

# Reti di Calcolatori I

**Prof. Roberto Canonico**

**Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione**

**Corso di Laurea in Ingegneria Informatica**

## Il protocollo IPv6

**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

# IP Next Generation (IPng o IPv6)

- Una versione del protocollo IP progettata per risolvere alcuni dei problemi che affliggono IPv4
- Principali questioni affrontate nel progetto di IPv6:
  - indirizzamento e routing
  - sicurezza
  - configurazione automatica
  - servizi di tipo real-time e supporto alla QoS
  - elaborazione efficiente dei pacchetti da parte dei router
  - migrazione da IPv4 ad IPv6 / coesistenza di IPv4 ed IPv6
  - miglior supporto di terminali mobili

# Motivazioni per la definizione di IPv6

- La prima motivazione che spinse alla definizione di un nuovo protocollo standard per il livello rete fu la consapevolezza dell'esaurimento dello spazio di indirizzi supportati da IPv4

1985	~ 1/16 of total space
1990	~ 1/8 of total space
1995	~ 1/4 of total space
2000	~ 1/2 of total space
Halfway through 2002	~ 2/3 of total space

- L' Internet Engineering Task Force (IETF) attivò un working group per la definizione di una nuova versione di IP nel 1994
- Il primo RFC di specifica di IPv6 è del 1998 (RFC-2460)
- La specificazione di altri protocolli ausiliari (es. DHCPv6) e di altri aspetti legati all'utilizzo di IPv4 ed alla transizione da IPv4 ad IPv6 è stata compiuta negli anni successivi

# Transizione da IPv4 ad IPv6

- Il progetto di IPv6 (negli anni 1994-2006) richiese la definizione di una strategia di transizione incrementale che garantisse l'interoperabilità tra le due versioni di IP
- Nel frattempo, una serie di contromisure furono intraprese per dilazionare il più possibile l'esaurimento dello spazio di indirizzamento di IPv4:
  - Consolidamento degli indirizzi IPv4 in blocchi contigui tramite subnetting e routing CIDR (adozione di protocolli di routing che supportano CIDR)
  - Uso estensivo di indirizzi IPv4 privati e NAT in reti aziendali e domestiche
- La coesistenza tra IPv4 ed IPv6 dura tuttora....

# IPv6 : differenze rispetto ad IPv4 (1)

- Espansione capacità di indirizzamento e di routing
  - la dimensione degli indirizzi passa da 32 (4 byte) a 128 bit (16 byte), per supportare un numero di nodi molto più elevato
  - la scalabilità del routing multicast è migliorata grazie all'aggiunta di un campo *scope* agli indirizzi di classe D
  - viene definito un nuovo tipo di indirizzo (*anycast address*) che si riferisce ad un insieme di interfacce (eventualmente di host diversi)
    - un pacchetto inviato ad un indirizzo anycast viene recapitato ad una delle interfacce che fanno parte dell'insieme da esso individuato
    - tipicamente da quella più "vicina", secondo la misura di "distanza" utilizzata dal protocollo di routing
- Semplificazione del formato dell'header:
  - alcuni campi dell'header IPv4 (sfruttati solo in casi particolari) sono stati eliminati o resi opzionali
    - ciò ha consentito di ottenere che, malgrado gli indirizzi di IPv6 siano 4 volte più lunghi di quelli di IPv4, l'header del primo è soltanto il doppio di quello del secondo

# IPv6 : differenze rispetto ad IPv4 (2)

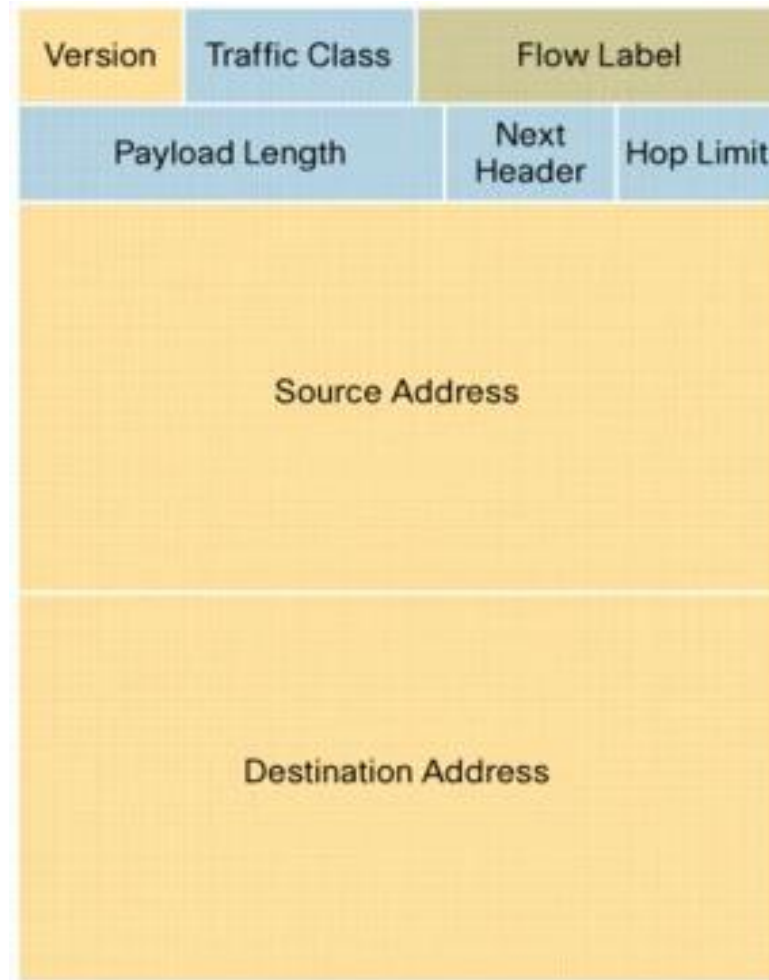
- Supporto per le opzioni migliorato:
  - alcuni cambiamenti nel modo di codificare le opzioni permettono uno smistamento più efficiente ed una maggiore flessibilità per introdurre, in futuro, nuove funzionalità
- Supporto della Quality of Service (QoS)
  - viene introdotta una nuova funzionalità per permettere di etichettare (*flow label*) i pacchetti appartenenti a flussi di dati particolari per i quali si richiede un trattamento di tipo non-default
- Autenticazione e salvaguardia della privacy:
  - definizione di estensioni che forniscono il supporto per:
    - l'autenticazione
    - l'integrità dei dati
    - la sicurezza, considerata elemento fondamentale del nuovo protocollo

# Header principale ed extension headers

- L'header IPv6 consiste di due parti:
  - **header principale** (*main header*)
  - **extension headers**
    - introdotti per ospitare le eventuali opzioni
    - situati, all'interno del pacchetto, in una posizione intermedia tra l'header principale e l'header del protocollo di trasporto
    - forniscono, tra l'altro, informazioni relative:
      - al routing
      - alla frammentazione
      - all'autenticazione
      - alla sicurezza



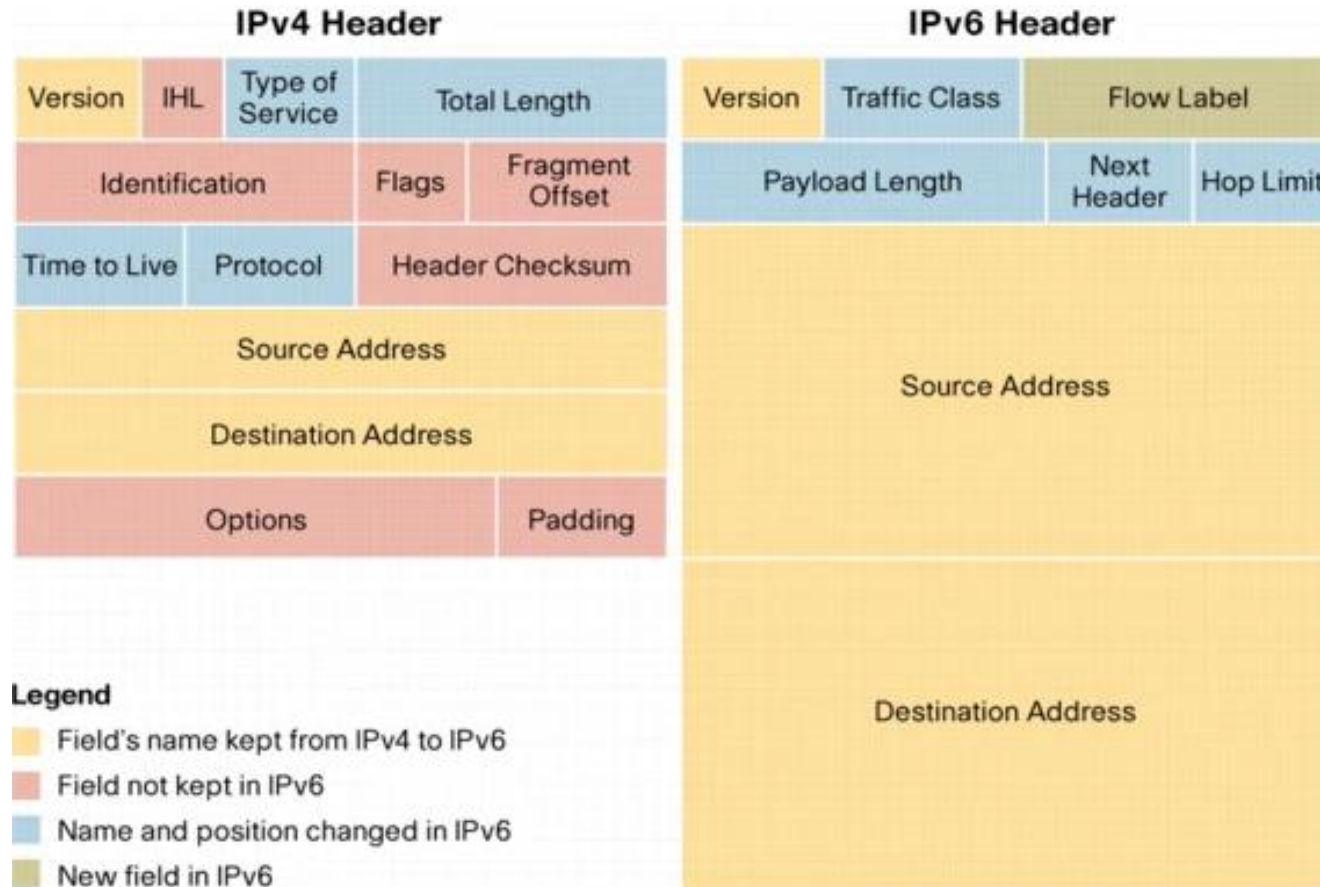
# IPv6: header principale (1)



# IPv6: header principale (2)

- **Lunghezza: 40 byte**
- **Campi:**
  - **Version:** 4 bit, numero della versione ( $6 = 110_2$ )
  - **Traffic Class:** 8 bit, identifica priorità del pacchetto (simile a ToS di IPv4)
  - **Flow Label:** 20 bit, associa il pacchetto ad un «flusso»
  - **Payload Length:** 16 bit, lunghezza del payload (max 64KB)
  - **Next Hdr:** 8 bit, identifica il tipo di header che segue l'header principale
    - Il valore di next header indica se dopo l'header principale c'è un extension header oppure direttamente un payload
    - I valori di next header sono compatibili con i valori previsti per il campo «protocol» dell'header IPv4
  - **Hop Limit:** 8 bit, simile al TTL di IPv4
  - **Source Address:** 128 bit, indirizzo del mittente
  - **Destination Address:** 128 bit, indirizzo del destinatario

# Header IPv4 ed IPv6 a confronto



# IPv6: differenze con l'header IPv4

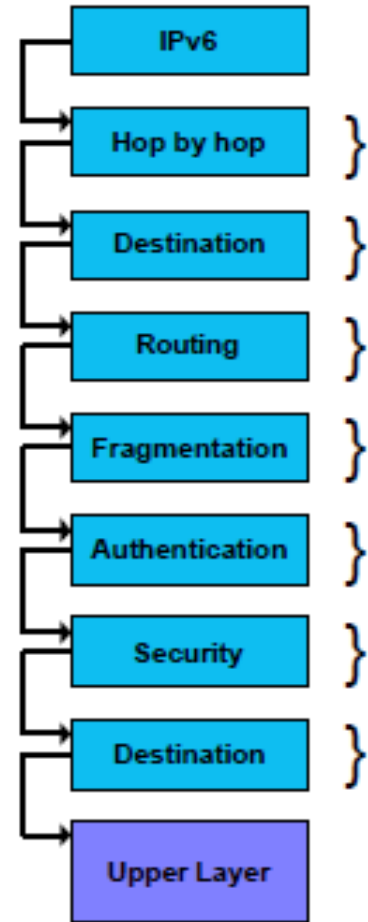
- *Checksum*: rimossa completamente per ridurre il tempo di processamento nei router ad ogni hop
- *Options*: sono previste, ma non nell'header
  - E' possibile prevederle fuori dall'header utilizzando il campo "Next Header"

# IPv6: traffic class

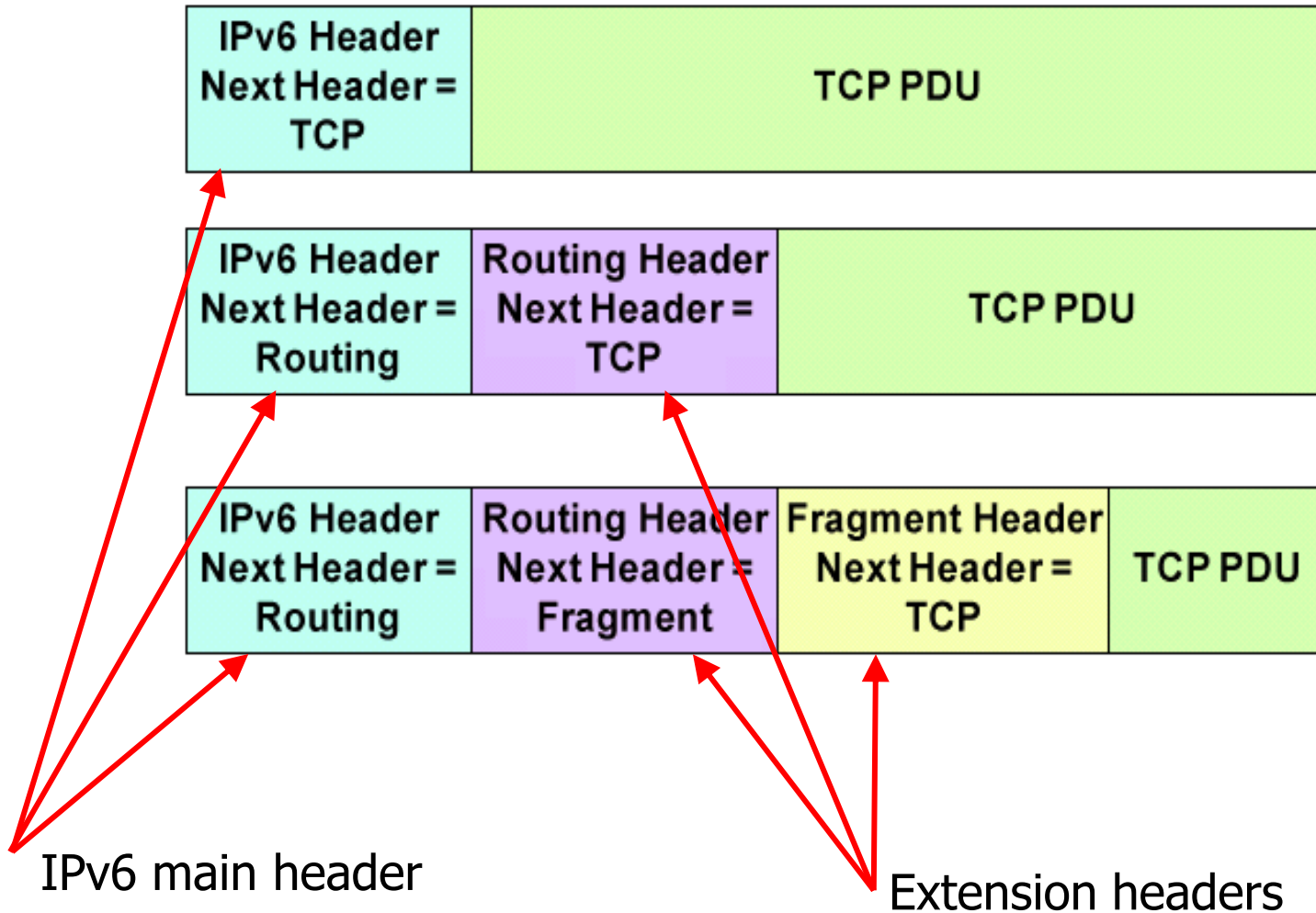
<b>0</b>	<b>traffico non noto</b>
<b>1</b>	<b>traffico di riempimento (es. news)</b>
<b>2</b>	<b>traffico batch (es. e-mail)</b>
<b>3</b>	<b>riservato</b>
<b>4</b>	<b>traffico interattivo a bassa priorità (es. ftp, NFS)</b>
<b>5</b>	<b>riservato</b>
<b>6</b>	<b>traffico interattivo ad alta priorità (es. telnet, X)</b>
<b>7</b>	<b>traffico di controllo di internet (es. OSPF, SNMP)</b>

# Gli Extension Header

- **Hop by hop** option header
  - es: jumbograms
- **Routing** header:
  - *strict source routing*
  - *loose source routing*
- **Fragment** header:
  - gestisce la frammentazione
- **Authentication** header
- **Encrypted security payload** header
- **Destination option** header
- Gli extension header (se presenti) devono apparire secondo un ordine prestabilito



# Gli Extension Headers ed il Daisy Chaining



# Valori di Next Header (1)

Order	Header Type	Next Header Code
1	Basic IPv6 Header	-
2	Hop-by-Hop Options	0
3	Destination Options (with Routing Options)	60
4	Routing Header	43
5	Fragment Header	44
6	Authentication Header	51
7	Encapsulation Security Payload Header	50
8	Destination Options	60
9	Mobility Header	135
	No next header	59
Upper Layer	TCP	6
Upper Layer	UDP	17
Upper Layer	ICMPv6	58



# Valori di Next Header (2)

Valori di Next Header associati a diversi tipi di payload

0		Reserved (IPv4)
0	HBH	Hop by Hop option (IPv6)
1	ICMP	Internet Control Message (IPv4)
2	IGMP	Internet Group Management (IPv4)
2	ICMP	Internet Control Message (IPv6)
3	GGP	Gateway-to-Gateway
4	IP	IP in IP (IPv4 encapsulation)
5	ST	Stream
6	TCP	Transmission Control
17	UDP	User Datagram
29	TP4	ISO Transport class 4
43	RH	Routing Header (IPv6)
44	FH	Fragment Header (IPv6)
45	IDRP	Interdomain Routing
51	AH	Authentication Header
52	ESP	Encrypted Security Payload
59	Null	No next header (IPv6)
80	ISO-IP	ISO 8473 CLNP
88	IGRP	Interior Gateway Routing
89	OSPF	Open Shortest Path First

# Indirizzi IPv6: notazione

- Un indirizzo IPv6 è formato da 128 bit ovvero 16 byte
- Per la trascrizione degli indirizzi IPv6 si formano otto gruppi di 2 byte ciascuno
- Ciascun gruppo (2 byte) è rappresentato con 4 cifre esadecimali
- Gli otto gruppi sono separati dal simbolo ':'
- Esempio di indirizzo IPv6 valido:  
2340:0023:AABA:0A01:0055:5054:9ABC:ABB0
- Valgono due regole di semplificazione della notazione:
  1. Una sequenza di zeri all'inizio di un gruppo di 4 cifre può essere omessa
    - Ad esempio 2340:**00**23:AABA:**0**A01:**00**55:5054:9ABC:ABB0  
può essere abbreviato in 2340:23:AABA:A01:55:5054:9ABC:ABB0
  2. Una sequenza di campi successivi uguali a zero può essere rappresentata con il simbolo '::'
    - Ad esempio 2340:**0000:0000:0000**:0455:0000:AAAB:1121  
può essere scritto come 2340::**0000:0000**:AAAB:1121

# Tre tipi di indirizzi IPv6

- **Unicast** (identificano una sola interfaccia nella rete)
  - Trasmissione uno ad uno
- **Anycast** (identificano molteplici interfacce, di cui una sola è selezionata)
  - Trasmissione uno al più vicino
- **Multicast** (identificano un sottoinsieme definito dinamicamente di interfacce)
  - Trasmissione uno a molti
  
- Non è prevista la trasmissione broadcast

# Ripartizione dello spazio di indirizzamento

Allocation	Prefix	Fraction of Address Space
-----	-----	-----
Reserved	0000 0000	1/256
Unassigned	0000 0001	1/256
Reserved for NSAP Allocation	0000 001	1/128
Reserved for IPX Allocation	0000 010	1/128
Unassigned	0000 011	1/128
Unassigned	0000 1	1/32
Unassigned	0001	1/16
Aggregatable Global Unicast Addresses	001	1/8
Unassigned	010	1/8
Unassigned	011	1/8
Unassigned	100	1/8
Unassigned	101	1/8
Unassigned	110	1/8
Unassigned	1110	1/16
Unassigned	1111 0	1/32
Unassigned	1111 10	1/64
Unassigned	1111 110	1/128
Unassigned	1111 1110 0	1/512
Link-Local Unicast Addresses	1111 1110 10	1/1024
<u>Site-Local Unicast Addresses</u> (*)	1111 1110 11	1/1024
Multicast Addresses	1111 1111	1/256

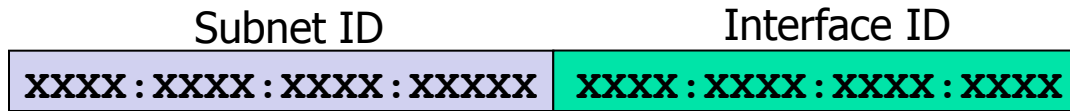
RFC 3513 - Internet Protocol Version 6 (IPv6) Addressing Architecture

(\*) Gli indirizzi Site-Local sono stati deprecati in RFC 3879

# Indirizzi IPv6 unicast

- **Esistono 3 tipi di indirizzi IPv6 unicast:**
- **Global unicast** – simili agli indirizzi IPv4 pubblici
  - Assegnati da IANA per garantirne l'unicità e usati in reti pubbliche
  - Hanno un prefisso **2000::/3** (tutti gli indirizzi che in binario iniziano per 001)
  - Sono costituiti da due sottocampi da 64 bit ciascuno: **Subnet ID & Interface ID**

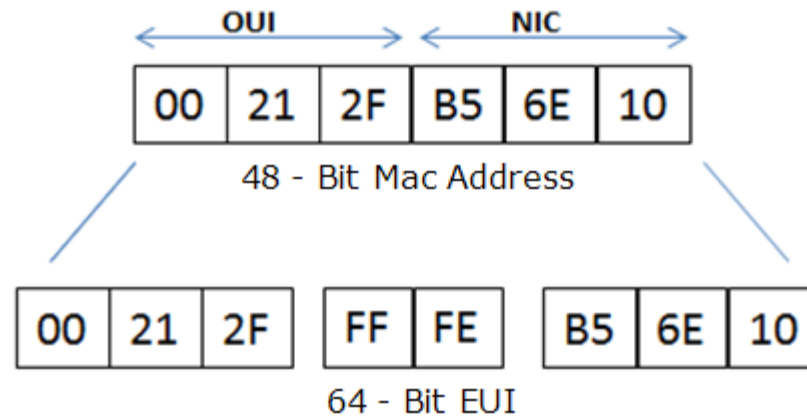
Type of Address	Prefix (hex)
Global	2000::/3
Unique Local	FD00::/8
Link-local	FE80::/10
Multicast	FF00::/8



- **Unique local** – simili agli indirizzi IPv4 privati
  - Usati in reti private, non sono inoltrati dai router di Internet, possono essere inoltrati da router all'interno di una organizzazione
  - Hanno un prefisso **FD00::/8**
- **Link local** – usati per l'invio di pacchetti nella sottorete locale
  - I routers non inoltrano pacchetti con questi indirizzi ad altre subnets
  - E' richiesto che un indirizzo IPv6 link-local sia assegnato ad ogni interfaccia di rete per la quale è abilitato il protocollo IPv6
  - Hanno un prefisso **FE80::/10**

# Host Identifier EUI-64

- RFC-2373 definisce un modo per generare un identificativo univoco da 64 bit (EUI-64, *Extended Unique Identifier*) a partire dal MAC address della scheda di rete (indirizzo di 48 bit, cablato nell'hardware della scheda di rete ed usato al livello 2 dello stack)
- L'EUI-64 si ottiene inserendo la sequenza di 16 bit FF:FE tra i primi 24 bit ed i secondi 24 bit del MAC address



# IPv6: Indirizzi Link local e Site local

- Nella assegnazione degli indirizzi IPv6, gli RFC 2373 e 3513 (*IPv6 Addressing Architecture*) identificano due diversi ambiti:
- **Link**, comprende tutti i dispositivi in comunicazione diretta tramite una LAN o un collegamento punto-punto
  - Host e router appartenenti allo stesso link sono detti **neighbor**
- **Site**, comprende un insieme di link gestiti da un'unica entità, es. un campus universitario
- RFC 2373 ed RFC 3513 prevedevano l'assegnazione di indirizzi locali distinti sia in ambito Link (prefisso FE80::/10) che Site (prefisso FEC0::/10)
  - Si tratta di indirizzi usati in reti private ma non «ruotabili» da router di Internet
  - RFC 3879 ha deprecato l'uso di indirizzi IPv6 unici nell'ambito site, in quanto è emerso nell'IETF che il concetto di *site* fosse mal definito (ambiguo) e che l'uso di indirizzi *site-local* rendesse difficile la migrazione di indirizzi all'interno di una organizzazione
  - Il prefisso FEC0::/10 è ora considerato deprecato da IANA
  - L'assegnazione di un indirizzo IPv6 *link-local* è invece considerata obbligatoria per tutte le interfacce di rete di un qualunque dispositivo che supporti IPv6

# IPv6: indirizzo Link Local

- Ogni interfaccia di rete che supporti IPv6 viene configurata con un indirizzo IPv6 link-local determinato a partire dall'interface ID (EUI-64)





# Indirizzi IPv6 Global Unicast

- Gli indirizzi IPv6 che identificano un'interfaccia di rete in maniera univoca a livello globale sono costituiti da due parti:
  - Un **subnet ID** da 64 bit, che identifica la sottorete
  - Un **interface ID** da 64 bit, che identifica l'interfaccia nella sottorete
- L'interface ID può essere generato automaticamente a partire dal MAC address della scheda di rete
- Il subnet ID è un identificatore composto aggregando identificatori più piccoli secondo un criterio gerarchico:
  - Top Level ID
  - Next Level ID
  - Site Level ID



# Indirizzi IPv6 speciali

- **Unspecified address:** `::/128`
  - Indica assenza di indirizzo, usato come indirizzo sorgente per una richiesta di indirizzo con DHCPv6
  - Anche usato per indicare la rotta di default nelle tabelle di routing
- **Loopback:** `::1/128`
  - Analogo di 127.0.0.1 di IPv4
  - Per controllare se un host ha IPv6 abilitato:
    - `ping ::1` in Windows
    - `ping6 ::1` in Linux

# Indirizzi IPv6 multicast

- Iniziano per **FF::/8**, sono usati come indirizzo destinazione per datagrammi che devono essere inviati a *gruppi* di device (host o router)

8 bits	4 bits	4 bits	112 bits
FF	Flags	Scope	Group ID

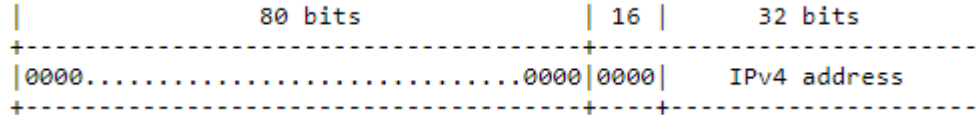
- Indirizzi IPv6 multicast speciali
- **All-nodes:** FF02::1
- **All-routers:** FF02::2

# ICMPv6

- Insieme ad IPv6 è stata definita una nuova versione del protocollo ICMP: ICMPv6
- Simile ad ICMPv4, fornisce funzionalità di controllo, segnalazione errori e diagnostica
- Accorpa le funzioni di IGMP
- Prevede ulteriori tipi di messaggi
  - Packet Too Big
    - usato in situazioni che in IPv4 sarebbero gestite con la frammentazione
  - Router Solicitation
  - Router Advertisement
  - Neighbor Solicitation
  - Neighbor Advertisement
  - Funzioni per il management dei gruppi multicast

# Indirizzi IPv6 *compatibili con IPv4*

- Definiti in RFC1884 e successivi aggiornamenti (*IP Version 6 Addressing Architecture*) come caso particolare di indirizzi IPv6 che incorporano un indirizzo IPv4
  - Ora deprecati – Nuove implementazioni non sono obbligate a supportare questo tipo di indirizzi
- Gli **indirizzi IPv6 compatibili con IPv4** sono indirizzi IPv6 formati da un prefisso di  $80+16=96$  bit zero e successivi 32 bit corrispondenti ad un indirizzo IPv4



- Un indirizzo IPv6 compatibile con IPv4, anziché essere rappresentato come:
 

**0:0:0:0:0:0:X:Y** con X ed Y numeri rappresentati con 4 cifre esadecimali

 è tipicamente rappresentato in una notazione mista con gli ultimi 32 bit rappresentati nella notazione *dotted decimal* usata per gli indirizzi IPv4:

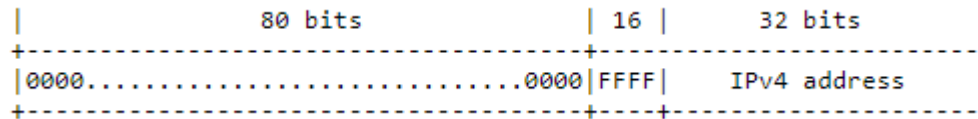
**0:0:0:0:0:0:w.x.y.z** oppure **::w.x.y.z**

dove **w.x.y.z** è un indirizzo IPv4 in notazione dotted decimal

- Gli indirizzi IPv6 compatibili con IPv4 sono utilizzati dai nodi a doppio stack che comunicano in IPv6 tramite un'infrastruttura IPv4
  - I nodi a doppio stack utilizzano entrambi i protocolli IPv4 e IPv6
  - Quando un indirizzo compatibile con IPv4 viene usato come destinazione IPv6, il traffico IPv6 viene incapsulato automaticamente con un'intestazione IPv4 e inviato alla destinazione tramite l'infrastruttura IPv4

# Indirizzi IPv6 mappati su indirizzi IPv4

- Definiti in RFC1884 e successivi aggiornamenti (*IP Version 6 Addressing Architecture*) come secondo caso particolare di indirizzi IPv6 che incorporano un indirizzo IPv4
- Gli **indirizzi IPv6 mappati su IPv4** sono indirizzi IPv6 formati da un prefisso di 80 bit zero, 16 bit uno e successivi 32 bit corrispondenti ad un indirizzo IPv4



- Un indirizzo IPv6 mappato su IPv4, anziché essere rappresentato come:  
**0:0:0:0:0:FFFF:X:Y** con X ed Y numeri rappresentati con 4 cifre esadecimali  
 è tipicamente rappresentato in una notazione mista con gli ultimi 32 bit rappresentati nella notazione *dotted decimal* usata per gli indirizzi IPv4:

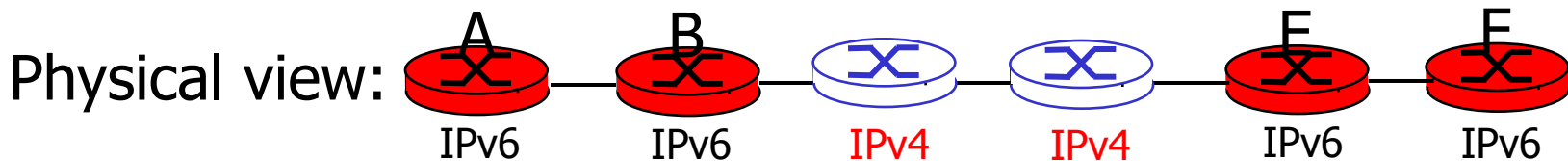
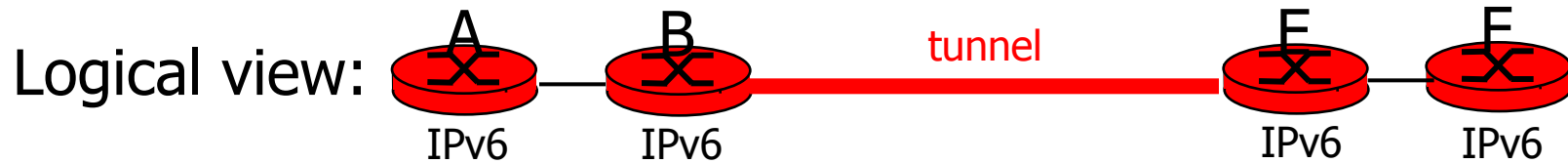
**0:0:0:0:0:FFFF:w.x.y.z** oppure **::FFFF:w.x.y.z**

dove **w.x.y.z** è un indirizzo IPv4 in notazione dotted decimal

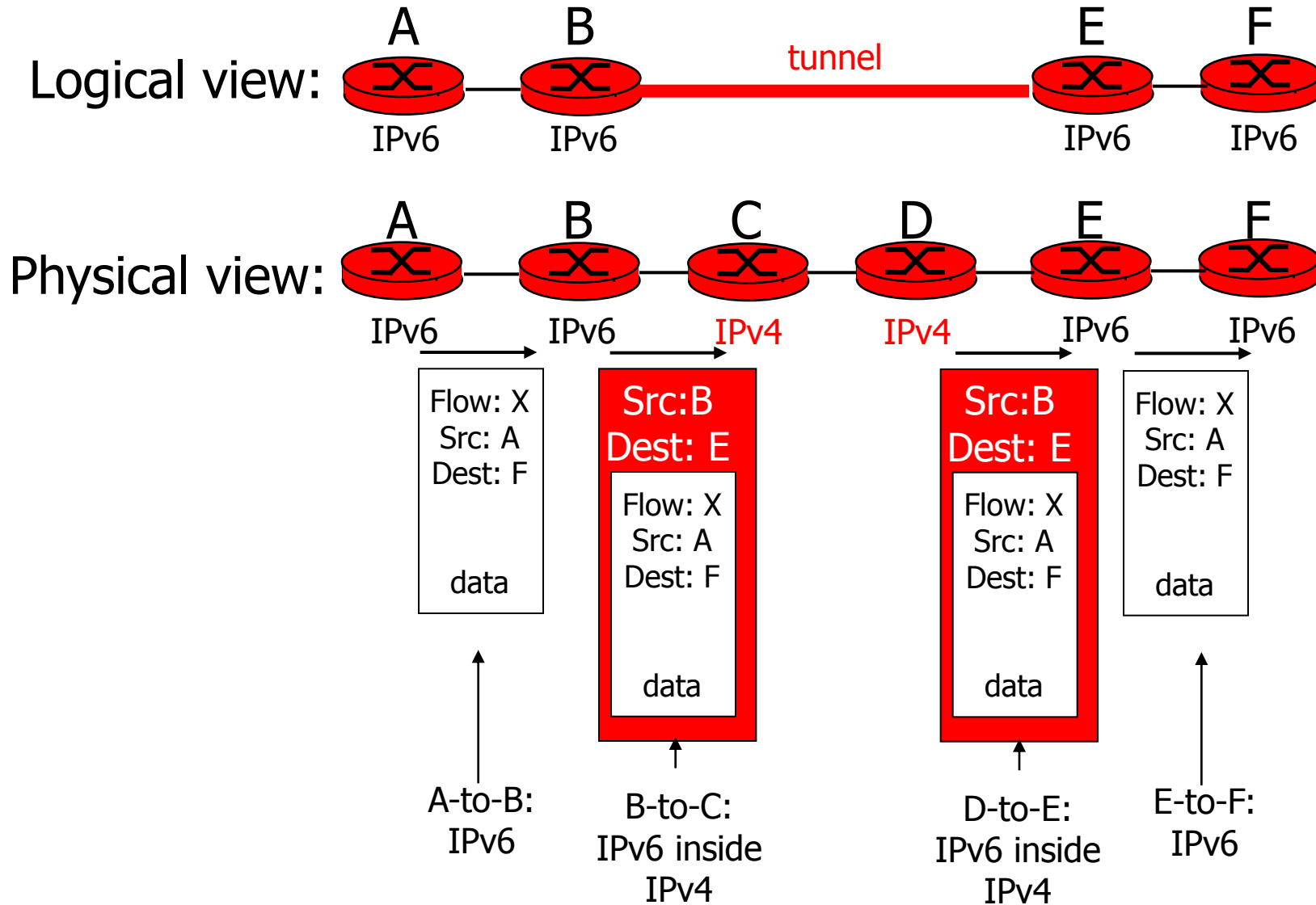
- Gli indirizzi IPv6 mappati su IPv4 sono utilizzati per mettere in comunicazione un nodo IPv6 ed un nodo IPv4
- Se la destinazione è nel formato **::FFFF:w.x.y.z** il mittente genera un pacchetto IPv4

# Transizione da IPv4 a IPv6: Tunneling

*Tunneling:* I pacchetti IPv6 vengono trasportati come payload all'interno di datagrammi IPv4 tra router IPv4



# Transizione da IPv4 a IPv6: Tunneling





# Conclusioni

- Cambiare il protocollo di rete (*le fondamenta*) non è cosa semplice
  - IPv6, Multicast, RSVP
- Cambiare/aggiungere protocolli di livello applicativo è cosa più semplice
  - Streaming, p2p, gaming ...