

**Corso di Laurea in Ingegneria Informatica**



**Corso di Reti di Calcolatori I**

**Roberto Canonico ([roberto.canonico@unina.it](mailto:roberto.canonico@unina.it))**

**Giorgio Ventre ([giorgio.ventre@unina.it](mailto:giorgio.ventre@unina.it))**

**Internet e il routing gerarchico  
Autonomous System**

**I lucidi presentati al corso sono uno strumento didattico  
che NON sostituisce i testi indicati nel programma del corso**



## Nota di Copyright

Questo insieme di trasparenze è stato ideato e realizzato dai ricercatori del Gruppo di Ricerca COMICS del Dipartimento di Informatica e Sistemistica dell'Università di Napoli Federico II. Esse possono essere impiegate liberamente per fini didattici esclusivamente senza fini di lucro, a meno di un esplicito consenso scritto degli Autori. Nell'uso dovranno essere esplicitamente riportati la fonte e gli Autori. Gli Autori non sono responsabili per eventuali imprecisioni contenute in tali trasparenze né per eventuali problemi, danni o malfunzionamenti derivanti dal loro uso o applicazione.

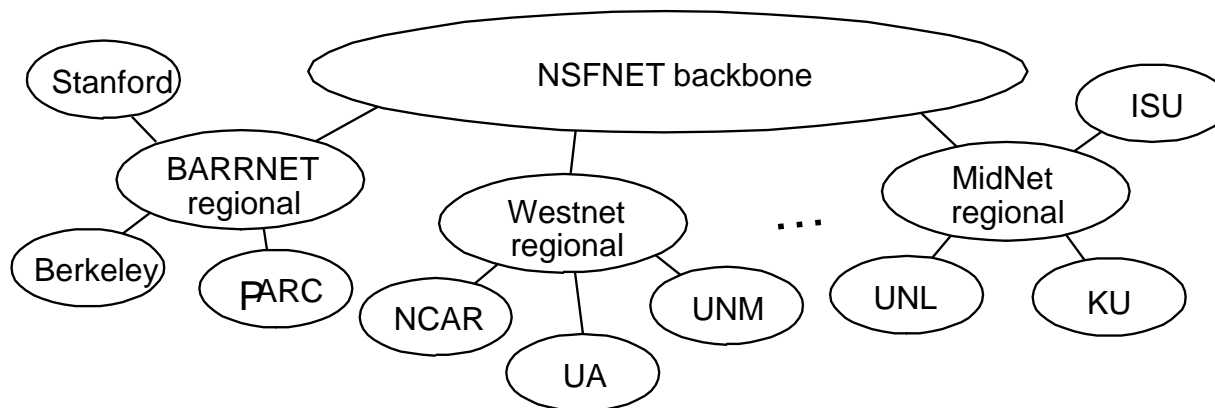
### Autori:

Simon Pietro Romano, Antonio Pescapè, Stefano Avallone,  
Marcello Esposito, Roberto Canonico, Giorgio Ventre



# 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





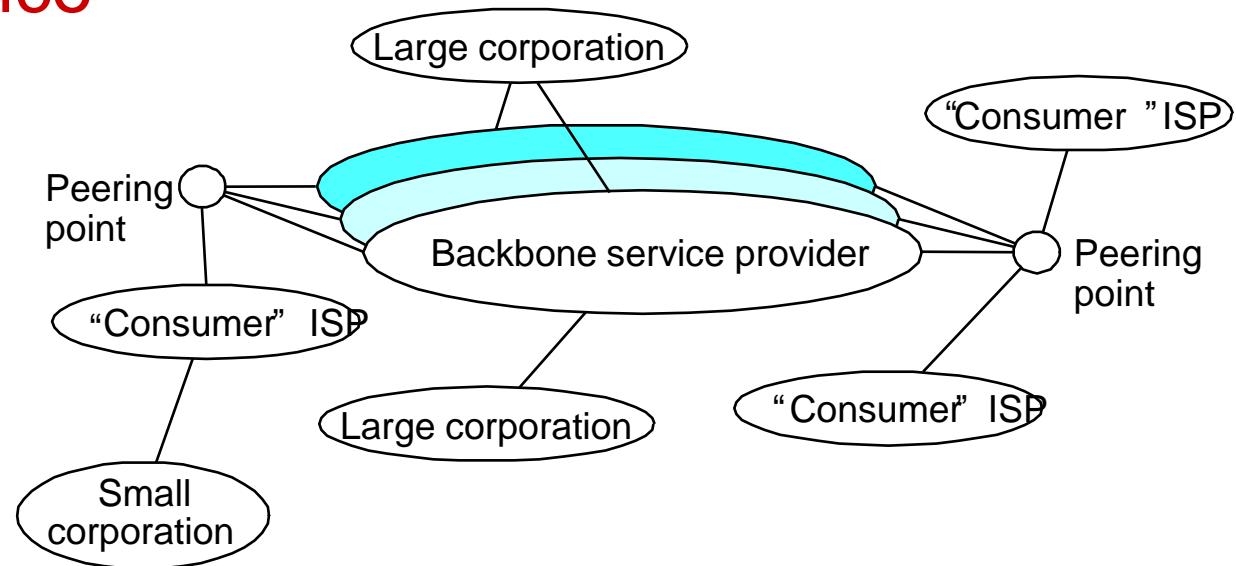
# Il routing in Internet: problematiche

- 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

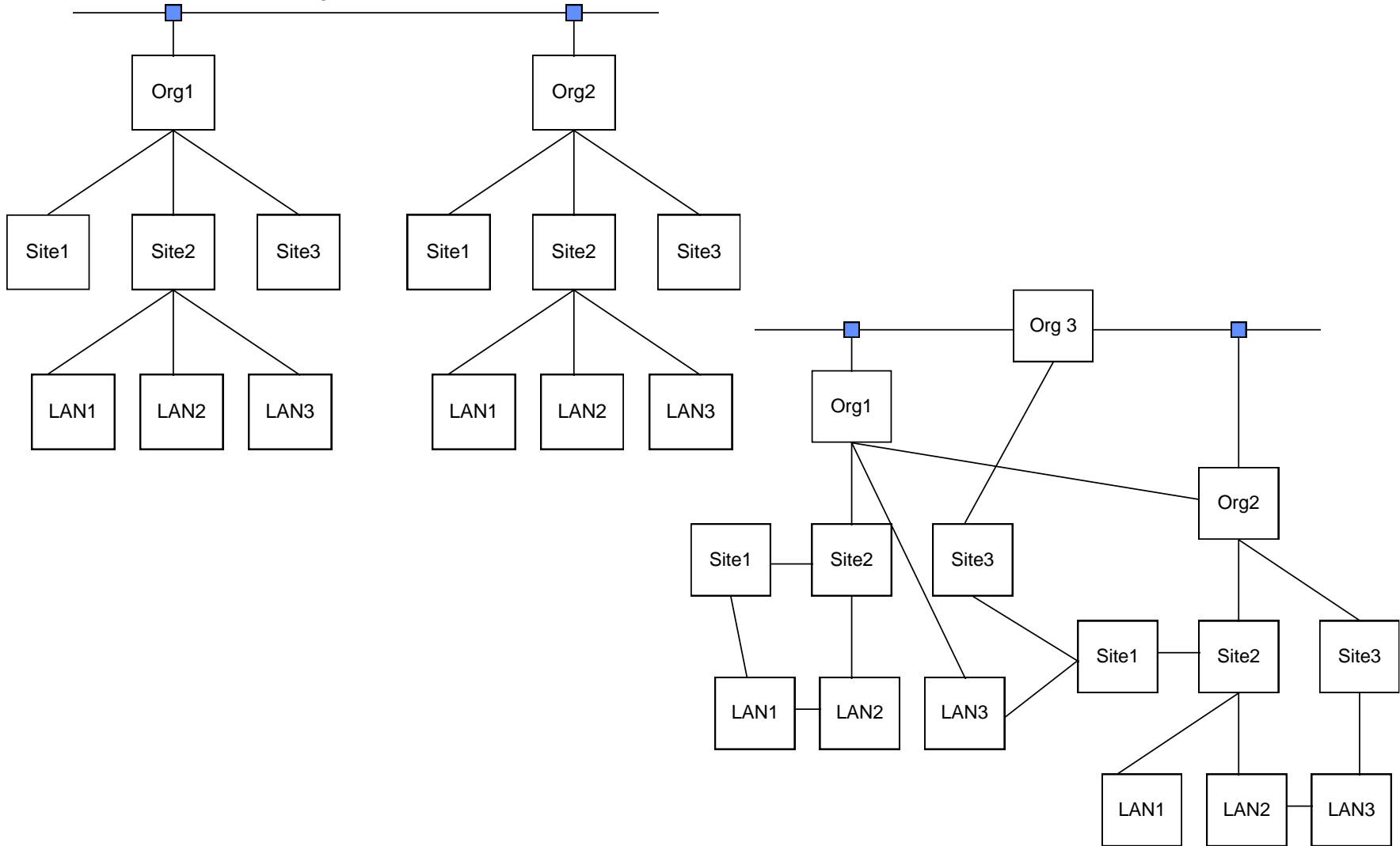
- Reti con *Peer Backbone*:
  - prevedono l'esistenza di diverse dorsali:
    - gli amministratori delle reti backbone devono concordare una politica di routing per evitare la creazione di cicli
    - i core router delle diverse reti devono scambiarsi informazioni sulle rotte
- **Routing Gerarchico**



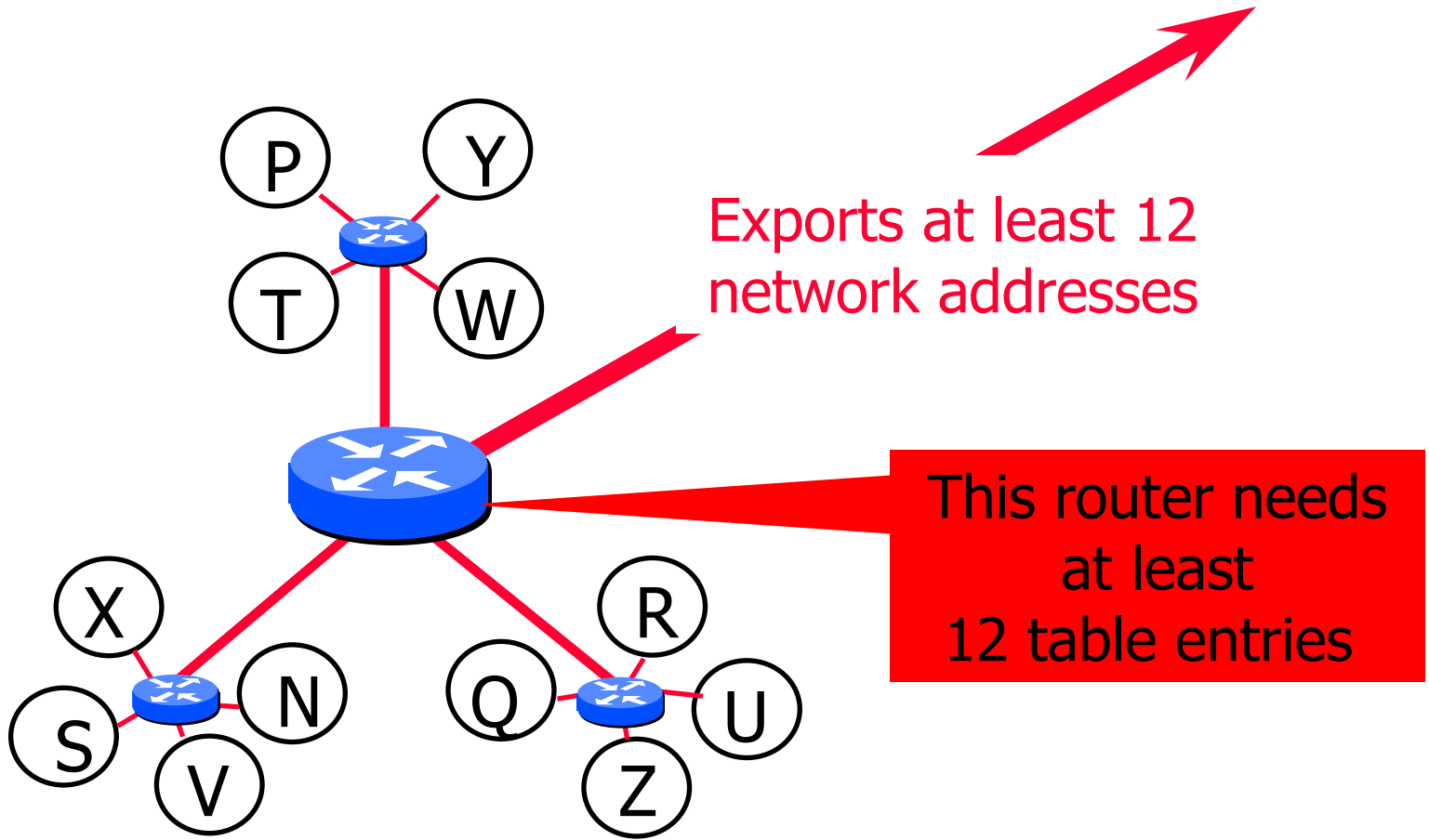


# Il routing in Internet: com'era e com'è

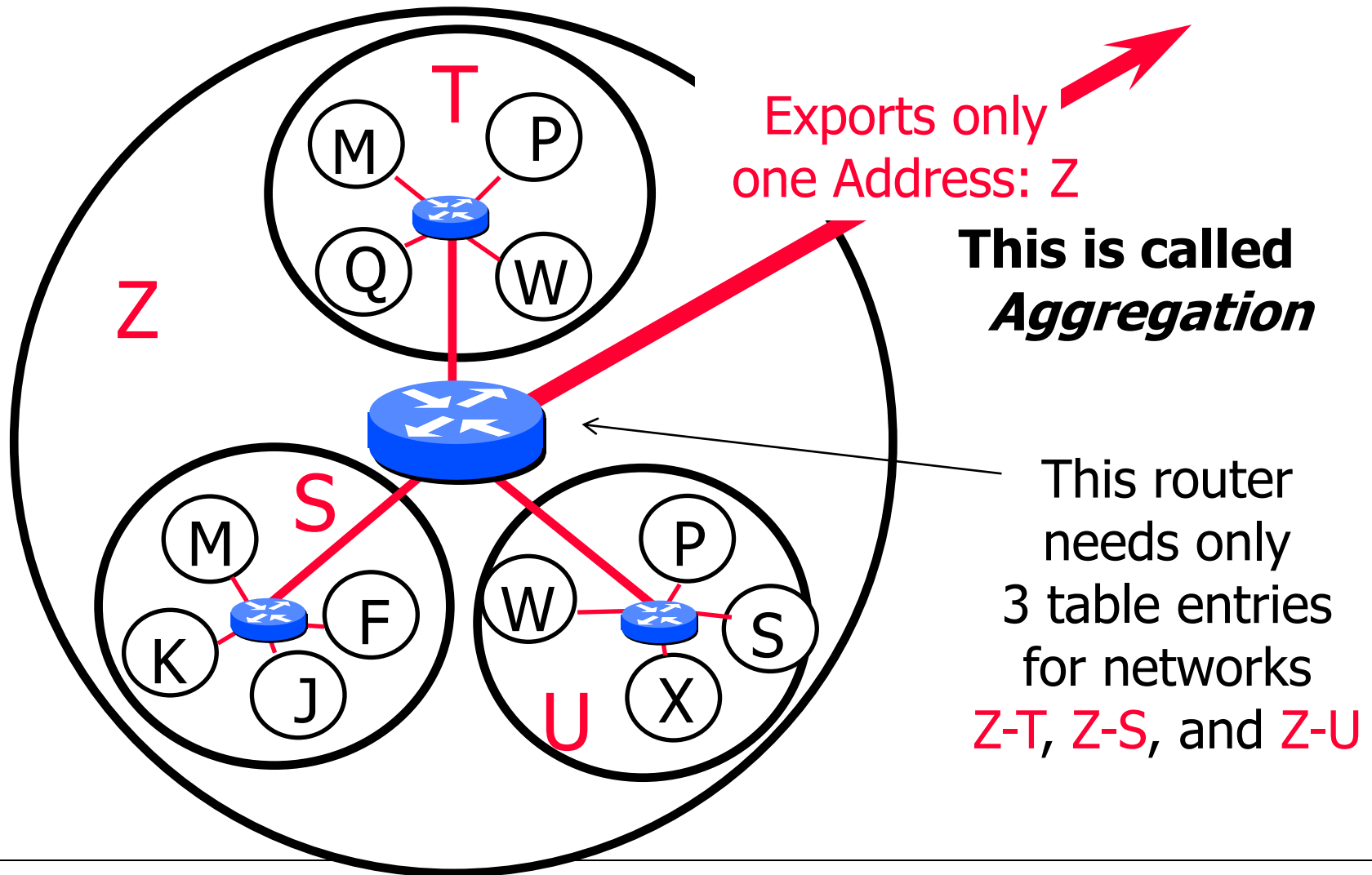
Single backbone



# Flat Network Addressing

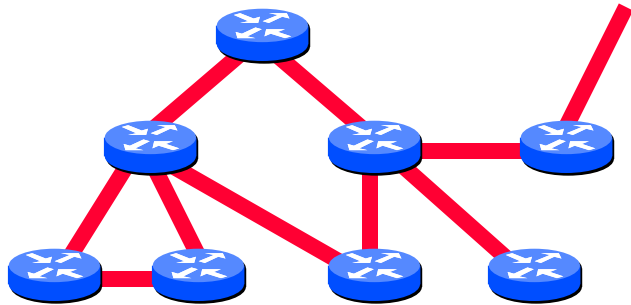


# Hierarchical Network Addressing





# Best Match Forwarding



Lookup in IP forwarding table is no longer based on exact match of network prefix.

Destination Address : Network X-W-Y-V, Host 12

Match →  
**Best Match** →  
Match →

Destination	Next Hop
X	R2
X-W-Y	R7
X-W	R5



# 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

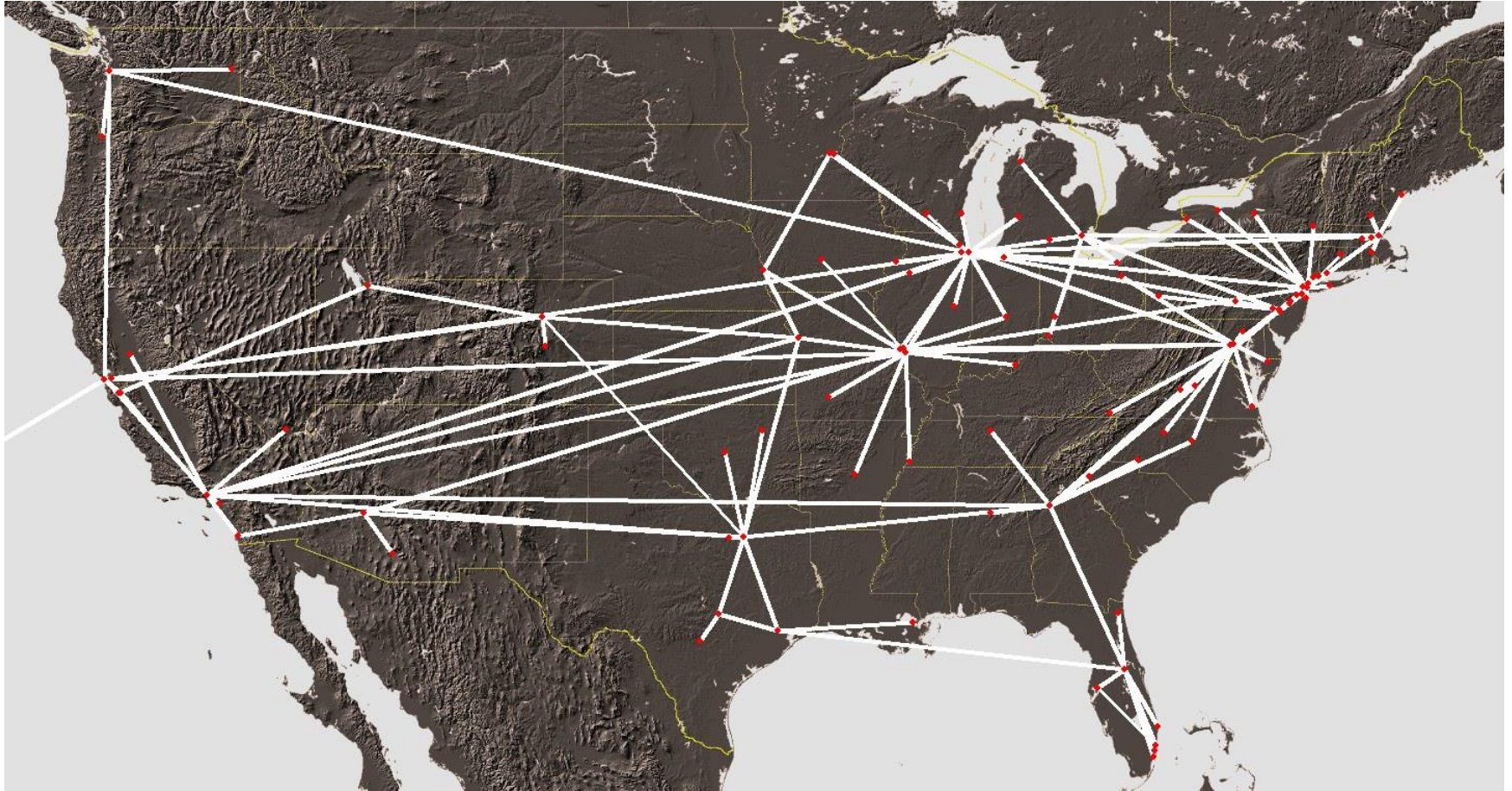


# Il Routing in presenza di Autonomous System

- 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)



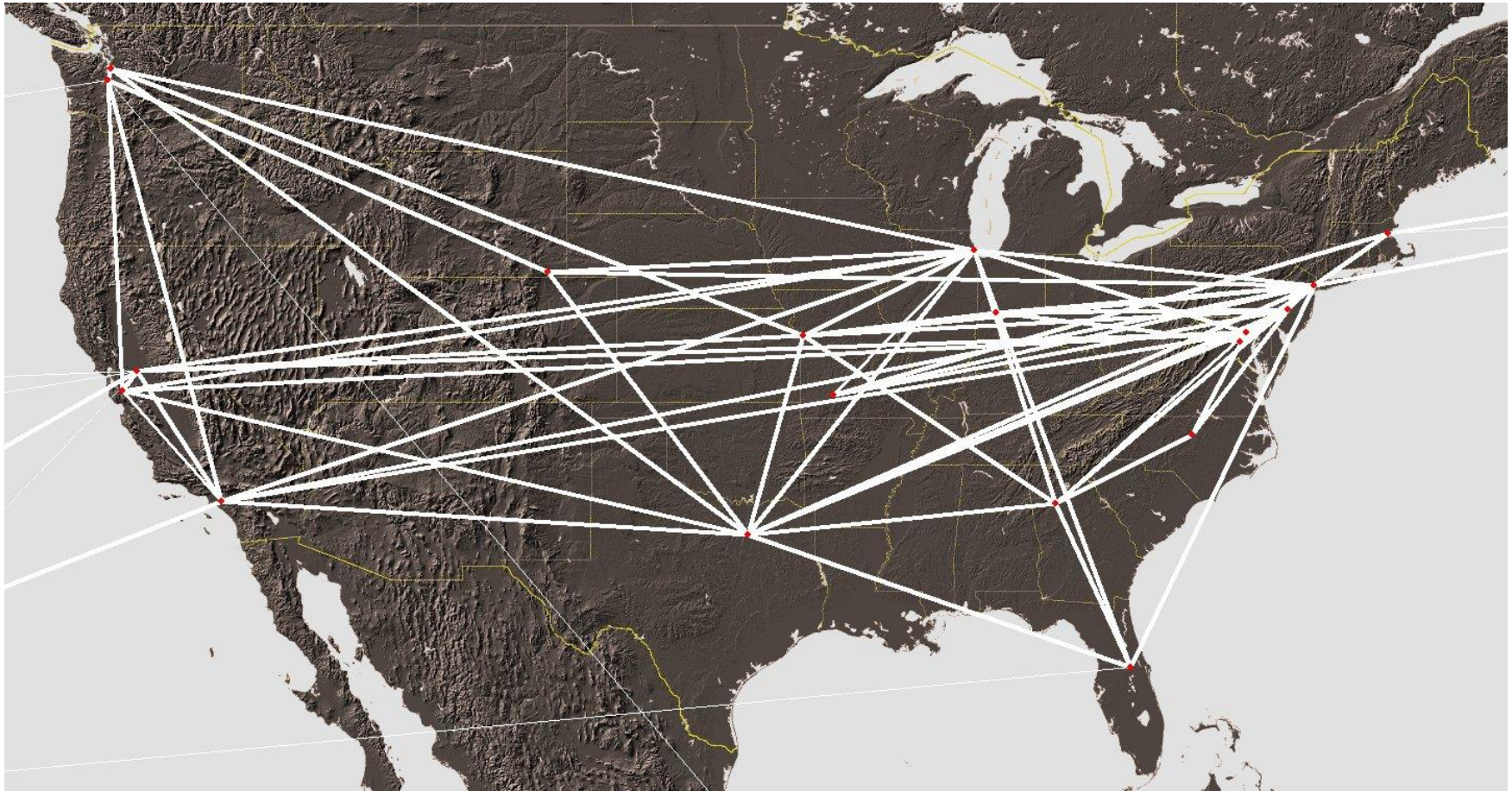
# AT&T (AS-7018)



*Background image courtesy JHU, applied physics labs*



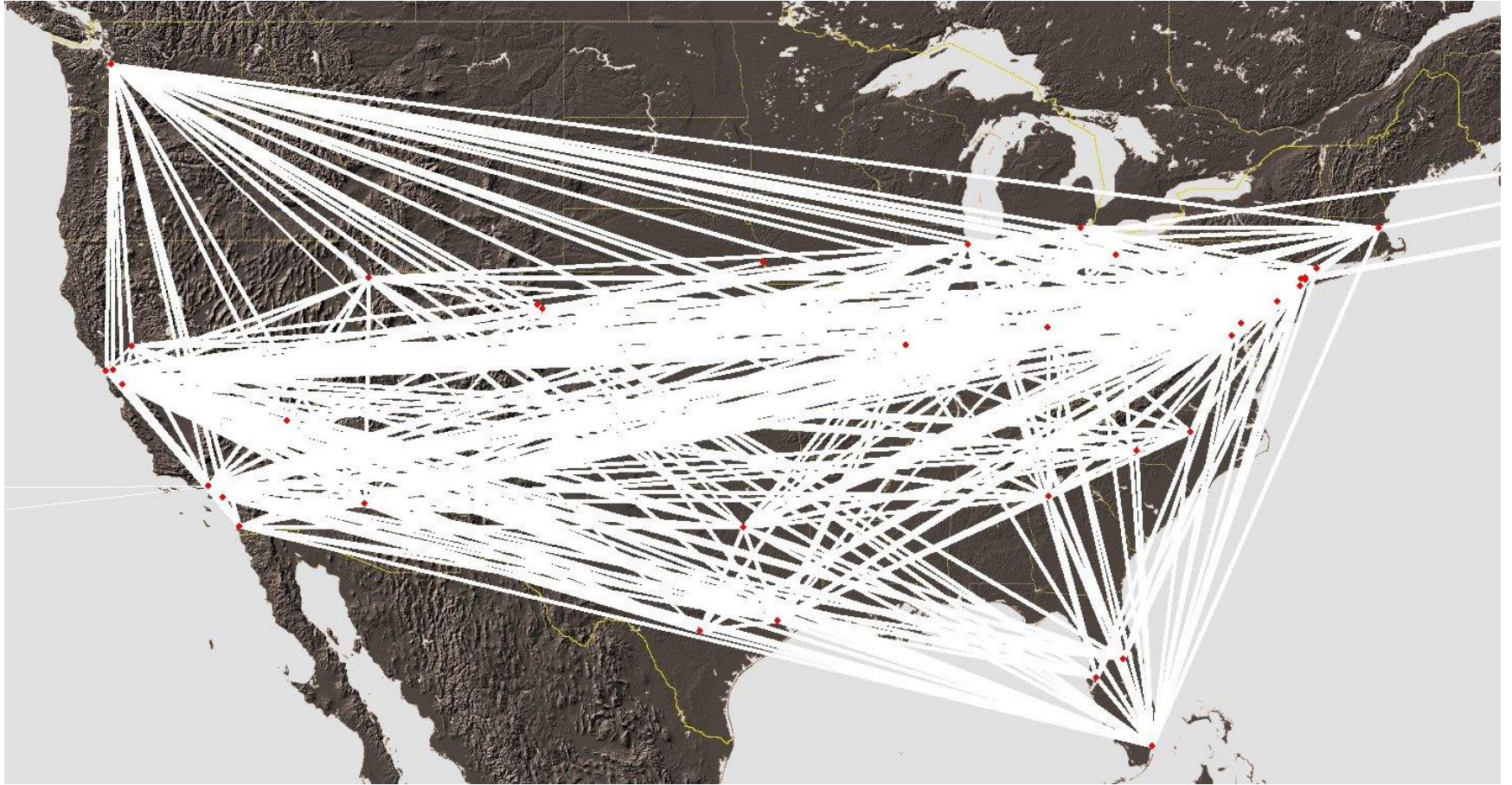
# Sprint (AS-1239)



*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*



# Inter-AS vs Intra-AS routing

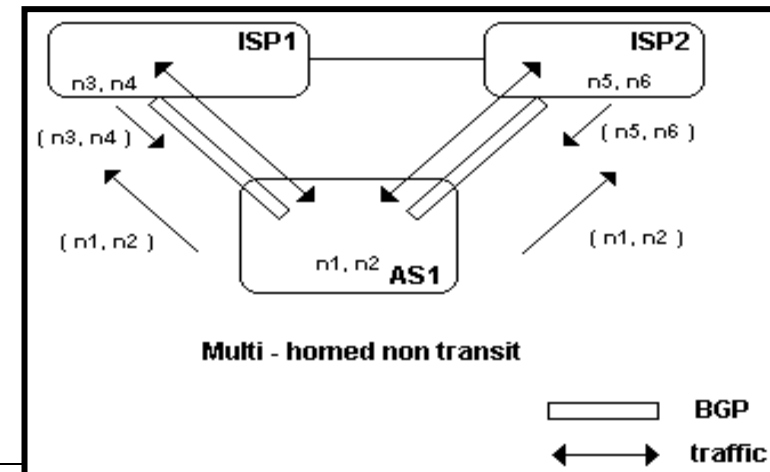
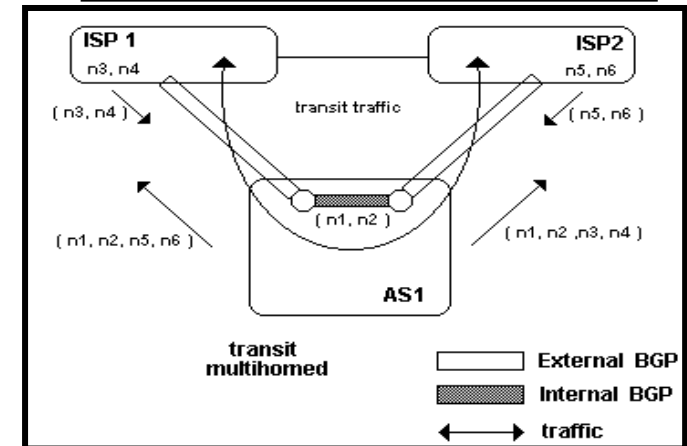
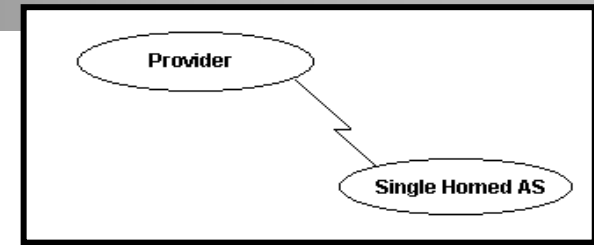
- **Politica:**
  - Inter-AS
    - si concentra su aspetti politici (es: quale provider scegliere o evitare)
  - Intra-AS
    - si applica in una singola organizzazione:
      - all'interno dell'organizzazione, la politica di routing applicata è coerente
- **Dimensioni:**
  - si realizza un routing gerarchico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





# Tipi di AS

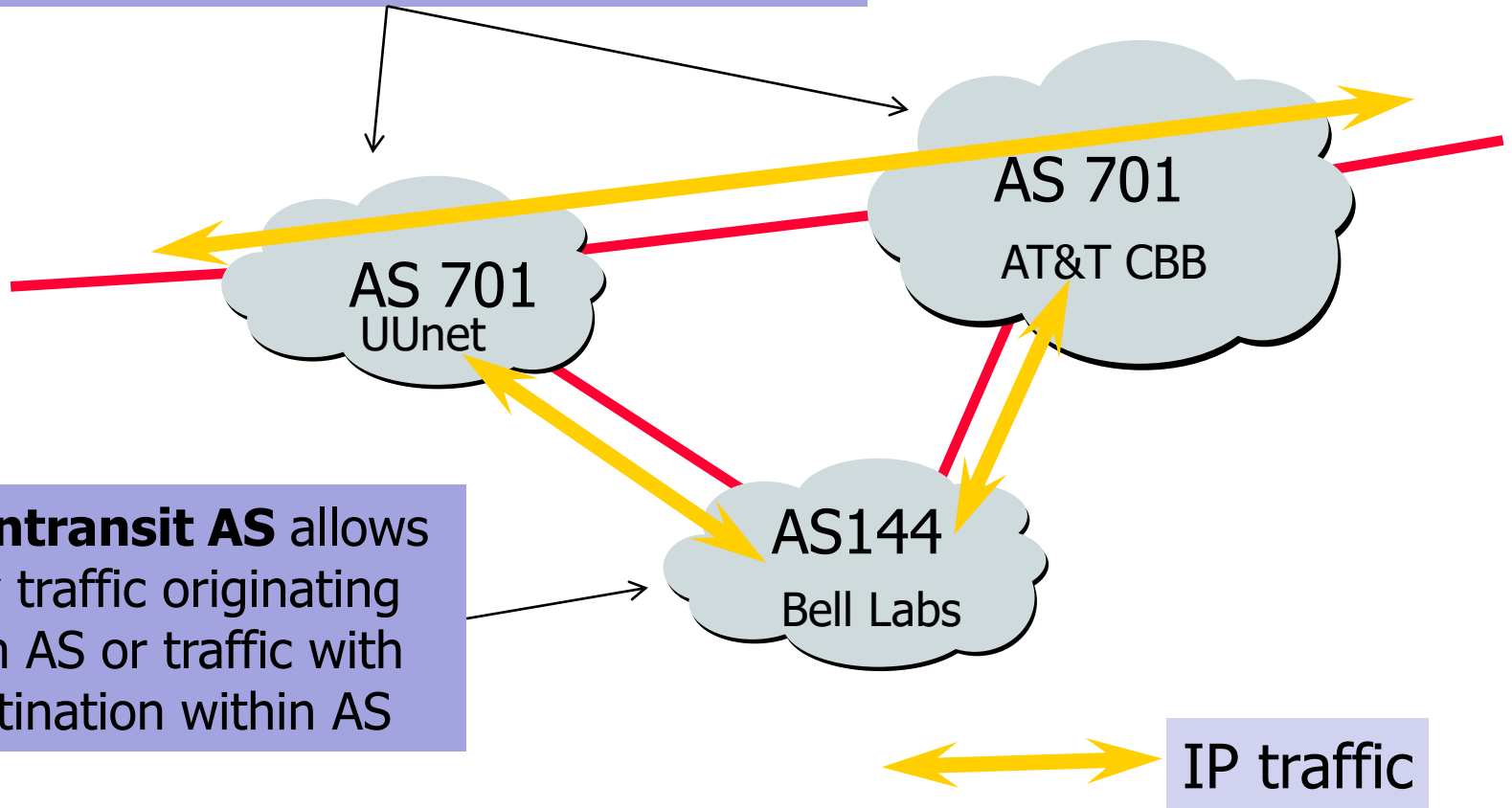
- Un solo border router:
  - *stub o single-homed*:
    - (piccole corporate)
- Più border router:
  - *multi-homed*:
    - *transit* (provider)
      - accetta di essere attraversato da traffico diretto ad altri AS
    - *non-transit* (grandi corporate)
      - non accetta di essere attraversato da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





# Policy : Transit vs. Nontransit

A **transit AS** allows traffic with neither source nor destination within AS to flow across the network



A **nontransit AS** allows only traffic originating from AS or traffic with destination within AS



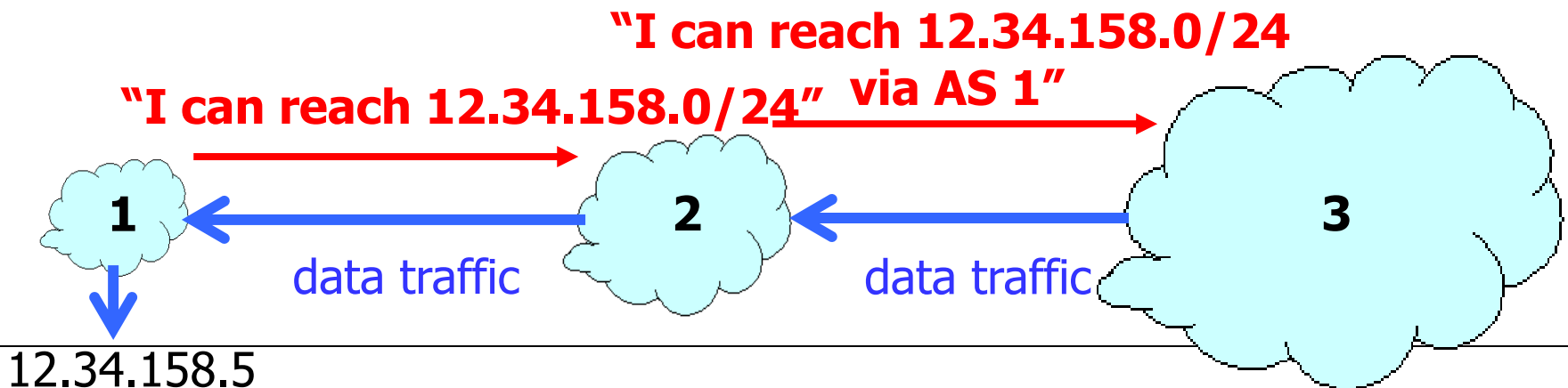
# Characterizations of AS Topology

- Tier-1: small number of tier-1 ASes
    - A near-clique of ~15 ASes with no providers
    - AT&T, Sprint, UUNET, ...
  - Transit core: peer with tier-1s and each other
    - Around 100-200 large ASes
    - UUNET Europe, KDDI, and Singapore Telecom
  - Regional ISPs: non-stubs near the edge
    - Around 2000 medium-sized ASes
    - Minnesota Regional Network, US West
  - Stub ASes: no peer or customer neighbors
    - Princeton, Rutgers, MIT, AT&T Research, ...
-



# Border Gateway Protocol

- ASes exchange reachability information
  - IP prefix: block of destination addresses
  - AS path: sequence of ASes along the path
- Policies configured by the network operator
  - Path selection: which of the paths to use?
  - Path export: which neighbors to tell?

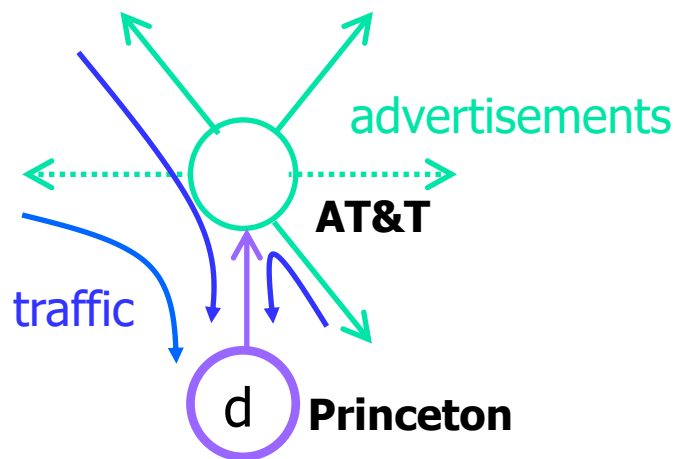




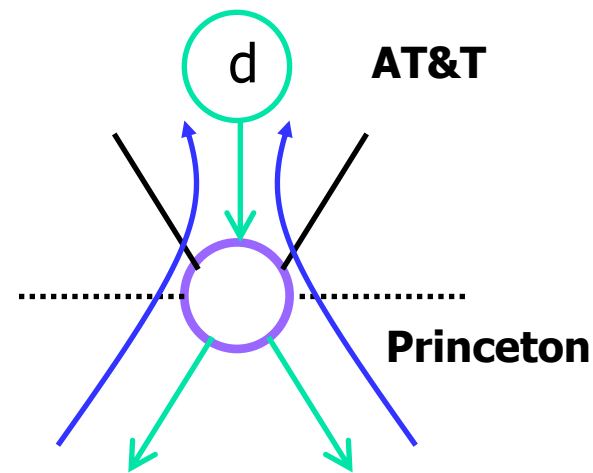
# Customer-Provider Relationship

- Customer pays provider for access to Internet
  - Provider exports customer's routes to everybody
  - Customer exports provider's routes to \*its\* customers
- The provider should allow \*other\* parts of the network to reach its customers
- Since the customer is paying for Internet, the provider should give them a route to as many destinations as possible

Traffic **to** the customer



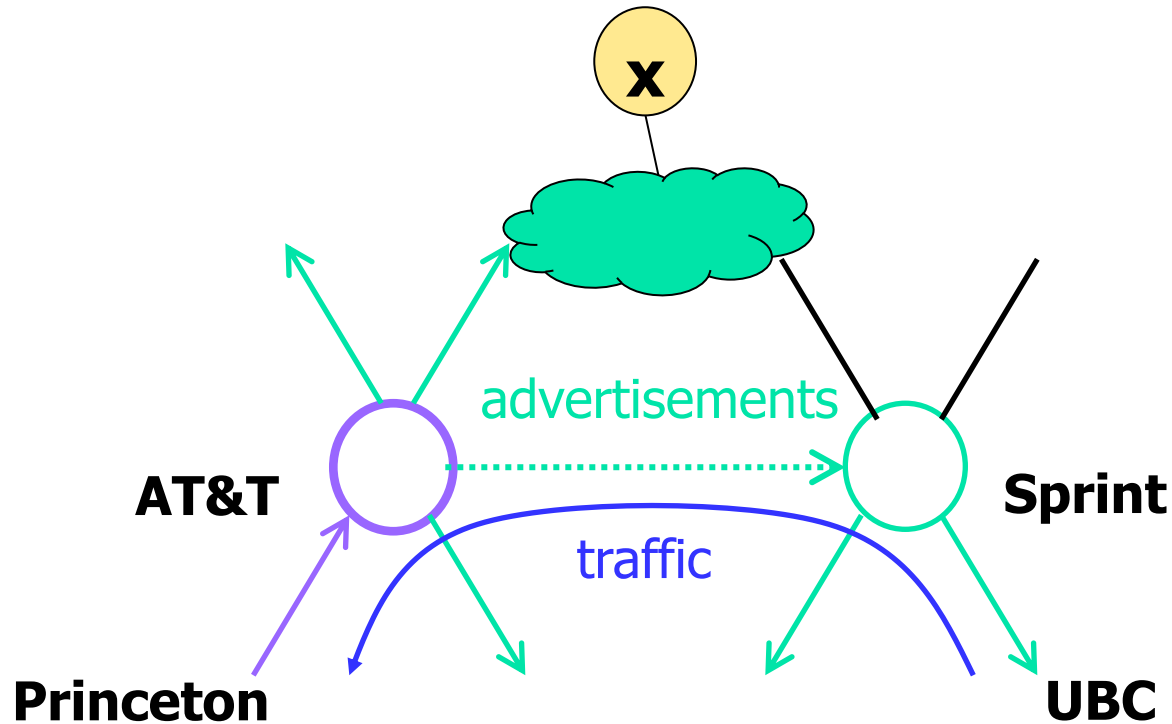
Traffic **from** the customer





# Peer-Peer Relationship

- Peers exchange traffic between customers
  - AS exports *only* customer routes to a peer
  - AS exports a peer's routes *only* to its customers
  - Why not full table? AS doesn't want to provide transit for its peers; they're not paying it for transit





# I gateway router

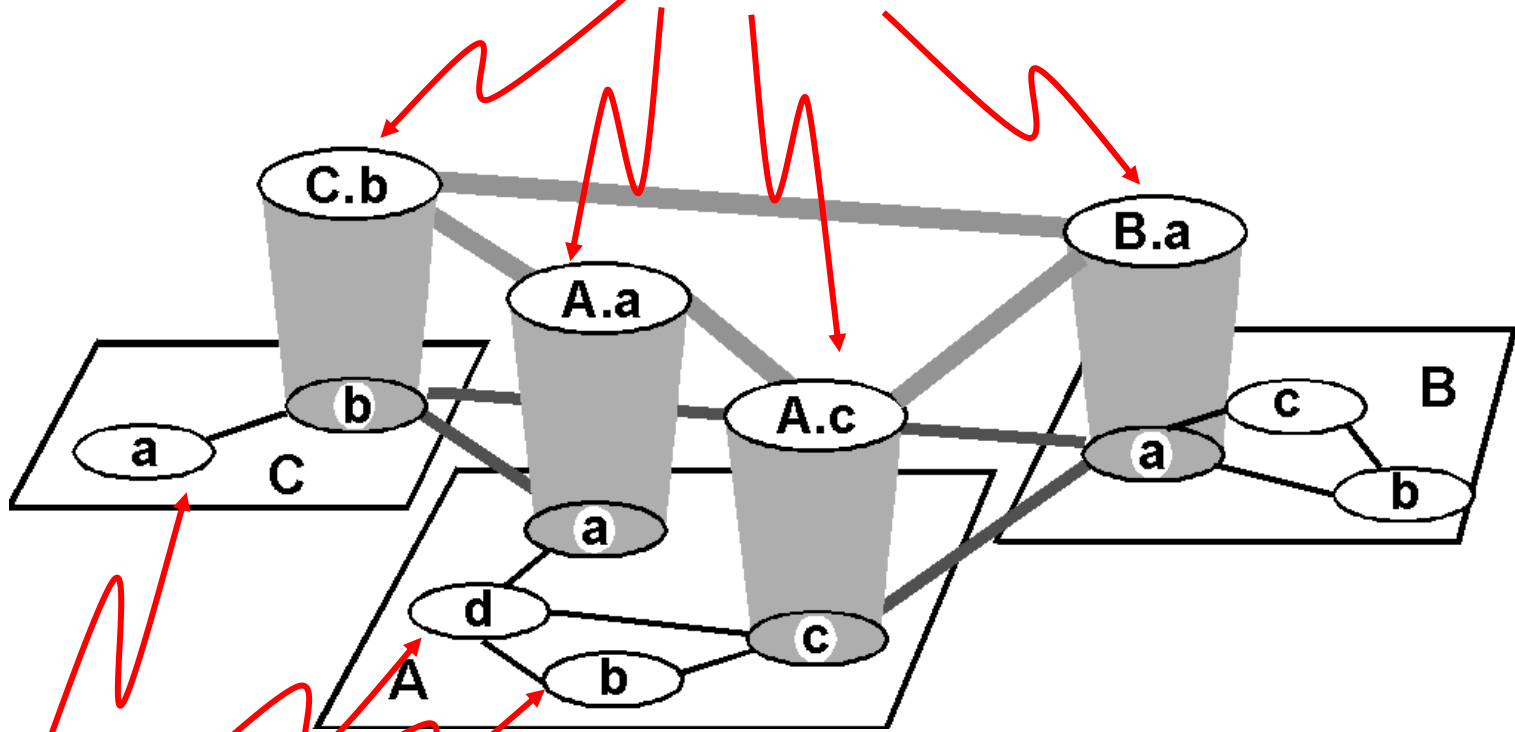
Sono speciali router dell'AS, che:

- 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
- Su questi router sono pertanto attivi contemporaneamente sia protocolli di routing IGP (ad es. OSPF) e protocolli di routing EGP (ad es. BGP)



# Instradamento gerarchico in Internet (1/4)

Inter-AS border (exterior gateway) routers

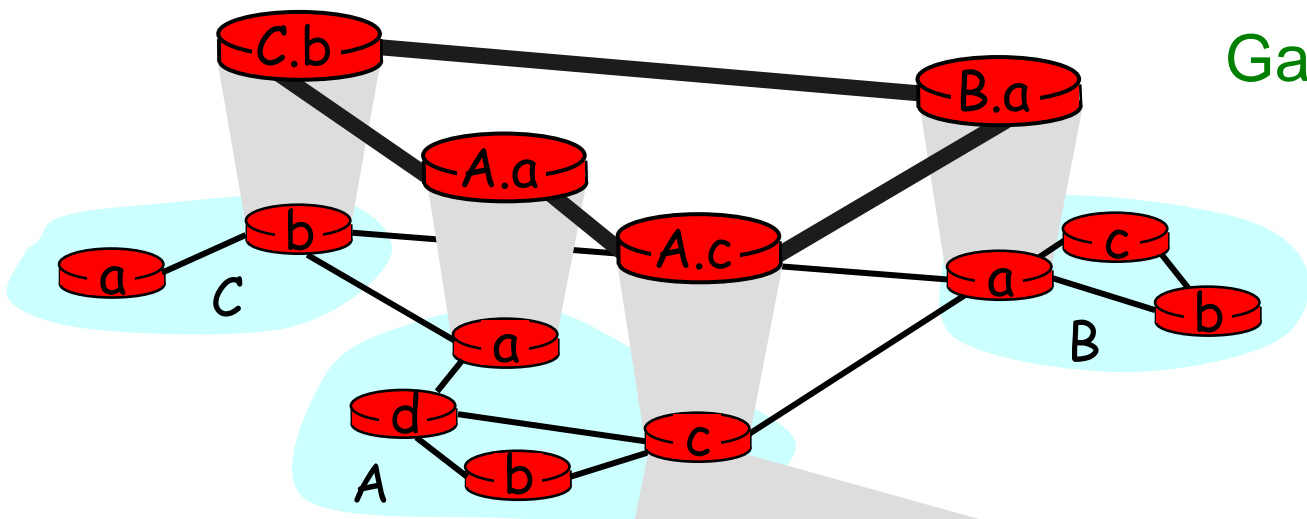


Intra-AS interior (gateway) routers





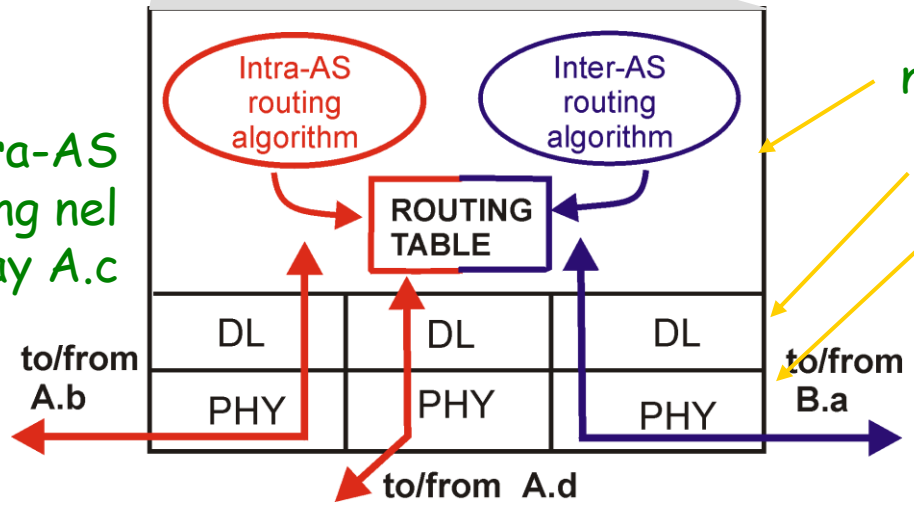
# Instradamento gerarchico in Internet (2/4)



## Gateway:

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

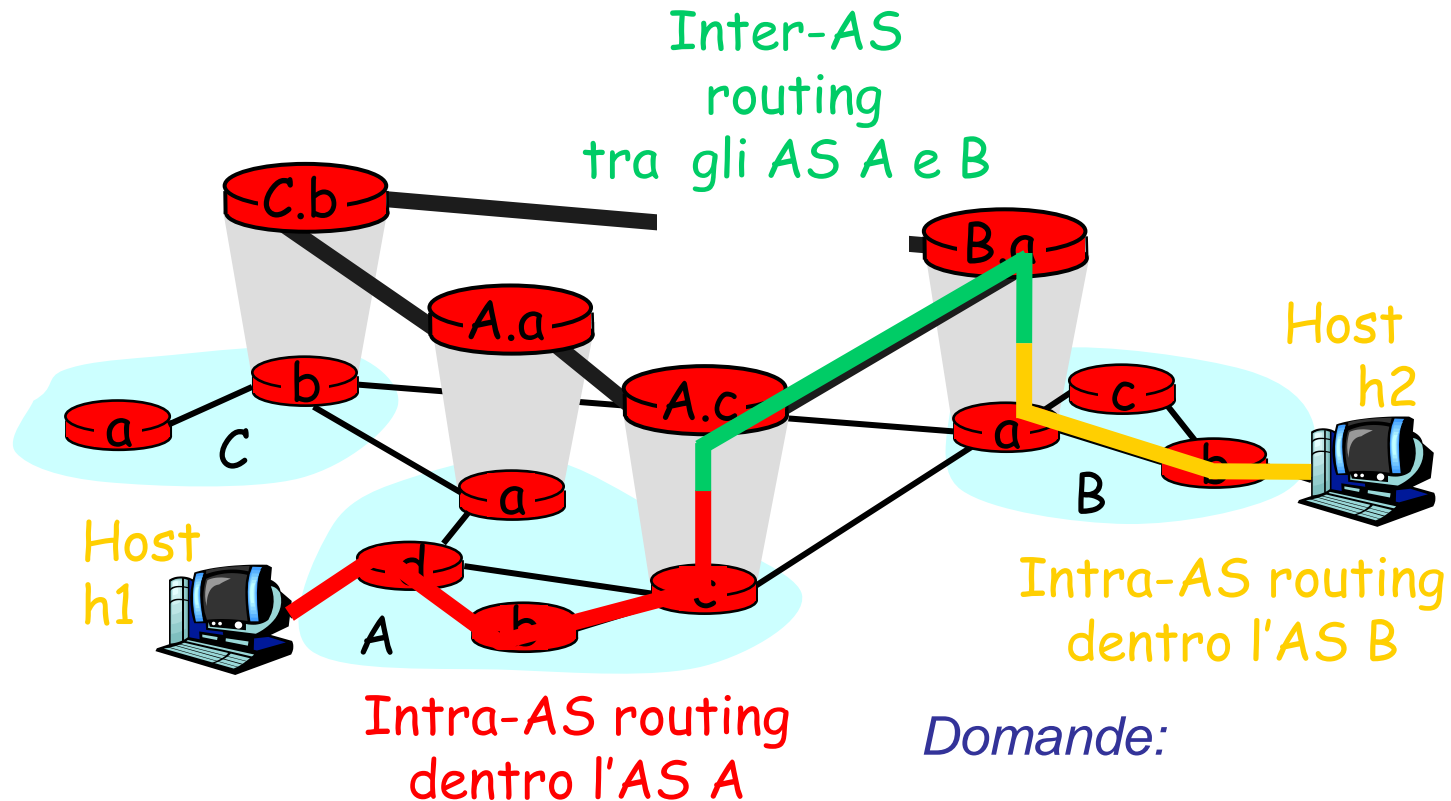
inter-AS, intra-AS routing nel gateway A.c



network layer  
link layer  
physical layer



# Instradamento gerarchico in Internet (3/4)



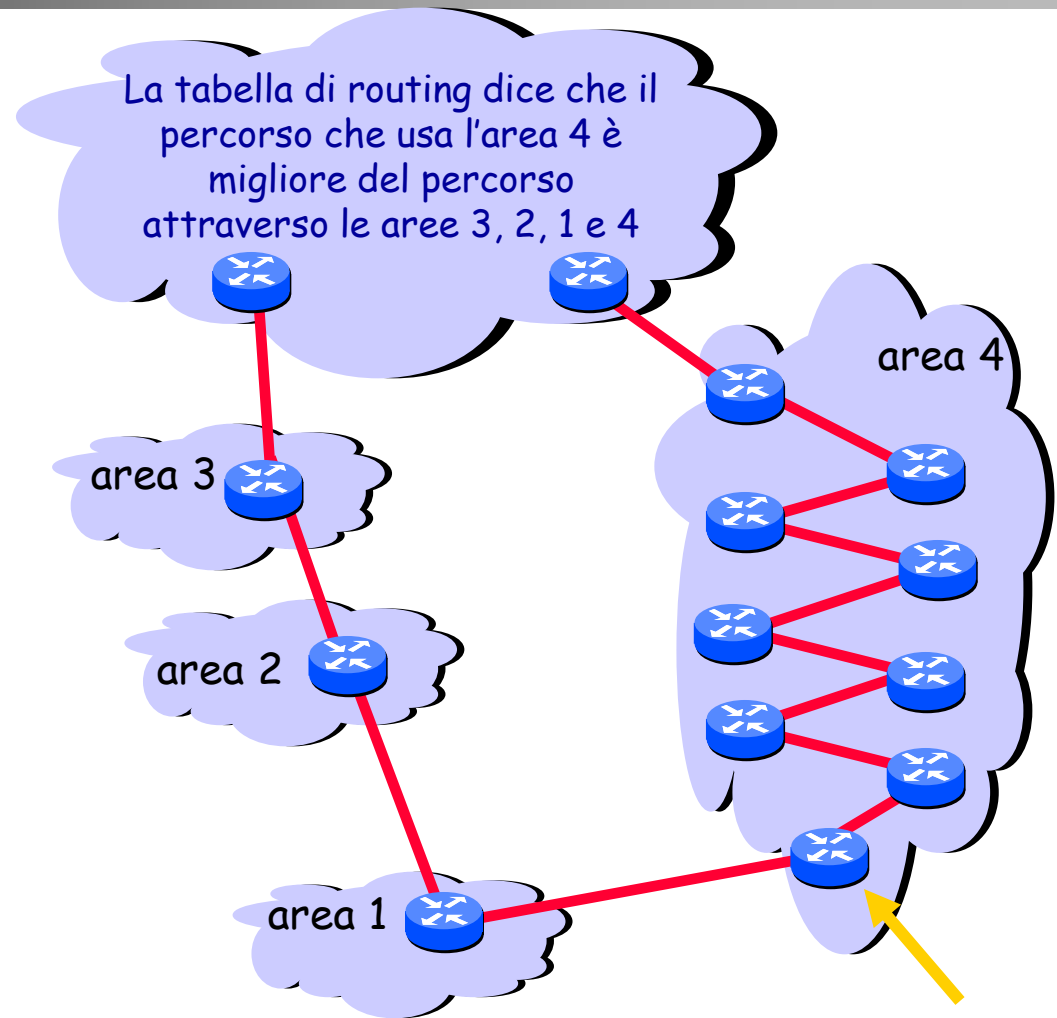
Domande:

- 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 può condurre a scelte sub-ottime





# Internet Exchange Point (IXP)

- Internet Exchange Point (IXP), o Network Access Point (NAP): infrastruttura fisica che permette a diversi Internet Service Provider di scambiare traffico Internet fra loro, interconnettendo i propri Autonomous System attraverso accordi di peering generalmente gratuiti
- Scopo: permettere agli ISP di risparmiare una parte della banda che comprano dai loro upstream provider, e di guadagnare in efficienza e in affidabilità
- Gli IXP operano di solito realizzando connessioni L2 tra router BGP degli ISP



# Peering tra ISP mediante IXP

