

**Corsi di Laurea in Ingegneria Informatica  
Ingegneria delle Telecomunicazioni  
Ingegneria dell'Automazione  
Corso di Reti di Calcolatori**



**Simon Pietro Romano ([spromano@unina.it](mailto:spromano@unina.it))  
Antonio Pescapè ([pescapè@unina.it](mailto:pescapè@unina.it))  
Giorgio Ventre ([giorgio@unina.it](mailto:giorgio@unina.it))**

Il livello Rete:

IP – Indirizzamento - Subnetting

## **Nota di Copyright**

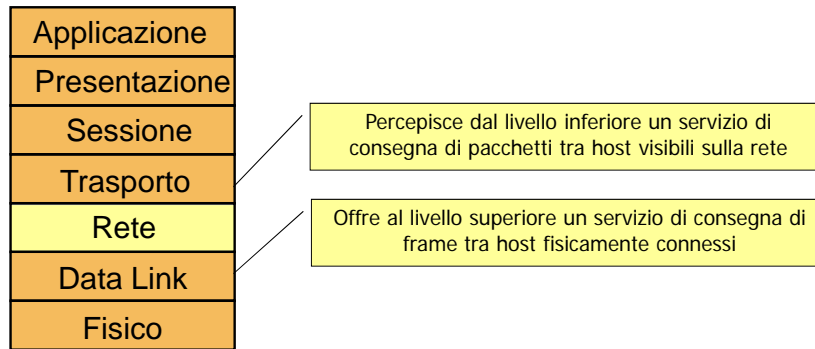


Quest'insieme di trasparenze è stato realizzato dai ricercatori del Gruppo di Ricerca COMICS del Dipartimento di Informatica e Sistemistica dell'Università di Napoli. Esse possono essere impiegate liberamente per fini didattici esclusivamente senza fini di lucro, a meno di un esplicito consenso scritto degli Autori. Nell'uso dovrà essere esplicitamente riportata 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.

## Il livello rete



- Stack OSI

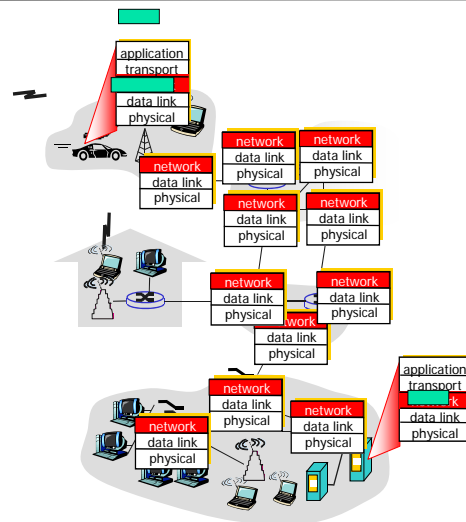


3

## 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

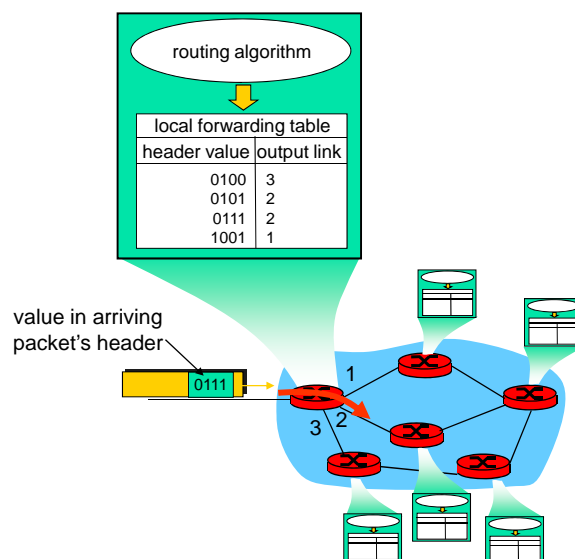
## Le funzioni di forwarding e routing



- **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



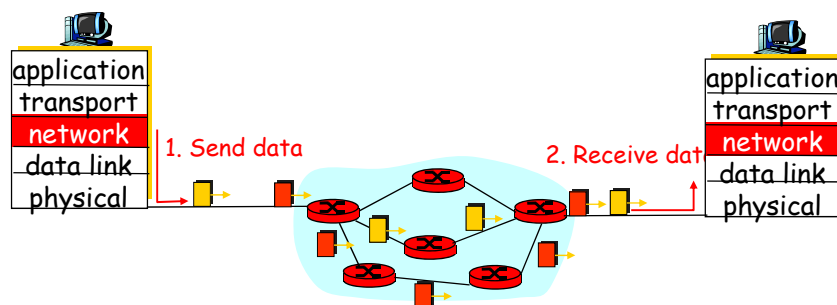
- Le reti possono essere classificate a seconda del metodo utilizzato per trasportare i pacchetti dalla sorgente alla destinazione:
  - **Reti a datagrammi**  
ogni pacchetto è instradato indipendentemente dagli altri pacchetti dello stesso flusso
  - **Reti a circuiti virtuali**  
viene precalcolato 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

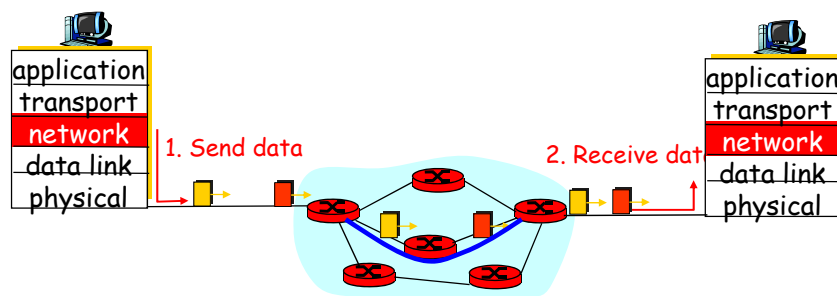


8

## Reti a circuiti virtuali

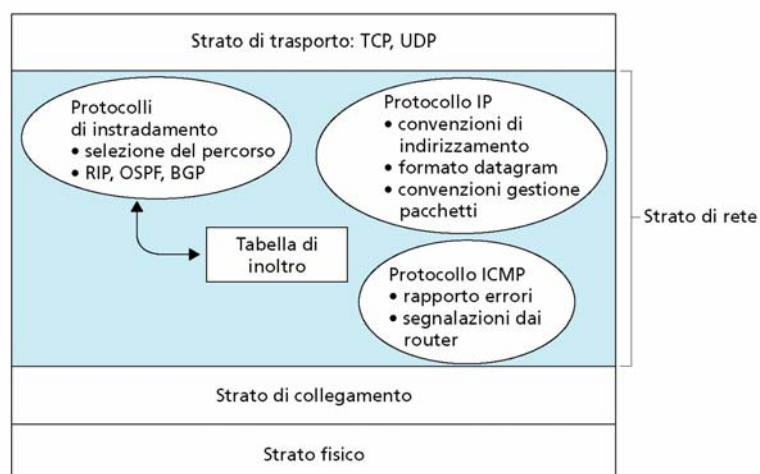


- Ogni pacchetto contiene il numero del circuito virtuale
- Il circuito virtuale è stabilito prima della trasmissione dei dati
- I nodi devono conservare informazioni su tutti i circuiti virtuali che li attraversano



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, riassettaggio 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

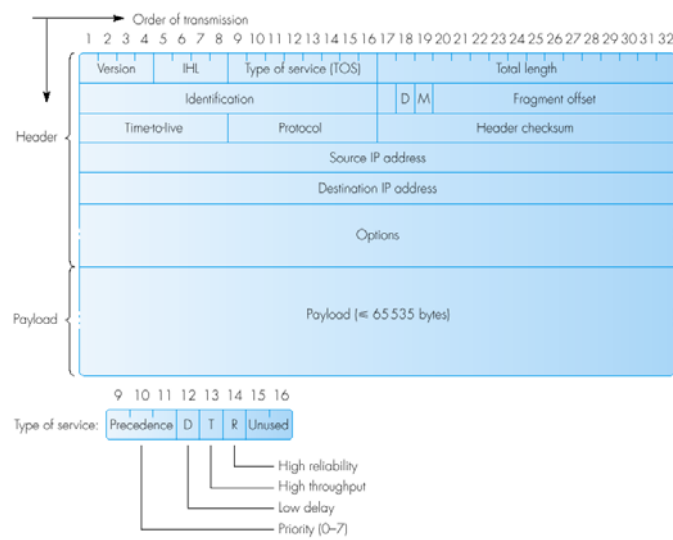
## L'header IP



- 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



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



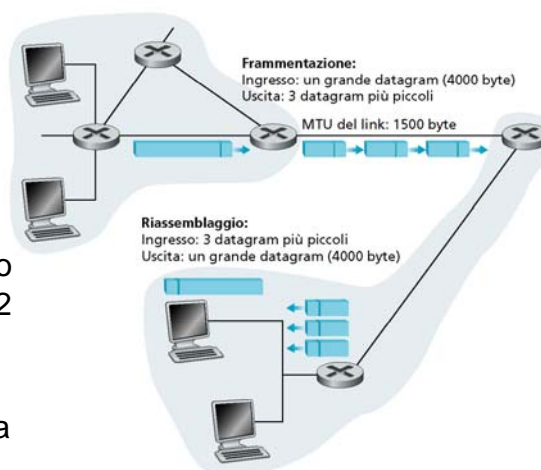
- **Destination Address**
  - 32 bit, specifica il nodo ricevente
- **Identification**
  - I pacchetti possono essere frammentati lungo il percorso
  - Questo campo (16 bit) è un identificativo del datagramma
- **Flags**
  - Il bit D indica se il pacchetto può essere frammentato
  - Il bit M indica se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

17

## Frammentazione e riassetaggio IP



- 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



18

## Esercizio



- 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

19

## Ping e Frammentazione



```
C:\Documents and Settings\dis>ping 143.225.229.3 -l 1500
Esecuzione di Ping 143.225.229.3 con 1500 byte di dati:
Risposta da 143.225.229.3: byte=1500 durata=98ms TTL=242
Risposta da 143.225.229.3: byte=1500 durata=98ms TTL=242
Risposta da 143.225.229.3: byte=1500 durata=98ms TTL=242
Risposta da 143.225.229.3: byte=1500 durata=98ms TTL=242
Statistiche Ping per 143.225.229.3:
  Pacchetti: Trasmessi = 4, Ricevuti = 4, Persi = 0 (0% persi),
Tempo approssimativo percorsi andata/ritorno in millisecondi:
  Minimo = 98ms, Massimo = 98ms, Medio = 98ms
C:\Documents and Settings\dis>ping 143.225.229.3 -l 1500 -f
Esecuzione di Ping 143.225.229.3 con 1500 byte di dati:
E' necessario frammentare il pacchetto ma DF è attivo.
E' necessario frammentare il pacchetto ma DF è attivo.
E' necessario frammentare il pacchetto ma DF è attivo.
E' necessario frammentare il pacchetto ma DF è attivo.
Statistiche Ping per 143.225.229.3:
  Pacchetti: Trasmessi = 4, Ricevuti = 0, Persi = 4 (100% persi),
C:\Documents and Settings\dis>
```

20

## 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

21

## 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

22

## 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.

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

23

## 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

24

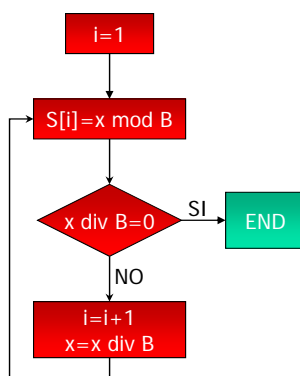
## Sistema di numerazione esadecimale (cenni)



- 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

25

## Conversione da decimale (cenni)



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

### Esempio

Vogliamo convertire 25 in binario:

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

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

26


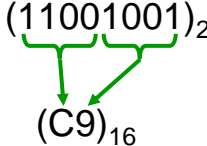
## Relazione tra numeri binari ed esadecimali



- 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 binarie

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

27

## 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



28

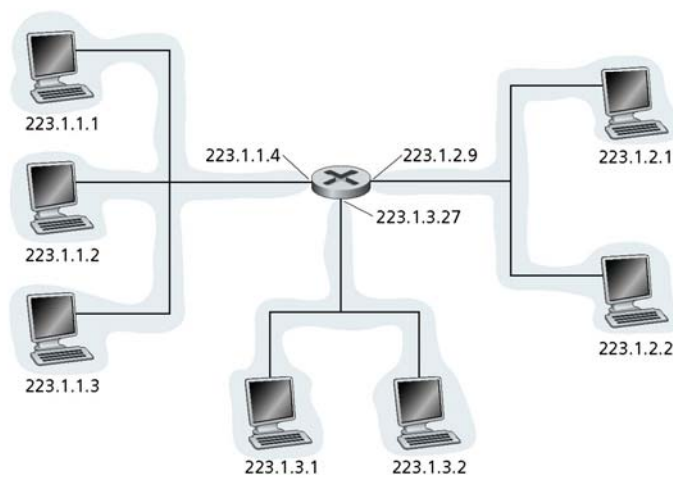
## Chi assegna gli indirizzi IP?



- **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)

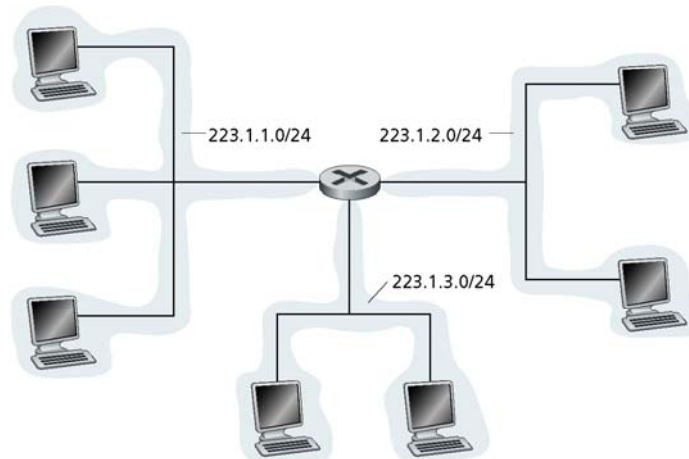
29

## Indirizzi delle interfacce...



30

## ...indirizzi delle reti

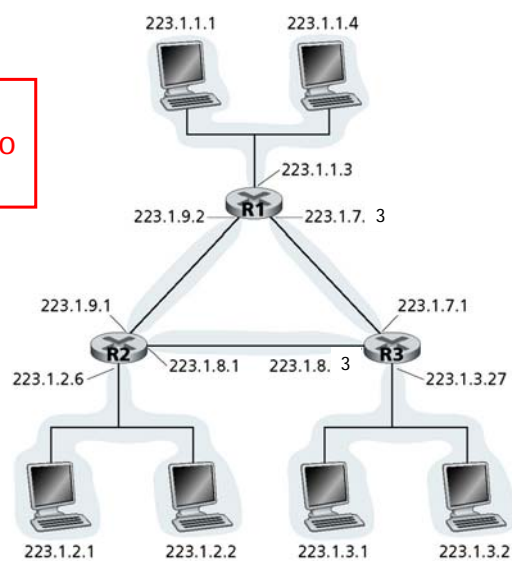


31

## Tre router che interconnettono sei host



Domanda:  
Quante sono  
le reti?



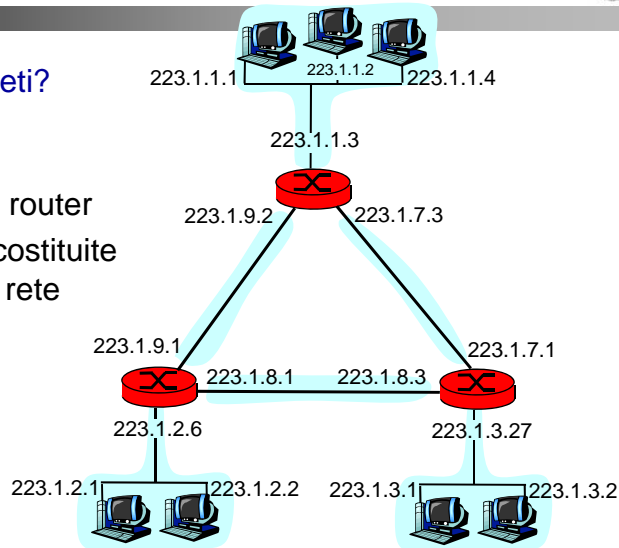
32

## Soluzione...

### Come trovare le reti?

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

Nell'esempio:  
sistema  
interconnesso  
costituito da sei  
reti



33

## 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 0000110 0000000	129 . 52 . 6 . 0
1100000 0000101 0011000 0000011	192 . 5 . 48 . 3
00001010 0000010 0000000 00100101	10 . 2 . 0 . 37
1000000 00001010 0000010 0000011	128 . 10 . 2 . 3
1000000 1000000 1111111 0000000	128 . 128 . 255 . 0

34

## Classi di indirizzi



- La parte di indirizzo che specifica la rete e quella che specifica l'host non hanno lunghezza fissa, ma variano a seconda della *classe* a cui appartiene l'indirizzo
- Sono state definite 5 classi:
  - 3 (A, B, C) sono usate per gli indirizzi degli host e si differenziano per la lunghezza della parte rete/host
  - 1 (D) è usata per il *multicast*
  - 1 (E) è riservata per usi futuri

35

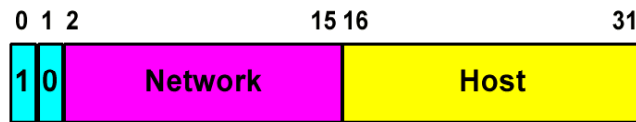
## Indirizzi di classe A



- Campo rete
  - 7 bit
  - Massimo 128 reti
  - Il primo byte è compreso tra 0 e 127
- Campo host
  - 24 bit
  - Massimo  $2^{24} \approx 16\text{M}$  host

36

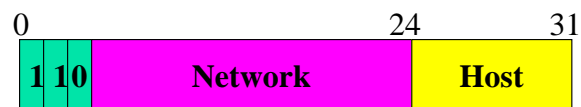
## Indirizzi di classe B



- Campo rete
  - 14 bit
  - Massimo 16k reti
  - Il primo byte è compreso tra 128 e 191
- Campo host
  - 16 bit
  - Massimo  $2^{16} \approx 64k$  host

37

## Indirizzi di classe C



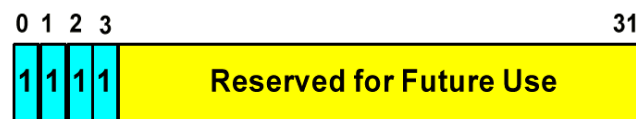
- Campo rete
  - 21 bit
  - Massimo 2M reti
  - Il primo byte è compreso tra 192 e 223
- Campo host
  - 8 bit
  - Massimo 256 host

38

## Indirizzi di classe D e E



Classe D



Classe E

39

## Indirizzi IP "speciali"



- **Network address**
  - La rete stessa ha un indirizzo, il cui suffisso è costituito da tutti '0'
  - Nessun host può quindi avere tutti '0' nel suffisso
- **Directed broadcast address**
  - Per mandare un messaggio in broadcast ad una rete il suffisso è costituito da tutti '1': il pacchetto è inviato a tutti gli host di una specifica rete
- **Limited broadcast address**
  - L'intero indirizzo (sia la parte rete che la parte host) è costituito da tutti '1': 255.255.255.255
  - Broadcast sulla LAN locale

40

## Indirizzi IP “speciali”



- **This computer address**
  - L'intero indirizzo è costituito da tutti '0'
  - Per ottenere un indirizzo automaticamente all'avvio, si potrebbe usare IP per comunicare...
  - ...ma non abbiamo ancora un indirizzo:
    - vedremo che per l'assegnazione di tale indirizzo si utilizzano protocolli quali DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) e BOOTP (Boot Protocol)
- **Loopback address**
  - Ogni indirizzo che comincia con 127 indica il computer locale
  - 127.0.0.1 è il più comune, ma va bene anche 127.0.44.53
  - Usato per test, nessun pacchetto esce sulla rete
  - Utile quando il computer non ha schede di rete

41

## Indirizzi IP



- La suddivisione degli indirizzi IP in classi non è efficiente perché comporta lo spreco di indirizzi
- 32 bit  $\Rightarrow 2^{32} \approx 4$  miliardi di indirizzi diversi, ma non tutti vengono usati
- Rimedi:
  - Indirizzi privati
  - Sottoreti

42

## Indirizzi IP privati



- L'RFC 1597 riserva i seguenti blocchi di indirizzi per uso privato:
  - 10.0.0.0 - 10.255.255.255                      Classe A
  - 172.16.0.0 - 172.31.255.255                      Classe B
  - 192.168.0.0 - 192.168.255.255                      Classe C
- I router di Internet non inoltrano pacchetti aventi indirizzo sorgente o destinazione compreso in uno di questi blocchi
- Vedremo dopo il modo per tradurre tali indirizzi in indirizzi Internet pubblici (NAT, Network Address Translation)

43

## Sottoreti



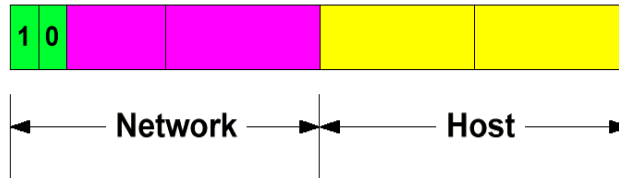
- Gli indirizzi IP sono assegnati in modo che tutti gli host sulla stessa rete locale appartengono alla stessa sottorete
- Una sottorete è individuata dai bit del prefisso più alcuni bit presi in prestito dal suffisso, come specificato dalla **subnet mask**
- Una subnet mask è una stringa di 32 bit associata ad ogni host:
  - Gli '1' definiscono la porzione di indirizzo che identifica la sottorete
  - Gli '0' definiscono la porzione di indirizzo che identifica l'host
- L'indirizzo della sottorete si ottiene mediante un AND bit a bit tra l'indirizzo dell'host e la netmask
- Esempio: vogliamo utilizzare indirizzi di un'unica classe B avendo diverse reti fisiche. Se prendiamo in prestito 8 bit dal suffisso avremo a disposizione 256 sottoreti, ognuna delle quali potrà avere 254 host
  - L'host 128.192.56.50 con netmask 255.255.255.0 appartiene alla sottorete 128.192.56.0

44

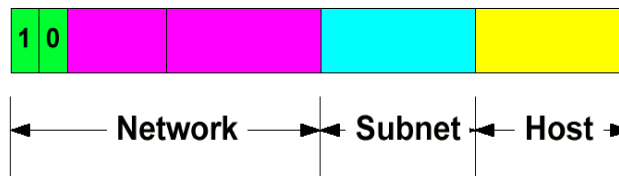
## Sottoreti



Indirizzo di classe B prima del subnetting

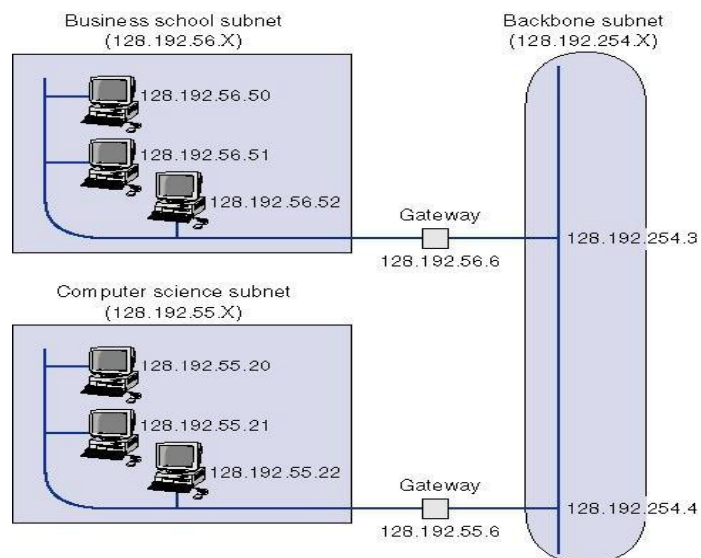


Indirizzo di classe B dopo il subnetting



45

## Sottoreti: un esempio



46

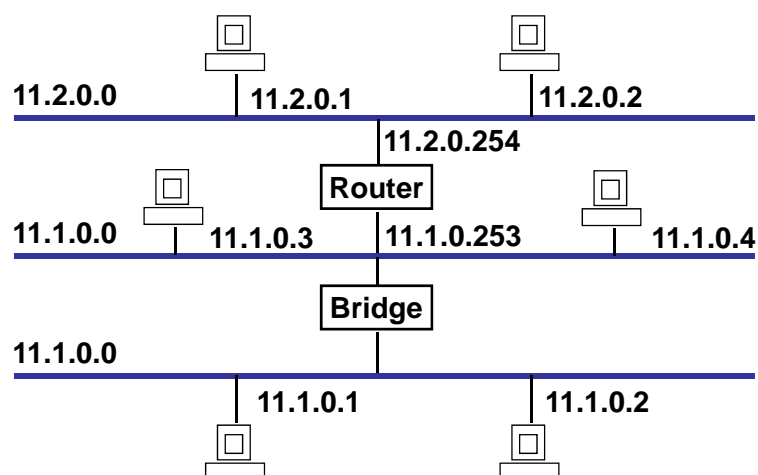
## Sottoreti



- Suddividere una rete in sottoreti ci consente di allocare in maniera efficiente gli indirizzi, migliorando al tempo stesso le prestazioni (il traffico relativo ad una sottorete non viene introdotto nelle altre)
- Come viene utilizzata una subnet mask?
  - Da un host che deve trasmettere un pacchetto:
    - Confronta la destinazione con la propria subnet mask
    - Se la destinazione è sulla stessa sottorete, invia sulla LAN
    - Altrimenti, invia al gateway
  - Da un router all'interno della rete suddivisa in sottorete
    - Utilizza la subnet mask con l'indirizzo di rete di ciascuna delle sottoreti collegate per determinare la giusta destinazione

47

## Reti logiche e fisiche



48

## Netmask



- Parametro che specifica il subnetting
  - bit a 1 in corrispondenza dei campi network e subnetwork
  - bit a 0 in corrispondenza del campo host
- Esempio: si supponga di voler partizionare una rete di classe B in 16 subnet da 4096 host
  - Netmask 11111111 11111111 11110000 00000000
  - Netmask esadecimale ff ff f0 00
  - Netmask decimale 255.255.240.0
  - /20

49

## Subnet e reti fisiche



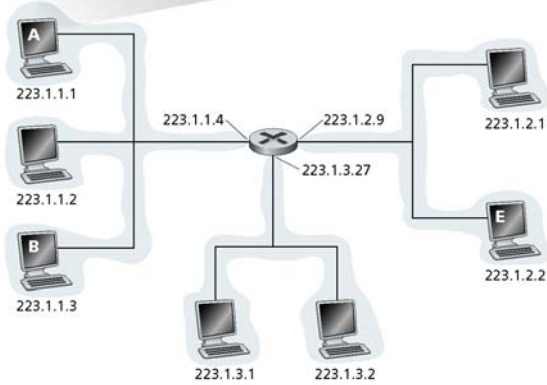
- IP assume una corrispondenza biunivoca tra reti fisiche e subnet:
  - routing implicito all'interno di una subnet
- Il routing tra subnet diverse è esplicito
  - gestito dai router tramite tabelle di instradamento

50

## Es: tabella di routing nell'host A



Rete di destinazione	Router successivo	Numero salti
223.1.1.0/24		1
223.1.2.0/24	223.1.1.4	2
223.1.3.0/24	223.1.1.4	2

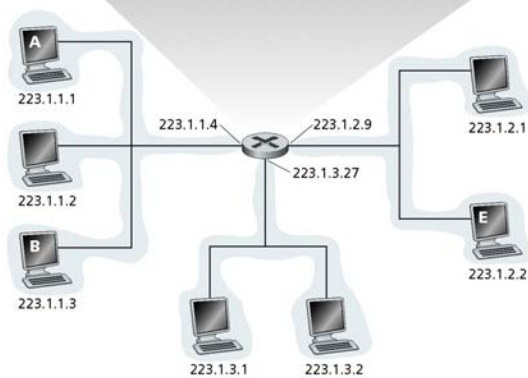


51

## Es: tabella di routing nel router

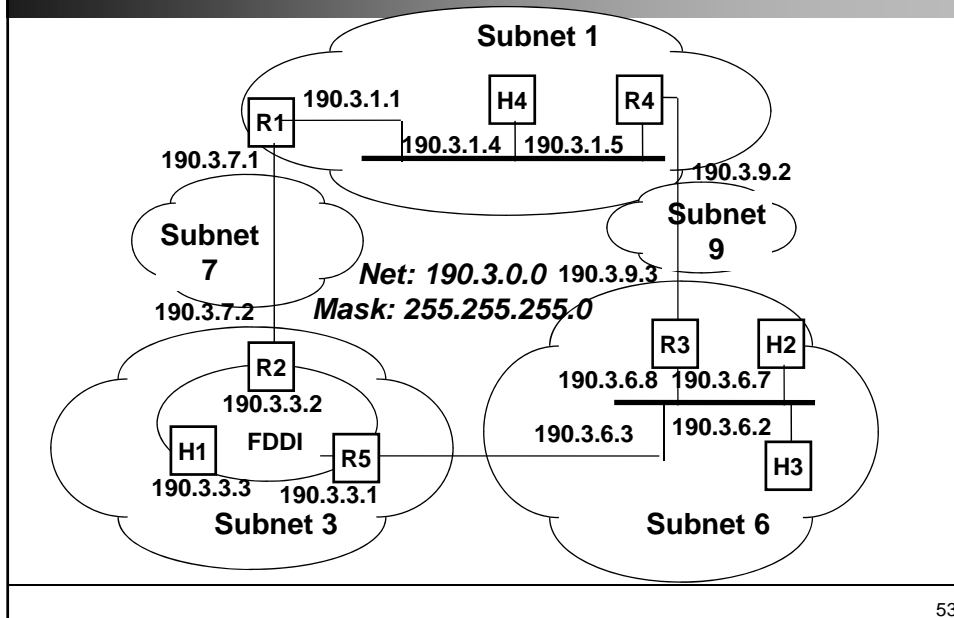


Rete di destinaz.	Router success.	N. hop	Interfaccia
223.1.1.0/24	—	1	223.1.1.4
223.1.2.0/24	—	1	223.1.2.9
223.1.3.0/24	—	1	223.1.3.27



52

## Gerarchia



53

## Subnet: instradamento



- All'interno della subnet l'instradamento deve essere fornito dalla rete fisica
- Corrispondenza tra gli indirizzi di subnet (indirizzi IP) e gli indirizzi di livello 2 gestita da ARP (Address Resolution Protocol)
- Indirizzi di livello 2
  - Indirizzi MAC sulle LAN
  - Indirizzi di DTE in X.25
  - Identificatori di LCI in Frame Relay
  - .....

54

## Default Route



- Gli host devono conoscere almeno un router presente sulla loro rete fisica
- Il protocollo ICMP permette di ottimizzare dinamicamente il routing
- Ad esempio sull'host H4
  - `route add default gw 190.3.1.5`

55

## Tabelle di Instradamento



- L'instradamento tra subnet diverse viene gestito da tabelle di instradamento presenti sui router
- Esempio:
  - tabelle di instradamento del router R5
    - 3 subnet non raggiungibili direttamente

Subnet di Destinazione	Indirizzo del router
190.3.1.0	190.3.3.2
190.3.7.0	190.3.3.2
190.3.9.0	190.3.6.8

56