

Università degli Studi di Roma "Tor Vergata"  
Laurea in Informatica

Sistemi Operativi e Reti  
(modulo Reti)  
a.a. 2023/2024

# Livello di rete: piano dei dati (parte2)

dr. Manuel Fiorelli

[manuel.fiorelli@uniroma2.it](mailto:manuel.fiorelli@uniroma2.it)

<https://art.uniroma2.it/fiorelli>

Basate sulle slide del libro di testo:

[https://gaia.cs.umass.edu/kurose\\_ross/ppt.php](https://gaia.cs.umass.edu/kurose_ross/ppt.php)

# Livello di rete: tabella di marcia sul “piano dei dati”

- Livello di rete: panoramica
  - piano dei dati
  - piano di controllo
- Cosa c'è dentro un router
  - Porte di ingresso, struttura di commutazione, porte di uscita
  - buffer management, scheduling
- IP: il Protocollo Internet
  - Formato dei datagrammi
  - indirizzamento
  - Traduzione degli indirizzi di rete
  - IPv6

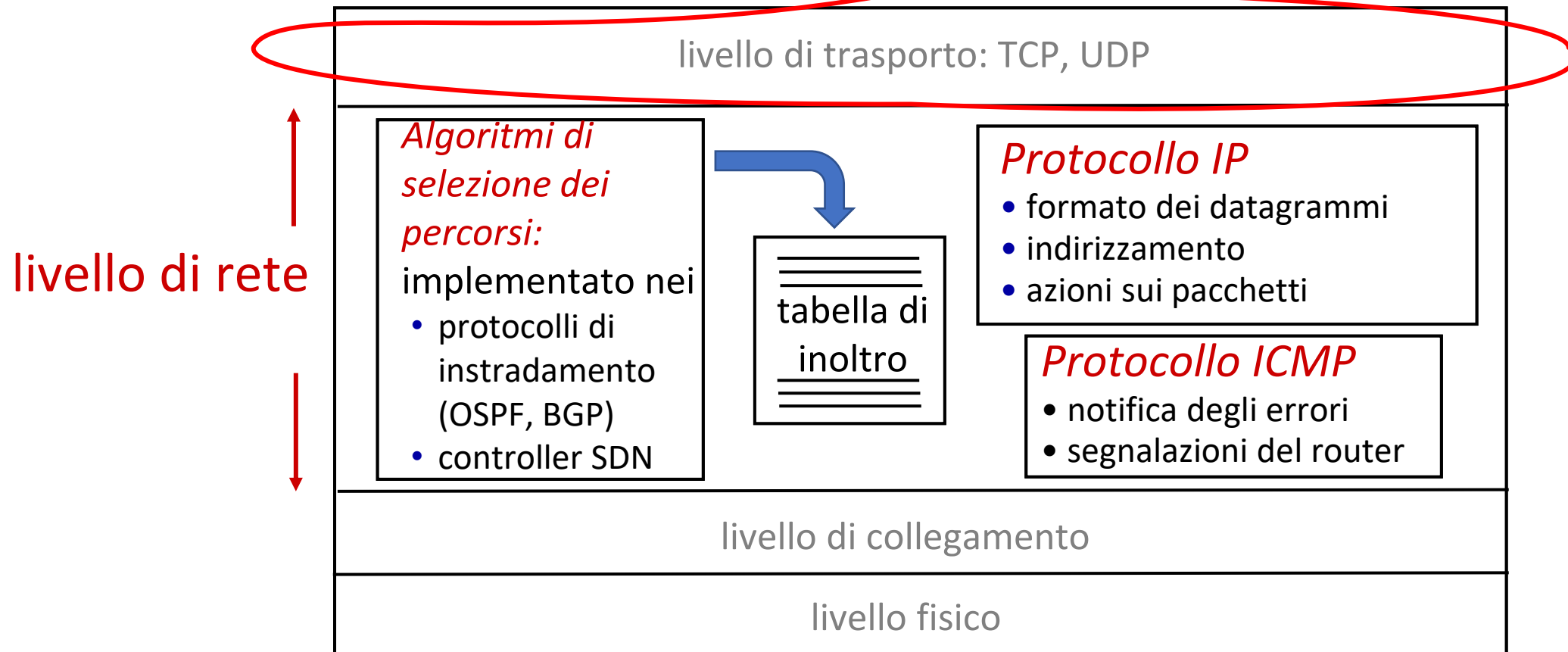


- Inoltro generalizzato, SDN
  - Match+action
  - OpenFlow: match+action in azione
- Middlebox

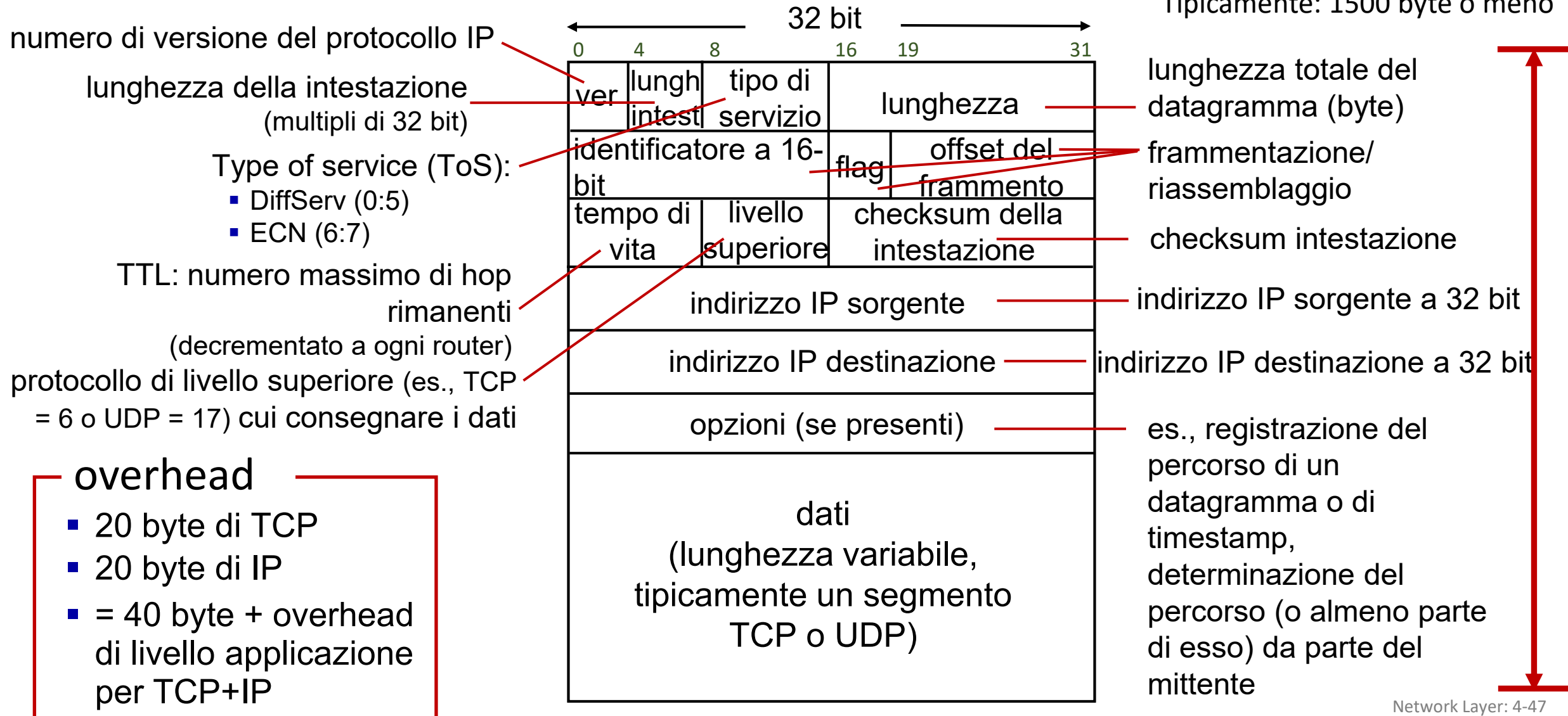
# Livello di rete: Internet

**Attenzione:** i router non implementano questo livello!

Uno sguardo a livello di rete Internet

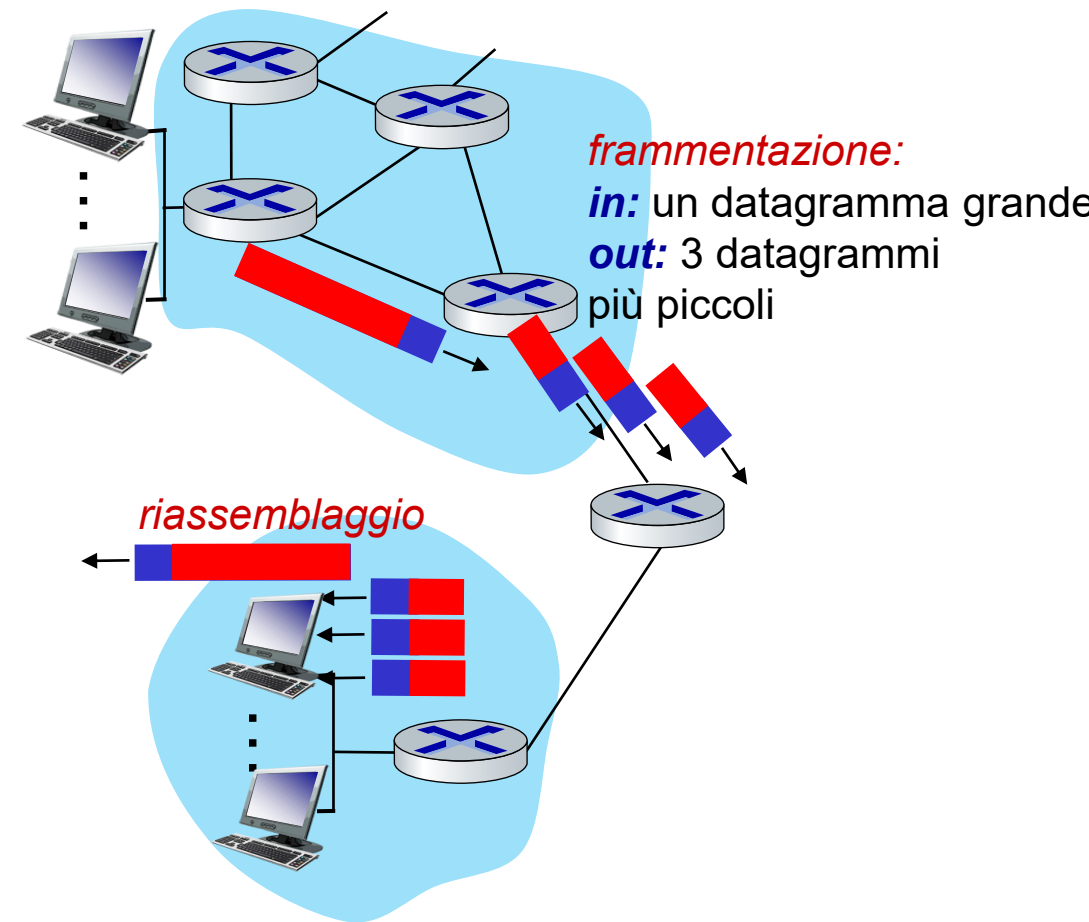


# Formato dei datagrammi IP



# Frammentazione dei datagrammi IP

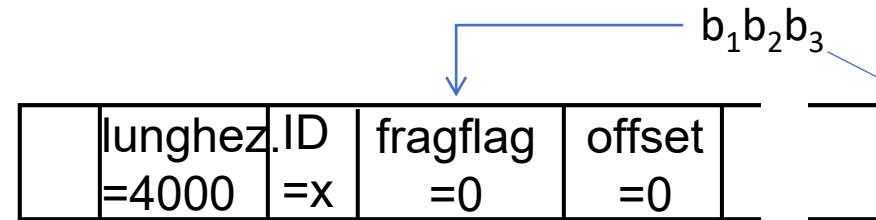
- L'unità massima di trasmissione (MTU) è la massima quantità di dati che un frame a livello di collegamento può trasportare
  - Differenti tipi di collegamento, differenti MTU
- Datagrammi IP grandi vengono suddivisi ("frammentati") in datagrammi IP più piccoli
  - un datagramma viene frammentato
  - i frammenti saranno "riassemblati" solo una volta raggiunta la *destinazione*
  - i bit dell'intestazione IP sono usati per identificare e ordinare i frammenti



# Frammentazione e riassetblaggio IP

## Esempio:

- Datagramma di 4000 byte
- MTU = 1500 byte

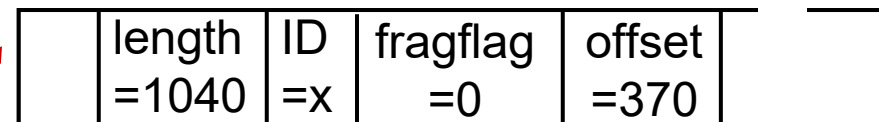
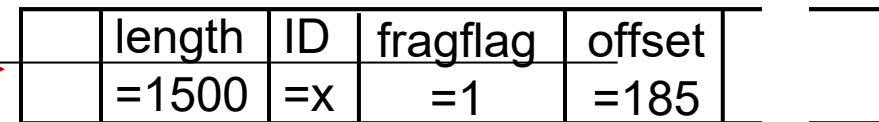
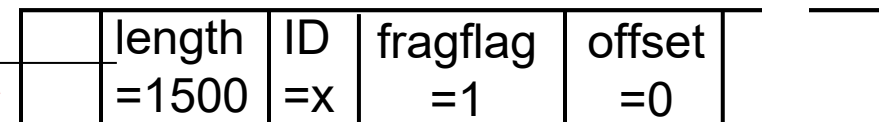


- bit 0: Riservato; deve essere 0
- bit 1: Don't Fragment (DF)
- bit 2: More Fragments (MF)

*Un datagramma IP grande viene frammentato in datagrammi IP più piccoli*

1480 byte nel  
campo dati

offset =  
 $1480/8$



unico per una combinazione di  
indirizzo IP sorgente e destinazione e  
protocollo

# Frammentazione e riassetblaggio IP

- Deprecato, rimosso in IPv6

- *Path MTU Discovery*

- invio di pacchetti con bit (DF) Don't Fragment impostato a 1
- se il router non può inoltrare il datagramma perché eccede la MTU, scarta il pacchetto e invia al mittente un messaggio ICMP "Destination Unreachable: Fragmentation Required "

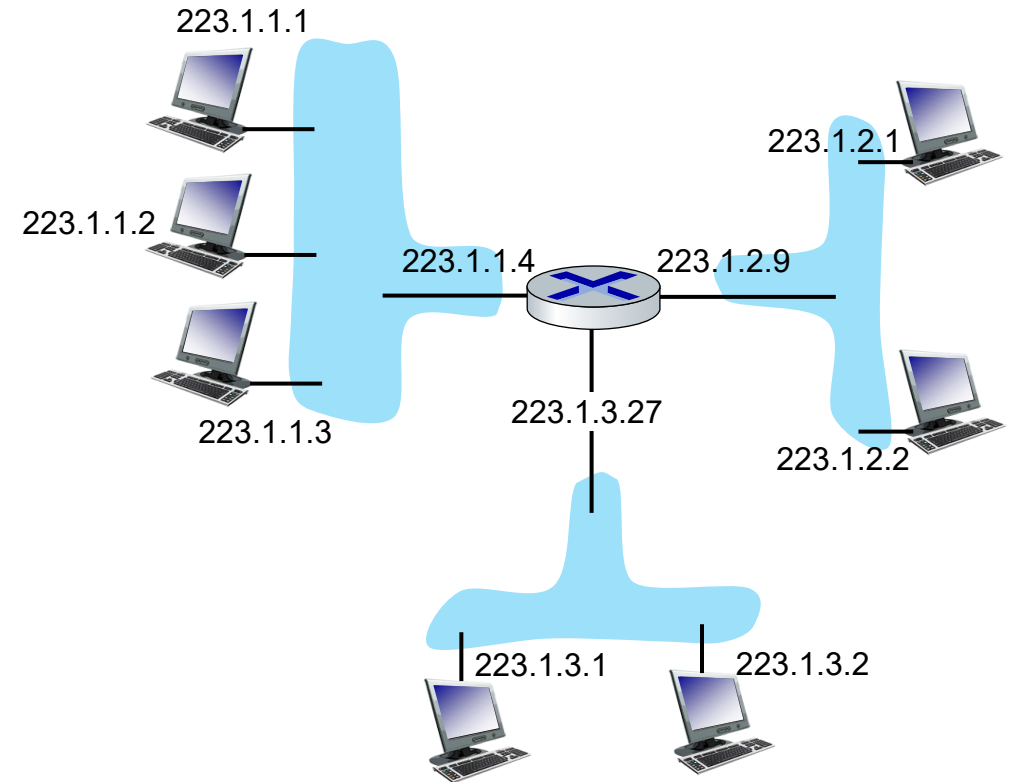
Il problema è che questi messaggi ICMP possono essere bloccati (per motivi di sicurezza): in questi casi, per esempio, un mittente TCP rischia addirittura di ritrasmettere inutilmente lo pacchetto più volte! Inoltre, il percorso e quindi la MTU possono cambiare!

Sono stati proposti approcci alternativi più robusti.

Tra le alternative: manipolazione di segmenti SYN in fase di instaurazione di una connessione TCP, cambiando l'opzione relativa al MSS.

# Indirizzamento IP: introduzione

- **Indirizzo IP:** identificatore a 32 bit associato a ciascuna *interfaccia* di host e router
- **interfaccia:** connessione tra host/router e collegamento fisico
  - i router hanno tipicamente più interfacce
  - gli host hanno tipicamente una o due interfacce (es., Ethernet cablata, 802.11 wireless)



notazione decimale puntata (*dotted-decimal notation*):

223.1.1.1 = 11011111 00000001 00000001 00000001

223                      1                      1                      1

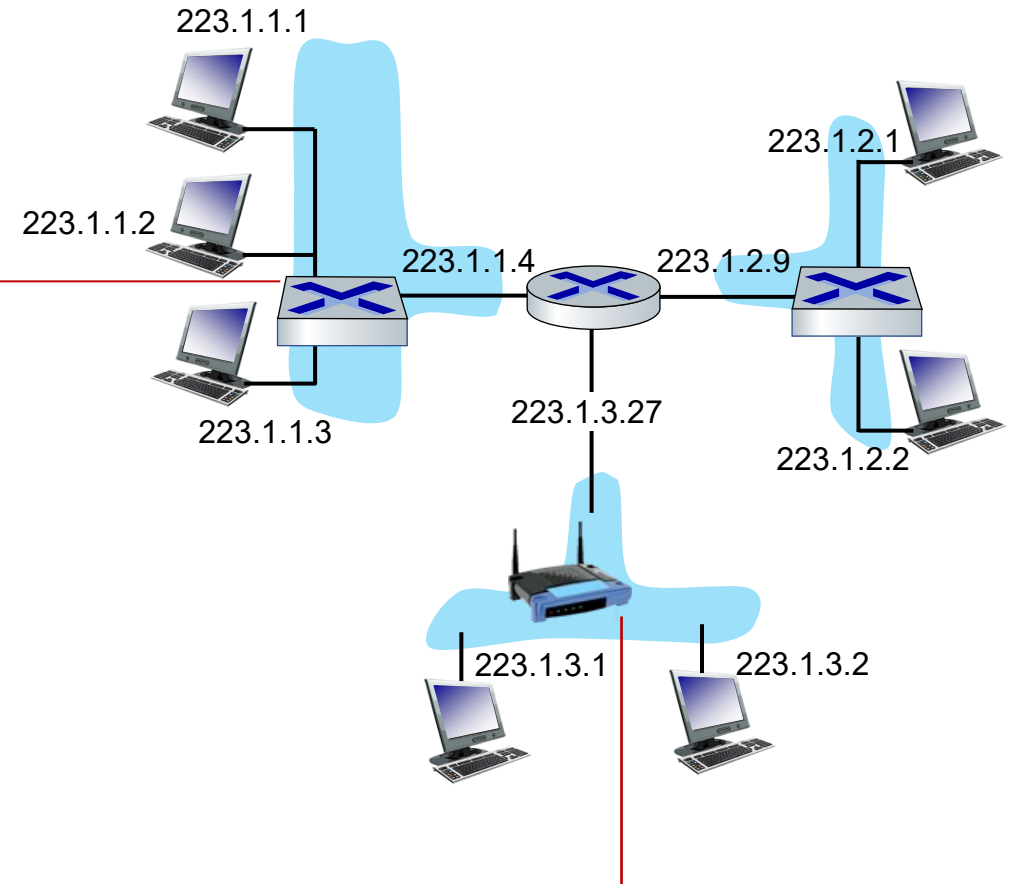


# Indirizzamento IP: introduzione

**D:** come sono  
effettivamente  
collegate le  
interfacce?

**R:** interfacce cablate  
Ethernet connesse  
da Ethernet switches

**Per ora:** non c'è bisogno di  
preoccuparsi di come una  
interfaccia sia connessa a  
un'altra (senza l'intervento di  
alcun router)



**R:** interfacce wireless WiFi  
connesse da stazioni base WiFi

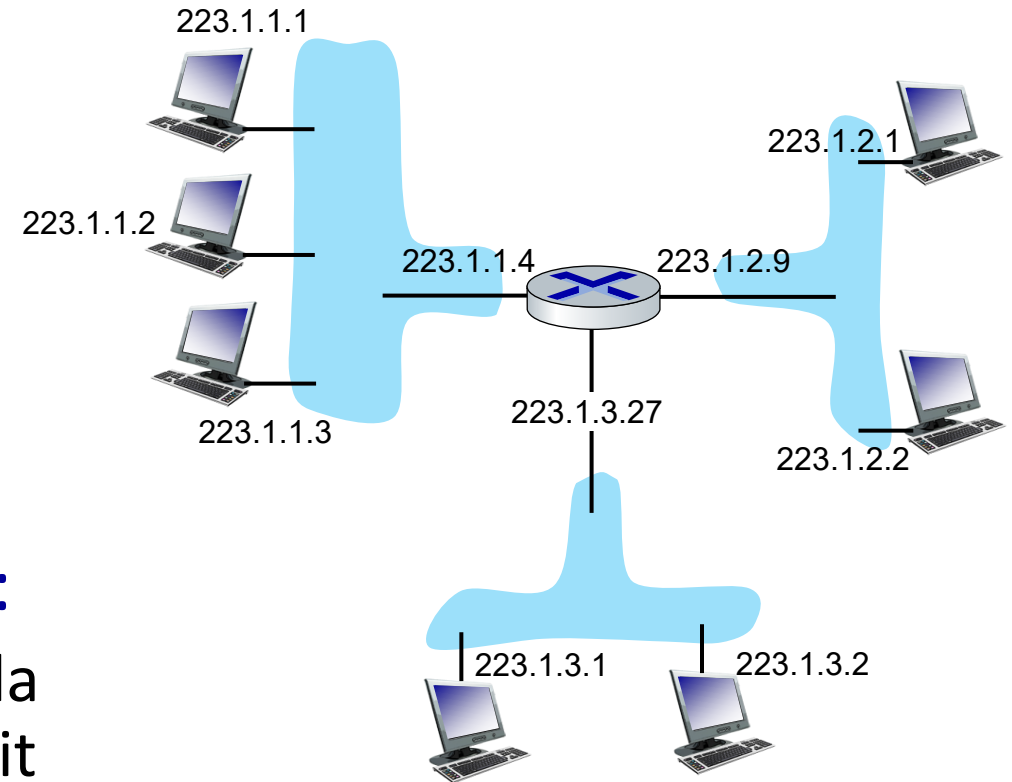
# Sottoreti (*subnet*)

## ■ *Cos'è una sottorete?*

- Interfacce di dispositivi che possono raggiungersi fisicamente **senza passare attraverso un router intermedio**

## ■ Gli indirizzi IP hanno una struttura:

- **parte della sottorete:** i dispositivi della stessa sottorete hanno in comune i bit di ordine superiore
- **Parte dell'host:** i **rimanenti** bit di ordine inferiore

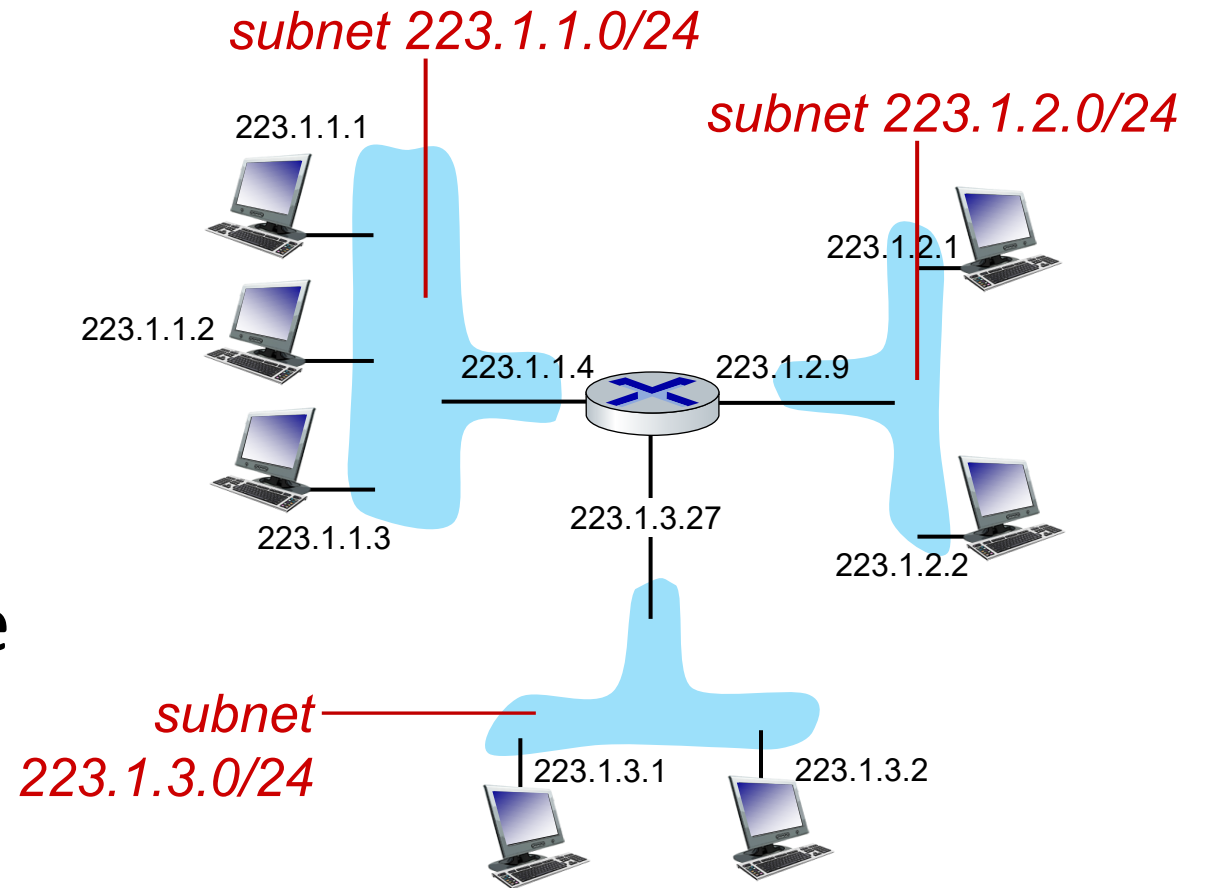


rete composta da 3 sottoreti

# Sottoreti (*subnet*)

## *Procedura per definire le sottoreti:*

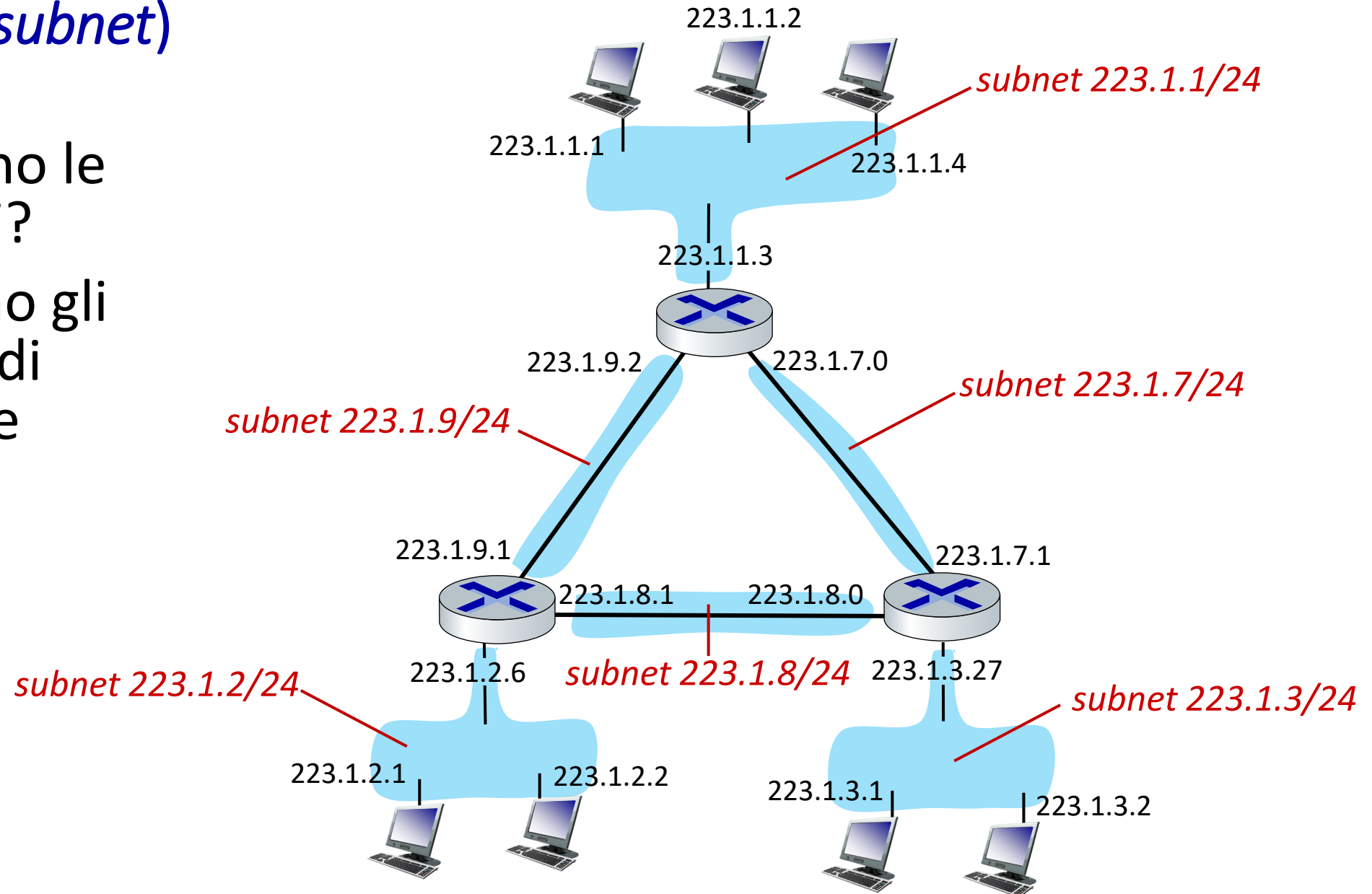
- si sgancino le interfacce da host e router in maniera tale da creare "isole" di reti isolate delimitate dalle interfacce
- ognuna di queste reti isolate viene detta *sottorete* (subnet)



maschera di sottorete (subnet mask): /24  
(24 bit di ordine superiore: parte di sottorete dell'indirizzo IP)

# Sottoreti (*subnet*)

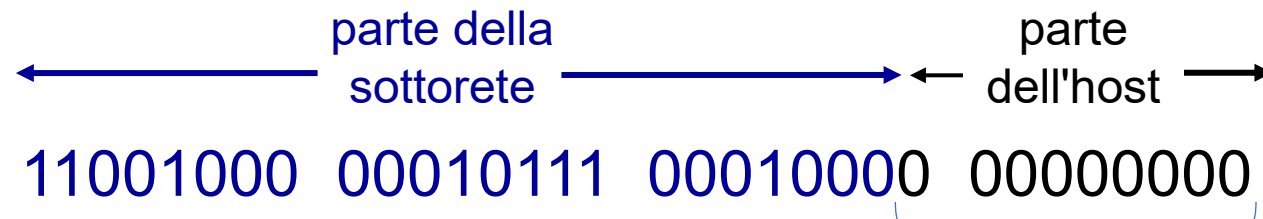
- dove sono le sottoreti?
- cosa sono gli indirizzi di sottorete /24?



# Indirizzamento IP: CIDR

**CIDR: Classless InterDomain Routing** (pronounced “cider”)

- parte della sottorete dell'indirizzo di lunghezza arbitraria
- formato dell'indirizzo: **a.b.c.d/x**, dove x è il numero di bit della porzione di sottorete dell'indirizzo



200.23.16.0/23

$2^9 - 2$  interfacce, perché gli indirizzi:

- tutti 0 indica la rete
- tutti 1 è l'indirizzo di (directed) broadcast

Esiste un altro tipo di broadcast, detto limited, (255.255.255.255) che corrisponde al broadcast L2

# Indirizzamento IP: classful addressing

Spazio di indirizzamento IPv4 suddiviso in blocchi con prefisso di rete di 8, 16 e 24 bit

Classe	Bit iniziali	parte della sottorete	Parte dell'host	Numero di reti	Numero di indirizzi per rete	Numero totale di indirizzi	Indirizzo iniziale	Indirizzo finale	Maschera di rete in dot-decimal notation	Notazione CIDR
Classe A	0	8	24	128 ( $2^7$ )	16,777,216 ( $2^{24}$ )	$2^{31}$	0.0.0.0	127.255.255.255	255.0.0.0	/8
Classe B	10	16	16	16,384 ( $2^{14}$ )	65,536 ( $2^{16}$ )	$2^{30}$	128.0.0.0	191.255.255.255	255.255.0.0	/16
Classe C	110	24	8	2,097,152 ( $2^{21}$ )	256 ( $2^8$ )	$2^{29}$	192.0.0.0	223.255.255.255	255.255.255.0	/24
Classe D (multicast)	1110	non definita	non definita	non definito	non definito	$2^{28}$	224.0.0.0	239.255.255.255	non definita	/4
Classe E (reserved)	1111	non definita	non definita	non definito	non definito	$2^{28}$	240.0.0.0	255.255.255.255	non definita	non definita

# Indirizzamento IP: classful addressing

- L'indirizzamento per classi è stato ormai abbandonato, in favore di CIDR
- CIDR ha diversi vantaggi:
  - più efficiente allocazione di blocchi di indirizzi
  - aggregazione di indirizzi (vedi dopo) con conseguente riduzione delle tabelle di instradamento

# Indirizzi IP: come ottenerne uno?

In realtà si tratta di **due** domande:

1. D: Come fa un *host* a ottenere l'indirizzo IP all'interno della sua rete (parte host dell'indirizzo)?
2. D: Come fa una *rete* a ottenere l'indirizzo IP (parte dell'indirizzo relativa alla rete)?

Come *l'host* ottiene l'indirizzo IP?

- codificato dal sysadmin nel file di configurazione
- **DHCP**: Dynamic **H**ost **C**onfiguration **P**rotocol: permette a un host di ottenere un indirizzo IP in modo automatico
  - “plug-and-play”



# DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

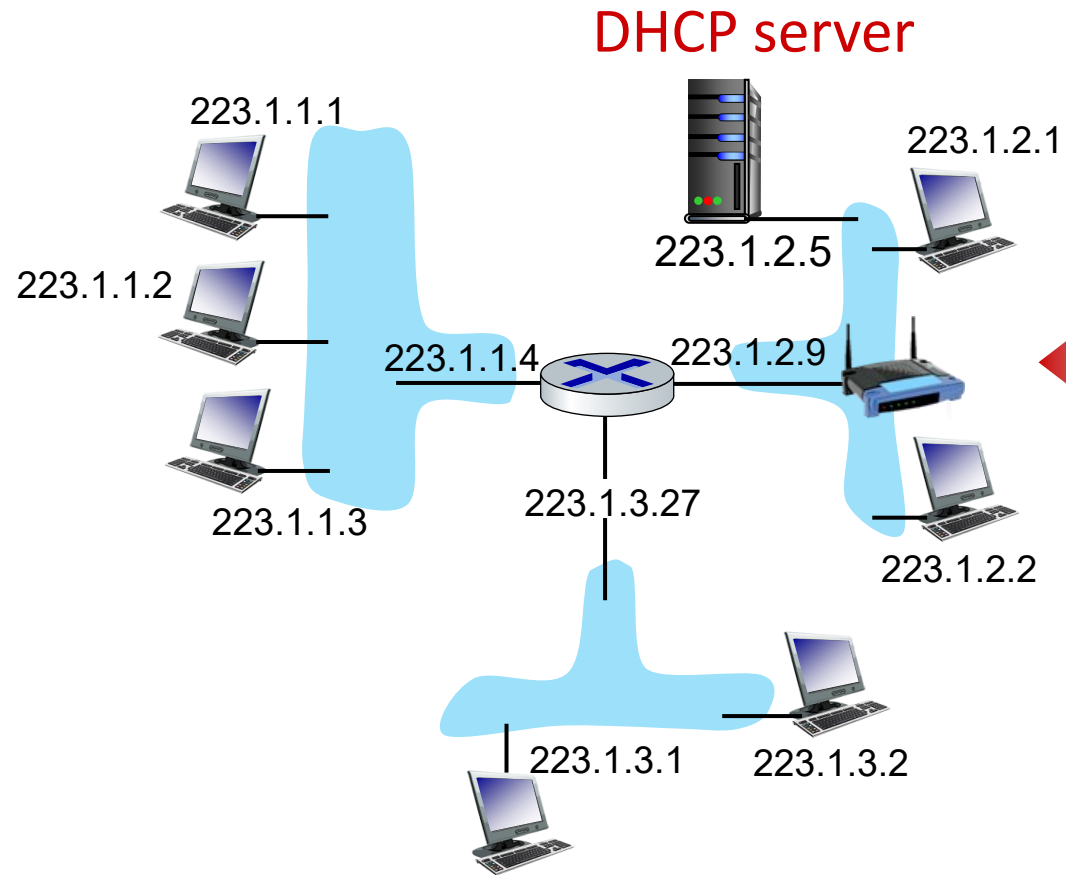
**obiettivo:** l'host ottiene *dinamicamente* l'indirizzo IP dal server di rete quando si "unisce" alla rete.

- può rinnovare la propria concessione per l'indirizzo in uso
- permette il riutilizzo degli indirizzi (mantiene l'indirizzo solo quando è collegato/acceso)
- supporto per gli utenti mobili che si uniscono/abbandonano la rete (ma non permette il mantenimento di una connessione TCP attiva, perché si ottiene un indirizzo IP differente)

## Panoramica di DHCP

- l'host invia in broadcast un messaggio **DHCP discover** [opzionale]
- il server DHCP risponde con messaggio **DHCP offer** [opzionale]
- l'host richiede un indirizzo IP: messaggio **DHCP request**
- il server DHCP invia un indirizzo IP: messaggio **DHCP ack**

# DHCP client-server scenario



In genere, il server DHCP è collocato nel router e serve tutte le sottoreti a cui il router è collegato.



il **client DHCP** in arrivo su questa rete ha bisogno di indirizzo

# DHCP client-server scenario

Server DHCP: 223.1.2.5



DHCP discover

Broadcast: c'è un server  
DHCP là fuori?

Client in arrivo



# DHCP client-server scenario

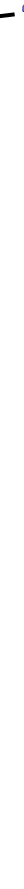
Server DHCP: 223.1.2.5



**DHCP discover**

src : 0.0.0.0, 68  
dest.: 255.255.255.255, 67  
yiaddr: 0.0.0.0  
transaction ID: 654

Client in arrivo



# DHCP client-server scenario

Server DHCP: 223.1.2.5



**DHCP discover**

src : 0.0.0.0, 68  
dest.: 255.255.255.255, 67  
yiaddr: 0.0.0.0  
transaction ID: 654

Client in arrivo



**DHCP offer**

Broadcast: Sono un server  
DHCP. Questo è un indirizzo  
IP che puoi usare

# DHCP client-server scenario

Server DHCP: 223.1.2.5



**DHCP discover**

src : 0.0.0.0, 68  
dest.: 255.255.255.255, 67  
yiaddr: 0.0.0.0  
transaction ID: 654

Client in arrivo



**DHCP offer**

src: 223.1.2.5, 67  
dest: 255.255.255.255, 68  
yiaddr: 223.1.2.4  
transaction ID: 654  
lifetime: 3600 secs



# DHCP client-server scenario

Server DHCP: 223.1.2.5

**DHCP discover**

src : 0.0.0.0, 68  
dest.: 255.255.255.255, 67  
yiaddr: 0.0.0.0  
transaction ID: 654

Client in arrivo



**DHCP offer**

src: 223.1.2.5, 67  
dest: 255.255.255.255, 68  
yiaddr: 223.1.2.4  
transaction ID: 654  
lifetime: 3600 secs

**DHCP request**

Broadcast: OK. Voglio  
usare questo indirizzo IP!

I due passaggi precedenti  
possono essere saltati "se  
un client si ricorda e  
desidera riutilizzare un  
indirizzo di rete  
precedentemente  
assegnato".  
[RFC 2131]

# DHCP client-server scenario

Server DHCP: 223.1.2.5

## DHCP discover

src : 0.0.0.0, 68  
dest.: 255.255.255.255, 67  
yiaddr: 0.0.0.0  
transaction ID: 654

Client in arrivo



## DHCP offer

src: 223.1.2.5, 67  
dest: 255.255.255.255, 68  
yiaddr: 223.1.2.4  
transaction ID: 654  
lifetime: 3600 secs

## DHCP request

src: 0.0.0.0, 68  
dest.: 255.255.255.255, 67  
yiaddr: 223.1.2.4  
transaction ID: 655  
lifetime: 3600 secs

I due passaggi precedenti possono essere saltati "se un client si ricorda e desidera riutilizzare un indirizzo di rete precedentemente assegnato".  
[RFC 2131]



# DHCP client-server scenario

Server DHCP: 223.1.2.5

**DHCP discover**

src : 0.0.0.0, 68  
dest.: 255.255.255.255, 67  
yiaddr: 0.0.0.0  
transaction ID: 654

Client in arrivo



**DHCP offer**

src: 223.1.2.5, 67  
dest: 255.255.255.255, 68  
yiaddr: 223.1.2.4  
transaction ID: 654  
lifetime: 3600 secs

**DHCP request**

src: 0.0.0.0, 68  
dest.: 255.255.255.255, 67  
yiaddr: 223.1.2.4  
transaction ID: 655  
lifetime: 3600 secs

**DHCP ACK**

Hai quell'indirizzo IP

I due passaggi precedenti possono essere saltati "se un client si ricorda e desidera riutilizzare un indirizzo di rete precedentemente assegnato".  
[RFC 2131]

# DHCP client-server scenario

Server DHCP: 223.1.2.5

## DHCP discover

src : 0.0.0.0, 68  
dest.: 255.255.255.255, 67  
yiaddr: 0.0.0.0  
transaction ID: 654

Client in arrivo



## DHCP offer

src: 223.1.2.5, 67  
dest: 255.255.255.255, 68  
yiaddr: 223.1.2.4  
transaction ID: 654  
lifetime: 3600 secs

## DHCP request

src: 0.0.0.0, 68  
dest.: 255.255.255.255, 67  
yiaddr: 223.1.2.4  
transaction ID: 655  
lifetime: 3600 secs

## DHCP ACK

src: 223.1.2.5, 67  
dest: 255.255.255.255, 68  
yiaddr: 223.1.2.4  
transaction ID: 655  
lifetime: 3600 secs

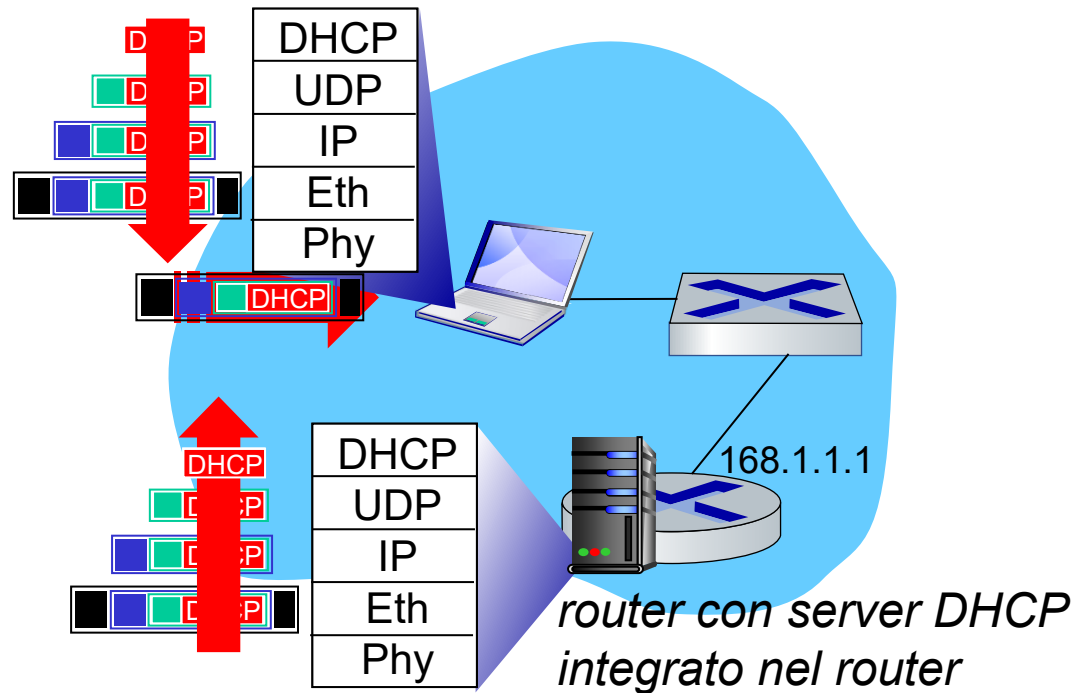
I due passaggi precedenti possono essere saltati "se un client si ricorda e desidera riutilizzare un indirizzo di rete precedentemente assegnato".  
[RFC 2131]

# DHCP: più degli indirizzi IP

Il DHCP può restituire più di un indirizzo IP assegnato alla sottorete:

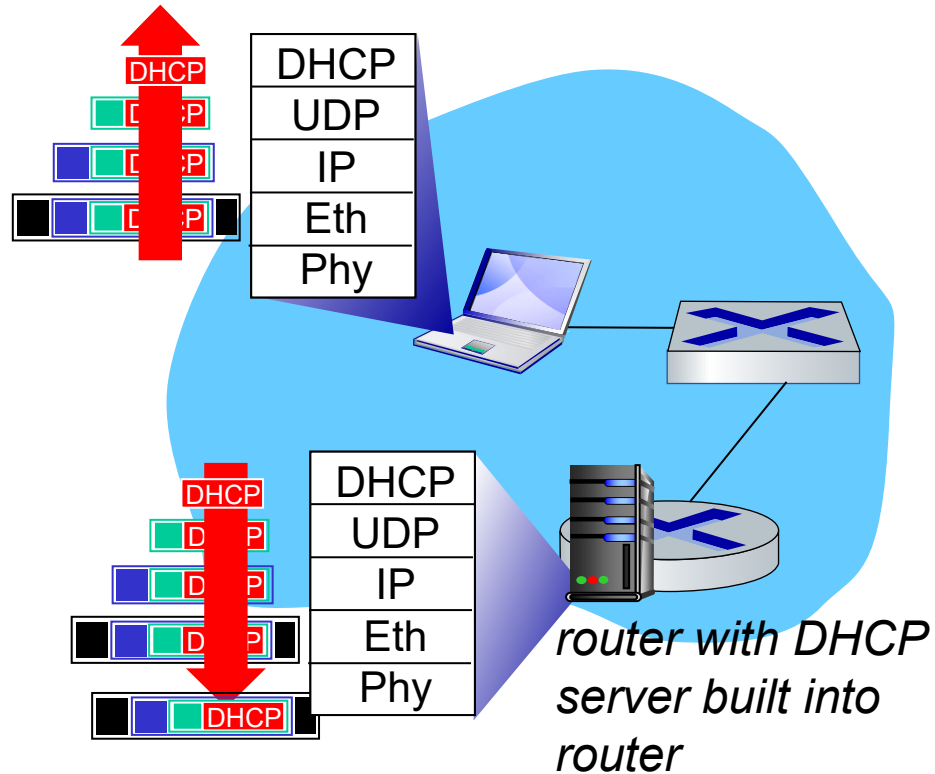
- indirizzo del router first-hop per il client
- nome e indirizzo IP del server DNS
- maschera di rete (che indica la porzione di rete rispetto a quella di host dell'indirizzo)

# DHCP: esempio



- Il portatile che si collega utilizzerà il DHCP per ottenere l'indirizzo IP, l'indirizzo del router first-hop e l'indirizzo del server DNS.
- Messaggio di richiesta DHCP incapsulato in UDP, incapsulato in IP, incapsulato in Ethernet
- Trasmissione di frame Ethernet (destinazione: `FFFFFFFFFFFF`) sulla LAN, ricevuto dal router che esegue il server DHCP
- Ethernet demultipolato in IP, IP demultipolato in UDP, UDP demultipolato in DHCP

# DHCP: esempio



- Il server DHCP formula un DHCP ACK 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.
- risposta del server DHCP incapsulata inoltrata al client, de-muxing fino a DHCP sul client
- il cliente conosce ora il proprio indirizzo IP, il nome e l'indirizzo IP del server DNS, l'indirizzo IP del router first-hop

# Indirizzi IP: come ottenerne uno?

**D:** Come fa la rete a ottenere la parte di sottorete dell'indirizzo IP?

**R:** ottiene l'assegnazione di una porzione dello spazio di indirizzi del suo provider ISP

Blocco dell'ISP      11001000 00010111 00010000 00000000    200.23.16.0/20

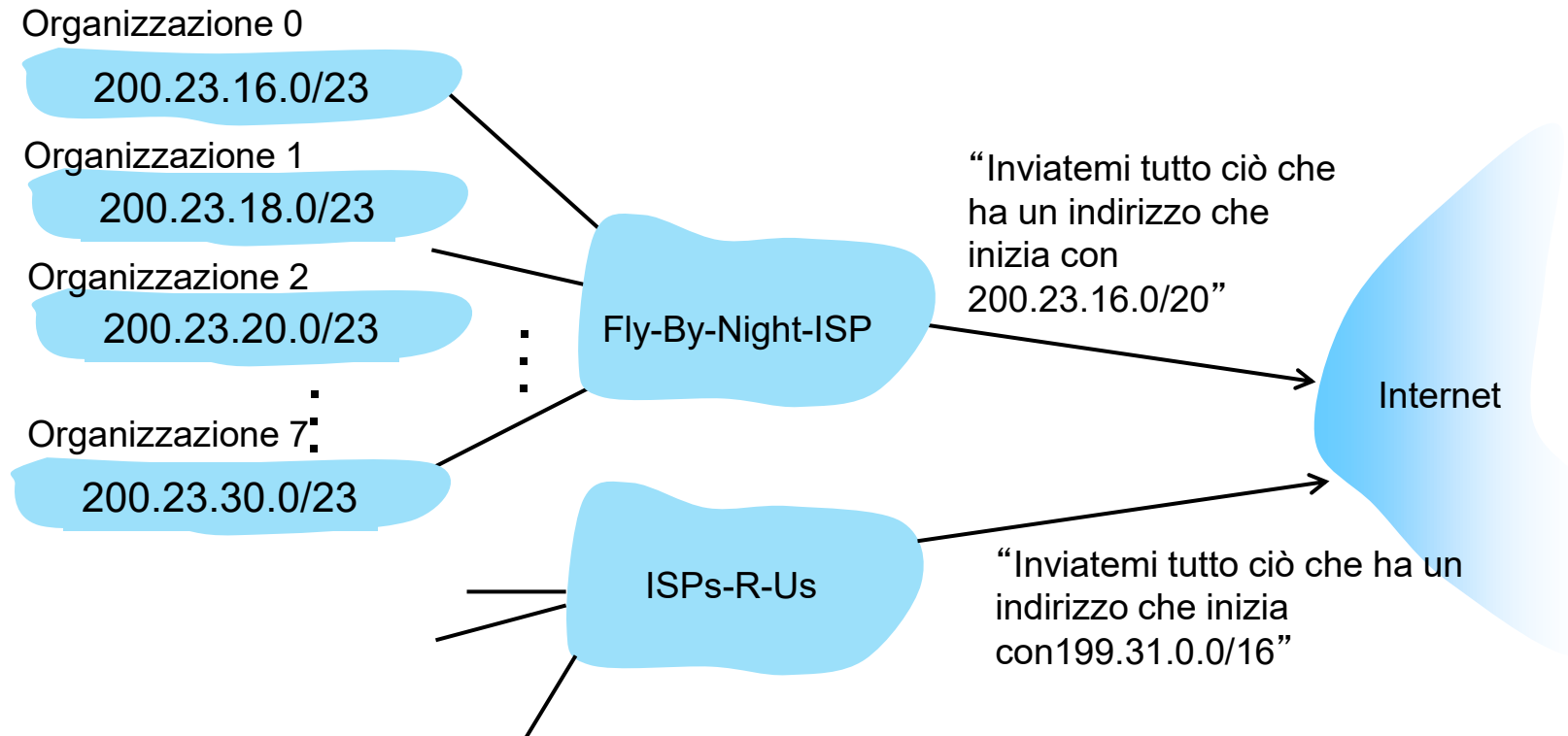
L'ISP può quindi allocare il suo spazio di indirizzi in 8 blocchi:

Organizzazione 0	<u>11001000 00010111 0001</u> <b>000</b> 0	00000000	200.23.16.0/ <b>23</b>
Organizzazione 1	<u>11001000 00010111 0001</u> <b>001</b> 0	00000000	200.23.18.0/ <b>23</b>
Organizzazione 2	<u>11001000 00010111 0001</u> <b>010</b> 0	00000000	200.23.20.0/ <b>23</b>
...	.....	....	....
Organizzazione 7	<u>11001000 00010111 0001</u> <b>111</b> 0	00000000	200.23.30.0/ <b>23</b>

\

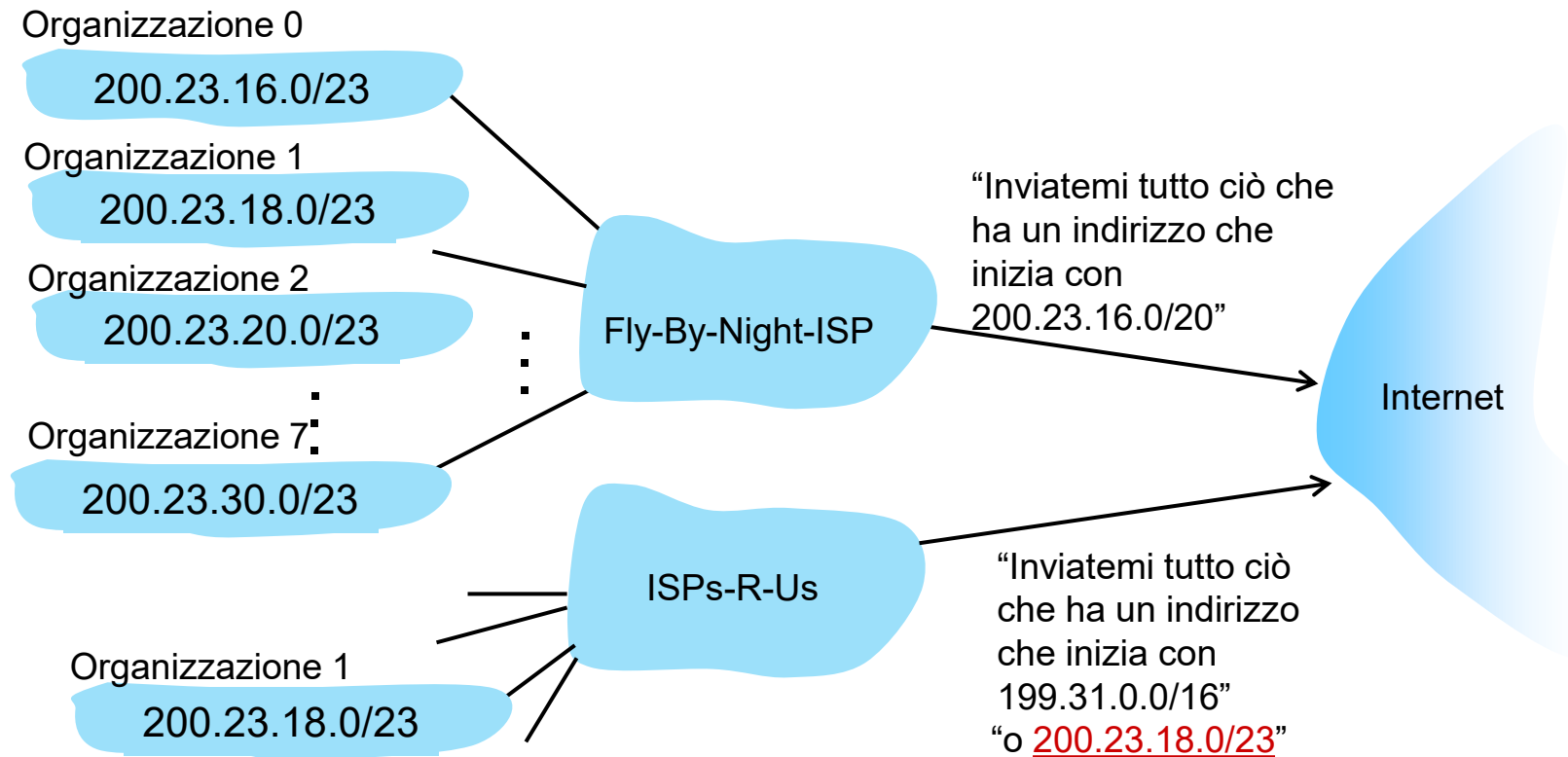
# Indirizzamento gerarchico: aggregazione di indirizzi (route aggregation)

L'indirizzamento gerarchico consente di pubblicizzare in modo efficiente le informazioni di routing:



# Indirizzamento gerarchico: percorsi più specifici

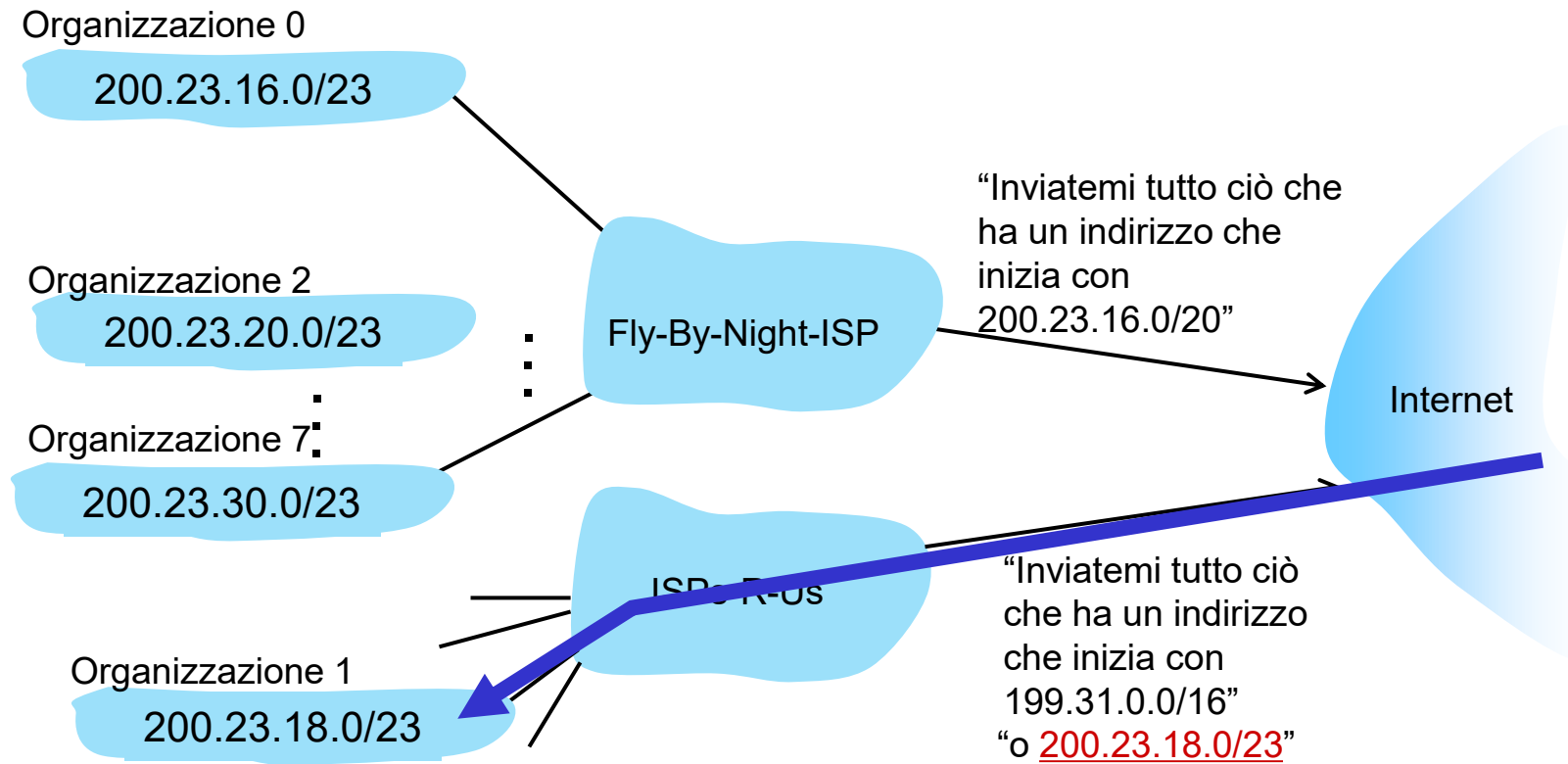
- L'organizzazione 1 si sposta da Fly-By-Night-ISP a ISP-R-Us
- ISP-R-Us ora pubblicizza un percorso più specifico verso l'Organizzazione 1





# Indirizzamento gerarchico: percorsi più specifici

- L'organizzazione 1 si sposta da Fly-By-Night-ISP a ISP-R-Us
- ISP-R-Us ora pubblicizza un percorso più specifico verso l'Organizzazione 1



# Indirizzamento IP: ultime parole...

**D:** Come fa un ISP a ottenere un blocco di indirizzi?

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

- Assegnazione degli indirizzi IP, attraverso **5 registri regionali (RR)** (che possono poi assegnare ai registri locali).
- Gestisce la zona radice del DNS, compresa la delega della gestione dei singoli TLD (.com, .edu , ...)

**D:** ci sono abbastanza indirizzi IP a 32 bit?

- L'ICANN ha assegnato l'ultima porzione di indirizzi IPv4 ai RR nel 2011.
- NAT (successivo) aiuta con l'esaurimento dello spazio degli indirizzi IPv4.
- IPv6 ha uno spazio di indirizzi a 128 bit

"Who the hell knew how much address space we needed?" Vint Cerf (riflettere sulla decisione di rendere l'indirizzo IPv4 lungo 32 bit)