



Il protocollo IPv6

Il protocollo IPv6: le motivazioni (1)

IPv6 2

- **Esaurimento degli indirizzi IP:**

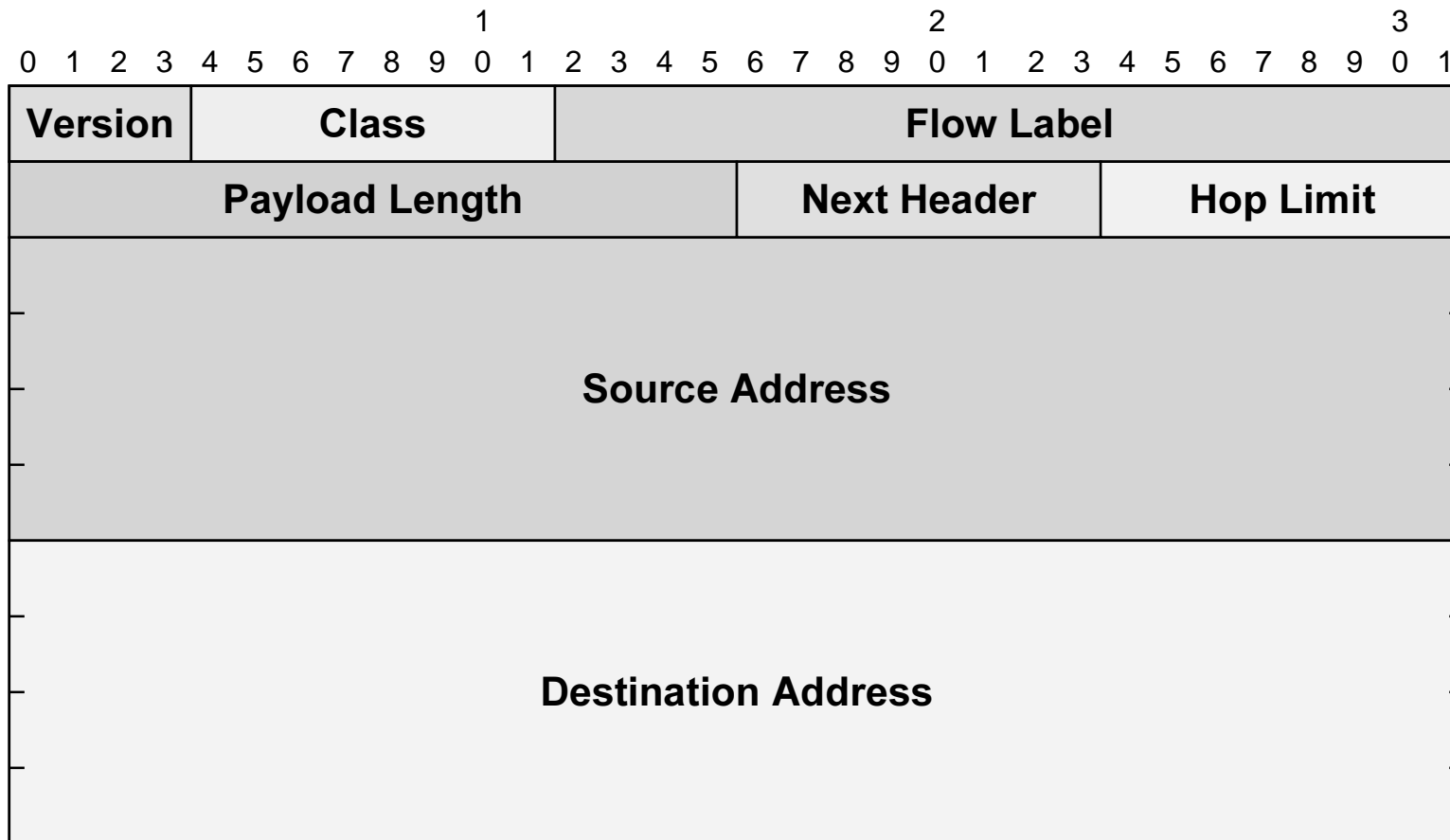
- raggiungimento del massimo numero di nodi indirizzabili con IPv4 previsto tra l'anno 2005 e l'anno 2011 con il ritmo attuale di assegnazione degli indirizzi, ma
 - la nascita di nuove applicazioni basate su IP potrebbe incrementare pesantemente la domanda di nuovi indirizzi
- IPv6 propone uno spazio di indirizzamento su **128 bit** contro i 32 bit di IPv4
- una soluzione alternativa mirata a conservare IPv4 è:
 - l'utilizzo di **indirizzi privati** nelle intranet
 - comunicazione con l'esterno attraverso **NAT (Network Address Translator)**, che però:
 - hanno **grossi limiti prestazionali**
 - **impediscono il funzionamento dei meccanismi di supporto a mobilità, sicurezza e garanzia di servizio attualmente in fase di definizione per IPv4 e direttamente applicabili anche ad IPv6**

Il protocollo IPv6: le motivazioni (2)

IPv6 3

- **Ingestibilità delle tabelle di instradamento dei router del backbone di Internet:**
 - IPv6 consente un'umentata capacità di aggregazione delle informazioni di instradamento
- **Evoluzione delle esigenze:**
 - IPv6 nella sua versione definitiva offrirà un supporto nativo a:
 - servizi a qualità differenziata
 - autoconfigurazione (semplicità nel configurare ed amministrare una rete)
 - servizi multicast
 - sicurezza (autenticazione e riservatezza)
 - mobilità
- **Opportunità:**
 - Snellire IP eliminando tutte le funzioni inutili

L'header di IPv6



L'header di IPv4

0				1				2				3																																			
0				1				2				3				4				5				6				7				8				9				0				1			
Version				IHL				Type of Service				Total Length																																			
Identification								Flags				Fragment Offset																																			
Time To Live						Protocol						Header checksum																																			
Source Address																																															
Destination Address																																															
Options																								Padding																							

L'header IPv6: confronto con IPv4 (1)

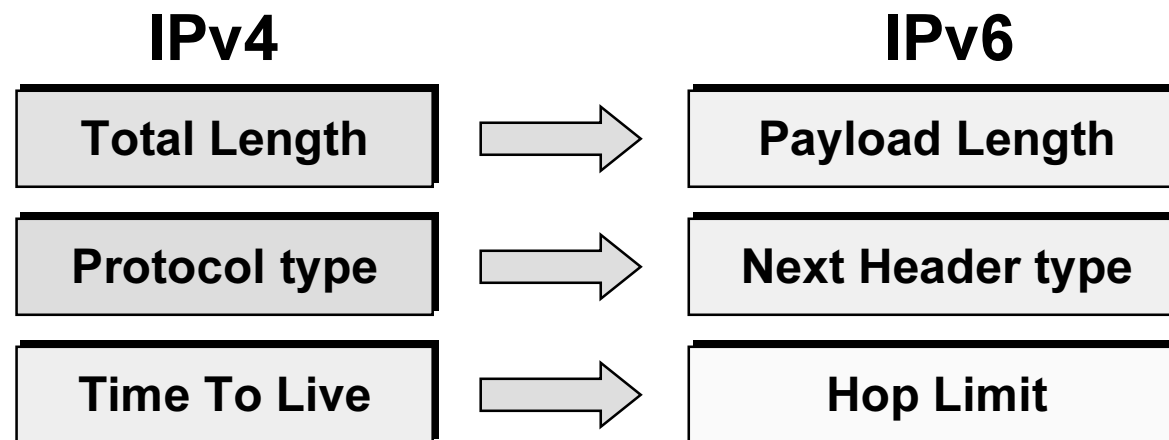
- **Semplificazioni:**

- l'header IPv6 ha **lunghezza fissa** (40 byte)
 - le opzioni non sono più trasportate all'interno dell'header IP
 - questa funzione viene svolta dagli **extension header di IPv6**
- è stato rimosso il campo **IP Header Length (IHL)**
 - non più necessario in quanto l'header IPv6 ha lunghezza fissa
- è stato rimosso il campo **Header Checksum**
 - quasi tutti i protocolli di livello data link comprendono già il calcolo e la verifica di un checksum
- non esiste più la procedura di segmentazione hop-by-hop
 - di conseguenza sono stati rimossi i campi **Identification, Flags e Fragment Offset**
- è stato rimosso il campo **Type Of Service (TOS)**

L'header IPv6: confronto con IPv4 (2)

IPv6 7

- Il significato di alcuni campi dell'header IPv4 è stato rivisto in IPv6:



- **Nuovi campi:**

- **Flow Label e Class**

- supporto nativo per servizi a qualità differenziata

Indirizzamento IPv6 (1)

- **Indirizzi lunghi 128 bit anziché 32**
 - **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**

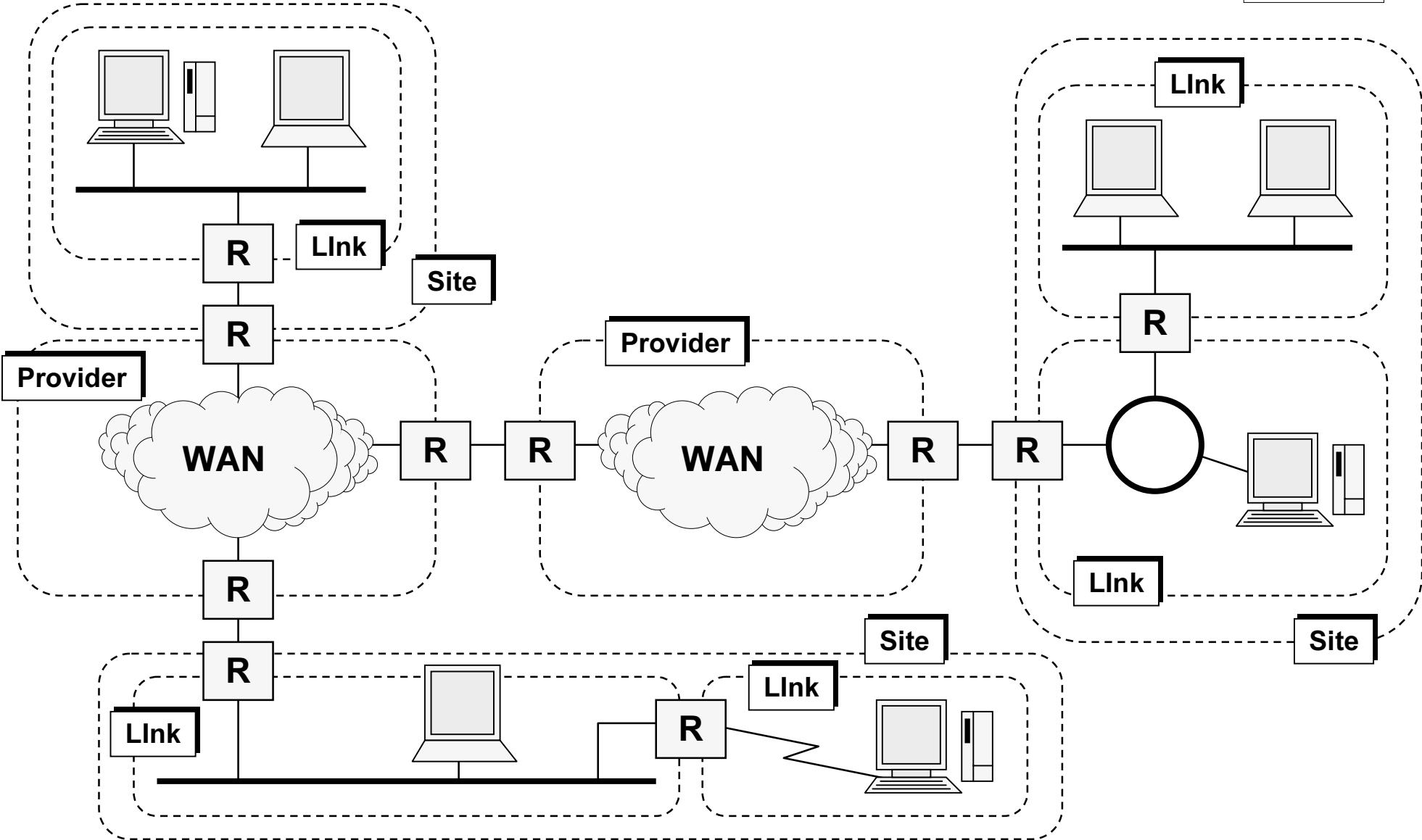
Indirizzamento IPv6 (2)

- **Tre tipi di indirizzi:**
 - **unicast**
 - indirizzi delle stazioni
 - **anycast**
 - indirizzi di “servizi”
 - **multicast**
 - indirizzi di gruppi di stazioni
 - non viene più utilizzato il broadcast
- **Gli indirizzi sono associati alle interfacce**
 - normalmente ad ogni interfaccia sono associati più indirizzi IPv6
 - es. indirizzo link-local, indirizzo site-local e indirizzo globale
- **Fino ad ora è stato riservato circa il 30% dello spazio di indirizzamento IPv6**

Modalità di rappresentazione

- **L'indirizzo viene suddiviso in 8 blocchi di 16 bit ciascuno. I blocchi sono separati da “:” e vengono rappresentati in notazione esadecimale**
 - `3ffe:1001:0001:0100:0a00:20ff:fe83:5531`
 - `3ffe:1001:0001:0000:0000:0000:0000:0001`
- **Esistono delle semplificazioni:**
 - **si possono omettere gli zeri iniziali**
 - `3ffe:1001:1:100:a00:20ff:fe83:5531`
 - **si possono sostituire gruppi di zeri con “::”**
 - `3ffe:1001:1::1`
- **Gli indirizzi IPv6 compatibili IPv4 si scrivono:**
 - `::163.162.170.171`

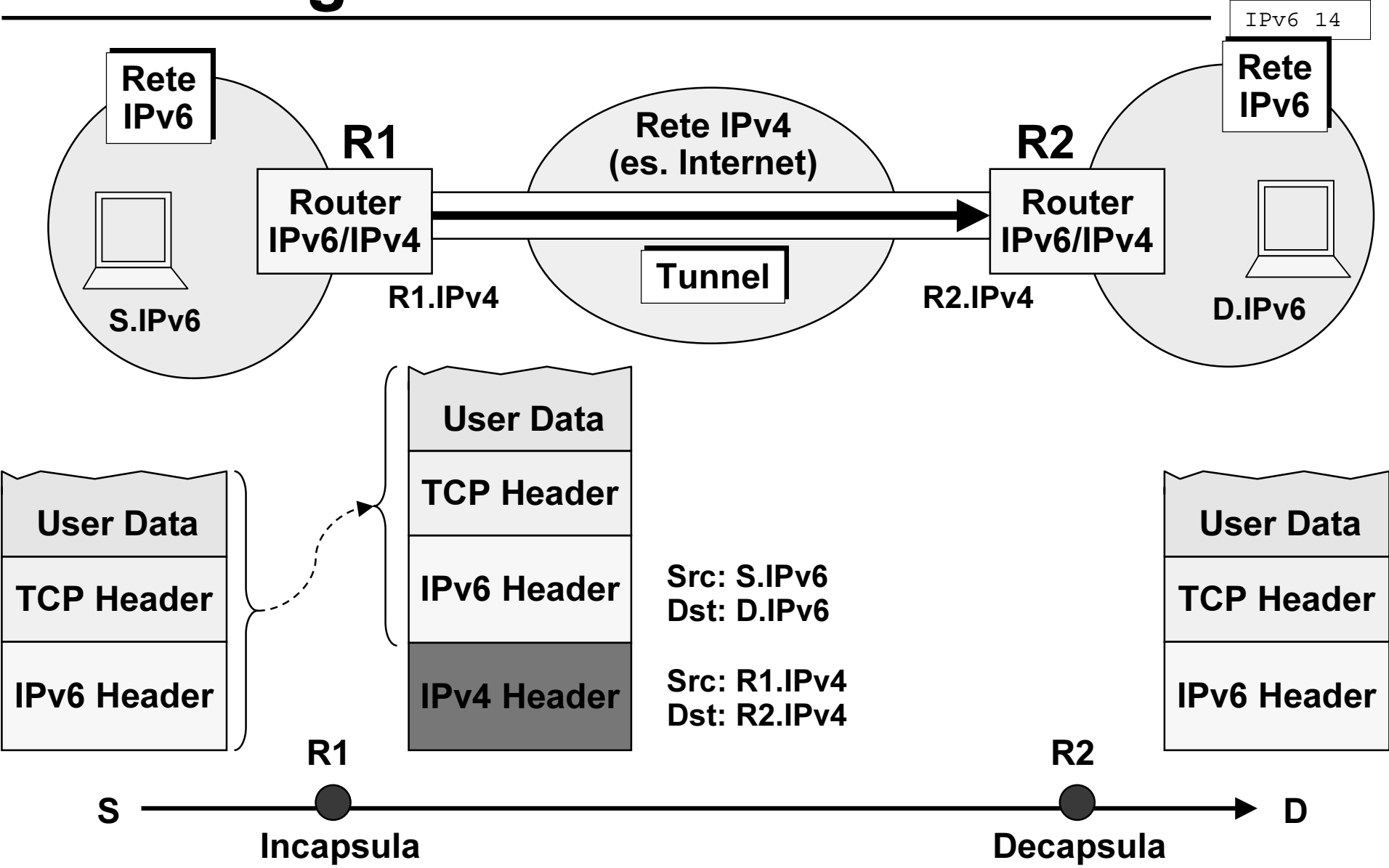
Il concetto di link e site



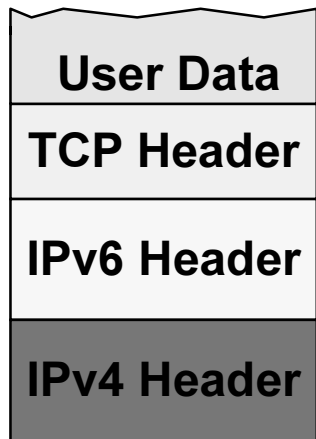
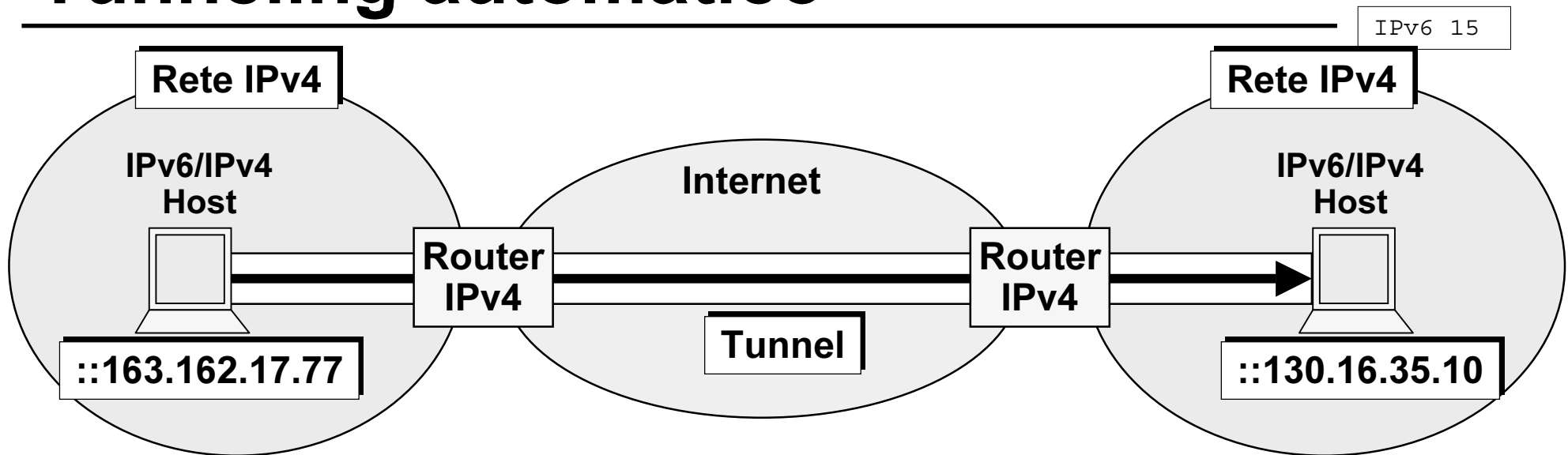
Meccanismi di transizione

- **IPv4 e IPv6 sono due protocolli diversi che non possono interoperare**
- **Sono necessari meccanismi di transizione**
 - **Dotare i nodi sia di IPv6 che IPv4 (dual-stack)**
 - **Incapsulare i pacchetti IPv6 all'interno di quelli IPv4 (tunneling)**
 - Il tunneling si classifica in base al meccanismo mediante il quale il nodo che effettua l'incapsulamento determina l'indirizzo del nodo all'altra estremità del tunnel
 - tunneling manuale
 - tunneling automatico
 - **Introdurre ai confini delle isole IPv6 router dotati della funzionalità di NAT (Network Address Translator)**
 - traduzione di pacchetti IPv6 in pacchetti IPv4 e viceversa

Tunneling manuale



Tunneling automatico

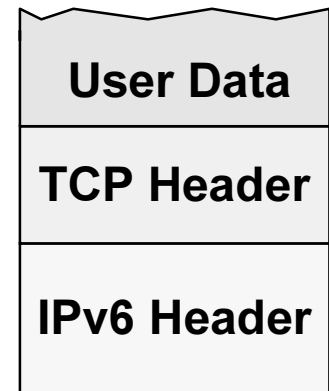


Src: `::163.162.17.77`
Dst: `::130.16.35.10`

Src: `163.162.17.77`
Dst: `130.16.35.10`



Derivazione Automatica



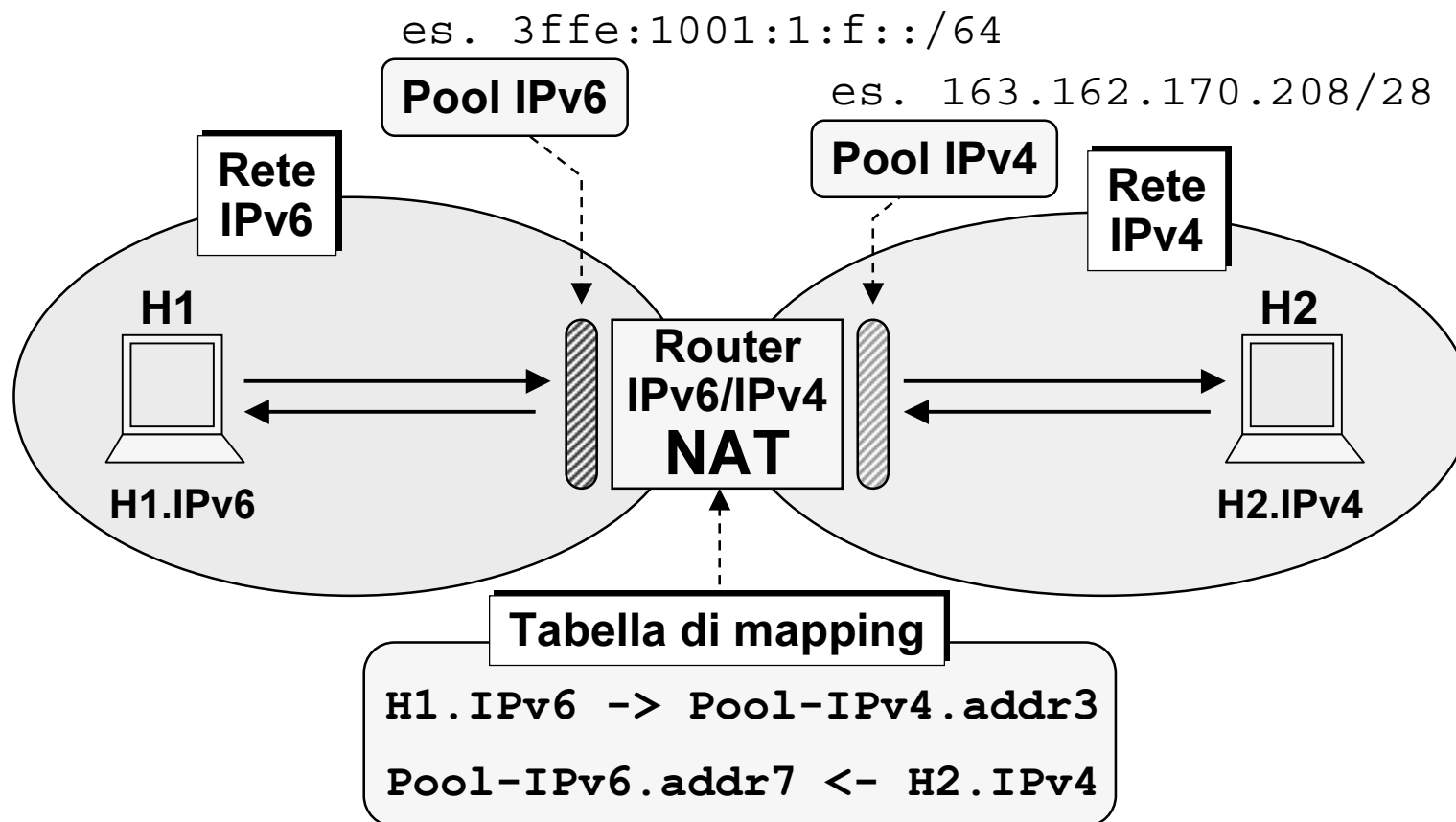
S ●
Incapsula

● D
Decapsula

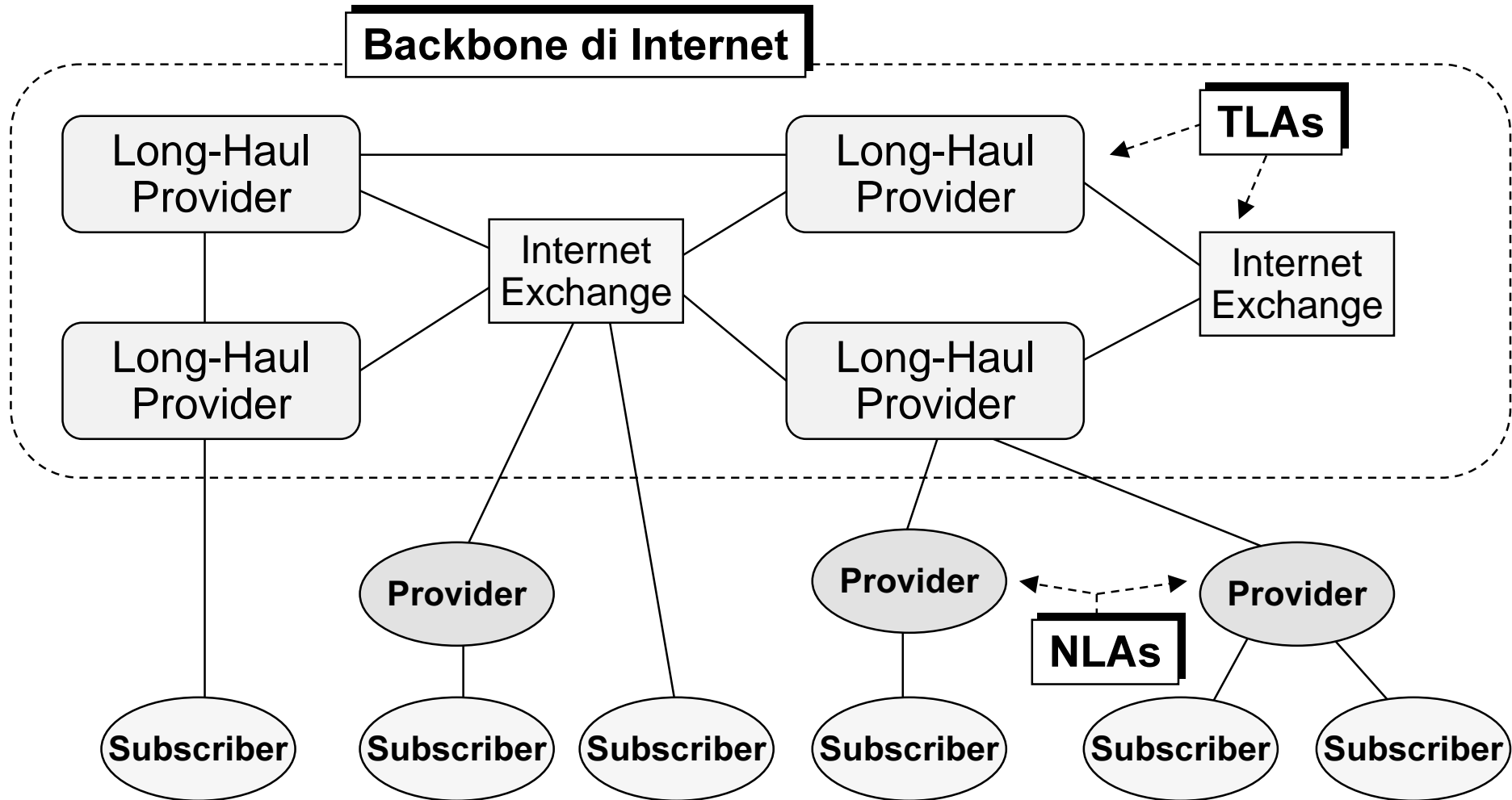
NAT (Network Address Translator)

IPv6 16

- Esistono diverse modalità di utilizzo dei NAT nella transizione verso IPv6
- Esempio (proposta cisco):



Allocazione degli indirizzi



- **L'architettura di indirizzamento rispecchia la topologia di rete:**
 - Lo spazio di indirizzamento non viene organizzato in classi, ma secondo una **gerarchia basata sul provider**
 - L'assegnazione degli indirizzi rispetta tale gerarchia
 - **TLA (Top Level Aggregator)**
 - organizzazioni disposte ad offrire un servizio di transito pubblico per il traffico IPv6
 - ad ogni TLA viene assegnato un prefisso di rete (TLA prefix o TLA ID) corrispondente ai 16 bit di ordine più elevato dell'indirizzo IPv6
 - Un TLA può utilizzare i 32 bit successivi per assegnare blocchi di indirizzi ai cosiddetti **Next-Level Aggregator (NLA)** che possono essere
 - **provider oppure grandi organizzazioni pubbliche o private**
 - Ogni NLA può assegnare porzioni del suo spazio di indirizzamento ad altri provider o direttamente agli utenti (subscriber)

Indirizzamento gerarchico: vantaggi

- **Aggregazione delle informazioni di raggiungibilità:**
 - contenimento della dimensione delle tabelle di instradamento
- **Flessibilità:**
 - ogni livello gerarchico può strutturare a suo piacimento lo spazio di indirizzamento a lui assegnato
- **Efficienza:**
 - riduzione del numero di indirizzi inutilizzati

Indirizzamento gerarchico: svantaggi

- **L'indirizzo non appartiene più all'utente ma al provider**
- **Quando cambia la topologia di rete (es. cambio di provider) chi è coinvolto nel cambiamento deve provvedere a una serie di riconfigurazioni:**
 - Rinumerazione degli host
 - Rinumerazione dei router
 - Aggiornamento dei DNS e di tutti i database dove è memorizzata la corrispondenza tra nomi ed indirizzi
- **Problema con la gestione del multihoming**
 - molti siti sono connessi ad Internet attraverso più di un Internet Service Provider (ISP)

Indirizzamento gerarchico: le risposte di IPv6 (1)

- **Difficoltà di un sito a rinumerare**
 - **IPv6 risponde a questo problema in due modi differenti**
 - **introducendo potenti meccanismi di autoconfigurazione finalizzati a rendere quasi automatica la rinumerazione di un sito**
 - riconfigurazione dei router
 - riconfigurazione degli host
 - riconfigurazione del DNS
 - ecc.
 - **riducendo la probabilità che un sito debba rinumerare attraverso l'estensione delle funzionalità degli Exchange**
 - l'idea è che anche gli Exchange possano allocare indirizzi

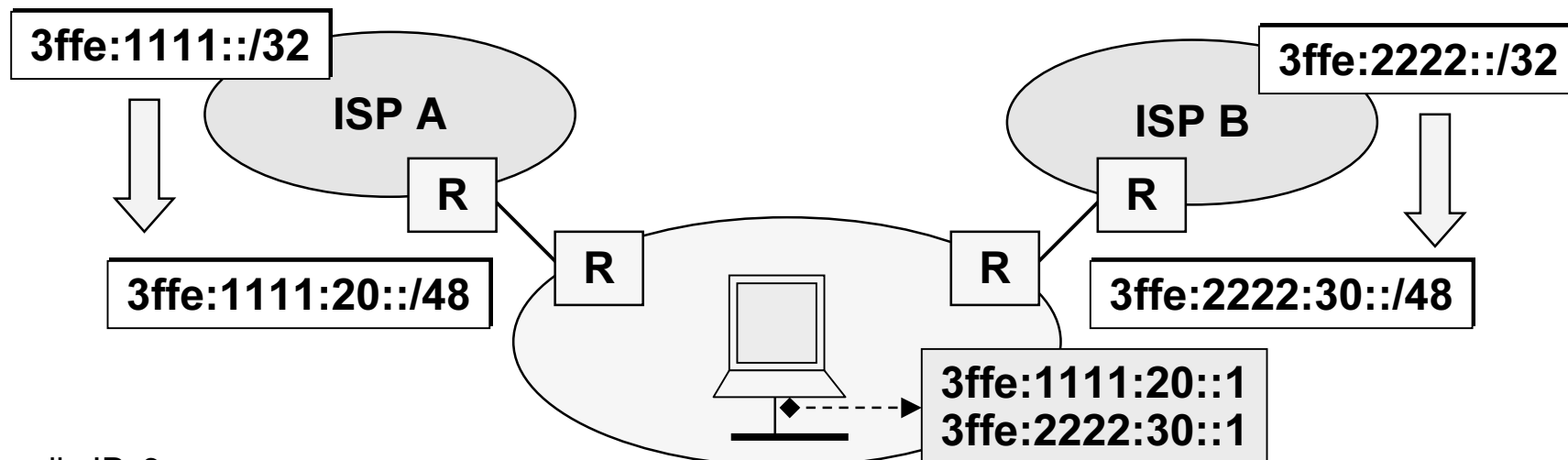
Indirizzamento gerarchico: le risposte di IPv6 (2)

IPv6 22

• Gestione del multihoming

➤ IPv6 prevederà meccanismi espliciti per supportare la presenza di siti multihomed senza degradare significativamente l'efficacia dell'aggregazione su base provider

- l'idea è che se un sito è connesso a N ISP ogni interfaccia di rete debba essere configurata con N indirizzi (uno per ogni ISP)
- approccio non possibile con IPv4 (esaurimento indirizzi)
- problemi aperti:
 - source address selection
 - come far sopravvivere una sessione TCP a seguito di un guasto in rete



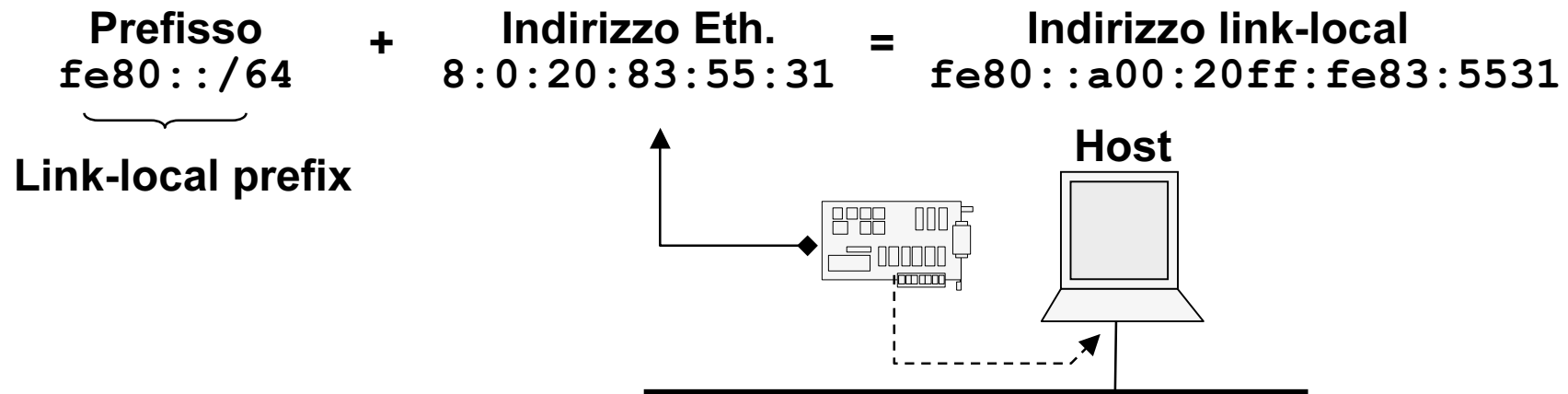
- **IPv6 è stato progettato per essere un protocollo “Plug and Play”**
 - evitare configurazioni manuali
- **Autoconfigurazione degli host:**
 - è stata definita la versione IPv6 del protocollo DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)
 - autoconfigurazione assistita da un server centralizzato
 - la novità rispetto ad IPv4 è il protocollo di **Neighbor Discovery (ND)**
 - consente agli host di autoconfigurarsi **completamente** sulla base delle informazioni pubblicizzate dai router vicini
 - non richiede la configurazione ed il mantenimento di un server centralizzato
 - semplifica enormemente l'amministrazione della rete

Il protocollo di Neighbor Discovery

- **Fa parte di ICMPv6**
- **Utilizza messaggi multicast**
 - quindi presuppone che ogni interfaccia di rete sia in grado di supportare trasmissioni multicast
- **Definisce i meccanismi per svolgere un insieme di servizi che rappresentano una sostanziale novità rispetto a IPv4:**
 - **Address Autoconfiguration**
 - **Address Resolution**
 - **Duplicate Address Detection**
 - **Router Discovery**
 - **Prefix Discovery**
 - **Redirect**

Address Autoconfiguration (1)

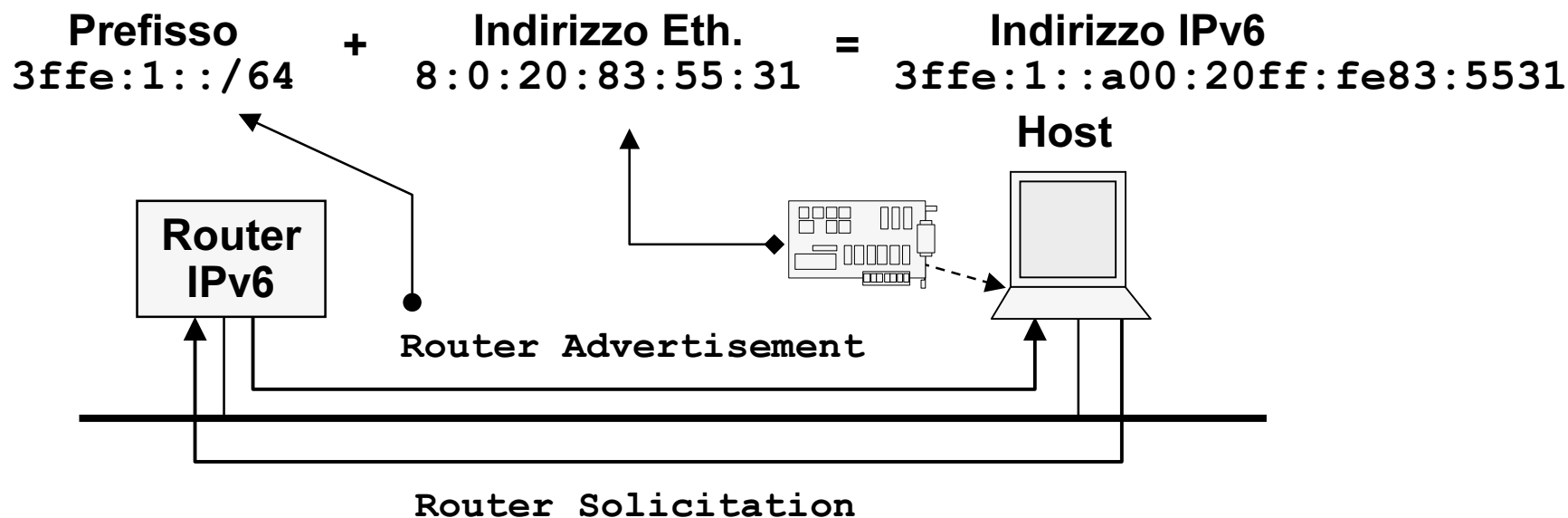
- Ogni nodo IPv6 (host o router) può costruire autonomamente gli indirizzi link-local delle sue interfacce



- In questo modo la stazione è in grado di comunicare da subito all'interno del link

Address Autoconfiguration (2)

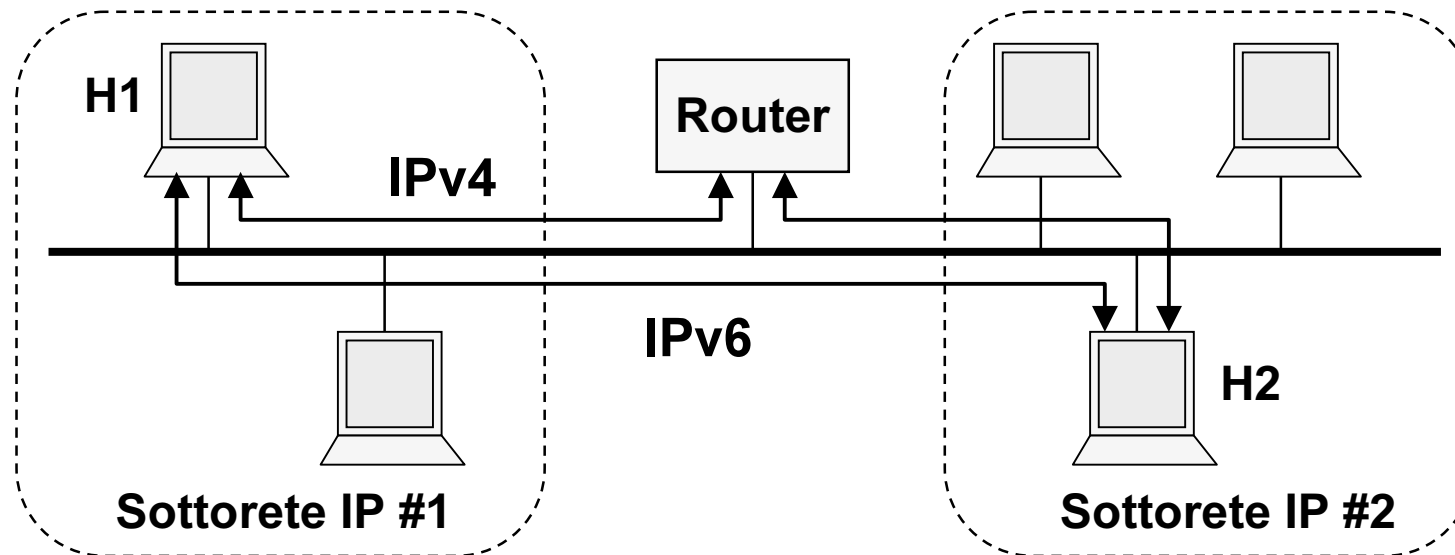
- **Due possibili modalità di configurazione automatica degli indirizzi:**
 - **Stateful Autoconfiguration**
 - la configurazione viene assistita da un server centralizzato (server DHCP)
 - **Stateless Autoconfiguration**
 - attraverso il protocollo di **Neighbor Discovery**



Come cambia l'architettura di Internet

IPv6 27

- **In IPv4 sottoreti IP diverse possono comunicare solo attraverso router**
 - questo anche se sono configurate sulla stessa rete fisica (link)
- **In IPv6 invece sottoreti IP configurate sullo stesso link comunicano sempre direttamente**
 - la suddivisione logica in sottoreti IP non conta



Routing intra-domain

- **Il protocollo di routing dinamico RIPv6 è stato il primo ad essere specificato (RFC 2080) ed implementato**
- **La standardizzazione della versione IPv6 del protocollo OSPF (OSPFv6) è tuttora in corso**
- **Sia RIPv6 sia OSPFv6 sono poco adatti al routing inter-domain (tra Autonomous System):**
 - non sono scalabili a reti IP di grandi dimensioni
 - non offrono strumenti adeguati per il controllo amministrativo dell'instradamento

- **Sono disponibili due proposte per estendere BGP4 in modo che possa supportare IPv6 oltre ad IPv4:**
 - **BGP4+**
 - soluzione proposta da CISCO
 - sono disponibili numerose implementazioni prototipali (cisco, Telebit, Digital, Merit, ecc.)
 - utilizzato all'interno di 6Bone
 - **BGP5**
 - soluzione proposta da Bay Networks
 - introduce ulteriori estensioni a BGP4 volte a migliorarne la scalabilità a reti IP di grandi dimensioni
 - è nota solo un'implementazione da parte di Bay Networks

Funzionalità evolute

- **Multicast**
- **Sicurezza**
 - autenticazione
 - riservatezza
 - integrità
- **Mobilità dei terminali**
- **Supporto nativo per servizi a qualità differenziata**

IP multicast: cos'è

- **Trasmissione di datagram IP ad un insieme di uno o più host detto gruppo multicast**
 - ogni gruppo è identificato da un **indirizzo multicast**
 - **IPv4**
 - gli indirizzi multicast sono indirizzi di classe D, cioè appartenenti all'insieme [224.0.0.0, 239.255.255.255]
 - nessuna indicazione esplicita sullo scope del gruppo (utilizzo del campo TTL dell'header IP a tale scopo)
 - **IPv6**
 - **FF02**: (group ID) -> indirizzo multicast link-local
 - **FF05**: (group ID) -> indirizzo multicast site-local
 - **FF0E**: (group ID) -> indirizzo multicast globale
 - l'appartenenza ad un gruppo è **dinamica**: ad ogni host è consentito entrare o uscire da un gruppo multicast in qualsiasi momento
 - paradigma **multipunto-multipunto**
 - si può trasmettere senza preavviso ma si riceve solo se registrati quali appartenenti al gruppo multicast

- **Possibili servizi:**

- **Autenticazione:** verifica dell'identità del corrispondente
- **Riservatezza:** criptazione dei dati
- **Integrità:** garanzia che il contenuto informativo di un messaggio non sia stato modificato lungo il percorso di instradamento

- **In IPv4 sono servizi svolti al di fuori di IP**

- dai **firewall** mediante un controllo degli indirizzi IP
- dalle applicazioni stesse

- **In IPv6 diventano servizi svolti da IP**

- prima di iniziare la comunicazione mittente e destinatario devono accordarsi sull'algoritmo di autenticazione e criptazione e sulla chiave segreta che questi algoritmi devono usare
- vengono utilizzati:
 - **Authentication Header**
 - **Encrypted Security Payload Header (ESP Header)**

La mobilità in IPv6 (1)

- **Cosa vuol dire mobilità in Internet?**
 - nell'accezione più generale il problema che si presenta è quello di consentire l'accesso ai servizi Internet da terminali mobili dotati di interfaccia wireless mantenendo la **continuità del servizio**
 - cioè senza che si renda necessario interrompere le sessioni di comunicazione a seguito di uno spostamento da un'area di copertura ad un'altra
 - un caso particolare è la possibilità per un utente dotato di un terminale portatile con un'interfaccia di rete tradizionale (es. 10BaseT Ethernet) di **cambiare in modo trasparente il proprio punto di accesso alla rete Internet**
- **Affinché le sessioni TCP attive non vengano abbattute ad ogni spostamento**
 - il terminale mobile deve essere in grado di **comunicare utilizzando sempre lo stesso indirizzo IP** indipendentemente dal suo punto di accesso alla rete Internet

La mobilità in IPv6 (2)

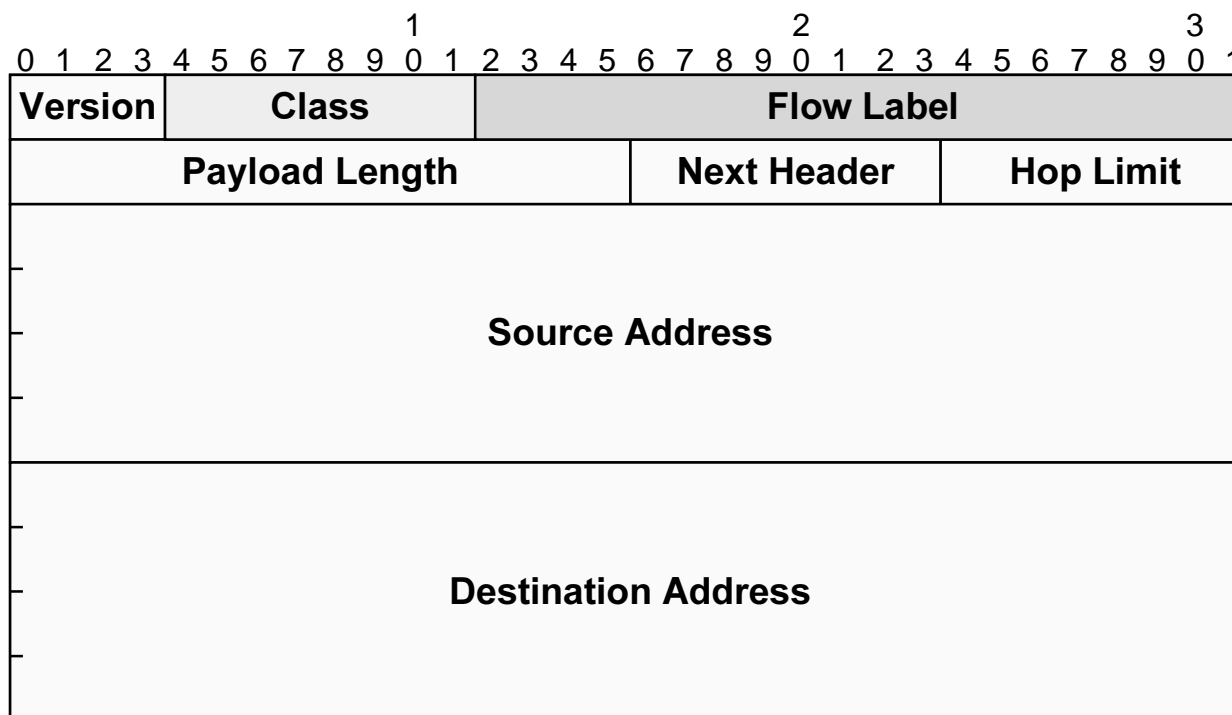
- **Ad ogni terminale mobile devono essere assegnati due indirizzi IPv6**
 - **home address**
 - è un indirizzo appartenente alla sottorete di origine del terminale mobile ed è ad esso permanentemente assegnato
 - **care-of address**
 - è un indirizzo appartenente alla sottorete visitata
 - cambia ad ogni spostamento
 - viene acquisito mediante un meccanismo di autoconfigurazione (es. Stateless Autoconfiguration)
 - **identifica la posizione istantanea del mobile**
- **Inoltre un router della sottorete di origine deve funzionare da home agent per il mobile**
 - l'home agent gestisce il forwarding del traffico verso il terminale mobile mentre questo si trova lontano dalla sottorete di origine

Servizi a qualità differenziata

- Due nuovi campi nell'header IPv6 pensati per fornire un supporto nativo a servizi a qualità differenziata:

➤ flow label

➤ class



Il campo “flow label”

- **Può essere usato dalla sorgente per identificare un flusso di dati per cui si richiede un trattamento speciale da parte dei router**
 - ad esempio una **qualità del servizio garantita** per il trasferimento dei datagram generati da un'applicazione real-time
- **Pensato per essere utilizzato con un protocollo di riservazione delle risorse come RSVP**
 - con **IPv4** RSVP identifica un flusso mediante gli indirizzi IP di sorgente e destinazione ed il numero di porta TCP/UDP
 - **inefficiente** in quanto i router attraversati per classificare i flussi entranti devono analizzare, oltre all'header IP, anche l'header del protocollo di trasporto utilizzato
 - con **IPv6** un flusso può essere identificato semplicemente combinando all'indirizzo della sorgente un flow label non nullo
 - **efficiente** in quanto il flow label è collocato nell'header IPv6 in una posizione fissa

Il campo “class”

- **È frutto di una recente revisione della struttura dell’header IPv6**
 - **originariamente l’attuale campo “class” era denominato “priority” ed era stato pensato per consentire alla sorgente di assegnare una priorità end-to-end ai pacchetti trasmessi**
 - utile qualora non tutti i pacchetti trasmessi abbiano la stessa valenza dal punto di vista della qualità percepita dall’utente finale
 - ad esempio trasmissione di flussi audio/video con codifica a livelli
 - **successivamente questa idea è stata abbandonata**
 - la presenza di un meccanismo di priorità incentiva la sorgente a trasmettere sempre tutto il traffico disponibile
 - il compito di scartare i pacchetti a bassa priorità in caso di congestione viene lasciato alla rete
 - **meglio prevedere un meccanismo di feedback** che porti la stessa sorgente a ridurre il bit-rate trasmesso in caso di congestione

Lo stato delle implementazioni (1)

- **Attualmente sono disponibili numerose implementazioni di IPv6 per host e router:**
 - <http://playground.sun.com/pub/ipng/html/ipng-implementations.2.html>
- **Alcune delle più interessanti implementazioni di host IPv6 sono le seguenti:**
 - Kame per FreeBSD
 - SUN per Solaris 2.5/2.5.1
 - INRIA per FreeBSD e NetBSD
 - NRL per NetBSD e OpenBSD
 - Linux
 - Digital Equipment Corporation per Alpha DIGITAL UNIX
 - IBM per AIX version 4.2
 - Apple Computer
 - SICS (Swedish Institute of Computer Science) per HP-UX su HP serie 700
 - Microsoft per Windos 2000/XP
 - Dassault Electronique Group per Windows NT, FreeBSD

Lo stato delle implementazioni (2)

- **Tutti i principali costruttori di router stanno integrando il supporto ad IPv6 nei loro apparati e sono già disponibili numerose implementazioni:**
 - Bay Networks
 - cisco systems
 - 3Com
 - Digital Equipment Corporation (router della famiglia DEC RouteAbout)
 - INRIA ha incluso all'interno della sua implementazione di IPv6 il supporto per i protocolli RIPv6 e BGP4+
 - Merit Network Inc. ha sviluppato un demone (MRT - Multi Threaded Routing Toolkit -) che implementa RIPv6 e BGP4+ su stazioni con sistema operativo unix (FreeBSD, Linux, ecc.)
 - Sumitomo Electric (router della famiglia Suminet 3700)
 - Telebit Communications (router TBC2000)
 - Nokia

- **Sono già disponibili per tutte le implementazioni di IPv6 esistenti:**
 - applicativi di monitoring e testing
 - ping, traceroute
 - applicativi “tradizionali”
 - ftp, telnet
- **Sono disponibili le prime implementazioni di:**
 - server e browser WWW
 - Mosaic, mMosaic, Apache
 - applicativi MBone
 - sdr, vat

Conclusioni (1)

- **I vantaggi di IPv6**
 - **IPv6 risolve il problema dell'esaurimento dello spazio di indirizzamento IP**
 - **IPv6 permette di contenere le dimensioni delle tabelle di instradamento dei router di backbone**
 - **aggregazione su base provider**
 - **sarà praticabile perchè sarà facile per un sito rinumerare**
 - **gestione del multihoming**
 - **interfacce con indirizzi multipli (uno per ogni provider)**
 - **IPv6 nasce come una razionalizzazione di IPv4**
 - **sono state mantenute le funzionalità di base del protocollo eliminando quelle inutili**
 - **IPv6 sarà un protocollo "Plug-and-Play"**
 - **questo ampliarà significativamente il campo di applicazione di IP**
 - **Gli extension header fanno di IPv6 un protocollo efficiente e facilmente espandibile**

- **I vantaggi di IPv6 (cont.)**

- **Funzionalità evolute**

- **Multicast**

- con IPv6 sarà supportato da subito su tutte le implementazioni
- invece dopo 7 anni dalla pubblicazione di RFC1112 e 3 anni dopo la nascita di MBone il multicast non è ancora supportato da tutte le implementazioni di IPv4

- **Sicurezza**

- meccanismi di sicurezza analoghi a quelli di IPv6 sono definiti anche per IPv4 ma introdurli vorrebbe dire aggiornare tutti i nodi di Internet (operazione di una complessità analoga alla migrazione ad IPv6)

- **Mobilità**

- l'introduzione di un supporto efficiente alla mobilità in IPv4 richiede l'aggiornamento di tutti i nodi di Internet

- **Servizi a qualità differenziata**

- IPv6 è in grado di supportare in modo efficiente applicazioni real-time

Conclusioni (3)

- **Quando la transizione?**
 - esaurimento degli indirizzi previsto tra il 2005 e il 2011
 - ma devono essere considerati anche altri fattori
 - molte grandi compagnie potrebbero trarre grande beneficio dalla disponibilità di un spazio di indirizzamento più ampio
 - con IPv6 un sito potrà rinumerare facilmente a seguito di un cambio di provider
 - questo renderà più dinamico il mercato degli ISP senza compromettere l'efficacia del meccanismo di aggregazione su base provider

L'introduzione di IPv6 dovrebbe accelerare il processo di crescita della rete Internet