



*Corso di Laurea Triennale in Informatica
Università degli Studi della Basilicata*

Reti di Calcolatori

Docente: Ugo Erra

ugo.erra+reti@unibas.it

12° Lezione – Livello di rete– IV° parte

Sommario



- **Instradamento gerarchico**
- Fondamenti di Instradamento in Internet
- Instradamento broadcast e multicast

Instradamento ideale



- Abbiamo fin qui visto la rete come una collezione di router interconnessi
- Ciascun router era indistinguibile dagli altri
- Visione omogenea della rete

Instradamento reale

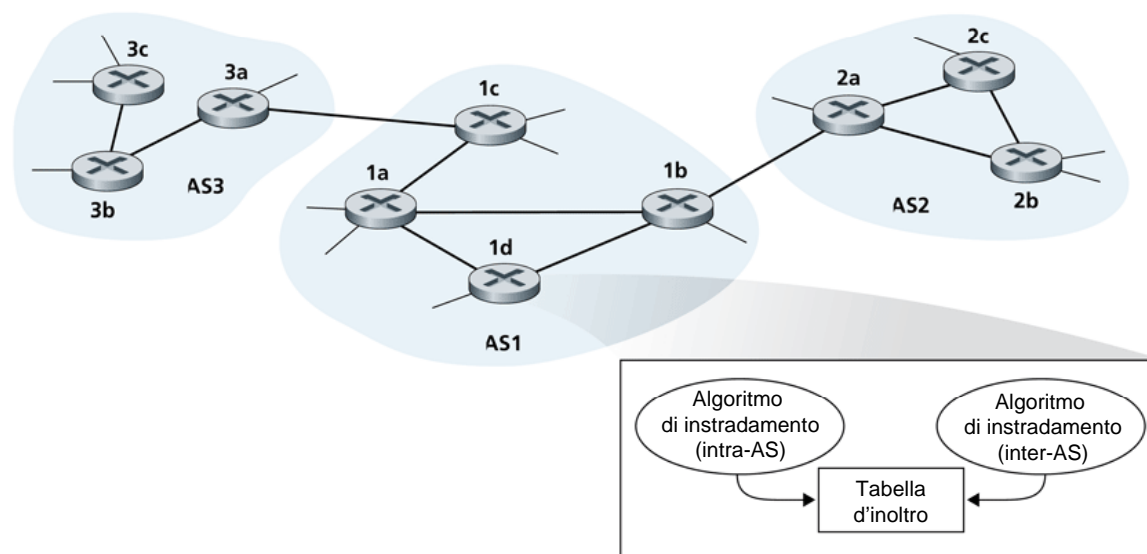
- Con 200 milioni di destinazioni su Internet non è semplice applicare gli algoritmi di instradamento così come sono descritti
 - ▣ Archiviare le informazioni d'instradamento su ciascun host richiederebbe un'enorme quantità di memoria
 - ▣ Il traffico generato dagli aggiornamenti LS non lascerebbero banda per i pacchetti di dati!
- Ogni organizzazione vuole mantenere una certa autonomia amministrativa
 - ▣ Ciascuno dovrebbe essere in grado di amministrare la propria rete nel modo desiderato, pur mantenendo la possibilità di connetterla alle reti esterne

Instradamento gerarchico

- ❑ Organizzazione di router in **sistemi autonomi** (AS, *autonomous system*)
- ❑ I router di un gruppo autonomo eseguono lo stesso algoritmo d'instradamento
 - ❑ **Protocollo d'instradamento interno al sistema autonomo** (intra-AS)
 - Router appartenenti a differenti AS possono eseguire protocolli d'instradamento intra-AS diversi
 - ❑ **Router gateway** hanno il compito aggiuntivo di inoltrare i pacchetti a destinazioni esterne

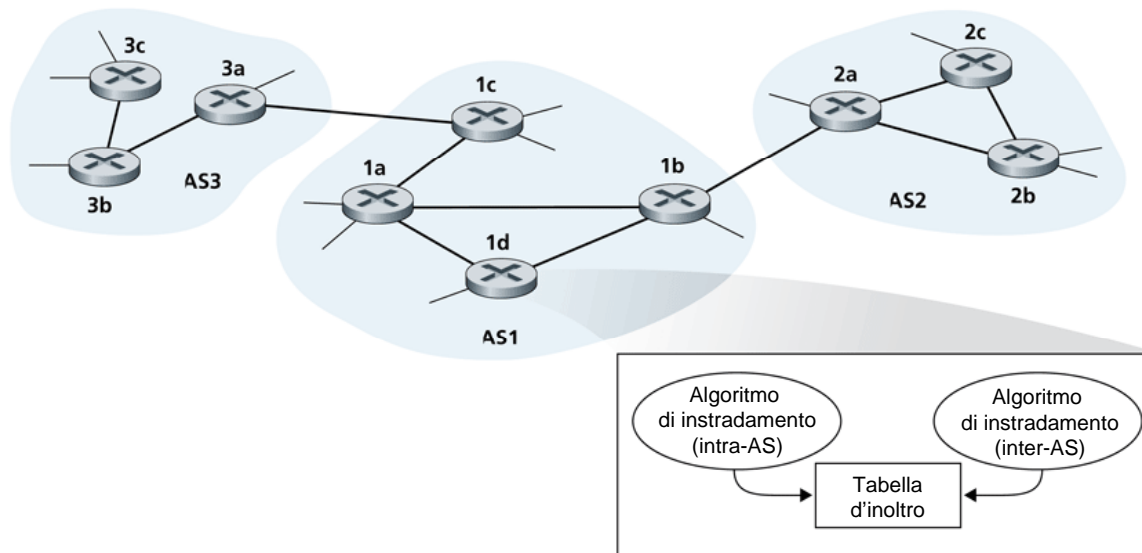
Sistemi autonomi interconnessi

- Ciascun sistema autonomo sa come inoltrare pacchetti lungo il percorso ottimo verso qualsiasi destinazione interna al gruppo
 - ▣ I sistemi AS2 e AS3 hanno tre router ciascuno
 - ▣ I protocolli d'instradamento dei tre sistemi autonomi non sono necessariamente gli stessi
 - ▣ I router 1b, 1c, 2a e 3a sono gateway



Instradamento tra sistemi autonomi

- Supponiamo che un router in AS1 riceva un datagramma la cui destinazione ricade al di fuori di AS1
 - ▣ Il router dovrebbe inoltrare il pacchetto verso uno dei due gateway. Ma quale??



- AS1 deve:
 - Sapere quali destinazioni sono raggiungibili attraverso AS2 e quali attraverso AS3
 - Informare tutti i router all'interno del sistema in modo che ciascuno possa configurare la propria tabella d'inoltro per gestire destinazioni esterne

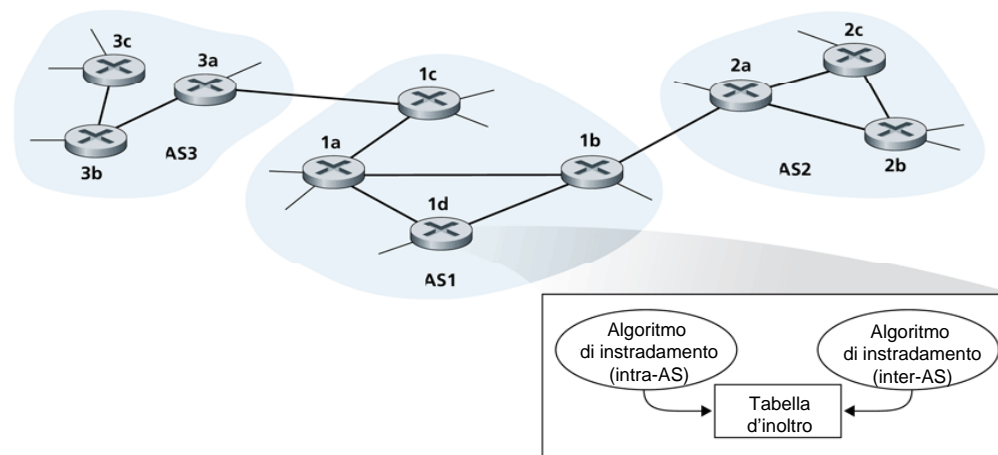
Instradamento tra sistemi autonomi



- **Il protocollo di instradamento tra sistemi autonomi** ha il compito di instradare i pacchetti tra AS diversi
 - ▣ Il protocollo deve essere lo stesso
- Su internet si utilizza il protocollo BGP4
- Le tabelle di inoltro vengono modificate considerando i protocolli intra-AS ed inter-AS

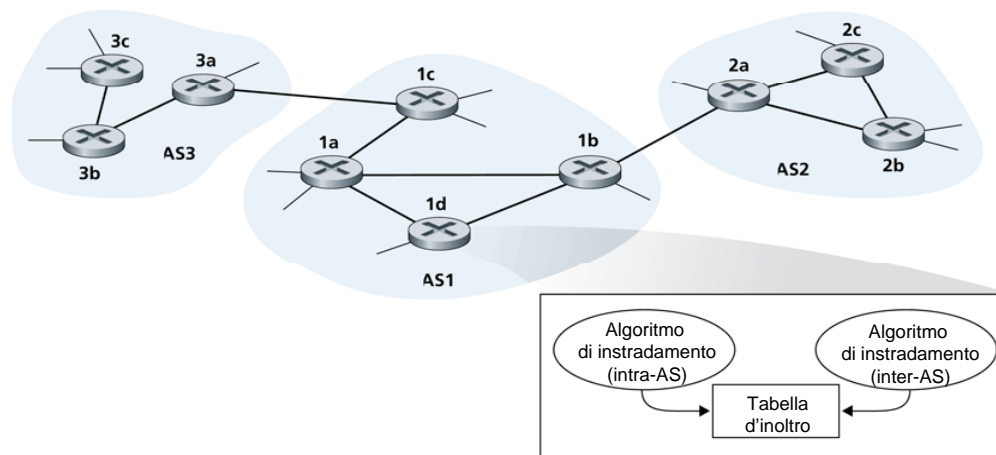
Esempio: impostare la tabella d'inoltro nel router 1d

- Supponiamo che AS1 apprenda dal proprio protocollo d'instradamento inter-AS che la sottorete x è raggiungibile da AS3 (gateway 1c), ma non da AS2
- Il protocollo inter-AS propaga questa informazione a tutti i propri router
- Il router 1d determina, partendo dall'informazione fornita dal protocollo intra-AS, l'interfaccia I del router sul percorso a costo minimo dal router 1d al gateway 1c
- Il router 1d può inserire la riga (x, I) nella propria tabella d'inoltro



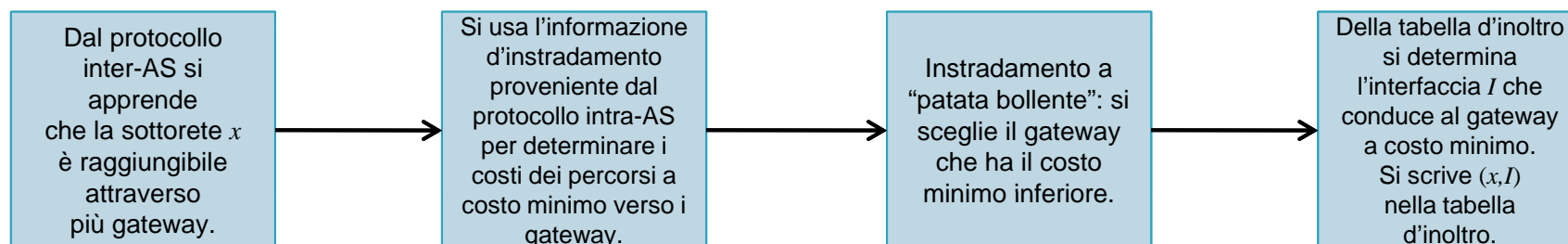
Esempio: impostare la tabella d'inoltro nel router 1d

- Supponiamo inoltre che AS1 apprenda dal protocollo d'instradamento tra sistemi autonomi che la sottorete x è raggiungibile da AS2 e da AS3
- Al fine di configurare la propria tabella d'inoltro, il router 1d dovrebbe determinare a quale gateway, 1b o 1c, indirizzare i pacchetti destinati alla sottorete x
- Anche questo è un compito che spetta al protocollo d'instradamento inter-AS



Esempio: scegliere fra più AS

- **Instradamento a patata bollente:** il sistema autonomo si sbarazza del pacchetto (patata bollente) non appena possibile.



Sommario



- Instradamento gerarchico
- **Fondamenti di Instradamento in Internet**
- Instradamento broadcast e multicast

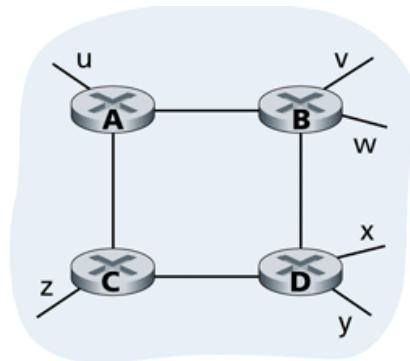
Instradamento in Internet



- I protocolli d'instradamento intra-AS sono noti come **protocolli gateway interni (IGP)**
- I protocolli intra-AS più comuni sono:
 - ▣ RIP: routing information protocol
 - ▣ OSPF: open shortest path first
 - ▣ IGRP: Interior Gateway Routing Protocol (di proprietà Cisco)

RIP (Routing Information Protocol)

- Il **Routing Information Protocol (RIP)** è un protocollo a vettore distanza
- È tipicamente incluso in UNIX BSD dal 1982
- Conteggio degli hop come metrica di costo (max = 15 hop)
 - ▣ Il termine *hop* indica il numero di sottoreti incontrare dall'origine alla destinazione (inclusa)



Destination	Hops
u	1
v	2
w	2
x	3
y	3
z	2

Numero di hop da router origine A alle varie sottoreti

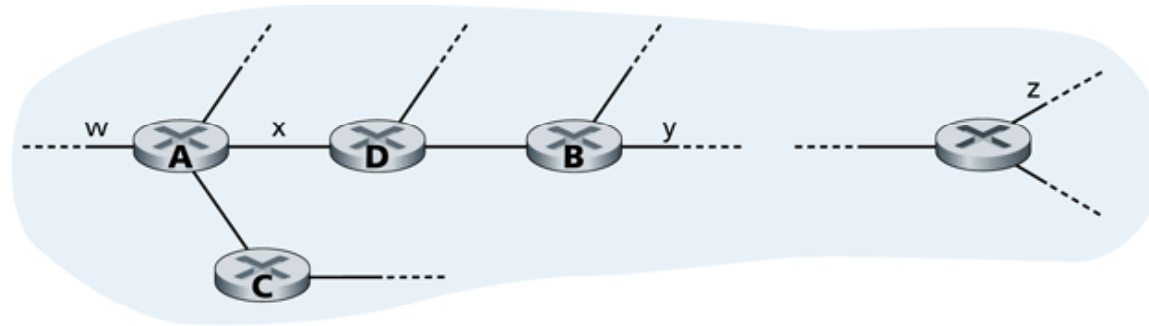
Annunci RIP



- In RIP, i router adiacenti si scambiano gli aggiornamenti d'instradamento ogni 30 secondi circa utilizzando un **messaggio di risposta RIP**, noto anche come **annuncio RIP** (*RIP advertisement*)
- Ogni messaggio contiene un elenco comprendente fino a 25 sottoreti di destinazione all'interno del sistema autonomo nonché la distanza del mittente rispetto a ciascuna di tali sottoreti

RIP: esempio

- Consideriamo il seguente sistema autonomo



- La tabella d'instradamento del router D è la seguente

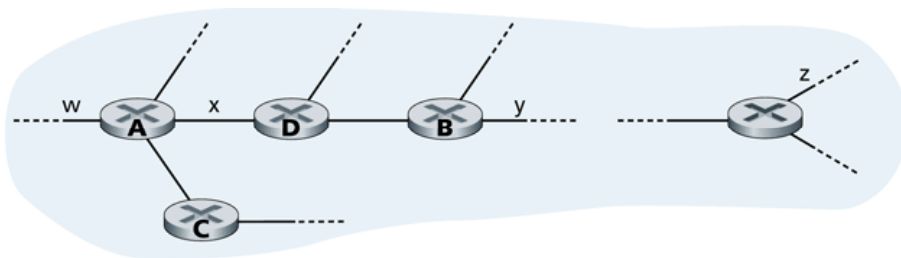
Destination Subnet	Next Router	Number of Hops to Destination
w	A	2
y	B	2
z	B	7
x	—	1
....

RIP: esempio

- Dopo 30 sec il router D riceve una notifica da A

Destination Subnet	Next Router	Number of Hops to Destination
z	C	4
w	—	1
x	—	1
....

- La tabella d'instradamento del router D cambia nel seguente modo



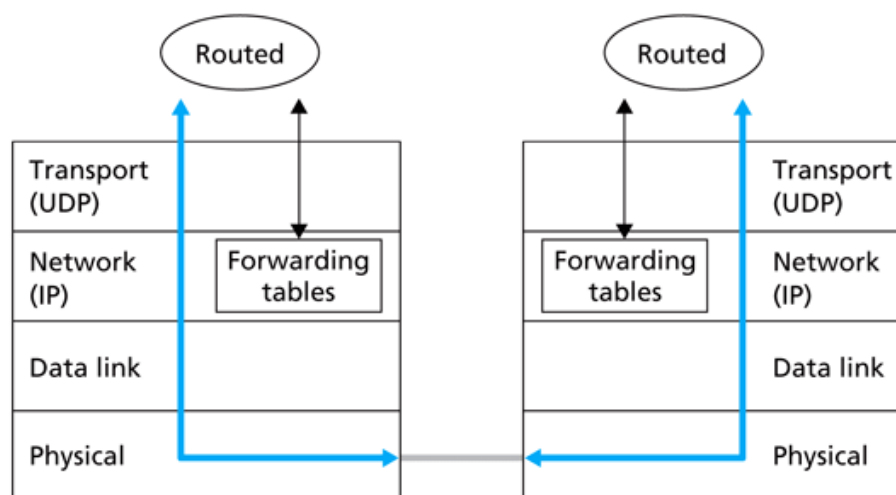
Destination Subnet	Next Router	Number of Hops to Destination
w	A	2
y	B	2
z	A	5
....

RIP: guasto sul collegamento e recupero

- Se un router non riceve notizie dal suo vicino per 180 sec allora il nodo adiacente/il collegamento viene considerato spento o guasto
 - ▣ RIP modifica la tabella d'instradamento locale
 - ▣ Propaga l'informazione mandando annunci ai router vicini
 - ▣ I vicini inviano nuovi messaggi (se la loro tabella d'instradamento è cambiata)
 - ▣ L'informazione che il collegamento è fallito si propaga rapidamente su tutta la rete

Implementazione di RIP

- Un processo chiamato `routed` esegue RIP, ossia mantiene le informazioni d'instradamento e scambia messaggi con i processi `routed` nei router vicini
- Poiché RIP viene implementato come un processo a livello di applicazione, può inviare e ricevere messaggi su una socket standard e utilizzare un protocollo di trasporto standard



OSPF (Open Shortest Path First)

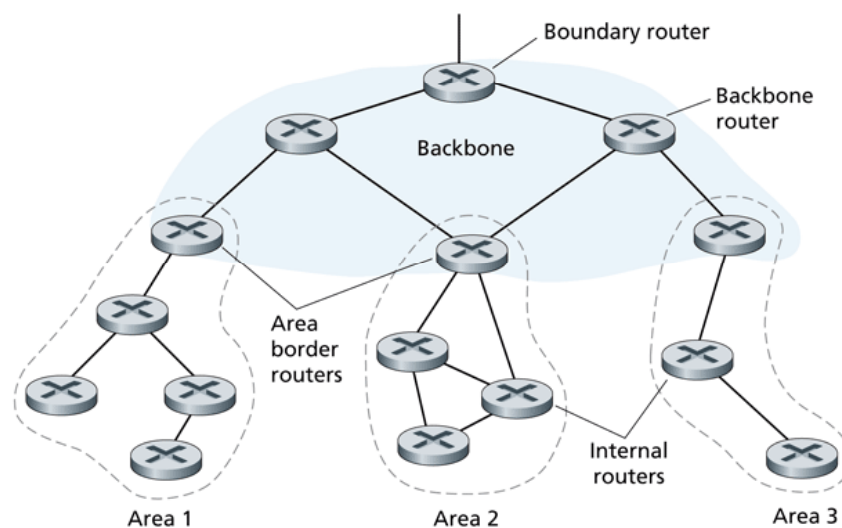
- “open”: le specifiche del protocollo sono pubblicamente disponibili
- È un protocollo a stato del collegamento:
 - ▣ **Flooding** (inondazione) di informazioni per inviare lo stato del collegamento
 - ▣ Dijkstra per la determinazione del percorso a costo minimo
- Con OSPF, ogni volta che si verifica un cambiamento nello stato di un collegamento, il router manda informazioni d'instradamento a tutti gli altri router
- Invia messaggi OSPF all'intero sistema autonomo, utilizzando il flooding
 - ▣ I messaggi OSPF vengono trasportati direttamente da IP (e non da TCP o UDP) con un protocollo di livello superiore

Vantaggi di OSPF

- ❑ **Sicurezza:** gli scambi tra router sono autenticati
- ❑ **Multipath:** quando più percorsi verso una destinazione hanno lo stesso costo, OSPF consente di usarli senza doverne scegliere uno, come invece avveniva in RIP
- ❑ Su ciascun collegamento, vi possono essere più metriche di costo per differenti **TOS**
 - ❑ Esempio: il costo del satellite sarà “basso” per un best effort; elevato per un real time
- ❑ **Supporto integrato per l'instradamento unicast e multicast.**
 - ❑ Per consentire l'instradamento multicast viene impiegato MOSPF (OSPF multicast) che utilizza il database di collegamenti OSPF
- ❑ **Supporto alle gerarchie** in un dominio d'instradamento

OSFP gerarchico

- Gerarchia su due livelli: area locale, dorsale
 - Messaggio di link-state solo all'interno dell'area
 - Ciascun nodo ha una sua area; conosce solo la direzione (shortest path) verso le reti nelle altre aree
- **Router di confine d'area:** appartengono sia a un'area generica sia alla dorsale.
- **Router di dorsale:** effettuano l'instradamento all'interno della dorsale, ma non sono router di confine.
- **Router di confine:** scambiano informazioni con i router di altri sistemi autonomi.

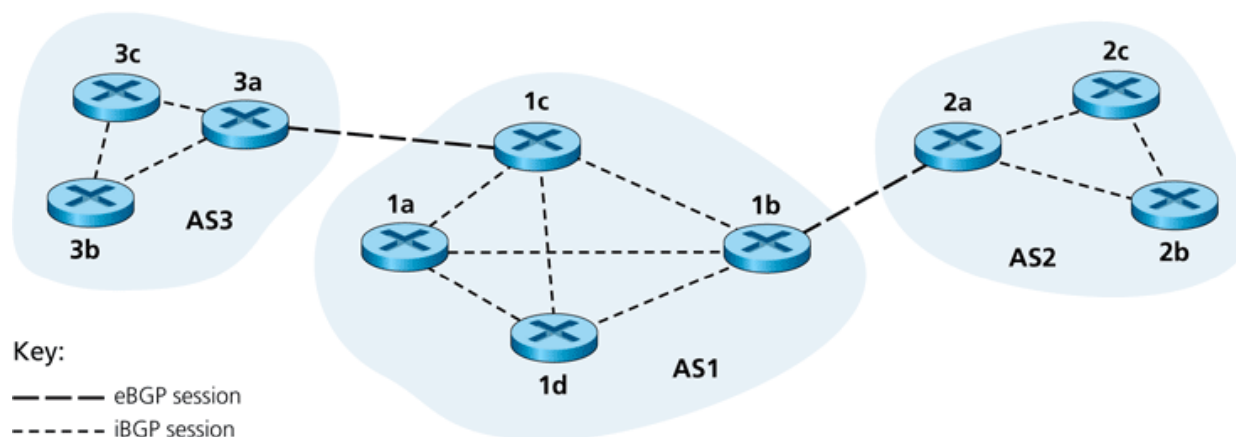


Border Gateway Protocol

- Il **Border Gateway Protocol** (BGP) rappresenta l'attuale standard de facto dei protocolli di instradamento tra sistemi autonomi in Internet
- BGP mette a disposizione di ciascun AS un modo per:
 1. Ottenere informazioni sulla raggiungibilità delle sottoreti da parte di AS confinanti
 2. Propagare le informazioni di raggiungibilità a tutti i router interni di un AS
 3. Determinare percorsi “buoni” verso le sottoreti sulla base delle informazioni di raggiungibilità e delle politiche dell'AS
- BGP consente a ciascuna sottorete di comunicare la propria esistenza al resto di Internet

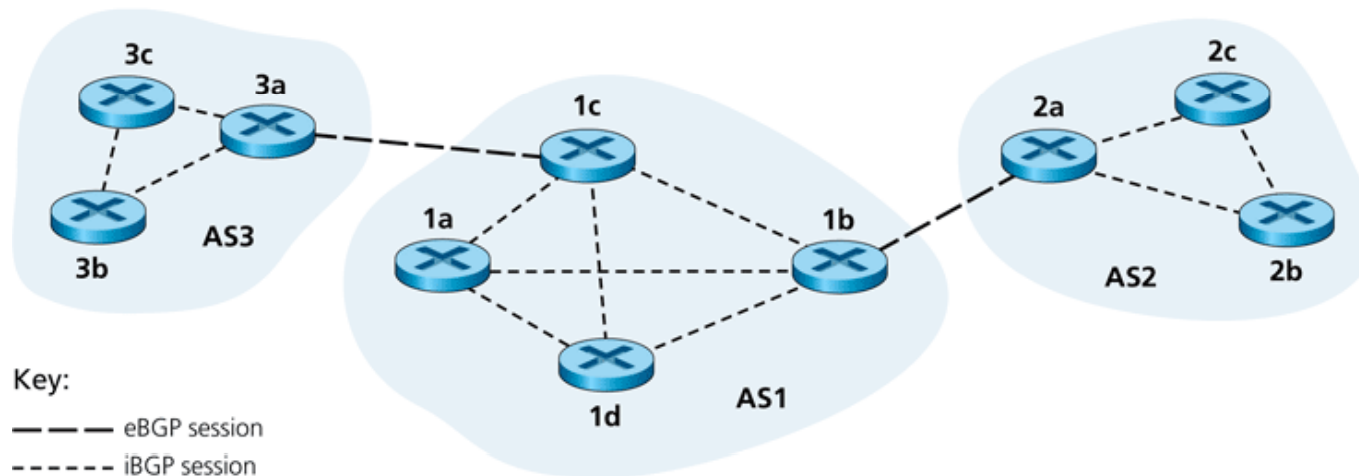
Fondamenti di BGP

- I router ai capi di una connessione TCP sono chiamati **peer BGP**, e la connessione TCP con tutti i messaggi BGP inviati è detta **sessione BGP**
 - ▣ Notiamo che le linee di sessione BGP non sempre corrispondono ai collegamenti fisici
- In BGP le destinazioni sono prefissi CIDR che rappresentano sottoreti
- Quando AS2 annuncia un prefisso a AS1, AS2 sta in realtà promettendo che inoltrerà i datagrammi su un percorso verso il prefisso cui sono destinati
 - ▣ AS2 può aggregare più prefissi nel suo annuncio
 - ▣ Esempio 138.16.64/24, 138.16.65/24, 138.16.66/24 e 138.16.67/24 sono aggregate in 138.16.64/22 ad AS1



Distribuzione delle informazioni di raggiungibilità

- In una sessione eBGP tra i gateway 3a e 1c, AS3 invia ad AS1 la lista di prefissi raggiungibili
- 1c utilizza le proprie sessioni iBGP per distribuire i prefissi agli altri router del sistema autonomo
- Anche AS1 e AS2 si scambiano informazioni sulla raggiungibilità dei prefissi attraverso i propri gateway 1b e 2a
- Quando un router viene a conoscenza di un nuovo prefisso, lo memorizza in una nuova riga della propria tabella d'inoltro



Sommario



- Instradamento gerarchico
- Fondamenti di Instradamento in Internet
- **Instradamento broadcast e multicast**

Instradamento broadcast e multicast

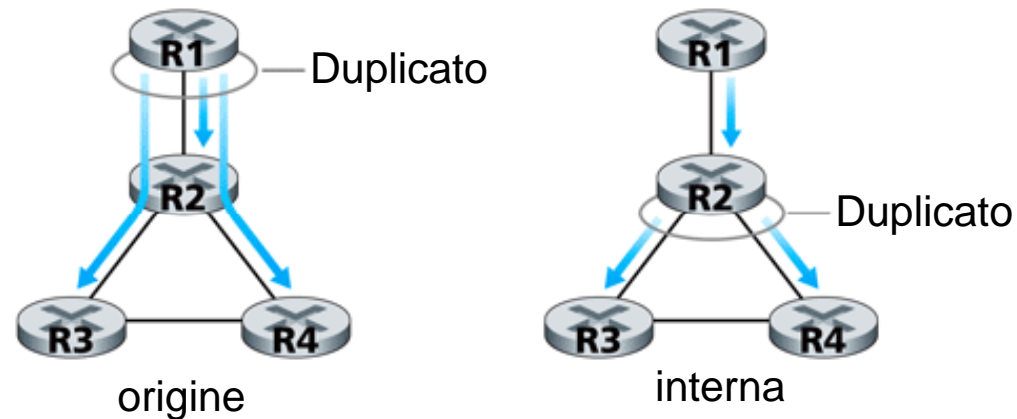


- Finora abbiamo studiato l'**instradamento unicast** ossia punto-punto
- Nell'**instradamento broadcast** il livello di rete offre un servizio per consegnare un pacchetto spedito dalla sorgente a tutti i nodi della rete
- Nell'**instradamento multicast** un nodo invia un pacchetto solo ad alcuni nodi della rete

Instradamento broadcast

- Consegna di un pacchetto spedito da un nodo origine a tutti gli altri nodi della rete
- La duplicazione all'origine è inefficiente

Trasmissione di duplicato

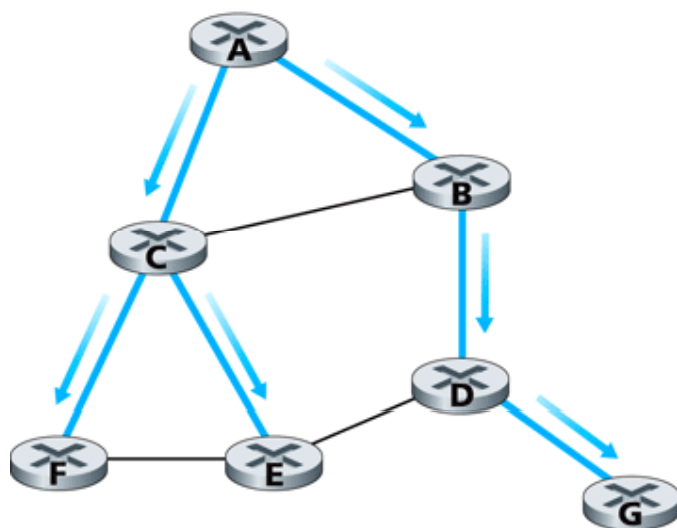


Duplicazione interna alla rete

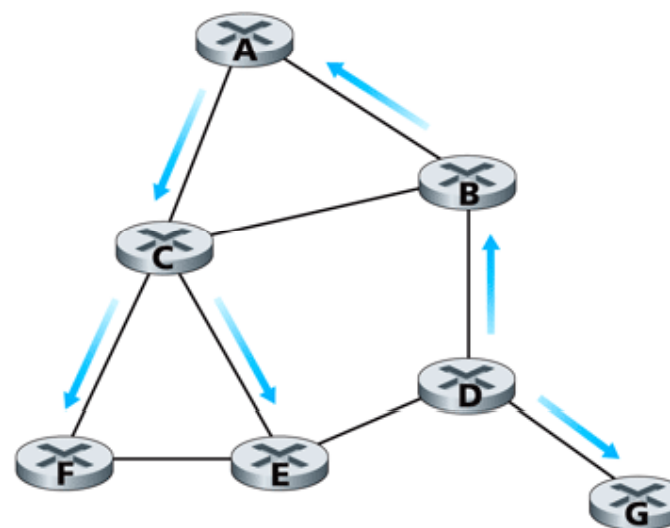
- **Flooding** (inondazione): quando un nodo riceve un pacchetto broadcast, lo duplica e lo inoltra a tutti i propri vicini
 - ▣ Problema: se nel grafo c'è un ciclo, più copie di un pacchetto broadcast continueranno a percorrere quel ciclo
- **Flooding controllato**: un nodo origine pone il proprio indirizzo e un numero di sequenza broadcast nei pacchetti, prima di inviarli ai suoi vicini
 - ▣ Ogni nodo mantiene una lista di indirizzi d'origine e di numeri di sequenza per ogni pacchetto broadcast ricevuto
 - ▣ **Broadcast su percorso inverso** (RPB): un router riceve un pacchetto broadcast, lo trasmette su tutti i propri collegamenti in uscita solo se è pervenuto attraverso il percorso unicast più breve tra il router e l'origine.
- **Albero di copertura**
 - ▣ Elimina i pacchetti broadcast ridondanti

Albero di copertura

- Ogni nodo invia un pacchetto broadcast solo sui collegamenti che appartengono all'albero di copertura



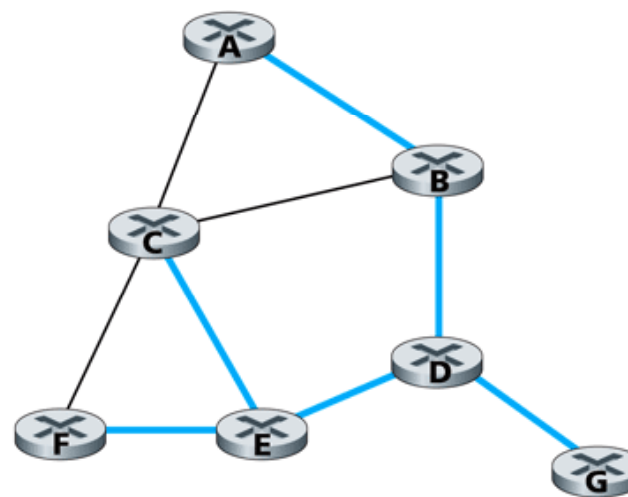
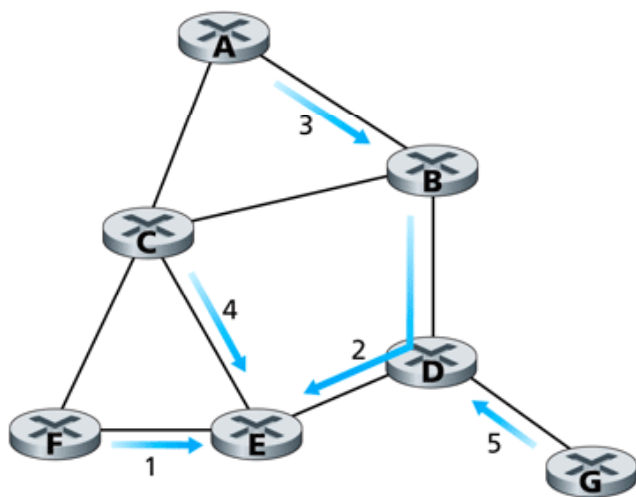
Broadcast da A



Broadcast da D

Determinazione dell'albero

- Si definisce un nodo centrale
- I nodi inoltrano al nodo centrale il messaggio di adesione
 - ▣ Il messaggio prosegue fino a quando raggiunge un router che già appartiene all'albero di copertura o arriva al nodo centrale

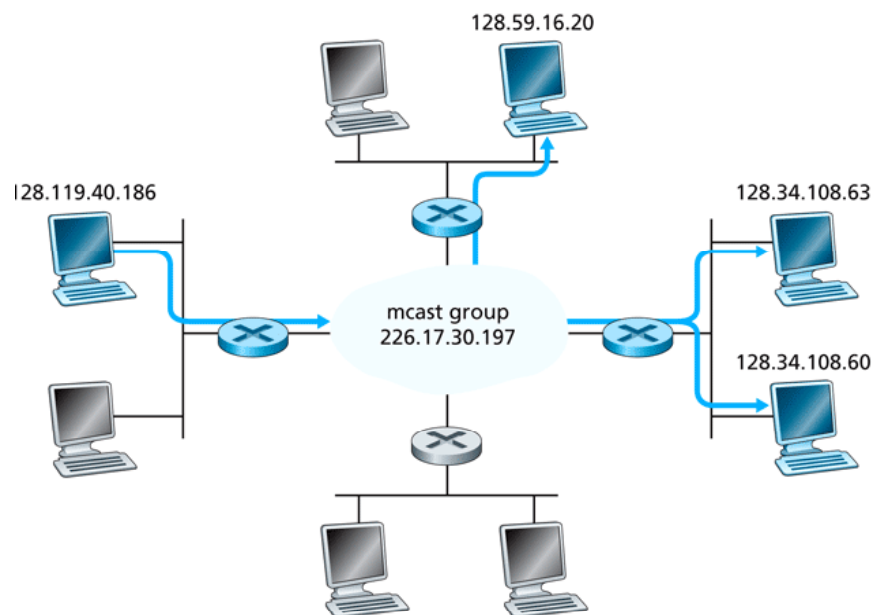


Instradamento multicast

- L'idea è consegnare pacchetti ad un sottoinsieme di nodi della rete
 - ▣ Tipica applicazione di streaming video e audio
- Nella comunicazione multicast i problemi sono:
 - ▣ In che modo identifichiamo i destinatari?
 - ▣ In che modo indirizziamo i destinatari per consegnare i pacchetti?
- Una soluzione banale sarebbe quella di includere nel pacchetto multicast l'indirizzo dei suoi destinatari

Gruppo multicast

- L'idea è di associare un indirizzo IP (classe D) un gruppo di destinatari cui verrà consegnata una copia del pacchetto
- Ogni pacchetto indirizzato a questo indirizzo sarà inoltrato al **gruppo multicast**



Il protocollo IGMP



- Il protocollo **Internet Group Management protocol** (IGMP) permette di:
 - ▣ Gestire la creazione di un gruppo
 - ▣ Sciogliere un gruppo
 - ▣ Aggiungere nuovi host al gruppo
 - ▣ Decidere chi può entrare nel gruppo
 - ▣ Come operano i nodi della rete per consegnare un datagramma multicast ai membri di un gruppo