Reti di Calcolatori

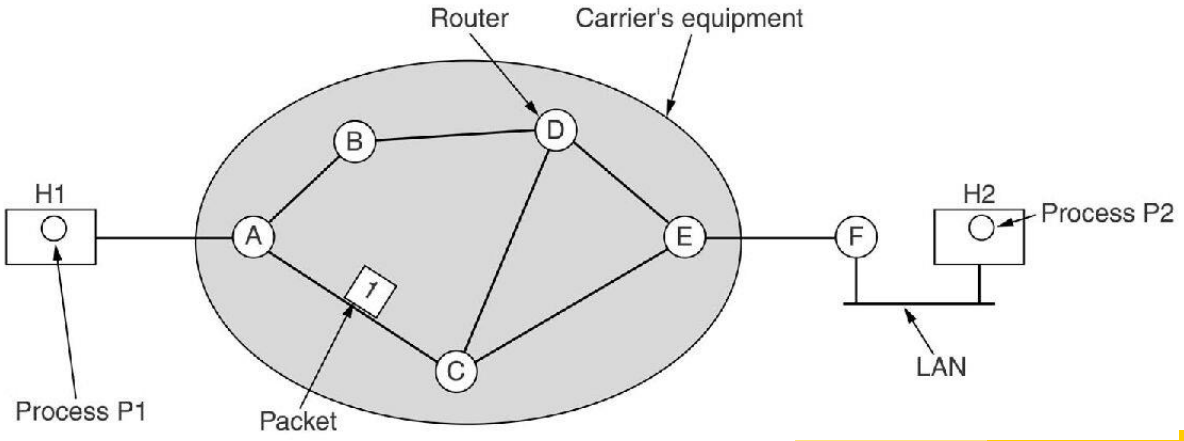
Networking Basics

Funzioni dello strato di rete

- Allo strato di trasporto la comunicazione tra i processi peer di livello 4 deve apparire come una comunicazione punto-punto
- Lo strato di rete ha quindi come funzione quella di fornire allo strato di trasporto un servizio per la consegna dei dati in modo da mascherare l'infrastruttura della rete (la sottorete)
- Nomenclatura:
  - host o end-node: stazione su cui opera lo strato di trasporto che deve trasmettere o ricevere i dati utilizzando il servizio dello strato di rete
  - pacchetto: insieme di dati+header+trailer che lo strato di rete costruisce e deve trasmettere fino a destinazione
  - router: stazione intermedia che opera a livello 3, che riceve i pacchetti e li inoltra attraverso la (sotto)rete

Funzioni dello strato di rete (cont.)

- In generale due host sono separati da un certo numero di nodi, interconnessi da svariate linee
- Spesso sono possibili più tragitti tra i due nodi (ad esempio nelle reti magliate)
- Potenzialmente i nodi sono separati da reti funzionanti con tecnologie differenti



Funzioni dello strato di rete (cont.)

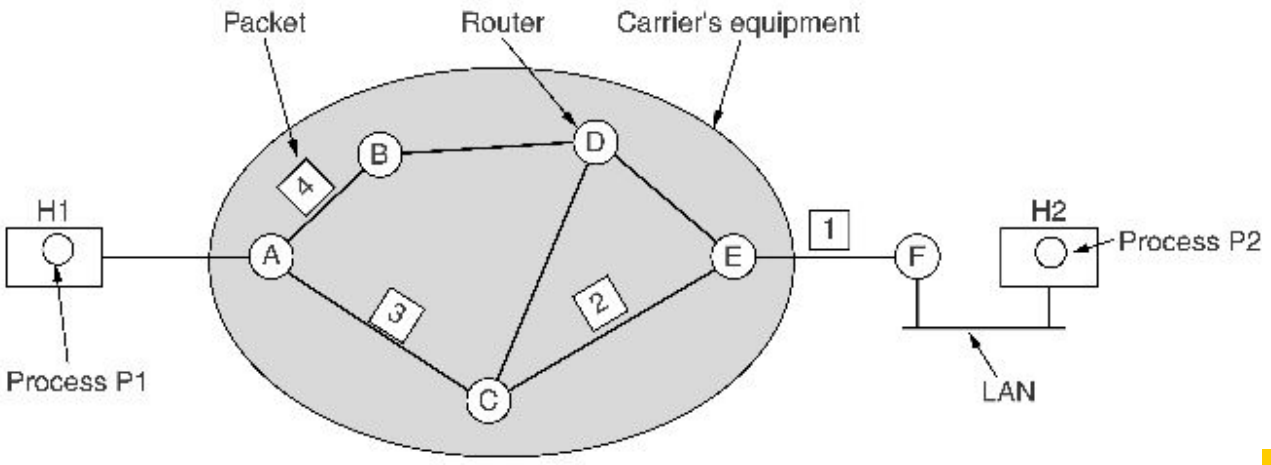
- Lo strato di rete dovrà quindi occuparsi dei seguenti argomenti
  - determinare quale tragitto tra quelli disponibili dovranno seguire i dati (instradamento, routing)
    - questo può richiedere che lo strato di rete conosca la topologia della rete
  - reagire a modifiche di topologie della rete
    - se esiste un meccanismo dinamico per l'apprendimento della topologia, questo permetterà di apprenderne anche le modifiche nel tempo
  - evitare di sovraccaricare linee quando sono disponibili percorsi alternativi (congestione)
  - risolvere i problemi connessi al transito attraverso reti differenti (internetworking)

Connection Oriented o Connectionless?

- Inizialmente OSI prevedeva che lo strato di rete fornisse solo un servizio connection oriented
  - in modo analogo al funzionamento del servizio telefonico
  - questo servizio, caldeggiato dalle compagnie telefoniche, permette di operare fatturazione a tempo e di offrire servizi di qualità riservando le risorse a priori
- In seguito c'è stata forte richiesta di introdurre nello standard anche un servizio connection less, e così è stato fatto
  - l'inaffidabilità intrinseca della sottorete richiede un meccanismo più flessibile per il recapito dei dati
  - comunque lo strato di trasporto dovrà occuparsi della integrità dei dati, inutile farlo anche a livello di rete

Instradamento connectionless

- Il servizio senza connessione richiede che i pacchetti siano instradati indipendentemente uno dall'altro
- Generalmente un router dispone di una tabella che definisce su quale linea di uscita debba essere trasmesso un pacchetto in base alla destinazione finale
  - il router riceve il pacchetto, lo memorizza per analizzarlo, quindi lo trasmette in base alla tabella (store and forward)
- Ogni pacchetto deve quindi contenere l'indirizzo di destinazione
- Poichè le tabelle possono modificarsi nel tempo, non è detto che tutti i pacchetti seguano la stessa strada



Instradamento connection oriented

- L'idea di base è di associare ad una connessione un circuito virtuale nella sottorete
- Si definisce a priori – durante la fase di inizializzazione della connessione – la sequenza di router che i pacchetti dovranno attraversare
- Tutti i pacchetti appartenenti alla stessa connessione seguiranno la stessa strada
- L'instradamento del pacchetto sarà quindi fatto in base alla sua appartenenza ad una connessione e non alla sua destinazione finale
- L'intestazione del pacchetto sarà più semplice, dovendo contenere solo l'identificativo della connessione
- La connessione potrà essere stabilita in modo da garantire le risorse necessarie alla trasmissione, rendendola più affidabile
- Una connessione successiva tra gli stessi nodi potrebbe definire un circuito virtuale differente dal precedente

Connectionless vs. Conection Oriented

Caratteristica	Connectionless	Connection Oriented
Creazione circuito	Non richiesto	Richiesto
Indirizzamento	Ogni pacchetto contiene gli indirizzi sorgente e destinazione completi	Ogni pacchetto contiene un piccolo numero VC (Virtual Circuit)
Informazioni di stato	La sottorete non conserva informazioni di stato	Ogni circuito virtuale richiede spazio di tabella nella sottorete
Instradamento	Ogni pacchetto è instradato indipendentemente	Percorso scelto alla creazione del circuito virtuale: tutti i pacchetti seguono questo percorso
Effetti dei guasti nei router	Nessuno, a parte i pacchetti persi durante il guasto	Tutti i circuiti virtuali che passano attraverso il router guasto vengono terminati
Controllo di congestione	Complesso	Semplice se può essere allocato spazio sufficiente in anticipo per ogni circuito virtuale

Instradamento ed inoltro

- La funzione principale dello strato di rete è l'instradamento (routing)
- Questo è il processo che permette al router di scegliere – tramite un algoritmo – la linea di uscita verso cui instradare i dati
  - questa operazione sarà ripetuta per ogni pacchetto nel caso connectionless, o una sola volta all'inizio per l'istradamento connection oriented
- Concettualmente si possono distinguere due operazioni:
  - **Inoltro (forwarding):** il processo che, in base all'indirizzo di destinazione o al circuito virtuale, sceglie la linea di uscita in funzione di dati noti (tabelle, stato delle linee, …)
  - **instradamento**: il processo di creazione ed aggiornamento della tabella (detta tabella di routing) che associa alla destinazione la linea di uscita da utilizzare; questa operazione viene eseguita in base ad algoritmi detti algoritmi di routing
- Per molti algoritmi queste sono operazioni distinte eseguite in momenti diversi da processi distinti all'interno dello strato di rete

Caratteristiche di un algoritmo di routing

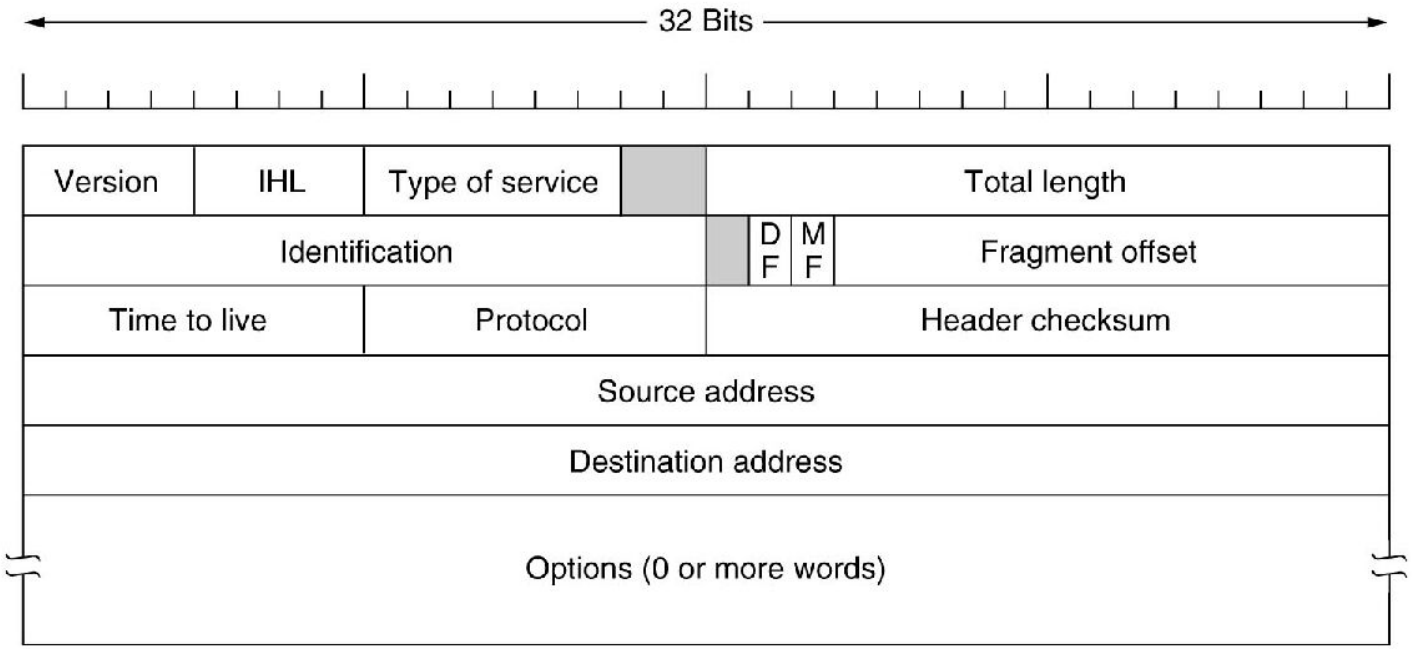
- E' desiderabile che un algoritmo di routing abbia le seguenti caratteristiche
  - correttezza: ovvio
  - semplicita': meno soggetto ad errori in implementazione o in esecuzione
  - robustezza: la rete non e' stabile, e l'algoritmo deve poter fare fronte alle modifiche di topologia
  - stabilita': convergenza verso l'equilibrio
  - imparzialita': servire qualunque tragitto possibile senza penalizzare nessuno
  - ottimizzazione: efficienza globale

Internet Protocol (IP)

- IP è il protocollo di rete della suite TCP/IP
- Definito negli RFC 791 e 1122
- Dall'RFC 791:
  - IP ha la funzione di recapitare un insieme di bit (internet datagram) dalla sorgente alla destinazione attraverso un sistema di reti interconnesse
  - Non sono previsti meccanismi di affidabilità, controllo di flusso, sequenzialità, rilevazione o correzione di errore
  - Il recapito viene operato direttamente se la destinazione appartiene alla stessa rete della sorgente, attraverso un sistema intermedio (router) altrimenti
  - Se possibile il datagramma viaggia intero, altrimenti viene spezzato in più parti, ciascuna trasportata poi individualmente; in questo caso il datagramma viene riassemblato a destinazione
  - IP si preoccupa di trasmettere il datagramma da un host all'altro, fino alla destinazione, una rete alla volta
- Questa definizione corrisponde ad un protocollo che fornisce un servizio connection less inaffidabile

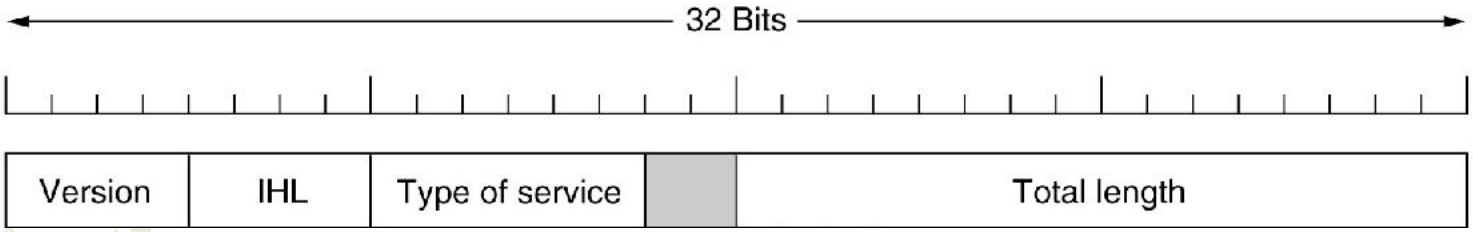
Pacchetto IP

- Il pacchetto IP è costituito da un header di lunghezza fissa 20 byte, più una parte opzionale (fino a 40 byte)
- Il campo version contiene il numero identificativo della versione di IP (per IPv4 è 4, per IPv6 è 6)



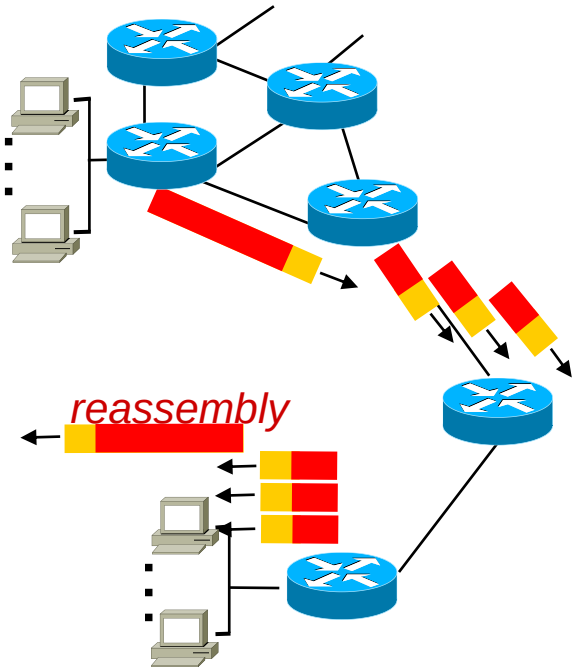
Pacchetto IP (cont.)

- Il campo IHL (4 bit) contiene la lunghezza dell'header in parole di 32 bit (quindi un massimo di 60 byte complessivi)
- Il campo type-of-service serve ad indicare diverse classi di servizio (precedenza del pacchetto, basso ritardo, etc.), di solito ignorato dai router
- total-length indica la lunghezza totale del pacchetto in byte, che ha un valore massimo di 65535



Pacchetto IP: frammentazione

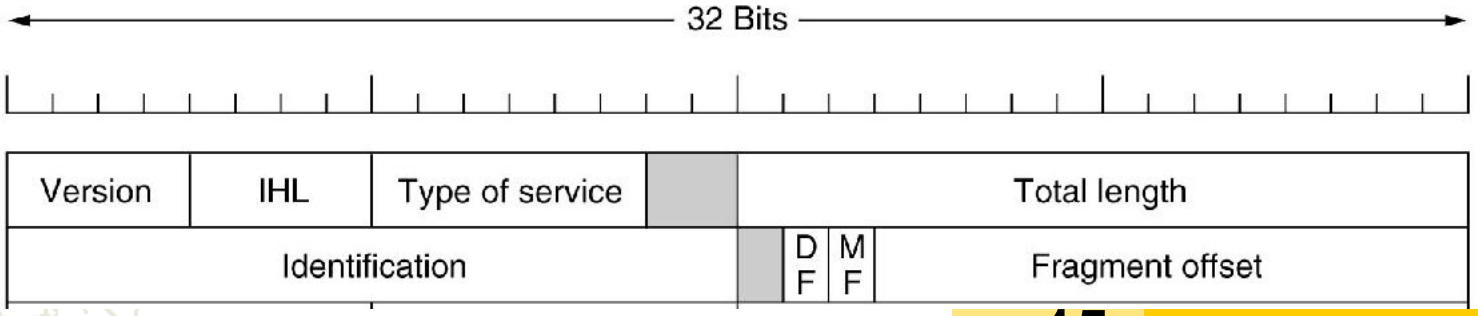
- Alcuni protocolli datalink layer possono trasportare pacchetti più grandi, altri sono caratterizzati da una PDU di dimensione limitata. (Ethernet <= 1500 bytes)
- In tal caso un datagramma IP di grandi dimensioni viene diviso ("frammentato") in datagrammi più piccoli che sono in grado di entrare nella PDU datalink
- In ricezione bisogna identificare il correttoo ordine dei frammenti per ricostruire il datagramma originale



Frammentazione:
input: singolo datagram grande
output: 3 datagrams più piccoli

Pacchetto IP: frammentazione

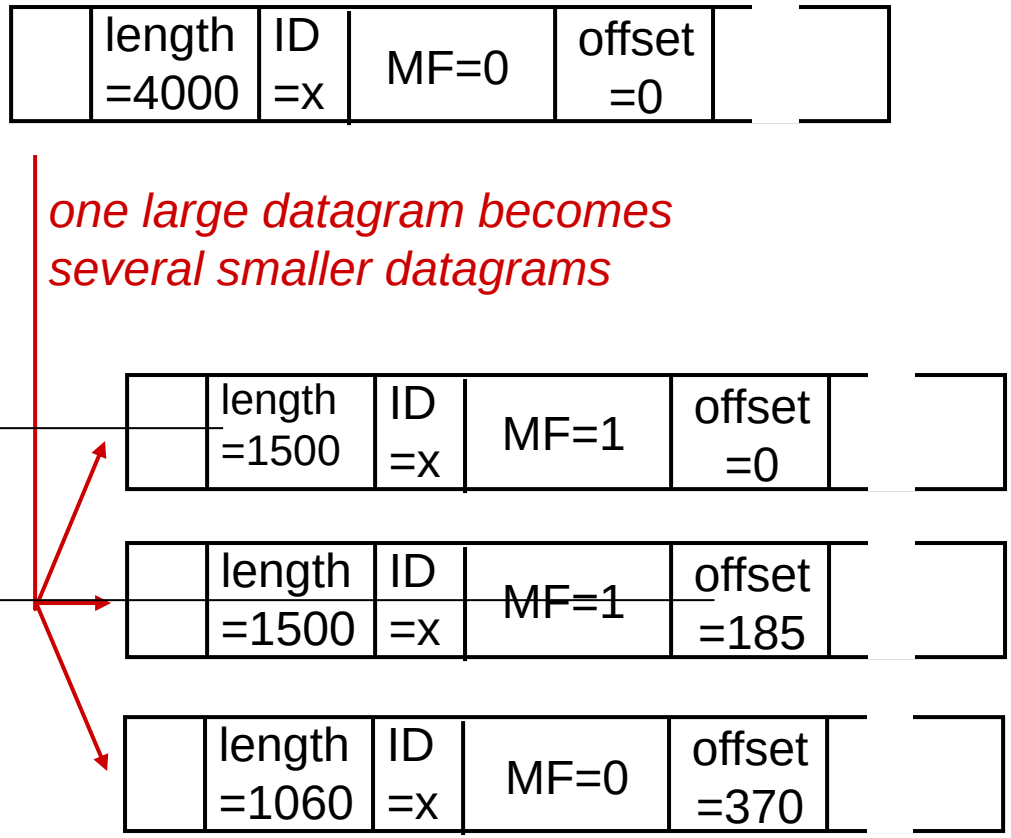
- I campi identification, DF, MF e fragment-offset sono dedicati alla **frammentazione:**
  - ogni datagramma IP inviato da una sorgente ha un numero identificativo differente dagli altri, riportato nel campo identification
  - se un datagramma viene frammentato, ogni frammento contiene nel campo identification lo stesso valore, mentre nel campo fragment-offset viene indicata la posizione del primo byte del frammento rispetto all'inizio del datagramma, espressa in multipli di 8 byte
    - in base all'identification la destinazione può raggruppare i diversi frammenti, in base a total-length ed agli offset, la destinazione puoò valutare se si fossero persi frammenti del datagramma
  - il bit MF (More Fragments) viene impostato a 0 nell'ultimo frammento (o nel datagramma se non viene frammentato), ad 1 altrimenti
  - il bit DF (Don't Fragment) viene impostato ad 1 se il datagramma non deve essere frammentato



IP fragmentation, reassembly

example:

- 4000 byte datagram
- MTU = 1500 bytes



MTU: Maximum Transfer Unit

Pacchetto IP (cont.)

- Il **campo time-to-live** è un contatore che viene decrementato via via che il pacchetto viaggia in rete
- Il pacchetto viene buttato via quando il time-to-live arriva a zero
- Normalmente dovrebbe essere decrementato ad ogni secondo o ad ogni hop, ma talvolta i router non tengono conto del tempo
- Il **campo protocol** indica il protocollo di livello superiore a cui sono destinati i dati del pacchetto
  - vi sono diversi protocolli che possono fare uso di IP, come TCP (6) ed UDP (17), ma anche ICMP (1) ed altri
- Il **campo checksum** contiene un codice CRC a 16 bit **relativo al solo header**
  - viene controllato solo l'header per motivi di performance, secondo la logica di TCP/IP che delega il controllo della affidabilità ai livelli superiori
  - il campo checksum viene ricalcolato ad ogni hop, in quanto alcuni dei campi precedenti (come quelli relativi alla frammentazione o time-to-live) cambiano durante il trasferimento del pacchetto
- **Source e destination address** contengono gli indirizzi a 32 bit del sorgente e del destinatario del pacchetto

Pacchetto IP (cont.)

- **Le opzioni** aggiuntive dell'header vengono utilizzate, se necessario, per svariati motivi, tra cui
  - security options: classifica il pacchetto da "non classificato" a "top secret"; router che onorano questi campi possono essere indotti a instradamenti differenti in base a questa opzione
  - record route: istruisce i router a registrare il loro indirizzo nei successivi campi opzionali via via che il pacchetto transita in rete (usato per motivi di debug del routing)
  - loose o strict source routing: istruisce i router a seguire un instradamento specifico definito dalla sorgente (che riempie i campi opzionali con gli indirizzi dei router che il pacchetto deve attraversare)
- Sono disponibili 40 byte per queste opzioni
  - ogni campo inizia con un ottetto che definisce il tipo di estensione, seguito eventualmente da uno o più ottetti contenenti le informazioni relative (indirizzi IP, timestamp, …)

Indirizzamento IP

- Per poter identificare il destinatario, ogni host e router devono avere un **indirizzo (IP) univoco**, che distingue:
  - la **rete di appartenenza** dalle altre, e
  - **l'host** dagli altri host appartenenti alla stessa rete
- l'indirizzamento IP è quindi gerarchico, a due livelli:
  - **indirizzo di rete**, ed
  - **indirizzo di host**,
- a differenza di quello Ethernet che è piatto

Indirizzamento IP

- In realtà ogni interfaccia di rete (cioè ogni connessione ad una rete) deve avere un indirizzo IP
- generalmente i PC hanno una sola interfaccia di rete,
- ma i router (sempre) o i server di grosse dimensioni (talvolta) hanno più interfacce di rete:
  - ciascuna di queste deve avere un indirizzo IP

- tutti i nodi IP hanno un ulteriore indirizzo:

  detto **loopback**,

  che rappresenta un indirizzo fittizio indicante "se stesso", ed utilizzato per motivi di diagnostica o per simulare connessioni di rete di un host con se stesso

Struttura dell'indirizzo IP

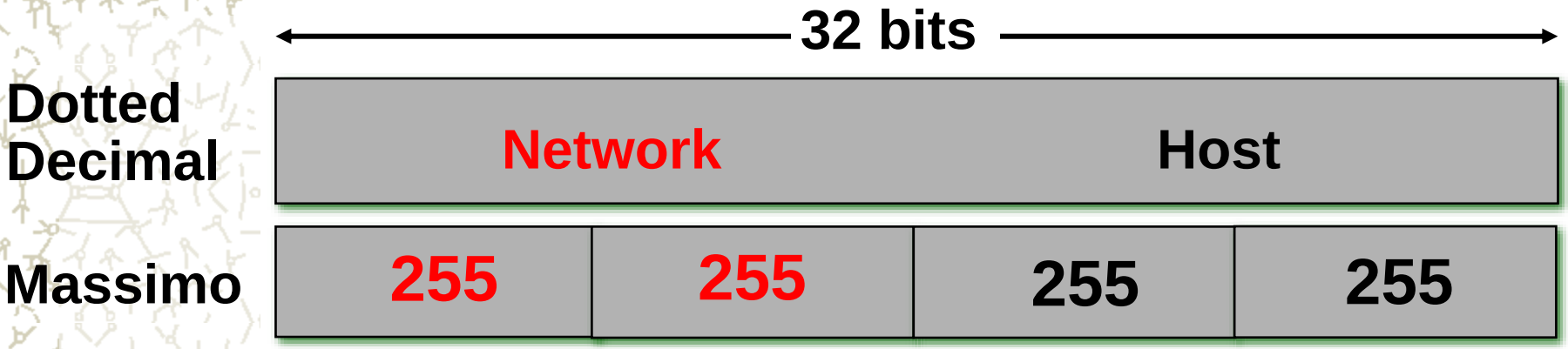
- L'indirizzo IP è costituito da 32 bit, o 4 byte, generalmente rappresentati da 4 numeri decimali di valore compreso tra 0 e 255, separati da un punto
  - ad esempio: 10.103.0.21

- Questo indirizzo contiene:
  - una parte che specifica la rete,
  - ed una parte che identifica l'host all'interno di quella rete

Indirizzi IP

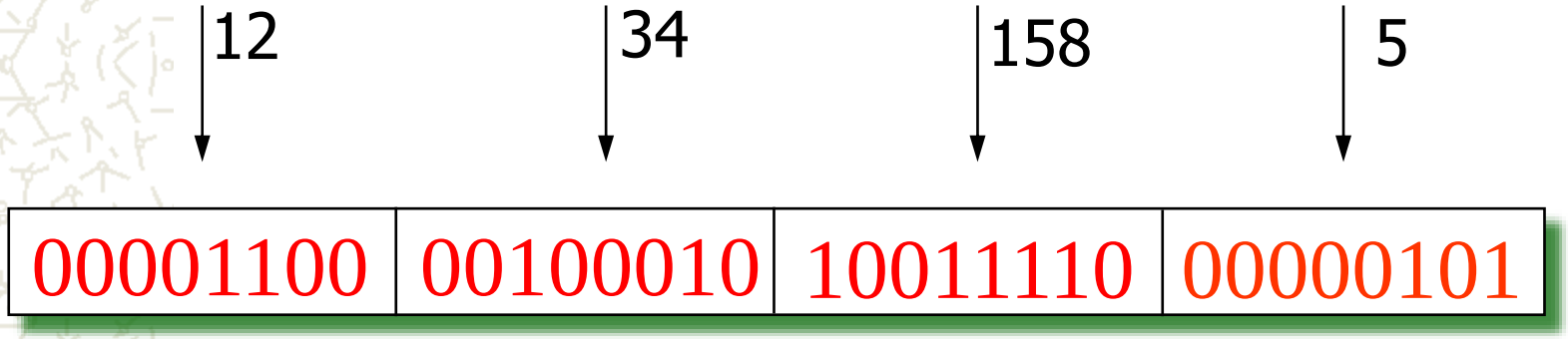
- Sono divisi in due parti
  - **prefisso**: identifica la rete
  - **suffisso**: identifica host/interface
- Un indirizzo IP **non identifica** un computer, ma una connessione computer-rete.
- Un computer con connessioni multiple di rete (e.g., un router) ha assegnato un indirizzo IP per ogni connessione
- Esiste una totale indipendenza dell'indirizzo IP dall'indirizzamento hardware (MAC)

Indirizzi IP

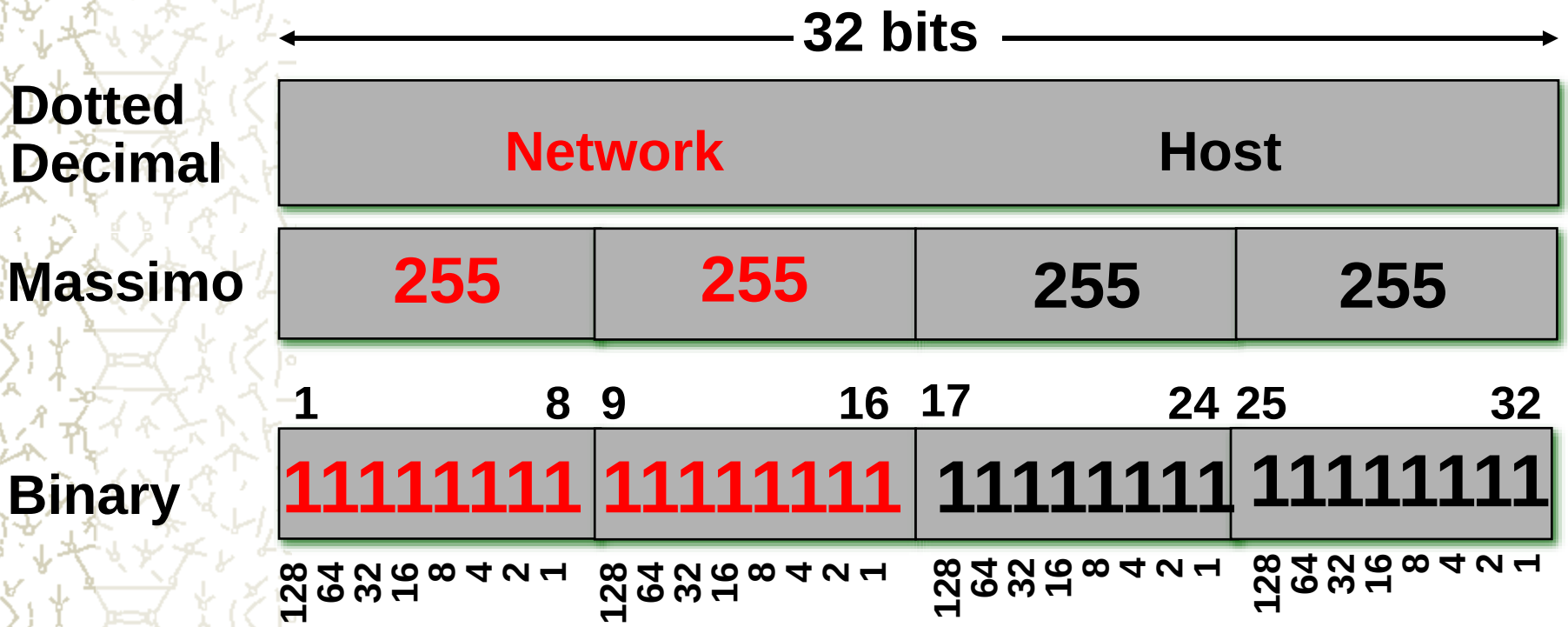


Modo sintetico per esprimere indirizzi IP: **rappresentare ogni ottetto in decimale usando punti come separatori.**

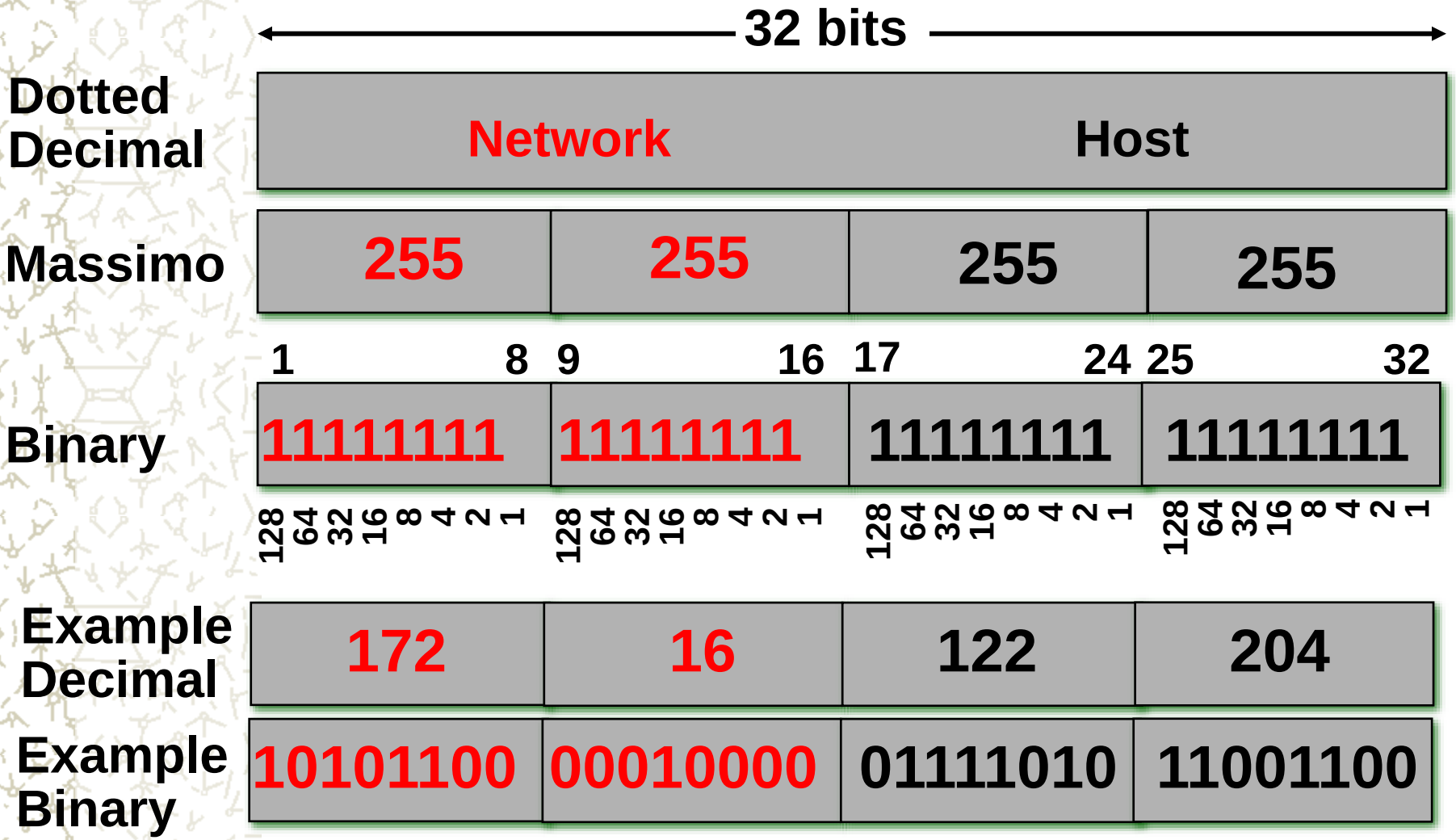
Esempio: 12.34.158.5



Indirizzi IP



Indirizzi IP



Classi di indirizzi

Gli indirizzi IP sono raggruppati in diverse categorie, dette classi:

- **indirizzi di classe A**: tutti quelli che iniziano con un bit 0, cioè con il primo byte di valore compreso tra 0 e 127
  - gli indirizzi di classe A hanno il primo byte dedicato all'indirizzo di rete, i restanti all'indirizzo di host

    Es.: l'indirizzo 20.9.0.200 individua l'host appartenente alla rete "20",
    il cui indirizzo di host è 9.0.200

  - esistono quindi 125 network di classe A
    (le reti 0, 10 e 127 non vengono utilizzate)
  - ciascuna rete di classe A può indirizzare 2^{24} host differenti
    (quasi 17 milioni)

Classi di indirizzi

- **indirizzi di classe** B:

  tutti quelli che iniziano con la sequenza di bit 10, cioè con il primo byte di valore compreso tra 128 e 191

  – gli indirizzi di classe B hanno i primi due byte dedicati all'indirizzo di rete, i restanti due dedicati all'indirizzo di host

  Es.: 131.154.10.21 indica l'host di indirizzo "10.21" appartenente alla rete "131.154"

  – esistono quindi 16383 reti di classe B, ciascuna contenente 65533 host

Classi di indirizzi (cont.)

- **indirizzi di classe C**:

  tutti quelli che iniziano con la sequenza di bit 110, cioè con il primo byte di valore compreso tra 192 e 223

  - questi indirizzi hanno i primi tre byte dedicati alla rete, il quarto all'indirizzo di host (193.206.144.1 indica l'host "1" della rete "193.206.144")
  - in classe C esistono circa 2 milioni di reti, ciascuna contenente al più 254 host

- **indirizzi di classe D**:

  tutti quelli che iniziano con la sequenza di bit 1110, cioè con il primo byte compreso tra 224 e 239

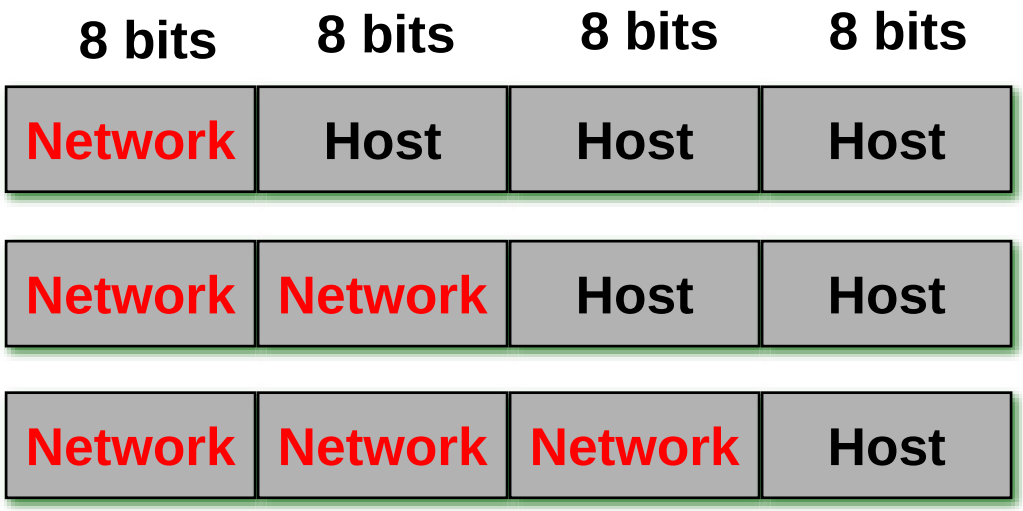
  – gli indirizzi di classe D sono dedicati all'indirizzamento dei gruppi multicast

- **indirizzi di classe E**:

  tutti quelli che iniziano con la sequenza di bit 1111, cioè con il primo byte compreso tra 240 e 255

  – gli indirizzi di classe E sono dedicati ad utilizzi sperimentali, e non devono mai essere utilizzati come effettivo indirizzo di macchine sulla rete

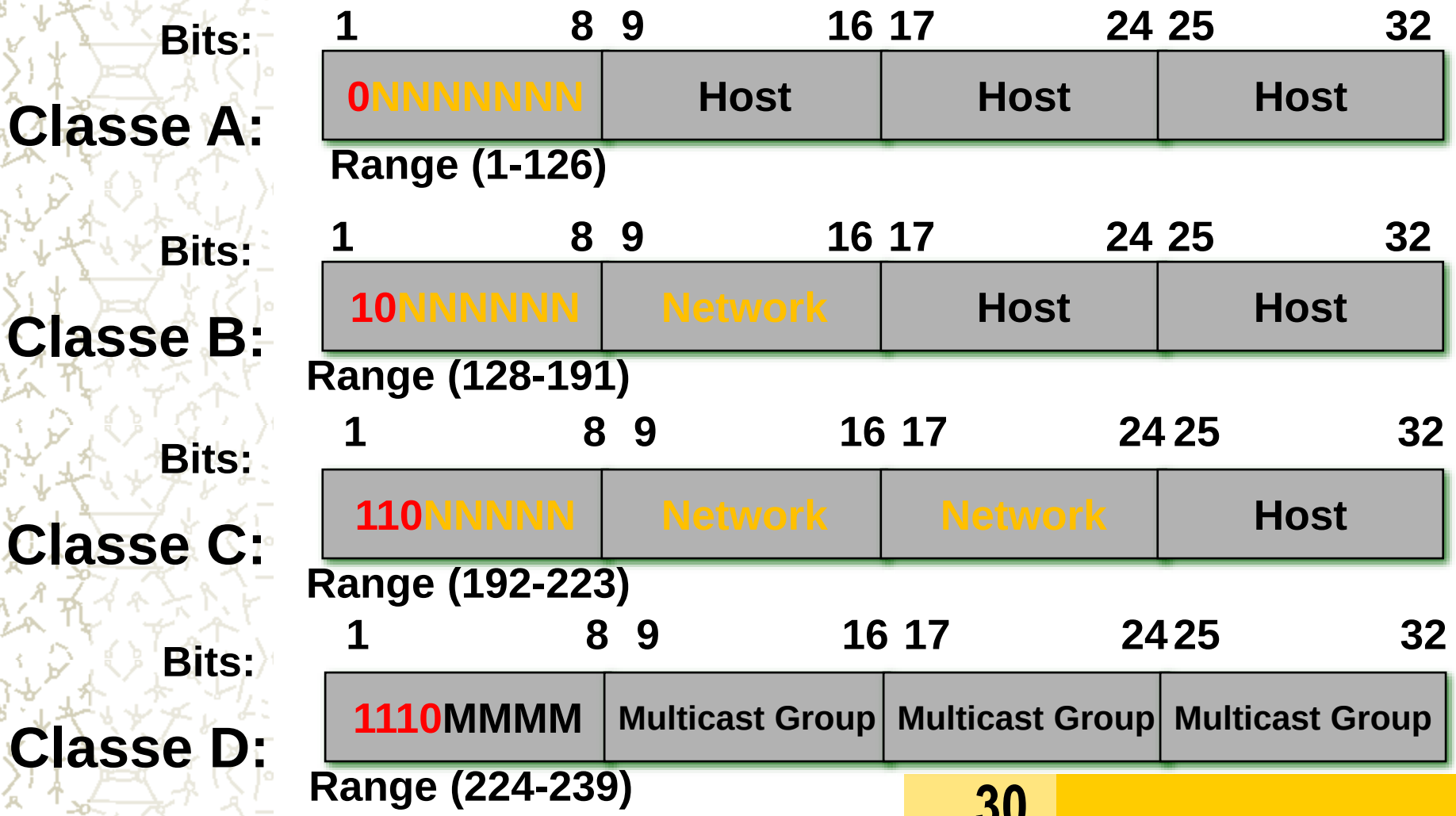
Classi di indirizzi (cont.)



- Classe A:
- Classe B:
- Classe C:
- Classe D: Multicast
- Classe E: Research

I bit iniziali determinano la classe, che a sua volta determina il confine tra prefisso e suffisso.

Classi di indirizzi (cont.)



Indirizzi speciali

- L'indirizzo contenente **tutti "0"** nel campo di host viene utilizzato **per indicare la rete**
  - l'indirizzo 10.0.0.0 indica la rete "10" (di classe A)
  - l'indirizzo 193.206.144.0 indica la rete "193.206.144" (di classe C)
- L'indirizzo **0.0.0.0** ha il significato di "**questo host di questa rete**", e viene utilizzato dai calcolatori che, in fase di boot, non conoscono ancora il proprio indirizzo IP
- L'indirizzo IP con **tutti "0" nella parte di rete** ha il significato di **"questa rete**"
  - ad esempio, se l'host 193.206.144.10 vuole inviare sulla rete locale un pacchetto all'host 193.206.144.20, può indirizzarlo a 0.0.0.20
- Queste convenzioni spiegano perchè la rete di classe A: 0.0.0.0 non venga utilizzata come rete indirizzabile in IP: ad esempio, se così non fosse, il pacchetto indirizzato all'host 1 di una qualunque rete tramite la notazione "questa rete".1 non potrebbe essere distinto dal pacchetto indirizzato all'host 1 della rete 0.0.0.0

Indirizzi speciali (cont.)

- L'indirizzo 255.255.255.255 (tutti bit 1) rappresenta l'indirizzo broadcast della rete locale direttamente connessa
  - è l'indirizzo utilizzato per inviare un pacchetto IP broadcast sulla propria rete
- L'indirizzo con tutti 1 nel campo host rappresenta l'indirizzo broadcast della rete specificata nel campo rete
  - ad esempio: l'indirizzo 130.90.255.255 indica l'indirizzo broadcast della rete 130.90.0.0
  - questo meccanismo permette di indirizzare un pacchetto a tutti gli host di una rete remota

Indirizzi dedicati a scopi speciali

- La rete di classe A 127.0.0.0 è dedicata all'interfaccia di loopback
  - l'interfaccia prende sempre l'indirizzo 127.0.0.1
- Tre range di indirizzamento stabiliti dalla RFC 1918 sono dedicati ad indirizzi privati
  - 10.0.0.0 (una rete di classe A)
  - da 172.16.0.0 a 172.31.0.0 (16 reti di classe B)
  - da 192.168.0.0 a 192.168.255.0 (256 reti di classe C)
- Il range 100.64.0.0/10 è riservato secondo la RFC 6598 alle comunicazioni fra provider e subscriber (in presenza di carrier grade NAT)
- Il range 198.18.0.0/15 è riservato secondo la RFC 2544 per i test di comunicazioni fra diverse internetworks
- Gli indirizzi privati possono essere utilizzati all'interno di una rete privata, ma non devono mai venire annunciati nelle tabelle di routing (così come la rete dell'interfaccia di loopback)
- Il routing verso le macchine ad indirizzo privato deve essere fatto dal router di interconnessione con la rete pubblica ad insaputa del resto della rete
  - lo scopo degli indirizzi privati è quello di poter utilizzare la tecnologia TCP/IP in una realtà locale senza dover necessariamente chiedere ed utilizzare indirizzi pubblici
  - una tecnica diffusa che fa uso di questi indirizzi per dare connettivita' senza sprecare indirizzi pubblici è il NAT (Network Address Translation) che vedremo in seguito

Assegnazione degli indirizzi in Internet

- Affinchè tutto funzioni correttamente in una internet gli indirizzi devono essere assegnati da una autorità centrale che garantisca innanzi tutto l'unicità delle assegnazioni
- Per Internet gli indirizzi sono assegnati dalla **ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)**
- La ICANN ha poi delegato organizzazioni regionali (Europa, Asia, America, …) assegnando loro gruppi di indirizzi da riassegnare al loro interno
  - per l'Europa: RIPE NCC
- A loro volta le organizzazioni regionali possono delegare verso il basso, partizionando gli indirizzi a loro destinati dalla ICANN
  - in Italia: diverse istituzioni (ISP); per gli enti di ricerca si deve chiedere a GARR

Carenza di indirizzi

- Lo spazio di indirizzamento disponibile conta due miliardi di indirizzi, raggruppabili in 16500 reti di enormi dimensioni e 2 milioni di reti di piccole dimensioni
- Sembrava impossibile esaurire lo spazio di indirizzamento

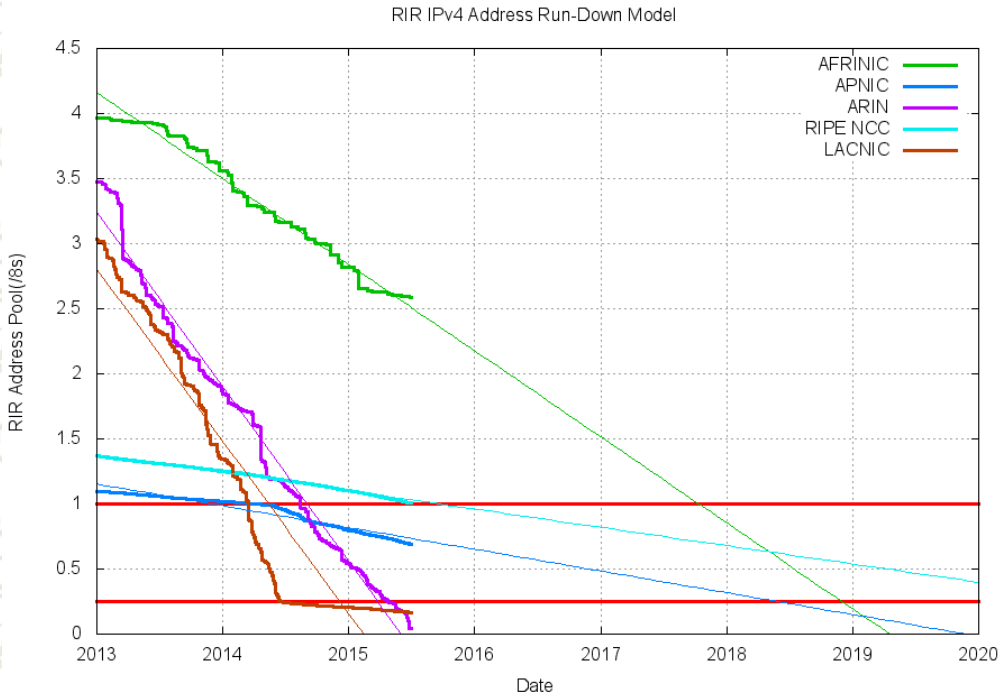
- Tre i fattori che hanno determinato l'insorgere di carenza di indirizzi:
  - lo spazio di indirizzamento delle classi A, e spesso anche quello delle classi B, è troppo vasto: nessuna rete può contenere 16 milioni di nodi distinti, o anche solo 65000
    - un enorme numero di indirizzi rimangono inutilizzati
    - una azienda o campus a cui è stata assegnata una classe A che deve estendere la sua rete per interconnettere diversi dipartimenti su reti locali distinte hanno bisogno di altre reti, benchè il numero di indirizzi disponibile ecceda di gran lunga la necessità di indirizzi di host
  - la connessione punto-punto tra due router richiede l'utilizzo di una rete IP, per la quale sono utilizzati solo due indirizzi
  - lo spazio di indirizzamento delle reti di classe C risulta troppo piccolo con il crescere delle reti locali

Carenza di indirizzi

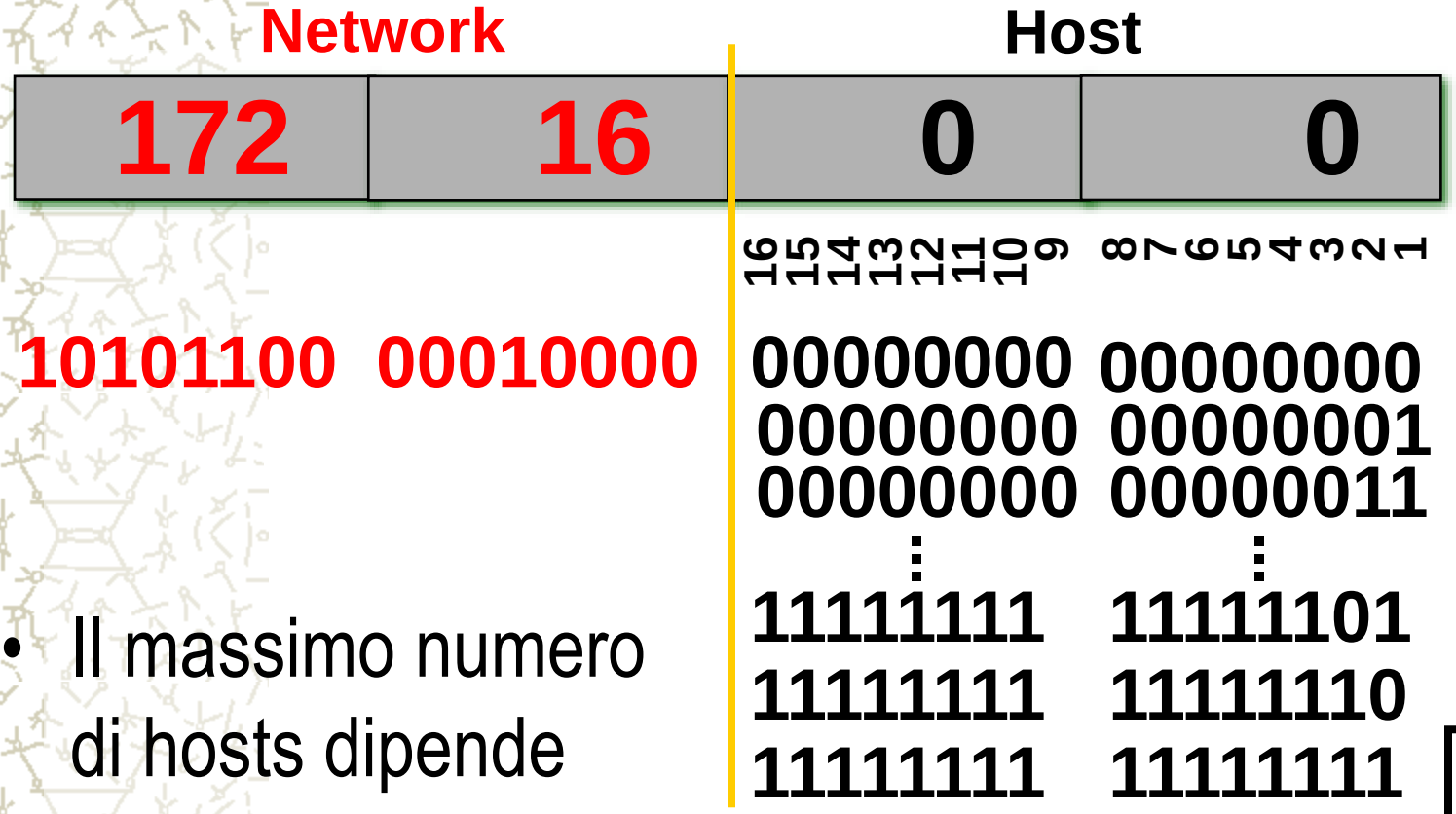
IANA Unallocated Address Pool Exhaustion: **03-Feb-2011**

Projected RIR Address Pool Exhaustion Dates:

RIR	Projected Exhaustion Date	Remaining Addresses in RIR Pool (/8s)	
APNIC:	**19-Apr-2011**	(actual)	0.6900
RIPE NCC:	**14-Sep-2012**	(actual)	1.0058
LACNIC:	**10-Jun-2014**	(actual)	0.1645
ARIN:	**05-Jul-2015**		0.0089
AFRINIC:	**13-Apr-2019**		2.5904



Calcolo indirizzi disponibili in una rete



- Il massimo numero di hosts dipende dalla classe
  - Classe A grande
  - Classe B media
  - Classe C piccola

Esercizio

Address	Class	Network	Host
10.2.1.1			
128.63.2.100			
201.222.5.64			
192.6.141.2			
130.113.64.16			
256.241.20.10			

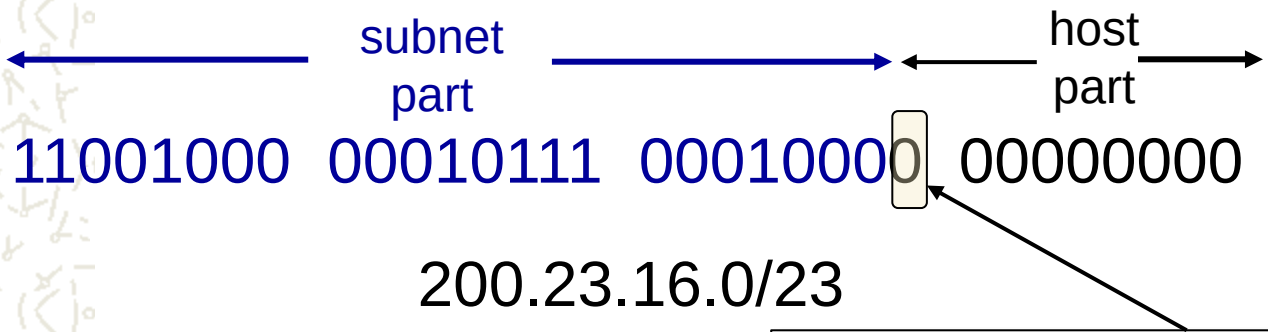
Soluzione

Address	Class	Network	Host
10.2.1.1	A	10.0.0.0	0.2.1.1
128.63.2.100	B	128.63.0.0	0.0.2.100
201.222.5.64	C	201.222.5.0	0.0.0.64
192.6.141.2	C	192.6.141.0	0.0.0.2
130.113.64.16	B	130.113.0.0	0.0.64.16
256.241.20.10	Non existent		

Subnetting

- Per risolvere i problemi di carenza di indirizzi di rete è stata sviluppata una tecnica detta **subnetting:**

- **Un organizzazione può usare i bit rimasti per indirizzare gli hosts per creare altre reti, interne alla rete principale**



Es.: Questo bit potrebbe essere usato per creare altre 2 sottoreti:
- 200.23.16.0/24
- 200.23.17.0/24

Subnetting

- Per risolvere i problemi di carenza di indirizzi di rete è stata sviluppata una tecnica detta **subnetting**
  - un campus a cui è stata assegnata una rete di classe A può suddividere il suo campo di indirizzi in gruppi più piccoli, trattando ogni gruppo come se fosse una "rete" a se stante
  - ad esempio, se la rete assegnata è la 100.0.0.0, il campus può dedicare gli indirizzi 100.1.0.0 ad un dipartimento, gli indirizzi 100.2.0.0 ad un secondo dipartimento e così via, trattando le due reti come se fossero reti di classe B
  - affinchè tutto funzioni a dovere, il router del campus dovrà annunciare verso l'esterno la sola rete di classe A, mentre internamente potrà trattare i vari pezzi come se fossero reti più piccole
  - **per implementare le sottoreti è necessario introdurre una informazione aggiuntiva agli indirizzi di rete, che specifichi quali bit dell'indirizzo definiscano l'indirizzo della (sotto)rete e quali definiscano l'indirizzo degli host**

Network mask

- Per identificare quali bit definiscono la rete e quali bit l'host, si utilizza una "**maschera**",

  anch'essa costituita da 32 bit, col significato seguente:

  - se un bit della maschera vale 1, il corrispondente bit dell'indirizzo fa parte dell'indirizzo della rete
  - se un bit della maschera vale 0, il corrispondente bit dell'indirizzo fa parte dell'indirizzo di host

- Con questa convenzione, gli

  indirizzi di classe A hanno maschera 255.0.0.0,

  quelli di classe B hanno maschera 255.255.0.0,

  quelli di classe C hanno maschera 255.255.255.0

Network mask e Subnetting

- Utilizzando opportunamente le maschere è possibile spezzare una rete in sottoreti:
- Es.: la rete 193.206.144.0 (classe C) può essere ad esempio suddivisa in **quattro sottoreti**:
  - 193.206.144.0 255.255.255.192 (indirizzi da 0 a 63)
  - 193.206.144.64 255.255.255.192 (indirizzi da 64 a 127)
  - 193.206.144.128 255.255.255.192 (indirizzi da 128 a 191)
  - 193.206.144.192 255.255.255.192 (indirizzi da 192 a 255)

Perchè ??

Network mask e Subnetting

Net. Mask:

255.255.255.192

Utilizzo 2 bit degli hosts per la rete.

11111111. 11111111.11111111.11000000

11000001. 11001110.10010000.00000000

IP: 193.206.144. xx

Prima Rete: 193.206.144.00000000 (0) Host: da 0 a 63

Seconda Rete: 193.206.144.01000000 (64) Host: da 64 a 127

Terza Rete: 193.206.144.10000000 (128) Host: da 128 a 191

Quarta Rete: 193.206.144.11000000 (192) Host: da 192 a 255

Network mask e Subnetting

Prima Rete: 193.206.144.00000000 (0) Host: da 0 a 63

Seconda Rete: 193.206.144.01000000 (64) Host: da 64 a 127

Terza Rete: 193.206.144.10000000 (128) Host: da 128 a 191

Quarta Rete: 193.206.144.11000000 (192) Host: da 192 a 255

m=26

$$NetAddress(n) = \begin{cases} (n-1)2^{(32-m)} & se \ \dfrac{2^{(32-m)}}{256} < 1 \\ (n-1)\dfrac{2^{(32-m)}}{256} & \text{se} \ \dfrac{2^{(32-m)}}{256} \geq 1 \end{cases}$$

Es.: NetAddress(Terza rete) = $(3\text{-}1)2^{(32-26)} = 128$

Network mask e Subnetting

Come scoprire a quale rete appartiene un indirizzo??

IP: 193.206.144.77 ---> 11000001.11001110. 10010000. 01001101

Net. Mask: 255.255.255.192 ---> 11111111. 11111111. 11111111. 11000000

AND

NetAddress 11000001.11001110. 10010000. 01000000

193.206.144.64

Prima Rete: 193.206.144.00000000 (0) Host: da 0 a 63

Seconda Rete: 193.206.144.01000000 (64) **Host: da 64 a 127**

Terza Rete: 193.206.144.10000000 (128) Host: da 128 a 191

Quarta Rete: 193.206.144.11000000 (192) Host: da 192 a 255

Network mask e Subnetting

Altro Esempio:

IP: **128.75.87.34** ---> 10000000.01001011. 01010111. 00100010 AND

Net. Mask: 255.255.252.0 ---> 11111111. 11111111. 11111100. 00000000

NetAddress 10000000. 01001011. 01010100. 00000000

128.75.84.0

IP: **128.75.84.34** ---> 10000000.01001011. 01010100. 00100010 AND

Net. Mask: 255.255.252.0 ---> 11111111. 11111111. 11111100. 00000000

NetAddress 10000000. 01001011. 01010100. 00000000

128.75.84.0

Network mask (cont.)

- Una notazione molto diffusa per indicare la maschera è quella di indicare in coda all'indirizzo il numero di bit, a partire dal più significativo, che costituiscono l'indirizzo di rete

  – la rete 131.154.20.0 255.255.255.0 si indica anche con la notazione

  131.154.20.0 / 24

  (i primi 24 bit costituiscono l'indirizzo di rete)

  – la subnet 193.206.144.64 255.255.255.192 si indica con

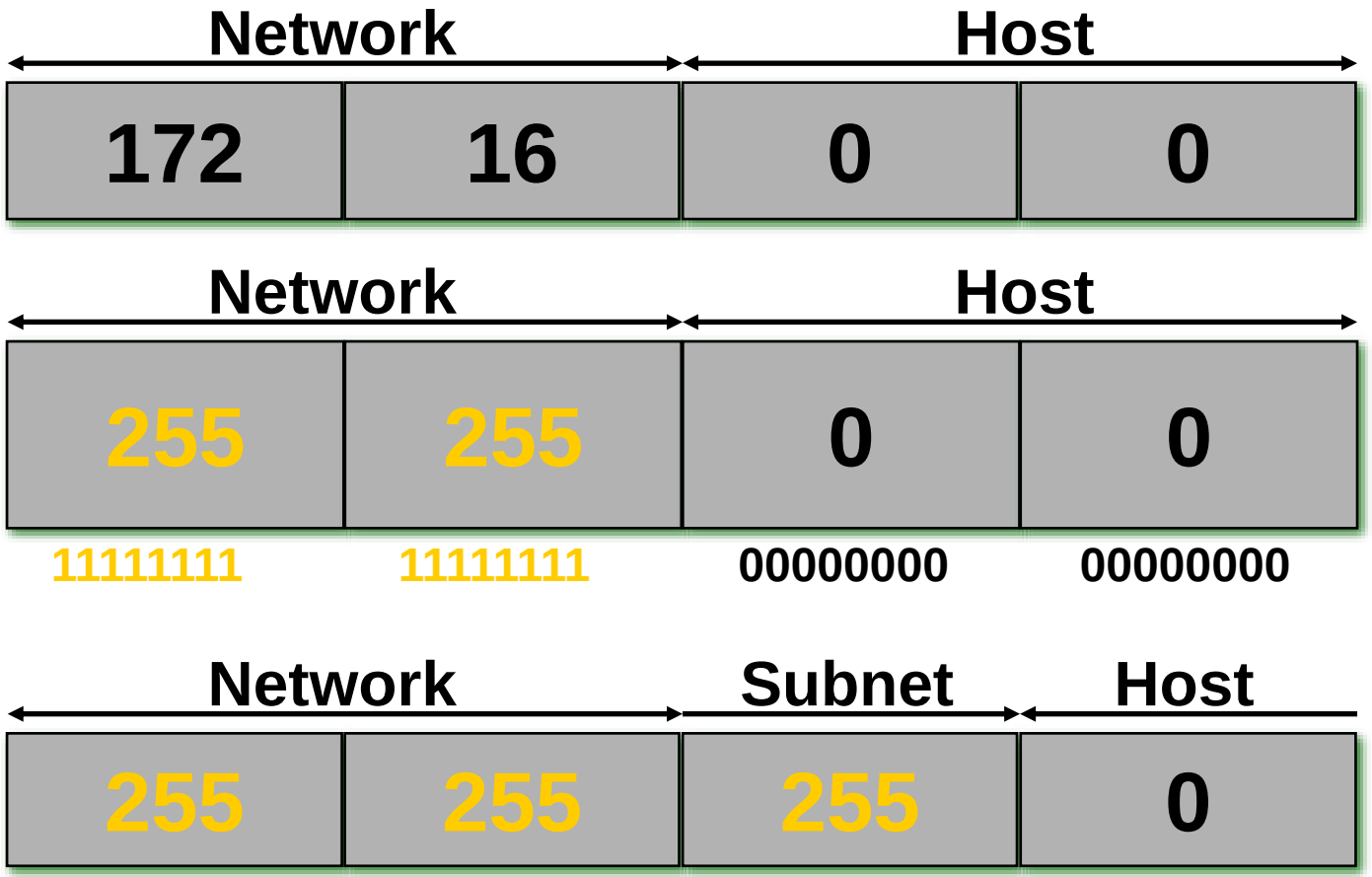
  193.206.144.64 / 26

  (26 bit per l'indirizzo di rete)

Network mask (cont.)

- Vale la pena di osservare che la sottorete di dimensioni minime deve avere un campo di 4 indirizzi:
  - uno per indicare la sottorete,
  - uno per indicare il broadcast,
  - ed almeno uno per indirizzare un host;
- poichè al campo host vanno assegnati un certo numero di bit, un bit non è sufficiente, quindi ne servono almeno due, che forniscono due indirizzi per host
- questa tecnica è utilizzata per assegnare indirizzi di rete alle connessioni punto-punto tra i router, risparmiando il maggior numero di indirizzi possibile
- La definizione delle sottoreti non coinvolge la authority internazionale (o quella regionale) per gli indirizzi
  - le sottoreti fanno tutte parte dell'insieme degli indirizzi già assegnati

Network mask (cont.)

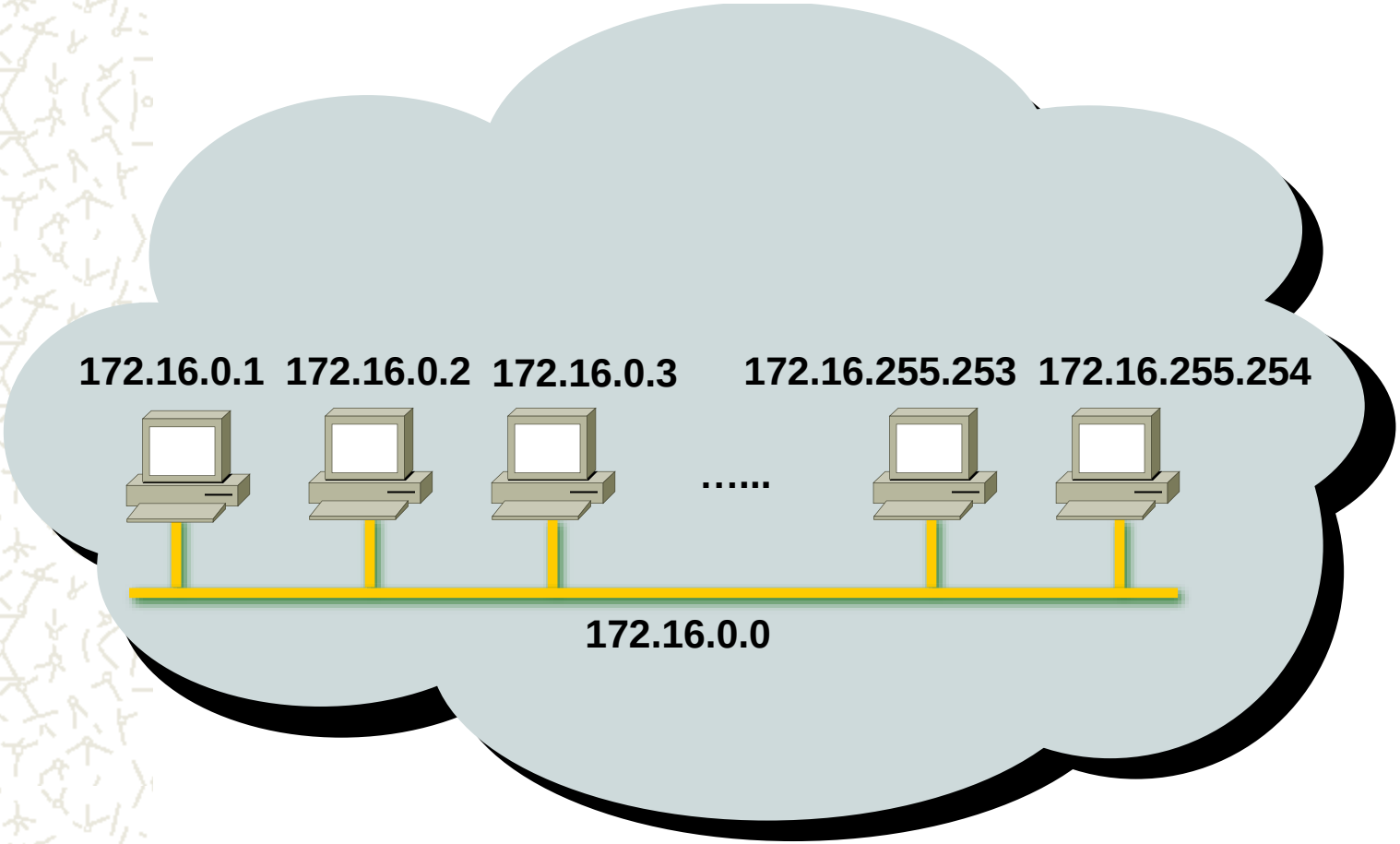


Rispettivamente indicabili come "/16" e "/24 dove il numero dopo lo slash rappresenta il numero di 1 nella subnet mask.

Equivalenti Decimali dei Bit Patterns

128	64	32	16	8	4	2	1		
1	0	0	0	0	0	0	0	=	128
1	1	0	0	0	0	0	0	=	192
1	1	1	0	0	0	0	0	=	224
1	1	1	1	0	0	0	0	=	240
1	1	1	1	1	0	0	0	=	248
1	1	1	1	1	1	0	0	=	252
1	1	1	1	1	1	1	0	=	254
1	1	1	1	1	1	1	1	=	255

Network Mask senza Subnets



- Network 172.16.0.0

Network Mask senza Subnets

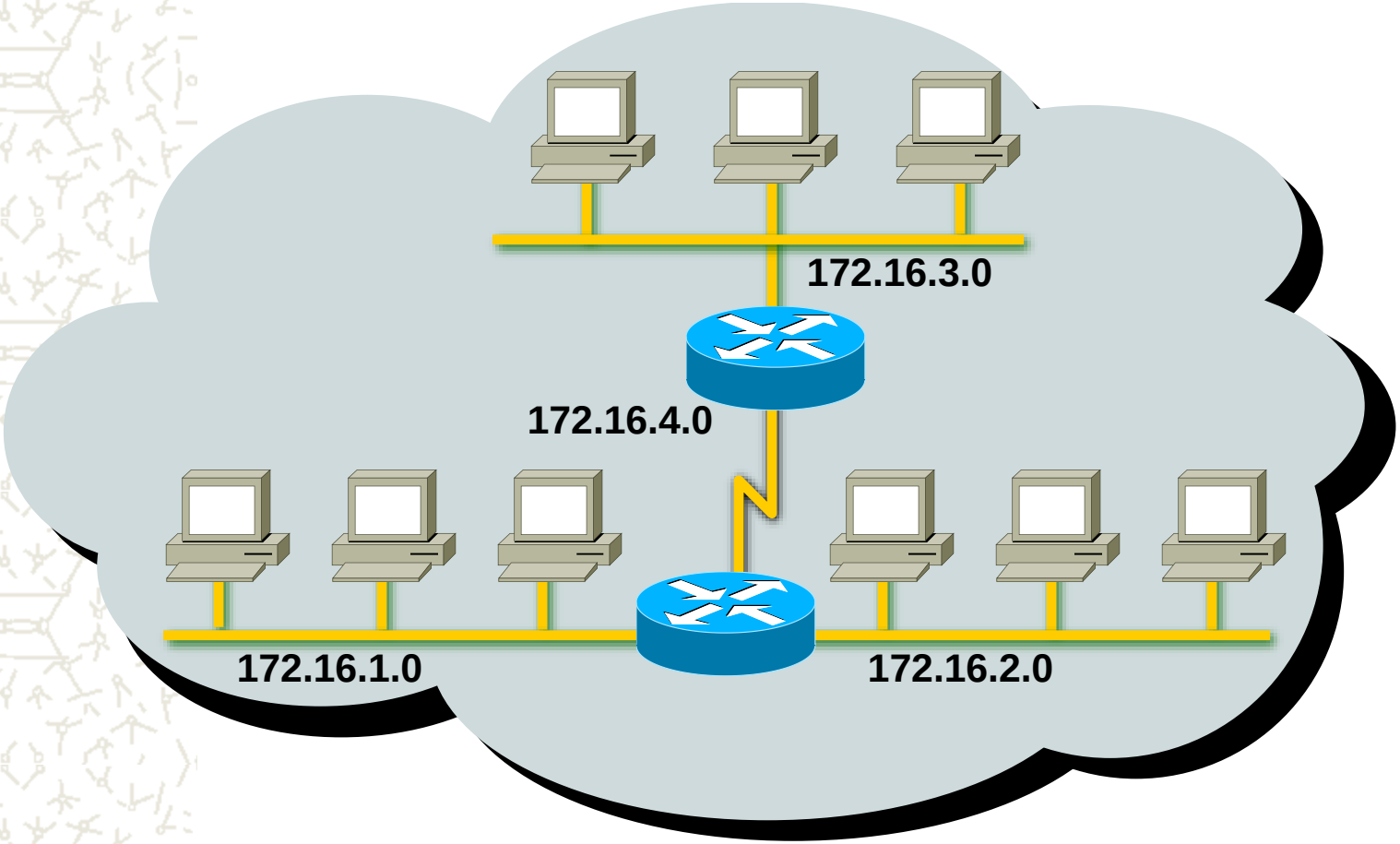
	Network		Host	
172.16.2.160	10101100	00010000	00000010	10100000
255.255.0.0	11111111	11111111	00000000	00000000
	10101100	00010000	00000000	00000000

Network Number

172	16	0	0

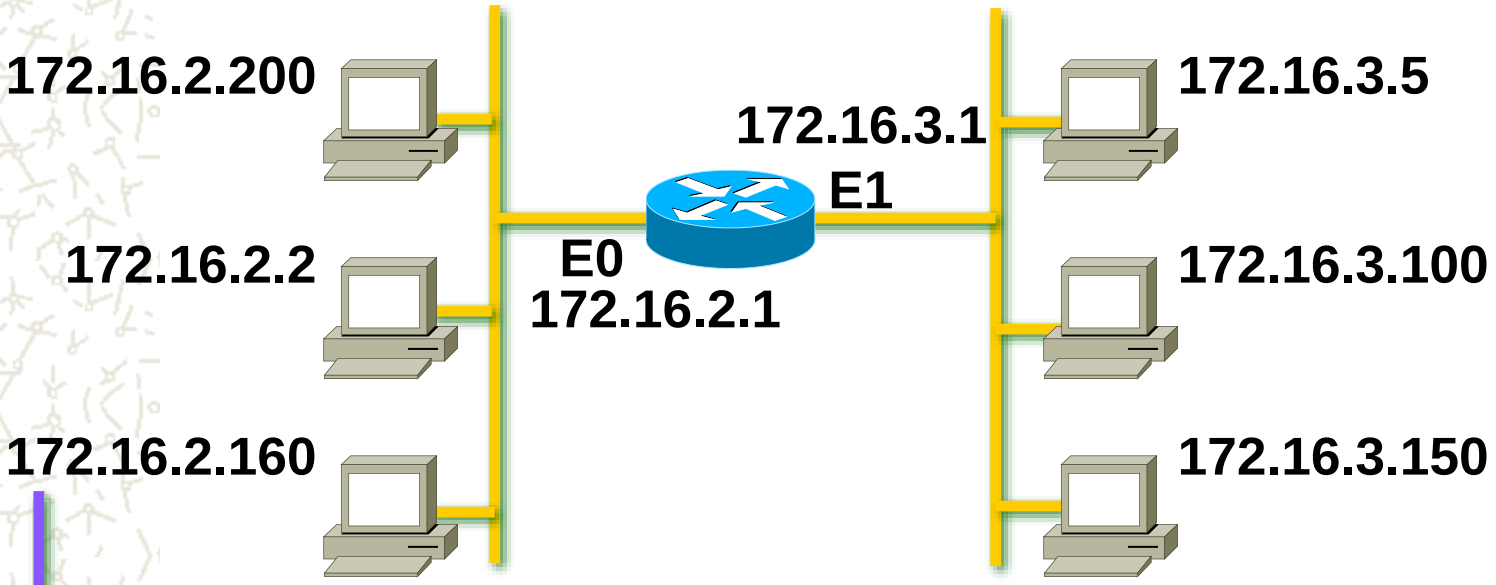
- Subnets non in uso — schema di default

Network Mask con Subnets



- Network 172.16.0.0

Network Mask con Subnets

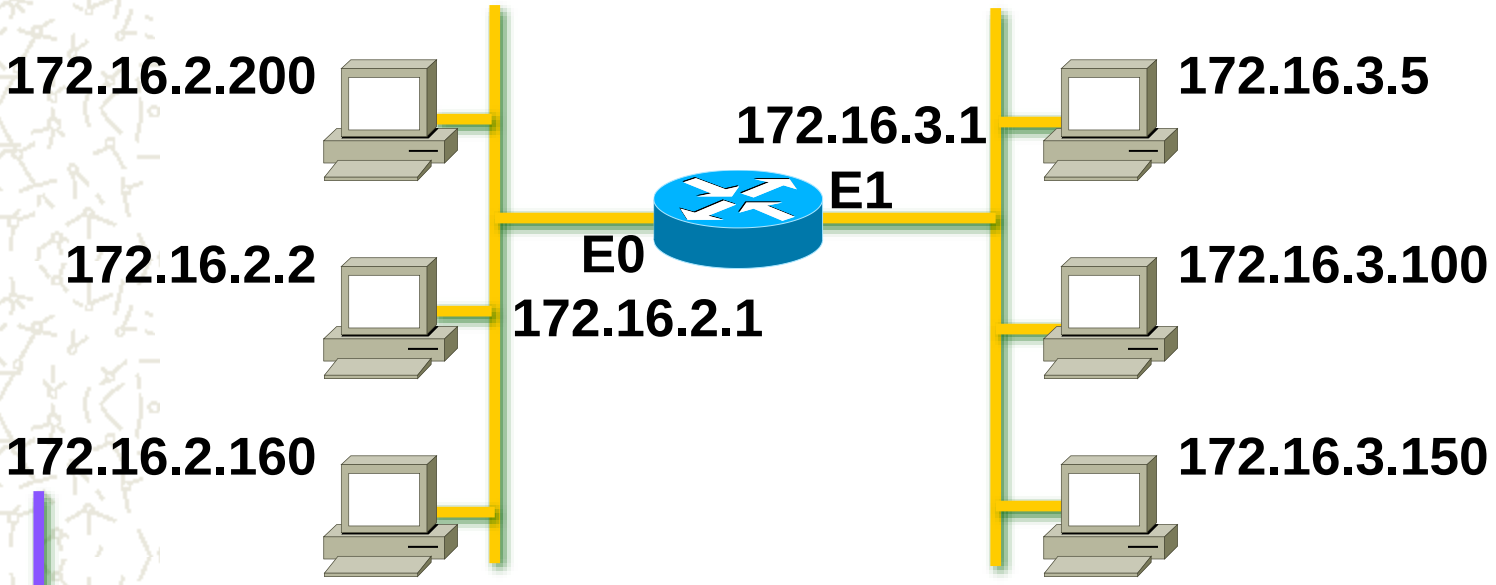


172.16 . 2 . 160

Network Host

New Routing Table Network	Interface
172.16.0.0	E0
172.16.0.0	E1

Network Mask con Subnets



172.16 . 2 . 160

Network Subnet Host

New Routing Table Network	Interface
172.16.2.0	E0
172.16.3.0	E1

Network Mask con Subnets

	Network		Subnet	Host
172.16.2.160	10101100	00010000	00000010	10100000
255.255.255.0	11111111	11111111	11111111	00000000
	10101100	00010000	00000010	00000000

128
192
224
240
248
252
254
255

Network Number

172	16	2	0

- L'indirizzo di rete viene esteso di 8 bit a discapito degli hosts

Network Mask con Subnets

	Network		Subnet	Host
172.16.2.160	10101100	00010000	00000010	10100000
255.255.255.192	11111111	11111111	11111111	11000000
	10101100	00010000	00000010	10000000

128 192 224 240 248 252 254 255 — 128 192 224 240 248 252 254 255

Network Number

172	16	2	128

- L'indirizzo di rete viene esteso di 10 bit a discapito degli hosts

Esempio

Assumiamo di voler partizionare il netblock 172.16.32.0/20 per ottenere 5 classi da 64 hosts.

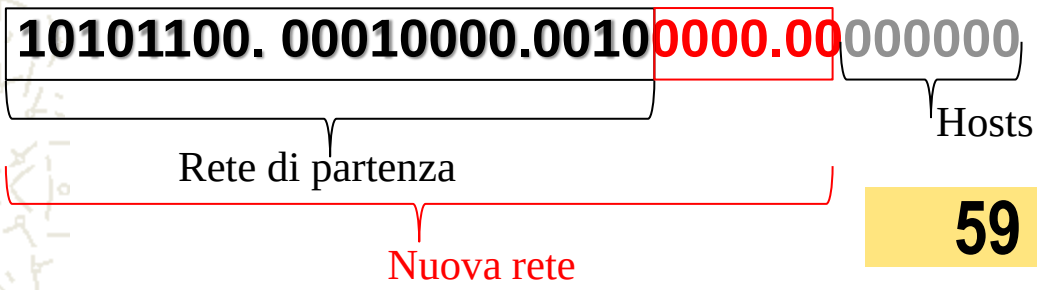
- Per indirizzare 64 hosts abbiamo bisogno di 6 bit.
- Quindi restano 32-6= 26 bit per la rete. La rete assumerà la forma

x.x.x.x/26

- Il netblock originale impiega I primi 20 bit per la rete, quindi possiamo usare i successive 6 bit per le sottoreti.

Rete di partenza : 172.16.32.0/20

In binario **10101100. 00010000.00100000.00000000**

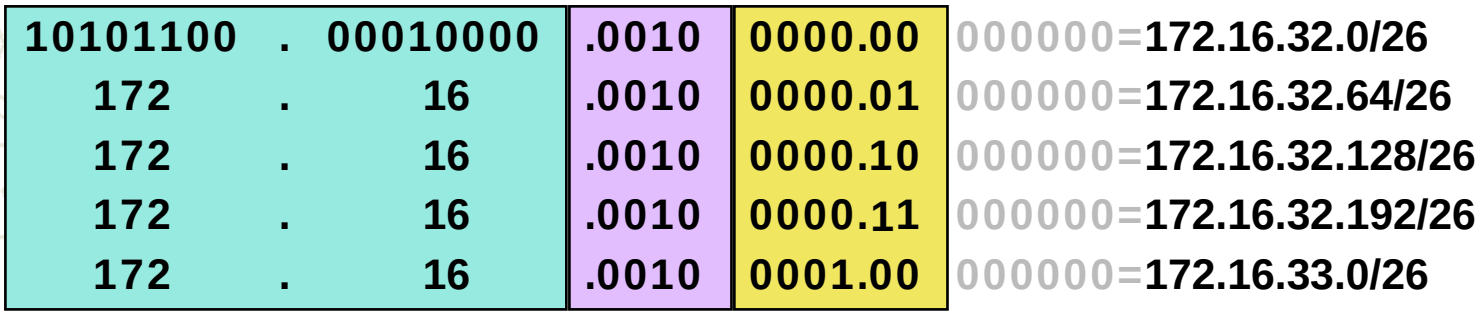


Esempio

- Assumiamo di voler partizionare il netblock 172.16.32.0/20 per ottenere 5 classi da 64 hosts (/26)

Netblock da partizionare: 172.16.32.0/20
In binario 10101100. 00010000.00100000.00000000

Prima subnet /26: 172.16.32.0/26
In binario 10101100. 00010000.00100000.00000000



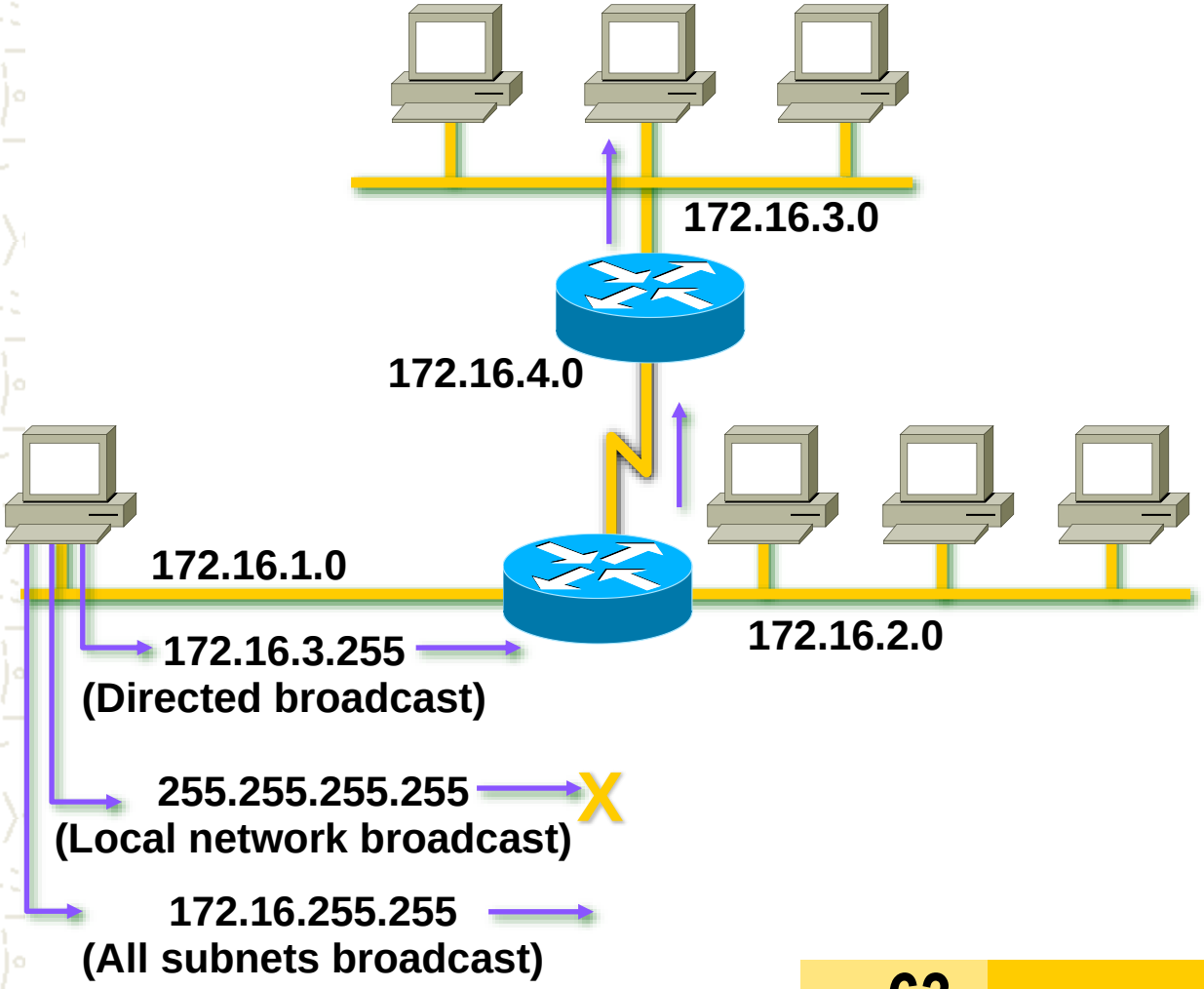
Esercizio

Address	Subnet Mask	Class	Subnet
172.16.2.10	255.255.255.0		
10.6.24.20	255.255.240.0		
10.30.36.12	255.255.255.0		

Soluzione

Address	Subnet Mask	Class	Subnet
172.16.2.10	255.255.255.0	B	172.16.2.0
10.6.24.20	255.255.240.0	A	10.6.16.0
10.30.36.12	255.255.255.0	A	10.30.36.0

Indirizzi Broadcast per Subnets



Esempio Indirizzi Broadcast per Subnets

IP Host Address: 172.16.2.121
Subnet Mask: 255.255.255.0

	Network	Network	Subnet	Host
172.16.2.121:	10101100	00010000	00000010	01111001
255.255.255.0:	11111111	11111111	11111111	00000000
Subnet:	10101100	00010000	00000010	00000000
Broadcast:	10101100	00010000	00000010	11111111

- Subnet Address = 172.16.2.0
- Host Addresses = 172.16.2.1–172.16.2.254
- Broadcast Address = 172.16.2.255
- Eight bits of subnetting

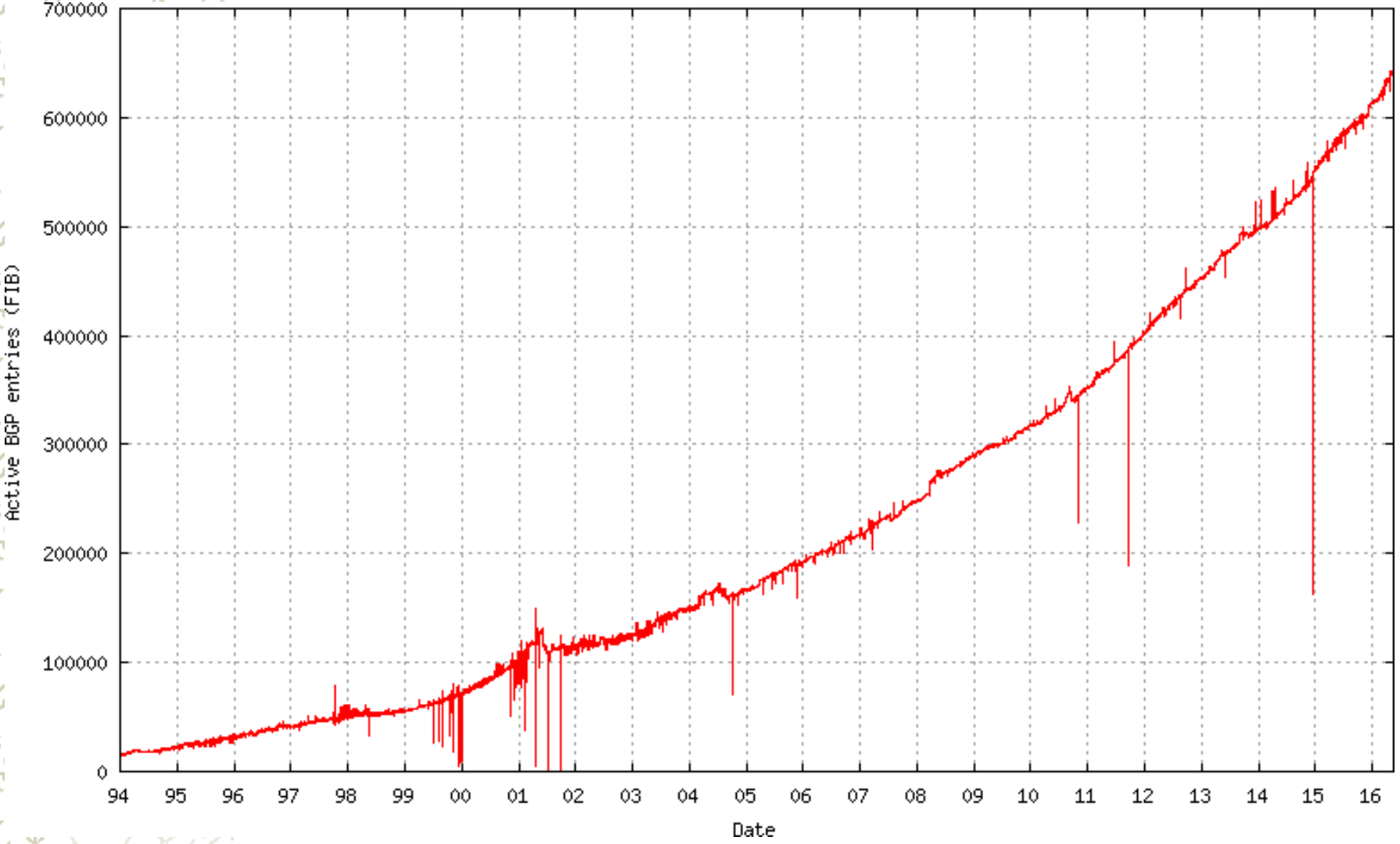
Esercizio

Address	Subnet Mask	Class	Subnet	Broadcast
201.222.10.60	255.255.255.248			
15.16.193.6	255.255.248.0			
128.16.32.13	255.255.255.252			
153.50.6.27	255.255.255.128			

Soluzione

Address	Subnet Mask	Class	Subnet	Broadcast
201.222.10.60	255.255.255.248	C	201.222.10.56	201.222.10.63
15.16.193.6	255.255.248.0	A	15.16.192.0	15.16.199.255
128.16.32.13	255.255.255.252	B	128.16.32.12	128.16.32.15
153.50.6.27	255.255.255.128	B	153.50.6.0	153.50.6.127

Aumento indiscriminato delle routes in Internet



Source: Geoff Huston, http://bgp.potaroo.net,

Aggregazione di reti

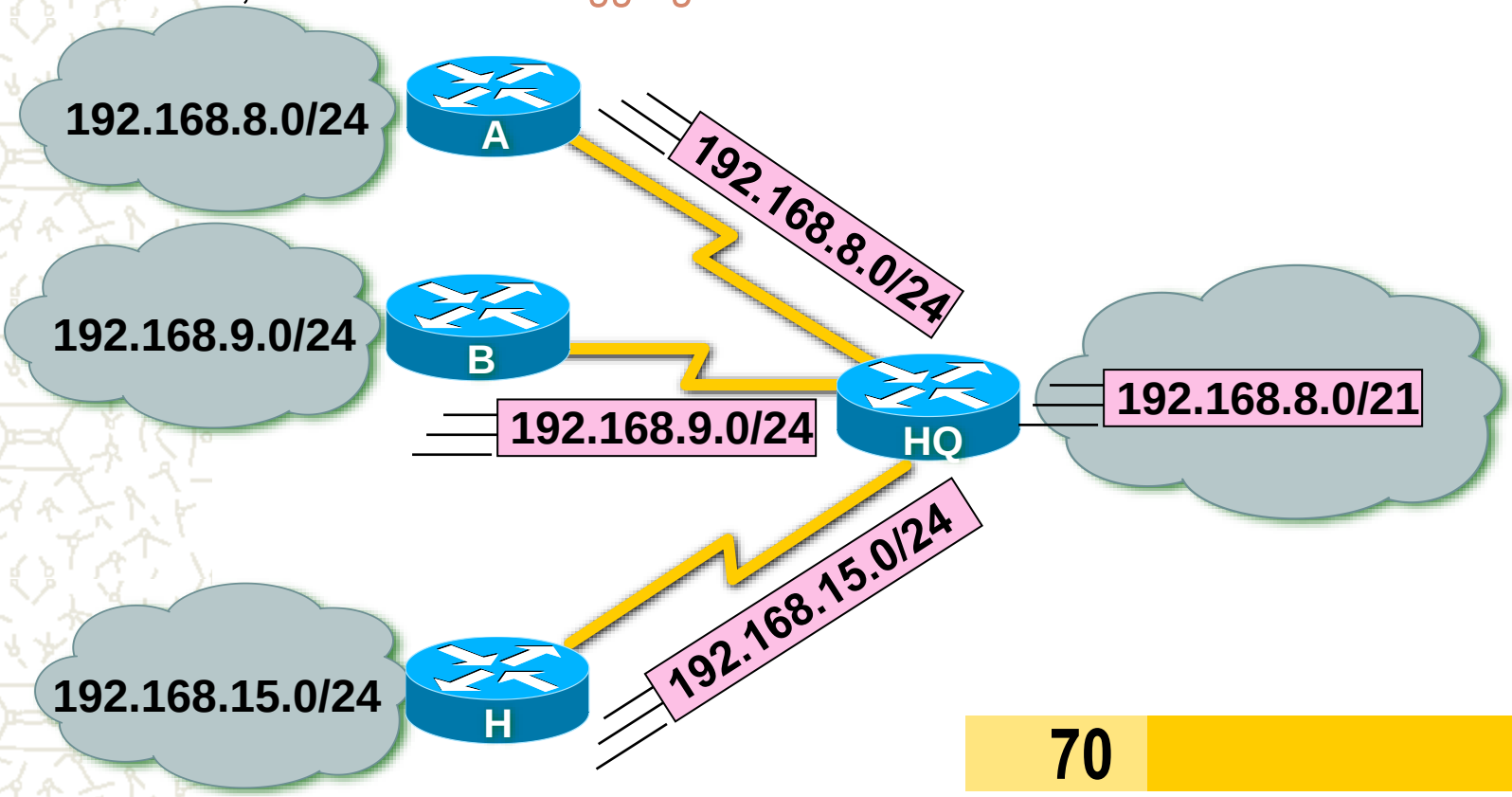
- L'indirizzamento a classi ha anche portato al problema opposto:
  - una classe C prevede un massimo di 254 indirizzi (lo 0 ed il 255 non sono utilizzabili)
  - spesso aziende o università hanno aumentato il numero di host connessi in rete fino ad eccedere questo limite
- Utilizzando la tecnica della maschera è possibile accorpare classi C con indirizzi contigui opportuni
  - ad esempio, la sezione INFN di Genova ha avuto assegnate 4 classi C, dalla 193.206.144.0 alla 193.206.147.0
  - il valore binario di queste reti è
    11000001 11001110 10010000 00000000
    11000001 11001110 10010001 00000000
    11000001 11001110 10010010 00000000
    11000001 11001110 10010011 00000000
  - utilizzando una maschera a 22 bit è possibile accorpare queste quattro reti in una unica rete IP indicata come 193.206.144.0/22 (o con maschera 255.255.252.0)

Classless InterDomain Routing

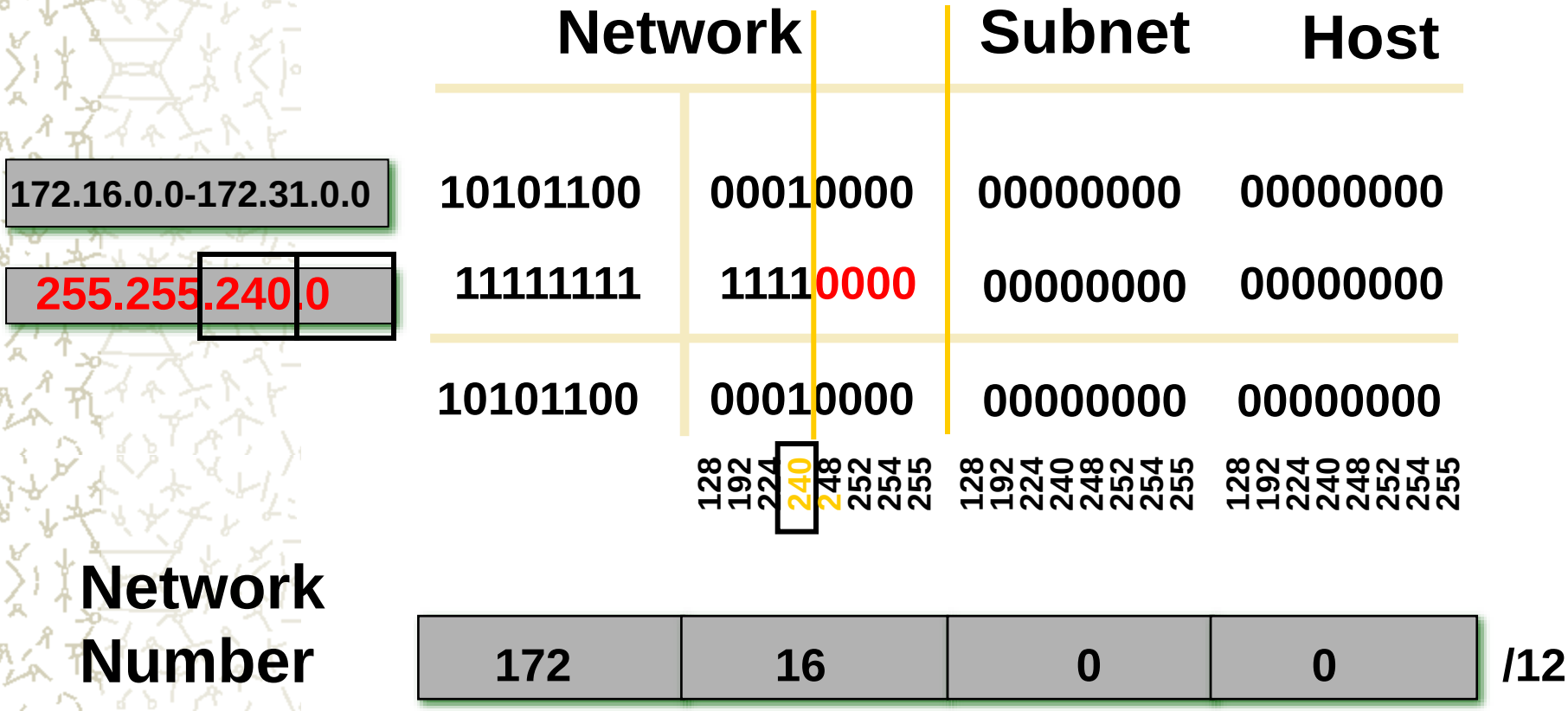
- Per gestire questo nuovo schema di indirizzamento il modo in cui il router gestisce le tabelle di routing deve cambiare
- E' stato introdotto un nuovo standard che specifica queste modifiche (RFC 1519), col nome di CIDR
- Secondo questo standard ogni record della tabella di routing specifica l'indirizzo della destinazione con la sua maschera, in modo da superare la definizione delle classi
- Non esiste più una vera distinzione tra una rete 100.1.2.0/24 ed una rete 200.201.20.0/24

Classless InterDomain Routing

- Questa soluzione comporta però un problema potenziale grave:
  - l'aumento considerevole delle reti indirizzabili può far esplodere la dimensione delle tabelle di routing, che virtualmente potrebbero dover contenere milioni di record
- Per ovviare a ciò gli indirizzi vengono assegnati per quanto possibile a blocchi alle varie organizzazioni regionali e locali che devono annunciare verso l'esterno della loro area solo una rete, che costituisce l'aggregato delle sottoreti al suo interno



Classless InterDomain Routing



Network Number

172	16	0	0	/12

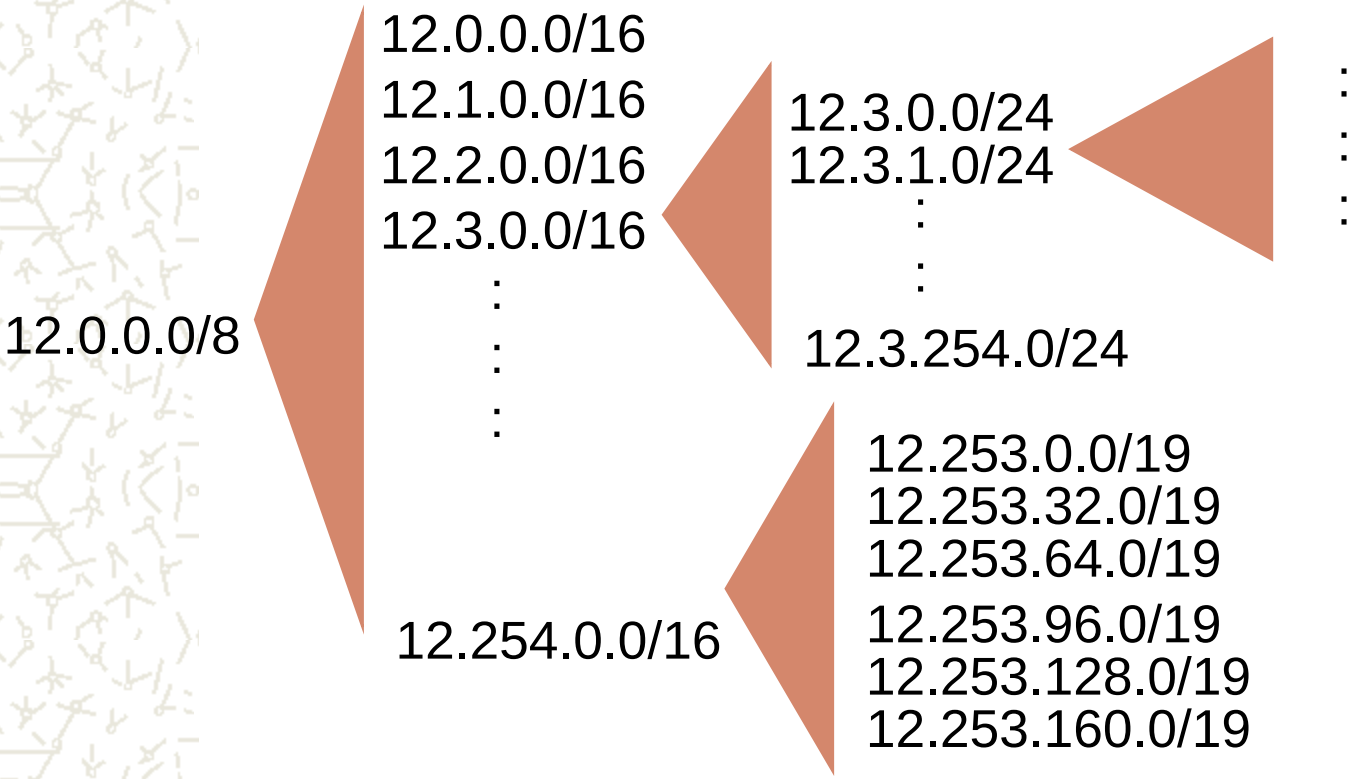
- Aggregate 16 sottoreti riducendo il network address di 4 bits

Instradamento e CIDR (longest prefix match)

- **Un indirizzo di destinazione può corrispondere a più di una voce della tabella di inoltro di un router.**
- I pacchetti IP non sanno nulla delle maschere: come instradare?
- Supponiamo di dover instradare un pacchetto indirizzato a 130.251.61.129, e di avere nelle tabelle di routing:
  - 130.0.0.0/8 verso l'interfaccia 1
  - 130.251.0.0/16 verso l'interfaccia 2
  - 130.251.61.0/24 verso l'interfaccia 3
  - 130.251.61.64/26 verso l'interfaccia 4
- **La scelta viene sempre fatta verso la rete (adatta) che ha la maschera più lunga**
  - nell'esempio si ha:
    - 1000010 1111011 0011101 10000001 (indirizzo di destinazione)
    - 1000010 (130.0.0.0/8)
    - 1000010 1111011 (130.251.0.0/16)
    - 1000010 1111011 0011101 (130.251.61.0/24)
    - 1000010 1111011 0011101 01 (130.251.61.64/26)
  - In questo caso l'indirizzo non fa parte della rete relativa alla quarta riga, ma può far parte delle reti relative alle altre righe; tra queste si sceglierà l'interfaccia 3 perchè è quella verso la rete adatta (**matching prefix**) con la maschera più lunga

CIDR: Hierarchal Address Allocation

- Il CIDR è il meccanismo di base per la scalabilità di Internet
  - Indirizzi vengono allocati e distribuiti in blocchi contigui (prefix blocks)
  - I protocolli e I meccanismi di routing lavorano su questi prefissi
  - **Aggregando si riesce a contenera la dimensione dalle routing tables**



Il futuro: IPv6 (versione 6)

- All'inizio degli anni '90 l'IETF iniziò la ricerca di un successore di IPv4
  - Motivazione primaria: la necessità di ampliare lo spazio di indirizzi che potesse soddisfare tutte le nuove esigenze di interconnessione di nuovi elaboratori
- Basandosi sul trend dell'epoca si affacciavano previsioni di esaurimento degli indirizzi tra il 2008 e il 2018
  - Nel 1996 l'American Registry for Internet Numbers dichiarava esaurita la classe A, risultava assegnato il 62% dello spazio indirizzi di classe B e il 37% di quelli della classe C
  - Sebbene questo consentisse comunque ancora del tempo prima dell'esaurimento totale, lo sforzo necessario e il tempo previsto per trovare un'alternativa stimolò l'avvio dello studio e progettazione di un nuovo protocollo
- Fu sviluppato un protocollo che i progettisti modellarono sull'IPv4 esistente, ampliando e migliorando alcune sue caratteristiche, chiamato IPv6 (o IPng: next generation)

Obiettivi di IPv6

- Indirizzamento illimitato
- Semplicità del protocollo per ridurre i tempi di elaborazione nei router
- Sicurezza
- Supporto per pacchetti di grosse dimensioni
- Gestione del tipo di servizio
- Prevedere evoluzioni future del protocollo
- Supportare i protocolli di livello superiore che si appoggiano ad IPv4

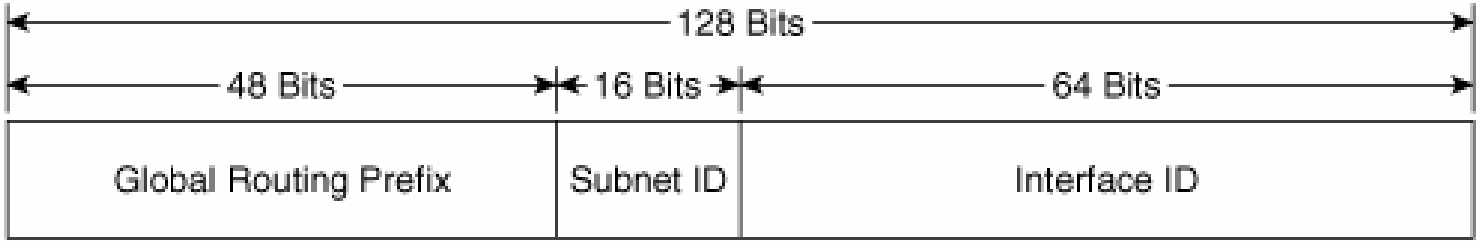
Indirizzi IPv6

- IPv6 prevede l'utilizzo di indirizzi a **16 byte** (128 bit)
- La notazione utilizzata è una sequenza di otto gruppi di quattro cifre esadecimali, separate da ":"

8000:0000:0000:0000:0123:4567:89AB:CDEF

- Per rappresentare più comodamente gli indirizzi si possono utilizzare ottimizzazioni:
  - si possono omettere gli zeri ad inizio di un gruppo (:0123: diventa :123:)
  - si possono omettere gruppi di zeri consecutivi, rappresentati da una sequenza "::"

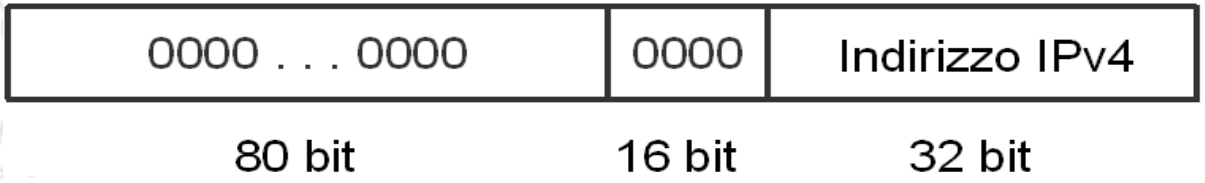
8000::123:4567:89AB:CDEF



Indirizzi IPv6 compatibili IPv4

- Un indirizzo compatibile IPv4 consente a un host che supporta IPv6 di parlare IPv6 anche se il router o i router locali non parlano IPv6
- Gli indirizzi compatibili IPv4 avvisano il software del mittente di creare un tunnel, incapsulando il pacchetto IPv6 in un pacchetto IPv4

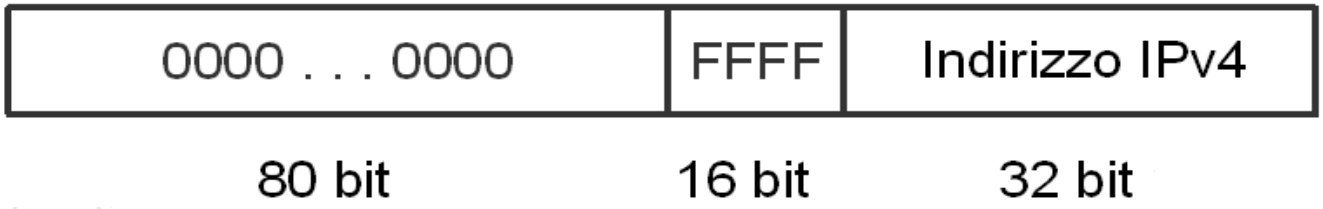
- Gli indirizzi IPv4 sono rappresentati con 6 gruppi di zeri, e due gruppi che rappresentano l'indirizzo IPv4 (rappresentabili anche in notazione decimale):
  - **::89AB:CDEF** oppure **::137.171.205.239**



Gli indirizzi **IPv4 compatibili** sono stati deprecati in favore degli indirizzi **IPv4**-Mapped address

Indirizzo IPv6 mappato IPv4

- Gli indirizzi mappati IPv4 consentono a un host che supporta sia IPv4 sia IPv6 di comunicare con un host che supporta solo IPv4
- L'indirizzo IPv6 si basa completamente sull'indirizzo IPv4 e consiste di 80 bit posti a 0 seguiti da 16 bit a uno, seguiti da un indirizzo IPv4 a 32 bit

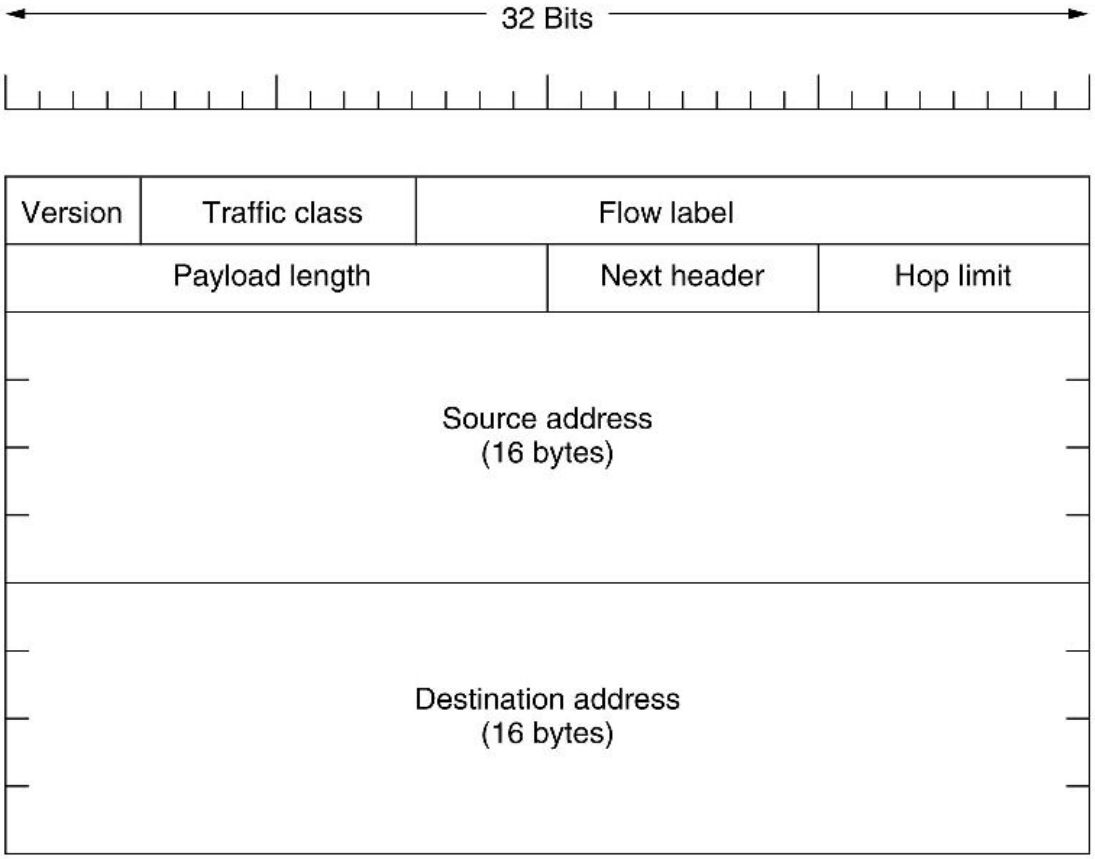


Indirizzi IPv6 (cont.)

- Come per IPv4 l'indirizzo contiene una informazione di rete ed una informazione di host
- La notazione per definire quale parte dell'indirizzo è dedicato alla rete è quella di specificare la lunghezza in bit dell'indirizzo di rete dopo un "/" in coda all'indirizzo (come in IPv4)
- Anche in IPv6 la "rete" è identificata dall'indirizzo con tutti "0" nel campo di indirizzo dell'host

Pacchetto IPv6

- Il pacchetto IPv6 è costituito da un header di lunghezza fissa (**40 byte**) ed un campo dati; il campo dati puo' opzionalmente contenere altri header prima dei dati veri e propri



Header di IPv6

- **Il campo version** non cambia significato, ed assume il valore 6
- **Il campo traffic class** serve ad identificare i pacchetti che necessitano di un instradamento particolare
  - essenzialmente introdotto per supportare il traffico prioritario, o il traffico di tipo voce o video stream che richiede ritardi costanti
  - un campo simile esiste nell'header di IPv4, inutilizzato
- **Il campo flow label** è stato introdotto per identificare in qualche modo i pacchetti appartenenti allo stesso flusso trasmissivo
  - sempre al fine di supportare meglio il traffico voce/video
  - è un tentativo di identificare il flusso di dati di una "connessione" in un protocollo connection less
  - attualmente in fase sperimentale

Header di IPv6 (cont.)

- **Il campo payload length** indica la lunghezza del pacchetto in byte, esclusi i 40 byte fissi dell'header
  - la lunghezza massima del pacchetto è di 65536 bytes (+ 40)
- **Il campo next header** indica
  - il protocollo del livello di trasporto a cui sono destinati i dati (TCP o UDP) se non c'è intestazione estesa
  - il tipo di intestazione estesa successiva utilizzata (se c'è): in questo caso sarà il corrispondente campo dell'header dell'ultima intestazione estesa a specificare il protocollo di trasporto di destinazione
- **Il campo hop limit** è equivalente al campo time to live dell'header IPv4, ma ora ha l'esclusivo significato di conto degli hop
  - viene decrementato ad ogni hop; raggiunto lo zero il pacchetto viene scartato
  - ha la stessa funzione del corrispondente campo IPv4: evitare che un pacchetto rimanga troppo a lungo in rete in caso di problemi di routing
- **Gli ultimi campi sono gli indirizzi sorgente e destinatario** del pacchetto

Caratteristiche di IPv6

Il formato dell'intestazione dei datagrammi è stato notevolmente semplificato. Molti campi sono stati eliminati o modificati.

IPv6 prevede più di un intestazione. Con questa variazione è possibile creare intestazioni per ogni tipo di servizio ipotizzabile.

Cosa non c'è più

- Il campo IHL (Internet Header Length) che rappresenta la lunghezza dell'header
  - non è più necessario, perchè la lunghezza dell'header è fissata a 40 bytes
- Il campo protocol è sostituito dal campo next header
- I campi riguardanti la frammentazione
  - IPv6 non prevede che i router eseguano frammentazione, perchè fa perdere tempo
  - i nodi IPv6 tentano di identificare la dimensione corretta dei pacchetti da scambiarsi in modo dinamico
  - non basta: se il router non può inoltrare un pacchetto, invia un messaggio (ICMP) indietro per notificare il fatto e butta il pacchetto
  - di fatto risulta più efficiente fare in modo che l'host di partenza invii i pacchetti di dimensione corretta che non frammentare nei router

Cosa non c'è più (cont.)

- Il campo checksum
  - IPv6 non utilizza checksum sui suoi pacchetti, per motivi di efficienza
  - pur nel caso ridotto di un checksum dedicato all'header, il controllo della correttezza risulta un processo molto costoso per i router
  - essendoci meccanismi analoghi a livello di data link ed a livello di trasporto, IPv6 ne fa a meno

Intestazione estesa

- I progettisti di IPv6 hanno previsto la possibilità di utilizzare header aggiuntivi (extension header)
  - il campo next header dell'header fisso identifica con un codice opportuno il tipo di extension header che segue
- Ciascun extension header inizia con 2 byte:
  - next header: il tipo di estension header che segue il corrente (o il protocollo di destinazione se il corrente è l'ultimo header)
  - extension header length: la lunghezza in byte dell'extension header corrente (i diversi tipi hanno lunghezze differenti, ed alcuni tipi hanno lunghezza variabile)

  seguita dai dati specifici dell'hestension header

Tipi di estension header

- Sono stati definiti 6 tipi di estension header
  - opzioni hop-by-hop: sono opzioni che tutti i router devono esaminare; al momento è definito un solo tipo di opzione (jumbo datagram) che serve per poter inviare pacchetti di dimensione superiore a 64 KB
  - opzioni di destinazione: introdotte per essere interpretate dall'host di destinazione, attualmente non ancora definite (fornisce flessibilità al protocollo per utilizzi futuri)
  - opzioni di routing: per implementare source-routing, cioè instradamento definito dalla sorgente (simile al loose source routing di IPv4)
  - opzioni di frammentazione: da utilizzare se "la sorgente" deve frammentare (i router non frammentano); gestita come in IPv4
  - autenticazione: finalizzato a fornire un meccanismo per accertare l'identità del mittente del pacchetto
  - crittazione: finalizzato a proteggere i dati tramite codifiche di cifratura

Transizione da IPv4 a IPv6

- Problema che deve essere affrontato perchè mentre l'IPv6 può essere costruito compatibile con IPv4 nel senso che può spedire, instradare e ricevere datagram IPv4, IPv4 non è in grado di gestire datagram IPv6
- Possibile opzione
  - **Definire giorno e ora in cui tutte le macchine si aggiornano da IPv4 a IPv6**
- Questa soluzione è stata già provata in passato per altre transizioni quando la rete era ancora agli esordi e provocò non pochi problemi
- Diventa ancor più impensabile oggi che i nodi e i router convolti sono decine (centinaia?) di milioni

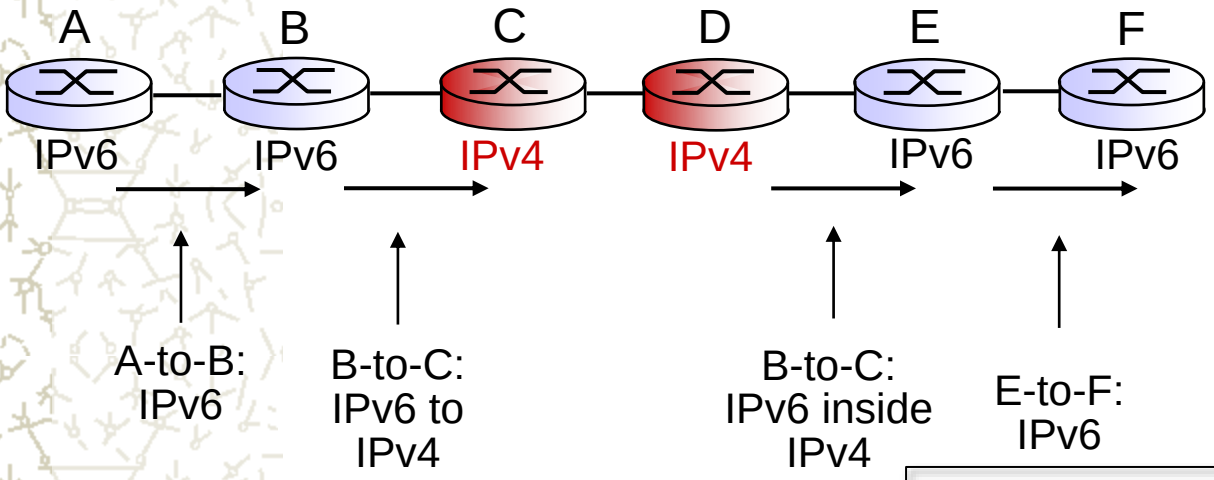
Opzione: nodi dual stack

- Questa opzione prevede l'introduzione di nodi IPv6 compatibili, in cui i nodi IPv6 dispongono pure di una completa implementazione IPv4
- I nodi IPv6/IPv4 (RFC 1933) hanno entrambi gli indirizzi e devono essere in grado di determinare se il nodo con cui devono parlare è un nodo IPv6 compatibile o solo IPv4
- Questo può comunque portare come risultato che 2 nodi IPv6 compatibili si scambino comunque tra loro datagram IPv4

Perché??

Opzione: nodi dual stack

- Questo può comunque portare come risultato che 2 nodi IPv6 compatibili si scambino comunque tra loro datagram IPv4

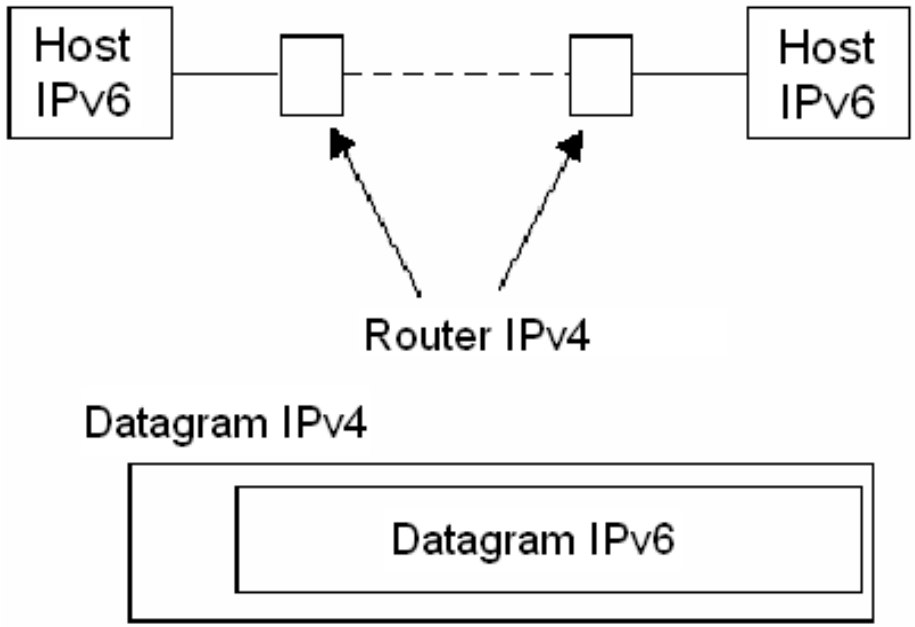


Il campo dati di IPv6 di B è copiato nel campo dati di IPv4 di C.
Alcuni campi IPv6 non hanno i corrispondenti in IPv6 e vengono persi.

Quindi, anche se A ed F possono scambiarsi datagram IPv6, il datagram in arrivo al nodo E da D non contiene tutti i campi IPv6 ma solo quelli di IPv4.
Di fatto, la comunicazione avviene in IPv4

Tunneling IPv6 – IPv4

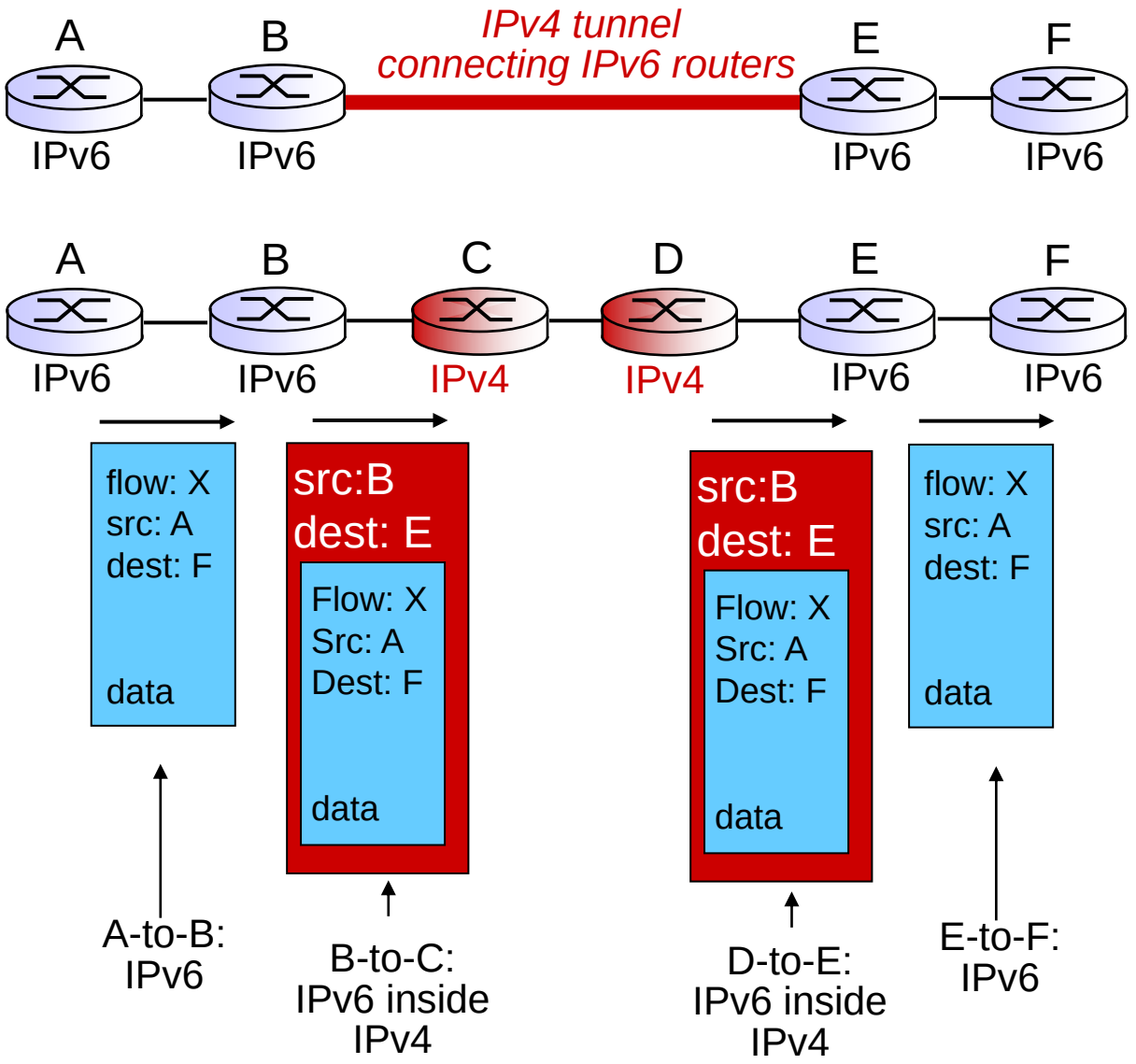
Il datagram IPv6 è inserito nel campo dati dell'IPv4.



Tunneling

logical view:

physical view:



Funzionamento con DNS

- Un'applicazione IPv6 chiede al DNS (Domain Name System) l'indirizzo di un host, ma l'host ha solo un indirizzo IPv4

- Il DNS crea automaticamente l'indirizzo IPv6 mappato IPv4
  - Il kernel capisce che si tratta di un indirizzo speciale e usa la comunicazione IPv4

IP addresses: how to get one?

Q: In che modo un host ottiene un indirizzo in una rete?

- hard-coded dal system administrator in un file
  - Windows: control-panel->network->configuration->tcp/ip->properties
  - UNIX: /etc/rc.config
- DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol: Ottiene un indirizzo dinamicamente da un server.
  - "plug-and-play"

DHCP: Dynamic Host Configuration Protocol

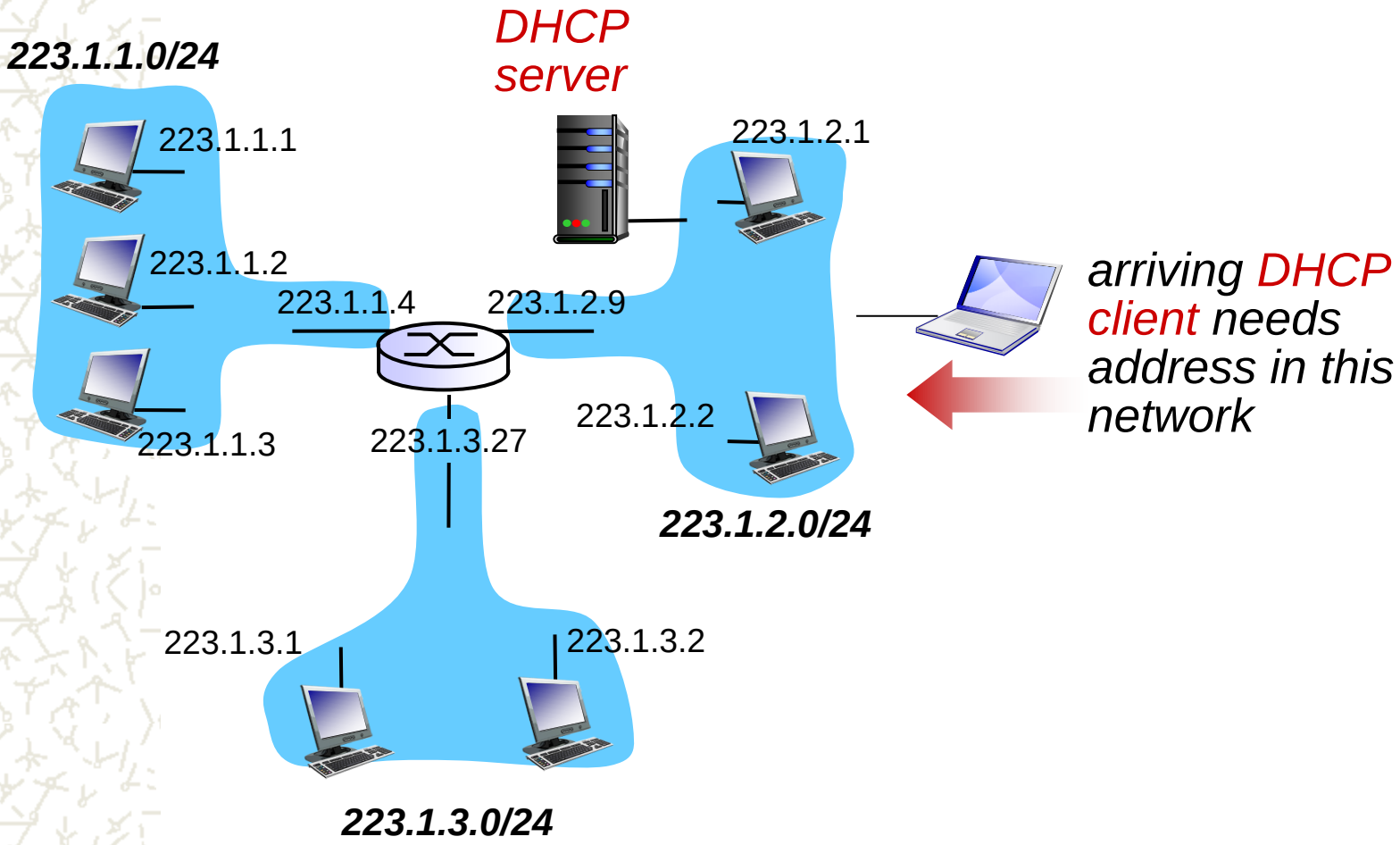
goal: consentire all'host di ottenere dinamicamente il proprio indirizzo IP dal server di rete quando si unisce alla rete. Generalmente avviene con un contratto di locazione dell'IP.

- può rinnovare il contratto di locazione dell'indirizzo in uso
- consente il riutilizzo degli indirizzi (conserva l'indirizzo solo quando è collegato / "acceso")
- supporto per gli utenti mobili che vogliono unirsi alla rete

Messaggi DHCP (overview):

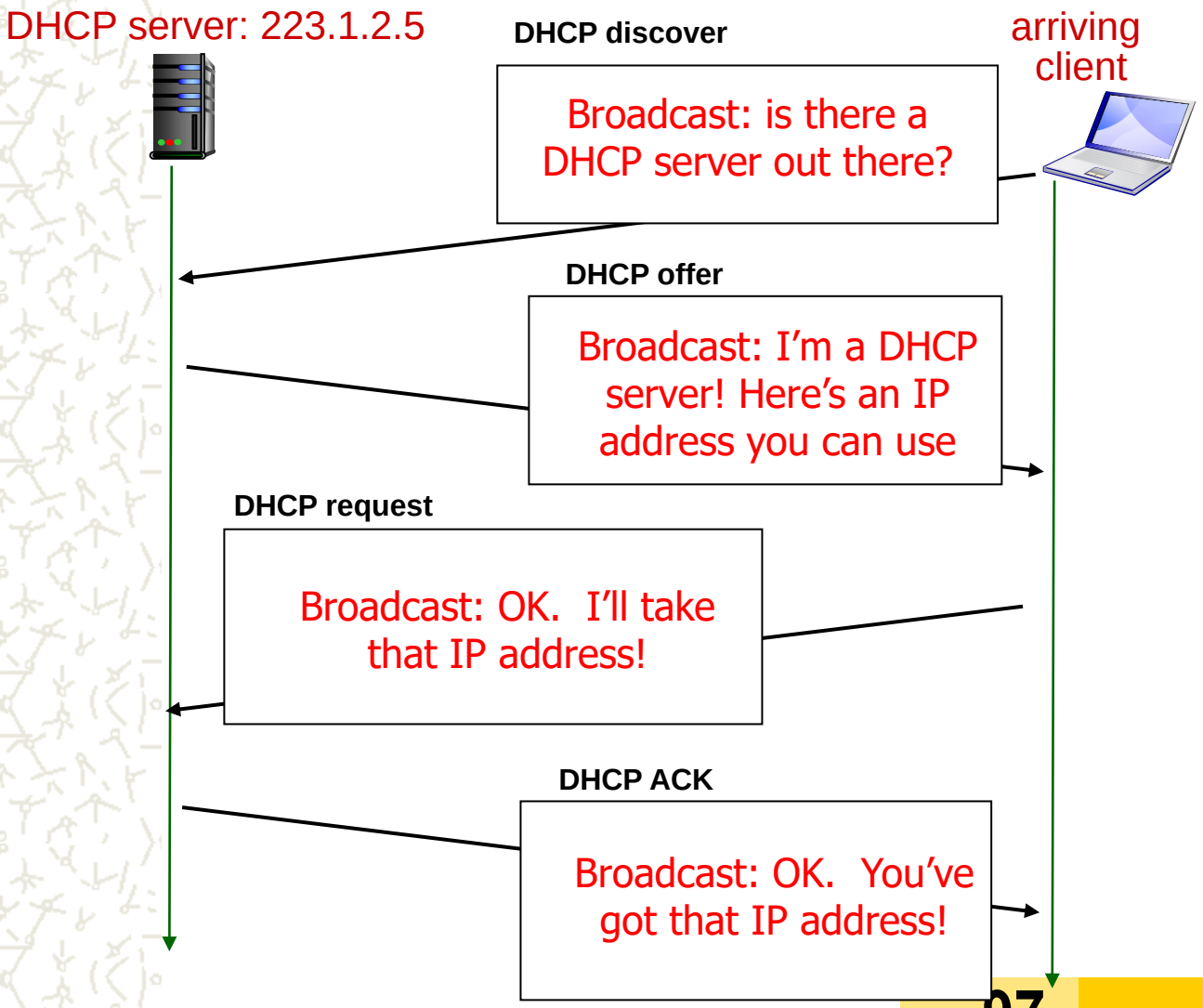
- host broadcasts "DHCP discover" msg [optional]
- DHCP server responds with "DHCP offer" msg [optional]
- host requests IP address: "DHCP request" msg
- DHCP server sends address: "DHCP ack" msg

DHCP client-server scenario



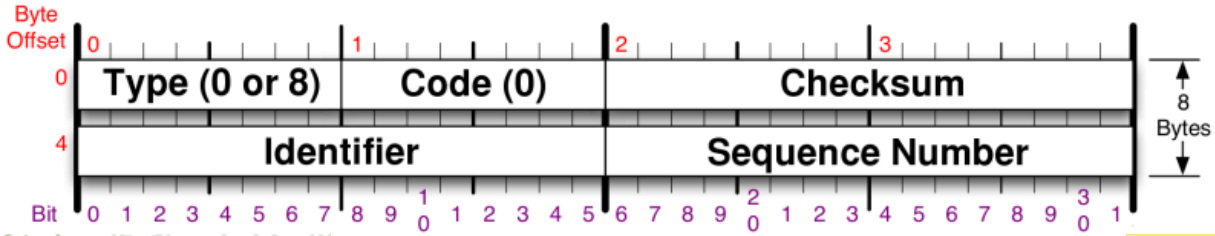
DHCP client-server scenario

Yiaddr: your Internet address



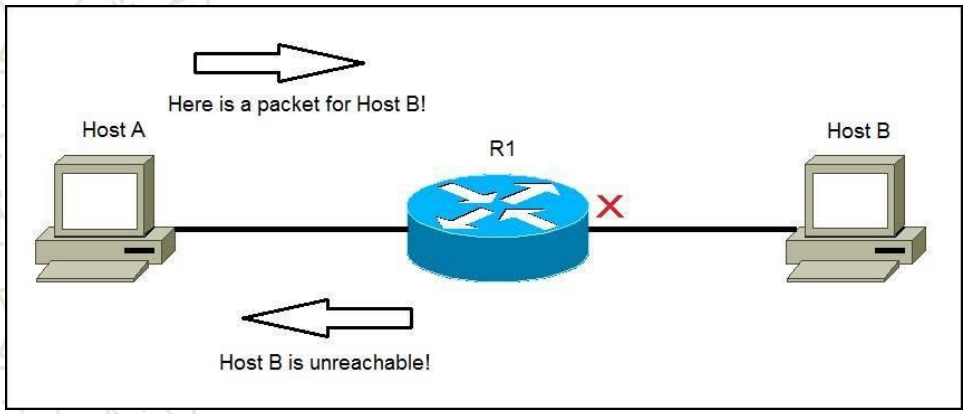
ICMP

- Internet Control Message Protocol è il protocollo utilizzato per monitorare il funzionamento del livello di rete
- Esistono una dozzina di messaggi ICMP destinati ad avvisare i router o gli host di qualche evento specifico della rete
- ICMP non ha lo scopo di rendere IP affidabile, ma di notificare allo strato di rete problemi non transienti nella comunicazione a livello 3 in modo da attivare quelle reazioni dinamiche al malfunzionamento della rete necessarie, ad esempio, a ridisegnare dinamicamente la topologia utilizzata per l'instradamento
- ICMP utilizza IP come protocollo di trasporto per instradare i propri messaggi
  - in questo senso c'è una sorta di miscuglio degli strati in IP:
    - ICMP è una parte del protocollo di rete, in quanto ha funzioni di (auto)controllo dello strato di rete e non fornisce servizi agli strati superiori
    - tuttavia ICMP utilizza IP come sottoprotocollo per trasmettere le sue informazioni tra gli host/router interessati



Messaggi ICMP

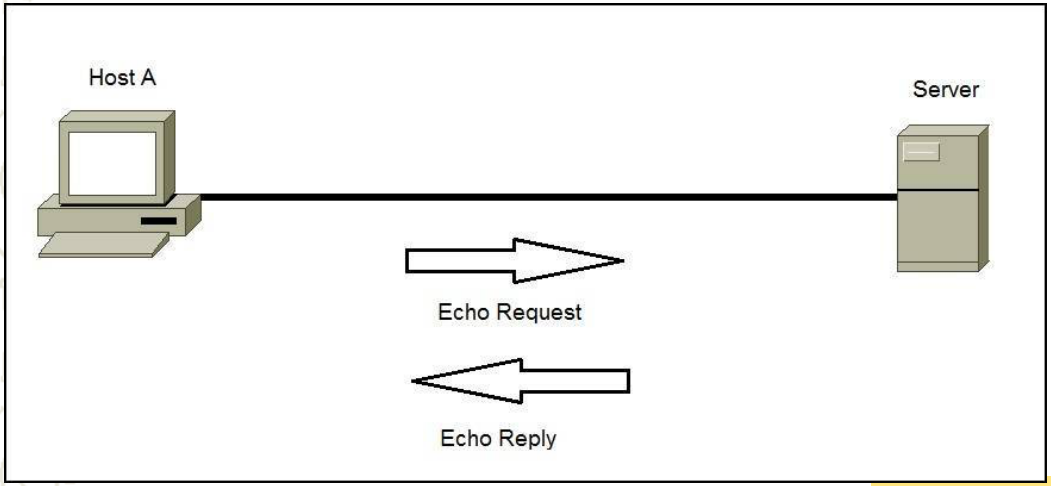
- I principali messaggi ICMP disponibilio sono:
  - **destinazione irraggiungibile**: questo messaggio e' inviato dai router agli host sorgenti di un pacchetto IP per notificare che la destinazione non e' raggiungibile
  - **time exceeded:** viene notificato alla sorgente di un pacchetto che il pacchetto ha raggiunto la scadenza del time-to-live
  - **problema di parametri:** un router annuncia al router che gli ha inviato un pacchetto che i parametri dell'header sono inconsistenti
  - **source quench:** utilizzato (in passato) per rallentare la sorgente che trasmette troppo velocemente in caso di congestione; l'evoluzione del TCP/IP ha spostato pero' il controllo della congestione sul livello di trasporto
  - **redirect** (reindirizzamento): il router avvisa l'host sorgente che ha inviato il pacchetto iniziale secondo un instradamento errato (ad esempio: se ci sono due router sulla LAN, ed un pacchetto viene inviato da un host verso il router sbagliato)



Messaggi ICMP (cont.)

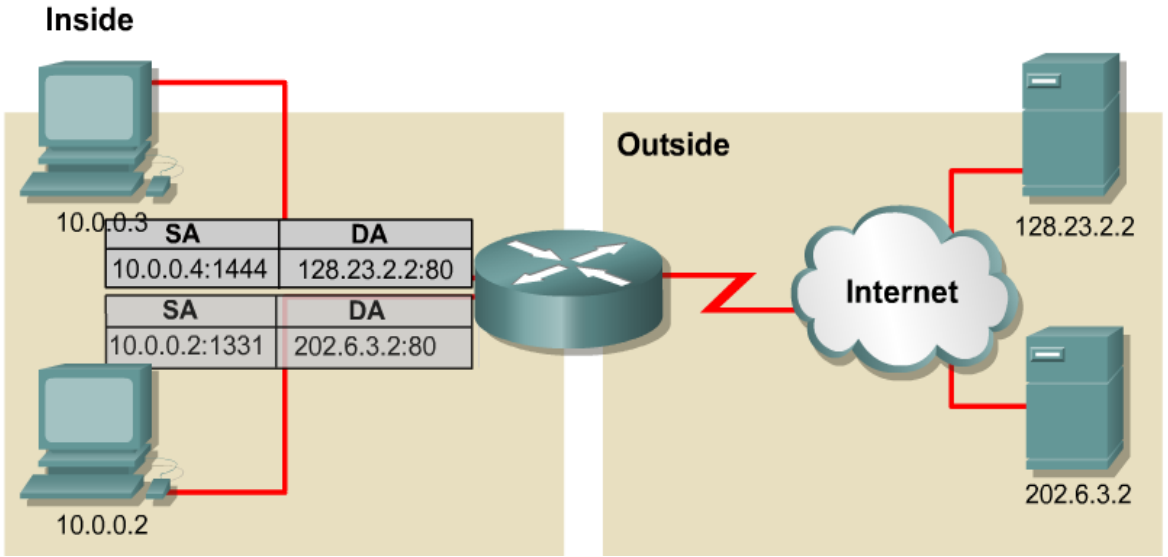
- **echo ed echo reply:** utilizzati per verificare la raggiungibilità di un host:
  - quando un host riceve un ICMP ECHO da una sorgente, deve immediatamente rispondere con un ICMP ECHO REPLY
  - molte utility fanno uso di questo messaggio ICMP (ad esempio **ping**)

- **timestamp e timestamp response:** analoghi ai messaggi ECHO/ECHO REPLY, inseriscono nei pacchetti informazioni di tempo per valutare il ritardo della connessione



NAT

- **Il router traduce indirizzi interni in esterni, mappando indirizzi e porte nella NAT Table**

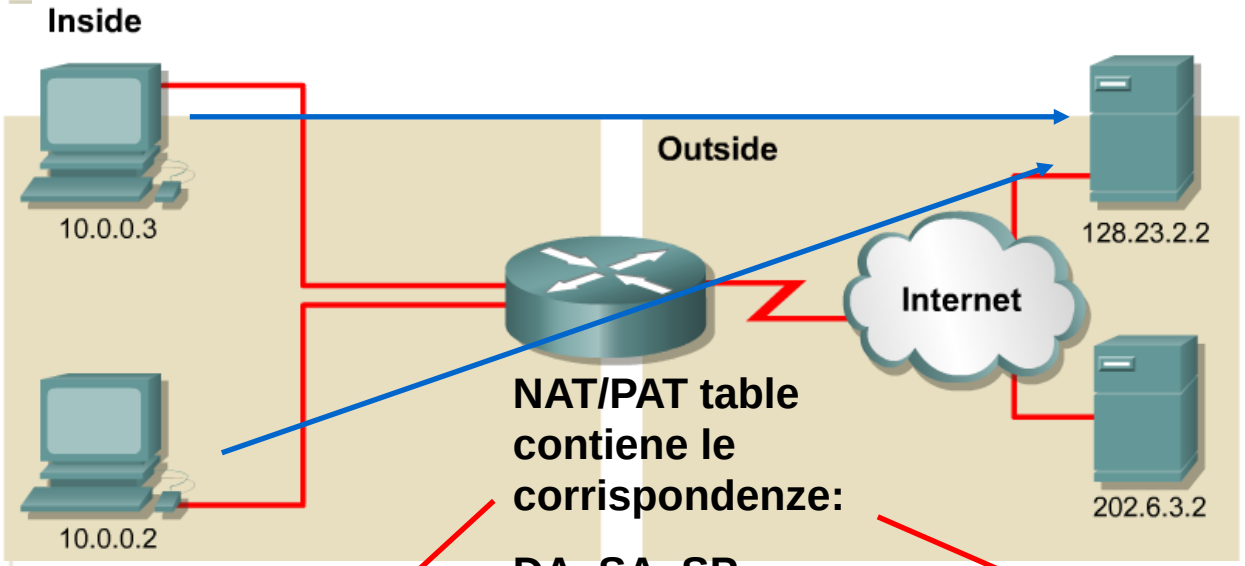


NAT Table

Inside Local IP Address	Inside Global IP Address	Outside Local IP Address	Outside Global Address
10.0.0.2:1331 10.0.0.3:1555	179.9.8.20:1331 179.9.8.20:1555	202.6.3.2:80 128.23.2.2:80	202.6.3.2:80 128.23.2.2:80

- **Inside local** – L'indirizzo IP address assegnato all'host sulla rete interna.
- **Inside global** – Un indirizzo IP pubblico assegnato dal service provider che rappresenterà uno o più IP locali verso il mondo esterno.
- **Outside local** – L'indirizzo IP assegnato a un host sulla rete esterna come visto dagli hosts sulla rete interna
- **Outside global** – L'indirizzo IP assegnato a un host sulla rete esterna.

NAT (cont)



DA	SA	DP	SP	
128.23.2.2	10.0.0.3	80	1331	Data

1

IP Header

TCP/UDP Header

DA	SA	DP	SP	
128.23.2.2	179.9.8.80	80	3333	Data

2

IP Header

TCP/UDP Header

DA	SA	DP	SP	
128.23.2.2	10.0.0.2	80	1555	Data

IP Header

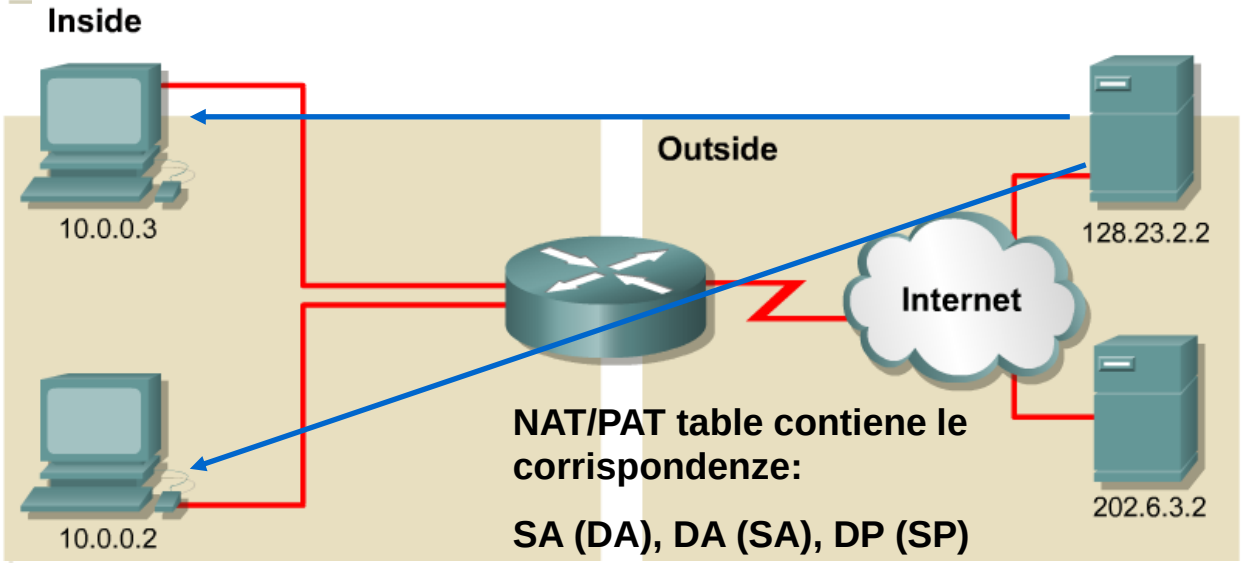
TCP/UDP Header

DA	SA	DP	SP	
128.23.2.2	179.9.8.80	80	2222	Data

IP Header

TCP/UDP Header

NAT (cont)



DA	SA	DP	SP	
10.0.0.3	128.23.2.2	1331	80	Data

IP Header — TCP/UDP Header

4

DA	SA	DP	SP	
179.9.8.80	128.23.2.2	3333	80	Data

IP Header — TCP/UDP Header

3

DA	SA	DP	SP	
10.0.0.2	128.23.2.2	1555	80	Data

IP Header — TCP/UDP Header

DA	SA	DP	SP	
179.9.8.80	128.23.2.2	2222	80	Data

IP Header — TCP/UDP Header

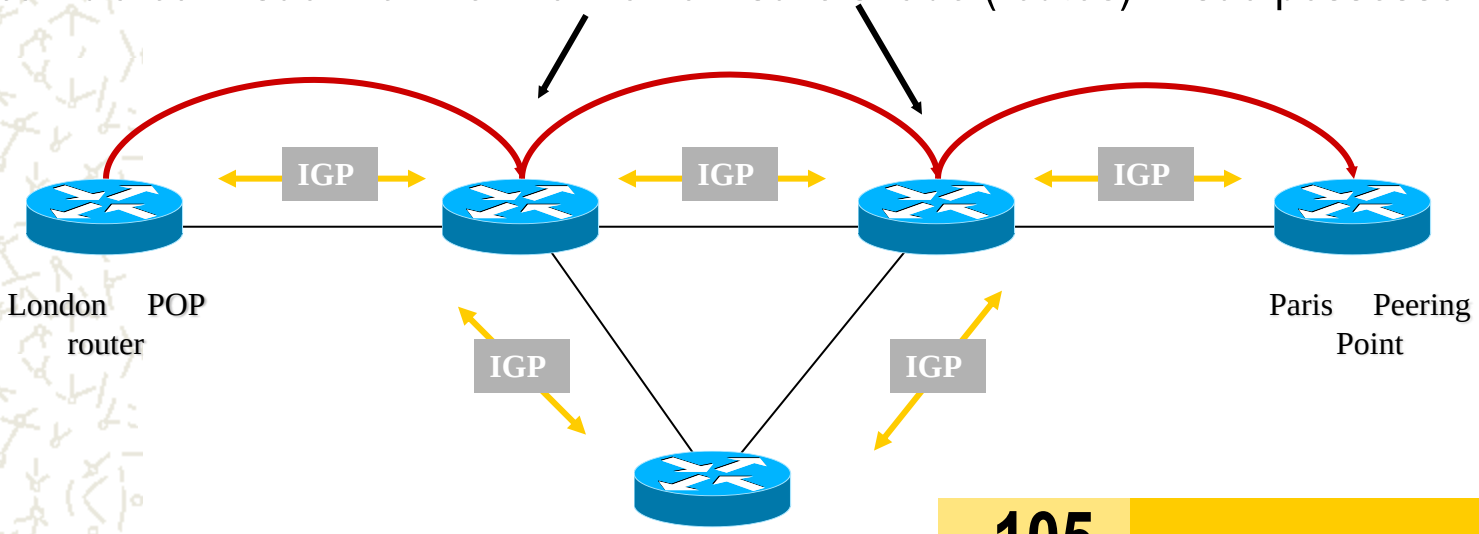
Principi del routing IP

Il routing IP è composto di due momenti:

- *routing control*: scambio di informazioni di routing tra i nodi della rete (*routing protocol*) per la definizione delle tabelle di routing (processo continuo)
- *packet forwarding* (decisione di instradamento per ogni pacchetto, basata sul solo indirizzo di destinazione)

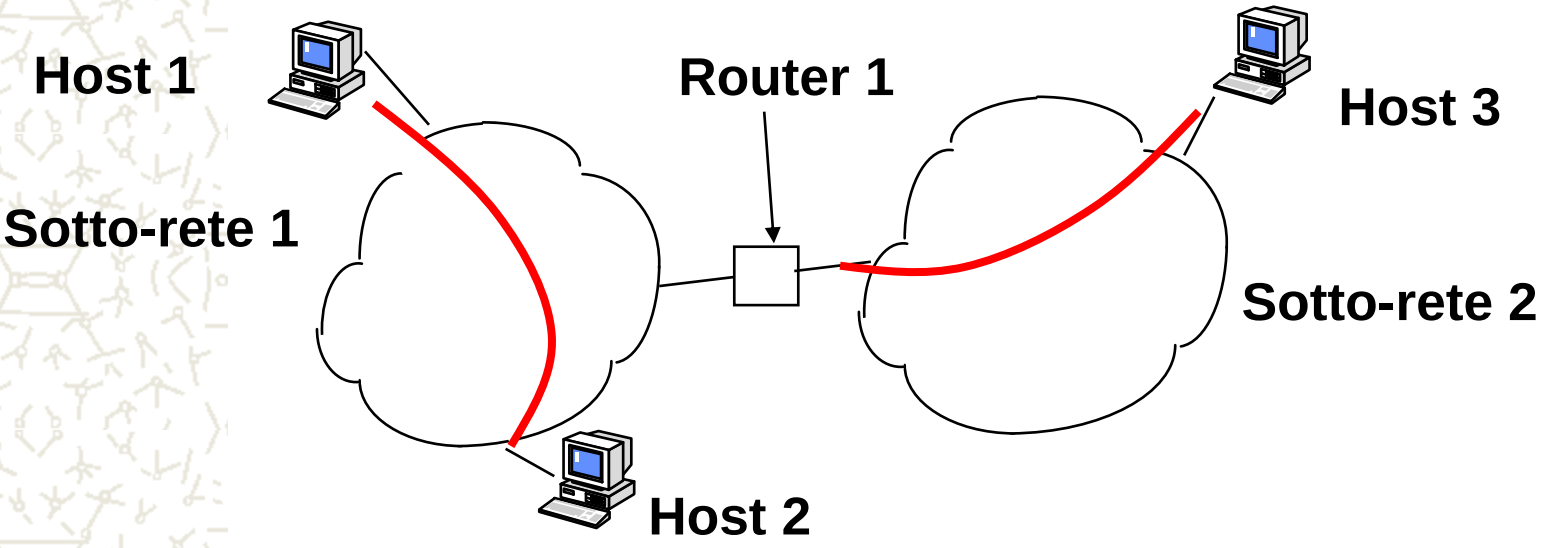
Principi del routing IP (continua)

- Il routing IP segue una **politica di best-effort** dove i pacchetti possono essere:
  - Ritardati
  - Duplicati
  - Distribuiti fuori ordine
  - Persi
  - Possono cambiare percorso da pacchetto a pacchetto dello stesso messaggio
- Decisione di routing ad ogni hop: ogni router ha le proprie tabelle di routing, e scambia con i suoi vicini le informazioni sulle strade (*routes*) in suo possesso



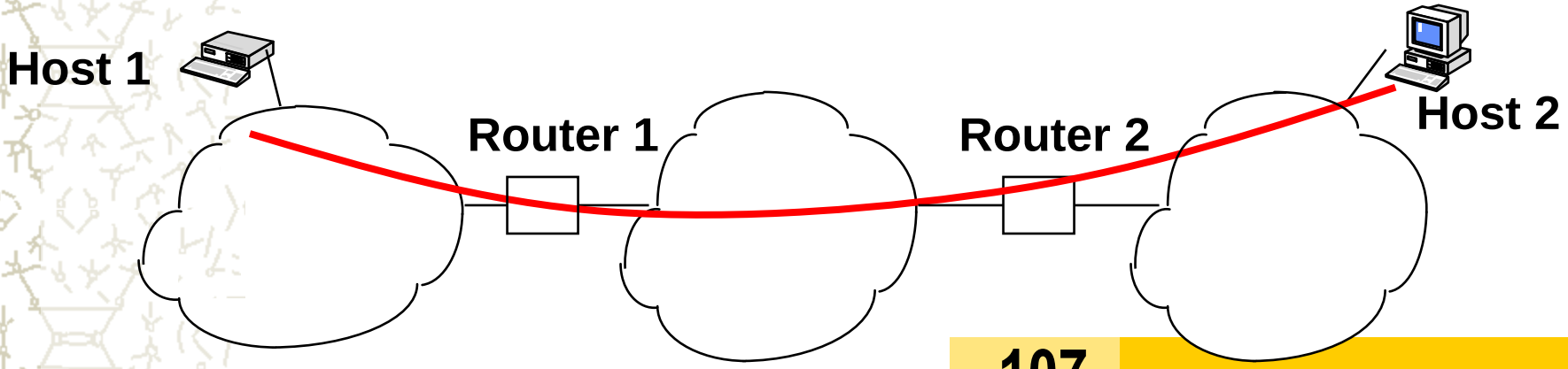
Instradamento diretto

- La trasmissione di un datagramma IP tra due macchine connesse su una stessa sotto-rete (stesso Net_id)
- Non coinvolge router intermedi
- Il trasmettitore IP risolve l'indirizzo fisico dell'host destinatario (tramite il protocollo ARP), incapsula il datagramma nell'unità dati della rete fisica e lo invia verso destinazione
- Utilizza i meccanismi propri della rete fisica in questione per inviare il datagramma



Instradamento indiretto

- L' host di destinazione non è sulla stessa sotto-rete del mittente
- Il mittente deve identificare un router a cui inviare il datagramma; il router deve inviare il datagramma verso la sotto-rete di destinazione.
- Il router esamina il datagramma IP ricevuto e, se l'host di destinazione non si trova in una sottorete a cui il router è direttamente connesso, decide il router successivo verso cui instradarlo
  - l'instradamento attraverso la sotto-rete che connette i due router avviene secondo i meccanismi della sotto-rete
- Il processo si ripete di router in router sino alla sotto-rete di destinazione



Forwarding di datagrammi IP

- E' il processo che consente a un pacchetto di essere trasferito da un ingresso a una uscita del nodo e di nodo in nodo di essere trasportato dalla sorgente alla destinazione
- Ipotesi
  - Ogni datagramma contiene l'indirizzo IP della destinazione
  - La parte di rete identifica in modo univoco la rete nell'ambito di Internet
  - Host e router con lo stesso indirizzo di rete si scambiano i pacchetti su quella rete
  - Ogni rete che è parte di Internet ha almeno un router collegato ad un'altra rete

Funzionamento

- L'host o il router stabilisce per confronto con il proprio indirizzo di rete (and logico) se la destinazione appartiene o meno alla rete o alle reti a cui è connesso
- Se la risposta è positiva si innesca la procedura ARP per l'individuazione dell'indirizzo fisico
- Se il nodo è connesso a una rete diversa occorre che il datagramma venga inviato a un router (next hop router)
  - Il nhr si determina leggendo la tabella di forwarding che è una lista di associazioni (numero di rete, next hop)
  - C'è comunque un default router a cui viene inviato il pacchetto nel caso l'indirizzo non venga trovato nella tabella precedente

IP Routing/Forwarding

Dato un datagramma:

1. Estrai il campo destinazione *DA* (Destination address)
2. Cerca *DA* nella routing table
3. Trova il prossimo “hop address”: *HA*
4. Spedisci il datagramma a *HA*

Concetto chiave

L'indirizzo di destinazione nell'header del datagramma si riferisce sempre all'ultima destinazione.

Quando un router invia il datagramma ad un altro router, l'indirizzo del "next hop" non appare nell'header del datagramma.

Conseguenze (1)

- ad ogni “*hop*” viene “ricalcolata” la strada da seguire per tutti i pacchetti in transito
- i router devono poter sapere instradare tutti gli indirizzi => accrescimento tabelle di routing
- non c’è distinzione tra i tipi di servizio e le loro esigenze in termini di qualità di servizio
- *connectionless*: non si possono definire percorsi end-to-end o indirizzare il traffico in determinati percorsi

Conseguenze (2)

- Di fronte alla crescita “esponenziale” della Rete e della sua complessità, la soluzione è spesso stata di sovra-dimensionare l’infrastruttura:
  - trunk ad alta capacità
  - nodi ad elevato *throughput*
  - router con capacità d’instradamento potenziata al massimo

Determinazione degli indirizzi fisici

- Occorre determinare l'indirizzo di linea corrispondente all'indirizzo IP per poter trasferire fisicamente il datagramma
  - Ad esempio indirizzo Ethernet a 48 bit
- Ogni host costruisce una tabella di corrispondenze utilizzando il protocollo ARP (Address Resolution Protocol)
- La tabella si chiama ARP cache o ARP table e scade periodicamente

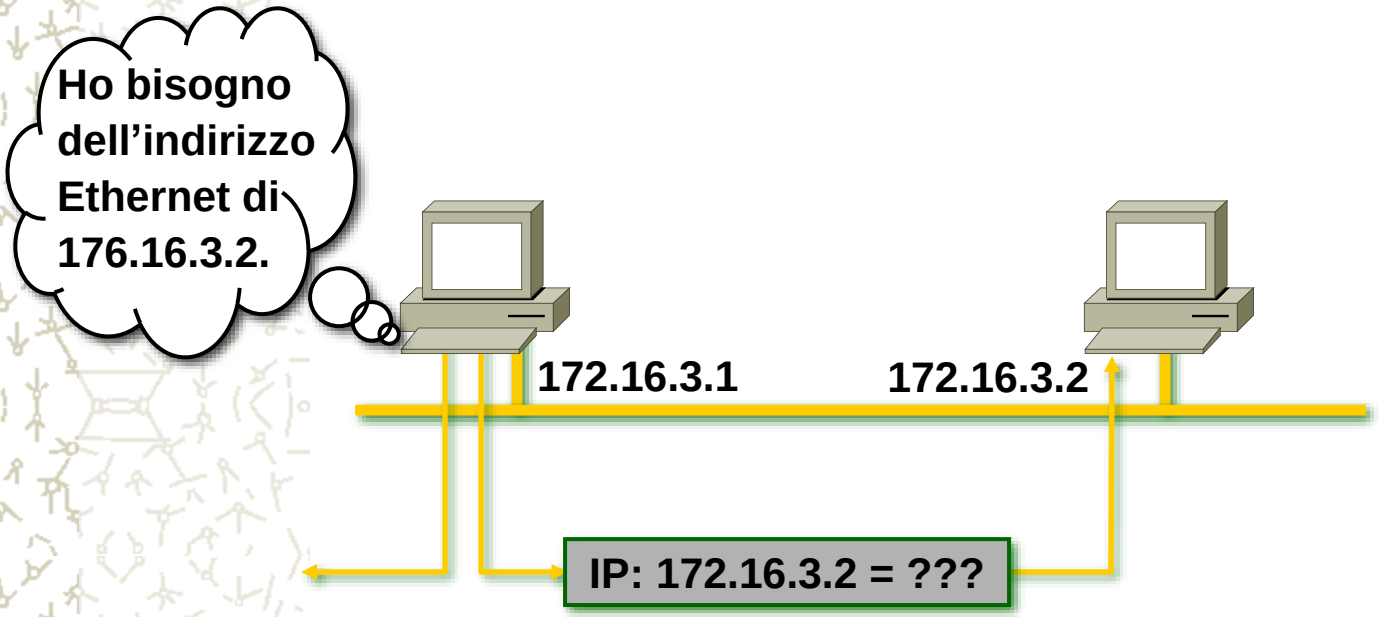
Instradamento locale: ARP

- Per instradare un pacchetto IP verso una destinazione appartenente alla stessa rete del mittente viene incapsulato il pacchetto IP in un pacchetto dello strato di data link sottostante (ad esempio: Ethernet)
  - un host conosce il proprio indirizzo IP e la propria rete di appartenenza: analizzando l'indirizzo di destinazione di un pacchetto l'host può capire se il destinatario appartiene alla sua stessa rete, e quindi operare il delivery locale
- Il problema da risolvere è come fare a sapere a quale indirizzo di data link (Ethernet) inviare il pacchetto
  - l'host conosce solo l'indirizzo IP del destinatario
  - serve quindi una mappa che associ un indirizzo IP della stessa rete al suo indirizzo di data link
- Per risolvere questo problema IP si appoggia ad un protocollo chiamato ARP (Adderss Resolution Protocol)

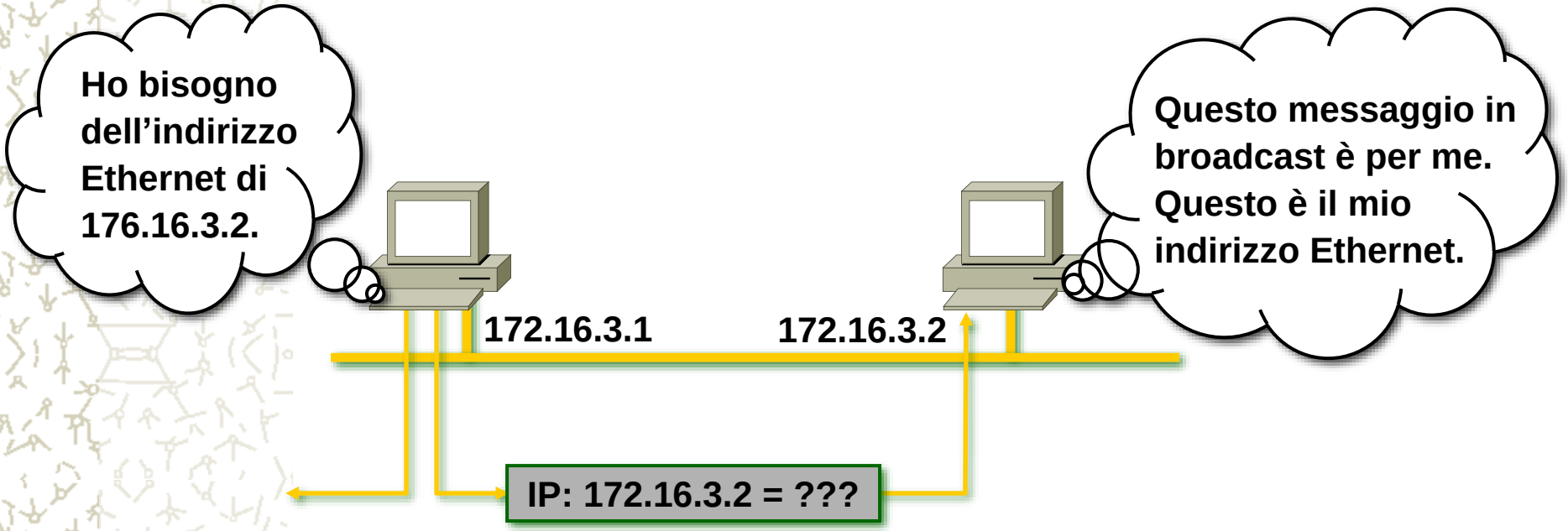
Address Resilution Protocol (ARP)

- Quando un host con indirizzo IP1 ed indirizzo hardware HW1 deve inviare un pacchetto IP ad un host con indirizzo IP2 sulla stessa rete, ARP si procura l'informazione necessaria in questo modo:
  - viene costruito un pacchetto di data link (ARP request) contenente IP1, HW1, ed IP2, con un campo dedicato ad HW2 riempito con tutti 0
  - questo pacchetto viene inviato broadcast sulla rete locale
  - tutti ricevono il pacchetto ARP, ma solo l'host che ha l'indirizzo IP2 lo processa (gli altri lo scartano)
  - l'host costruisce un pacchetto di data link (ARP response) contenente l'informazione mancante, e lo invia direttamente ad HW1 (non broadcast)
  - ARP sul primo host acquisisce quindi l'informazione dell'indirizzo Ethernet dell'host remoto, e lo comunica ad IP, che può così incapsulare i propri pacchetti IP in frame del protocollo di data link indirizzati alla destinazione corretta

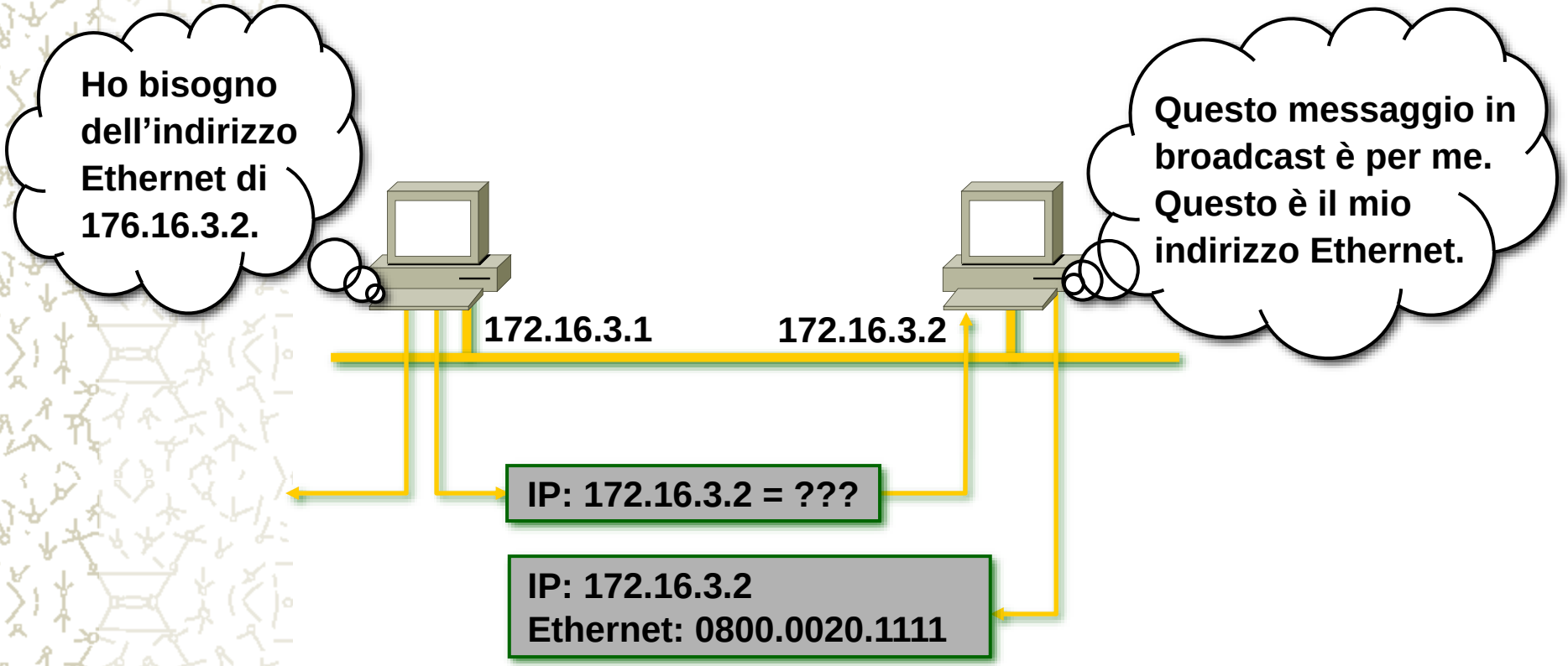
Address Resolution Protocol



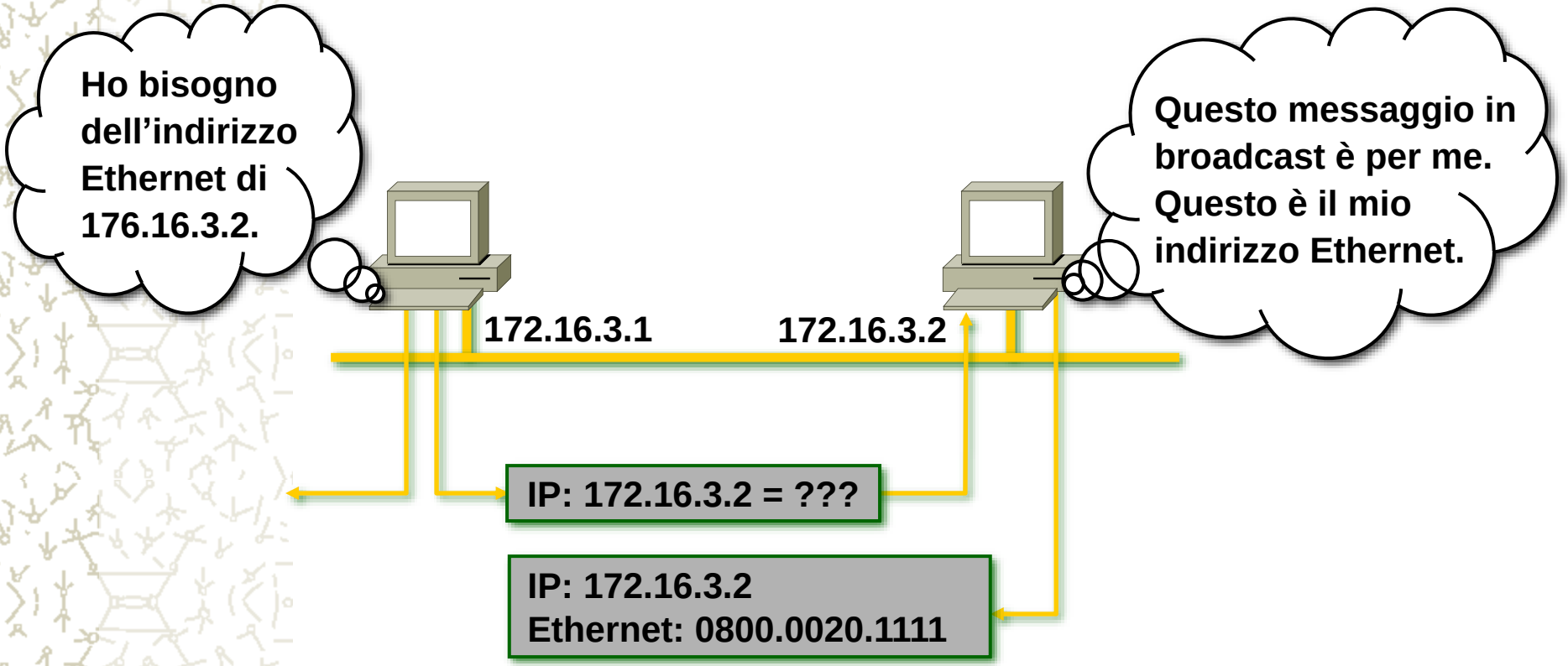
Address Resolution Protocol



Address Resolution Protocol



Address Resolution Protocol



- Map IP → Ethernet
- Local ARP

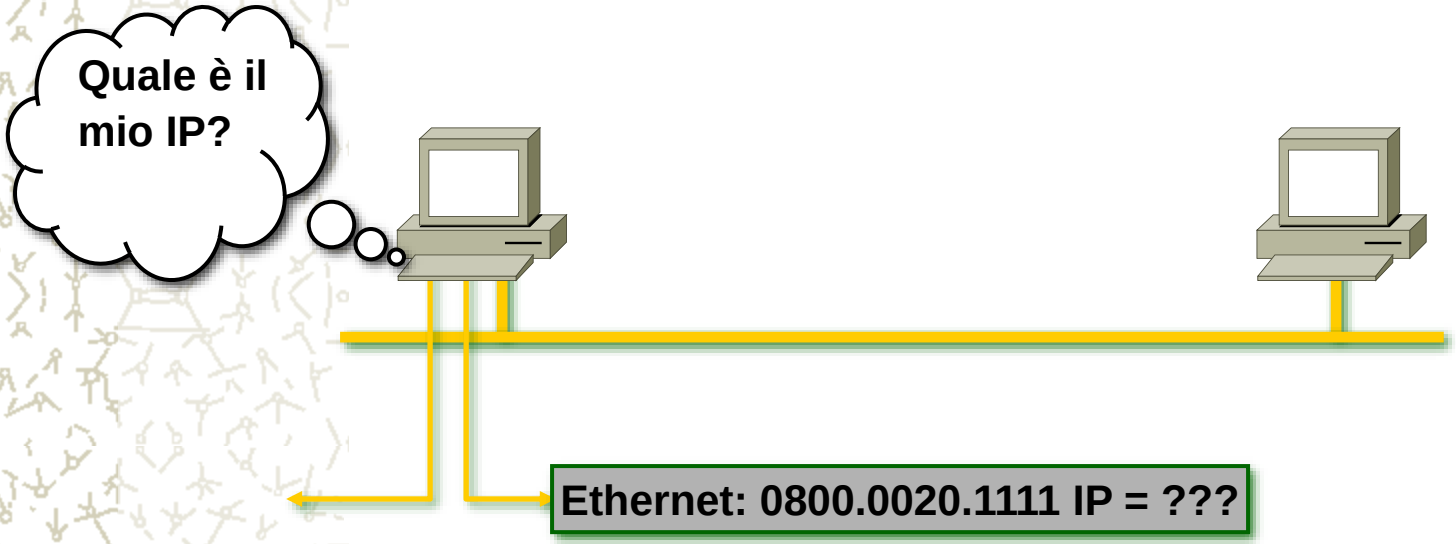
ARP cache

- Per migliorare le prestazioni, ARP può gestire sull'host locale una cache in memoria
- Ogni volta che viene appresa una nuova associazione IPaddress-Hwaddress, viene memorizzata nella cache
- Quando ARP deve individuare un indirizzo HW, prima controlla nella cache: se l'informazione e' presente viene utilizzata senza inviare pacchetti sulla rete
- Le entry nella cache di ARP hanno un tempo di scadenza, per evitare che eventi quali sostituzione di schede di rete o reindirizzamento degli host possano rendere impossibile la comunicazione
  - alla scadenza del tempo di validita' l'entry viene rimossa dalla cache, ed una successiva richiesta per quell'indirizzo provochera' una nuova emissione di ARP request sulla LAN
- Alcuni sistemi permettono di definire nella cache di ARP delle entry manuali prive di scadenza
  - talvolta necessarie, qualora l'host di destinazione non supporti correttamente il protocollo ARP
  - questa tecnica puo' essere utilizzata anche per motivi di efficienza
  - in ogni caso difficile da mantenere aggiornata la cache delle macchine: meglio evitare

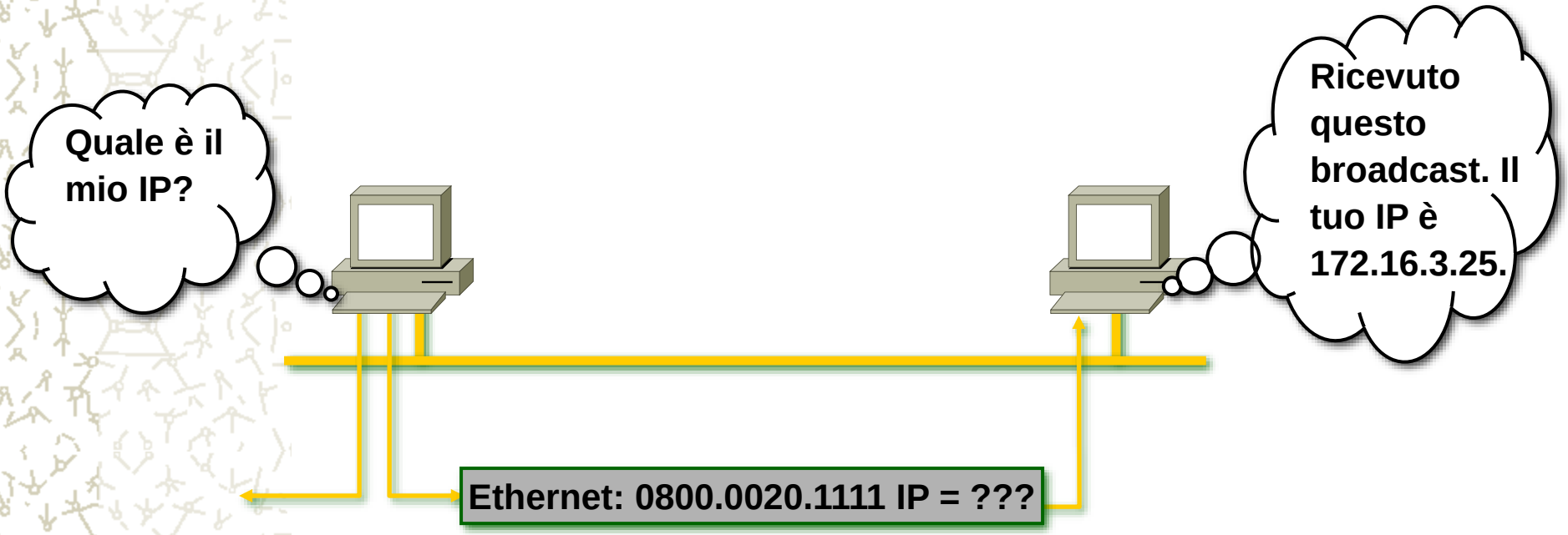
Reverse ARP

- Consente di determinare l'indirizzo IP a partire dall'indirizzo fisico
- Serve quando si accende una workstation diskless
- Ogni rete ha un suo RARP server

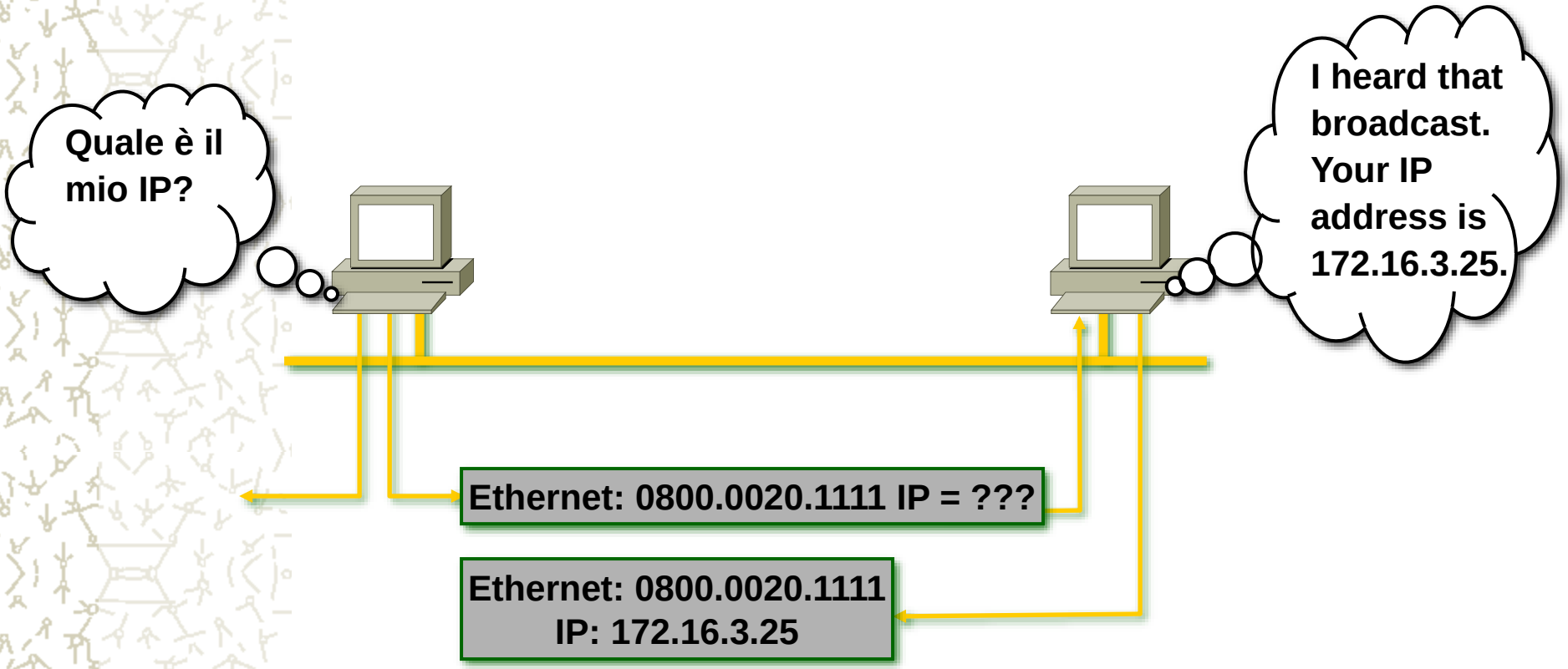
Reverse ARP



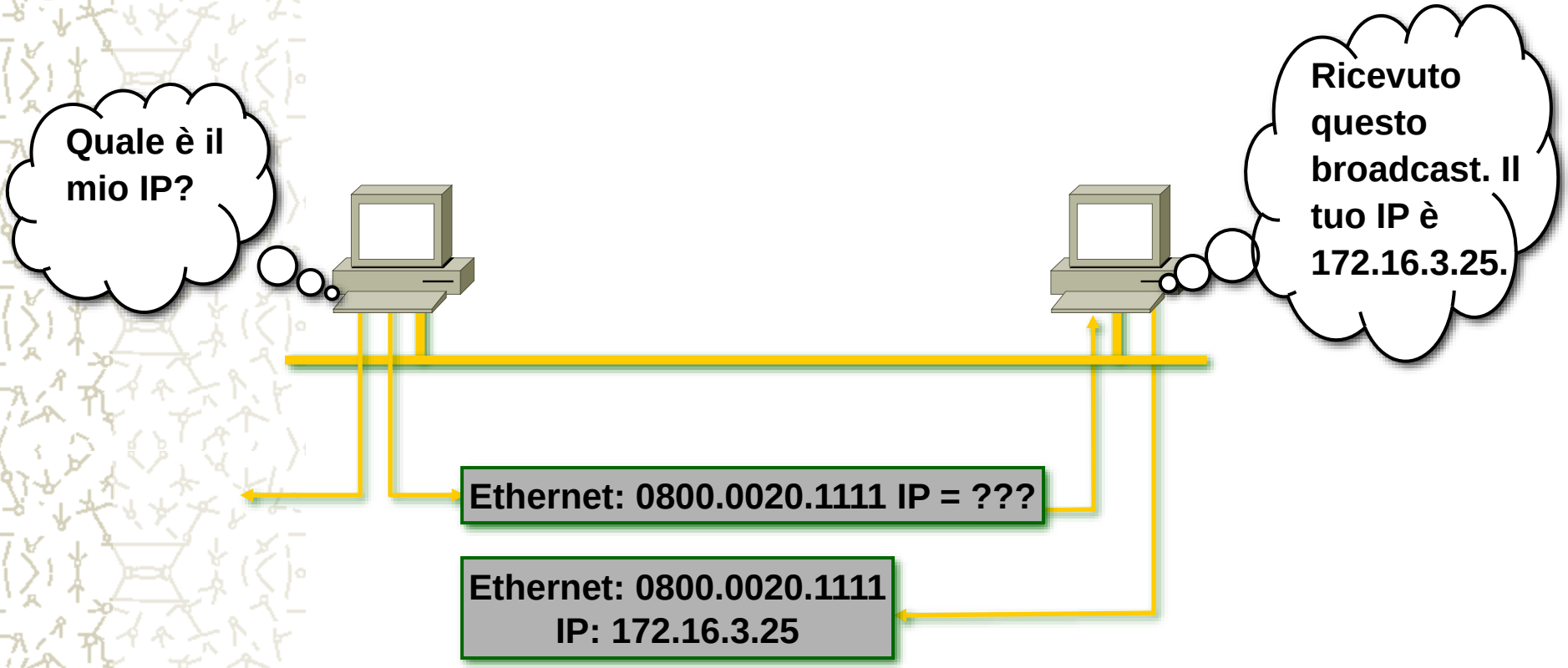
Reverse ARP


Quale è il mio IP?
Ricevuto questo broadcast. Il tuo IP è 172.16.3.25.
Ethernet: 0800.0020.1111 IP = ???

Reverse ARP


Quale è il mio IP?
I heard that broadcast. Your IP address is 172.16.3.25.
Ethernet: 0800.0020.1111 IP = ???
Ethernet: 0800.0020.1111
IP: 172.16.3.25

Reverse ARP



- Map Ethernet → IP