



# Università degli Studi di Bergamo

---

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E SCIENZE APPLICATE**



# RETI INTERNET MULTIMEDIALI

---

## Introduzione a Internet

*Il documento è adattato da materiale cortesemente messo a disposizione dal Prof. Stefano Paris e dal Prof. Vittorio Trecordi*

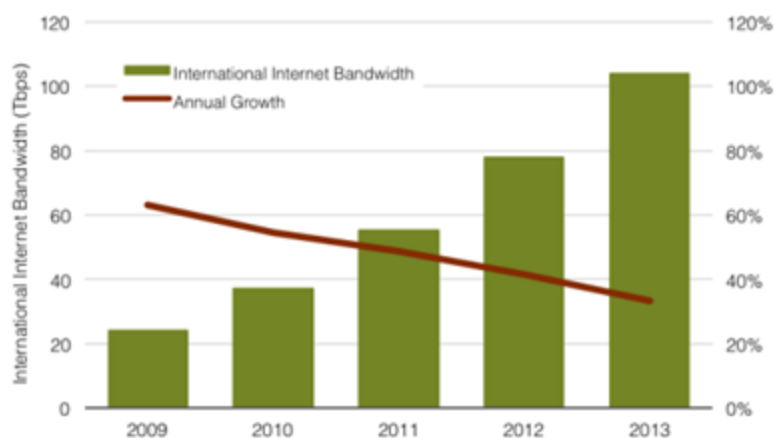
# **INTERNET**

---

## **Traffico Internet e tendenze**

# Tendenza del traffico Internet

FIGURE 1  
International Internet Bandwidth Growth, 2009–2013



Notes: Data represent internet bandwidth connected across international borders as of mid-year. Domestic routes are excluded.

Source: TeleGeography

© 2013 PriMetrica, Inc.



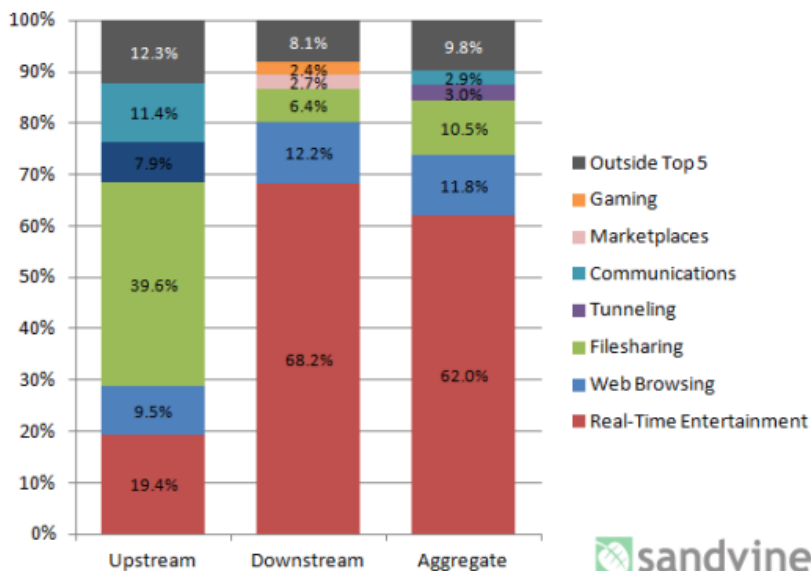
Source: Cisco VNI, 2013

The percentages within parenthesis next to the legend denote the relative traffic shares in 2012 and 2017.

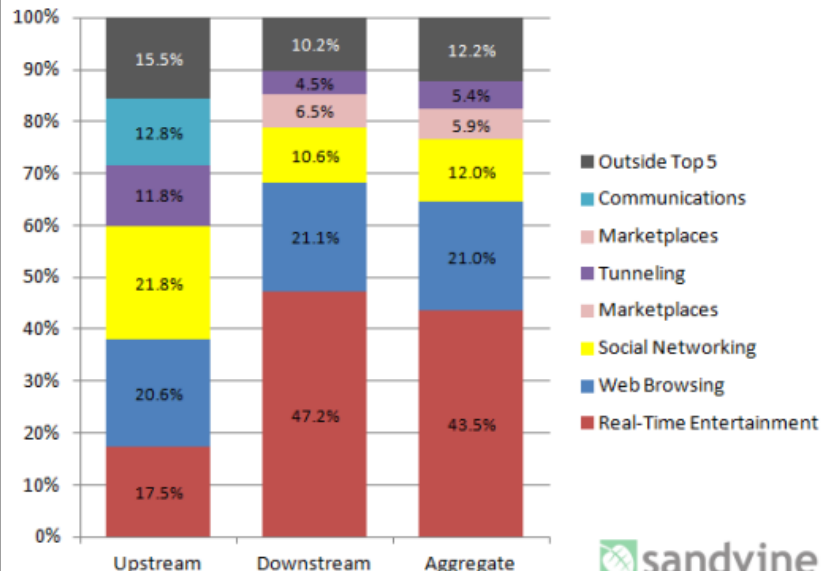
- Il tasso di crescita della banda disponibile è in decrescita
- Il **traffico video** è di gran lunga il contributo più consistente ed è in continua crescita

# Tendenza del traffico (US)

## Peak Period Traffic Composition (North America, Fixed Access)



## Peak Period Traffic Composition (North America, Mobile Access)

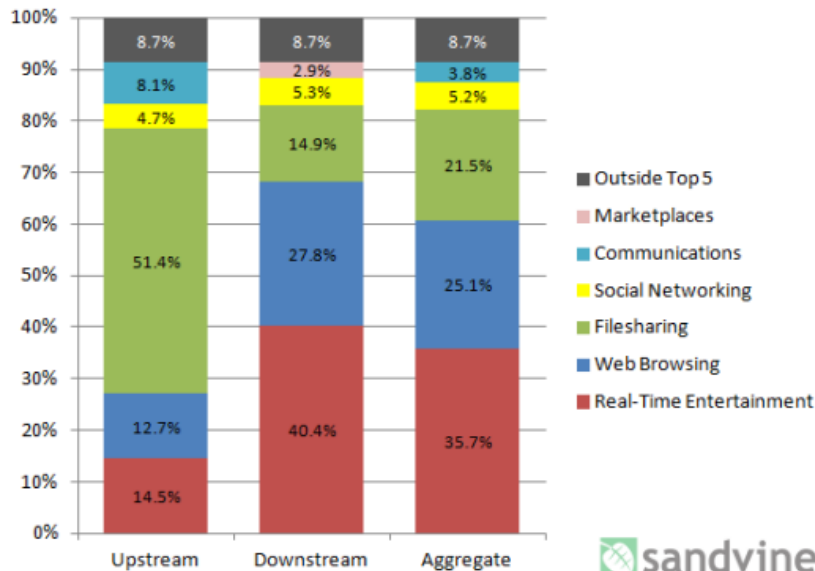


Rank	Upstream		Downstream		Aggregate	
	Application	Share	Application	Share	Application	Share
1	BitTorrent	34.81%	Netflix	32.25%	Netflix	28.88%
2	HTTP	7.53%	YouTube	17.11%	YouTube	15.43%
3	SSL	5.81%	HTTP	11.11%	HTTP	10.66%
4	Netflix	5.38%	BitTorrent	5.57%	BitTorrent	9.23%
5	Skype	4.88%	MPEG	2.58%	SSL	2.39%
6	YouTube	3.71%	Hulu	2.41%	MPEG	2.30%
7	Facebook	1.71%	iTunes	1.90%	Hulu	2.16%
8	Apple Photostream	1.34%	SSL	1.89%	iTunes	1.71%
9	Dropbox	1.21%	Flash Video	1.72%	Flash Video	1.53%
10	Carbonite	0.99%	Facebook	1.48%	Facebook	1.52%
Top 10		67.38%		78.03%		75.82%

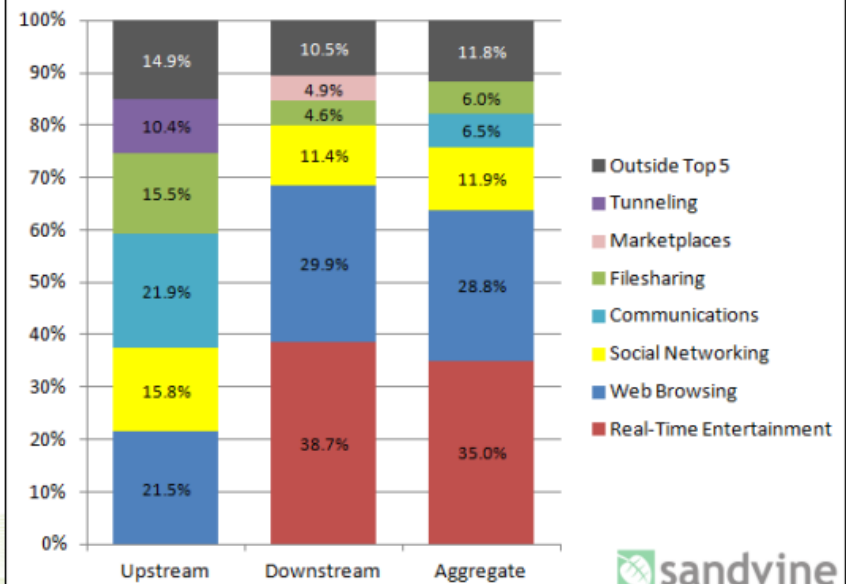
Rank	Upstream		Downstream		Aggregate	
	Application	Share	Application	Share	Application	Share
1	Facebook	17.22%	YouTube	27.33%	YouTube	24.89%
2	HTTP	14.66%	HTTP	19.16%	HTTP	18.60%
3	SSL	9.78%	Facebook	8.67%	Facebook	9.71%
4	YouTube	7.36%	MPEG	7.32%	MPEG	6.61%
5	Netflix	2.76%	Google Play	4.37%	SSL	4.88%
6	Skype	2.70%	SSL	4.20%	Google Play	3.97%
7	BitTorrent	2.35%	Netflix	3.98%	Netflix	3.83%
8	BlackBerry	1.87%	Pandora Radio	3.35%	Pandora Radio	3.00%
9	MPEG	1.80%	BlackBerry	1.61%	BlackBerry	1.61%
10	Dropbox	1.52%	Flash Video	1.51%	Flash Video	1.37%
Top 10		62.02%		81.50%		78.48%

# Tendenza del traffico (EU)

Peak Period Traffic Composition  
(Europe, Fixed Access)



Peak Period Traffic Composition  
(Europe, Mobile Access)

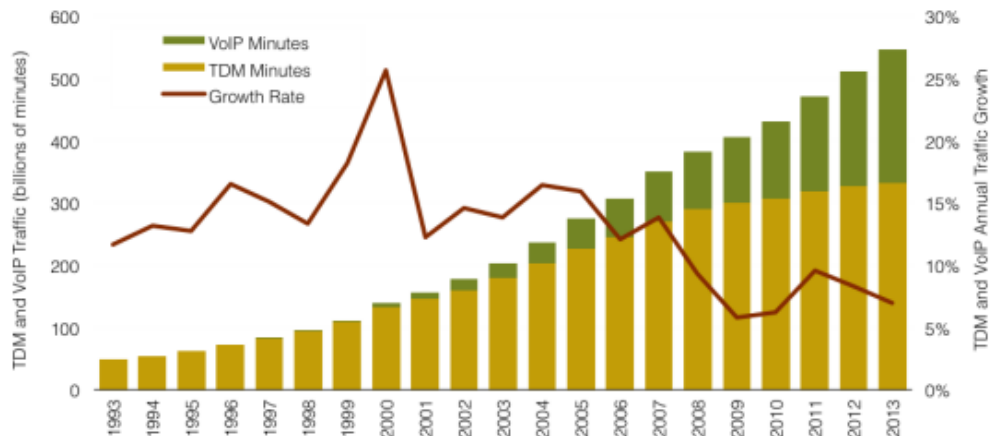


Rank	Upstream		Downstream		Aggregate	
	Application	Share	Application	Share	Application	Share
1	BitTorrent	40.63%	HTTP	26.15%	HTTP	23.34%
2	HTTP	10.70%	YouTube	24.25%	YouTube	21.27%
3	YouTube	7.79%	BitTorrent	12.22%	BitTorrent	17.36%
4	eDonkey	6.45%	RTMP	4.16%	Facebook	3.95%
5	Skype	5.86%	MPEG	4.03%	RTMP	3.67%
6	Facebook	3.79%	Facebook	3.97%	MPEG	3.48%
7	SSL	2.20%	Flash Video	2.98%	eDonkey	2.59%
8	RTMP	1.21%	eDonkey	1.74%	Flash Video	2.59%
9	MPEG	1.11%	Skype	1.65%	Skype	2.41%
10	Flash Video	0.94%	iTunes	1.54%	SSL	1.47%
	Top 10	80.67%	Top 10	82.69%	Top 10	82.12%

Rank	Upstream		Downstream		Aggregate	
	Application	Share	Application	Share	Application	Share
1	HTTP	17.77%	HTTP	27.61%	HTTP	26.38%
2	Skype	14.59%	YouTube	21.85%	YouTube	19.71%
3	Facebook	13.78%	Facebook	10.13%	Facebook	10.59%
4	BitTorrent	12.34%	Flash Video	5.22%	BitTorrent	4.99%
5	SSL	6.64%	MPEG	4.14%	Flash Video	4.66%
6	YouTube	4.65%	BitTorrent	3.94%	Skype	3.88%
7	Hotmail	1.25%	SSL	2.94%	MPEG	3.70%
8	Dropbox	1.21%	RTMP	2.90%	SSL	3.40%
9	Ares	1.18%	Skype	2.37%	RTMP	2.65%
10	SPDY	1.07%	Windows Update	1.81%	Windows Update	1.63%
	Top 10	74.48%	Top 10	82.90%	Top 10	81.58%

# Tendenza del traffico VoIP

FIGURE 1  
International Call Volumes and Growth Rates, 1993-2013



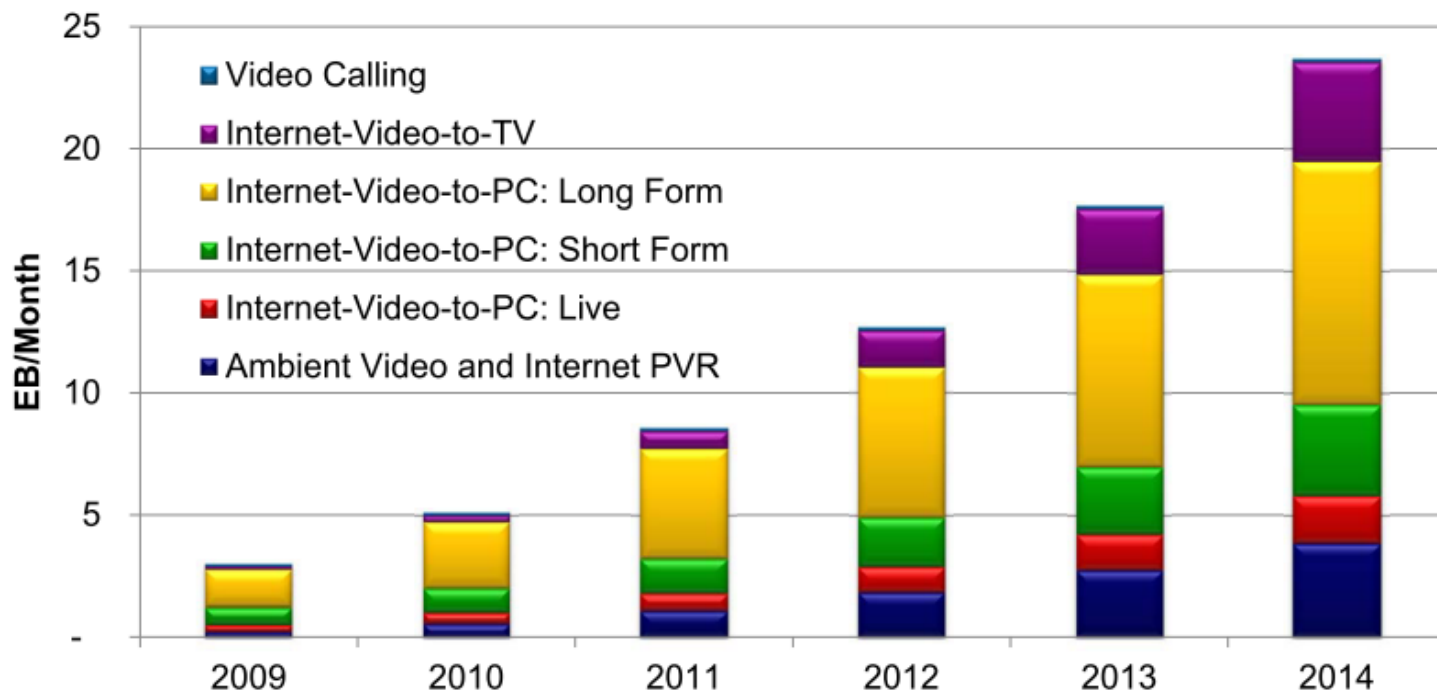
Notes: Data for 2013 are projections. VoIP traffic reflects international traffic transported as VoIP by carriers, and excludes PC-to-PC traffic.

Source: TeleGeography

© 2013 PriMetrica, Inc.

- Il traffico telefonico a commutazione di circuito (TDM) è ancora l'elemento portante dei ricavi degli operatori di telecomunicazioni (specialmente mobili)
- Inizialmente il VoIP venne utilizzato come strumento di efficienza interna per tratte a lunga distanza o come nicchia per chiamate a lunga distanza con scarsi requisiti di qualità
- In atto una trasformazione progressiva dei ricavi verso i servizi dati a larga banda
- Spinta indotta dai player OTT (in particolare Skype, ora Microsoft) per la telefonia

# Tendenza del traffico Video



Source: <http://ciscovni.com>, EB: 1e18 bytes

- Internet-Video-to-TV = IPTV (*alta qualità*, a pagamento)
- Internet-Video-to-PC = IP video (*best effort*, a pagamento o free)

# Gestione del traffico Internet

---

- Il traffico Internet (specialmente video) è in costante e consistente aumento
- Il tasso di crescita della banda disponibile è in decrescita
- E' necessario l'utilizzo di tecniche per
  - Ridurre il traffico in rete senza compromettere la qualità dei servizi offerti su Internet
    - Utilizzo di *codifiche/compressioni*, specialmente per i contenuti audio e video
    - Replica dei contenuti in posizioni più vicine all'utente, ad esempio per mezzo dell'uso di Content Delivery Network
  - Gestire in modo differente flussi di traffico con priorità differenti, andando a definire tecniche di gestione delle risorse (qualità del servizio, QoS)



# **INTERNET**

---

## **Introduzione al paradigma**

# Il paradigma Internet

---

- Ci si riferisce a Internet come alla «Rete delle reti»
- Nello specifico Internet è
  - Una rete logica indipendente dalle tecniche trasmissive utilizzate
  - Una piattaforma per lo sviluppo di applicazioni e servizi, indipendentemente dalle tecnologie di rete

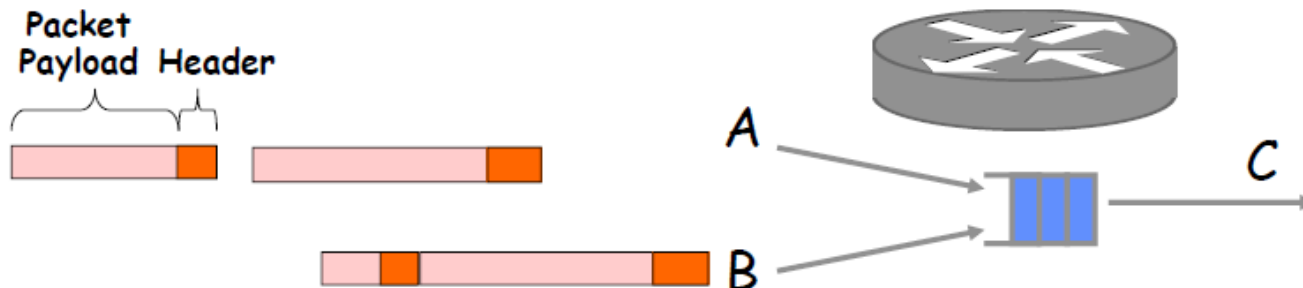
# Internet: la rete mondiale

---

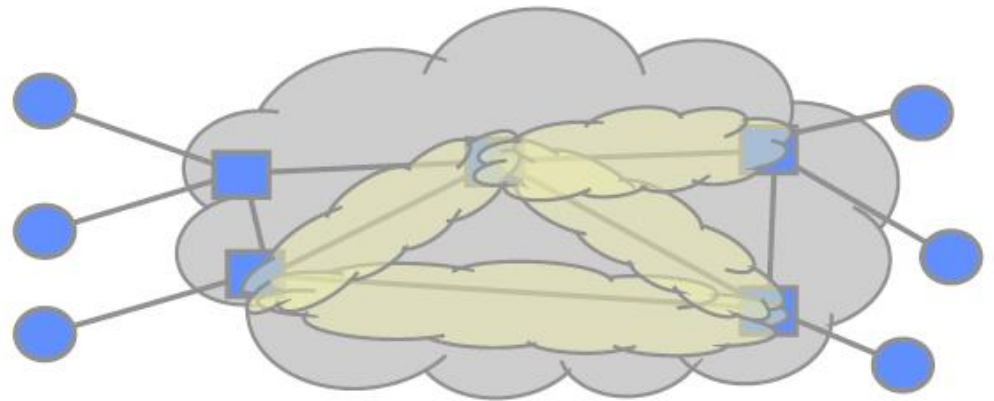
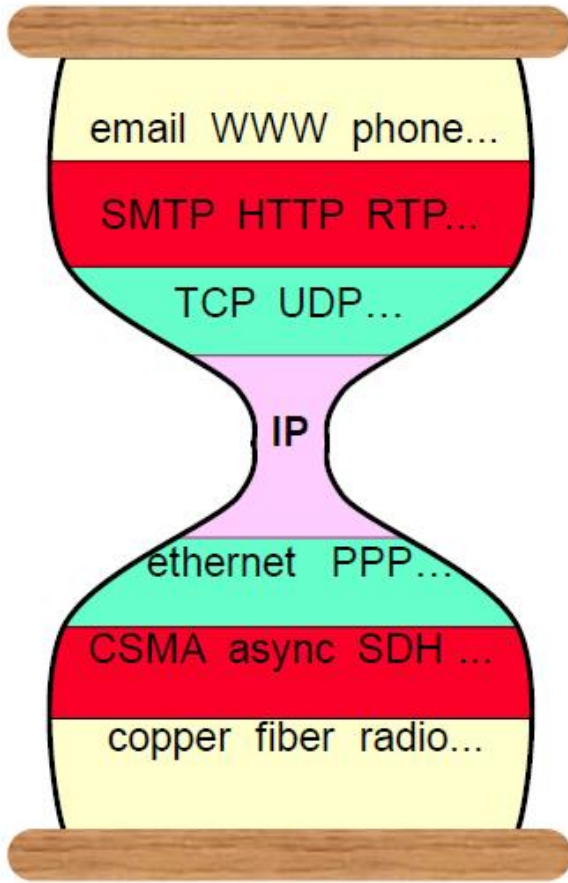
- Insieme di reti indipendenti interconnesse
- Nata da un progetto accademico (ARPANET, 1969) migrato poi verso utilizzi universali (1983)
- Ciascuna rete interconnessa ha un proprio
  - Finanziamento
  - Gestione
  - Politica d'uso
- Viene utilizzata una famiglia di protocolli comuni, i protocolli **TCP/IP**

# Modello di interconnessione

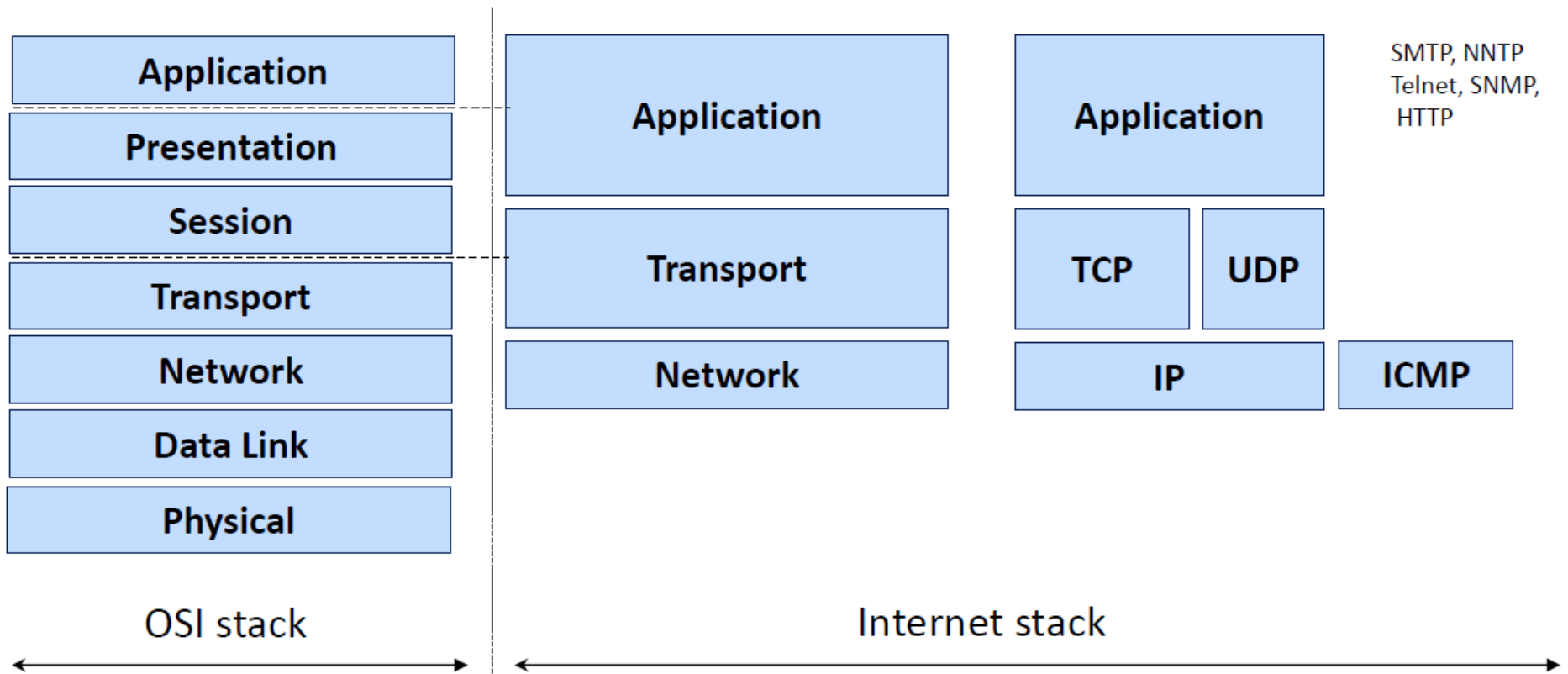
- La rete logica è ottenuta interconnettendo reti fisiche in grado di comunicare a livello 3 grazie al **protocollo IP**
- Entità fondamentali
  - *Router*: nodi che interconnettono reti fisiche instradando verso la destinazione l'informazione contenuta nei pacchetti IP, secondo la modalità "datagram" (best-effort)
  - *Host*: nodi terminali in grado di interpretare tutti i livelli della pila OSI



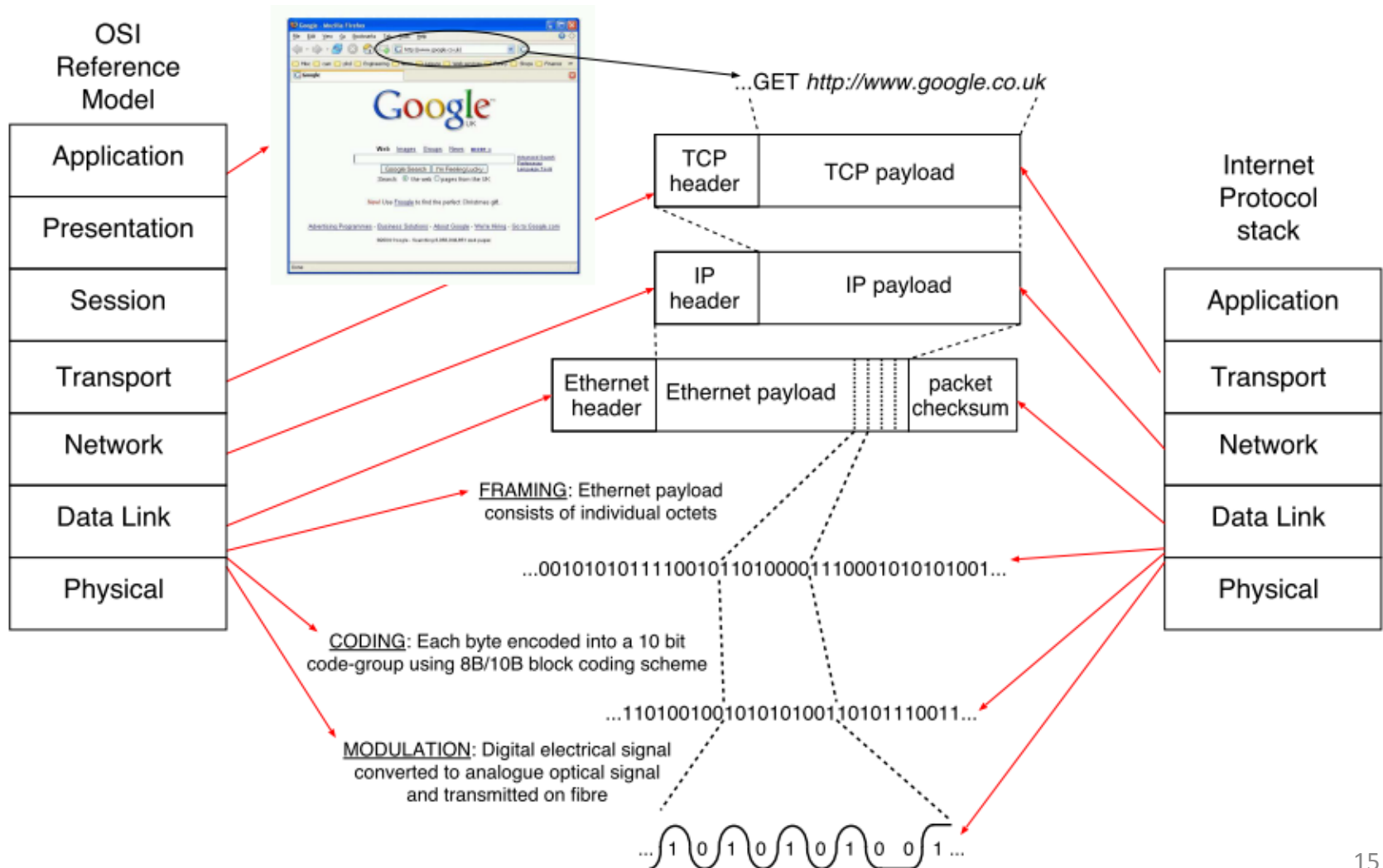
# Il modello a clessidra



# Pila Internet e modello OSI



# Esempio



# **INTERNET**

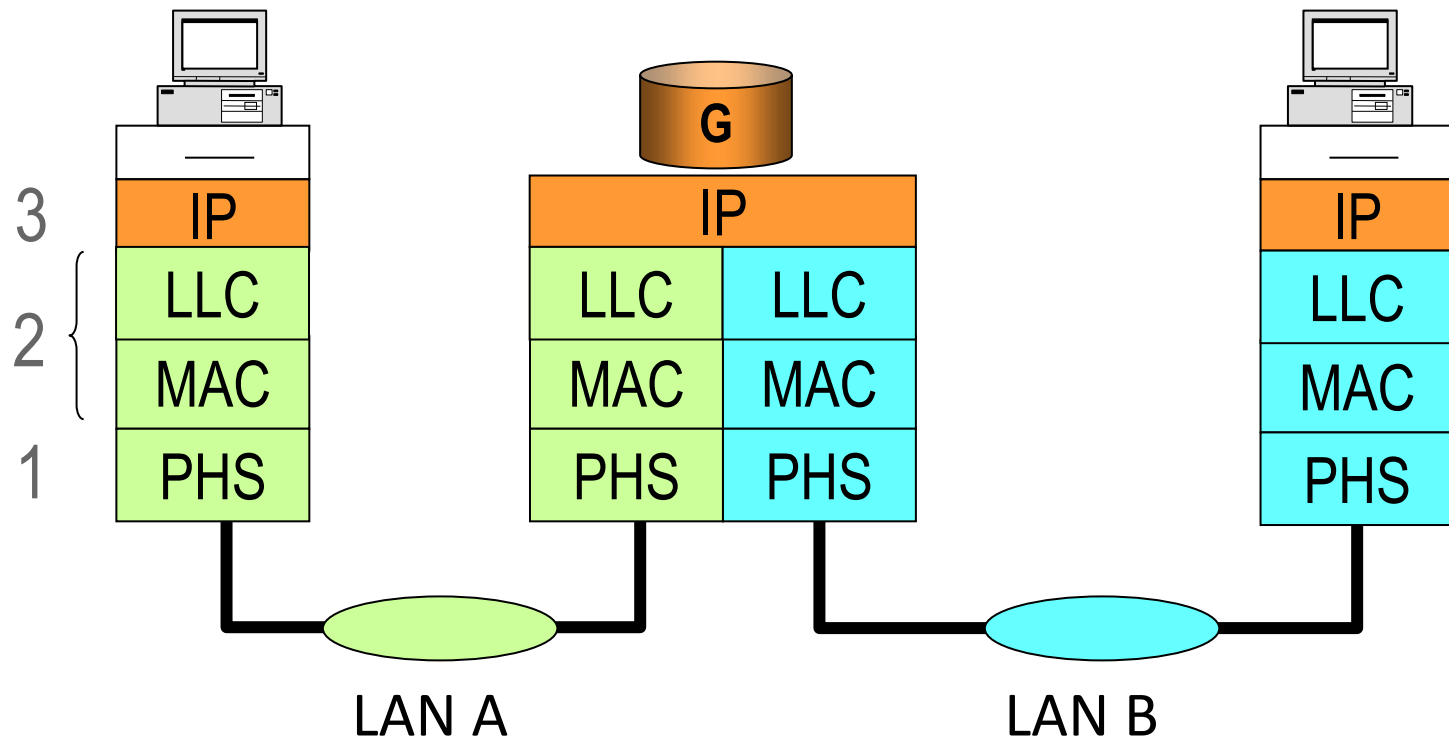
---

**IPv4 (Internet Protocol version 4)**



# L'architettura IP

- Il protocollo IP ha le funzionalità di un protocollo di livello 3 (rete) e si appoggia sugli eterogenei livelli 2 delle reti che serve
- Tipico l'esempio delle reti locali (LAN)



# Gli indirizzi IP

---

- Sono costituiti da 32 bit solitamente raggruppati in gruppi di 8 bit (byte)

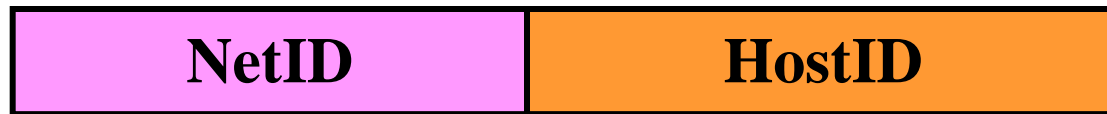


- I byte sono usualmente riportati in notazione decimale divisi da punti (**dotted decimal notation**) e possono assumere valori compresi tra 0 e 255

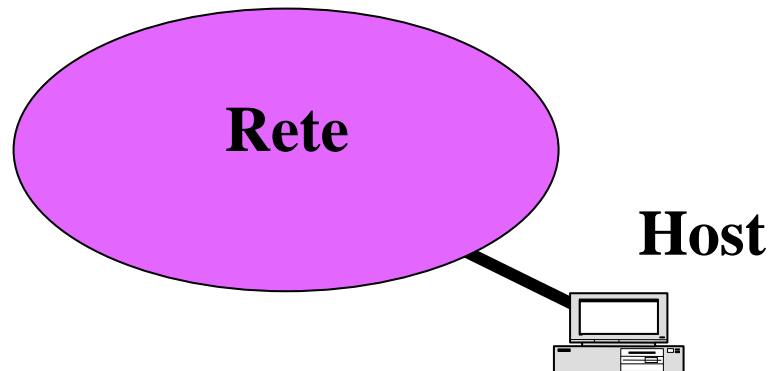
131.175.21.1

# Gli indirizzi IP

- L'indirizzo è diviso in due parti

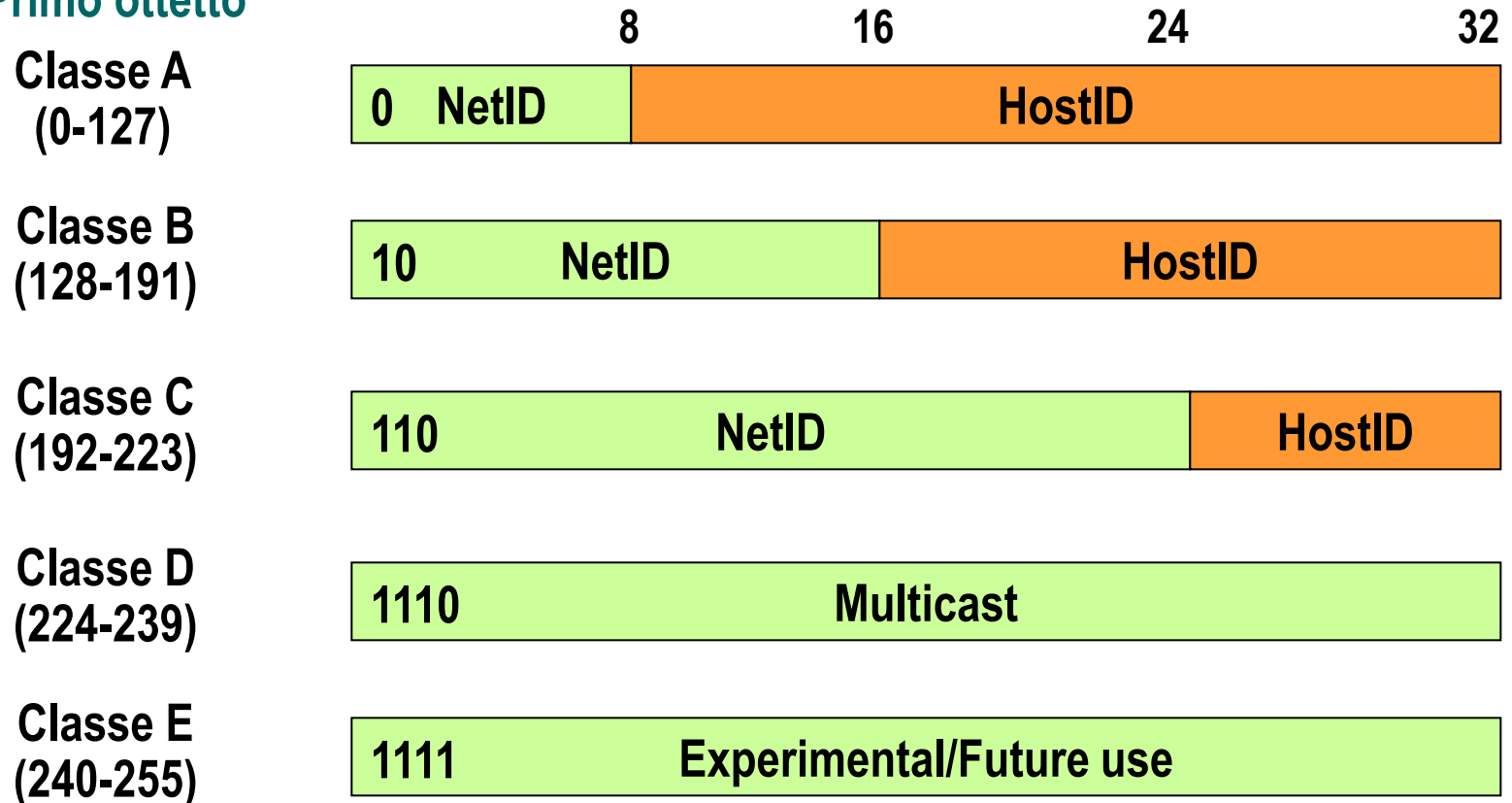


- La NetID (indirizzo di rete) identifica la rete
- La HostID (indirizzo di host) identifica l'host nella rete
  - Tutti gli host all'interno della stessa rete hanno lo stesso indirizzo di rete (NetID)



# Le classi

## Primo ottetto

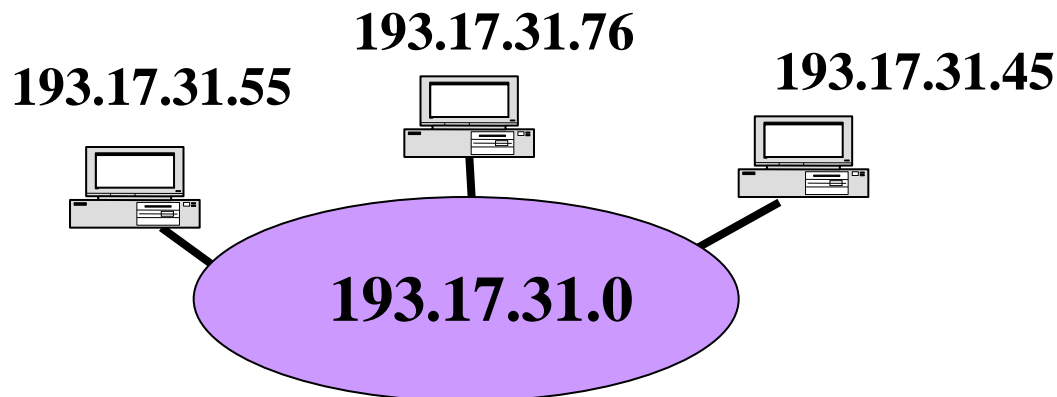


# Indirizzi speciali

---

## ■ Indirizzo di rete

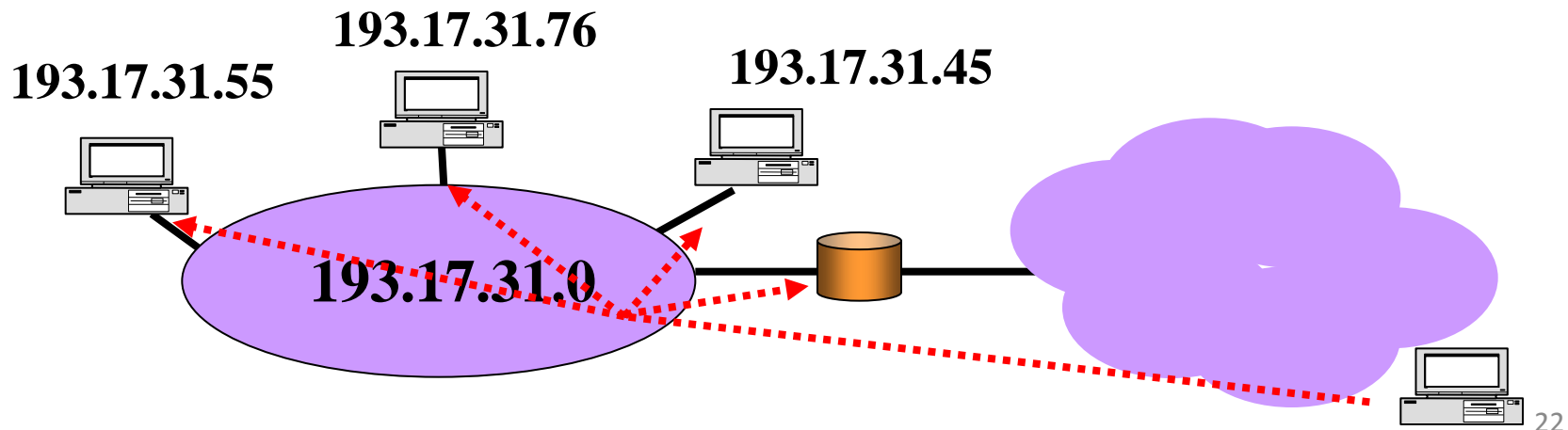
- L'indirizzo con il campo HostID posto a 0 serve ad indicare la rete il cui indirizzo è contenuto nel campo NetID (usato solo nelle tabelle di instradamento)
- Esempio:
  - rete in classe B: 131.175.0.0
  - rete in classe C: 193.17.31.0



# Indirizzi speciali

## ■ Indirizzo **broadcast diretto**

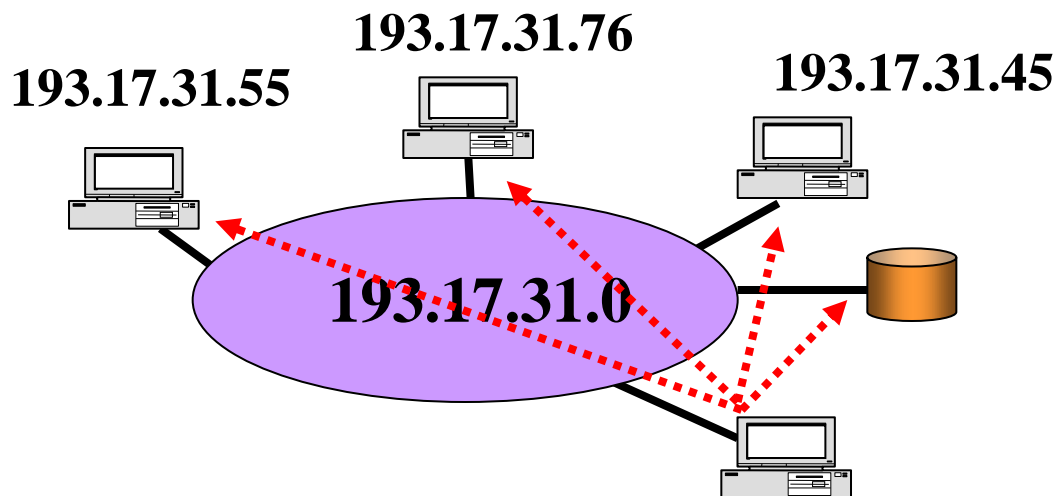
- Un indirizzo con il campo HostID di soli 1 assume il significato di indirizzo broadcast della rete indicata nel campo NetID
- Esempio: 193.17.31.255



# Indirizzi speciali

## ■ Indirizzo **broadcast limitato**

- Un indirizzo di tutti 1 (255.255.255.255) assume il significato di indirizzo broadcast nella stessa rete di chi invia il pacchetto
- Il pacchetto non può oltrepassare dei router



# Indirizzi speciali

---

- Quando il campo NetID è posto a zero, l'indirizzo indica l'host il cui indirizzo è contenuto nel campo host sulla stessa rete del mittente
  - Esempio: 0.0.21.173 (in una rete in classe B)
- Se anche il campo host è posto a zero l'indirizzo indica il mittente stesso del pacchetto (usato quando l'host non conosce il proprio indirizzo)
  - Esempio: 0.0.0.0
- Infine, l'indirizzo con il primo ottetto pari a 127 e gli altri campi qualsivoglia indica il loopback sullo stesso host (usato nei sistemi operativi per testare le funzionalità di rete)
  - Esempio: 127.0.0.1



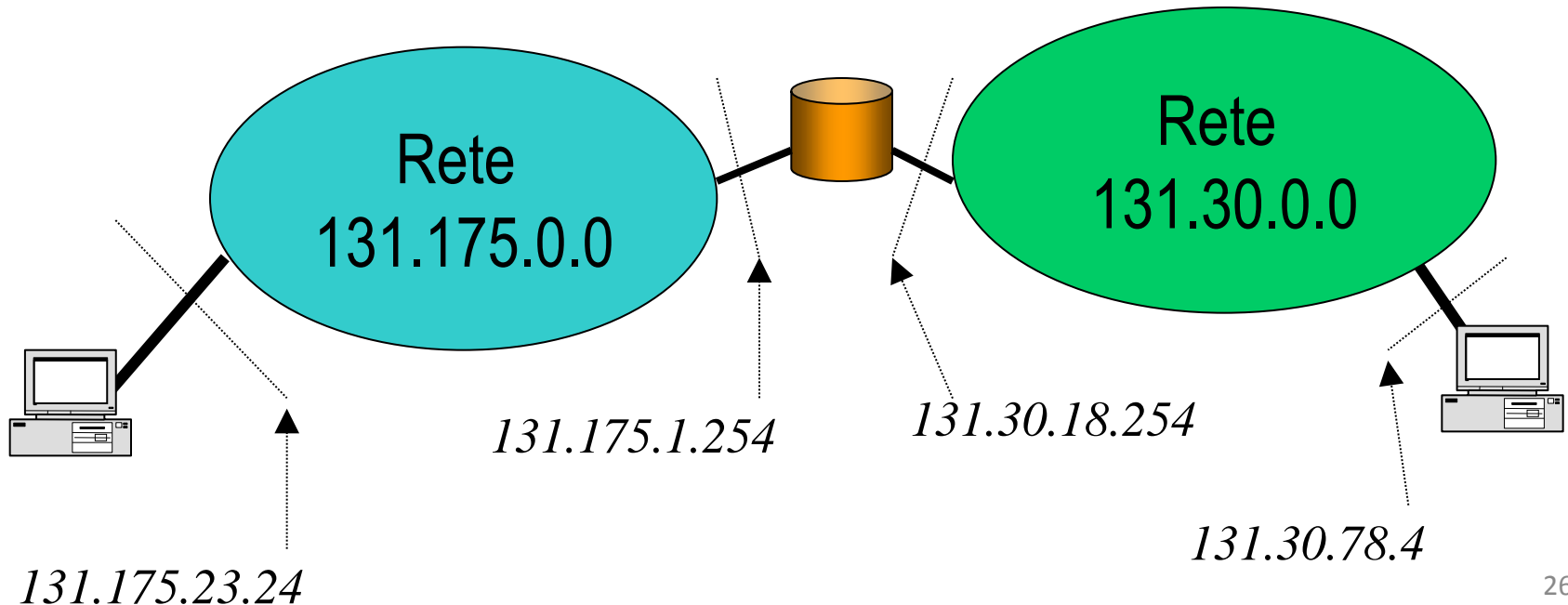
# Indirizzi Speciali: riassunto

Questo host	Tutti 0	
Host su questa rete	Tutti 0	HostID
Broadcast Limitato	Tutti 1	
Broadcast Diretto	NetID	Tutti 1
Loopback	127	Qualunque cosa

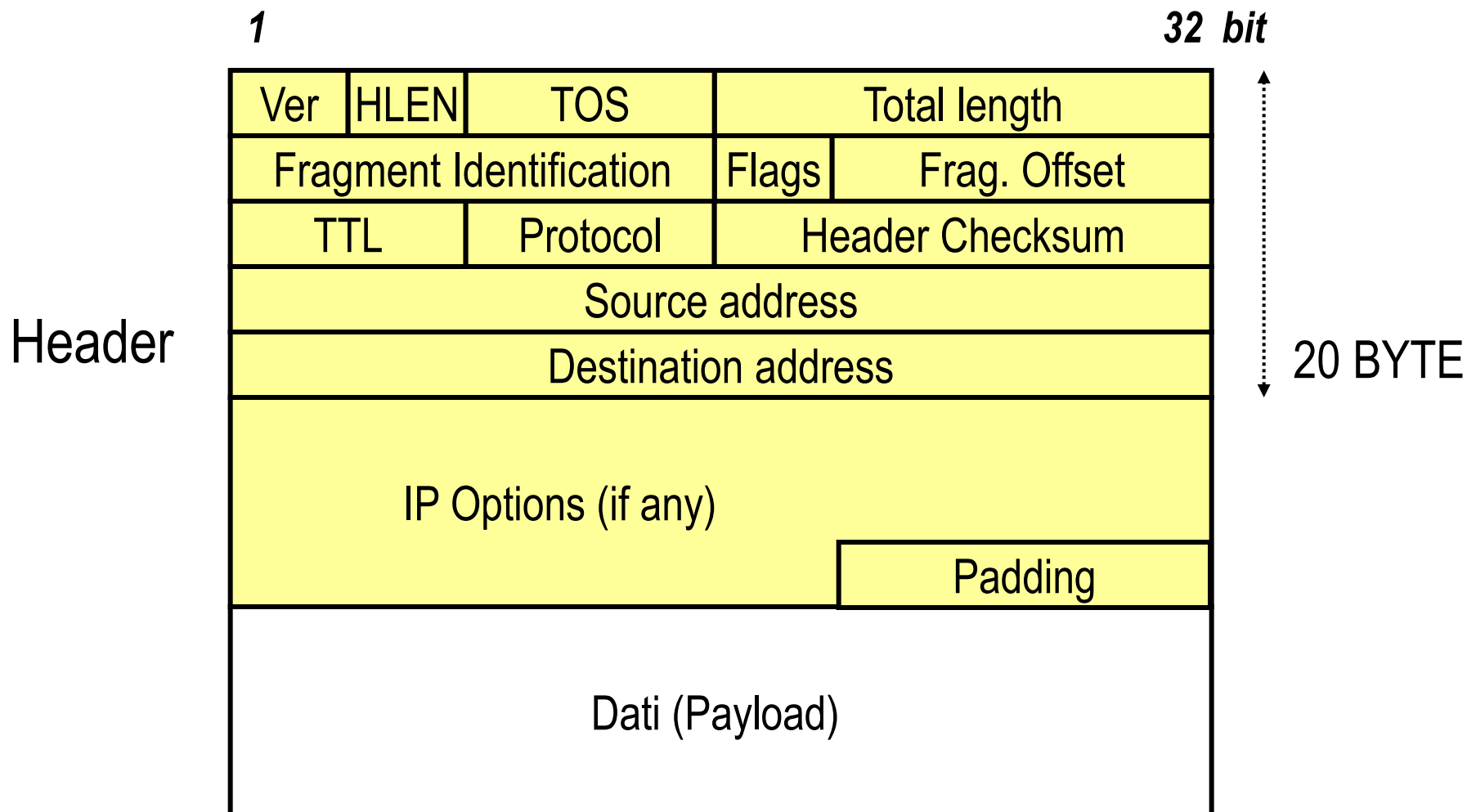
- I primi due indirizzi possono essere usati solo durante lo startup di sistema, e non rappresentano mai un indirizzo di destinazione valido
- Il 3° e 4° indirizzo non rappresentano mai un indirizzo sorgente valido
- Il 5° indirizzo non dovrebbe mai comparire in rete

# Indirizzamento IP

- L'indirizzo IP indica l'interfaccia di un dispositivo con la rete
- Se un dispositivo ha più interfacce su più reti deve avere un indirizzo per ciascuna interfaccia



# Il pacchetto IP (RFC 791)



# Il pacchetto IP

---

## ■ Ver (4 bit)

- Version: indica la versione del protocollo; quella che noi studiamo è la versione 4

## ■ HLEN (4 bit)

- Header length: indica la lunghezza dell'header del pacchetto (comprese opzioni e padding) espressa in parole da 32 bit (4 byte).  
Minimo valore valido: 5

## ■ TOS (8 bit)

- Type Of Service: un campo che adesso prende il nome di DS field (RFC 2474) e può essere utilizzato per la gestione delle priorità nelle code dei router

## ■ Total length (16 bit)

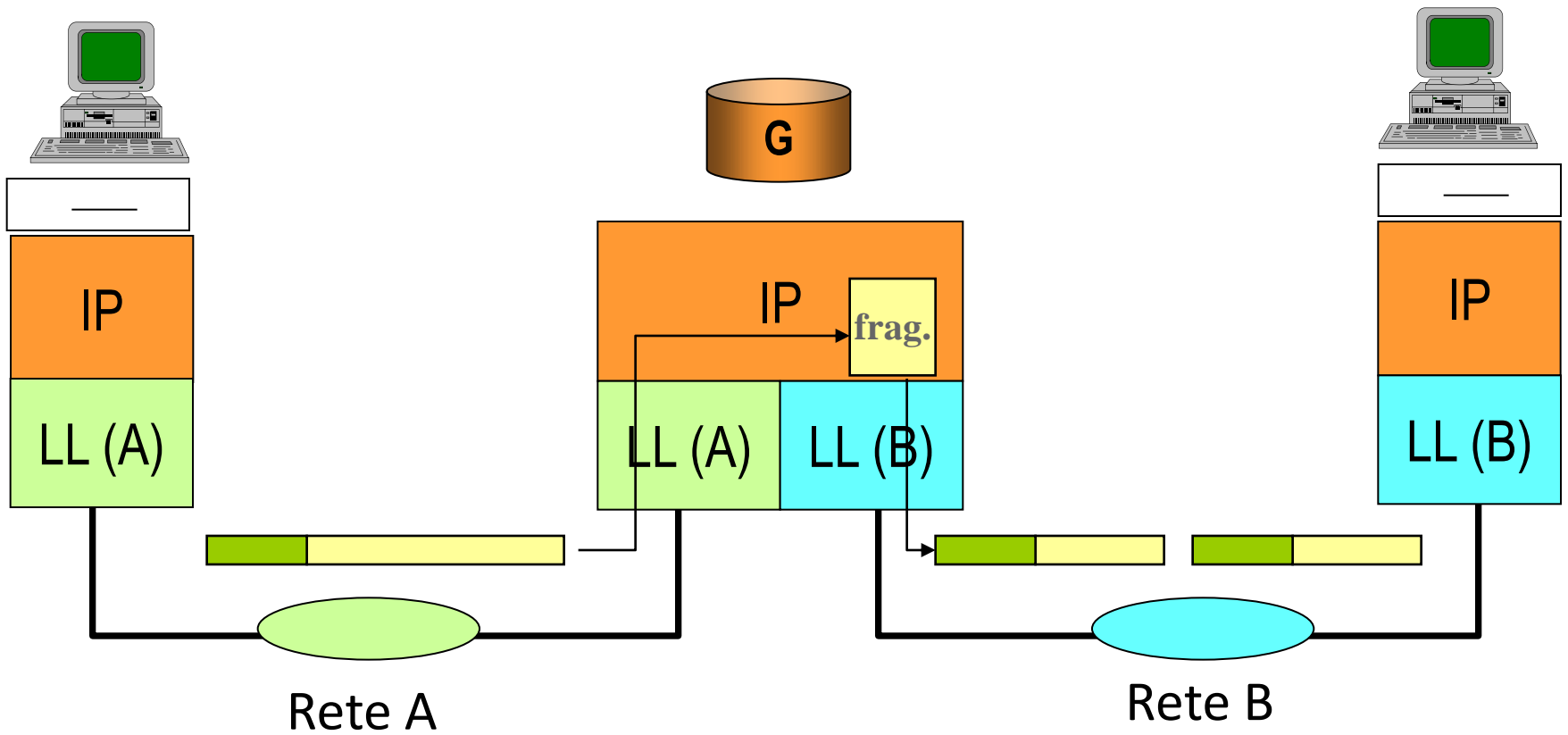
- Indica la lunghezza totale del pacchetto in byte: valore massimo  $2^{16}=65536$  byte
- Una volta sottratta la dimensione dell'header, si ha la lunghezza del payload

# La frammentazione

---

- Fragment Identification, Flags, Fragment Offset
  - Alcuni protocolli di livello inferiore a cui IP si appoggia richiedono una dimensione massima del pacchetto (MTU) inferiore a 65536 bytes (tipico l'esempio di Ethernet che accetta pacchetti fino a 1500 bytes)
  - Prima di passare il pacchetto al livello inferiore, IP divide il pacchetto in frammenti, ciascuno con il proprio header
  - I frammenti verranno ricomposti dall'entità IP del destinatario
  - I campi Fragment Identification, Flags e Fragment Offset sono usati per questo scopo

# La frammentazione



# La frammentazione

---

## ■ Identification (16 bit)

- Campo che identifica tutti i frammenti di uno stesso pacchetto in modo univoco
- E' scelto dall'IP Sender

## ■ Fragment Offset (13 bit)

- I byte del pacchetto originale sono numerati da 0 al valore della lunghezza totale, il campo Fragment Offset identifica la posizione del frammento nel datagramma IP originale (in multipli di 8 byte)
- Il primo frammento ha Offset pari a 0
- Ad esempio: se un pacchetto di 2000 byte viene diviso in due da 1000 il primo frammento avrà un offset pari a 0 e il secondo pari a 1000 (ovvero: nel campo Fragment Offset del secondo troveremo scritto  $1000/8=125$ )

# La frammentazione

---

## ■ Flags (3 bit)

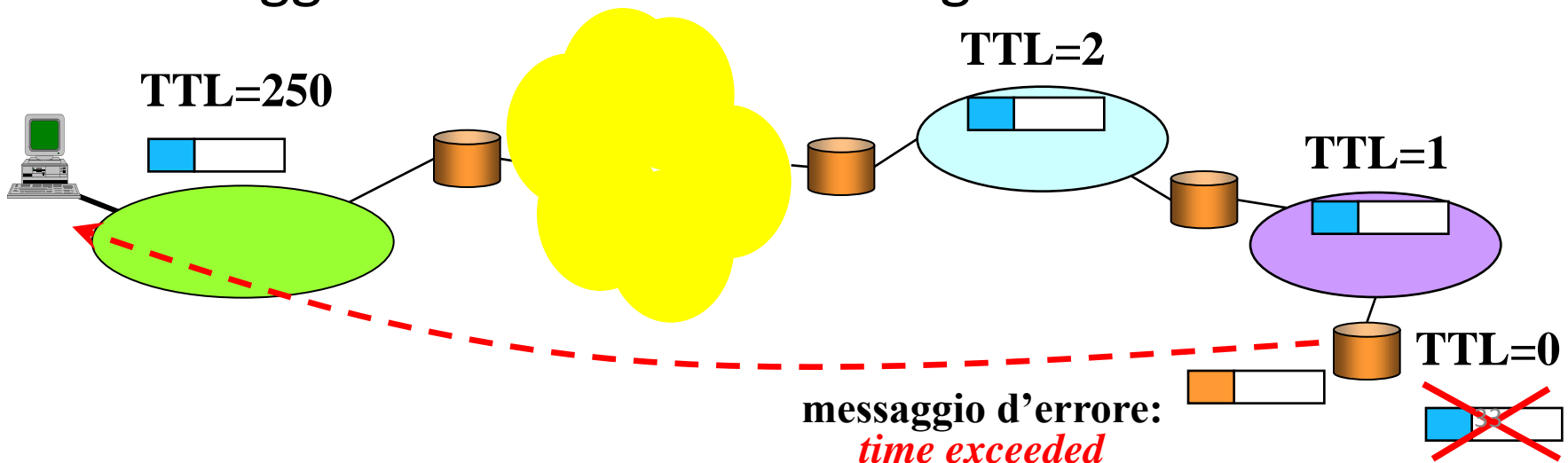


- Il primo bit è riservato e deve contenere 0
- Il bit D viene posto a 1 quando non si vuole che lungo il percorso venga applicata la frammentazione
  - In questo caso se la frammentazione fosse necessaria non viene applicata ma viene generato un messaggio di errore
- Il bit M (More) è pari a 0 solo nell'ultimo frammento (last fragment), ad 1 negli altri (more fragments)



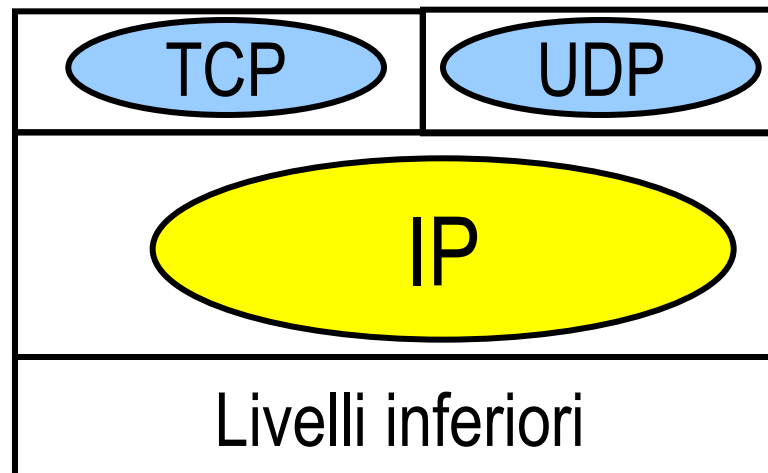
# TTL (Time To Live) (8 bit)

- Il campo TTL viene settato ad un valore elevato da chi genera il pacchetto e viene decrementato da ogni router attraversato
- Se un router decrementa il valore e questo va a zero, il pacchetto viene scartato e viene generato un messaggio di errore verso la sorgente



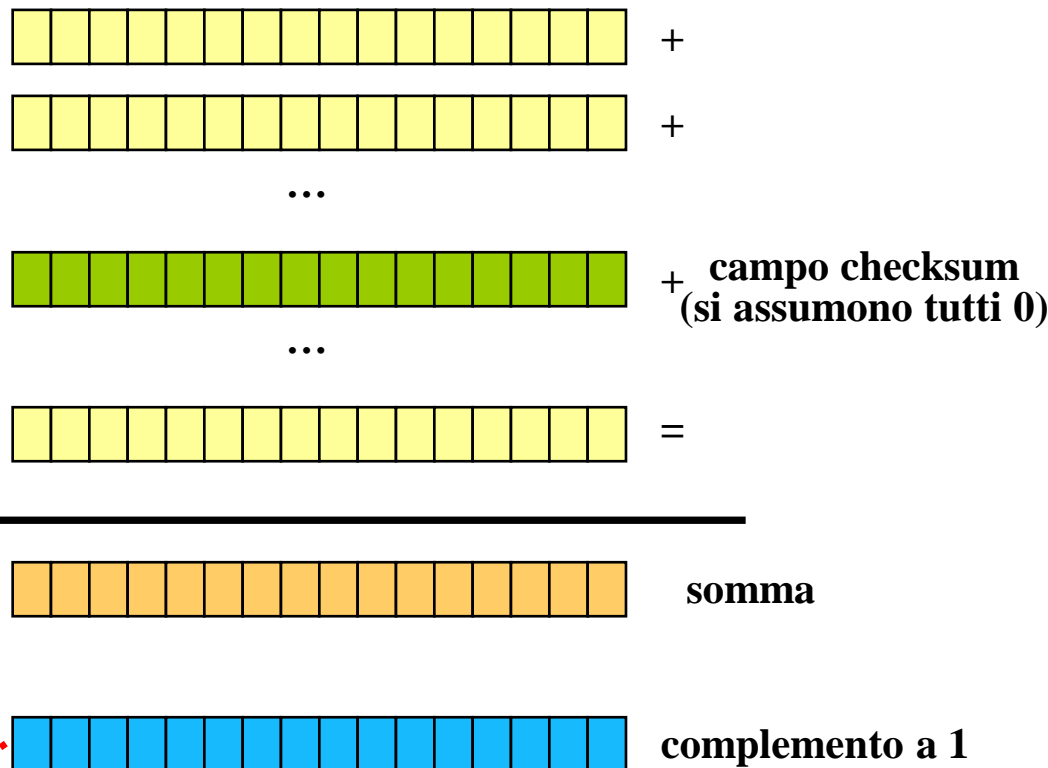
# Protocol (8 bit)

- E' un codice che indica il protocollo di livello superiore (RFC 790)
- Esempio: ICMP=1, TCP=6 ...
- Più protocolli di livello superiore possono usare IP (multiplazione)



# Checksum (16 bit)

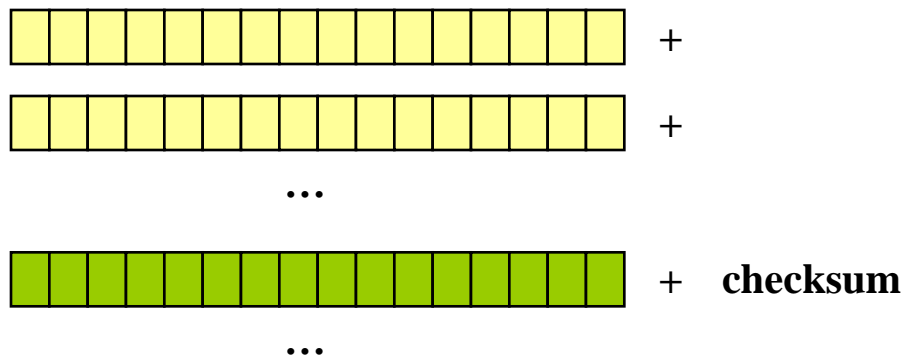
- Serve per individuare eventuali errori nell'header (*integrità dell'header*)
- Viene calcolato dal mittente e controllato ad ogni hop



- L'**header** viene diviso in blocchi di 16 bit
- Viene fatta la somma modulo 2 dei bit corrispondenti in ciascun blocco
- Il risultato viene complementato e quindi inserito nel campo checksum

# Checksum

- In ricezione si calcola la somma e si verifica il complemento:



- Se il risultato è tutti 0 il pacchetto viene accettato
- Altrimenti viene scartato

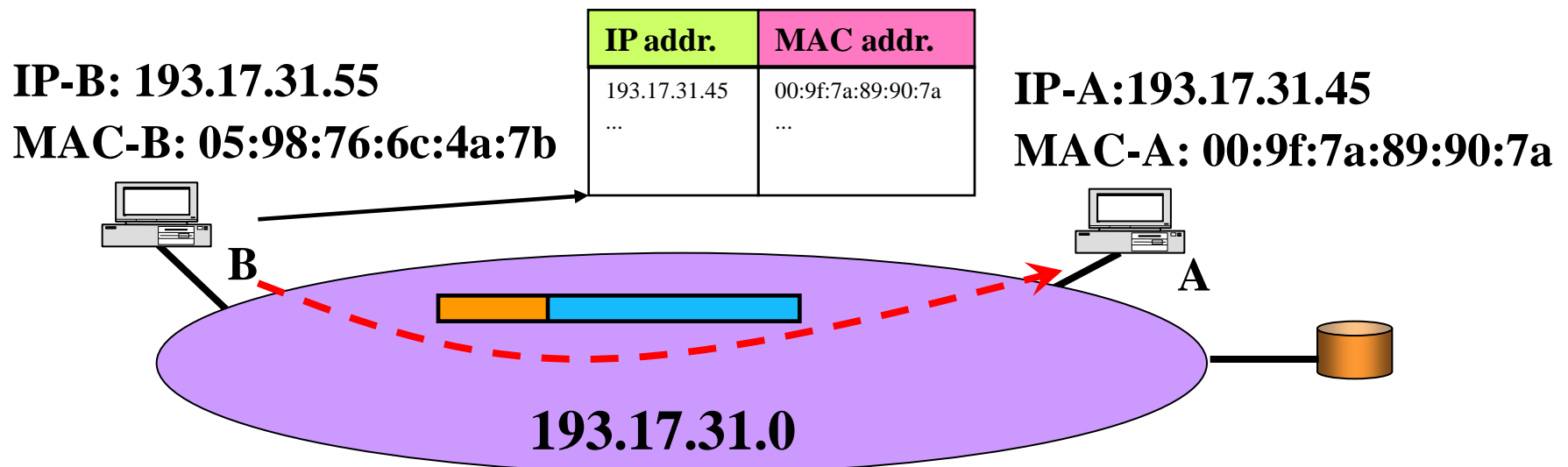
# Checksum

---

- Nota: poiché esistono campi dell'header IP che cambiano a mano a mano che il pacchetto viene inoltrato (es. Time To Live, TTL), ogni entità IP lungo il percorso ricalcola il checksum
- L'entità IP del nodo successivo può così verificare l'integrità dell'header ed accettare o meno il pacchetto IP

# Corrispondenza tra indirizzi IP e indirizzi fisici

- E' necessaria una tabella di corrispondenza tra indirizzi IP e indirizzi di livello inferiore (indirizzi fisici, es. MAC address)
- Queste tabelle vengono create dinamicamente da ciascun host mediante il protocollo ARP



# ARP (Address Resolution Protocol)

---

- Il meccanismo si basa sulla capacità di indirizzamento broadcast della rete locale
- Quando nella tabella memorizzata nell'host (denominata *ARP-cache*) non è presente l'indirizzo cercato, viene generato un messaggio di **ARP-request**
- La ARP-request viene inviata in broadcast e contiene l'indirizzo IP di cui si chiede il corrispondente indirizzo MAC
- L'host che riconosce l'indirizzo IP come proprio invia una **ARP-reply** direttamente a chi aveva inviato la richiesta, con l'indicazione dell'indirizzo MAC

# ARP

IP addr.	MAC addr.
...	...

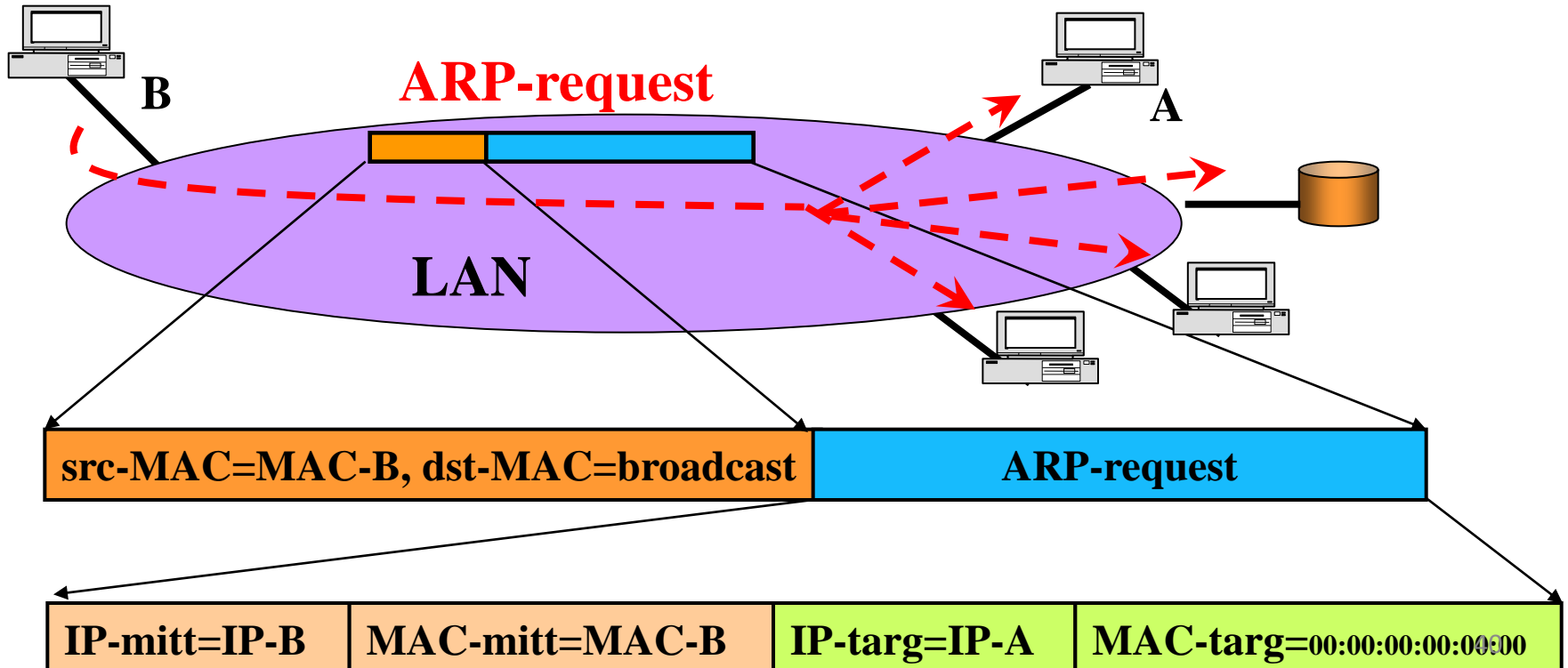
MAC broadcast:  
ff:ff:ff:ff:ff:ff

IP-B: 193.17.31.55

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

IP-A: 193.17.31.45

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





# ARP

IP addr.	MAC addr.
...	...

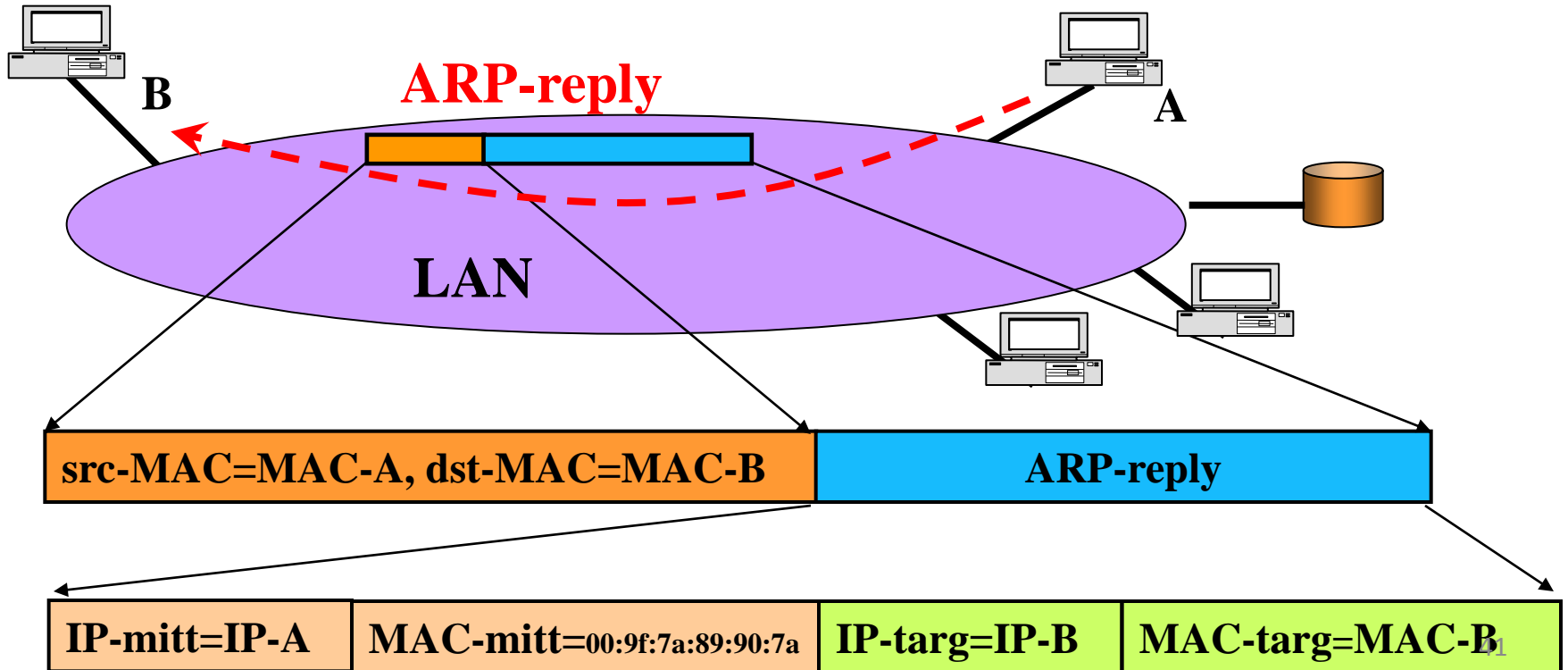
MAC broadcast:  
ff:ff:ff:ff:ff:ff

IP-B: 193.17.31.55

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

IP-A: 193.17.31.45

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



# Indirizzi dinamici

---

- L'uso di un protocollo come ARP ha suggerito la possibilità di usare procedure per associare in modo flessibile gli indirizzi IP agli indirizzi fisici
- Può essere comodo non configurare i singoli host manualmente con un indirizzo IP, ma usare un server per memorizzare tutte le configurazioni
- In molti casi non è necessario avere un'associazione stabile tra i due indirizzi ma si può usare un'associazione dinamica (più host degli indirizzi disponibili)
  - Host spesso inattivi
  - Host che usano IP solo per rari scambi di informazioni

# Indirizzi dinamici

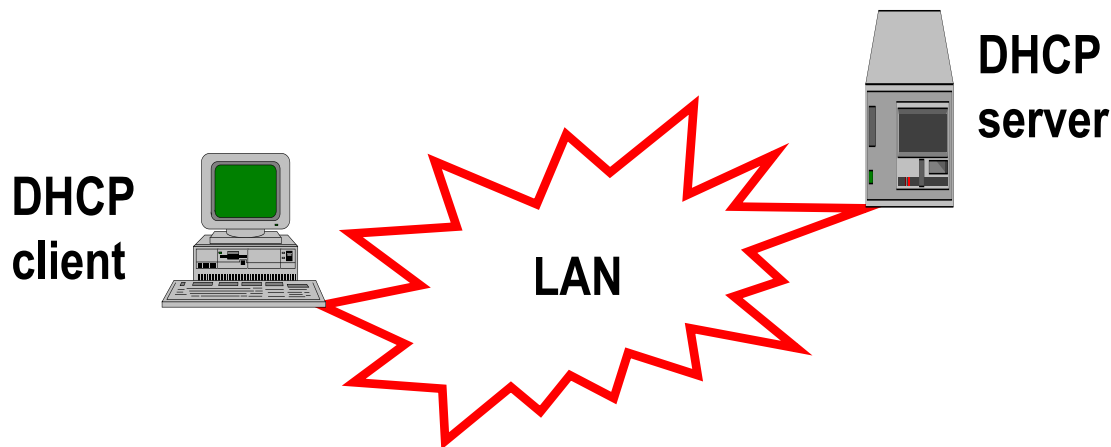
---

- Il caso dell'associazione dinamica è utile in situazioni nelle quali gli host non necessitano di avere sempre un indirizzo IP
- L'associazione deve essere temporanea (uso di timeout o procedure di rilascio esplicito)
- E' possibile che all'arrivo di una richiesta non vi siano indirizzi disponibili (rifiuto della richiesta)

# Dynamic Host Configuration Protocol (DHCP)

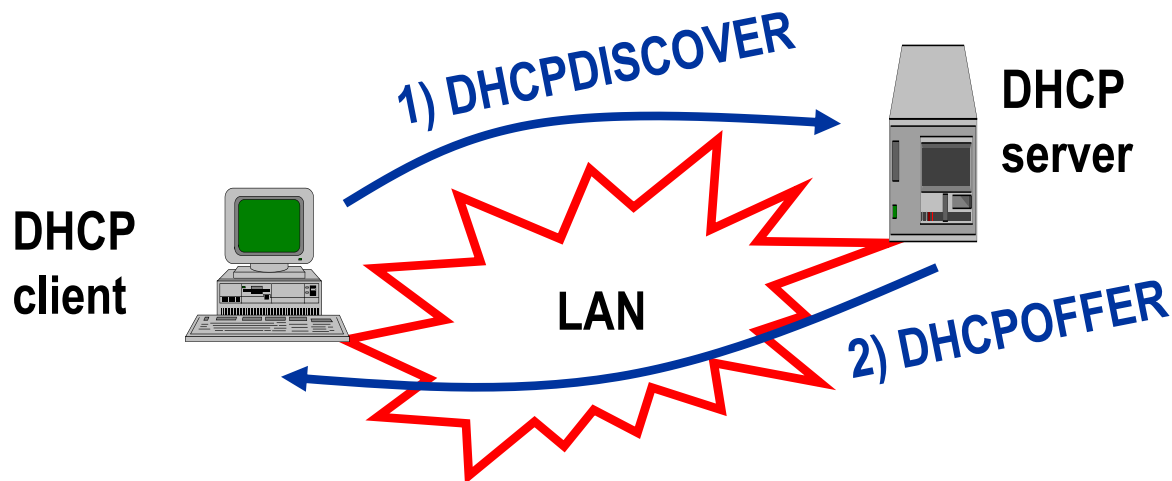
---

- Per la configurazione di indirizzi IP dinamici si utilizza il protocollo DHCP
- E' un protocollo di tipo client-server



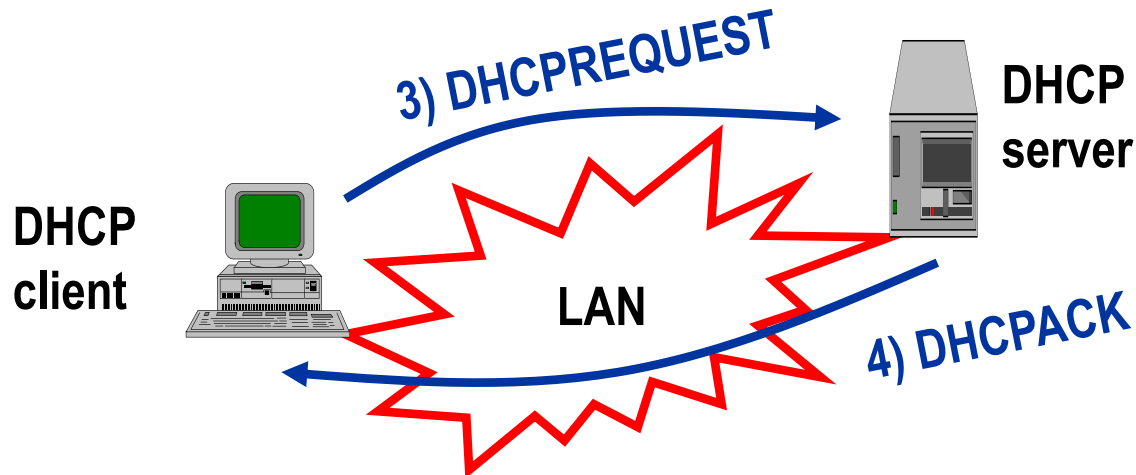
# DHCP

- Un client DHCP che vuole ottenere una configurazione IP invia in broadcast un messaggio di DHCPDISCOVER contenente il proprio indirizzo fisico
- Il server DHCP risponde con un messaggio di DHCPOFFER contenente il proprio identificativo e un indirizzo IP proposto



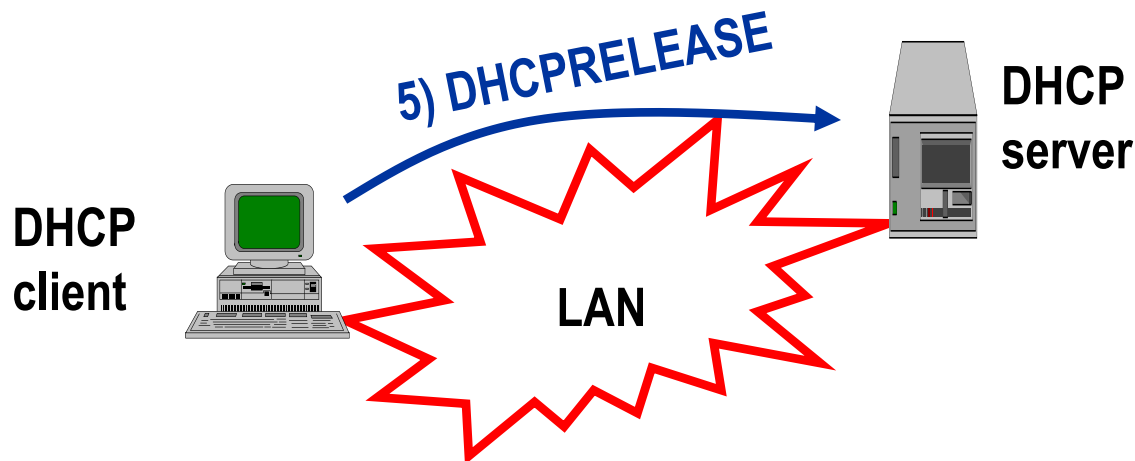
# DHCP

- Il client DHCP può accettare l'offerta inviando una DHCPREQUEST contenente l'identificativo del server (anche questo messaggio viene inviato in broadcast)
- Il server crea l'associazione con l'indirizzo IP e manda un messaggio di DHCPACK contenente tutte le informazioni di configurazione necessarie



# DHCP

- Parametri di configurazione
  - IP address
  - Netmask
  - Default Gateway
  - DNS server
- Il rilascio dell'indirizzo avviene con l'invio di un messaggio di DHCPRELEASE da parte del client



# Indirizzi IPv4 come risorsa scarsa

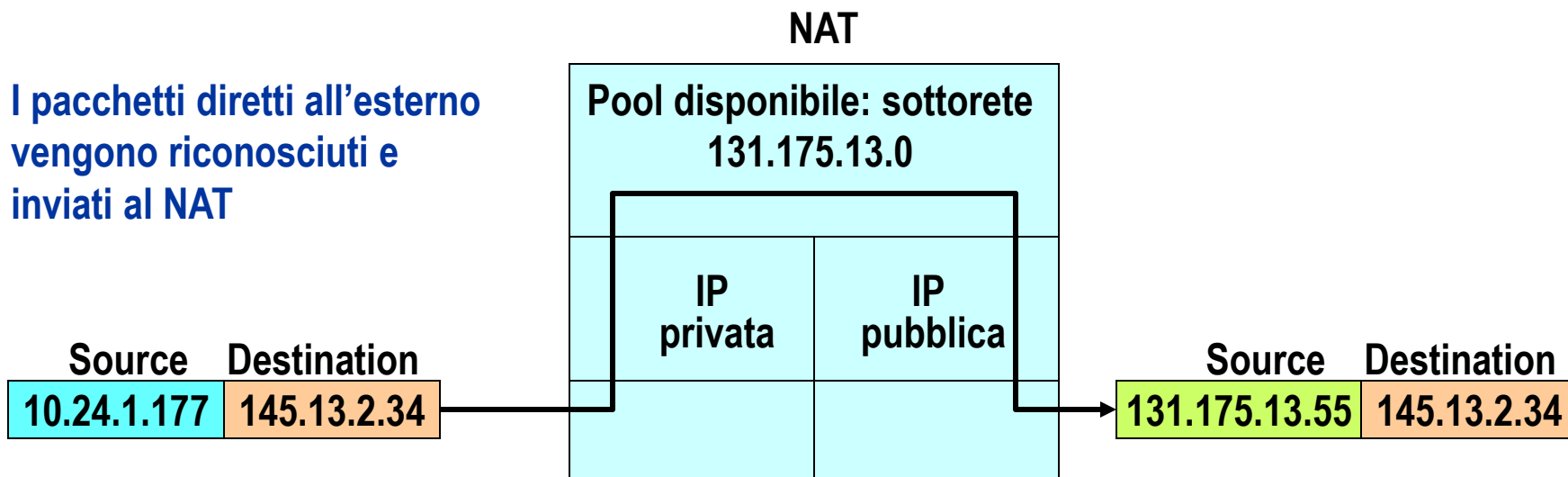
---

- L'aumento vertiginoso del numero di host collegati ad Internet ha reso il problema della disponibilità di indirizzi IPv4 pressante
- E' questo problema che ha spinto alla standardizzazione di IPv6
- Nel frattempo però si è trovata un'altra soluzione basata su **indirizzi privati**
- Non è ammesso che pacchetti con indirizzi privati (sorgente o destinazione) viaggino nella rete pubblica
  - Classe A: rete 10.xx.xx.xx
  - Classe B: da 172.16.0.0 a 172.31.255.255
  - Classe C: reti 192.168.xx.xx
- E' necessario uno strumento che permetta a host con indirizzi privati di interfacciarsi a Internet



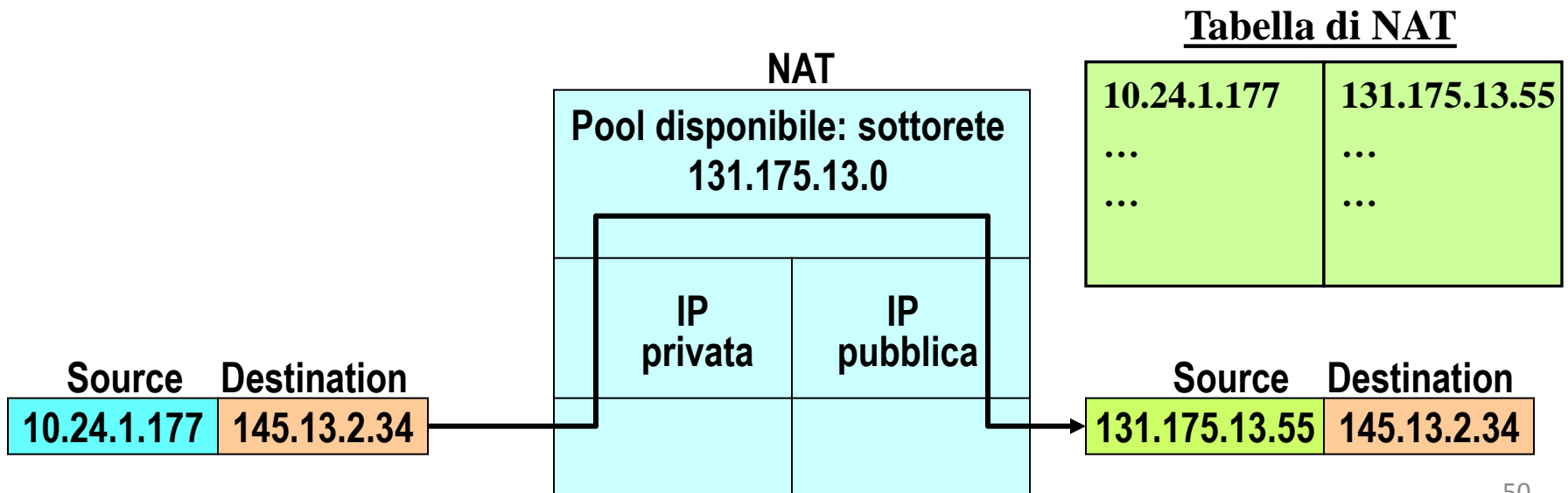
# Network Address Translator (NAT)

- NAT è un protocollo che consente di associare un ridotto numero di indirizzi pubblici agli indirizzi privati associati agli host



# NAT – Tabella di NAT

- Perché il colloquio sia bidirezionale occorre mantenere l'associazione tra indirizzo privato e pubblico un una tabella di NAT
  - Corrispondenza statica
  - Corrispondenza dinamica



# NAT – Assegnamento dinamico

---

- L'assegnamento dinamico si basa sul concetto di *sessione*
- Quando il NAT vede il primo pacchetto di una sessione crea l'associazione tra indirizzo privato e l'indirizzo pubblico
- Al termine della sessione l'indirizzo viene rilasciato
- Come viene identificata una sessione
  - Dipende dal protocollo utilizzato
  - Per TCP e UDP una sessione viene identificata dall'indirizzo di socket

# Traditional NAT

---

## ■ 2 sotto-tipi

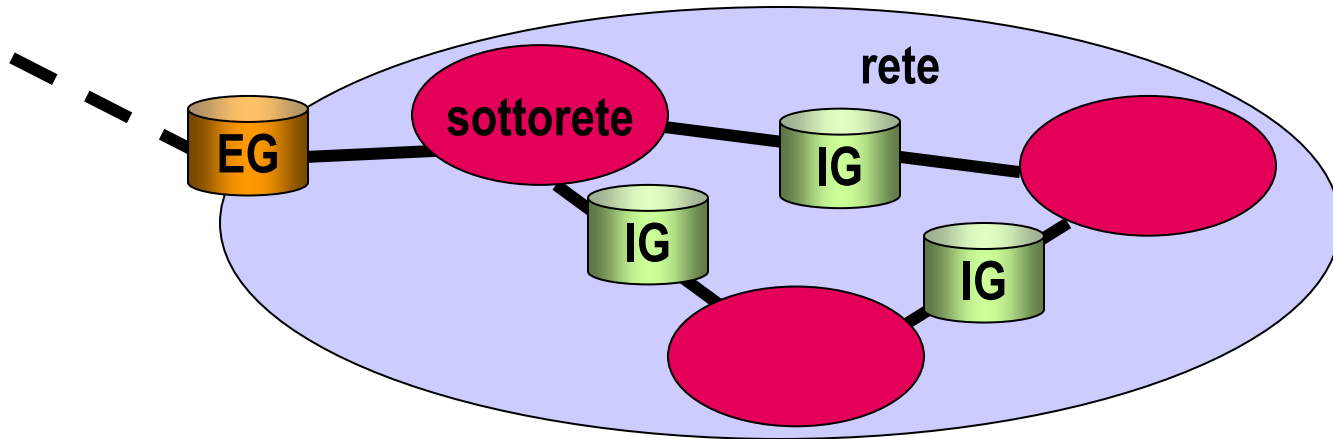
### ■ Basic NAT

- C'è una corrispondenza uno-a-uno nell'assegnamento degli indirizzi durante una sessione e due host non possono usare lo stesso indirizzo contemporaneamente
- Ci può essere blocco a causa del numero scarso di indirizzi pubblici quando il traffico (numero di sessioni attive) è elevato

### ■ NAPT (Network Address Port Translator)

- Viene traslata la coppia (indirizzo, porta)
- Molti indirizzi interni possono usare lo stesso indirizzo esterno

# Intranet

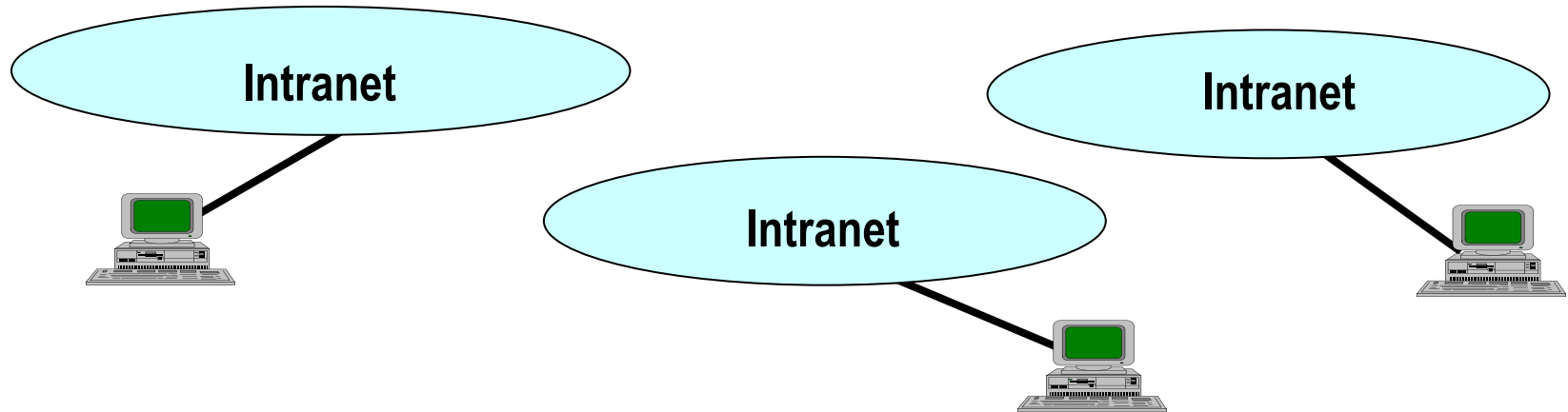


- Una Intranet non è altro che una rete privata che utilizza tecnologia di interconnessione IP
- Di solito oggi con Intranet si intende una rete IP collegata con la rete pubblica Internet e dotata di servizi per gli utenti di Internet come server www, server di posta, ecc.
- Spesso le Intranet utilizzano indirizzi IP privati

# Connessione WAN di Intranet

---

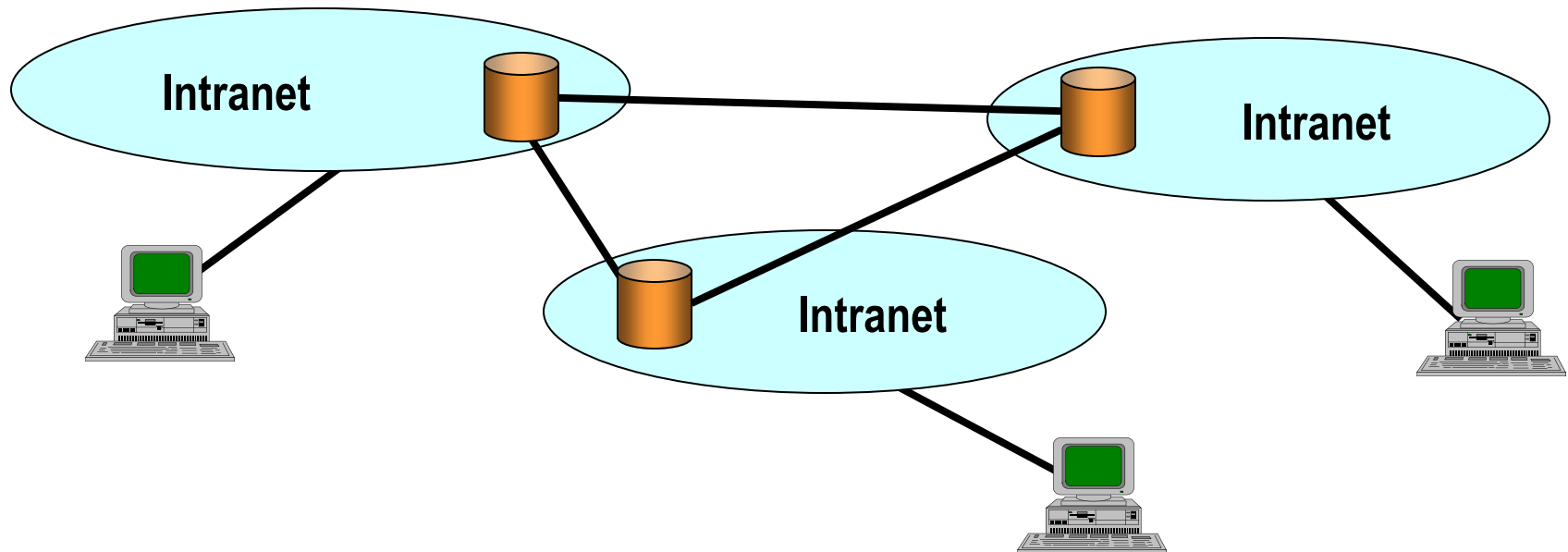
- Una volta create delle reti locali (Intranet) può sorgere il problema di collegarle tra loro (ad es. sedi diverse di una stessa azienda)



# Connessione WAN di Intranet

## 1. Uso di link dedicati

- Problema: l'uso può non giustificare il costo elevato

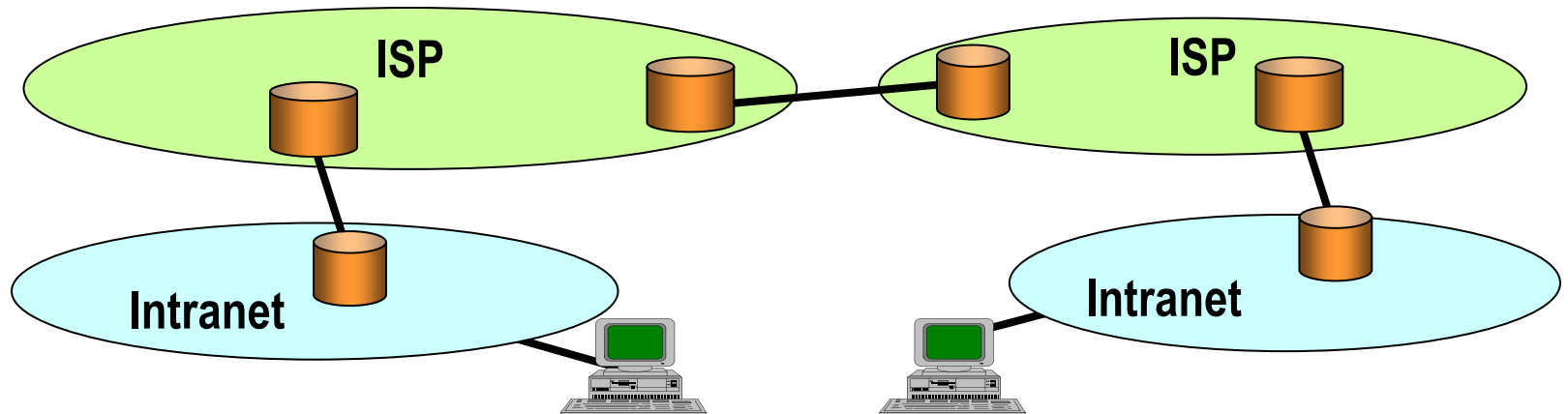


# Connessione WAN di Intranet

## 2. Uso di Internet

### ■ Problemi

- Uso di indirizzi privati
- Sicurezza

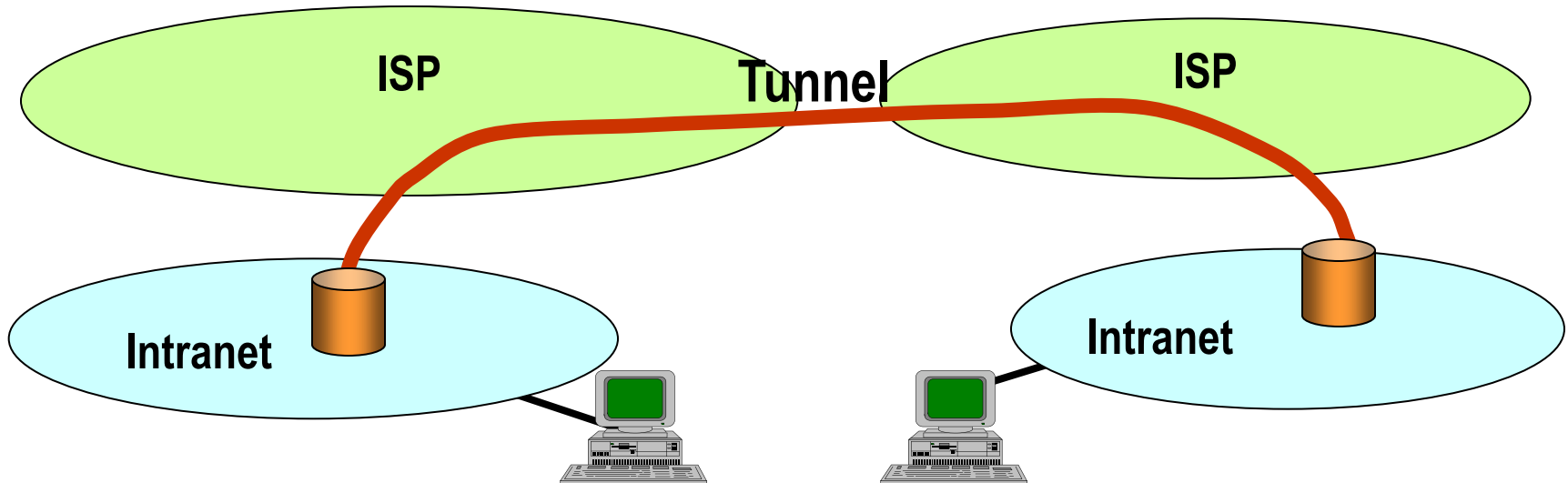




# Virtual Private Network

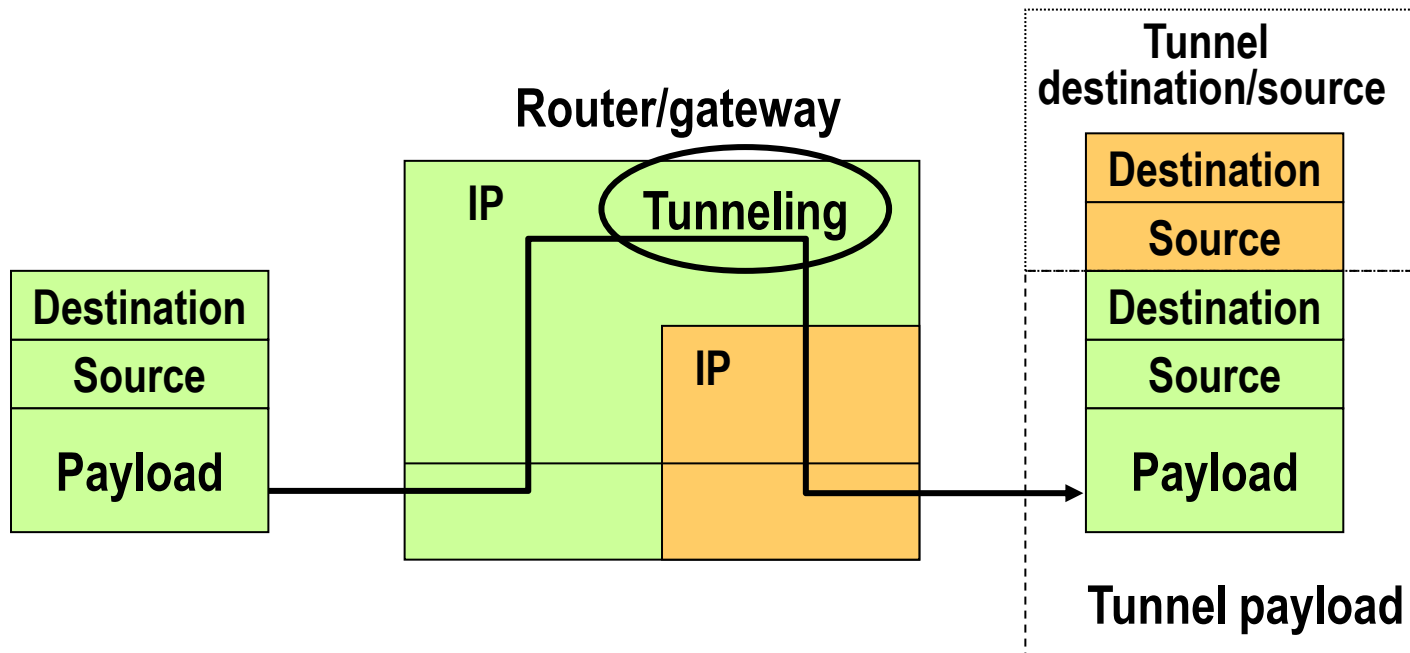
## 3. Tunnel di collegamento

- Creazione di Virtual Private Network (VPN)

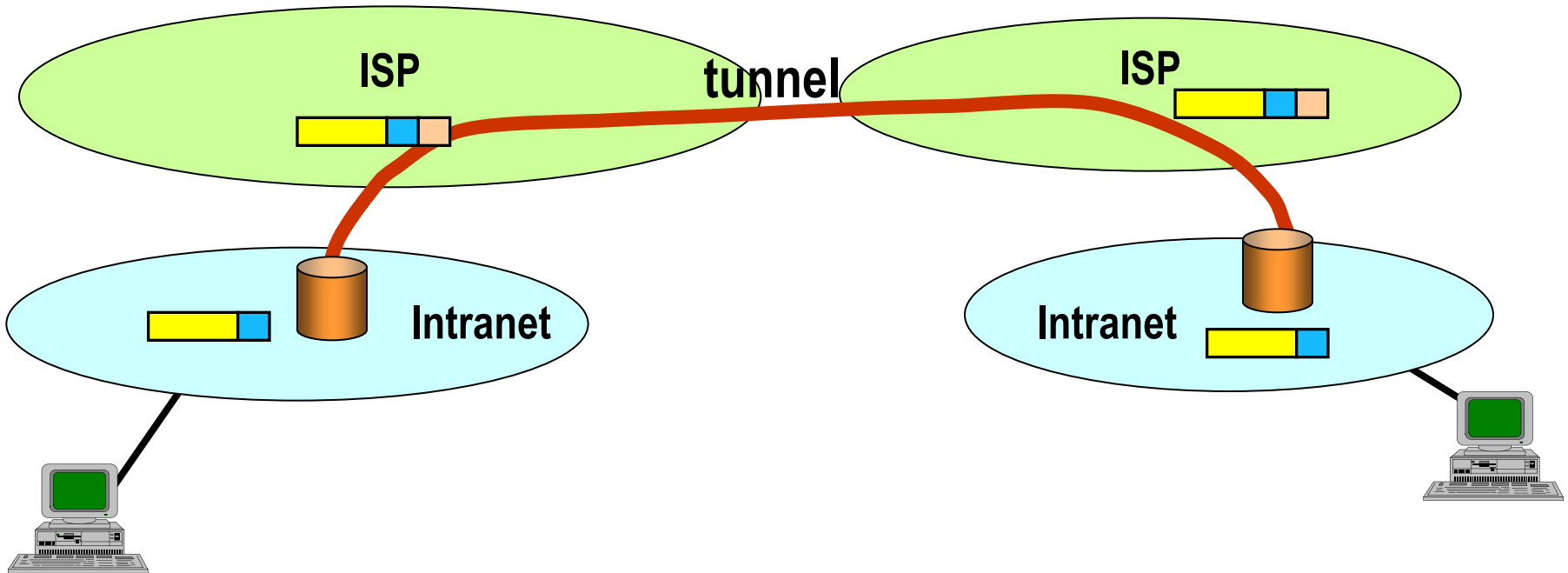


# IP tunneling

- Il tunnel si costruisce incapsulando pacchetti IP in altri pacchetti IP
- Il payload che viaggia nel segmento pubblico può essere cifrato
- Gli indirizzi A e B possono essere privati



# IP tunneling



# Ulteriore materiale didattico di ripasso

---

- Materiale del corso di **Fondamenti di Reti e Telecomunicazione** del prof. Giuseppe Federico Rossi (<http://cs.unibg.it/giusepperossi/aa2014-15/frt-1415.html>)
  - Materiale per un ripasso approfondito dei concetti base riguardanti le reti di telecomunicazione e i protocolli IPv4 e IPv6
- Libro di testo
  - A. Tanenbaum, Reti di Calcolatori, Ed. Pearson Education International
  - Versione in inglese: A. Tanenbaum, Computer Networks, 5th Edition