

Università di Genova
Facoltà di Ingegneria

Telematica
7. TCP/IP - IPv6

Prof. Raffaele Bolla



IPv6

- L'uso del CIDR ha solo temporaneamente risolto (o attenuato) i problemi legati allo spazio di indirizzamento ed alle tabelle di *routing*.
- Per cui già nel 1990 è iniziata la fase di standardizzazione di una nuova versione di IP, che dovesse avere i seguenti requisiti
 - Supportare miliardi di utenti (anche presupponendo un inefficiente uso dello spazio di indirizzamento).
 - Ridurre, o comunque mantenere piccole le RT
 - Semplificare il protocollo
 - Migliorare la sicurezza (sia autenticazione, sia protezione del dato)

7.2

IPv6

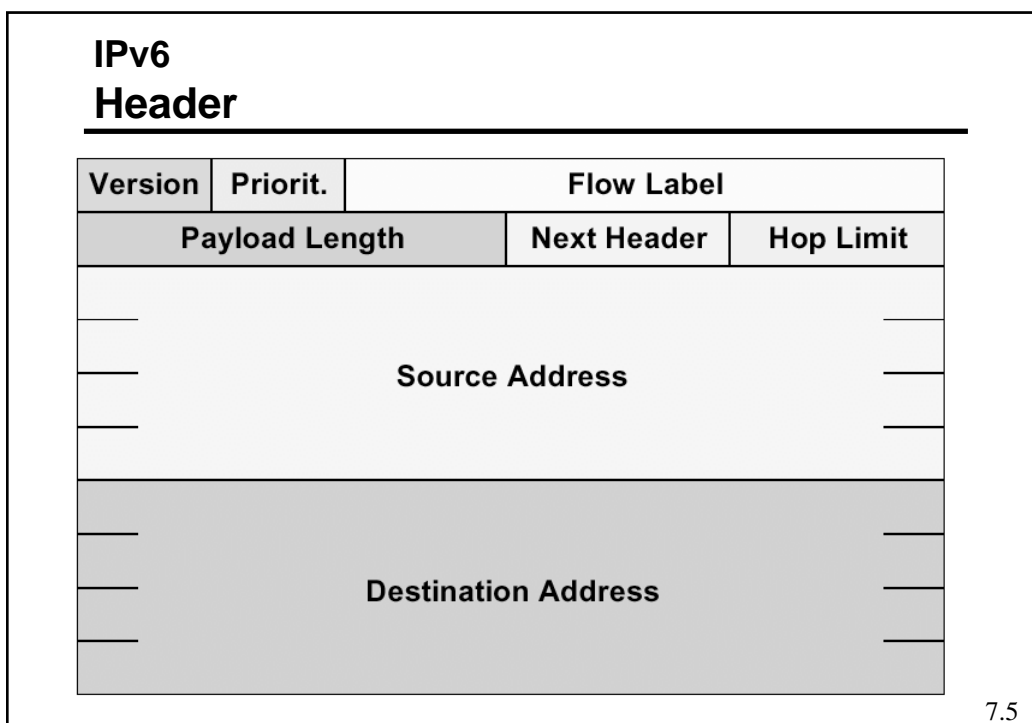
- Dare supporto a tipi di servizi diversi
- Agevolare il multicast
- Permettere lo spostamento dell'host mantenendo lo stesso indirizzo
- Semplificare evoluzioni future
- Permettere la co-esistenza con IPv4 per lungo tempo.
- La scelta fatta fra diverse proposte è stata
- Simple Internet Protocol Plus (SIPP)
- IPv6

7.3

IPv6

- Gli elementi distintivi principali del nuovo standard sono
 - Non richiede sostanziali modifiche allo standard precedente
 - Gli indirizzi sono significativamente più lunghi
 - L'*header* è più semplice (7 campi invece di 14)
 - Le opzioni sono gestite meglio (anche per permettere una più veloce commutazione dei pacchetti).
 - Maggiore sicurezza
 - Supporto per servizi di tipo diverso.

7.4



IPv6 Header

- **Versione** (4 bit): il valore è 6, anche se in fase di transizione è stato suggerito (per velocizzare) di inserire l'informazione nel livello 2 come si trattasse di due protocolli diversi;
- **Priorità** (o *Traffic Class*, 4 bit): la sorgente dichiara tramite questo campo il trattamento che il pacchetto deve subire. Si distingue inizialmente fra:
 - *Congestion Controlled Traffic* (CCT): ossia il traffico su cui viene effettuato un controllo di congestione ed un recupero dell'errore (tutto il traffico dati in genere).
 - **Non- CCT**: i traffici che generano flussi di dati per lo più continui che necessitano di un ritardo ridotto (voce - video).

7.6

IPv6 Header - Priority

| | CCT | Non CCT |
|-------------------------|--|---|
| Priorità crescente ↓ | 0 Non specificato Default | 8 più scartabile (es. video alta qual.) |
| | 1 Di riempimento (es. news) | 9 |
| | 2 Batch (es. email) | 10 |
| | 3 Riservato | 11 |
| | 4 Interattivo a bassa priorità (es. ftp, http) | 12 |
| | 5 Riservato | 13 |
| | 6 Interattivo ad alta priorità (es. Telnet, X) | 14 |
| | 7 Di controllo (es. OSPF, SNMP) | 15 meno scartabile (es. audio telefonico) |

7.7

IPv6 Header - Flow Label

- Questo campo individua dei flussi, ossia sequenze di pacchetti emessi dalla stessa sorgente per lo stesso servizio.
- Questa informazione dovrebbe permettere ai *router* di negoziare un trattamento particolare per alcuni flussi di dati.
- Le regole con cui trattare il campo sono:
 - Gli *host/router* che non gestiscono flussi devono lasciare il campo invariato nel *forwarding*, o metterlo a zero se sono origine del pacchetto.
 - Tutti i pacchetti generati dalla stessa sorgente con lo stesso numero di flusso (diverso da zero) devono avere gli stessi indirizzi di destinazione, sorgente e *Hop by Hop Option Header* (se presente) e *Routing Header* (se presente).
 - Gli ID di un flusso vanno scelti casualmente, con distribuzione uniforme da 1 a $2^{20}-1$ (per rendere efficienti le tabelle di *hash*), con la restrizione che una sorgente non possa riutilizzare numeri che sta già usando per altri flussi attivi.

7.8

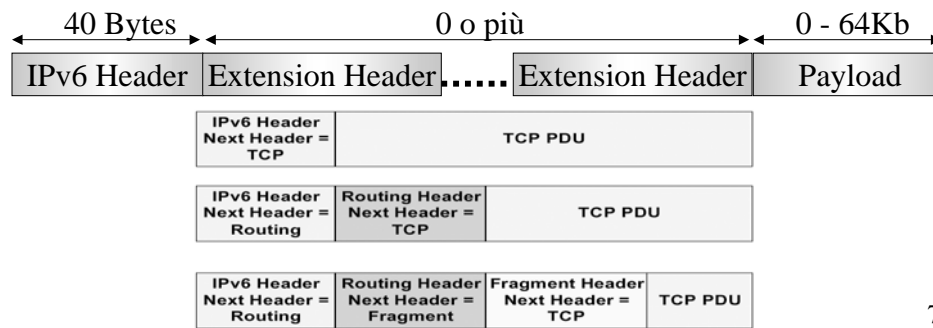
IPv6 Header

- *Payload Length* (16 bits): lunghezza della parte dati del datagram in ottetti (a differenza dell'IPv4 non comprende l'intestazione). La parte fissa dell'header è lunga 40 ottetti (contro i 20 dell'IPv4).
- *Next Header* (8 bits)
- *Hop Limits* (8 bits): Viene decrementato di 1 ogni nodo attraversato (non si tiene più conto del tempo di attesa).
- Indirizzo di sorgente e di destinazione (128 +128 bits).

7.9

IPv6 Header - Next Header

- Il campo *Next header* identifica il successivo *header* che può essere un altro protocollo trasportato (e quindi essere contenuto nel *payload* e da elaborare solo alla destinazione) oppure degli *header* aggiuntivi (*Extension Header*) di IPv6. Gli *header* aggiuntivi contengono a loro volta il campo *next header* che permette di creare una catena di *ExHeader*.



7.10

IPv6

Header - Next Header

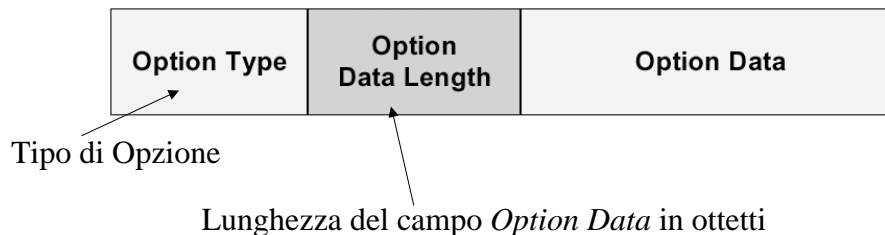
| | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ➔ 0 HBH Hop by Hop option (IPv6) 1 ICMP Internet Control Message (IPv4) 2 IGMP Internet Group Management (IPv4) 3 GGP Gateway-to-Gateway 4 IP IP in IP (IPv4 encapsulation) 6 TCP Transmission Control 17 UDP User Datagram 29 TP4 ISO Transport class 4 ➔ 43 RH Routing Header (IPv6) ➔ 44 FH Fragment Header 45 IDRP Interdomain Routing ➔ 50 ESP Encrypted Security Payload ➔ 51 AH Authentication Header 58 ICMP Internet Control Message (IPv6) 59 Null No next header (IPv6) ➔ 60 DOH Destination Option Header 80 ISO-IP ISO 8473 CLNP 88 IGRP Interior Gateway Routing 89 OSPF Open Shortest Path First (IPv6) | <p>Gli <i>ExHeader</i> di IPv6 vanno inseriti (uno solo per tipo) ed elaborati nel seguente ordine:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Hop-by-Hop Header</i> • <i>Routing Header</i> • <i>Fragment Header</i> • <i>Authentication Header</i> • <i>Encapsulating Security Payload Header</i> • <i>Destination Options Header</i> |
|--|--|

7.11

IPv6

Header - Hop-by-Hop Header

- Trasporta informazioni che devono essere elaborate in ogni nodo di transito. I campi di cui è composto sono:
 - *Next Header* (8 bit)
 - *Header Extension Length* (8 bit): in numero di blocchi da 64 bit esclusi i primi 64.
 - Opzioni: ogni opzione è codificata con tre campi:

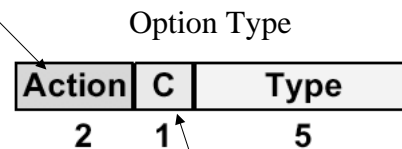


7.12

IPv6**Header - Hop-by-Hop Header**

Specifica cosa fare se non si riconosce l'opzione:

- 00 si ignora quella sconosciuta e si continua a elaborare la successiva
- 01 si scarta il pacchetto
- 10 si scarta il pacchetto e si notifica al mittente tramite ICMP anche con destinazione multicast
- 11 si scarta il pacchetto e si notifica al mittente tramite ICMP solo con destinazione unicast

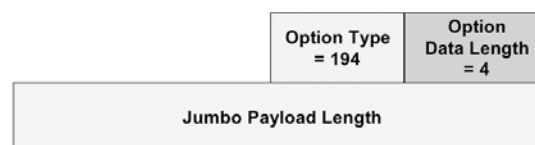


Specifica se l'opzione può (1) o non può (0) essere modificata lungo il percorso

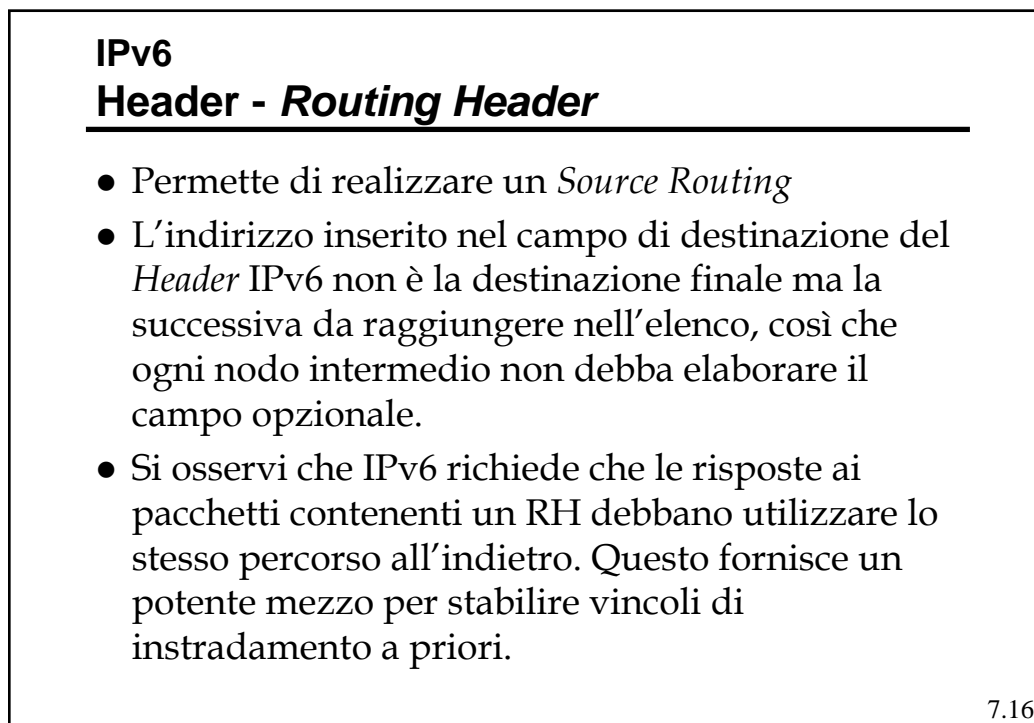
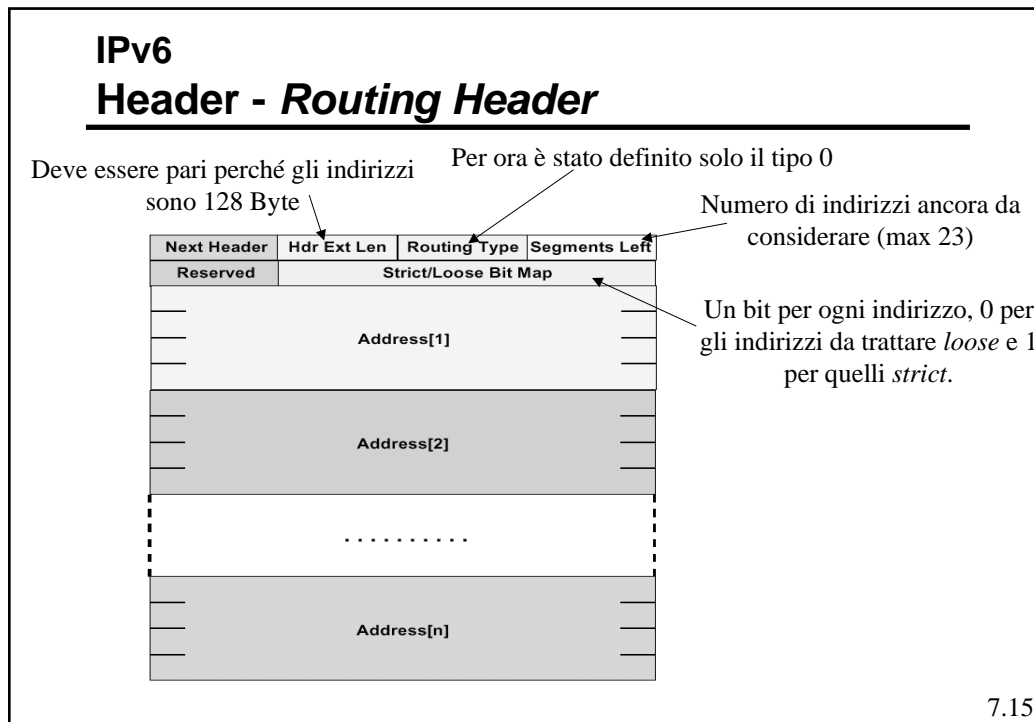
7.13

IPv6**Header - Hop-by-Hop Header**

- Attualmente sono state definite solo 3 opzioni:
 - Pad1 (*Option Type* = 0) non ha i campi lunghezza e dati e rappresenta solo un riempimento di un byte.
 - PadN (*Option Type* = 1), ha tutti campi, e serve per realizzare riempimenti da 2 a N bytes.
 - *Jumbo Payload*: il campo JPL indica la lunghezza del datagram in ottetti, escluso l'header IP ma compreso HbHH. La lunghezza deve essere più di 64Kb, e deve avere un allineamento di $4n+2$.



7.14



IPv6

Header - Fragment Header

- Il processo di frammentazione è diverso in IPv6 rispetto ad IPv4. In IPv6 solo la sorgente può frammentare il *datagram*, l'eventuale frammentazione dipende dalla *Maximum Transfer Unit* (MTU) che la sorgente dovrebbe poter verificare sul percorso verso la destinazione. Altrimenti dovrebbe ipotizzare la MTU più piccola di 576 ottetti.
- Il *datagram* è diviso in una parte non frammentabile (composta dall'*header* originale e da ExHeader HbHH e RH che vanno duplicati in ogni frammento) e una frammentabile che contiene il resto.
- Nell'*header* si trovano i campi: *Fragment offset* (13 bit) in numero di 64 bit, **MFlag** (1 ci sono ancora seg., 0 se è l'ultimo), *Identification* (32 bits): deve essere unico per una coppia di indirizzi sorgente -destinazione.

7.17

IPv6

Header

- Se si confronta l'*header* IPv4 e IPv6 si notano alcune differenze sostanziali (a prescindere dagli indirizzi):
 - Il campo HL non c'è più perché in IPv6 la lunghezza dell'*header* è fissa
 - Il campo *Protocol* è sostituito da *NextHeader*
 - Tutti i campi legati alla frammentazione non ci sono più.
 - Il campo *checksum* è stato eliminato per velocizzare il trattamento del pacchetto.

7.18

IPv6 Indirizzi

- 128 bit
 - 2^{128} indirizzi
 - circa 10^{38} indirizzi
 - Più precisamente
 - » 340.282.366.920.938.463.463.374.607.431.768.211.456 indirizzi
- Alcune stime:
 - superficie della terra 511.263.971.197.990 mq
 - 655.570.793.348.866.943.898.599 indirizzi IPv6 per mq

7.19

IPv6 Indirizzi

- Tre tipi di indirizzo:
 - *Unicast*
 - » indirizzi verso singole stazioni
 - *Anycast*
 - » Identifica un insieme di interfacce, ma un pacchetto con questo indirizzo deve raggiungerne una sola, ma una qualsiasi, in genere la più "vicina" (usato per servizi)
 - *Multicast*
 - » indirizzi di gruppi di stazioni
- Non viene più utilizzato il *Broadcast*
- Gli indirizzi sono associati alle interfacce
- Possibilità di avere più indirizzi per ogni interfaccia

7.20

IPv6 Indirizzi

- Si scrivono in esadecimale come 8 gruppi di 4 cifre separati da ":"
 - FEDC:BA98:0876:45FA:0562:CDAF:3DAF:BB01
 - 1080:0000:0000:0007:0200:A00C:3423
- Esistono delle semplificazioni:
 - si possono omettere gli zero iniziali
1080:0:0:7:200:A00C:3423
 - Si possono sostituire gruppi di zero con "::"
1080::7:200:A00C:3423
- Gli indirizzi di compatibilità IPv4 si scrivono:
 - 0:0:0:0:0:A00:1
 - ::A00:1
 - ::10.0.0.1

7.21

IPv6 Indirizzi

- Scompare il concetto di *Netmask*
- Viene sostituito da quello di "*Prefix*"
- Il *prefix* si indica aggiungendo ad un indirizzo "/N", dove N è la lunghezza in bit del *prefix*
- Esempio:
 - FEDC:0123:8700::/36 indica il prefisso
 - 1111111011011100000000001001000111000



7.22

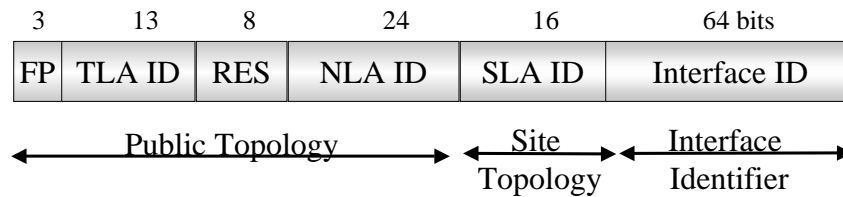
IPv6 Indirizzi

| <u>Allocation</u> | <u>Prefix</u> | <u>Fraction of Address Space</u> | |
|--|---------------------|----------------------------------|---|
| 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 | ← |
| Site-Local Unicast Addresses | 1111 1110 11 | 1/1024 | ← |
| Multicast Addresses | 1111 1111 | 1/256 | ← |

7.23

IPv6- Indirizzi unicast Aggregatable Global Unicast Addresses

- FP *Format Prefix (001)*
- TLA-ID *Top-Level Aggregation Identifier*
- RES *Reserved (per usi futuri)*
- NLA-ID *Next-Level Aggregation Identifier*
- SL- ID *Site-Level Aggregation Identifier*
- INTERFACE-ID *Interface Identifier*



7.24

IPv6- Indirizzi *unicast* AGUA - TLA-ID

- Il *Top-Level Aggregation Identifier* identifica gli ISP principali che forniscono il servizio di connettività della rete.
- I *router* che operano a questo livello della gerarchia devono avere una riga per ogni TLA nella RT.
- 13 bit permettono 8.192 (2^{13}) diversi ISP. Attualmente ci sono *router* che operano con tabelle con più di 50.000 elementi, ma l'IETF ha deciso di ridurre la dimensione delle RT dei *router* all'apice della gerarchia.
- E' previsto l'eventuale allargamento di questa parte dell'indirizzo sia tramite i *Reserved* bit sia allocando un altro FP.

7.25

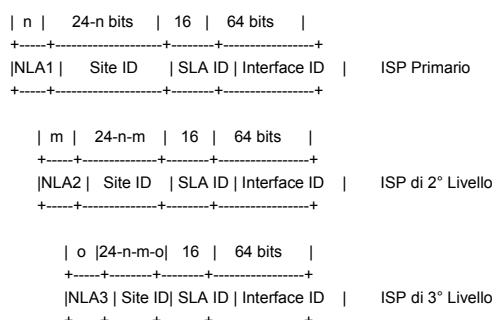
IPv6- Indirizzi *unicast* AGUA - RES

- I *Reserved* bit devono essere posti a 0.
- Sono pensati per permettere, in relazione ai bisogni che dovessero presentarsi, sia l'eventuale espansione (a destra) del campo TLA-ID sia di quello NLA-ID (a sinistra).

7.26

IPv6- Indirizzi *unicast* AGUA - NLA-ID

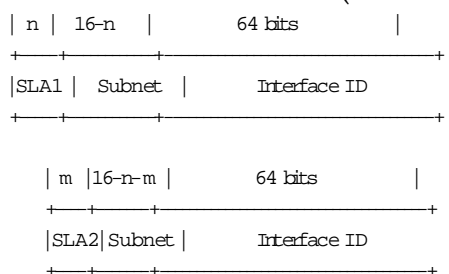
- Il *Next-Level Aggregation Identifier* è usato dall'ISP per organizzare la propria rete interna e può eventualmente essere a sua volta strutturato in modo gerarchico e sue parti assegnate ad ISP secondari.



7.27

IPv6- Indirizzi *unicast* AGUA - SL-ID

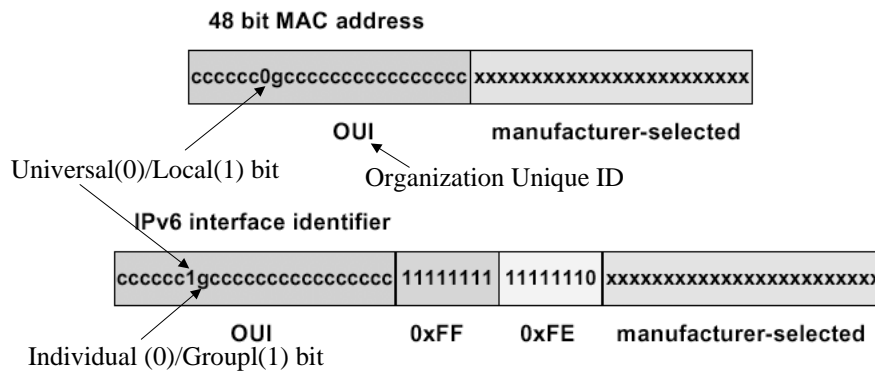
- Il *Site-Level Aggregation Identifier* viene assegnato dall'utente (identificato da un NLA -ID) che può mantenere una gestione dei propri indirizzi di tipo "piatto" (flat), oppure a sua volta gestire delle gerarchie per ridurre le proprie tabelle di routing.
- Lo spazio di indirizzamento è grande (come una classe B IPv4), l'organizzazione che avesse necessità ancora superiori può chiedere ulteriori siti (NLA ID).



7.28

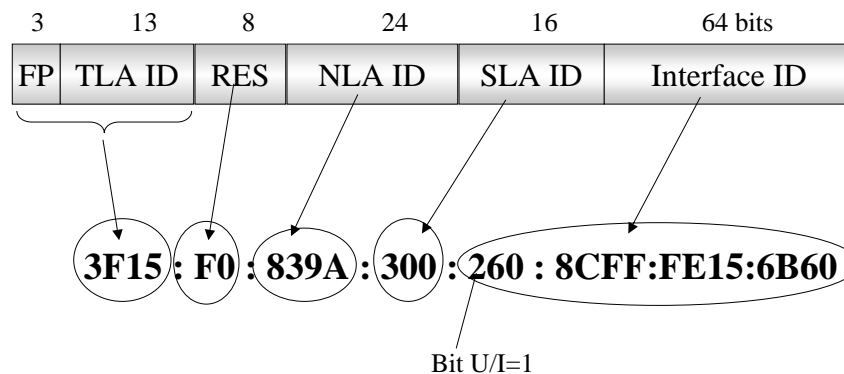
IPv6- Indirizzi *unicast* AGUA - Interface-ID

- L'Interface ID viene ricavato usando gli indirizzi di livello 2. Per esempio nel caso di indirizzo MAC:



7.29

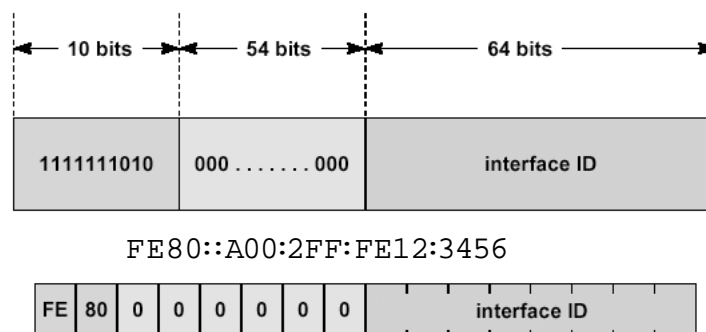
IPv6- Indirizzi *unicast* AGUA



7.30

IPv6- Indirizzi *unicast* *Link Local*

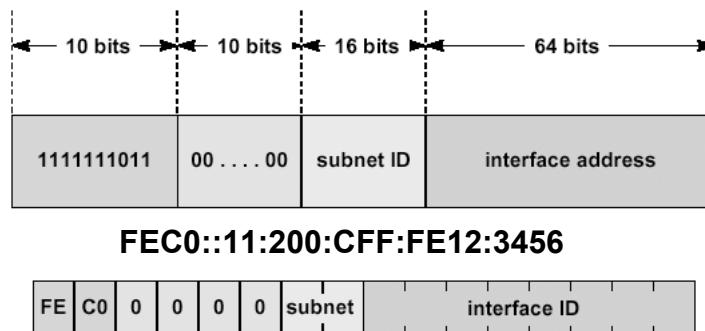
- Indirizzi “privati” (non annunciati dai router) pensati per piccole reti, autoconfiguranti, prive di router (interni).



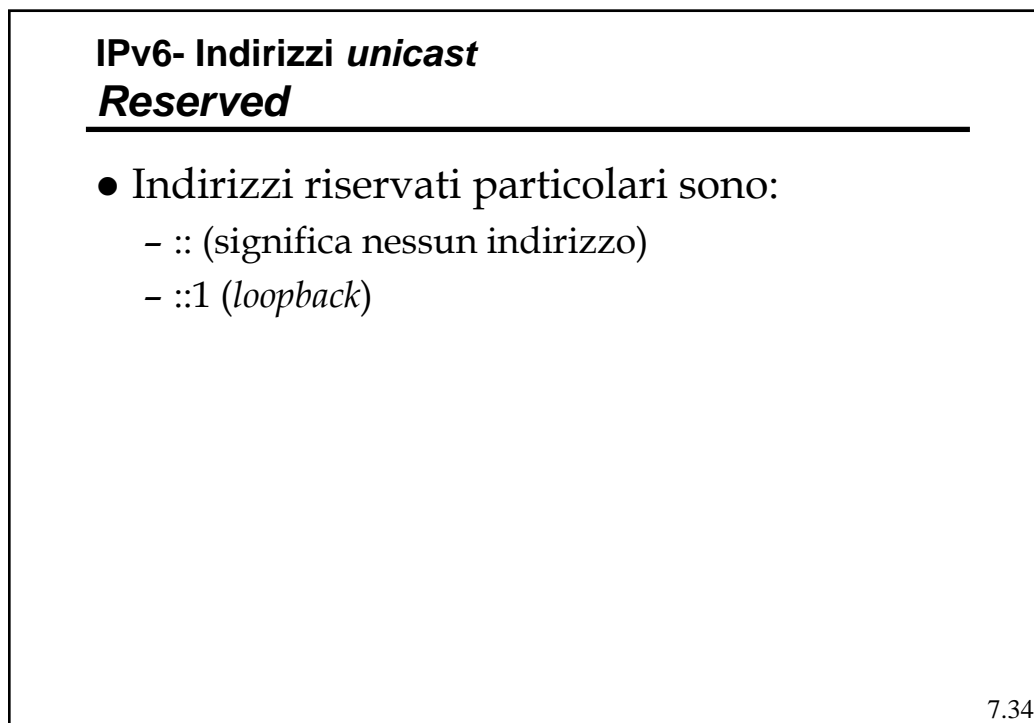
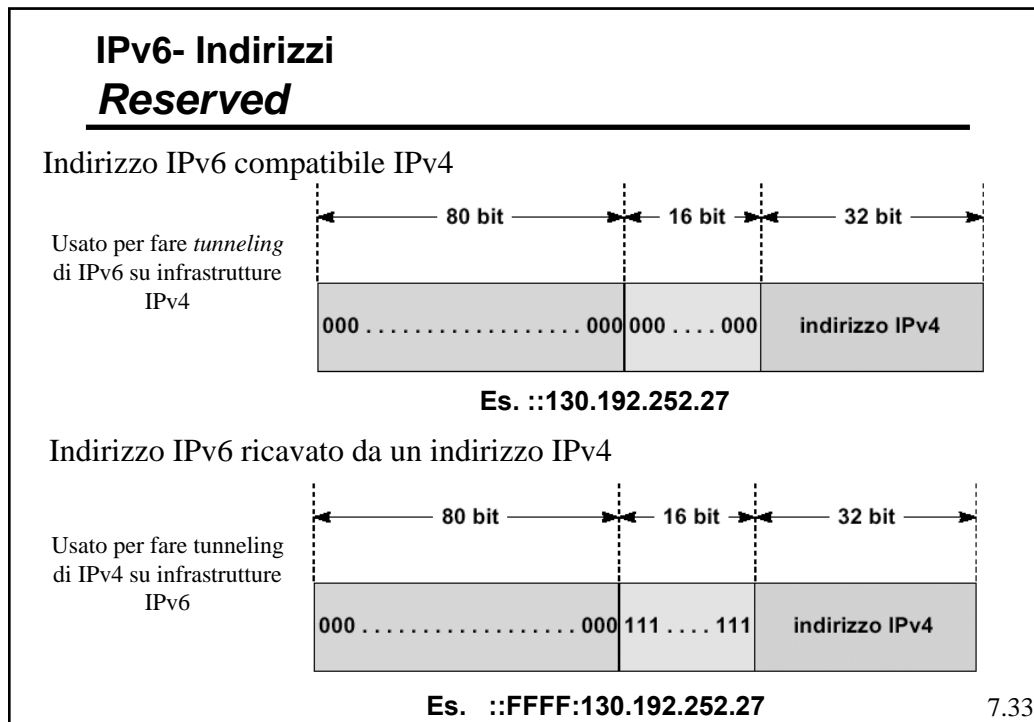
7.31

IPv6- Indirizzi *unicast* *Site Local*

- Gli indirizzi *Site Local* sono privati (non annunciati) e permettono la realizzazione di reti interne strutturate



7.32



IPv6- Indirizzi

Anycast

- Identifica il *server* più vicino al mittente che fornisce un dato servizio.
- Per il momento sono state definite alcune regole:
 - Non può essere usato come indirizzo di sorgente
 - Non può essere assegnato a *host* ma solo a *router*
- Per ora ne è stato definito solo uno:



- Che individua il *router* più vicino in una *subnet*

7.35

IPv6- Indirizzi

Multicast



000T

T = 0 indirizzo permanente ("*well-known*")
 T = 1 indirizzo temporaneo ("*transient*")

Usato per limitare la diffusione

0 reserved
1 *node-local scope*
2 *link-local scope*
 3-4 (unassigned)
5 *site-local scope*
 6-7 (unassigned)
8 *organization-local scope*
 9-D (unassigned)
E *global scope*
 F reserved

7.36

IPv6- Indirizzi

Multicast

- Esempio dello *scope*: *Network Time Protocol* (NTP)
 - FF01::43 indica tutti i server NTP presenti sullo stesso nodo del mittente;
 - FF02::43 indica tutti i server NTP presenti sullo stesso link del mittente;
 - FF05::43 indica tutti i server NTP presenti sullo stesso sito del mittente;
 - FF0E::43 indica tutti i server NTP presenti sulla rete.

7.37

IPv6- Indirizzi

Multicast

- Alcuni degli indirizzi permanenti sono:
 - Tutti i nodi su un link
 - » FF02:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0001
 - Tutti i router su un link
 - » FF02:0000:0000:0000:0000:0000:0000:0002
 - Tutti i server DHCP su un link
 - » FF02:0000:0000:0000:0000:0000:0000:000C
 - Solicited Node Multicast Address (usato dal protocollo di Neighbor Discovery)
 - » FF02:0000:0000:0000:0000:0001:xxxx:yyyy
 - dove xxxx:yyyy sono i 32 bit meno significativi di un indirizzo IPv6 unicast o anycast

7.38

IPv6

Indirizzi

- Quali indirizzi deve saper riconoscere un *host* come identificatori di se stesso?
 - Il suo indirizzo *Link Local* per ogni interfaccia
 - Gli indirizzi *unicast* assegnati alle interfacce
 - L'indirizzo di *loopback*
 - Il *multicast address* permanente che identifica tutti i nodi
 - I *multicast address* di *Neighbor Discovery* associati a tutti gli indirizzi unicast e anycast assegnati alle interfacce
 - I *multicast address* dei gruppi cui il nodo appartiene

7.39

IPv6

Indirizzi

- Quali indirizzi deve saper riconoscere un *router* come identificatori di se stesso?
 - Il suo indirizzo *Link Local* per ogni interfaccia
 - Gli indirizzi *unicast* assegnati alle interfacce
 - L'indirizzo di *loopback*
 - Il *Subnet Router anycast address* per tutti i *link* su cui ha interfacce
 - Gli altri indirizzi anycast assegnati alle interfacce
 - Il *multicast address* permanente di tutti i nodi
 - Il *multicast address* permanente di tutti i *router*
 - I *multicast address* di *Neighbor Discovery* associati a tutti gli indirizzi unicast e anycast
 - I *multicast address* dei gruppi cui il nodo appartiene

7.40

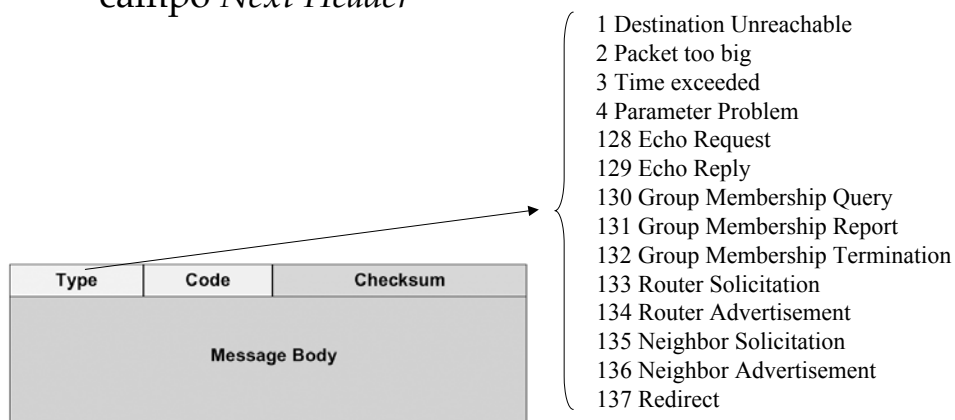
IPv6 ICMPv6

- L' *Internet Control Message Protocol v6* (ICMPv6) ha tre impieghi principali
 - Diagnostica
 - *Neighbor Discovery*
 - Gestione dei gruppi multicast
- Riunisce al suo interno le funzionalità che in IPv4 erano suddivise tra:
 - ICMP
 - ARP (*Address Resolution Protocol*)
 - IGMP (*Internet Group Membership Protocol*)

7.41

IPv6 ICMPv6

- Il messaggio ICMPv6 è trasportato in un pacchetto IPv6 ed è indicato dal valore 58 nel campo *Next Header*



7.42

IPv6 ICMPv6

Destinazione non raggiungibile

| Type | Code | Checksum |
|--|------|----------|
| Unused | | |
| La prima parte del pacchetto che ha causato la trasmissione del messaggio ICMPv6 (il pacchetto ICMPv6 non deve eccedere 576 ottetti) | | |

| Code | Significato |
|------|--|
| 0 | No route to destination |
| 1 | Communication with destination admin. Prohibited |
| 2 | Not a neighbor |
| 3 | Address unreachable |
| 4 | Port unreachable |

7.43

IPv6 ICMPv6

Pacchetto troppo grande (ossia ha ecceduto la MTU in un qualche tratto del percorso)

| Type | Code | Checksum |
|--|------|----------|
| MTU | | |
| La prima parte del pacchetto che ha causato la trasmissione del messaggio ICMPv6 (il pacchetto ICMPv6 non deve eccedere 576 ottetti) | | |

7.44

IPv6

ICMPv6

- La precedente segnalazione di ICMPv6 viene usata dal *Path MTU Discovery*, che è un protocollo che permette la ricerca della dimensione ottimale del pacchetto per aumentare il Throughput
- Assume inizialmente come Path MTU il valore dell'MTU del primo link
 - ICMP notifica Path MTU errate
 - Memorizza le informazioni sul Path MTU
 - Cancellazione delle informazioni obsolete

7.45

IPv6

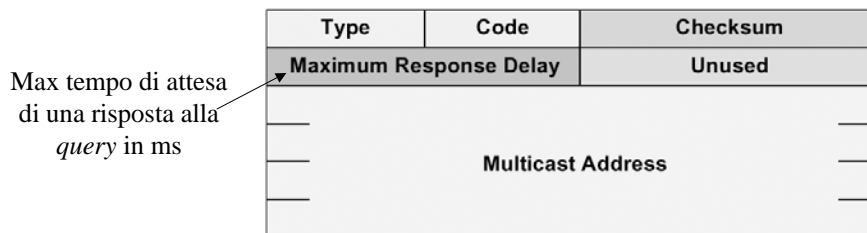
ICMPv6

- Altre segnalazioni di errore sono fornite tramite:
 - *Time exceeded*: superato l'*Hop Limit*
 - *Parameter Problem* : problemi legati agli *header*
- *Echo Request* ed *Echo Reply* hanno sostanzialmente lo stesso uso di ICMP e sono messaggi di diagnostica

7.46

IPv6 ICMPv6

- *Group Membership*, in sostanza ingloba le funzionalità di IGMP in ICMPv6



| Type | Significato |
|------|----------------------------|
| 130 | Group Membership Query |
| 131 | Group Membership Report |
| 132 | Group Membership Reduction |

7.47

IPv6 ICMPv6

- In IPv6 ARP scompare sostituito dalle nuove funzionalità di ICMP:
 - *Router e Prefix Discovery*
 - *Neighbor Discovery*
 - *Neighbor Unreachability Detection*
 - *Address Resolution*
 - *Next-Hop Determination*
 - *Duplicate Address Detection*

7.48

IPv6 ICMPv6

Router/Prefix Discovery

- *Router Advertisement* generati dai *router*:
 - *solicited*: in risposta a *Router Solicitation* da *host*
 - *unsolicited*: periodici
- Trasportano
 - indirizzo *link-local* e parametri del router
 - prefissi
- Prefissi hanno 2 scopi:
 - *Stateless Address Autoconfiguration*
 - determinazione nodi *on/off link*

7.49

IPv6 ICMPv6

Address Resolution

- Una stazione che debba trasmettere un pacchetto verifica se l'indirizzo è locale (confronto con un *address prefix*) o remoto:
- Se è locale:
 - determina l'indirizzo tramite una *Neighbor Solicitation*
- Se è remoto:
 - sceglie un *router* tra quelli imparati tramite un *Router Advertisement*

7.50

IPv6
ICMPv6

Redirect

- Router generano pacchetto di *Redirect* per informare un *host* di un miglior *first-hop*
- Il *first-hop* è sempre *on-link*, indipendentemente dal prefisso
- Quindi, a differenza di ICMP, la *redirect* permette di far comunicare direttamente due *host* con prefissi diversi ma connessi alla stessa rete fisica.

7.51