



POLITECNICO  
MILANO 1863

# Fondamenti di TELECOMUNICAZIONI

Prof. Marco Mezzavilla

# Lezione 13 – Livello di Rete 1

# INDICE

## 13. LIVELLO DI RETE 1

1. **Strato di rete**
2. **Indirizzo IP**
3. **Inoltro dei pacchetti IP (forwarding)**
4. **Instradamento in rete (routing)**

Parte I (oggi)

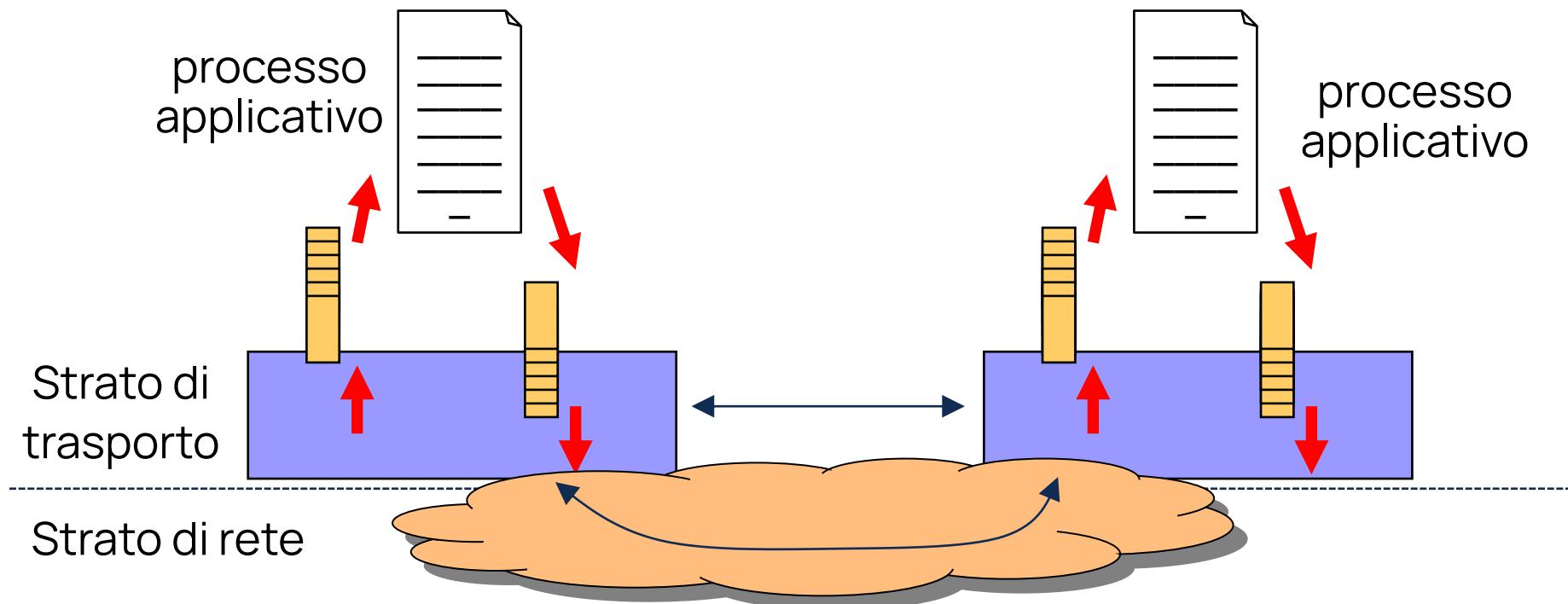
Parte II (settimana prossima)

# STRATO DI RETE

01

# Strato di rete e strato di trasporto

- Lo strato di **trasporto** realizza la comunicazione tra due processi applicativi
- Lo strato di **rete** si incarica di trasferire i dati tra gli host che ospitano i due processi comunicanti



# Funzioni fondamentali dello strato di rete

## ❑ Inoltro / Forwarding:

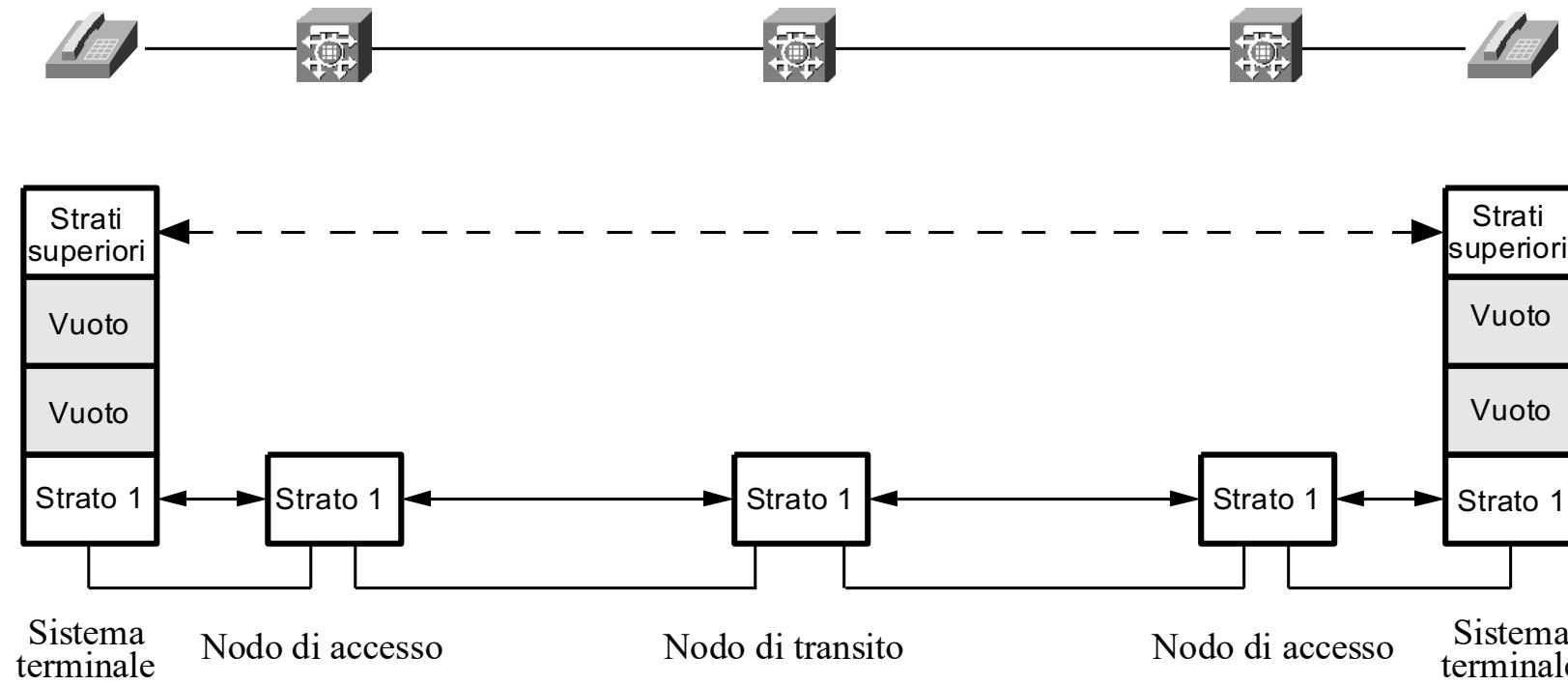
- ❑ Funzione locale con cui il router trasferisce i pacchetti dall'ingresso all'uscita

## ❑ Instradamento / Routing:

- ❑ Processo che determina i percorsi dei pacchetti dalla sorgente alla destinazione
- ❑ Processo globale svolto dagli Algoritmi di Routing
  - ❑ Processo centralizzato vs distribuito, statico vs dinamico, manuale vs dinamico

# Modo di trasferimento: commutazione a circuito

- Caratteristiche:
  - I nodi intermedi vengono attraversati dai dati, ma non eseguono alcuna elaborazione dell'informazione
  - Nei nodi intermedi è sufficiente che siano presenti solo funzionalità dello strato fisico
- Esempio: rete telefonica (connessione = chiamata)

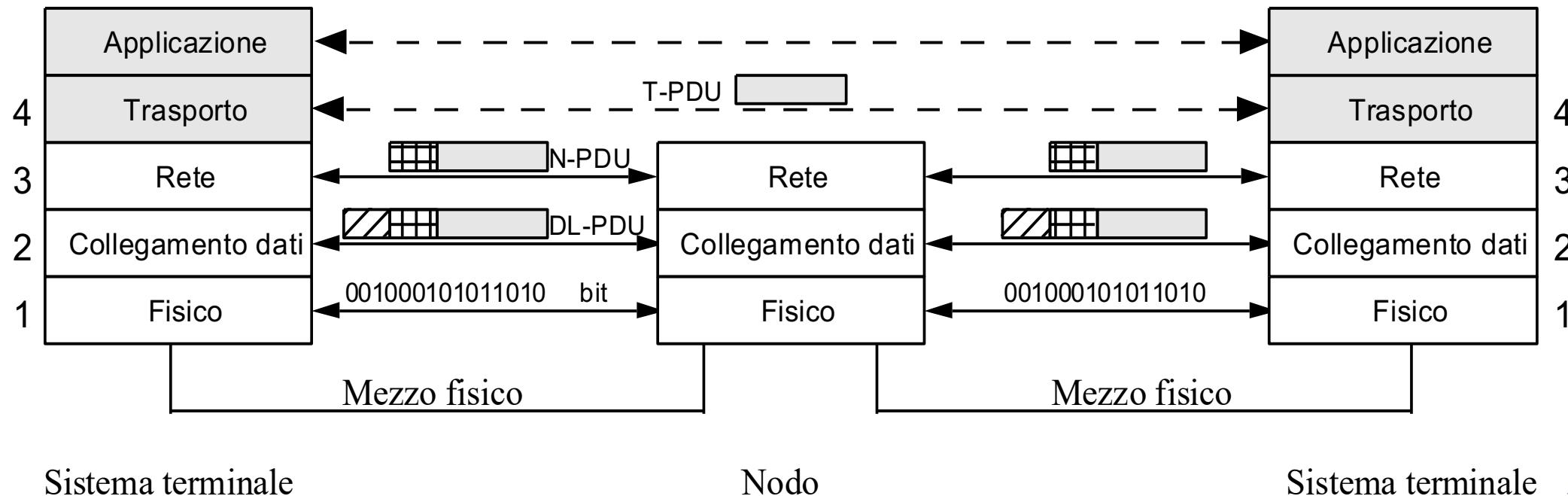


# Modo di trasferimento: commutazione a pacchetto

## □ Caratteristiche:

- In ciascun nodo intermedio devono essere realizzati tutti gli strati dallo strato fisico allo strato di rete
- I nodi intermedi eseguono le due funzioni base: instradamento e inoltro

## □ Esempio: rete Internet

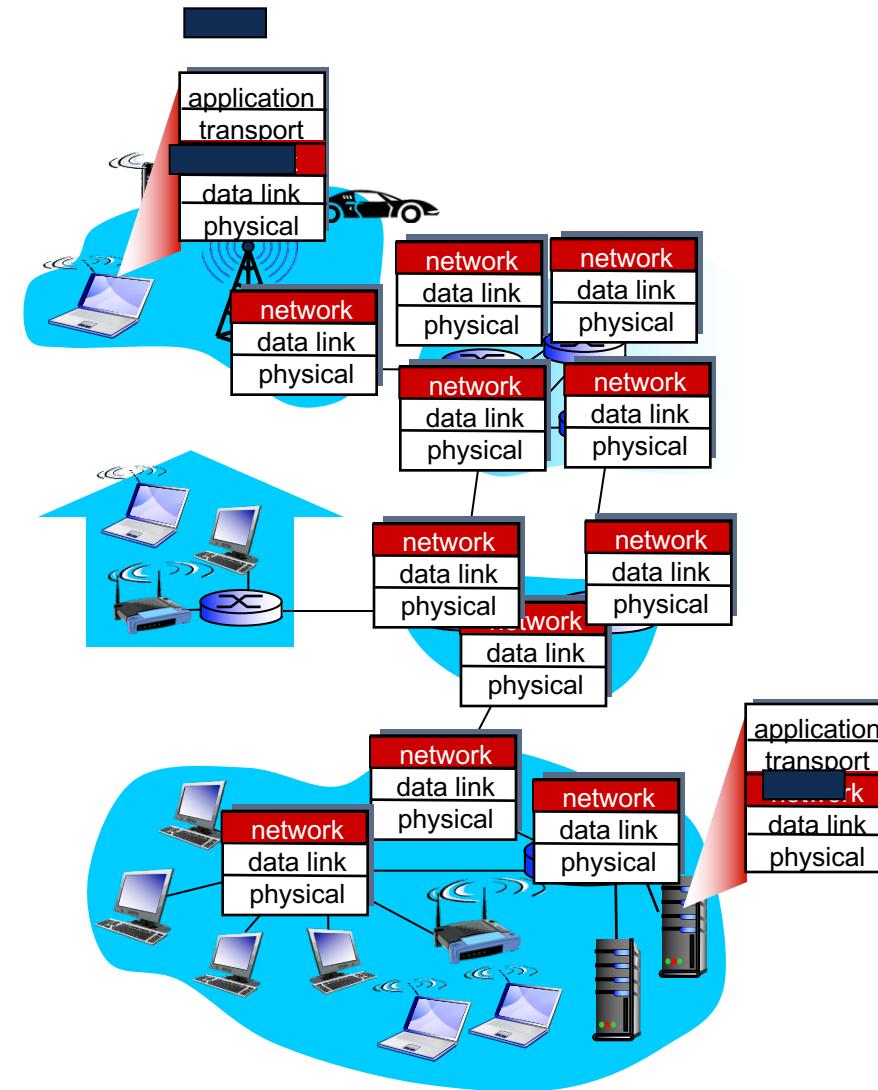


# Servizi del livello di rete

- ❑ Possibili servizi di rete che sarebbero richiesti:
  - ❑ Consegna garantita
  - ❑ Consegna garantita con ritardo limitato
  - ❑ Consegna ordinata della sequenza dei pacchetti
  - ❑ Banda minima garantita
  - ❑ Sicurezza del contenuto trasportato
- ❑ MA il livello di rete di Internet può solo offrire
  - ❑ Servizio Best Effort (massimo impegno)!

# Strato di rete in Internet

- ❑ I segmenti dello strato di trasporto vengono trasferiti dallo strato di rete dall'host sorgente all'host destinazione
- ❑ I protocolli dello strato di rete sono implementati in ogni host e in ogni router
  - ❑ I nodi di rete non implementano i livelli superiori
- ❑ I router esaminano i campi dell'header di ciascun pacchetto IP che li attraversa
  - ❑ I pacchetti vengono inoltrati hop-by-hop fino a destinazione

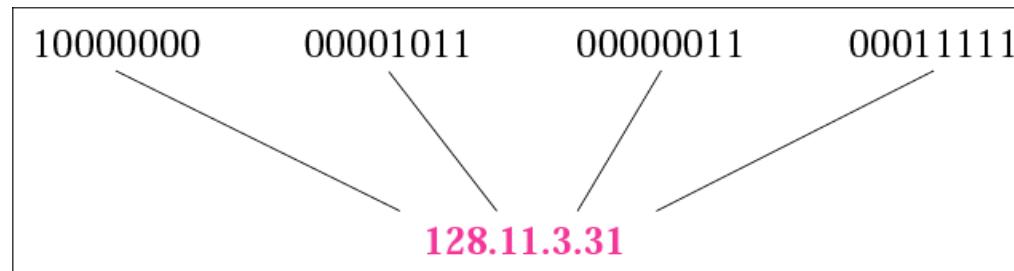


# INDIRIZZO IP

02

# Indirizzo IP (IPv4)

- ❑ E' un numero binario di 32 bit
- ❑ "A beneficio degli esseri umani", viene scritto nella forma x.y.z.w. Ciascuno dei x,y,z,w
  - ❑ rappresenta 8 bit
  - ❑ può assumere tutti i valori da 00000000 a 11111111 (0 - 255 in base 10)
- ❑ Sempre "a beneficio degli esseri umani" si usa scriverlo nella forma decimale (notazione decimale puntata)

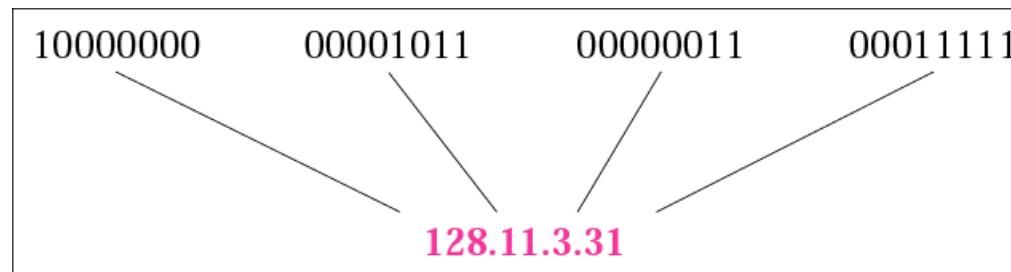


"Dotted decimal notation"



# Indirizzo IP (IPv4)

- ❑ E' associato in modo univoco ad un'interfaccia di rete di un host o di un router
  - ❑ Non è associato direttamente a un host o a un router perché questi possono avere più interfacce di rete
- ❑ Indirizzo IP deve avere valenza e univocità universali (in tutto Internet)
  - ❑ Il routing in IP è basato sull'indirizzo dell'host destinazione
- ❑ Ogni gestore di rete ha a disposizione un blocco di indirizzi che distribuisce alle interfacce dei singoli apparati



“Dotted decimal notation”



# Curiosità

- ❑ L'indirizzo IPv4 è rappresentato con 32 bit, il che significa che il numero totale di indirizzi unici è  $2^{32}$ , ovvero circa **4,3 miliardi di indirizzi**
- ❑ Molti indirizzi IPv4 non sono disponibili per uso pubblico perché sono riservati per usi speciali, come:
  - ❑ **Reti private**: '10.0.0.0/8', '172.16.0.0/12', '192.168.0.0/16', '10.0.0.0/8', '172.16.0.0/12', '192.168.0.0/16', '10.0.0.0/8', '172.16.0.0/12', '192.168.0.0/16'.
  - ❑ **Indirizzi riservati**: Indirizzi destinati a test o ricerca (127.0.0.0/8, 127.0.0.0/8, broadcast, ecc.).
- ❑ Il numero reale di indirizzi IPv4 disponibili per uso pubblico è quindi inferiore ai 4,3 miliardi, intorno a 3,7 miliardi.
- ❑ L'esaurimento degli indirizzi IPv4 è stato ufficialmente annunciato diversi anni fa.

# Curiosità

□ Per affrontare l'esaurimento degli IPv4, si stanno utilizzando le seguenti soluzioni:

□ **NAT (Network Address Translation):**

- Con il NAT, molti dispositivi di una rete locale (con indirizzi privati) possono condividere un singolo indirizzo IPv4 pubblico.
- Questo ha esteso la vita utile degli IPv4, ma introduce complessità.

□ **Recupero e vendita degli indirizzi IPv4:**

- Alcuni indirizzi inutilizzati sono stati recuperati e rimessi in circolazione.
- Esiste un mercato secondario in cui indirizzi IPv4 vengono acquistati e venduti.

□ **Migrazione verso IPv6:**

- L'IPv6, con i suoi 128 bit, offre un numero astronomicamente più alto di indirizzi unici:  $2^{128} = 340 \text{ undecillioni}$  ( $340 \cdot 10^{36}$ )
- IPv6 risolve il problema di esaurimento, ma l'adozione globale è ancora in corso.

# Indirizzo IP (IPv4)

- Un blocco elementare di indirizzi IP è assegnato alle interfacce di una rete IP
- Gli indirizzi del blocco devono avere identici i primi n bit
- Questi primi n bit si chiamano prefisso (o identificativo) di rete (network prefix o NetID)
- L'indirizzo IP è dunque diviso in due campi (o livelli)
  - I primi n bit (**prefix o NetID**) identificano la rete
  - I rimanenti bit (**HostID**) sono usati per identificare un host specifico (un'interfaccia) nell'ambito della rete
- Il valore di n dipende dal tipo di rete

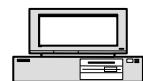


# IP Network ↔ rete fisica

- Una rete IP, identificata da un NetID, è una insieme di interfacce (host + router) fisicamente interconnesse, tipicamente con switch e hub
- Le card fisiche degli host sono identificate da un indirizzo MAC (oltre che dall'indirizzo IP)
- E' necessario che vi sia almeno un router con un'interfaccia collegata alla rete IP per comunicare con altre reti IP

IP-B: 193.17.31.55

MAC-B: 05:98:76:6c:4a:7b



B

Rete IP  
193.17.31.0

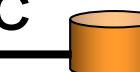
IP-A:193.17.31.45

MAC-A: 00:9f:7a:89:90:7a



A

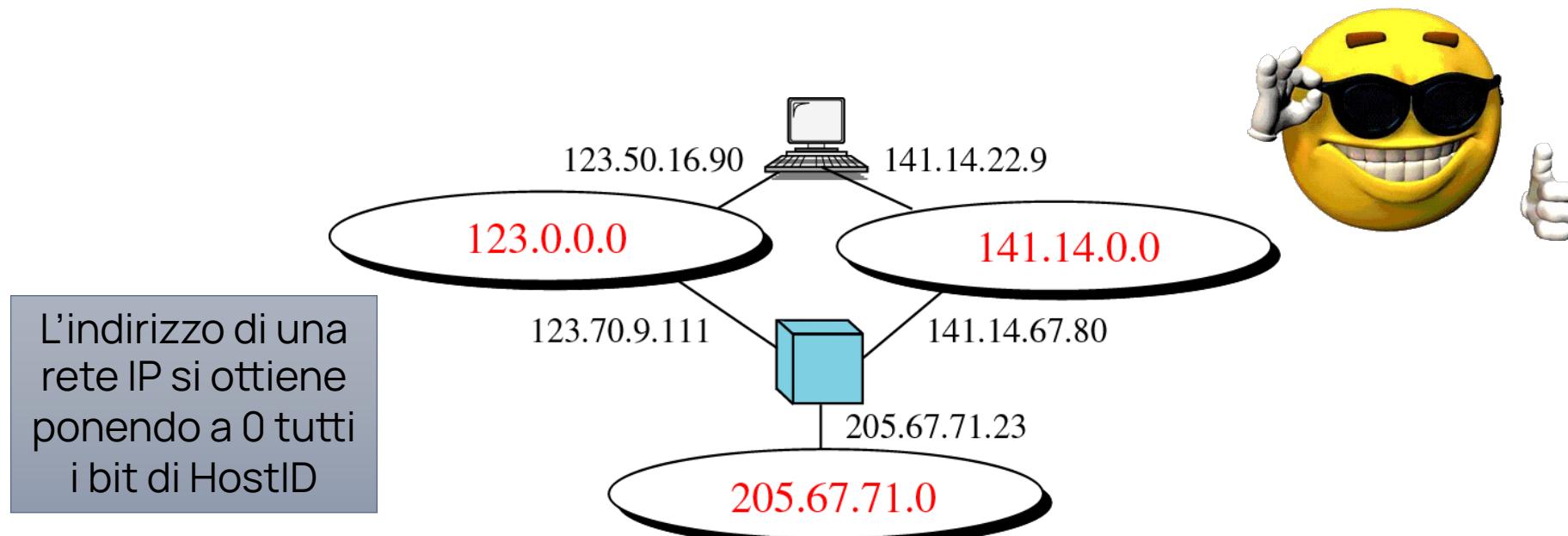
C



IP-C: 193.17.31.254  
MAC-C: 99:8b:6f:ac:58:7f

# Esempio

- ❑ Notare che anche un host può avere più interfacce di rete (smartphone con WiFi+4G/5G, etc.)
- ❑ Ogni interfaccia di un router (e di un host) deve appartenere a reti IP diverse
- ❑ Non è possibile assegnare due interfacce dello stesso apparato alla stessa rete IP



# Netmask

- ❑ La **netmask** è un numero binario di 32 bit associato ad una rete IP
  - ❑ Inizia con n bit a 1(dal più significativo), con n pari alla lunghezza del NetID
  - ❑ I restanti 32 - n bit sono posti a 0
  - ❑ Indica quali bit di un indirizzo IP sono assegnati al NetID
  - ❑ Viene indicata con dotted decimal notation
- ❑ Esempio:
  - ❑ Indirizzo IP 193.17.31.45 e Netmask: 255.255.255.0
  - ❑ La rete a cui appartiene l'indirizzo è 193.17.31.0

```
11111111 11111111 11111111 00000000
```

# NetID: notazioni alternative equivalenti

- Esempio: NetID 130.86.0.0
  - Rappresenta tutti i 216 indirizzi IP che iniziano con il pattern di bit 10000010 01010110
- Questo si può scrivere come
  - Coppia: 130.86.0.0 + Netmask 255.255.0.0
  - 130.86.0.0/16 (16 rappresenta il numero di posizioni occupate da 1 nella netmask)
  - 130.86.\*.\*
  - Intervallo (range) [130.86.0.0, 130.86.255.255]



# NetID: notazioni alternative equivalenti

```
en0: flags=8863<UP,BROADCAST,SMART,RUNNING,SIMPLEX,MULTICAST> mtu 1500
    options=6460<TS04,TS06,CHANNEL_IO,PARTIAL_CSUM,ZEROINVERT_CSUM>
    ether a0:78:17:a0:af:fd
    inet6 fe80::80c:7ed7:30f3:f4ea%en0 prefixlen 64 secured scopeid 0xc
    inet 10.168.95.159 netmask 0xffffffff800 broadcast 10.168.95.255
        nd6 options=201<PERFORMNUD,DAD>
    media: autoselect
    status: active
```

- $0xfffff800 = 11111111.11111111.11110000.00000000$
- Dividiamo la rappresentazione binaria in segmenti da 8 bit e li convertiamo in decimale:
  - 11111111 = 255
  - 11111111 = 255
  - 11110000 = 248
  - 00000000 = 0
- Quindi, la netmask in notazione decimale puntata è: **255.255.248.0**

# Fondamenti di TELECOMUNICAZIONI

Prof. Marco Mezzavilla  
[marco.mezzavilla@polimi.it](mailto:marco.mezzavilla@polimi.it)