



**Corso di Laurea in Ingegneria Informatica**

**Corso di Reti di Calcolatori**

**Docente: Simon Pietro Romano**  
**[spromano@unina.it](mailto:spromano@unina.it)**

---

Routing

—

Parte terza:

Internet e il routing gerarchico



## Il routing in Internet: com'era

- Negli anni 80 l'architettura di Internet era molto semplice:
  - c'era un'unica rete backbone
  - ogni rete fisica era collegata alla backbone da un core router:
    - ogni core router conosceva le rotte per tutte le reti fisiche



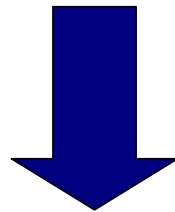
## Il routing in Internet: problematiche

- Non è accettabile che ci sia un unico proprietario per la backbone di tutta la rete
- Non tutte le reti fisiche possono essere collegate direttamente alla backbone
- Soluzione non scalabile:
  - al crescere del numero di core router diventa impossibile mantenerli tutti aggiornati...



# Il routing in Internet: com'è

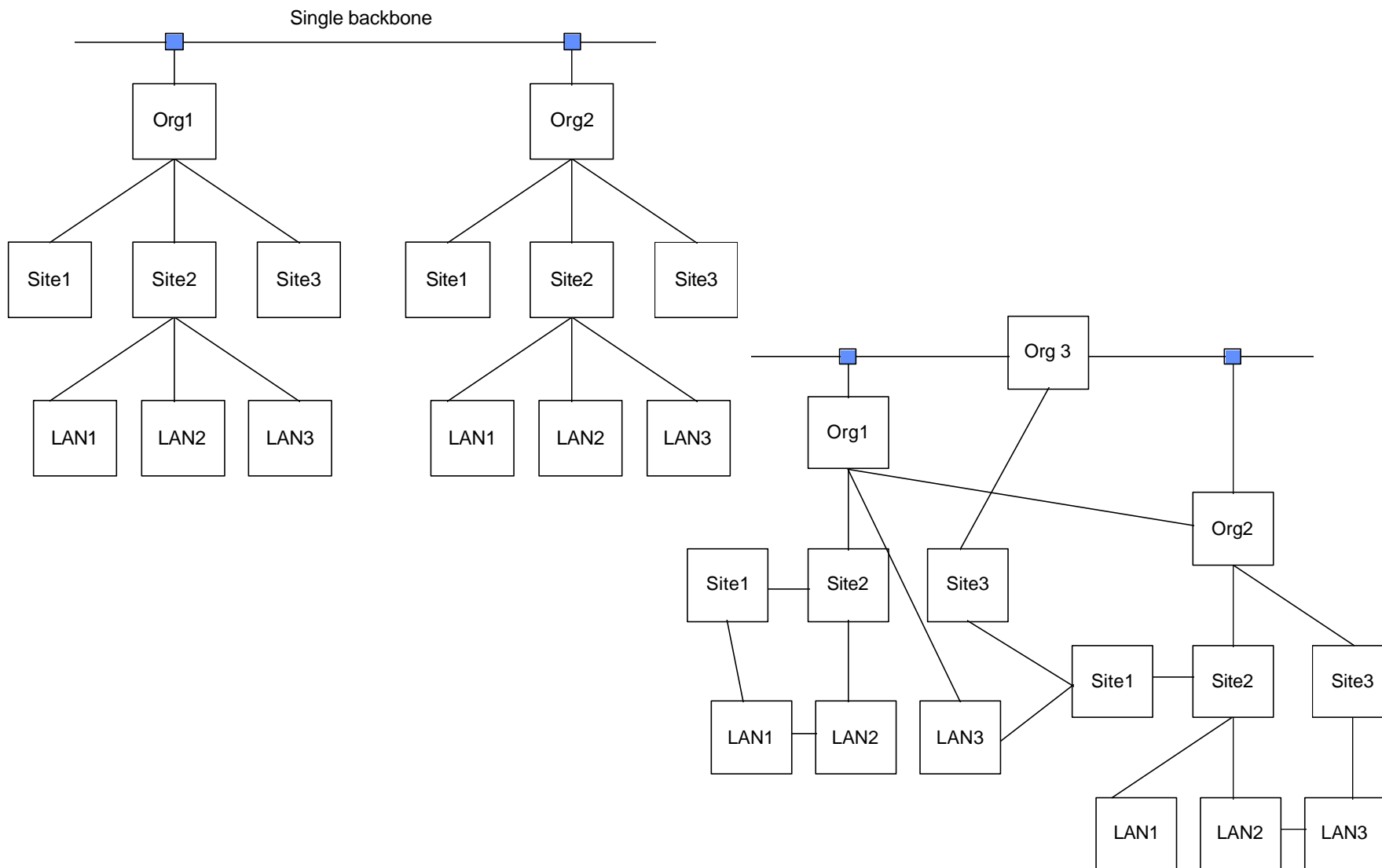
- Reti con *Peer Backbone*:
  - prevedono l'esistenza di diverse dorsali:
    - gli amministratori delle reti backbone devono concordare una politica di routing per evitare la creazione di cicli
    - i core router delle diverse reti devono scambiarsi informazioni sulle rotte



Routing Gerarchico



# Il routing in Internet: com'era e com'è





## Il routing in Internet: com'è

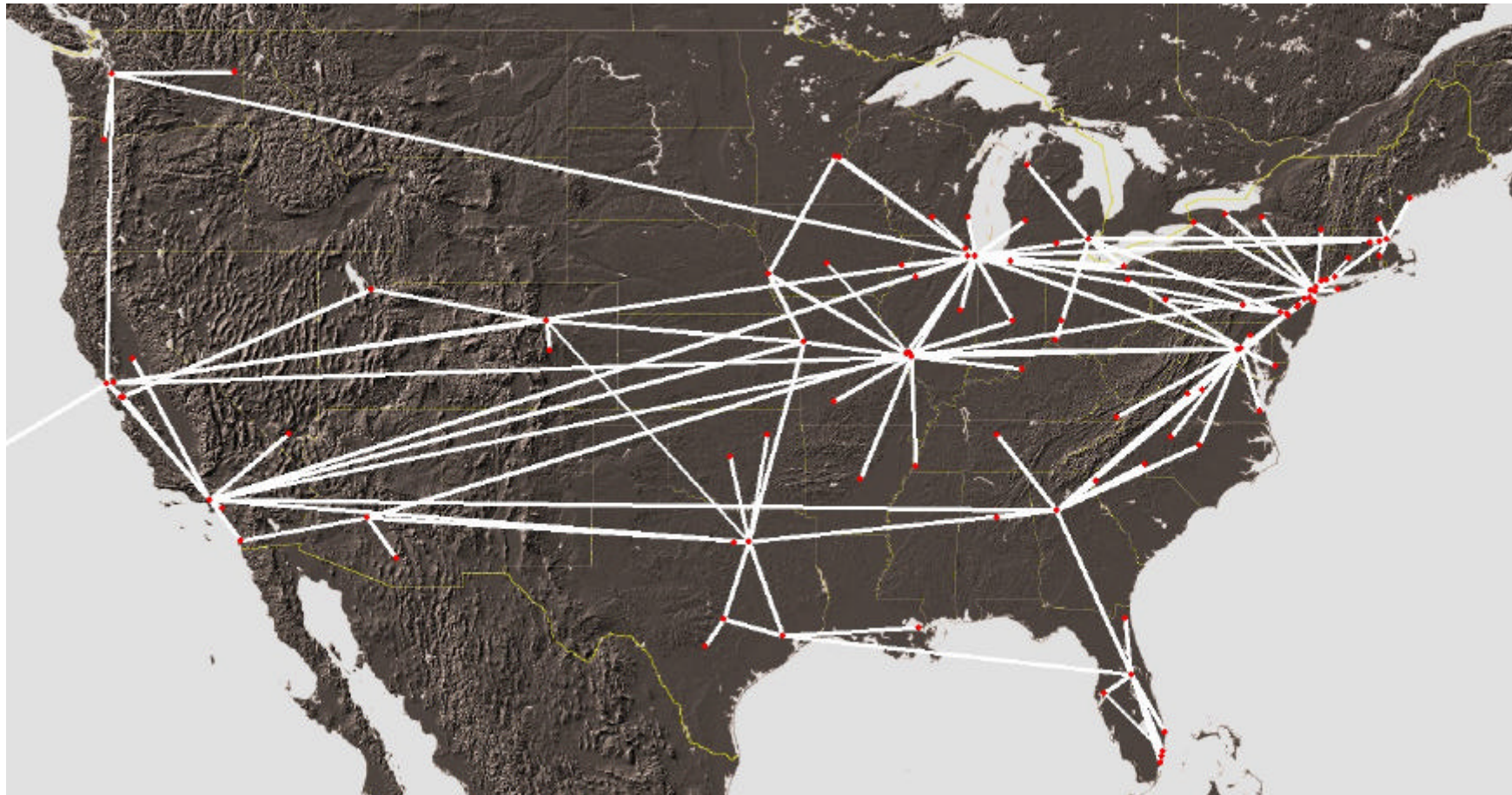
- Ai nostri giorni Internet è strutturata come un insieme di **Autonomous System** (AS):
  - un AS è una collezione di reti amministrate da un'unica autorità
- Ogni AS contiene un numero limitato di reti:
  - la gestione delle informazioni di routing all'interno dell'AS è più semplice



## Il Routing in presenza di Autonomous System

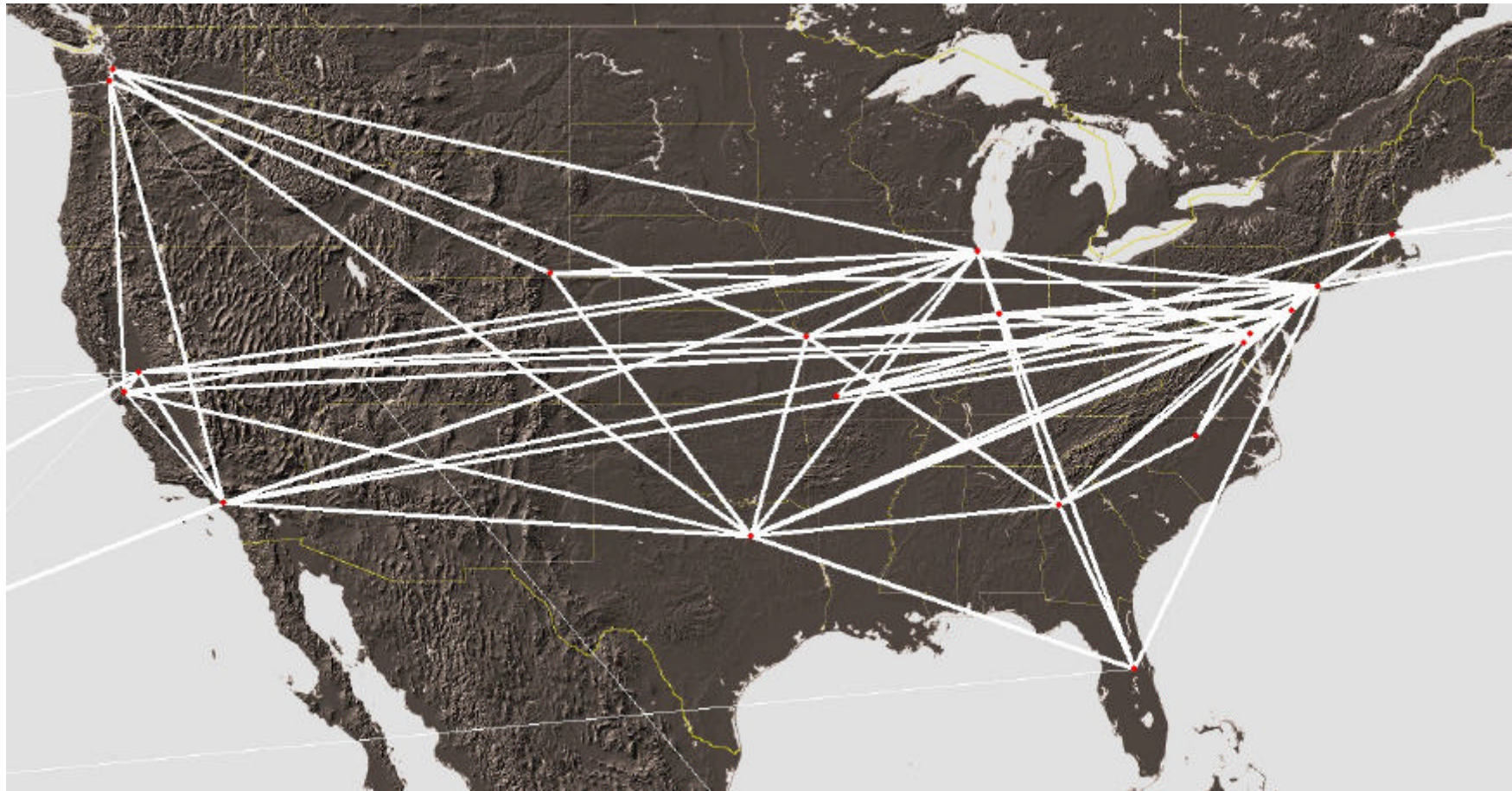
- Ogni AS è responsabile del routing all'interno delle sue reti:
  - **routing interno**
- Gli AS devono scambiarsi informazioni di raggiungibilità:
  - **routing esterno**
    - garantisce la correttezza e la consistenza delle informazioni memorizzate nelle tabelle dei router
- Ogni AS deve essere identificato da un nome:
  - AS number (16 bit)

# AT&T (AS-7018)



*Background image courtesy JHU, applied physics labs*

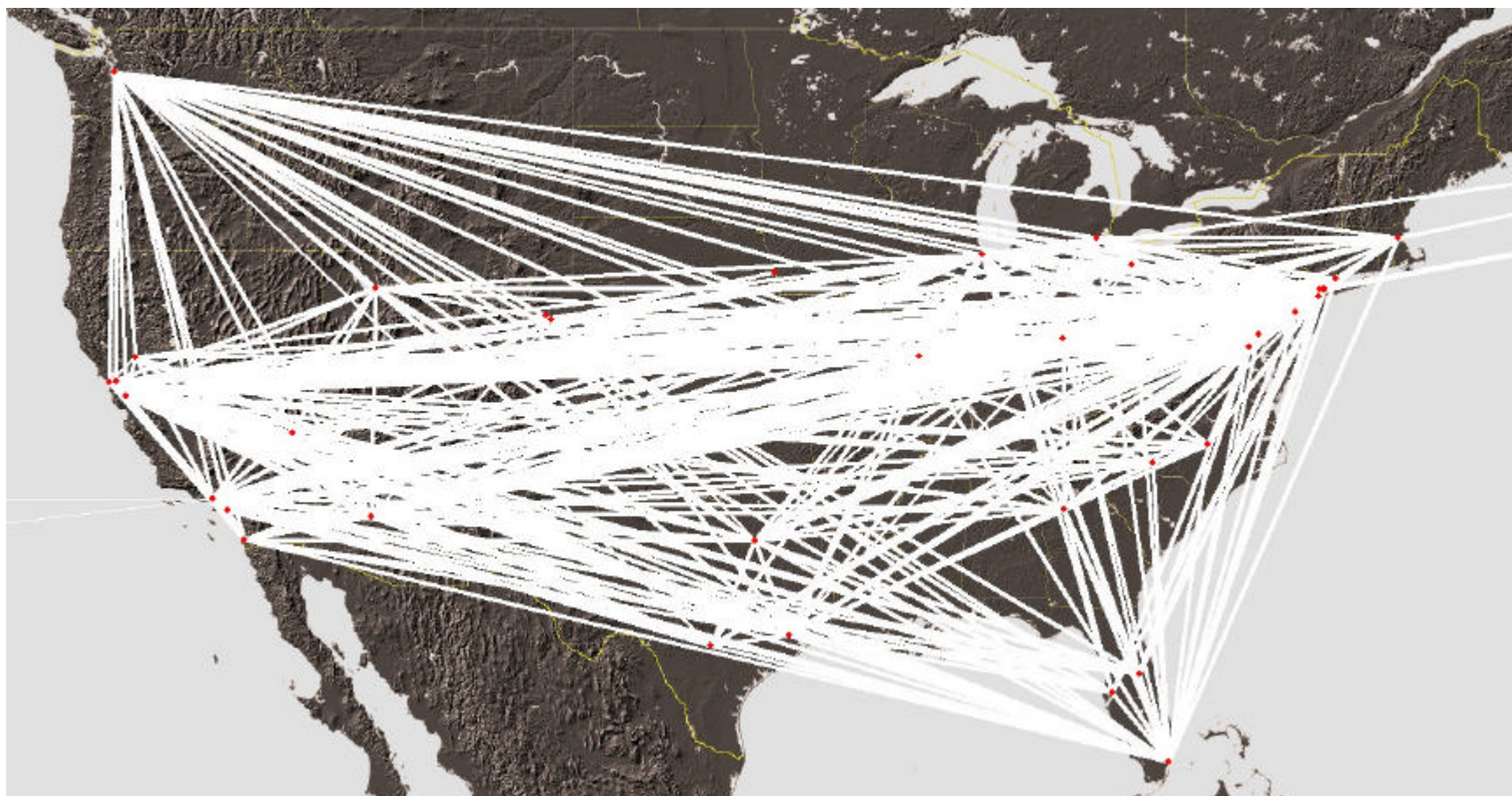
# Sprint (AS-1239)



*Background image courtesy JHU, applied physics labs*



# Level3 (AS-3356)



*Background image courtesy JHU, applied physics labs*



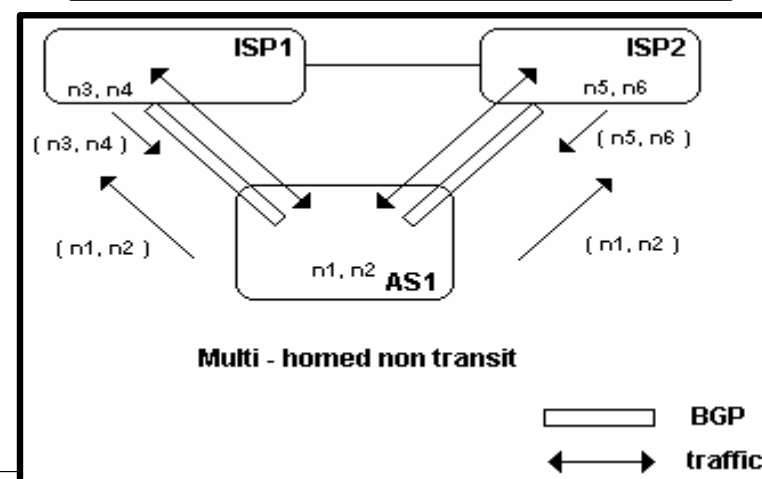
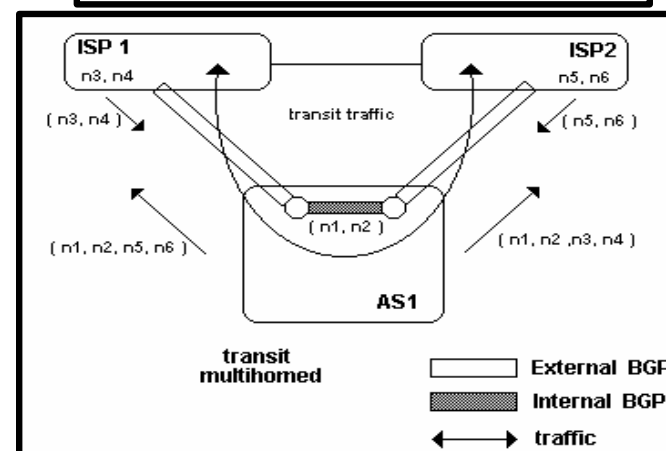
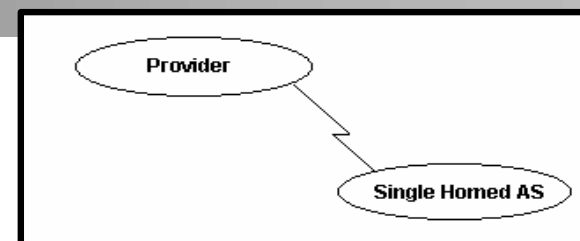
# Routing interno e routing esterno

- Le tabelle di routing interne di un AS sono mantenute dall'**Interior Gateway Protocol** (IGP):
  - i messaggi IGP sono scambiati tra router appartenenti al medesimo AS
  - contengono solo informazioni sulle reti dell'AS
    - RIP (distance vector)
    - OSPF (link state)
    - IGRP (Interior Gateway Routing Protocol -- Cisco)
- Le tabelle di routing esterne di un AS sono mantenute dall'**Exterior Gateway Protocol** (EGP):
  - i messaggi EGP sono scambiati tra router designati dai rispettivi AS (border router)
  - contengono informazioni sulle rotte conosciute dai due AS
    - EGP (Exterior Gateway Protocol), ormai obsoleto
    - BGP (Border Gateway Protocol): approccio *path vector*



# Tipi di AS

- Un solo border router:
  - *stub o single-homed*:
    - (piccole corporate)
- Più border router:
  - *multi-homed*:
    - *transit* (provider)
      - accetta di essere attraversato da traffico diretto ad altri AS
    - *non-transit* (grandi corporate)
      - non accetta di essere attraversato da traffico diretto ad altri AS





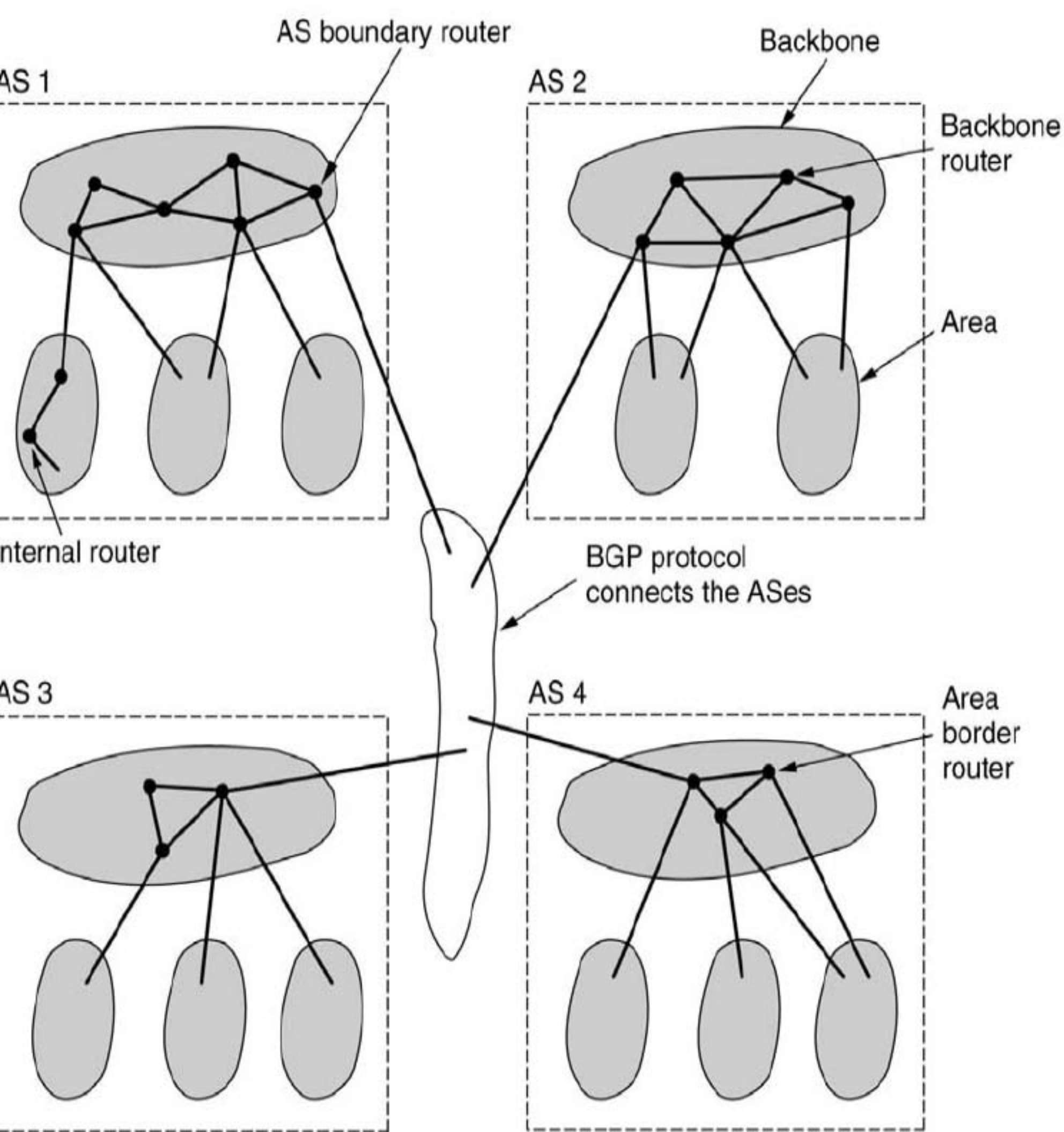




# I gateway router

Sono speciali router dell'AS, che:

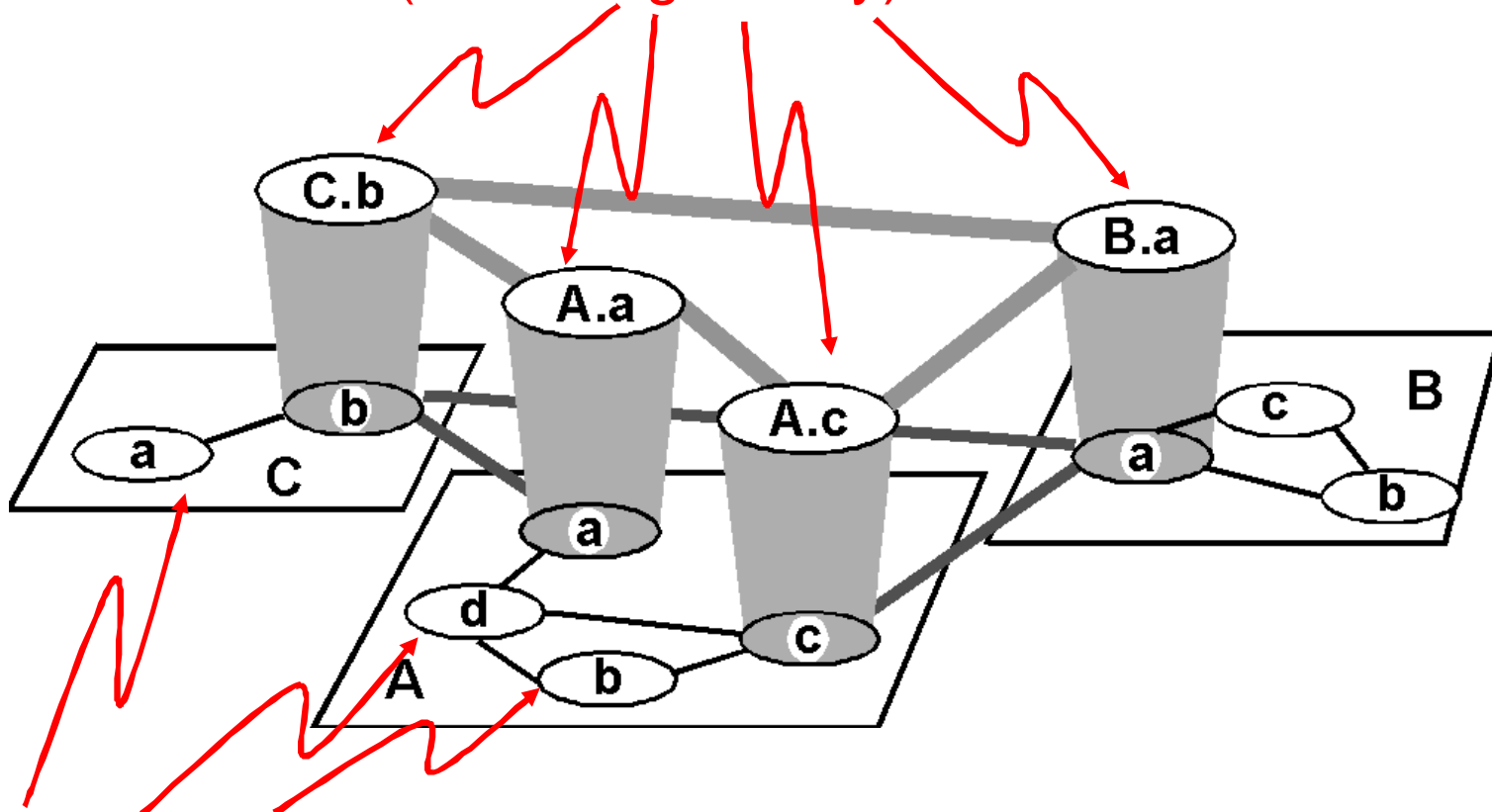
- eseguono protocolli di *routing intra-AS* con altri router appartenenti all'AS
- sono, inoltre, responsabili del routing verso destinazioni esterne al proprio AS:
  - a tal fine, eseguono un protocollo di *routing inter-AS* con altri gateway router



# Instradamento gerarchico in Internet (1/4)



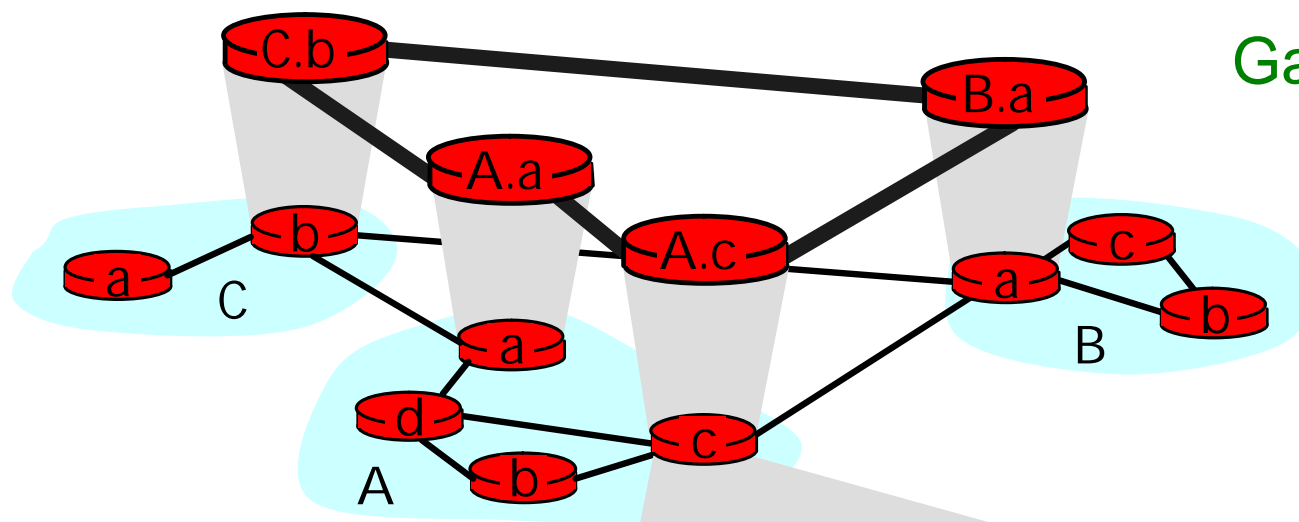
Inter-AS border (exterior gateway) routers



Intra-AS interior (gateway) routers



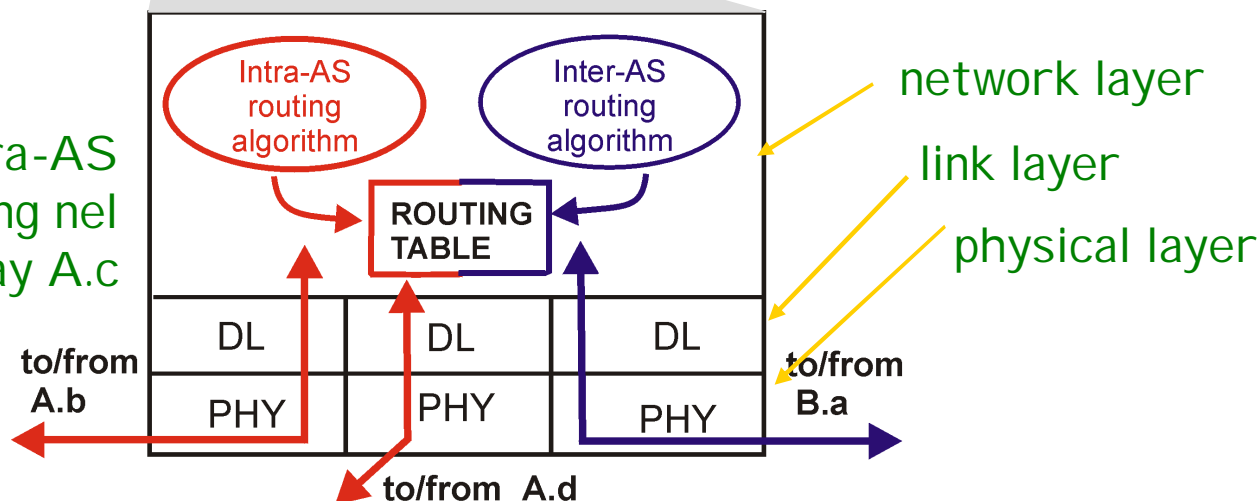
# Instradamento gerarchico in Internet (2/4)



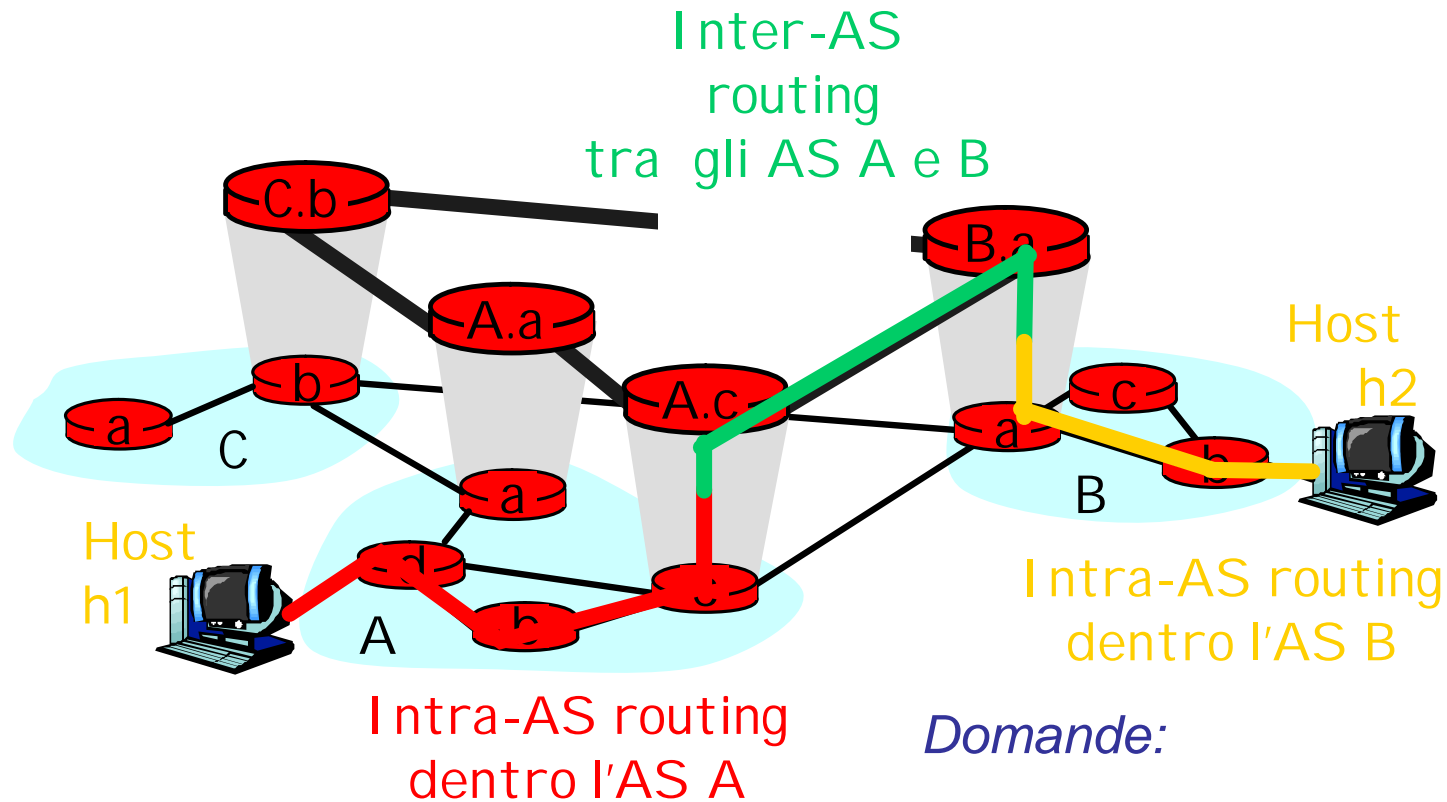
## Gateway:

- eseguono inter-AS routing fra loro
- eseguono intra-AS routing con altri router nel loro AS

inter-AS, intra-AS routing nel gateway A.c



# Instradamento gerarchico in Internet (3/4)



Domande:

- Cosa sa il router A.d ?
- Cosa sa il router A.c ?
- Cosa sa il router B.a ?

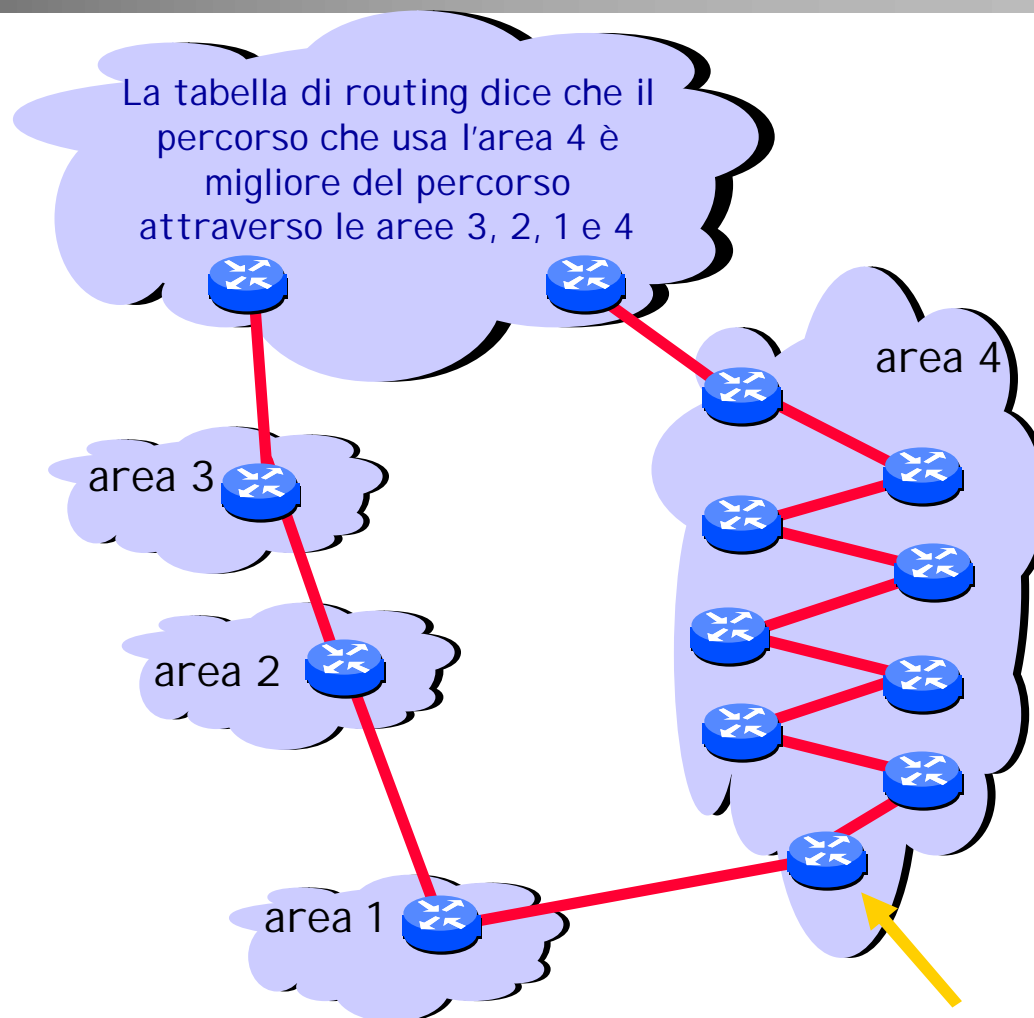


# Routing Gerarchico vs Routing Piatto

- Il routing gerarchico è usato per migliorare la scalabilità:

- con 150 milioni di destinazioni:
  - non è possibile memorizzare tutte le destinazioni nelle routing table
  - lo scambio di tabelle di routing così grandi diminuisce notevolmente la banda utilizzata

Ma...





# Border Gateway Protocol (BGP)

- Uno standard *de facto*
- Il più diffuso protocollo EGP
  - sviluppato nell'89
  - attualmente arrivato alla versione 4
- Utilizza la tecnica *path vector*
  - generalizzazione della tecnica distance vector
  - ogni messaggio contiene una lista di percorsi
- Ogni Border Gateway comunica a tutti i vicini l'intero cammino (cioè la sequenza di AS) per verso una specifica destinazione



# BGP: un esempio

- Il gateway X può memorizzare, per la destinazione Z, il seguente cammino:

$$\text{Path (X,Z)} = X, Y1, Y2, Y3, \dots, Z$$

- Il gateway X manda il suo cammino al peer gateway W
- Il gateway W può scegliere se selezionare il cammino offerto dal gateway X, in base, ad esempio:
  - al costo
  - a questioni politico/economiche
- Se W seleziona il cammino annunciato da X:

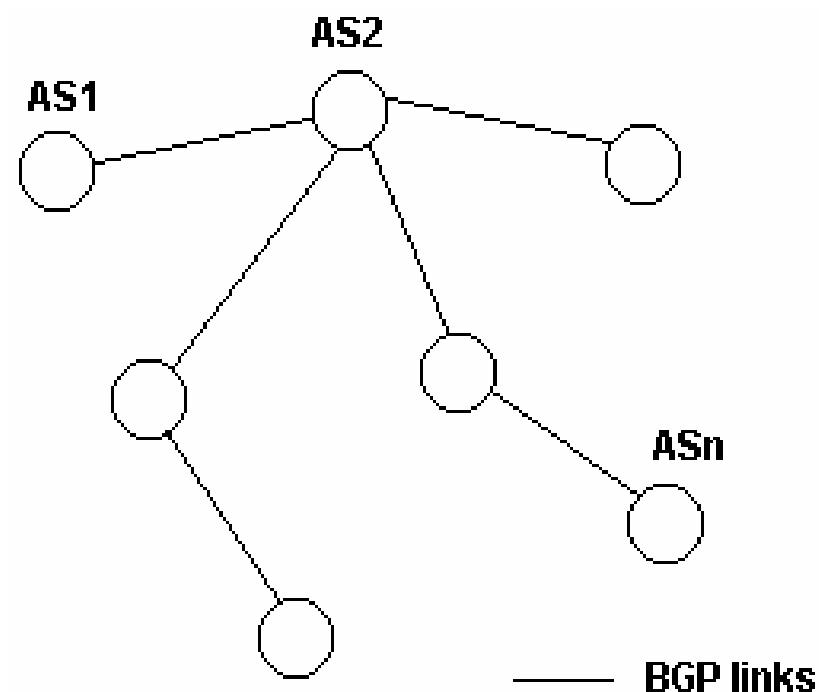
$$\text{Path (W,Z)} = w, \text{Path (X,Z)}$$

- la selezione del cammino è basata più su aspetti politici ed amministrativi (ad es. non passare attraverso concorrenti) che sul costo (ad es. # di AS attraversati)



# BGP: analisi

- BGP utilizza i messaggi scambiati tra i border router per costruire un grafo di AS
- In genere si costruisce un albero:
  - **AS path tree**



AS\_path tree



## BGP: funzioni dei peer

- I BGP peer svolgono tre funzioni principali:
  - stabiliscono la connessione e concordano i parametri di comunicazione
  - si scambiano informazioni di raggiungibilità
  - effettuano un monitoraggio periodico dello stato degli altri peer



## BGP: politiche di instradamento

- BGP consente solo di pubblicizzare dei percorsi verso altri AS:
  - non associa nessuna metrica ai percorsi
- Il border router “esporta” solo le informazioni consentite dalla politica di routing dell’AS
- Non è possibile considerare BGP come un classico algoritmo di routing



# BGP: tipi di messaggio

- **OPEN**
  - inizializza la connessione tra peer:
    - apre connessione TCP
    - autentica il mittente
- **UPDATE**
  - aggiornamento delle informazioni di raggiungibilità
    - annuncio di un nuovo cammino
    - eliminazione di un cammino preesistente
- **NOTIFICATION**
  - risposta ad un messaggio errato
  - chiusura di una connessione
- **KEEPALIVE**
  - verifica che il peer sia ancora attivo
    - si tratta di messaggi che mantengono la connessione attiva in assenza di UPDATE
    - serve a:
      - tenere attiva la connessione TCP
      - dare l'ACK ad una richiesta di OPEN



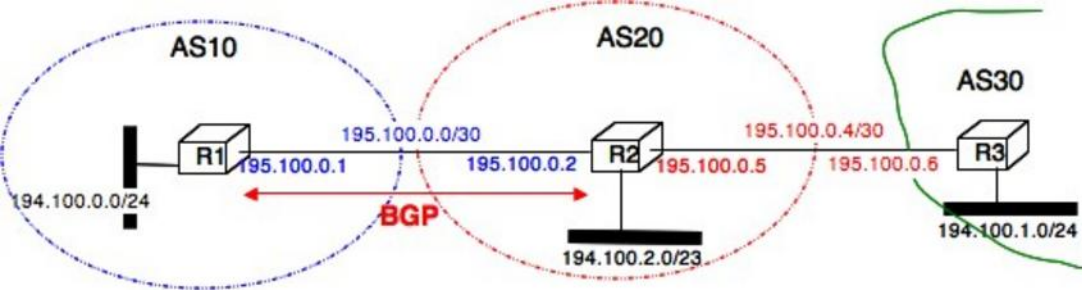
# BGP: funzionamento

- Due peer periodicamente si scambiano informazioni di raggiungibilità:
  - nuove rotte
  - vecchie rotte non più valide
- Le informazioni di raggiungibilità vengono trasmesse tramite il messaggio UPDATE
- Tipi di UPDATE:
  - WITHDRAWN
    - percorsi non più disponibili
  - PATH
    - nuovi percorsi:
      - lista delle reti raggiungibili, con relativi attributi



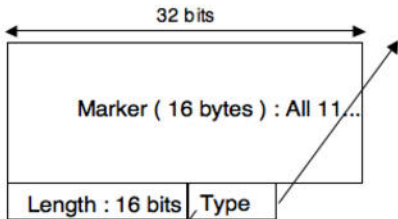
# BGP: routing

- BGP consente solo di pubblicizzare informazioni di raggiungibilità:
  - non garantisce la consistenza delle informazioni nelle tabelle di routing
  - **non è un algoritmo di routing**
- Per implementare un sistema di routing inter-AS è necessario che gli AS si fidino l'uno dell'altro
  - il demone **gated** implementa un'interfaccia tra AS distinti:
    - supporta politiche di routing basate su vari tipi di metriche
    - è in grado di integrare il routing interno con quello esterno:
      - può usare un protocollo IGP su un'interfaccia e BGP su un'altra



**WITHDRAW**

prefix: 194.100.1.0/24



Max length of BGP messages : **4096** bytes

- OPEN  
usato per stabilire la sessione BGP
- UPDATE  
usato per inviare nuove rotte e rimuovere quelle inutilizzate
- NOTIFICATION  
usato per informare il peer remoto di un errore  
La sessione BGP è chiusa alla trasmissione o ricezione di un messaggio NOTIFICATION
- KEEPALIVE  
un messaggio deve essere inviato almeno ogni 30 secondi durante una sessione BGP
- ROUTE\_REFRESH  
utilizzato per riavviare



## Il Routing Arbiter System

- Un meccanismo per coordinare il routing a livello globale
- Un database distribuito ed autenticato che mantiene tutte le informazioni di raggiungibilità
- Sostituisce il core network



# Route Server

- L'architettura di Internet è basata sui **Network Access Point (NAP)**:
  - punti di interconnessione di tutti gli ISP di un'area geografica
- Ogni NAP ha un **route server (RS)**, che mantiene una copia del Routing Arbiter Database
- Ogni ISP ha un border gateway che usa BGP per comunicare con il route server



# Inter-AS vs Intra-AS routing

- **Politica:**
  - Inter-AS
    - si concentra su aspetti politici (es: quale provider scegliere o evitare)
  - Intra-AS
    - si applica in una singola organizzazione:
      - all'interno dell'organizzazione, la politica di routing applicata è coerente
- **Dimensioni:**
  - si realizza un routing gerarchico
  - si diminuisce il traffico per aggiornare le tabelle di routing
- **Prestazioni:**
  - Intra-AS
    - si concentra sull'ottimizzazione delle prestazioni
  - Inter-AS
    - gli aspetti politico-amministrativi sono prevalenti