

GARR

The Italian Academic & Research Network



www.garr.it

Tutorial IPv6 - base

I concetti principali:

Header, indirizzamento, ICMP

Gabriella Paolini

WS9, Roma, 15.06.2009



- ***Header IPv6***
- Indirizzi IPv6
- ICMPv6
 - Protocollo e tipi di pacchetto
 - Path MTU discovery
- Neighbor Discovery
- DNS

IPv6 - il nuovo protocollo

RFC2460

*Internet Protocol, Version 6 (IPv6)
Specification*

December 1998

(RFC1883 – December 1995)

Header IPv4

- 20 bytes senza il campo options

| | | | | | |
|--------|-----------------------------|-----|----------|--------------|-----------------|
| 4Bytes | Ver | IHL | TOS. | Total length | |
| 4Bytes | Identification | | | Flag | Fragment offset |
| 4Bytes | TTL | | Protocol | Checksum | |
| 4Bytes | 32 bits Source Address | | | | |
| 4Bytes | 32 bits Destination Address | | | | |
| | IP Options | | | | Padding |

In giallo i campi che non sono più implementati in IPv6

Header IPv4

- Version. 4 bit.
 - **4** - IP, Internet Protocol.
- IHL, Internet Header Length. 4 bit.
 - Specifica la lunghezza dell'Header del pacchetto IP in gruppi di 32 bits. Il valore minimo e' 5.
- TOS, Type of Service. 8 bit.
 - Specifica i parametri del tipo di servizio richiesto.
- Total length. 16 bit.
 - Contiene la lunghezza totale del pacchetto

Header IPv4

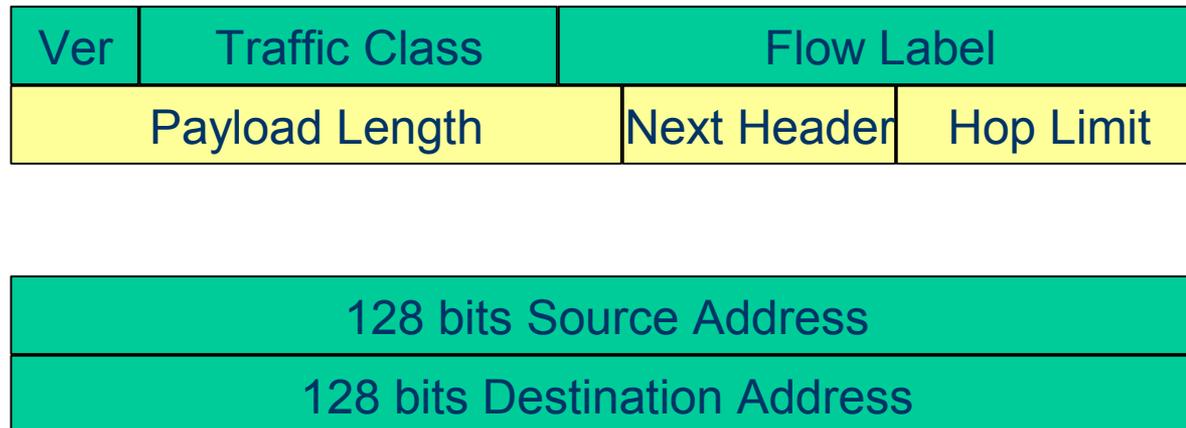
- Identification. 16 bit.
 - Usato per identificare il frammento di un pacchetto nel caso sia frammentato.
- Flags. 3 bit.
 - Controlla la frammentazione del pacchetto.
- Fragment Offset. 13 bit.
 - Usato per ordinare la ricostruzione di un pacchetto frammentato.
- TTL, Time to Live. 8 bit.
 - Un campo timer usato per tracciare il tempo di vita del pacchetto.

Header IPv4

- Protocol. 8 bit.
 - Specifica il successivo protocollo di livello più alto.
- Header checksum. 16 bit.
 - Checksum dell'header IP incluse le opzioni.
- **Source IP address.** 32 bit.
 - Indirizzo IP del mittente.
- **Destination IP address.** 32 bit.
 - Indirizzo IP del destinatario.
- Options. Lunghezza variabile.
- Padding. Lunghezza variabile.
 - Serve per garantire che l'header del pacchetto sia allineata su 32 bit.

Header IPv6

- 40 byte senza le altre header extensions



In giallo i campi ereditati da IPv4 ma rinominati

Header IPv6

- Version. 4 bit.
 - 6 - IPv6.
- Traffic Class. 8 bit.
 - Valore per identificare la priorità del pacchetto nel traffico Internet. (come il TOS IPv4)
- 6bit DSCP 2bit CU
- Flow Label. 20 bit.
 - Per la classificazione dei pacchetti seguendo un determinato flusso
 - Più efficiente

Header IPv6

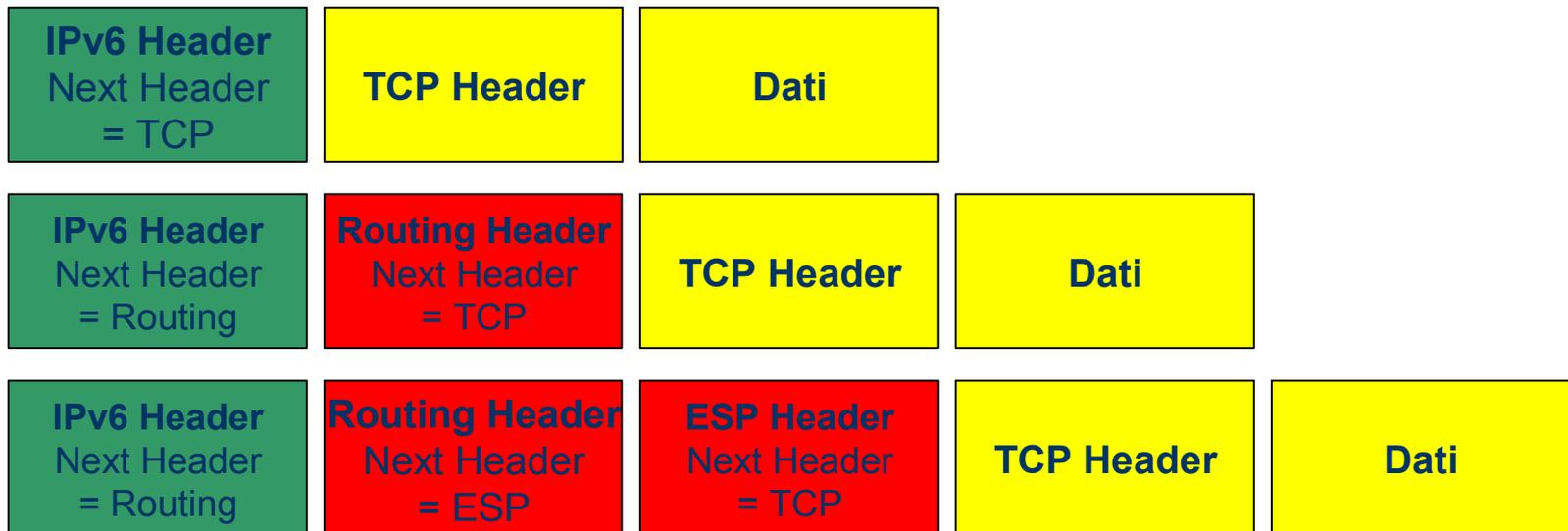
- Payload Length. 16 bit.
 - Specifica la lunghezza dei dati nel pacchetto.
 - Al max pacchetti da 64 KB. Per pacchetti di dimensioni maggiori si utilizza l'opzione Jumbo Payload
- Next Header. 8 bit.
 - Specifica l'header successivo. Se è un protocollo di livello più alto, i valori sono compatibili con quelli specificati per IPv4.
 - Consente di specificare gli extension header.

Header IPv6

- Hop Limit. 8 bit.
 - Sostituisce il TTL IPv4.
- Source address. 16 byte.
 - L'indirizzo IPv6 del mittente.
- Destination address. 16 byte.
 - L'indirizzo IPv6 del destinatario.

Extension Headers

- Un nuovo metodo per implementare le opzioni
- Aggiunto dopo l'header di base IPv6

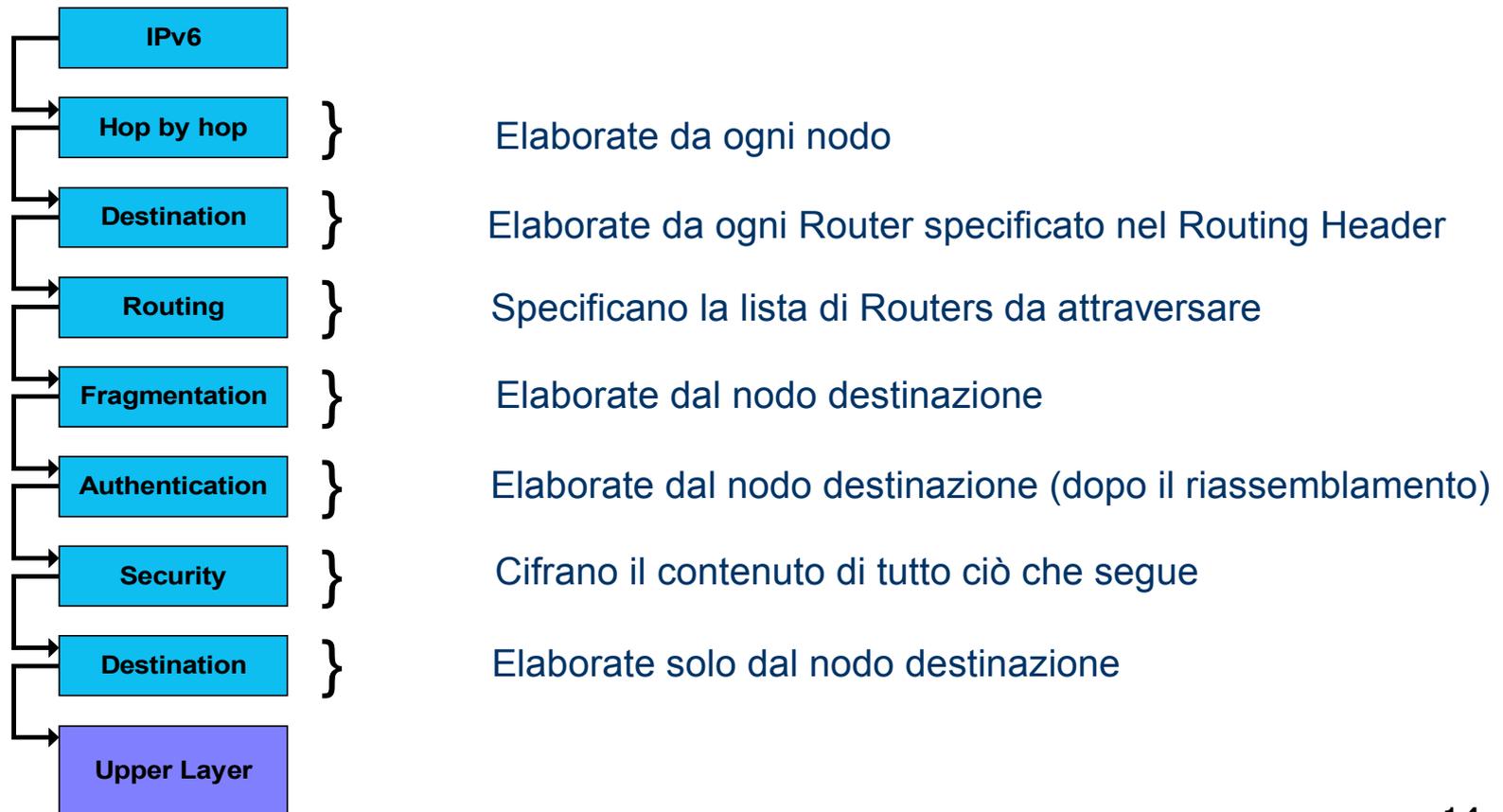


Tipi di Headers

- 00 = Hop-by-Hop Options
- 43 = Routing
- 44 = Fragment
- 51 = Authentication
- 60 = Destination Options
- 50 = Encapsulating Security Payload
- xx = Protocolli di livello piu' alto come per IPv4
- 58 = Internet Control Message Protocol (ICMPv6)
- 59 = nessun next header

Extension Headers

L'ordine degli header se presenti:



- **Hop-by-hop options (00)**
 - Queste informazioni devono essere esaminate da ogni nodo lungo il percorso del pacchetto.
 - E' sempre la prima Header Extension
 - Alcune opzioni utilizzate:
 - Router Alert
 - Jumbo Payload

▪ **Routing (43)**

- Simile all'opzione IPv4 Loose Source Route
- Indica una lista di router da attraversare.
- Migliora le prestazioni rispetto ad IPv4
 - Header valutata solamente dai router specificati
 - Ogni router (di quelli specificati), valuta il routing header ed aggiorna la destinazione del pacchetto con l'indirizzo IPv6 del prossimo router della lista
- Usato per il mobile IPv6 & multihoming

- **Fragment (44)**

- Usato soltanto dall'host mittente per l'host destinatario. (I router non frammentano più!!!)

IPv6 prevede:

- ◆ Una MTU minima di 1280 byte (68 byte in IPv4)
 - Link senza questa capacità devono gestire la frammentazione ed il riassettaggio a livello data-link
- ◆ Che ogni nodo implementi una procedura di MTU Path Discovery (non strettamente necessario)
- ◆ Per inviare pacchetti più grandi della massima MTU consentita devo utilizzare i fragment header

▪ Destination Options (60)

- Usato per trasportare informazioni opzionali che saranno valutate soltanto dall'host destinatario
- Può occupare 2 posizioni nella Daisy Chain:
 - Prima del Routing Header
 - Alla fine della Daisy Chain
- Usato per il Mobile IPv6
 - Insieme al Routing header risolve il problema del routing "triangolare"

Tipi di Headers

Supporto nativo alla sicurezza:

- IPsec nativo su IPv6
- Tutte le implementazioni di IPv6 dovrebbero garantire il supporto alla sicurezza.
- Authentication Header (51)
 - Fornisce l'autenticazione; un modo per verificare che l'indirizzo del mittente sia autentico e che il pacchetto non sia stato alterato durante il percorso.
- Encapsulating Security Payload (50)
 - Garantisce che solo il destinatario autorizzato sarà in grado di leggere il pacchetto.
 - Come in IPv4 due modalità: trasport o tunnel

- Header IPv6
- ***Indirizzi IPv6***
- ICMPv6
 - Protocollo e tipi di pacchetto
 - Path MTU discovery
- Neighbor Discovery
- DNS

- ◆ IPv4 = **32 bits**
- ◆ IPv6 = **128 bits**
 - Non 4 volte il numero di indirizzi:
4 volte il numero di bits!
 - $\sim 3,4 * 10^{38}$ possibili nodi indirizzabili (max teorico)
 - 10^{30} indirizzi per ogni persona del pianeta
 - In realtà, utilizzando la stessa efficienza di assegnazione della rete IPv4 avremmo una disponibilità di $\sim 10^{33}$ indirizzi IPv6

Formato dell'Indirizzo IPv6

- X:X:X:X:X:X:X:X
 - Dove X è un campo di 16 bits in notazione esadecimale

Es:

2001:0000:1234:0000:0000:00D0:ABCD:0532

- Il valore è indipendente dalla notazione maiuscola o minuscola delle lettere

Es:

2001:0000:1234:0000:0000:00D0:abcd:0532

- Gli zero a sinistra di ogni campo sono opzionali

Es: 2001:0:1234:0:0:D0:ABCD:532

Formato dell'Indirizzo IPv6

- Campi successivi di zero sono rappresentati da :: ma solo una volta in un indirizzo.

Es: 2001:0:1234::D0:ABCD:532

- Non e' valida la notazione:

Es: 2001::1234::C1C0:ABCD:876

- Altri esempi:

- **2001:760:2:0:0:0:0:0 => 2001:760:2::**

- **FF02:0:0:0:0:0:0:1 => FF02::1**

- **0:0:0:0:0:0:0:1 => ::1**

- **0:0:0:0:0:0:0:0 => ::**

Indirizzi IPv6 in URL

- In una URL gli indirizzi IPv6 devono essere scritti tra parentesi quadre.

`http://[2001:1:4F3A::206:AE14]:8888/index.html`

- I programmi che usano URL (browser, etc.) sono stati modificati
 - Scomodo per gli utenti
 - Prevalentemente usato per scopi diagnostici
 - Più comodo usare una notazione per nome a dominio.

- IPv6 suddivide gli indirizzi in:
 - Unicast: indirizzi di nodi
 - Multicast: indirizzi di gruppi di nodi
 - Anycast: indirizzi di servizi

Architettura degli Indirizzi

| <i>IPv6 Prefix</i> | <i>Allocation</i> | <i>Reference</i> |
|--------------------|-----------------------|------------------|
| 0000::/8 | Reserved by IETF | [RFC4291] |
| 0100::/8 | Reserved by IETF | [RFC4291] |
| 0200::/7 | Reserved by IETF | [RFC4048] |
| 0400::/6 | Reserved by IETF | [RFC4291] |
| 0800::/5 | Reserved by IETF | [RFC4291] |
| 1000::/4 | Reserved by IETF | [RFC4291] |
| 2000::/3 | Global Unicast | [RFC4291] |

**<http://www.iana.org/assignments/ipv6-address-space/>
(last updated 2008-05-13)**

Architettura degli Indirizzi

| <i>IPv6 Prefix</i> | <i>Allocation</i> | <i>Reference</i> |
|--------------------|-----------------------------|------------------|
| 4000::/3 | Reserved by IETF | [RFC4291] |
| 6000::/3 | Reserved by IETF | [RFC4291] |
| 8000::/3 | Reserved by IETF | [RFC4291] |
| A000::/3 | Reserved by IETF | [RFC4291] |
| C000::/3 | Reserved by IETF | [RFC4291] |
| E000::/4 | Reserved by IETF | [RFC4291] |
| F000::/5 | Reserved by IETF | [RFC4291] |
| F800::/6 | Reserved by IETF | [RFC4291] |
| FC00::/7 | Unique Local Unicast | [RFC4193] |
| FE00::/9 | Reserved by IETF | [RFC4291] |
| FE80::/10 | Link Local Unicast | [RFC4291] |
| FEC0::/10 | Reserved by IETF | [RFC3879] |
| FF00::/8 | Multicast | [RFC4291] |

Indirizzi Unicast

- ◆ Unspecified
- ◆ Loopback
- ◆ IPv4 Compatible
- ◆ IPv4 Mapped
- ◆ Indirizzi Scoped
- ◆ Aggregatable Global

Unspecified

- ◆ **0:0:0:0:0:0:0:0** o semplicemente **::**
- ◆ Indica l'assenza di indirizzo
- ◆ Può essere usato nella richiesta iniziale DHCP per ottenere un indirizzo
- ◆ Duplicate Address Detection (DAD)
- ◆ Come 0.0.0.0 in IPv4 (**::/0** indica la rotta di default)

Loopback

- ◆ **0:0:0:0:0:0:0:1** o semplicemente **::1**
- ◆ Identifica il nodo stesso
- ◆ Come 127.0.0.1 in IPv4 (localhost)
- ◆ Per controllare se lo stack IPv6 funziona:
 - **ping6 ::1**

IPv4 compatible

- Permettono di inserire indirizzi IPv4 in indirizzi IPv6
- I primi 96 bit sono posti a 0, gli altri 32 specificano l'indirizzo IPv4
 - 0:0:0:0:0:0:192.168.0.1
 - ::192.168.0.1
 - ::C0A8:1E01
- Utilizzati per la transizione IPv4-IPv6

Deprecated RFC 4291

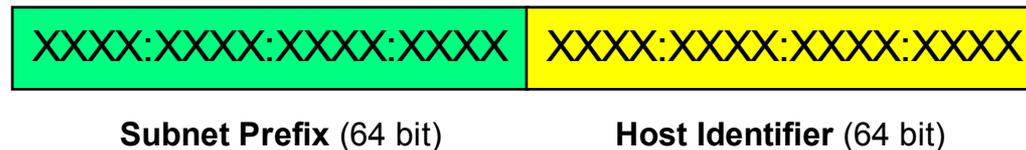
IPv4 mapped

- Permettono di definire indirizzi IPv6 per nodi che supportano solo IPv4
- I primi 80 bit sono posti a 0, i successivi 16 bit sono posti ad 1 (FFFF) e, gli ultimi 32 specificano l'indirizzo IPv4
 - 0:0:0:0:0:FFFF:192.168.0.1
 - ::FFFF:192.168.0.1
 - ::FFFF:C0A8:1E01
- Utilizzati per la transizione IPv4-IPv6

Subnet Prefix e Host Identifier

Gli indirizzi IPv6 unicast si compongono di due parti:

- Il prefisso di rete (primi 64 bit)
- L'interface ID (ultimi 64 bit)



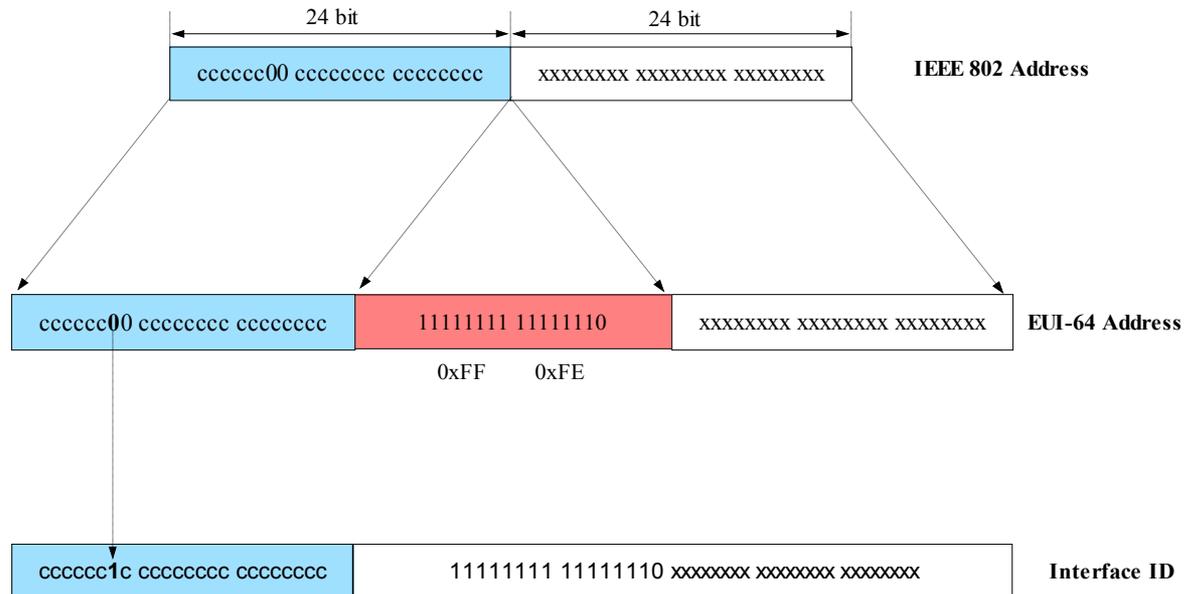
- ◆ L'host puo' essere identificato:
 - Manualmente.
 - Tramite l'identificativo di interfaccia (mac address): il mac address viene ricalcolato per essere usato come parte host dell'indirizzo IPv6 - EUI 64.

Il formato EUI-64

- L'interface ID:
 - Identifica univocamente un'interfaccia
 - Deve essere univoco su un link
 - Può essere ricavato a partire dall'identificatore EUI-64
- L'identificatore EUI-64 si basa sullo stesso principio del MAC Address di cui è l'evoluzione:
 - Identifica il produttore ed il «numero di serie» di un'apparecchiatura di qualche tipo (con 64 bit)
- Esiste una procedura che consente di passare dall'EUI-48 ID (mac-address) all'EUI-64 ID

Interface ID da mac-address

- Se si dispone, del MAC address (EUI-48 ID) si procede inserendo dopo i primi 24 bit la sequenza **FF-FE**.



MAC Address: 00-AA-00-3F-2A-1C
EUI-64 Address: 00-AA-00-FF-FE-3F-2A-1C
Complementando U/L: 02-AA-00-FF-FE-3F-2A-1C
In notazione IPV6: 02AA:00FF:FE3F:2A1C

- Il modo precedentemente descritto ricava l'interface ID di un nodo, a partire dal suo indirizzo MAC
 - Anche se il prefisso può cambiare nel tempo, l'interface ID rimane lo stesso e quindi l'indirizzo IPv6 permette potenzialmente di tracciare un utente
 - Problema già presente con gli indirizzi statici IPv4 ma ora il problema della privacy è molto più sentito in quanto il MAC address è più associabile alla persona
- RFC 3041 specifica un modo alternativo di generare l'interface ID (stringa casuale di 64 bit)

- Per **link** si intende una rete fisica unica come ad esempio una LAN, un collegamento punto-punto. Nodi sullo stesso link sono detti *neighbor* (vicini)
- Un **site** è invece, un gruppo di link gestiti da un'unica autorità (ad esempio il campus di un'università)

- E' uno Scoped address (novità di IPv6)
- Scope (ambito) = local link (*i.e. LAN, VLAN*)
 - Può essere usato solo fra nodi dello stesso link
 - Non puo' essere ruotato
- Fornisce ad ogni nodo un indirizzo IPv6 per iniziare le comunicazioni

Link-local

- Automaticamente configurato su ogni interfaccia
 - Usa l'interface identifier (basato sul MAC address)
- Formato:
 - **FE80:0:0:0:<interface identifier>**

| 10 bit | 54 bit | 64 bit |
|------------|--------|--------------|
| 1111111010 | 0 | interface ID |

Site-local

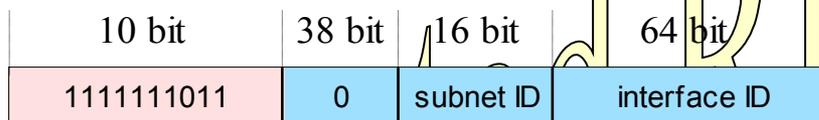
- ◆ E' uno Scoped address
- ◆ Scope = site (una rete di link)
 - Puo' essere usato soltanto fra nodi dello stesso site
 - Non puo' essere usato fuori dal site (es. Internet)
 - Molto simile agli indirizzi privati IPv4
- ◆ Non configurato di default

Deprecated RFC 3879

Site-local

- ◆ Formato:

- **FEC0:0:0:<subnet id>:<interface id>**
- Subnet id = 16 bits = 64K subnets



- ◆ Permette un piano di indirizzamento per un intero sito

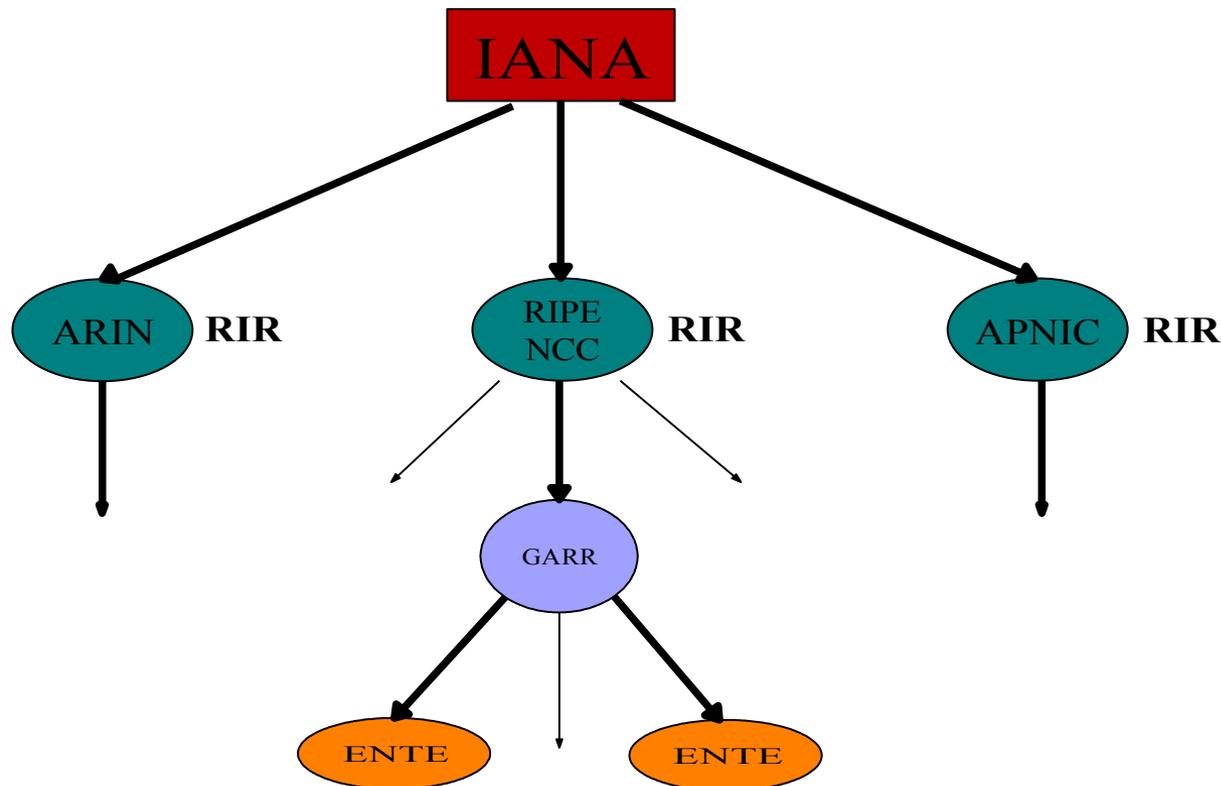
- ◆ Esempi d'uso:

- Numerare un site prima di connetterlo ad Internet.
- Indirizzamento privato (es. stampanti locali)

Allocazione degli indirizzi IPv6

RFC 3587:

IPv6 Global Unicast Address Format



Global Unicast Prefix assegnati a RIPE

| | | | | | |
|----------------|----------|-----------|----------------|----------|-----------|
| 2001:0600::/23 | RIPE NCC | 01 Jul 99 | 2001:3800::/22 | RIPE NCC | 01 May 04 |
| 2001:0800::/23 | RIPE NCC | 01 May 02 | 2001:4000::/23 | RIPE NCC | 11 Jun 04 |
| 2001:0A00::/23 | RIPE NCC | 02 Nov 02 | 2001:4600::/23 | RIPE NCC | 17 Aug 04 |
| 2001:1400::/23 | RIPE NCC | 01 Feb 03 | 2001:4A00::/23 | RIPE NCC | 15 Oct 04 |
| 2001:1600::/23 | RIPE NCC | 01 Jul 03 | 2001:4C00::/23 | RIPE NCC | 17 Dec 04 |
| 2001:1A00::/23 | RIPE NCC | 01 Jan 04 | 2001:5000::/20 | RIPE NCC | 10 Sep 04 |
| 2001:1C00::/22 | RIPE NCC | 01 May 04 | 2003:0000::/18 | RIPE NCC | 12 Jan 05 |
| 2001:2000::/20 | RIPE NCC | 01 May 04 | 2A00:0000::/12 | RIPE NCC | 03 Oct 06 |
| 2001:3000::/21 | RIPE NCC | 01 May 04 | | | |

<http://www.iana.org/assignments/ipv6-unicast-address-assignments>

La situazione attuale

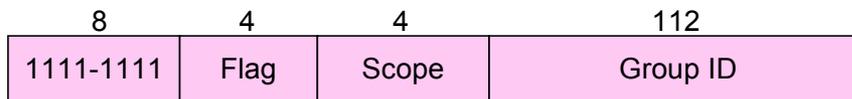
- Esiste una politica comune di assegnazione degli indirizzi IPv6 condivisa da tutti i RIR
 - <http://www.ripe.net/ripe/docs/ipv6policy.html>
Aggiunto recentemente:
 - IPv6 Provider Independent (PI)
- Un'analisi dello spazio di indirizzamento IPv6 allocato e usato:
 - <http://www.sixxs.net/tools/grh/dfp/all/>

Multicast

- Multicast = uno a tanti
- Non esiste il **broadcast** in IPv6. Multicast e' usato al suo posto, soprattutto nei link locali
- Scoped addresses: sostituisce il TTL di IPv4

Multicast

- Formato:
 - **FF<flags><scope>::**
 - Identificati da FP **11111111** (=FF)
 - Flag = 0 permanente / 1 temporaneo
 - Scope: **node** (1), **link** (2), **site** (5), **organization** (8), **global** (E)
 - Group ID: identifica un gruppo multicast in un dato scope



- Ad esempio, considerando il *Group ID All-Nodes (1)* avremo che:
 - All'indirizzo **FF01::1**
 - partecipano tutte le interfacce sullo stesso *nodo*
 - All'indirizzo **FF02::1**
 - partecipano tutte le interfacce sullo stesso *link*
 - All'indirizzo **FF05::1**
 - partecipano tutte le interfacce sullo stesso *site*
 - All'indirizzo **FF0E::1**
 - partecipano tutte le interfacce su *internet*

Indirizzi Multicast

- ◆ Alcuni indirizzi multicast riservati:

| INDIRIZZO | SCOPE | TIPO |
|-------------------|-------|----------------|
| FF01::1 | Node | All Nodes |
| FF02::1 | Link | All Nodes |
| FF01::2 | Node | All Routers |
| FF02::2 | Link | All Routers |
| FF05::2 | Site | All Routers |
| FF02::1:FFXX:XXXX | Link | Solicited-Node |

- Gli indirizzi Anycast non sono distinguibili dagli indirizzi unicast
 - Sono indirizzi unicast assegnati ad un insieme di interfacce (normalmente di nodi diversi)
 - Ai nodi deve essere esplicitamente detto che gli si sta assegnando un indirizzo anycast
- ◆ Indicano il server più vicino ad un mittente
- ◆ Alcuni indirizzi anycast sono riservati per usi specifici:
 - Router subnet
 - Mobile IPv6 home-agent discovery

Indirizzi per ogni host

- Ogni host IPv6 deve riconoscere come propri i seguenti indirizzi:
 - Un indirizzo *link-local* per ogni interfaccia
 - Gli indirizzi *unicast/anycast* assegnati (manualmente o automaticamente)
 - L'indirizzo di *Loopback*
 - L'indirizzo del gruppo *All-Nodes multicast*
 - Gli indirizzi *Solicited-node multicast* per ogni indirizzo *unicast/anycast* assegnato
 - Gli indirizzi *multicast* di tutti gli altri gruppi di cui l'host fa parte

Selezionare un indirizzo

- Un nodo può utilizzare vari prefissi di rete
 - Quindi può avere più indirizzi IPv6 assegnati alla stessa interfaccia (può utilizzare, ad esempio, anche diversi indirizzi IPv6 globali)
- Quale sarà usato come sorgente e destinazione per ogni flusso?
- La scelta viene fatta principalmente in base a queste regole:
 - Usare il giusto scope in base alla destinazione (global, site, local)
 - Usare l'indirizzo più simile alla destinazione (IPv4, IPv6)
- ◆ L'algoritmo di scelta può essere sovrascritto dallo stack oppure dall'applicazione

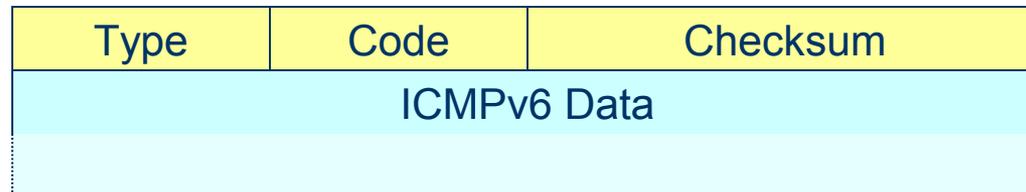
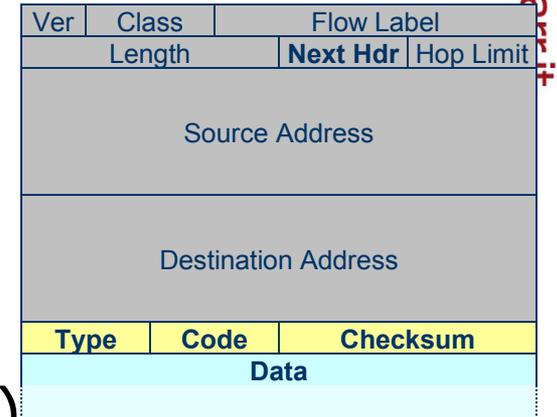
- Header IPv6
- Indirizzi IPv6
- ***ICMPv6***
 - ***Protocollo e tipi di pacchetto***
 - Path MTU discovery
- Neighbor Discovery
- DNS

Il protocollo ICMPv6

- Equivalente IPv6 di ICMP
- Stesse funzionalità di base
 - Segnalazione errori, controllo, diagnostica
- Aggiunge nuove funzionalità
 - Neighbor discovery
 - Neighbor Solicitation, Unreachability, Autoconfigurazione
 - Gestione dei gruppi multicast
- Accorpa in un unico protocollo le funzioni svolte in IPv4 da ICMP, ARP, e IGMP

ICMPv6: Formato dei pacchetti

- IPv6 Next Header = 58
 - Diverso da ICMP in IPv4
- Nell'header ICMPv6:
 - ICMPv6 Type (Tipo)
 - ICMPv6 Code (Specifica ulteriore)
 - Header Checksum (intestazioni ICMPv6 e IPv6)
 - ICMPv6 Data



ICMPv6: un esempio

514 29.036429 fe80::213:7fff:fe74:91c9 fe80::e467:1965:95e4:d2b6 ICMPv6 Neighbor solicitation

- Frame 514 (86 bytes on wire, 86 bytes captured)
- Ethernet II, Src: Cisco_74:91:c9 (00:13:7f:74:91:c9), Dst: Dell_14:02:0f (00:1c:23:14:02:0f)
- Internet Protocol Version 6
 - 0110 = Version: 6
 - 1110 0000 = Traffic class: 0x000000e0
 - 0000 0000 0000 0000 0000 0000 = Flowlabel: 0x00000000
 - Payload length: 32
 - Next header: ICMPv6 (0x3a)
 - Hop limit: 255
 - Source: fe80::213:7fff:fe74:91c9 (fe80::213:7fff:fe74:91c9)
 - Destination: fe80::e467:1965:95e4:d2b6 (fe80::e467:1965:95e4:d2b6)
- Internet Control Message Protocol v6
 - Type: 135 (Neighbor solicitation)
 - Code: 0
 - Checksum: 0x8bae [correct]
 - Target: fe80::e467:1965:95e4:d2b6
 - ICMPv6 option (Source link-layer address)
 - Type: source link-layer address (1)
 - Length: 8
 - Link-layer address: 00:13:7f:74:91:c9

```
0000 00 1c 23 14 02 0f 00 13 7f 74 91 c9 86 dd 6e 00  ..#..... .t....n.
0010 00 00 00 20 3a ff fe 80 00 00 00 00 00 02 13  ... :... ..
0020 7f ff fe 74 91 c9 fe 80 00 00 00 00 00 e4 67  ...t... ..g
0030 19 65 95 e4 d2 b6 87 00 8b ae 00 00 00 00 fe 80  .e.... .
0040 00 00 00 00 00 00 e4 67 19 65 95 e4 d2 b6 01 01  ....g .e.....
0050 00 13 7f 74 91 c9  ...t..
```

ICMPv6: Tipi di messaggi

- Il primo bit del campo Type distingue tra due classi di messaggi:
 - I tipi da 0 a 127 sono segnalazioni di errore (Error Messages)
 - I tipi da 128 a 255 sono messaggi informativi (Informational Messages)
- I messaggi di errore sono:
 - Destination Unreachable (1)
 - Packet Too Big (2)
 - Time Exceeded (3)
 - Parameter Problem (4)

ICMPv6: Messaggi informativi

- Diagnostica
 - Echo request/Echo reply (128/129)
- Controllo
 - Gestione dei gruppi multicast
 - Multicast Listener Query/Report/Done (130/131/132)
 - Neighbor discovery
 - Router Solicitation/Advertisement (133/134)
 - Neighbor Solicitation/Advertisement (135/136)
 - Redirect (137)
 - Inverse Neighbor Discovery (141/142)
- Richiesta di informazioni
 - Node Information Query/Response (139/140)

Tabella dei tipi di messaggio

| | | | |
|-----|---------------------------|-----|--------------------------------------|
| 1 | Destination Unreachable | 133 | Router Solicitation |
| 2 | Packet Too Big | 134 | Router Advertisement |
| 3 | Time Exceeded | 135 | Neighbor Solicitation |
| 4 | Parameter Problem | 136 | Neighbor Advertisement |
| | | 137 | Redirect Message |
| 128 | Echo Request | 138 | Router Renumbering |
| 129 | Echo Reply | 139 | ICMP Node Information Query |
| 130 | Multicast Listener Query | 140 | ICMP Node Information Response |
| 131 | Multicast Listener Report | 141 | Inverse Neighbor Disc. Solicitation |
| 132 | Multicast Listener Done | 142 | Inverse Neighbor Disc. Advertisement |

- Header IPv6
- Indirizzi IPv6
- ***ICMPv6***
 - Protocollo e tipi di pacchetto
 - ***Path MTU discovery***
- Neighbor Discovery
- DNS

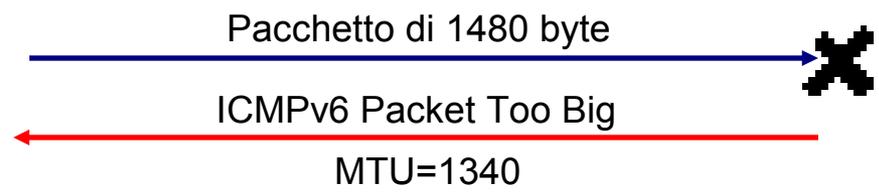
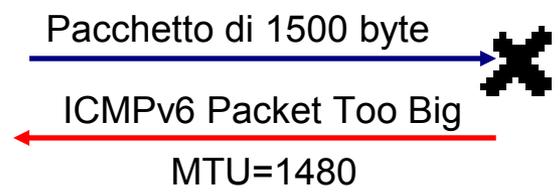
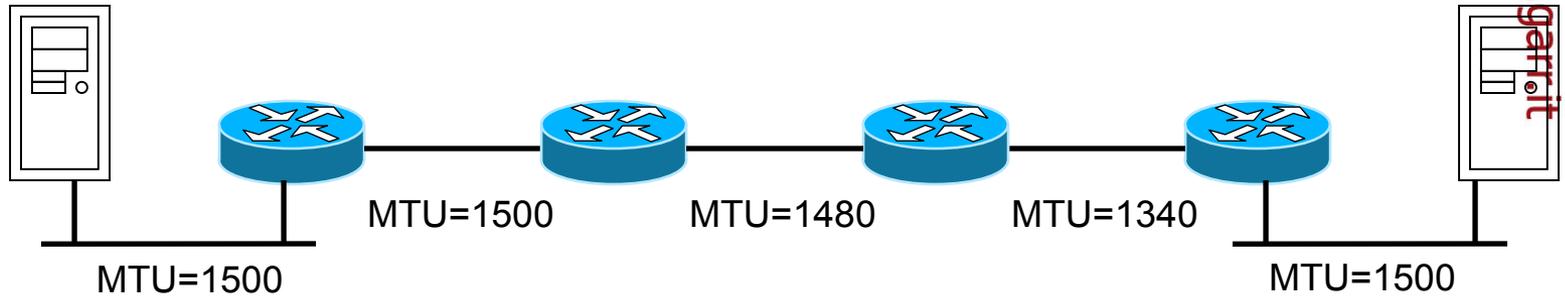
Path MTU Discovery

- In IPv6 la frammentazione è end-to-end
 - I router non frammentano i pacchetti
 - Se ne occupa l'host sorgente
- L'host deve sapere l'MTU del collegamento
- Usa la procedura di Path MTU Discovery
 - Basata su messaggi ICMPv6 "Packet too big"
 - Generati dai router quando la linea su cui va inoltrato un pacchetto ha MTU inferiore alle dimensioni del pacchetto
 - Riportano, nel campo dati, l'MTU da utilizzare

Path MTU Discovery

- Procedimento:
 - Il nodo manda il primo pacchetto con una dimensione pari all'MTU del proprio link
 - Se riceve un messaggio d'errore "Packet Too Big", manda un nuovo pacchetto con le dimensioni indicate nel messaggio
 - Ripete finché non riceve più errori
- Periodicamente il nodo manda pacchetti di dimensioni maggiori per rinnovare la stima
- L'MTU minima in IPv6 è 1280 byte

Path MTU Discovery: esempio



- Header IPv6
- Indirizzi IPv6
- ICMPv6
 - Protocollo e tipi di pacchetto
 - Path MTU discovery
- ***Neighbor Discovery***
- DNS

Neighbor Discovery

- Usa pacchetti ICMPv6
- Gestisce le informazioni di controllo all'interno di un link
 - Address resolution
 - Neighbor Solicitation e Neighbor Advertisement
 - Neighbor Unreachability Detection
 - Autoconfigurazione
 - Router Solicitation e Router Advertisement
 - Redirect
- I messaggi non possono uscire dal link
 - Sono validi solo se hanno Hop Limit = 255

Redirect

- Simile all'ICMP redirect in IPv4
- Un router informa un host che esiste un router migliore sul link per raggiungere la destinazione, oppure che la destinazione e' sul link
 - A differenza di IPv4, il redirect implica che il next hop (o la destinazione) sia sullo stesso link
 - Il link potrebbe avere dei prefissi che il nodo non conosce (es. in caso di reti NBMA o shared media)
 - Il messaggio di redirect include l'indirizzo link local e l'indirizzo di livello 2 del next hop o della destinazione
- La verifica che l'Hop Limit sia pari a 255 riduce i problemi di sicurezza presenti in IPv4

Neighbor Solicitation (1)

- Equivalente IPv6 di ARP
- Usa pacchetti ICMPv6 anziché ARP
 - Indipendente dal mezzo trasmissivo
 - Può utilizzare i meccanismi di autenticazione e cifratura previsti da IPSEC
- Usa indirizzi multicast anziché broadcast

Neighbor Solicitation (2)

- Per ottenere un indirizzo fisico di un altro nodo:
 - Il nodo calcola l'indirizzo (multicast) Solicited-Node corrispondente all'indirizzo IPv6 del destinatario
 - Il nodo invia a questo indirizzo un pacchetto di Neighbor Solicitation specificando l'indirizzo IPv6 del destinatario nel campo dati
- Il destinatario, se presente, risponde con un pacchetto di Neighbor Advertisement
 - Il suo indirizzo fisico è specificato nella porzione dati del pacchetto
 - Viene memorizzato nella Neighbor Cache (equivalente IPv6 della ARP cache)

Indirizzi Solicited-Node Multicast

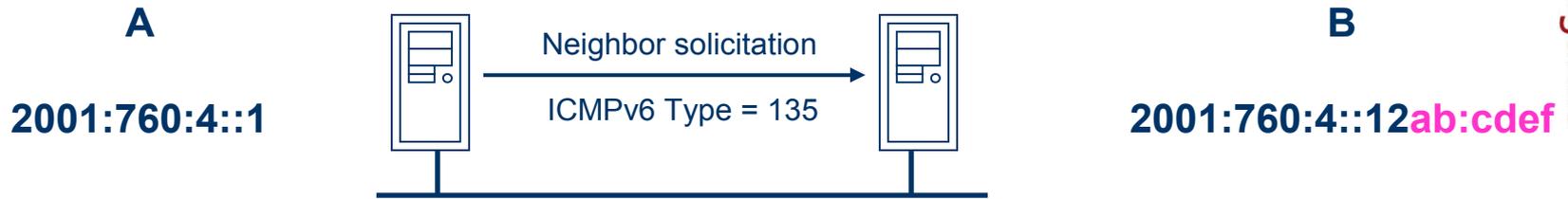
- Ad ogni indirizzo IPv6 unicast corrisponde un indirizzo multicast Solicited-Node



- Formato aggiungendo gli ultimi 24 bit dell'indirizzo al prefisso **ff02::1:ff00:0/104**
 - Riduce le collisioni in caso di indirizzi formati da Interface ID hardware
 - Riduce il numero di gruppi multicast a cui partecipare in caso di indirizzi multipli con lo stesso Interface ID



Neighbor Solicitation: esempio

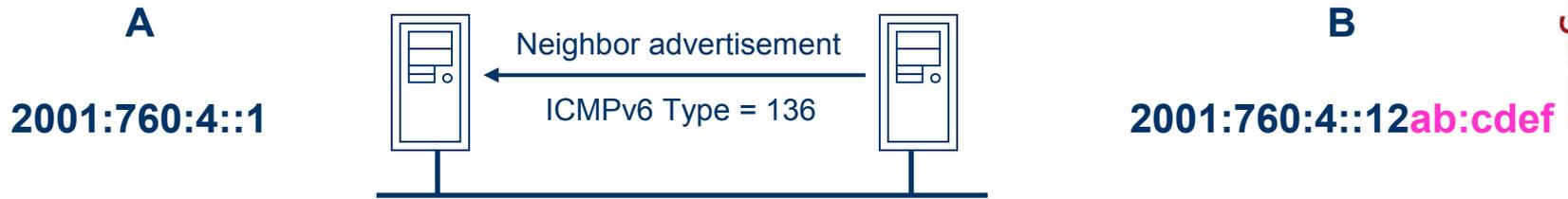


- A vuole ottenere l'indirizzo fisico di B
- Calcola l'indirizzo multicast Solicited-Node corrispondente all'indirizzo IPv6 di B:

ff02::1:ffab:cdef

- Invia un pacchetto di Neighbor Solicitation:
 - Sorgente: indirizzo IPv6 di A
 - Destinatario: indirizzo solicited-node calcolato
 - Dati ICMPv6:
 - Indirizzo IPv6 di B
 - Indirizzo fisico di A (indica a B l'indirizzo a cui rispondere)

Neighbor Solicitation: esempio



- B risponde con un pacchetto di Neighbor Advertisement:
 - Sorgente: indirizzo IPv6 di B
 - Destinatario: indirizzo IPv6 di A
 - Dati ICMP:
 - Indirizzo IPv6 di B
 - Indirizzo fisico di B

Neighbor Unreachability Detection

- Algoritmo che permette di individuare rapidamente guasti o cambiamenti di indirizzo fisico
 - Più efficiente di un semplice timeout
 - Utile per nodi mobili che si spostano da un link all'altro
- Ogni nodo tiene traccia dello stato di raggiungibilità dei nodi vicini
 - Utilizzando informazioni provenienti dai protocolli di strato superiore (es. ACK di TCP)
 - Nodi vicini: funzionamento del nodo
 - Nodi remoti: funzionamento del router next-hop
 - Inviando al nodo pacchetti di Neighbor Solicitation

NUD: Funzionamento

- Se un nodo non ha informazioni sulla raggiungibilità di un vicino, gli invia pacchetti unicast di Neighbor Solicitation in parallelo al traffico normale
- Se non ottiene risposta, cancella il vicino dalla Neighbor Cache e ripete il procedimento di Neighbor Solicitation
 - Il nodo potrebbe aver cambiato indirizzo fisico
- Se questo fallisce, il vicino è irraggiungibile
 - Le conseguenze dipendono dal tipo di vicino:
 - Host: viene notificato un errore ai protocolli di strato superiore
 - Router: il nodo seleziona un altro router

Autoconfigurazione stateless

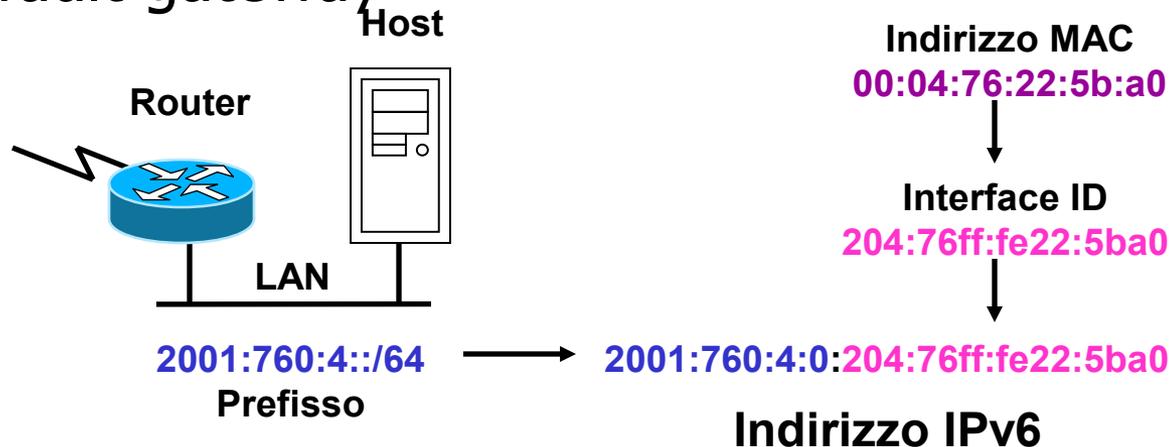
- Permette ai nodi IPv6 di connettersi alla rete senza dover configurare manualmente gli indirizzi
 - Non è necessario utilizzare un server DHCP
 - Il link deve supportare il multicast
- Gli indirizzi sono basati sugli Interface ID
 - Possibile perché gli Interface ID sono univoci a livello mondiale
- I nodi possono comunicare tra loro utilizzando gli indirizzi link-local
 - Gli indirizzi link-local sono ottenuti autonomamente
 - Una rete peer-to-peer non richiede configurazione
- Il server DNS deve essere specificato a mano

Router Advertisement

- I router inviano periodicamente su ogni link dei pacchetti di Router Advertisement
- I pacchetti sono inviati a tutti i nodi sul link (gruppo multicast FF02::1)
- Essi contengono informazioni utili per gli host:
 - Annunciano la presenza del router
 - Specificano il suo indirizzo IPv6 link-local
 - Specificano il suo indirizzo di livello 2
 - Indicano se è disponibile ad essere il default router
 - Possono fornire il valore di alcuni parametri
 - Hop Limit, Reachable Time, MTU
 - Contengono una lista di prefissi assegnati al link

Autoconfigurazione stateless

- Se ricevono un Router Advertisement, gli host ottengono indirizzi IPv6 giustapponendo l'Interface ID (64 bit) ai prefissi ottenuti dai Router Advertisement (64 bit)
 - Questi indirizzi permettono agli host di comunicare con nodi off-link attraverso il router
- Gli host utilizzano l'indirizzo link-local del router come default gateway



Router Solicitation

- Un host appena avviato vorrebbe ottenere immediatamente le informazioni sul link, sui prefissi, e gli indirizzi IPv6
 - Ma dovrebbe aspettare il prossimo Router Advertisement
- All'avvio invia un pacchetto di Router Solicitation all'indirizzo multicast che corrisponde a tutti i router sul link (FF02::2)
- Ogni router risponde con un pacchetto unicast di Router Advertisement indirizzato al nodo che ha emesso la richiesta

Duplicate Address Detection

- Prima di assegnare un indirizzo ad una interfaccia, il nodo verifica se l'indirizzo è già assegnato ad un altro nodo sullo stesso link
 - Non dovrebbe mai accadere se si usa l'autoconfigurazione stateless
- Funzionamento:
 - Il nodo invia una serie di pacchetti di Neighbor Solicitation all'indirizzo Solicited-Node corrispondente all'indirizzo che vorrebbe assegnare (tentative address)
 - L'indirizzo sorgente è l'Unspecified Address
 - Se non riceve risposta, l'indirizzo è valido e può essere assegnato

Autoconfigurazione: procedura

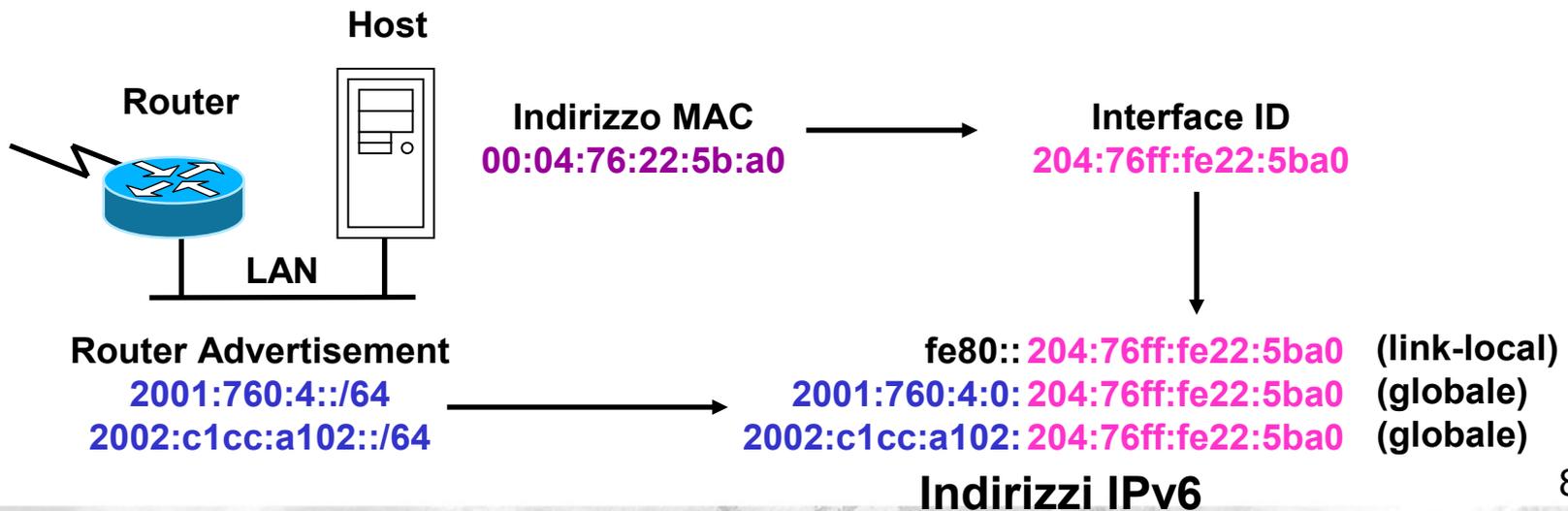
- All'avvio, l'host configura gli indirizzi link-local
 - Genera un indirizzo link-local per ciascuna interfaccia
 - Con Duplicate Address Detection verifica che l'indirizzo sia unico sul link: se lo è, lo assegna all'interfaccia
- Utilizzando gli indirizzi link-local, il nodo può comunicare con tutti i nodi sui link a cui è connesso

Autoconfigurazione: procedura

- Se il nodo è un host, effettua ulteriori operazioni:
 - Emette dei Router Solicitation su tutte le interfacce
 - Per ogni Router Advertisement che riceve:
 - Aggiunge il router alla lista dei router disponibili
 - Configura un indirizzo per ogni prefisso nell'annuncio
 - Rimane in ascolto dei messaggi di Router Advertisement

Autoconfigurazione: esempio

- L'host ha indirizzo MAC 00:04:76:22:5b:a0
 - Il suo Interface ID è 204:76ff:fe22:5ba0
- I prefissi associati alla LAN sono
 - 2001:760:4::/64
 - 2002:c1cc:a102::/64



Tempo di vita degli indirizzi

- Nel Router Advertisement ad ogni prefisso sono associati due tempi di vita in secondi
 - Valid Lifetime: il tempo per cui l'indirizzo può essere associato all'interfaccia
 - Preferred Lifetime: il tempo per cui l'indirizzo può essere utilizzato per le nuove connessioni
- Se Preferred Lifetime = 0 l'indirizzo è "deprecato" e non può essere utilizzato per nuove connessioni
- Se la Valid Lifetime scende a 0 l'indirizzo non è valido e non può rimanere assegnato all'interfaccia
- Gli host rimangono perennemente in ascolto dei messaggi di Router Advertisement

Renumbering

- Il tempo di vita dei prefissi permette il renumbering automatico degli host
- Basta configurare un nuovo prefisso sul router e porre a zero il Preferred Lifetime di quello vecchio
 - Il router è identificato dall'indirizzo link-local e non varia
- Gli host utilizzano entrambi gli indirizzi
 - I nuovi indirizzi per le nuove connessioni
 - I vecchi indirizzi (deprecati) per le connessioni esistenti
- Alla fine del processo di renumbering il vecchio prefisso viene rimosso dal router
 - Gli indirizzi vengono rimossi alla fine del Valid Lifetime

Configurazione stateful

- Gli indirizzi e gli altri parametri di rete (es. DNS) possono essere configurati anche manualmente:
 - Configurazione interamente manuale
 - DHCPv6
 - Autoconfigurazione stateless
 - I Router Advertisement contengono due flag che specificano le modalità di configurazione:
 - ♦ "Managed Address Configuration": indica se l'host deve ottenere anche indirizzi da DHCPv6
 - ♦ "Other Stateful Configuration": indica se l'host deve utilizzare DHCPv6 per ottenere altre informazioni di configurazione (es. server DNS, server NTP, ...). Sempre vero se Managed Address Configuration è vero.

- Viene utilizzato solo se sul link non sono presenti router oppure se i Router Advertisement ne specificano l'utilizzo
- Gli indirizzi ottenuti si aggiungono a quelli eventualmente ottenuti tramite autoconfigurazione
- Funzionamento:
 - Simile a DHCP per IPv4
 - Il server mantiene informazioni sullo stato dei client
 - Permette di configurare gli indirizzi IPv6 e/o fornire altre informazioni come server DNS o NTP
 - Utilizza il protocollo UDP
 - Utilizza gli indirizzi multicast ff02::1:2 (all DHCP agents, link-local scope) e ff05::1:3 (all DHCP servers, site-local scope)

DHCPv6: caratteristiche

- Rispetto all'autoconfigurazione stateless:
 - Maggiore controllo sui singoli indirizzi
 - Maggiore sicurezza
 - Gli indirizzi non vengono assegnati a qualsiasi nodo sul link ma solo a quelli che soddisfano le policy di sicurezza del server
- Permette l'interazione con il DNS
 - Update dinamico
 - Mappatura statica tra indirizzi di livello 2, indirizzi IP e nomi
- Richiede la presenza di un server dedicato

- Header IPv6
- Indirizzi IPv6
- ICMPv6
 - Protocollo e tipi di pacchetto
 - Path MTU discovery
- Neighbor Discovery
- ***DNS***

- L'utilizzo di IPv6 non modifica i meccanismi di base del *Domain Name System*
- Per gestire gli indirizzi IPv6 sono stati introdotti:
 - Un nuovo resource record per associare gli indirizzi IPv6 ad un nome
 - Un (due) nuovo dominio per la risoluzione inversa degli indirizzi IPv6

Un nome ad un indirizzo IPv6

- ◆ **AAAA** record
 - Definisce la mappatura fra il nome a dominio e l'indirizzo IPv6
 - Equivalente al record **A** utilizzato in IPv4
 - Supportato in **Bind** dalla versione **4.9.5**

Un indirizzo IPv6 ad un nome

◆ PTR record

- Definisce la mappatura fra un indirizzo IPv6 e un nome a dominio
- Lo stesso tipo di record utilizzato per IPv4
- Un nuovo modello di *top level* usato per IPv6:
 - **ip6.arpa**
- Divisione fatta su 4 bits a differenza di IPv4 in cui si utilizza una struttura *classful*

Configurazione con BIND

AAAA record

- ◆ \$ORIGIN 6net.garr.it
- ◆ www IN AAAA 2001:760:0:0:0:0:0:6

PTR record (*ip6.arpa*)

- ◆ \$ORIGIN 0.0.0.0.0.0.0.0.6.7.0.1.0.0.2.ip6.arpa
- ◆ 6.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0.0 IN PTR www.6net.garr.it

- Richieste di risoluzione indirizzi IPv6 con trasporto su pacchetti IPv4 e IPv6
 - Bind 4-8 risponde alle richieste fatte soltanto su trasporto IPv4
 - Da Bind 9 può rispondere alle richieste direttamente su trasporto IPv6
- La macchina che ospita il DNS deve essere DUAL-STACK!

Webgrafia

- <http://www.ipv6ready.org/>
- <http://www.ipv6tf.org/>
- <http://www.go6.net/>
- <http://www.deepspace6.net/>
- <http://www.6diss.org/>
- <http://www.sixxs.net/>