

Reti di Elaboratori

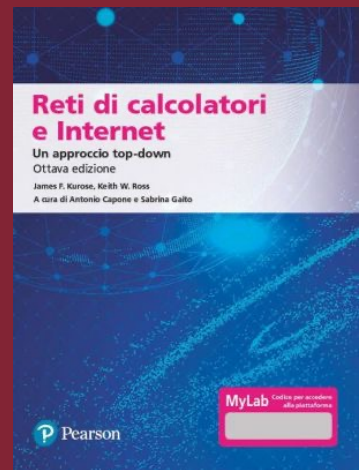
Livello di Rete: Il protocollo Internet



SAPIENZA
UNIVERSITÀ DI ROMA

Alessandro Checco

alessandro.checco@uniroma1.it



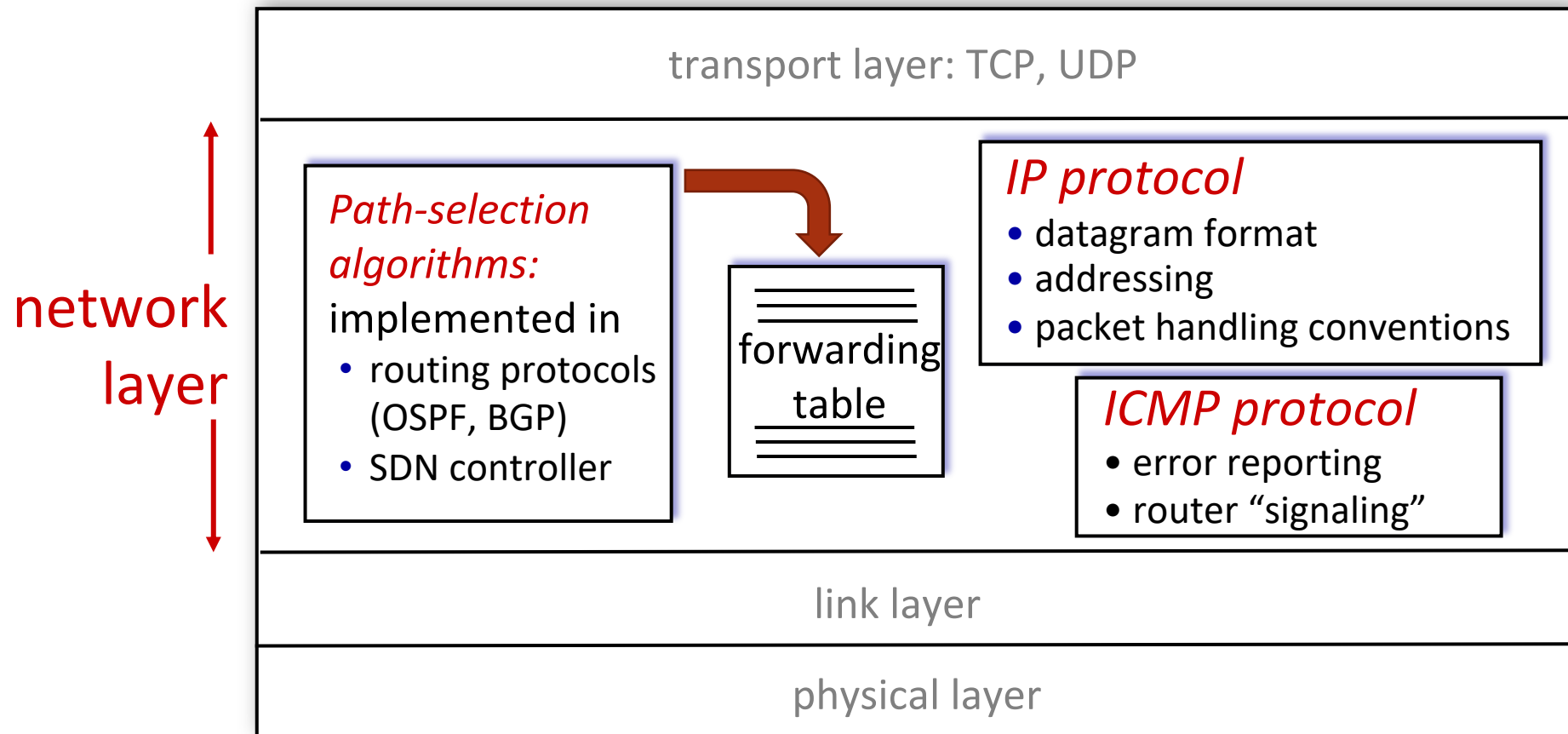
Capitolo 4

Livello di rete: sommario

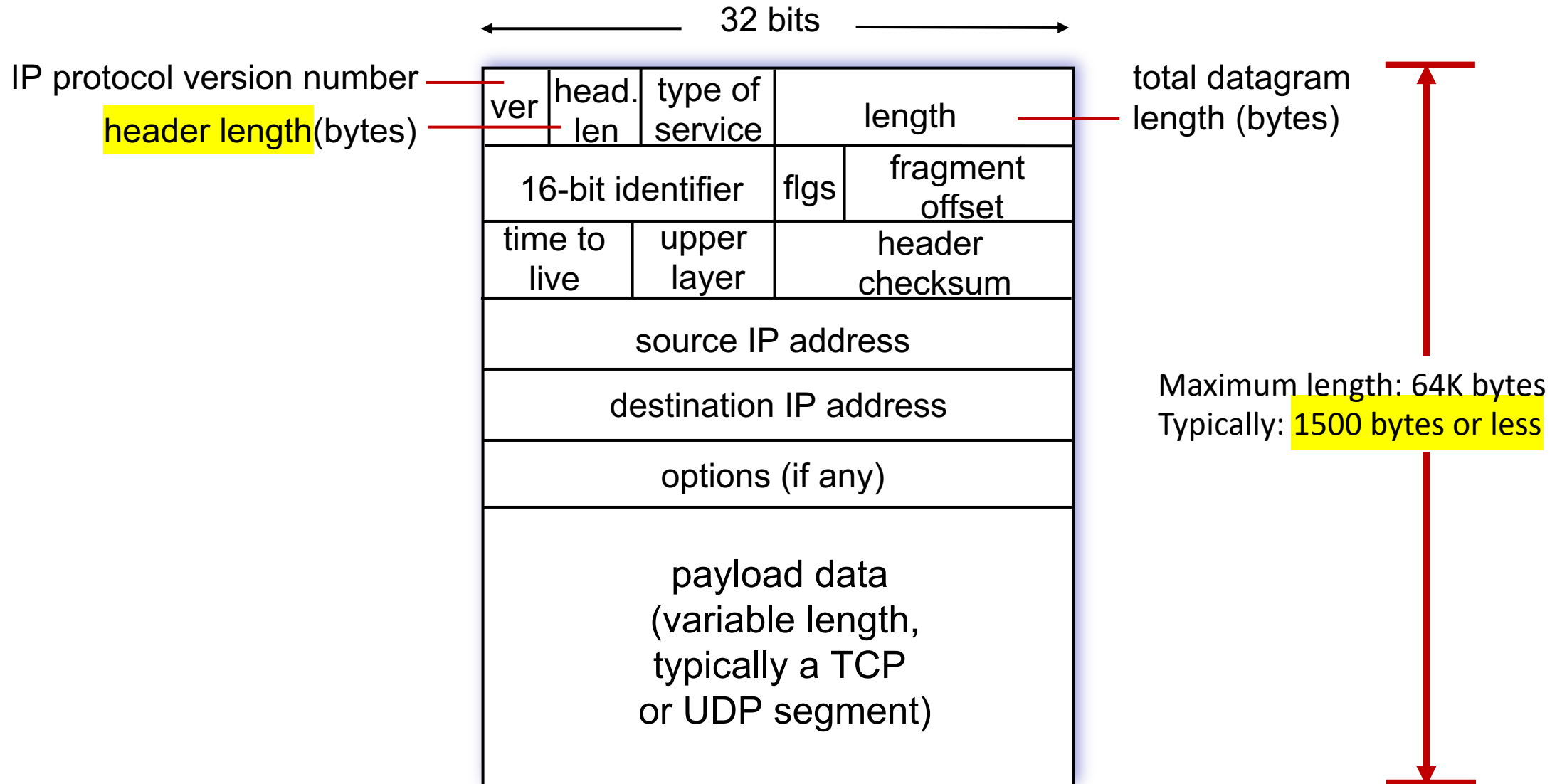
- Livello di rete: panoramica
 - piano dati
 - piano di controllo
- Dentro i router
 - porte di ingresso, commutazione, porte di uscita
 - gestione del buffer, scheduling
- IP: il protocollo Internet
 - formato datagramma
 - indirizzamento
 - NAT: traduzione di indirizzi di rete
 - IPv6
- Forwarding generalizzato, SDN
 - Match+action
 - OpenFlow: incontro+azione in azione
- Middleboxes

Network Layer: Internet

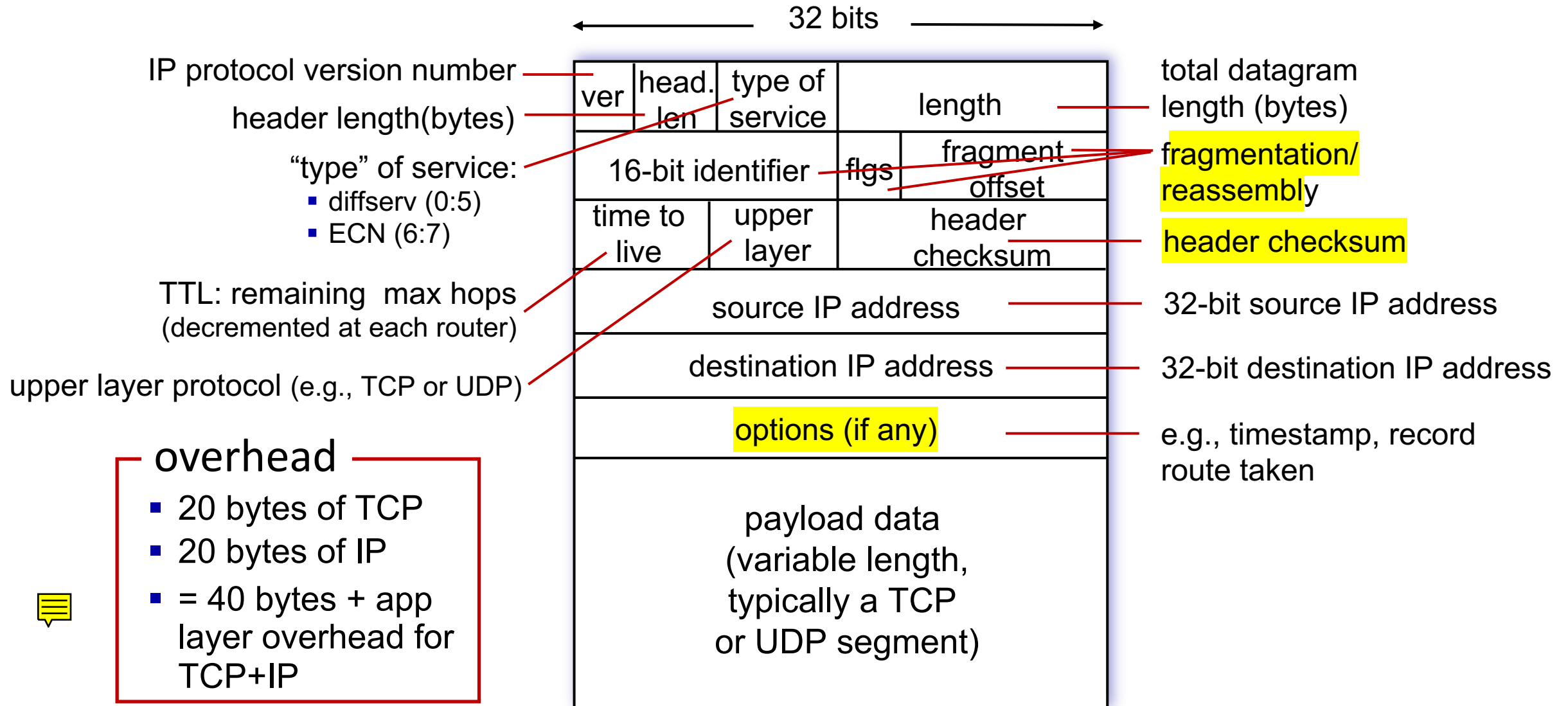
funzioni del livello di rete di router e host:



formato del datagramma IP

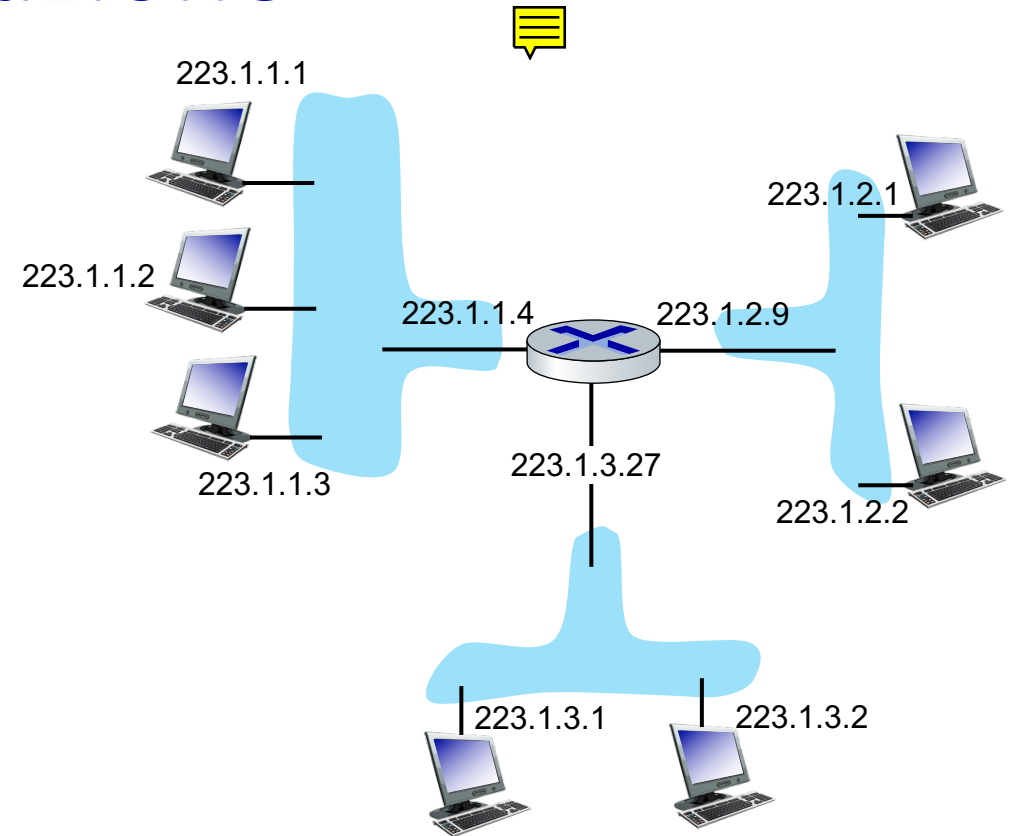


formato del datagramma IP



Indirizzamento IP: introduzione

- **Indirizzo IP:** Identificatore a 32 bit associato a ciascuna *interfaccia dell'host o router*
- **interfaccia:** connessione tra host/router e collegamento fisico
 - router in genere hanno più interfacce
 - l'host in genere ha una o due interfacce (ad es. Ethernet cablata, wireless 802.11)



notazione IP decimale puntata:

223.1.1.1 = 11011111 00000001 00000001 00000001

223 1 1 1

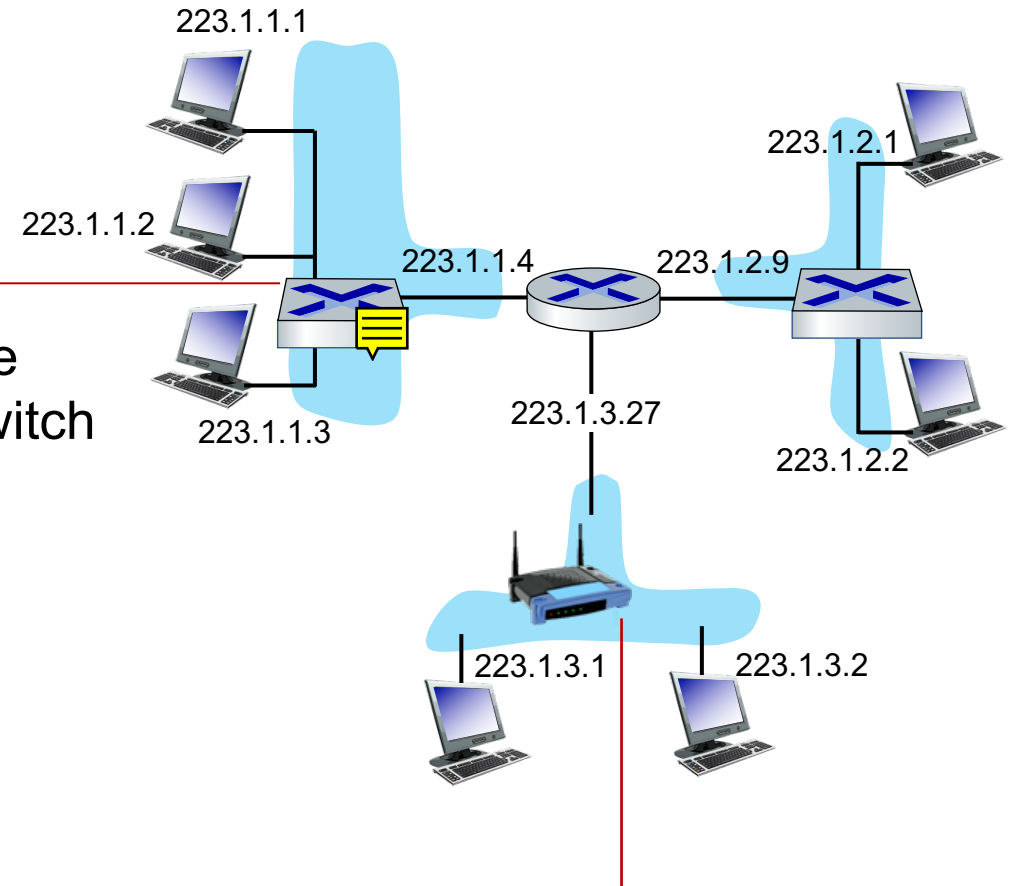
Indirizzamento IP: introduzione

D: Come si connettono le interfacce?

R: livello di collegamento e fisico

Per ora: non dobbiamo preoccuparci di come un'interfaccia è connessa a un'altra

R: interfacce Ethernet cablate connesse da switch Ethernet



R: Interfacce WiFi connesse da base station WiFi

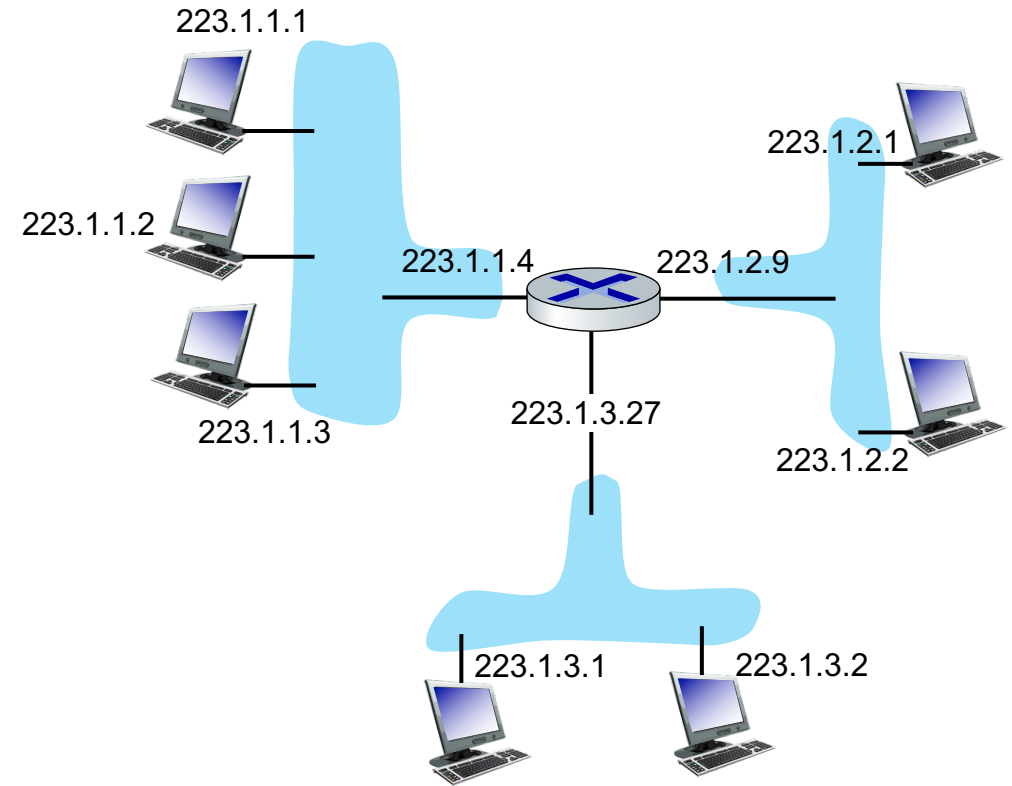
Sottoreti

■ *Cos'è una sottorete?*

- interfacce di dispositivi che possono raggiungersi fisicamente l'un l'altro **senza passare attraverso un router (layer di rete) intermedio**

■ Gli indirizzi IP hanno:

- **parte sottorete:** i dispositivi nella stessa sottorete hanno bit più significativi in comune
- **parte host:** bit meno significativi rimanenti

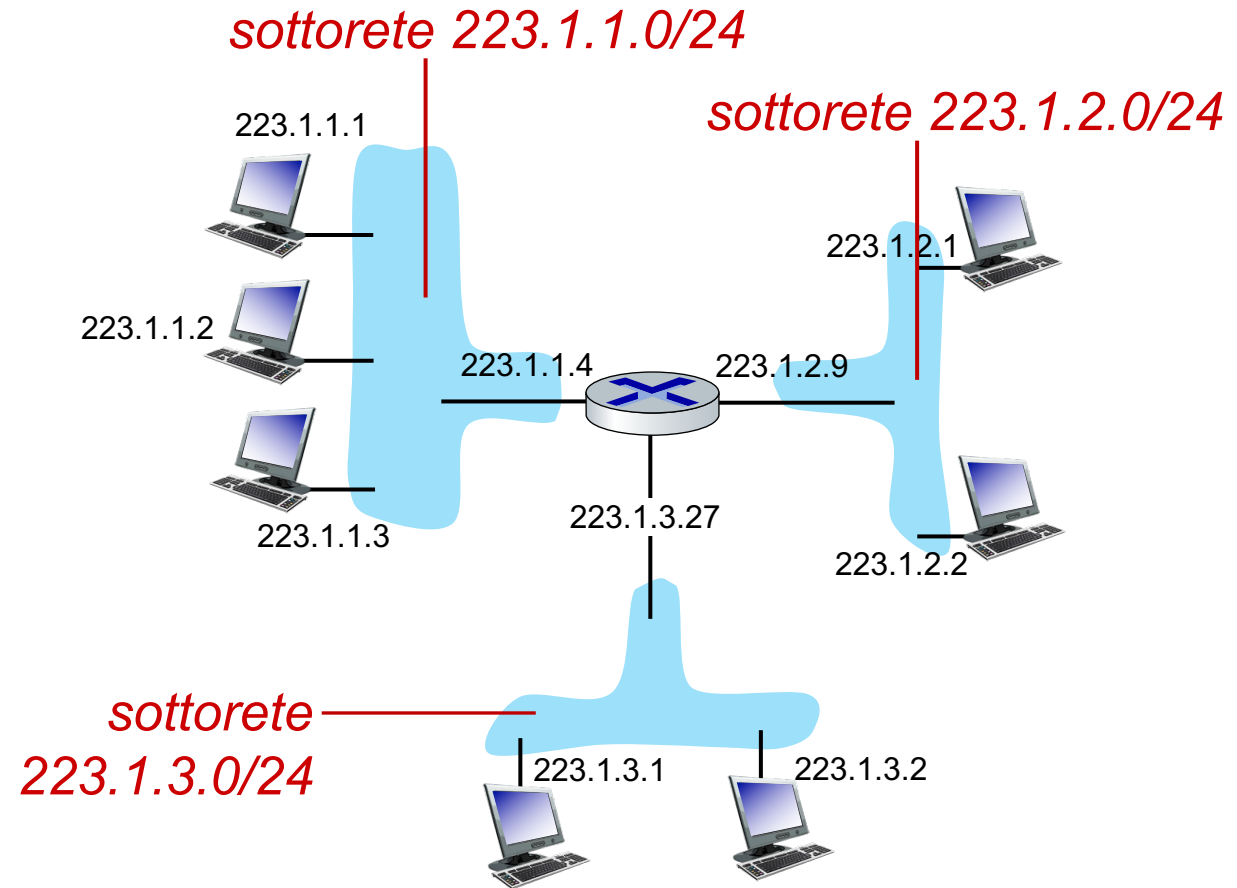


rete composta da 3 sottoreti

Sottoreti

Ricetta per definire le sottoreti:

- stacca ogni interfaccia dal suo host o router, creando “isole” di reti isolate
- ogni rete isolata è chiamata *sottorete*

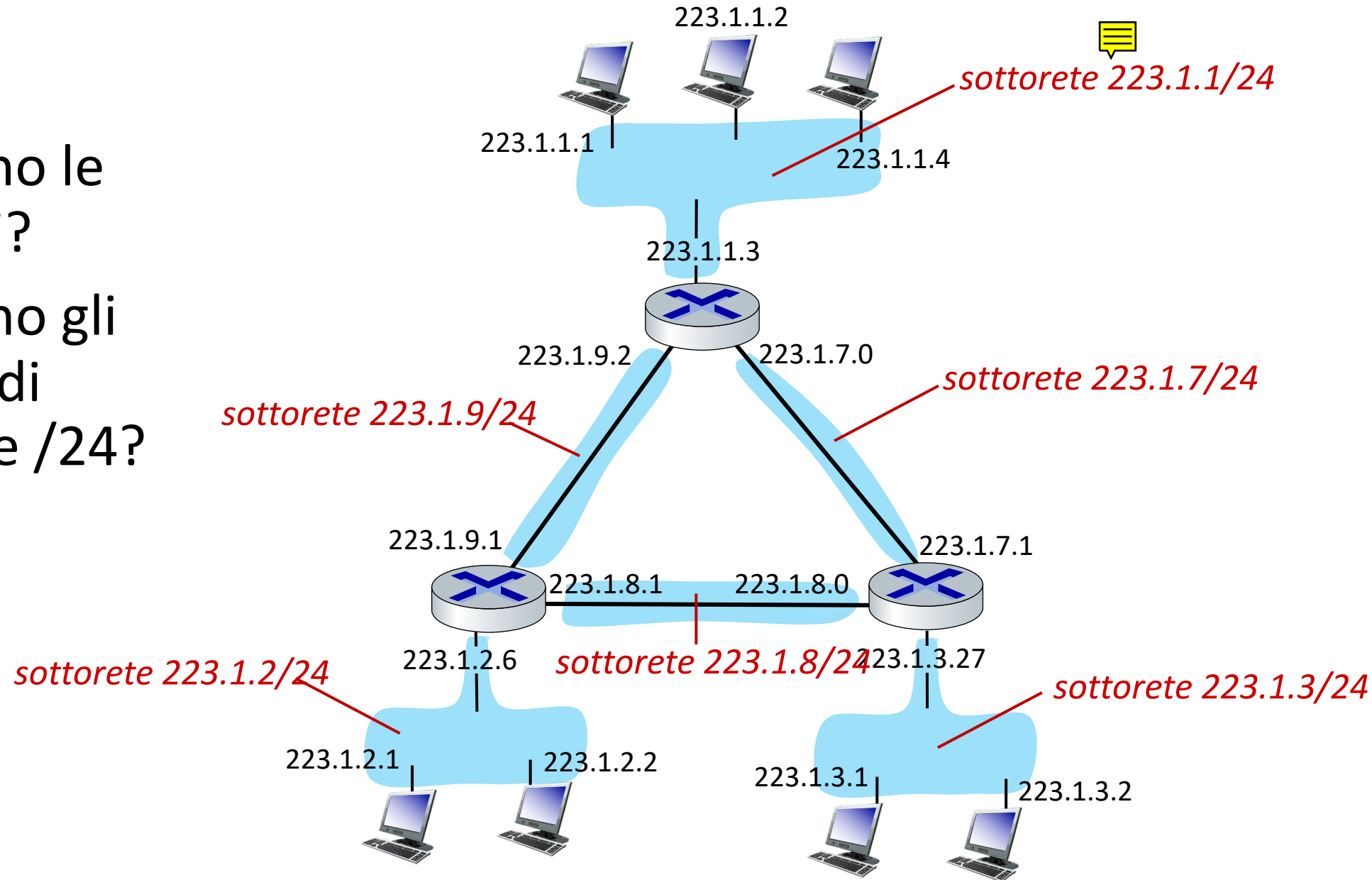


subnet mask: /24

(24 MSB bit: parte della sottorete dell'indirizzo IP)

Sottoreti

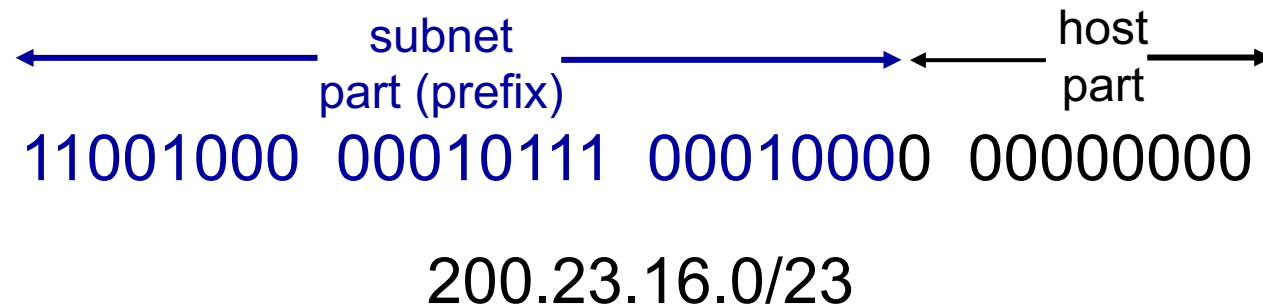
- dove sono le sottoreti?
- quali sono gli indirizzi di sottorete /24?



Indirizzamento IP: CIDR

CIDR: Classless Inter Domain Routing (pronunciato “cider”)

- porzione di sottorete dell'indirizzo di lunghezza arbitraria
- formato dell'indirizzo (ciderized): **a.b.c.d/x** , dove x è il numero di bit nella porzione subnet dell'indirizzo



Indirizzi IP: come ottenerne uno?

In realtà sono **due** domande:

1. D: In che modo un *host* ottiene l'indirizzo IP all'interno della sua rete (parte **host** dell'indirizzo)?
2. D: In che modo una *rete* ottiene l'indirizzo IP per se stessa (parte subnet dell'indirizzo)

In che modo *l'host* ottiene l'indirizzo IP?

- **hardcoded da sysadmin** nel file di configurazione (ad esempio, /etc/rc.config in UNIX)
- **DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol** : ottiene dinamicamente l'indirizzo da un server
 - "plug-and-play" o zeroconf

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

obiettivo: l'host ottiene *dinamicamente* l'indirizzo IP dal server di rete quando si unisce alla rete

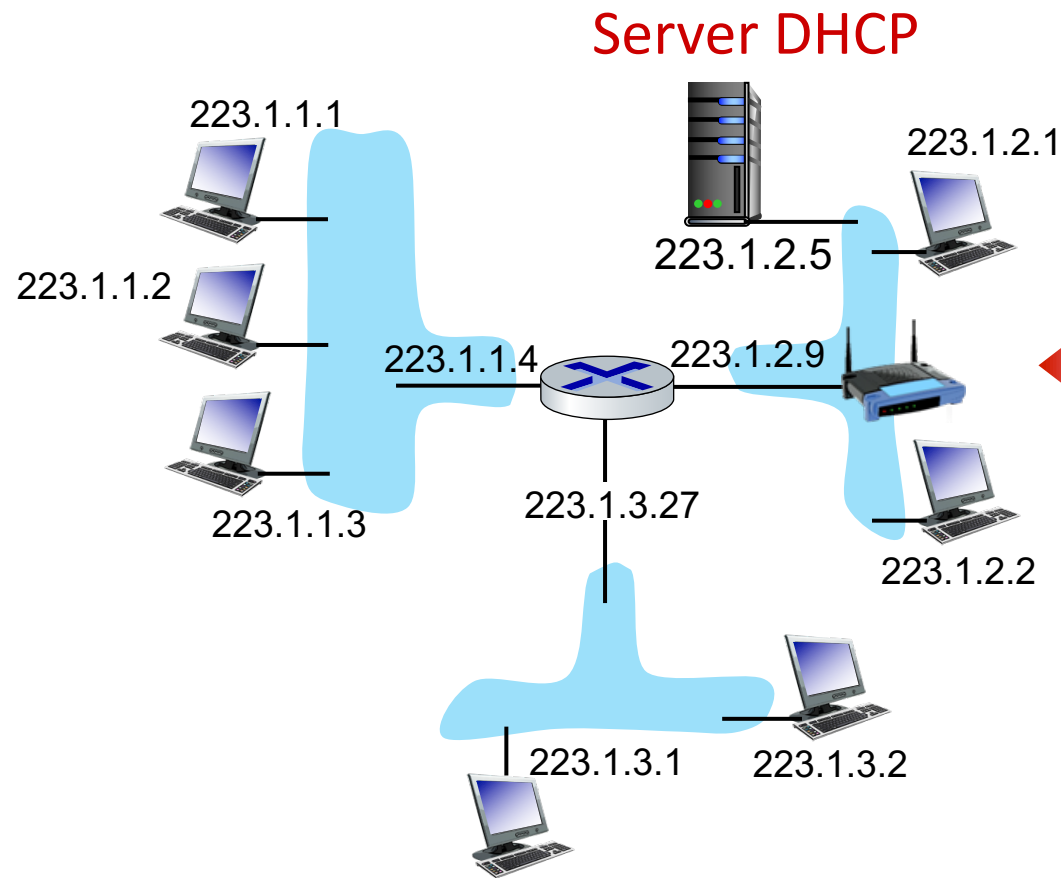
- può rinnovare il suo lease (presa in prestito) con l'indirizzo in uso
- consente il riutilizzo degli indirizzi (mantieni l'indirizzo solo mentre sei connesso/acceso)
- supporto per gli utenti mobili che entrano/escono dalla rete

Panoramica DHCP:

- l'host trasmette **DHCP discover** msg [opzionale]
- Il server DHCP risponde con un messaggio di **DHCP offer** [opzionale]
- l'host richiede l'indirizzo IP: msg **DHCP request**
- Il server DHCP invia l'indirizzo: **DHCP ack** msg



Scenario client-server DHCP

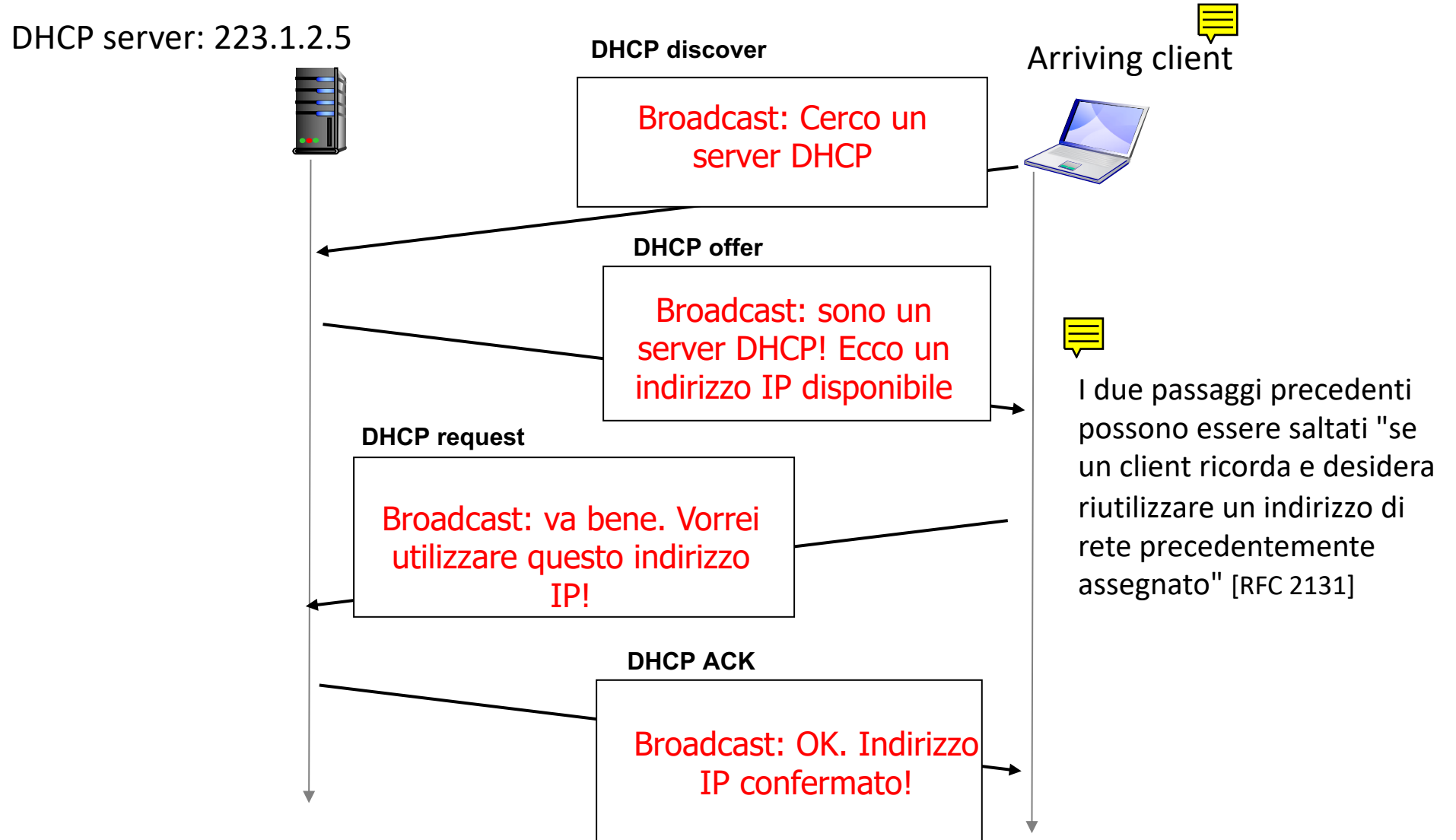


In genere, il server DHCP sarà collocato nel router, al servizio di tutte le sottoreti a cui è collegato il router



client DHCP in arrivo
necessita di un
indirizzo in questa rete

Scenario client-server DHCP



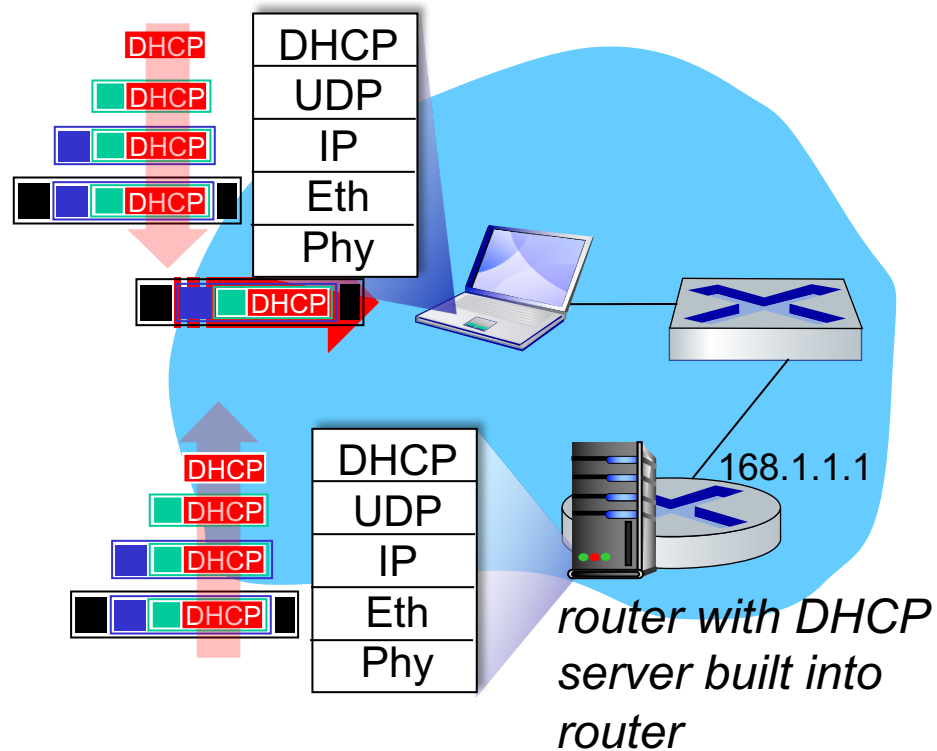
DHCP: Non bastano gli indirizzi IP

DHCP può restituire più di un semplice indirizzo IP assegnato sulla sottorete:

- indirizzo del router first-hop per il client (gateway)
- nome e indirizzo IP del server DNS
- maschera di rete/subnet mask (che indica la parte dell'indirizzo relativa alla sottorete)

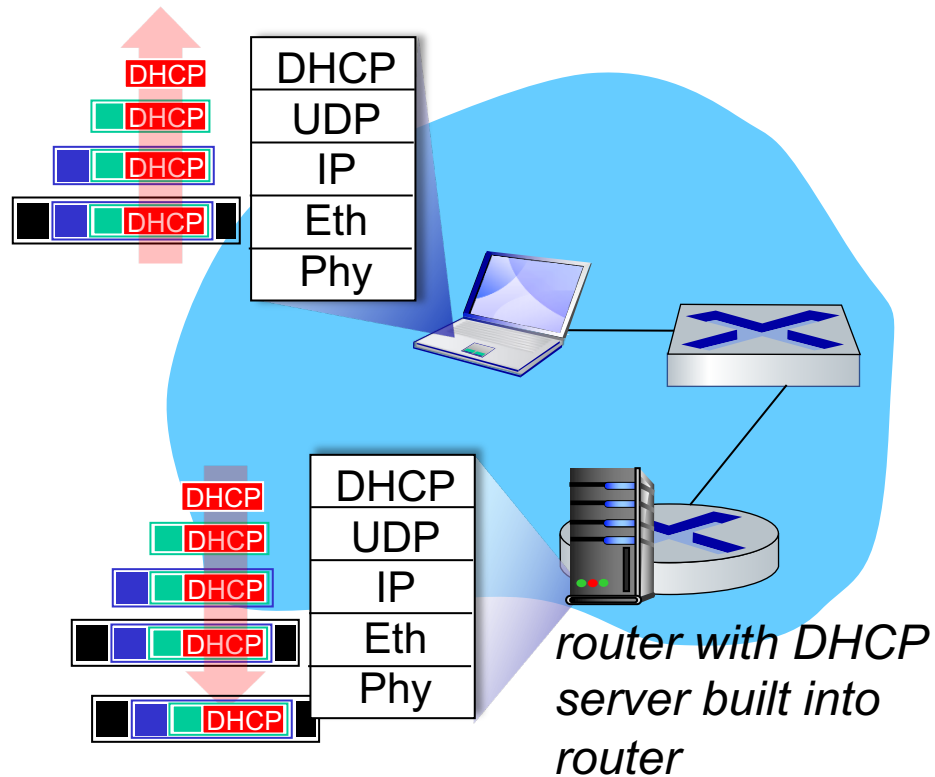


DHCP: esempio



- il laptop utilizzerà DHCP per ottenere l'indirizzo IP, l'indirizzo del router first-hop, l'indirizzo del server DNS.
- Messaggio DHCP REQUEST incapsulato in UDP, incapsulato in IP, incapsulato in Ethernet
- Trasmissione frame Ethernet (dest: FFFFFFFF) su LAN, ricevuta dal router sul quale gira il server DHCP
- Demux Ethernet -> IP -> UDP -> DHCP

DHCP: esempio



- il server DHCP prepara l'ACK DHCP contenente l'indirizzo IP del client , l'indirizzo IP del router first-hop per il client, il nome e l'indirizzo IP del server DNS
- La risposta DHCP del server incapsulata viene inoltrata al client, e poi demultiplata fino a DHCP lato client
- il client ora conosce il suo indirizzo IP, il nome e l'indirizzo IP del server DNS, l'indirizzo IP del suo router first-hop

Indirizzi IP: come ottenerne uno?

D: in che modo la *rete* ottiene la parte della sottorete dell'indirizzo IP?

R: l'ISP alloca una porzione del suo spazio degli indirizzi

Blocco ISP 11001000 00010111 0001 0000 00000000 200.23.16.0/20

L'ISP può quindi allocare il suo spazio di indirizzi in 8 blocchi:

Organizzazione 0 11001000 00010111 0001000 0 00000000 200.23.16.0/23

Organizzazione 1 11001000 00010111 0001001 0 00000000 200.23.18.0/23

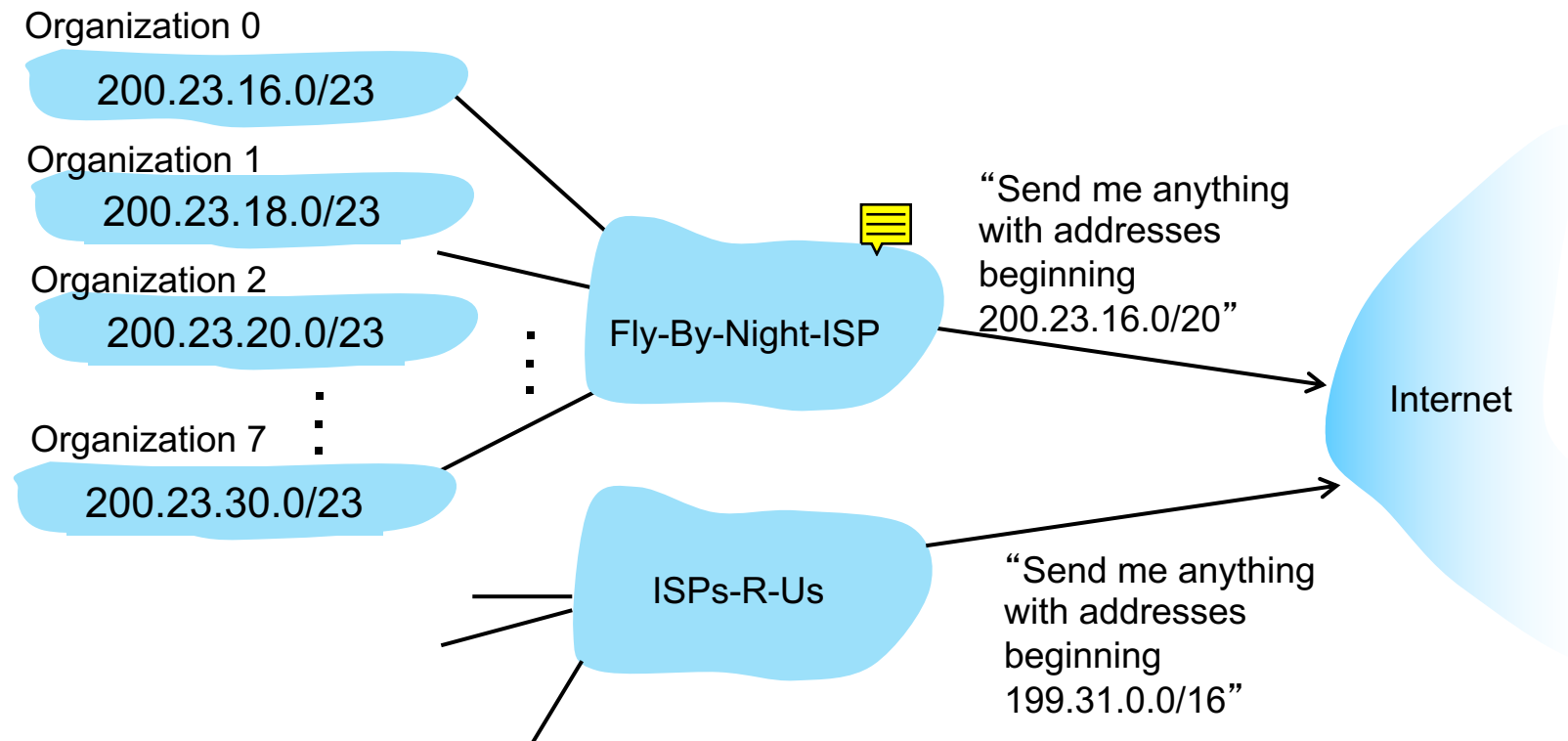
Organizzazione 2 11001000 00010111 0001010 0 00000000 200.23.20.0/23

... ..

Organizzazione 7 11001000 00010111 0001111 0 00000000 200.23.30.0/23

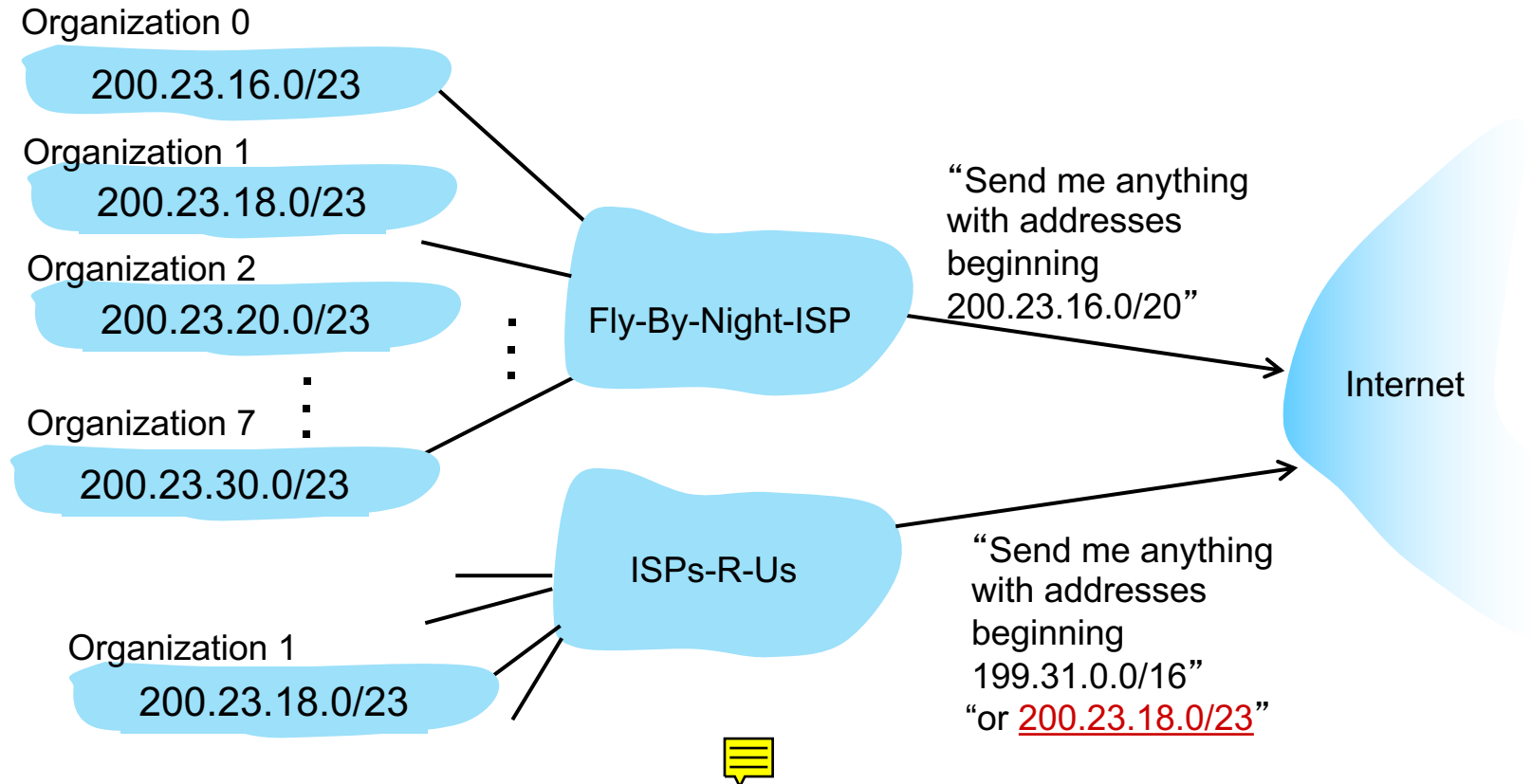
Indirizzamento gerarchico: route aggregation

l'indirizzamento gerarchico consente la pubblicazione (advertise) efficiente delle informazioni di instradamento:



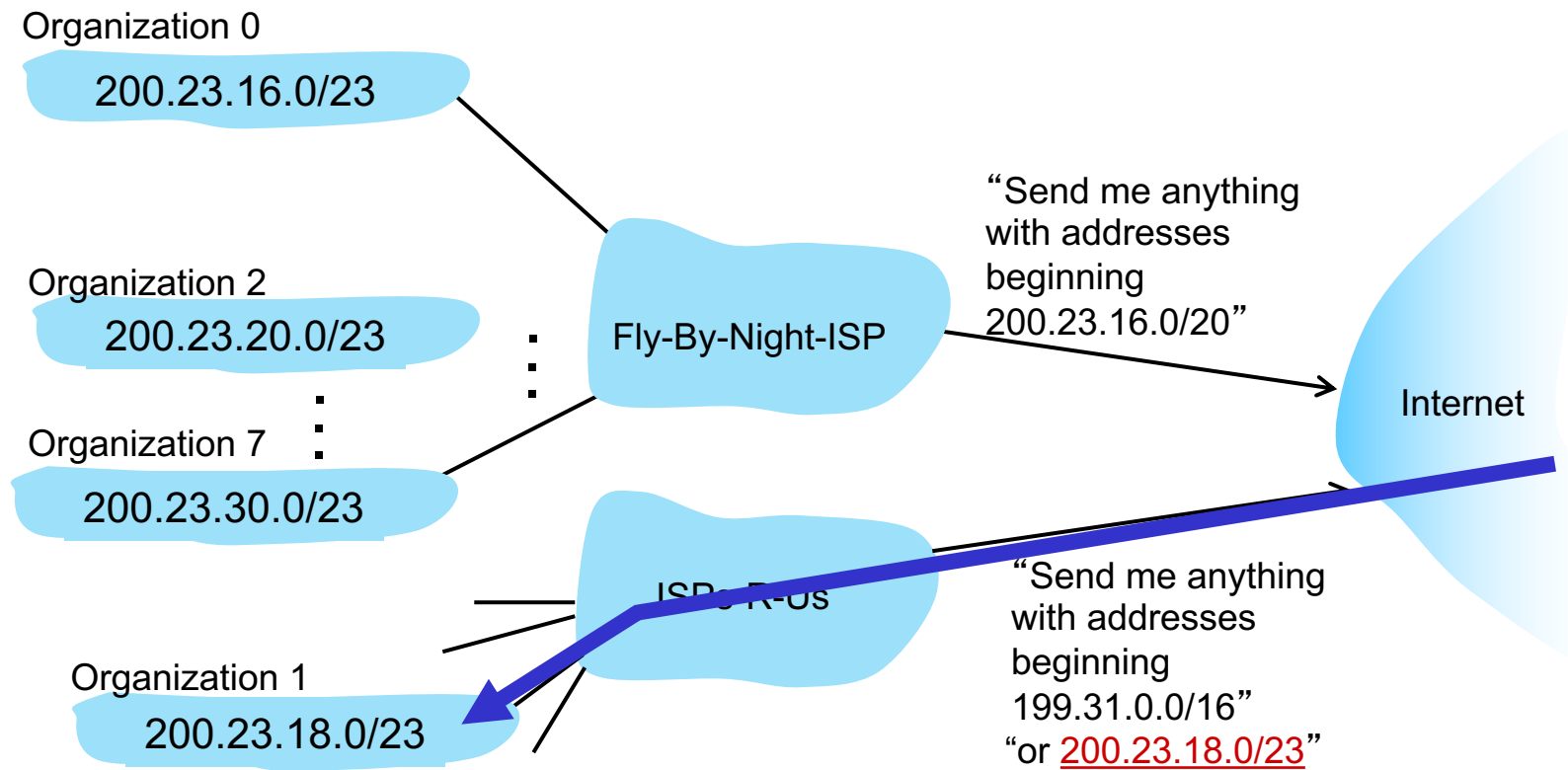
Indirizzamento gerarchico: percorsi più specifici

- L'organizzazione 1 passa da Fly-By-Night-ISP a ISPs-R-Us
- ISPs-R-Us ora pubblica (advertise) un percorso più specifico per l'organizzazione 1



Indirizzamento gerarchico: percorsi più specifici

- L'organizzazione 1 passa da Fly-By-Night-ISP a ISPs-R-Us
- ISPs-R-Us ora pubblica (advertise) un percorso più specifico per l'organizzazione 1



Indirizzamento IP: blocco per ISP

D: come fa un ISP a ottenere un blocco di indirizzi?

R: ICANN: Internet Corporation for Assigned Names and Numbers
<http://www.icann.org/>

- alloca gli indirizzi IP, attraverso 5 registri regionali (RR) (che possono quindi allocare ai registri locali)
- gestisce la zona radice DNS, inclusa la delega della gestione dei singoli TLD (.com, .edu, ...).

D: ci sono abbastanza indirizzi IP a 32 bit?

- L'ICANN ha assegnato l'ultima parte degli indirizzi IPv4 agli RR nel 2011
- NAT (successivo) aiuta l'esaurimento dello spazio degli indirizzi IPv4
- IPv6 ha uno spazio degli indirizzi a 128 bit

"Chi diavolo sapeva di quanto spazio di indirizzi avremmo avuto bisogno?" Vint Cerf (riflettendo sulla decisione di rendere l'indirizzo IPv4 lungo 32 bit)

Perchè la maschera?

- Maschera dell'indirizzo: numero composto da 32 bit in cui i primi n bit a sinistra sono impostati a 1 e il resto $(32-n)$ a 0
- Può essere usata da un programma per calcolare in modo efficiente le informazioni di un blocco, usando solo tre operatori sui bit
- Il numero degli indirizzi del blocco è $N = \text{NOT}(\text{maschera}) + 1$
- Il primo indirizzo del blocco = (qualsiasi indirizzo del blocco) AND (maschera)
- L'ultimo indirizzo del blocco = (qualsiasi indirizzo del blocco) OR (NOT (maschera))
- **match**: (indirizzo di destinazione) AND (maschera) =? subnet

Indirizzi IP speciali

0 0	This host
0 0 ... 0 0 Host	A host on this network
1 1	Broadcast on the local network
Network 1 1 1 1 ... 1 1 1 1	Broadcast on a distant network
127 (Anything)	Loopback

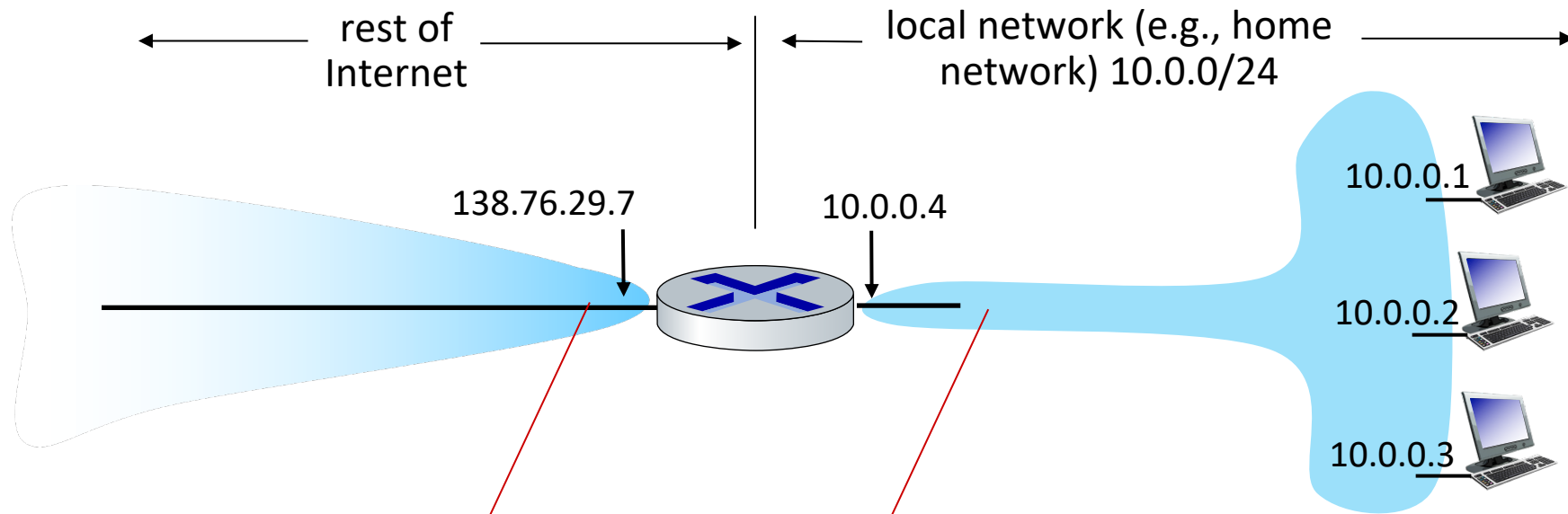
- L'indirizzo **0.0.0.0** è utilizzato dagli host al momento del boot (IP non ancora assegnato)
 - configurare un server in ascolto su 0.0.0.0/24 significa accettare tutti i pacchetti
- Gli indirizzi IP che hanno lo **0** come **numero di rete** si riferiscono alla sottorete corrente
- L'indirizzo composto da tutti 1 permette la trasmissione **broadcast** sulla rete locale (in genere una LAN)
- Gli indirizzi con numero di rete opportuno e tutti **1** nel campo **host** permettono l'invio di pacchetti broadcast a LAN distanti
- Gli indirizzi nella forma **127.xx.yy.zz** sono riservati al **loopback** (questi pacchetti non vengono immessi nel cavo ma elaborati localmente e trattati come pacchetti in arrivo)

Livello di rete: sommario

- Livello di rete: panoramica
 - piano dati
 - piano di controllo
- Dentro i router
 - porte di ingresso, commutazione, porte di uscita
 - gestione del buffer, scheduling
- IP: il protocollo Internet
 - formato datagramma
 - indirizzamento
 - NAT: traduzione di indirizzi di rete
 - IPv6
- Forwarding generalizzato, SDN
 - Match+action
 - OpenFlow: incontro+azione in azione
- Middleboxes

NAT: network address translation

NAT: tutti i dispositivi nella subnet condividono **un solo indirizzo IPv4** per quanto concerne il mondo esterno



Tutto i datagrammi *che escono* dalla rete locale hanno lo *stesso* indirizzo IP NAT di origine: 138.76.29.7, ma *diversi* numeri di porta di origine

i datagrammi con sorgente o destinazione in questa rete hanno indirizzo 10.0.0/24 per sorgente e destinazione (come prima)

NAT: network address translation

- tutti i dispositivi nella rete locale hanno indirizzi a 32 bit in uno spazio di indirizzi IP "privato" (prefissi 10/8, 172.16/12, 192.168/16) che possono essere utilizzati solo nella rete locale
- vantaggi per questa rete locale:
 - **un** solo indirizzo IP dal provider ISP per *tutti i* dispositivi
 - può cambiare gli indirizzi dell'host nella rete locale senza avvisare il mondo esterno
 - può cambiare ISP senza cambiare gli indirizzi dei dispositivi nella rete locale
 - sicurezza: dispositivi all'interno della rete locale non direttamente indirizzabili/visibili dall'esterno

NAT: network address translation

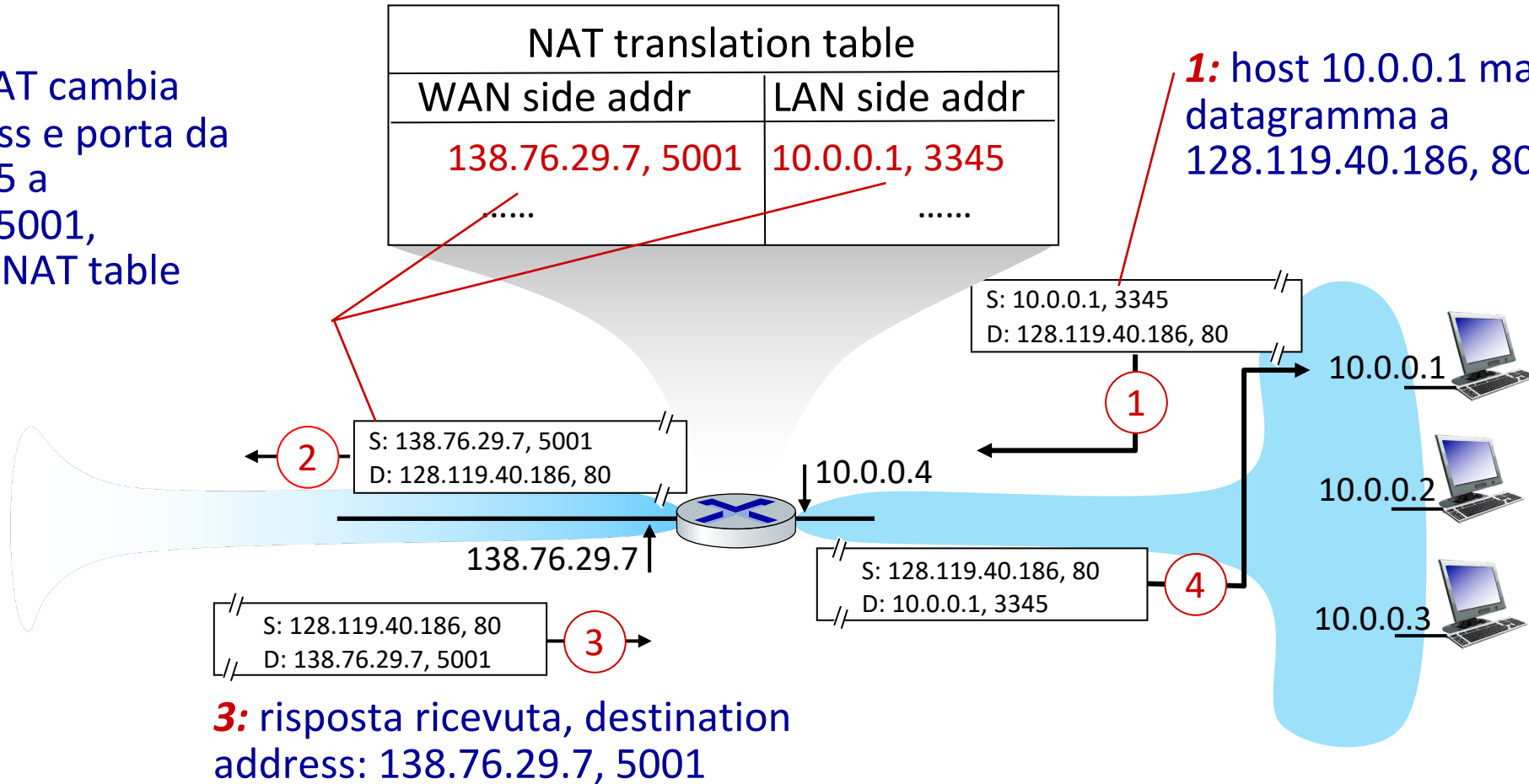
implementazione: il router NAT deve (in modo trasparente):

- **datagrammi in uscita:** sostituire <indirizzo IP di origine, numero di porta> di ogni datagramma in uscita con <indirizzo IP NAT, nuovo numero di porta>
 - i client/server remoti risponderanno utilizzando <indirizzo IP NAT, nuovo numero di porta> come indirizzo di destinazione
- **ricordare (nella tabella di traduzione NAT)** ogni coppia di conversione da <indirizzo IP di origine, numero di porta> a <indirizzo IP NAT, nuovo numero di porta>.
- **datagrammi in arrivo:** sostituire <indirizzo IP NAT, nuovo numero di porta> nei campi di destinazione di ogni datagramma in arrivo con il corrispondente <indirizzo IP di origine, numero di porta> memorizzato nella tabella NAT

NAT: network address translation

2: Il router NAT cambia source address e porta da 10.0.0.1, 3345 a 138.76.29.7, 5001, e aggiorna la NAT table

1: host 10.0.0.1 manda il datagramma a 128.119.40.186, 80



NAT: network address translation

- NAT è stato controverso:
 - i router "dovrebbero" processare solo pacchetto fino al livello di rete
 - la "carenza" di indirizzi dovrebbe essere risolta da IPv6
 - viola l'argomento end-to-end (manipolazione del numero di porta da parte del dispositivo a livello di rete)
 - NAT traversal: cosa succede se il client desidera connettersi a un server dietro NAT?
- ma NAT è qui per restare:
 - ampiamente utilizzato in reti domestiche e istituzionali, reti cellulari 4G/5G

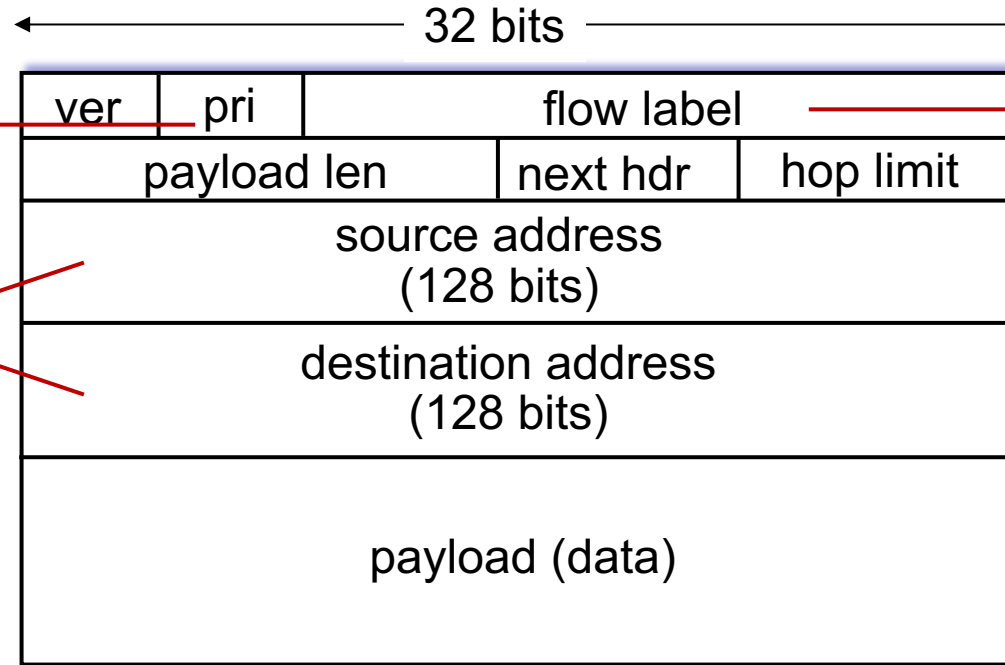
IPv6: motivazione

- **motivazione iniziale:** lo spazio degli indirizzi IPv4 a 32 bit sarebbe stato completamente allocato
- motivazione aggiuntiva:
 - velocità di elaborazione/inoltro: intestazione a lunghezza fissa di 40 byte, rimozione frammentazione e checksum
 - consentire un diverso trattamento dei "flussi" a livello di rete, concetto connessione tra endpoint nel pacchetto IP (flow label)
 - anycast: consegna a un qualsiasi host facente parte di un gruppo

Formato datagramma IPv6

priority: livello di priorità del datagramma

128-bit
IPv6 addresses



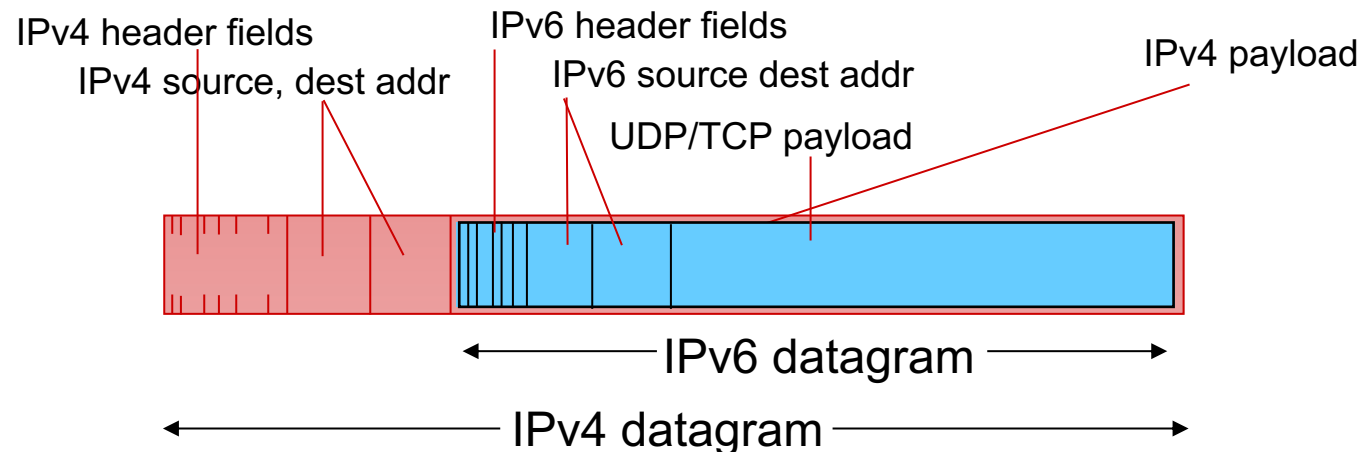
flow label: identifica datagrammi nello stesso flusso (concetto di flusso non definito)

Cosa manca (rispetto a IPv4):

- nessun checksum (per velocizzare l'elaborazione sui router)
- nessuna frammentazione/rimontaggio
- nessuna opzione (disponibile usando protocolli di livello superiore)

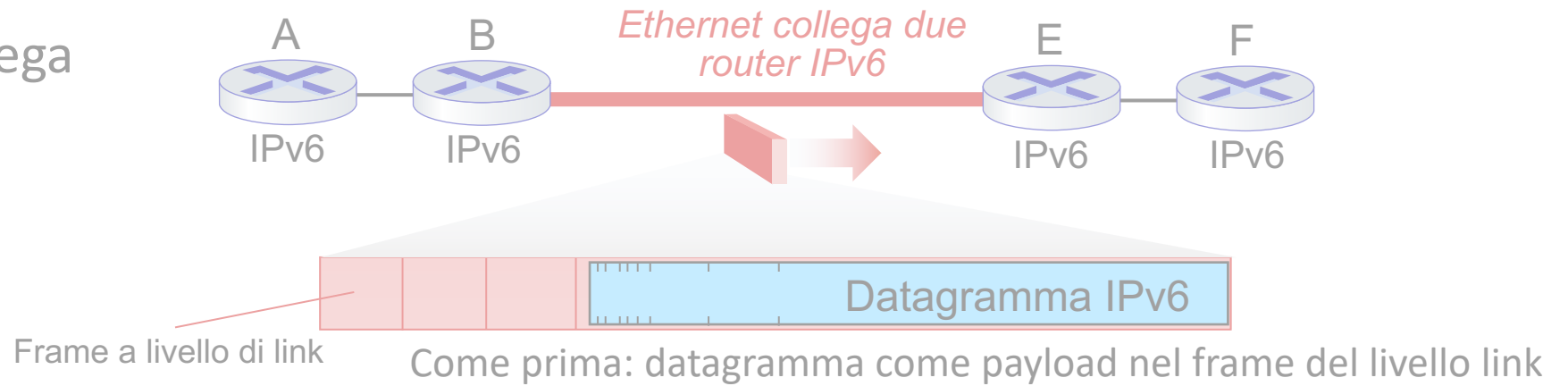
Transizione da IPv4 a IPv6

- non tutti i router possono essere aggiornati contemporaneamente
 - non è stato deciso un "giorno di cambio" entro cui fare la transizione
 - come funzionerà la rete con router misti IPv4 e IPv6?
- **tunneling**: datagramma IPv6 trasportato come *payload* nel datagramma IPv4 tra router IPv4 ("pacchetto all'interno di un pacchetto")
 - tunneling ampiamente utilizzato in altri contesti (4G/5G)

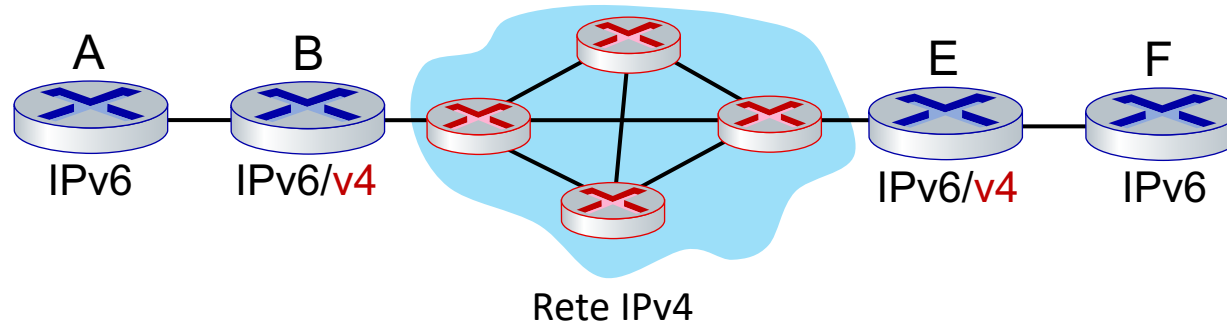


Tunneling e incapsulamento

Ethernet che collega
due router IPv6:

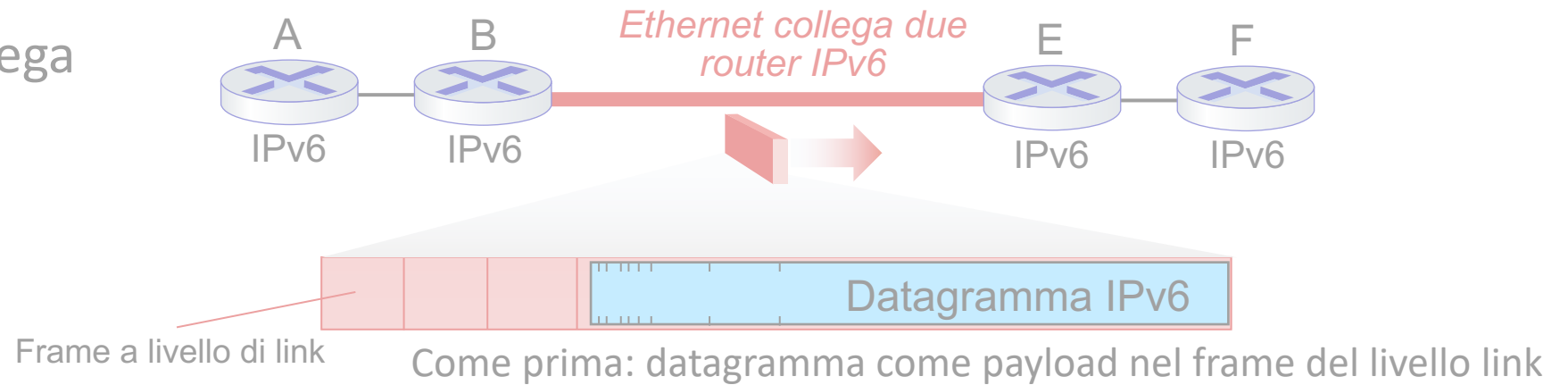


Rete IPv4 che
collega due router
IPv6

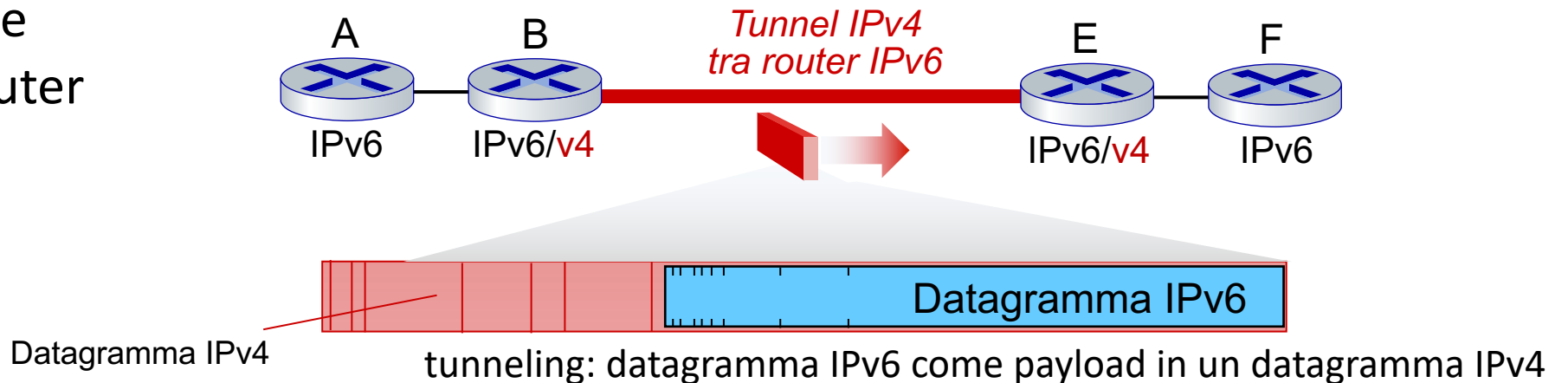


Tunneling e incapsulamento

Ethernet che collega
due router IPv6:

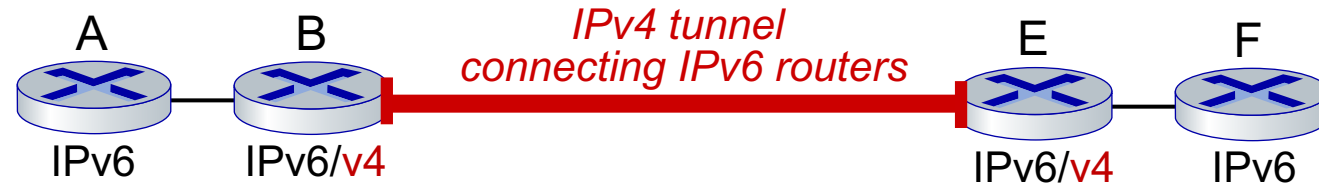


Tunnel IPv4 che
collega due router
IPv6

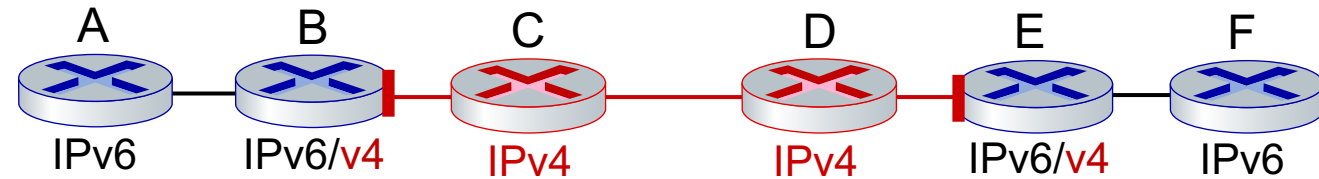


Tunneling

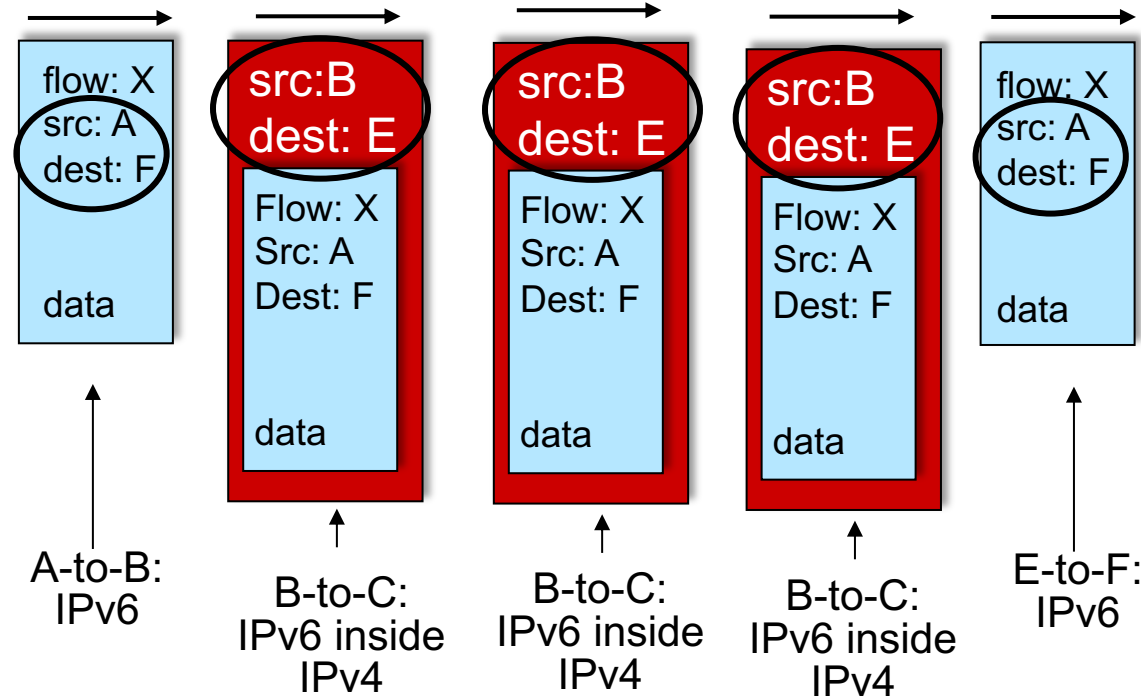
logical view:



physical view:



Nota gli indirizzi
di sorgente e
destinazione!

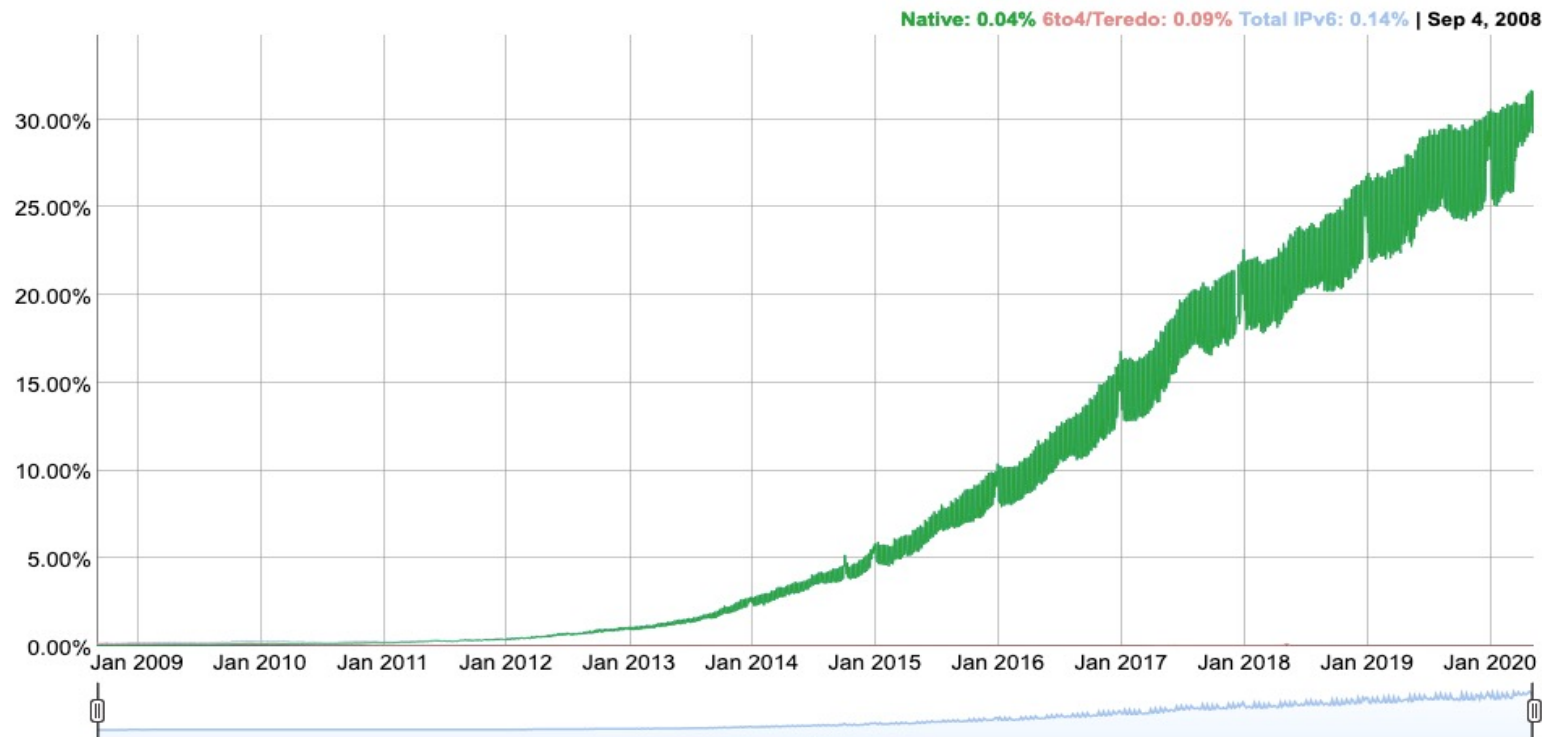


IPv6: adozione

- Google¹ : ~ 30% dei clienti accede ai servizi tramite IPv6
- NIST: 1/3 di tutti i domini del governo degli Stati Uniti sono compatibili con IPv6

IPv6 Adoption

We are continuously measuring the availability of IPv6 connectivity among Google users. The graph shows the percentage of users that access Google over IPv6.



¹<https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>

IPv6: adozione

- Google¹ : ~30% dei clienti accede ai suoi servizi tramite IPv6
- NIST: 1/3 di tutti i domini del governo degli Stati Uniti sono compatibili con IPv6
- Tempo lungo (lungo!) per la distribuzione e l'uso
 - 25 anni e oltre!
 - Molto diverso rispetto ai cambiamenti a livello di applicazione negli ultimi 25 anni: WWW, social media, streaming media, giochi, telepresenza, ...
 - *Perché?*
 - *NAT ha reso l'adozione meno urgente*
 - *cambiamenti a livello di rete più costosi*
 - *cambiare fondamenta di una casa con gli abitanti ancora dentro*

¹<https://www.google.com/intl/en/ipv6/statistics.html>