



UNIVERSITÀ  
DI PARMA

DIPARTIMENTO DI SCIENZE MATEMATICHE, FISICHE ED INFORMATICHE  
Corso di Laurea in Informatica

# Il Livello Network

## Parte II : IPv6

RETI DI CALCOLATORI - a.a. 2023/2024

Roberto Alfieri

# Il livello Network: sommario

## PARTE I

- ▶ Scopi del livello Network
- ▶ Commutazione di circuito e di pacchetto
- ▶ La famiglia dei protocolli TCP/IP
- ▶ Il protocollo IP: trama indirizzi, instradamento
- ▶ Protocolli di servizio: ARP, ICMP, DHCP

## PARTE II

- ▶ IPv6

## PARTE III

- ▶ Routing: Algoritmi e protocolli. Distance Vector e Link State.

# IPv6

Necessità di un nuovo layer IP:

- ▶ Supportare molti miliardi di host
- ▶ Semplificare il routing per avere backbone veloci
- ▶ Offrire meccanismi di sicurezza
- ▶ Offrire qualità di servizio (multimedialità)
- ▶ Gestire bene multicast e broadcast
- ▶ Consentire la mobilità
- ▶ Consentire future evoluzioni e garantire compatibilità col passato

Nel 1993 tra varie proposte venne scelta SIPP (Simple Internet Protocol Plus) che prese il nome di **IPv6**.

# Indirizzi IPv6

Spazio degli indirizzi grande a sufficienza (16 byte → 128 bit)

**Notazione:** 8 quaterne di numeri esadecimali separati da “:”

Esempio: 8000:0000:0000:0000:0562:CDAF:2DAF:0001

**Notazione compatta:** è possibile omettere gli zeri iniziali di ogni quaterna.

Gruppi di 4 zeri possono essere sostituiti con ::

Esempio precedente: 8000::562:CDAF:2DAF:1

Gli indirizzi IPv4 possono essere compresi tra gli indirizzi IPv6 con un prefisso di 96 zeri, mantenendo la notazione dotted decimal. Esempio: ::192.31.20.46

**Indirizzi Broadcast:** non esistono in IPv6

**Indirizzi Speciali:** Loopback (127.0.0.1 di IPv4) ::1

**Indirizzi Multicast:** Indirizzi assegnati a più interfacce (come IPv4)

**Indirizzi Anycast (novità):** Sono indirizzi assegnati a più interfacce.

Il pacchetto anycast viene consegnato solo all'interfaccia più vicina

**Gli indirizzi IPv6 in URL** devono essere scritti tra parentesi quadre. Esempio:

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

Prefix	Hex	Size	Allocation
<b>0x0000 0000 0000 0000 0000 0000</b>		<b>2</b>	<b>Ipv4 compatible</b>
0000 0000	0000-00FF		Reserved
0000 0001	0100-01FF		Unassigned
0000 001	0200-03FF	2	NSAP
0000 010	0400-05FF		Unassigned
0000 011	0600-07FF		Unassigned
0000 1	0800-0FFF		Unassigned
0001	1000-1FFF		Unassigned
<b>001</b>	<b>2000-3FFF</b>	<b>2</b>	<b>IANA to registers</b>
010,011,100,101,110	4000-CFFF		Unassigned
1110	D000-EFFF		Unassigned
1111 0	F000-F7FF		Unassigned
1111 10	F800-FBFF		Unassigned
1111 110	FC00-FDFF		Unassigned
1111 1110 0	FE00-FE7F		Unassigned
<b>1111 1110 10</b>	<b>FE80-FEBF</b>	<b>2</b>	<b>Link-local</b>
<b>1111 1110 11</b>	<b>FEC0-FEFF</b>	<b>2</b>	<b>Site-Local</b>
<b>1111 1111</b>	<b>FF00-FFFF</b>	<b>2</b>	<b>Multicast</b>

# IPv6: Indirizzi Global Unicast

## **IANA 2000::/3**

Gli indirizzi Unicast globali di IPv6 hanno prefisso 001 (2000::/3) e sono gestiti da IANA. IANA ha frammentato questo spazio in diverse reti più piccole che ha poi assegnato in gestione alle RIR continentali (APNIC, ARIN, RIPE, LACNIC e AFRINIC)

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

## **RIPE 2001:600::/23**

La rete 2001:0600::/23 (2001:06xx: e 2001:07xx:) è stata assegnata a RIPE, che ha suddiviso in reti più piccole (tipicamente /32). <http://www.ripe.net/ripe/docs/ripe-510#2e>

## **GARR 2001:760::/32**

La rete 2001:760::/32 è stata assegnata da RIPE a GARR, che ha suddiviso in reti più piccole (/48).

## **UNIPR 2001:760:2E04::/48      -      INFN-Parma 2001:760:4207::/48**

Il GARR ha assegnato la rete 2001:760:2E04::/48 a UNIPR e la rete 2001:760:4207::/48 a INFN-Parma. UNIPR dispone di 64K reti /64 da ripartire alle proprie strutture.

# IPv6: possibile ripartizione della rete in UNIPR

## Rete di ateneo: 2001:760:2e04::/48

2001:760:2e04:0000::/52	0000 --> 0fff	4k Reti /64 destinate ad usi futuri
1 2001:760:2e04:1000::/52	1000 --> 1fff	4k Reti /64 destinate alla Sede 1 (Campus)
2 2001:760:2e04:2000::/52	2000 --> 2fff	4k Reti /64 destinate alla Sede 2 (Sede Centrale)
3 2001:760:2e04:3000::/52	3000 --> 3fff	4k Reti /64 destinate alla Sede 3 (Via Gramsci)
4 2001:760:2e04:4000::/52	4000 --> 4fff	4k Reti /64 destinate alla Sede 4 (B.go Carissimi)
5 2001:760:2e04:5000::/52	5000 --> 5fff	4k Reti /64 destinate alla Sede 5 (Via Kennedy/via D'Azeglio)
6 2001:760:2e04:6000::/52	6000 --> 6fff	4k Reti /64 destinate alla Sede 6 (S. Francesco)
7 2001:760:2e04:7000::/52	7000 --> 7fff	4k Reti /64 destinate alla Sede 7 (Momentaneamente dismessa)
8 2001:760:2e04:8000::/52	8000 --> 8fff	4k Reti /64 destinate alla Sede 8 (Via del Taglio)
9 2001:760:2e04:9000::/52	9000 --> 9fff	4k Reti /64 destinate Alla Sede 9 (Via Volturno)

Le sedi in servizio denominate 10 11 12 e 13 sono sedi con un numero di host allocati sensibilmente inferiore a 100 è quindi plausibile supporre che non abbiano grosse esigenze di indirizzamento futuro pertanto si propone di continuare l'allocazione con il seguente schema

## 2001:760:2e04:a000::/52

10 2001:760:2e04:a100::/60	a100 --> a10f	16 Reti /64 destinate alla Sede 10 (Via S. Michele)
11 2001:760:2e04:a110::/60	a110 --> a11f	16 Reti /64 destinate alla Sede 11 (via Farini)
12 2001:760:2e04:a120::/60	a120 --> a12f	16 Reti /64 destinate alla Sede 12 (Pilotta)
13 2001:760:2e04:a130::/60	a130 --> a13f	16 Reti /64 destinate alla Sede 13 (Paradigna)
14 2001:760:2e04:a140::/60	a140 --> a14f	16 Reti /64 destinate alla Sede 10 (Beni Teatrali)
15 2001:760:2e04:a150::/60	a150	a seguire per le altre sedi attive
16 2001:760:2e04:a160::/60	a160	a seguire per le altre sedi attive
17 2001:760:2e04:a170::/60	a170	a seguire per le altre sedi attive
18 2001:760:2e04:a180::/60	a180	a seguire per le altre sedi attive
19 2001:760:2e04:a190::/60	a190	a seguire per le altre sedi attive

# InterfaceID

Le reti assegnate alle strutture per le reti locali sono generalmente di 64 bit.

Gli ultimi 64 bit dell'indirizzo IPv6 possono essere assegnati in vari modi:

- ▶ Assegnati via DHCPv6
- ▶ Configurati manualmente
- ▶ Autogenerati con numeri pseudo-random
- ▶ Autoconfigurati utilizzando **l'interfaceID**, ovvero una sequenza di 64 bit, univoci di ogni interfaccia di rete, ottenuta partendo dai 48 bit del MAC address



# Da MAC48 a InterfaceID

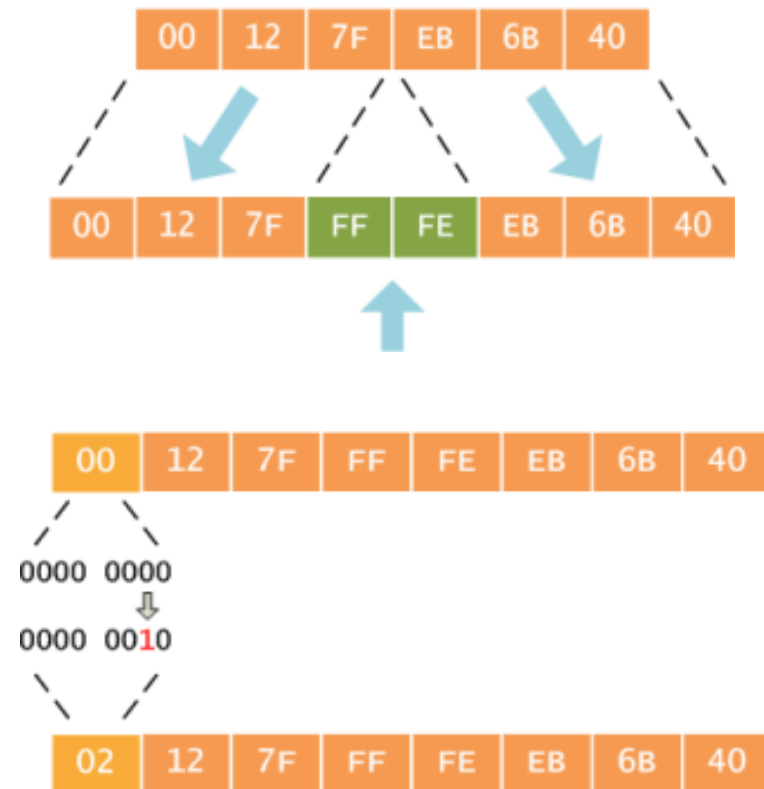
- ▶ Gli indirizzi MAC 48 bit utilizzati da Ethernet (MAC48) sono gestiti da IEEE e non si esauriranno prima del 2100.
- ▶ IEEE gestisce anche una numerazione a 64 bit, EUI64 (Extended Unique Identifier). La numerazione MAC48 è integrata in EUI64 inserendo 16 bit (FFFE) al centro.
- ▶ L' Interface-ID utilizzata per gli indirizzi IPv6 è una versione modificata di EUI64 (mEUI64) in cui si pone ad 1 il bit 7 di EUI64.

Esempio:

MAC48: 00-12-7F-EB-6B-40

EUI64: 00-12-7F-**FF-FE**-EB-6B-40

mEUI64: 02-12-7F-**FF-FE**-EB-6B-40 (intID)



# IPv6: Indirizzi Link-Local

Per Link si intende una rete di livello 2 (LAN o punto-punto). Nodi sullo stesso link sono detti Neighbor (vicini)

**Indirizzo Link locale:** Destinati ai terminali della stessa rete locale.

Hanno come prefisso 1111 1110 10 (FE80::/10)

I pacchetti con questa destinazione non attraverseranno mai un router.

E' un tipo di indirizzo attribuito inizialmente alle interfacce IPv6 con configurazione automatica e viene utilizzato per il processo di Neighbor Discovery.

La configurazione automatica ha il seguente formato:

```
FE80:0000:0000:0000:xxxx:xxxx:xxxx:xxxx  
--interfaceID---
```

# IPv6: Indirizzi Site-Local

Un **Site** è un gruppo di Link gestiti da un'unica autorità (esempio Campus).

Gli indirizzi Site-local sono indirizzi per **uso privato**, analoghi alle reti 10.0.0.0/8, 172.16.0.0/12, e 192.168.0.0/16 di IPv4.

Hanno come prefisso 1111 1110 11 (FEC0::/10)

Rispetto a un indirizzo Link-local cambia il prefisso di formato, aggiungendo la possibilità e la convenienza di suddividere lo spazio di indirizzi in sottoreti.

A differenza dagli indirizzi Link-local non sono configurati automaticamente.

# IPv6: Indirizzi Multicast e Anycast

Un indirizzo **IPv6 multicast** serve a identificare e a raggiungere un gruppo di nodi simultaneamente. Normalmente il multicast non viene propagato dai router a meno di configurazioni specifiche.

Il prefisso di formato è 1111 1111 (ovvero FF) a cui seguono 4 bit di opzione, 4 bit di ambito e 112 bit per identificare il gruppo.

Vedi [http://wwwcdf.pd.infn.it/AppuntiLinux/introduzione\\_a\\_ipv6.htm](http://wwwcdf.pd.infn.it/AppuntiLinux/introduzione_a_ipv6.htm)

Gli **indirizzi anycast** sono degli indirizzi con le caratteristiche di quelli unicast che, in base al contesto, sono attribuiti a più interfacce di rete differenti, appartenenti ad altrettanti componenti di rete distinti.

Anycast viene gestito automaticamente dai router, i quali includono in tabella la destinazione che si raggiunge a minor costo.

Trova applicazione per servizi con alto tasso di utilizzo, che vengono replicati in punti diversi della rete con lo stesso indirizzo Anycast.

Esempi sono i root server dell'architettura DNS, oppure applicazioni in Cloud.

# Altri Indirizzi IPv6

Loopback

0:0:0:0:0:0:0:1 (oppure ::1) identifica lo stesso nodo, come 127.0.0.1 in IPv4

Per controllare se lo stack IPv6 funziona: `ping6 ::1`

## **IPv4 compatible**

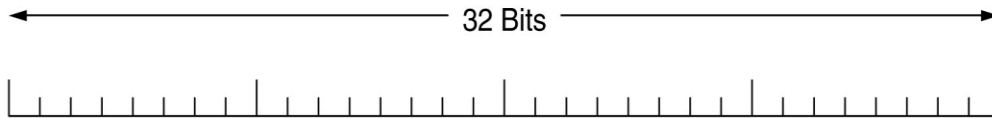
Permettono di inserire indirizzi IPv4 in indirizzi IPv6 antepoendo 96 zeri:

Esempio: 10.0.0.1 -> ::A001

vale anche la notazione ::10.0.0.1

Utilizzati per la transizione IPv4-IPv6

# La trama IPv6



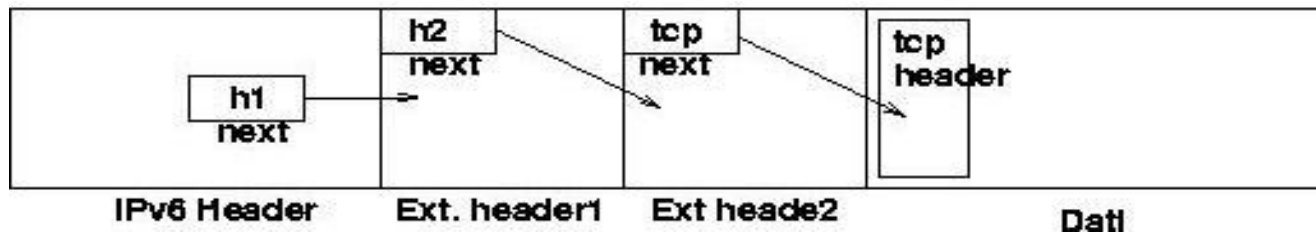
Version	Traffic class	Flow label	
Payload length		Next header	Hop limit
Source address (16 bytes)			
Destination address (16 bytes)			

## Cosa è stato eliminato da IPv4

- La frammentazione è stata rimossa perché IPv6 determina dinamicamente la dimensione del datagramma (Path MTU Discovery – [rfc 1191](https://tools.ietf.org/html/rfc1191))
- Il campo Checksum è stato eliminato perché la sua elaborazione riduce le prestazioni.
- Il campo Protocol è stato rimosso perché questa info è contenuta nel Next Header.

# Header Fields

- ▶ **Version** (4 bits) -> 0110
- ▶ **Traffic Class** (8 bits). E' un nuovo campo utilizzato per supportare la QoS basata sulle Classi. Corrisponde al Type of Service di Ipv4 utilizzato solo sperimentalmente)
- ▶ **Flow Label** (20 bits) – Label Switching, per QoS basata sui flussi (nuovo campo).
- ▶ **Payload Length** (16 bits) – Lunghezza del payload (esclusa l'intestazione)
- ▶ **Next Header** (8 bits) – Per snellire l'intestazione molti campi sono resi opzionali mediante Header numerate che possono essere concatenate



- ▶ Hop Limit (8 bits) – Era il TTL che ora assume il nome corretto.
- ▶ Source address (128 bits)
- ▶ Destination address (128 bits)

# Extension Header

Estensioni opzionali nel formato    Type-Lunghezza-Valore

L'ultimo NextHeader indica il protocollo del Payload (stessi codici del campo Protocol di IPv4 )

Code	Header Type
0	<b>Hop-By-Hop options</b> – Informazioni per i router attraversati
43	<b>Routing Header</b> – Lista di router da visitare nell'ordine indicato
44	<b>Fragmentation Header</b> – In alcuni casi la frammentazione è necessaria
50	<b>Encapsulating Security Payload (ESP – IPsec)</b> – Cifratura del datagramma
51	<b>Authentication Header (AH – IPsec)</b> – Integrita' del datagramma
60	<b>Destination Options</b> – Informazioni per il destinatario
1	<b>ICMPv4</b>
58	<b>ICMPv6</b>
6	<b>TDP</b>
17	<b>UCP</b>



# ICMPv6

Equivale a ICMP per IPv4, con alcune nuove funzionalità:

- ▶ Path MTU discovery
- ▶ Neighbor discovery (equivalente in IPv6 di ARP)
- ▶ Router Discovery



Formato del pacchetto:

Type: indica il tipo - Code: specifica meglio il tipo - Checksum: dell'intero pacchetto

Tipi principali:

- 1=dest unreachable (no route to dest, address unreachable, ...)
- 2= packet too big (per il discovery automatico dell'MTU ottimale)
- 3= time exceeded (superato il numero massimo di hop consentiti)
- 128=echo req (ping)
- 129=echo replay (risposta al ping)
- 133=router solicitation (ricerca automatica dei router della LAN)
- 134=router advertisement
- 135=neighbor solicitation (sostituisce arp request)
- 136=neighbor advertisement (sostituisce arp response)

# Path MTU discovery

E' un protocollo basato su ICMPv6 che consente di determinare l'MTU ottimale per connessioni TCP.

- Il nodo manda il primo pacchetto con una dimensione pari all'MTU del proprio link
- Se riceve un messaggio ICMPv6 “Packet too big” (tipo 2) manda un nuovo pacchetto con le dimensioni indicate nel messaggio
- Ripete finché non trova più errori

# Neighbor discovery

Sostituisce ARP per determinare l'indirizzo di rete LAN.

- ▶ Usa pacchetti ICMPv6 anziché ARP, multicast anziché broadcast
- ▶ Per ottenere un indirizzo fisico di un altro nodo:
  - Calcola l'indirizzo Solicited-Node (multicast) corrispondente all'indirizzo IPv6 del destinatario, formato aggiungendo gli ultimi 24 bit dell'indirizzo IP (ultime 6 cifre esadecimali del dest) al prefisso ff02::1:ff00:/104
  - Invia all'indirizzo multicast un pacchetto ICMPv6 “Neighbor Solicitation” (125)
  - Il destinatario risponde con un pacchetto ICMPv6 “Neighbor Advertisement” (136)
  - Il nodo memorizza l'indirizzo della Neighbor Cache

# Router discovery

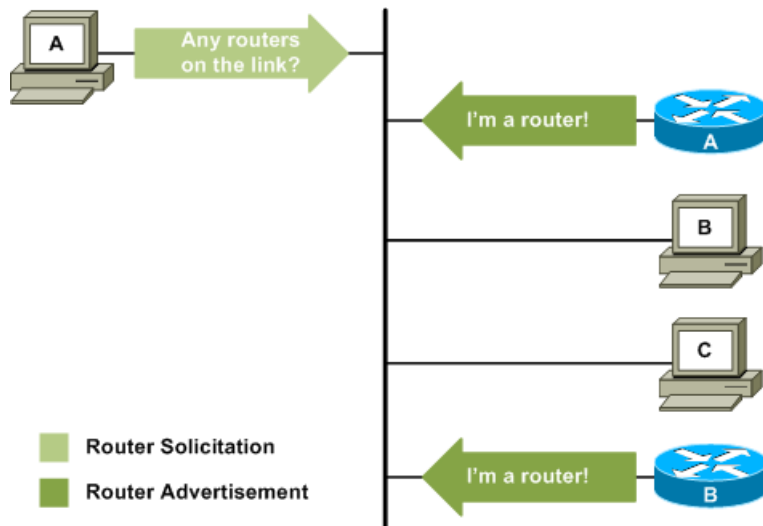
In IPv4 il default router deve essere configurato manualmente o via DHCP.

Con IPv6 gli host possono individuare automaticamente i router in un link.

Questo avviene attraverso 2 messaggi ICMPv6:

**Router Solicitation** (RS, type 133) e **Router Advertisement** (RA, type 124)

Quando un host entra in Link manda un Router Solicitation in multicast all'indirizzo [FF02::2] e ogni router risponde con un Router Advertisement contenente il suo indirizzo e altre informazioni necessarie per il routing.

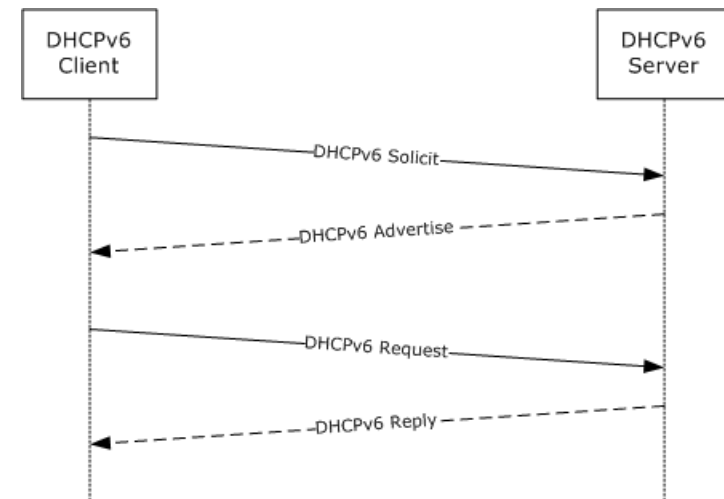


# DHCPv6 (statefull autoconfiguration)

E' il protocollo dhcp per IPv6 descritto nell'RFC 3315 e consiste nello scambio del seguenti segmenti UDP:

- Il client manda un “**Solicit**” dalla porta 546 a [ff02::1:2]:547 (multicast)
- Il server risponde con un “**Advertise**” unicast dalla porta 547 verso la porta 546.
- Il client risponde con un “**Request**” dalla porta 546 a [ff02::1:2]:547 (multicast)
- Il server completa il protocollo con un “**Reply**” unicast dalla porta 547 verso la 546.

Nota: Per identificare gli host DHCP6 usa il DUID (DHCP UID) che è unico per ogni Host.



# Stateless Address AutoConfiguration (SLAAC)

SLAAC è definito nell'RFC 2462

Combinando il protocollo di router discovery con l'autoconfigurazione degli indirizzi Link-local ( FE80:0000:0000:0000:mEUI64 ) è possibile assegnare un indirizzo Global unicast in modalità plug & play, senza la necessità di avere un servizio DHCP.

Al momento del boot l'host ottiene dalla rete il default router ed il prefisso IPv6, quindi genera il Global address combinando LinkPrefix:mEUI64

- Adatto per i client (i server devono essere configurati manualmente)
- Il nome del DNS deve essere ottenuto in altro modo (esempio DHCPv6)
- L'indirizzo non viene automaticamente registrato nel DNS.

Nota: Nei sistemi Linux l'attivazione di SLAAC è controllata dall'opzione IPV6\_AUTOCONF

Esempio: IPV6\_AUTOCONF=YES