

# Introduzione a IPv6



Alessio Caiazza

Gestione e sicurezza delle reti di  
telecomunicazione  
Università degli Studi di Firenze  
Facoltà di Ingegneria

11 dicembre 2009

## IPv6



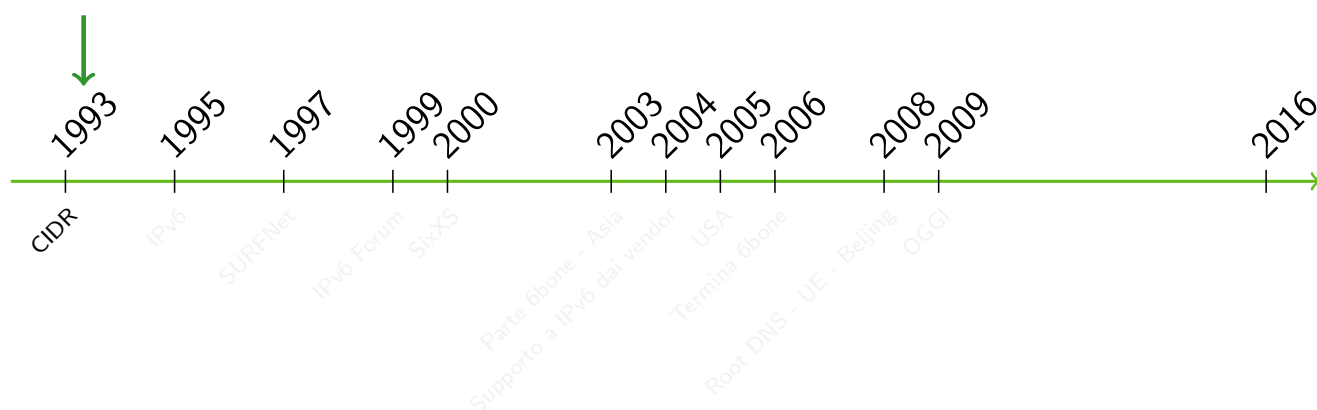
IPv6 è la nuova versione del protocollo IP, è stato progettato per risolvere le debolezze di IPv4 e per esaltarne i punti di forza.

### Vantaggi di IPv6

- Maggior spazio di indirizzamento
- Abolizione dei NAT
- Header semplificato
- Autoconfigurazione



## Gli indirizzi IP stanno finendo?

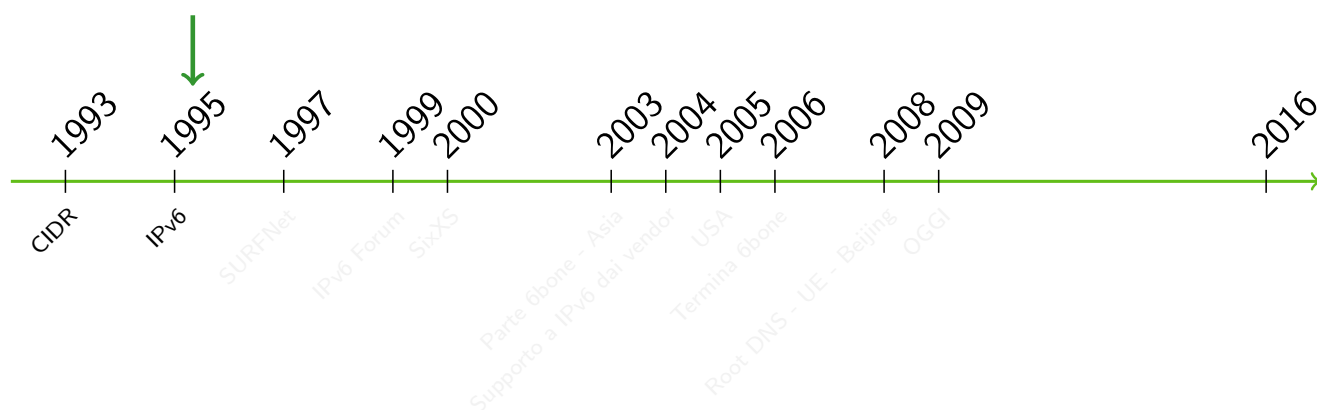


### 1993

- Viene introdotto CIDR per arginare il problema della fine degli indirizzi IP.



## Gli indirizzi IP stanno finendo?

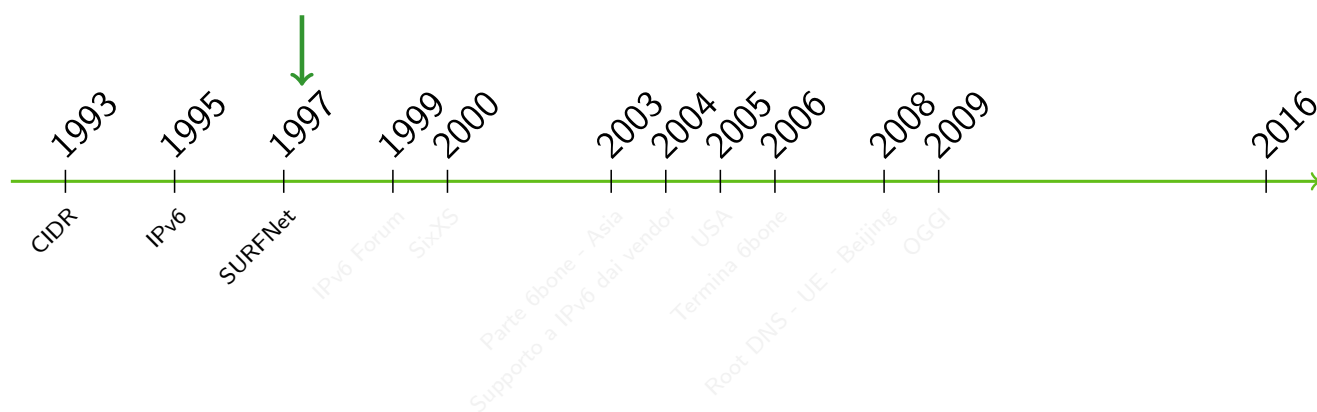


### 1995

- Nasce ufficialmente IPv6 (RFC 1752).



## Gli indirizzi IP stanno finendo?

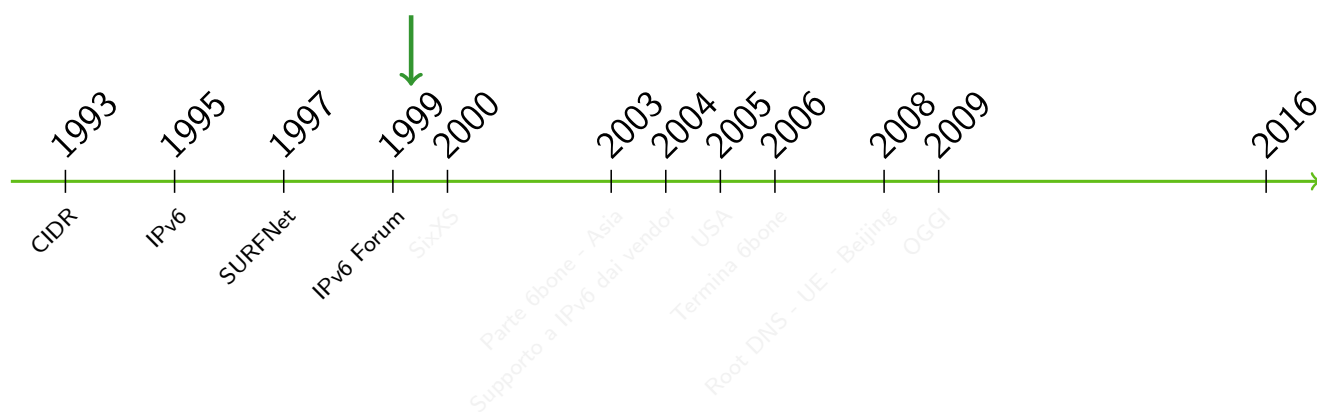


### 1997

- SURFNet, maintainer della rete accademica olandese, migra a IPv6.



## Gli indirizzi IP stanno finendo?

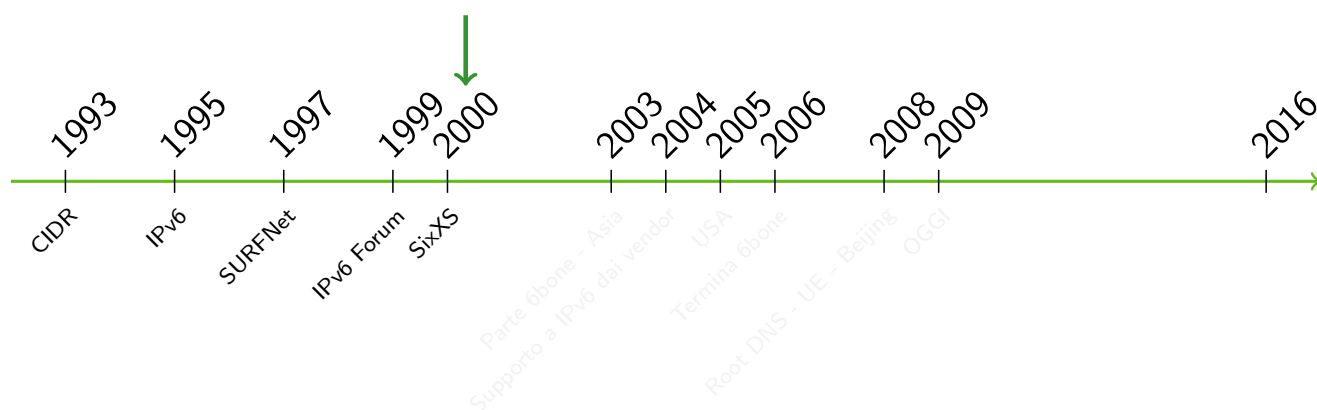


### 1999

- Nascita di IPv6Forum e delle task force regionali.



## Gli indirizzi IP stanno finendo?

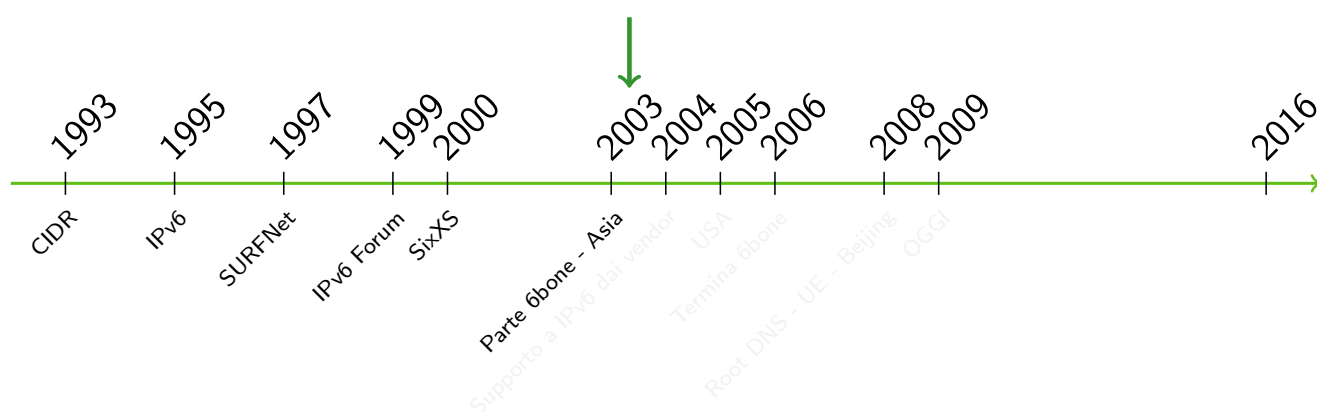


### 2000

- Nasce SixXS, uno dei più grandi tunnel broker.



## Gli indirizzi IP stanno finendo?

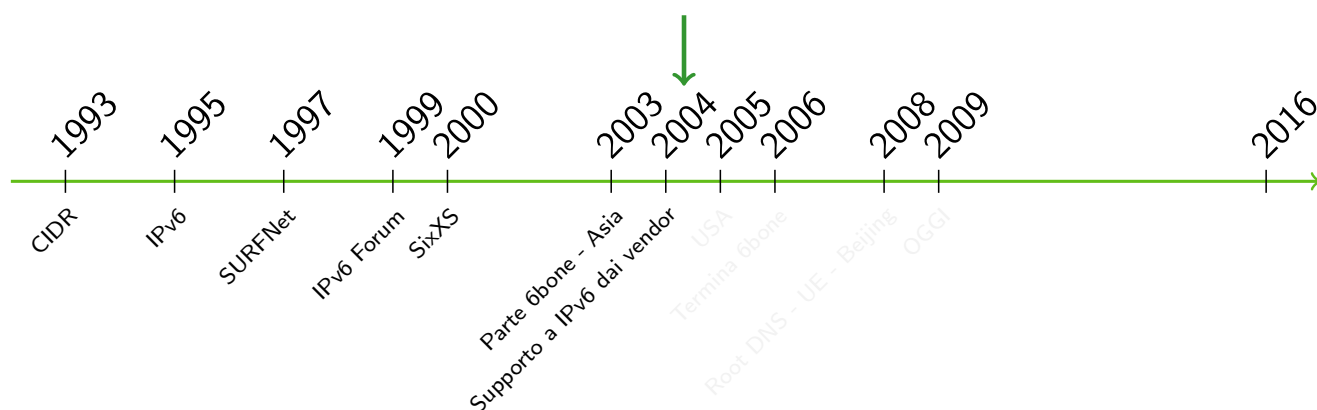


### 2003

- Parte il testbed 6bone
- Giappone, Cina e Corea del Sud annunciano di voler diventare leader nel settore IPv6.



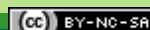
## Gli indirizzi IP stanno finendo?



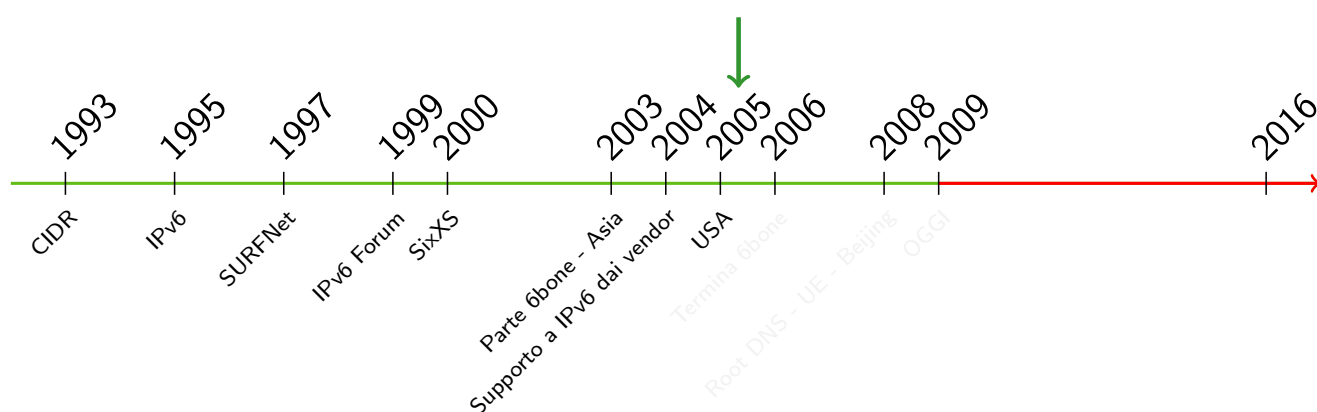
### 2004

- La maggior parte degli apparati di rete supportano IPv6.

5 di 87



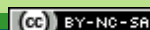
## Gli indirizzi IP stanno finendo?



### 2005

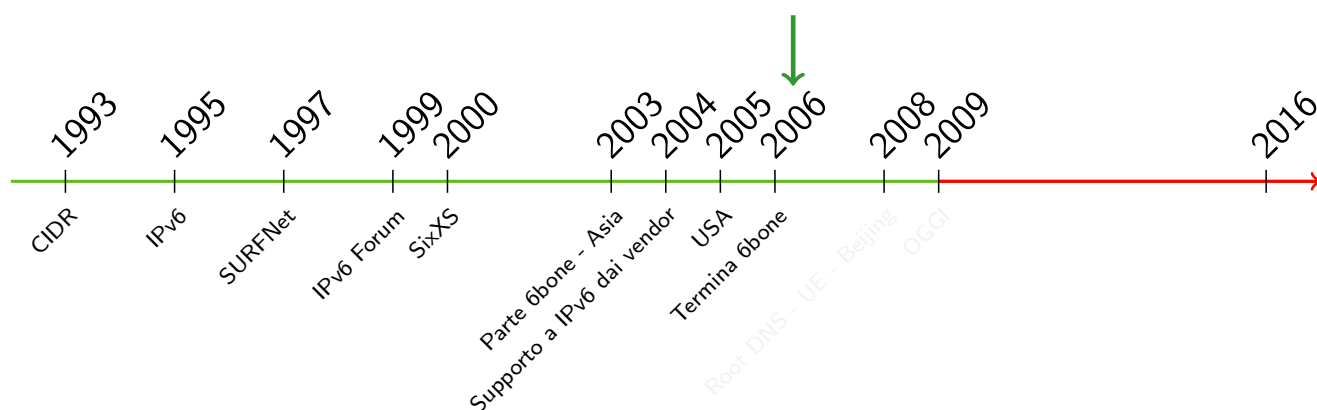
- Il governo USA richiede che tutti i backbone delle agenzie federali migrino a IPv6 entro il 2008.
- Sify, ISP indiano, fornisce connettività IPv6 end-user.
- Tony Hain di Cisco Systems pubblica uno studio stimando la fine degli indirizzi IPv4 tra il 2009 e il 2016.

5 di 87





## Gli indirizzi IP stanno finendo?

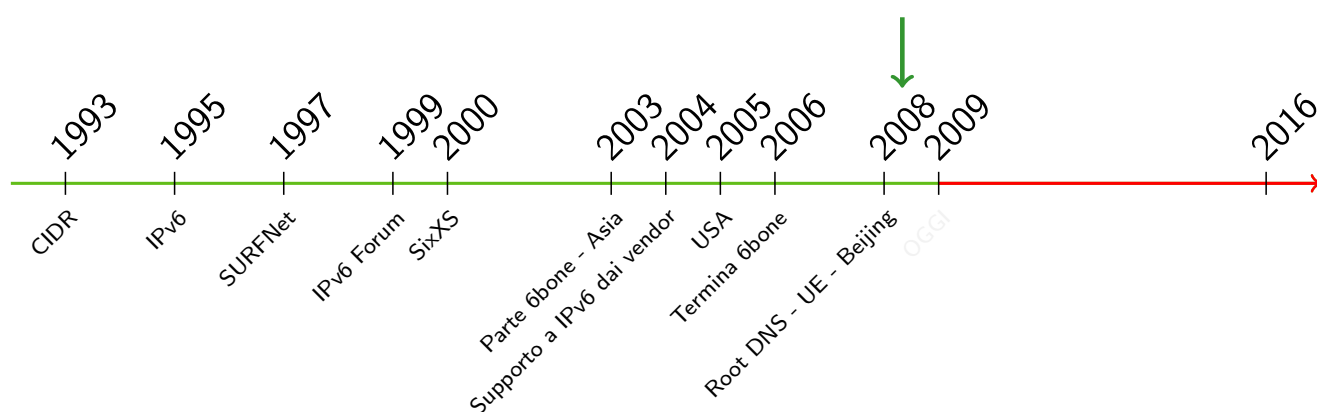


### 2006

- Viene dichiarata conclusa con successo la sperimentazione 6bone.



## Gli indirizzi IP stanno finendo?

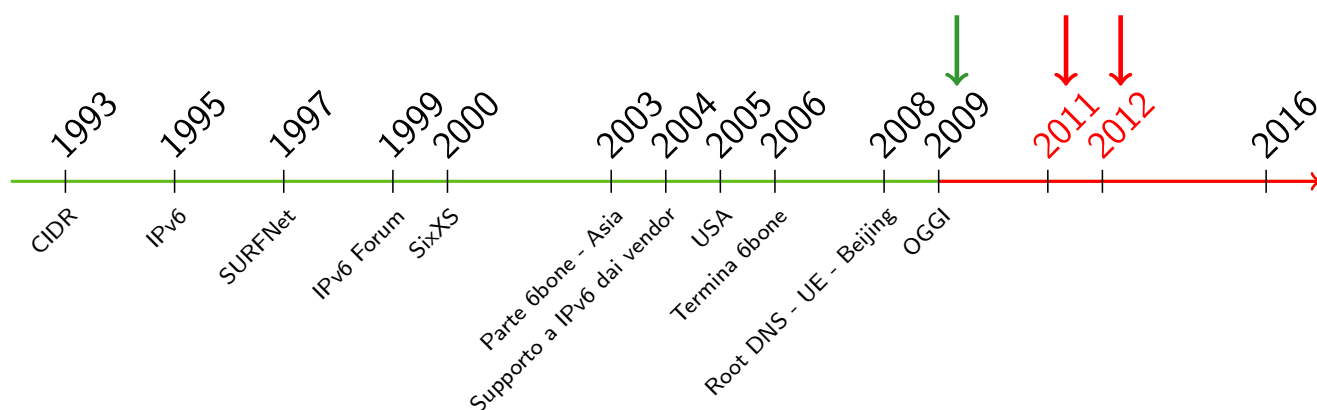


### 2008

- I root DNS sono raggiungibili anche in IPv6.
- La Comunità Europea richiede l'adozione di IPv6 per almeno il 25% della popolazione comunitaria entro il 2010.
- La Cina, con le olimpiadi di Beijing, fa il più grande uso mai visto di tecnologia IPv6.



# Gli indirizzi IP stanno finendo?



## 2009

- A oggi gli studi di Geoff Huston individuano la fine degli indirizzi IPv4 fra agosto 2011 e giugno 2012.



- Spazio di indirizzamento IPv4
  - $2^{32} = 4'294'967'296$  indirizzi
- Spazio di indirizzamento IPv6
  - $2^{128} = 340'282'366'920'938'463'463'374'607'431'768'211'456$  indirizzi
  - Per mantenere le proporzioni dovremmo colorare di bianco l'intera superficie del Sistema Solare!
  - Più di  $6.66 \cdot 10^{23}$  indirizzi per metro quadrato della superficie terrestre (cioè 666 mila miliardi di miliardi).



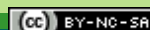


# Network Address Translation (NAT)

Il Network Address Translation (NAT) è una tecnica che consiste nel modificare gli indirizzi IP dei pacchetti in transito su un sistema che agisce da router.

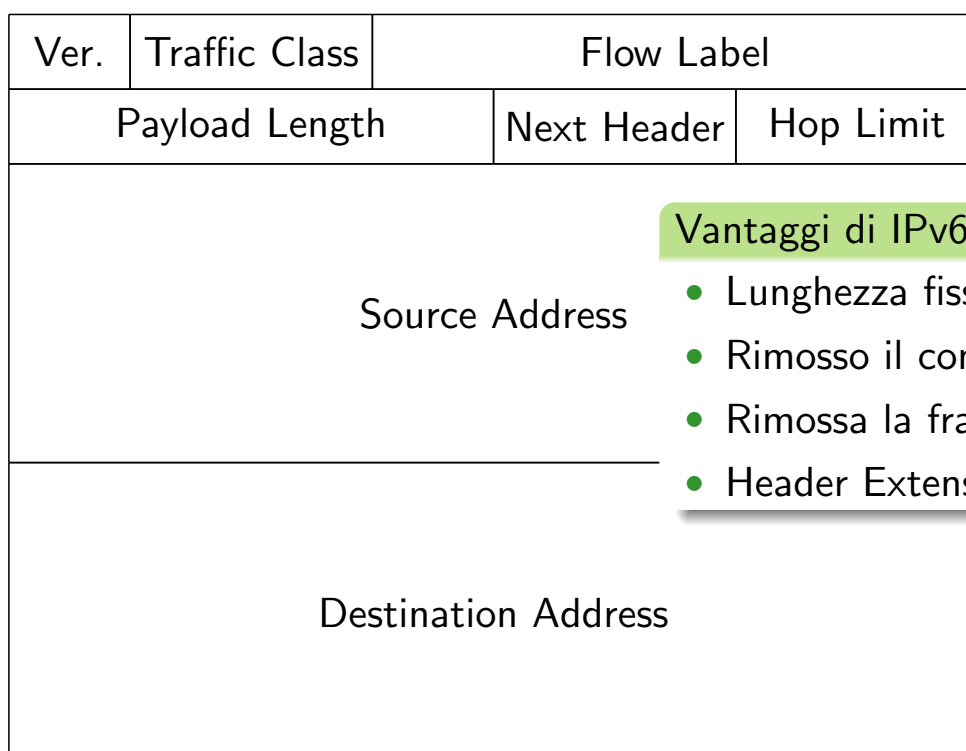
- L'instradamento dei pacchetti viene a dipendere anche da caratteristiche di livello di trasporto.
- Le configurazioni NAT possono diventare molto complesse e di difficile comprensione.
- L'apparato che effettua il NAT ha bisogno di mantenere in memoria lo stato delle connessioni attive in ciascun momento.
- Alcune applicazioni inseriscono nel payload informazioni relative al livello IP o TCP/UDP.
- IL NAT penalizza fortemente il peer-to-peer e tutti i programmi per la condivisione di file.

8 di 87



## Header semplificato

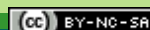
0      3 4      11 12      15 16      23 24      31



### Vantaggi di IPv6

- Lunghezza fissa 40 byte
- Rimosso il controllo di errore
- Rimossa la frammentazione
- Header Extensions

9 di 87





- Anche in assenza di un router i nodi connessi allo stesso switch sono in grado di **generare autonomamente un indirizzo locale per garantire la comunicazione**. (link-local unicast)
- Il comportamento predefinito di un router è di **annunciare la propria rete affinché i nodi possano generare autonomamente un indirizzo**. (global unicast)

## Struttura di un indirizzo



Un indirizzo IPv6 è un dato a 128 bit. Si utilizza una rappresentazione a gruppi di 4 cifre esadecimali separati dal simbolo “:”

2001:0db8:2c05:0000:0000:0000:0000:0027

o in modo più contratto

2001:db8:2c05::27

è infatti possibile omettere gli zeri di sinistra in ogni blocco e si può introdurre una sola volta la notazione “::” che viene espansa in gruppi di 0000 fino a completare l’indirizzo.



## Struttura di un indirizzo (cont.)

Si definisce *site* una rete amministrata da un unico gestore, il *global routing prefix* è lo spazio di indirizzamento assegnatogli, la *subnet ID* è la parte rimanente ad ottenere il *prefix* (prefisso) di lunghezza 64 bit, i rimanenti bit identificano l'interfaccia di rete a cui è assegnato l'indirizzo e si chiamano *interface ID*.

Global routing prefix	Subnet ID	Interface ID
n bit	64-n bit	64 bit



## Visibilità di un indirizzo

### Global

Gli indirizzi *global* sono raggiungibili da tutta la rete IPv6

### Site-local (deprecati)

Gli indirizzi *site-local* sono indirizzi privati interni ad un site che non devono essere instradati al di fuori della propria infrastruttura. Questa categoria di visibilità è attualmente deprecata.

### Link-local

Gli indirizzi *link-local* non devono mai essere inoltrati fuori dal link di origine.

L'indirizzo `::1/128` rappresenta il *localhost* per l'interfaccia di *loopback* mentre il prefix `fe80::/10` è stato riservato per l'autoconfigurazione stateless a livello di link.



## Tipo di indirizzo

### Unicast

Un indirizzo *unicast* identifica univocamente un'interfaccia. Per gli indirizzi *global unicast* lo IANA ha registrato il prefisso 2000::/3, mentre il prefix 2001:db8::/32 è stato riservato per la scrittura di documentazione.

### Multicast

Un indirizzo *multicast* individua un gruppo di interfacce, i pacchetti destinati all'indirizzo vengono instradati a tutti i nodi partecipanti al multicast.

### Anycast

Un indirizzo *anycast* individua un gruppo di interfacce, i pacchetti destinati ad un indirizzo anycast vengono instradati verso una sola interfaccia, solitamente la più vicina.

16 di 87



## Header IPv4

0	3 4	7 8	15 16	18 19	31
Ver.	IHL	TOS	Total length		
Identification			Flags	Fragment Offset	
TTL	Protocol	Header Checksum			
Source Address					
Destination Address					
Options (facoltativo)					

Dimensione variabile tra 20 e 60 byte.

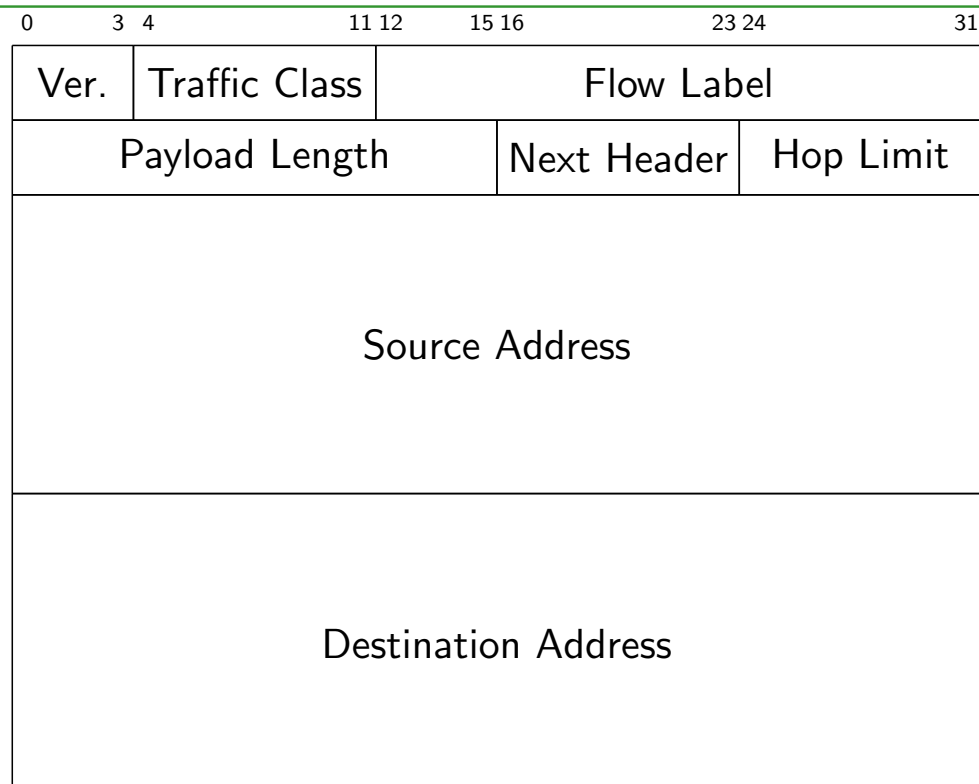
I campi in grigio sono stati rimossi in IPv6.

18 di 87

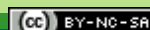




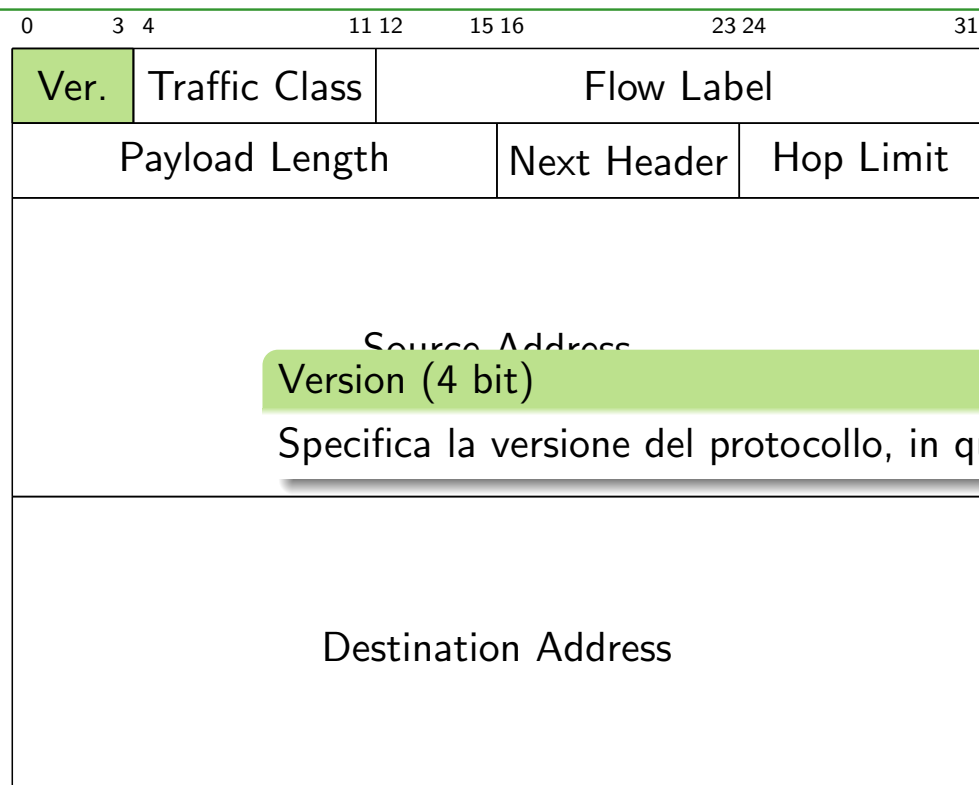
## Header IPv6



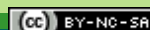
19 di 87



## Header IPv6 - Version

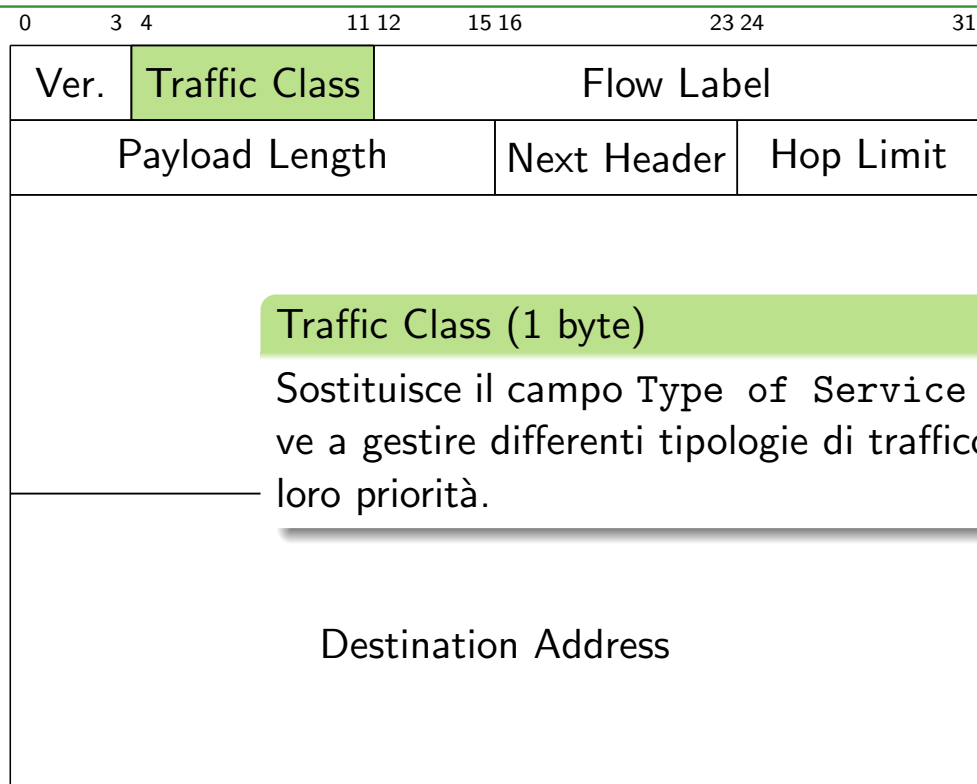


20 di 87





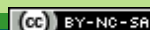
## Header IPv6 - Traffic Class



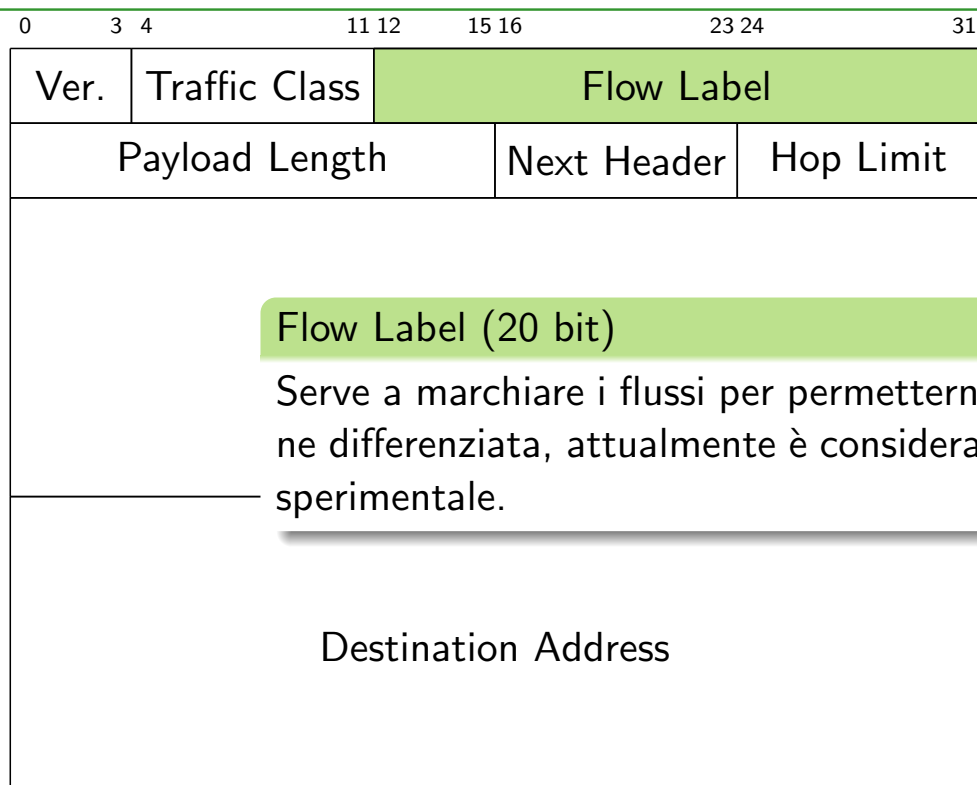
### Traffic Class (1 byte)

Sostituisce il campo Type of Service di IPv4. Serve a gestire differenti tipologie di traffico in base alla loro priorità.

21 di 87



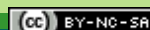
## Header IPv6 - Flow Label



### Flow Label (20 bit)

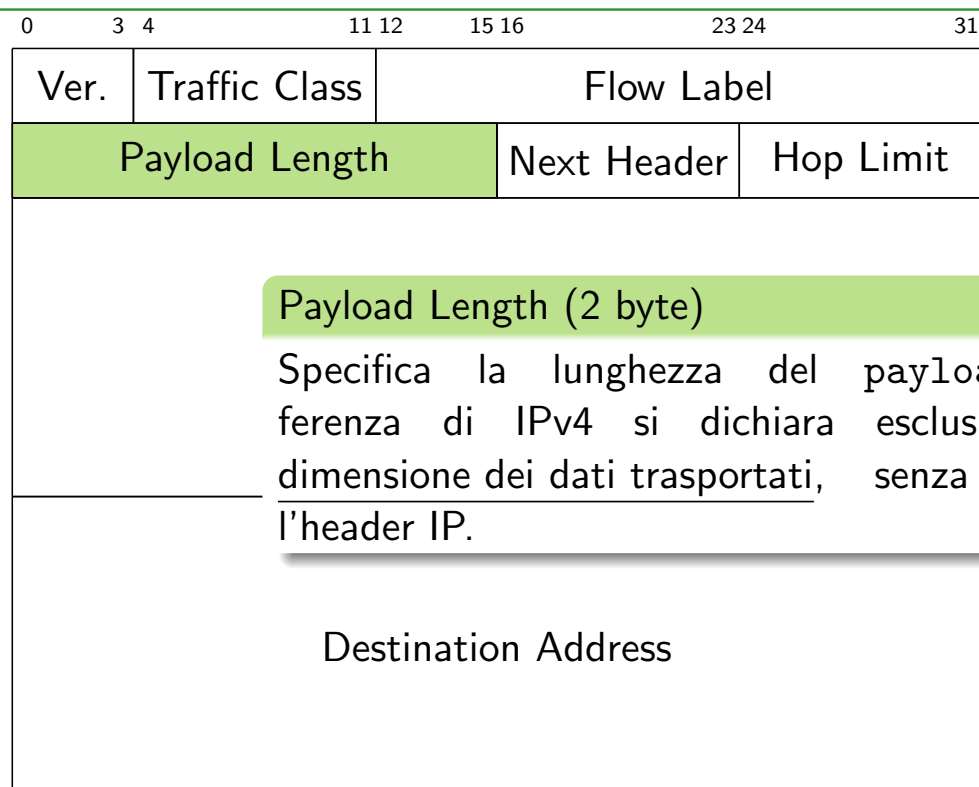
Serve a marciare i flussi per permetterne una gestione differenziata, attualmente è considerato un campo sperimentale.

22 di 87





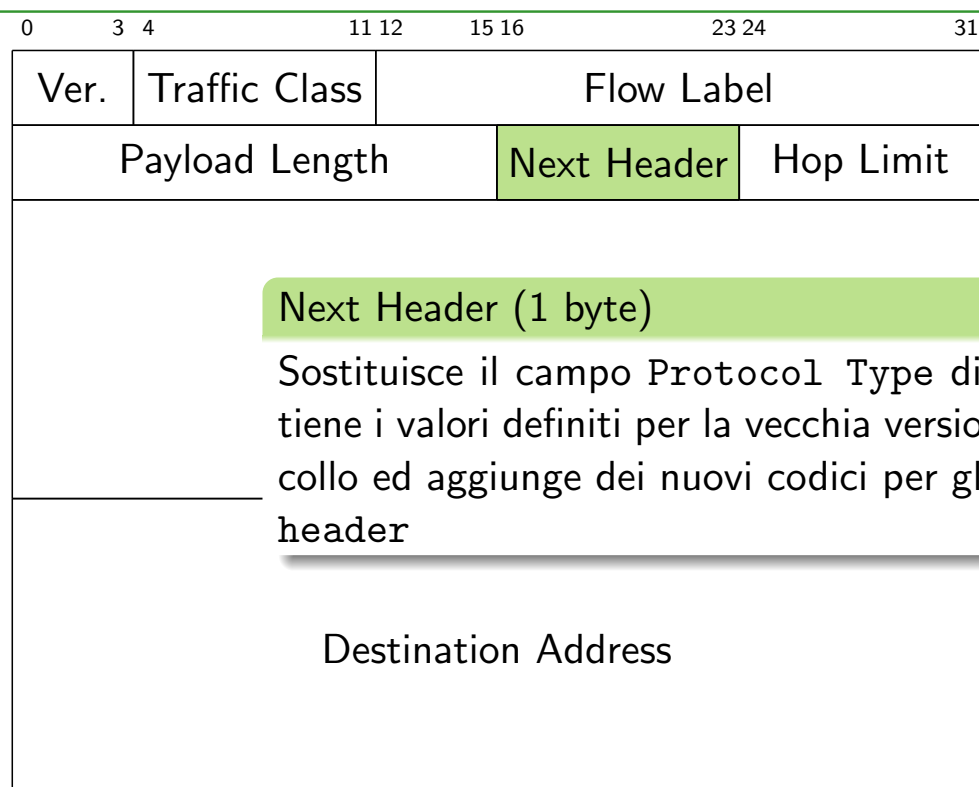
## Header IPv6 - Payload Length



23 di 87



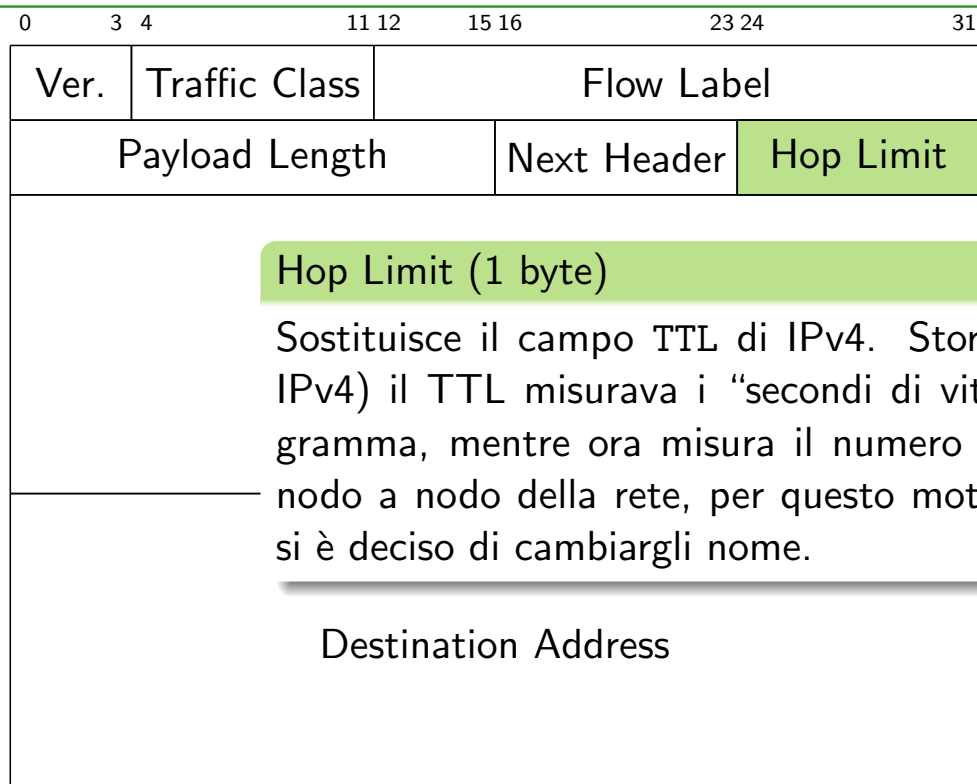
## Header IPv6 - Next Header



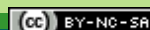
24 di 87



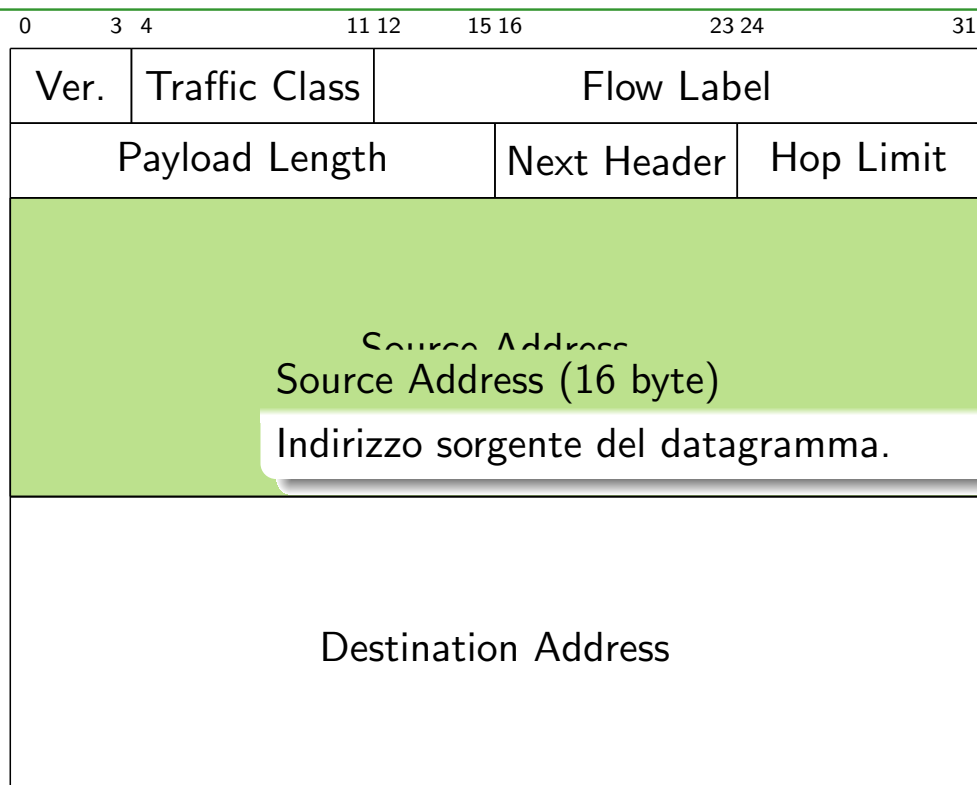
## Header IPv6 - Hop Limit



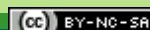
25 di 87



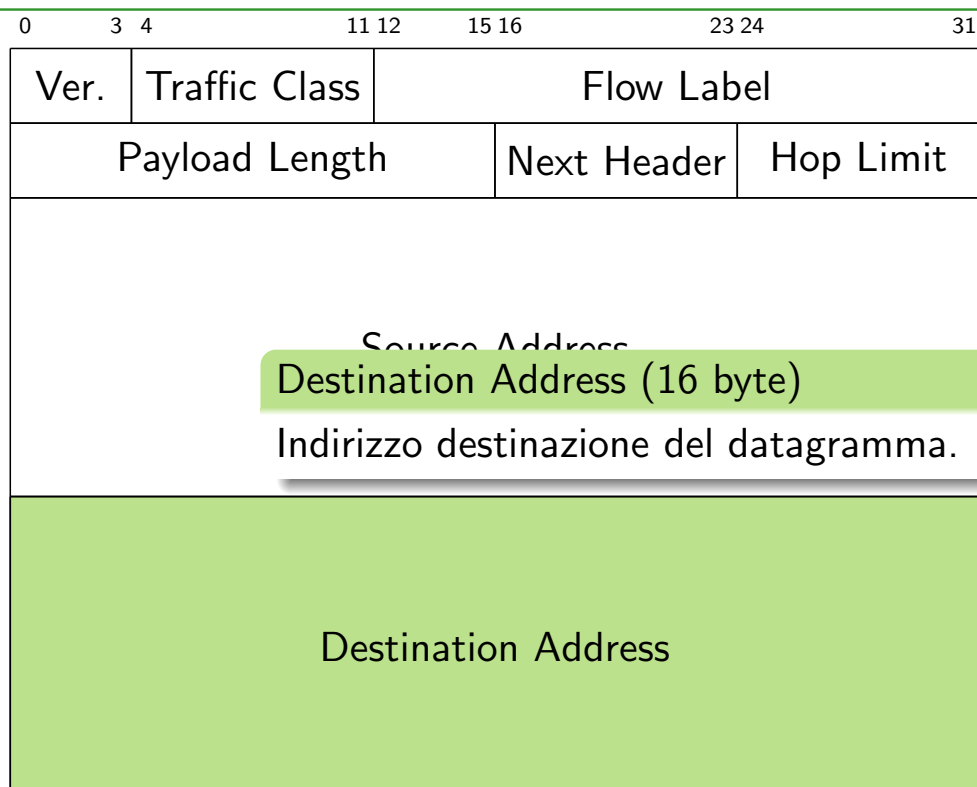
## Header IPv6 - Source Address



26 di 87



## Header IPv6 - Destination Address



27 di 87

## Header IPv6 - I campi rimossi

### Gli svantaggi dei campi rimossi in IPv6

**Checksum** Questo campo deve essere ricalcolato da ogni router a causa del decremento del TTL

**Identification, Flag e Fragment Offset** La frammentazione è a carico dei router in cui la MTU del link in uso non sia sufficiente a far transitare il pacchetto, in caso di perdita di un solo frammento è necessario ritrasmettere l'intero datagramma (che molto probabilmente verrà frammentato di nuovo durante il tragitto)

**IHL e Options** La presenza di un campo opzionale a lunghezza variabile impedisce di accedere direttamente ai dati del datagramma senza aver fatto prima un'ispezione dei campi della testata

28 di 87



## Header IPv6 - Extension header

In IPv6 è possibile estendere l'header attraverso gli *Extension header*, la loro presenza è indicata dal campo Next Header e se non sono di pertinenza del nodo di transito vengono ignorati inoltrando il pacchetto secondo le informazioni presenti nell'header.

Questi *Extension headers* sono considerati a tutti gli effetti parte del payload e ne influenzano la dimensione.

Alcuni esempi sono Hop-by-Hop Option header, Routing header, Fragment header, Destination Options header, Authentication header ed Encryption Security Payload header



## Header IPv6 - Extension header (cont.)

**Fragment header ? Ma non avevamo rimosso la frammentazione?**

In questo caso la frammentazione è una opzione end-to-end, del tutto trasparente ai router intermedi e grava esclusivamente sui due estremi della comunicazione, che tipicamente sono due macchine più performanti dei router che li interconnettono.

Inoltre in caso di perdita di un frammento è necessario rispedire solo quello, perché si tratta effettivamente di un vero pacchetto IP (anche se il suo payload è un frammento)



Ma con gli header extension non si torna ad avere una dimensione variabile della testata?

No! *Questi Extension headers sono considerati a tutti gli effetti parte del payload e ne influenzano la dimensione.* Quindi saranno parte del dato trasportato a meno che il nodo in transito non sia interessato alla specifica estensione, che è indicata dal campo Next Header

## Autoconfigurazione



- Una delle novità introdotte da IPv6 è l'autoconfigurazione dei nodi di rete, che anche in assenza di un router sono in grado di generare autonomamente un indirizzo link-local unicast per garantire la comunicazione fra i nodi interconnessi.
- La generazione di questo tipo di indirizzo è il primo passo da eseguire per poter ottenere un indirizzo global unicast.



## ICMPv6 - Definizione

### Definizione (Wikipedia)

L'Internet Control Message Protocol versione 6 (ICMPv6) è l'evoluzione nelle reti IPv6 del protocollo ICMP per le reti IPv4. In essa *vengono aggiunte nuove funzionalità che nel protocollo precedente erano demandate ad altri livelli protocollari (come ad esempio l'ARP)* e tolte altre che, invece, erano poco usate.

Come nel caso della versione precedente, l'ICMPv6 viene utilizzato per monitorare lo stato della rete e per inviare pacchetti di gestione e di errore.

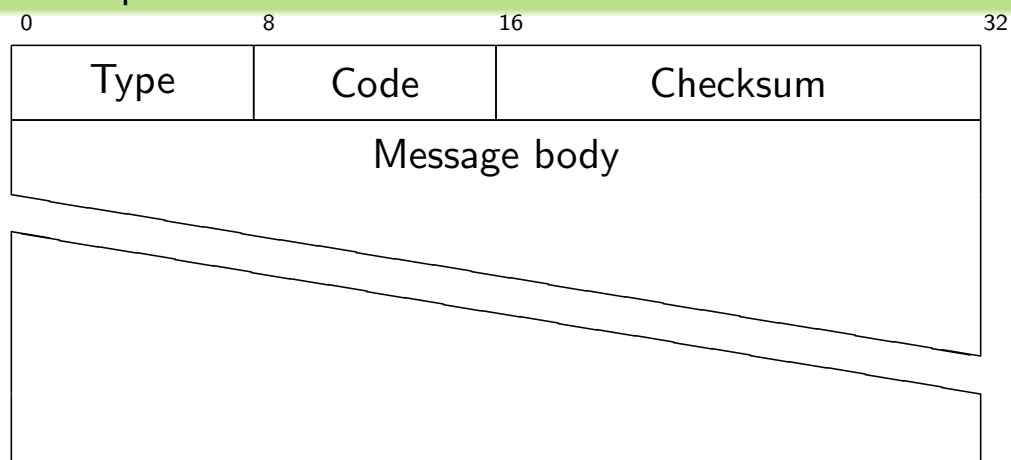
Essa è descritta nell'RFC 2463.

<http://it.wikipedia.org/wiki/ICMPv6>



## ICMPv6 - Pacchetto

### Struttura del pacchetto





# Indirizzo link-local unicast autoconfigurato

## Global Routing Prefix

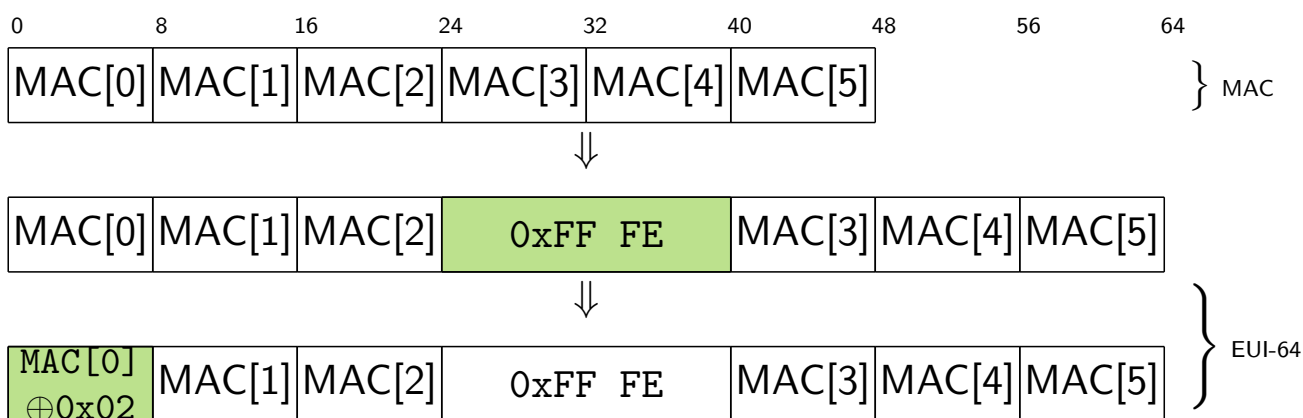
Gli indirizzi link-local sono tutti nel prefix FE80::/10.  
All'interno di questo prefix è stato riservato il GRP FE80::/64 per gli indirizzi link-local unicast autoconfigurati.

## Interface ID

Per assegnare la interface ID si utilizza l'EUI-64, un campo di 64 bit generato a partire dall'indirizzo MAC dell'interfaccia di rete.



# Extended Unique Identifier (EUI-64) - Algoritmo

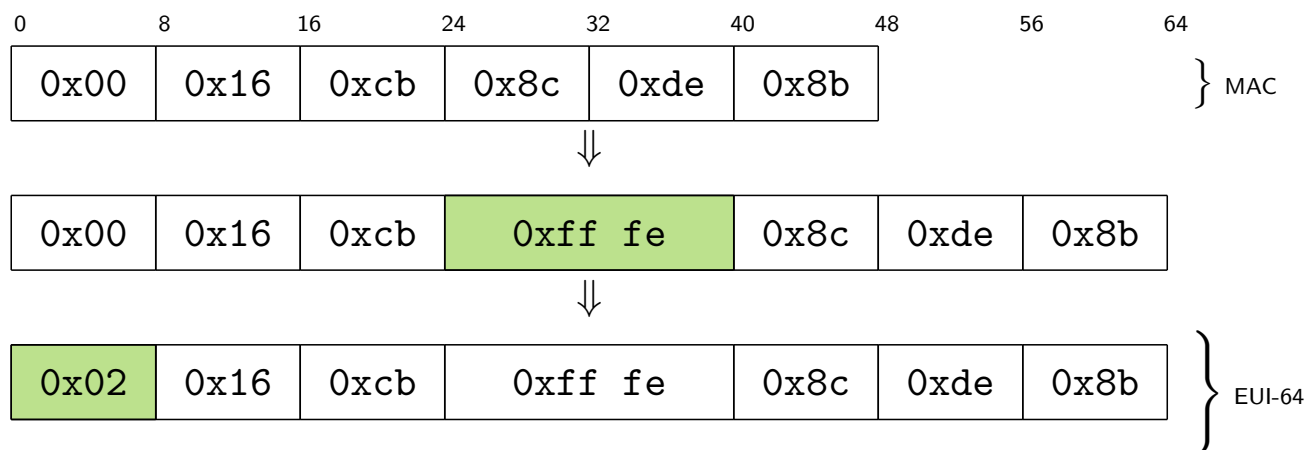




## EUI-64 - esempio

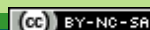
Vediamo un esempio pratico con l'indirizzo MAC

00:16:cb:8c:de:8b



L'indirizzo link-local EUI-64 è fe80::216:cbff:fe8c:de8b

40 di 87



## Configurazione stateless - Definizioni (1)

La configurazione stateless offre la possibilità di ottenere un indirizzo global unicast e un router verso cui instradare i pacchetti in modo automatico.

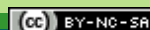
Il procedimento fa uso di pacchetti ICMPv6 dedicati a questo scopo.

### Definizioni:

**tentative address** (indirizzo incerto) un indirizzo di cui si sta verificando l'unicità sul link, ancora non è stato assegnato all'interfaccia.

**preferred address** (indirizzo preferito) un indirizzo assegnato all'interfaccia che può essere usato dai protocolli di livello superiore senza alcuna restrizione. Può figurare come indirizzo di sorgente o di destinazione.

42 di 87



## Configurazione stateless - Definizioni (2)



**deprecated address** (indirizzo deprecato) un indirizzo assegnato all'interfaccia il cui uso è scoraggiato, ma non proibito. I pacchetti inviati e ricevuti con questo indirizzo sono trattati normalmente, ma le nuove comunicazioni non dovrebbero utilizzarlo. Un indirizzo deprecato può essere ancora utilizzato per quei protocolli in cui cambiare in favore di un nuovo indirizzo preferito causerebbe problemi alla connessione (ad esempio una sessione TCP attiva.)

**valid address** (indirizzo valido) un indirizzo deprecato o preferito.

## Configurazione stateless - Definizioni (3)



**invalid address** (indirizzo non valido) un indirizzo che non è assegnato a nessuna interfaccia. Un indirizzo valido diventa non valido quando il suo *valid lifetime* scade. Gli indirizzi non validi non devono essere utilizzati come indirizzo di sorgente o di destinazione.

**preferred lifetime** il periodo di tempo in cui l'indirizzo deve essere considerato preferito. Alla scadenza l'indirizzo diventa deprecato.

**valid lifetime** il periodo di tempo in cui l'indirizzo deve essere considerato valido. Questo valore deve essere maggiore o uguale del *preferred lifetime*. Alla sua scadenza l'indirizzo diventa non valido.



## Configurazione stateless - Procedimento

### Indirizzo link-local

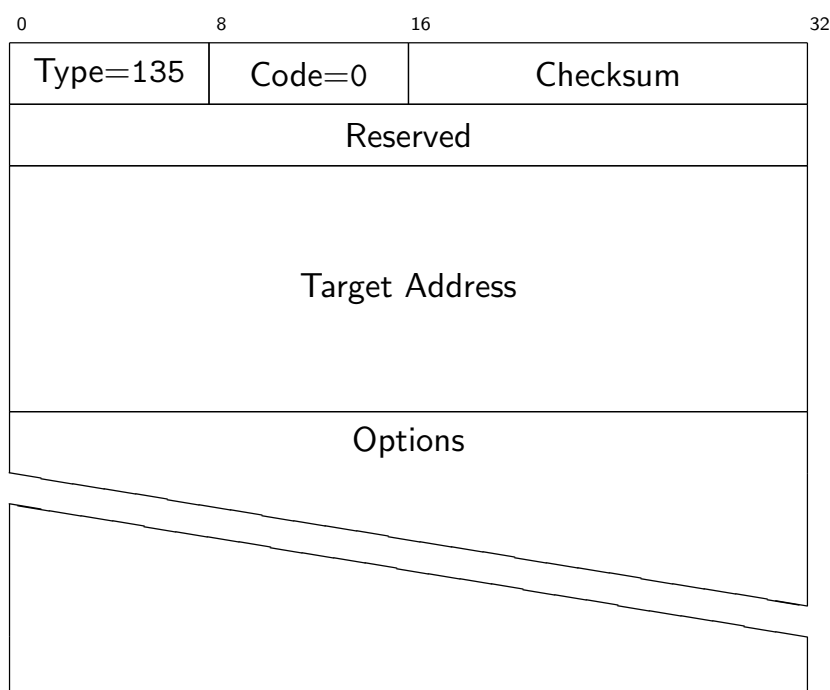
- generazione di un *tentative address* link-local con il metodo EUI-64
- invio di un pacchetto ICMPv6 Neighbor Solicitation con campo Target Address impostato sull'indirizzo da verificare
- se un nodo utilizza questo indirizzo risponde con un pacchetto ICMPv6 Neighbor Advertisement avvisando che l'indirizzo è già in uso.
- se non si ricevono Neighbor Advertisement l'indirizzo diventa *valid address*

Il fallimento di questa procedura obbliga ad una configurazione manuale dell'host.

45 di 87



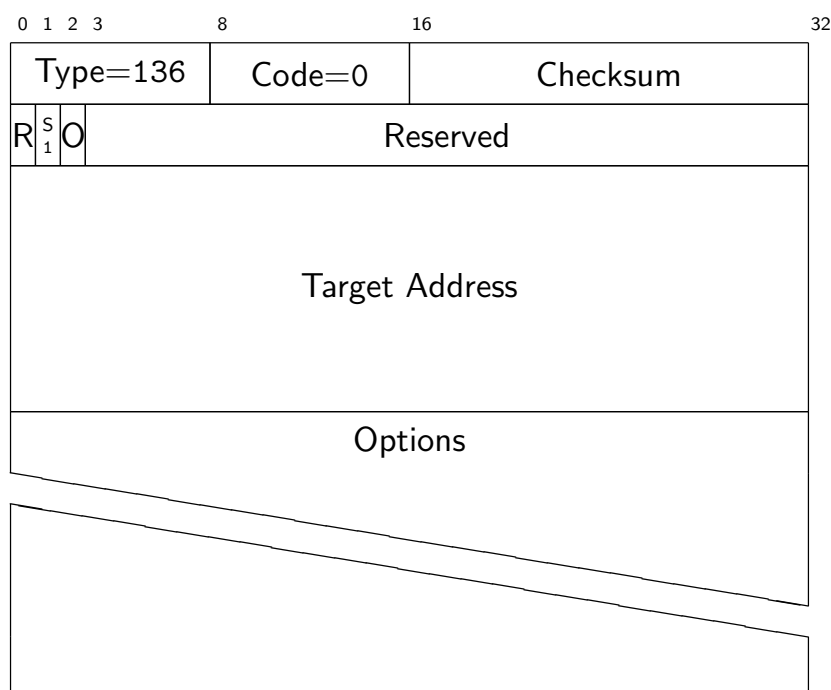
## ICMPv6 - Neighbor Solicitation



46 di 87



# ICMPv6 - Neighbor Advertisement



47 di 87

## Configurazione stateless - Procedimento (cont.)

### Indirizzo global

- Una volta ottenuto un indirizzo link-local valido, un host cerca di determinare la presenza di router sul proprio link.
- I router inviano periodicamente dei pacchetti multicast di Router Advertisement in cui annunciano i prefix di loro competenza
  - Router Solicitation all'indirizzo FF02::2 per forzare l'invio
- il pacchetto di Router Advertisement contiene le istruzioni per ottenere un indirizzo
  - *autonomous address-configuration* (flag A)
  - *managed address configuration* (flag M)
  - *other statefull configuration* (flag O)

48 di 87

## Configurazione stateless - Procedimento (cont.)



### *autonomous address-configuration* (flag A)

Se il nodo è riuscito a completare in modo automatico l'assegnazione di un indirizzo link-local, allora può assegnarsi come *preferred address* un indirizzo composto dal prefix annunciato e dalla interface ID calcolata secondo lo standard EUI-64.

Prefix annunciato 64 bit	EUI-64 64 bit
-----------------------------	------------------

Altrimenti registra l'indirizzo come *tentative address* e lo verifica con i pacchetti ICMPv6.

## Configurazione stateless - Procedimento (cont.)



### *managed address configuration* (flag M) - statefull DHCP

Indica la presenza di un server DHCPv6.

### *other statefull configuration* (flag O) - stateless DHCP

Indica la presenza di un server DHCPv6 per la richiesta di parametri diversi dall'indirizzo IP. (DNS, NTP, SIP, etc ...)



# 1 interfaccia $\Leftrightarrow$ N indirizzi

In IPv6 la relazione interfaccia - indirizzo è di tipo 1:N. Non esiste un indirizzo predefinito ed altri secondari, sono tutti allo stesso livello di importanza.

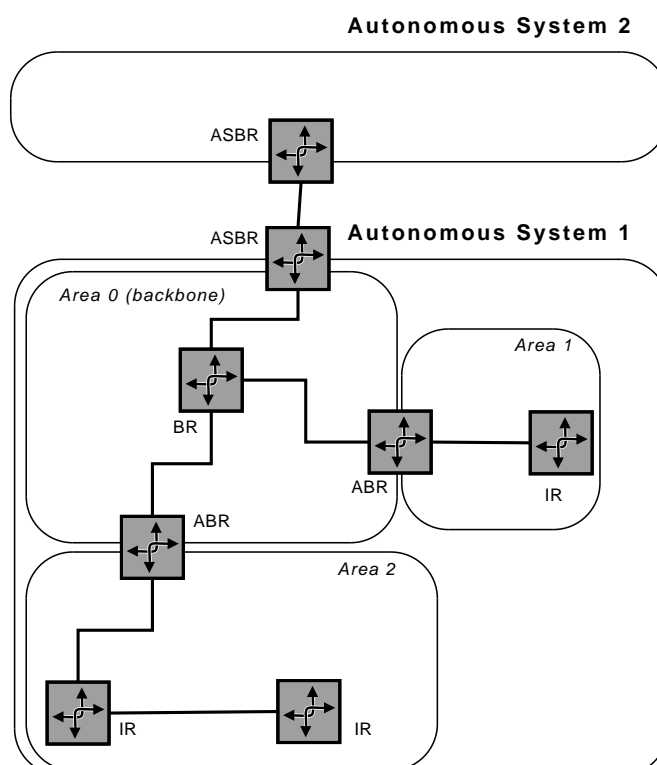
## Vantaggi?

Se consideriamo la tipica infrastruttura di hosting web con qualche decina di siti per ogni singolo server, con un solo indirizzo IPv4, è evidente che è un problema fornire il supporto per SSL, perché la trasmissione del certificato per istaurare il tunnel sicuro avviene prima di comunicare quale sito vogliamo raggiungere. Con IPv6 basterà assegnare alla stessa macchina un indirizzo per ogni sito ed a ognuno di questi uno specifico certificato per SSL.



# Routing OSPFv3

- Algoritmo identico alla versione 2 (IPv4)
- Utilizza solo indirizzi link-local
- rete  $\rightarrow$  link

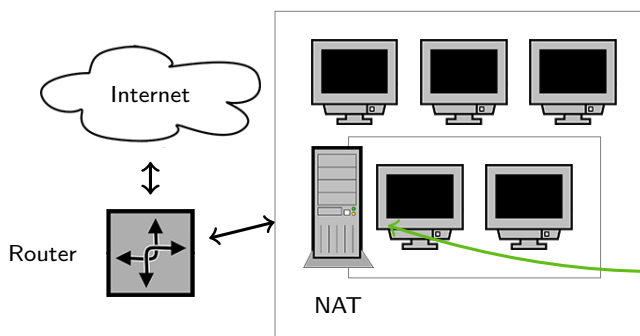






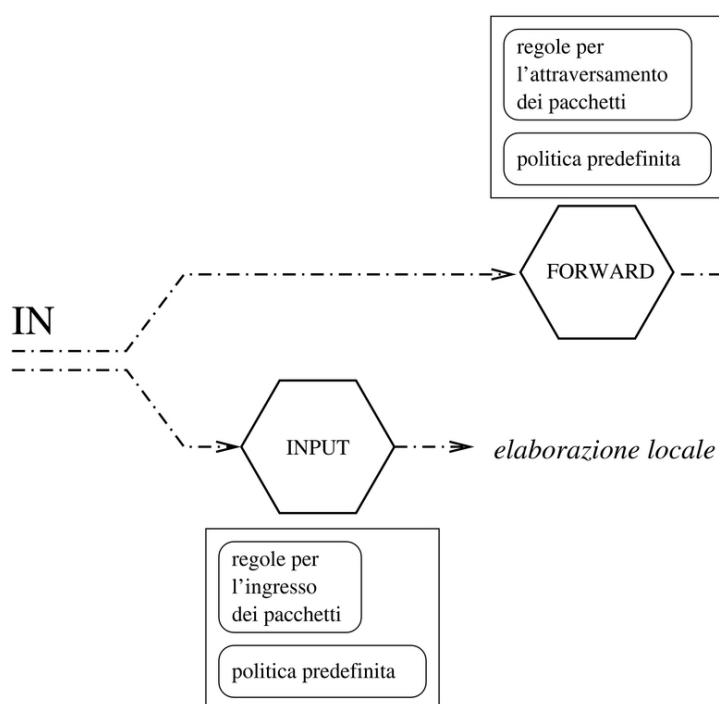
# Firewall

## IPv4 e NAT → IPv6 e Global Unicast



- I computer dietro al NAT sono “automaticamente protetti”
- In IPv6 invece avranno un indirizzo global unicast, è necessario “proteggerli” installando un firewall sul NAT.

# Firewall - ip6tables



## Le catene di ip6tables

I pacchetti in ingresso attraversano una lista di regole. Se il destinatario del pacchetto non è il firewall si utilizza la catena di FORWARD. Bloccando tutte le nuove connessioni nella catena di FORWARD si ottiene un livello di “protezione” paragonabile al NAT IPv4.

(politica predefinita)



Un nodo configurato per IPv6 può essere di tre tipi.

- tunnel** la connettività IPv4 è nativa, mentre quella IPv6 si ottiene attraverso un tunnel IPv4.
- IPv6 only** il nodo ha connettività IPv6 nativa e non ha lo stack protocollare IPv4
- dual-stack** il nodo ha entrambi gli stack protocollari attivi in modalità nativa.

## Tunneling



### Scopo

Le tecniche di tunneling consentono di bypassare tronconi della rete che non supportano IPv6 incapsulando il pacchetto in uno o più datagrammi IPv4.

### Metodi

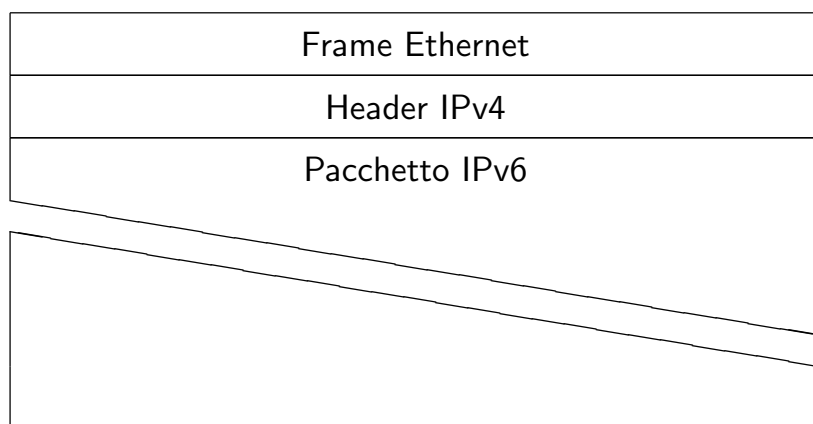
- Tunneling a livello Rete (proto-41)
- Tunneling a livello Trasporto (AYIYA)



# Tunneling a livello Rete - proto-41

## proto-41 (rfc3056)

Noto anche come *6to4* implementa la tecnica IPv6-in-IPv4 che consiste nell'inserire il pacchetto completo IPv6 come payload di uno o più pacchetti IPv4.

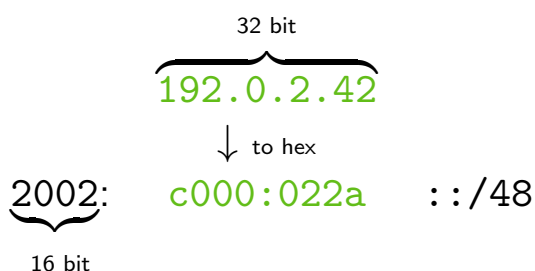


# Tunneling a livello Rete - proto-41 (cont.)

## Tunneling automatico (senza configurazione)

Si cerca di raggiungere un *relay router IPv6* (192.88.99.1 anycast IPv4) in grado di instradare il nostro pacchetto in modo nativo.

A questo scopo è stata riservata la rete 2002::/16 che associa ad ogni indirizzo IPv4 un prefix di 48 bit composto da 2002 più i 32 bit dell'indirizzo IPv4 convertito in esadecimale.





## Tunneling a livello Rete - proto-41 (cont.)

### Tunneling non automatico (con configurazione)

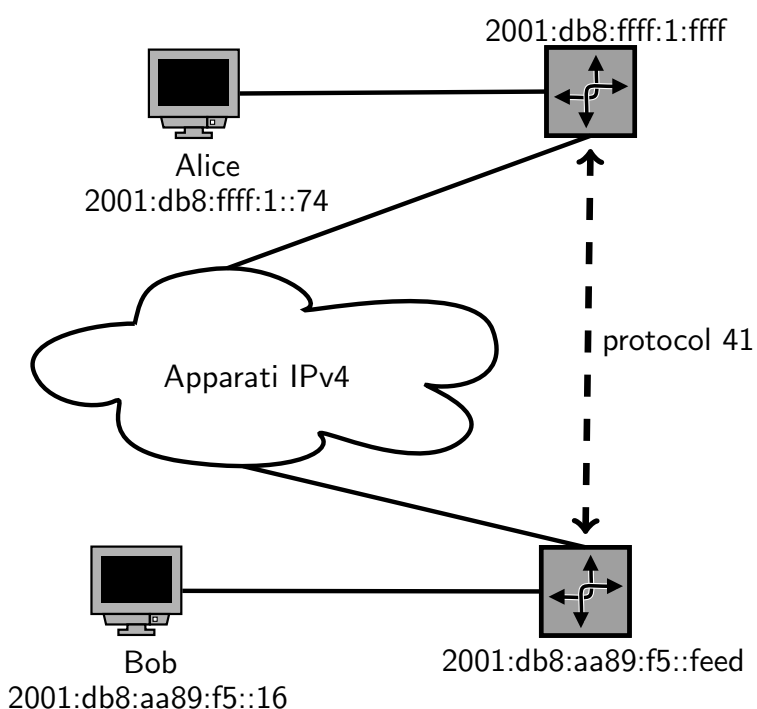
Il proto-41 può essere anche usato in modo non automatico per collegare due punti della rete di un AS che non dispongono di router abilitati al traffico IPv6.

In questo caso è necessario configurare dei punti di accesso agli estremi che intendiamo collegare per gestire la trasformazione IPv4↔IPv6.



## Tunneling a livello Rete - proto-41 (cont.)

### Tunneling non automatico



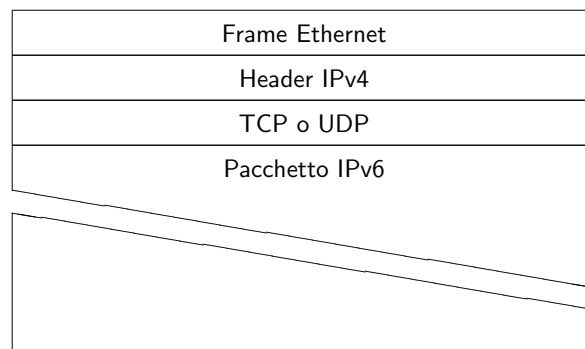


# AYIYA

## AYIYA - Anything In Anything

AYIYA definisce un metodo per configurare un tunnel per un client IPv4 che si trovi dietro un NAT, in questo caso si utilizzano i protocolli UDP o TCP per instradare il traffico IPv6.

Otteniamo quindi un tunnel di tipo IPv6-in-UDP-in-IPv4 o IPv6-in-TCP-in-IPv4 che aggiunge connettività IPv6 al nostro nodo.



70 di 87

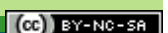


## IPv6 only

### Solo IPv6? Siamo sicuri?

- I tempi non sono ancora maturi per una rete esclusivamente IPv6. Si resterebbe tagliati fuori da tutta l'attuale infrastruttura IPv4.
- Rimane comunque evidente il fatto che in futuro la maggioranza degli host saranno esclusivamente IPv6.
- Tuttavia esiste una tecnica, chiamata NAT-PT, che permette ad una rete IPv6 only di comunicare con gli host IPv4.

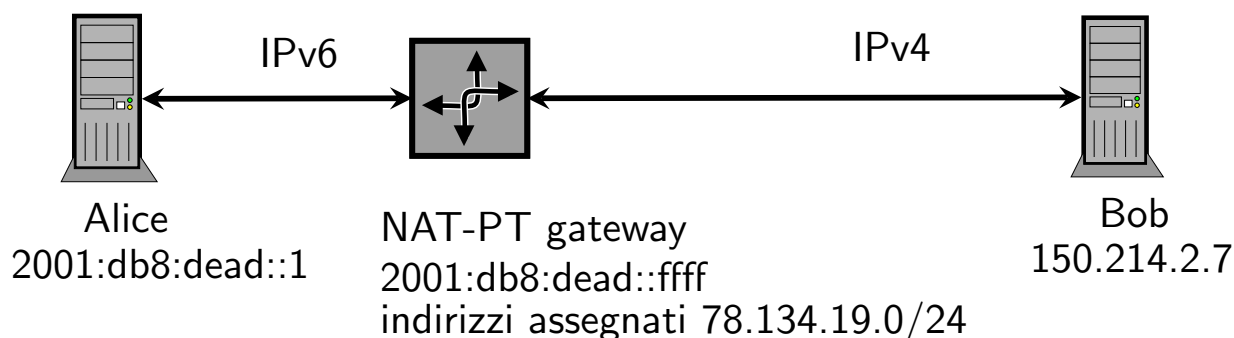
72 di 87





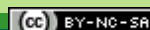
## IPv6 only NAT-PT

### Schema NAT-PT



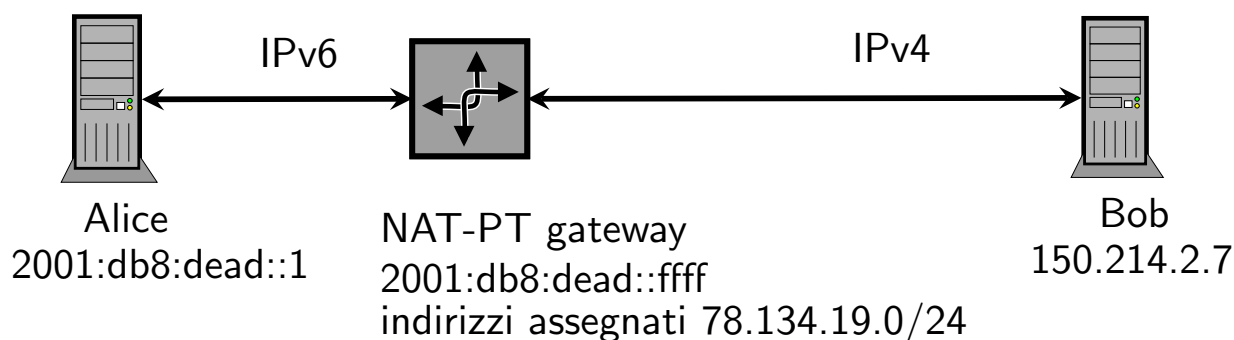
### Funzionamento

73 di 87



## IPv6 only NAT-PT

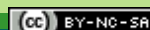
### Schema NAT-PT



### Funzionamento

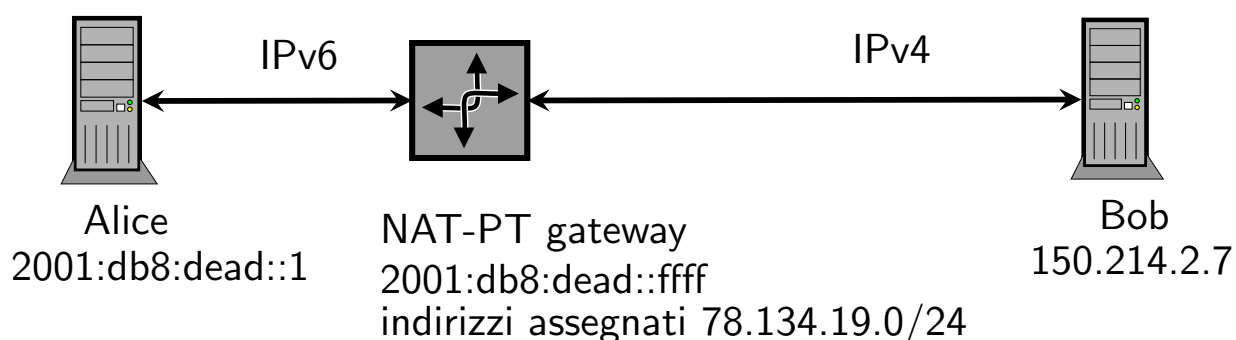
Il gateway NAT-PT farà advertising di un prefix fittizio di dimensione 96 bit e convertirà tutte le risposte del server DNS che contengono solo record IPv4 in record IPv6 costruiti accodando al prefisso in questione l'indirizzo IPv4 convertito in forma esadecimale.

73 di 87



## IPv6 only NAT-PT

### Schema NAT-PT

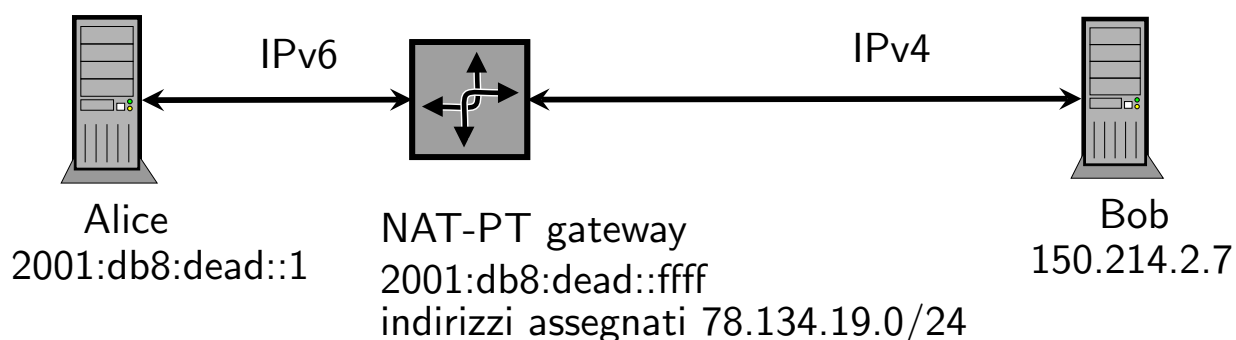


### Funzionamento

Quando Alice vorrà comunicare con Bob, manderà un pacchetto all'indirizzo IPv6 alterato dal gateway.

## IPv6 only NAT-PT

### Schema NAT-PT



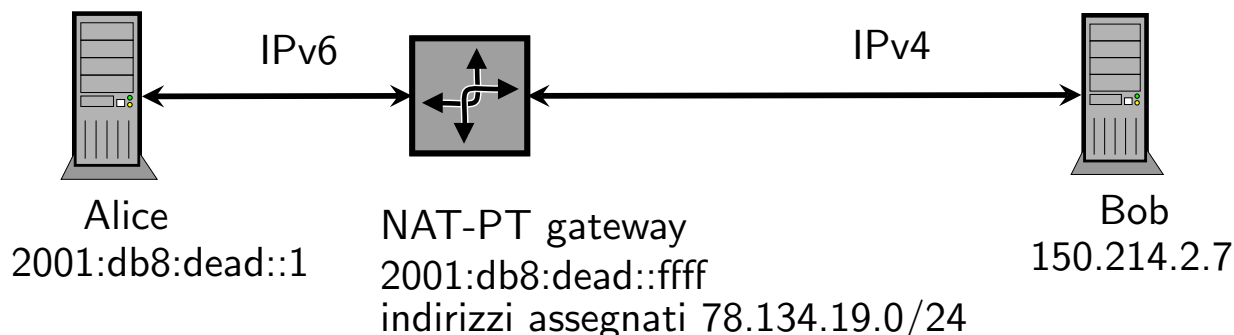
### Funzionamento

Il gateway NAT-PT, una volta ricevuto il pacchetto, lo tradurrà in uno IPv4 assegnando ad Alice una porta ed un IP dalla rete 78.134.19.0/24, similmente a ciò che avviene per le reti private IPv4.



## IPv6 only NAT-PT

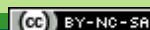
### Schema NAT-PT



### Funzionamento

Quando Bob risponderà al pacchetto il gateway si preoccuperà di fare l'operazione inversa garantendo così la comunicazione fra la rete solo IPv6 e la rete solo IPv4.

73 di 87



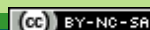
## IPv6 only NAT-PT (cont.)



### C'è qualcosa di strano...

Se ci fermiamo un attimo a riflettere sulla struttura del NAT-PT ci verrà subito in mente che se uno dei vantaggi di IPv6 è la rimozione dei NAT, **che senso ha introdurre una nuova tecnologia di NAT? Nessuno!** Infatti il NAT-PT viene sconsigliato a meno di installazioni particolari in cui i nodi non implementano lo stack IPv4.

74 di 87



# Dual-stack

Un nodo dual-stack implementa in modo nativo entrambe le versioni del protocollo IP.

## Contro

- doppia tabella di routing
- doppie librerie di sistema per il networking
- doppie utility di sistema per la gestione della rete (ping/ping6, traceroute/traceroute6, ...)

## Pro

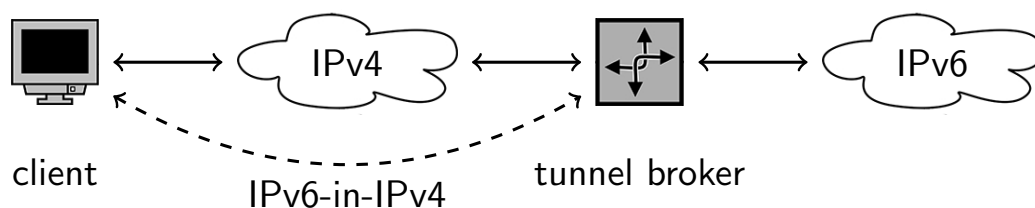
- nessuna necessità di sw per la gestione dei tunnel
- possibilità di raggiungere sia servizi IPv6 che IPv4 senza complicare la struttura della rete (vedi NAT-PT)
- tutti i *contro* citati sono irrilevanti sui computer in commercio oggi

76 di 87

# Tunnel Broker

## Definizione - RFC3053

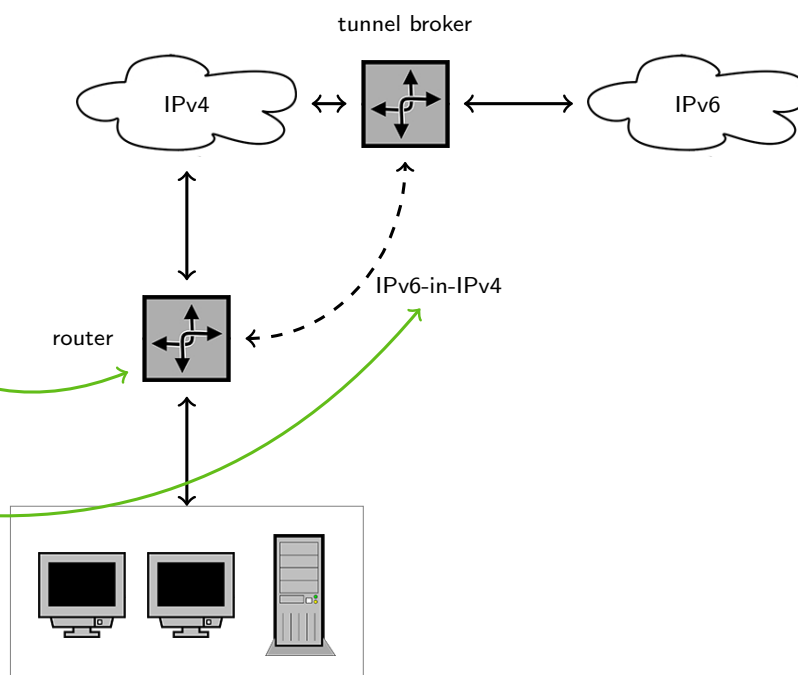
I tunnel broker sono dei fornitori di connettività IPv6 attraverso la rete IPv4.



78 di 87

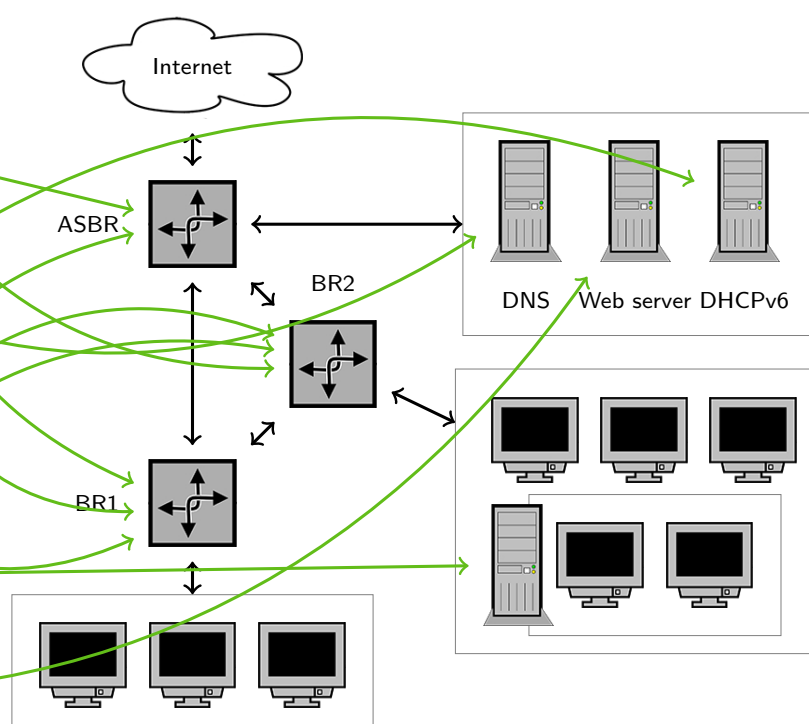
# Small Office Home Office (SOHO)

- LAN standard
- Router Advertisement
- Connettività IPv6 attraverso un tunnel broker



# Enterprise

- Rete enterprise
- Routing OSPFv3
- Aggiornamento del server DNS
- Server DHCP
- Relay agent DHCP
- Router Advertisement
- Rimozione dei NAT
- Aggiornamento dei servizi





## Fare pratica con IPv6

I tunnel broker ci possono permettere di provare IPv6 anche se il nostro ISP ancora non ce lo fornisce.

SixXS - <http://www.sixxs.net>

- POP anche in Italia
- il primo tunnel è un /128
- sistema a punteggio (bisogna usarlo per bene)
- con i punti si può richiedere un prefix /48
- supporto per proto-41 e AYIYA

Hurricane Electric - <http://www.tunnelbroker.net>

- scarsa presenza in Europa (tunnel broker americano)
- ottieni subito un prefix /64
- supportano solo proto-41

84 di 87



## Certificazione IPv6

### Hurricane Electric IPv6 Certification

Hurricane Electric prevede una certificazione gratuita e divertente per mettere alla prova le proprie conoscenze su IPv6. Inizialmente basterà collegarsi in IPv6 al sito per ottenere i primi livelli, successivamente si dovrà dimostrare di gestire un webserver IPv6 e di ricevere email inviate tramite IPv6.

Il sito per la certificazione è  
<http://ipv6.he.net/certification/>.



85 di 87





## Riferimenti bibliografici



A. Caiazza

Introduzione a IPv6

[http://bit.ly/introduzione\\_ipv6](http://bit.ly/introduzione_ipv6)



S. Hagen

IPv6 Essentials, 2nd Ed.

*O'Reilly, 2006*



## Licenza Creative Commons

Attribuzione-Non commerciale-Condividi allo stesso modo 2.5 Italia

### Tu sei libero:

- di riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico, esporre in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare quest'opera
- di modificare quest'opera

### Alle seguenti condizioni:

- **Attribuzione.** Devi attribuire la paternità dell'opera nei modi indicati dall'autore o da chi ti ha dato l'opera in licenza e in modo tale da non suggerire che essi avallino te o il modo in cui tu usi l'opera.
- **Non commerciale.** Non puoi usare quest'opera per fini commerciali.
- **Condividi allo stesso modo.** Se alteri o trasformi quest'opera, o se la usi per crearne un'altra, puoi distribuire l'opera risultante solo con una licenza identica o equivalente a questa.
- Ogni volta che usi o distribuisce quest'opera, devi farlo secondo i termini di questa licenza, che va comunicata con chiarezza.
- In ogni caso, puoi concordare col titolare dei diritti utilizzi di quest'opera non consentiti da questa licenza.
- Questa licenza lascia impregiudicati i diritti morali.