pacchetto ad un router (di solito è configurato un solo default router, in questo caso 193.17.31.254)

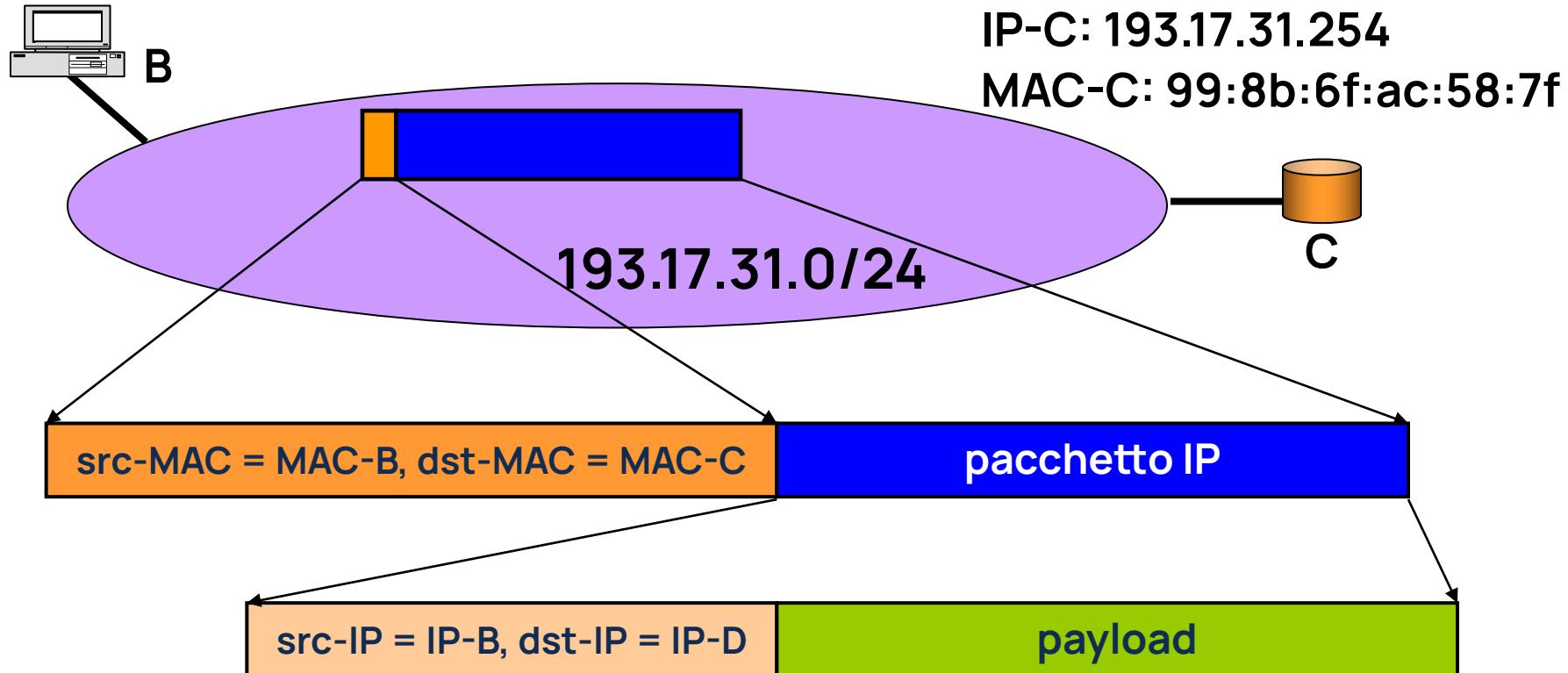
4. B recupera l'indirizzo MAC del router nella tabella di corrispondenza e passa il pacchetto al livello inferiore

Inoltro indiretto negli host

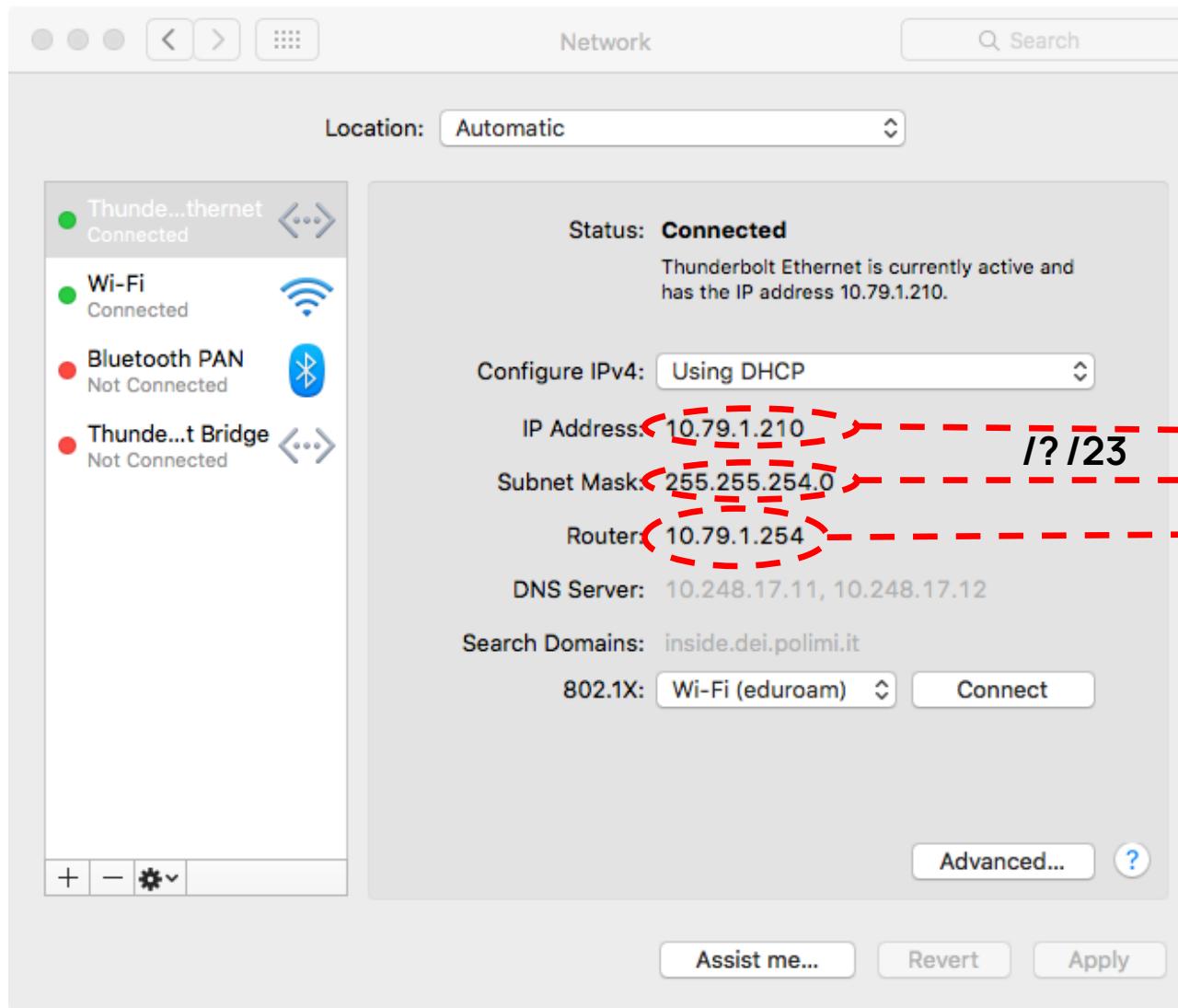
5. il pacchetto viene costruito e spedito sull'interfaccia

IP-B: 193.17.31.55

MAC-B: 05:98:76:6c:4a:7b



Configurazione degli host



10 79 1 210
00001010.01001111.00000001.11010010
11111111.11111111.11111110.00000000
router di default

Inoltro nei router

- Router: dispositivi di internetworking con interfacce di uscita multiple.
- Anche i router seguono le tecniche di inoltro diretto ed indiretto ma:
 - **Inoltro diretto:** hanno di solito più di una interfaccia dove poter effettuare l'inoltro diretto
 - **Inoltro indiretto:** si basa su tabelle di routing dove è definita la "rotta" di instradamento
- Caratteristiche dell'inoltro:
 - **DESTINATION BASED:** L'inoltro IP è basato sul solo indirizzo di destinazione, indipendentemente dalla provenienza
 - **NEXT HOP ROUTING:** Nelle tabelle di routing per ogni rete di destinazione è indicato solo il prossimo router (next-hop) nel percorso verso la destinazione

Inoltro nei router

- L'inoltro avviene da router a router attraverso le reti IP
- I router inoltrano i pacchetti basandosi esclusivamente sulla parte di NetID dell'indirizzo di destinazione
- Tutti gli host che appartengono alla rete di destinazione sono identificati nelle tabelle di routing da una singola entry (il prefisso di rete) → **Address Aggregation**

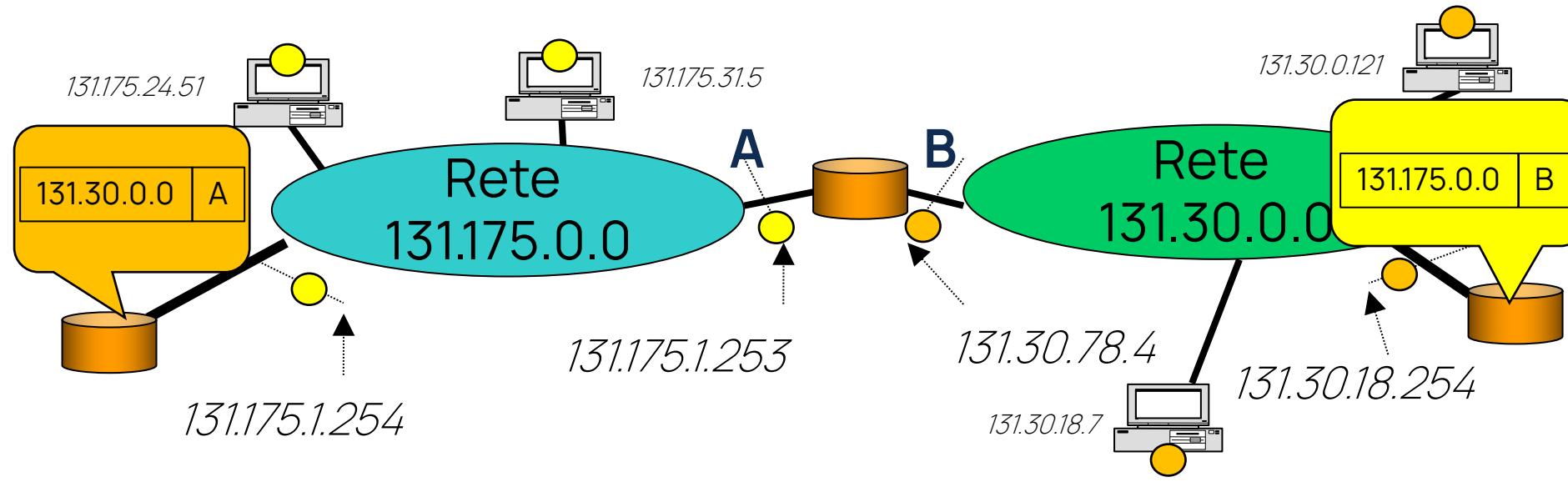


Tabella di routing (routing table)

Destination prefix	Next-hop	Output interface
24.40.32/20	192.41.177.148	2
130.86/16	191.41.177.181	6
208.12.16/20	192.41.177.241	4
208.12.21/24	192.41.177.196	1
167.24.103/24	192.41.177.148	2



Netmask

Tutti gli indirizzi nell'intervallo:
167.24.103.0 – 167.24.103.255

Inoltro diretto e indiretto con le netmask

- Per inoltrare un pacchetto occorre capire se appartiene alla sottorete di una delle interfacce
- Per effettuare la verifica si fa un AND bit a bit tra indirizzo dell'interfaccia e netmask e tra indirizzo di destinazione e netmask
- Se i due risultati coincidono allora la sottorete è la stessa e si procede all'inoltro diretto

destinazione: (131.175.21.77) AND (255.255.255.0) = 131.175.21.0

Nota: gli indirizzi a bordo dei PACCHETTI non hanno MAI NETMASK.

**confronto
positivo**

interfaccia: (131.175.21.96) AND (255.255.255.0) = 131.175.21.0

Esempio di calcolo: Bitwise AND

destinazione: (131.175.21.77) AND (255.255.255.0) = 131.175.21.0

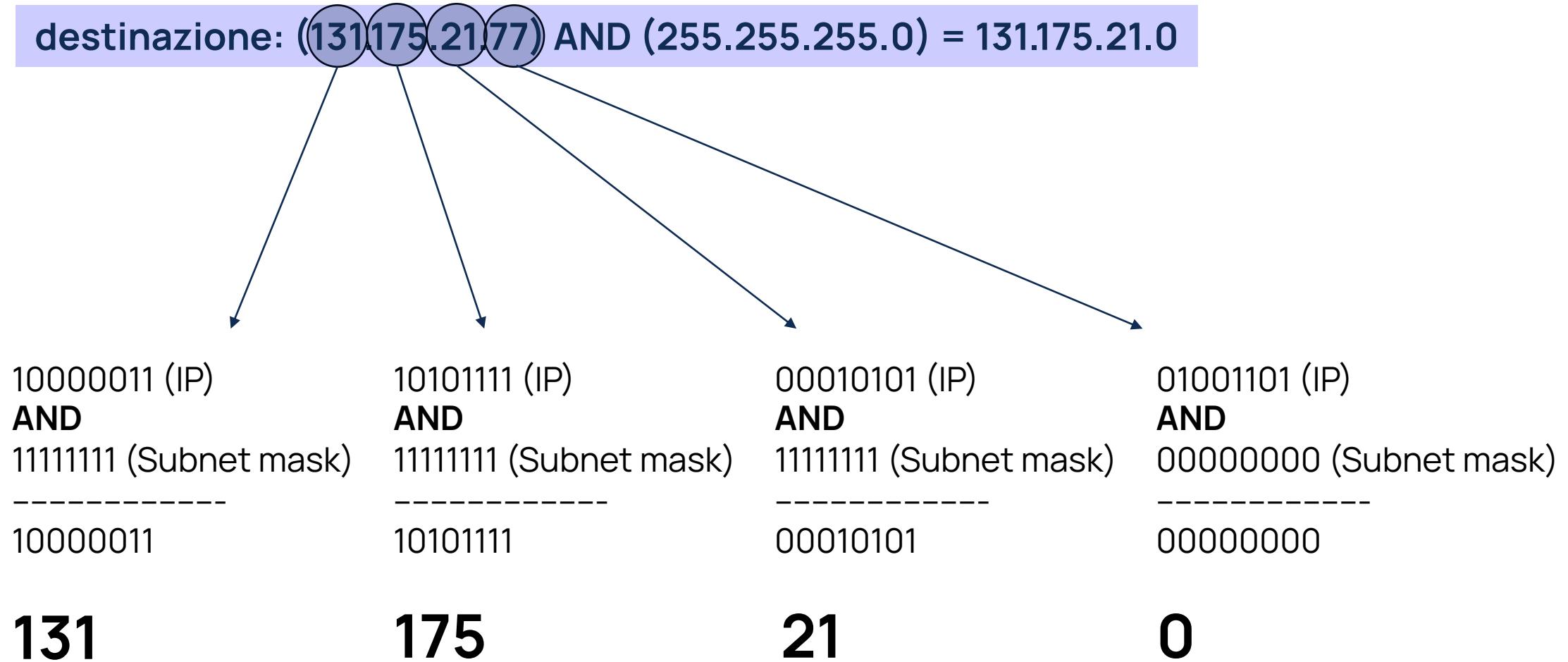


Tabelle di routing con le netmask

- ❑ Se i confronti con le interfacce sono negativi occorre procedere ad un inoltro indiretto
- ❑ Occorre analizzare la tabella di routing del router
- ❑ Il confronto riga per riga si effettua allo stesso modo (AND bit a bit) usando la netmask relativa a ciascuna riga
- ❑ Se il confronto dà esito positivo per più righe della tabella viene selezionata la tabella con la netmask che ha il maggior numero di 1 (si dice comunemente che vale il principio del prefisso più lungo o *longest prefix matching*).
 - ❑ Prefisso più lungo equivale a rotta più “specificata”

Tabelle di routing con le netmask

network	netmask	first hop
131.175.21.0	255.255.255.0	131.17.123.254
131.175.16.0	255.255.255.0	131.17.78.254
131.56.0.0	255.255.0.0	131.17.15.254
131.155.0.0	255.255.0.0	131.17.15.254
0.0.0.0	0.0.0.0	131.17.123.254

interface eth0

IP address	131.17.123.1
netmask	255.255.255.0

interface eth1

IP address	131.17.78.1
netmask	255.255.255.0

interface eth2

IP address	131.17.15.12
netmask	255.255.255.0

default router:

il confronto dà sempre esito positivo ma la netmask è lunga 0 bit

Tabelle di routing: esempio 1

network	netmask	first hop
131.175.15.0	255.255.255.0	131.175.21.1
131.175.16.0	255.255.255.0	131.175.21.2
131.175.17.0	255.255.255.0	131.175.21.3
131.180.23.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.18.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.21.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.0.0	255.255.0.0	131.175.21.5
0.0.0.0	0.0.0.0	131.175.12.254

interfaccia 1: 131.175.21.254, 255.255.255.0
interfaccia 2: 131.175.12.253, 255.255.255.0

131.175.21.86

PRIMO PASSO:
controllare se il
destinatario appartiene
alla stessa rete (last hop)
a cui si affaccia
direttamente il router



Tabelle di routing: esempio 1

network	netmask	first hop
131.175.15.0	255.255.255.0	131.175.21.1
131.175.16.0	255.255.255.0	131.175.21.2
131.175.17.0	255.255.255.0	131.175.21.3
131.180.23.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.18.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.21.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.0.0	255.255.0.0	131.175.21.5
0.0.0.0	0.0.0.0	131.175.12.254

131.175.21.86

inoltro diretto:
destinatario appartiene a
stessa sottorete IP con
NetID 131.175.21.0

interfaccia 1: 131.175.21.254, 255.255.255.0
interfaccia 2: 131.175.12.253, 255.255.255.0

Tabelle di routing: esempio 2

network	netmask	first hop
131.175.15.0	255.255.255.0	131.175.21.1
131.175.16.0	255.255.255.0	131.175.21.2
131.175.17.0	255.255.255.0	131.175.21.3
131.180.23.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.18.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.21.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.0.0	255.255.0.0	131.175.21.5
0.0.0.0	0.0.0.0	131.175.12.254

X

OK

X

X

X

X

X

OK

longest prefix matching

131.175.16.65

interfaccia 1: 131.175.21.254, 255.255.255.0 X ←
 interfaccia 2: 131.175.12.253, 255.255.255.0 X ←

Tabelle di routing: esempio 3

network	netmask	first hop
131.175.15.0	255.255.255.0	131.175.21.1
131.175.16.0	255.255.255.0	131.175.21.2
131.175.17.0	255.255.255.0	131.175.21.3
131.180.23.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.18.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.21.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.0.0	255.255.0.0	131.175.21.5
0.0.0.0	0.0.0.0	131.175.12.254

X

X

X

X

X

OK

OK

OK

131.180.21.78

3 riscontri positivi.
Si sceglie quello con la
NetMask più lunga.

interfaccia 1: 131.175.21.254, 255.255.255.0 X ←
 interfaccia 2: 131.175.12.253, 255.255.255.0 X ←

Tabelle di routing: esempio 4

network	netmask	first hop
131.175.15.0	255.255.255.0	131.175.21.1
131.175.16.0	255.255.255.0	131.175.21.2
131.175.17.0	255.255.255.0	131.175.21.3
131.180.23.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.18.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.21.0	255.255.255.0	131.175.21.4
131.180.0.0	255.255.0.0	131.175.21.5
0.0.0.0	0.0.0.0	131.175.12.254

X

X

X

X

X

X

X

200.45.21.84

OK ← scappatoia, che fornisce sempre un riscontro positivo

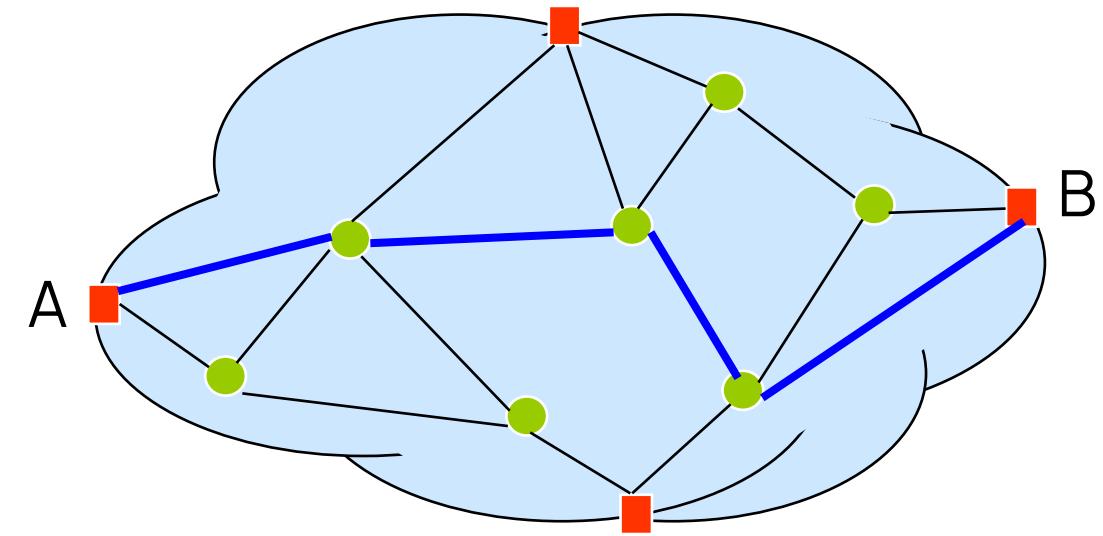
interfaccia 1: 131.175.21.254, 255.255.255.0 X
 interfaccia 2: 131.175.12.253, 255.255.255.0 X

INSTRADAMENTO

02

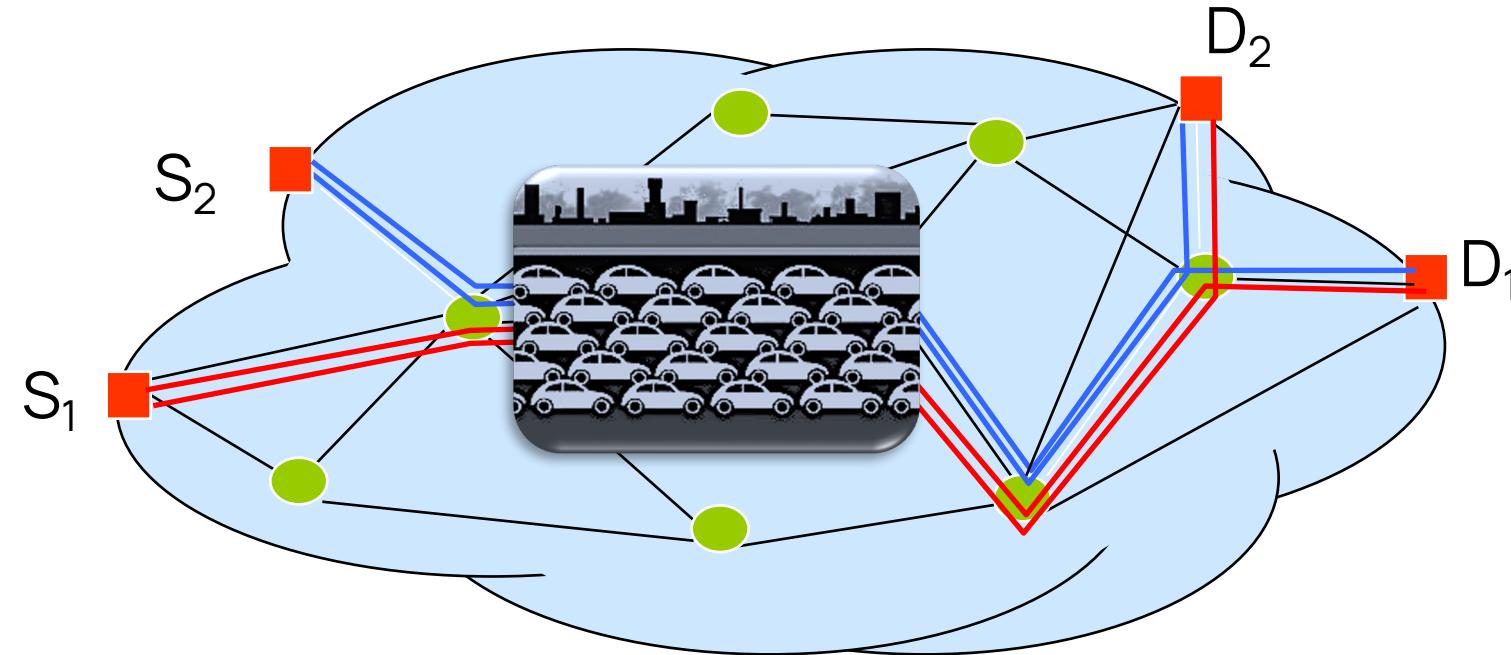
Instradamento (routing)

- ❑ L'**instradamento** (o routing) è alla base della funzionalità di rete implementata dalle entità di livello 3 (OSI) dei nodi
 - ❑ Consente a due nodi A e B, non collegati direttamente, di comunicare tra loro mediante la collaborazione di altri nodi
- ❑ La **politica di routing** (o algoritmo di routing) è quella che definisce i criteri di scelta del cammino nella rete per i pacchetti che viaggiano tra un nodo di ingresso ed uno di uscita
 - ❑ Permette la costruzione delle *tabelle di routing* (viste nel capitolo precedente)



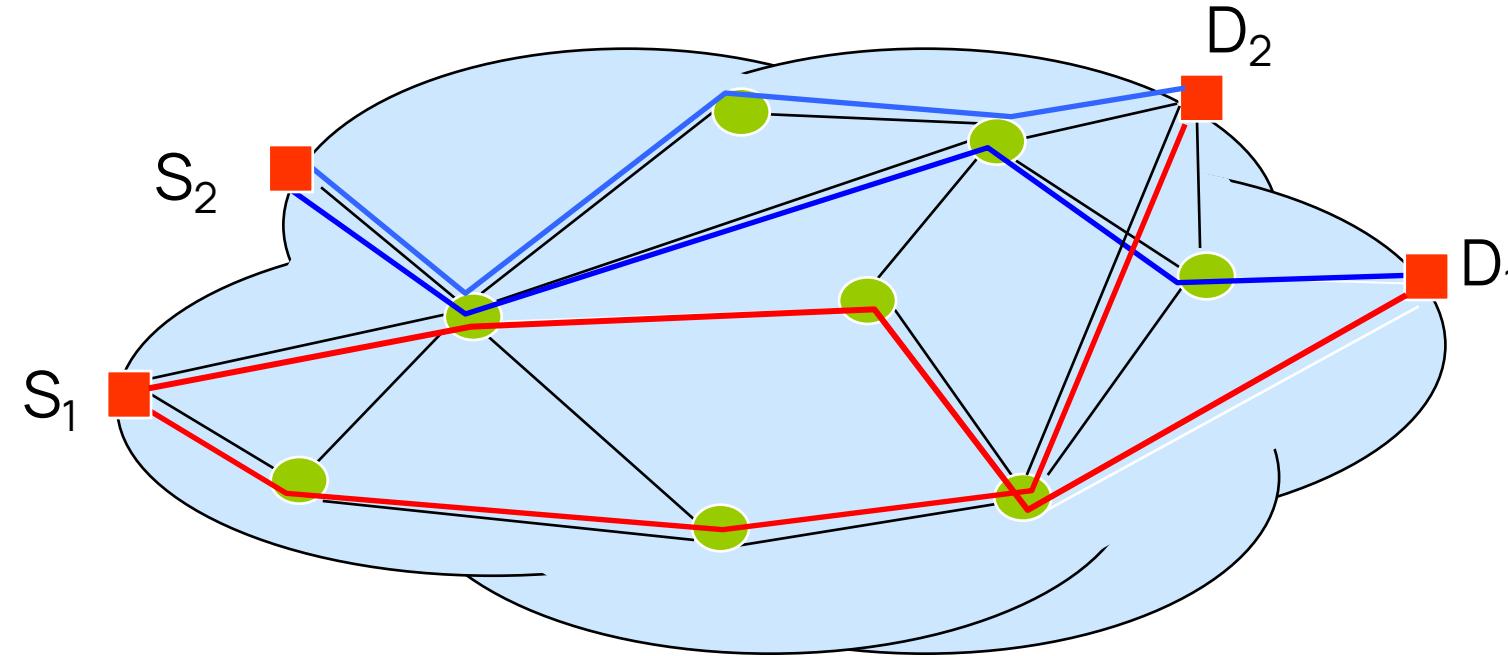
Routing e capacità: esempio 1

- Ad esempio:
 - Se il traffico viene fatto passare da pochi cammini nella rete il traffico massimo sarà basso



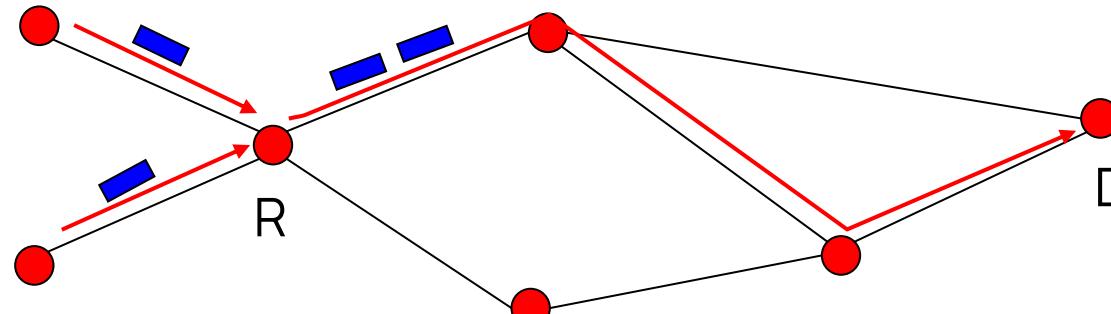
Routing e capacità: esempio 2

- Se invece si usano molti cammini ripartendo il carico il massimo traffico sarà più elevato



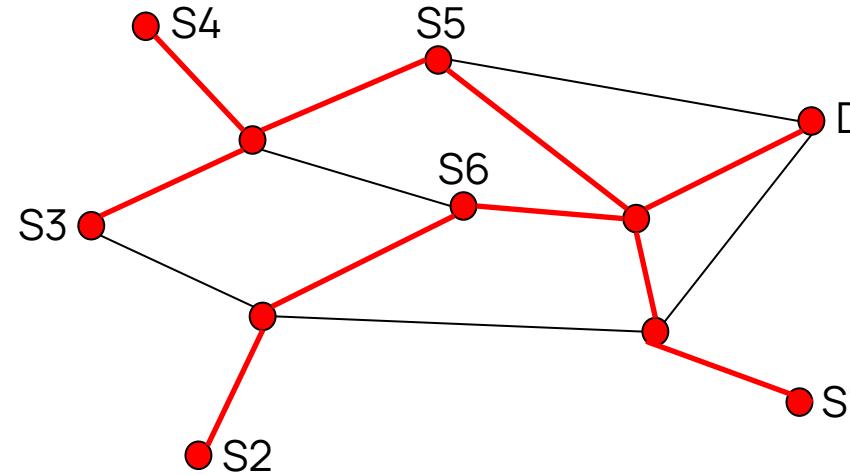
Politiche di routing per Internet

- ❑ Il tipo di inoltro (forwarding) utilizzato dalle reti IP condiziona la scelta delle politiche di routing
- ❑ Ricordiamo che il forwarding IP è
 - ❑ Basato sull'indirizzo di destinazione (**destination-based**)
 - ❑ Con inoltro al nodo successivo (**next-hop routing**)
- ❑ Come conseguenza:
 - ❑ I pacchetti diretti ad una *stessa destinazione D* che giungono in un router R seguono lo *stesso percorso* da R verso D indipendentemente dal link di ingresso in R



Politiche di routing per Internet

- Quindi il vincolo che ogni politica di routing deve soddisfare è che
- l'insieme dei cammini da ogni sorgente verso una destinazione D sia un albero, per ogni possibile destinazione D



- Non è dunque possibile instradare in modo indipendente ogni relazione di traffico (coppia sorgente-destinazione)

Algoritmi di instradamento

- Requisiti di un algoritmo di instradamento
 - Semplicità
 - Robustezza
 - Stabilità
 - Ottimalità
- Localizzazione della decisione di instradamento
 - Algoritmi **centralizzati**: un unico centro di controllo prende tutte le decisioni
 - Algoritmi **distribuiti**: tutti i nodi cooperano per determinare il migliore instradamento in ogni nodo
 - Algoritmi **isolati**: il nodo sorgente prende le proprie decisioni eventualmente anche in base a informazioni chieste ad altri nodi



Algoritmi di instradamento con tabella

- ❑ Algoritmo di instradamento a distanza minima secondo un'opportuna metrica
- ❑ Richiede la definizione di una metrica
 - ❑ Numero di salti
 - ❑ Capacità dei link
 - ❑ Ritardo medio
 - ❑ Numero totale di pacchetti in coda
 - ❑ ecc.
- ❑ Definisce la tabella di instradamento che indica per ogni destinazione di rete il nodo successivo verso cui instradare il pacchetto

Instradamento fisso (tipicamente centralizzato)

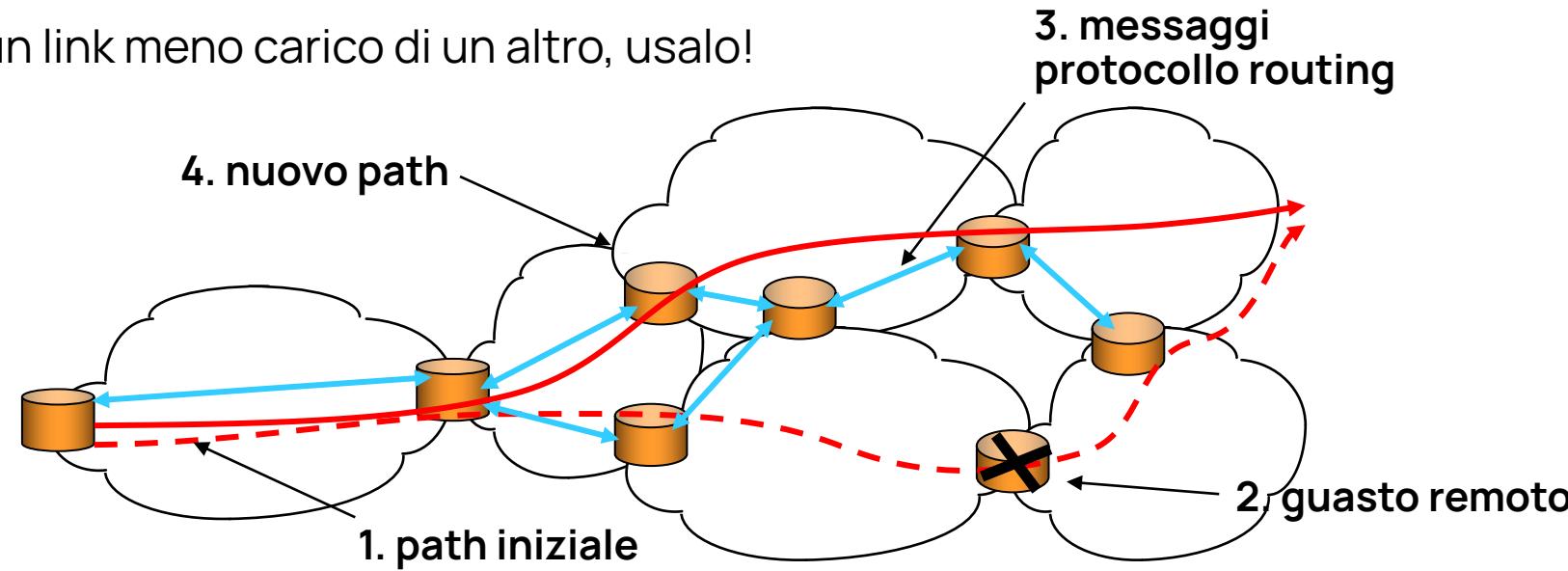
- Un centro di controllo costruisce le tabelle di instradamento che devono essere applicate da ogni singolo nodo e le comunica ai nodi stessi
- Le tabelle vengono cambiate solo a seguito di aggiornamento della topologia, su azione del centro di controllo
- Poco flessibile, in quanto non reagisce a sovraccariche e guasti aleatori
- Consente un'accurata pianificazione di rete (traffic engineering)

Instradamento dinamico (tipicamente distribuito)

- ❑ La tabella di routing di ciascun router varia nel tempo in base alle indicazioni che il router riceve dagli altri router grazie al protocollo di routing
- ❑ In un protocollo di routing si definiscono
 - ❑ Una metrica per valutare il **costo** degli elementi di rete (link e a volte anche nodi)
 - ❑ Possibili metriche: *ritardo, numero di hop, capacità disponibile o utilizzata, affidabilità, ecc.*
 - ❑ L'**algoritmo** per scegliere i percorsi migliori (a minimo costo)
 - ❑ La **modalità** con cui vengono scambiati i messaggi di aggiornamento tra i router
 - ❑ Tipo, contenuto, frequenza
- ❑ Il routing che si utilizza in Internet è **dinamico**

Instradamento dinamico (tipicamente distribuito)

- ❑ Perchè si modificano le tabelle di routing?
 - ❑ Cambiamenti nella topologia della rete
 - ❑ Quando viene attivato un nuovo link, usalo!
 - ❑ Guasti di link e nodi
 - ❑ Se un link “è giù”, trova un percorso alternativo!
 - ❑ Carico del traffico e congestione di rete
 - ❑ Se c’è un link meno carico di un altro, usalo!



Fondamenti di TELECOMUNICAZIONI

Prof. Marco Mezzavilla
marco.mezzavilla@polimi.it