

Università di Roma Tor Vergata
Corso di Laurea triennale in Informatica

Sistemi operativi e reti

A.A. 2018-2019

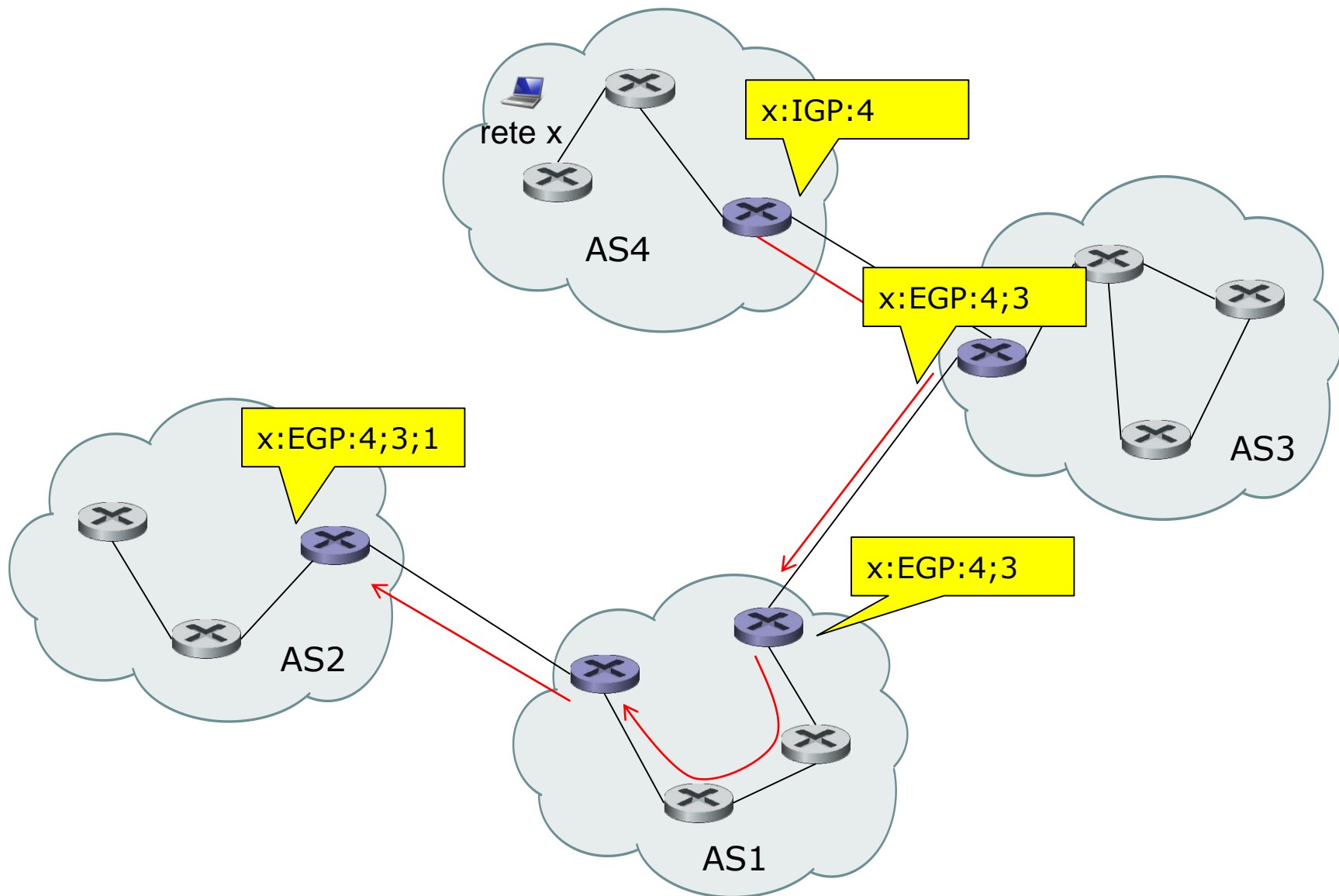
Pietro Frasca

Parte II: Reti di calcolatori

Lezione 20 (44)

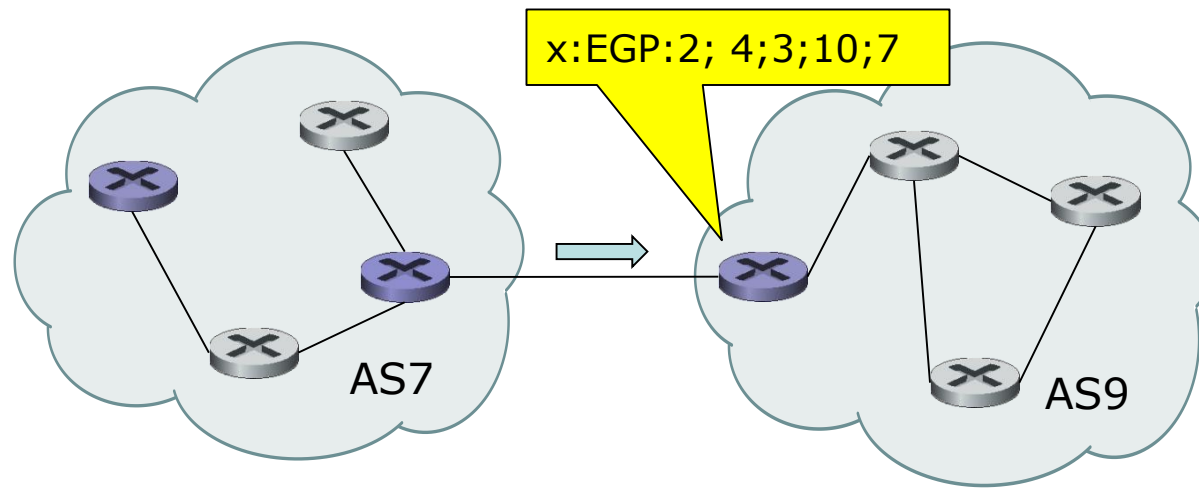
Giovedì 16-05-2019

- I pari BGP si scambiano **annunci sui percorsi** su una connessione TCP.
- Un annuncio consiste in:
 - **un indirizzo di rete di destinazione** in forma CIDR (per esempio, 128.119.40/24) e
 - **un insieme di attributi** associati al percorso verso quella rete di destinazione.
- Alcuni attributi sono sempre presenti, altri sono opzionali. Quest'ultimi possono anche non essere interpretati allo stesso modo da tutti i router e possono essere o meno propagati.
- Due degli attributi più importanti sono
 - **AS-PATH (percorso)** una lista di tutti gli AS (identificati con gli ASN) sul percorso verso la specifica rete di destinazione e
 - **NEXT-HOP.** L'identità del prossimo router lungo il percorso verso la rete di destinazione.



Aggiornamento dell'AS path

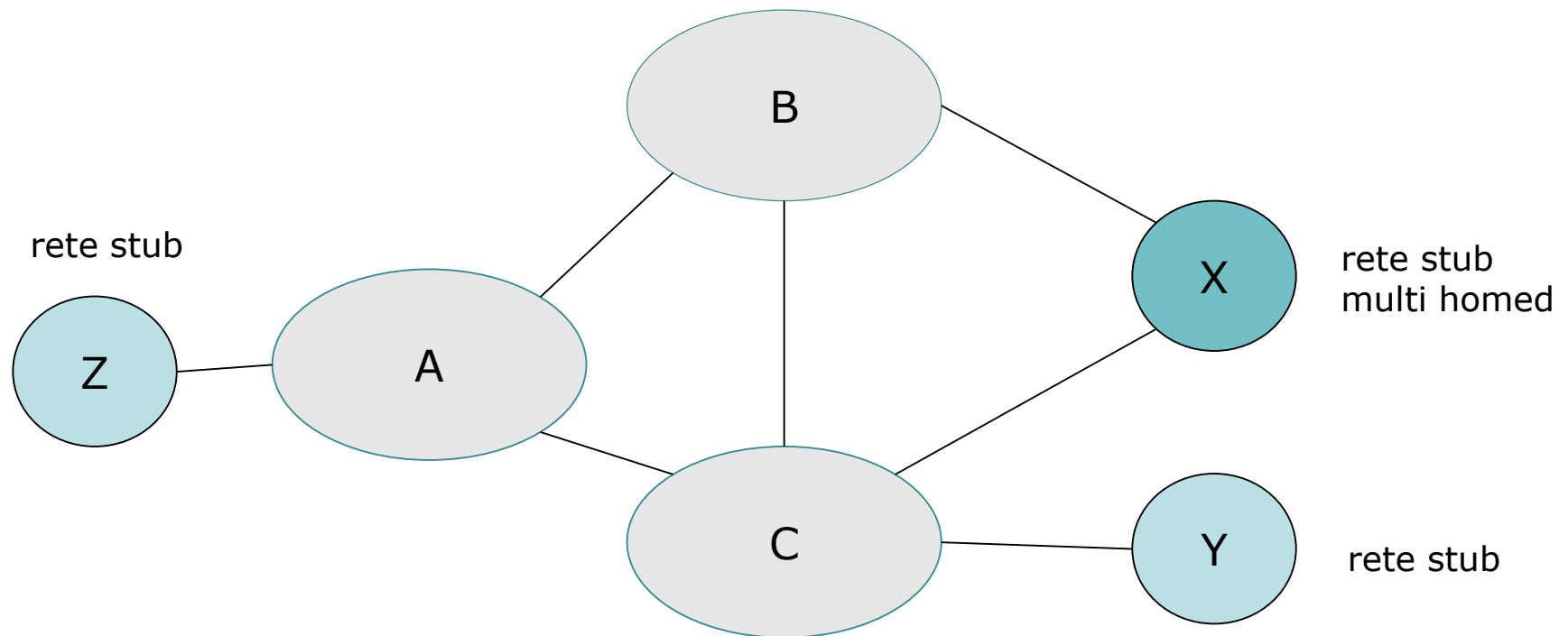
- Il funzionamento di BGP è basato principalmente su tre tipi di operazione:
 - **Ricezione e filtraggio di annunci sui percorsi.** Quando un router BGP riceve gli annunci sui percorsi da un suo pari, può anche filtrare (scartare) gli annunci sui percorsi ricevuti. Poiché gli annunci specificano l'intero percorso per raggiungere la rete annunciata, come lista di AS attraversati, un amministratore può decidere quale sarà l'instradamento seguito dai pacchetti. Ad esempio nella figura seguente, se il gestore di AS9 non volesse rinviare traffico proveniente dall'AS4 configurerebbe BGP in modo tale che siano filtrati i datagramm provenienti dalla rete x.



- **Selezione del percorso.** Un router BGP può ricevere diversi annunci sui percorsi verso la stessa rete di destinazione, e deve scegliere quale percorso usare tra quelli annunciati. La rete di destinazione e il prossimo router per il percorso scelto devono quindi essere inseriti nelle tabelle di instradamento del router. Un router BGP può conoscere diversi percorsi verso una certa rete di destinazione, ma inserirà un solo router di next-hop per quella destinazione nella tabella di instradamento. BGP consente di scegliere un percorso tra quelli annunciati in **modalità manuale o automatica**. Nel primo caso potrebbe essere una decisione **politica o commerciale** che viene presa dall'amministratore di rete dell'AS. Un amministratore di rete può specificare delle **preferenze locali**, per esempio, indicando che l'instradamento attraverso uno specifico AS confinante è da preferire rispetto all'instradamento attraverso altri AS confinanti. In assenza di preferenze locali, BGP seleziona automaticamente il percorso che attraversa il minor numero di AS per arrivare a una determinata destinazione.

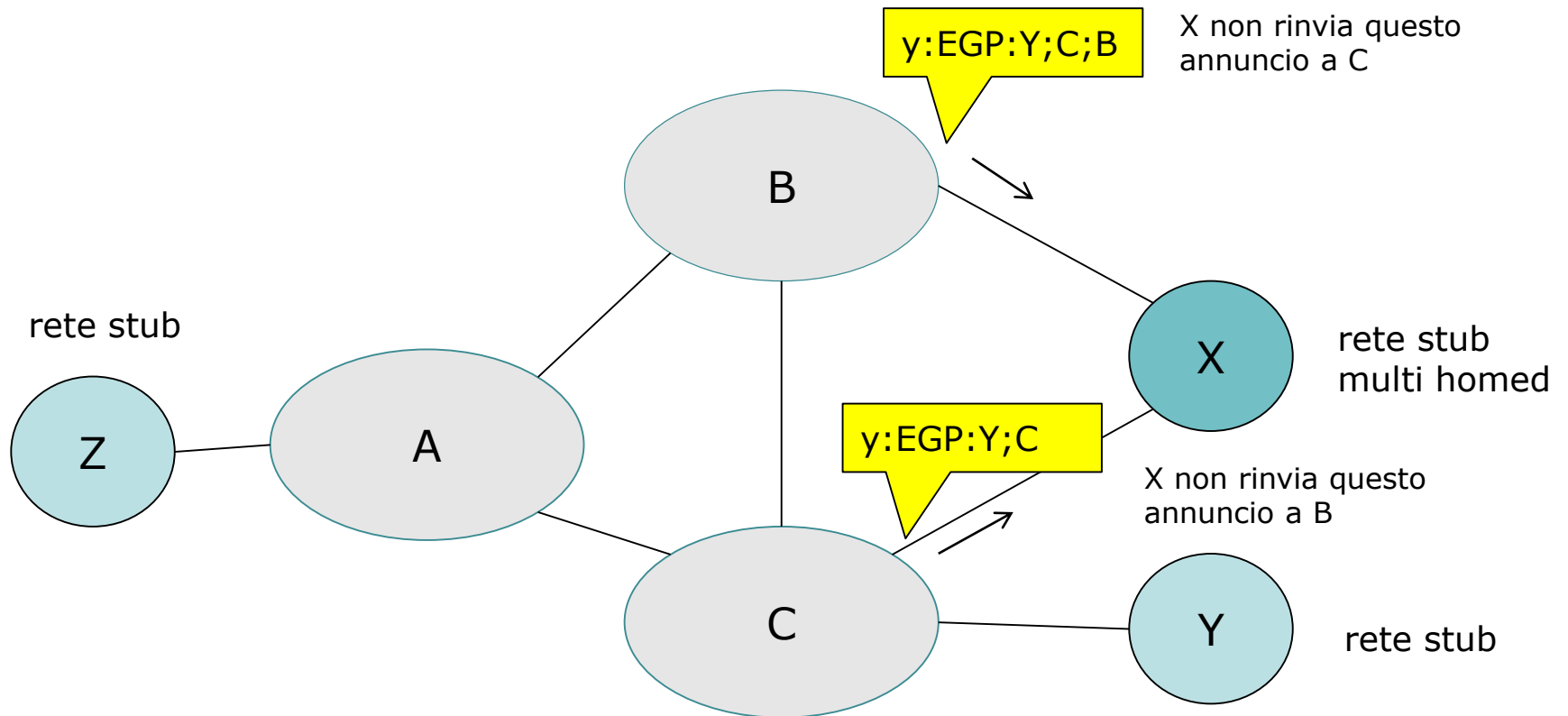
- ***Invio di annunci sui percorsi ai vicini.*** Il BGP permette all'amministratore di rete un notevole grado di controllo del traffico che sarà instradato attraverso la sua rete, inviando ai router BGP vicini alcune informazioni che vuole comunicare e nascondendole altre, in base a qualche politica.

- Illustriamo con degli esempi alcuni concetti base degli annunci sui percorsi BGP. La figura mostra sei sistemi autonomi interconnessi: A, B, C, X, Y e Z.



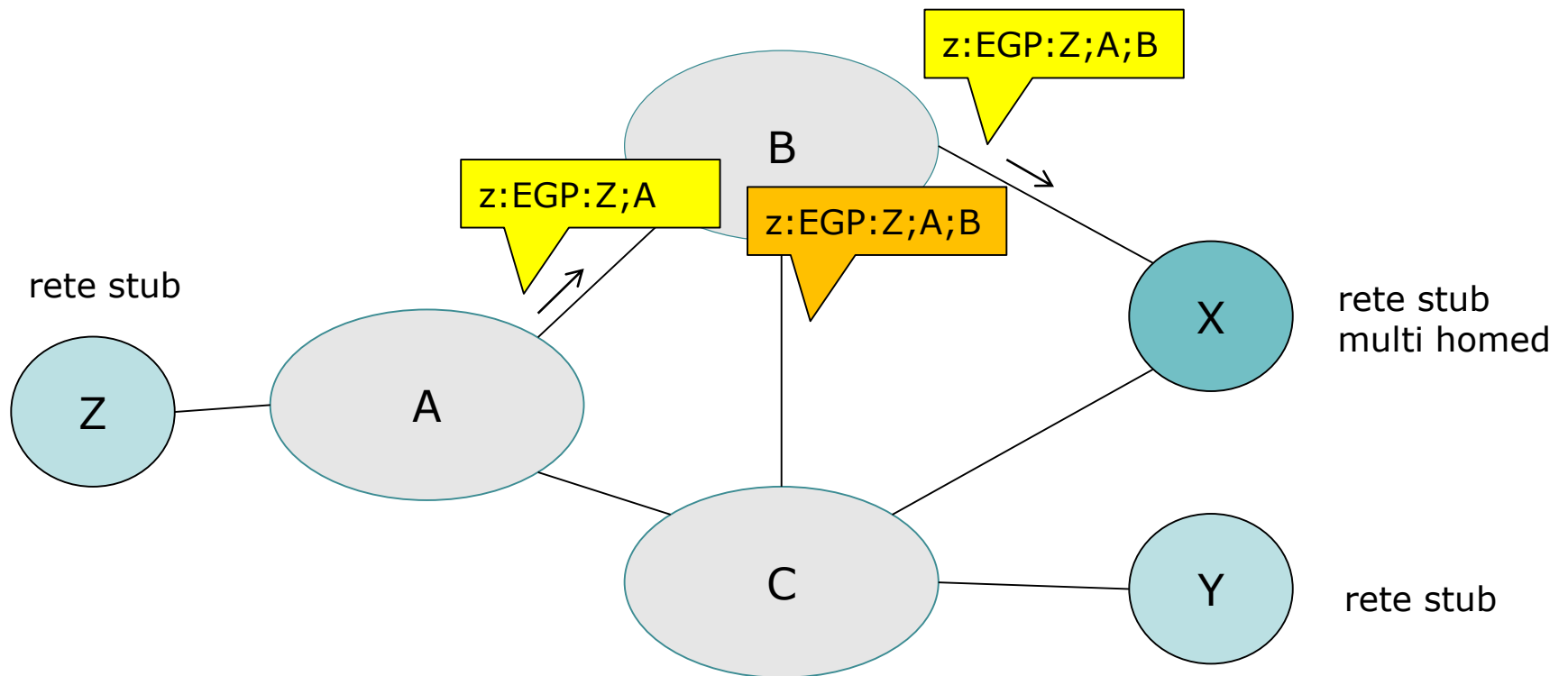
A, B e C: reti di ISP

- Come primo esempio vediamo come **l'annuncio selettivo** di percorsi può essere usato per implementare relazioni di instradamento cliente/fornitore.
- Assumiamo che i sistemi autonomi (clienti) X, Y e Z siano **reti stub** e che A, B e C siano reti di ISP (fornitori).
- E' evidente che Y e Z sono reti stub.
- L'AS X è connesso con gli AS B e C ma dato che è una rete stub deve essere la sorgente/destinazione di tutto il traffico uscente/entrante in X e pertanto non deve rinviare traffico tra B e C.
- Questo può essere ottenuto controllando il modo in cui i percorsi BGP vengono annunciati. Nell'esempio, X funzionerà come rete stub se annuncia ai suoi vicini B e C che non ha percorsi verso altre reti. Cioè, anche se X può conoscere un percorso, ad esempio XCY, che raggiunge la rete Y, esso **non** annuncerà questo percorso a B.
- Dato che B ignora che X ha un percorso verso Y, B non rilancerà il traffico destinato a Y o a C attraverso X.



A, B e C: reti di ISP

- Consideriamo ora la rete di un ISP, ad esempio l'AS B. Supponiamo che B abbia ricevuto da A un annuncio del percorso AZ verso Z. B può quindi registrare il percorso BAZ nella sua tabella dei percorsi.
- Chiaramente, B vuole annunciare il percorso BAZ al suo cliente, X, in modo che X sappia che può instradare i suoi pacchetti verso B per giungere a Z.
- Ma non è detto che B debba annunciare il percorso BAZ a C. Se lo annuncia, allora C potrebbe instradare il traffico verso Z attraverso CBAZ.
- Se A, B e C sono tutti ISP della dorsale, allora B potrebbe non essere d'accordo a trasportare il traffico di transito tra A e C. B potrebbe giustamente ritenere che è compito (e costo) di A e C assicurarsi che C possa instradare ai/dai clienti di A attraverso una connessione diretta tra A e C.
- Attualmente non ci sono standard ufficiali che regolano come gli ISP della dorsale instradino tra loro.

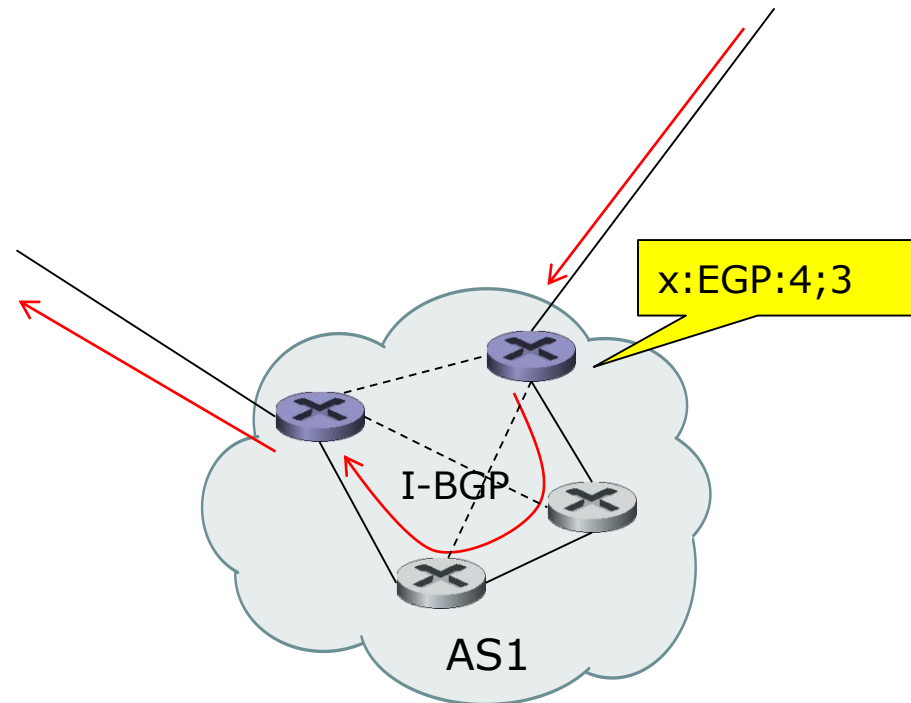


A, B e C: reti di ISP

- Accordi individuali da pari a pari (che regolamentano questioni come quella sollevata prima) vengono tipicamente sottoscritti tra coppie di ISP.
- Dopo aver descritto alcune funzioni di controllo svolte da BGP, torniamo all'aspetto tecnico del funzionamento di BGP.
- Il protocollo BGP definisce quattro tipi di messaggi: OPEN, KEEPALIVE, UPDATE, e NOTIFICATION.
 - **OPEN.** Quando un router BGP vuole connettersi per la prima volta con un pari BGP, viene inviato un messaggio OPEN al pari. Questo messaggio permette al router BGP di identificarsi e autenticarsi. Se il messaggio OPEN è accettato dal pari, esso risponderà con un messaggio KEEPALIVE.
 - **KEEPALIVE.** Questo messaggio oltre che come riscontro di un messaggio OPEN ricevuto, è usato per far conoscere a un pari che il mittente è attivo ma che non ha altre informazioni da spedire.
 - **UPDATE.** Un router BGP usa il messaggio UPDATE per annunciare un percorso verso una data destinazione al pari BGP

- Il messaggio UPDATE può anche essere usato per eliminare un percorso che era stato precedentemente annunciato, cioè, per informare un pari che un percorso che aveva precedentemente annunciato non è più valido.
- **NOTIFICATION.** Questo messaggio è usato per informare un pari che è stato rilevato un errore , per esempio, in un messaggio BGP trasmesso in precedenza o che il mittente sta per chiudere la sessione BGP.

- Quanto finora descritto è riferito esclusivamente alla versione di BGP nota come **E-BGP** (**BGP esterno**, *External BGP*) di BGP, funzionante tra router in differenti AS.
- C'è un'altra versione di BGP, detta **I-BGP** (**BGP interno**), che è usata per distribuire informazioni di instradamento ai router all'interno di un AS riguardo ad AS di destinazione al suo esterno.



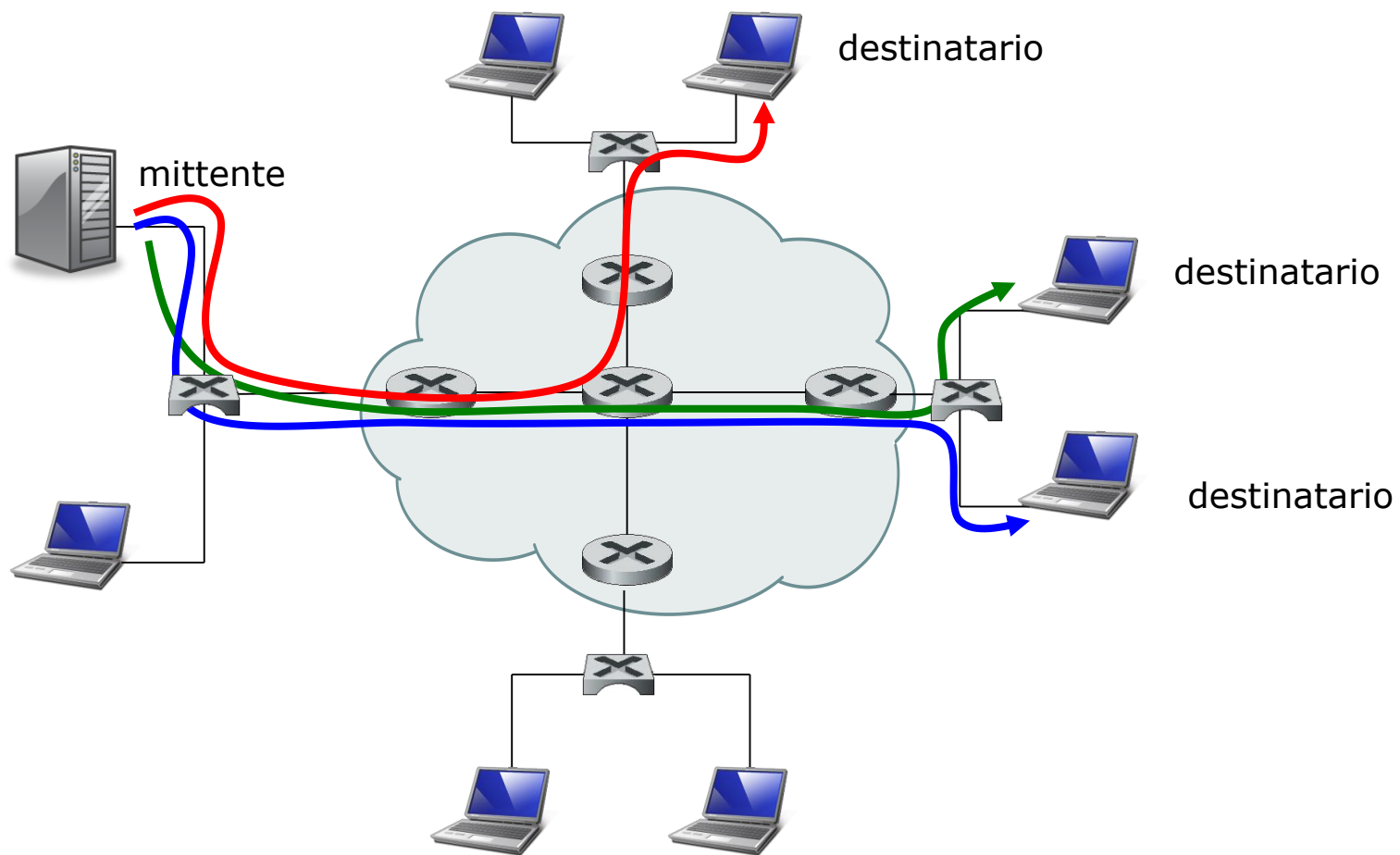
- Abbiamo visto in precedenza che è possibile specificare un percorso di default (next-hop) mediante un protocollo di instradamento intra-AS come RIP, in modo che i datagram che non sono destinati a una rete esplicitamente elencata nella tabella di instradamento saranno rinviati lungo il percorso di default.
- Un'altra possibilità è di usare il protocollo **I-BGP** per distribuire informazioni di instradamento all'interno di un AS riguardo a AS remoti.
- I router I-BGP all'interno di un AS sono tutti logicamente connessi tra loro. In altri termini, i router I-BGP in un AS sono considerati tutti vicini l'uno l'altro.

Instradamento multicast

- I protocolli degli strati di trasporto e di rete che abbiamo descritto finora, consentono la trasmissione di pacchetti da una singola sorgente a una singola destinazione e sono quindi detti protocolli **unicast**.
- Un numero sempre maggiore di applicazioni di rete esegue la trasmissione di pacchetti da un mittente a un **gruppo di destinatari**.
- Alcuni esempi di queste applicazioni sono: la trasmissione dell'aggiornamento di un software dallo sviluppatore agli utenti, lo streaming audio e video e testi per lettura diretta a un gruppo di lettori etc.
- Per queste applicazioni, un'astrazione molto utile è il concetto di **multicast: l'invio di un pacchetto da un mittente a molti destinatari con una singola operazione di spedizione**.

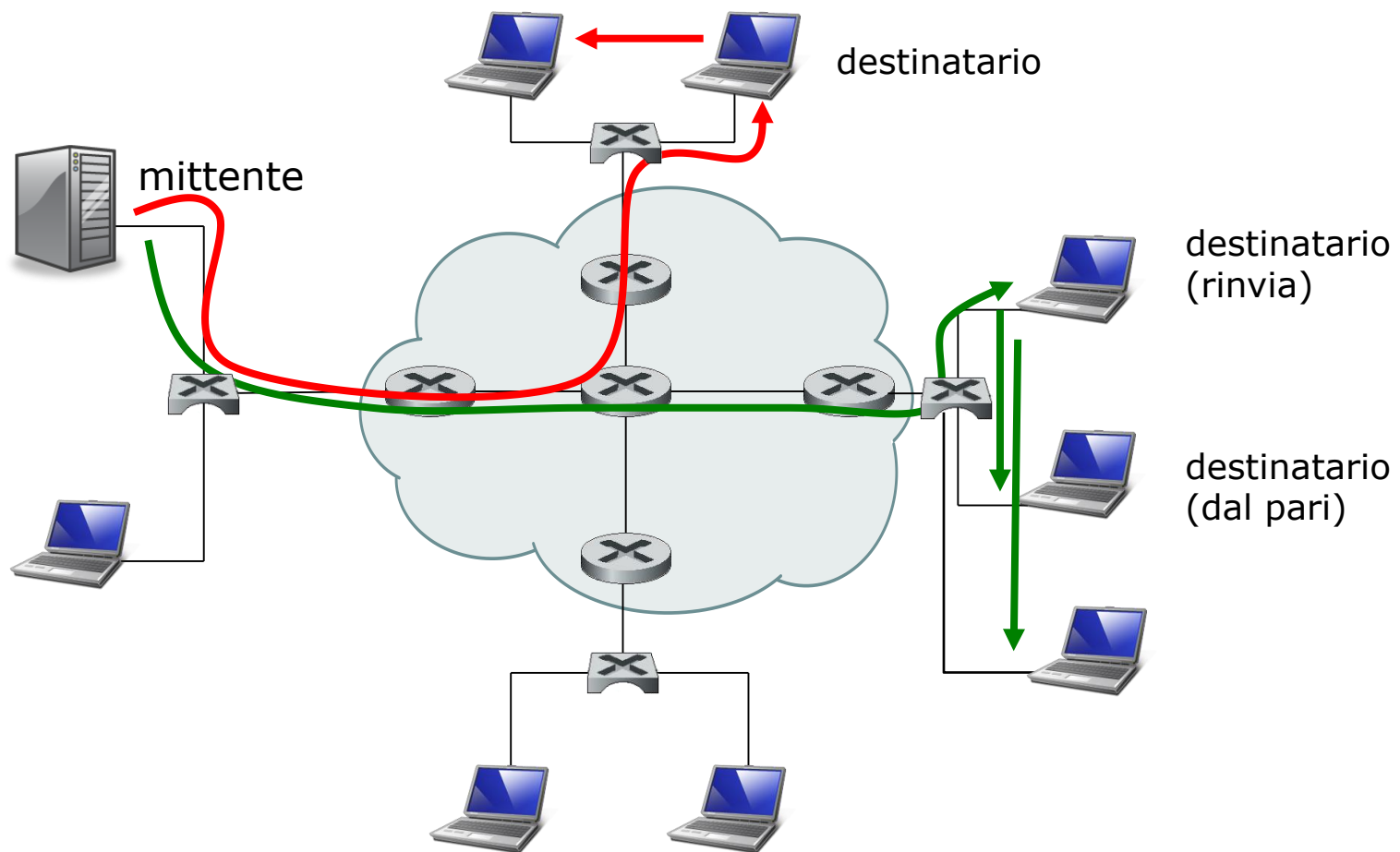
Multicast di Internet e i gruppi multicast

- La comunicazione multicast, può essere implementata in vari modi:
- ***Unicast da-uno-a-molti***. il mittente instaura una diversa connessione unicast per ciascuno dei destinatari. I dati dell'applicazione nel mittente sono trasmessi su ciascuna delle connessioni individuali. Questa soluzione non richiede alcun supporto multicast aggiuntivo nello strato di rete. Questa soluzione è mostrata nella figura seguente, con i router che non svolgono alcuna operazione per supportare il multicast.
- In questo esempio, il mittente multicast usa tre connessioni unicast *separate* per raggiungere i tre destinatari.



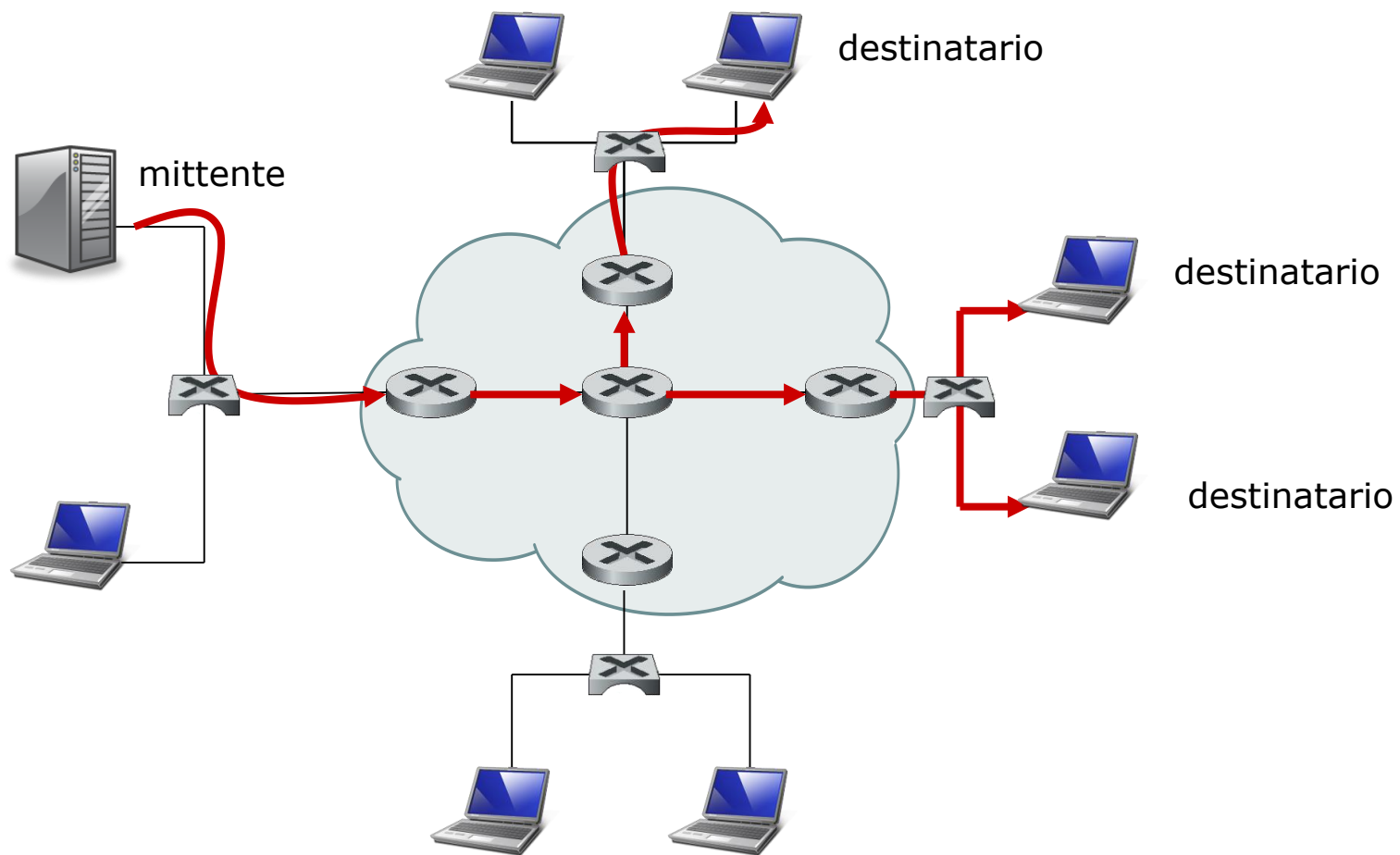
Unicast da uno a molti

- ***Multicast a livello applicativo.*** Una seconda soluzione usa anch'essa connessioni unicast ma nella trasmissione parte dei riceventi partecipano nella duplicazione e rinvio dei dati.
- Il mittente trasmette i dati a un numero minore di destinatari, i quali fanno delle copie dei dati ricevuti e le rilanciano ad altri riceventi, che possono quindi duplicare e rinviare copie a ulteriori riceventi, e così via.
- Questa soluzione è più efficiente dell'unicast da-uno-a-molti ma richiede la realizzazione di un'infrastruttura di distribuzione a livello applicativo molto complessa. Nell'esempio seguente, i datagram del flusso in verde sono inviati in unicast dal mittente al ricevente a destra in alto. Il ricevente fa, per ciascun datagram ricevuto, due copie, e rilancia in unicast le copie agli altri riceventi sulla sua LAN.



Multicast a livello applicativo

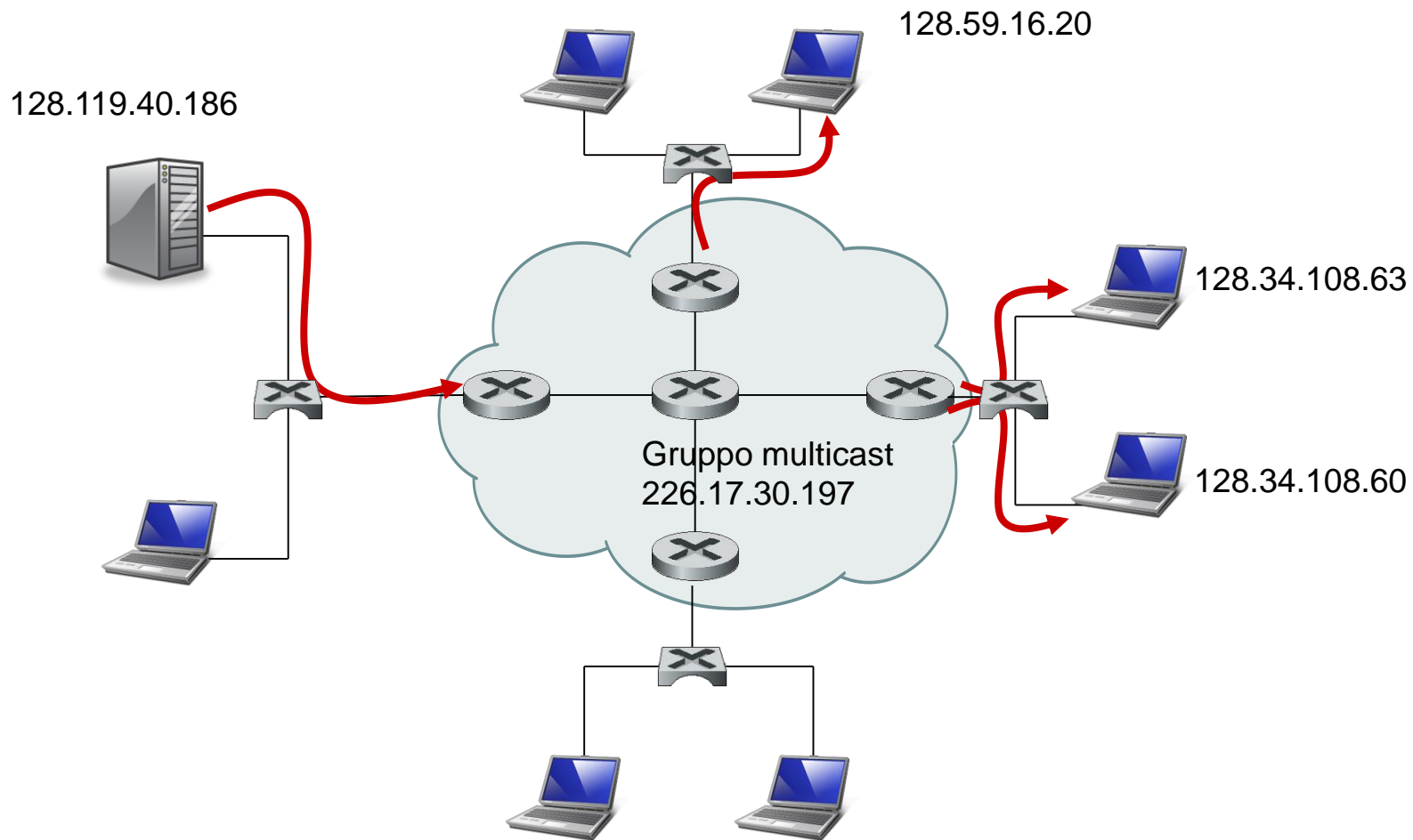
- ***Multicast esplicito.*** Una terza soluzione è che lo strato di rete fornisca un **supporto aggiuntivo multicast**.
- In questo modo, i **datagram** sono trasmessi dall'host mittente e quindi rinviati da un router della rete ogni volta che devono essere rinviati su più link in uscita per poter raggiungere i destinatari.
- Nella figura seguente, una copia è rinviata al destinatario in alto e un'altra è rispedita ai destinatari a destra.
- Chiaramente, la terza soluzione è più efficiente in termini di occupazione di larghezza di banda, in quanto solo una *singola* copia di un datagram attraverserà un link. D'altra parte, **allo strato di rete è richiesto un supporto complesso per implementare il multicast.**



Multicast esplicito

- Il multicast, introduce due problemi che sono molto più complessi rispetto al caso dell'unicast:
 - **Identificazione dei destinatari e**
 - **Indirizzamento di un datagram spedito ai destinatari.**
- Nel caso della comunicazione unicast, l'indirizzo IP del destinatario è un campo del datagram IP e identifica un singolo destinatario. Ma nel caso del multicast, i destinatari sono molti.
- Un datagram multicast è indirizzato usando **un indirizzo indiretto**, in altre parole, si usa un unico indirizzo per un gruppo di destinazioni.
- Con IPv4, l'indirizzo che rappresenta un gruppo di destinazioni è un **indirizzo multicast di classe D**. Gli indirizzi della classe D sono riservati per gli indirizzi multicast e sono compresi da **224.0.0.0** a **239.255.255.255**.
- Con IPv6 un indirizzo multicast appartiene al blocco ff00::/8.

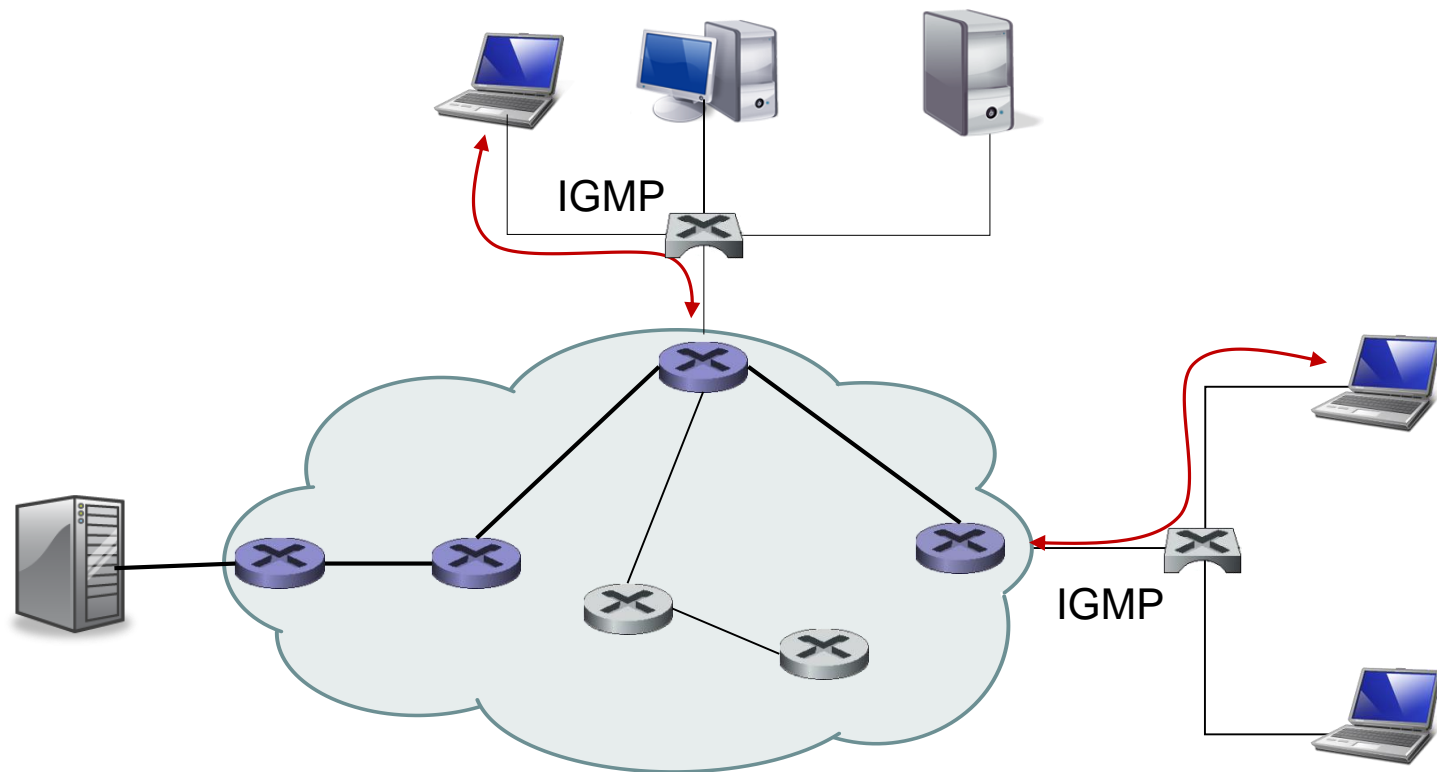
- Un gruppo di destinatari associati ad un indirizzo multicast prende il nome di **gruppo multicast** (***multicast group***).
- Uno schema di un gruppo multicast è illustrata nella figura seguente. In questo esempio (IPv4), quattro host sono associati con il gruppo multicast che ha indirizzo **226.17.30.197** e riceveranno tutti i datagram indirizzati a questo indirizzo multicast.
- Vediamo ora in che modo un host può essere associato ad un numero multicast. Tale compito è svolto dal protocollo **IGMP**.



Gruppo multicast

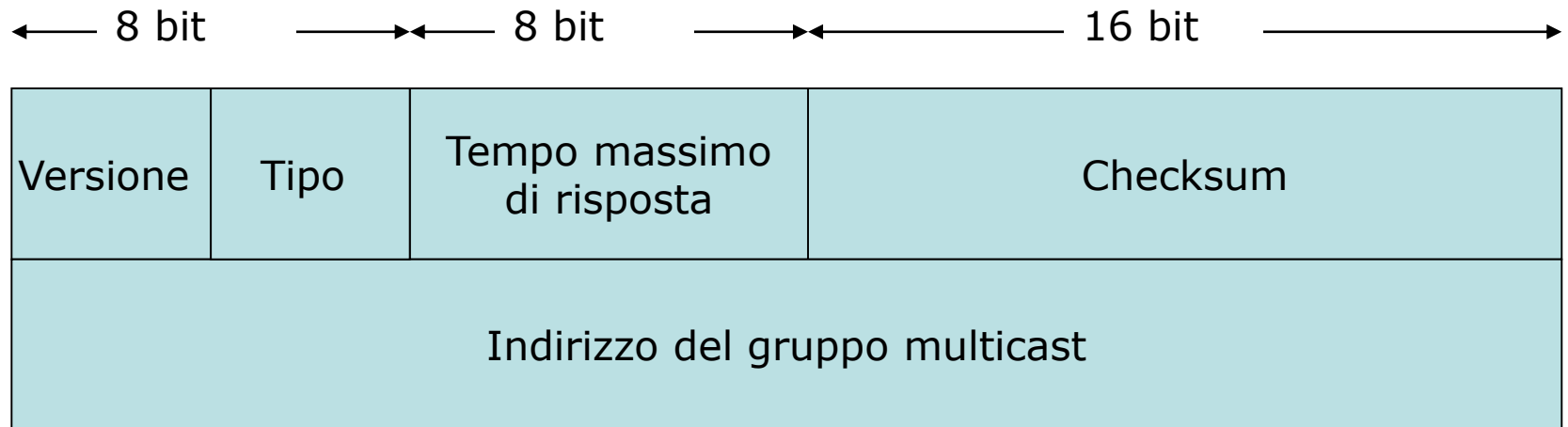
Il protocollo IGMP

- Il funzionamento del multicast dello strato di rete si basa su due componenti: **l'IGMP** e i **protocolli di instradamento multicast** (PIM, DVMRP e MOSPF).
- Il protocollo **IGMP** (***Internet Group Management Protocol***, **Protocollo Internet Gestione Gruppi**) consente a un processo di rete, in esecuzione su un host, di comunicare al suo router di default che vuole associarsi a un gruppo multicast.
- Poiché IGMP funziona soltanto tra un host e il suo router di default, per creare un percorso multicast tra i router, compresi tra l'host mittente e l'host destinatario, è necessario un altro protocollo per instradare i datagrammi multicast. Questa funzionalità è svolta dagli **algoritmi di instradamento multicast** dello strato di rete come **PIM**, **DVMRP** e **MOSPF**.



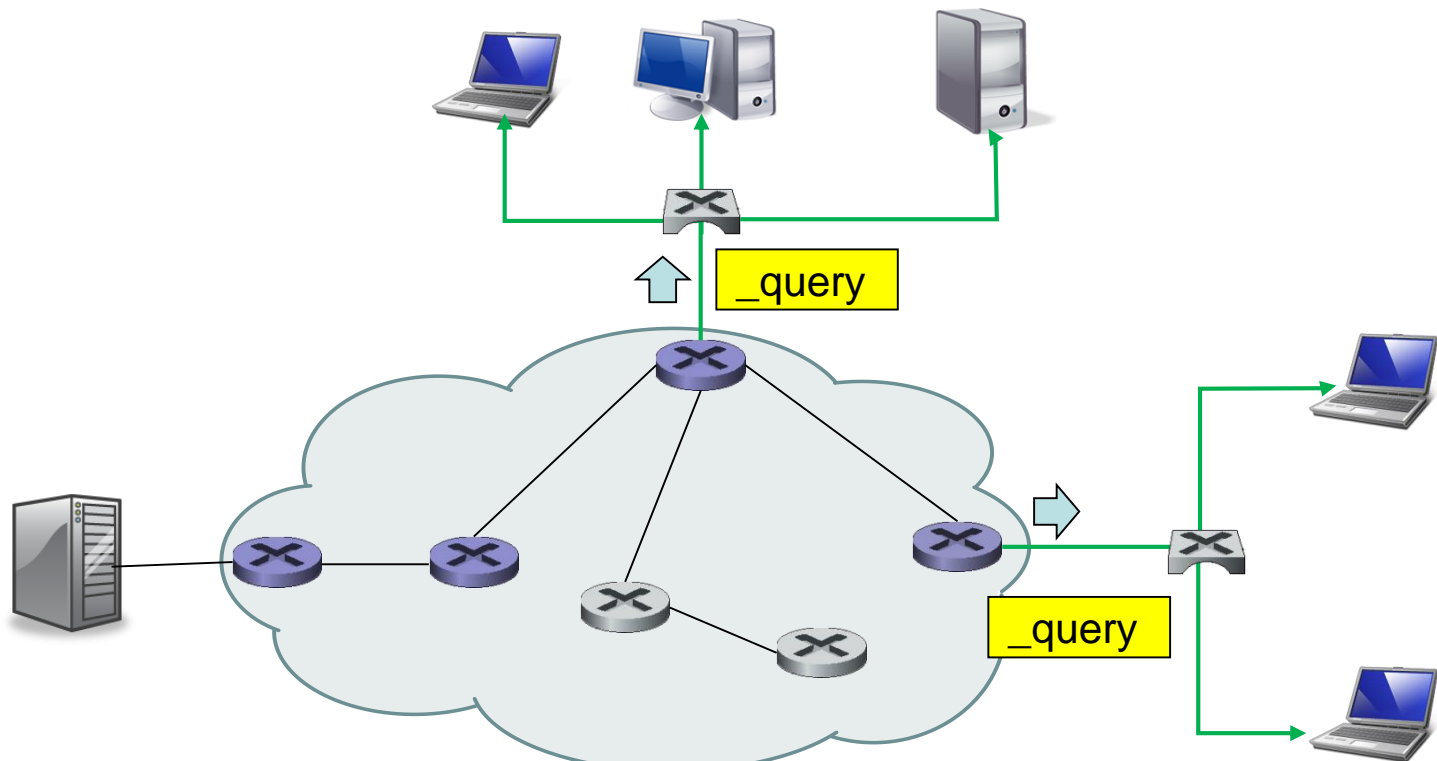
Protocolli di instradamento multicast

- I messaggi IGMP sono incapsulati all'interno di un datagram IP, con il valore del campo **numero di protocollo** pari a **2**.
- L'IGMP ha tre tipi di messaggio: **membership_query**, **membership_report** e **leave_group**.

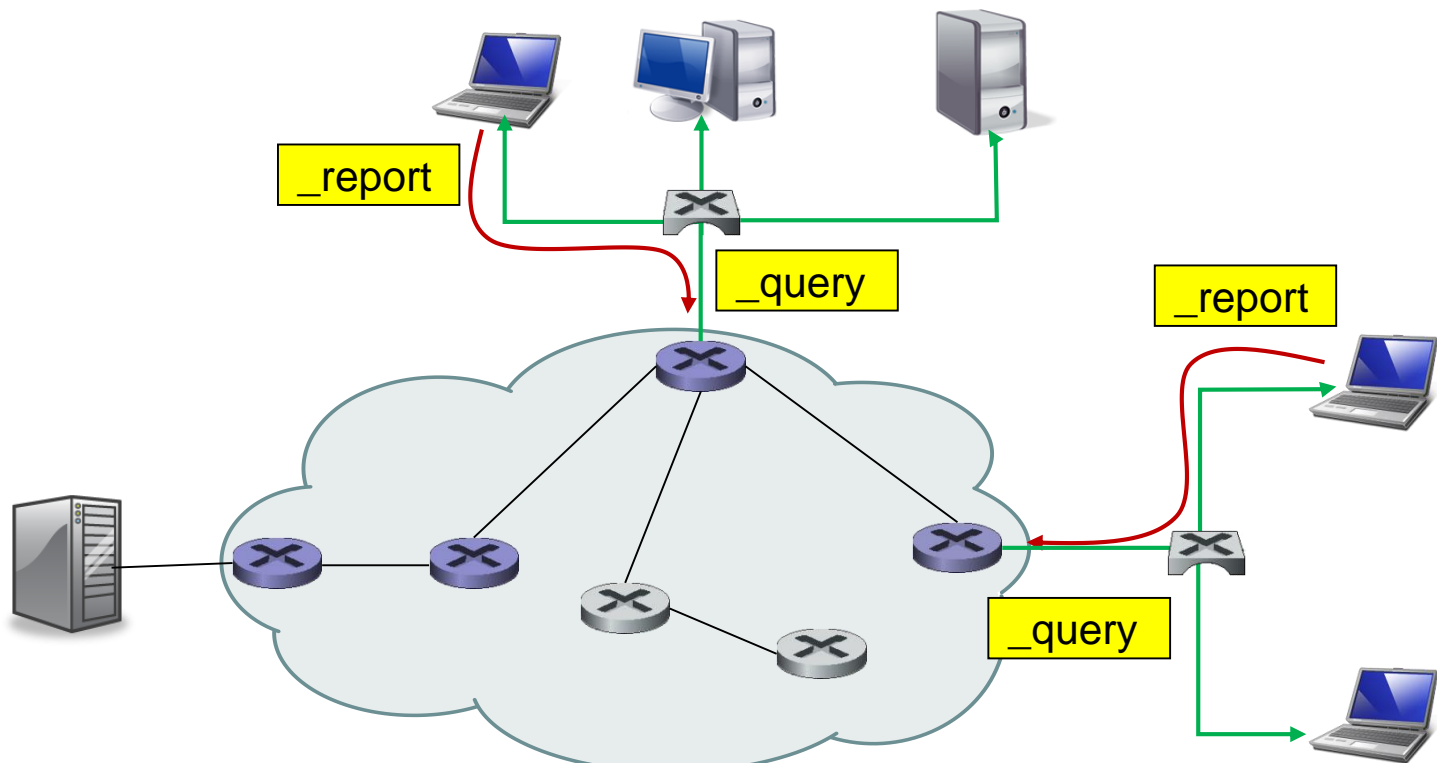


Formato del messaggio IGMP

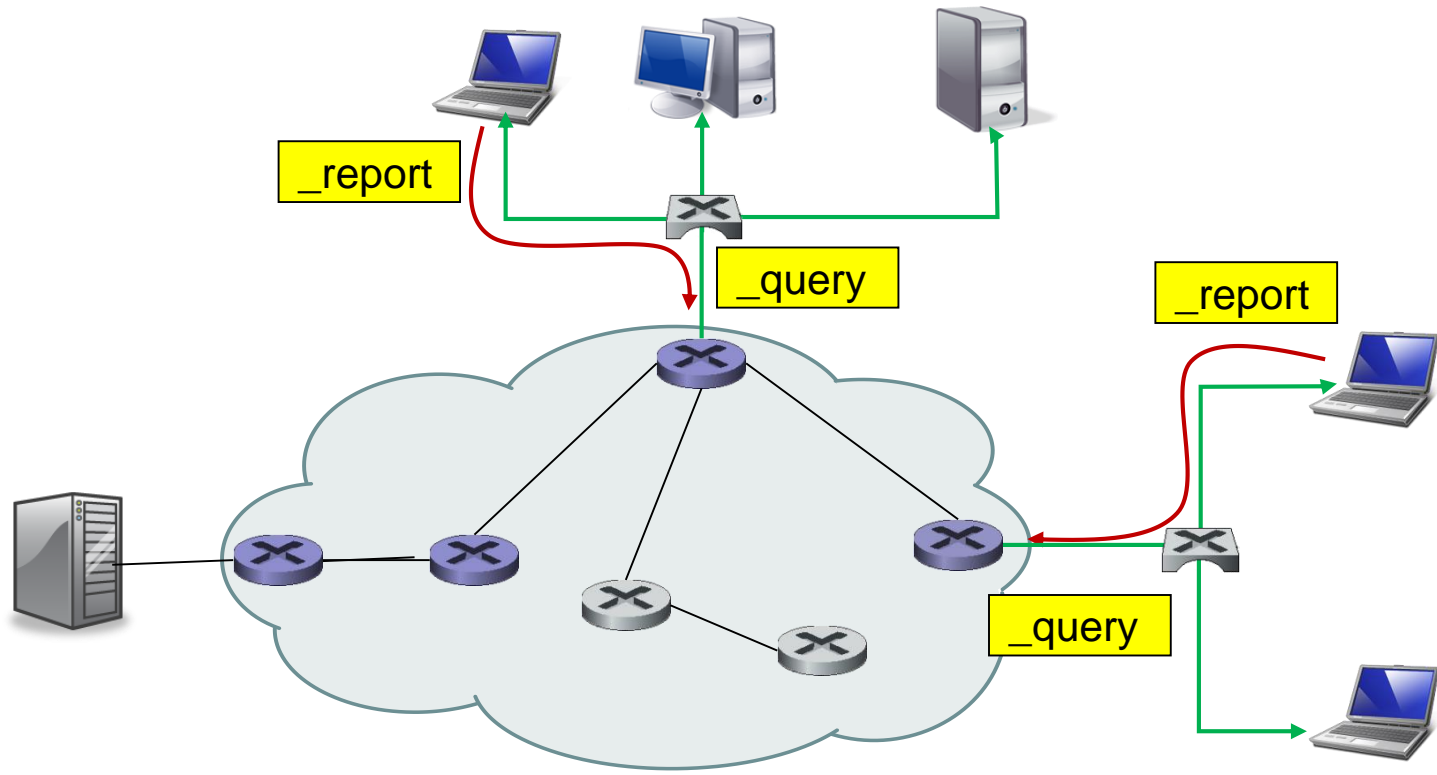
- Il messaggio **membership_query** è inviato da un router attraverso una sua interfaccia, collegata per esempio ad una LAN, per determinare se uno o più host su quella LAN si sono uniti a **gruppi multicast**.
- Questo messaggio può anche specificare un particolare gruppo multicast. In tal caso, l'indirizzo del gruppo multicast è inserito nel campo **indirizzo del gruppo multicast**



- Gli host rispondono a un messaggio **membership_query** con un messaggio **membership_report** (segnalazione di appartenenza), come illustrato nella figura.
- I messaggi membership_report possono anche essere inviati da un host quando un'applicazione si connette per la prima volta a un gruppo multicast, senza attendere un messaggio membership_query dal router.



- Il messaggio **membership_report** contiene **l'indirizzo multicast del gruppo** al quale l'host che risponde o che invia la prima volta, si è unito.
- I messaggi membership_report sono ricevuti sia dal router, che da tutti gli host collegati alla stessa LAN.
- A un router non interessa conoscere *quali e quanti* host fanno parte di uno specifico gruppo multicast, al router basta la conoscenza di **uno solo degli host per ogni gruppo**.
- L'IGMP esegue quindi un algoritmo per ridurre al minimo il numero dei messaggi membership_report generati quando più host appartengono allo stesso gruppo multicast.
- In particolare, il formato del messaggio IGMP possiede il campo "**tempo massimo di risposta**" (*maximum response time*).



Messaggi membership_query e membership_report in IGMP

- Quando riceve un messaggio **membership_query**, prima di inviare un messaggio **membership_report** per un dato gruppo multicast, un host attende un intervallo di tempo casuale compreso tra zero e il valore del "*tempo massimo di risposta*". Se l'host riceve un messaggio membership_report, per il suo stesso gruppo, che è stato inviato da qualche *altro* host, esso non invia il suo messaggio membership_report, dato che ormai il router è stato informato della presenza di membri di quel gruppo multicast nella LAN.
- In questo modo si evita la trasmissione di messaggi membership_report non necessari.
- L'ultimo tipo di messaggio IGMP è **leave group**. Questo messaggio è opzionale. Infatti, il router deduce che nessun host è associato a uno specifico gruppo multicast quando nessun host risponde a un messaggio membership_query con l'indirizzo di quello specifico gruppo.

- Da quanto descritto fino ad ora con IGMP, qualsiasi host inviando un messaggio IGMP **membership_report** può unirsi a un gruppo multicast a livello di rete.
- L'appartenenza a un gruppo multicast è quindi decisa dal destinatario che è un client.
- Un mittente (tipicamente un server) non verifica l'identità dei client che si uniscono ad un gruppo multicast, e non può nemmeno controllare chi si unisce al gruppo e quindi chi riceve i datagram spediti a quel gruppo.

Tipo messaggio	Inviato da	scopo
Membership query: generale	Router	Verifica se a una sua interfaccia sono connessi host che richiedono flussi multicast
Membership query: specifico	Router	Verifica se a una sua interfaccia sono connessi host che richiedono flussi multicast specifici
Membership report	Host	Comunica che si vuole unire o che appartiene ad un dato gruppo multicast
Leave group	Host	Avvisa l'abbandono da un gruppo multicast

Messaggi IGMP

Algoritmi di instradamento multicast

- Il **PIM** (Protocol Independent Multicast) è implementato in numerose piattaforme di router ed è stato sviluppato nell'ambito di trasferimento di stream multimediali.
- **MOSPF** (Multicast Open Shortest Path First) funziona nei sistemi autonomi (AS) che usano il protocollo OSPF per l'instradamento unicast. Il MOSPF estende l'OSPF.
- Il **DVMRP** è il protocollo "de facto" di instradamento multicast inter-AS. Comunque non funziona molto bene.
- **Lo sviluppo di un protocollo multicast inter-AS è un'attiva area di ricerca e sviluppo.**

Esempio di applicazione multicast in java

- L'applicazione seguente mostra l'uso della comunicazione multicast in java.
- Il server spedisce in multicast, usando l'indirizzo 230.10.10.1 e la porta 2014, la data e l'ora.

```
import java.io.*;
import java.net.*;
import java.util.*;
import java.lang.*;
public class MulticastServer{
    public static void main (String args[]) throws Exception {
        MulticastSocket socket = new MulticastSocket();
        byte[] buf = new byte[64];
        InetAddress gruppoIP = InetAddress.getByName("230.10.10.1");
        String sData;
        DatagramPacket packet=null;
        while (true) {
            sData = new Date().toString();
            System.out.println(sData);
            buf = sData.getBytes();
            packet = new DatagramPacket(buf, buf.length, gruppoIP, 2014);
            socket.send(packet);
            Thread.sleep(5000);
        }
        //socket.close();
    }
}
```

```
import java.io.*;
import java.net.*;
import java.util.*;

public class MulticastClient {
    public static void main(String[] args) throws IOException {
        MulticastSocket socket = new MulticastSocket(2014);
        InetAddress gruppoIP = InetAddress.getByName("230.10.10.1");
        socket.joinGroup(gruppoIP);
        DatagramPacket packet;
        byte[] buf = new byte[64];
        String risposta;
        while (true) {
            packet = new DatagramPacket(buf, buf.length);
            socket.receive(packet);
            risposta = new String(packet.getData());
            System.out.println("Sono le ore: " + risposta);
        }
        // socket.leaveGroup(gruppoIP);
        // socket.close();
    }
}
```

- Gli indirizzi multicast assegnati sono registrati nel sito <https://www.iana.org>.