

Reti di Calcolatori I

Prof. Roberto Canonico

Dipartimento di Ingegneria Elettrica e delle Tecnologie dell'Informazione

Corso di Laurea in Ingegneria Informatica

A.A. 2019-2020

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

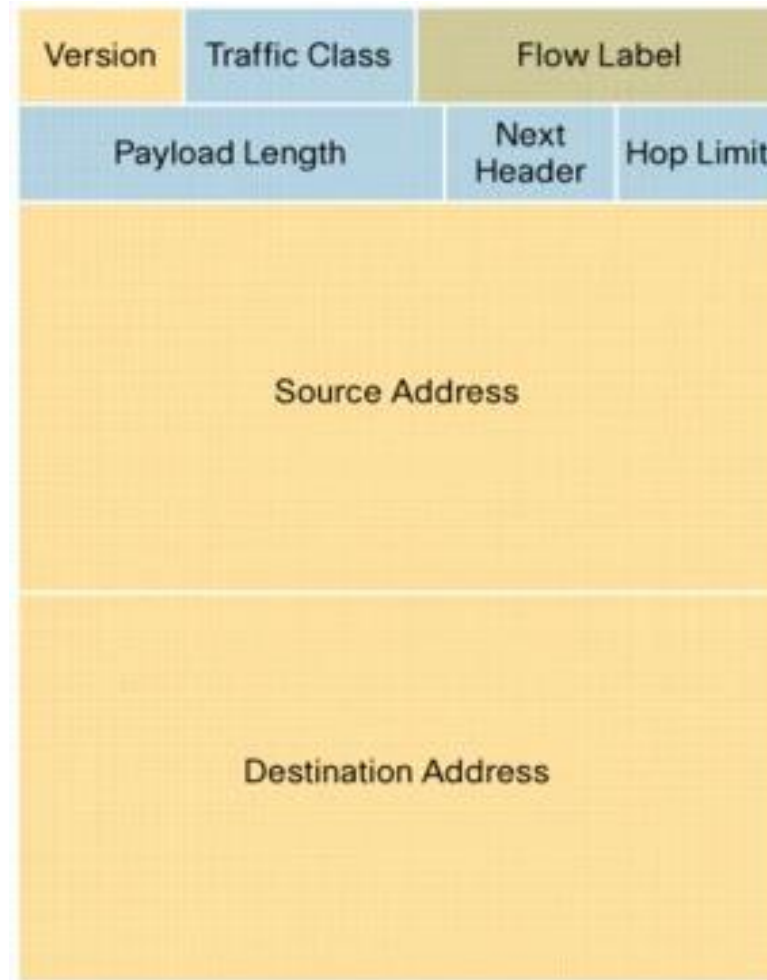
IPv6 : differenze rispetto ad IPv4 (2)

- 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

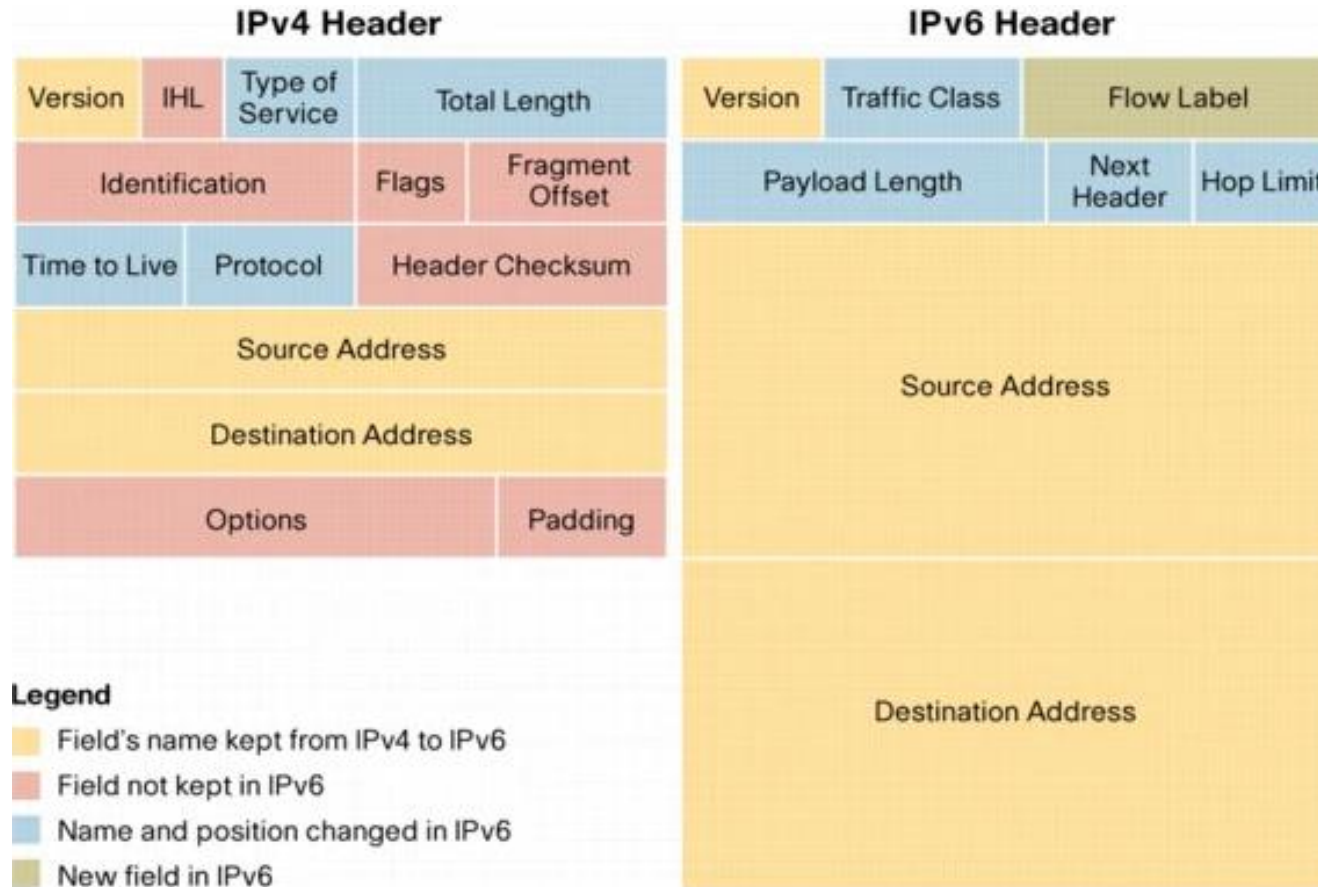
IPv6: header principale (1)



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"

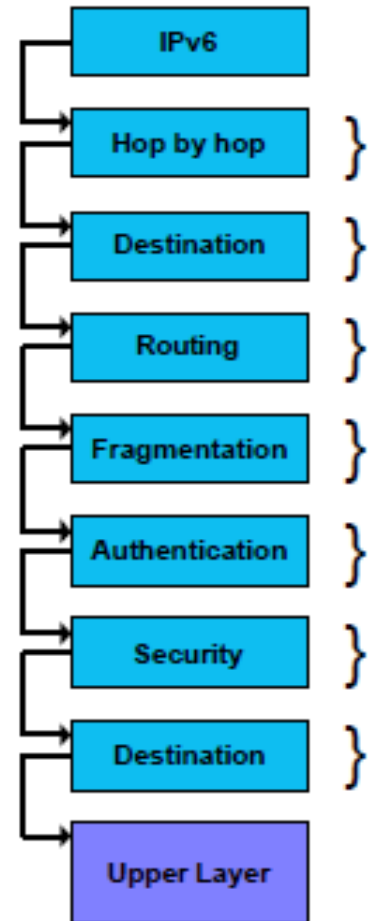
IPv6: traffic class

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

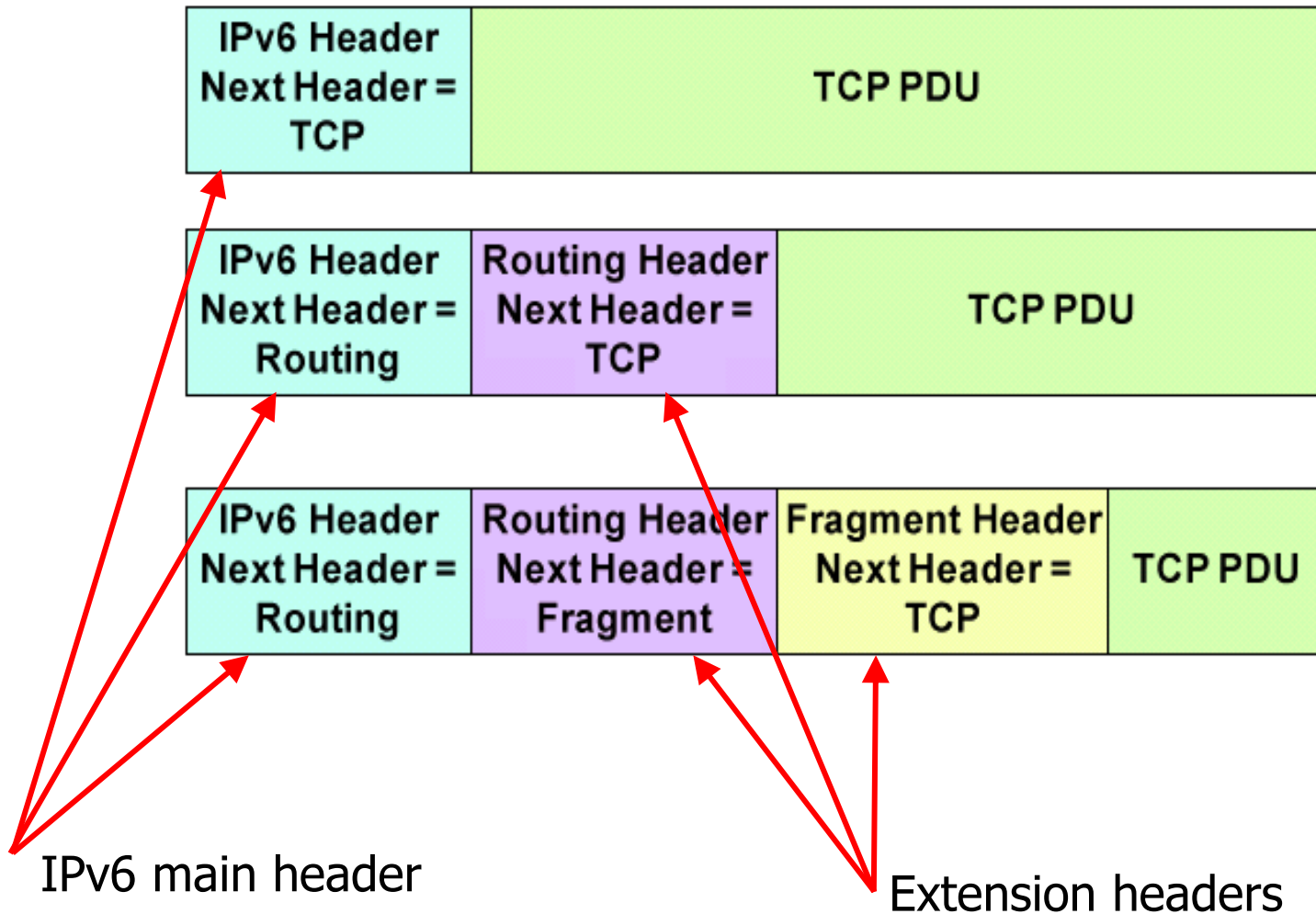
Gli Extension Header

- **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

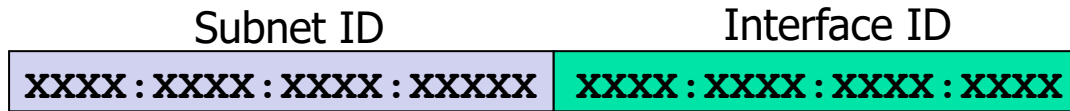
Indirizzi IPv6 unicast

- **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

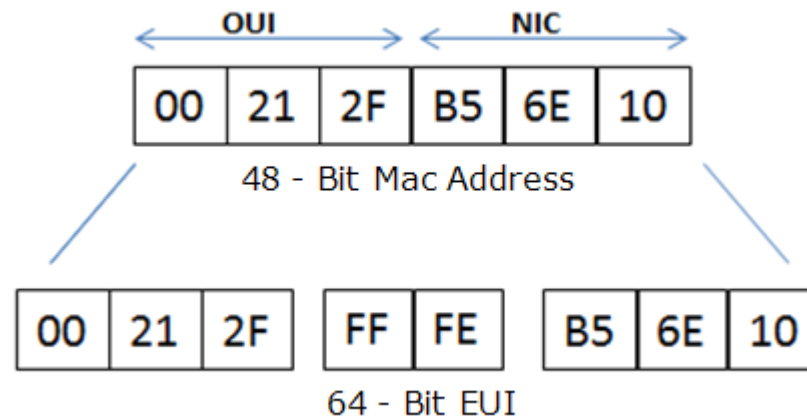
- Usati in reti private, non sono inoltrati dai router di Internet, possono essere inoltrati da router all'interno di una organizzazione
- Hanno un prefisso **FD00::/8**

- **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

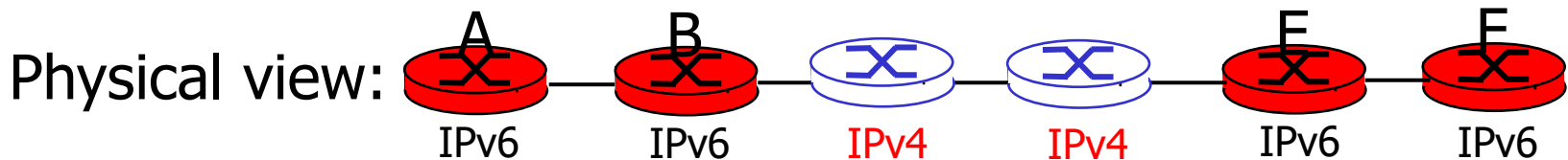
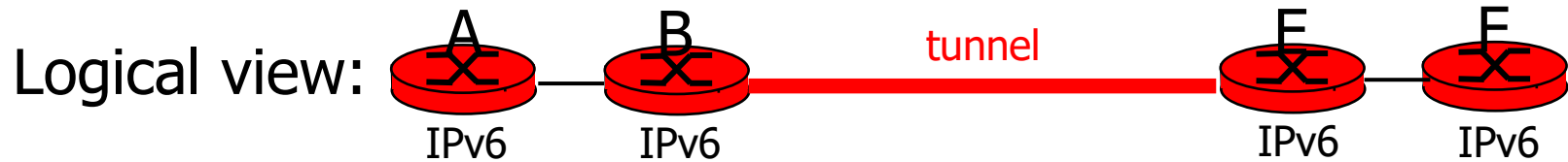
- Insieme ad IPv6 è stata definita una nuova versione del protocollo ICMP: ICMPv6
- Simile ad ICMPv4, fornisce funzionalità di controllo, segnalazione errori e diagnostica
- Accorpa le funzioni di IGMP
- Prevede ulteriori tipi di messaggi
 - Packet Too Big
 - usato in situazioni che in IPv4 sarebbero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

Indirizzi IPv6 compatibili con IPv4

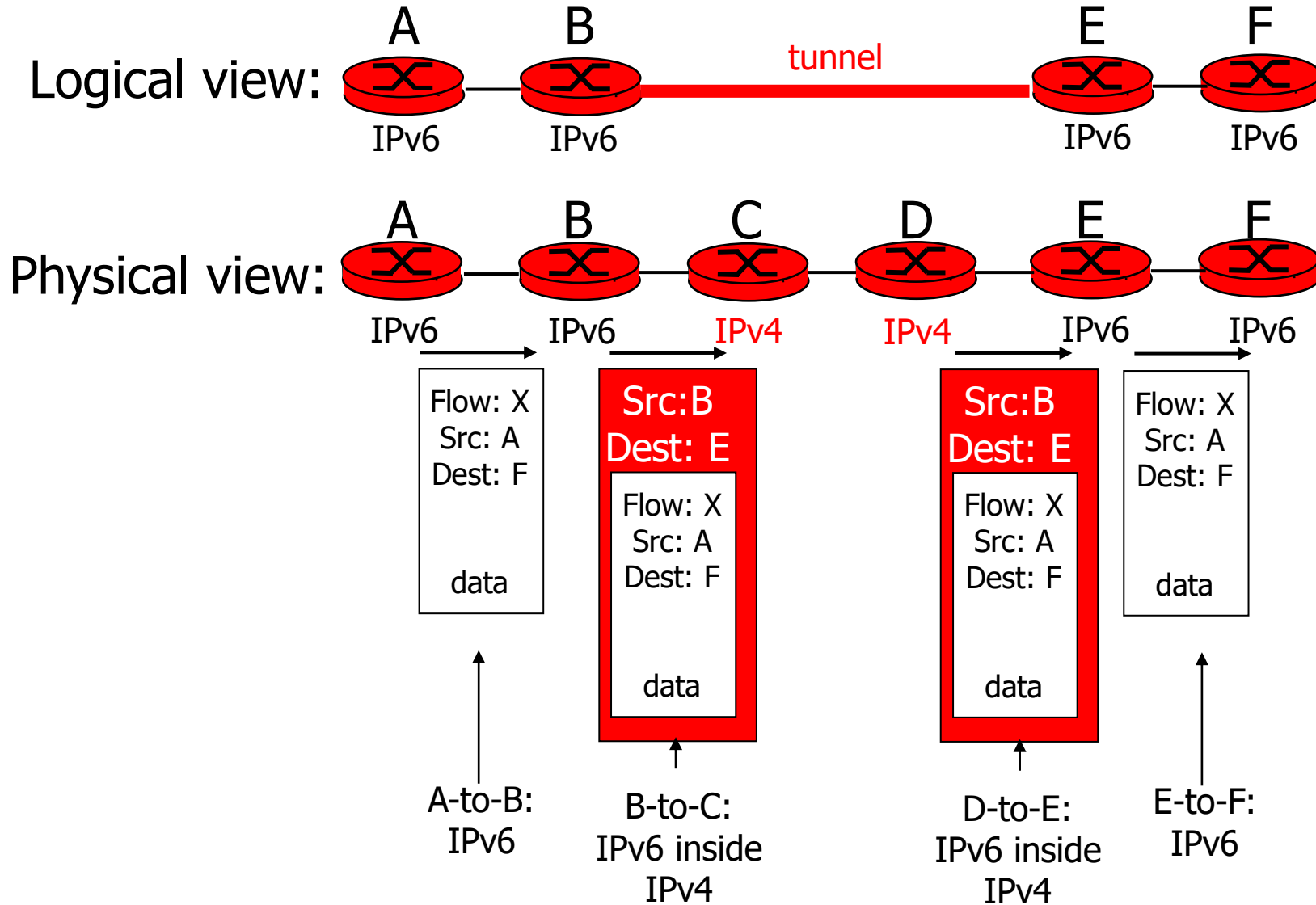
- Gli indirizzi IPv6 formati da un prefisso di 96 bit zero e successivi 32 bit sono detti **indirizzi IPv6 compatibili con IPv4**
- Un indirizzo IPv6 compatibile con IPv4, anziché essere rappresentato come:
0:0:0:0:0:0:X:Y con X ed Y numeri rappresentati con 4 cifre esadecimali
è tipicamente rappresentato 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 con IPv6 tramite un'infrastruttura IPv4
- I nodi a doppio stack utilizzano entrambi i protocolli IPv4 e IPv6
- Quando un indirizzo compatibile con IPv4 viene utilizzato come destinazione IPv6, il traffico IPv6 viene incapsulato automaticamente con un'intestazione IPv4 e inviato alla destinazione utilizzando l'infrastruttura 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 ...