

**Corso di Laurea in Ingegneria Informatica**



**Corso di Reti di Calcolatori  
(a.a. 2011/12)**

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

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

**Il livello rete in Internet  
Il protocollo IP**

17 ottobre 2011

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

**Nota di copyright per le slide COMICS**



## Nota di Copyright

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

**Autori:**

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

## Il livello rete



- Stack OSI



Percepisce dal livello inferiore un servizio di consegna di pacchetti tra host visibili sulla rete

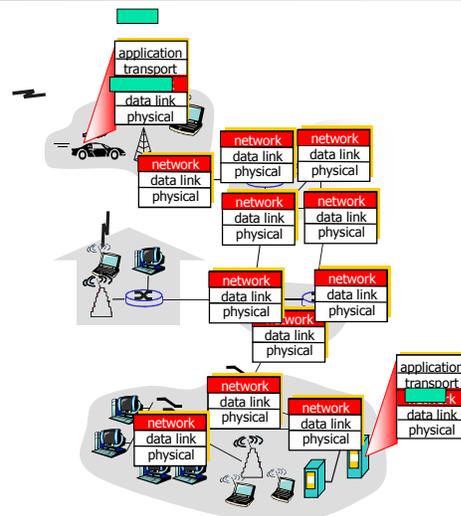
Offre al livello superiore un servizio di consegna di frame tra host fisicamente connessi

3

## Le funzioni del livello rete



- Trasportare i pacchetti dall'host mittente a quello ricevente
- Implementare protocolli di livello rete in *tutti* i router e in *tutti* gli host



4

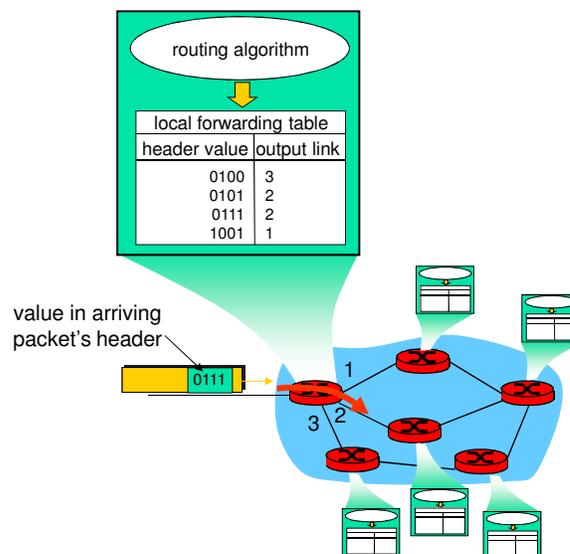
## Le funzioni di forwarding e routing



- **forwarding**: spostare i pacchetti dalla coda/interfaccia di ingresso a quella di uscita
  - **routing**: determinare la strada che un pacchetto deve seguire da una sorgente ad una destinazione:
    - *routing algorithms*
- analogia:**
- **routing**: processo di costruzione di un viaggio dalla partenza all'arrivo
    - A mano
    - Usando un software
    - ...
  - **forwarding**: processo di movimentazione ad ogni singola rotonda...

5

## La relazione tra forwarding e routing



6

## Le funzioni del livello rete



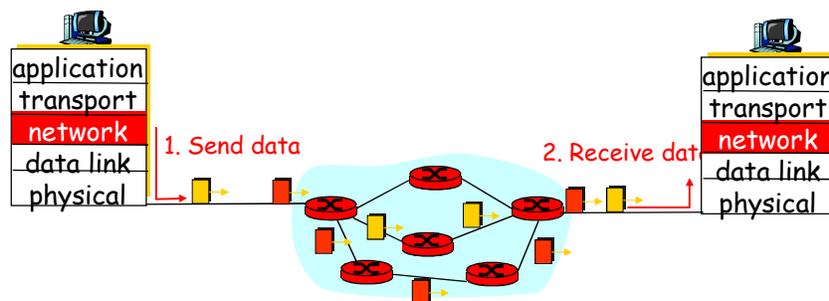
- Le reti possono essere classificate a seconda del metodo utilizzato per trasportare i pacchetti dalla sorgente alla destinazione:
  - **Reti a datagrammi**  
ogni pacchetto è instradato indipendentemente dagli altri pacchetti dello stesso flusso
  - **Reti a circuiti virtuali**  
viene precalcolato un percorso e tutti i pacchetti del flusso seguono questo percorso
- **NB: parliamo comunque di reti a commutazione di pacchetto!**

7

## Reti a datagrammi



- Ogni router che riceve un pacchetto decide indipendentemente a chi mandarlo sulla base dell'indirizzo destinazione contenuto nel pacchetto
- Pacchetti tra la stessa coppia sorgente-destinazione possono seguire percorsi differenti

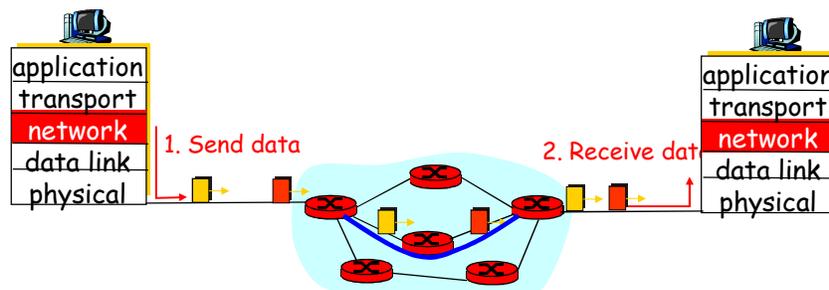


8

## Reti a circuiti virtuali

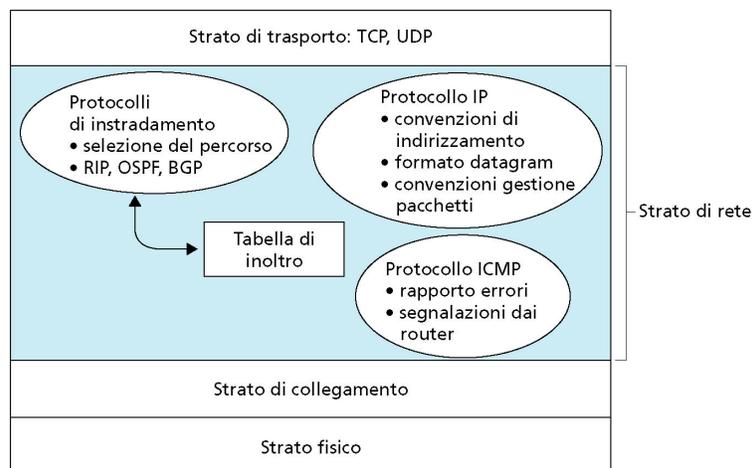


- Ogni pacchetto contiene il numero del circuito virtuale
- Il circuito virtuale è stabilito prima della trasmissione dei dati
- I nodi devono conservare informazioni su tutti i circuiti virtuali che li attraversano



9

## Lo strato di rete di Internet



10

## IP (Internet Protocol)



- IP è un protocollo di livello rete usato per lo scambio di dati tra reti di calcolatori
- I dati sono trasportati con la tecnica dei datagrammi
- Offre un servizio di comunicazione *connection-less*
- Gestisce indirizzamento, frammentazione, riassetaggio e multiplexing dei protocolli
- Costituisce la base sulla quale si basano tutti gli altri protocolli, collettivamente noti come *TCP/IP suite*
  - TCP, UDP, ICMP, ARP
- È responsabile dell'instradamento dei pacchetti

11

## Il datagramma IP



- Un pacchetto IP è anche chiamato *datagramma*
- È costituito da un *header* e un'area dati
- I datagrammi possono avere dimensioni diverse
- La dimensione dell'header è solitamente fissata (**20 byte**) a meno che non siano presenti opzioni
- Un datagramma può contenere fino a un massimo di 65535 byte ( $2^{16} - 1$ )

12

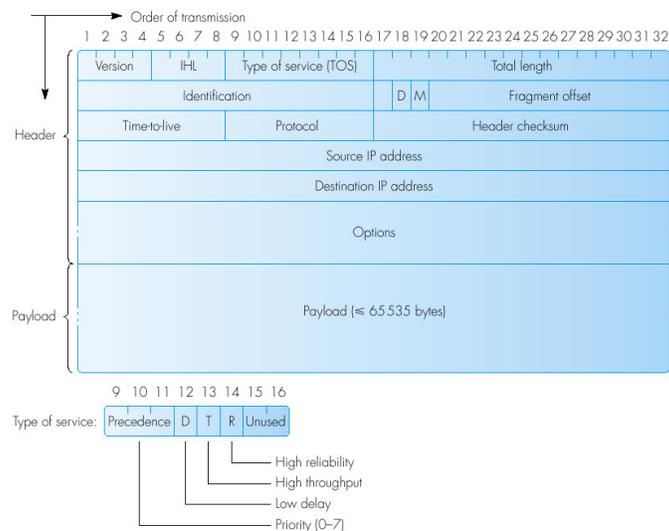
## L'header IP



- L'header contiene tutte le informazioni necessarie per la consegna del datagramma alla destinazione
  - Indirizzo destinazione
  - Indirizzo sorgente
  - Identificativo
  - Ed altro ancora...
- I router esaminano l'header di ogni datagramma e inoltrano il pacchetto lungo il percorso verso la destinazione
  - Usano tabelle di routing per calcolare il *next hop*
  - Aggiornano tali tabelle usando protocolli di routing dinamici

13

## Formato del pacchetto IP



IHL = intermediate header length  
D = don't fragment  
M = more fragments

14

## Formato del pacchetto IP



- **Version**
  - 4 bit, versione del protocollo IP cui il pacchetto è conforme
- **IP header length (IHL)**
  - 4 bit, lunghezza dell'header, in multipli di 32 bit (max 60 byte)
- **Type-of-Service (ToS)**
  - 8 bit, specifica come un protocollo di livello superiore vorrebbe che il pacchetto fosse trattato
- **Total length**
  - 16 bit, specifica la lunghezza in byte dell'intero pacchetto (header + dati)
  - ...max 64kB, cioè 65535 byte ( $2^{16} - 1$ )

15

## Formato del pacchetto IP



- **Time-to-live (TTL)**
  - 8 bit, contatore che viene gradualmente decrementato fino a zero, punto in cui il pacchetto viene scartato. Serve ad evitare che un pacchetto resti perennemente in circolo
- **Protocol**
  - 8 bit, indica il protocollo di livello superiore che riceve il pacchetto dopo che l'elaborazione IP è terminata
    - Analogo al numero di porto di livello trasporto: 6 indica TCP, 17 indica UDP
- **Header checksum**
  - 16 bit, aiuta a garantire l'integrità dell'header IP
- **Source Address**
  - 32 bit, specifica il nodo mittente

16

## Formato del pacchetto IP



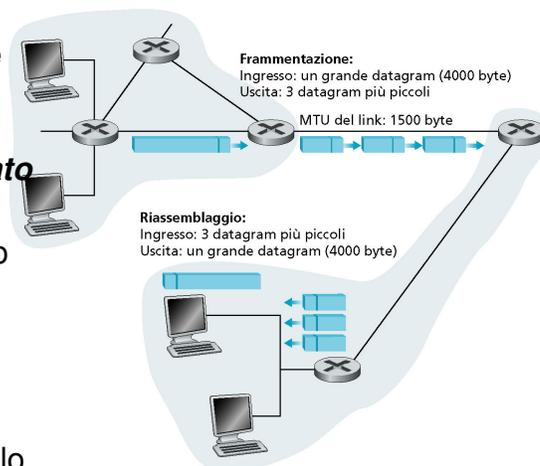
- **Destination Address**
  - 32 bit, specifica il nodo ricevente
- **Identification**
  - I pacchetti possono essere frammentati lungo il percorso
  - Questo campo (16 bit) è un identificativo del datagramma
- **Flags**
  - Il bit D indica se il pacchetto può essere frammentato
  - Il bit M indica se il pacchetto è l'ultimo frammento
- **Fragment offset**
  - 13 bit, identifica la posizione del frammento all'interno del pacchetto

17

## Frammentazione e riassemblaggio IP



- Se un pacchetto di dimensione  $N$  arriva ad un router e deve essere trasmesso su un link di uscita con MTU  $M < N$ , il pacchetto è **frammentato**
- Ogni frammento è trasmesso come singolo pacchetto IP
- La dimensione di ogni frammento sarà un multiplo di 8 byte
- Tutti i frammenti hanno lo stesso ID number

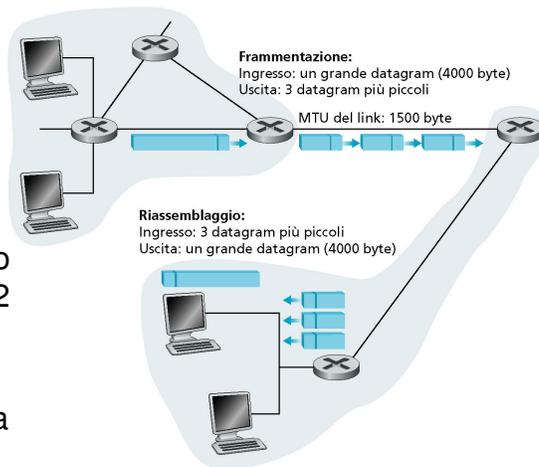


18

## Frammentazione e riassetaggio IP (2)



- Tutti i frammenti tranne l'ultimo devono essere multipli di 8 byte
- 8 byte è la dimensione del frammento elementare
- Avendo 13 bit a disposizione, ci possono essere al massimo 8192 frammenti per ogni datagramma
- La dimensione massima di un datagramma è 65535 byte



19

## Frammentazione IP: esempio 1



- $N = 4000$ ,  $MTU = 1500$
- Tre frammenti, ciascuno con header 20 byte
- Frammento 1:  
payload 1480  
offset 0
- Frammento 2:  
payload 1480  
offset  $(1480/8)=185$
- Frammento 3:  
payload 1020  
offset  $(1480+1480)/8=370$

NOTA:  
 $20+1480+1480+1020=4000$

Note: Datagram size includes an IP header of 20 bytes.  
MTU and Datagram size must be greater than 50, and all values must be less than  $2^{16} - 1$  (65535).

Datagram Size: 4000    MTU: 1500    Datagram ID: 777

- ☐ Fragments
  - ☐ Datagram 1
    - 1480 byte information field
    - ID: 777
    - Offset: 0
    - Flag: 1
  - ☐ Datagram 2
    - 1480 byte information field
    - ID: 777
    - Offset: 185
    - Flag: 1
  - ☐ Datagram 3
    - 1020 byte information field
    - ID: 777
    - Offset: 370
    - Flag: 0

Number of Datagrams: 3    Calculate

This applet was coded by Ryan Gilbert in 2008, a student at Arizona State University.  
It replaces an applet coded by Albert Huang in 1997 as part of course work at the University of Pennsylvania.

[http://media.pearsoncmg.com/aw/aw\\_kurose\\_network\\_2/applets/ip/ipfragmentation.html](http://media.pearsoncmg.com/aw/aw_kurose_network_2/applets/ip/ipfragmentation.html)

20

## Frammentazione IP: esempio 2



- Il pacchetto IP raffigurato di seguito deve attraversare un link avente Maximum Transfer Unit (MTU) pari a 1500 bytes. Come verrà trattato?

Original IP Datagram

Sequence	Identifier	Total Length	DF May / Don't	MF Last / More	Fragment Offset
0	345	5140	0	0	0

IP Fragments (Ethernet)

Sequence	Identifier	Total Length	DF May / Don't	MF Last / More	Fragment Offset
0-0	345	1500	0	1	0
0-1	345	1500	0	1	185
0-2	345	1500	0	1	370
0-3	345	700	0	0	555

21

## Opzioni



- È il modo per estendere IP con un numero variabile di opzioni
  - Security
  - Source routing
  - Route recording
  - Stream identification
  - Timestamping
- A causa delle opzioni, l'header può essere di lunghezza variabile
  - Questo è il motivo della presenza del campo IHL
  - Se l'opzione non occupa 4 byte (o un suo multiplo), vengono inseriti dei bit di riempimento (tutti zero)
  - La presenza opzionale di questi campi rende difficile la gestione in implementazioni hw-based

22

## IP è consegna Best effort



- IP *non* garantisce di prevenire:
  - Datagrammi duplicati
  - Consegna ritardata o fuori ordine
  - Corruzione di dati
  - Perdita di pacchetti (e di frammenti)
- La consegna affidabile dei pacchetti può avvenire grazie a meccanismi di controllo da parte di protocolli di livello superiore

23

## Sistema di numerazione decimale (cenni)



- La base è 10. Questo vuol dire che:
  - Si utilizzano 10 simboli (le cifre da 0 a 9)
  - Ogni cifra è pesata secondo una potenza di 10 con esponente crescente da destra verso sinistra
- es.

$$(2536)_{10} = 2 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^1 + 6 \cdot 10^0$$

24

## Sistema di numerazione binaria (cenni)



- La base è 2. Questo vuol dire che:
  - Si utilizzano 2 simboli (le cifre 0 e 1)
  - Ogni cifra è pesata secondo una potenza di 2 con esponente crescente da destra verso sinistra
- es.  
 $(11010)_2 = 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 = (26)_{10}$
- Abbiamo così visto anche il modo per convertire un numero da base 2 a base 10

25

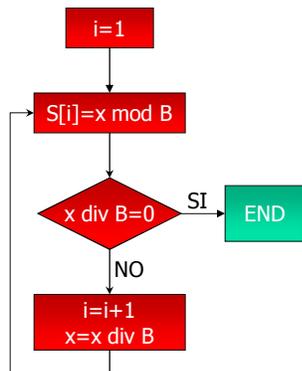
## Sistema di numerazione esadecimale (cenni)



- La base è 16. Questo vuol dire che:
  - Si utilizzano 16 simboli (le cifre da 0 a 9 e le lettere da A a F)
  - Ogni cifra è pesata secondo una potenza di 16 con esponente crescente da destra verso sinistra
- es.  
 $(1E5)_{16} = 1 \cdot 16^2 + 14 \cdot 16^1 + 5 \cdot 16^0 = (485)_{10}$
- Abbiamo così visto anche il modo per convertire un numero da base 16 a base 10

26

## Conversione da decimale (cenni)



i: contatore  
S: stringa risultato  
x: numero da convertire  
B: base

### Esempio

Vogliamo convertire 25 in binario:

$25 \bmod 2 = 1 \Rightarrow S=1$   
 $25 \div 2 = 12$   
 $12 \bmod 2 = 0 \Rightarrow S=01$   
 $12 \div 2 = 6$   
 $6 \bmod 2 = 0 \Rightarrow S=001$   
 $6 \div 2 = 3$   
 $3 \bmod 2 = 1 \Rightarrow S=1001$   
 $3 \div 2 = 1$   
 $1 \bmod 2 = 1 \Rightarrow S=11001$   
 $1 \div 2 = 0$   
END

$$(25)_{10} = (11001)_2$$

27

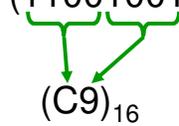
## Relazione tra numeri binari ed esadecimali



- Una stringa di 4 bit può assumere  $2^4=16$  diversi valori
- Se consideriamo ogni stringa come numero binario, essa rappresenta un numero compreso tra 0 e 15
- In base 16 abbiamo 16 cifre che assumono un valore compreso tra 0 e 15



- 1 cifra esadecimale “rappresenta” 4 cifre decimali

es.  $(201)_{10}$    $(11001001)_2$   
  $(C9)_{16}$

28

## Indirizzi IP



- Ad ogni host è assegnato un indirizzo IP o indirizzo Internet
  - È un numero di 32 bit = 4 byte
  - Unico in tutta Internet
- Ogni indirizzo IP è diviso in un prefisso e un suffisso
  - Il prefisso indica la rete alla quale l'host è collegato
    - Due reti differenti hanno numero di rete differente
  - Il suffisso identifica l'host all'interno della rete
    - Due host sulla stessa rete non possono avere lo stesso suffisso, ma host su reti diverse possono avere lo stesso suffisso



29

## Notazione *dotted decimal*



- La notazione dotted decimal rappresenta gli indirizzi IP come 4 numeri decimali separati da punto
- Ogni numero decimale, poiché rappresenta un byte, è compreso tra 0 e 255

32-bit Binary Number	Equivalent Dotted Decimal
1000001 00110100 00000110 00000000	129 . 52 . 6 . 0
11000000 00000101 00110000 00000011	192 . 5 . 48 . 3
00001010 00000010 00000000 00100101	10 . 2 . 0 . 37
10000000 00001010 00000010 00000011	128 . 10 . 2 . 3
10000000 10000000 11111111 00000000	128 . 128 . 255 . 0

30

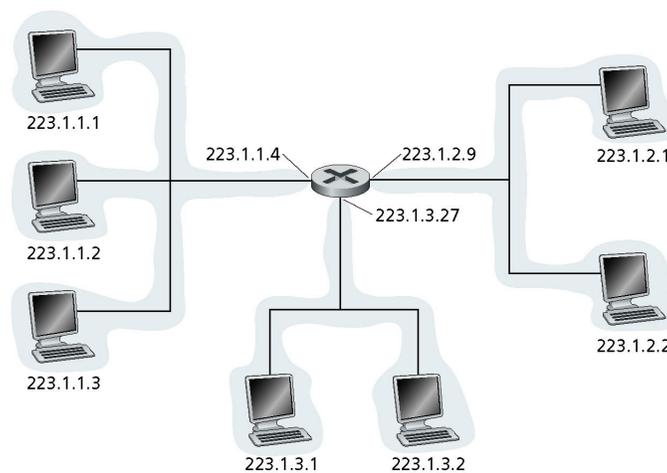
## Chi assegna gli indirizzi IP?



- **ICANN:**
  - Internet Corporation for Assigned Names and Numbers
- Assegna gli indirizzi
- Gestisce il DNS
- Assegna i nomi dei domini
- Risolve eventuali dispute (conflitti di nomi e/o indirizzi)

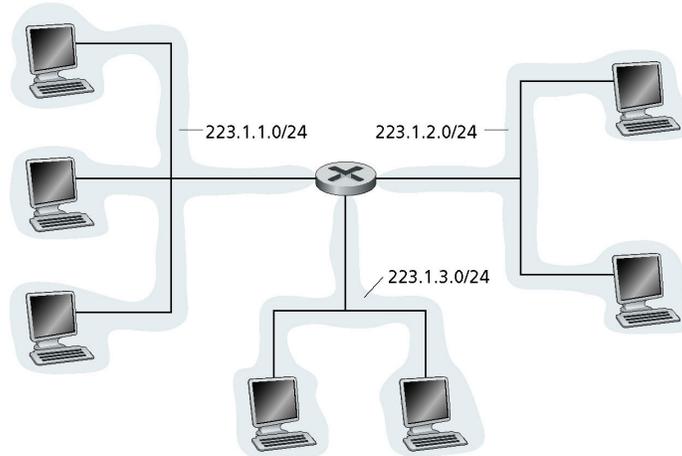
31

## Indirizzi delle interfacce...



32

## ...indirizzi delle reti

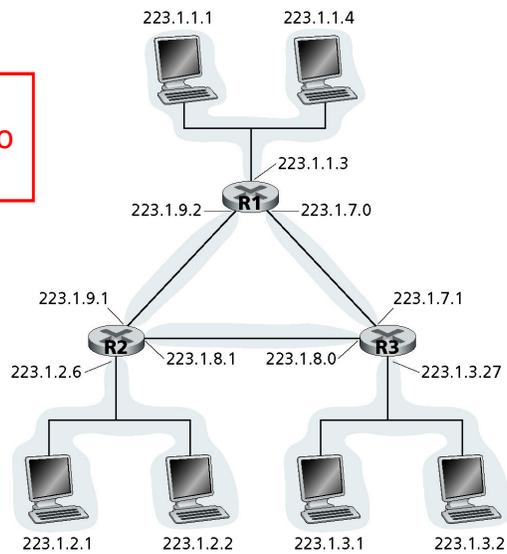


33

## Tre router che interconnettono sei host



Domanda:  
Quante sono  
le reti?



34

## Soluzione...



### Come trovare le reti?

- 'Staccare' ogni interfaccia dal corrispondente router/host
- Creare "isole" costituite da segmenti di rete disgiunti

Nell'esempio:  
sistema  
interconnesso  
costituito da sei  
reti

