

Capitolo 4

Livello di rete

Nota per l'utilizzo:

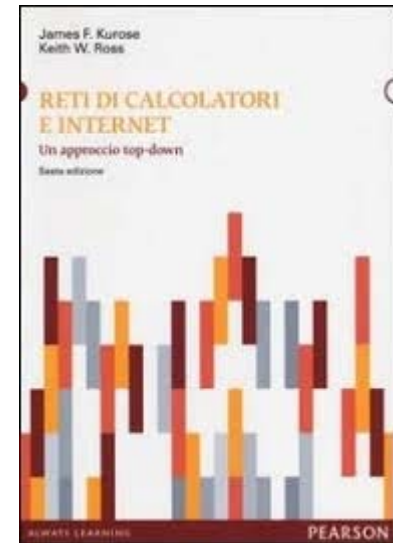
Abbiamo preparato queste slide con l'intenzione di renderle disponibili a tutti (professori, studenti, lettori). Sono in formato PowerPoint in modo che voi possiate aggiungere e cancellare slide (compresa questa) o modificarne il contenuto in base alle vostre esigenze.

Come potete facilmente immaginare, da parte nostra abbiamo fatto *un sacco* di lavoro. In cambio, vi chiediamo solo di rispettare le seguenti condizioni:

- se utilizzate queste slide (ad esempio, in aula) in una forma sostanzialmente inalterata, fate riferimento alla fonte (dopo tutto, ci piacerebbe che la gente usasse il nostro libro!)
- se rendete disponibili queste slide in una forma sostanzialmente inalterata su un sito web, indicate che si tratta di un adattamento (o che sono identiche) delle nostre slide, e inserite la nota relativa al copyright.

Thanks and enjoy! JFK/KWR

All material copyright 1996-2007
J.F Kurose and K.W. Ross, All Rights Reserved



*Reti di calcolatori e Internet:
Un approccio top-down*

6^a edizione
Jim Kurose, Keith Ross

Pearson Paravia Bruno Mondadori Spa
©2013

Capitolo 4: Livello di rete

Obiettivi del capitolo:

- ❑ Capire i principi che stanno dietro i servizi del livello di rete:
 - Instradamento (scelta del percorso)
 - Scalabilità
 - Funzionamento di un router
 - Argomenti avanzati: IPv6, mobilità
- ❑ Implementazione in Internet

Capitolo 4: Livello di rete

4.1 Introduzione

4.2 Reti a circuito virtuale e a datagramma

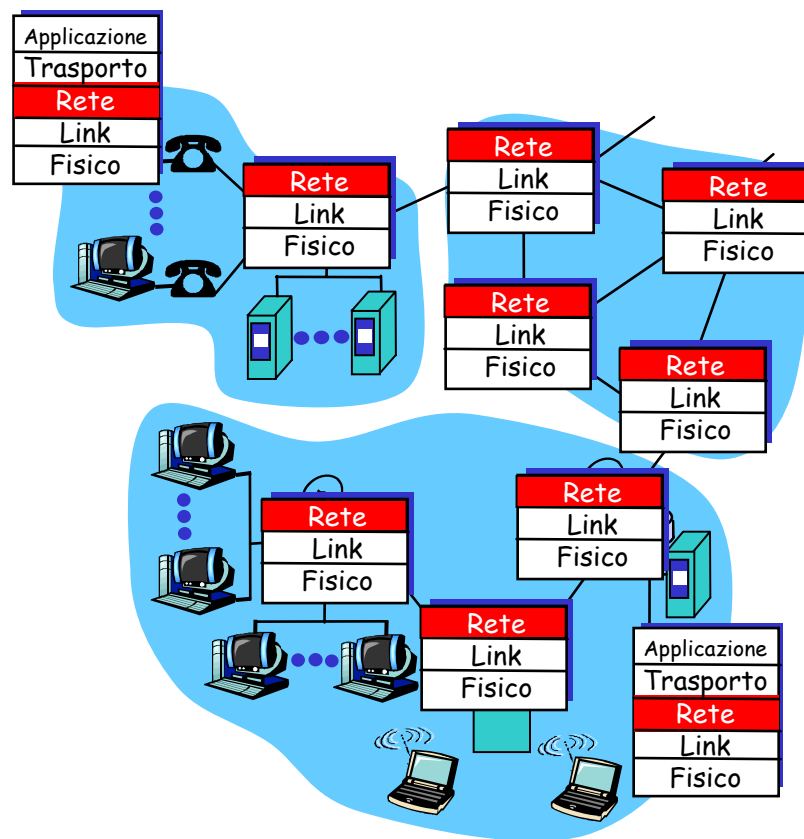
4.3 Che cosa si trova all'interno di un router?

4.4 Protocollo Internet (IP)

- Formato dei datagrammi
- Indirizzamento IPv4
- ICMP
- IPv6

Livello di rete

- ❑ Il livello di rete prende i segmenti dal livello di trasporto nell'host mittente
- ❑ Sul lato mittente, incapsula i segmenti in datagrammi
- ❑ Sul lato destinatario, consegna i segmenti al livello di trasporto
- ❑ Protocolli del livello di rete in *ogni* host, router
- ❑ Il router esamina i campi intestazione in tutti i datagrammi IP che lo attraversano



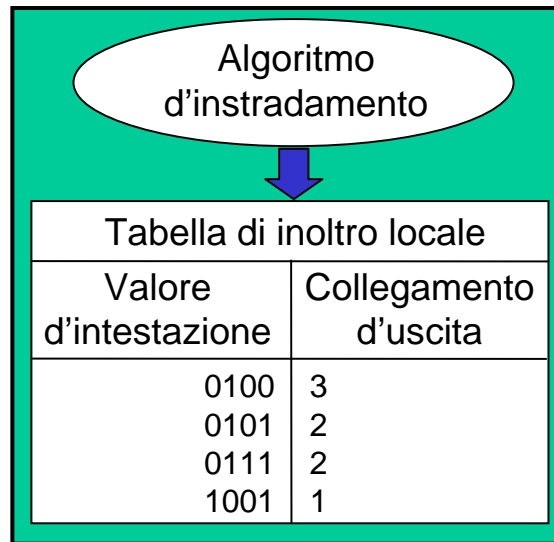
Funzioni chiave del livello di rete

- *Inoltro (forwarding)*: trasferisce i pacchetti dall'input di un router all'output del router appropriato
- *Instradamento (routing)*: determina il percorso seguito dai pacchetti dall'origine alla destinazione
 - *Algoritmi d'instradamento*

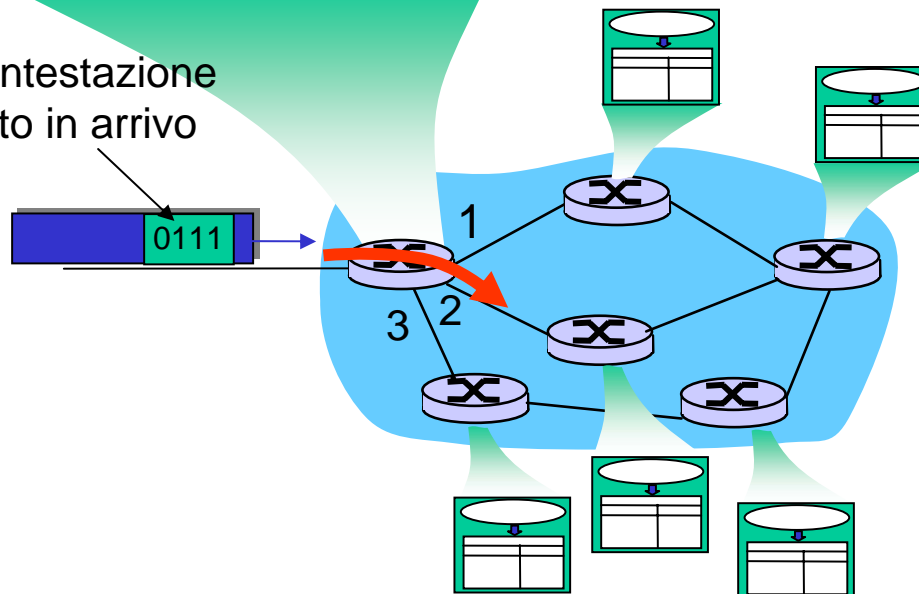
analogia:

- *instradamento*: processo di pianificazione di un viaggio dall'origine alla destinazione
- *inoltro*: processo di attraversamento di un determinato svincolo

Instradamento e inoltr



Valore nell'intestazione del pacchetto in arrivo



Impostazione della connessione

- ❑ Terza funzione importante in *qualche* architettura a livello di rete:
 - ATM, frame relay, X.25
- ❑ Prima che i datagrammi fluiscano, due host e i router stabiliscono una connessione virtuale
 - i router vengono coinvolti
- ❑ Servizio di connessione tra livello di trasporto e livello di rete:
 - **Rete:** tra due host
 - **Trasporto:** tra due processi

Modello di servizio del livello di rete

D: Qual è il *modello di servizio* per il "canale" che trasporta i datagrammi dal mittente al destinatario?

Servizi per un singolo datagramma:

- Consegna garantita
- Consegna garantita con un ritardo inferiore a 40 msec

Servizi per un flusso di datagrammi:

- Consegna in ordine
- Minima ampiezza di banda garantita
- Restrizioni sul lasso di tempo tra la trasmissione di due pacchetti consecutivi

Capitolo 4: Livello di rete

4.1 Introduzione

4.2 Reti a circuito virtuale e a datagramma

4.3 Che cosa si trova all'interno di un router?

4.4 Protocollo Internet (IP)

- Formato dei datagrammi
- Indirizzamento IPv4
- ICMP
- IPv6

Reti a circuito virtuale e a datagramma

- ❑ Reti a datagramma offrono solo il servizio senza connessione.
- ❑ Reti a circuito virtuale (VC) mettono a disposizione solo il servizio con connessione.
- ❑ Ci sono alcune analogie con quanto avviene a livello di trasporto ma:
 - **Servizio:** da host a host
 - **Non si può scegliere:** il livello di rete offre un servizio senza connessione o con connessione ma non entrambi
 - **Le implementazioni:** sono fundamentalmente diverse.

Reti a circuito virtuale

“il percorso tra origine e destinazione si comporta in modo analogo a un circuito telefonico”

- ❑ Il pacchetto di un circuito virtuale ha un numero VC nella propria intestazione.
- ❑ Un circuito virtuale può avere un numero VC diverso su ogni collegamento.
- ❑ Ogni router sostituisce il numero VC con un nuovo numero.

Reti a datagramma

- ❑ L'impostazione della chiamata non avviene a livello di rete
- ❑ I router della rete a datagramma non conservano informazioni sullo stato dei circuiti virtuali (perché non ce ne sono).
- ❑ I pacchetti vengono inoltrati utilizzando l'indirizzo dell'host destinatario.
 - I pacchetti passano attraverso una serie di router che utilizzano gli indirizzi di destinazione per inviarli.

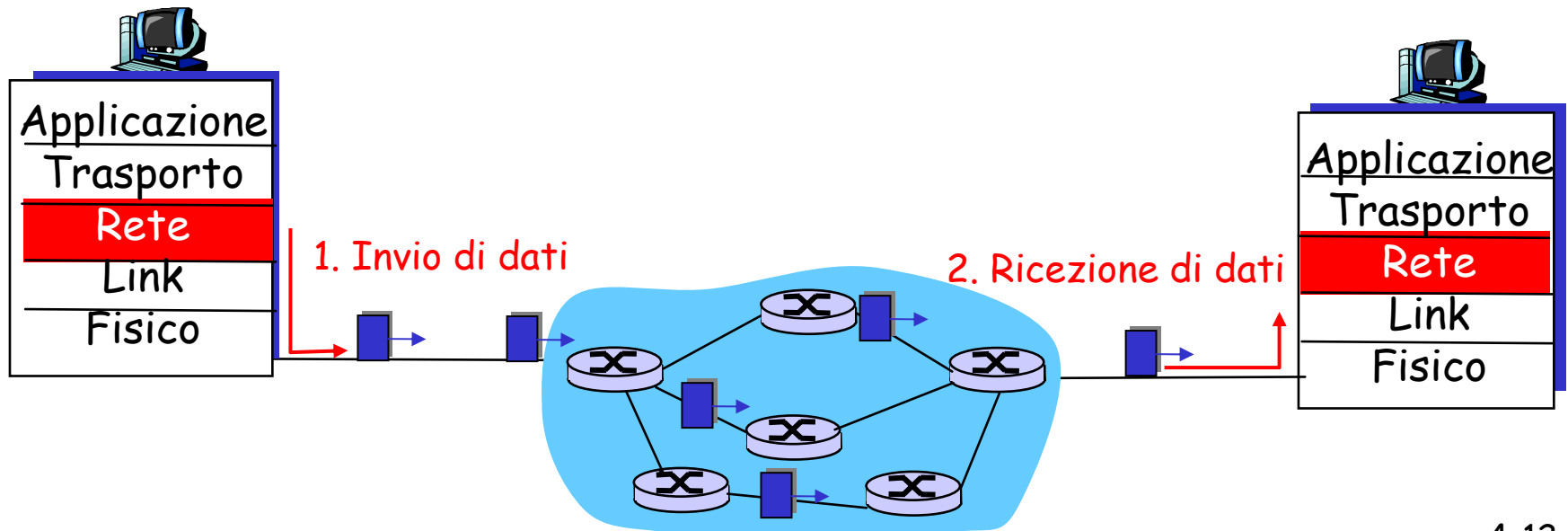


Tabella d'inoltro

4 miliardi
di possibili indirizzi

<u>Intervallo degli indirizzi di destinazione</u>	<u>Interfaccia</u>
da 11001000 00010111 00010000 00000000 a 11001000 00010111 00010111 11111111	0
da 11001000 00010111 00011000 00000000 a 11001000 00010111 00011000 11111111	1
da 11001000 00010111 00011001 00000000 a 11001000 00010111 00011111 11111111	2
altrimenti	3

Confronta un prefisso dell'indirizzo

Corrispondenza di prefisso

Interfaccia

11001000	00010111	00010	0
11001000	00010111	00011000	1
11001000	00010111	00011	2
	altrimenti		3

Esempi:

con: 11001000 00010111 00010110 10100001

Qual è l'interfaccia?

con: 11001000 00010111 00011000 10101010

Qual è l'interfaccia?

Perché reti a circuito virtuale o a datagramma?

Internet

- ❑ Necessità di scambiare dati tra differenti calcolatori.
 - Servizi elastici, non vi sono eccessivi requisiti di tempo
- ❑ L'interconnessione è semplice (computer)
 - È adattabile, effettua controlli e recupera errori
 - Rete interna non complessa, la complessità sta agli estremi
- ❑ Svareti tipi di link
 - Caratteristiche differenti
 - Difficile uniformarne il servizio

ATM

- ❑ Deriva dal mondo della telefonia.
- ❑ Conversazione telefonica:
 - Requisiti stringenti in termini di tempo e affidabilità.
 - Necessità di servizi garantiti.
- ❑ Sistemi terminali "stupidi"
 - Telefoni.
 - La complessità sta nella rete interna.

Capitolo 4: Livello di rete

4.1 Introduzione

4.2 Reti a circuito virtuale e a datagramma

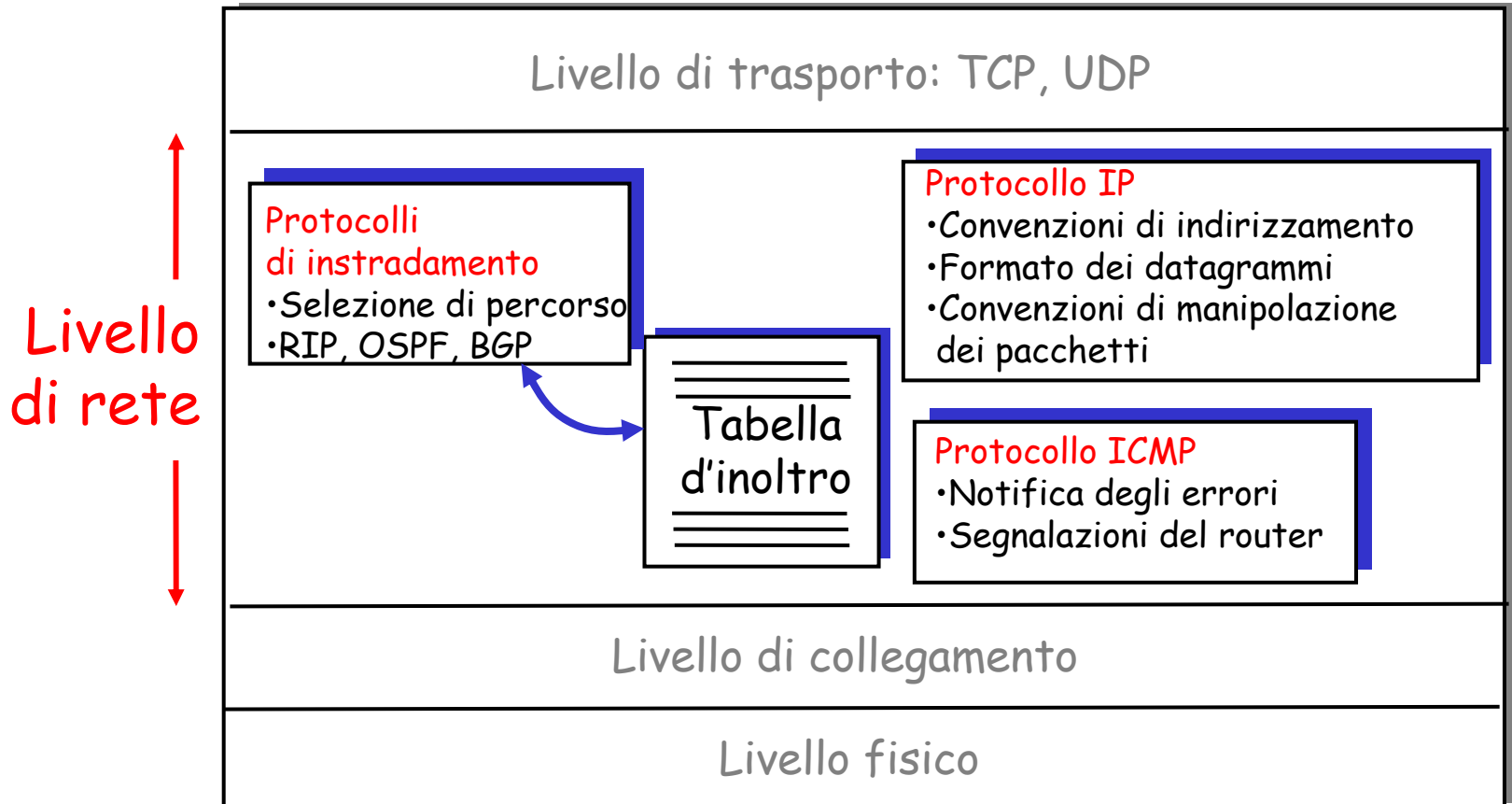
4.3 Che cosa si trova all'interno di un router?

4.4 Protocollo Internet (IP)

- Formato dei datagrammi
- Indirizzamento IPv4
- ICMP
- IPv6

Protocollo Internet (IP): inoltro e indirizzamento in Internet

Uno sguardo al livello di rete Internet:



Capitolo 4: Livello di rete

4.1 Introduzione

4.2 Reti a circuito virtuale e a datagramma

4.3 Che cosa si trova all'interno di un router?

4.4 Protocollo Internet (IP)

- Formato dei datagrammi
- Indirizzamento IPv4
- ICMP
- IPv6

4.5 Algoritmi di instradamento

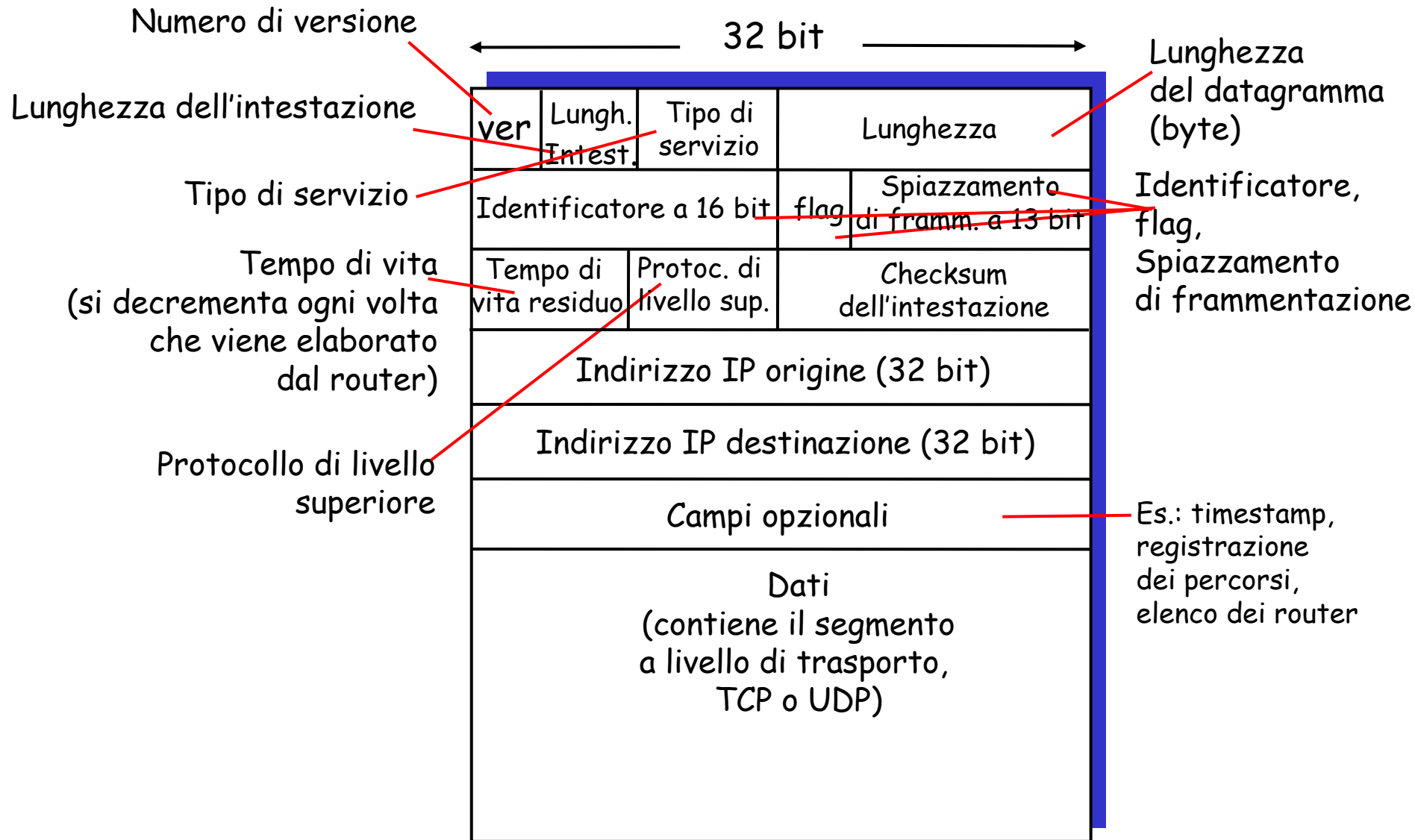
- Stato del collegamento
- Vettore distanza
- Instradamento gerarchico

4.6 Instradamento in Internet

- RIP
- OSPF
- BGP

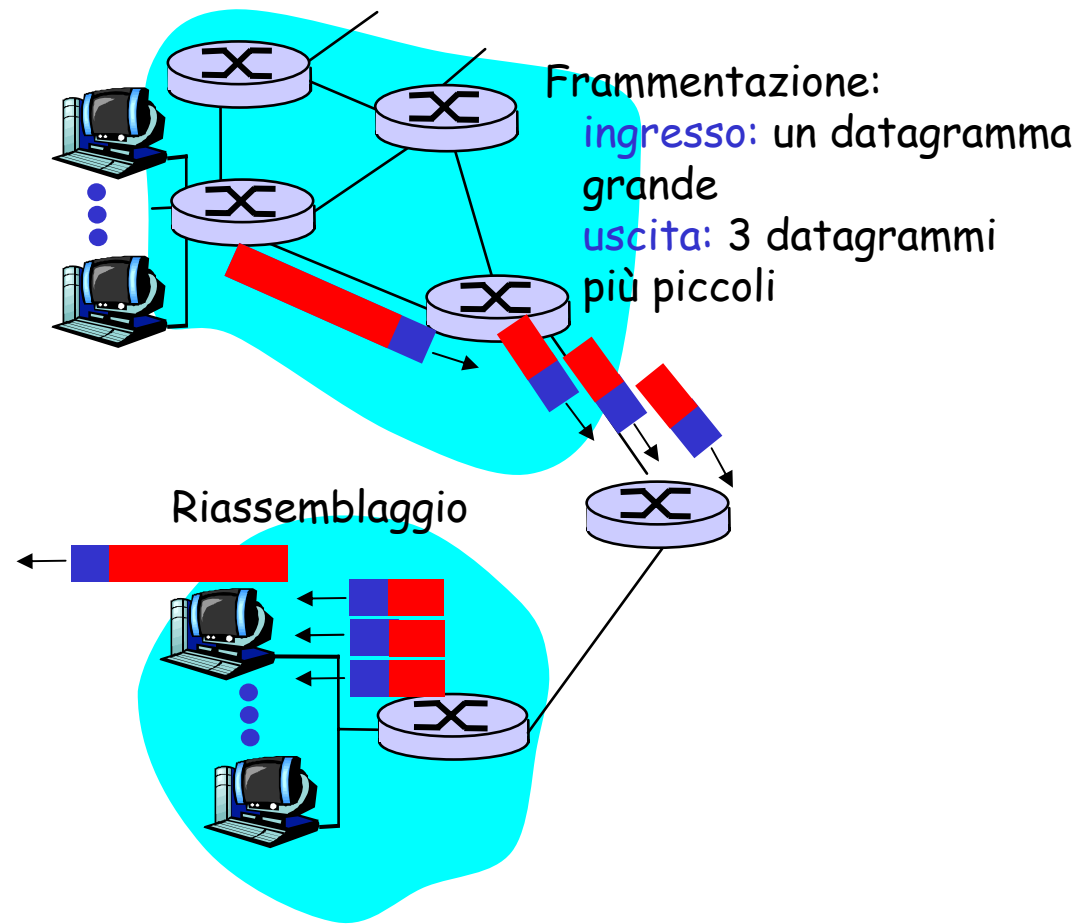
4.7 Instradamento broadcast e multicast

Formato dei datagrammi



Frammentazione dei datagrammi IP

- L'unità massima di trasmissione (MTU) è la massima quantità di dati che un frame a livello di collegamento può trasportare.
 - Differenti tipi di link, differenti MTU.
- Datagrammi IP grandi vengono frammentati in datagrammi IP più piccoli.
 - Un datagramma viene frammentato.
 - I frammenti saranno riassemblati solo una volta raggiunta la destinazione
 - I bit dell'intestazione IP sono usati per identificare e ordinare i frammenti



Frammentazione e riassetblaggio IP

Esempio

- Datagramma di 4000 byte
- MTU = 1500 byte

	Lunghez. =4000	ID =x	Flag =0	Spiazz. =0	
--	-------------------	----------	------------	---------------	--

Un datagramma IP grande viene frammentato in datagrammi IP più piccoli.

1480 byte nel campo dati

Spiazzamento = $1480/8$

	Lunghez. =1500	ID =x	Flag =1	Spiazz. =0	
	Lunghez. =1500	ID =x	Flag =1	Spiazz. =185	
	Lunghez. =1040	ID =x	Flag =0	Spiazz. =370	

Capitolo 4: Livello di rete

4.1 Introduzione

4.2 Reti a circuito virtuale e a datagramma

4.3 Che cosa si trova all'interno di un router?

4.4 Protocollo Internet (IP)

- Formato dei datagrammi
- Indirizzamento IPv4
- ICMP
- IPv6

4.5 Algoritmi di instradamento

- Stato del collegamento
- Vettore distanza
- Instradamento gerarchico

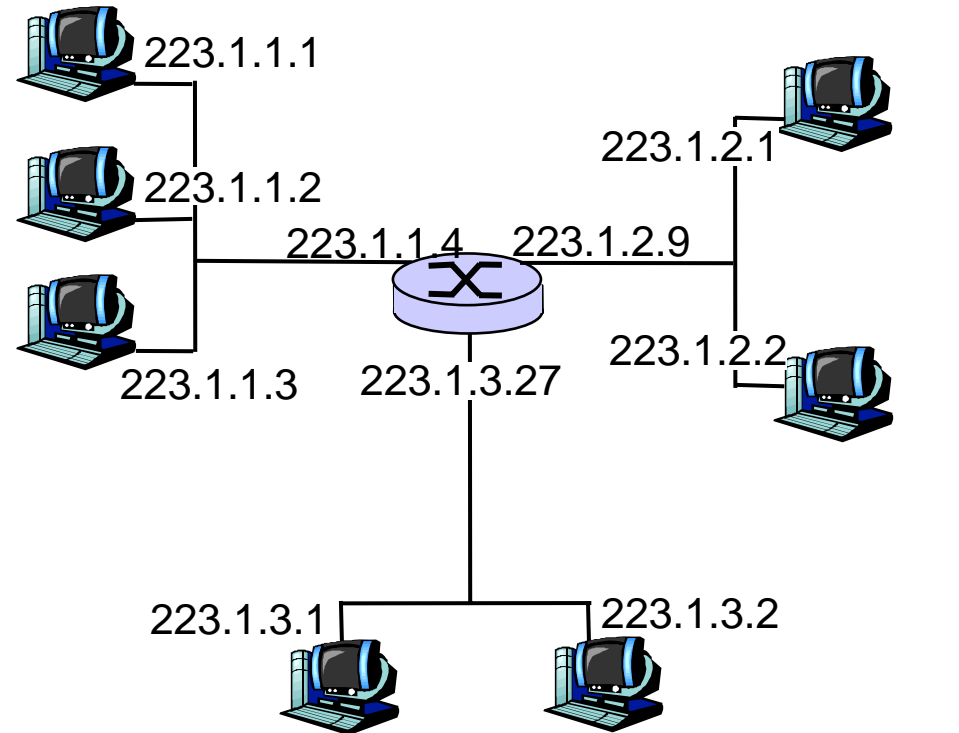
4.6 Instradamento in Internet

- RIP
- OSPF
- BGP

4.7 Instradamento broadcast e multicast

Indirizzamento IPv4

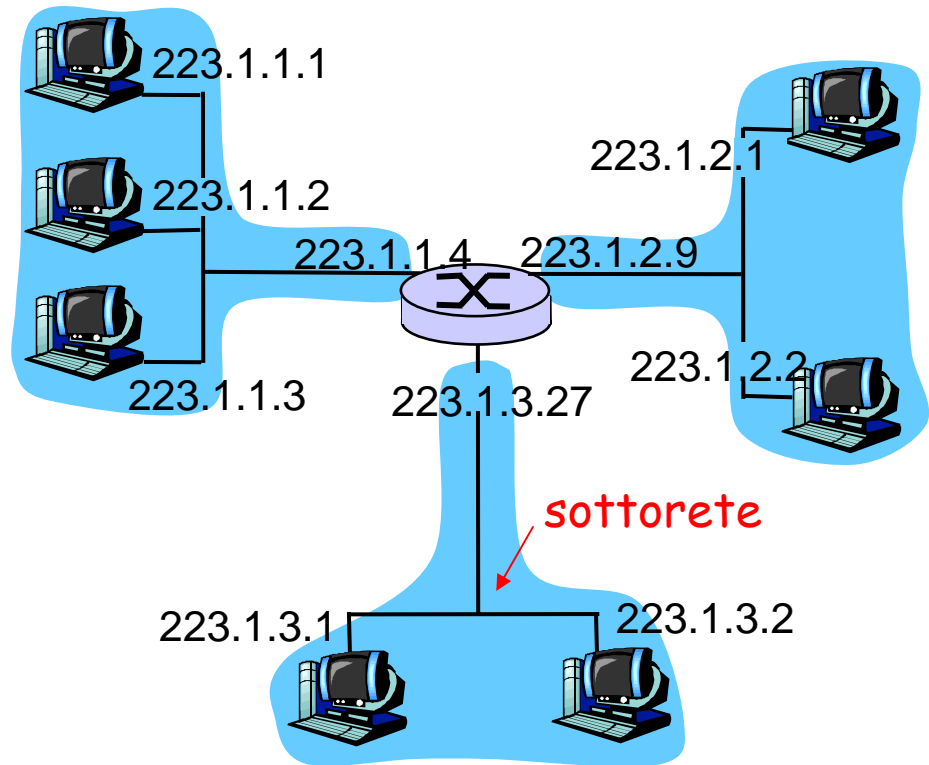
- **Indirizzo IP:** ogni interfaccia di host e router di Internet ha un indirizzo IP globalmente univoco.
- **Interfaccia:** è il confine tra host e collegamento fisico.
 - I router devono necessariamente essere connessi ad almeno due collegamenti.
 - Un host, in genere, ha un'interfaccia
 - A ciascuna interfaccia sono associati indirizzi IP



$$223.1.1.1 = \underbrace{11011111}_{223} \underbrace{00000001}_{1} \underbrace{00000001}_{1} \underbrace{00000001}_{1}$$

Sottoreti

- *Indirizzo IP:*
 - Parte di sottorete (bit alti).
 - Parte dell'host (bit bassi).
- *Cos'è una sottorete?*
 - Interfacce con la stessa parte di sottorete nell'indirizzo IP.
 - Sono interconnesse direttamente fra di loro senza un router.

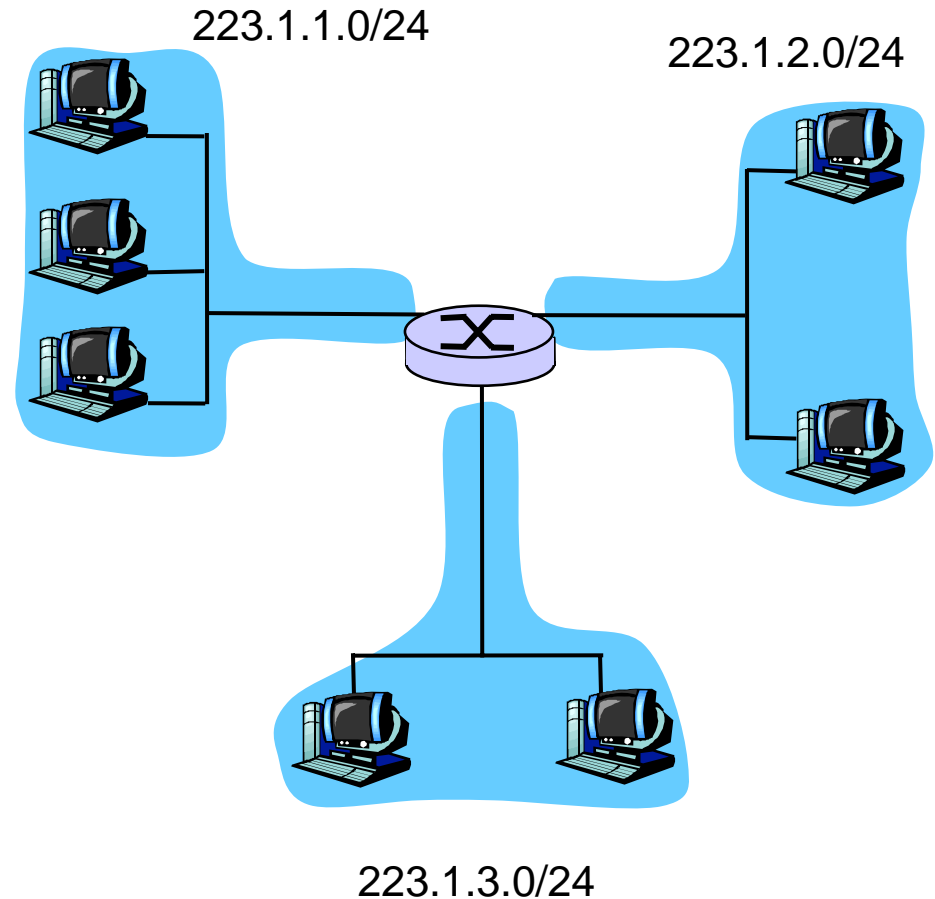


rete composta da 3 sottoreti

Sottorete

Ricetta

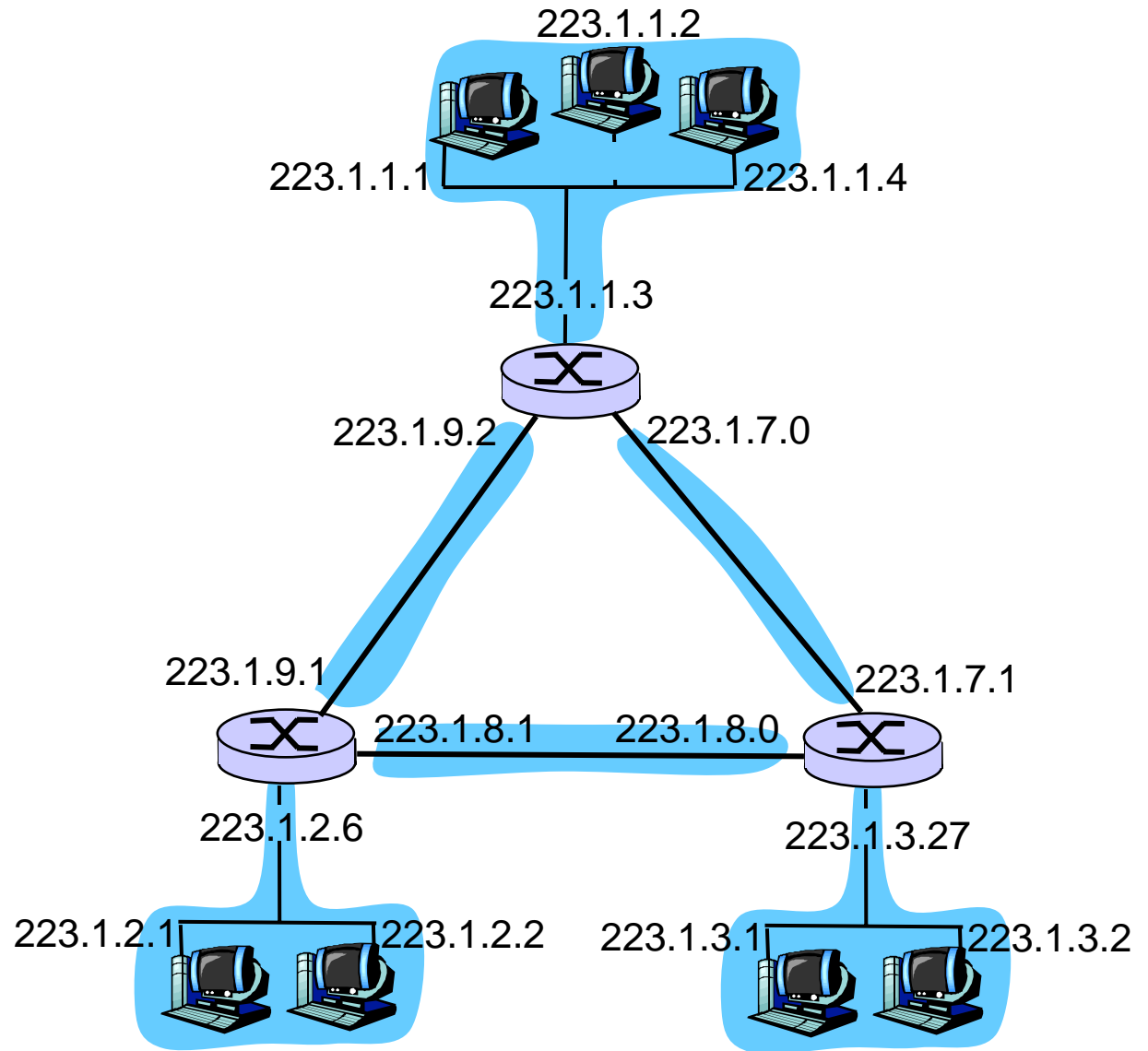
- ❑ Staccate ogni interfaccia dall'host o router, ogni rete isolata è una sottorete.



Maschera di sottorete: /24

Sottoreti

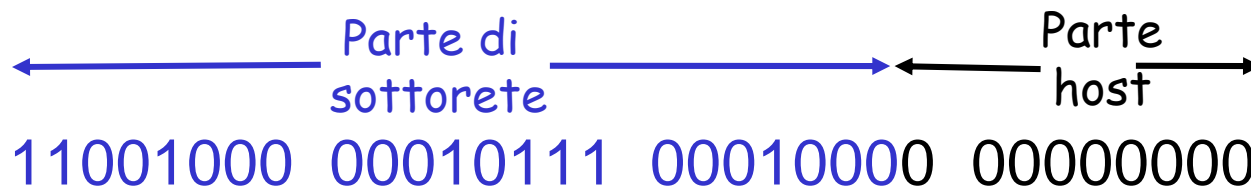
Quante sono?



Assegnazione indirizzi Internet: CIDR

CIDR: Classless InterDomain Routing

- È la strategia di assegnazione degli indirizzi.
- Struttura dell'indirizzo: l'indirizzo IP viene diviso in due parti e mantiene la forma decimale puntata **a.b.c.d/x**, dove x indica il numero di bit nella prima parte dell'indirizzo.



200.23.16.0/23

Come ottenere un blocco di indirizzi

D: Cosa bisogna fare per assegnare un indirizzo IP a un host?

- Configurazione manuale:
 - Wintel: control-panel->network->configuration->tcp/ip->properties
 - UNIX: /etc/rc.config
- **DHCP:** Dynamic Host Configuration Protocol: permette a un host di ottenere un indirizzo IP in modo automatico
 - "plug-and-play"

Come ottenere un blocco di indirizzi

D: Cosa deve fare un amministratore di rete per ottenere un blocco di indirizzi IP da usare in una sottorete?

R: deve contattare il proprio ISP e ottenere la divisione in otto blocchi uguali di indirizzi contigui (è un esempio).

Blocco dell'ISP	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010000</u>	00000000	200.23.16.0/20
Organizzazione 0	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010000</u>	00000000	200.23.16.0/23
Organizzazione 1	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010010</u>	00000000	200.23.18.0/23
Organizzazione 2	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00010100</u>	00000000	200.23.20.0/23
...
Organizzazione 7	<u>11001000</u>	<u>00010111</u>	<u>00011110</u>	00000000	200.23.30.0/23

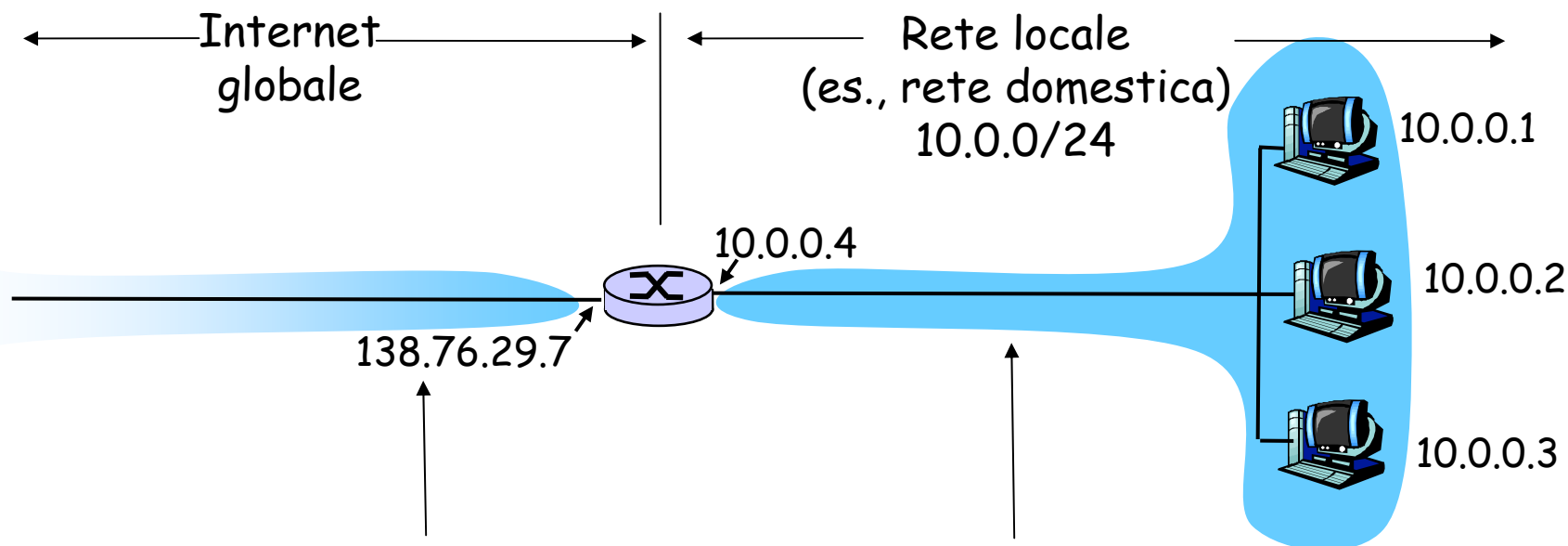
Indirizzi IP alla fonte

D: Ma come fa un ISP, a sua volta, a ottenere un blocco di indirizzi?

R: **ICANN**: **I**nternet **C**orporation for **A**ssigned **N**ames and **N**umbers

- Ha la responsabilità di allocare i blocchi di indirizzi.
- Gestisce i server radice DNS.
- Assegna e risolve dispute sui nomi di dominio.

Traduzione degli indirizzi di rete (NAT)



I router abilitati alla NAT non appaiono al mondo esterno come router ma come un *unico* dispositivo con un *unico* indirizzo IP.

Indirizzo IP origine: 138.76.29.7, e tutto il traffico verso Internet deve riportare lo stesso indirizzo.

Spazio di indirizzi riservato alle reti private, molte delle quali usano un identico spazio, 10.0.0/24 per scambiare pacchetti tra i loro dispositivi

Traduzione degli indirizzi di rete (NAT)

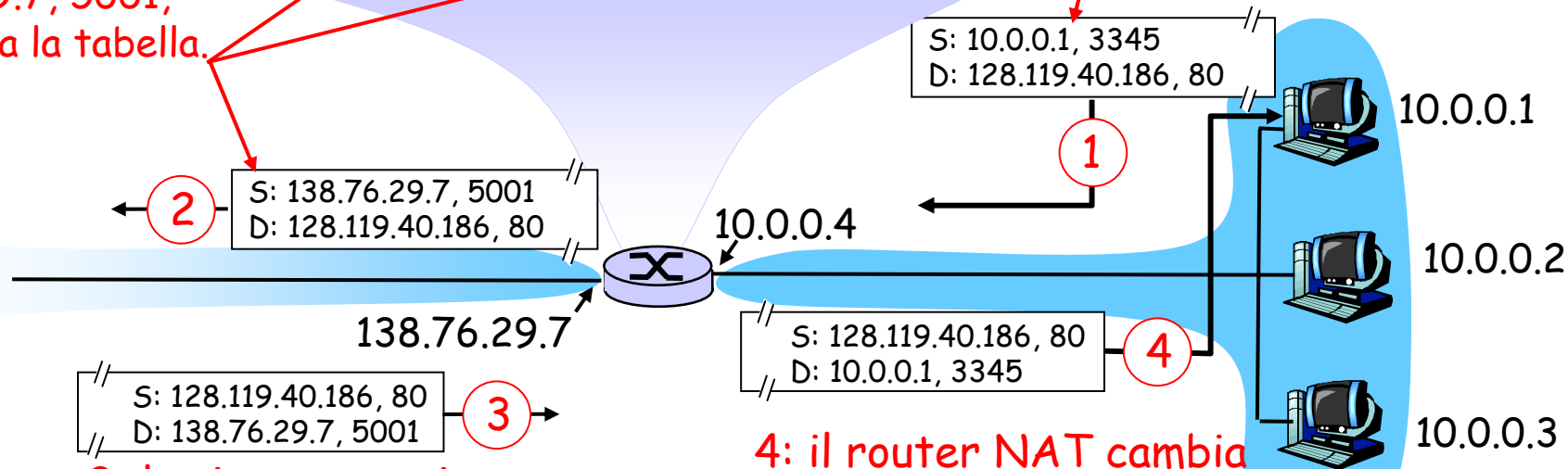
- La rete locale usa solo un indirizzo IP per quanto riguarda il mondo esterno:
 - Non è necessario allocare un intervallo di indirizzi da un ISP: un unico indirizzo IP è sufficiente per tutte le macchine di una rete locale.
 - È possibile cambiare gli indirizzi delle macchine di una rete privata senza doverlo comunicare all'Internet globale.
 - È possibile cambiare ISP senza modificare gli indirizzi delle macchine della rete privata
 - I dispositivi all'interno della rete locale non sono esplicitamente visibili dal mondo esterno (una ulteriore sicurezza)

Traduzione degli indirizzi di rete (NAT)

Tabella di traduzione NAT	
Lato WAN	Lato LAN
138.76.29.7, 5001	10.0.0.1, 3345
.....

2: il router NAT cambia l'indirizzo d'origine del datagramma da 10.0.0.1, 3345 a 138.76.29.7, 5001, e aggiorna la tabella.

1: l'host 10.0.0.1 invia il datagramma a 128.119.40.186, 80



3: la risposta arriva all'indirizzo di destinazione: 138.76.29.7, 5001

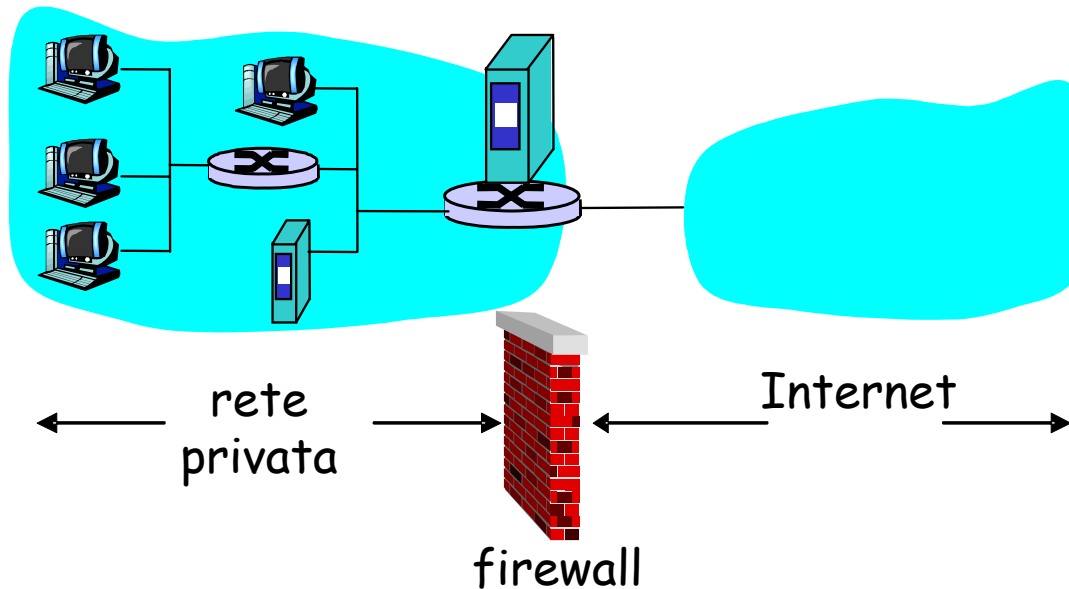
4: il router NAT cambia l'indirizzo di destinazione del datagramma da 138.76.29.7, 5001 a 10.0.0.1, 3345

Traduzione degli indirizzi di rete (NAT)

- Il campo numero di porta è lungo 16 bit:
 - Il protocollo NAT può supportare più di 60.000 connessioni simultanee con un solo indirizzo IP sul lato WAN.
- NAT è contestato perché:
 - i router dovrebbero elaborare i pacchetti solo fino al livello 3.
 - Viola il cosiddetto *argomento punto-punto*
 - Interferenza con le applicazioni P2P, a meno che non sia specificamente configurato per quella specifica applicazione P2P.
 - Per risolvere la scarsità di indirizzi IP si dovrebbe usare IPv6.

Firewall

Struttura hardware e software che separa una rete privata dal resto di Internet e consente all'amministratore di controllare e gestire il flusso di traffico tra il mondo esterno e le risorse interne.



Firewall: perché

Prevenire attacchi di negazione del servizio:

- SYN flooding: l'intruso stabilisce molte connessioni TCP fasulle per non lasciare risorse alle connessioni "vere".

Prevenire modifiche/accessi illegali ai dati interni.

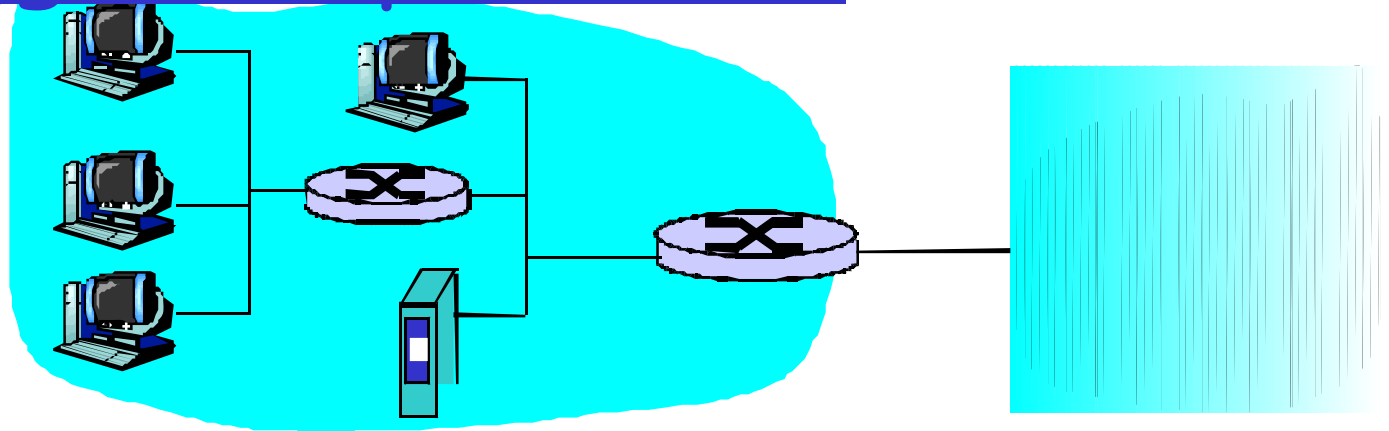
- es., l'intruso può sostituire l'homepage del MIUR con qualcos'altro.

Consentire solo accessi autorizzati all'interno della rete (una serie di utenti/host autenticati)

Tre tipi di firewall:

- A livello di applicazione (gateway)
- A filtraggio dei pacchetti
- Filtri con memoria dello stato

Filtraggio dei pacchetti



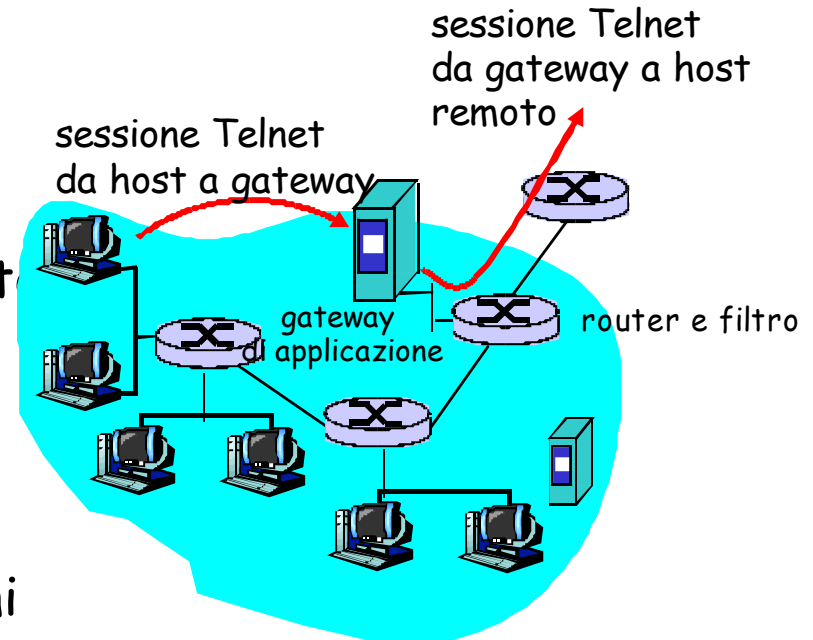
- ❑ Una rete privata è collegata a Internet mediante un router
- ❑ Il router è responsabile del filtraggio dei pacchetti e determina quali pacchetti devono essere bloccati o quali possono passare in base a:
 - Indirizzo IP sorgente o destinazione
 - Porte sorgente e destinazione TCP o UDP
 - Tipo di messaggio ICMP
 - Bit TCP SYN o ACK

Filtraggio di pacchetti

- ❑ Esempio 1: blocco sui datagrammi in entrata e in uscita con IP protocol field = 17 e il cui numero di porta sorgente o destinazione = 23.
 - Tutti i segmenti UDP e tutte le connessioni Telnet sono bloccate.
- ❑ Esempio 2: bloccare i segmenti delle comunicazioni TCP con ACK=0.
 - Espediente utile se si vuole che i clienti interni possano collegarsi a server esterni, evitando però l'operazione inversa.

Gataway

- Il filtraggio dei pacchetti consente di effettuare un controllo sulle intestazioni IP e TCP/UDP.
- Esempio: permette ai clienti interni (autorizzati) le connessioni Telnet ma impedisce il contrario.



1. Tutte le connessioni Telnet verso l'esterno devono passare attraverso il gateway.
2. Il gateway non solo concede l'autorizzazione all'utente ma smista anche le informazioni fra l'utente e l'host.
3. La configurazione del filtro del router blocca tutti i collegamenti eccetto quelli che riportano l'indirizzo IP del gateway.

Limiti di firewall e gateway

- ❑ IP spoofing: non si può sapere se i dati arrivano **realmente** dalla sorgente dichiarata.
- ❑ Se più applicazioni necessitano di un trattamento speciale, ciascuna avrà il suo gateway di applicazione.
- ❑ Il software del client deve sapere come contattare il gateway.
 - Es. deve impostare l'indirizzo IP del proxy nel browser Web.
- ❑ Spesso sono configurati secondo una politica "intransigente" senza vie di mezzo, per esempio inibendo tutto il traffico UDP.
- ❑ Compromesso: **grado di comunicazione con il mondo esterno/livello di sicurezza**
- ❑ Numerosi siti con protezioni elevate sono ancora soggetti ad attacchi.

Capitolo 4: Livello di rete

4.1 Introduzione

4.2 Reti a circuito
virtuale e
a datagramma

4.3 Che cosa si trova
all'interno di un
router?

4.4 Protocollo Internet
(IP)

- Formato dei datagrammi
- Indirizzamento IPv4
- ICMP
- IPv6

IPv6

- **Esigenza principale:** lo spazio di indirizzamento IP a 32 bit si sta esaurendo.
 - I nuovi indirizzi usano 128 bit ($2^{128} \approx 3 \times 10^{38}$).



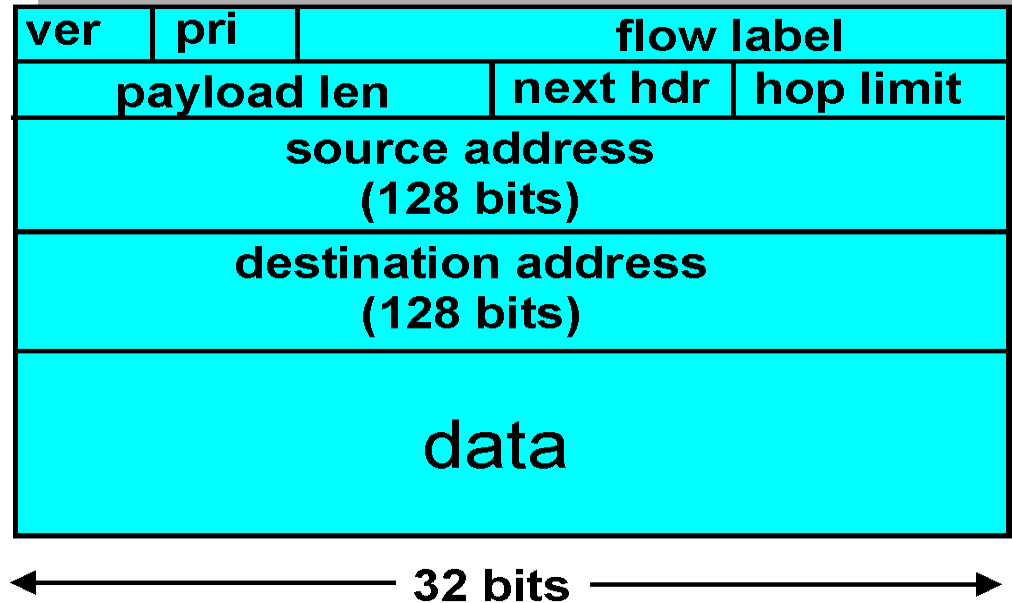
$$4\pi R^2 \approx 12 \times (6000)^2 \text{ Km}^2 \approx 5 \times 10^8 \text{ Km}^2 \approx 5 \times 10^{20} \text{ mm}^2$$

$> 10^{17}$ indirizzi per mm^2

- **Altre motivazioni:**
 - Il formato dell'intestazione aiuta a rendere più veloci i processi di elaborazione e inoltre
 - Agevolare la QoS.

Formato dei datagrammi IPv6

Intestazione a 40 byte e a lunghezza fissa. Non è consentita la frammentazione.



Priorità di flusso: attribuisce priorità a determinati datagrammi di un flusso.

Etichetta di flusso: identifica i pacchetti che appartengono a flussi particolari.

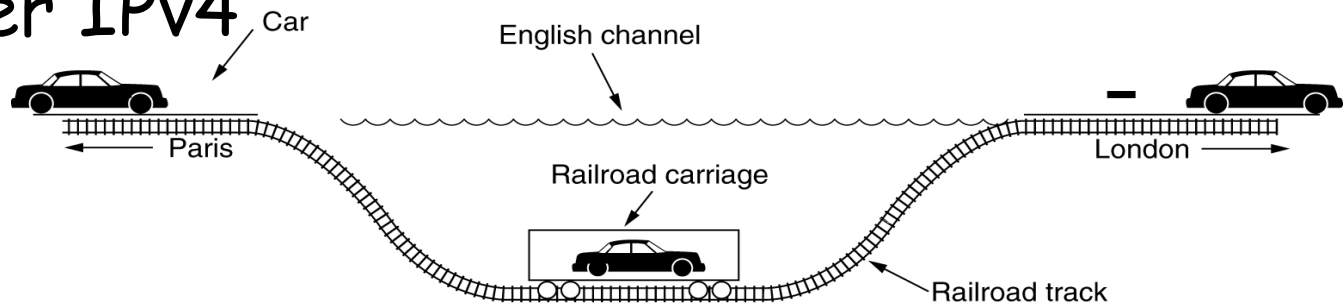
Intestazione successiva: identifica il protocollo cui verranno consegnati i contenuti del datagramma.

Altre novità di IPv6

- ❑ *Checksum*: i progettisti hanno deciso di rimuoverla dal livello di rete in quanto risultava ridondante.
- ❑ *Opzioni*: non fa più parte dell'intestazione IP standard. Il campo non è del tutto scomparso ma è diventato una delle possibili "intestazioni successive" cui punta l'intestazione di IPv6.

Passaggio da IPv4 a IPv6

- ❑ Non è possibile aggiornare simultaneamente tutti i router:
 - Impossibile dichiarare una "giornata campale" in cui tutte le macchine Internet verranno spente e aggiornate da IPv4 a IPv6.
 - Come riuscirà la rete a funzionare in presenza di router IPv4 e IPv6?
- ❑ **Tunneling:** IPv6 viene trasportato come payload in datagrammi IPv4 quando attraversa router IPv4



Tunneling

