

**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 di 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

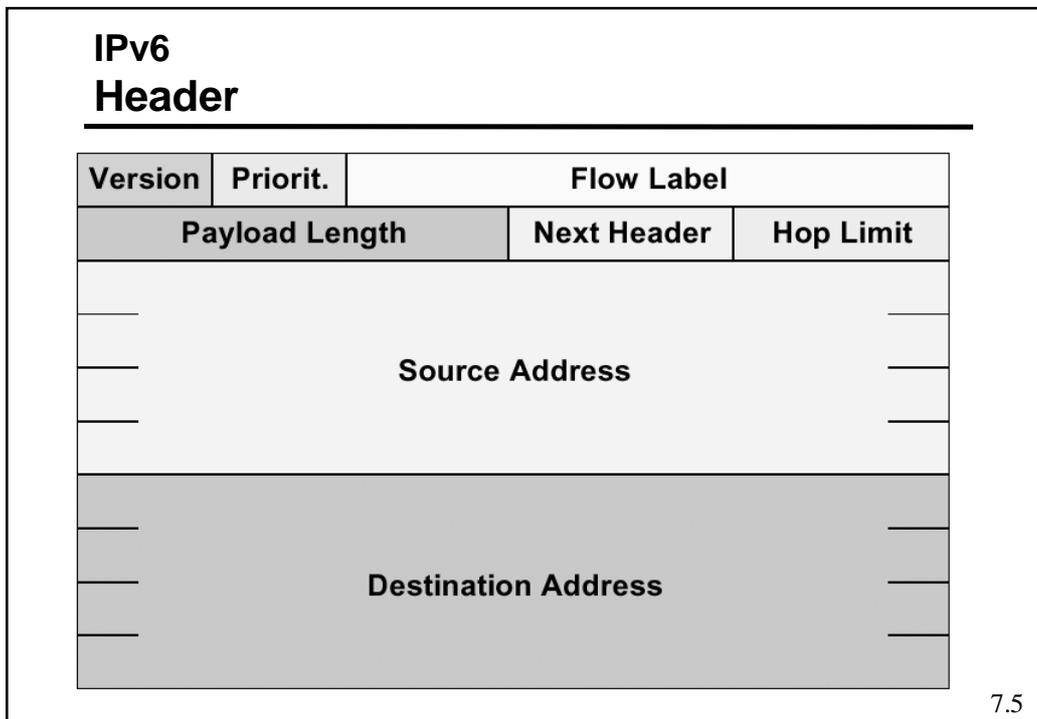
7.3

## IPv6

---

- Gli elementi distintivi principali del nuovo standard sono
  - Non richiede sostanziali modifiche allo standard precedente
  - 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** (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 Bach (es. email)	10
	3 Riservato	11
	4 Iterattivo a bassa priorità (es. ftp, http)	12
	5 Riservato	13
	6 Iterattivo 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  $2^{24}-1$  (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

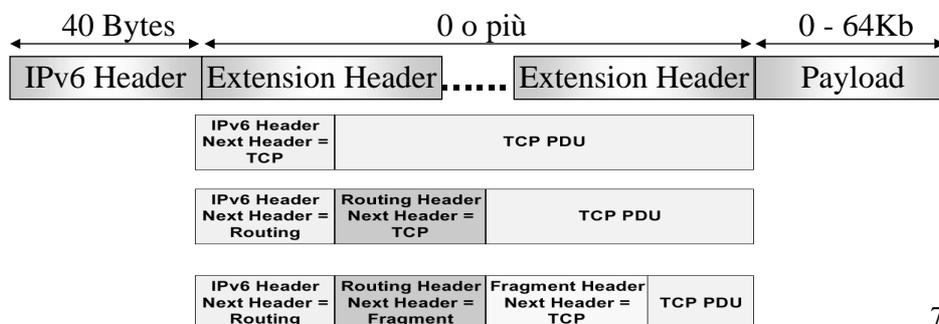
## IPv6 Header

- **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 (*Extention Header*) di IPv6. Gli *header* aggiuntivi contengono a loro volta il campo *next header* che permette di creare una catena di *ExHeader*.



7.10

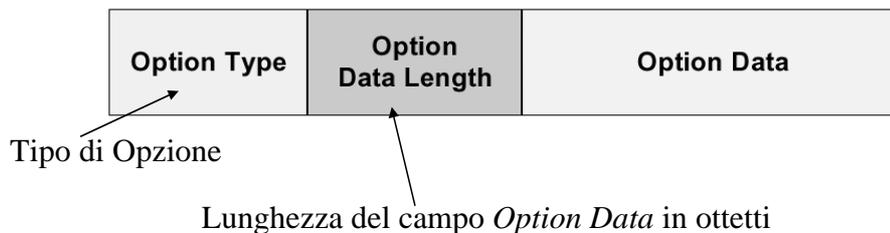
## IPv6 Header - Next Header

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

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 Extention Length* (8 bit): in numero di 64 bit esclusi i primi 64.
  - Opzioni: ogni opzione è codificata con tre campi:

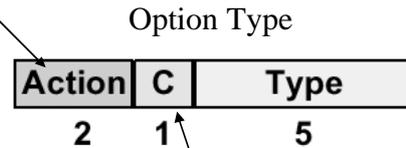


7.12

**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

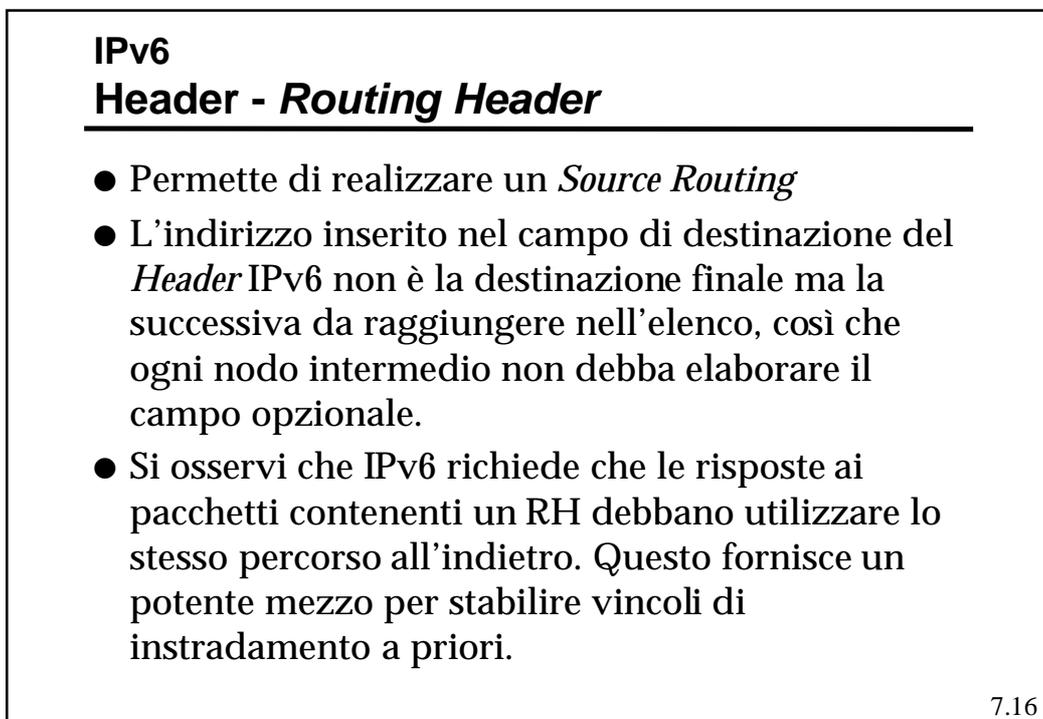
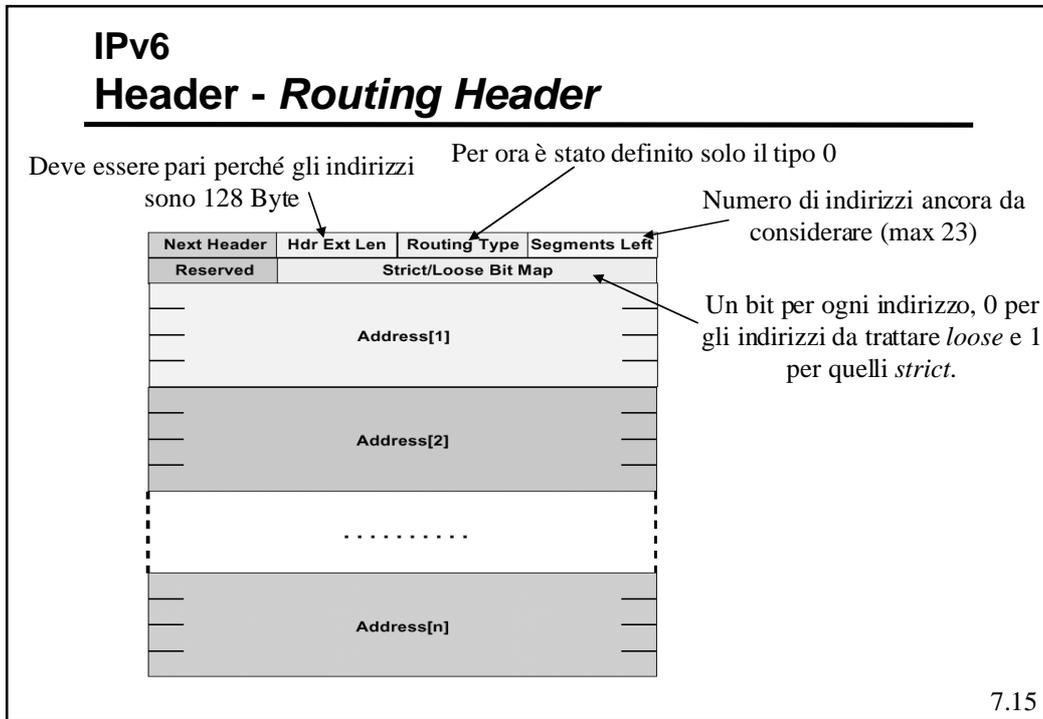
7.13

**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 reamizzare 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 IHL 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
  - 2128 indirizzi
  - circa 1038 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

---

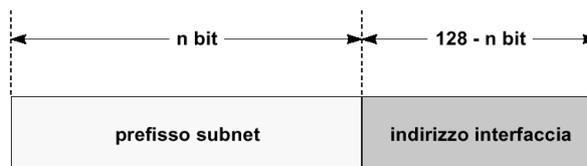
- Si scrivono in esadecimale come 8 numeri naturali separati da “:”
  - FEDC:BA98:0876:45FA:0562:CDAF:3DAF:BB01
  - 1080:0000:0000:0007:0200:A00C:3423
- Esistono delle semplificazioni:
  - si possono omettere gli zero iniziali  
1080:0:0:7:200:A00C:3423
  - Si possono sostituire gruppi di zero con “::”  
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



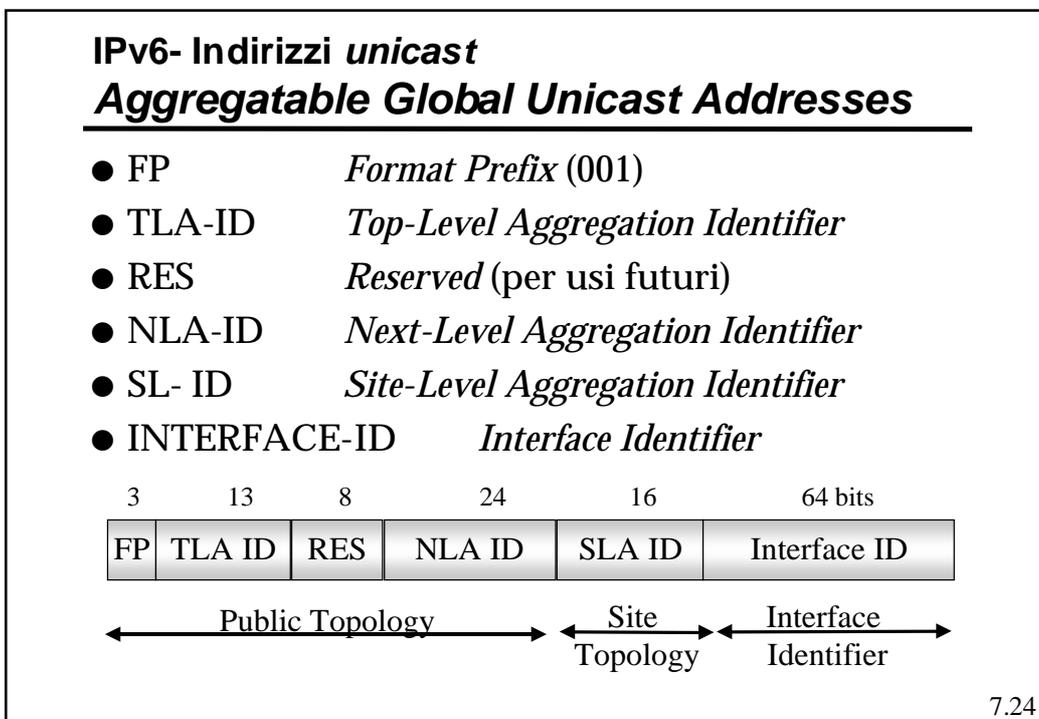
7.22

## IPv6 Indirizzi

---

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
<b>Aggregatable Global Unicast Addresses</b>	<b>001</b>	<b>1/8</b>
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
<b>Link-Local Unicast Addresses</b>	<b>1111 1110 10</b>	<b>1/1024</b>
<b>Site-Local Unicast Addresses</b>	<b>1111 1110 11</b>	<b>1/1024</b>
<b>Multicast Addresses</b>	<b>1111 1111</b>	<b>1/256</b>

7.23



### 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

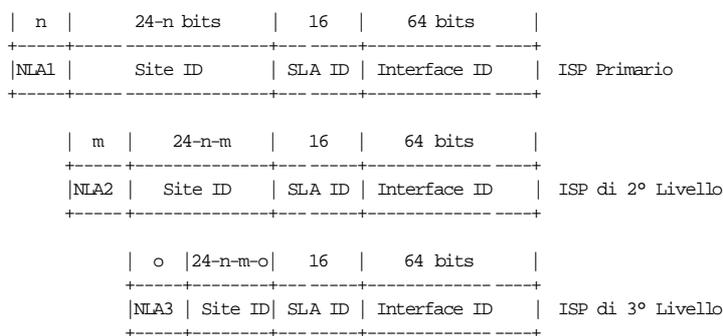
---

- 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

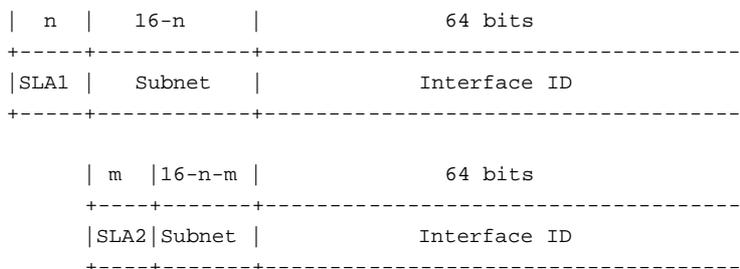
- Il *Next-Level Aggregation Identifier* è usato dall'ISP per organizzare la propria rete interna e può eventualmente essere a sua volta strutturato in modo gerarchico e sue parti assegnate ad ISP secondari.



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).

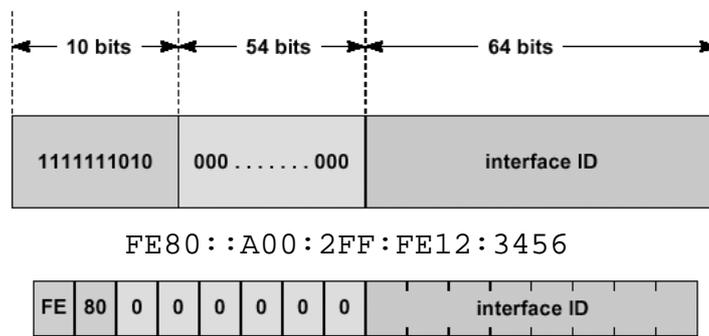


7.28



**IPv6- Indirizzi *unicast*  
*Link Local***

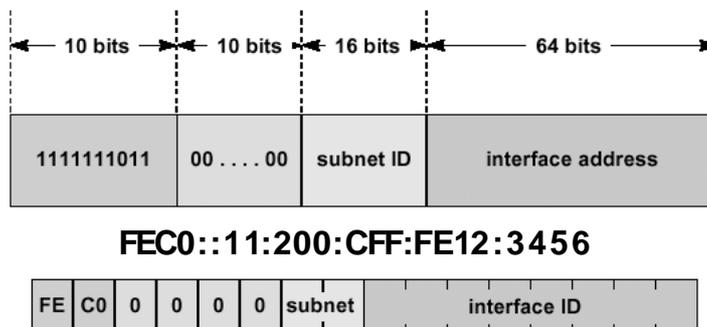
- Indirizzi “privati” (non annunciati dai router) pensati per piccole reti, autoconfiguranti, prive di router (interni).



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 *Reserved*

**Indirizzo IPv6 compatibile IPv4**

Usato per fare *tunneling* di IPv6 su infrastrutture IPv4

Es. **::130.192.252.27**

**Indirizzo IPv6 ricavato da un indirizzo IPv4**

Usato per fare tunneling di IPv4 su infrastrutture IPv6

Es. **::FFFF:130.192.252.27**

7.33

### IPv6- Indirizzi *unicast* *Reserved*

- Indirizzi riservati particolari sono:
  - :: (significa nessun indirizzo)
  - ::1 (*loopback*)

7.34

## 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
    - » FF02:0000:0000:0000:0000:0000:0001
  - Tutti i router su un link
    - » FF02:0000:0000:0000:0000:0000:0002
  - Tutti i server DHCP su un link
    - » FF02:0000:0000:0000:0000:0000:000C
  - 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

---

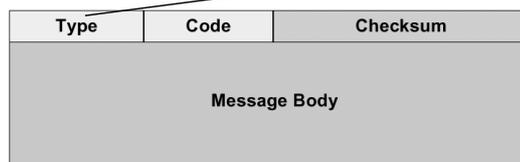
- L' *Internet Control Message Protocol v6* (ICMPv6) ha tre impieghi principali
  - Diagnostica
  - *Neighbor Discovery*
  - Gestione dei gruppi multicast
- Riunisce al suo interno le funzionalità che in IPv4 erano suddivise tra:
  - ICMP
  - ARP (*Address Resolution Protocol*)
  - IGMP (*Internet Group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



- 1 Destination Unreachable
- 2 Packet too big
- 3 Time exceeded
- 4 Parameter Problem
- 128 Echo Request
- 129 Echo Reply
- 130 Group Membership Query
- 131 Group Membership Report
- 132 Group Membership Termination
- 133 Router Solicitation
- 134 Router Advertisement
- 135 Neighbor Solicitation
- 136 Neighbor Advertisement
- 137 Redirect

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

Max tempo di attesa di una risposta alla *query* in ms

Type	Code	Checksum
	Maximum Response Delay	Unused
Multicast Address		

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