



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. 2022/2023

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

Architettura degli indirizzi

Prefix	Hex	Size	Allocation
0x0000 0000 0000 0000 0000 0000		2	Ipv4 compatible
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
001	2000-3FFF	2	IANA to registers
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
1111 1110 10	FE80-FEBF	2	Link-local
1111 1110 11	FECC-FEFF	2	Site-local

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 Volturmo)

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	a seguire per le altri sedi attive	
16 2001:760:2e04:a160::/60	a seguire per le altri sedi attive	
17 2001:760:2e04:a170::/60	a seguire per le altri sedi attive	
18 2001:760:2e04:a180::/60	a seguire per le altri sedi attive	
19 2001:760:2e04:a190::/60	a seguire per le altri sedi attive	

InterfaceID

Le reti assegnate alle strutture per le reti locali sono quindi 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

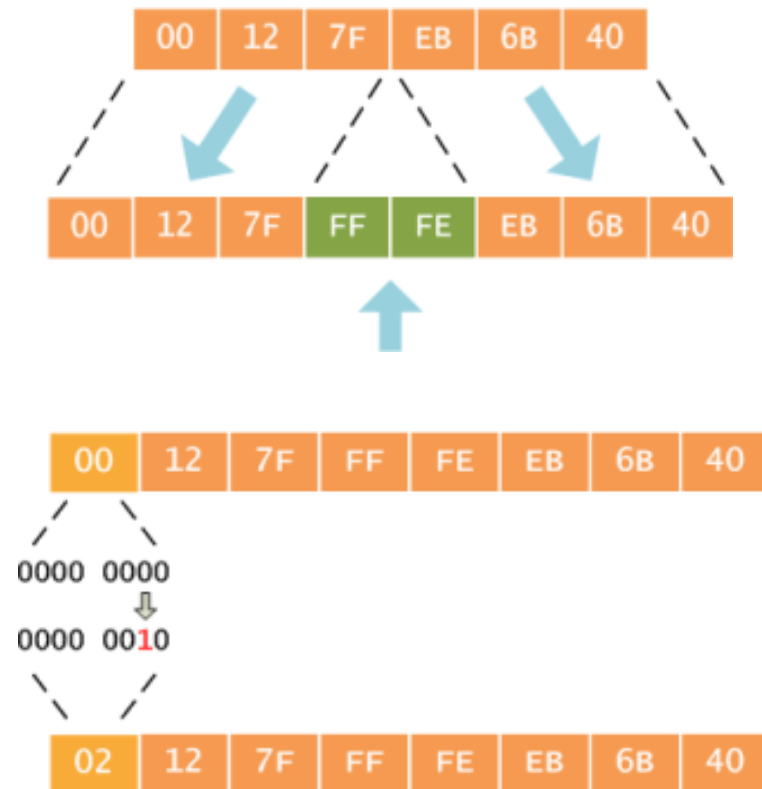
- ▶ Gli indirizzi MAC 48 bit utilizzati da Ethernet (MAC48) sono gestiti da IEEE e non si esauriranno prima del 2100.
- ▶ IEEE gestisce anche una numerazione a 64 bit, EUI64 (Extended Unique Identifier). La numerazione MAC48 è integrata in EUI64 inserendo 16 bit (FFFE) al centro.
- ▶ L' Interface-ID 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 (Ad esempio: FE80:)

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 (ad esempio FEC0:)

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

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 deve essere supportato dai router, i quali devono gestire il fatto che lo stesso indirizzo IP viene annunciato da luoghi differenti.

L'indirizzo anycast più comune è quello che serve a raggiungere simultaneamente tutti i router nell'ambito link-local.

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

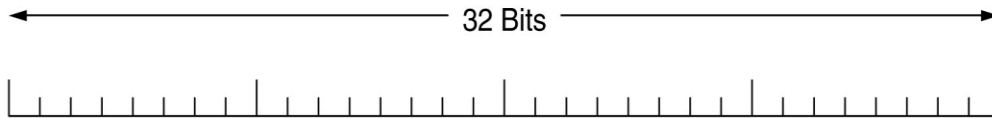
Permettono di inserire indirizzi IPv4 in indirizzi IPv6 antepoendo 96 zeri:

Esempio: 10.0.0.1 -> ::A001

vale anche la notazione ::10.0.0.1

Utilizzati per la transizione IPv4-IPv6

La trama IPv6



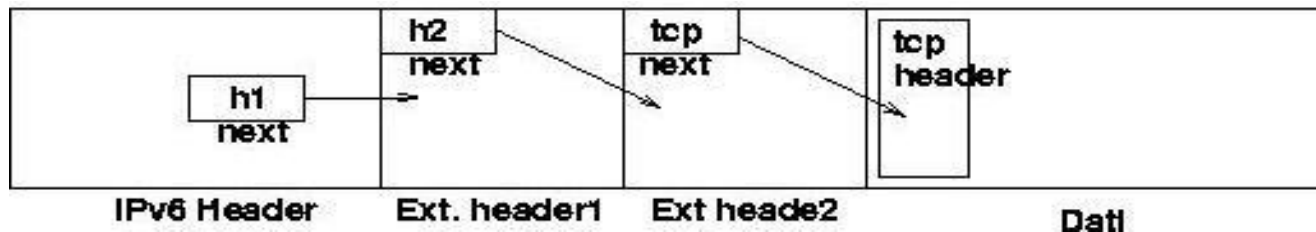
Version	Traffic class	Flow label	
Payload length		Next header	Hop limit
Source address (16 bytes)			
Destination address (16 bytes)			

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

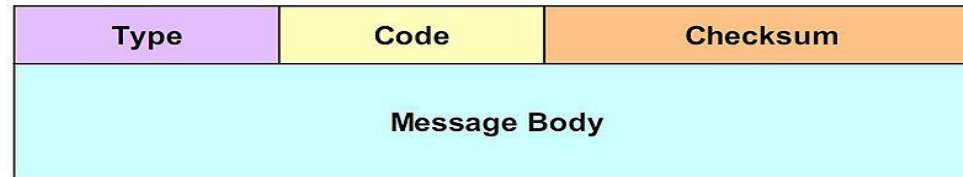
L'ultimo NextHeader indica il protocollo del Payload (stessi codici del campo Protocol di IPv4)

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

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

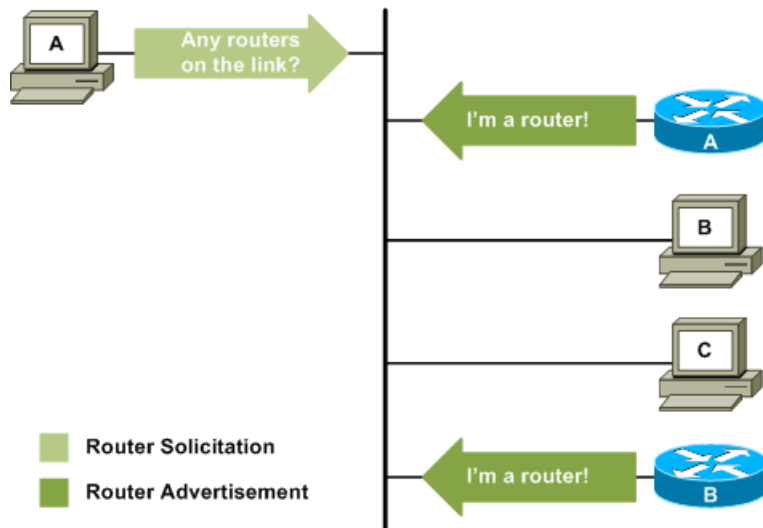
In IPv4 il default router deve essere configurato manualmente o via DHCP.

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.

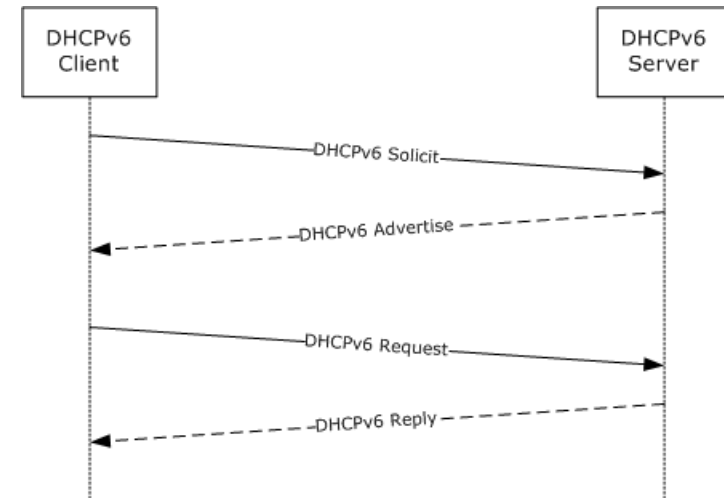


DHCPv6 (statefull autoconfiguration)

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