



Università
degli Studi
della Campania
Luigi Vanvitelli

Reti di Calcolatori e Cybersecurity

IPv6

Ing. Vincenzo Abate

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
Reduce effort
- elaborazione efficiente dei pacchetti da parte dei router
- migrazione da IPv4 ad IPv6 / coesistenza di IPv4 ed IPv6
- miglior supporto di terminali mobili

IPv6 - motivi

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



Da IPv4 a 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....

IPv4 vs IPv6

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 *Comunica su gruppi o su molti*
- 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

IPv4 vs IPv6

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:

Contra Net-Neutrality

definizione di estensioni che forniscono il supporto per:

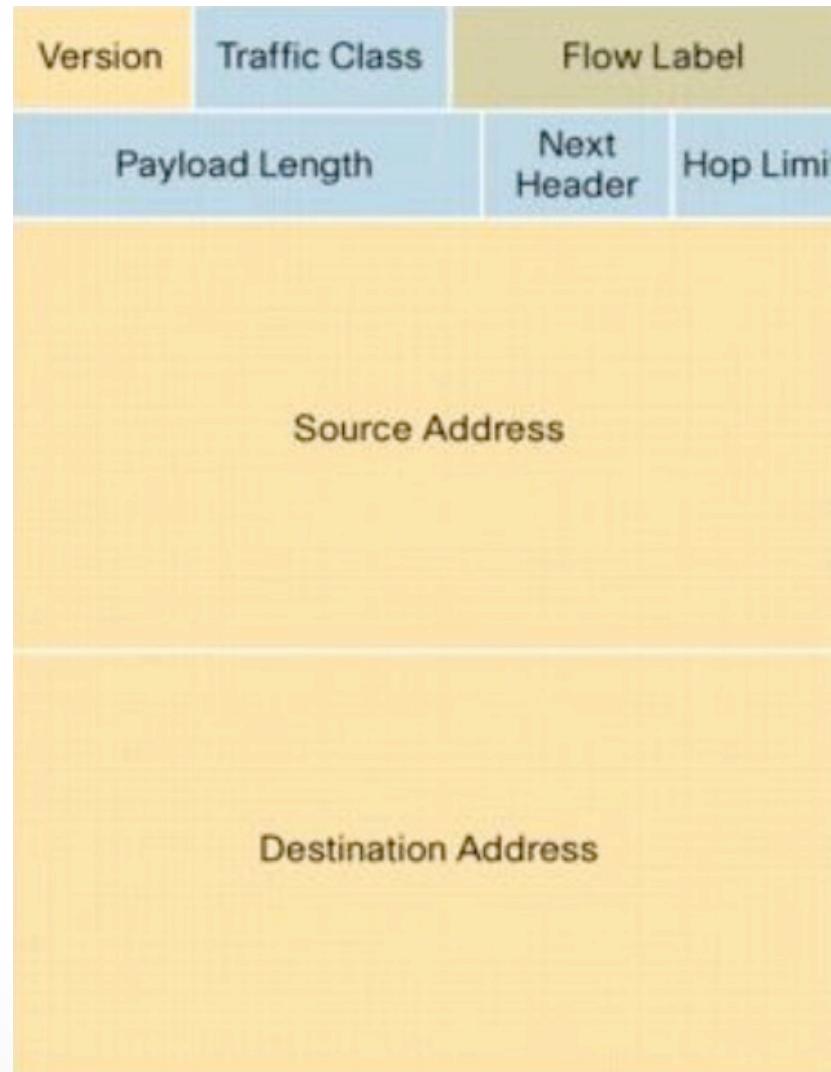
- l'autenticazione
- l'integrità dei dati
- la sicurezza, considerata elemento fondamentale del nuovo protocollo

IPv6: Header e 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



IPv6: Header principale

Lunghezza: 40 byte

Campi:

Version: 4 bit, numero della versione

Type of service
↑

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 Header: 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

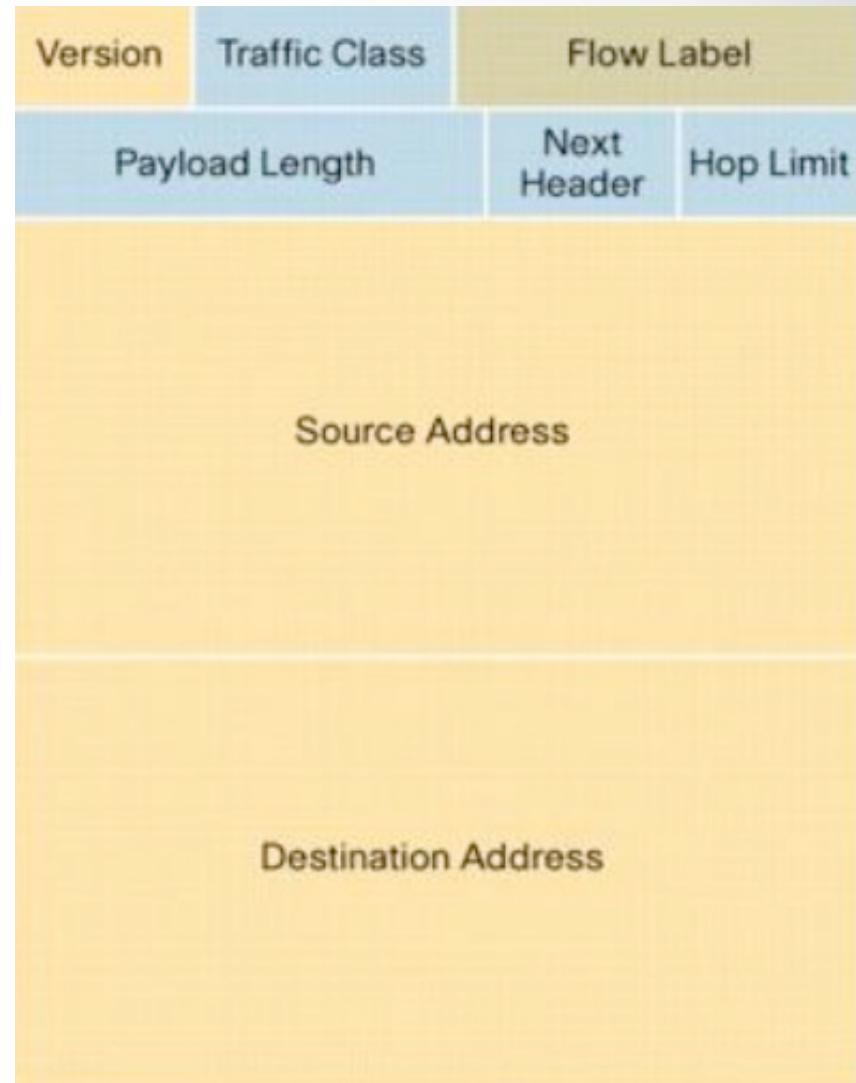


IPv4 vs IPv6



Legend

- Yellow square: Field's name kept from IPv4 to IPv6
- Red square: Field not kept in IPv6
- Light blue square: Name and position changed in IPv6
- Green square: New field in IPv6



IPv6: differenze con 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

classificazione di traffico

- 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)

IPv6: Extension Header

Hop by hop option header

- es: jumbograms

Routing header:

- strict source routing
- loose source routing

Fragment header:

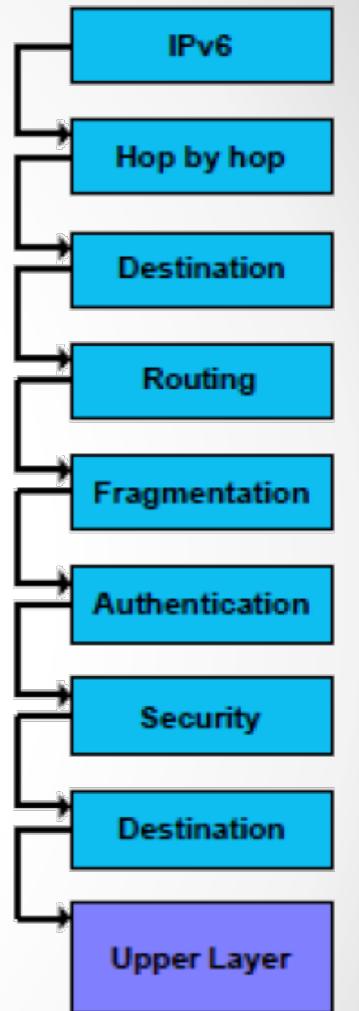
- gestisce la frammentazione

Authentication header

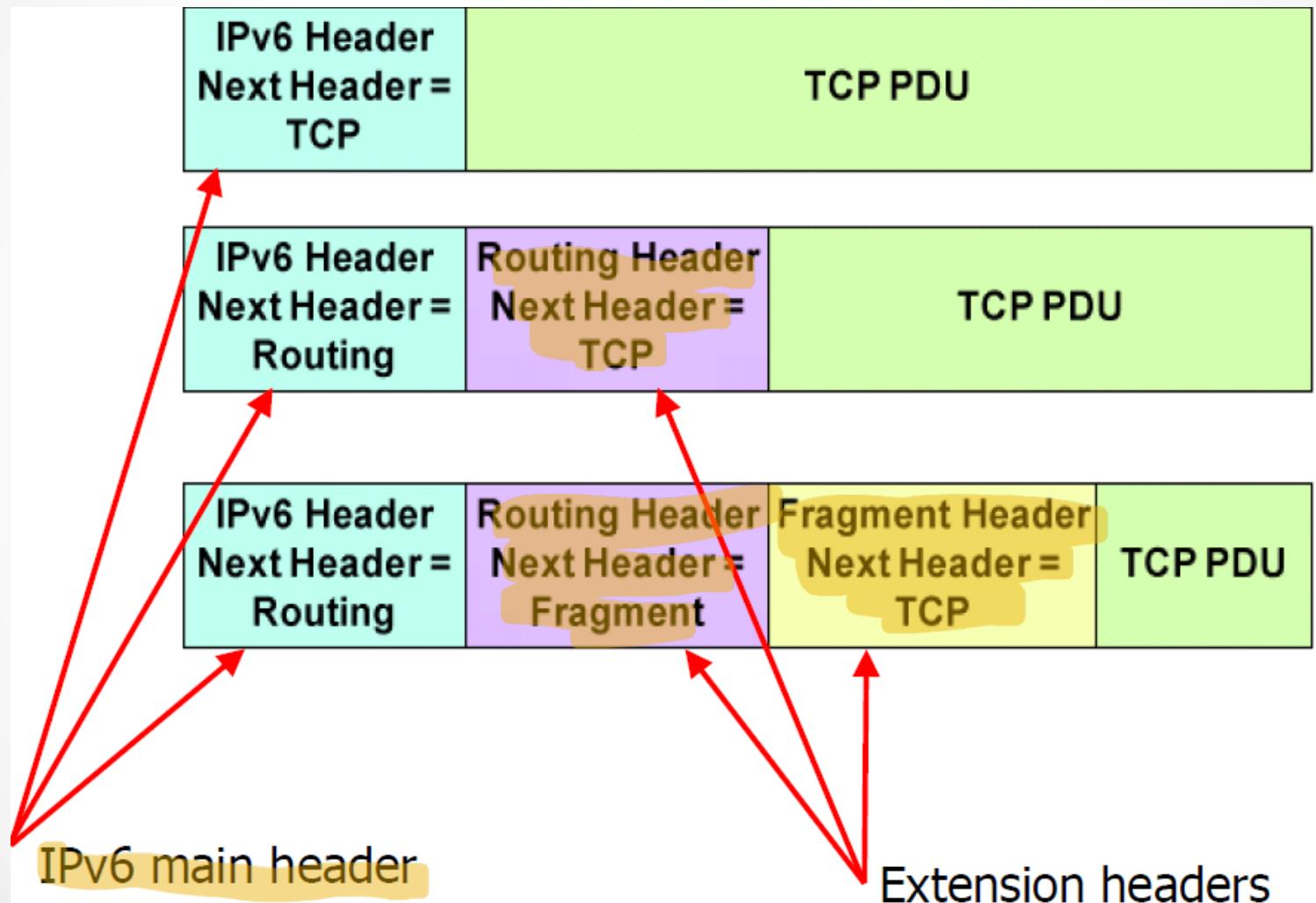
Encrypted security payload header

Destination option header

Gli extension header (se presenti) devono apparire secondo un ordine prestabilito



IPv6: Extension Header



Smelliamo header principale e accoda altra frammento

IPv6: Valori Next Header

Value (Hexadecimal)	Value (Decimal)	Protocol / Extension Header
00	0	Hop-By-Hop Options Extension Header (note that this value was "Reserved" in IPv4)
01	1	ICMPv4
02	2	IGMPv4
04	4	IP in IP Encapsulation
06	6	TCP
08	8	EGP
11	17	UDP
29	41	IPv6
2B	43	Routing Extension Header
2C	44	Fragmentation Extension Header
2E	46	Resource Reservation Protocol (RSVP)
32	50	Encrypted Security Payload (ESP) Extension Header
33	51	Authentication Header (AH) Extension Header
3A	58	ICMPv6
3B	59	No Next Header
3C	60	Destination Options Extension Header

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:ABBO

Valgono due regole di semplificazione della notazione:

- Una sequenza di zeri all'inizio di un gruppo di 4 cifre può essere omessa
 - Ad esempio 2340:0023:AABA:0A01:0055:5054:9ABC:ABBO
 - può essere abbreviato in 2340:23:AABA:A01:55:5054:9ABC:ABBO
- Una sequenza di campi successivi uguali a zero può essere rappresentata con il simbolo ‘::’ *usabile 1 volta*
 - Ad esempio 2340:0000:0000:0000:0455:0000:AAAB:1121
 - può essere scritto come 2340::0455:0000:AAAB:1121

IPv6: tipi di indirizzi

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) *Non gruppo di host*

Trasmissione uno a molti

Non è prevista la trasmissione broadcast *Mandare message broadcast poiché essere troppo oneroso*

Si identificano re^β sulla base
del prefisso

IPv6: Ripartizione spazio indirizzamento

Allocation	Prefix	Fraction of Address Space	
Reserved	0000 0000	1/256	
Unassigned	0000 0001	1/256	A seconda del bit che
Reserved for NSAP Allocation	0000 001	1/128	mo so quale netw è
Reserved for IPX Allocation	0000 010	1/128	WSN
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

IPv6: Indirizzi IPv6 unicast

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

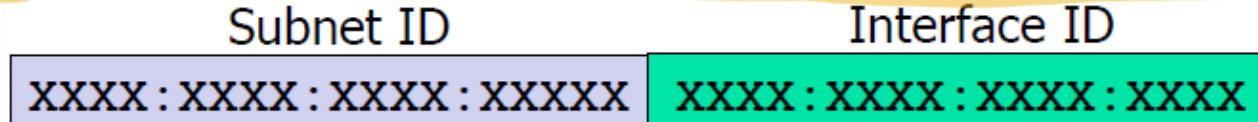
Esistono 3 tipi di indirizzi IPv6 unicast:

Global unicast – simili agli indirizzi IPv4 pubblici

Hanno un prefisso **2000::/3** (indirizzi che in binario iniziano per 001)

Sono assegnati da IANA per garantirne l'unicità in reti pubbliche

Sono costituiti da due sottocampi da 64 bit ciascuno: Subnet ID & Interface ID



Link local – usati per l'invio di pacchetti nella sottorete locale

Hanno un prefisso **FE80::/10** *Quali bit servono per prefisso*

Non inoltrano pacchetti ad altre subnet e non la

Ogni interfaccia di rete su cui è abilitato il protocollo IPv6 è configurata obbligatoriamente con un indirizzo IPv6 link-local

I router non inoltrano pacchetti con questi indirizzi ad altre subnet

Unique local – simili agli indirizzi IPv4 privati

Hanno un prefisso **FD00::/8** *192.168*

Usati in reti private, non sono inoltrati dai router di Internet ma possono essere inoltrati da router all'interno di una organizzazione

Hanno rimpiazzato gli indirizzi IPv6 site-local (deprecati in RFC 3879)

Indirizzi IPv6 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 neighbour
- **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

Indirizzi IPv6 link-local

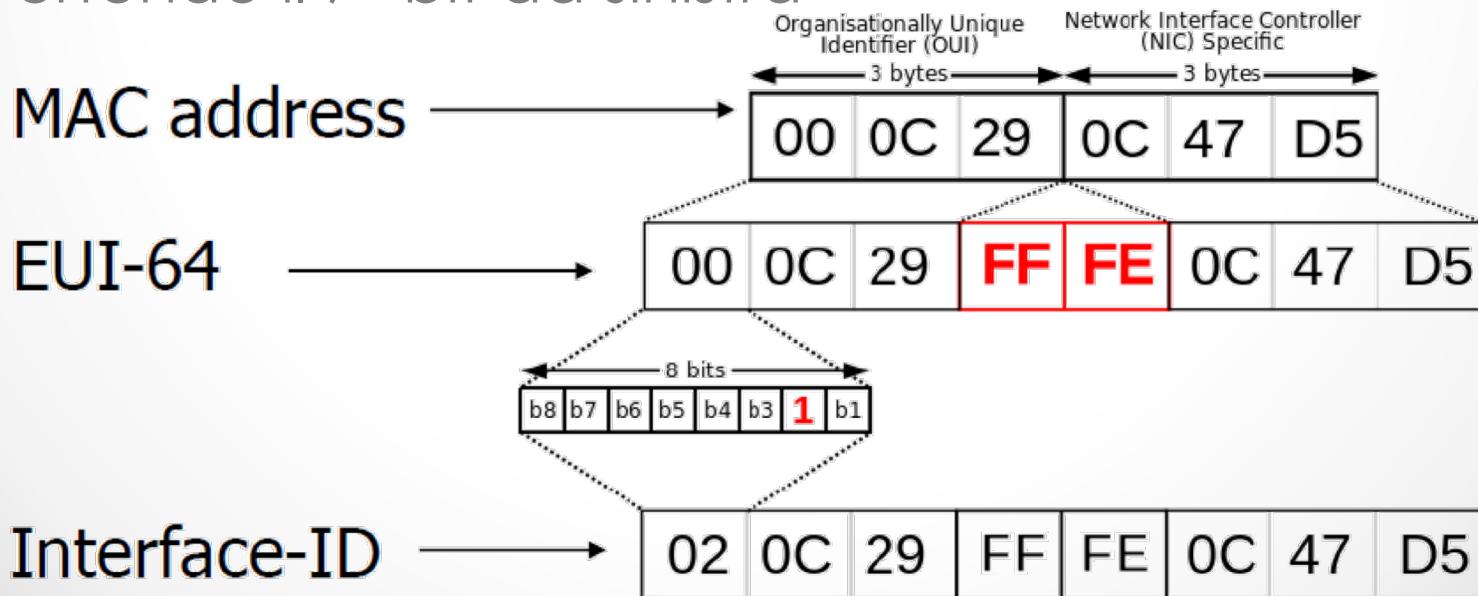
- Definiti in RFC 4291 (IPv6 Addressing Architecture)
- Caratterizzati dal prefisso FE80::/10 seguito da 54 zeri, quindi FE80::/64



- Il modo con cui l'Interface-ID è prodotto varia a seconda del sistema operativo
 - In alcuni sistemi, l'interface-ID è calcolato a partire dal MAC address
 - In altri sistemi l'interface-ID è generato in maniera pseudo-random
- In generale, non vi è garanzia che un indirizzo link-local sia globalmente univoco
- Un indirizzo IPv6 link-local può essere usato esclusivamente per comunicare con altri host o router direttamente raggiungibili tramite un link
- **Ogni interfaccia di rete che supporti IPv6 deve essere configurata con almeno un indirizzo IPv6 link-local**

Indirizzi IPv6 link-local

- RFC-2373 definisce un modo per generare un identificativo a 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)
 - 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
- L'interface-ID può essere calcolato a partire da EUI-64, invertendo il 7° bit da sinistra



Esempio di indirizzo link-local da EUI-64

MAC address:	00:0C:29:0C:47:D5
EUI-64:	000C:29FF:FE0C:47D5
Interface-ID:	020C:29FF:FE0C:47D5
Link-local IPv6 address:	FE80::020C:29FF:FE0C:47D5

Indirizzi IPv6 Global Unicast

Identificati da un prefisso 2000::/3 (indirizzi che in binario iniziano per 001)

RFC 3849 riserva il blocco 2001:DB8::/32 a scopi di documentazione

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

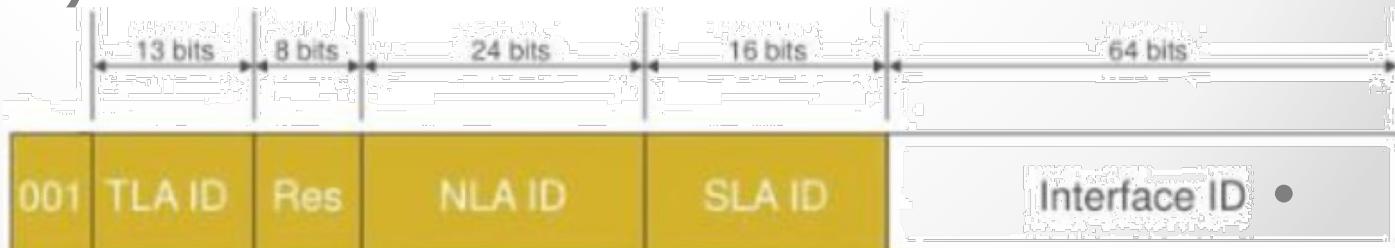
L'interface ID può essere generato automaticamente a partire dal MAC address della scheda di rete

Il subnet ID è un identificatore composto ottenuto aggregando identificatori più piccoli secondo un criterio gerarchico:

Top Level ID (TLA ID)

Next Level ID (NLA ID)

Site Level ID (SLA 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 tavole 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 usati in contesti nei quali IPv4 usa invece l'indirizzo broadcast 255.255.255.255

- **All-nodes:** FF02::1
- **All-routers:** FF02::2

Esempio indirizzi IPv6 in un host Linux

```
$ ip addr
1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 65536 qdisc noqueue state UNKNOWN group default
qlen 1000
    link/loopback 00:00:00:00:00:00 brd 00:00:00:00:00:00
    inet 127.0.0.1/8 scope host lo
        valid_lft forever preferred_lft forever
    inet6 ::1/128 scope host
        valid_lft forever preferred_lft forever
2: enp0s5: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc pfifo_fast state UP
group default qlen 1000
    link/ether 00:11:22:33:44:55 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
    inet 192.0.2.42/24 brd 192.0.2.255 scope global noprefixroute dynamic enp0s5
        valid_lft 767sec preferred_lft 767sec
    inet6 2001:db8::8c28:c929:72db:49fe/64 scope global noprefixroute dynamic
        valid_lft 2591998sec preferred_lft 604798sec
    inet6 fe80::9656:d028:8652:66b6/64 scope link noprefixroute
        valid_lft forever preferred_lft forever
```

L'interfaccia lo (*loopback*) ha indirizzo IPv6 ::1

L'interfaccia Ethernet enp0s5 ha due indirizzi IPv6

- 2001:db8::8c28:c929:72db:49fe/64 (indirizzo globale)
- fe80::9656:d028:8652:66b6/64 (indirizzo link-local)

Assegnazione di indirizzi IPv6 a host

Esistono diversi modi per attribuire un indirizzo IPv6 ad una interfaccia di host

Static address configuration

configurazione statica da parte dell'amministratore

Stateless address auto-configuration (SLAAC) - RFC 4862

un indirizzo IPv6 link-local è attribuito autonomamente dal sistema operativo dell'host

altri indirizzi possono essere configurati mediante un meccanismo basato su messaggi ICMPv6 di Router Advertisement generati dai router che indicano un prefisso di 64 bit che deve essere utilizzato dagli host ad essi collegati

Stateful DHCP address assignment - RFC 8415

configurazione dinamica con indirizzo assegnato da un server DHCPv6

- **Gli indirizzi assegnati mediante meccanismi stateless sono determinati (totalmente o parzialmente) dall'host stesso**
- **L'assegnazione tramite DHCP consente di tenere traccia degli indirizzi utilizzati nella rete**

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**

ICMPv6: messaggi per neighbor discovery

RFC 4861 definisce 5 tipi di messaggio ICMPv6 per il neighbour discovery

RS — Router Solicitation (ICMPv6 type 133)

usati da un host per sollecitare i router direttamente raggiungibili tramite le proprie interfacce ad inviare immediatamente un messaggio di tipo Router Advertisements (RA)

RA — Router Advertisement (ICMPv6 type 134)

usati dai router per manifestare la propria presenza; sono inviati sia periodicamente sia in seguito a sollecitazione di un host tramite messaggio RS

trasmessi all'indirizzo destinazione all-hosts FE20::1

un messaggio RA contiene i prefissi usati per determinare se un altro indirizzo condivide lo stesso link, un valore suggerito di hop limit ed altro

NS — Neighbor Solicitation (ICMPv6 type 135)

usati da host e router per determinare l'indirizzo link-layer di un vicino, o per verificare che un vicino sia ancora raggiungibile attraverso l'indirizzo link-layer mantenuto in cache

anche usati per rilevazione di indirizzi duplicati (Duplicate Address Detection o DAD).

NA — Neighbor Advertisement (ICMPv6 type 136)

invia in risposta ad un messaggio NS message

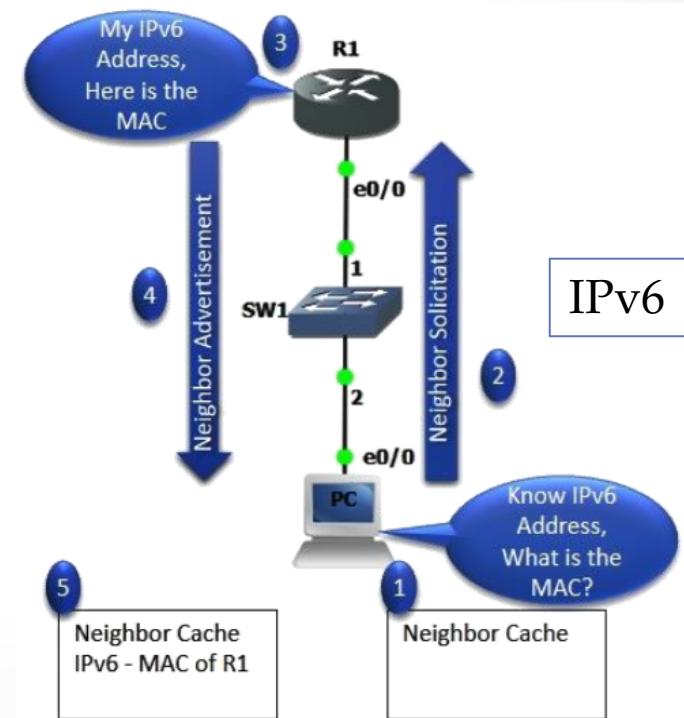
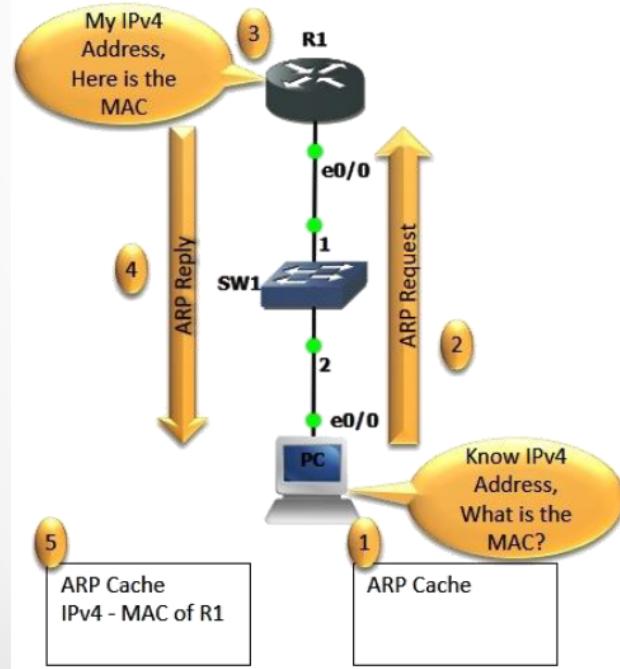
anche inviati in modo unsolicited per annunciare un cambiamento di indirizzo link-layer

Redirect (ICMPv6 type 137)

Usati da un router per informare gli host dell'esistenza di un router migliore per una certa destinazione

IPv6 Address resolution

- In IPv6 non esiste un indirizzo broadcast
 - Non c'è l'equivalente di 255.255.255.255 per IPv4
- Non si usa ARP per address resolution ma ICMPv6
 - Un end-system invia un messaggio Neighbour Solicitation (NS) per scoprire il MAC address del sistema al quale vuole inviare un pacchetto
 - Il sistema interpellato risponde con un Neighbour Advertisement (NA)

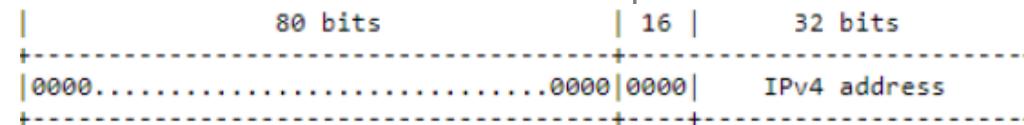


Indirizzi IPv6 compatibili con IPv4

Definiti in RFC1884 e successivi aggiornamenti (IP Version 6 Addressing Architecture) come caso particolare di indirizzi IPv6 che incorporano un indirizzo IPv4 *per costringere le 2 cose: aggrr 0 su questa e uso a 32 bit*

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

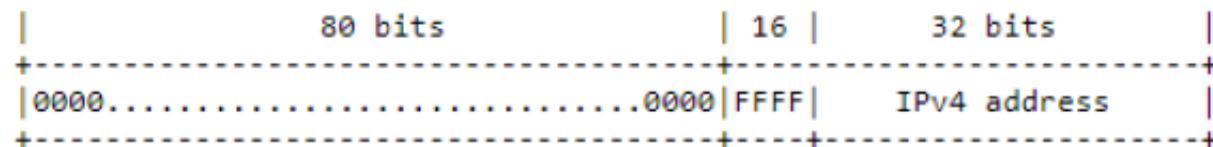
dove w.x.y.z è un indirizzo IPv4 in notazione dotted decimal

- 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 encapsulato 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:FFFF:X:Y** con X ed Y numeri rappresentati con 4 cifre esadecimale 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:FFFF:w.x.y.z oppure **::FFFF:w.x.y.z** dove w.x.y.z è un indirizzo IPv4 in notazione dotted decimal

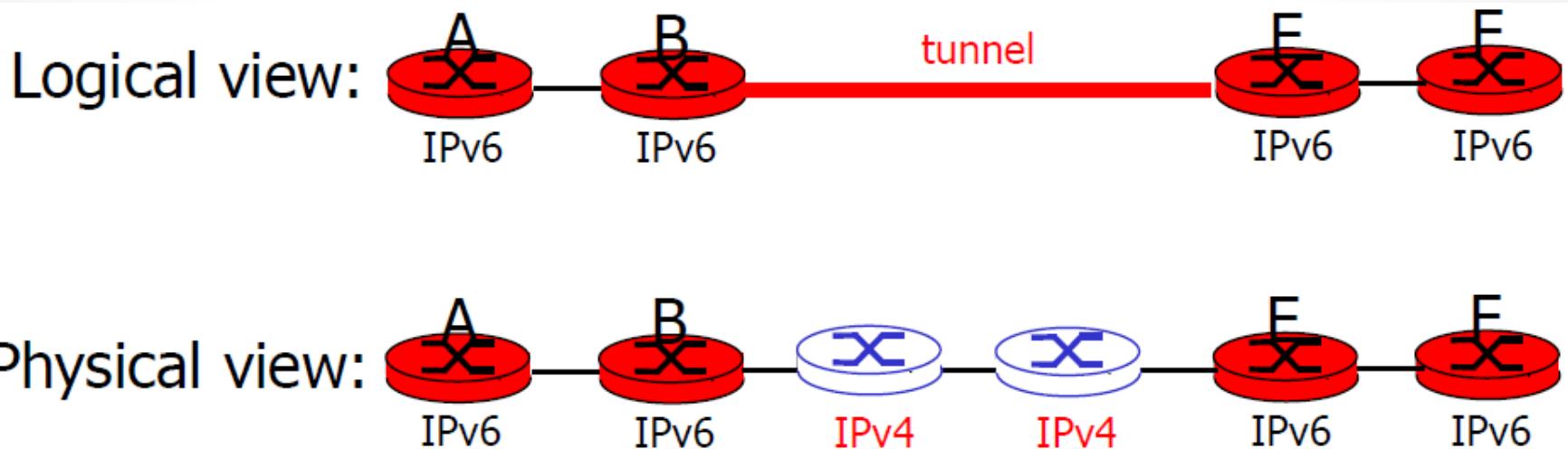
Gli indirizzi IPv6 mappati su IPv4 sono utilizzati per mettere in comunicazione un nodo IPv6 ed un nodo IPv4

Se la destinazione è nel formato **::FFFF:w.x.y.z** il mittente genera un pacchetto IPv4

Transizione da IPv4 a IPv6: Tunneling

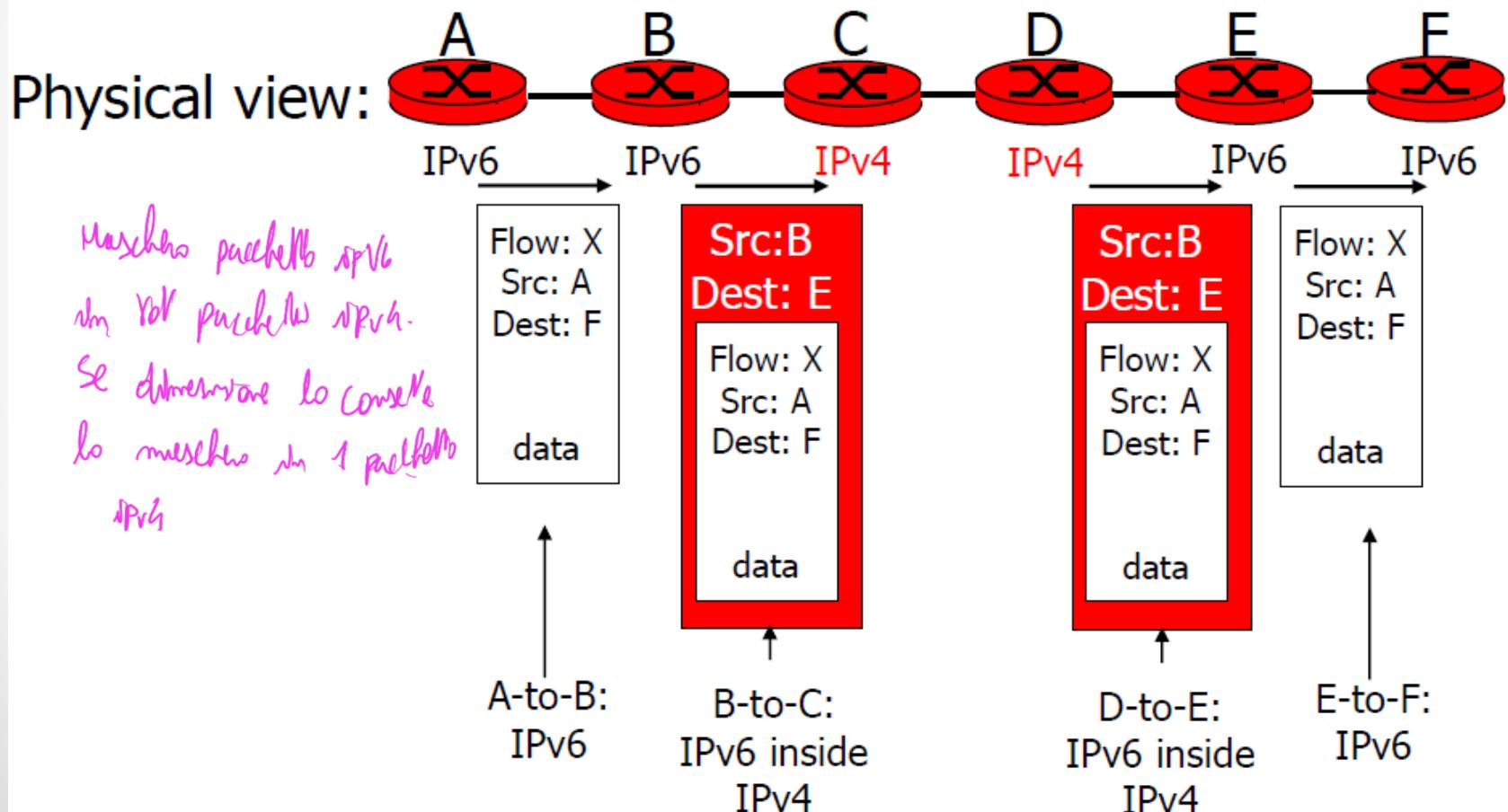
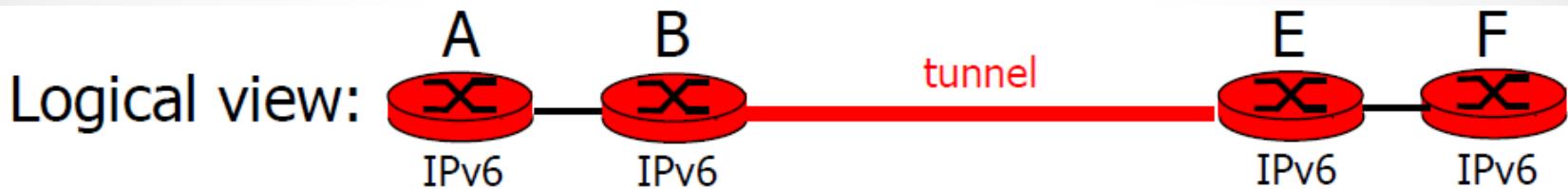
Tunneling: I pacchetti IPv6 vengono trasportati come payload all'interno di datagrammi IPv4 tra router IPv4

↓
imcarico router che supportano IPv6



Dove scarabocchi

Transizione da IPv4 a IPv6: Tunneling



Quindi...

- 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 ...